



Český
hydrometeorologický
ústav

JIHOMORAVSKÝ KRAJ

analýza kvality ovzduší v Jihomoravském kraji
v roce 2021

ODBORNÁ ZPRÁVA



Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.
Ing. Zuzana Vránová

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV
ODDĚLENÍ KVALITY OVZDUŠÍ, POBOČKA BRNO

Jihomoravský kraj

analýza kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021

ZHOTOVITEL

**Český hydrometeorologický ústav
zastoupen Mgr. Markem Riederem, ředitelem ČHMÚ**

Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4

IČ: 00020699

DIČ: CZ00020699, není plátce DPH

Pobočka Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

ve věcech smluvních je oprávněn jednat:

Ing. Petr Janál, Ph.D., ředitel pobočky Brno

ve věcech technických je oprávněn jednat:

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D., vedoucí oddělení kvality ovzduší
tel: 737 387 741, email: jachym.brzezina@chmi.cz

OBJEDNATEL

Jihomoravský kraj

Žerotínovo náměstí 449/3, 601 82 Brno

IČ: 70888337

DIČ: CZ70888337

kontaktní osoba: Ing. Tomáš Helán

ZPRACOVATEL

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.

Ing. Zuzana Vránová

DATUM PŘEDÁNÍ

12. 9. 2022

POČET STRAN

223

Obsah

ÚVOD	6
SHRNUTÍ	7
IMISNÍ LIMITY	7
SMOGOVÉ SITUACE	7
METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY	8
METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY V JIHMORAVSKÉM KRAJI V ROCE 2021	9
<i>Teplota vzduchu</i>	9
<i>Srážky</i>	10
<i>Rozptylové podmínky</i>	12
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE	21
ZÁKLADNÍ POPIS	21
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₁₀	22
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM _{2,5}	39
OXIDY DUSÍKU	49
OXID DUSIČITÝ (NO ₂)	51
PŘÍZEMNÍ OZON (O ₃)	62
OXID SIŘIČITÝ (SO ₂)	68
OXID UHELNATÝ (CO)	76
POLYCYKLICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAH)	80
BENZO[A]PYREN (BAP)	81
TĚŽKÉ KOVY	89
ARZEN (As)	89
KADMIUM (Cd)	93
NIKL (Ni)	96
OLOVO (Pb)	99
PŘEKRAČOVÁNÍ IMISNÍCH LIMITŮ	103
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM ₁₀	103
<i>Roční imisní limit</i>	103
<i>24h imisní limit</i>	104
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM _{2,5}	104
<i>Roční imisní limit</i>	104

OXID DUSIČITÝ	105
<i>Roční imisní limit</i>	105
<i>Hodinový imisní limit</i>	106
OXID SIŘIČITÝ	106
<i>24h imisní limit</i>	106
<i>Hodinový imisní limit</i>	107
OXID UHELNATÝ	108
<i>Maximální denní 8h klouzavý průměr</i>	108
BENZO[A]PYREN	108
<i>Roční imisní limit</i>	108
PŘÍZEMNÍ OZON	109
<i>Maximální denní 8h klouzavý průměr</i>	109
ARZEN	110
<i>Roční imisní limit</i>	110
KADMIUM	110
<i>Roční imisní limit</i>	110
NIKL	111
<i>Roční imisní limit</i>	111
OLOVO	111
<i>Roční imisní limit</i>	111
BENZEN	112
<i>Roční imisní limit</i>	112
SMOGOVÉ SITUACE	113
HODNOCENÍ DAT ZE STANIC	115
BRNO-TUŘANY	115
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	117
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	125
<i>Oxid dusičitý (NO₂)</i>	133
BRNO-SVATOPLUKOVA	139
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	141
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	148
<i>Oxid dusičitý</i>	154
BRNO-VÝSTAVIŠTĚ	160
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	161
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	167
<i>Oxid dusičitý</i>	169

MIKULOV-SEDEC.....	175
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	177
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	183
<i>Oxid dusičitý</i>	189
BRNO-LÁNY.....	195
<i>Suspendované částice PM₁₀</i>	196
<i>Suspendované částice PM_{2,5}</i>	201
<i>Oxid dusičitý</i>	206
BRNO-ZVONAŘKA.....	212
<i>Oxid dusičitý</i>	214
POUŽITÁ LITERATURA.....	219

ÚVOD

Tato studie se zabývá hodnocením kvality ovzduší v Jihomoravském kraji za rok 2021. Kromě samotného vyhodnocení koncentrací znečišťujících látek naměřených na stanicích imisního monitoringu v tomto kraji v roce 2021 je v rámci hodnocení srovnán tento rok i se stavem kvality ovzduší v předchozím desetiletí, tedy srovnání s obdobím 2011 až 2020¹.

Vyhodnocení se zabývá i meteorologickými a rozptylovými podmínkami, které mají často zásadní vliv na kvalitu ovzduší.

Zpráva je rozdělena na čtyři části – v první části jsou popsány meteorologické a rozptylové podmínky, v druhé části jsou analyzovány a srovnány hodnoty naměřené na všech stanicích v Jihomoravském kraji s dostupnými daty, sloučené podle dílčích znečišťujících látek. Třetí část je věnována souhrnnému srovnání koncentrací znečišťujících látek v Jihomoravském kraji v roce 2021 v kontextu příslušných imisních limitů. V poslední části je pak pozornost věnována šesti konkrétním stanicím s dlouhou časovou řadou (Brno-Tuřany, Brno-Výstaviště, Brno-Lány, Brno-Svatoplukova, Brno-Zvonařka a Mikulov-Sedlec) a různého typu (od městské dopravní přes předměstskou pozadřovou až po regionální pozadřovou). Data z těchto stanic jsou vyhodnocena podrobně a popsány pravděpodobné příčiny konkrétních výsledků.

¹ v případě dostupnosti dat. Některé stanice imisního monitoringu nemají k dispozici tak dlouhou časovou řadu, protože vznikly až v průběhu tohoto období.

SHRNUTÍ

Hodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v roce 2021 ukázalo, že rok 2021 byl rokem s velmi dobrou kvalitou ovzduší, přestože mírně horší než v roce 2020. Tento meziroční rozdíl je dán především odlišnými meteorologickými a rozptylovými podmínkami, které oproti roku 2020 nebyly tak příznivé.

IMISNÍ LIMITY

Na jihomoravských stanicích nebyl v roce 2021 překročen žádný imisní limit.

SMOGOVÉ SITUACE

V Jihomoravském kraji nebyla v roce 2021 vyhlášena žádná smogová situace ani regulace. Poslední smogová situace byla v Jihomoravském kraji a Aglomeraci Brno vyhlášena v roce 2017.

METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY

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 PM₁₀ (55,1 %) i PM_{2,5} (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.

METEOROLOGICKÉ A ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY

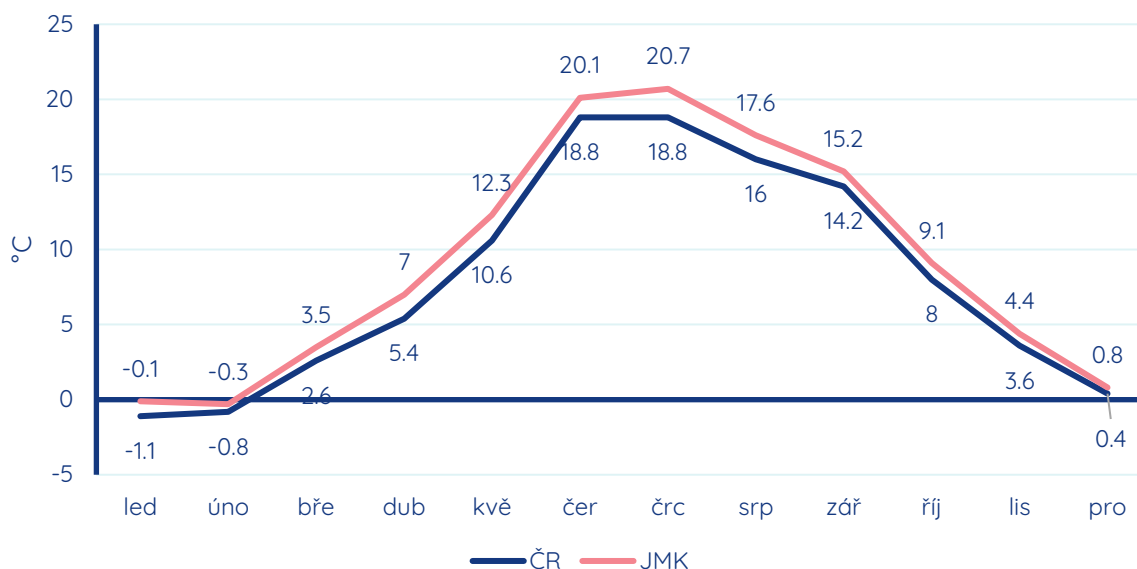
V JIHMORAVSKÉM KRAJI V ROCE 2021

Význam meteorologických a rozptylových podmínek s ohledem na kvalitu ovzduší byl v roce 2021 velmi výrazný. Byl to rok, ve kterém po delší periodě velmi intenzivního sucha bylo zaznamenáno nadprůměrné množství srážek. Zároveň to byl, tak jako roky předchozí, rok teplotně výrazně nadnormální.

TEPLOTA VZDUCHU

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2021 byla v České republice 8,0 °C. V Jihomoravském kraji, který dlouhodobě patří k nejteplejším oblastem v zemi, byl průměr ještě o stupeň vyšší, tedy 9,2 °C.

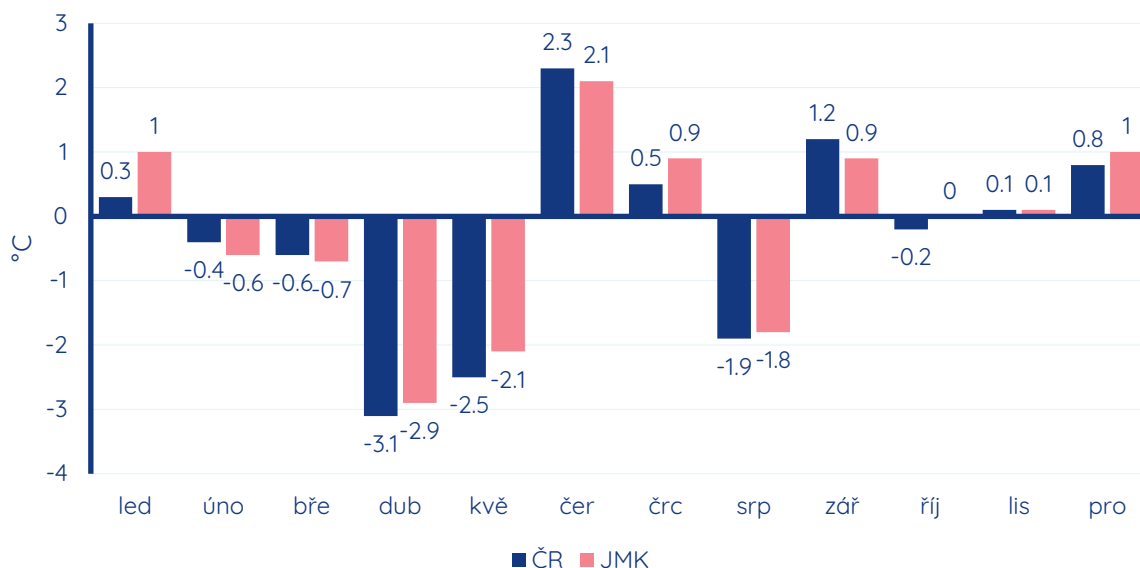
Vývoj průměrné měsíční teploty v České republice a Jihomoravském kraji ukazuje následující graf.



Obrázek 1 – průměrná měsíční teplota vzduchu v České republice a Jihomoravském kraji v roce 2021.

Teplotní normál 1991-2020 pro Českou republiku má hodnotu 8,3 °C, rok 2021 byl tedy o 0,3 °C chladnější, než je právě tento normál. V Jihomoravském kraji má teplotní normál 1991-2020 hodnotu 9,4 °C, tedy i v rámci Jihomoravského kraje byla odchylka průměrné roční teploty od dlouhodobého normálu záporná, konkrétně byl rok 2021 o 0,2 °C chladnější, než byl průměr v předchozím třicetiletém normálovém období.

Odchytky měsíčních průměrných teplot od normálového průměru 1991-2020 pro daný měsíc ukazuje následující graf.



Obrázek 2 – odchylka průměrné měsíční teploty v roce 2021 od dlouhodobého průměru 1991-2020 v České republice a Jihomoravském kraji.

Chladné bylo v roce 2021 zejména jaro, všechny jarní měsíce (III až V) byly teplotně podnormální. Výrazně podnormální byl také měsíc srpen. Naopak ve srovnání s dlouhodobým průměrem byl výrazně teplejší červen, kdy odchylka od dlouhodobého průměru byla vyšší než +2 °C.

Z pohledu kvality ovzduší má význam zejména chladnější půlrok (s výjimkou přízemního ozonu). V Jihomoravském kraji byl nejchladnějším měsícem roku 2021 únor, celorepublikově to byl leden. Únor je také jediným zimním měsícem (I, II a XII), který má ve srovnání s dlouhodobým normálem 1991-2020 zápornou odchylku, a to přibližně o půl stupně.

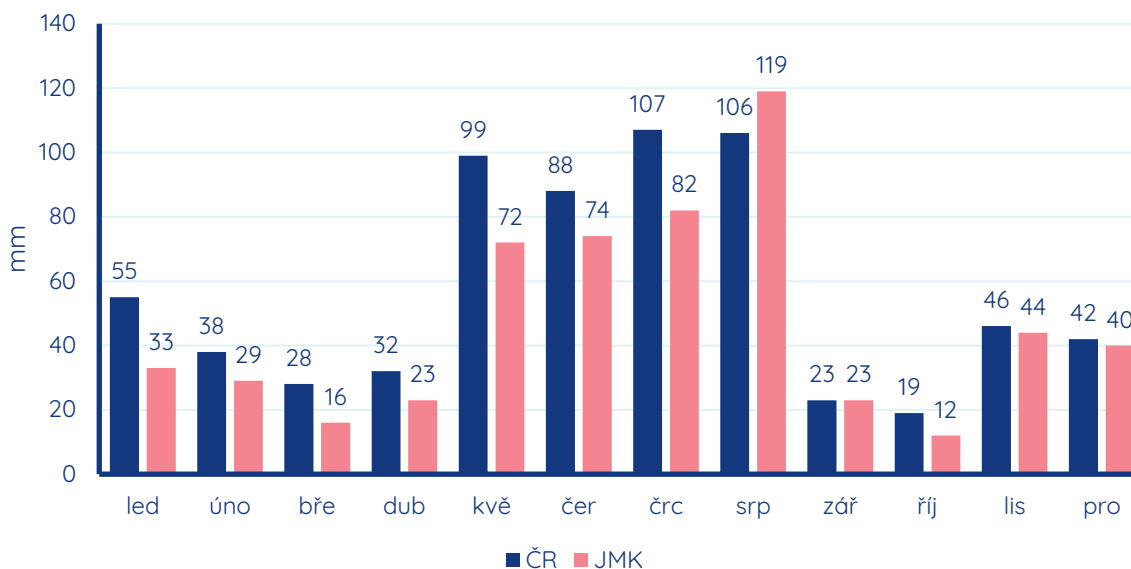
SRÁŽKY

Srážky, ať už kapalného či pevného skupenství, mají příznivý vliv na kvalitu ovzduší. Vydatnější srážky vždy vedou k velmi rychlému a výraznému snížení koncentrací všech znečišťujících látek v ovzduší.

V České republice činil průměrný srážkový úhrn za rok 2021 celkem 683 mm. V Jihomoravském kraji to bylo 566 mm. V kontextu České republiky však Jihomoravský kraj obecně patří k územím s dlouhodobě nižším srážkovým úhrnem. Nejvíce srážek

v České republice naprší v letních měsících, naopak nejméně prší z dlouhodobého pohledu v únoru a obecně v zimní měsíce.

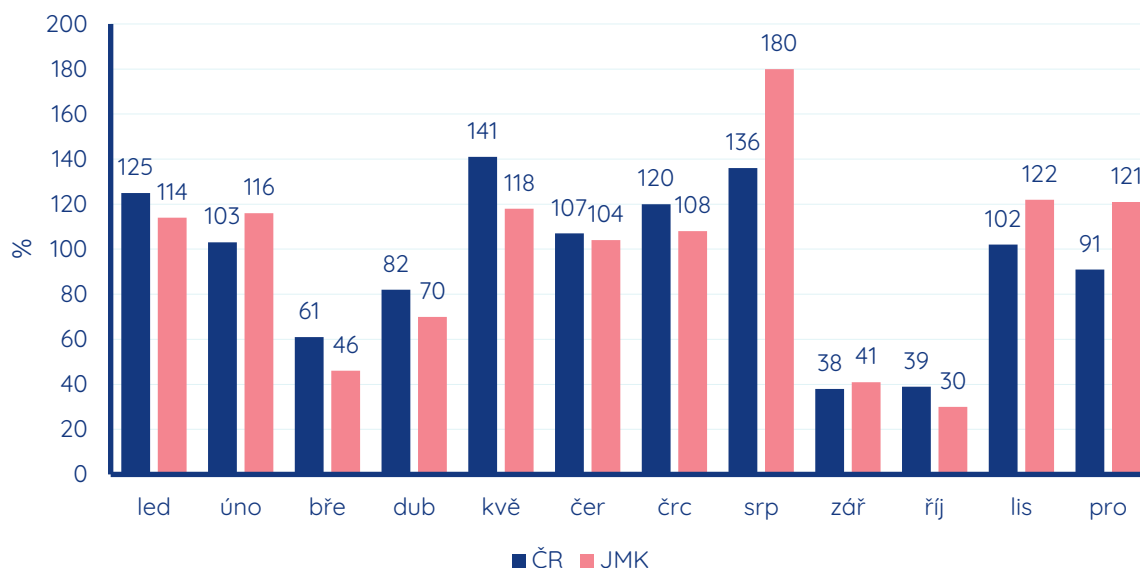
Následující graf ukazuje průměrné měsíční úhrny srážek v roce 2021 v České republice a v Jihomoravském kraji.



Obrázek 3 – průměrné měsíční srážkové úhrny v roce 2021 v České republice a v Jihomoravském kraji.

Vyšší vypovídající hodnotu než absolutní čísla mají odchylky od dlouhodobého průměru. V případě srážek nejsou odchylky hodnoceny v absolutních číslech, ale jako poměr srážkového úhrnu k dlouhodobému normálu. Hodnota 100 % tedy značí srážky zcela na úrovni dlouhodobého průměru, hodnoty pod 100 % značí srážkový úhrn podprůměrný, naopak hodnoty nad 100 % značí nadprůměrné množství srážek. Poměrové přepočítání umožňuje srovnávat extremitu jednotlivých měsíců, které se v absolutních číslech velmi liší průměrným úhrnem.

Následující graf ukazuje podíl srážkového úhrnu v jednotlivé měsíce roku 2021 z dlouhodobého průměrného úhrnu pro daný měsíc za třicetileté období 1991-2020, a to jak pro Českou republiku jako celek, tak pro Jihomoravský kraj.



Obrázek 4 – podíl průměrného měsíčního srážkového úhrnu v roce 2021 z dlouhodobého průměrného úhrnu za období 1991-2020 v České republice a Jihomoravském kraji.

Z grafu podílů srážkových úhrnů v roce 2021 od dlouhodobého průměru je patrné, že velmi suché byly především měsíce září a říjen a také březen. Naopak srážkově bohatý, a to zejména v Jihomoravském kraji, byl měsíc srpen, kdy napršelo téměř dvojnásobek dlouhodobého průměrného množství. Celkově napršelo v roce 2021 v České republice v průměru 683 mm srážek, což představuje 100 % dlouhodobého normálu 1991-2020 (684 mm). V Jihomoravském kraji činil srážkový úhrn 566 mm, což je 101 % dlouhodobého normálu (561 mm). Lze tedy říci, že byl rok 2021 srážkově v České republice i Jihomoravském kraji normální.

ROZPTYLOVÉ PODMÍNKY

Rozptylové podmínky jsou faktorem, který může velmi výrazně ovlivňovat kvalitu ovzduší. V kontextu rozptylových podmínek se hodnotí například rychlost větru, ale i další parametry, jako například vertikální teplotní gradient. Při vytvoření přízemní teplotní inverze dochází ke kumulaci znečišťujících látek u země. Obecně můžeme říci, že jsou v České republice dlouhodobě horší rozptylové podmínky v chladnou část roku. Kombinace velmi nízkých teplot (a tedy vyšších emisí z vytápění či dopravy) a vytvoření přízemní teplotní inverze představuje stav, při kterém bývají koncentrace znečišťujících látek nejvyšší a nejčastější situace, při kterých dochází až k vyhlášení smogové situace.

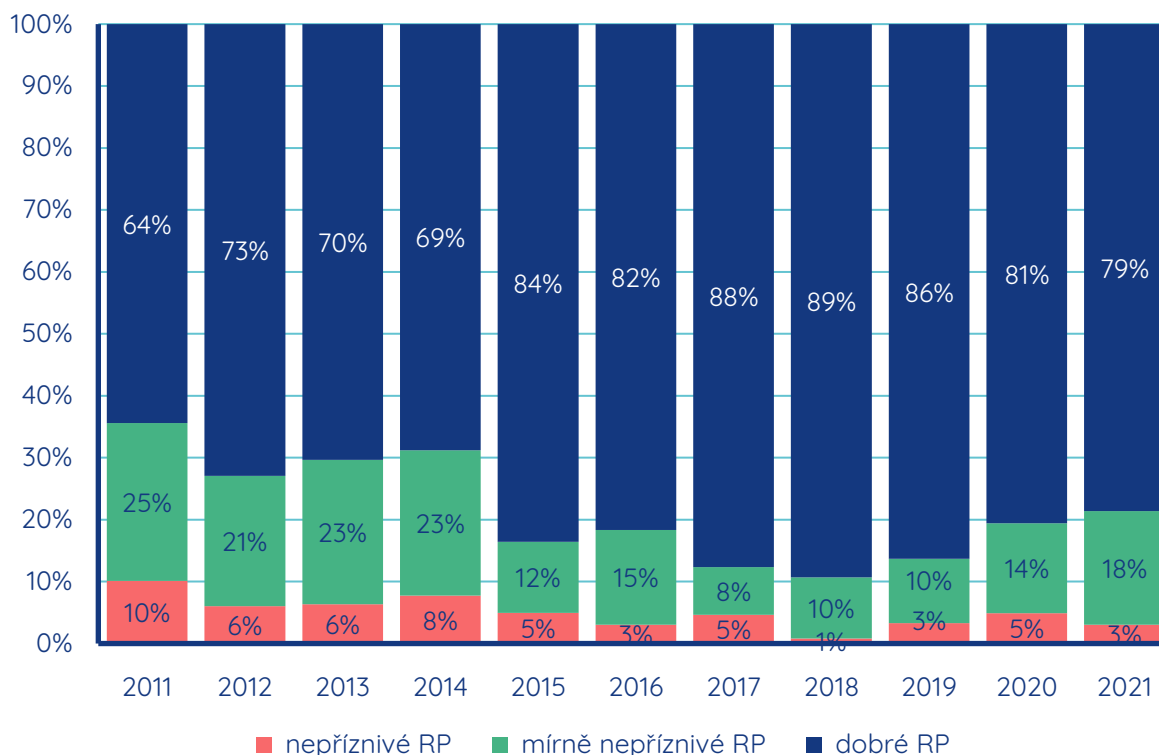
Rozptylové podmínky lze souhrnně kvantifikovat prostřednictvím tzv. ventilačního indexu (VI). Ten představuje numerické vyjádření rozptylových podmínek. Na základě číselné hodnoty ventilačního indexu lze rozptylové podmínky rozdělit na tři stupně:

- nepříznivé rozptylové podmínky ($VI < 1100$)
- mírně nepříznivé rozptylové podmínky ($VI \geq 1100$ a zároveň $VI \leq 3000$)
- dobré rozptylové podmínky ($VI > 3000$)

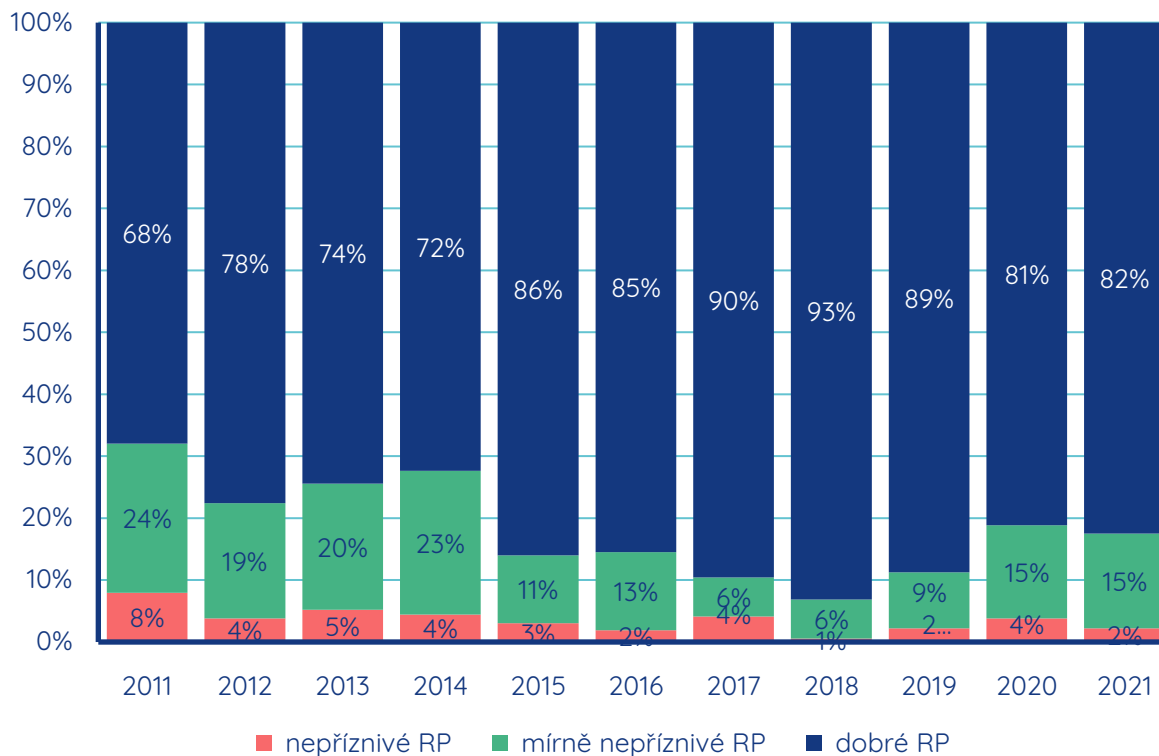
Zastoupení jednotlivých stupňů rozptylových podmínek se rok od roku liší a často bývá dominantním faktorem zodpovědným za meziroční variabilitu kvality ovzduší.

V rámci níže uvedených dat je Jihomoravský kraj rozdělen na území města Brna a Jihomoravský kraj bez Brna.

Následující dva grafy ukazují zastoupení jednotlivých stupňů rozptylových podmínek v Brně a ve zbytku Jihomoravského kraje za období 2011 až 2021. Z těch vyplývá, že v Brně panovaly dobré rozptylové podmínky v roce 2021 v 79 % času. Mírně nepříznivé byly v 18 % situací a nepříznivé v 3 %. Ve zbytku Jihomoravského kraje byly dobré rozptylové podmínky v 82 % případů, mírně nepříznivé v 15 % a nepříznivé pouze ve 2 % času.



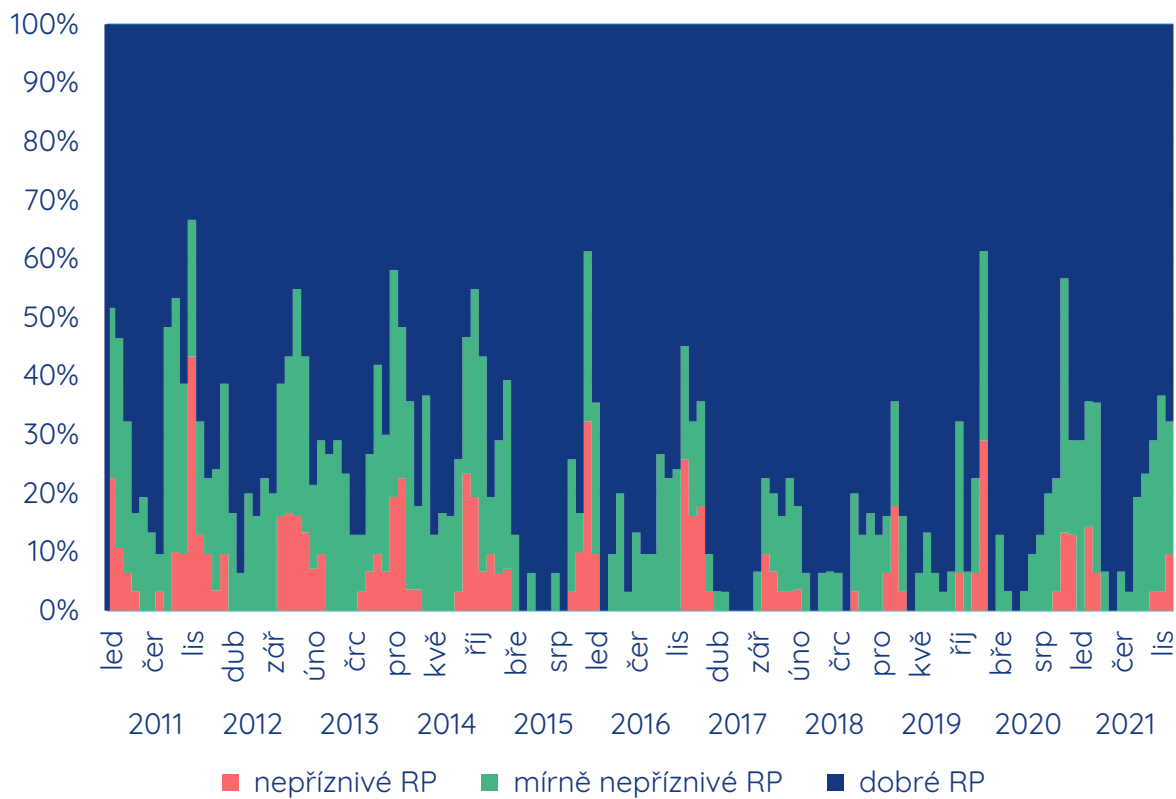
Obrázek 5 – podíl různých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivých letech období 2011-2021 v Aglomeraci Brno.

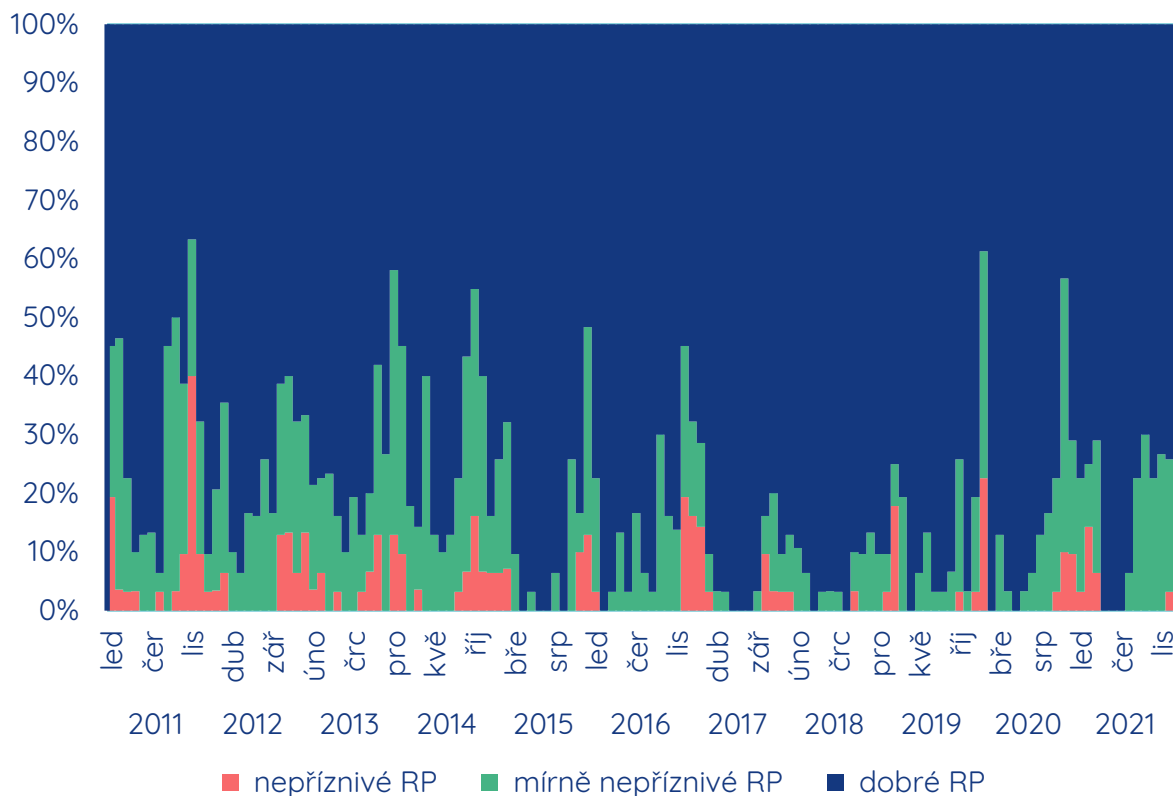


Obrázek 6 - podíl různých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivých letech období 2011-2021 na území Jihomoravského kraje bez Brna.

Z grafů je dále patrné, že výrazně nižší podíl dobrých rozptylových podmínek byl pozorován v letech 2011 až 2014. Naopak v období 2015 až 2019 byly dobré rozptylové podmínky výrazně častější. V letech 2020 a 2021 byl podíl dobrých rozptylových podmínek velmi podobný.

Podíl dobrých, mírně zhoršených a zhoršených rozptylových podmínek se v průběhu roku liší. Následující graf ukazuje průběh měsíčních podílů za celé období 2011 až 2021.



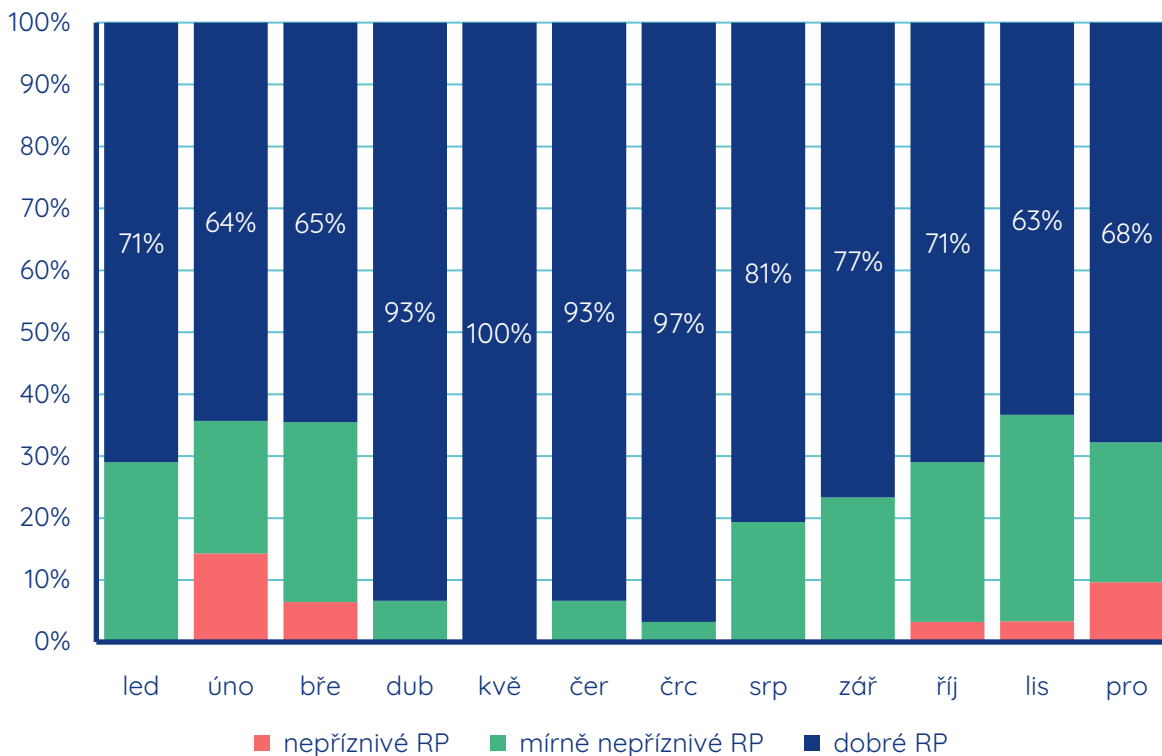


Obrázek 8 - podíl různých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivých měsících let 2011-2021 na území Jihomoravského kraje bez Brna.

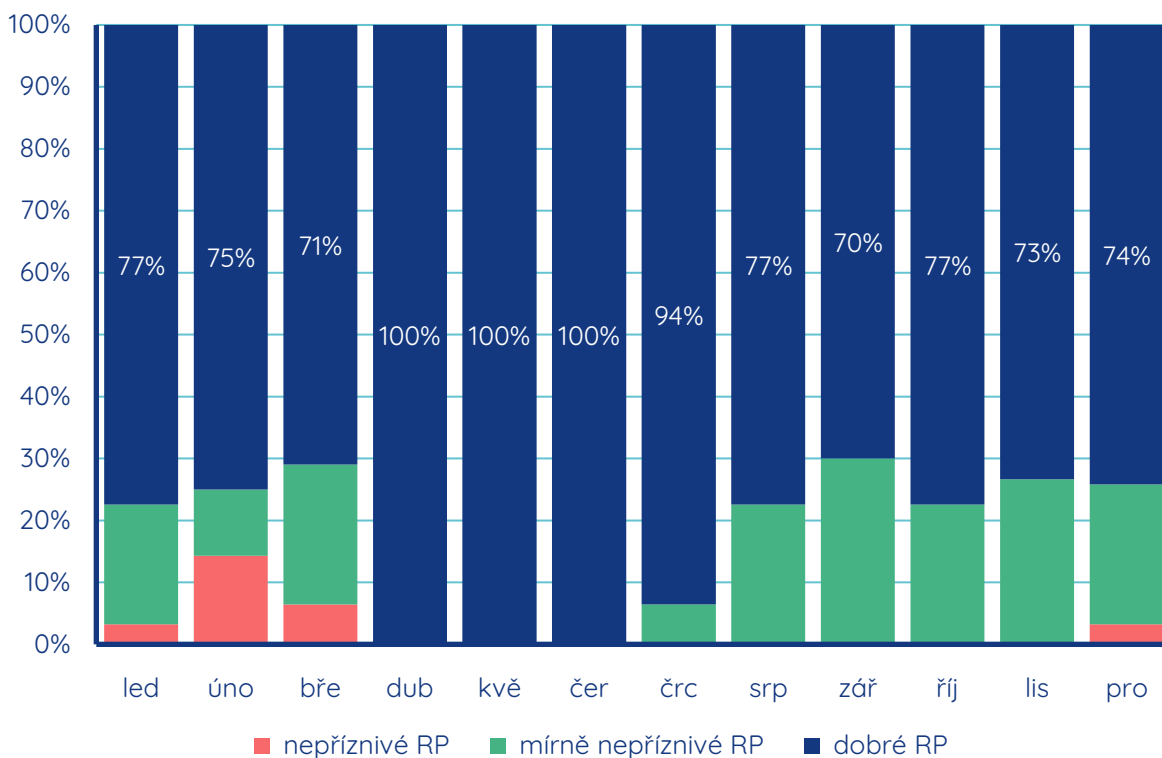
Z grafů můžeme opět pozorovat postupné zlepšování rozptylových podmínek a zároveň vyšší podíl nepříznivých rozptylových podmínek v zimních měsících.

Následující dva skládané sloupcové grafy ukazují podíly jednotlivých stupňů rozptylových podmínek v dílčích měsících roku 2021, první pro Brno, druhý opět pro zbytek Jihomoravského kraje.

Z dvou skládaných sloupcových grafů níže je patrné, že nejvyšší podíl dobrých rozptylových podmínek byl v roce 2021 zaznamenán v měsících duben až červen, kdy v Jihomoravském kraji bez aglomerace Brna dosahoval podíl dobrých rozptylových podmínek ve všech měsících 100 %. V aglomeraci Brno to bylo minimálně 93 %, v květnu rovněž 100 %. Naopak nejvyšší podíl zhoršených rozptylových podmínek byl pozorován v roce 2021 v únoru, což byl (jak je uvedeno v kapitole o teplotě vzduchu) zároveň také nejchladnější měsíc v Jihomoravském kraji v roce 2021.

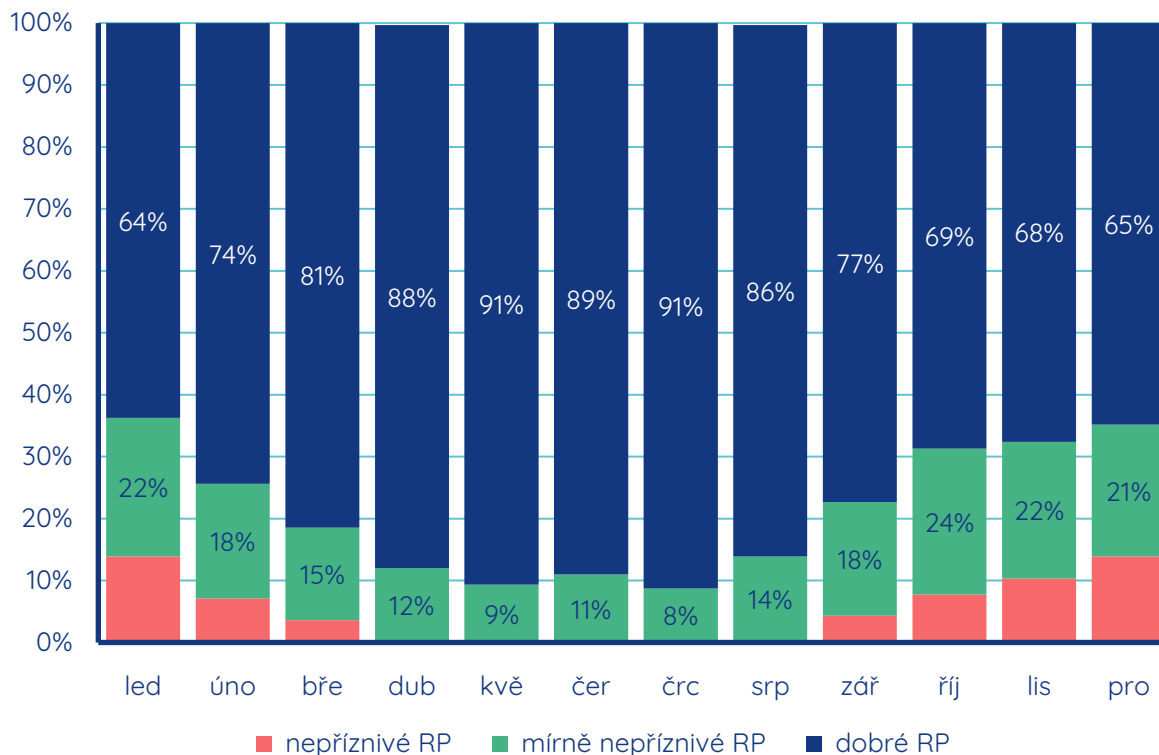


Obrázek 9 - podíl různých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2021 v Aglomeraci Brno.

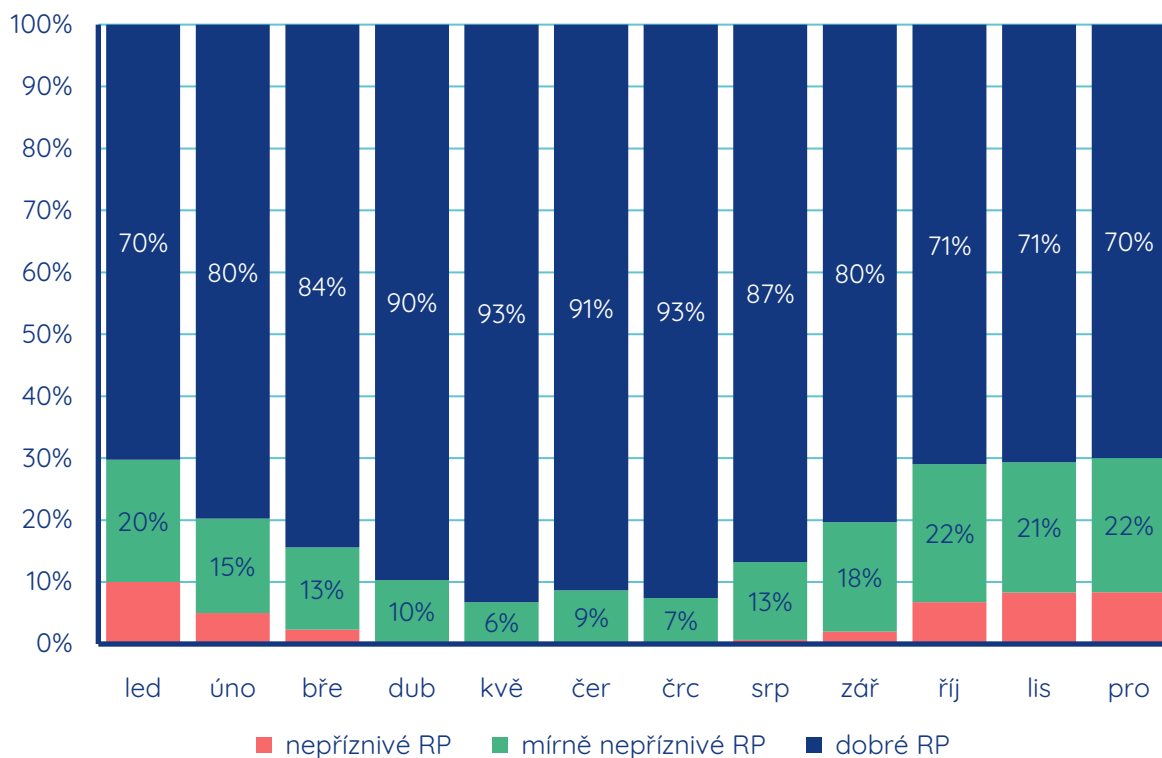


Obrázek 10 - podíl různých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivých měsících roku 2021 na území Jihomoravského kraje bez Brna.

Pro srovnání jsou níže uvedeny průměrné podíly jednotlivých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivé měsíce v Brně a zbytku Jihomoravského kraje jako průměr za desetileté období 2011 až 2020. Jak ukazují tyto grafy, v Brně jsou v dlouhodobém průměru dobré rozptylové podmínky v 77,0 % případů, mírně nepříznivé v 17,5 % a nepříznivé v 5,5 % případů. Ve zbytku Jihomoravského kraje je podíl dobrých rozptylových podmínek 80,5 %, mírně nepříznivých 15,6 % a nepříznivých 4,0 %.



Obrázek 11 – průměrný podíl jednotlivých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivé měsíce, jako průměr období 2011-2020 na území Aglomerace Brno.



Obrázek 12 - průměrný podíl jednotlivých stupňů rozptylových podmínek v jednotlivé měsíce, jako průměr období 2011-2020 na území Jihomoravského kraje bez Brna.

Následující srovnání kategoricky hodnotí rozptylové podmínky v roce 2021 ve srovnání s 10letým průměrem 2011 až 2020.

Tabulka 1 – souhrnné hodnocení jednotlivých měsíců roku 2021 z pohledu kvality rozptylových podmínek na území Aglomerace Brno a Jihomoravského kraje bez Brna ve srovnání s obdobím 2011 až 2020.

	Brno	Jihomoravský kraj bez Brna
led	standardní	standardní
úno	zhoršené	zhoršené
bře	standardní	standardní
dub	standardní	standardní
kvě	výrazně zlepšené	výrazně zlepšené
čer	standardní	standardní
črc	standardní	standardní
srp	standardní	standardní
zář	standardní	standardní
říj	standardní	standardní
lis	standardní	standardní
pro	standardní	standardní
ROK	standardní	standardní

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

ZÁKLADNÍ POPIS

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 PM₁₀, což značí soubor suspendovaných částic s maximálním aerodynamickým průměrem 10 μm, dále PM_{2,5} 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.

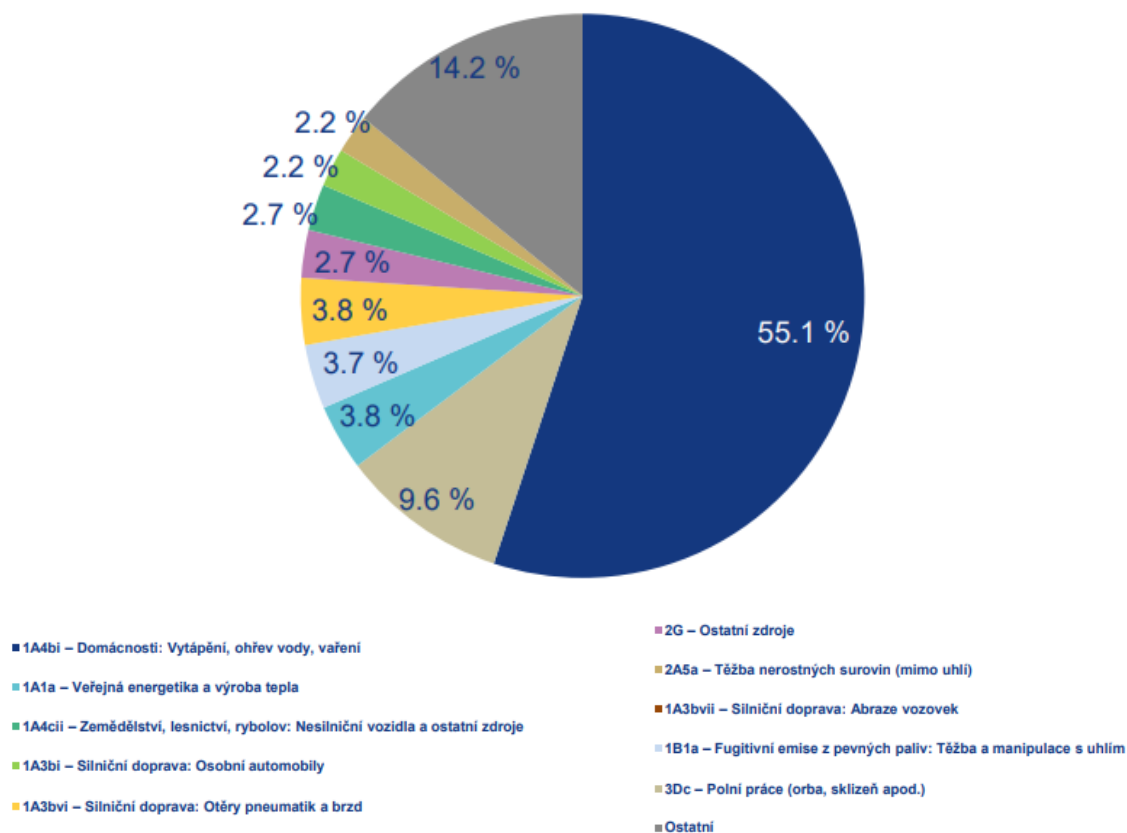
Zdrojem suspendovaných částic v ovzduší jsou jak přírodní procesy, tak antropogenní činnost. Z přirozených procesů je to například větrná eroze nebo vulkanická činnost. Z lidských zdrojů je to celá řada technologických procesů, spalování odpadu v domácnostech, doprava atd. (Vierkötter, 2017). Nezanedbatelným 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, střeších budov, okenních parapetech, ale i ve vnitřních prostorách budov, kde k víření prachu dochází chůzí (Wang, 2021).

Koncentrace suspendovaných částic v ovzduší se stanovuje pomocí automatických β -prachoměrů, pomocí optických analyzátorů či gravimetricky. V případě měření pomocí β -prachoměrů jsou prашné aerosolové částice zachytávány pomocí podtlaku na filtrační pásku ze skelného vlákna, která se automaticky odvíjí mezi β -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 prашného 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 (μg) 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 PM₁₀

Suspendované částice PM₁₀ jsou částice o aerodynamickém průměru do 10 μm . 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 PM₁₀ v České republice bylo v roce 2019 (nejnovější data) lokální vytápění domácností, které přispívalo k celkovým emisím PM₁₀ 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 13 - podíl sektorů NFR na celkových emisích PM₁₀, 2019, Česká republika.

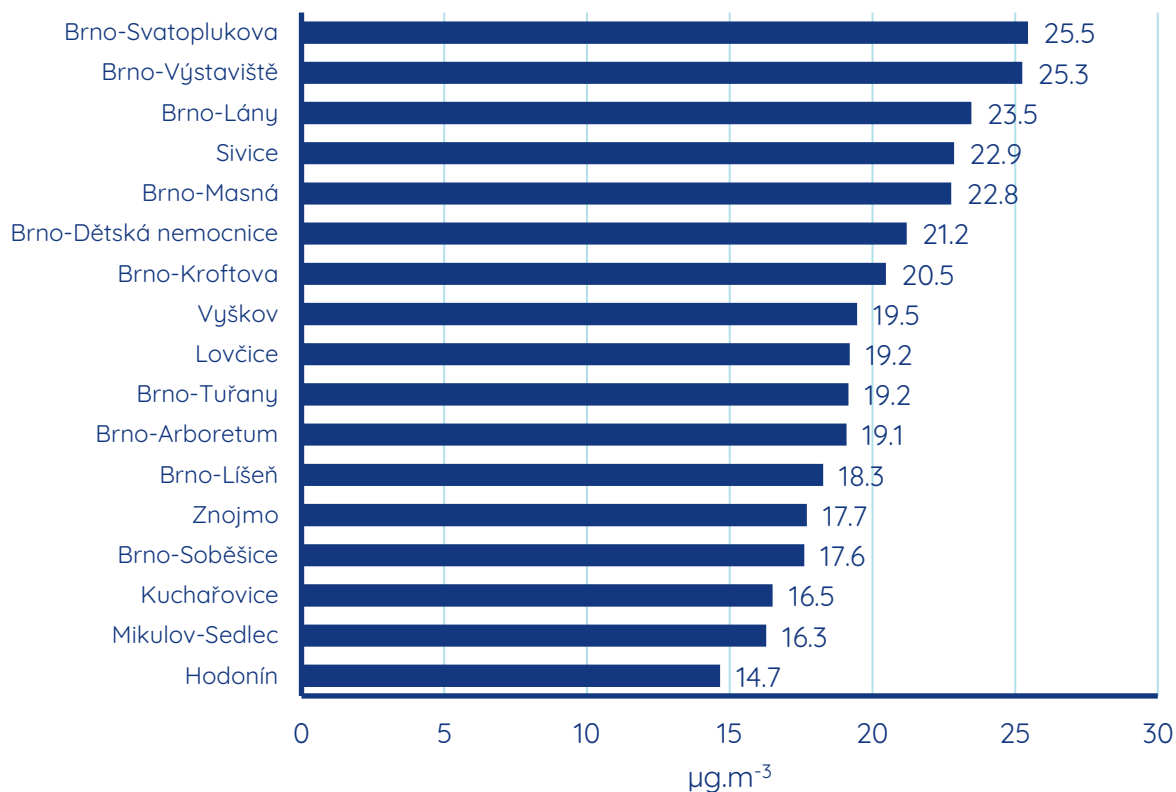
Pro koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ platí dle zákona o ochraně ovzduší v České republice dva imisní limity, a to pro 24h průměrnou koncentraci a roční průměrnou koncentraci.

Tabulka 2 - platné imisní limity pro suspendované částice PM₁₀ v České republice

Perioda	imisní limit
24h průměrná koncentrace	50 µg/m ³ max. 35 překročení / rok
roční průměrná koncentrace	40 µg/m ³

Níže uvedený graf ukazuje průměrné roční koncentrace částic PM₁₀ v roce 2021 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší roční průměrná koncentrace částic PM₁₀ byla pozorována na stanici Brno-Svatoplukova. Tato stanice patří

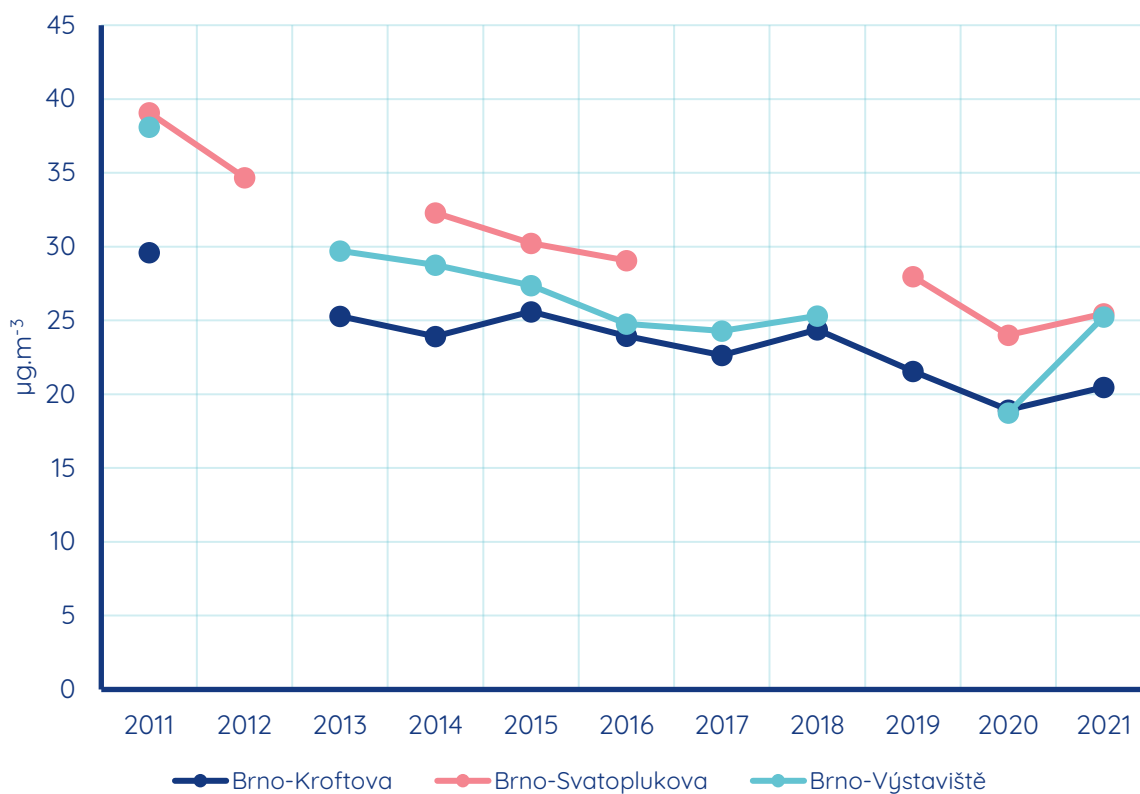
dlouhodobě ke stanicím s nejvyššími koncentracemi znečišťujících látek v Brně. Je to dáno několika faktory – jedná se o stanici extrémně dopravně zatíženou, nachází se několik metrů od komunikace, která je součástí městského okruhu, projíždí zde i tranzitní doprava a tvoří se zde velmi často kolony, zejména v době ranní a odpolední dopravní špičky. Navíc je lokalita relativně uzavřená, a tedy hůře provětrávaná. Přímo přes ulici je naproti stanici ubytovna, kde se vytápí na tuhá paliva a toto může zejména v době topné sezóny rovněž koncentrace částic na této stanici ovlivňovat výrazněji. Také stanice s druhými nejvyššími koncentracemi částic PM₁₀ v roce 2021 je stanicí dopravní a nachází se v centru města poblíž křižovatky dvou čtyřproudových komunikací v Brně-Pisárkách poblíž brněnského areálu výstaviště. Třetí nejvyšší koncentrace částic PM₁₀ byly pozorovány na předměstské pozadřové stanici Brno-Lány, která může být ovlivňována nedalekou dálnicí D1.



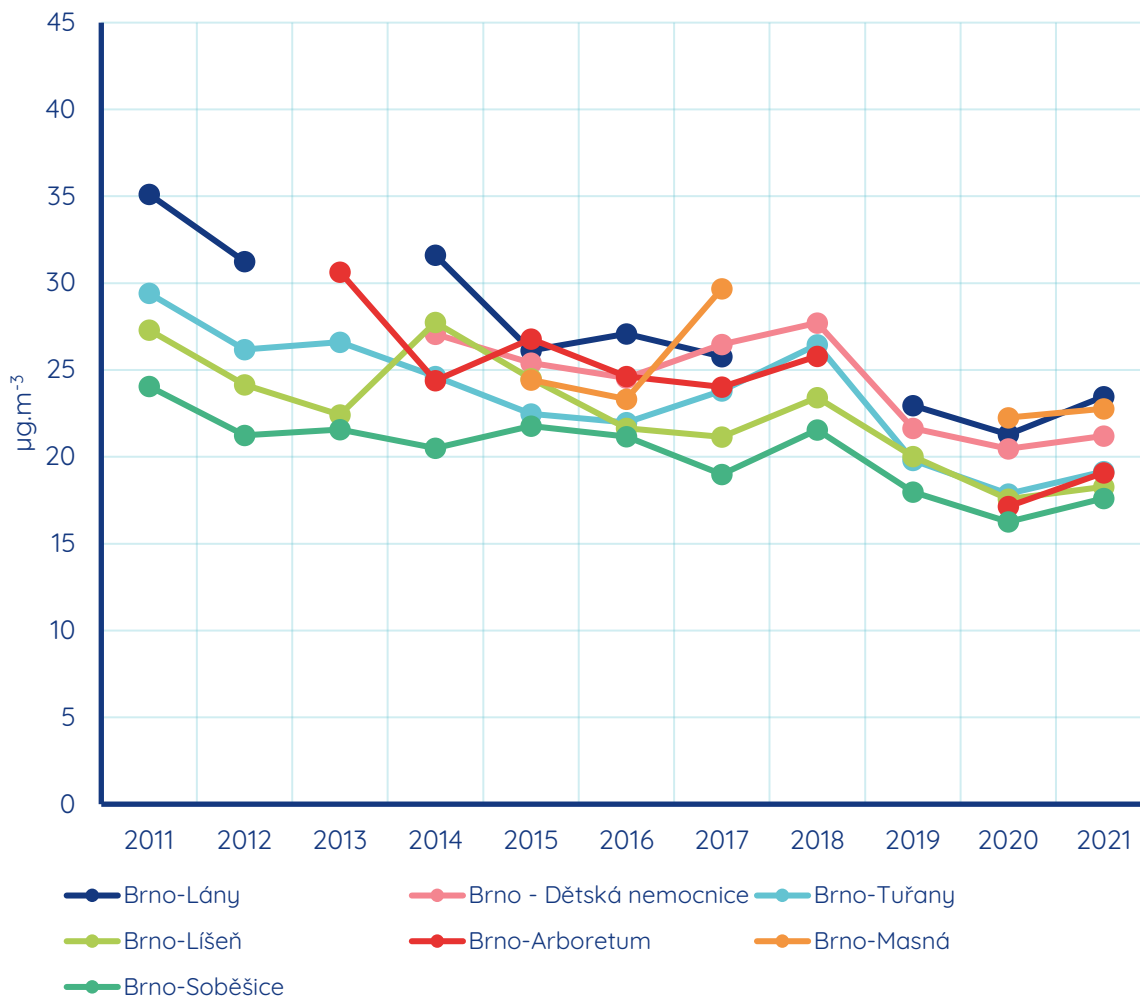
Obrázek 14 – průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Následující grafy ukazují průběh ročních průměrných koncentrací PM₁₀ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno – dopravní, Brno – pozadřové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.

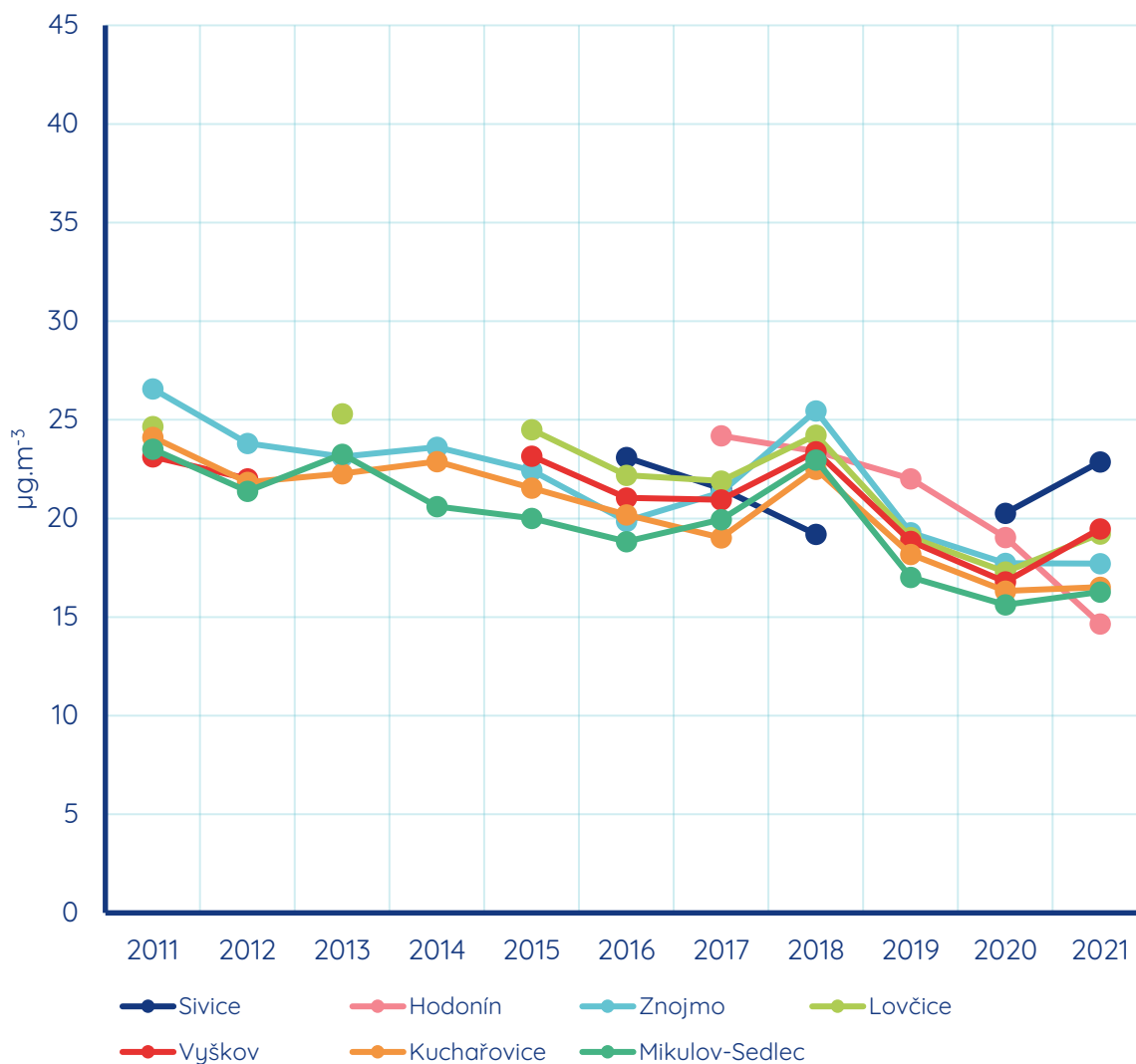
Z grafů je patrný trend dlouhodobého zlepšování kvality ovzduší v Jihomoravském kraji. Nejvíce se tento příznivý vývoj projevuje na dopravních stanicích v Brně. Z pohledu průměrných ročních koncentrací částic PM_{10} můžeme rok 2021 hodnotit velmi pozitivně. Průměrné roční koncentrace v roce 2021 byly v kontextu předchozích 10 let nízké. Ve srovnání s rokem 2020 byly však koncentrace na většině stanic vyšší. To však bylo dáno extremitou roku 2020 co do rozptylových a meteorologických podmínek, které byly v předchozím roce výrazně příznivější v klíčovou část roku pro koncentrace částic PM_{10} – v nejchladnější měsíce. Extrémní byl v roce 2020 zejména únor, který naopak v roce 2021 byl nejchladnějším měsícem v Jihomoravském kraji, a byly zaznamenány zhoršené rozptylové podmínky ve srovnání s únorů předchozího desetiletí. Výjimkou je stanice v Hodoníně, u které pozorujeme setrvalý postupný pokles průměrných ročních koncentrací částic PM_{10} , a to i v roce 2021 ve srovnání s rokem 2020.



Obrázek 15 – průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} za období 2011 až 2021 na brněnských dopravních stanicích imisního monitoringu.

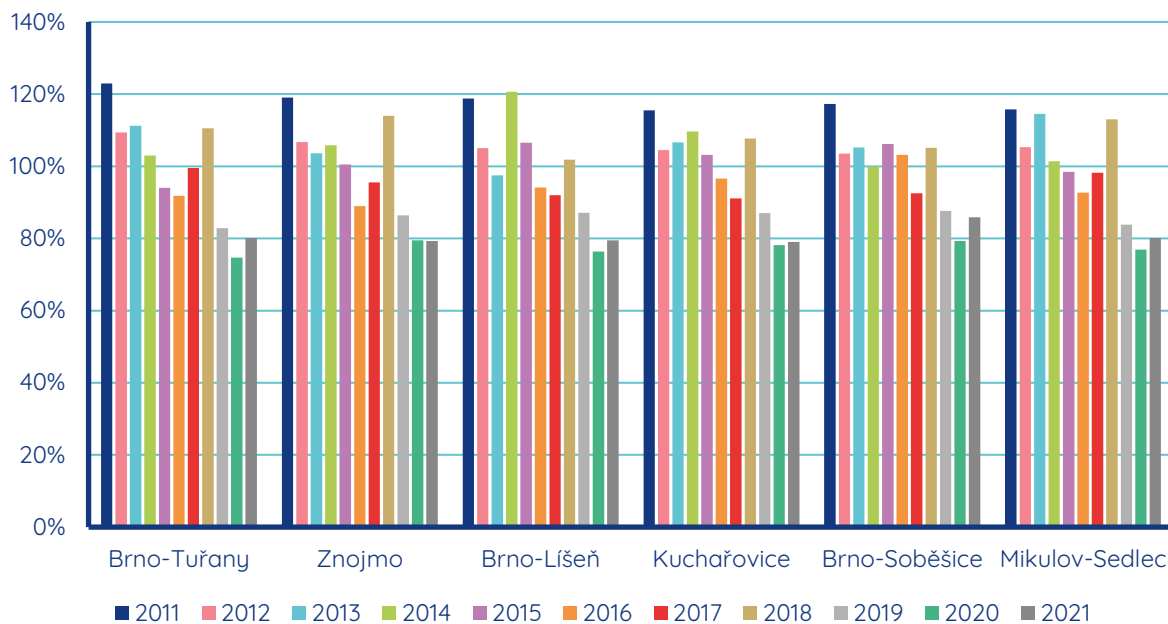


Obrázek 16 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} za období 2011 až 2021 na brněnských pozadových stanicích imisního monitoringu.



Obrázek 17 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} za období 2011 až 2021 na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

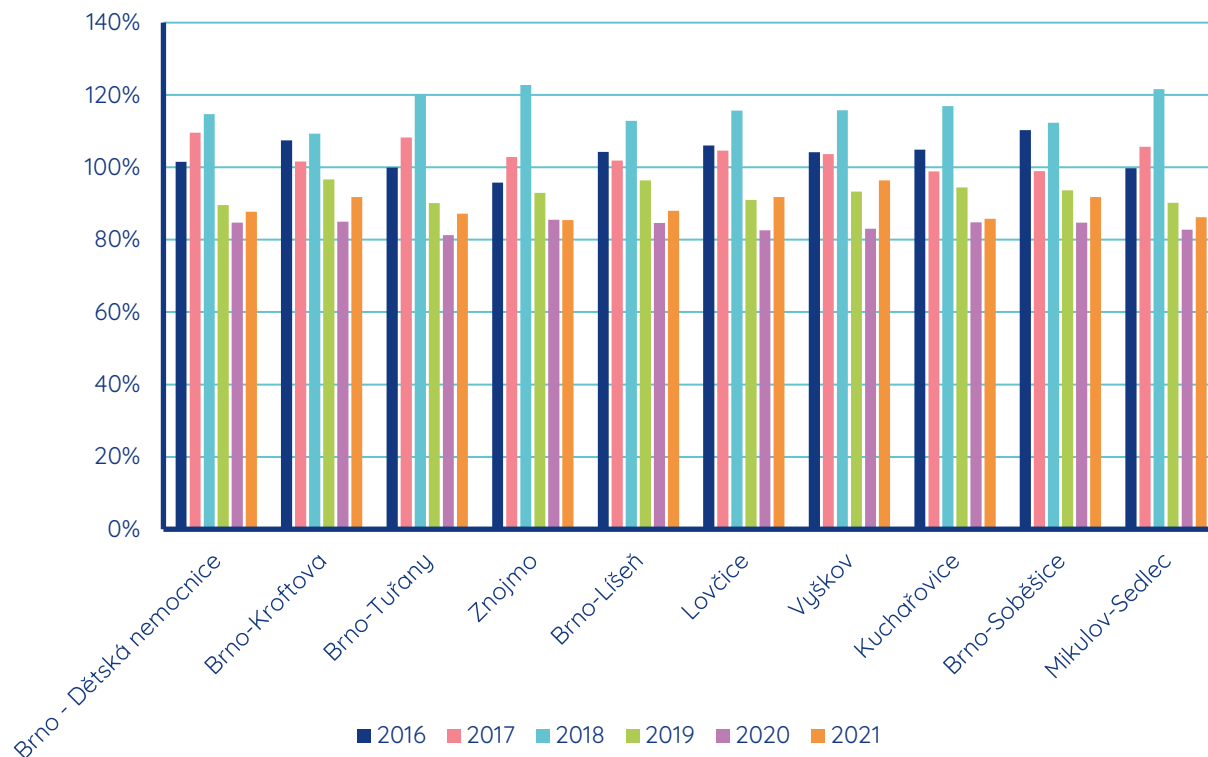
Pro jednodušší srovnání stavu v roce 2021 s roky předchozími, byl vypočítán poměr mezi průměrnou roční koncentrací částic PM_{10} v konkrétním roce a 5letým (2016-2020) a 10letým (2011-2020) průměrem. Tento poměr byl vypočítán pouze pro stanice, které mají v daném 5, příp. 10letém období kompletní datovou řadu, aby nedocházelo ke zkreslení z důvodu nedostupných dat.



Obrázek 18 – poměr dílčích ročních průměrných koncentrací částic PM_{10} vůči desetiletému průměru 2011-2020 na příslušné stanici. Zahrnutý jsou ty stanice imisního monitoringu v JMK, které mají kompletní data pro všechny hodnocené roky 2011 až 2021.

Ze srovnání s desetiletou řadou je jasně patrné, že rok 2021 byl po stránce koncentrací částic PM_{10} na všech stanicích rokem s druhými nejnižšími průměrnými ročními koncentracemi po historicky nejlepším roce 2020. Meziroční variabilita je dána často primárně rozptylovými a meteorologickými podmínkami, které byly v roce 2020 velmi příznivé. Z výše uvedeného grafu je tedy patrné, že pokračuje trend dlouhodobého zlepšování kvality ovzduší na území Jihomoravského kraje, co do suspendovaných částic PM_{10} .

Níže uvedený graf představuje totožný graf, tentokrát však srovnání s 5letým obdobím, pro které je k dispozici datová sada z více stanic.

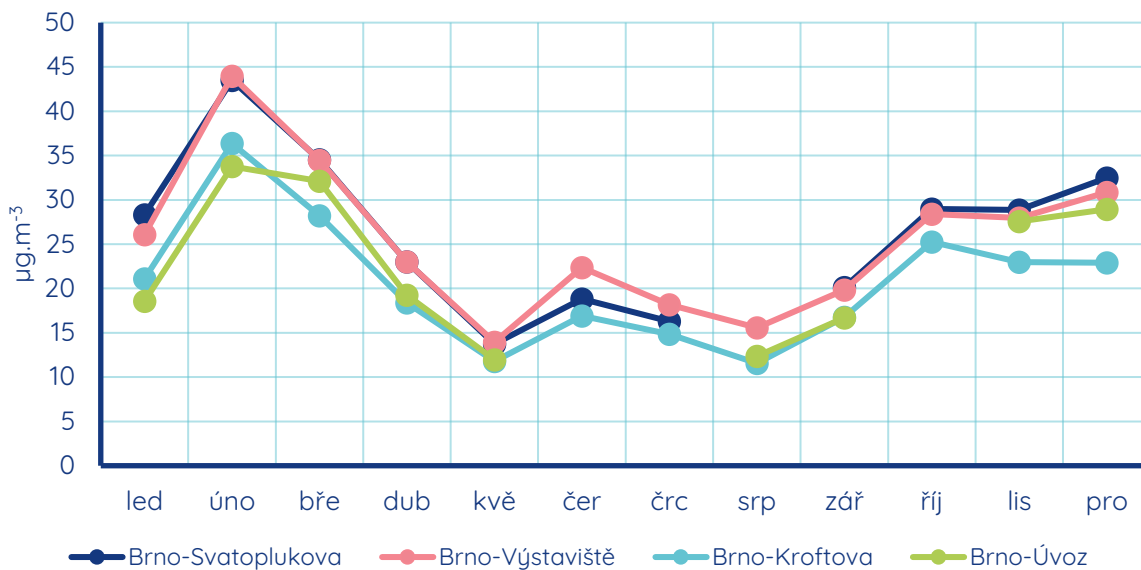


Obrázek 19 - poměr dílčích ročních průměrných koncentrací částic PM_{10} vůči pětiletému průměru 2016-2020 na příslušné stanici. Zahrnuty jsou ty stanice imisního monitoringu v JMK, které mají kompletní data pro všechny hodnocené roky 2016 až 2021.

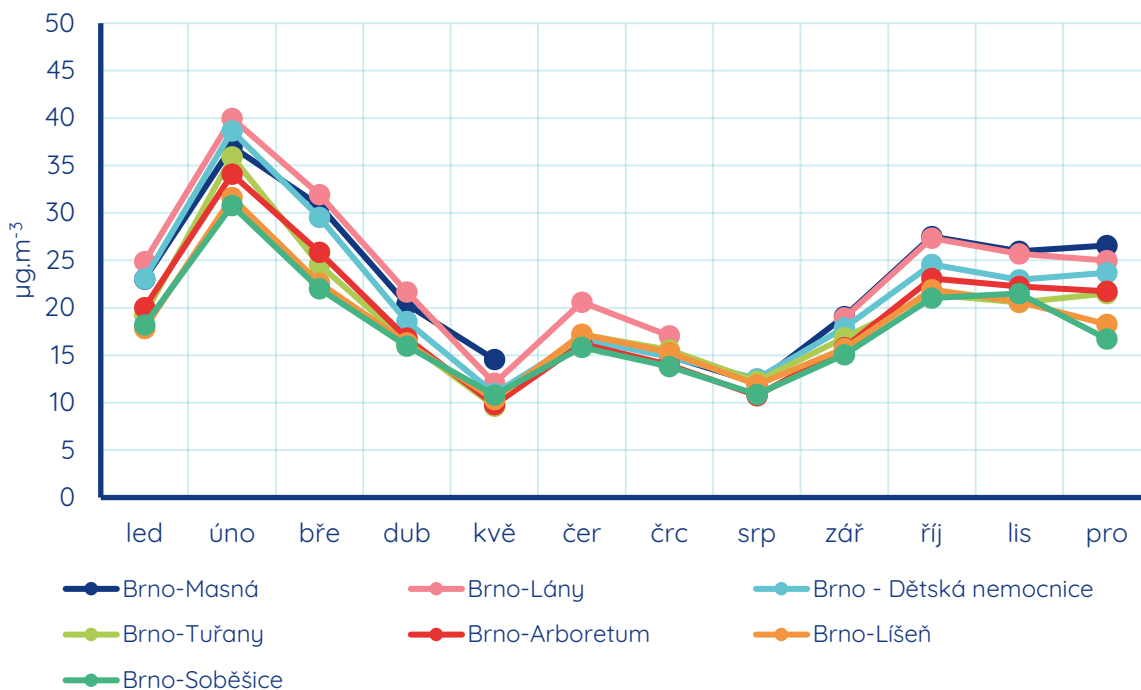
Také v kontextu předchozích 5 let byly koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v roce 2021 relativně nízké. Na většině stanic druhé nejnížší po roce 2020.

Koncentrace částic PM_{10} obecně vykazují relativně výrazný roční chod. Vzhledem k velmi výraznému vlivu vytápění a v souvislosti s dlouhodobě horšími rozptylovými podmínkami v chladném období, bývají koncentrace částic PM_{10} nejvyšší na začátku a konci kalendářního roku, v období nejnižších teplot. Tento typický roční chod se projevuje zejména na stanicích ovlivněných výrazněji vytápěním (např. pozadřové stanice v blízkosti menších obcí), naopak méně se obecně projevuje na stanicích dopravních, kde je vyšší podíl dopravy, jejíž intenzita se v průběhu roku příliš nemění. Konkrétní hodnotu měsíčního průměru koncentrace však velmi výrazně ovlivňují aktuální meteorologické a rozptylové podmínky.

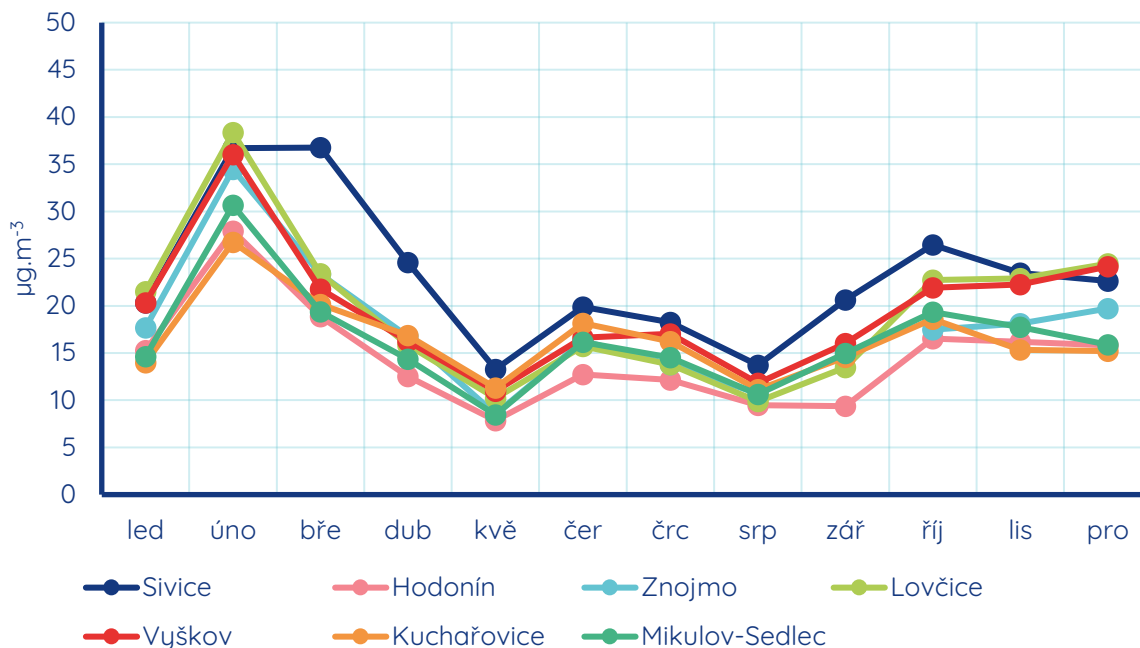
Níže uvedené grafy ukazují průměrné měsíční koncentrace částic PM_{10} pro jednotlivé stanice v Jihomoravském kraji v roce 2021. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno - dopravní stanice, Brno - pozadřové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.



Obrázek 20 – průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na dopravních stanicích imisního monitoringu v Brně za rok 2021.



Obrázek 21 - průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na pozadových stanicích imisního monitoringu v Brně za rok 2021.

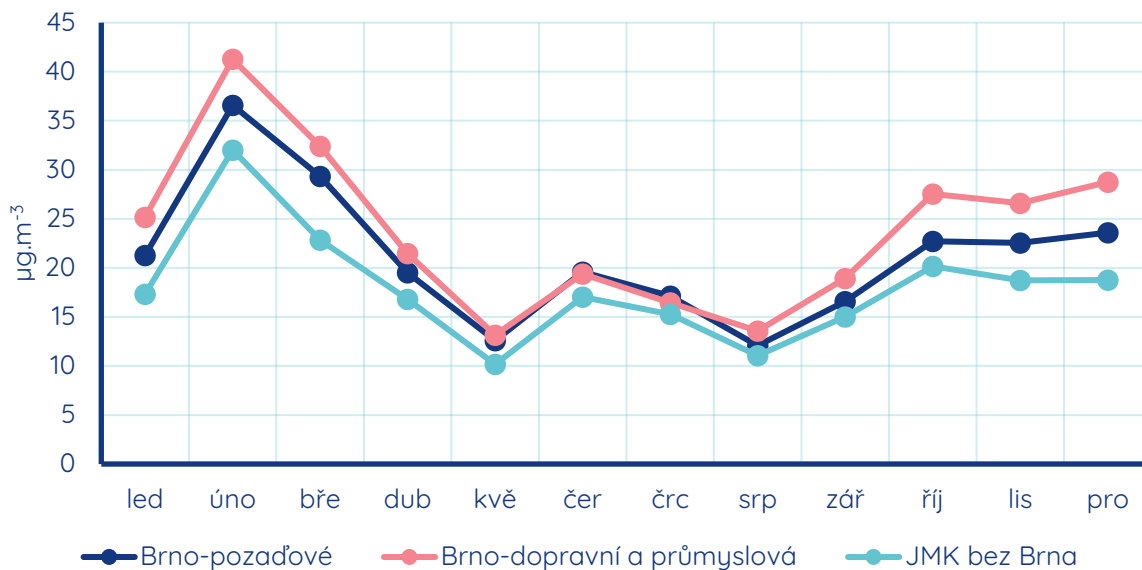


Obrázek 22 - průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

V případě všech ostatních stanic je dobře patrný velmi podobný vývoj koncentrací v průběhu roku.

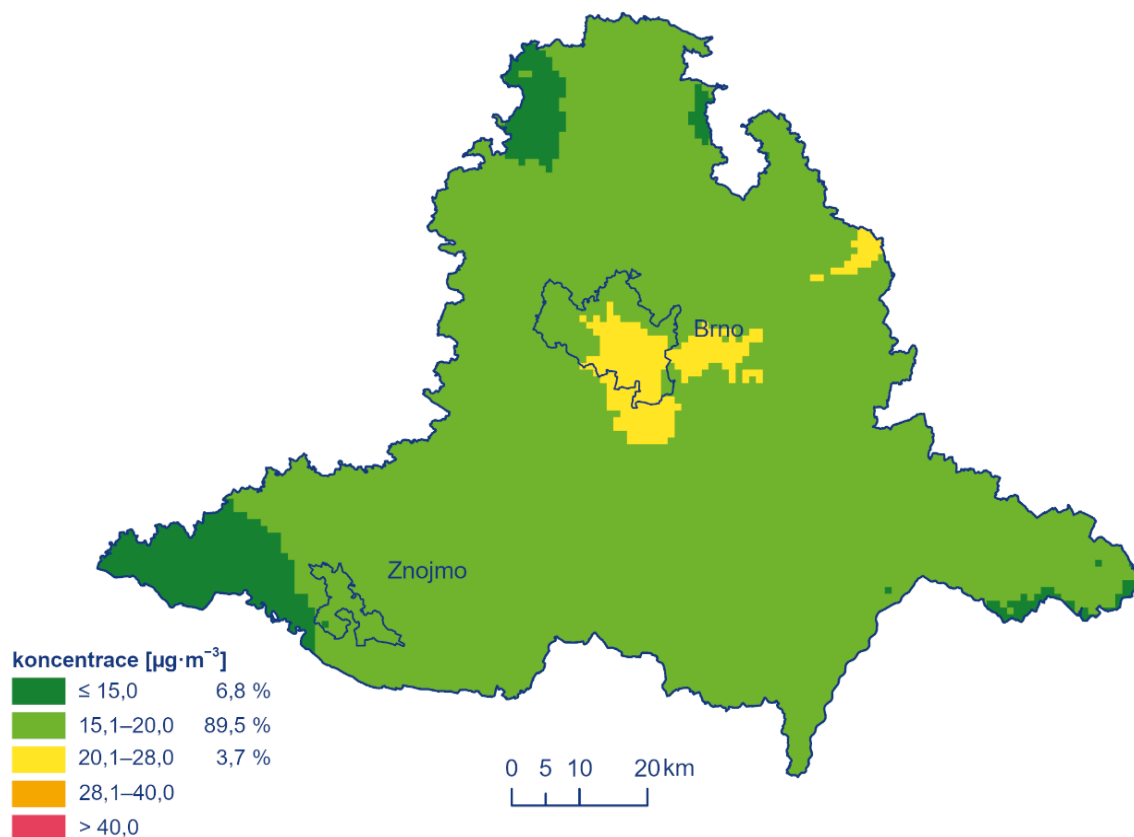
Zatímco v roce 2020 byl únor extrémní v pozitivním slova smyslu a koncentrace byly v tomto měsíci hluboko pod únorovým průměrem, v roce 2021 byly naopak v únoru koncentrace suspendovaných částic na všech typech stanic nejvyšší – to dobře ilustruje fakt, že se nejedná o vliv konkrétního zdroje, ale o plošný vliv zhoršených rozptylových podmínek, a to v topném měsíci, kdy se navíc v takovém případě výrazněji projeví právě vliv znečišťování vytápěním.

Graf níže představuje souhrnný graf průměrných koncentrací částic PM₁₀ na výše hodnocených stanicích. Graf představuje průměr pro brněnské dopravní, brněnské pozadové a mimobrněnské stanice.



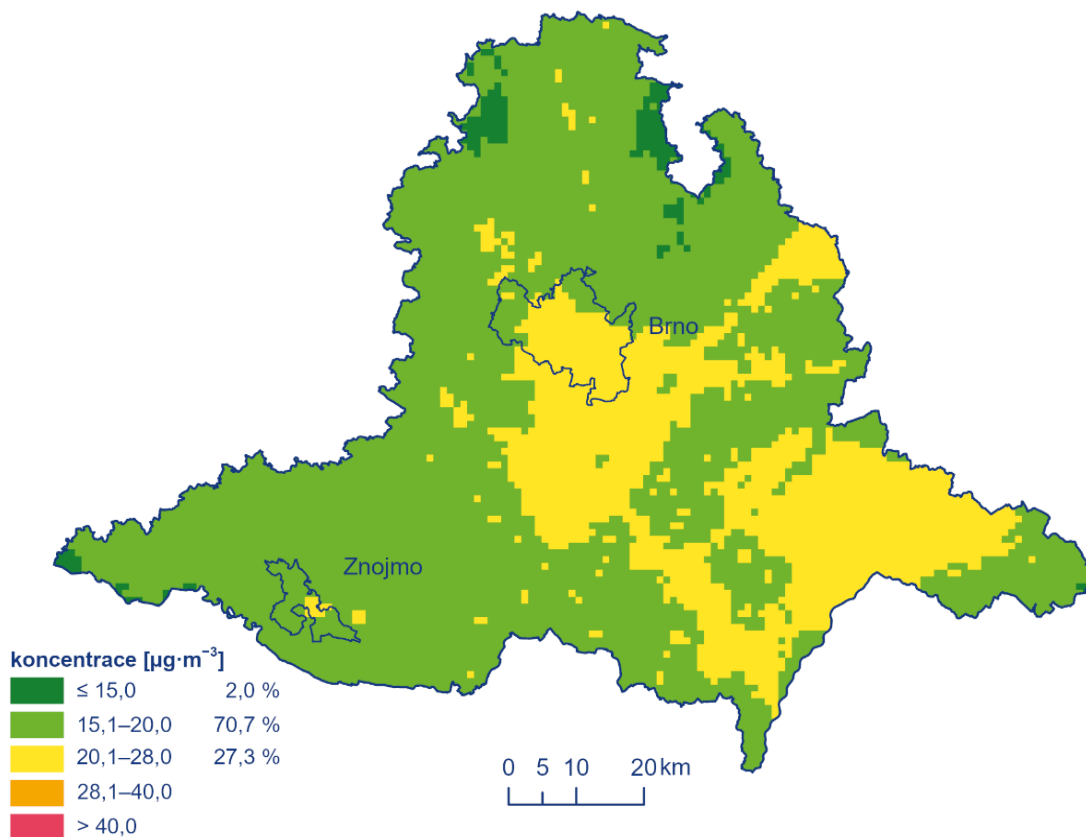
Obrázek 23 – průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v jednotlivé měsíce roku 2021 pro brněnské dopravní stanice, brněnské pozadové stanice a mimobrněnské stanice imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

Následující mapa ukazuje pole průměrné roční koncentrace částic PM₁₀ v Jihomoravském kraji v roce 2021. Jak ukazuje mapa, roční imisní limit, který v případě částic PM₁₀ představuje 40 µg.m⁻³, nebyl v roce 2021 překročen nikde v Jihomoravském kraji (červená barva). Zastoupen není ani interval 28 až 40 µg.m⁻³: Na pouze necelých 4 % území JMK byly dle modelu průměrné roční koncentrace částic PM₁₀ nad 20 µg.m⁻³, avšak nižší než 28 µg.m⁻³. Jedná se například o jižní část část a centrum Brna, dále oblast v těsné blízkosti od Brna směrem na východ.



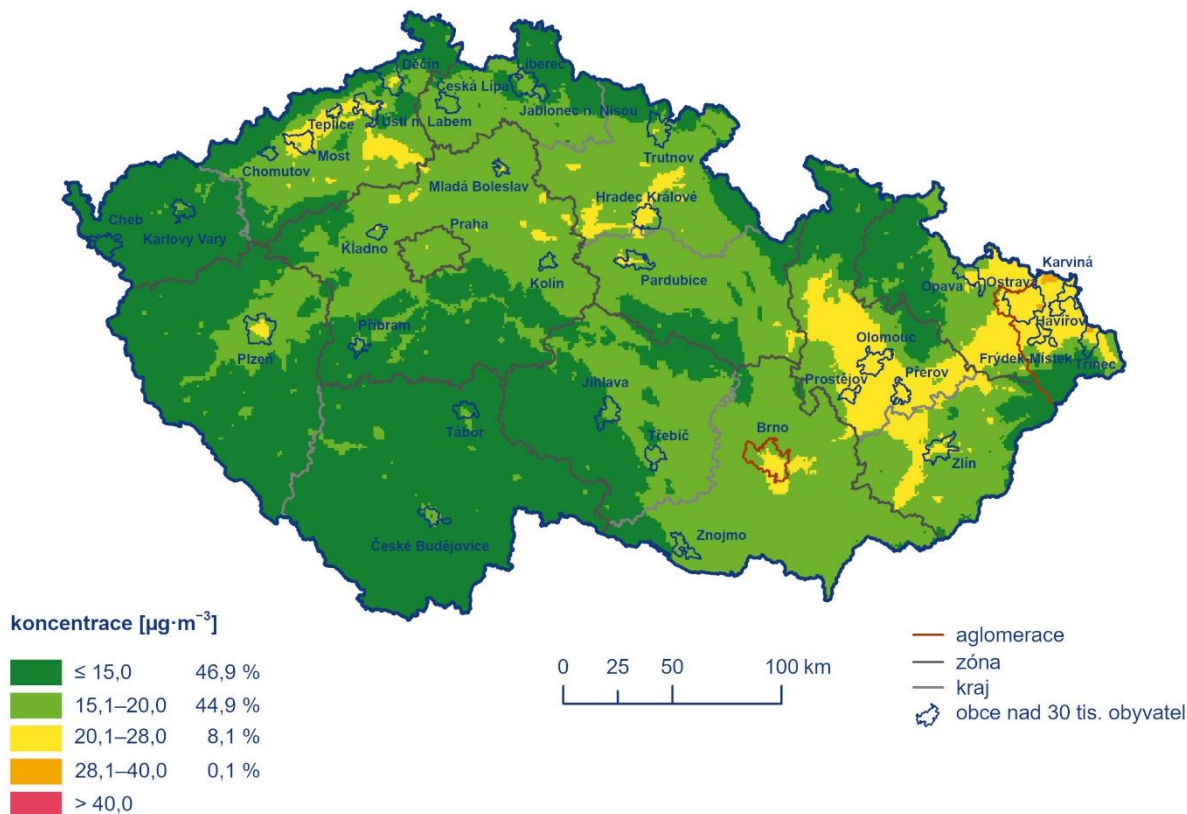
Obrázek 24 – pole průměrné roční koncentrace PM_{10} v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

Pro srovnání je níže uvedena totožná mapa, tentokrát však jako pětiletý průměr 2017 až 2021. Průměrné pětileté koncentrace částic PM_{10} jsou na všech místech kraje dle modelu nižší než $28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a na severu a západě kraje dokonce nižší než $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Imisní limit není překročen nikde v kraji a hodnotě imisního limitu se žádná lokalita ani nepřibližuje.

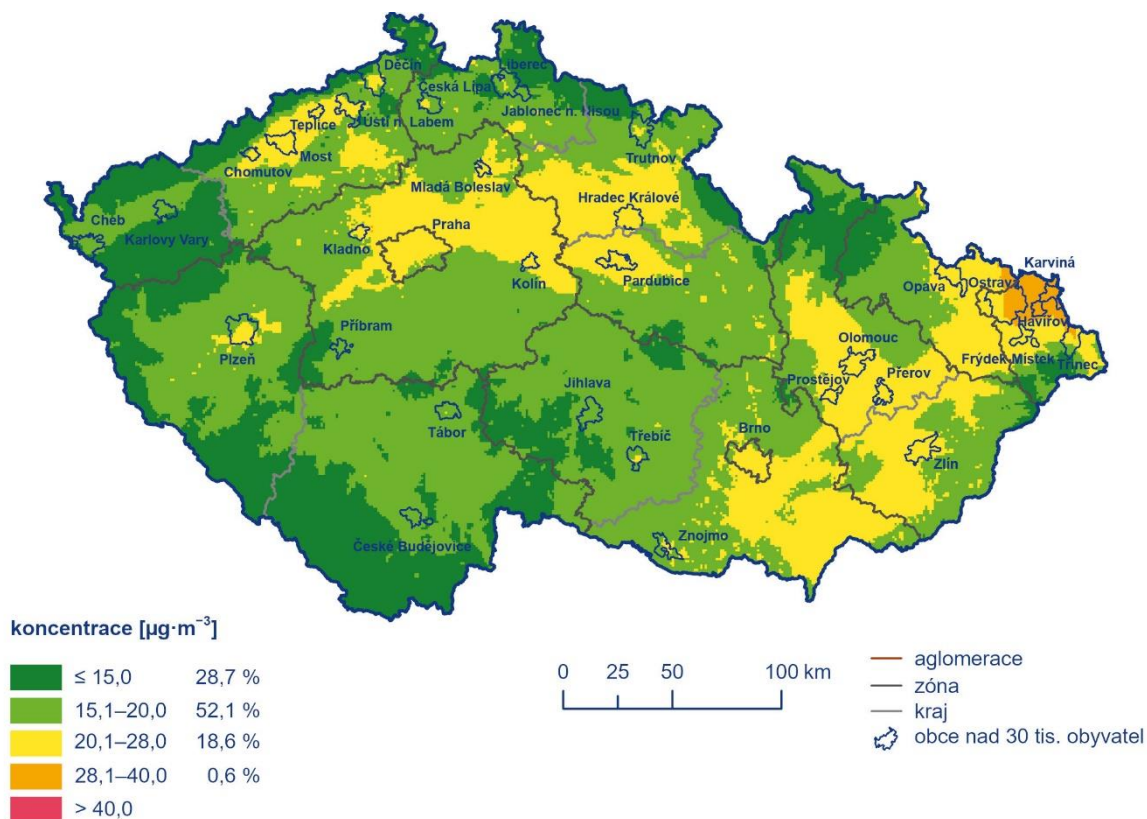


Obrázek 25 – pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} za období 2017-2021 v Jihomoravském kraji.

Následující mapy ukazují rovněž pole průměrné roční koncentrace PM_{10} , tentokrát však pro celou Českou republiku za rok 2021 a jako pětiletý průměr. Mapa pole průměrné koncentrace v roce 2021 ukazuje, že nízké byly koncentrace částic PM_{10} v celé republice, zejména pak v jihozápadní části našeho území. Pouze na 0,1 % území byla průměrná roční hodnota vyšší než $28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a to na Karvinsku. V případě pětiletého průměru jsou patrné lokality s mírně vyšším průměrem na Ostravsku.



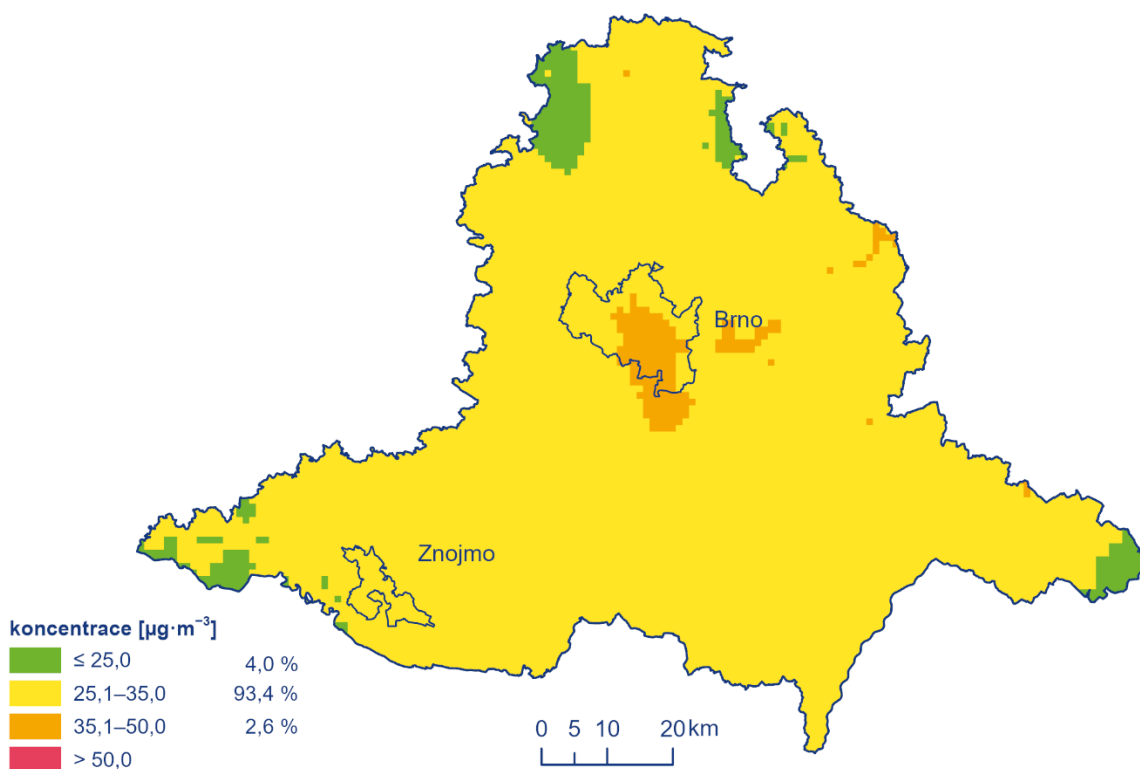
Obrázek 26 - pole průměrné roční koncentrace PM_{10} v roce 2021 v České republice.



Obrázek 27 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací PM_{10} za období 2017-2021 v České republice.

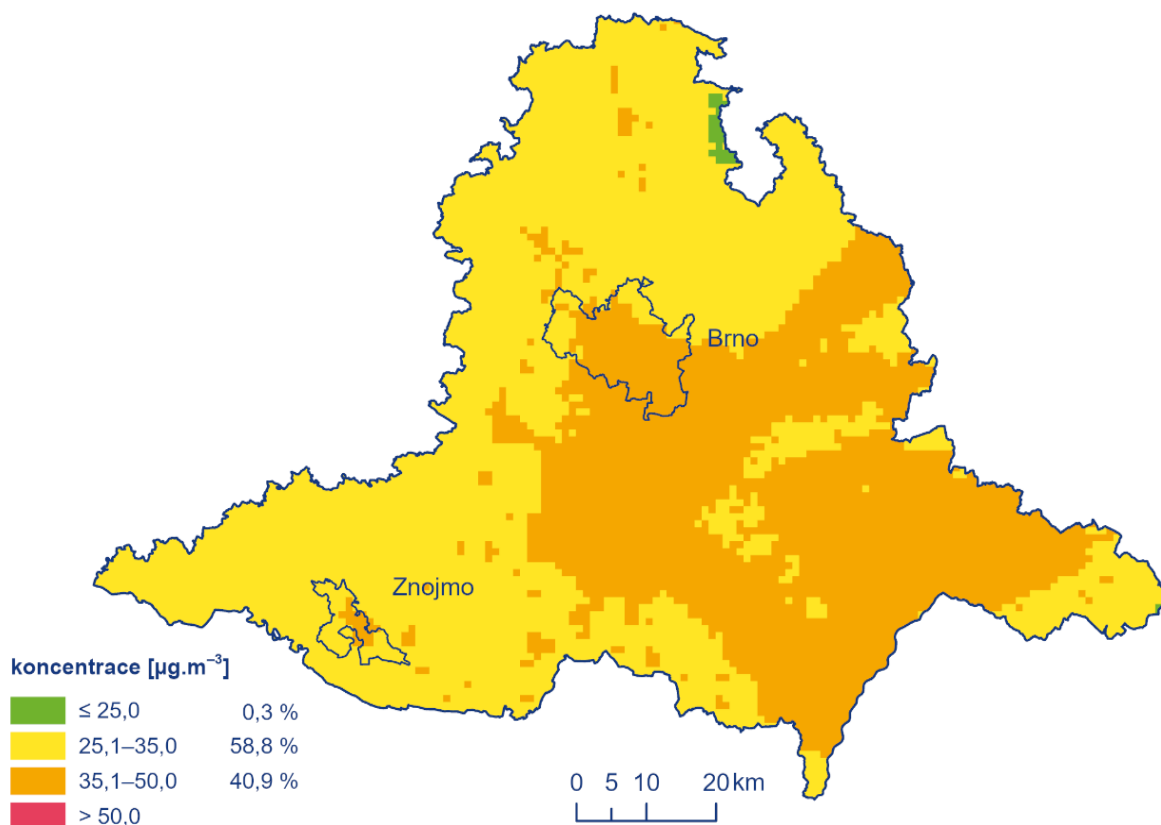
Kromě ročního limitu je v případě částic PM_{10} hodnocena také 36. nejvyšší průměrná denní koncentrace částic PM_{10} . Pokud je tato hodnota vyšší než imisní limit pro 24h koncentraci, tedy $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, znamená to, že více než 35 hodnot denních průměrných koncentrací částic PM_{10} bylo vyšších než $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy došlo k překročení 24h imisního limitu.

Mapa pole 36. nejvyšší denní průměrné hodnoty částic PM_{10} za rok 2021 ukazuje, že v téměř celém kraji je tato hodnota v intervalu od 25 do $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy podlimitní. V některých lokalitách kraje byla dokonce 36. nejvyšší denní koncentrace PM_{10} pod $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak v centru a jižní části Brna byla tato hodnota v intervalu 35 až $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což však stále představuje hodnotu podlimitní a tedy tento imisní limit v roce 2021 nikde v kraji překročen nebyl.



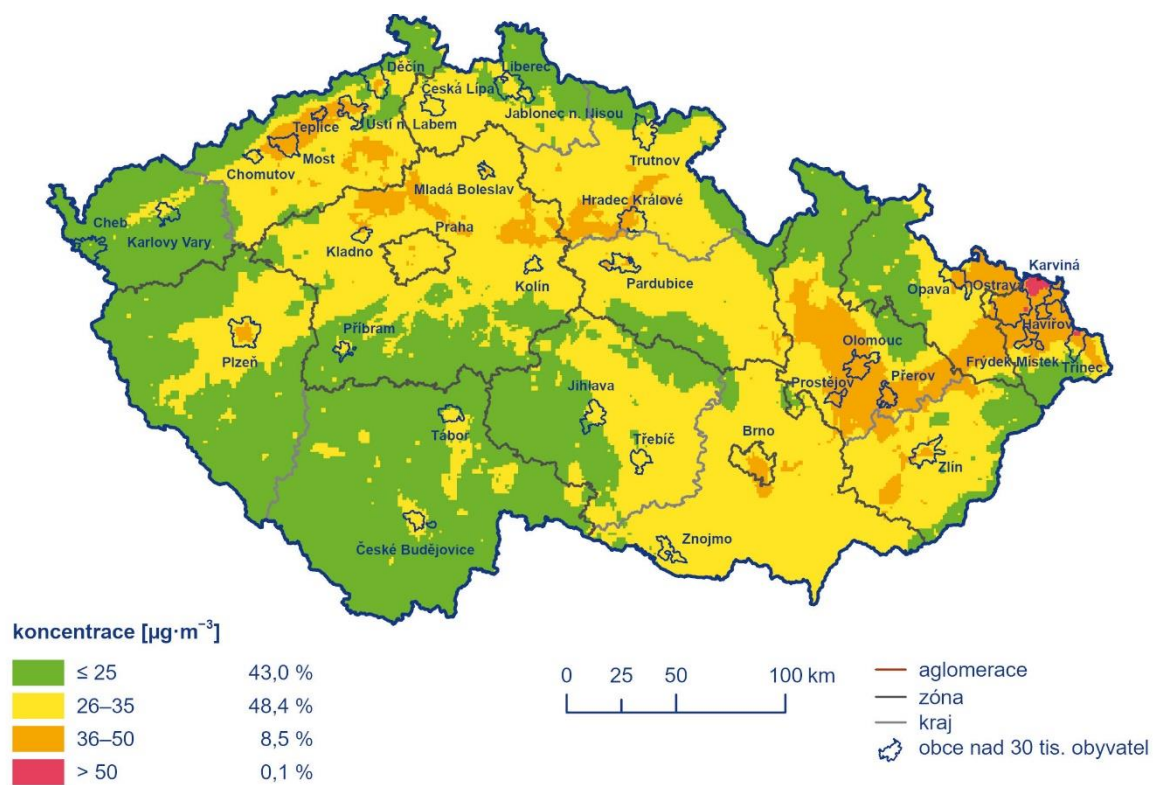
Obrázek 28 – pole 36. nejvyšší 24h koncentrace PM_{10} v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

Pětiletá průměrná 36. nejvyšší koncentrace částic PM_{10} v roce ukazuje, že ani v pětiletém průměru nebyl 24h imisní limit částic PM_{10} nikde v Jihomoravském kraji plošně překračován. Nejvíce je zastoupen interval 25,1 až $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (59 %).



Obrázek 29 – pětiletý průměr 36. nejvyšší 24h koncentrace PM_{10} za období 2017-2021 v Jihomoravském kraji.

Následující mapa ukazuje rovněž pole 36. nejvyšší koncentrace PM_{10} , tentokrát však pro celou Českou republiku za rok 2021. Na mapě je patrné, že imisní limit byl překročen na 0,1 % území, a to v oblasti Karvinska. Vyšší koncentrace v intervalu 36 až $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ jsou také pozorovány například také ve zbytku Moravskoslezského kraje nebo v kraji Olomouckém.

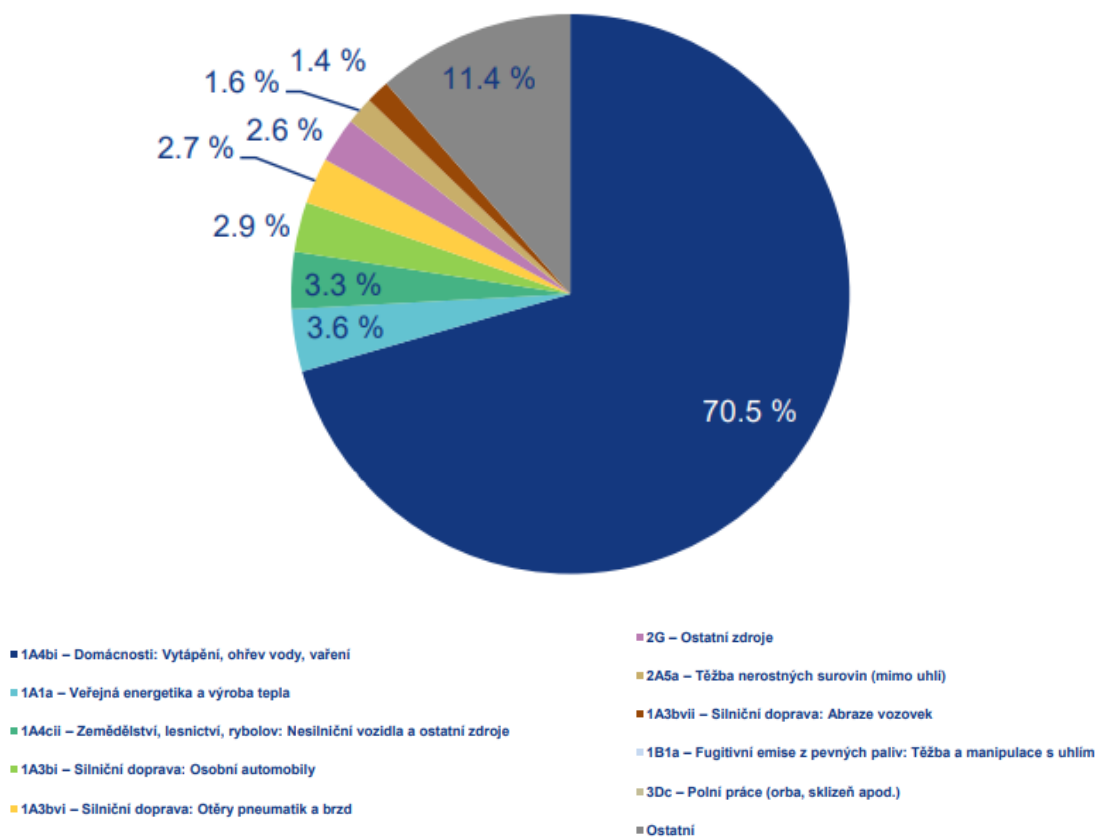


Obrázek 30 – pole 36. nejvyšší 24h koncentrace PM_{10} v roce 2021 v České republice.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

Suspendované částice PM_{2,5} 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 mohou 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 %) nebo zemědělství, lesnictví a rybolov (3,3 %). 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.



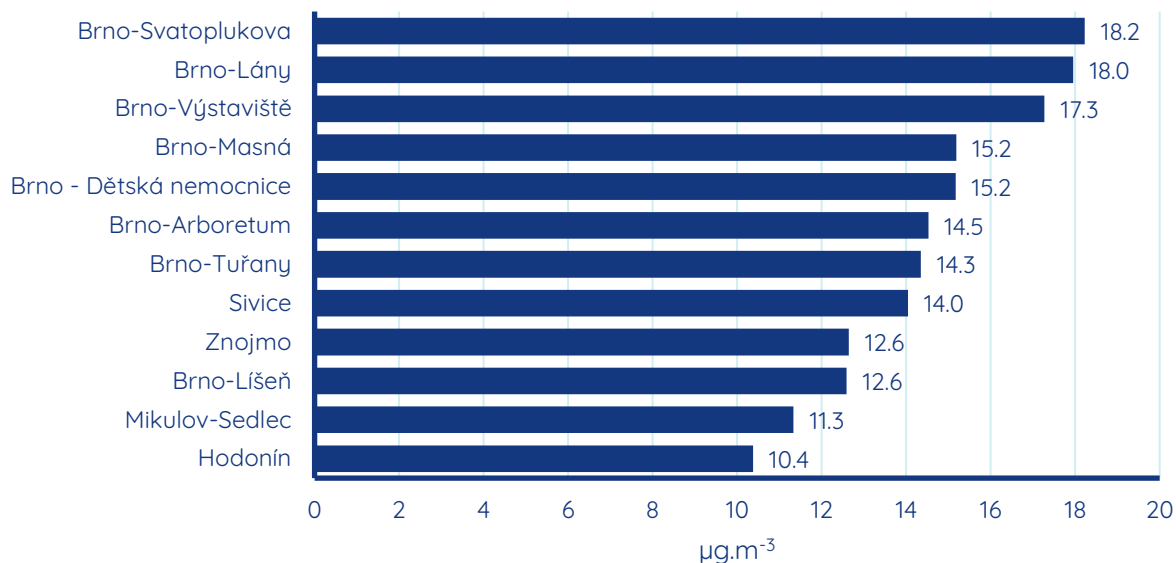
Obrázek 31 - podíl sektorů NFR na celkových emisích PM_{2,5}, 2019, Česká republika.

V zákoně o ochraně ovzduší je pro částice velikostní frakce $PM_{2,5}$ stanoven imisní limit pouze pro roční průměrnou hodnotu. Ten měl do roku 2019 hodnotu $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, od roku 2020 se snížil na $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 3 - platné imisní limity pro suspendované částice $PM_{2,5}$ v České republice

Perioda	imisní limit
roční průměrná koncentrace	$20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

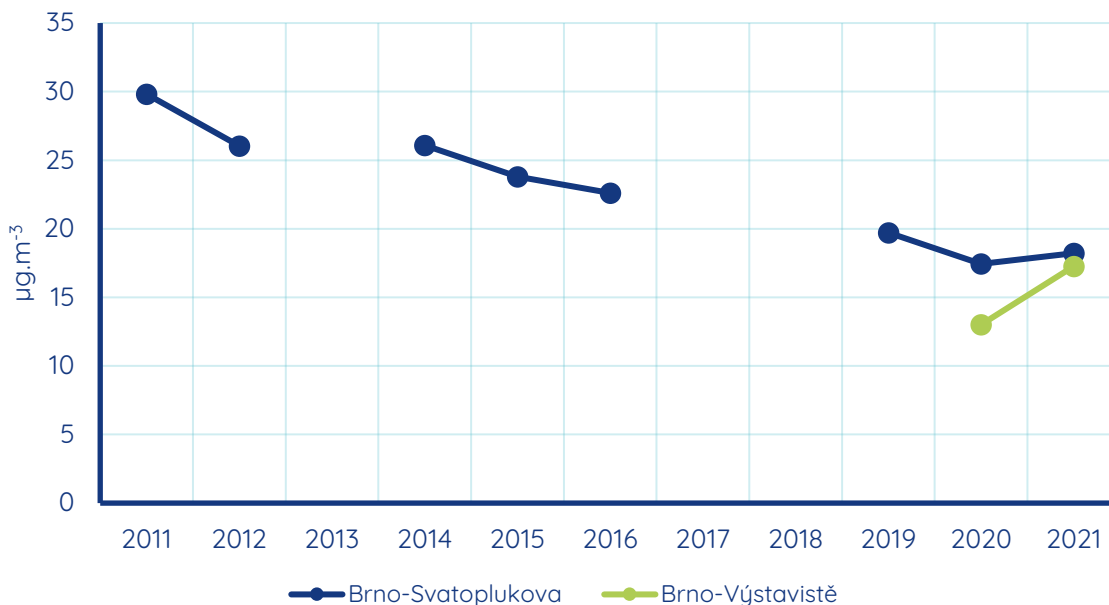
Nejvyšší průměrné roční koncentrace částic $PM_{2,5}$ v Jihomoravském kraji byly v roce 2021 naměřeny na městské dopravní stanici Brno-Svatoplukova, a to $18,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Z toho mj. vyplývá, že na žádné stanici v Jihomoravském kraji, nedošlo k překročení imisního limitu pro tuto znečišťující látku, který má hodnotu $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak nejnižší byla průměrná roční koncentrace částic $PM_{2,5}$ na stanici Hodonín.



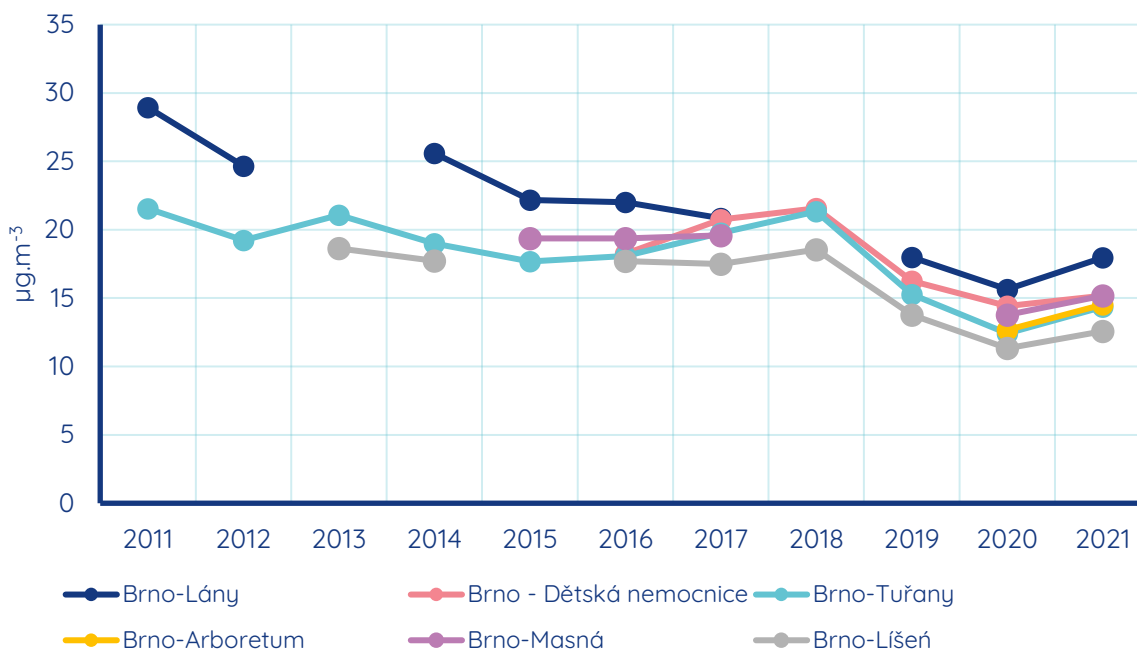
Obrázek 32 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Následující grafy ukazují průběh ročních průměrných koncentrací $PM_{2,5}$ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za období 2011 až 2021. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno – dopravní stanice, Brno – požadové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.

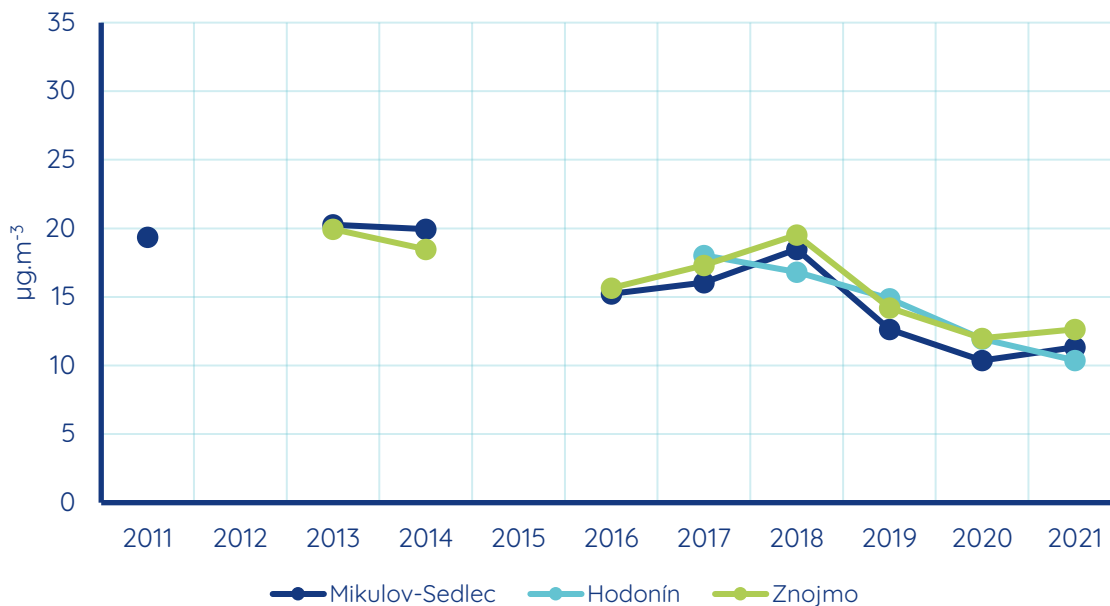
V případě všech typů stanic je patrný dlouhodobý pokles koncentrací PM_{2,5}. Ve srovnání s rokem 2020 sice průměrné roční koncentrace částic PM_{2,5} v roce 2021 nebyly tak příznivé, avšak to bylo dáno důvody popsanými výše v této zprávě. Celkově je v Jihomoravském kraji pozorován dlouhodobý trend snižování koncentrací částic PM_{2,5}.



Obrázek 33 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} za období 2011 až 2021 na brněnských dopravních stanicích imisního monitoringu.



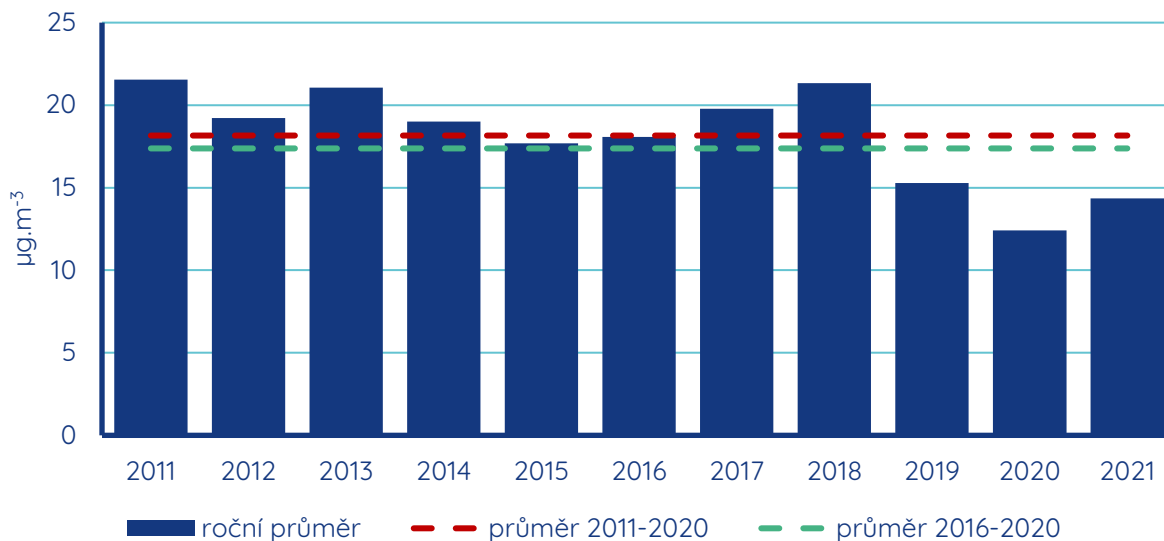
Obrázek 34 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} za období 2011 až 2021 na brněnských pozadřových stanicích imisního monitoringu.



Obrázek 35 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} za období 2011 až 2021 na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

Kompletní pětiletou a desetiletou řadu průměrných ročních koncentrací částic PM_{2,5} má k dispozici pouze stanice Brno-Tuřany. Následující sloupcový graf ukazuje srovnání jednotlivých ročních průměrů koncentrací částic PM_{2,5} ve srovnání s průměrnou hodnotou za desetileté období 2011-2020 a pětileté období 2016-2020.

Z grafu průměrných ročních koncentrací PM_{2,5} na stanici Brno-Tuřany v období 2011 až 2021 je patrné, že poslední tři hodnocené roky byly koncentrace výrazně nižší. Zatímco v období 2011 až 2018 se průměrné roční koncentrace pohybovaly v intervalu mezi přibližně 17,5 a 21,5 µg.m⁻³, v období 2019 až 2021 to bylo mezi přibližně 12 až 15 µg.m⁻³. Vůbec nejnižší byly koncentrace v již zmíněný rok 2020, kdy byla v České republice pozorována historicky nejlepší kvalita ovzduší plošně. V roce 2021 byla hodnota ročního průměru mírně vyšší (14,3 µg.m⁻³) ve srovnání s rokem 2020 (12,4 µg.m⁻³), avšak stále výrazně nižší než 10letý průměr 2011-2020 (18,2 µg.m⁻³) i než 5letý průměr 2016-2020 (17,4 µg.m⁻³).

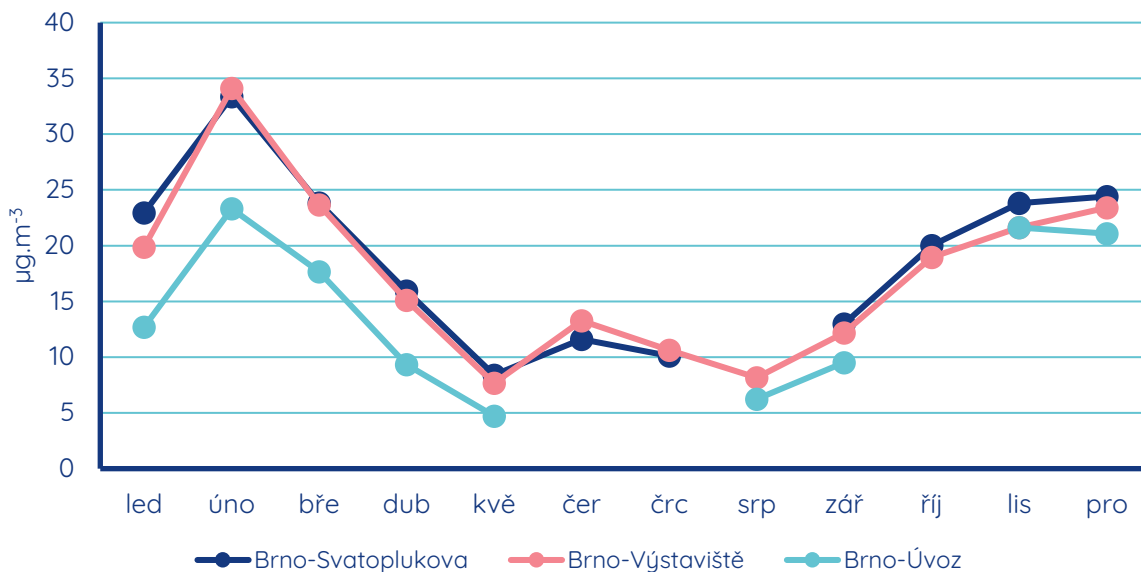


Obrázek 36 – průměrná roční koncentrace v dílčích letech, desetiletý průměr koncentrací za období 2011-2020 a pětiletý průměr koncentrací za období 2016-2020 suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Tuřany.

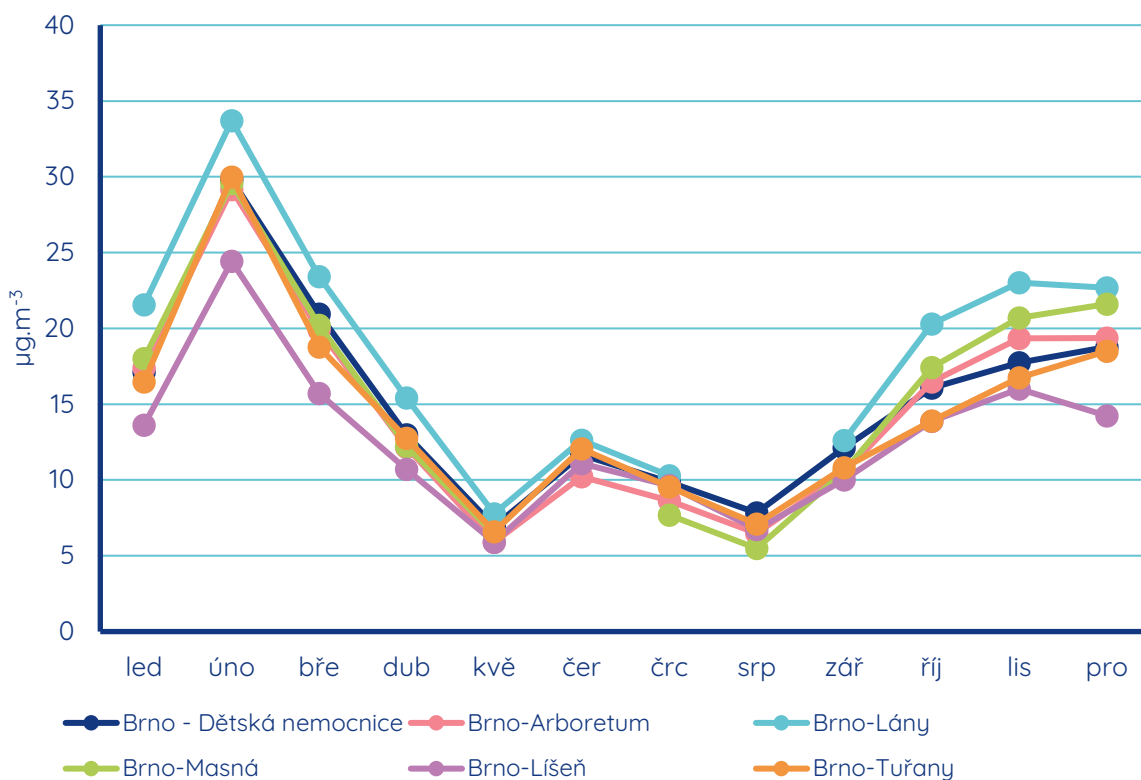
Koncentrace částic PM_{2,5} obecně vykazují relativně výrazný roční chod. Vzhledem k velmi výraznému vlivu vytápění a v souvislosti s dlouhodobě horšími rozptylovými podmínkami v chladném období, bývají koncentrace částic PM_{2,5} nejvyšší na začátku a konci kalendářního roku, v období nejnižších teplot. Tento typický roční chod se projevuje zejména na stanicích ovlivněných výrazněji vytápěním (např. pozadřové stanice v blízkosti menších obcí), naopak méně se obecně projevuje na stanicích dopravních, kde je vyšší podíl dopravy, jejíž intenzita se v průběhu roku příliš nemění. Konkrétní hodnotu měsíčního průměru koncentrace však velmi výrazně ovlivňují aktuální meteorologické a rozptylové podmínky.

Níže uvedené grafy ukazují průměrné měsíční koncentrace částic PM_{2,5} pro jednotlivé stanice v Jihomoravském kraji v roce 2021. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno – dopravní, Brno – pozadřové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.

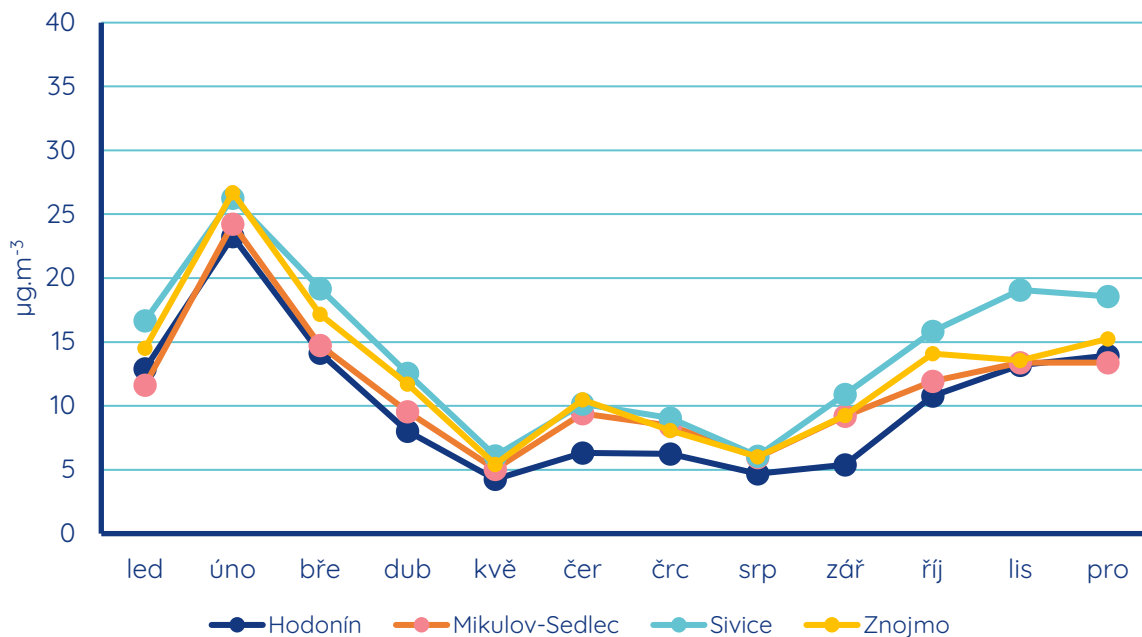
V případě všech stanic je patrný velmi podobný trend, přestože v absolutních hodnotách se stanice vzájemně odlišují. Nejvyšší hodnoty byly pozorovány v únoru a ke konci kalendářního roku. Nejnižší průměrné měsíční koncentrace částic PM_{2,5} byly v roce 2021 zaznamenány od května do srpna, tedy v nejteplejší část roku a mimo topnou sezónu, což odpovídá dlouhodobému trendu neboť téměř tři čtvrtiny emisí PM_{2,5} v České republice pochází z lokálního vytápění domácností.



Obrázek 37 - průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na dopravních stanicích imisního monitoringu v Brně za rok 2021.

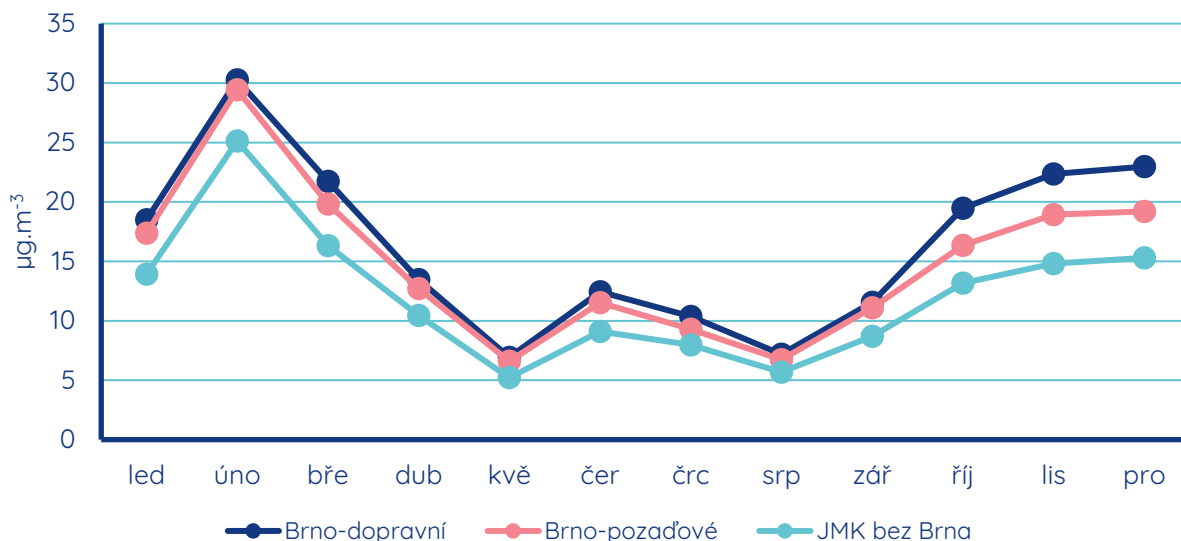


Obrázek 38 - průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na pozadových stanicích imisního monitoringu v Brně za rok 2021.



Obrázek 39 - průběh průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

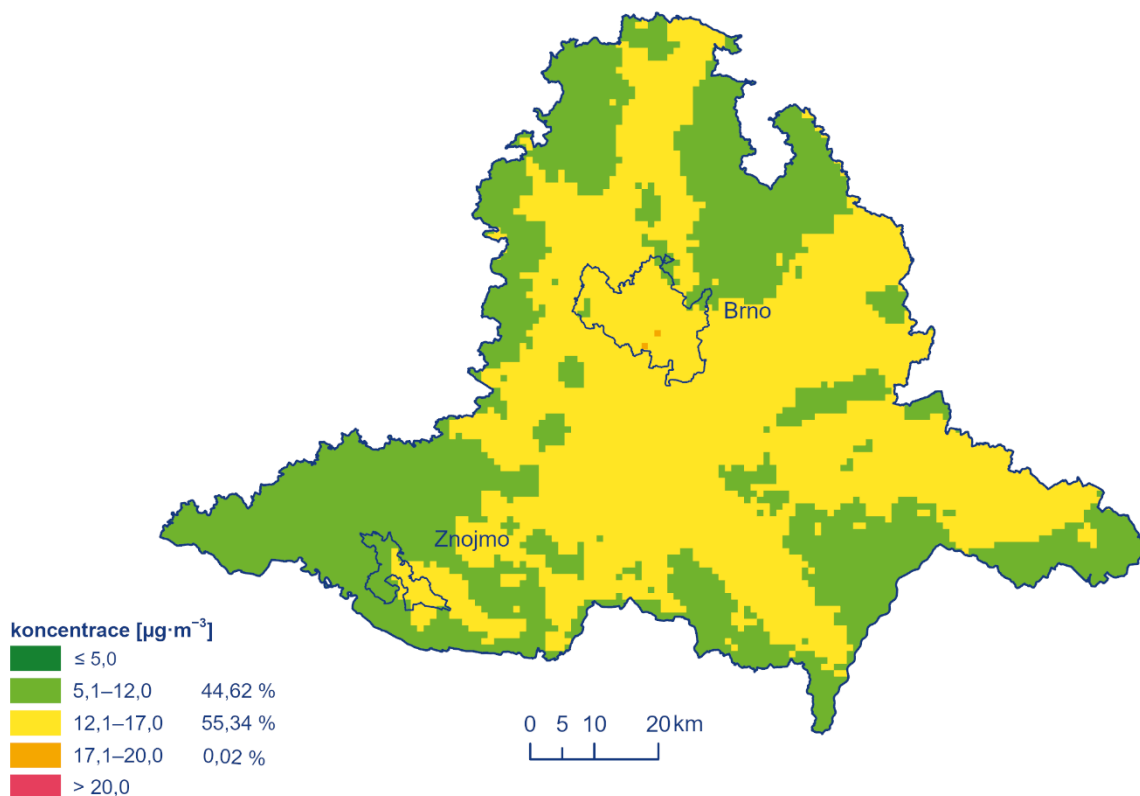
Graf níže představuje souhrnný graf průměrných koncentrací částic PM_{2,5} na výše hodnocených stanicích. Graf představuje průměr pro brněnské dopravní, brněnské pozadřové a mimobrněnské stanice.



Obrázek 40 - průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v jednotlivé měsíce roku 2021 pro brněnské dopravní stanice, brněnské pozadřové stanice a mimobrněnské stanice imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

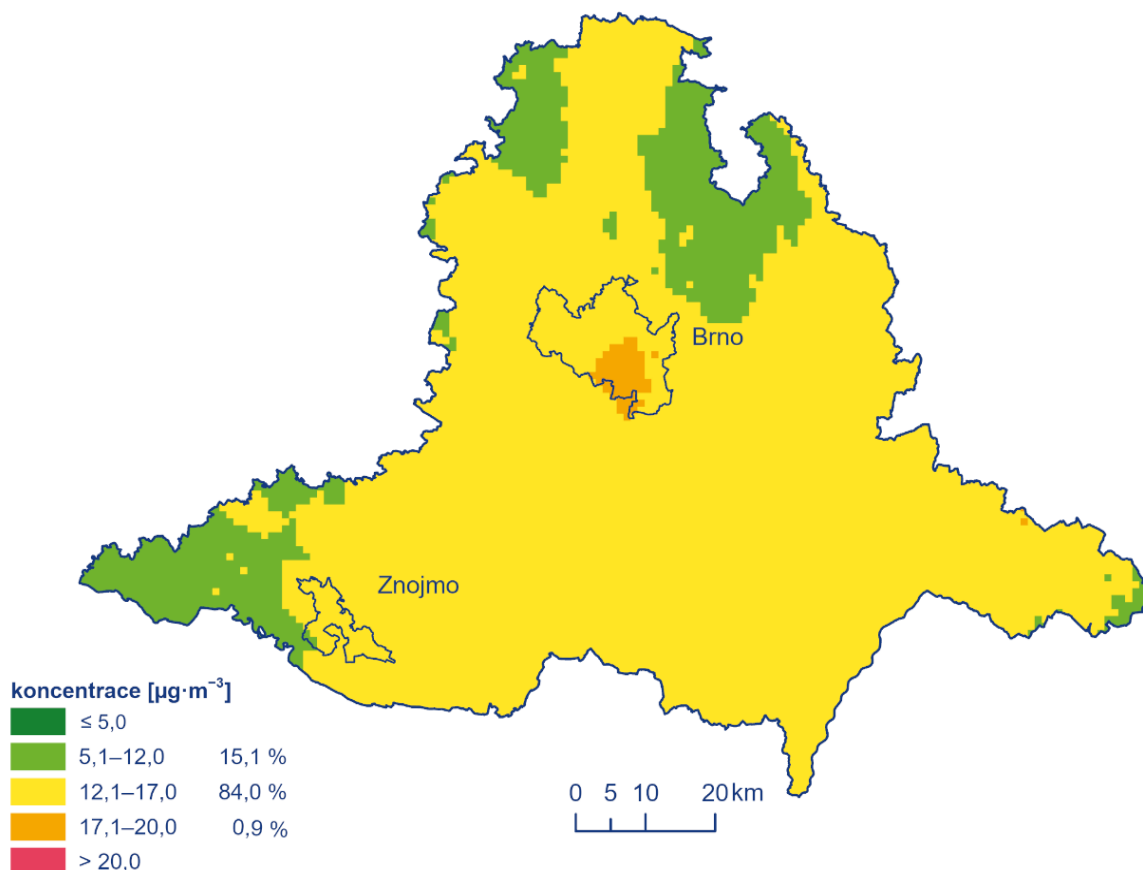
Následující mapa ukazuje pole průměrné roční koncentrace částic PM_{2,5} v Jihomoravském kraji v roce 2021. Na více než 40 % území JMK byly roční průměrné koncentrace v roce

2021 nižší než $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$: Na zbytku území byl roční průměr koncentrací částic $\text{PM}_{2,5}$ v intervalu $12,1$ až $17 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na velmi malém území ($0,02 \%$ kraje) v Brně byly koncentrace v intervalu $17,1$ až $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



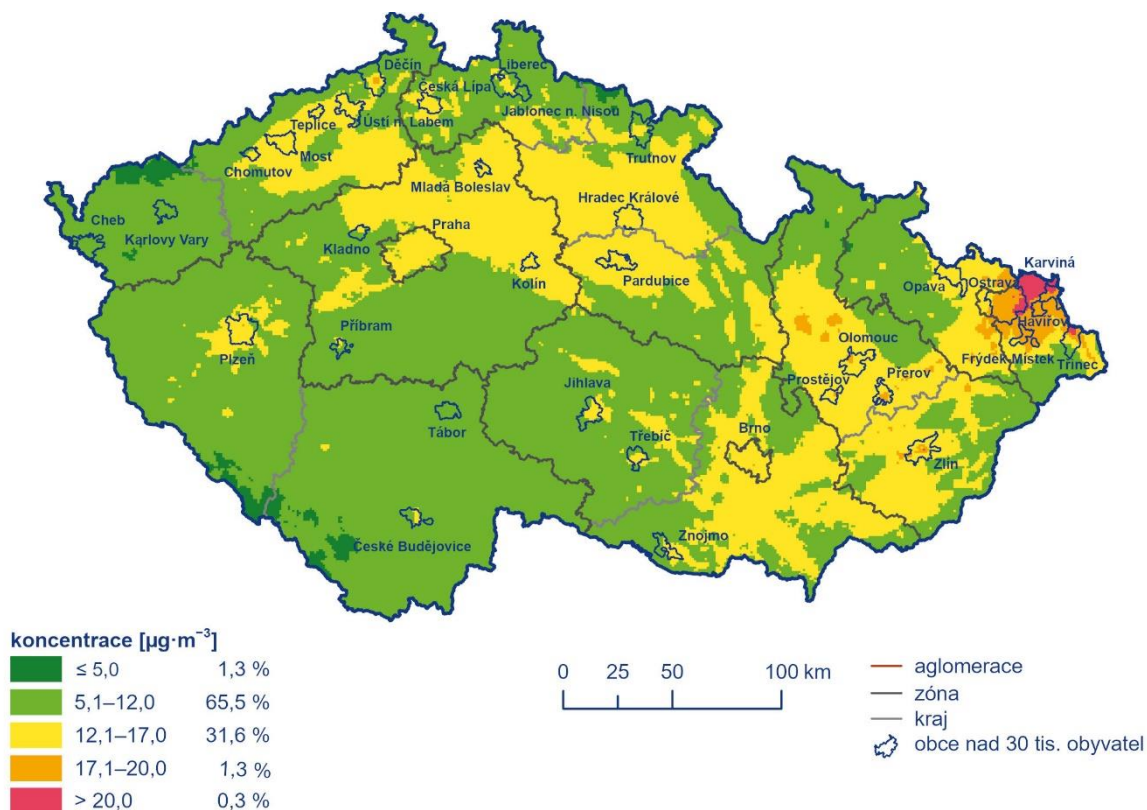
Obrázek 41 - pole průměrné roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

Níže uvedená mapa odpovídá průměrné koncentraci částic $\text{PM}_{2,5}$ v pětiletém průměru. Ani v tomto případě nedochází v plošnějším hledisku k překračování imisních limitů. Nejvyšší hodnoty, v intervalu 17 až $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, jsou pozorovány v centru Brna a v jeho jižní části. V pětiletém průměru jsou nejnižší koncentrace ročního průměru částic $\text{PM}_{2,5}$ v kraji v intervalu $5,1$ až $12,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

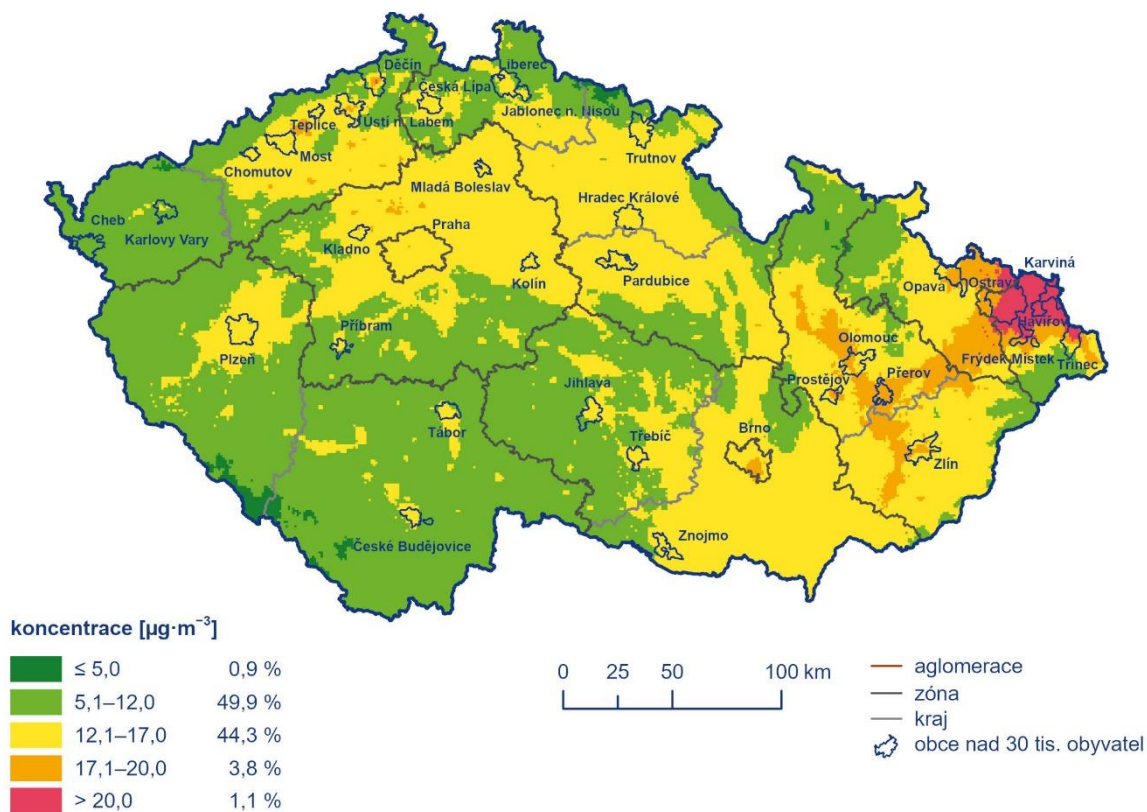


Obrázek 42 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ za období 2017-2021 v Jihomoravském kraji.

Následující mapy ukazují rovněž pole průměrné roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$, tentokrát však pro celou Českou republiku za rok 2021 a jako pětiletý průměr. Mapa pro rok 2021 ukazuje, že zvýšené koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ byly v tomto roce doménou především Moravskoslezského kraje. Odtud se pak částice šířily dále moravskou bránou a částečně až do Jihomoravského kraje. Naopak oblastí s velmi nízkými koncentracemi částic $\text{PM}_{2,5}$ je jihozápad našeho území. V pětiletém průměru jsou patrné výrazněji zvýšené koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ v Moravskoslezském kraji, především pak v okolí Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek. Naopak nejnižší koncentrace částic $\text{PM}_{2,5}$ jsou v pětiletém průměru v horských oblastech a dále například v Jihočeském kraji a v západním cípu naší republiky.



Obrázek 43 - pole průměrné roční koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ v roce 2021 v České republice.



Obrázek 44 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací $\text{PM}_{2,5}$ za období 2017-2021 v České republice.

OXIDY DUSÍKU

V kontextu kvality ovzduší se jako oxidy dusíku (NO_x) označuje součet koncentrací oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Vzhledem k faktu, že NO je přechodný meziprodukt a rychle oxiduje mj. na NO_2 , jsou koncentrace NO_x závislé především na koncentracích NO_2 . 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 podílí se na kyselých deštích (spolu s oxidem siřičitým) (Mohajan, 2018). Oxidy dusíku fungují také spolu s organickými těkavými látkami (VOC) a slunečním zářením jako prekurzory vzniku nežádoucího přízemního ozónu.

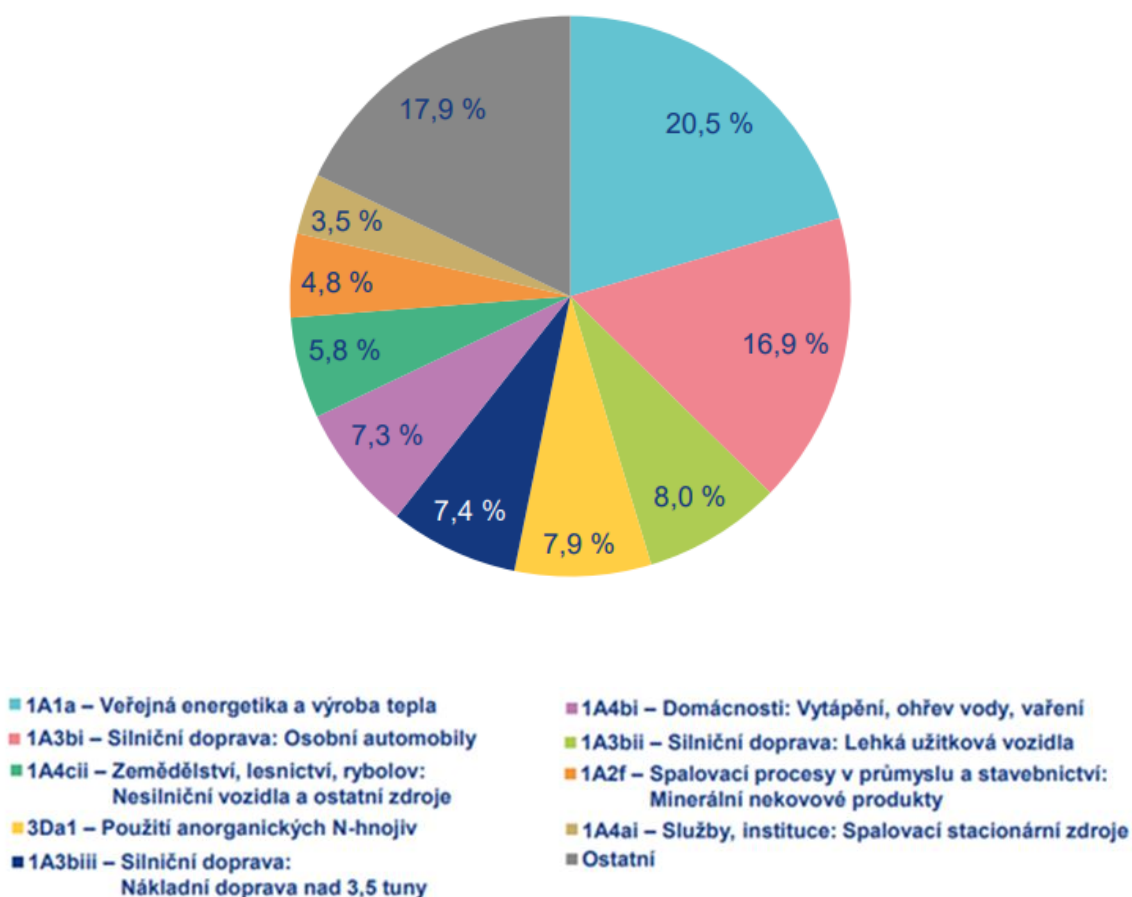
Oxidy dusíku mají širokou škálu dopadů i na lidské zdraví. Snižují funkci plic a poškozují sliznice, přičemž mohou vést až k rozvoji astmatu a potížím s dýcháním a podrážděním očí. Přispívají též k rozvoji alergií. V oblastech s vysokou hladinou znečištění oxidy dusíku byl prokázán nárůst kardiovaskulárních 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 NO_x (NO i NO_2) probíhá chemiluminescenční metodou, kdy reakcí oxidu dusnatého (NO) a ozónu (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 NO , NO_2 , či NO_x . Provádí-li se cyklus NO , vzorek plynu prochází přímo měřicí komorou, kde dochází k oxidaci NO molekulami ozónu. Výstupní signál fotonásobiče je tak úměrný koncentraci NO v měřeném vzorku. Provádí-li se cyklus 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 NO obsažené v měřeném vzorku jsou oxidovány na NO₂ 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 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 NO_x.



Obrázek 45 - podíl sektorů NFR na celkových emisích NO₂, 2019, Česká republika.

OXID DUSIČITÝ (NO₂)

Oxid dusičitý je v čisté plynné formě červenohnědý silně agresivní jedovatý plyn. Jedná se o meziproduct 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).

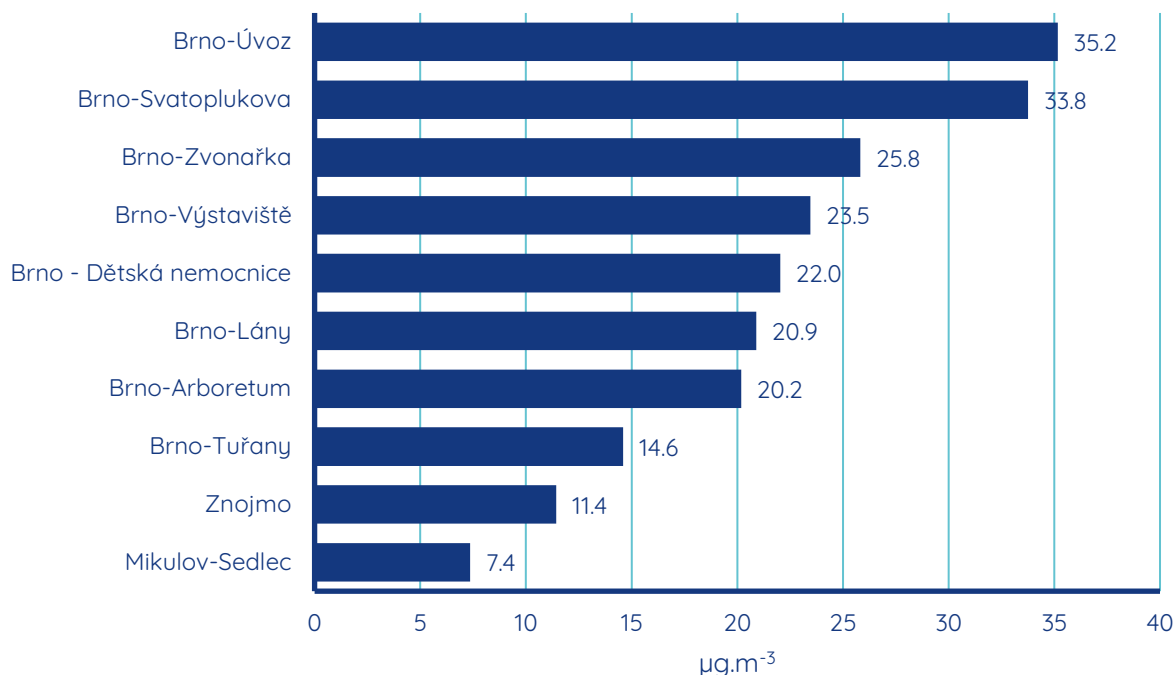
Měření oxidu dusičitého je založeno na chemiluminiscenci. Koncentrace tohoto plynu jsou zjišťovány sekundárně z rozdílu mezi koncentracemi oxidu dusnatého (NO) a oxidů dusíku (NO_x = NO + NO₂).

Tabulka 4 - platné imisní limity pro NO₂ v České republice

Perioda	imisní limit
roční průměrná koncentrace	40 µg.m ⁻³
hodinová průměrná koncentrace	200 µg.m ⁻³ (max. počet překročení 18× za rok)

Níže uvedený graf ukazuje průměrné roční koncentrace NO₂ v roce 2021 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. S ohledem na velmi významný vliv dopravy na koncentrace NO₂ nepřekvapí, že nejvyšší koncentrace této látky jsou dlouhodobě pozorovány na stanicích dopravních. Vůbec nejvyšší byla koncentrace NO₂ v roce 2021 v Jihomoravském kraji na stanici Brno-Úvoz (hot spot). Tato tzv. hot spot stanice je stanicí, která je velmi výrazně ovlivňována dopravou. Nachází se v těsné blízkosti křižovatky dvou významných brněnských dopravních tepen (Úvoz a Údolní). Druhé nejvyšší koncentrace NO₂ byly koncentrace naměřeny na další dopravně zatížené stanici Brno-Svatoplukova. Právě na těchto dvou stanicích jsou dlouhodobě pozorovány nejvyšší koncentrace NO₂ v Brně a bylo tomu tak i v roce předchozím.

Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci NO₂ je 40 µg.m⁻³. Z níže uvedeného grafu je patrné, že nejvyšší roční průměr v případě stanice Brno-Úvoz (hot spot) má hodnotu pouze 35,2 µg.m⁻³. Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci NO₂ tedy překročen nebyl.

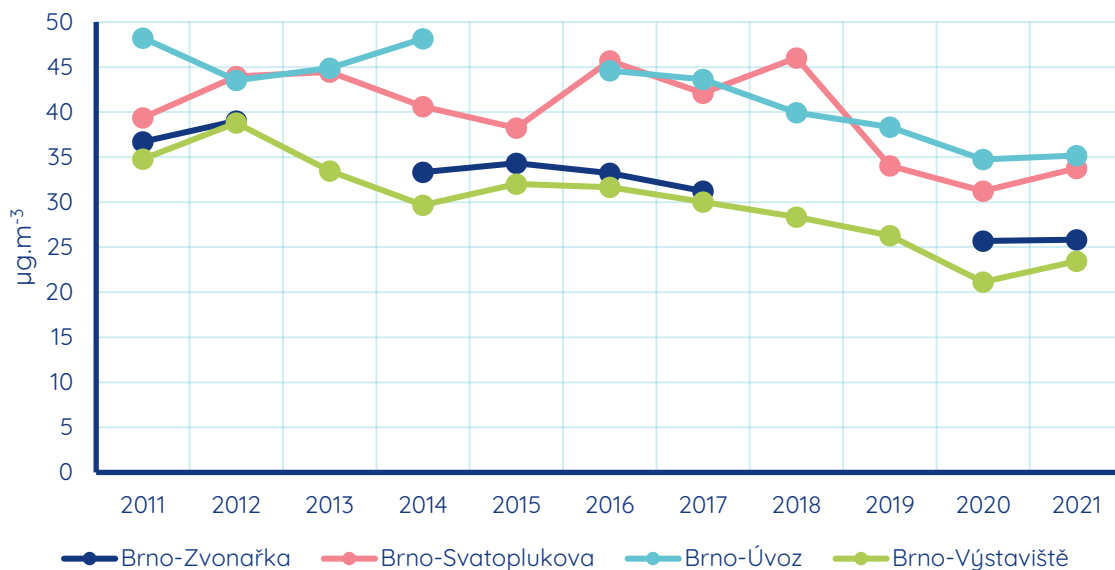


Obrázek 46 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

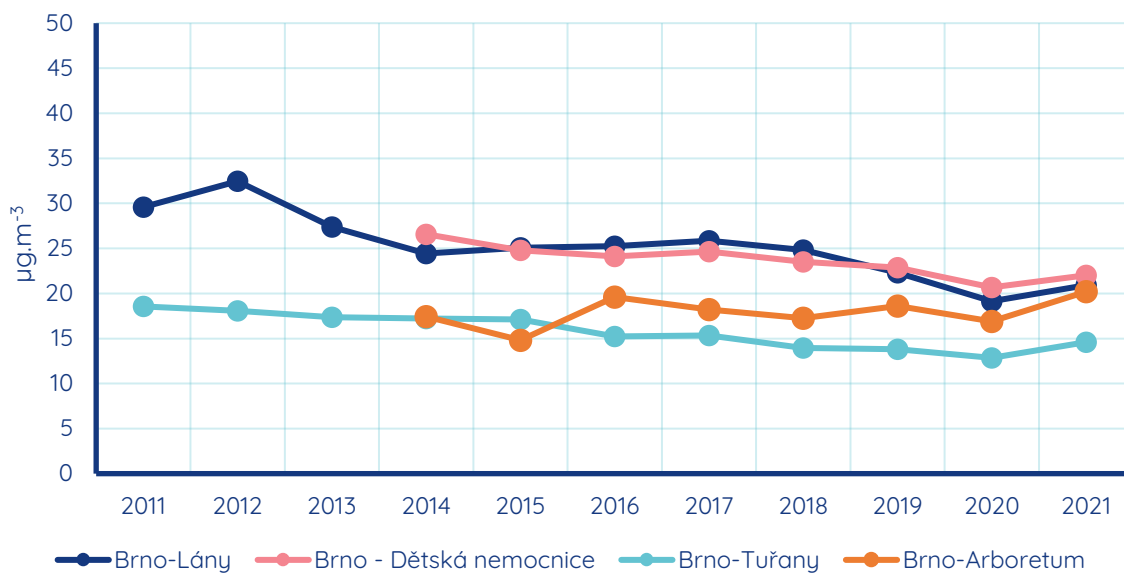
Následující grafy ukazují průběh ročních průměrných koncentrací NO₂ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za období 2011 až 2021. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno – dopravní a průmyslová stanice², Brno – pozadové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.

Nejvyšší koncentrace NO₂ jsou dlouhodobě jednoznačně na stanicích dopravních. Právě na těch je však pozorován dlouhodobý výrazný sestupný trend. Přestože v roce 2021 byly průměrné roční koncentrace mírně vyšší než v roce předchozím, je to dáno vlivem rozptylových a meteorologických podmínek a do jisté míry může být dáno i omezenější dopravě s ohledem na opatření proti šíření pandemie viru SARS-CoV-2, které byly v roce 2020 intenzivnější než v roce 2021. Při dlouhodobém srovnání jsou však koncentrace NO₂ v posledních třech letech na dopravních stanicích v Brně nejnižší.

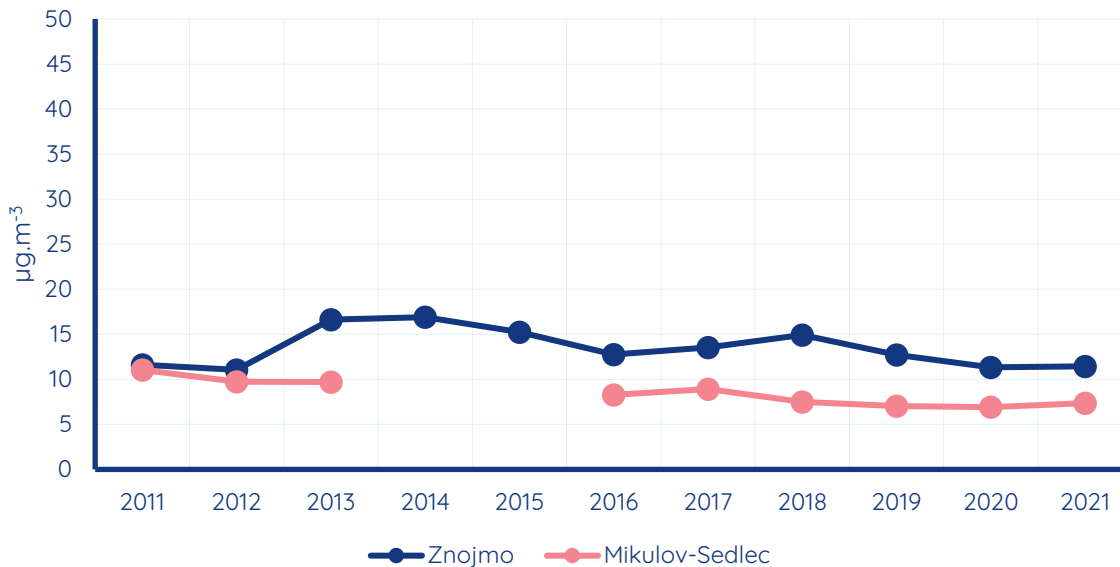
² stanice Brno-Zvonařka byla dlouhou dobu dopravní stanicí. V září 2018 došlo k její reklasifikaci na stanici průmyslovou z důvodu velmi intenzivní stavební činnosti v okolí. V kontextu tohoto hodnocení je tato stanice hodnocena jako stanice dopravní.



Obrázek 47 - průměrné roční koncentrace NO_2 za období 2011 až 2021 na brněnských dopravních a jedné průmyslové stanici imisního monitoringu.

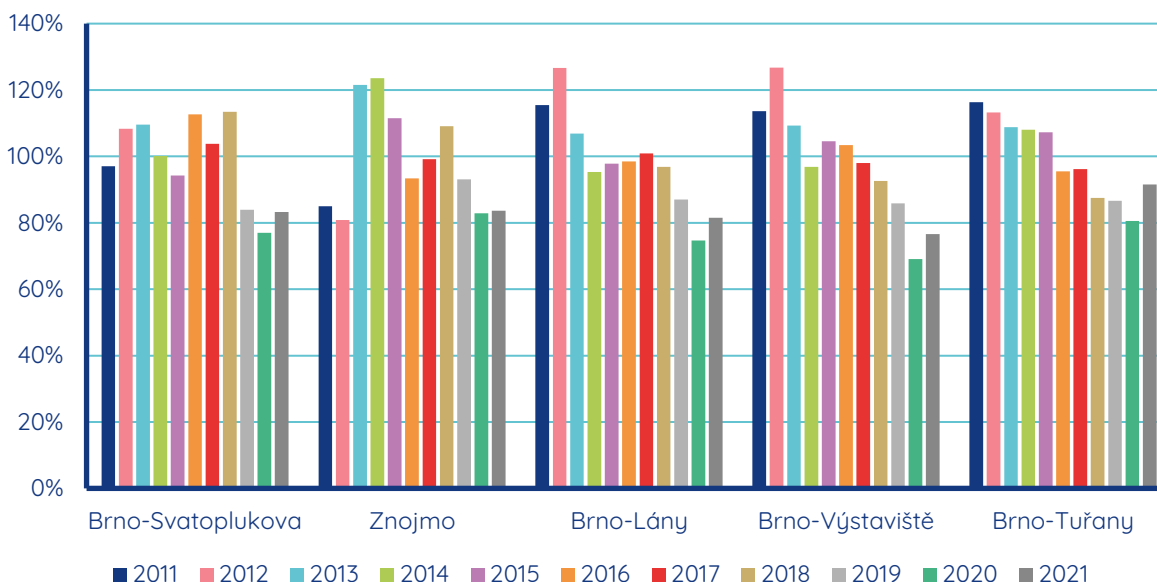


Obrázek 48 - průměrné roční koncentrace NO_2 za období 2011 až 2021 na brněnských pozadových stanicích imisního monitoringu.



Obrázek 49 - průměrné roční koncentrace NO₂ za období 2011 až 2021 na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

Pro jednodušší srovnání stavu v roce 2021 s roky předchozími, byl vypočítán poměr mezi průměrnou roční koncentrací NO₂ v konkrétním roce a 5letým (2016-2020) a 10letým (2011-2020) průměrem. Tento poměr byl vypočítán pouze pro stanice, které mají v daném 5, příp. 10letém období kompletní datovou řadu, aby nedocházelo ke zkreslení z důvodu nedostupných dat.

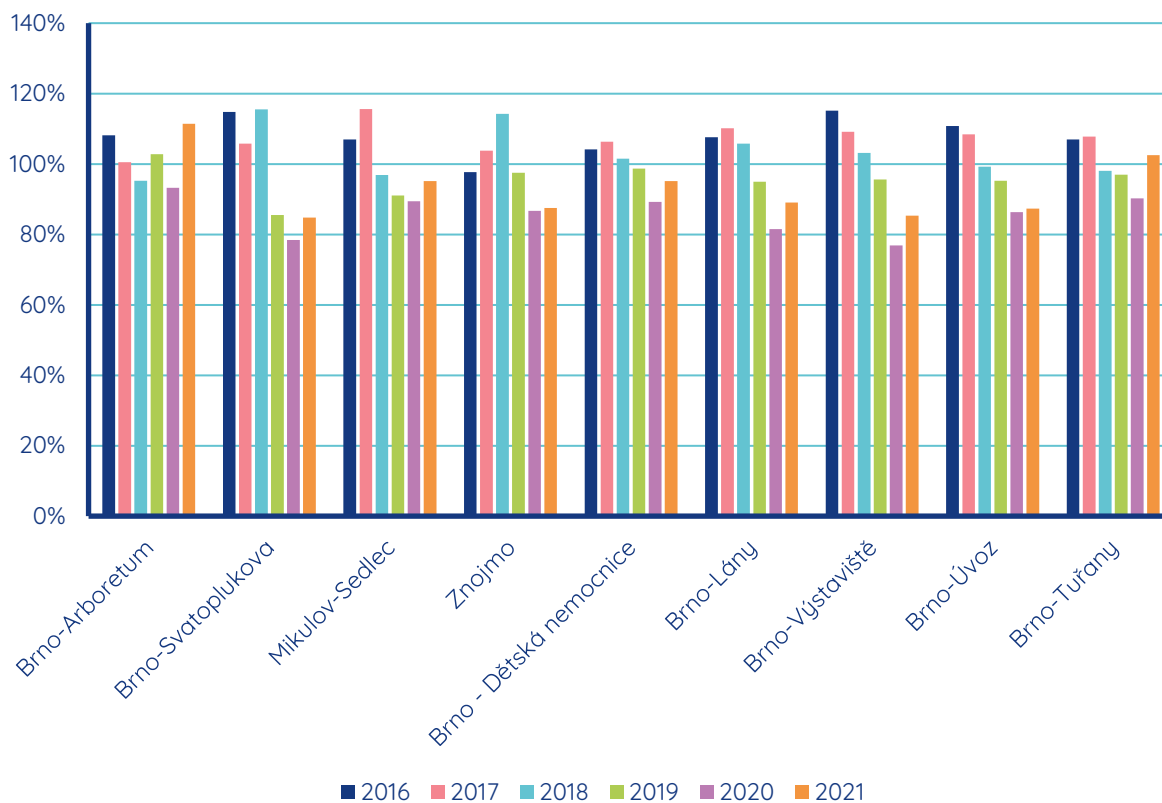


Obrázek 50 - poměr dílčích ročních průměrných koncentrací NO₂ vůči desetiletému průměru 2011-2020 na příslušné stanici. Zahrnuti jsou ty stanice imisního monitoringu v JMK, které mají kompletní data pro všechny hodnocené roky 2011 až 2021.

Srovnání s desetiletou řadou jasně ukazuje, že rok 2021 byl po stránce roční průměrné koncentrace NO_2 velmi příznivý. Na většině stanic s dostupnými daty byla průměrná roční koncentrace NO_2 v roce 2021 přibližně o pětinu nižší, než je průměr za předchozí desetiletí. Na všech stanicích byl poměr v roce 2021 nižší než 100 %.

Níže uvedený graf představuje totožný graf, tentokrát však srovnání s 5letým obdobím, pro které je k dispozici datová sada z více stanic.

V grafu srovnání roku 2021 s pětiletým průměrem je patrné, že koncentrace byly v tomto roce vyšší než v roce 2020 na všech stanicích. Na většině stanic však rok 2021 patřil k rokům s nejnižší kdy naměřenou koncentrací spolu s rokem 2020.



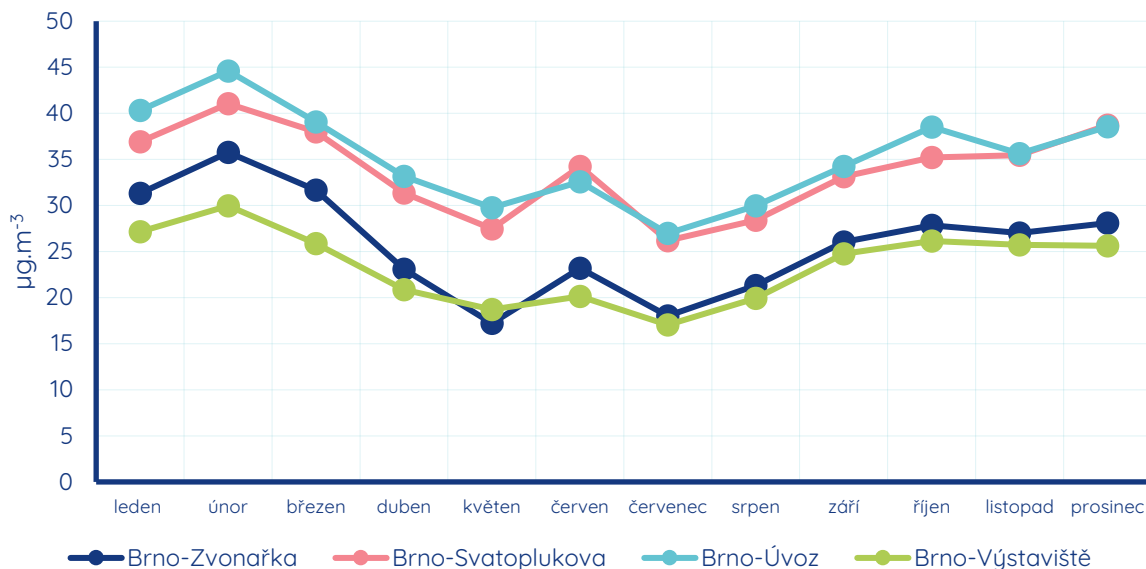
Obrázek 51 - poměr dílčích ročních průměrných koncentrací NO_2 vůči pětiletému průměru 2016-2020 na příslušné stanici. Zahrnuty jsou ty stanice imisního monitoringu v JMK, které mají kompletní data pro všechny hodnocené roky 2016 až 2021.

Níže uvedené grafy ukazují průměrné měsíční koncentrace NO_2 pro jednotlivé stanice v Jihomoravském kraji v roce 2021. Z důvodu přehlednosti jsou data zpracována do tří grafů, s rozdělením na Brno – dopravní a průmyslová stanice, Brno – pozadřové stanice a stanice mimo Brno. Pro možnost srovnání byla sjednocena škála osy Y.

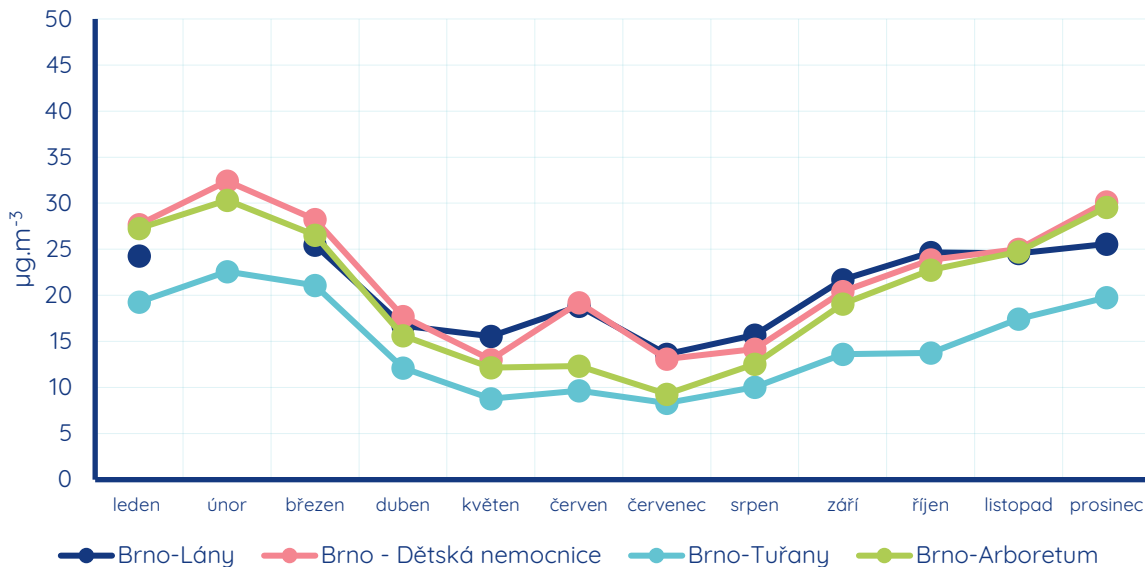
Z níže uvedených grafů je patrné, že roční chod je na stanicích podobného typu velmi podobný. Ve srovnání s ročním chodem koncentrací suspendovaných částic je chod méně výrazný, protože hlavním zdrojem NO₂ není vytápění, ale doprava, jejíž vliv v průběhu roku na rozdíl od intenzity vytápění příliš nekolísá.

Stejně jako v případě všech ostatních znečišťujících látek, má na koncentrace vliv rozptylová situace. Na všech hodnocených stanicích byly nejvyšší koncentrace NO₂ pozorovány v roce 2021 v měsíci únoru, kdy byly právě rozptylové podmínky, v jako jediný měsíc v tomto roce, oproti dlouhodobému průměru zhoršené, navíc to byl měsíc v Jihomoravském kraji v roce 2021 nejchladnější. Na emise z dopravy má vliv mj. i teplota a chladné starty vedou k vyšším emisím znečišťujících látek.

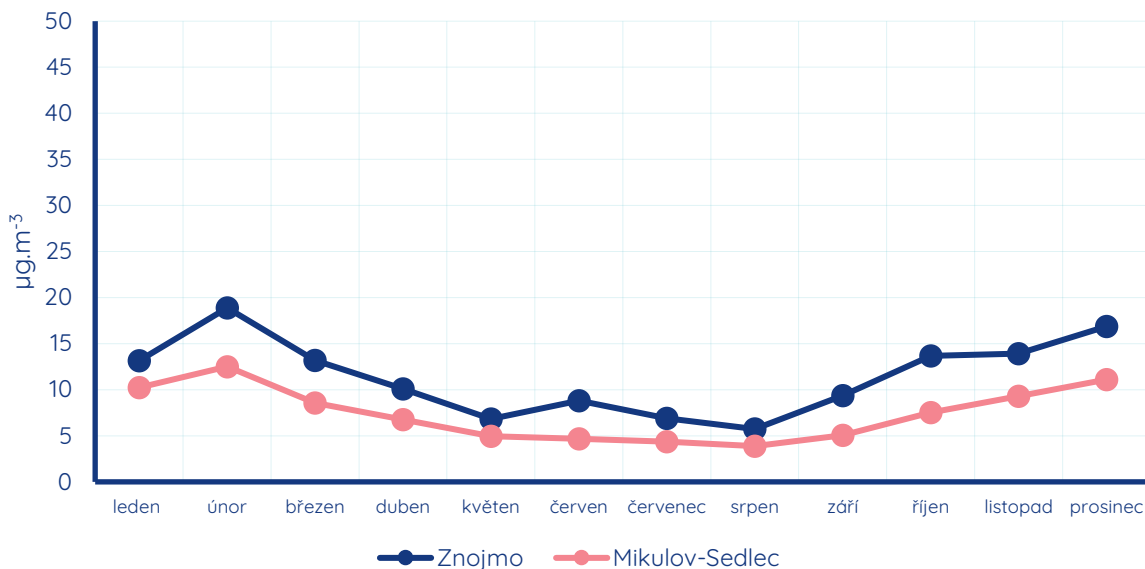
Naopak nejnižší byly průměrné měsíční koncentrace NO₂ v letních měsících roku.



Obrázek 52 - průběh průměrných měsíčních koncentrací NO₂ na dopravních a průmyslové stanici imisního monitoringu v Brně za rok 2021.

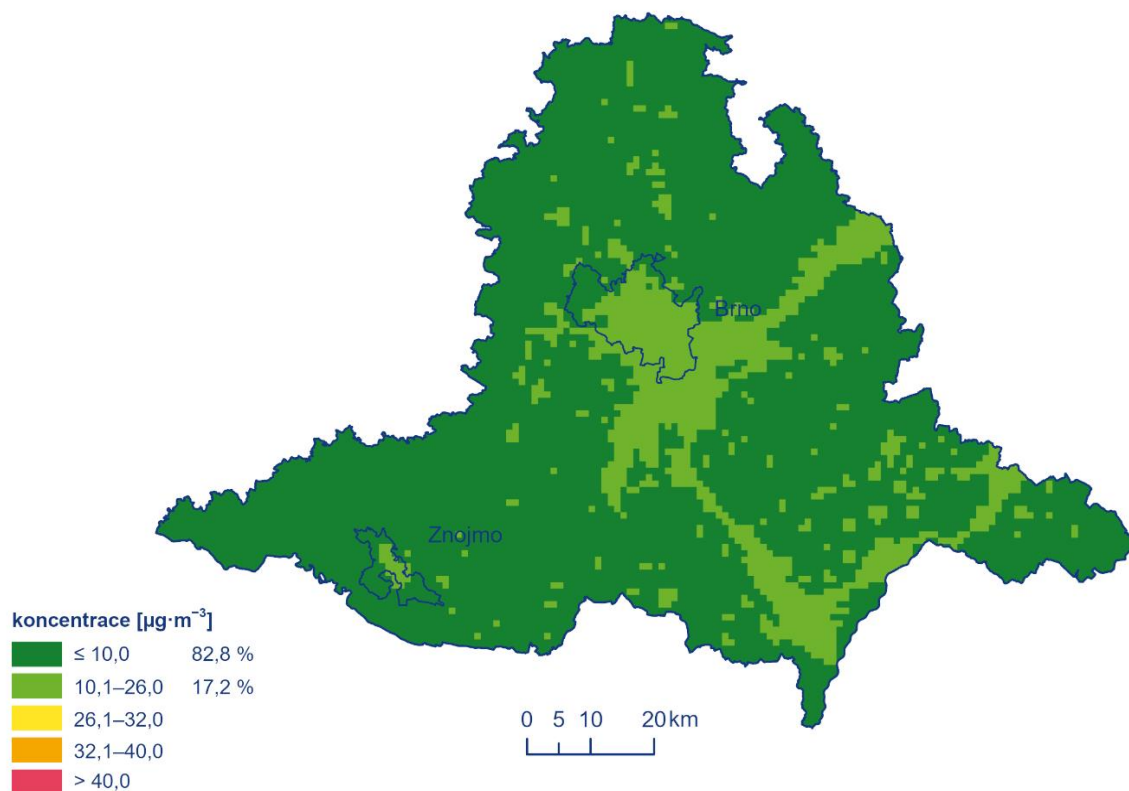


Obrázek 53 - průběh průměrných měsíčních koncentrací NO₂ na pozadových stanicích imisního monitoringu v Brně za rok 2021.



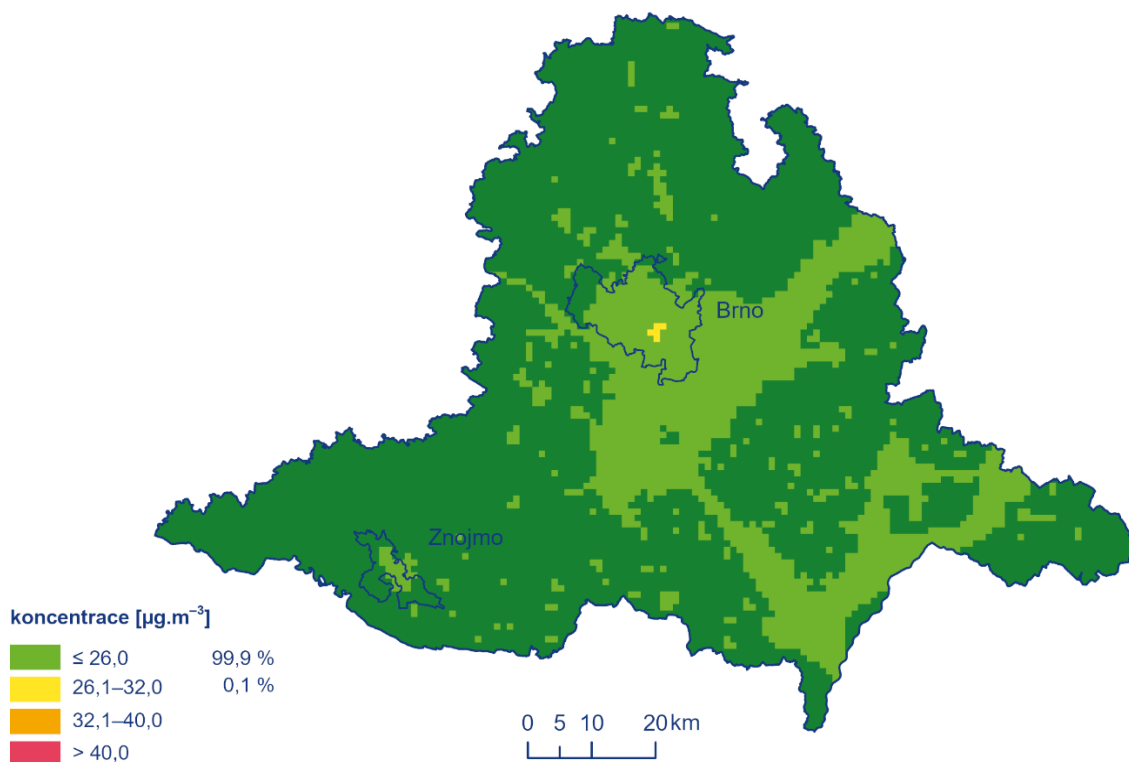
Obrázek 54 - průběh průměrných měsíčních koncentrací NO₂ na mimobrněnských stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Následující mapa ukazuje pole průměrné roční koncentrace NO₂ v Jihomoravském kraji v roce 2021. Jak je patrné, v celém kraji byly koncentrace NO₂ velmi nízké v intervalu do 26 µg.m⁻³.



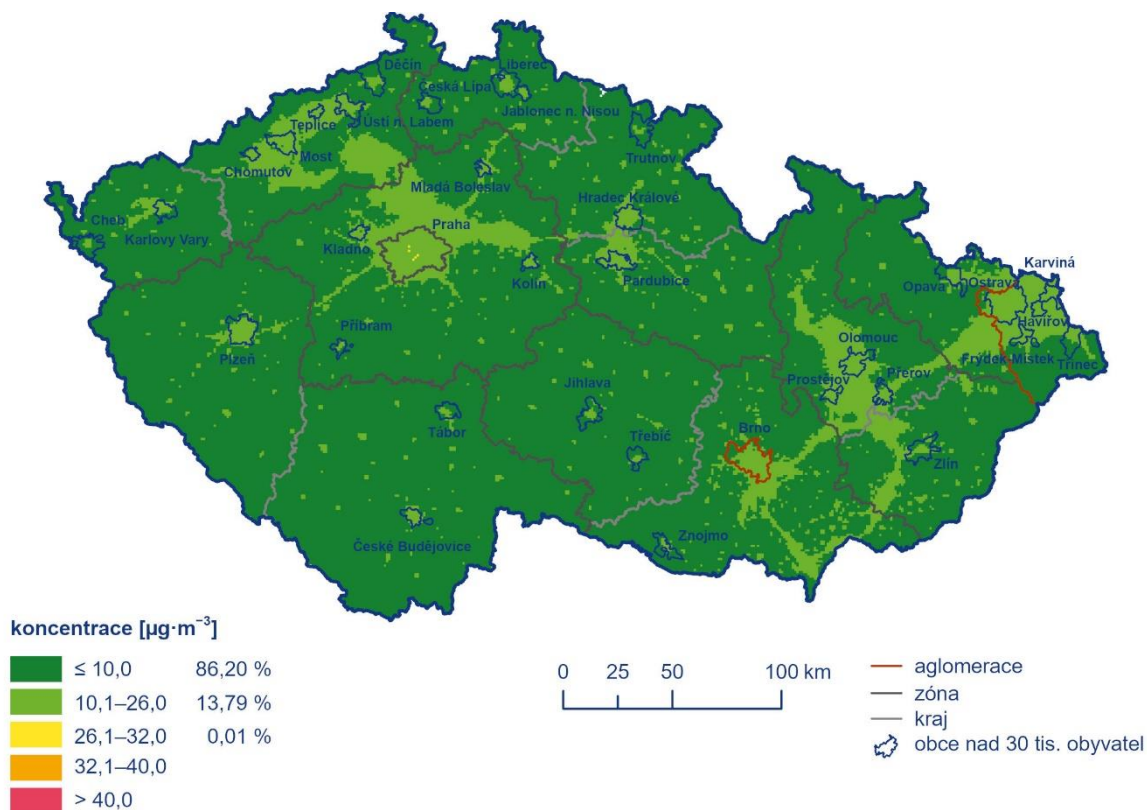
Obrázek 55 - pole průměrné roční koncentrace NO_2 v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

Pro srovnání je níže uvedena totožná mapa, tentokrát však jako pětiletý průměr 2017 až 2021. Stejně jako v případě mapy pole průměrné roční koncentrace NO_2 v roce 2021, je i v případě pětiletého průměru téměř celý kraj v intervalu do $26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

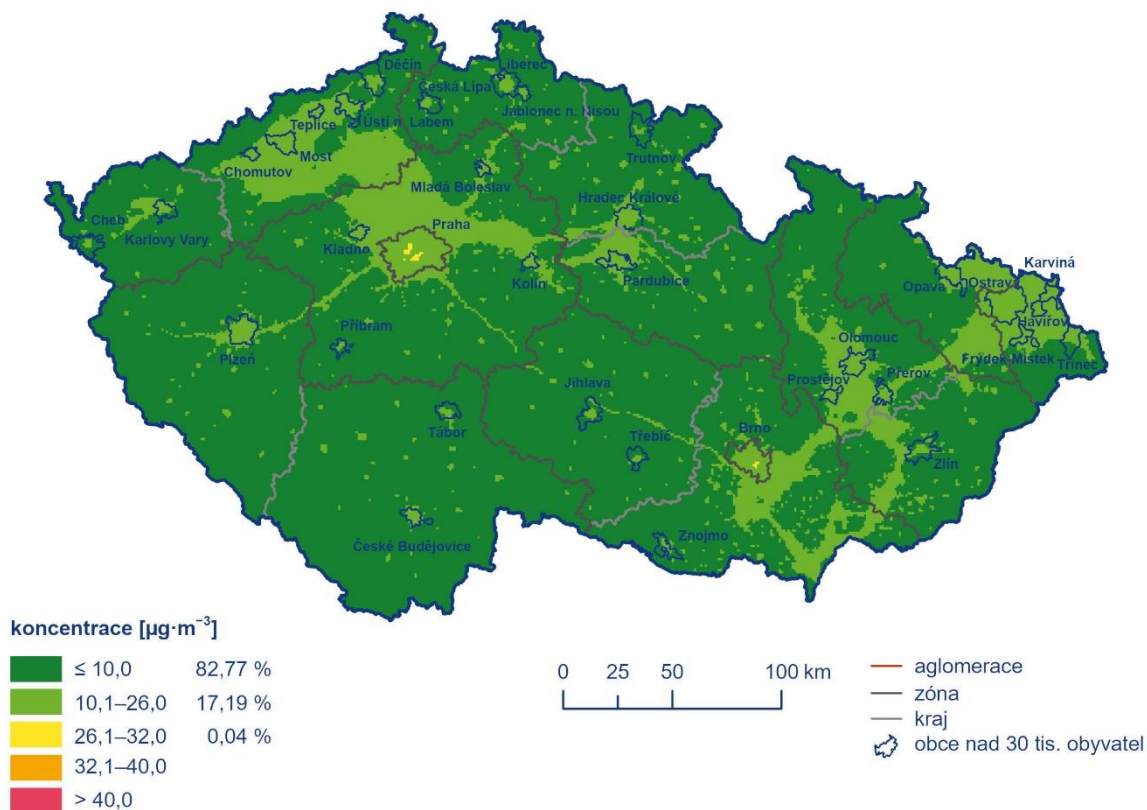


Obrázek 56 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO_2 za období 2017-2020 v Jihomoravském kraji.

Následující mapy ukazují rovněž pole průměrné roční koncentrace NO_2 , tentokrát však pro celou Českou republiku za rok 2021 a jako pětiletý průměr. Z map je patrné, že roční průměrné koncentrace NO_2 jsou celorepublikově velmi nízké.



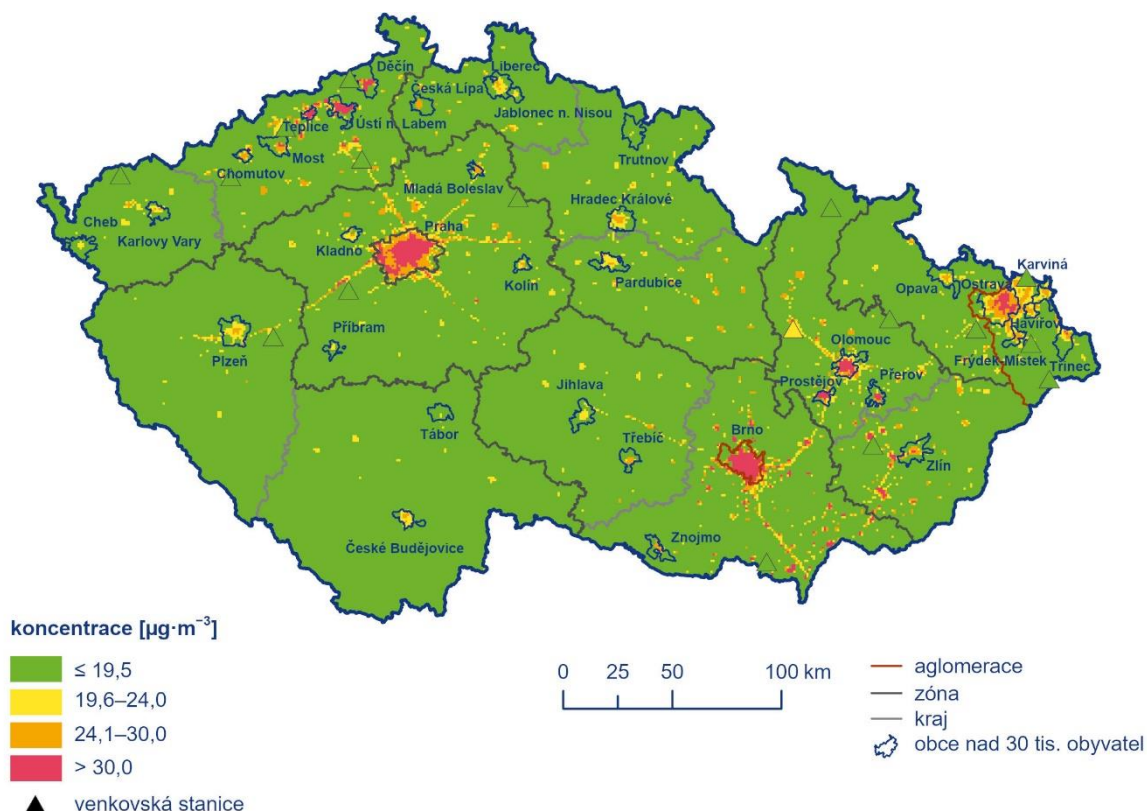
Obrázek 57 - pole průměrné roční koncentrace NO_2 v roce 2021 v České republice.



Obrázek 58 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací NO_2 za období 2017-2021 v České republice.

Vyšší hodnoty koncentrací jsou patrné u oxidů dusíku. Doprava primárně produkuje oxid dusnatý, který následně na vzduchu oxiduje za vzniku oxidu dusičitého. V případě, že se tedy vezmou v potaz souhrnně oxidy dusíku, jsou hodnoty na městských dopravních stanicích výrazně vyšší. V zákoně o ochraně ovzduší je pro NO_x definován imisní limit pouze pro ochranu ekosystémů a vegetace, nikoliv pro ochranu zdraví.

Na mapě pole roční průměrné koncentrace NO_x jsou jasně patrné zvýšené koncentrace korelující s polohou největších měst České republiky, zejména pak Prahy, Brna, Ostravy a Olomouce.



Obrázek 59 - pole průměrné roční koncentrace NO_x v roce 2021 v České republice.

PŘÍZEMNÍ OZON (O₃)

Za normálních podmínek se v případě ozónu jedná o vysoce reaktivní plyn, jež 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 Montreálský 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_x) a těkavých organických látek (VOC) za účinku slunečního záření. Současně probíhá titrace O₃ oxidem dusnatým za vzniku NO₂ a O₂. Pokud je při této reakci přízemní O₃ nahrazen radikálem, jeho koncentrace v atmosféře rostou. Důležitou úlohu při těchto reakcích hraje zejména radikál OH (Hůnová, Baumelt 2018). NO_x 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 ozonu narůstají se vzrůstající teplotou a množstvím UV záření a naopak klesají se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu. Celkově zastupuje přízemní ozon přibližně 10 % celkového ozónu v zemské atmosféře, zbylých 90 % připadá na ozon stratosférický.

Zvýšené koncentrace přízemního ozonu mají nežádoucí účinky na lidské zdraví. Mohou 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

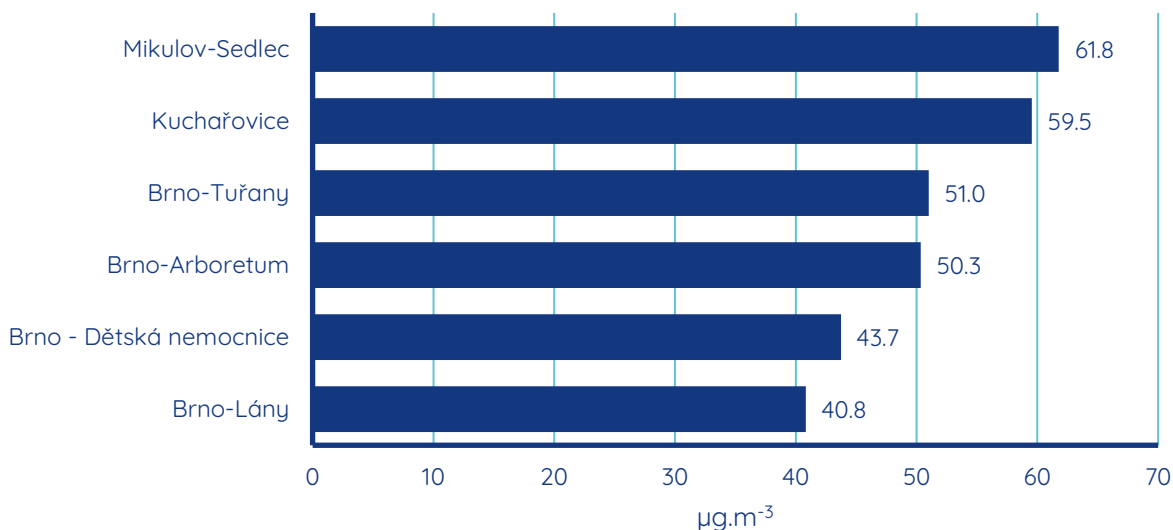
obsahuje měřený vzorek. Zde dochází k absorpci ultrafialového světla v závislosti na koncentraci přítomného ozónu. Na základě takto naměřených hodnot a Beer-Lambertovy rovnice je vypočítáno okamžité množství O_3 v měřeném vzorku.

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.

Tabulka 5 - platné imisní limity pro přízemní ozon (O_3) v České republice

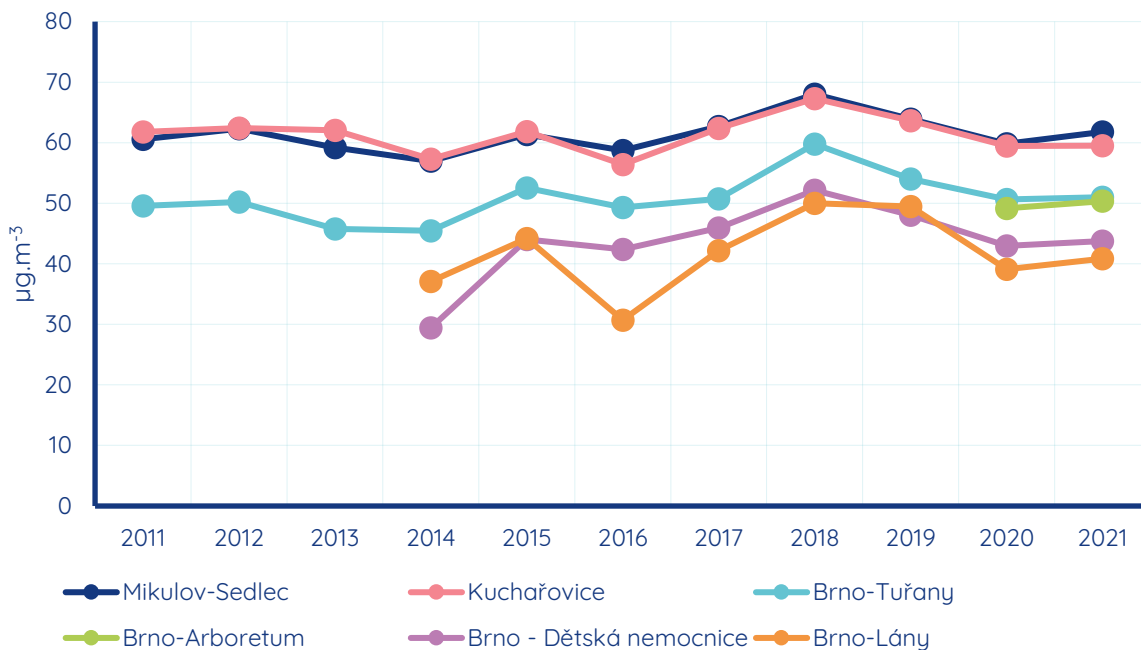
Perioda	imisní limit
maximální denní 8h klouzavý průměr	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ max. 25 překročení / rok v tříletém průměru
AOT ₄₀	$18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ průměr za 5 let

Níže uvedený graf ukazuje průměrné roční koncentrace přízemního ozonu v roce 2021 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Z grafu je patrné, že v případě přízemního ozonu je situace téměř přesně opačná ve srovnání s dalšími znečišťujícími látkami. Nejvyšší hodnoty koncentrací přízemního ozonu jsou pozorovány na odlehlých venkovských stanicích, v tomto případě na regionální požadové stanici Mikulov-Sedlec. Naopak nejnižší jsou koncentrace na městských stanicích, obzvláště pak těch, které jsou nejvíce ovlivněny dopravou. Vyšší koncentrace oxidů dusíku zapříčiňují nižší koncentrace přízemního ozonu.



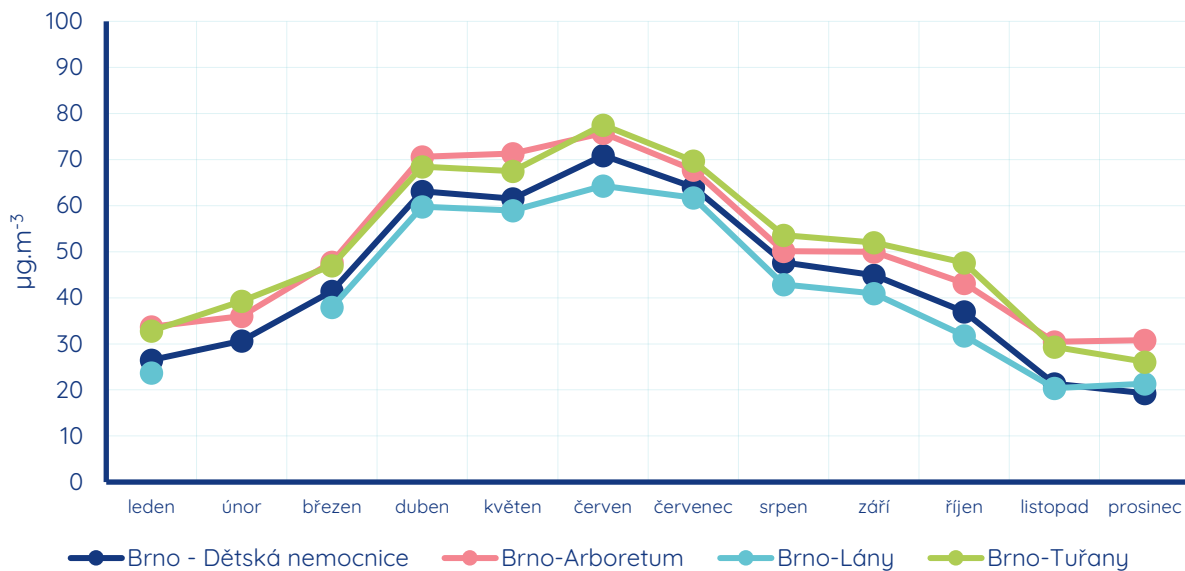
Obrázek 60 - průměrné roční koncentrace O₃ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Následující graf ukazuje průběh ročních průměrných koncentrací O₃ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Jak ukazuje graf, koncentrace přízemního ozonu se dlouhodobě příliš nemění. Určitý mírný nárůst byl pozorován například v roce 2018, což byl historicky nejteplejší rok v České republice.

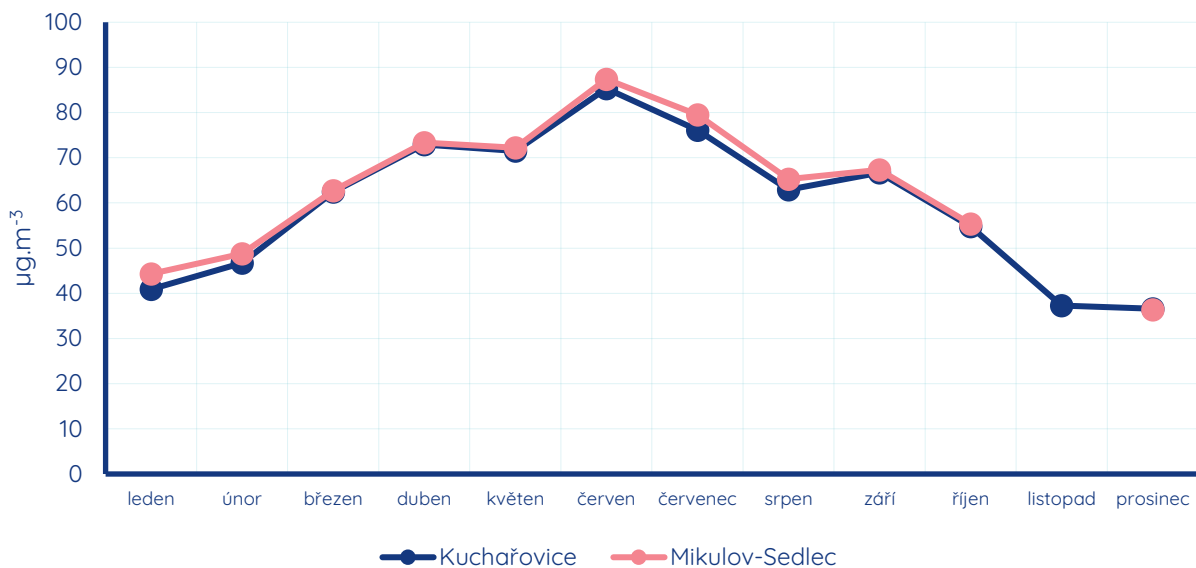


Obrázek 61 - průměrné roční koncentrace O₃ za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Průměrné měsíční koncentrace přízemního ozonu ukazují následující dva grafy – jeden pro brněnské stanice, druhý pro stanice v Jihomoravském kraji, obě klasifikované jako venkovské pozadové.



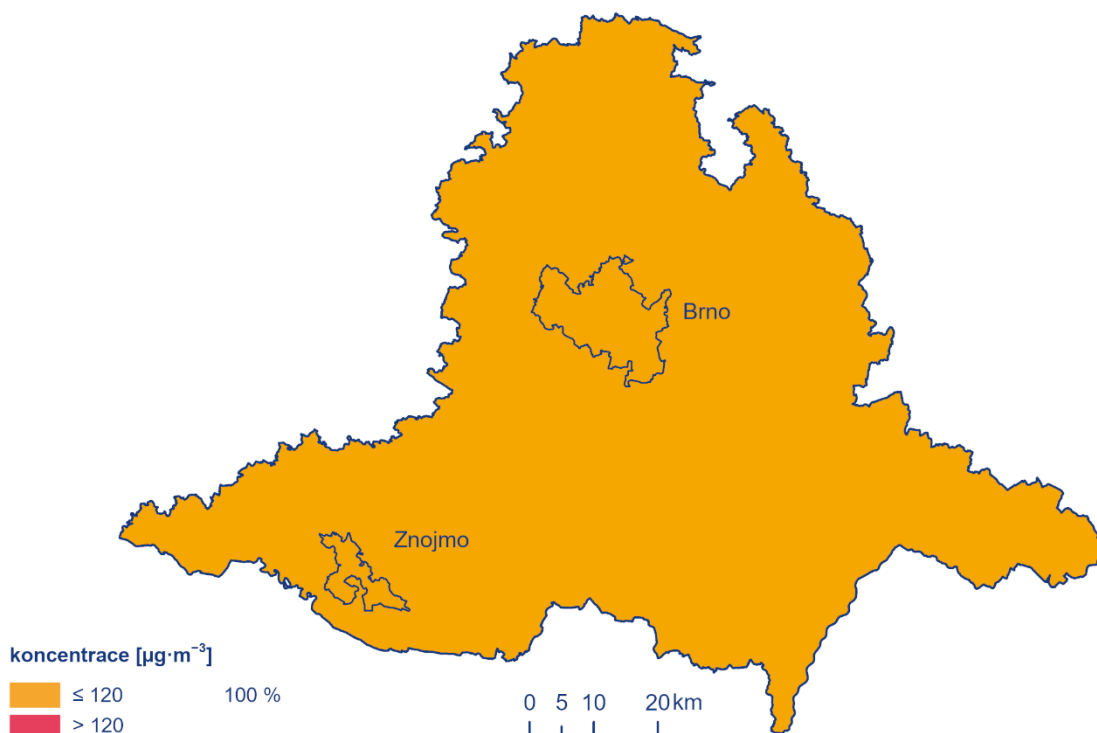
Obrázek 62 - průběh průměrných měsíčních koncentrací přízemního ozonu na brněnských stanicích imisního monitoringu za rok 2021.



Obrázek 63 - průběh průměrných měsíčních koncentrací přízemního ozonu na venkovských pozadových stanicích imisního monitoringu v jihomoravském kraji za rok 2021.

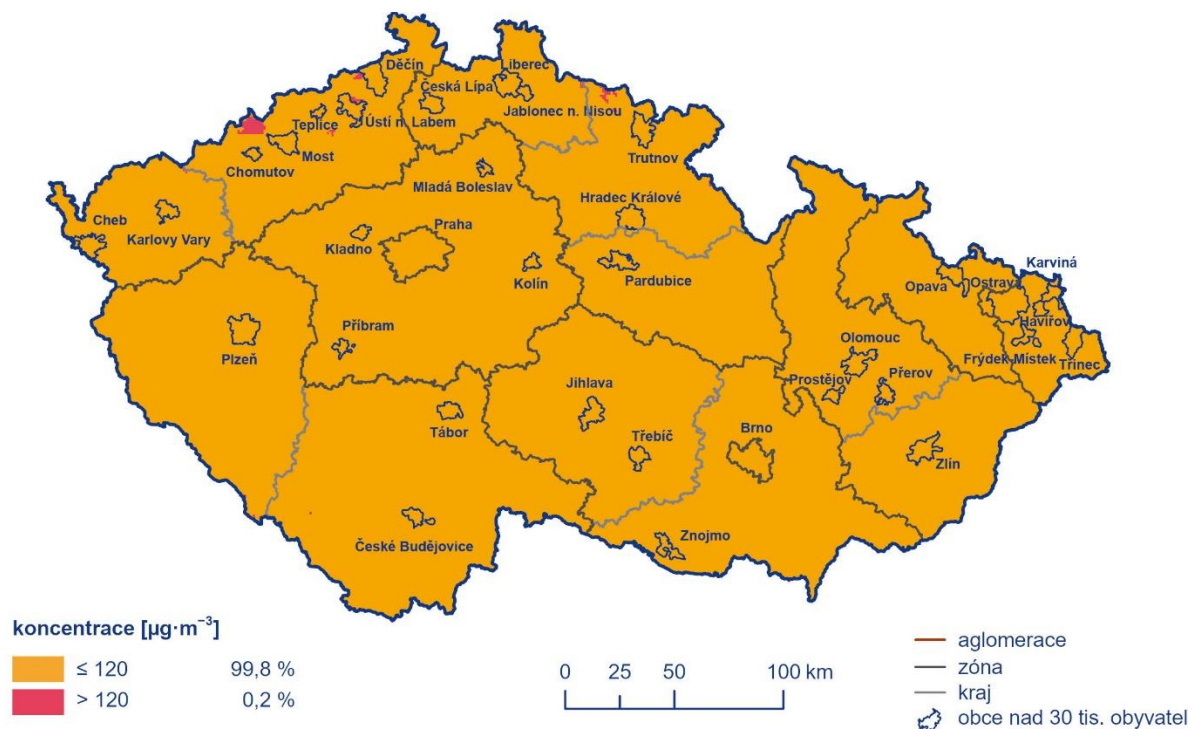
Následující mapa ukazuje pole 26. nejvyššího maximálního denního 8h klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v Jihomoravském kraji za období 2019 až 2021. Na mapě je patrné, že na celém území je tříletý průměr do $120 \mu\text{g.m}^{-3}$. Ještě v předchozím

roce (období 2018-2020) byla mapa kraje na řadě míst červená, tedy koncentrace nadlimitní. To souvisí s faktem, že rok 2018, jakožto nejteplejší rok v historii měření v České republice, byl i rokem s velmi vysokými koncentracemi přízemního ozonu a ovlivňoval velmi výrazně průměr tříletého období 2018-2020. Do hodnocení tříletého průměru 2019-2021 již tento rok nevstupuje, proto je situace výrazně lepší.



Obrázek 64 – pole 26. nejvyššího maximálního denního 8h klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2019-2021, Jihomoravský kraj.

Následující mapa ukazuje rovněž pole 26. nejvyššího maximálního denního 8h klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu, tentokrát však pro celou Českou republiku za tříleté období 2019 až 2021. Na této mapě je patrné, že imisní limit byl v tomto tříletí překročen pouze na velmi malém území (0,2 %) v Ústeckém kraji.



Obrázek 65 - pole 26. nejvyššího maximálního denního 8h klouzavého průměru koncentrace přízemního ozonu v průměru za 3 roky, 2019-2021, Česká republika.

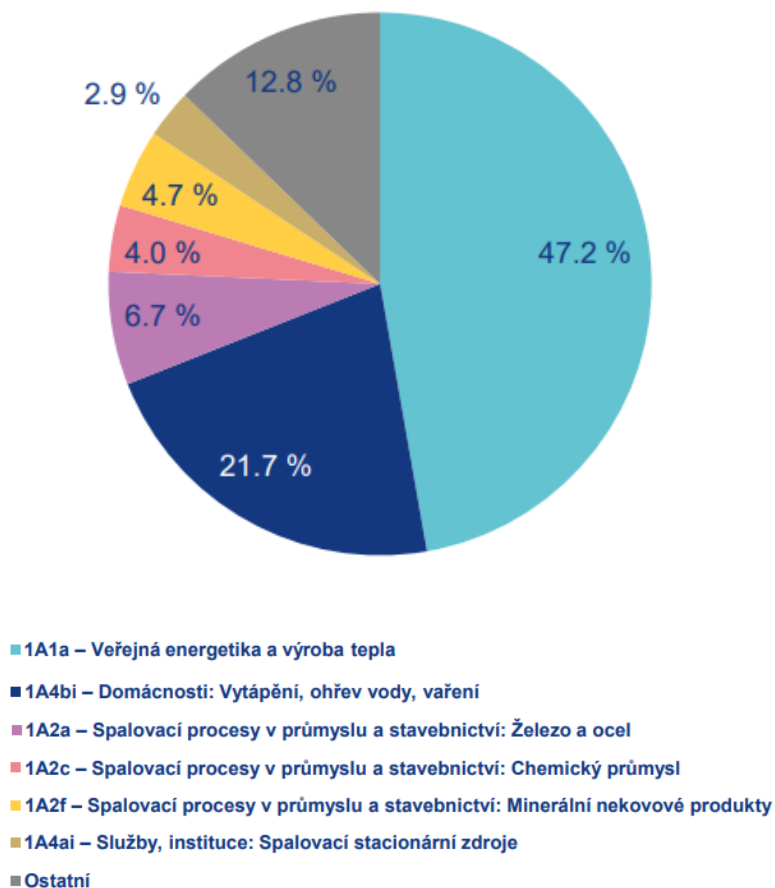
OXID SIŘIČITÝ (SO₂)

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 SO₂ se v České republice začalo na přelomu 60. a 70. let 20. století a jednalo se o první znečišťující látku, která byla tímto způsobem pravidelně monitorována. V současnosti leží hodnoty koncentrací SO₂ 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 SO₂ mají například Čína či Indie (Li, 2017). Do ovzduší se SO₂ 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 rovný $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a může být překročen maximálně 24x za rok. 24h imisní limit pro ochranu zdraví byl stanoven na $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 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 $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 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 SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 %).



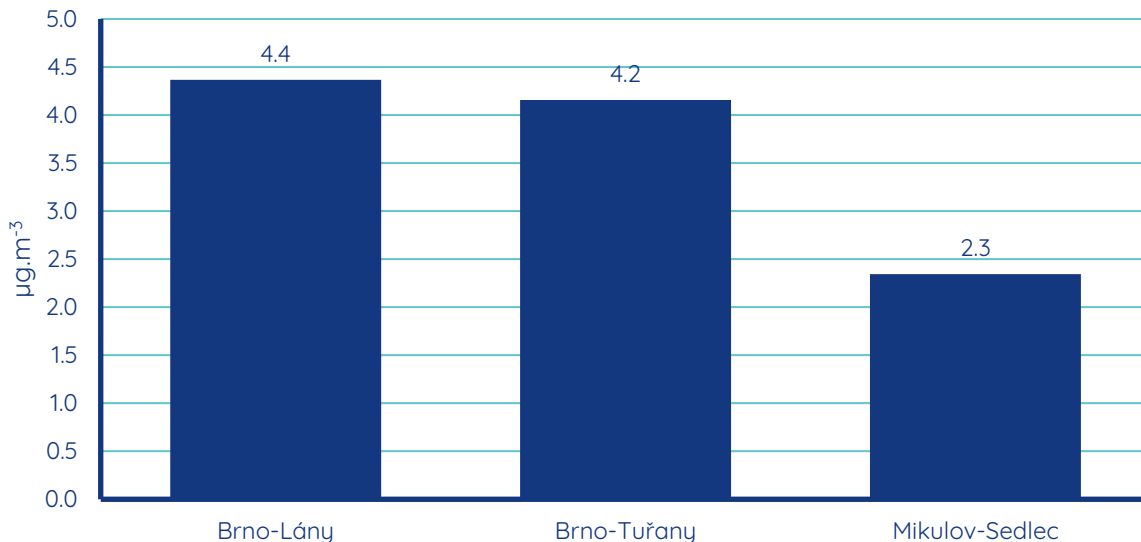
Obrázek 66 - podíl sektorů NFR na celkových emisích SO₂, 2019, Česká republika.

Pro SO₂ jsou v zákoně o ochraně ovzduší stanoveny dva imisní limity, a to pro 24h a hodinový průměr.

Tabulka 6 - platné imisní limity pro SO₂ v České republice

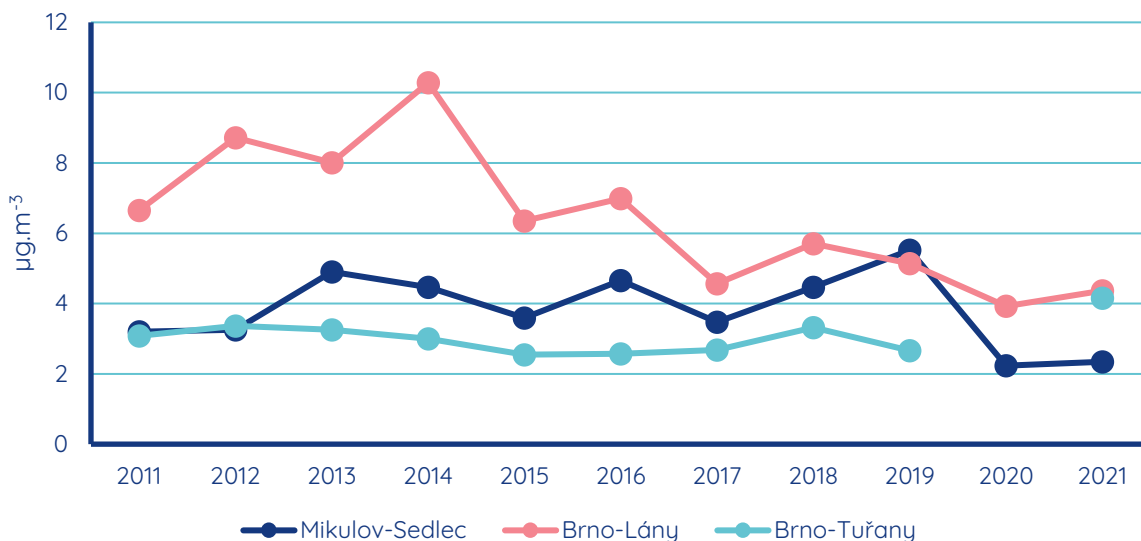
Perioda	imisní limit
24h průměrná koncentrace	125 µg/m ³ max. 3 překročení / rok
hodinová průměrná koncentrace	350 µg/m ³ max. 24 překročení / rok

Průměrnou roční koncentraci SO₂ za rok 2021 ukazuje následující graf. Na jednu stranu je z něj patrné, že průměrná roční koncentrace na stanici Brno-Lány a Brno-Tuřany byla téměř dvojnásobná ve srovnání s pozadovou venkovskou stanicí Mikulov-Sedlec, na straně druhé se jedná o velmi nízkou hodnotu jako takovou, proto rozdíl 2 µg.m⁻³ není významný.



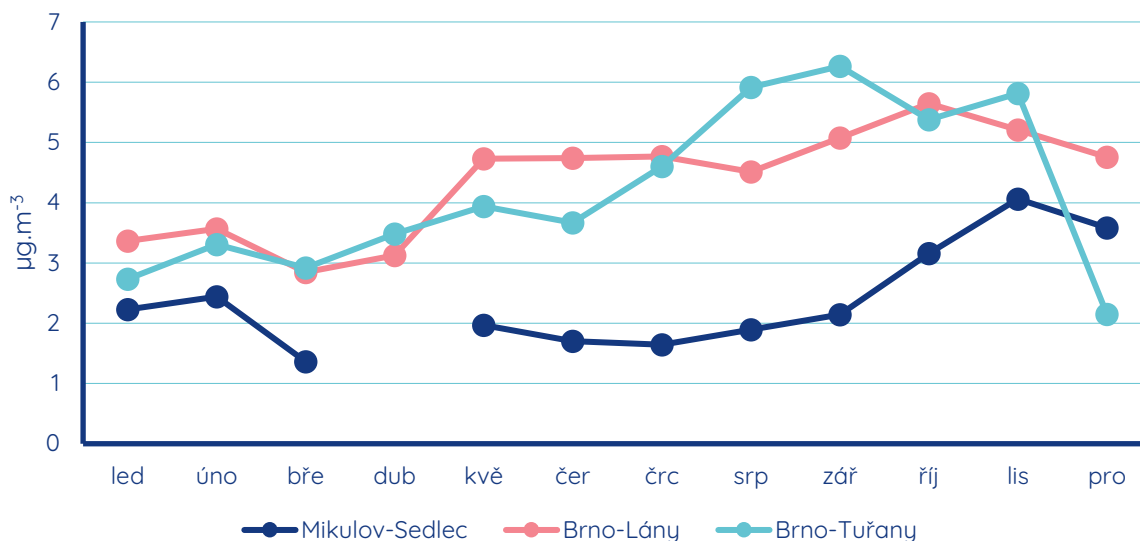
Obrázek 67 - průměrné roční koncentrace SO₂ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Následující graf ukazuje dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací SO₂ na stanicích Brno-Lány, Brno-Tuřany a Mikulov-Sedlec.



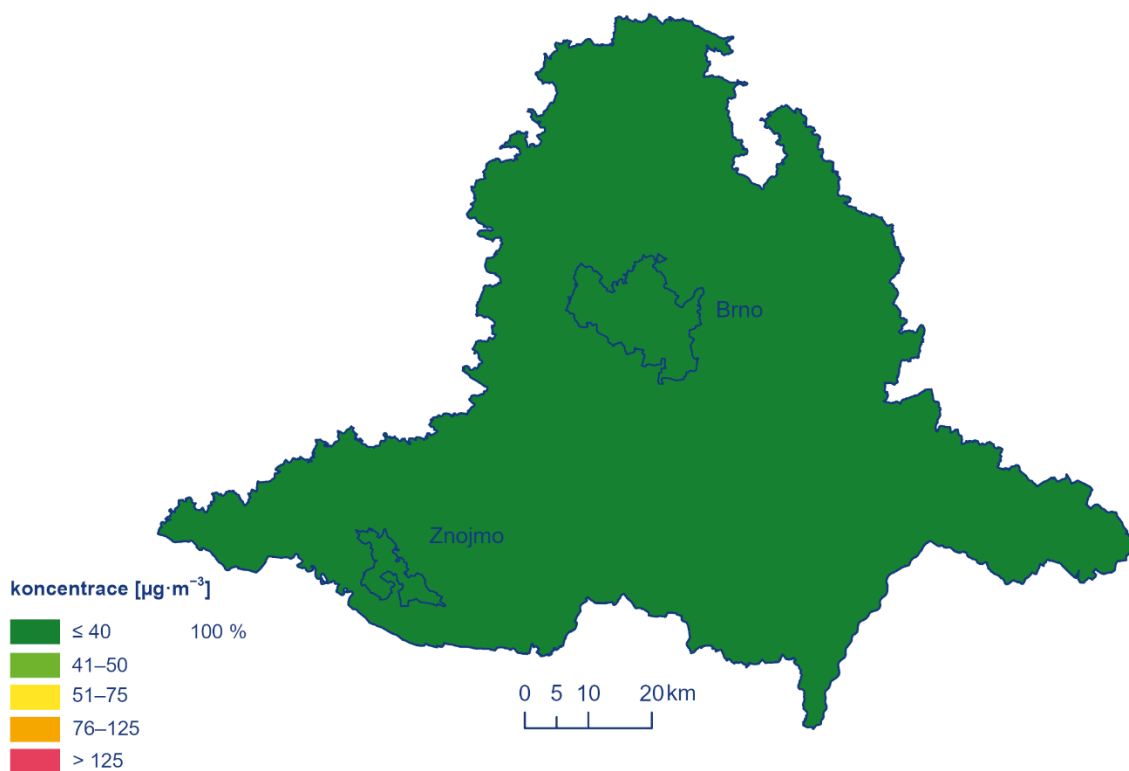
Obrázek 68 - průměrné roční koncentrace SO₂ za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Průměrné měsíční koncentrace ze stanic s dostupným ročním průměrem za rok 2021 ukazuje následující graf.



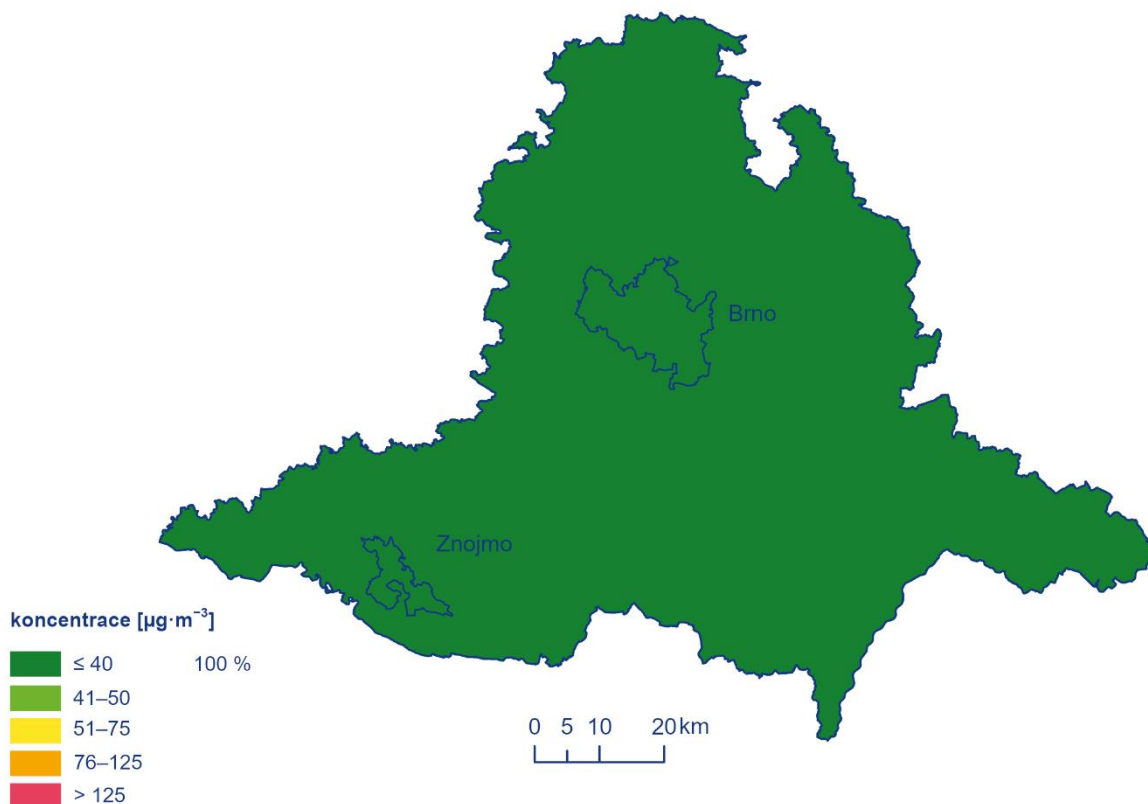
Obrázek 69 - průběh průměrných měsíčních koncentrací SO₂ na jihomoravských stanicích imisního monitoringu v roce 2021.

Následující mapa ukazuje pole 4. nejvyšší 24h koncentrace SO₂ v Jihomoravském kraji v roce 2021. Vzhledem k faktu, že jsou koncentrace SO₂ v současnosti v celé republice velmi nízké, je i celý Jihomoravský kraj vybarven do zelena, tedy koncentrace dosahují hodnot do 50 µg.m⁻³. Hodnota příslušného imisního limitu je 125 µg.m⁻³. Ve skutečnosti jsou navíc 4. nejvyšší 24h koncentrace výrazně nižší než 50 µg.m⁻³.



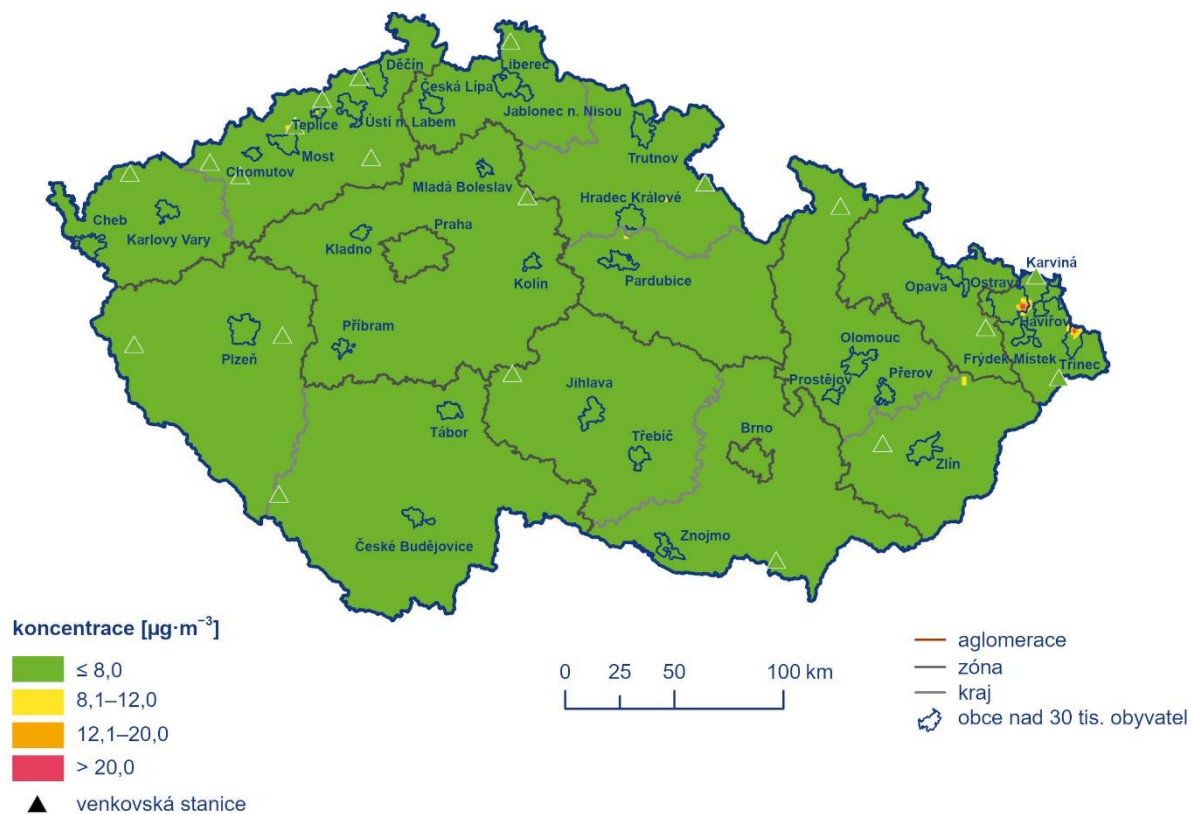
Obrázek 70 - pole 4. nejvyšší 24h koncentrace SO_2 v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

Pro srovnání je níže uvedena totožná mapa, tentokrát však jako pětiletý průměr 4. nejvyšší průměrné 24h koncentrace 2017 až 2021. Příznivý stav co do koncentrací SO_2 panuje dlouhodobě, mapa pětiletého průměru rovněž ukazuje, že koncentrace SO_2 jsou v celém kraji velmi nízké.



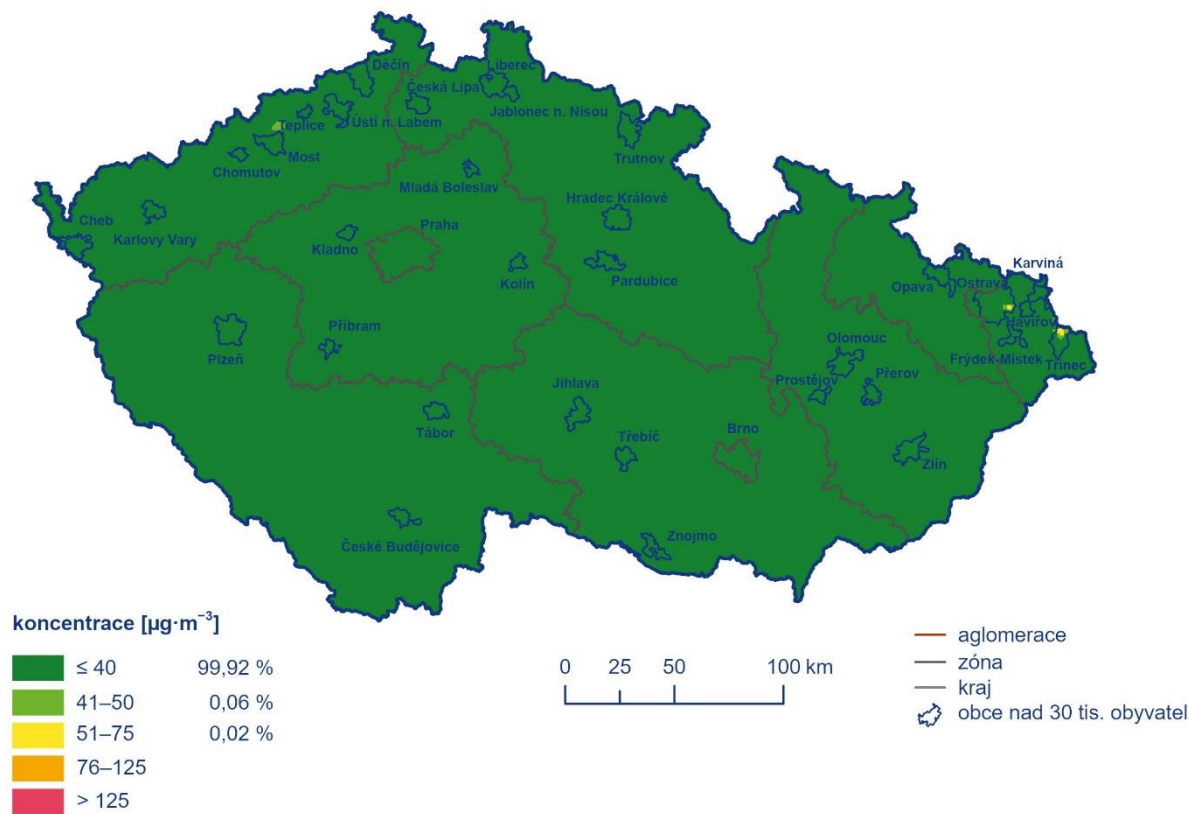
Obrázek 71 - pětiletý průměr 4. nejvyšších 24h koncentrací SO_2 za období 2017-2021 v Jihomoravském kraji.

Následující mapa ukazuje pole průměrné roční koncentrace SO_2 pro celou Českou republiku za rok 2021. Mapa dobře ilustruje fakt, že koncentrace SO_2 jsou celorepublikově velmi nízké. Téměř celé území je zbarveno do zelena, tedy nejnižšího stupně v dané škále. Pouze na velmi malém území, a to výhradně v Moravskoslezském a Ústeckém kraji, dosahovaly v roce 2021 průměrné roční koncentrace SO_2 hodnot v intervalu 8 až $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. v Moravskoslezském kraji i více než $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obrázek 72 - pole průměrné roční koncentrace SO_2 v roce 2021 v České republice.

Následující mapa České republiky pak ukazuje 4. nejvyšší 24h maximální koncentraci SO_2 v roce 2021.



Obrázek 73 – 4. nejvyšší 24h koncentrace SO_2 v roce 2021 v České republice.

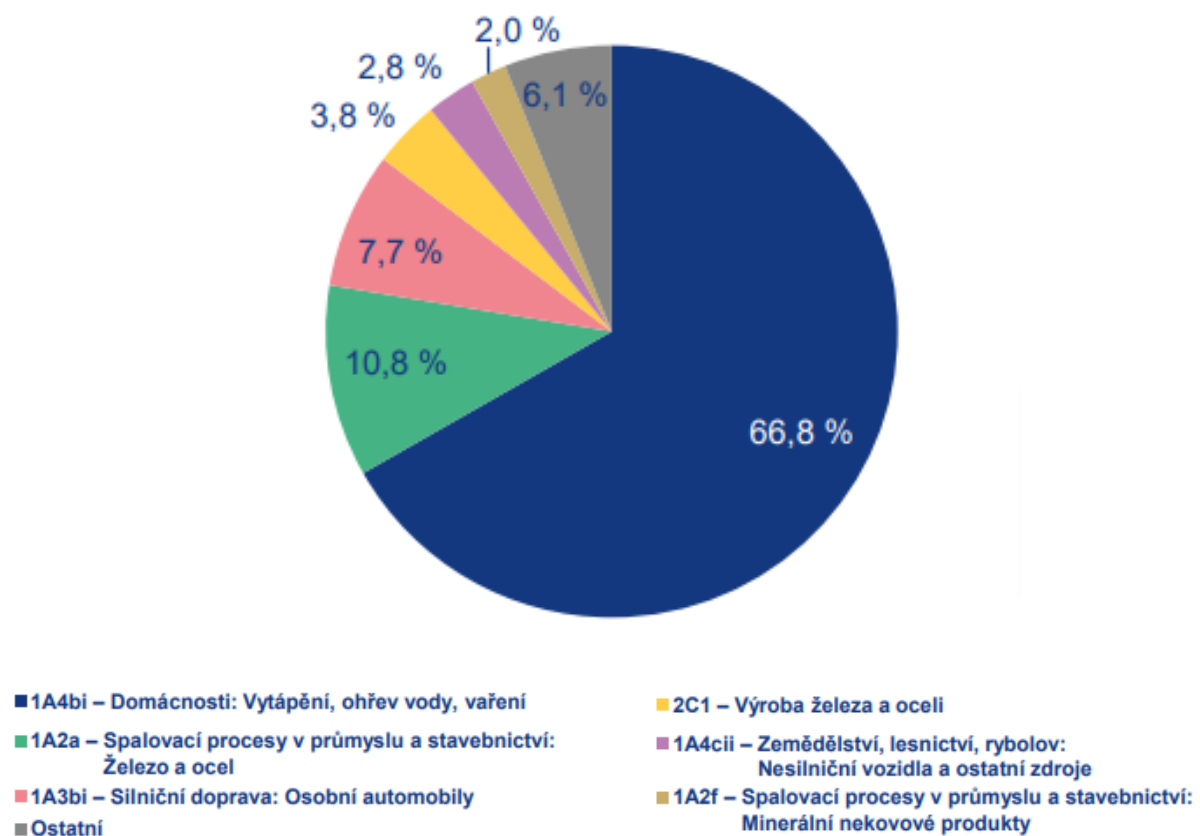
OXID UHELNATÝ (CO)

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 CO₂ 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 74 – podíl sektorů NRF na celkových emisích CO₂, 2019, Česká republika.

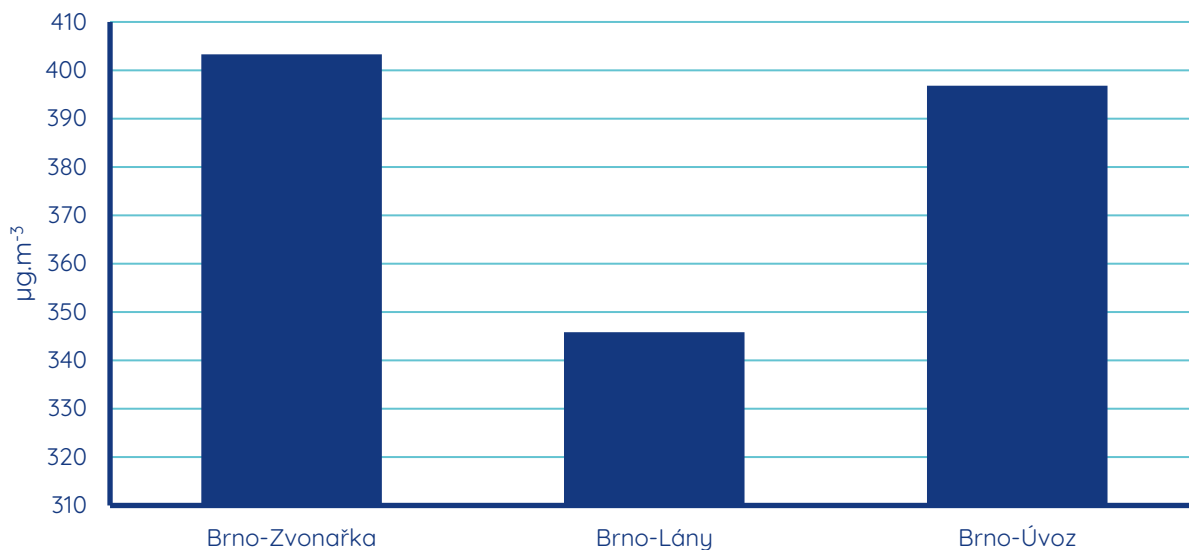
Pro oxid uhelnatý je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro maximální denní 8h klouzavý průměr.

Tabulka 7 - platné imisní limity pro CO v České republice

Perioda	imisní limit
max. denní 8h klouzavý průměr	10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

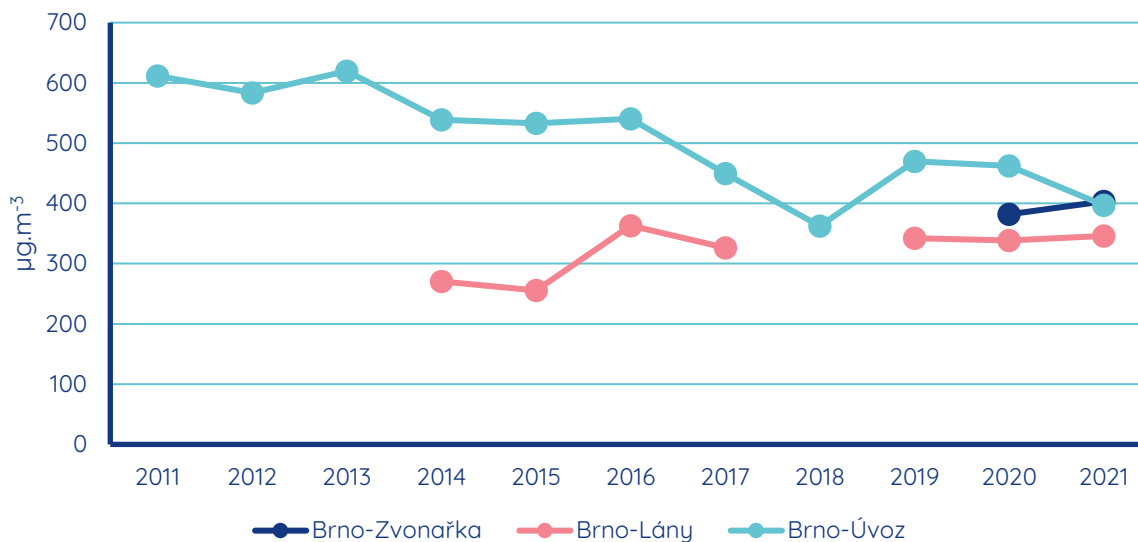
Vzhledem k dlouhodobě velmi nízkým koncentracím CO v celé České republice se počet stanic monitorujících tuto látku výrazně omezil. V současnosti se měří především na dopravních stanicích, kde jsou koncentrace sice zvýšené ve srovnání se stanicemi pozadovými, avšak stále velmi výrazně podlimitní.

Průměrné roční koncentrace CO na stanicích s dostupným ročním průměrem ukazuje následující graf.



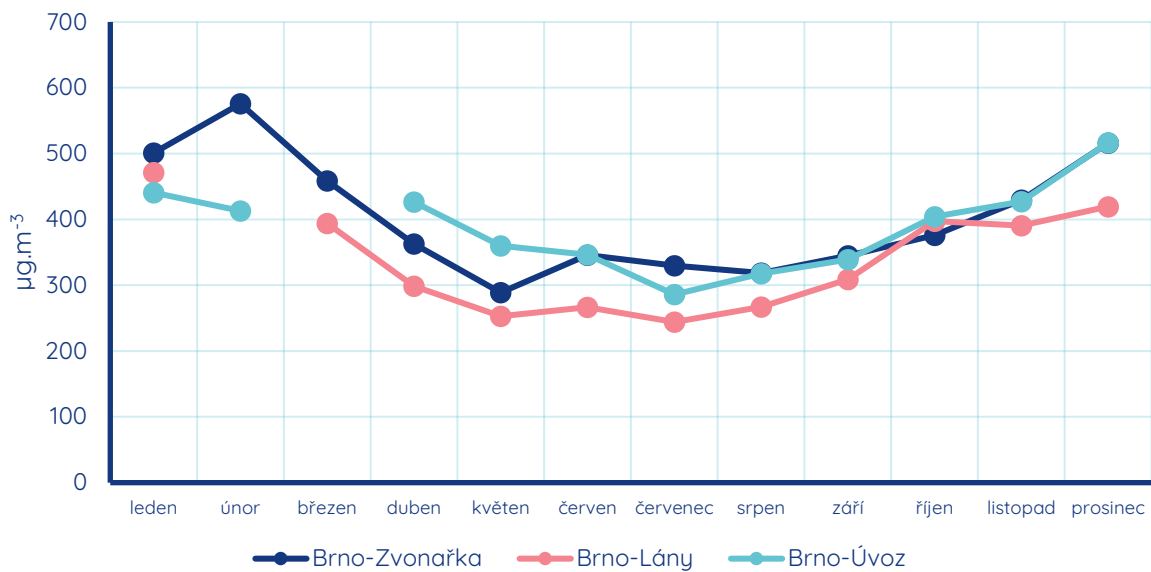
Obrázek 75 - průměrné roční koncentrace CO na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací CO v Jihomoravském kraji ilustruje graf ročních průměrů za období 2011 až 2021. Z grafu je patrné, že zatímco například na stanici Brno-Úvoz je vidět dlouhodobý sestupný trend, v případě stanice Brno-Lány tento trend patrný není.



Obrázek 76 - průměrné roční koncentrace CO za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Průběh měsíčních koncentrací CO v roce 2021 ukazuje následující graf.



Obrázek 77 - průběh průměrných měsíčních koncentrací CO na jihomoravských stanicích imisního monitoringu v roce 2021.

POLYCYKLICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAH)

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 ochlazování kondenzují a sorbují se na částice (saze, jiné pevné částice).

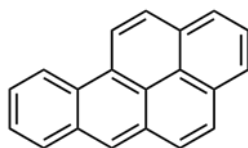
V zákoně o ochraně ovzduší reprezentuje tuto skupinu látek polycyklický aromatický uhlovodík s označením benzo[*a*]pyren (BaP), který má v zákoně stanoven imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou hodnotu.

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, Namieśnik, 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 (BAP)



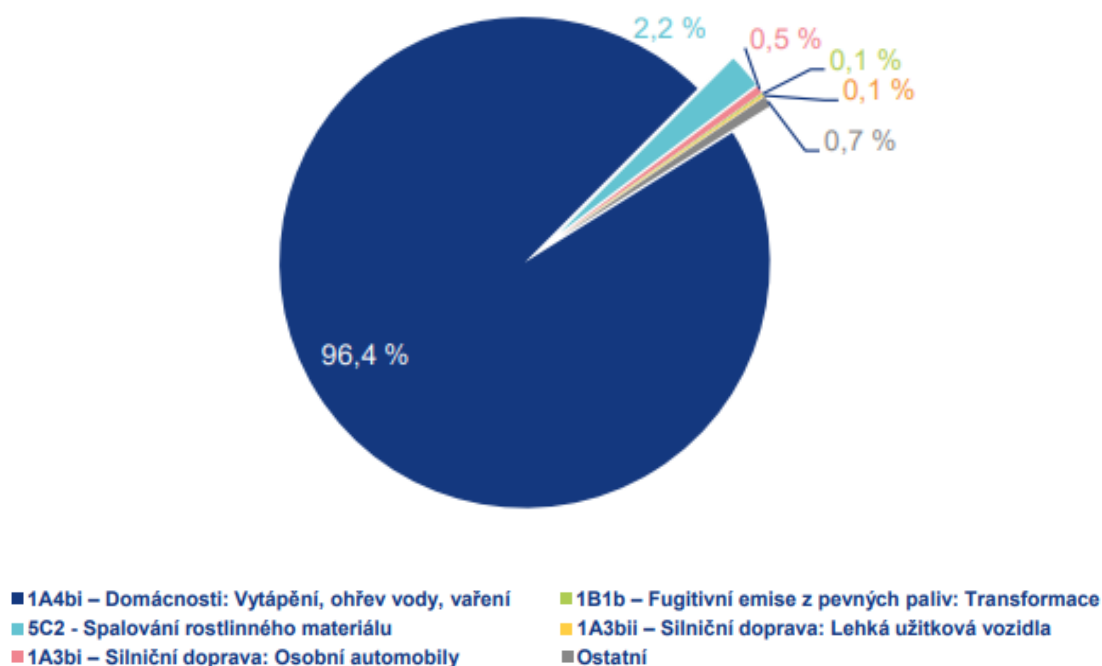
Jedná se o vysoce karcinogenní PAH vyskytující se v emisích zplodinách, v grilovaných potravinách a v cigaretovém kouři. BaP má mimo jiné negativní účinky na nervový a imunitní systém, inhibuje například tvorbu makrofágů, což jsou bílé krvinky odpovědné za likvidaci bakterií, virů a cizorodých látek v našem těle. Je to též látka, jejíž expozice lidskému organismu je spjatá s incidencí rakoviny plic (Guerreiro, 2016).

BaP 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 $PM_{2.5}$.

S jiným PAH, konkrétně chrysenem, tvoří BaP diagnostický poměr $BaP/(BaP+chrysen)$. Je-li hodnota tohoto poměru 0,5, může to poukazovat na emisní zdroj z naftových motorů. Je-li rovna 0,73, emisním zdrojem jsou pravděpodobně motory benzínové (Křůmal, Mikuška, Večeřa, 2012).

Koncentrace benzo[*a*]pyrenu v [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] a dalších polyaromatických látek se stanovuje plynovou chromatografií. Výsledné množství analytu ve vzorku je při konečném výpočtu koncentrace v ovzduší vztahováno na množství prosátého vzduchu.

Mezi nejvýznamnější emisní zdroje se řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích. Dle emisní bilance z roku 2019 dominuje tedy sektor: Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (96,4 %), dále pak: Spalování rostlinného materiálu (2,2 %).



Obrázek 78 – podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[*a*]pyrenu, 2019, Česká republika.

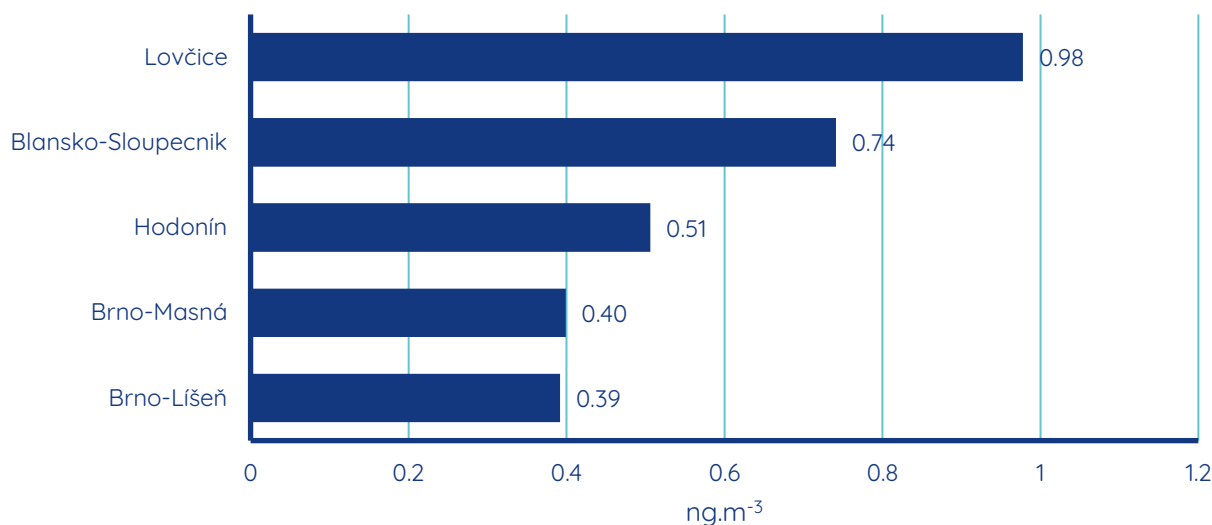
Pro benzo[*a*]pyren je v zákoně o ochraně ovzduší stanoven imisní limit pro roční průměrnou koncentraci této látky.

Tabulka 8 - platné imisní limity pro benzo[*a*]pyren v České republice

Perioda	imisní limit
roční průměrná koncentrace	$1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$

V Jihomoravském kraji byly v roce 2021 roční průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu k dispozici na stanicích Brno-Líšeň, Brno-Masná, Hodonín, Blansko-Sloupečnick a Lovčice. Následující graf ukazuje průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu v roce 2021. Z grafu

je patrné, že k překročení imisního limitu (1 ng.m^{-3}) nedošlo na žádné z pěti hodnocených lokalit, avšak v lokalitě Lovčice byl roční průměr jen těsně pod limitní hodnotou. Obecně jsou koncentrace nejnižší na brněnských stanicích – tento fakt souvisí se skutečností, že téměř výhradním zdrojem benzo[*a*]pyrenu je lokální vytápění domácností, konkrétně vytápění ve starých kotlech na tuhá paliva. Tento způsob vytápění je výrazně častější na venkově a v malých obcích než v městech. Lokalita Lovčice je z níže uvedených lokalit jediná venkovská. Na brněnských stanicích byl roční průměr koncentrace benzo[*a*]pyrenu na necelé polovině hodnoty příslušného imisního limitu pro ochranu zdraví.

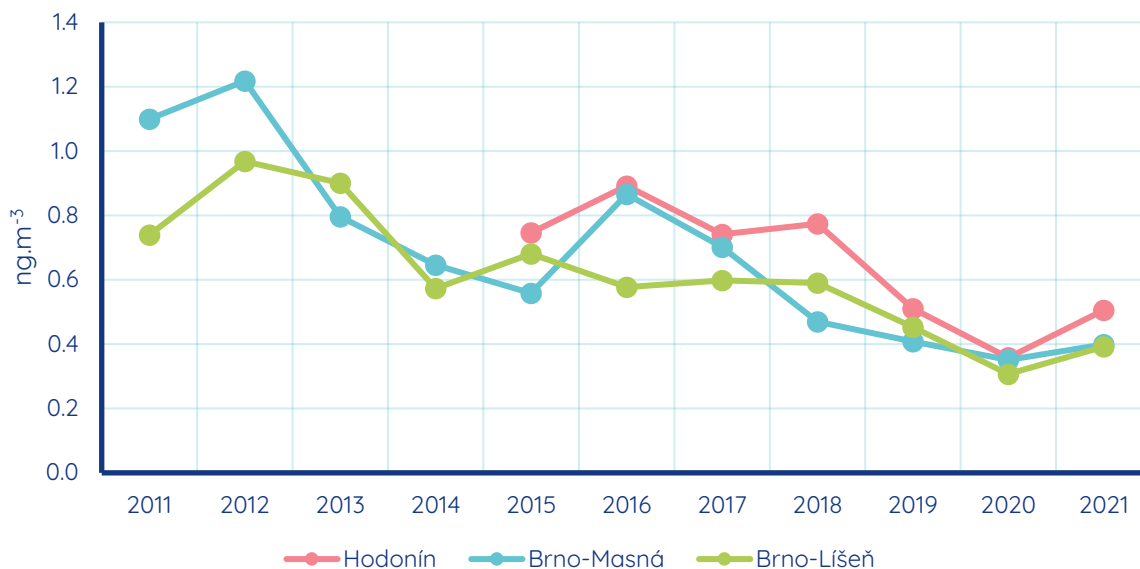


Obrázek 79 - průměrné roční koncentrace BaP na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací benzo[*a*]pyrenu ukazuje následující graf. V grafu je patrné, že koncentrace benzo[*a*]pyrenu se na všech stanicích dlouhodobě snižují. Do grafu není zahrnuta stanice Blansko-Sloupečnick, která je v provozu teprve od roku 2020 a za rok 2020 nemá k dispozici dostatečné množství dat. Vzhledem ke skutečnosti, že je k dispozici pouze jeden roční průměr, není možné sledovat dlouhodobý vývoj koncentrací benzo[*a*]pyrenu na této stanici. To stejné platí o stanici Lovčice, která byla zřízena až na začátku roku 2021 a má rovněž k dispozici pouze tento jeden roční průměr.

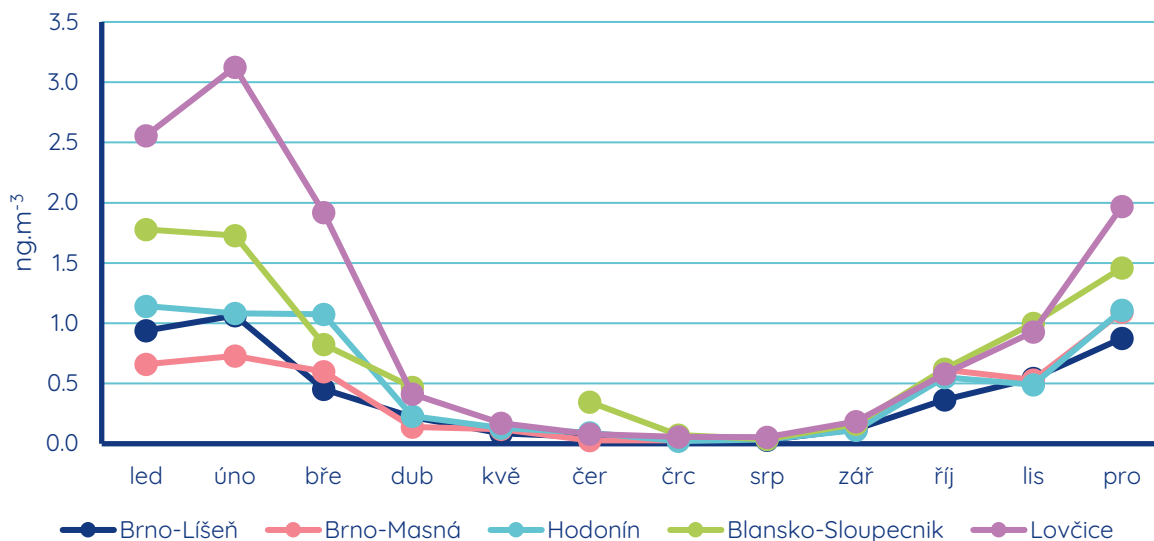
Z grafu je také patrné, že dochází k dlouhodobému poklesu koncentrací benzo[*a*]pyrenu. Vůbec nejnižší byly koncentrace v roce 2020, důvody pro tuto historicky nejlepší hodnotu byly popsány v předchozích kapitolách a souvisí s extrémně dobrými rozptylovými a meteorologickými podmínkami v roce 2020, především pak v únoru 2020. Únor je

měsícem, kdy dlouhodobě bývají koncentrace benzo[*a*]pyrenu jedny z nejvyšších v roce, protože se jedná o chladný měsíc. Velmi nízké hodnoty v únoru 2020 tedy velmi ovlivnily celkový roční průměr. V roce 2021 byly koncentrace na všech třech hodnocených stanicích druhé nejnižší za 11leté období 2011-2021.



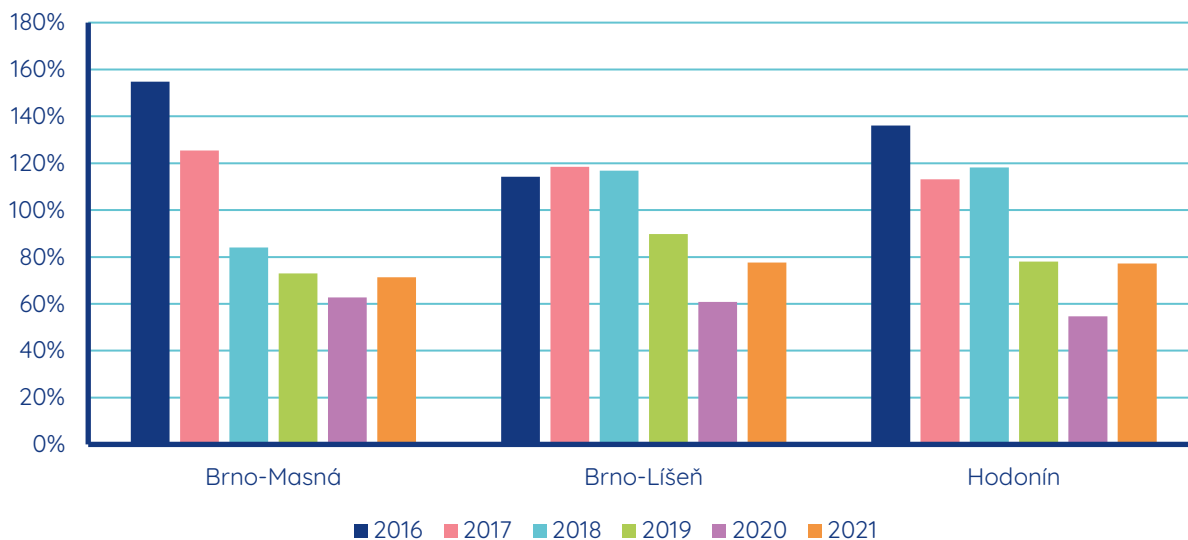
Obrázek 80 - průměrné roční koncentrace BaP za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Jelikož pochází emise benzo[*a*]pyrenu takřka výhradně z lokálního vytápění domácností, jsou koncentrace benzo[*a*]pyrenu nejvyšší v topné sezóně, zejména v nejchladnější období roku, a naopak v letních měsících jsou téměř nulové. Tento velmi výrazný roční chod ukazuje i následující graf průměrných měsíčních koncentrací benzo[*a*]pyrenu za rok 2021 na stanicích v Jihomoravském kraji.



Obrázek 81 - průběh průměrných měsíčních koncentrací BaP na jihomoravských stanicích imisního monitoringu v roce 2021.

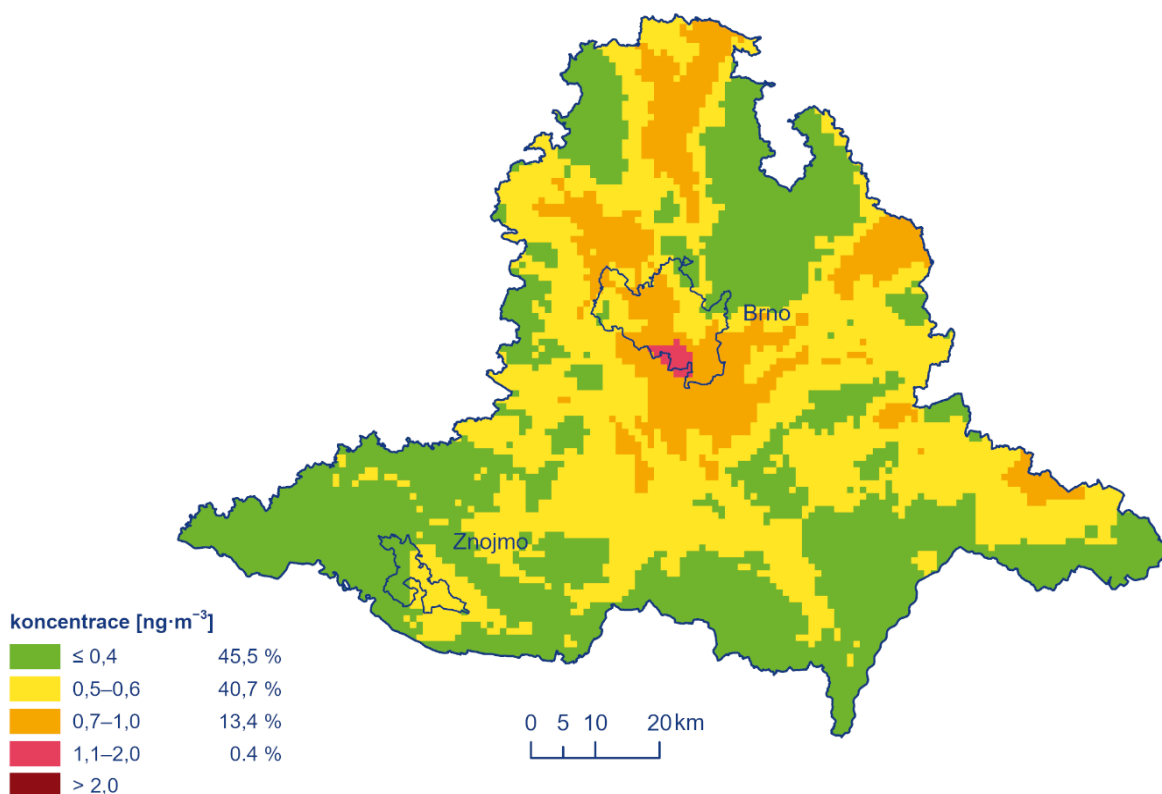
Podíl roční průměrné koncentrace z pětiletého průměru 2016-2020 ukazuje následující graf. Na grafu je patrné, že průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu se na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021 pohybovaly mezi 60 a 80 % pětiletého průměru 2016-2020.



Obrázek 82 – podíl roční průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu v jednotlivé roky období 2016-2021 z průměru za období 2016-2020 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

Následující mapa ukazuje pole průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu v Jihomoravském kraji v roce 2021. V tomto případě je již patrné, že v některých oblastech, na území Brna, dochází k překračování ročního imisního limitu (červené odstíny v mapě). Toto překročení lze očekávat v okrajových částech Brna, které jsou charakteristické

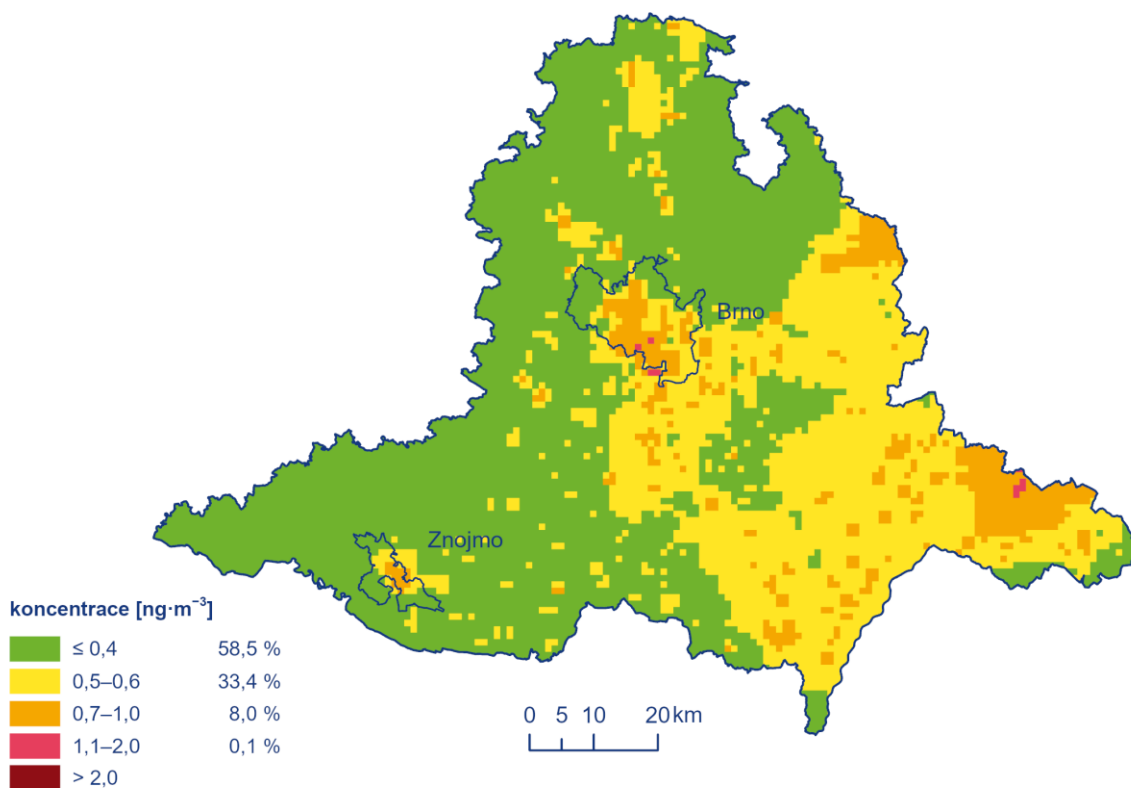
zejména rodinnými domky a zahrádkářskými koloniemi, naopak ve čtvrtích se sídlišti, kde dominuje centrální vytápění lze očekávat výrazně menší podíl vytápění ve starých kotlech na tuhá paliva. V případě této mapy je dále nutné zdůraznit, že je zatížena velmi velkou nejistotou. Koncentrace benzo[*a*]pyrenu bývají velmi vysoké zejména v malých obcích s vysokým podílem vytápění na tuhá paliva. Lišit se tak může i obec od obce. Model není schopný tyto rozdíly rozpoznat ani vyhodnotit, protože neexistují přesné a kompletní informace o způsobu vytápění v každé jednotlivé obci a stejně tak neprobíhá v každé obci měření imisí. Jak však ukázaly studie (Skeřil, 2018), koncentrace v malých obcích například na jih od Brna mohou být výrazně vyšší než v Brně. Podobnou situaci lze očekávat i v řadě dalších obcí na jižní Moravě i celé České republice.



Obrázek 83 - pole průměrné roční koncentrace BaP v roce 2021 v Jihomoravském kraji.

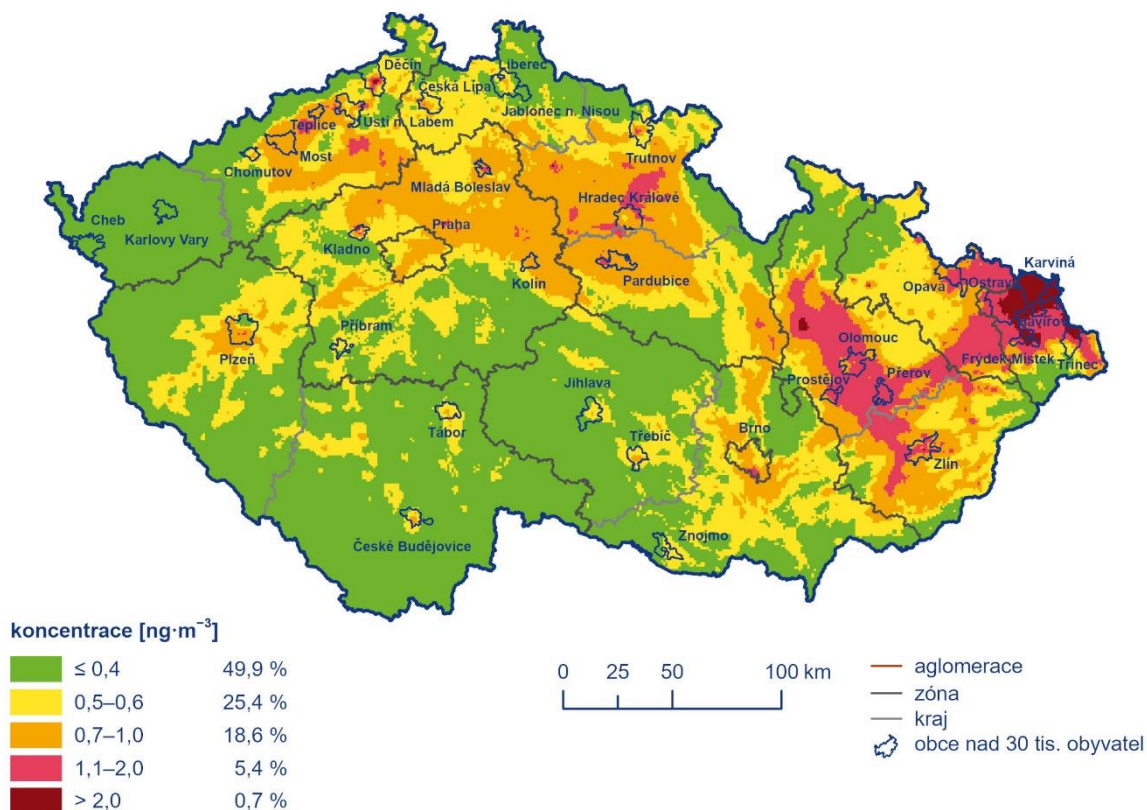
Pro srovnání je níže uvedena totožná mapa, tentokrát však jako pětiletý průměr 2017 až 2021. Stejně jako v případě výše uvedené mapy ročního průměru za rok 2021, je i tato mapa zatížena velmi vysokou nejistotou a nedokáže popsat průměrné roční koncentrace na úroveň každé jednotlivé obce. Na základě předchozích měření (Skeřil, 2018) lze konstatovat, že je víceméně jisté, že v některých obcích může docházet i k výraznějšímu

překročení imisního limitu, přestože v mapce níže je podíl území s překročeným imisním limitem modelem odhadován pouze na 0,1 % území.

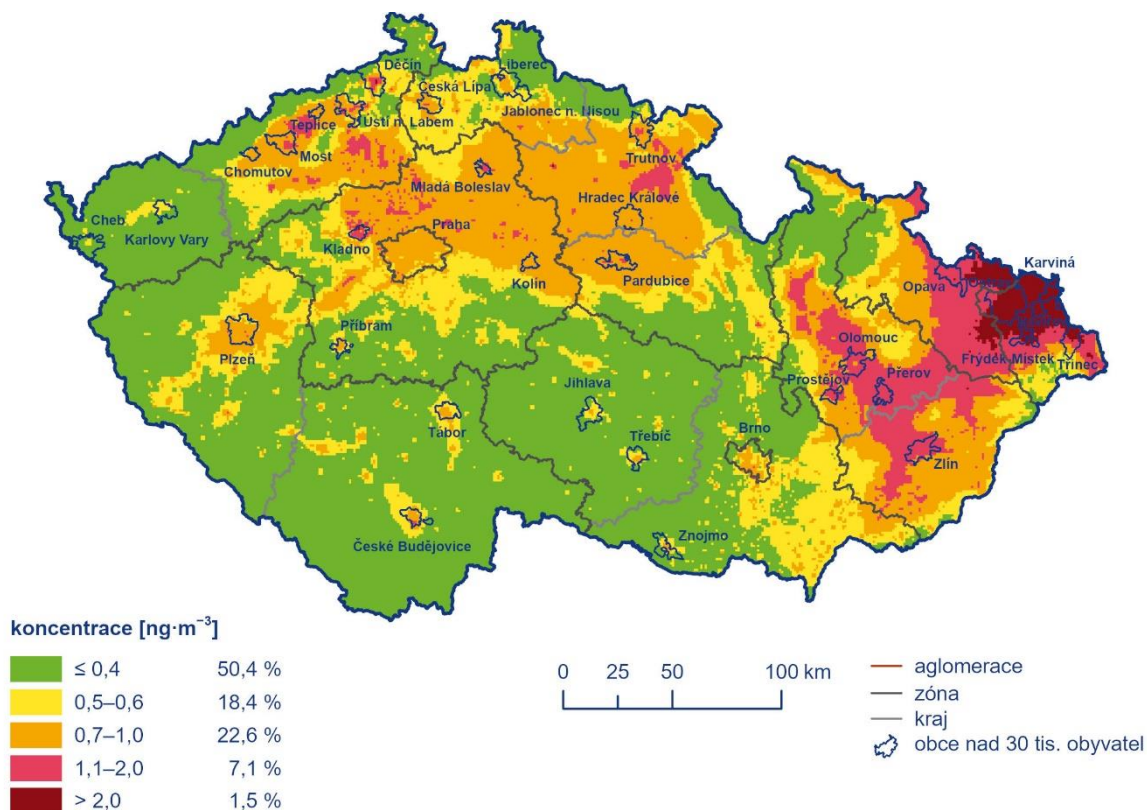


Obrázek 84 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací BaP za období 2017-2021 v Jihomoravském kraji.

Následující mapy ukazují pole průměrné roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu za rok 2021 a jako pětiletý průměr 2017-2021 pro celou Českou republiku. Z mapy celé republiky je jasně patrné, že právě benzo[*a*]pyren představuje nejvýznamnější problém znečišťování ovzduší v České republice. Situace je v tomto směru nejhorší v Moravskoslezském kraji. Významný podíl částic PM a v nich obsaženého benzo[*a*]pyrenu se sem však dostává z Polska. Z Moravskoslezského kraje se PM a benzo[*a*]pyren dostávají moravskou bránou přes Zlínský kraj až do kraje Jihomoravského.



Obrázek 85 - pole průměrné roční koncentrace BaP v roce 2021 v České republice.



Obrázek 86 - pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací BaP za období 2017-2021 v České republice.

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 toxické, a proto jsou sledovány nejen v ovzduší, ale i ve vodních a suchozemských ekosystémech a potravinách.

Expozice některým kovům s sebou může nést celou 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.

Koncentrace Ni, As, Cd a Pb (těžkých kovů) v ovzduší se stanovuje metodou ICP-MS s vysokou citlivostí. Vzorek je ionizován v plazmě, kvadrupólem jsou odděleny ionty dané hmotnosti (m/Z), ty dopadají na detektor, kde způsobují signál o intenzitě přímo úměrné koncentraci prvku ve vzorku.

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_{10} .

Tabulka 9 - platné imisní limity pro těžké kovy v České republice

Kov	imisní limit (IL)
arzen (As)	6 ng.m^{-3}
kadmium (Cd)	5 ng.m^{-3}
nikl (Ni)	20 ng.m^{-3}
olovo (Pb)	500 ng.m^{-3}

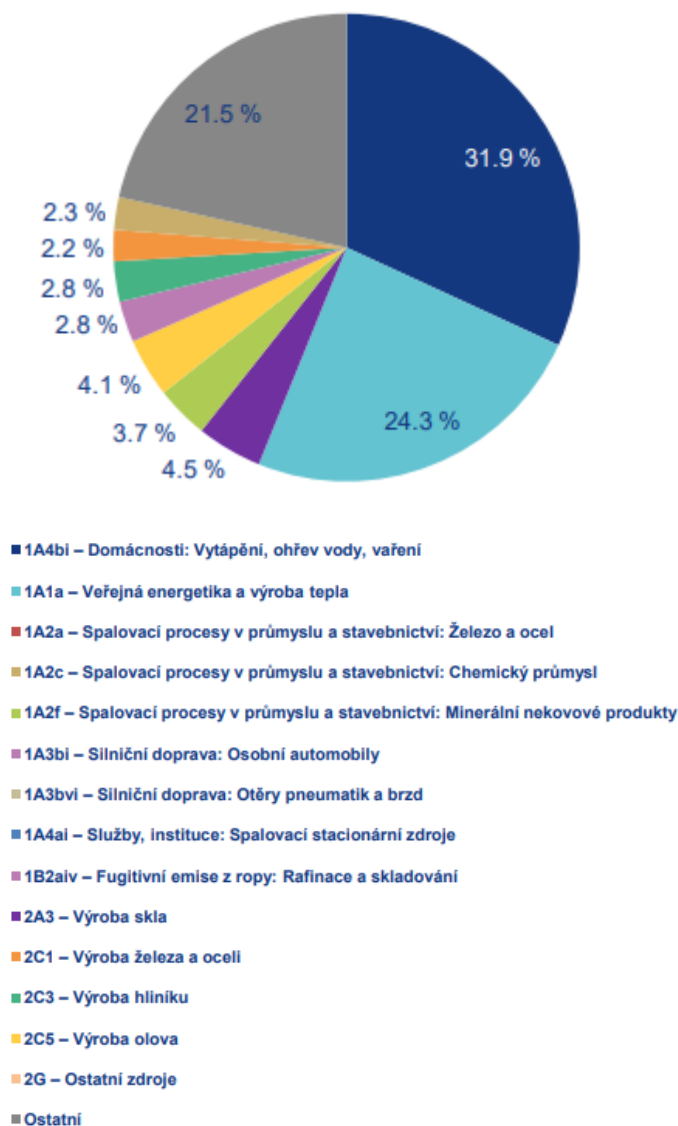
ARZEN (AS)

Arsen představuje toxický polokov přítomný v řadě organických i anorganických látek. Přírodními zdroji arsenu jsou například vulkanický popel, vymývání hornin nebo mineralizovaná podzemní voda (Keshavarzi, 2011). Pokud se arsen vyskytuje v půdě,

dostává se do rostlinných těl a jejich konzumace pak může být velmi nebezpečná (Zhao, 2010). Stejně tak byly zaznamenány případy vysokých koncentrací arsenu ve vodě (atmosférickým spadem), a tím došlo k otravě osob (Uddin, 2011). Toxicita tohoto prvku závisí do velké míry na oxidačním čísle arsenu ve sloučenině. Sloučeniny As^{3+} jsou asi 60× jedovatější než As^{5+} (Ratnaika, 2003). Na lidský organismus působí arsen jako karcinogen, vyvolává rakovinu plic a kůže a může zvyšovat pravděpodobnost vzniku nádorů jater, ledvin a močového měchýře (Tokar, 2010; Hosseini, 2013; Letašiová, 2012). Sloučeniny arsenu mají vysokou schopnost kumulace v organismu, akumulují se i ve vlasech, nehtech a kůži.

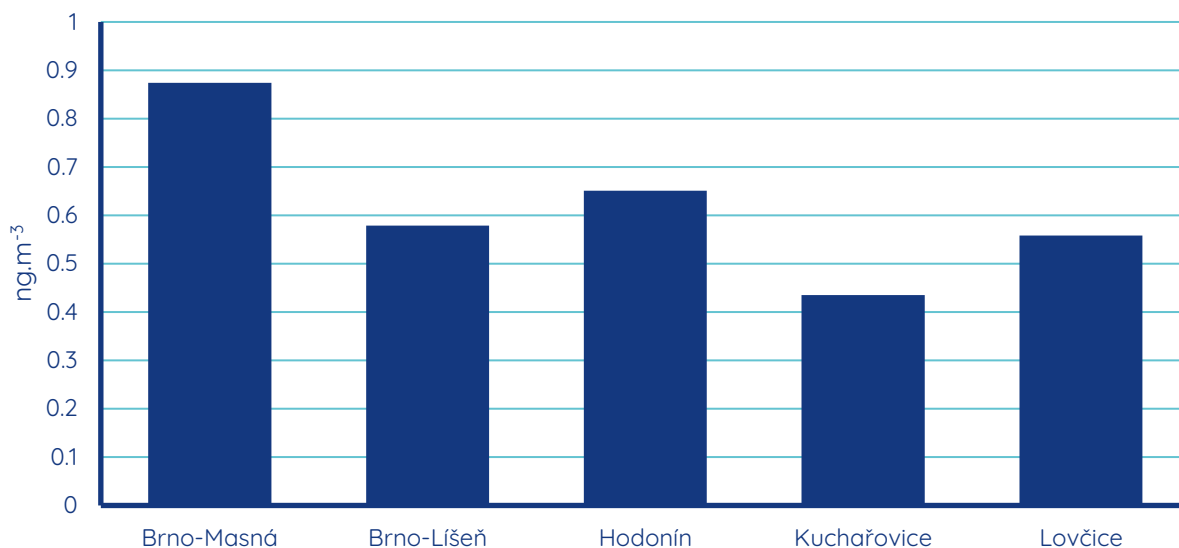
Do ovzduší se arsen dostává spalováním fosilních paliv nebo dřeva konzervovaného přípravky obsahujícími arsen. Vyšší koncentrace se mohou vyskytovat i v okolí metalurgických závodů, které zpracovávají například měď nebo olovo (Yang, 2013).

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 dominuje sektor: Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (31,9 %), dále pak sektor: Veřejná energetika a výroba tepla (24,3 %).



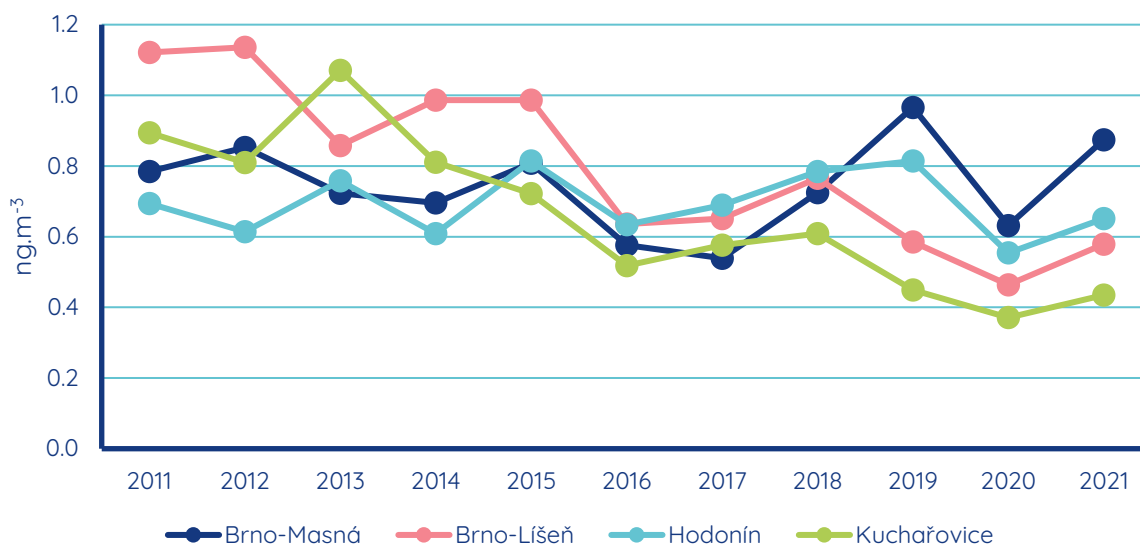
Obrázek 87 - podíl sektorů NFR na celkových emisích arzenu, 2019, Česká republika.

Následující graf ukazuje průměrné roční koncentrace arzenu na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021. Ve všech případech jsou roční průměrné koncentrace výrazně podlimitní.



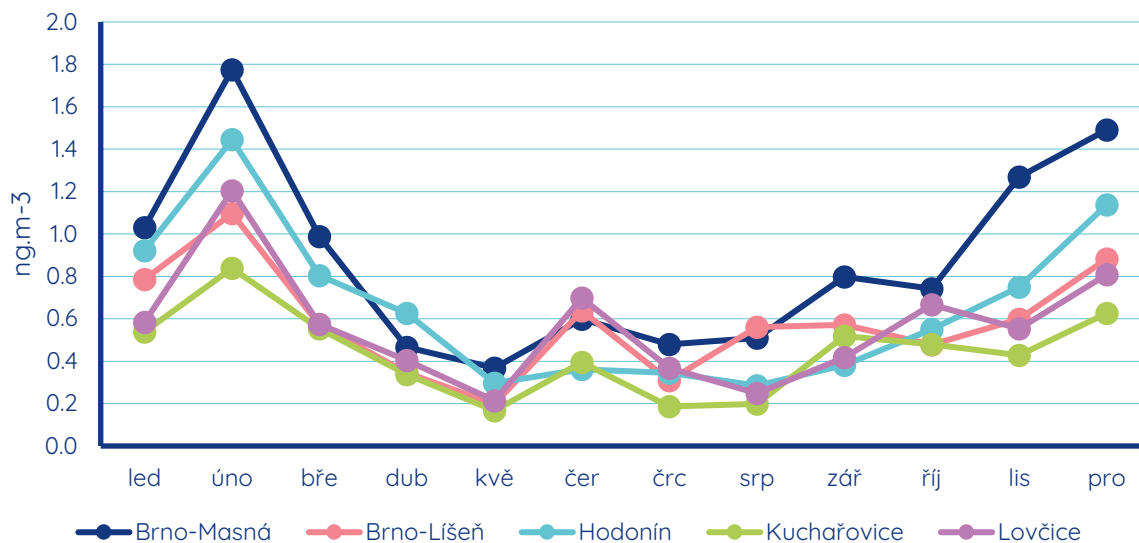
Obrázek 88 - průměrné roční koncentrace As na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj koncentrací arzenu v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf průměrných ročních koncentrací As v období 2011 až 2021. Do grafu není zařazena stanice Lovčice, která má k dispozici pouze jeden roční průměr, a tedy nelze hodnotit dlouhodobý vývoj. Z grafu je patrné, že v roce 2021 byly hodnoty průměrných ročních koncentrací arzenu vyšší než v roce 2020. Ve všech letech se však průměrné roční koncentrace pohybovaly hluboko pod hodnotou imisního limitu pro ochranu zdraví pro arzen (6 ng.m⁻³).



Obrázek 89 - průměrné roční koncentrace As za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Dílčí měsíční průměrné koncentrace arzenu v roce 2021 na stanicích v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf. Nejvyšší byly koncentrace arzenu v únoru.



Obrázek 90 - průběh průměrných měsíčních koncentrací As na jihomoravských stanicích imisního monitoringu v roce 2021.

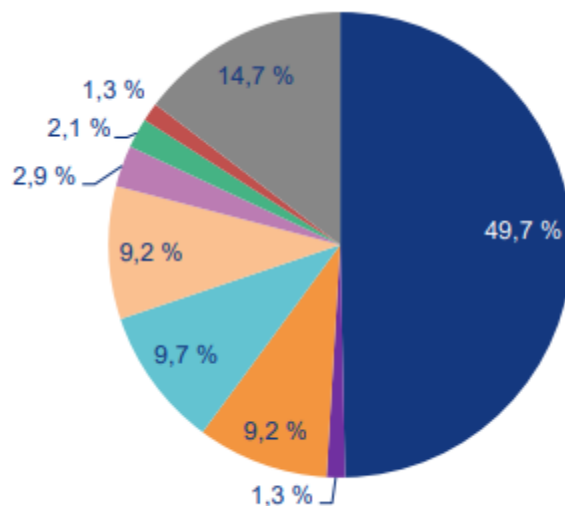
KADMIUM (Cd)

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 (Grant, 2010). 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).

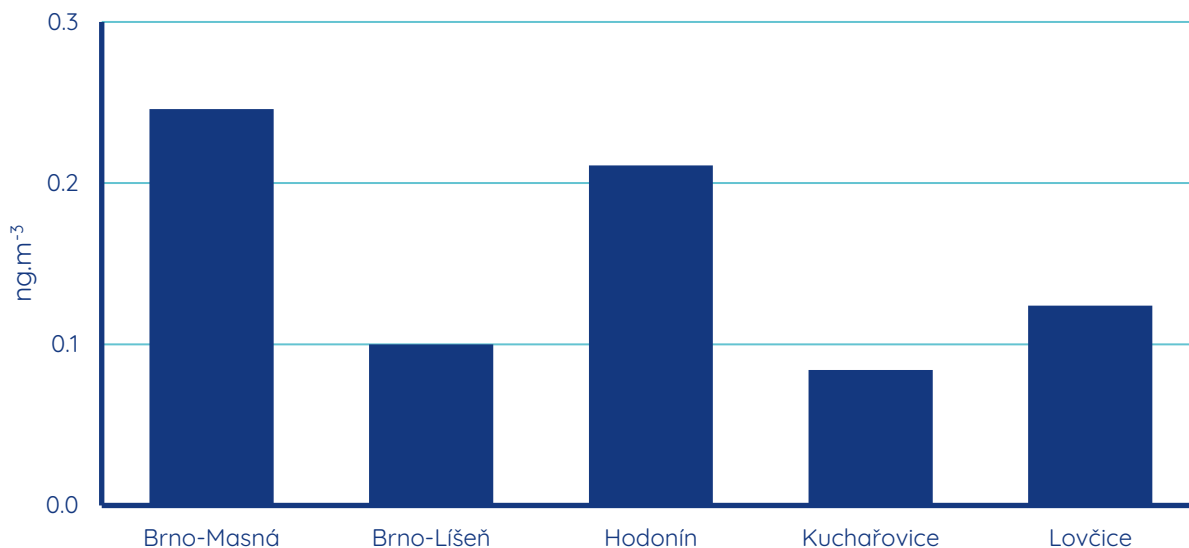
Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 dominuje sektor: Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření (49,7 %), dále pak sektor: Veřejná energetika a výroba tepla (9,7 %).



- 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření
- 1A1a – Veřejná energetika a výroba tepla
- 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
- 1A3bi – Silniční doprava: Osobní automobily
- 1A3bvi – Silniční doprava: Otěry pneumatik a brzd
- 1A4ai – Služby, instituce: Spalovací stacionární zdroje
- 1B2aiv – Fugitivní emise z ropy: Rafinace a skladování
- 2A3 – Výroba skla
- 2C1 – Výroba železa a oceli
- 2C3 – Výroba hliníku
- 2C5 – Výroba olova
- 2G – Ostatní zdroje
- Ostatní

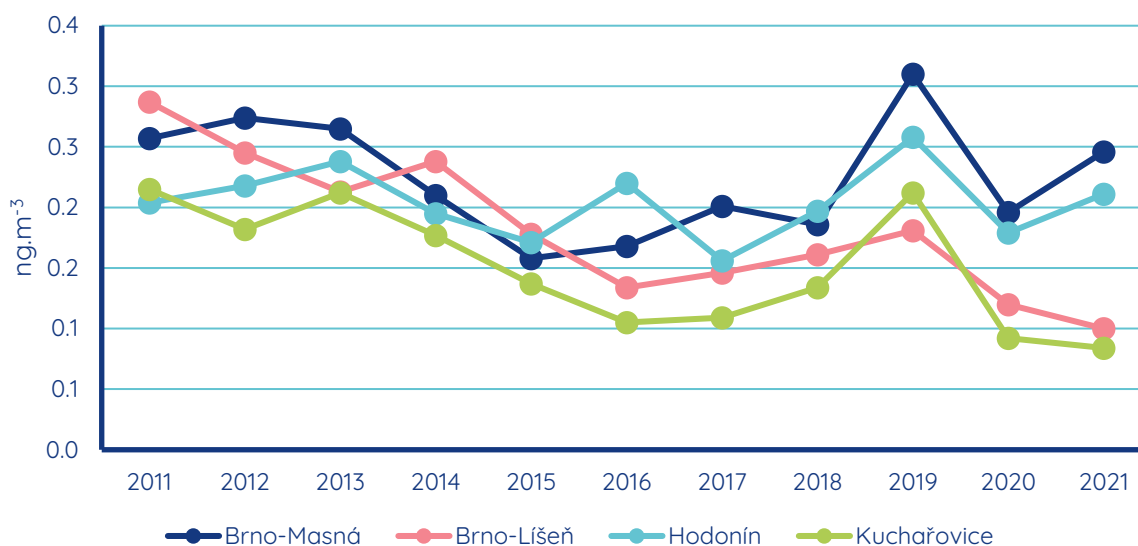
Obrázek 91 - podíl sektorů NFR na celkových emisích Cd, 2019, Česká republika.

Následující graf ukazuje průměrné roční koncentrace kadmia na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021. Ve všech případech jsou roční průměrné koncentrace výrazně podlimitní.



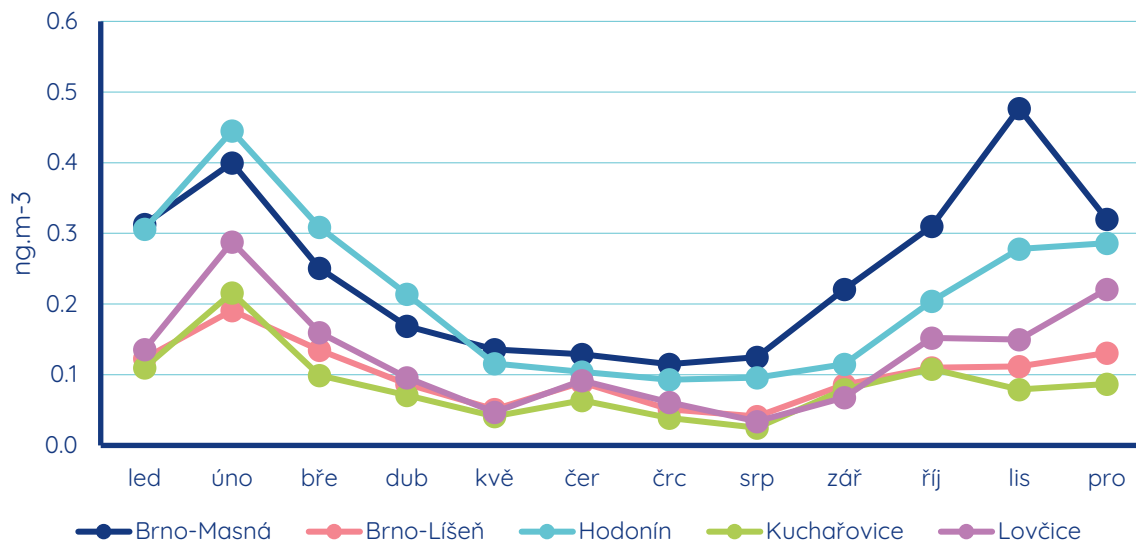
Obrázek 92 - průměrné roční koncentrace Cd na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj koncentrací kadmia v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf průměrných ročních koncentrací Cd v období 2011 až 2021. Do grafu není zařazena stanice Lovčice, která má k dispozici pouze jeden roční průměr, a tedy nelze hodnotit dlouhodobý vývoj. Na grafu je patrný dlouhodobý pokles průměrných ročních koncentrací tohoto kovu, ze kterého vybočuje rok 2019, kdy došlo k výraznějšímu nárůstu koncentrací této látky na všech hodnocených stanicích. Právě fakt, že nárůst byl pozorován jak na brněnských stanicích, tak na stanicích jinde v Jihomoravském kraji naznačuje, že se nemohlo jednat o nějaký lokální zdroj, ale znečištění plošnějšího charakteru.



Obrázek 93 - průměrné roční koncentrace Cd za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Dílčí měsíční průměrné koncentrace kadmia v roce 2021 na stanicích v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf. V tomto grafu je dobře patrný roční chod s maximem v zimních měsících a minimem v letních.



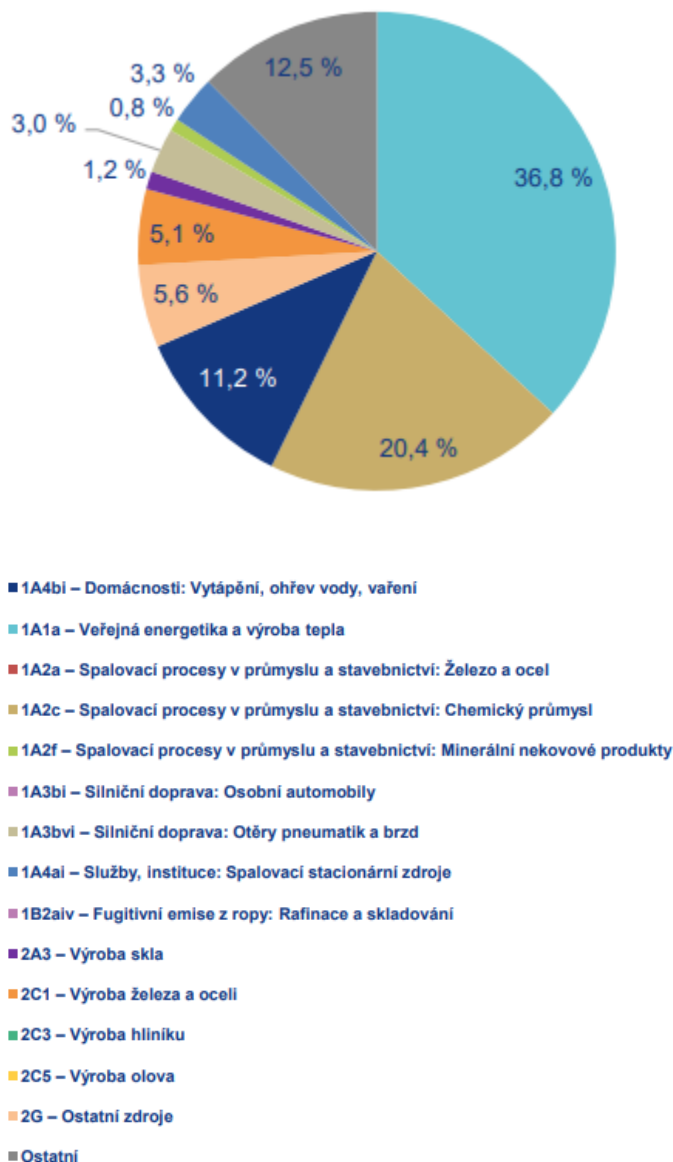
Obrázek 94 - průběh průměrných měsíčních koncentrací Cd na jihomoravských stanicích imisního monitoringu 2021.

NIKL (Ni)

Nikl je stříbroblý lesklý kov patřící do skupiny přechodných kovů, pátý nejhojněji zastoupený prvek na Zemi (po železu, kyslíku, křemíku 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.

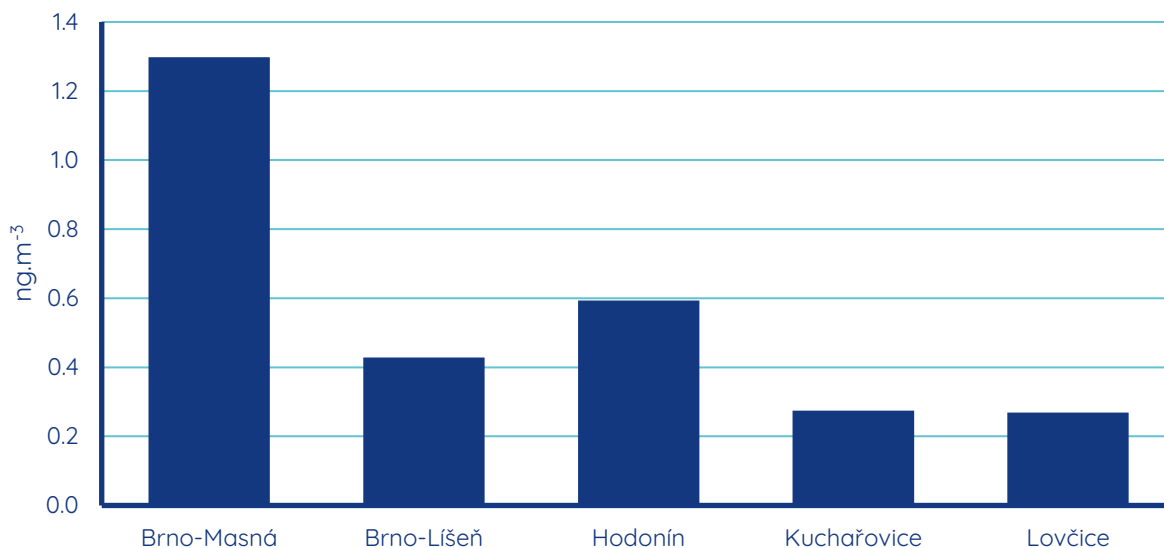
V lidském těle je nikl součástí několika metaloenzymů, včetně ureázy, je důležitou součástí metabolismu lidského těla i rostlin (Yusuf, 2011). Ve vyšších koncentracích je však toxický jak pro lidi, tak pro ostatní organizmy, a jedná se o karcinogen (Chervona, 2012). Do prostředí se dostává jak z přírodních, tak antropogenních zdrojů – zde se jedná například o dopravu, průmysl, fosilní paliva či odpady (Harasim, 2015).

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 dominuje sektor: Veřejná energetika a výroba tepla (36,8 %), dále pak Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Chemický průmysl (20,4 %).



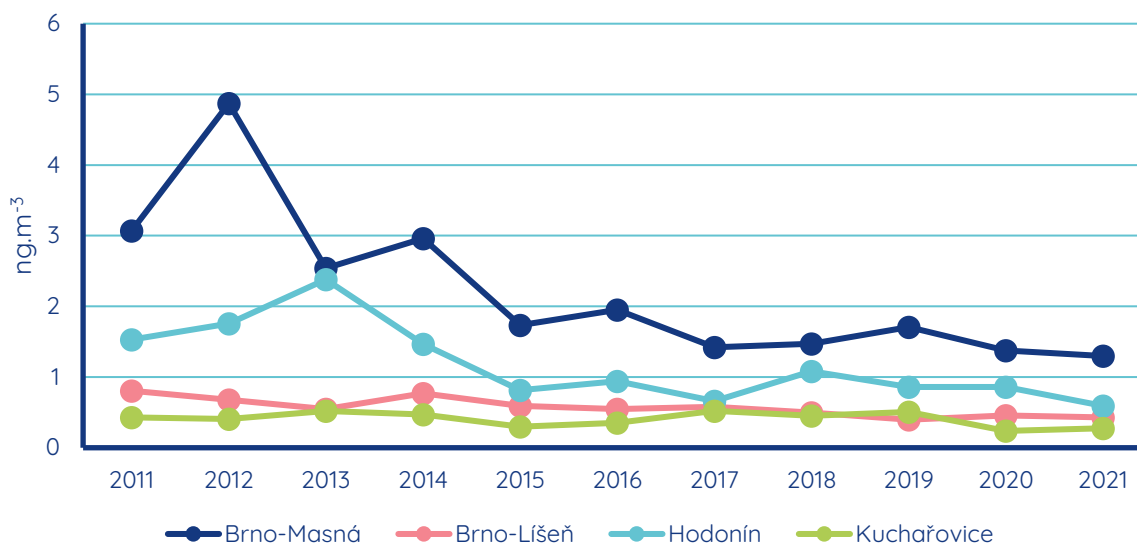
Obrázek 95 - podíl sektorů NFR na celkových emisích Ni, 2019, Česká republika.

Následující graf ukazuje průměrné roční koncentrace niklu na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021. Graf ukazuje, že nejvyšší byly průměrné koncentrace na brněnské pozadřové městské stanici Brno-Masná. Naopak nejnižší na venkovské pozadřové stanici v Lovčicích. Roční průměrné koncentrace na všech níže srovnávaných stanicích jsou výrazně podlimitní.



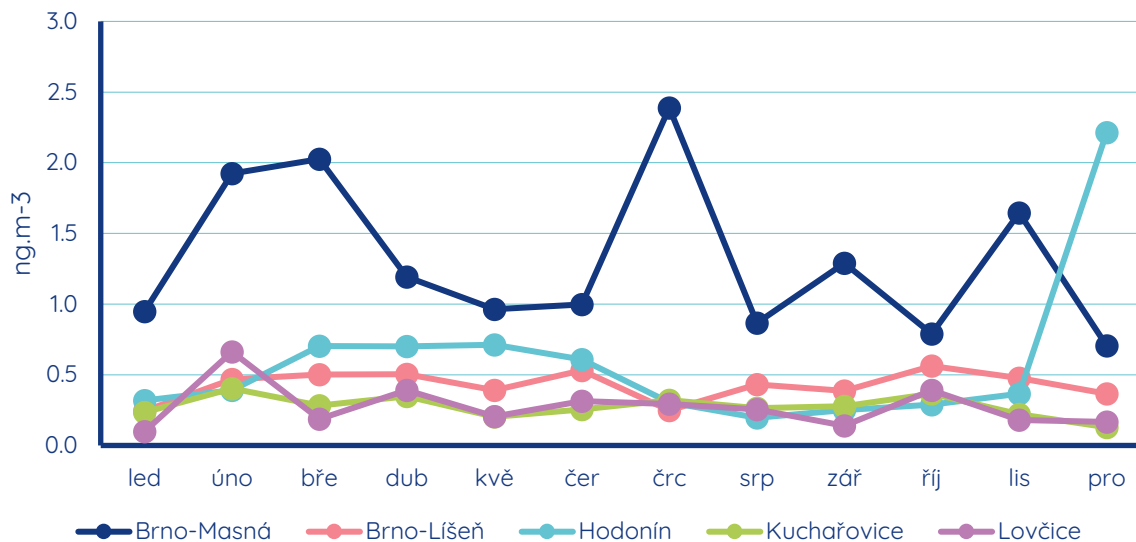
Obrázek 96 - průměrné roční koncentrace Ni na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj koncentrací niklu v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf průměrných ročních koncentrací Ni v období 2011 až 2021. Do grafu není zařazena stanice Lovčice, která má k dispozici pouze jeden roční průměr, a tedy nelze hodnotit dlouhodobý vývoj. Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty jsou dlouhodobě pozorovány na stanici Brno-Masná. Jedná se o stanici v hustší zástavbě a ovlivněné v určité míře dopravou. Naopak na venkovské pozadřové stanici Kuchařovice jsou koncentrace dlouhodobě nejnižší. K nejvýraznějšímu dlouhodobému poklesu dochází právě na stanici Brno-Masná.



Obrázek 97 - průměrné roční koncentrace Ni za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Dílčí měsíční průměrné koncentrace niklu v roce 2021 na stanicích v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf. Z grafu je patrný relativně nepravidelný roční chod, který se navíc výrazně liší na jednotlivých stanicích. Nutno dodat, že v absolutních hodnotách se jedná o velmi nízké koncentrace, a přestože v grafu vypadají meziměsíční rozdíly výrazně, škála osy Y má velmi nízké maximum.



Obrázek 98 - průběh průměrných měsíčních koncentrací Ni na jihomoravských stanicích imisního monitoringu 2021.

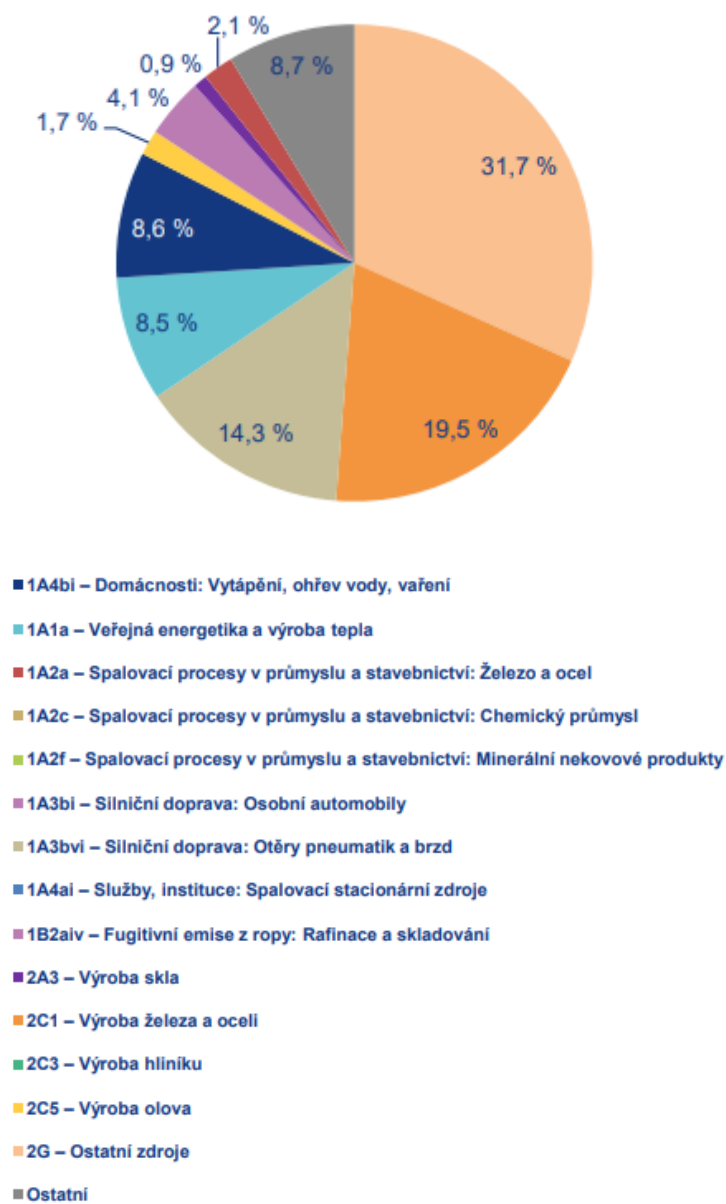
OLOVO (PB)

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 v 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 organizmus je jedovatý jak při inhalaci, tak při pozření, a nežádoucí účinky se mohou 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).

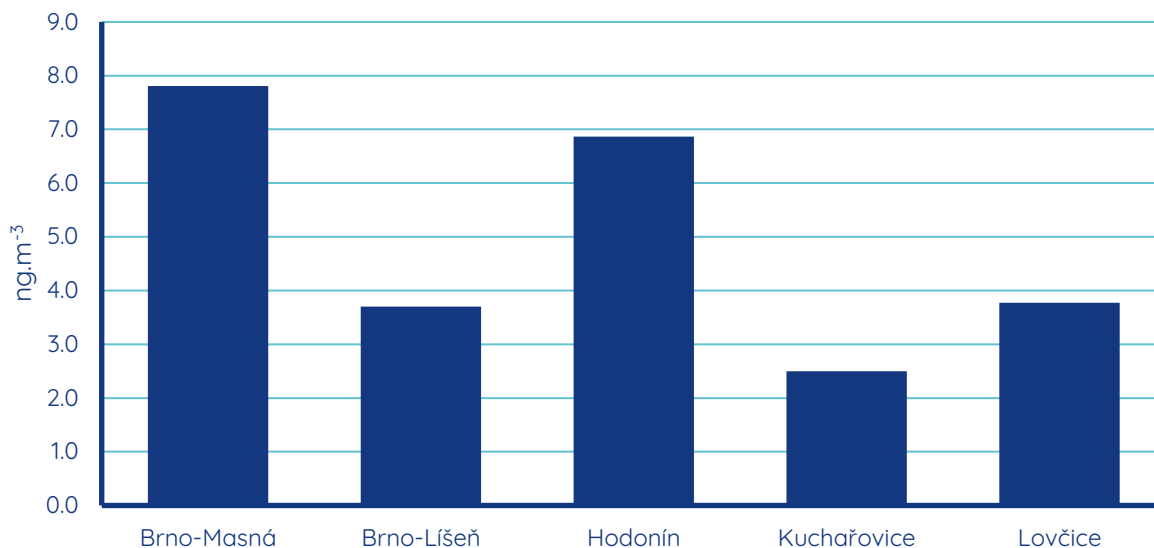
Na přelomu tisíciletí došlo k výraznému snížení koncentrací olova v ovzduší, mj. díky zákazu používání olovnatého benzínu (v EU od roku 2000) (O'Brien, 2011). Imisní limit pro ochranu zdraví pro roční průměrnou koncentraci olova byl stanoven na 500 ng.m^{-3} ($0,5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$).

Dle nejnovější emisní bilance z roku 2019 dominuje sektor: Výroba železa a oceli (19,5 %), dále pak: Spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví: Chemický průmysl (14,3 %).



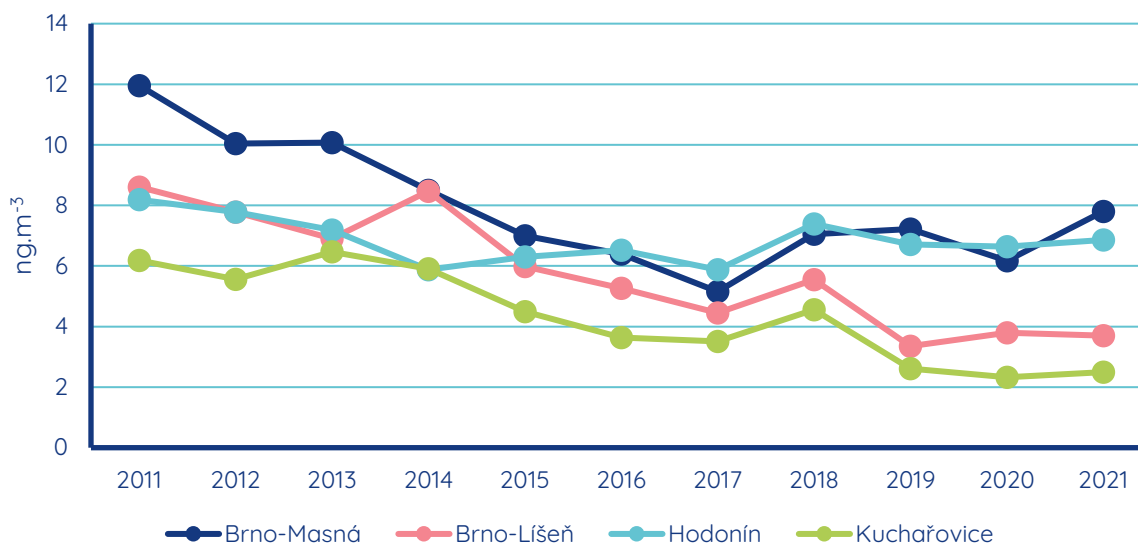
Obrázek 99 - podíl sektorů NFR na celkových emisích Pb, 2019, Česká republika.

Následující graf ukazuje průměrné roční koncentrace olova na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021. Nejvyšší průměrné roční koncentrace byly pozorovány na stanici Hodonín a Brno-Masná. I nejvyšší roční průměr na stanici Brno-Masná ($7,8 \text{ ng.m}^{-3}$) však představuje hodnotu téměř 65násobně nižší, než kolik činí příslušný emisní limit pro roční průměrnou koncentraci olova (500 ng.m^{-3}).



Obrázek 100 - průměrné roční koncentrace Pb na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji za rok 2021.

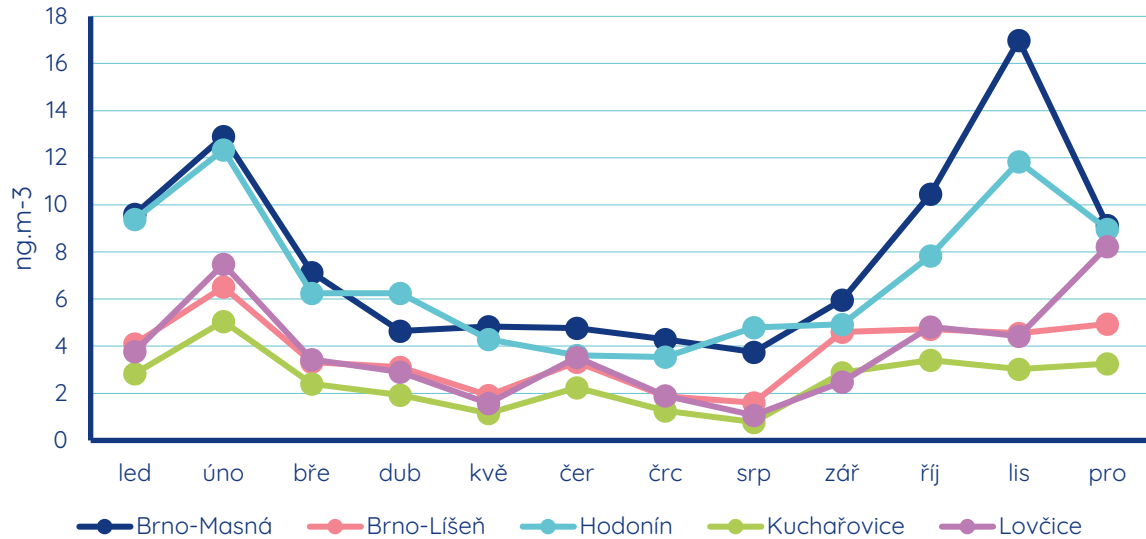
Dlouhodobý vývoj koncentrací olova v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf průměrných ročních koncentrací Pb v období 2011 až 2021. Do grafu není zařazena stanice Lovčice, která má k dispozici pouze jeden roční průměr, a tedy nelze hodnotit dlouhodobý vývoj. Z grafu je patrný dlouhodobý pokles průměrných ročních koncentrací na všech stanicích.



Obrázek 101 - průměrné roční koncentrace Pb za období 2011 až 2021 na jihomoravských stanicích imisního monitoringu.

Dílčí měsíční průměrné koncentrace olova v roce 2021 na stanicích v Jihomoravském kraji ukazuje následující graf. Je zde patrný výrazný roční chod s maximem v zimních měsících a minimem v měsících letních. Nejvýrazněji se tento trend projevuje na městských

stanicích. Výraznější nárůst koncentrací olova byl pozorován v Brně-Masné a Hodoníně v listopadu, avšak i nejvyšší měsíční průměrná hodnota naměřená v Brně-Masné je ve srovnání s hodnotou imisního limitu velmi nízká.



Obrázek 102 - průběh průměrných měsíčních koncentrací Pb na jihomoravských stanicích imisního monitoringu 2021.

PŘEKRAČOVÁNÍ IMISNÍCH LIMITŮ

Tato část odborné zprávy představuje souhrnné vyhodnocení překračování imisních limitů v Jihomoravském kraji v roce 2021.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 40 µg.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 10 – průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [µg.m ⁻³]
Brno-Svatoplukova	25,5
Brno-Výstaviště	25,3
Brno-Lány	23,5
Sivice	22,9
Brno-Masná	22,8
Brno-Dětská nemocnice	21,2
Brno-Kroftova	20,5
Vyškov	19,5
Lovčice	19,2
Brno-Tuřany	19,2
Brno-Arboretum	19,1
Brno-Líšeň	18,2
Znojmo	17,7
Brno-Soběšice	17,6
Kuchařovice	16,4
Mikulov-Sedlec	16,3
Hodonín	14,7

Roční imisní limit pro suspendované částice PM₁₀ nebyl v roce 2021 překročen na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Maximální roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Svatoplukova odpovídala 64 % hodnoty imisního limitu.

24H IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. povolený počet překročení 35× za rok

Následující tabulka ukazuje počet překročení 24h imisního limitu suspendovaných částic PM_{10} na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Tabulka 11 – počet překročení 24h imisního limitu pro suspendované částice PM_{10} na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	Počet překročení 24h imisního limitu
Brno-Svatoplukova	17
Brno-Výstaviště	15
Sivice	15
Brno-Lány	14
Brno-Masná	14
Brno-Dětská nemocnice	13
Brno-Kroftova	11
Lovčice	11
Vyškov	10
Brno-Tuřany	7
Brno-Arboretum	7
Brno-Líšeň	6
Znojmo	6
Brno-Soběšice	6
Mikulov-Sedlec	4
Hodonín	4
Kuchařovice	3

Imisní limit pro 24h průměrnou koncentraci suspendovaných částic PM_{10} nebyl v roce 2021 v Jihomoravském kraji překročen na žádné stanici s dostatečným množstvím dat. Nejvyšší počet překročení byl v roce 2021 zaznamenán na městské dopravní stanici Brno-Svatoplukova. Počet překročení (17) je nižší než polovina maximálního povoleného počtu překročení.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE $\text{PM}_{2,5}$

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 12 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Svatoplukova	18,2
Brno-Lány	18,0
Brno-Výstaviště	17,3
Brno-Masná	15,2
Brno-Dětská nemocnice	15,2
Brno-Arboretum	14,5
Brno-Tuřany	14,3
Sivice	14,0
Znojmo	12,6
Brno-Líšeň	12,6
Mikulov-Sedlec	11,3
Hodonín	10,4

Roční imisní limit pro suspendované částice PM_{2,5} nebyl v roce 2021 překročen na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Maximální roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Svatoplukova odpovídala 91 % hodnoty imisního limitu.

OXID DUSIČITÝ

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 40 μg.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace NO₂ na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 13 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Úvoz (hot spot)	35,2
Brno-Svatoplukova	33,8
Brno-Zvonařka	25,8
Brno-Výstaviště	23,5
Brno-Dětská nemocnice	22,0
Brno-Lány	20,9
Brno-Arboretum	20,2
Brno-Tuřany	14,6

Znojmo	11,4
Mikulov-Sedlec	7,4

Roční imisní limit pro NO₂ nebyl v roce 2021 překročen na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Maximální roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Úvoz (hot spot) odpovídala 88 % hodnoty imisního limitu.

HODINOVÝ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 200 µg.m⁻³, maximální povolený počet překročení 18× za rok

Následující souhrnná tabulka ukazuje maximální hodinové koncentrace NO₂ na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Tabulka 14 – maximální hodinové koncentrace NO₂ naměřené na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Stanice	koncentrace [µg.m ⁻³]
Brno-Dětská nemocnice	137,5
Brno-Úvoz (hot spot)	103,5
Brno-Svatoplukova	102,7
Brno-Arboretum	94,1
Brno-Výstaviště	89,7
Brno-Zvonařka	89,3
Brno-Lány	87,2
Brno-Tuřany	86,7
Znojmo	59,9
Sivice	55,5
Mikulov-Sedlec	45,9

Jak ukazuje tabulka výše, na všech stanicích v Jihomoravském kraji byla maximální hodinová koncentrace NO₂ v roce 2021 nižší než 200 µg.m⁻³ – tedy na žádné stanici nedošlo ani k jednomu překročení hodinového imisního limitu pro NO₂, který se navíc považuje za překročený až při více než 18 překročeních za rok.

OXID SIŘIČITÝ

24H IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 125 µg.m⁻³, max. povolený počet překročení 3× za rok

Následující tabulka ukazuje maximální 24h průměrnou koncentraci SO₂ na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Tabulka 15 – maximální 24h průměrné koncentrace SO₂ naměřené na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Lány	8,5
Mikulov-Sedlec	7,3

Jak ukazuje tabulka výše, hodnoty koncentrací oxidu siřičitého jsou v celém kraji na velmi nízké úrovni. Maximální naměřená denní průměrná koncentrace SO₂ byla pozorována na stanici Brno-Lány. Hodnota 8,5 μg.m⁻³ představuje pouze 7 % hodnoty příslušného imisního limitu pro ochranu zdraví, který se navíc považuje za překročený až při třech překročeních za rok.

HODINOVÝ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 350 μg.m⁻³, maximální povolený počet překročení 24× za rok

Následující souhrnná tabulka ukazuje maximální hodinové koncentrace SO₂ na stanicích v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Tabulka 16 - maximální hodinové průměrné koncentrace SO₂ naměřené na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021.

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Lány	12,0
Brno-Tuřany	11,1
Mikulov-Sedlec	9,2

Jak ukazuje tabulka výše, hodnoty koncentrací oxidu siřičitého jsou v celém kraji na velmi nízké úrovni. Maximální naměřená hodinová průměrná koncentrace SO₂ byla pozorována na stanici Brno-Lány. Hodnota 12,0 μg.m⁻³ představuje pouze 3,4 % hodnoty příslušného imisního limitu pro ochranu zdraví, který se navíc považuje za překročený až při 24 překročeních za rok.

OXID UHELNATÝ

MAXIMÁLNÍ DENNÍ 8H KLOUZAVÝ PRŮMĚR

Hodnota imisního limitu: 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Následující tabulka ukazuje maximální denní 8h klouzavý průměr koncentrace CO naměřený během roku 2021 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji s dostupnými daty za rok 2021.

Tabulka 17 – maximální denní 8h klouzavý průměr koncentrace CO naměřený v roce 2021 na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji.

Stanice	koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Brno-Zvonařka	1223
Brno-Lány	1121
Brno-Úvoz (hot spot)	1083

Jak ukazuje tabulka výše, koncentrace oxidu uhelnatého jsou v Jihomoravském kraji výrazně podlimitní a tento stav je dlouhodobý. Maximální pozorovaný denní 8h klouzavý průměr byl v roce 2021 pozorován na stanici Brno-Zvonařka. Hodnota 1223 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ však představuje pouze 12 % hodnoty příslušného imisního limitu.

BENZO[A]PYREN

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 18 - průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Lovčice	0,98
Blansko-Sloupečnick	0,74
Hodonín	0,51
Brno-Masná	0,40

Brno-Líšeň

0,39

Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci benzo[*a*]pyrenu nebyl v roce 2021 překročen na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Maximální roční průměr naměřený na stanici Lovčice odpovídá 98 % příslušného imisního limitu pro roční průměrnou koncentraci.

PŘÍZEMNÍ OZON

MAXIMÁLNÍ DENNÍ 8H KLOUZAVÝ PRŮMĚR

Hodnota imisního limitu: 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, max. povolený počet překročení 25× za rok v tříletém průměru

Imisní limit pro přízemní ozon je počítán jako průměrný počet překročení za 3 roky. V níže uvedené tabulce je tedy uveden průměrný počet překročení příslušného imisního limitu za každý dílčí rok období 2019 až 2021 a celkový průměrný počet překročení v tomto tříletém období. Imisní limit se v tomto případě vztahuje právě k tříletému průměru. V tabulce jsou zahrnuty pouze ty stanice, pro které jsou k dispozici data za všechny tři hodnocené roky, aby nedošlo ke zkreslení hodnot.

Tabulka 19 – počet překročení maximálního denního 8h klouzavého průměru koncentrací přízemního ozonu v dílčí roky 2019 až 2021 a jako tříletý průměr 2019-2021 pro stanice v Jihomoravském kraji s dostatečným množstvím dat.

Stanice	počet překročení			
	2019	2020	2021	3letý průměr
Brno-Arboretum	35	15	13	21,0
Brno-Tuřany	31	16	14	20,3
Kuchařovice	27	16	10	17,7
Mikulov-Sedlec	19	14	12	15,0
Brno-Dětská nemocnice	17	2	7	8,7

Imisní limit pro 8h denní maximální klouzavou koncentraci přízemního ozonu nebyl v období 2019-2021 v Jihomoravském kraji překročen. V roce 2021 byl počet překročení ve srovnání s předchozími dvěma roky nižší, což je dáno zejména chladnějším charakterem počasí v daném roce a naopak velmi teplém roce 2019.

ARZEN

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 6 ng.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace arzenu na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 20 - průměrné roční koncentrace arzenu na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Masná	0,87
Hodonín	0,65
Brno-Líšeň	0,58
Lovčice	0,56
Kuchařovice	0,44

Z tabulky výše je patrné, že k překročení imisního limitu pro arzen nedošlo na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší naměřená roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Masná odpovídá pouze 15 % hodnoty příslušného imisního limitu.

KADMIUM

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 5 ng.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace kadmia na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 21 - průměrné roční koncentrace kadmia na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnutý pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Masná	0,25
Hodonín	0,21
Lovčice	0,12
Brno-Líšeň	0,10
Kuchařovice	0,08

Z tabulky výše je patrné, že k překročení imisního limitu pro kadmium nedošlo na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší naměřená roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Masná odpovídá pouze 5 % hodnoty příslušného imisního limitu.

NIKL

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 20 ng.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace niklu na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 22 - průměrné roční koncentrace niklu na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnuty pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [μg.m ⁻³]
Brno-Masná	1,30
Hodonín	0,59
Brno-Líšeň	0,43
Kuchařovice	0,28
Lovčice	0,27

Z tabulky výše je patrné, že k překročení imisního limitu pro nikl nedošlo na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší naměřená roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Masná odpovídá pouze 7 % hodnoty příslušného imisního limitu.

OLOVO

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: 500 ng.m⁻³

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace olova na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 23 - průměrné roční koncentrace olova na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnuty pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Brno-Masná	7,8
Hodonín	6,9
Lovčice	3,8
Brno-Líšeň	3,7
Kuchařovice	2,5

Z tabulky výše je patrné, že k překročení imisního limitu pro olovo nedošlo na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší naměřená roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Masná odpovídá pouze 1,5 % hodnoty příslušného imisního limitu.

BENZEN

ROČNÍ IMISNÍ LIMIT

Hodnota imisního limitu: $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Následující souhrnná tabulka ukazuje průměrné roční koncentrace benzenu na stanicích v Jihomoravském kraji, pro které je za rok 2021 k dispozici roční průměrná koncentrace.

Tabulka 24 - průměrné roční koncentrace benzenu na stanicích imisního monitoringu v Jihomoravském kraji v roce 2021 (zahrnuty pouze stanice s dostupným ročním průměrem).

Stanice	koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Brno-Úvoz	1,35
Brno-Dětská nemocnice	1,00
Mikulov-Sedlec	0,75

Z tabulky výše je patrné, že k překročení imisního limitu pro benzen nedošlo na žádné stanici imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Nejvyšší naměřená roční průměrná koncentrace na stanici Brno-Úvoz odpovídá pouze 27 % hodnoty příslušného imisního limitu.

SMOGOVÉ SITUACE

V roce 2021 nebyla v Jihomoravském kraji vyhlášena žádná smogová situace a v celé České republice byla v tomto roce zaznamenána pouze jediná smogová situace, a to na samotném konci roku v aglomeraci O/F-M/K. Po předchozím roku 2020, kdy poprvé od vzniku systému SVRS (Smogový Varovný a Regulační Systém) nebyla vyhlášena ani jedna smogová situace ani regulace na celém území ČR, se tak jedná o další velmi příznivý rok co do počtu smogových situací a regulací.

V Jihomoravském kraji nebyla vyhlášena smogová situace ani v předchozí roky, naposledy to bylo na začátku roku 2017 v důsledku velmi nepříznivých rozptylových a meteorologických podmínek plošně v celé České republice.

Tabulka níže ukazuje vyhlášené smogové situace v Jihomoravském kraji v období 2010 až 2019. Je třeba upozornit, že kritéria vyhlášení smogových situací jsou předmětem občasných změn. Konkrétně byla kritéria měněna k září 2012 a lednu 2017. Srovnávat počet vyhlášených smogových situací tak lze pouze v rámci období 2010-8/2012, 9/2012 až 12/2016 a od 1/2017.

Jak ukazuje tabulka, smogové situace byly v období 2010 až 2021 vyhlášeny pouze z důvodu vysokých koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ nebo z důvodu vysokých koncentrací přízemního ozonu. Stav regulace vyhlášen nebyl.

Tabulka 25 – Smogové situace vyhlášené v Jihomoravském kraji v období 2010 až 2021.

Od – do	Oblast	Délka trvání
SO₂		
žádné smogové situace a regulace		
NO₂		
žádné smogové situace a regulace		
PM₁₀		
25. 1. 2013 07:07 – 26. 1. 2013 09:58	Aglomerace Brno	27 h
25. 1. 2013 07:08 – 26. 1. 2013 09:59	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	27 h
6. 11. 2015 01:27 – 8. 11. 2015 07:16	Aglomerace Brno	54 h

20. 1. 2017 00:34 – 22. 1. 2017 08:58	Aglomerace Brno	56 h
20. 1. 2017 12:23 – 22. 1. 2017 12:05	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	48 h
13. 2. 2017 09:51 – 16. 2. 2017 08:26	Aglomerace Brno	71 h
13. 2. 2017 16:27 – 15. 2. 2017 19:30	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	51 h
O₃		
6. 8. 2013 15:37 – 7. 8. 2013 19:25	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	28 h
6. 8. 2013 18:40 – 7. 8. 2013 19:25	Aglomerace Brno	25 h
8. 8. 2013 16:03 – 9. 8. 2013 12:59	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	21 h
7. 8. 2015 18:30 – 17. 8. 2015 07:30	Aglomerace Brno	229 h
7. 8. 2015 18:31 – 17. 8. 2015 07:26	Jihomoravský kraj bez aglomerace Brno	229 h

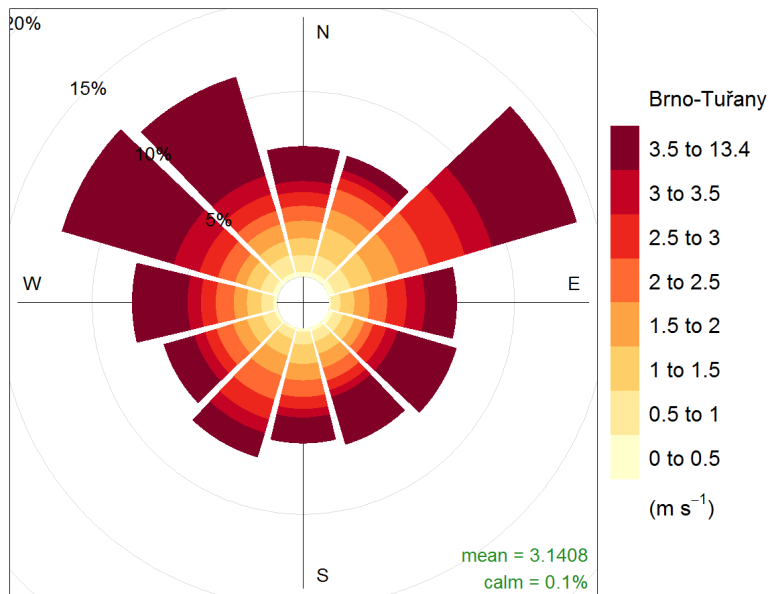
HODNOCENÍ DAT ZE STANIC

Níže uvedené hodnocení se zaměřuje na konkrétní stanice imisního monitoringu v Jihomoravském kraji. Výběr stanic byl proveden na základě několika kritérií – dostupnosti dat (na stanicích imisního monitoringu se nemusí měřit všechny znečišťující látky), délce časové řady a dostupnosti dat o meteorologických parametrech. Pro konstrukci koncentrační růžice jsou zapotřebí údaje o směru a rychlosti větru. Některé ze stanic jsou přímo vybaveny měřením těchto veličin, v případě stanice Brno-Tuřany byla použita data z profesionální meteorologické stanice, která se nachází v totožném letištním areálu a některé stanice meteorologické parametry neměří. Výběr stanic pokrývá různé typy stanic od dopravní městské až po regionální pozadovou stanici (Mikulov-Sedlec).

BRNO-TUŘANY

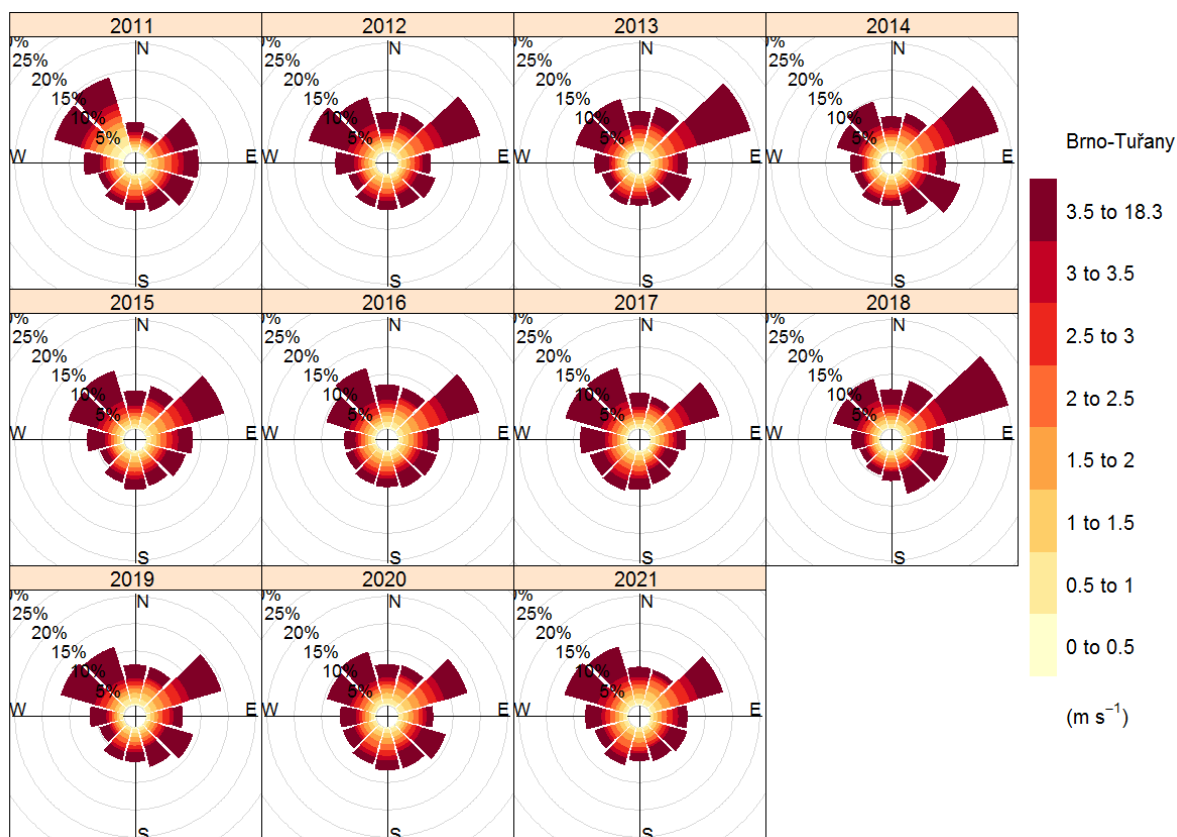
Stanice Brno-Tuřany je předměstskou pozadovou stanicí nacházející se v areálu brněnského letiště v městské části Tuřany. Stanice je situována přímo do blízkosti runwaye a je ze všech stran velmi dobře provětrávaná. V tomto směru lze tuto stanici považovat za nejvíce reprezentativní, co se týče směru a rychlosti větru pro širší okolí, právě díky absenci překážek ve všech směrech.

Na větrné růžici za rok 2021 je patrné, že zde díky otevřenosti terénu fouká v průběhu roku ze všech možných směrů. Dominantní je zde severovýchodní proudění.



Obrázek 103 – větrná růžice pro stanici Brno-Tuřany z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.

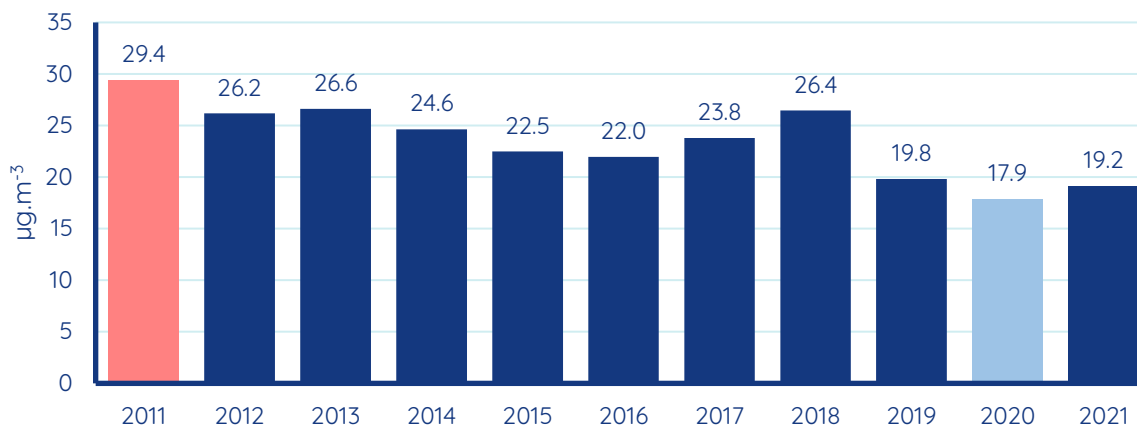
Charakter rozložení směrů větru v průběhu roku se zde dlouhodobě nemění, jak ukazují následující větrné růžice zkonstruované pro každý rok období 2011 až 2021. S výjimkou roku 2011 převažovalo v roce vždy proudění severovýchodní.



Obrázek 104 – větrné růžice pro stanici Brno-Tuřany v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

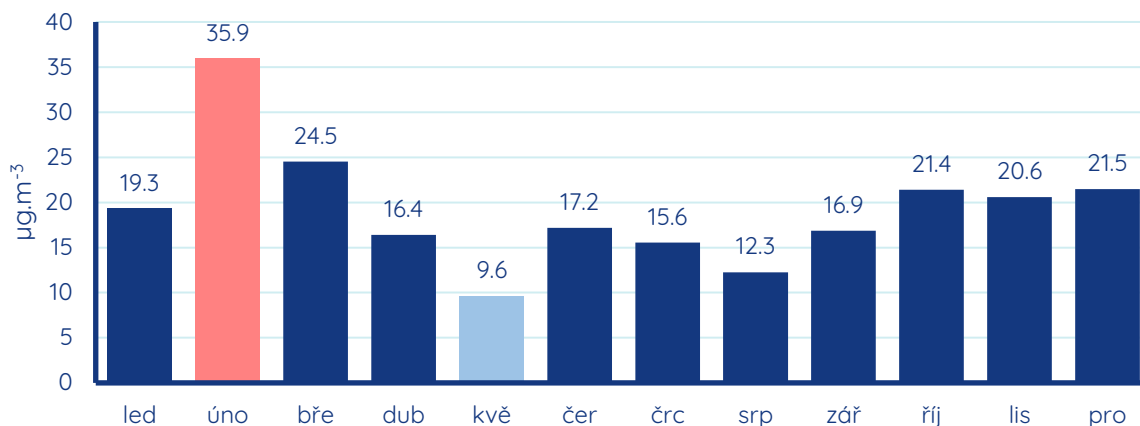
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany ukazuje následující sloupcový graf. Ten jasně ukazuje jak dlouhodobý sestupný trend koncentrací, tak fakt, že v roce 2020 byly koncentrace suspendovaných částic nejnižší a v roce 2021 druhé nejnižší. Zároveň je patrné, že poslední tři roky hodnoceného období byly koncentrace suspendovaných částic výrazně nižší než v předchozích 8 letech.



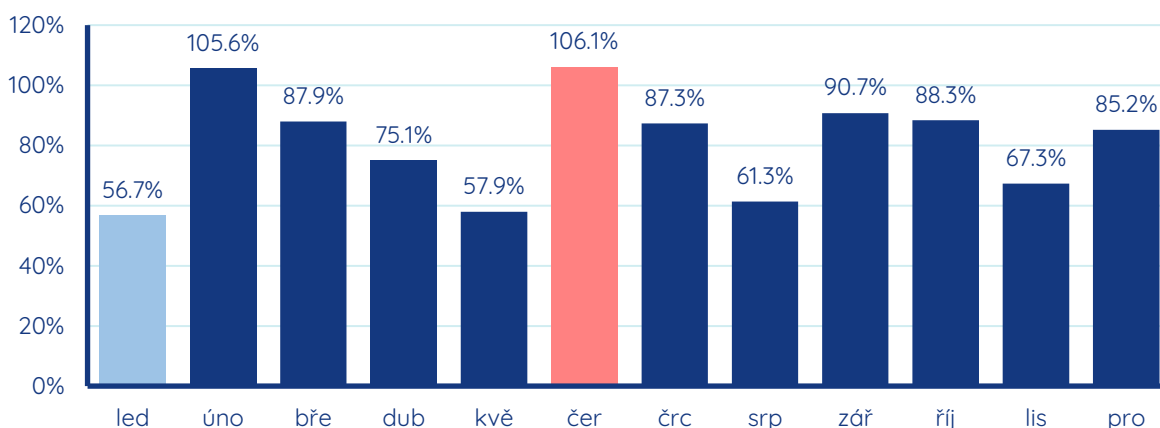
Obrázek 105 – průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM₁₀ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ pro tuto stanici. Z grafu je patrný typický roční chod koncentrací částic PM₁₀ v České republice, s maximy v nejchladnější části roku a minimy v nejteplejší. Vůbec nejvyšší byla průměrná měsíční koncentrace v roce 2021 v únoru, což souvisí s nízkými teplotami a zhoršenými rozptylovými podmínkami, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách této zprávy. Naopak nejnižší byly v roce 2021 průměrné koncentrace částic PM₁₀ v květnu.



Obrázek 106 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ v roce 2021 na stanici Brno-Tuřany vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. V červnu a únoru byly průměrné měsíční koncentrace částic PM₁₀ v roce 2021 nadprůměrné oproti 10letému průměru 2011-2020. V ostatních měsících byly měsíční průměry nižší, a to zejména v lednu, květnu, srpnu a listopadu. Vůbec nejnižší poměr byl v roce 2021 v lednu, kdy průměrný měsíční průměr dosáhl pouze 57 % dlouhodobého průměru. Nízký poměr právě v lednu je příznivý s ohledem na fakt, že v absolutních hodnotách bývají koncentrace nejvyšší právě v zimní měsíce, proto se jedná v absolutních číslech o vyšší rozdíl než například podobně nízký poměr v květnu.

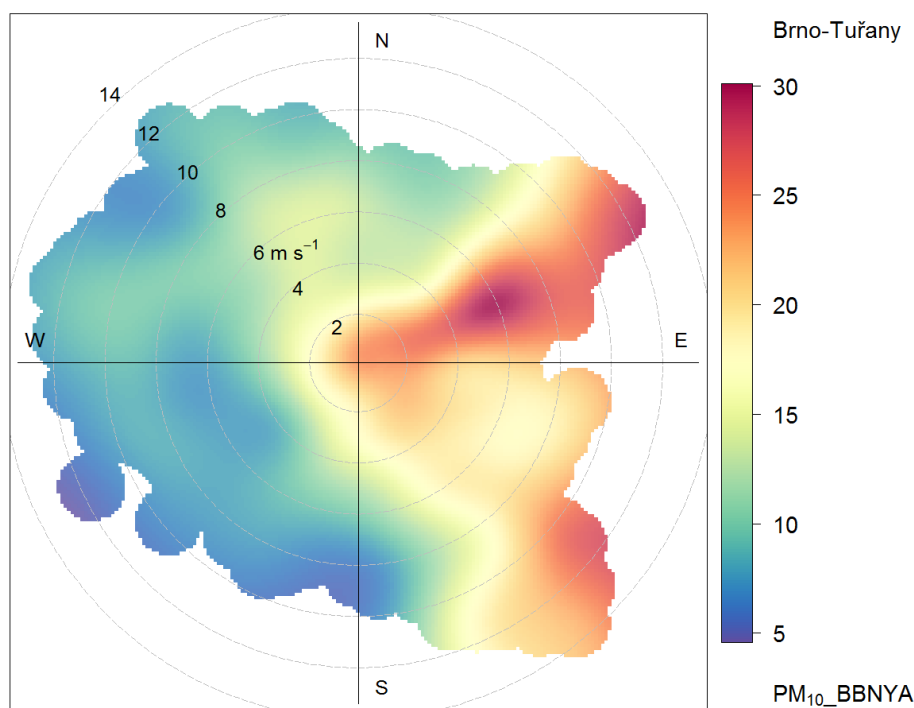


Obrázek 107 – podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Za jakých parametrů větru byly koncentrace na stanici Brno-Tuřany nejvyšší, ukazuje následující koncentrační růžice. Z té je patrné, že nejvyšší koncentrace byly pozorovány při severovýchodním proudění, a to i při vyšších rychlostech větru. Vyšší koncentrace při

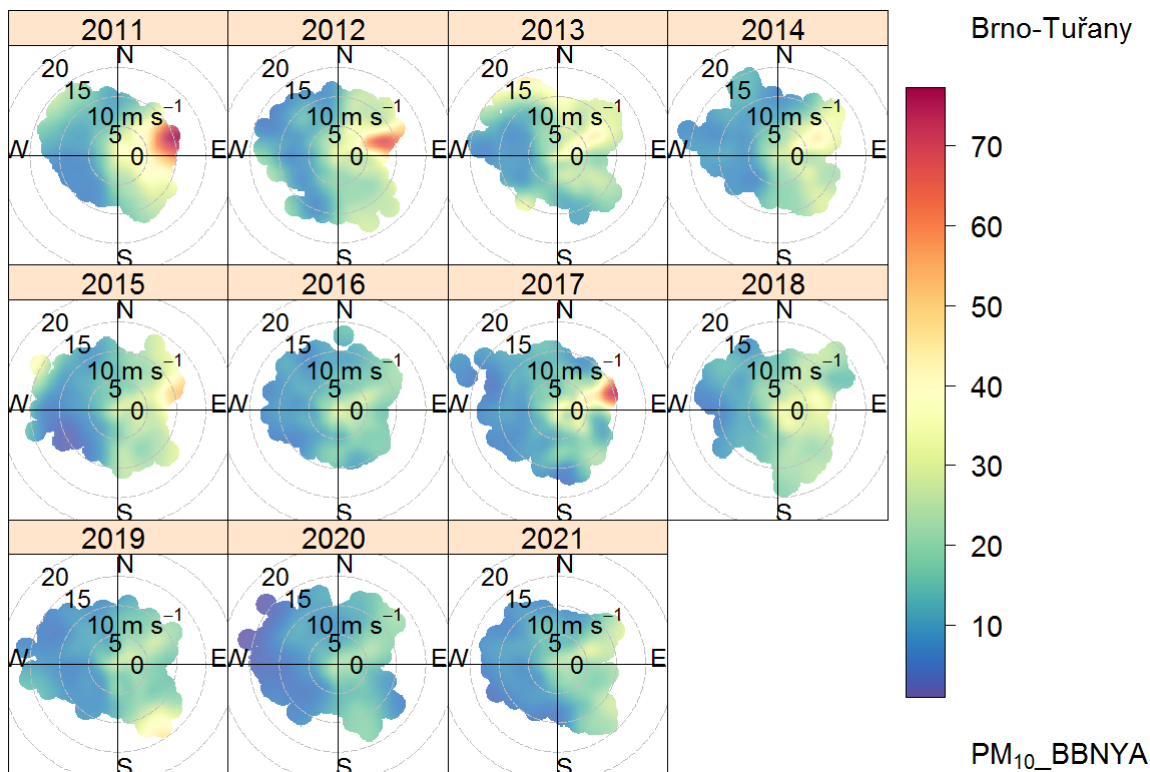
vyšších rychlostech větru naznačují vliv vzdálenějšího zdroje a dálkový transport znečišťujících látek. V tomto konkrétním případě se jedná o dálkový transport znečištění z Moravskoslezského kraje či až z Polska, což bývá nejvýraznější v zimním období při intenzivním vytápění.

Vyšší koncentrace jsou patrné také při vyšších rychlostech větru a jihovýchodním proudění. Zde se pravděpodobně jedná o vliv zemědělství. Na jih od stanice jsou pole, kde právě při vyšších rychlostech větru dochází k resuspenzi a víření částic do ovzduší. To se projevuje zejména na koncentracích částic frakce PM_{10} .



Obrázek 108 – koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

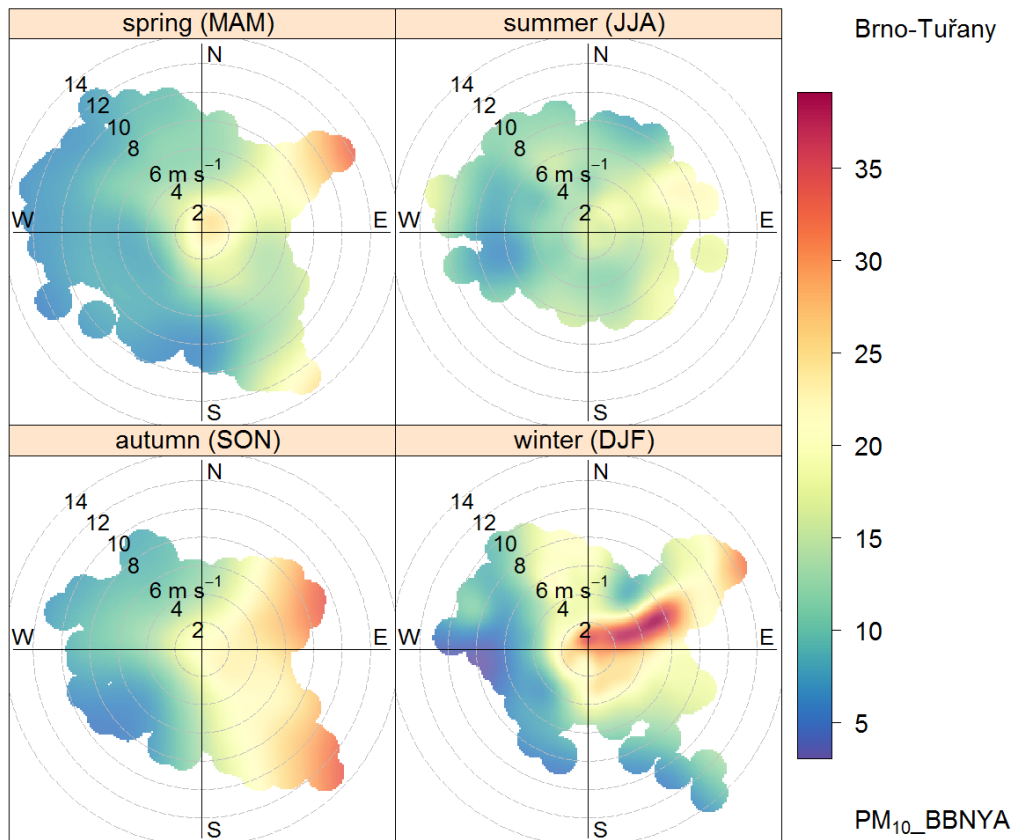
V dlouhodobějším kontextu byly koncentrace při severovýchodním proudění v roce 2021 relativně nízké. Velmi dobře je patrný rok 2017, jehož začátek byl charakteristický velmi zhoršenými rozptylovými podmínkami, inverzními situacemi a ty v kombinaci s nízkými teplotami vedly i k vyhlášení smogových situací. Vyšší hodnoty byly pozorovány také na začátku hodnoceného období, v letech 2011 a 2012.



Obrázek 109 – koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Tuřany

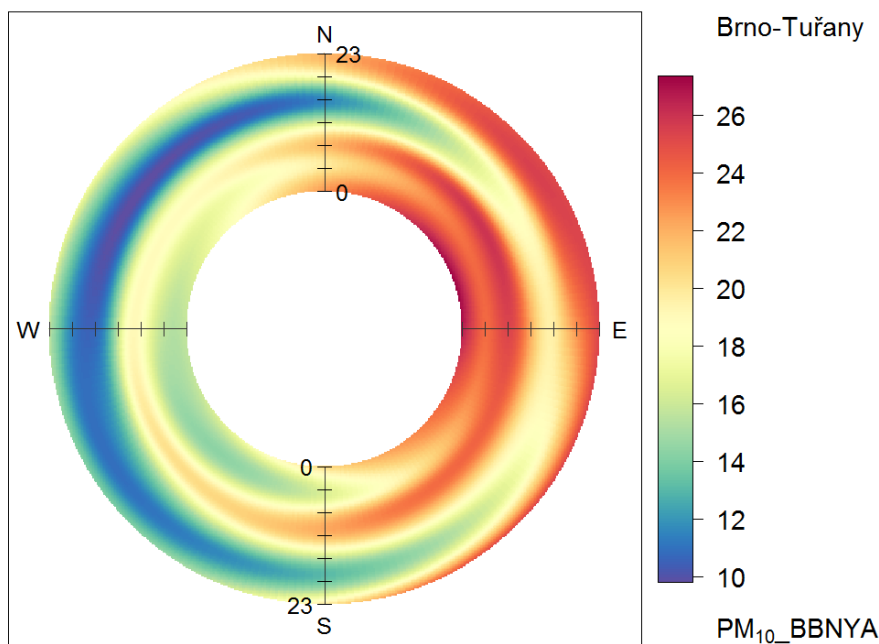
Koncentrační růžice byly zkonstruovány také pro měsíce jednotlivých ročních období³ za rok 2021. Zde je opět dobře patrný vliv severovýchodního směru, a to primárně v zimních měsících, což souvisí zejména s vytápěním.

³ ve smyslu ročních období je zde použito následující rozdělení: jaro (březen-květen), léto (červen-srpen), podzim (září-listopad), zima (leden-únor a prosinec).



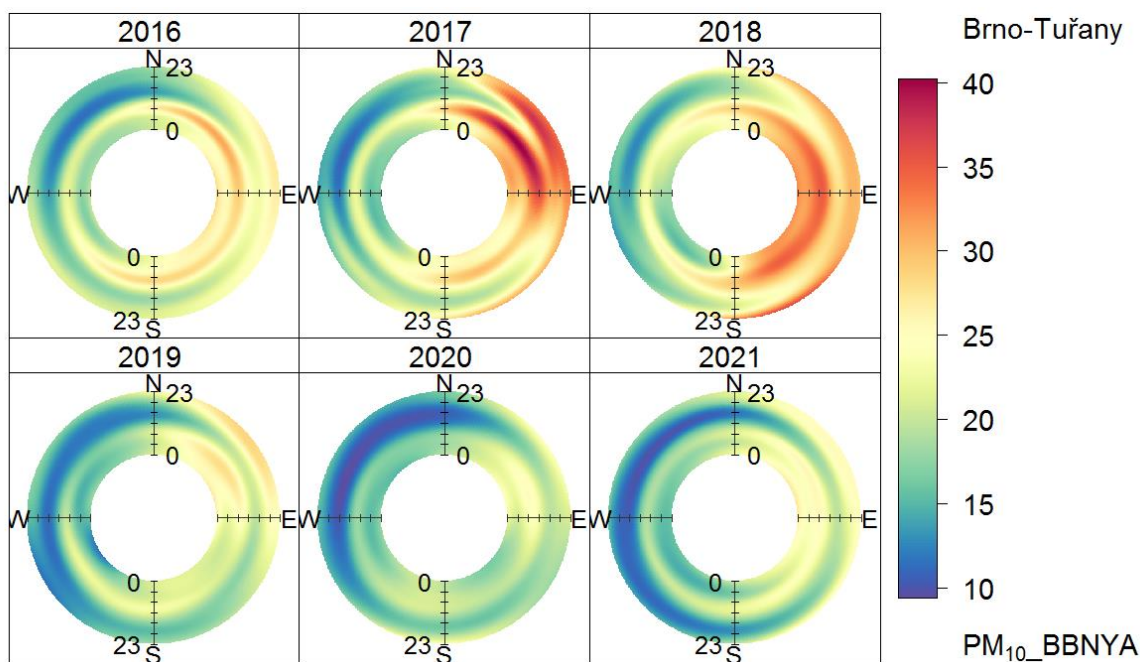
Obrázek 110 – koncentrační růžice pro suspendované částic PM₁₀ pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Brno-Tuřany. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

Tzv. anulární koncentrační růžice ilustruje vztah mezi koncentrací částic PM₁₀, směrem větru a hodinou dne. Z růžice je patrné, že nejvyšší koncentrace částic PM₁₀ byly pozorovány při severovýchodním proudění v ranních, dopoledních a nočních hodinách.



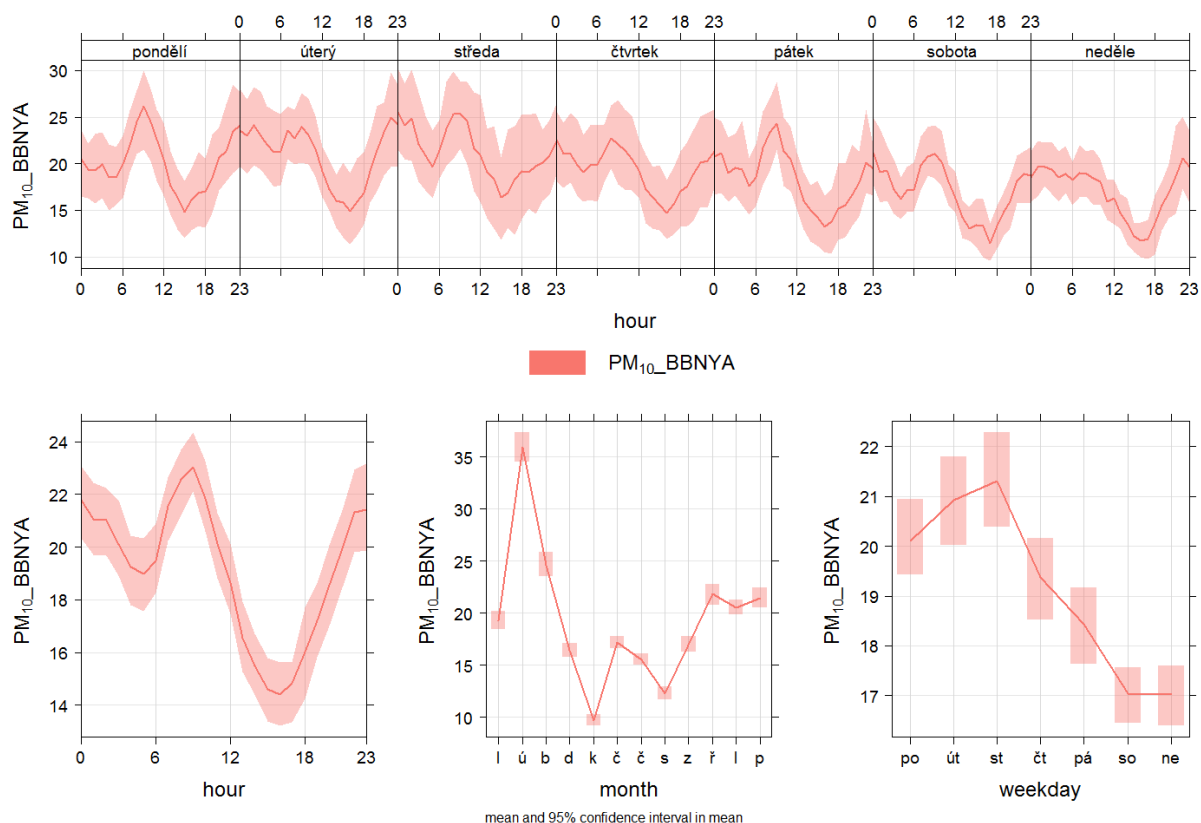
Obrázek 111 – anulární koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ pro stanici Brno-Tuřany za rok 2020.

Výše uvedenou růžici je však opět třeba hodnotit v kontextu jiných let, kde je jasně patrný fakt, že roky 2020 a 2021 byly po stránce kvality ovzduší velmi příznivé.



Obrázek 112 – anulární koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ pro stanici Brno-Tuřany pro jednotlivé roky období 2016 až 2021.

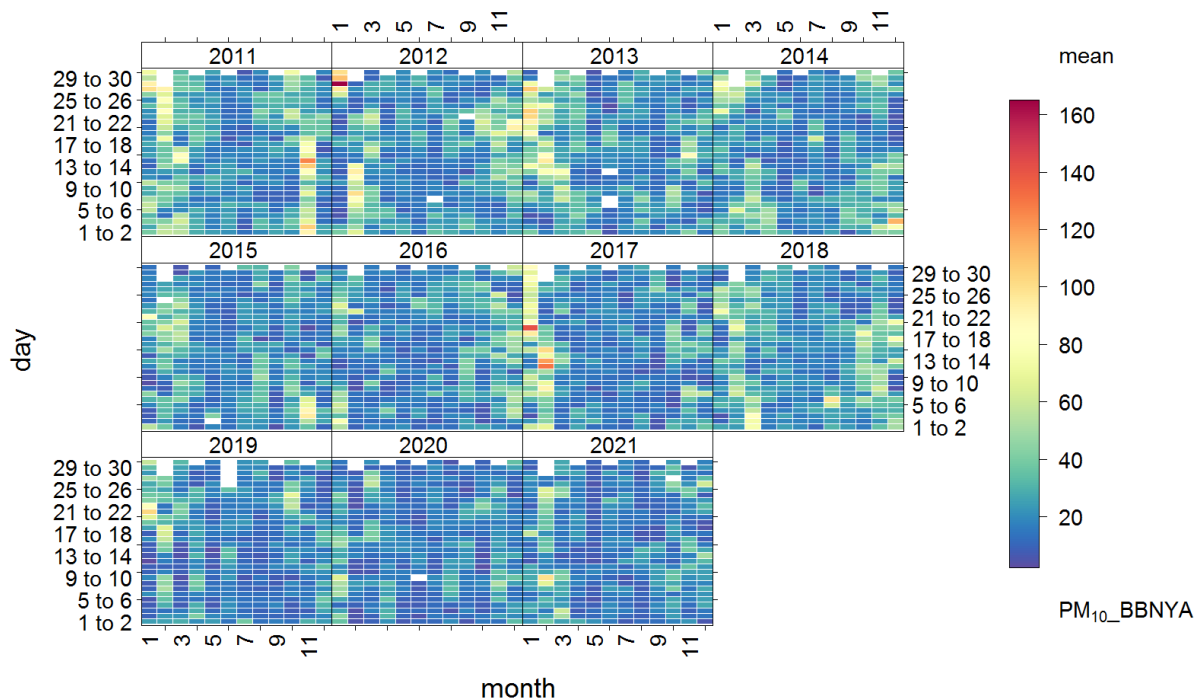
Následující graf ukazuje průměrný denní, týdenní a roční průběh koncentrací PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021.



Obrázek 113 – denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na stanici Brno-Tuřany v roce 2021.

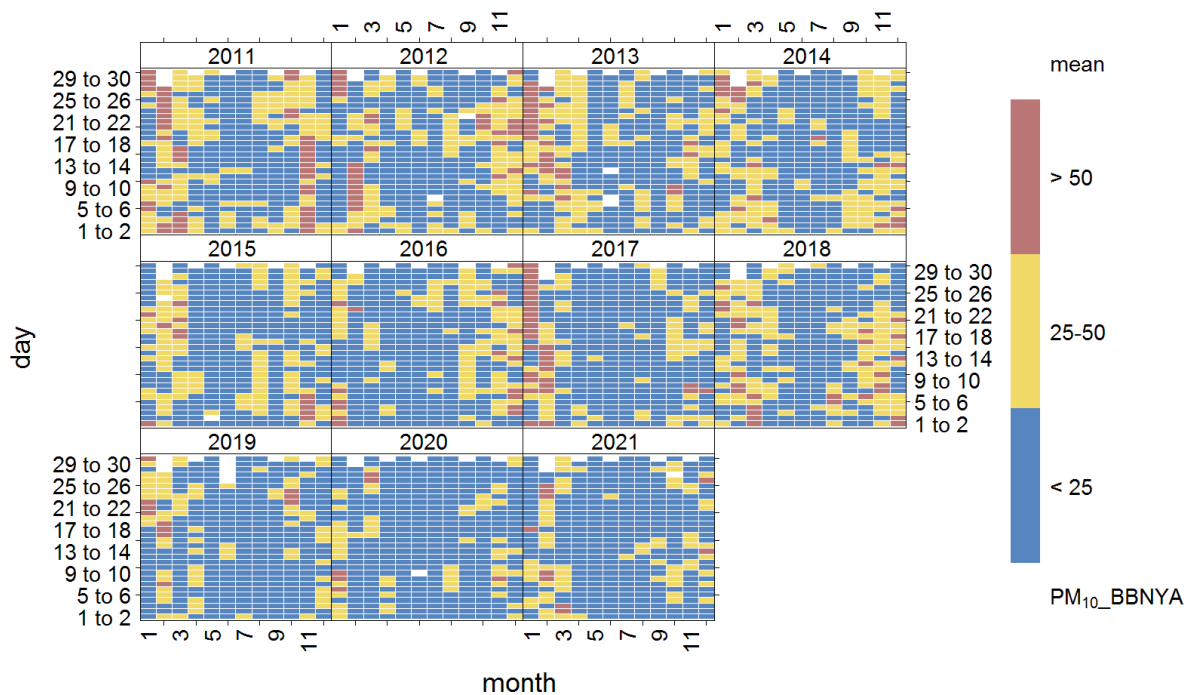
Tzv. heatmapy jsou speciálním typem vizualizace, který umožňuje přehledně zobrazit velké množství dat – v tomto případě 10letý průběh denních koncentrací částic PM_{10} v lokalitě Brno-Tuřany. V prvním případě byla použita gradientní škála, v druhém případě byly denní koncentrace kategorizovány podle hodnoty. Červená barva značí hodnotu vyšší než $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je 24h imisní limit pro tuto látku⁴.

⁴ průměr je v tomto případě počítán pro všechny roky z intervalu 0-0 UTC. Do roku 2018 se pro výpočet denního průměru používal interval 6-6 UTC. Heatmapa ilustruje zejména průběh koncentrací, samotný přesný počet překročení 24h imisního limitu však vzhledem k výše uvedenému průměrování nemusí odpovídat počtu překročení vypočítanému pro účely hodnocení počtu překročení imisního limitu.



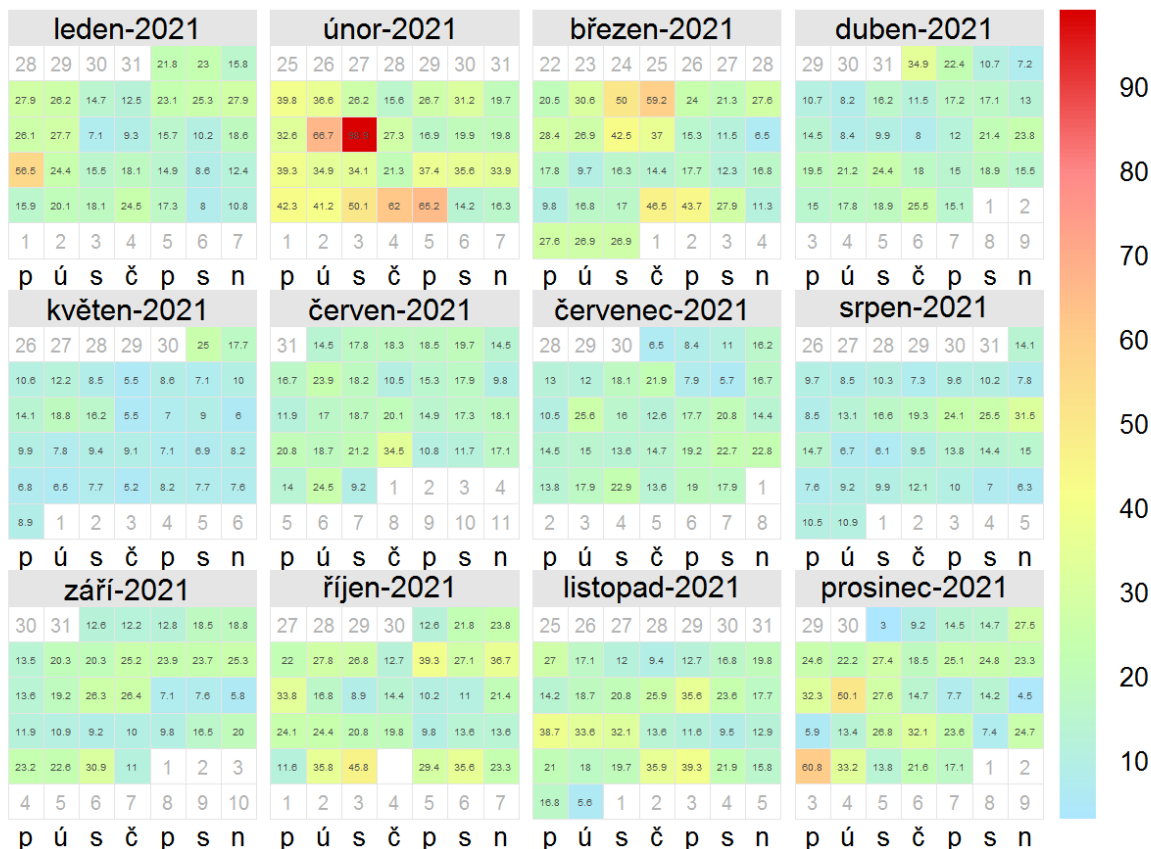
Obrázek 114 – heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

Na heatmapě níže je dobře patrná velmi dobrá kvalita ovzduší v posledních třech letech, kde je podíl dní s koncentrací do 25 µg.m⁻³ (modrá barva) nejvyšší.



Obrázek 115 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

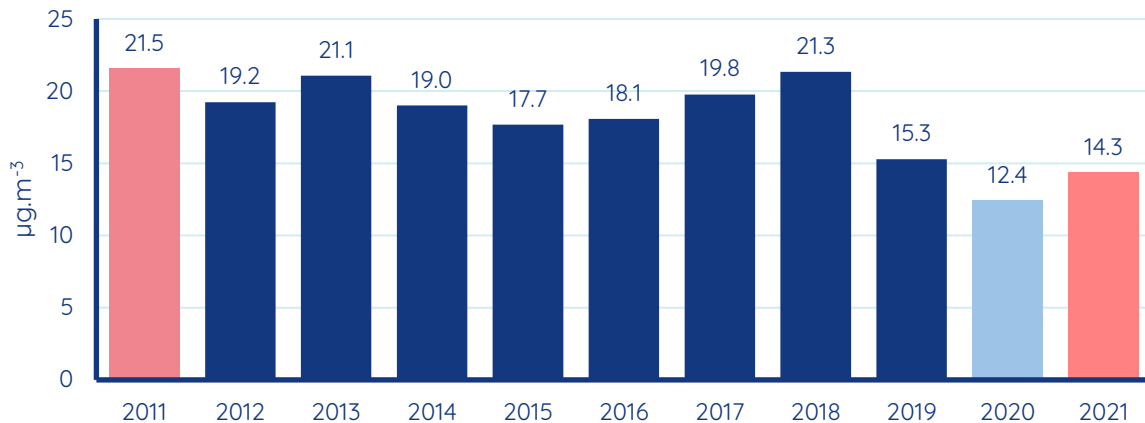
Detailní kalendářní zobrazení roku 2021 níže ukazuje, že byly v tomto roce nejvyšší koncentrace PM₁₀ pozorovány v únoru, a to zejména v druhém a posledním únorovém týdnu.



Obrázek 116 – kalendářní zobrazení průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021.

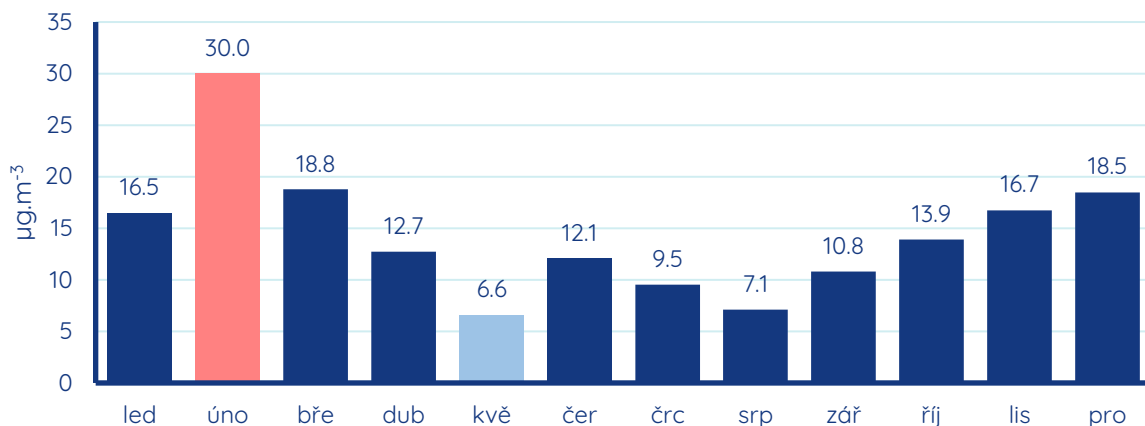
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2.5}

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM_{2.5} na stanici Brno-Tuřany ukazuje následující sloupcový graf. Vůbec nejnižší byla průměrná roční koncentrace v roce 2020. V roce 2021 pak byla druhá nejnižší. Pozitivním faktem je jednoznačný klesající trend, který se projevil zejména výrazně nižšími koncentracemi v posledních třech letech. Naopak nejvyšší byla průměrná koncentrace v první rok hodnoceného období (2011). Imisní limit nebyl překročen v žádném roce, avšak v letech 2011, 2013 a 2018 byla hodnota průměrné roční koncentrace částic PM_{2.5} vyšší než hodnota nového imisního limitu, který je platný až od roku 2020.



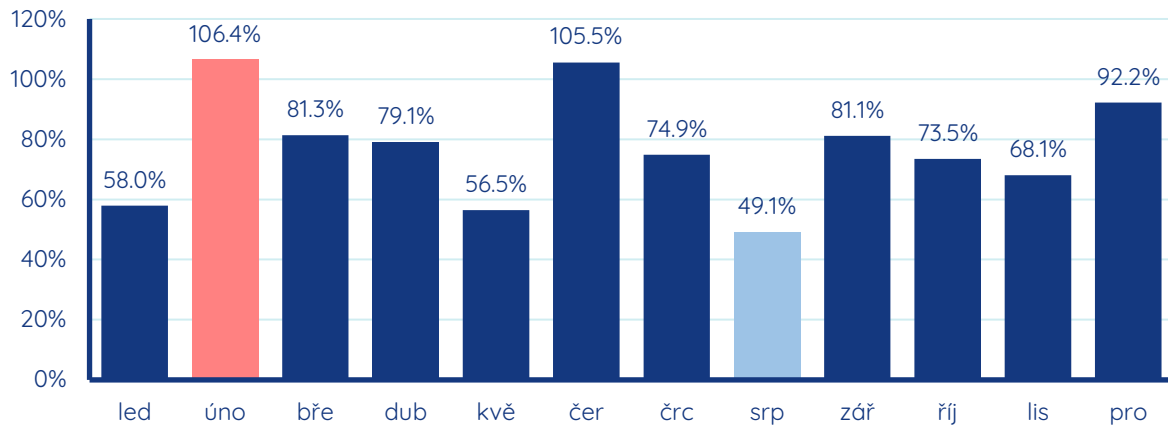
Obrázek 117 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM_{2,5} v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM_{2,5} pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace částic PM_{2,5} byla v roce 2021 naměřena na stanici Brno-Tuřany v únoru, a to 30,0 µg.m⁻³. Naopak nejnižší byly koncentrace částic PM_{2,5} v roce 2021 v květnu a srpnu.



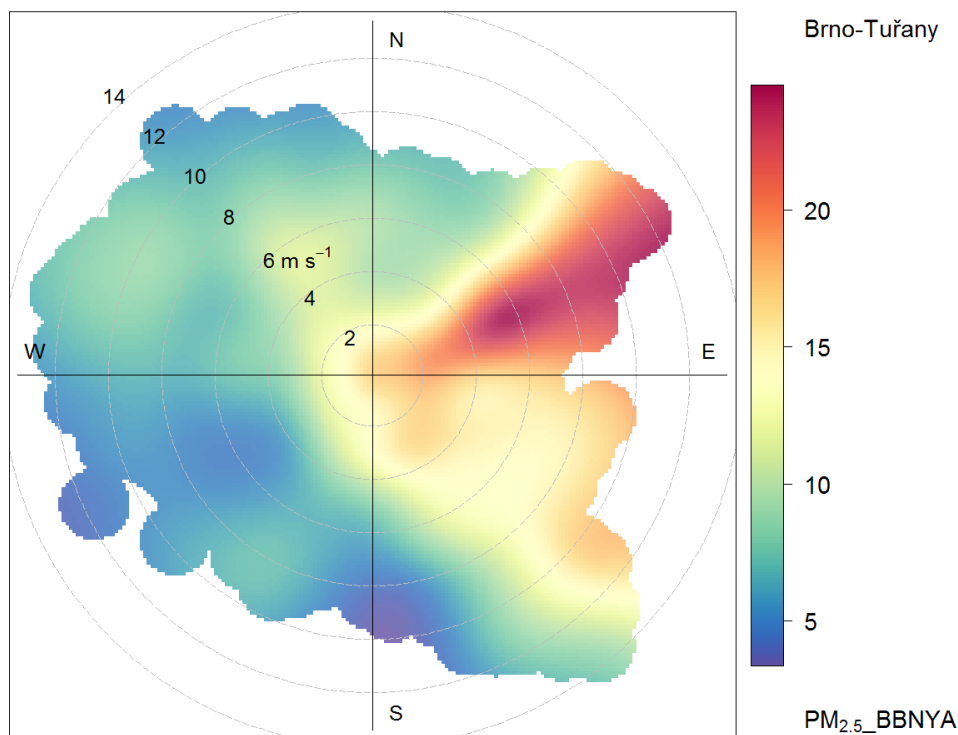
Obrázek 118 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM_{2,5} v roce 2021 na stanici Brno-Tuřany vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Pouze ve dvou měsících byla průměrná měsíční koncentrace vyšší, než je desetiletý průměr pro daný měsíc, a to pouze o přibližně 5 %. Vůbec nejvyšší poměr byl zaznamenán v únoru (106 %), což souviselo se zhoršenou rozptylovou situací a nízkými teplotami, které znamenaly intenzivní vytápění. Naopak v srpnu byla průměrná měsíční koncentrace částic PM_{2,5} nižší než polovina průměrné hodnoty pro srpen za předchozí desetiletí.



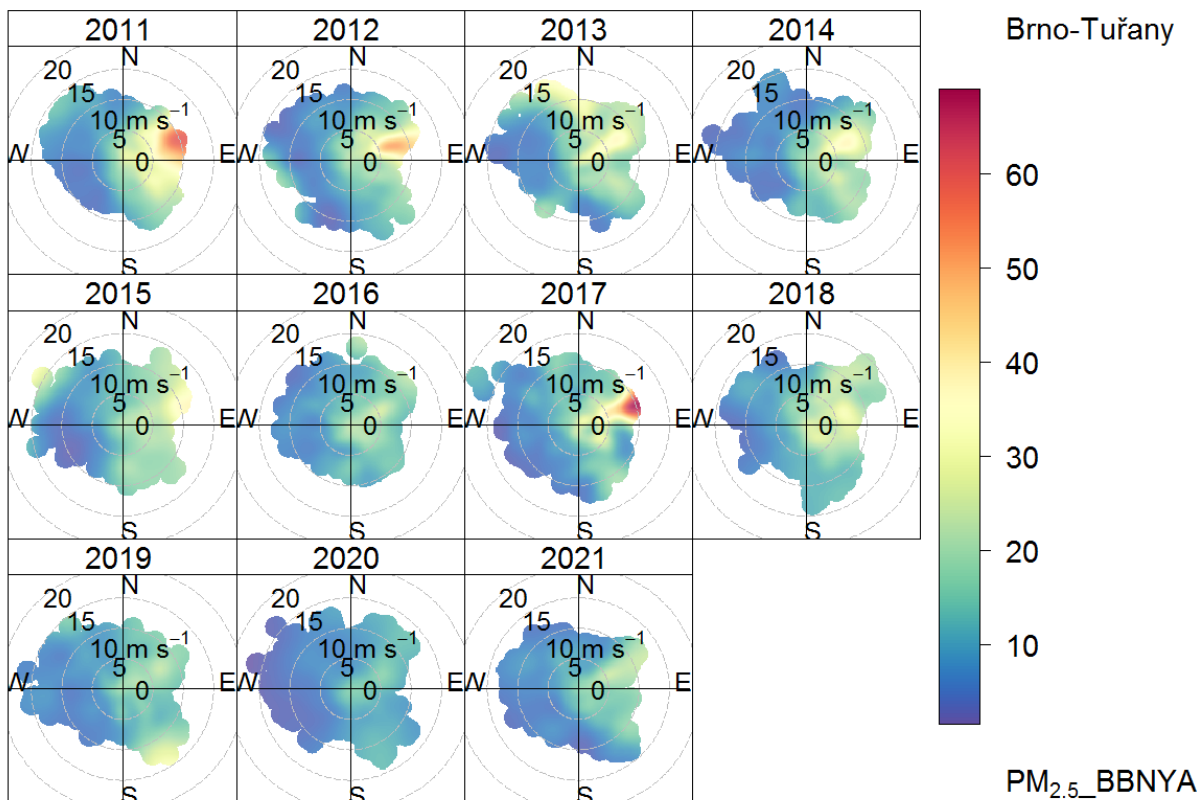
Obrázek 119 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Následující koncentrační růžice ukazuje průměrné koncentrace částic $PM_{2.5}$ při různých směrech a rychlostech větru. Charakter této růžice je velmi podobný té pro částice PM_{10} . Jak již bylo zmíněno v minulé kapitole, projevuje se zde velmi výrazně vliv lokálního vytápění, a to i prostřednictvím dálkového transportu. Vytápění jako takové je primárně zdrojem menších částic a je tedy patrné jak na koncentracích částic PM_{10} , tak menší frakce $PM_{2.5}$. V tomto případě se tento vliv projevuje zejména při severovýchodním proudění, kdy se do Jihomoravského kraje dostává vzduch z Moravskoslezského kraje či z Polska, kde bývá situace horší. Zároveň je z růžice patrné, že zde nejsou pozorovány vyšší hodnoty při proudění jihovýchodním, tak jako tomu bylo u částic PM_{10} . To opět potvrzuje hypotézu, že se jedná o vliv zemědělství, které má na částice $PM_{2.5}$ vliv výrazně menší než u frakce PM_{10} .



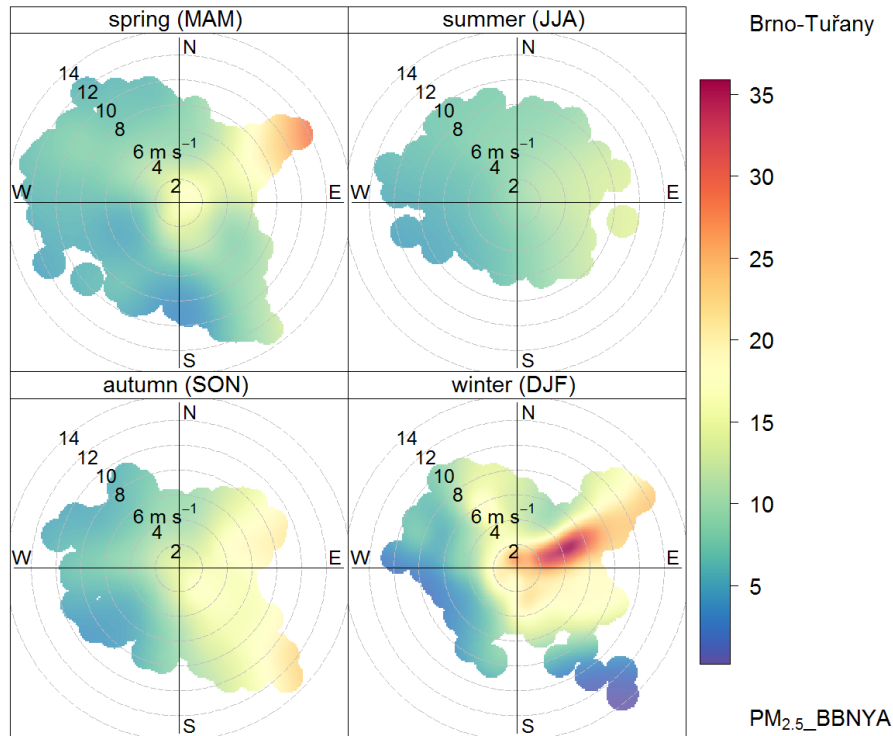
Obrázek 120 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{2.5} pro stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

V průběhu let 2011 až 2021 je dobře patrná vysoká koncentrace při severovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru např. v roce 2017, kdy byl začátek roku charakteristický výrazně zhoršenými rozptylovými podmínkami a zároveň severovýchodním prouděním a ovlivněním koncentrací v Jihomoravském kraji severovýchodně ležícími oblastmi (Moravskoslezský kraj, Polsko).



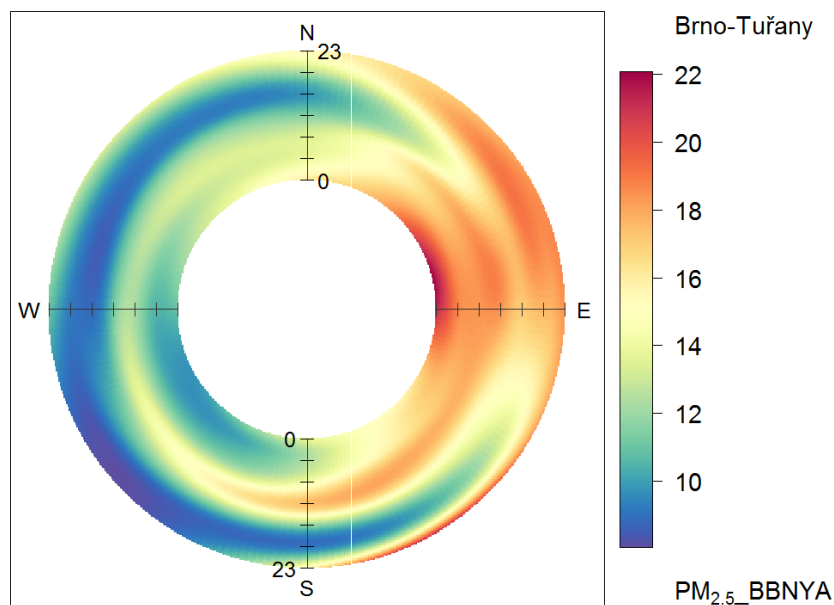
Obrázek 121 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{2,5} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Tuřany

Koncentrační růžice za rok 2021, které jsou rozdělené podle ročního období, jasně ukazují nejvyšší koncentrace v zimním období při vyšších rychlostech větru (vzdálený zdroj) při severovýchodním proudění. Mírné zvýšení u severovýchodního proudění je patrné také na jaře, kdy mohou zejména na začátku března být teploty stále nízké a vliv vytápění významný.



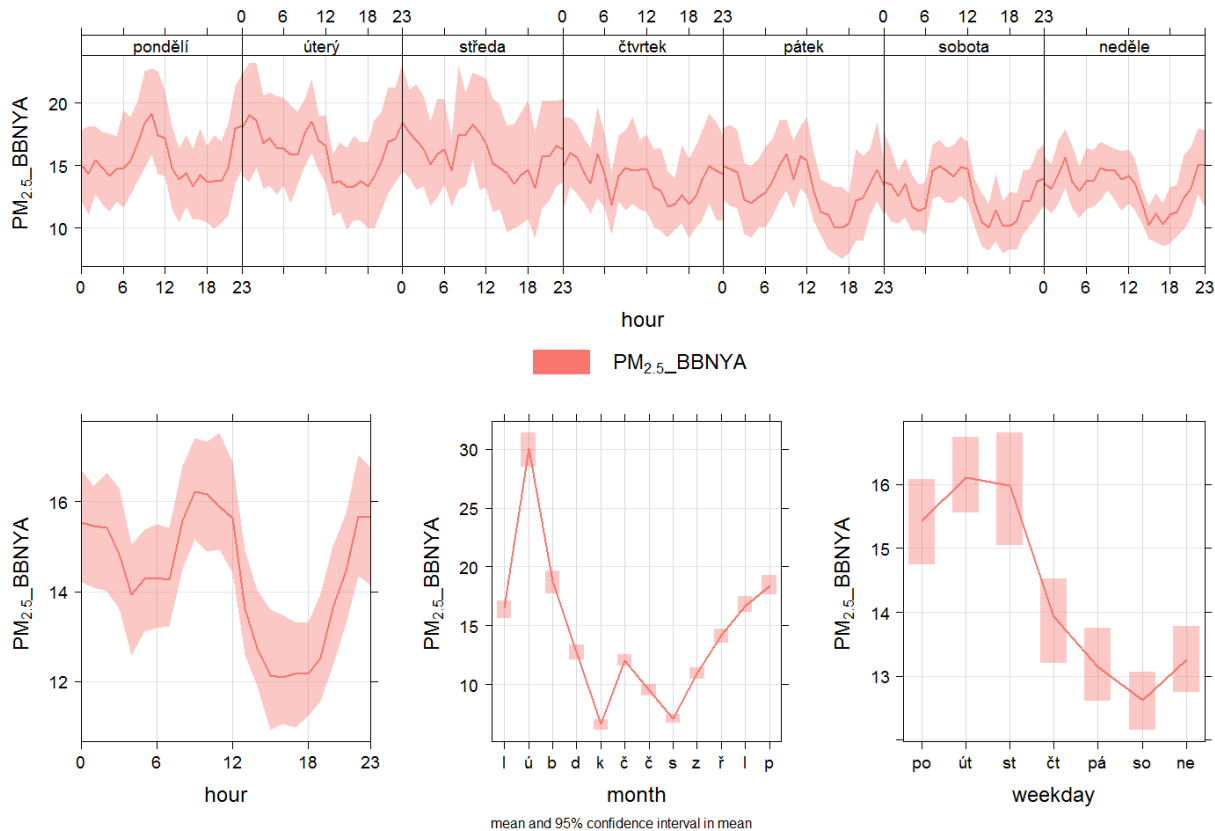
Obrázek 122 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM_{2,5} pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Brno-Tuřany. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

Vzhled a charakter anulární růžice pro PM_{2,5} je téměř totožný s růžicí pro částice PM₁₀ a totožné je i vysvětlení. Nejvyšší koncentrace byly pozorovány při severovýchodním proudění, a to zejména v brzkých ranních hodinách – v noci může převažovat vytápění z bližších zdrojů, v dopoledních, při zrychlení proudění, ze vzdálenějších.



Obrázek 123 - anulární koncentrační růžice pro suspendované částice PM_{2,5} pro stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

Graf průměrného ročního, týdenního a denního trendu ukazuje, že tento trend velmi dobře kopíruje trend částic PM₁₀, s maximy v zimních měsících. Na stanici Brno-Tuřany se projevuje více zdrojů, které ale nejsou bezprostřední. Na této předměstské pozadové stanici se projevují jak vzdálené zdroje (zejména vytápění) dálkovým transportem, tak zdroje bližší, například doprava z centra Brna. Tyto zdroje se zde však projevují méně výrazně, příp. s určitým zpožděním. Na grafu denního chodu je patrná ranní špička i nárůst koncentrací ve večerních hodinách, který může být spojen s vytápěním.

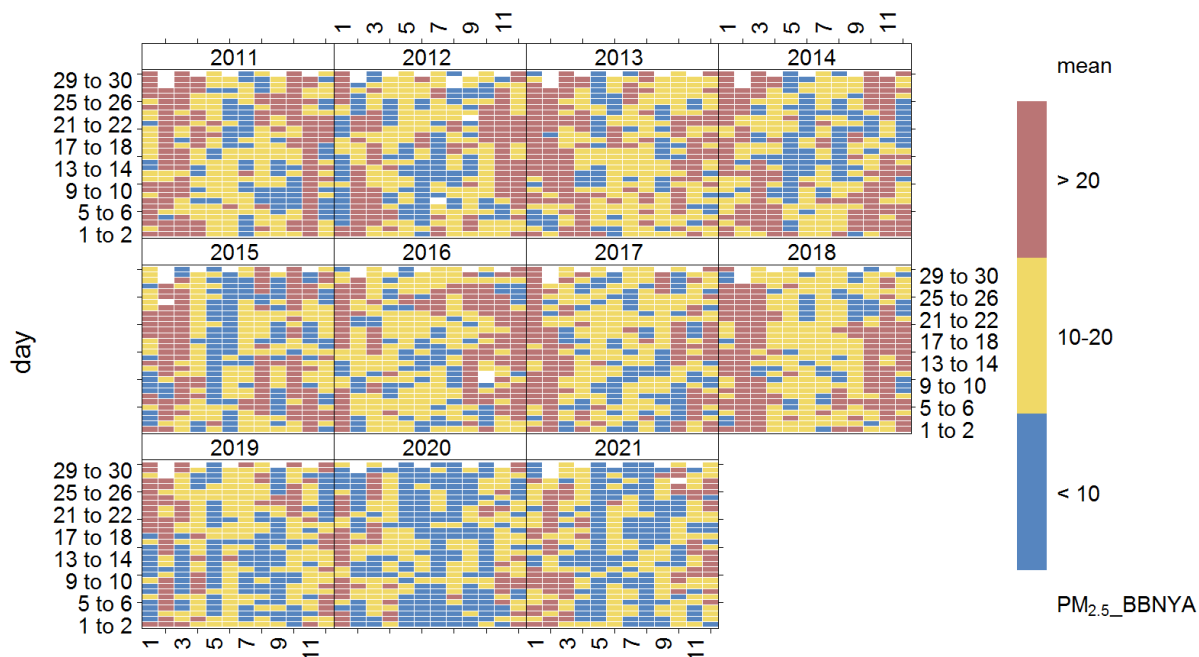


Obrázek 124 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Tuřany v roce 2021.

Dlouhodobý průběh denních koncentrací PM_{2,5} ukazují dvě heatmapy – jedna s využitím gradientní škály, druhá se škálou kategoričnou. Obzvláště patrná je velmi dobrá kvalita ovzduší v roce 2020 na kategoričné heatmapě, kde je na první pohled nejvyšší počet modře zbarvených dní (dní s průměrnou koncentrací PM_{2,5} do 10 µg.m⁻³). Rok 2021 je v tomto srovnávaném období rokem s druhou nejnižší koncentrací částic PM_{2,5}, což je na heatmapách rovněž patrné.



Obrázek 125 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

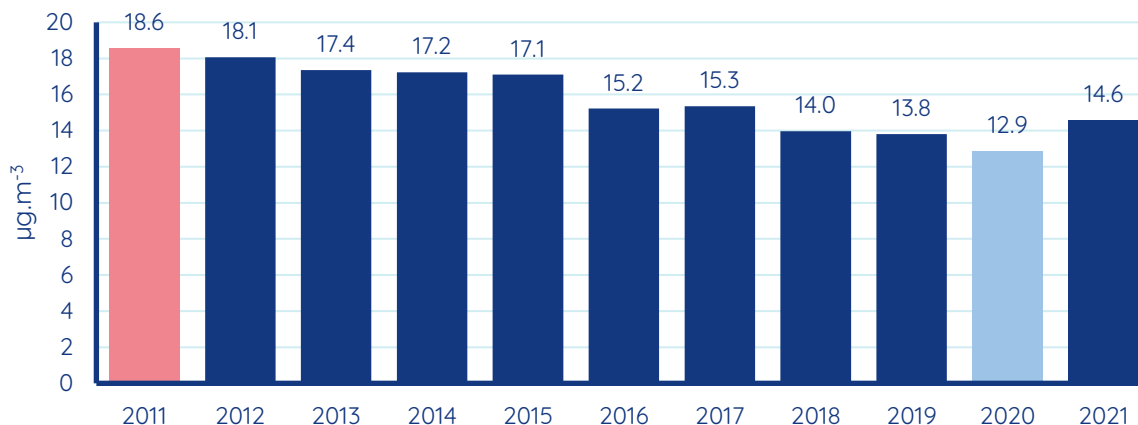


Obrázek 126 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

OXID DUSIČITÝ (NO₂)

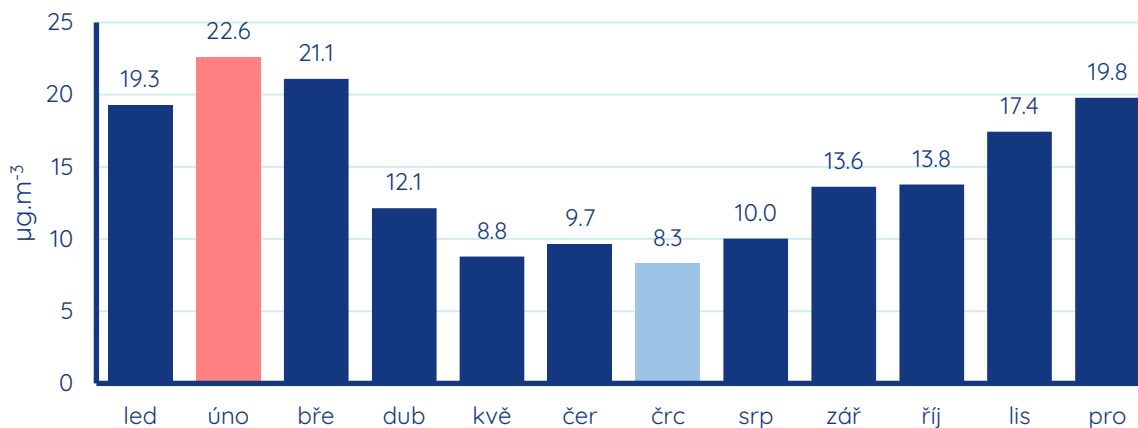
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO₂ na stanici Brno-Tuřany ukazuje následující sloupcový graf. Graf velmi názorně ukazuje sestupný trend, který se zastavil až v roce 2020. Přestože jsou však v roce 2021 průměrné roční koncentrace NO₂ mírně vyšší

než v letech předchozích, jedná se o rok s relativně nízkými koncentracemi v dlouhodobějším kontextu. Meziroční rozdíly jsou navíc dány primárně rozptylovými a meteorologickými podmínkami a hodnocení trendu je třeba zakládat na dlouhodobějších datech.



Obrázek 127 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021.

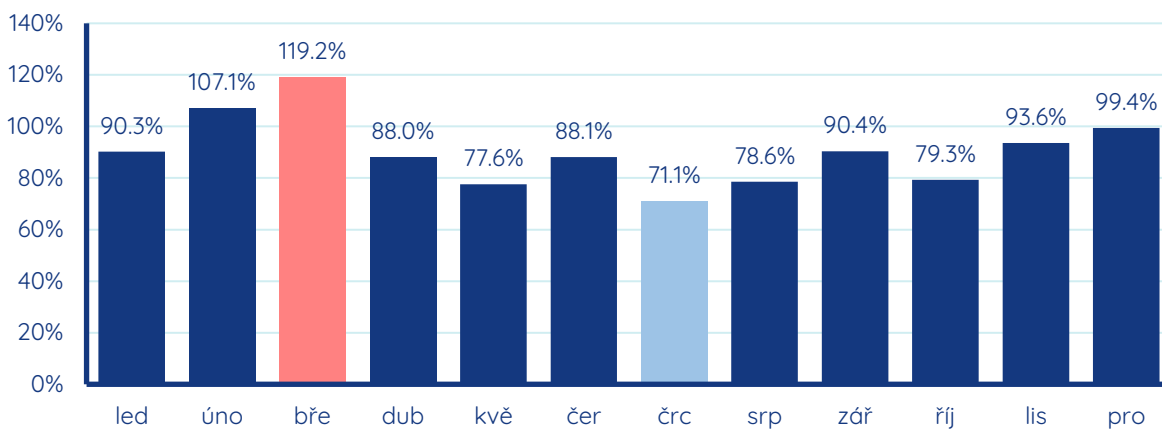
Vývoj koncentrací NO₂ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO₂ pro tuto stanici. Nejvyšší průměrné měsíční koncentrace byly pozorovány v únoru, což byl měsíc se zhoršenými rozptylovými podmínkami a nízkými teplotami. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny v letní měsíce, zejména v květnu a červenci.



Obrázek 128 - průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

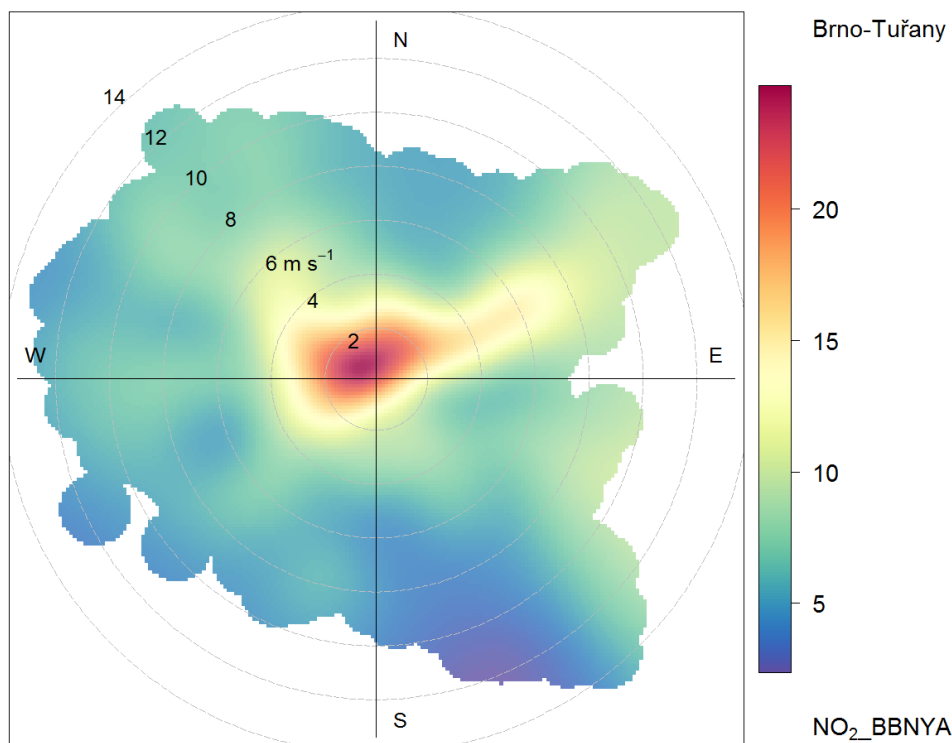
Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO₂ v roce 2021 na stanici Brno-Tuřany vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Pouze v únoru a březnu byla průměrná měsíční koncentrace NO₂ v roce 2021 vyšší, než jaká je průměrná koncentrace pro příslušný měsíc za období 2011-2020. Ve všechny ostatní měsíce byly koncentrace

podprůměrné, a to zejména v červenci, květnu, srpnu a říjnu, během kterých byl rozdíl oproti desetiletému průměru 20 až 30 %.



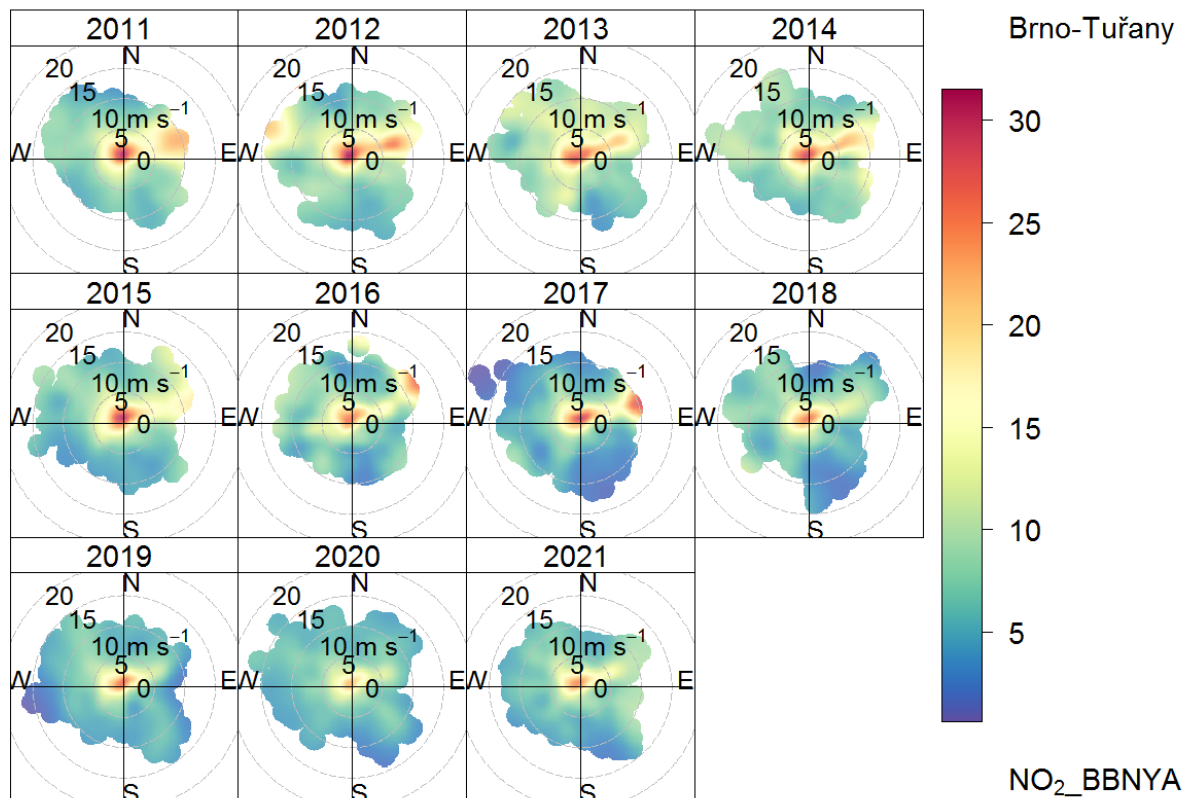
Obrázek 129 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Jak ukazuje koncentrační růžice pro oxid dusičitý, nejvyšší koncentrace byly v roce 2021 pozorovány při velmi nízké rychlosti větru. Obecně můžeme říci, že při pohledu na maximum barevné škály, byly i hodnoty naměřené při nízkých rychlostech větru nízké.



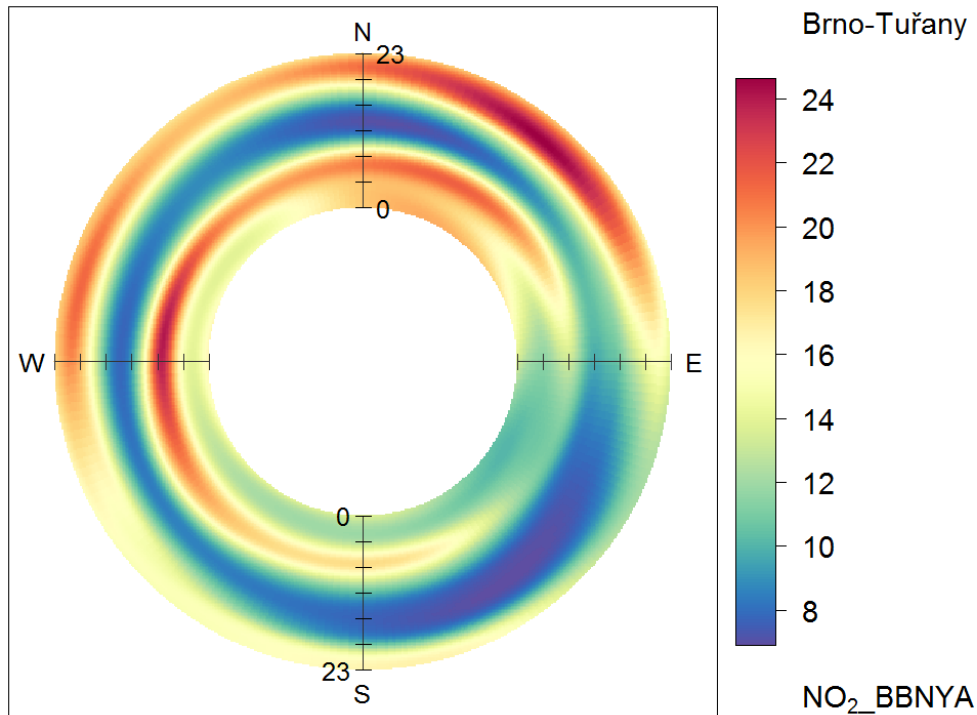
Obrázek 130 - koncentrační růžice NO₂ pro stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

V dlouhodobějším pohledu je z koncentračních růžic za celé hodnocené období 2011 až 2021 patrné, že nejvyšší hodnoty byly pozorovány zejména v roce 2010 a 2011 a obecně na začátku tohoto období. Naopak nejnižší byly v roce 2020.



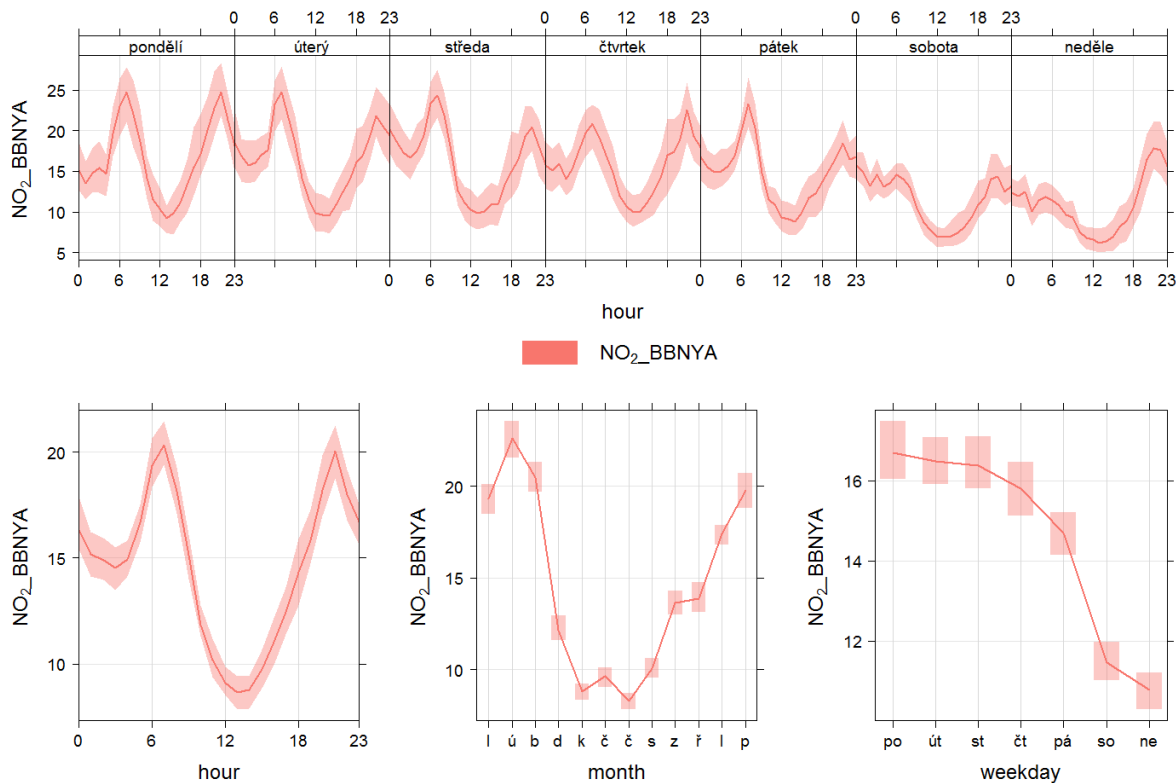
Obrázek 131 - koncentrační růžice NO₂ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Tuřany

Anulární koncentrační růžice ukazuje, že nejvyšší koncentrace NO₂ byly pozorovány v ranních hodinách při západním proudění a ve večerních hodinách při proudění severovýchodním. Vyšší hodnoty při severovýchodním proudění mohou souviset s vytápěním, zatímco při západním proudění se v ranních hodinách projevuje vliv dopravy.



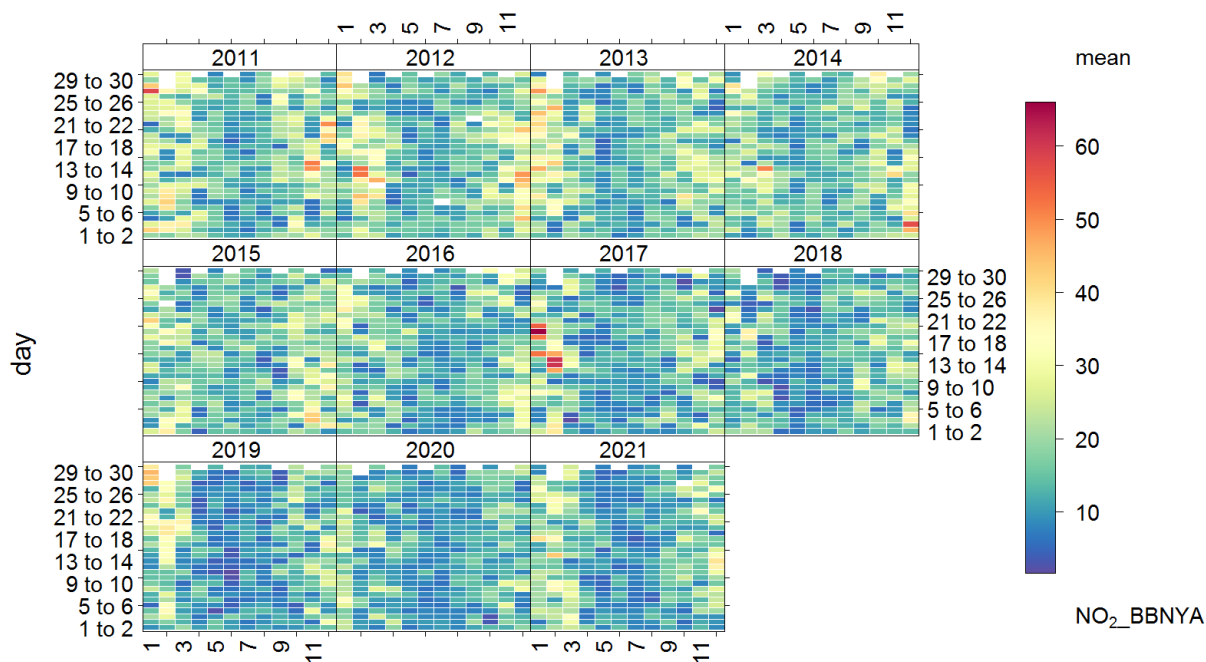
Obrázek 132 - anulární koncentrační růžice pro NO₂ pro stanici Brno-Tuřany za rok 2021.

Fakt, že koncentrace NO₂ na stanici Brno-Tuřany ovlivňuje doprava, dobře ilustruje následující kombinovaný graf ročního, týdenního a denního chodu koncentrací oxidu dusičitého. Ten ukazuje, že ve víkendové dny byly koncentrace výrazně nižší než ve dny pracovní. Zároveň je zde patrná v denním chodu ranní a odpolední špička.



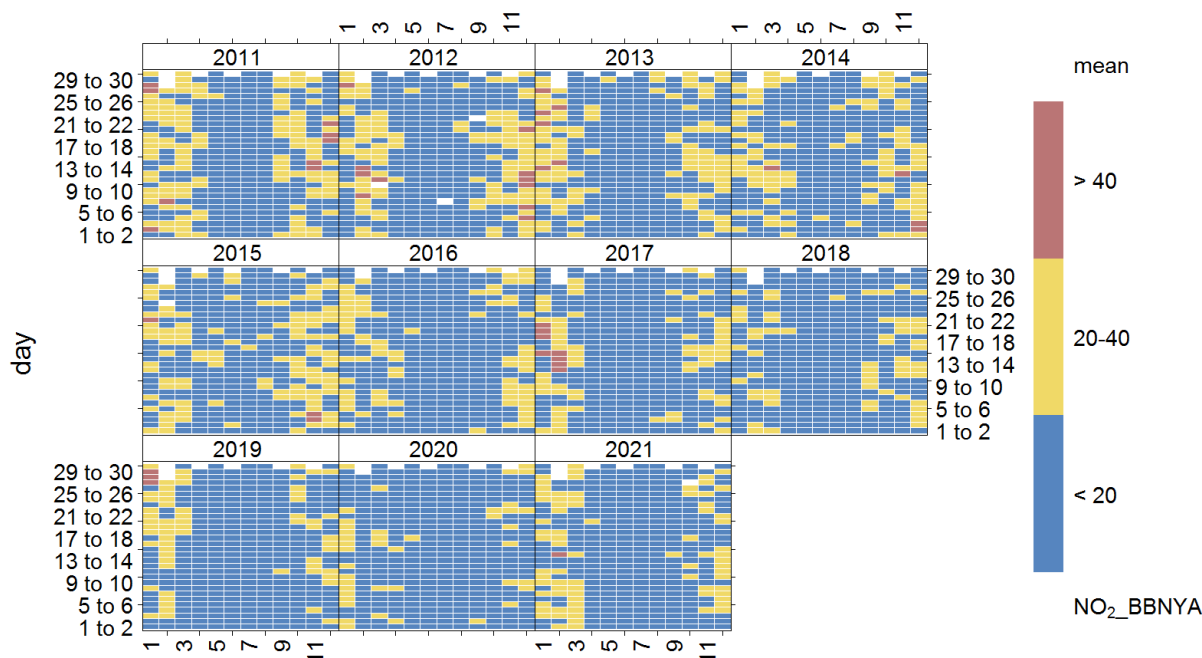
Obrázek 133 - denní, týdenní a roční chod koncentrací NO₂ na stanici Brno-Tuřany v roce 2021.

Následující dvě heatmapy ukazují průběh denních průměrných koncentrací NO₂ za celé období 2011 až 2021. Vyšší hodnoty denních průměrů (červený odstín) jsou patrné pouze na začátku roku 2017. Je zde také patrné postupné zlepšování kvality ovzduší.



Obrázek 134 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

Heatmapa s kategoričnou škálou ukazuje, že v posledních letech dominují dny s nižšími koncentracemi, s denním průměrem do $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (modrý odstín). V prvních letech srovnávaného období byla většina dní na začátku a konci roku v odstínu žluté a červené, tedy nad $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v některých případech i nad $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

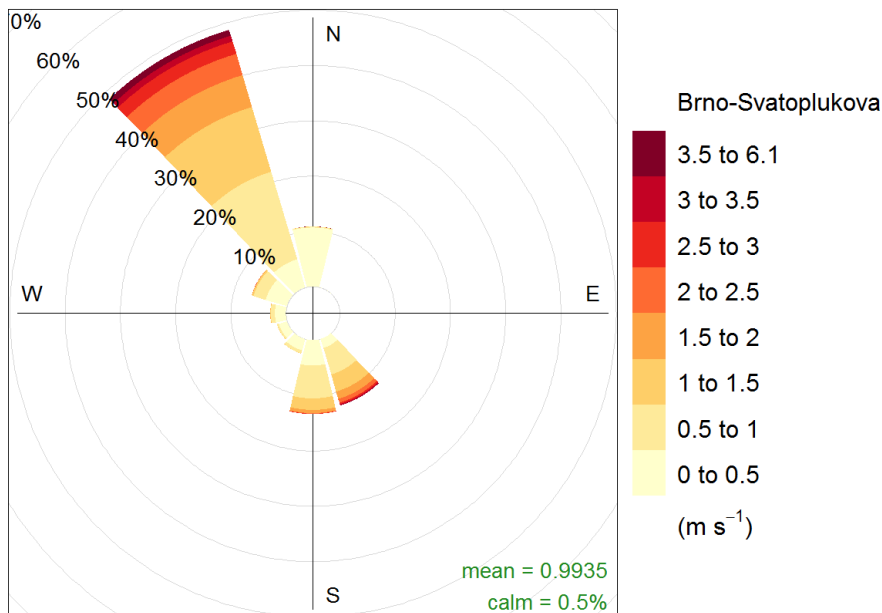


Obrázek 135 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO_2 pro stanici Brno-Tuřany za období 2011 až 2021 s využitím kategoričnou škály.

BRNO-SVATOPLUKOVA

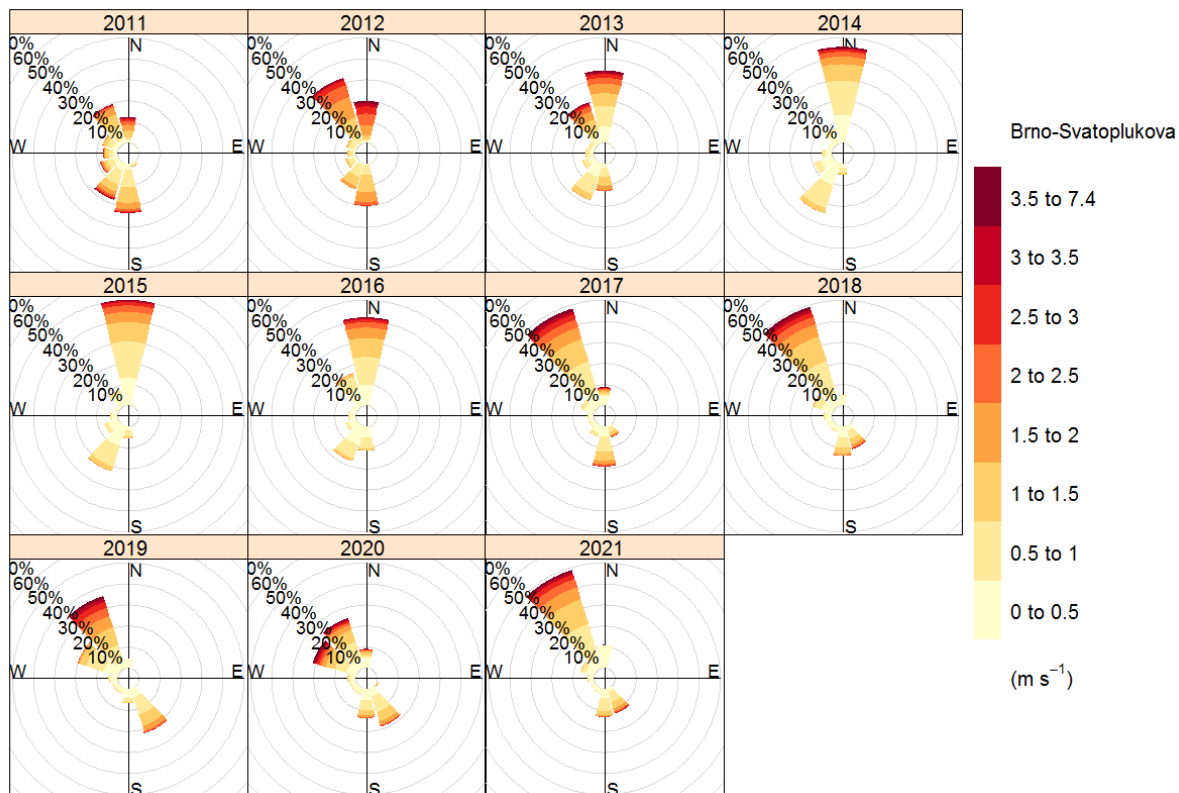
Stanice Brno-Svatoplukova je městskou dopravní stanicí, která dlouhodobě patří ke stanicím s jedněmi z nejvyšších koncentrací oxidů dusíku v kraji i celorepublikově. Jedná se o dopravně velmi výrazně zatíženou stanici nacházející se v těsné blízkosti čtyřproudé komunikace, kudy denně projíždí desetitisíce vozů včetně tranzitní dopravy. Stanice je navíc umístěna v husté zástavbě, kde je ve směru od vozovky velmi omezeno proudění vzduchu budovami.

Větrná růžice ze stanice Brno-Svatoplukova velmi dobře ilustruje výše zmíněné omezení proudění vzduchu v určitých směrech (zejména směru jihozápadním a severovýchodním). Některé směry v růžici nejsou zastoupeny téměř vůbec, což souvisí s faktem, že v daném směru vzhledem k budovám v těsné blízkosti stanice ani foukat nemůže. O to více dochází v daném místě ke kumulaci znečišťujících látek.



Obrázek 136 - větrná růžice pro stanici Brno-Svatoplukova z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.

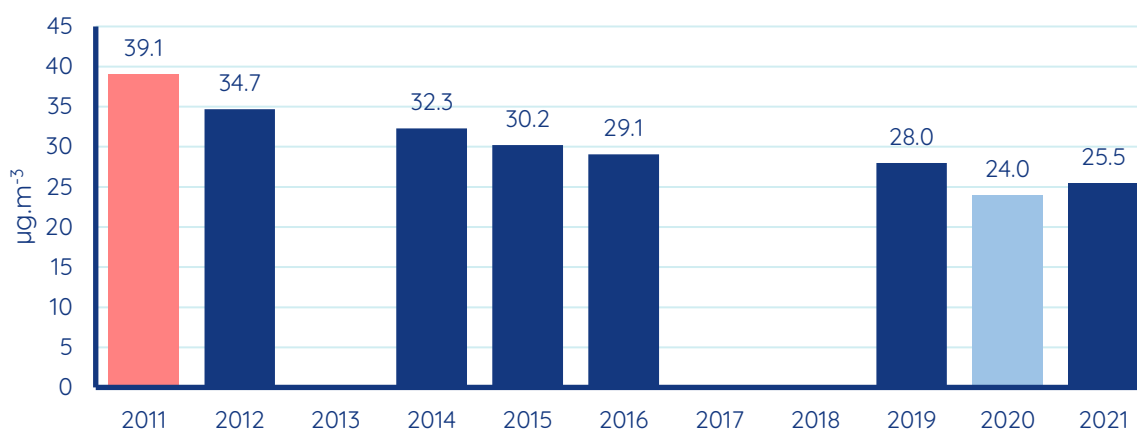
Jak ukazují dílčí větrné růžice pro jednotlivé roky období 2011 až 2021, charakter proudění se na stanici dlouhodobě nemění a převažuje severní až severozápadní směr, naopak zcela chybí směr východní a severovýchodní.



Obrázek 137 - větrné růžice pro stanici Brno-Svatoplukova v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

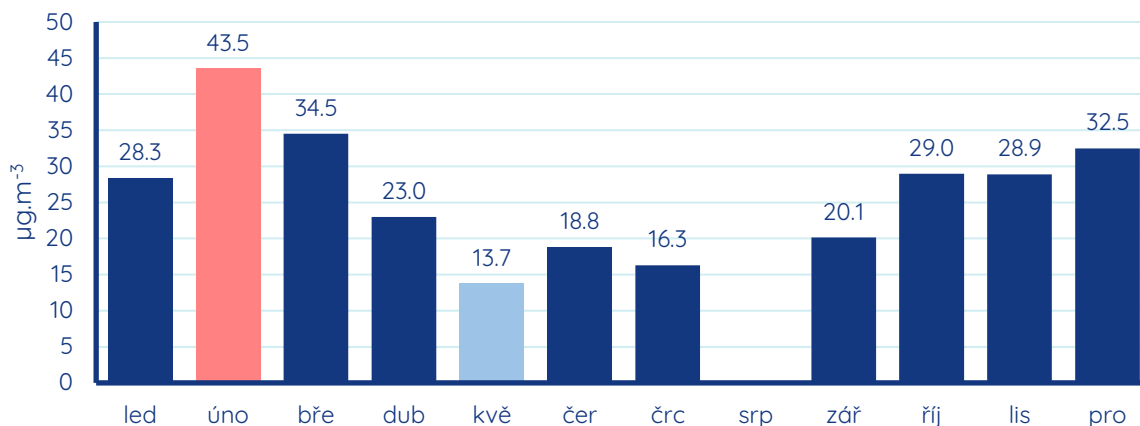
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na stanici Brno-Svatoplukova ukazuje následující sloupcový graf. Graf velmi dobře ilustruje výrazný sestupný trend, tedy zlepšování kvality ovzduší a dlouhodobé snižování průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na této městské dopravní stanici. Přestože byla průměrná roční koncentrace částic PM₁₀ v roce 2020 mírně nižší než v roce 2021, bylo to dáno meteorologickými podmínkami a průměrná roční koncentrace v roce 2021 je nižší než průměrná roční koncentrace kteréhokoliv jiného roku v předchozím desetiletí právě s výjimkou roku 2020.



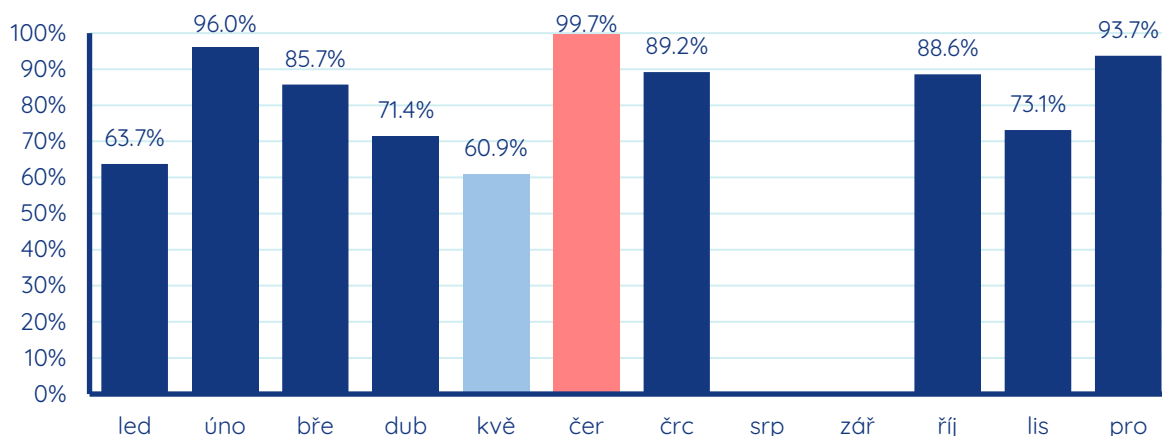
Obrázek 138 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM₁₀ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ pro tuto stanici. Nejnižší koncentrace částic byly pozorovány v letní měsíce, což odpovídá typickému ročnímu chodu koncentrací suspendovaných částic. Naopak nejvyšší byly hodnoty v únoru, což souvisí s plošnými faktory, kterými byla nízká teplota vzduchu a zhoršené rozptylové podmínky.



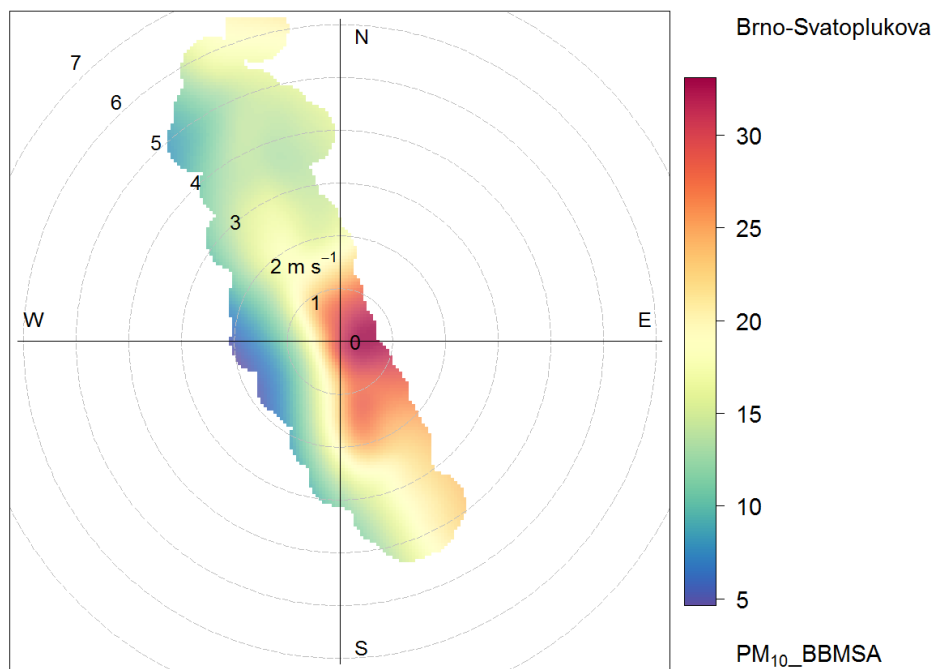
Obrázek 139 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ v roce 2021 na stanici Brno-Svatoplukova vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Z toho je patrné, že ve všech měsících roku 2021 byly průměrné měsíční koncentrace nižší než je desetiletý průměr pro daný měsíc na dané stanici. Nejvyšší poměr byl pozorován v červnu, kdy byla průměrná měsíční koncentrace téměř rovna dlouhodobému průměru. Naopak relativně nejnižší byly koncentrace v květnu, kdy se v roce 2021 pohybovaly jen na 61 % dlouhodobého průměru.



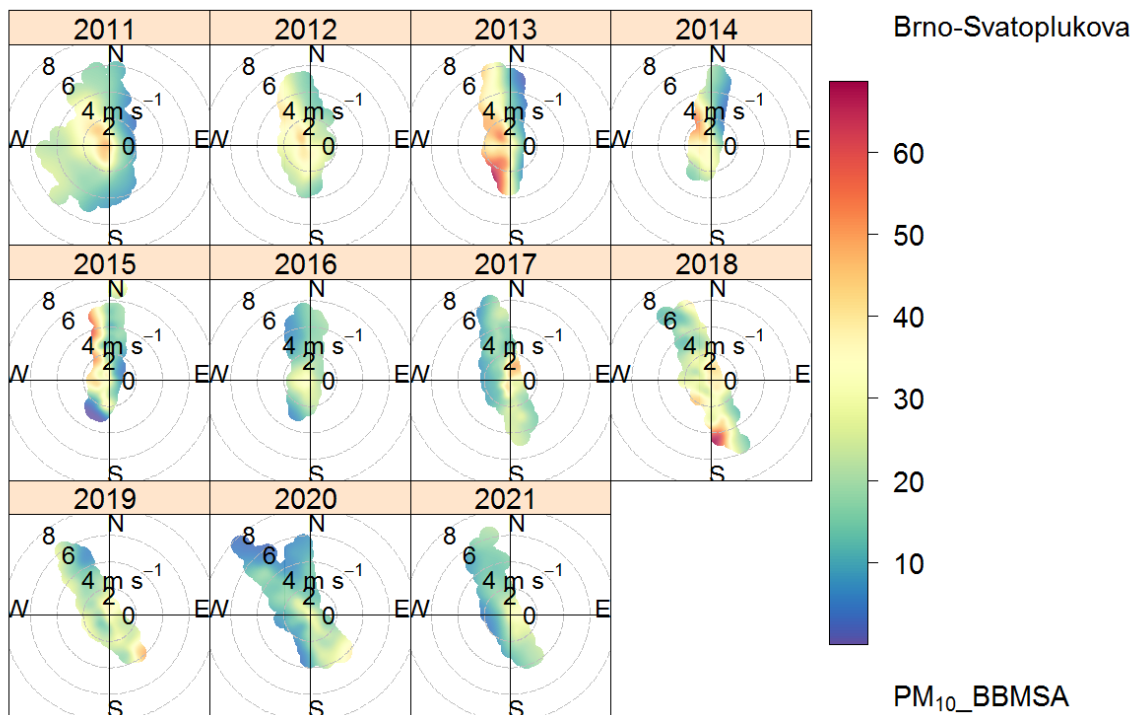
Obrázek 140 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Za jakých parametrů větru byly koncentrace na stanici Brno-Svatoplukova nejvyšší, ukazuje následující koncentrační růžice. Nejvyšší koncentrace byly pozorovány při velmi nízkých rychlostech větru, to odpovídá skutečnosti, že se zde při slabém větru kumulují znečišťující látky vznikající z blízkých zdrojů (doprava, lokální vytápění).



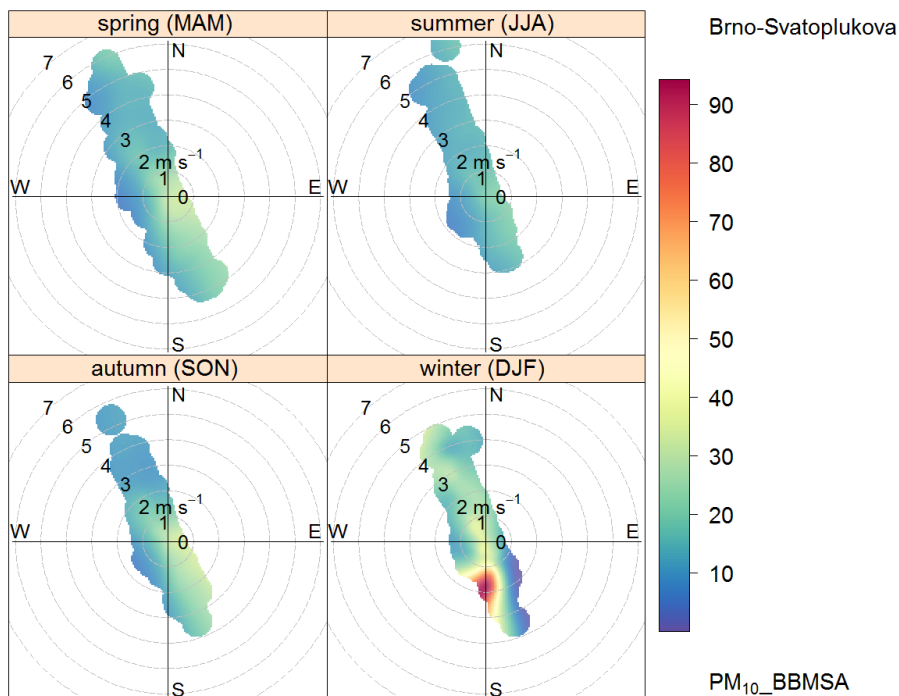
Obrázek 141 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Výše zmíněné komplikované vztahy proudění vzduchu na dané stanici a komunikaci z několika stran neumožňují jasně vidět zdroj, odkud znečištění přichází. Níže uvedené koncentrační růžice za 10leté období 2011 až 2021 ukazují nejvyšší hodnoty znečištění při různých směrech větru. Do značné míry jsou tato maxima ovlivněna tím, z jaké strany zrovna foukalo při významné dopravní zátěži či vlivu dalších zdrojů v okolí. Jedním z těchto významných zdrojů je např. ubytovna naproti stanici přes silnici, kde jsou zejména v zimním období velmi výrazné emise z vytápění prokazatelné zcela černým dýmem. Níže uvedené koncentrační růžice ale také ukazují, že rok 2020 a 2021 byl na stanici Brno-Svatoplukova co do koncentrací PM_{10} v hodnoceném období rokem nepříznivějším.



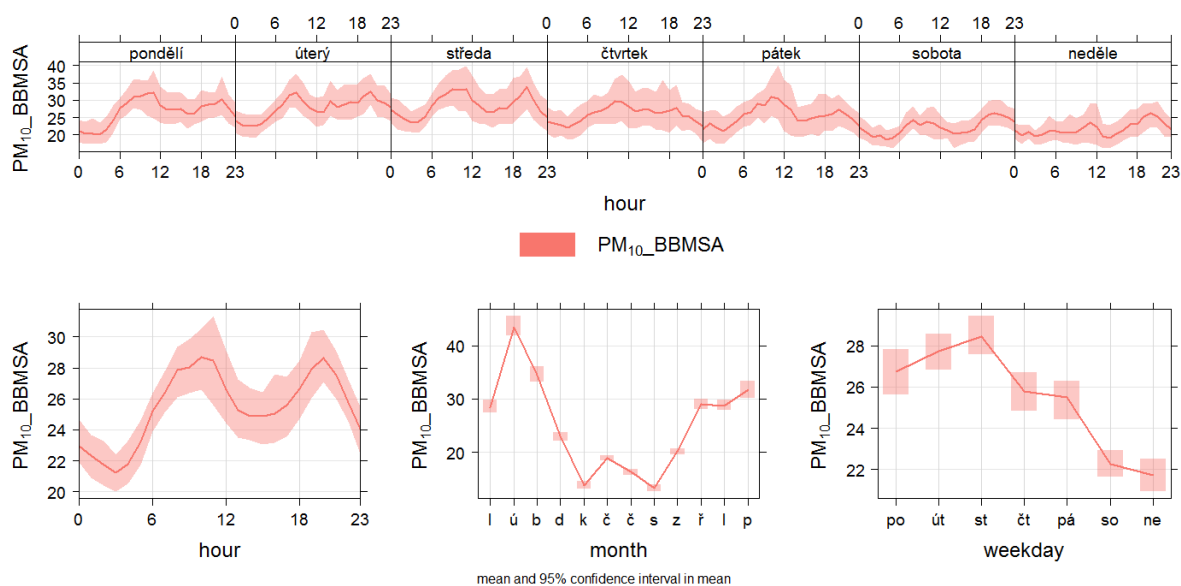
Obrázek 142 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM₁₀ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Svatoplukova.

Koncentrační růžice byly zkonstruovány také pro měsíce jednotlivých ročních období za rok 2021. Z těchto růžic je patrné, že nejvyšší hodnoty koncentrací byly pozorovány v zimním období, v tomto případě při jižním směru proudění. Tyto vyšší hodnoty mohou souviset jak s dopravní zátěží, tak se zimním vytápěním. Nejnížší jsou naopak koncentrace v létě, což odpovídá obecnému ročnímu chodu koncentrací suspendovaných částic v České republice.



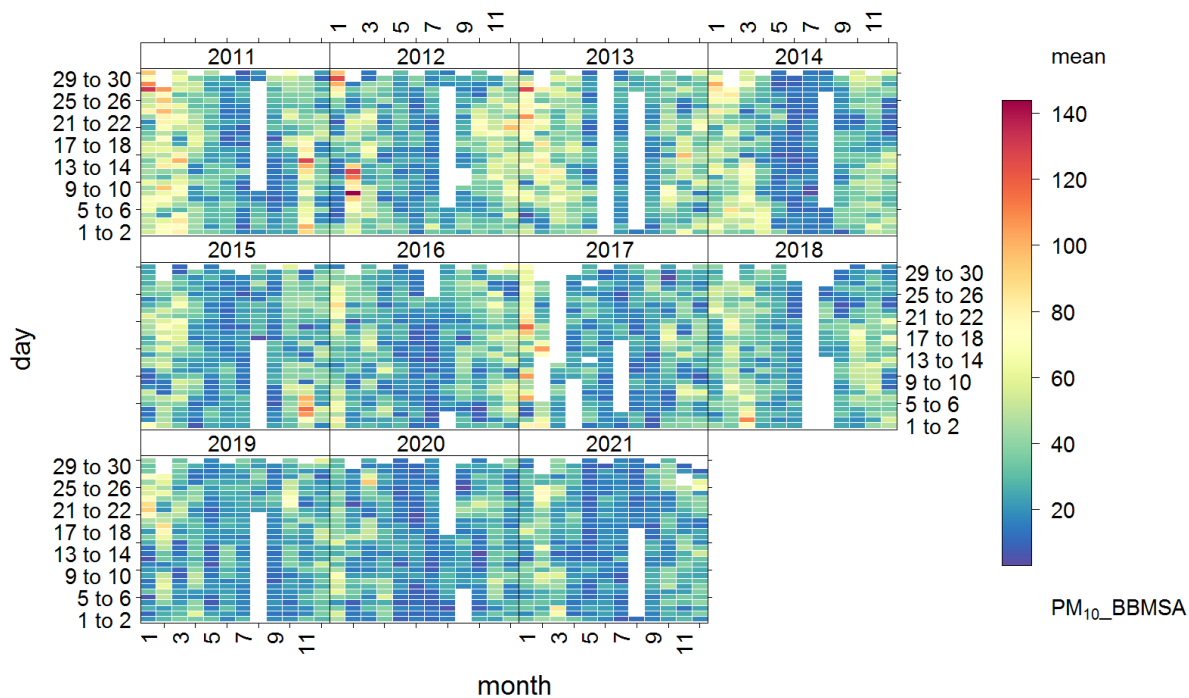
Obrázek 143 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Brno-Svatoplukova. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

Chod koncentrací PM₁₀ v průběhu roku, týdne a dne ukazuje následující souhrnný graf. Denní chod koncentrací ukazuje typický průběh pro dopravní stanice se špičkou v ranních a odpoledních hodinách. Roční chod pak kopíruje typický chod pro suspendované částice PM₁₀ v České republice obecně, tedy s maximem v chladných měsících. Velmi výrazný je také rozdíl mezi pracovními dny a víkendem, což opět souvisí s intenzitou dopravy a jejím výrazným vlivem na koncentrace znečišťujících látek na této stanici.

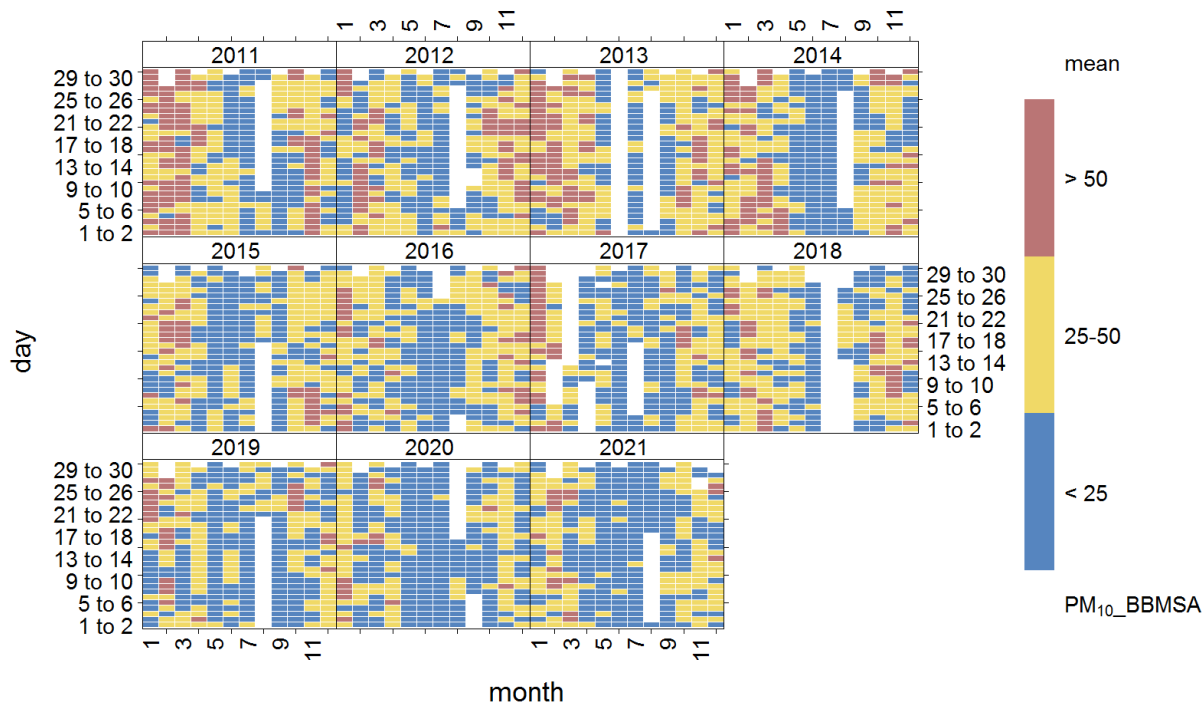


Obrázek 144 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021.

Tzv. heatmapy jsou speciálním typem vizualizace, který umožňuje přehledně zobrazit velké množství dat – v tomto případě 10letý průběh denních koncentrací částic PM_{10} v lokalitě Brno-Svatoplukova. V prvním případě byla použita gradientní škála, v druhém případě byly denní koncentrace kategorizovány podle hodnoty. Červená barva značí hodnotu vyšší než $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je 24h imisní limit pro tuto látku. Obě heatmapy potvrzují fakt, že nejnižší hodnoty koncentrací PM_{10} v roce jako celku byly pozorovány v letech 2020 a 2021.



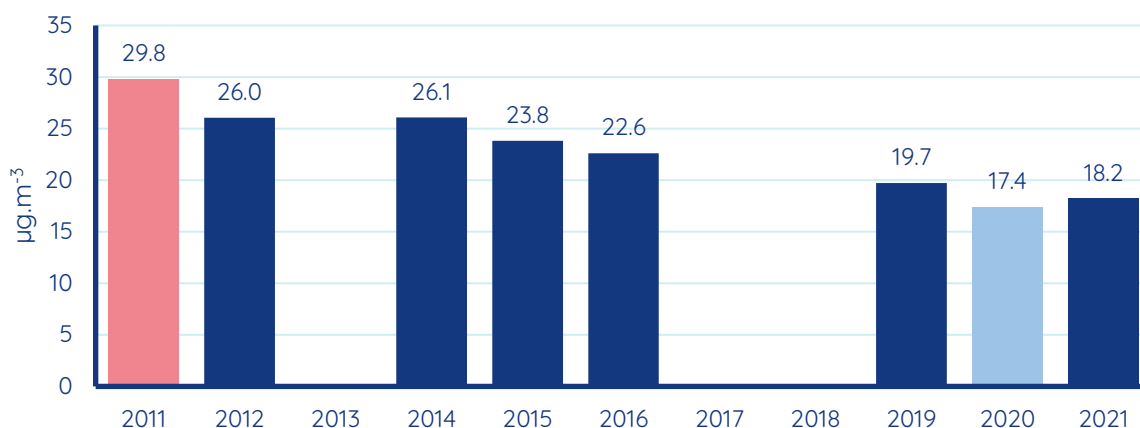
Obrázek 145 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.



Obrázek 146 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

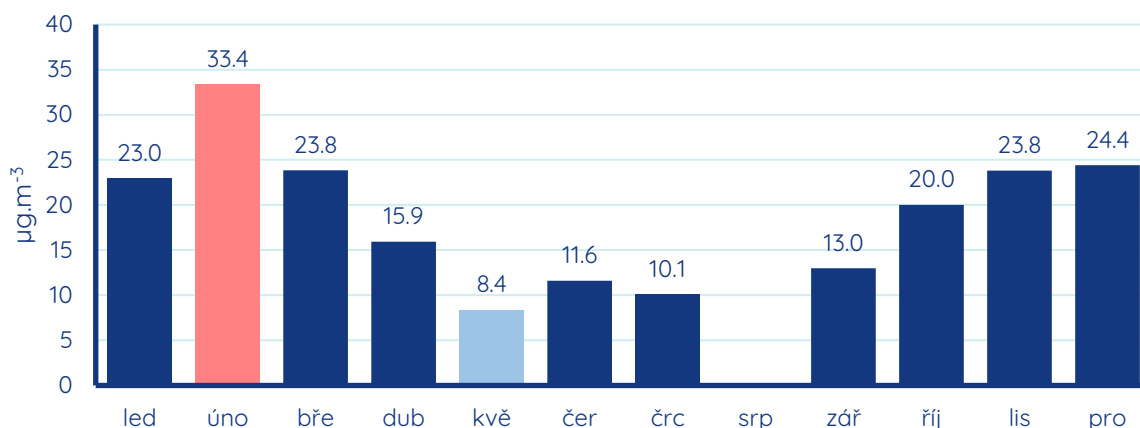
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM_{2,5} na stanici Brno-Svatoplukova ukazuje následující sloupcový graf. Patrný je neustálý a postupný pokles průměrných ročních koncentrací částic PM_{2,5} na této stanici. V začátku srovnávaného období byly hodnoty nad hodnotou tehdy platného imisního limitu (do roku 2019 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Naposledy byl tento imisní limit překročen v roce 2014. Od roku 2020 platí imisní limit 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, který v roce 2021 překročen nebyl. Průměrná roční koncentrace z roku 2021 18,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ je druhou nejnižší průměrnou roční koncentrací naměřenou na této stanici.



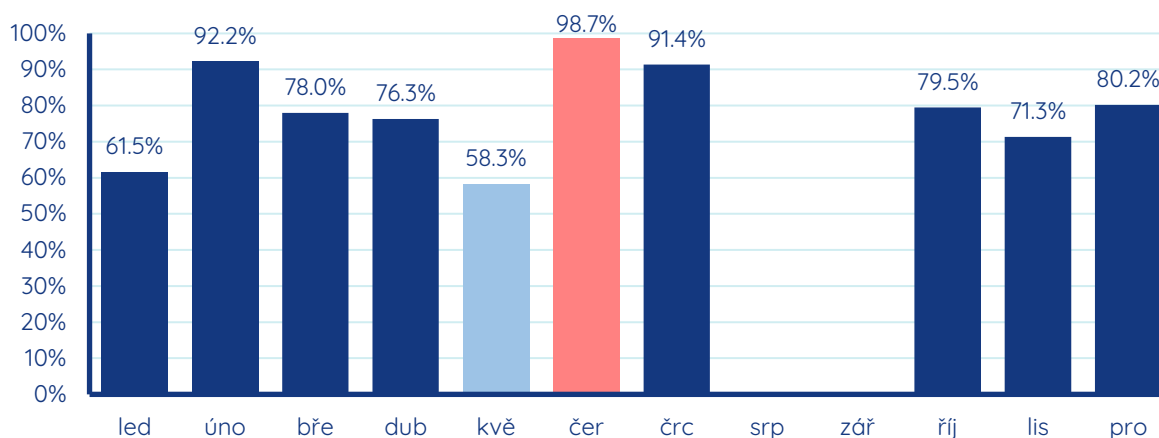
Obrázek 147 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM_{2,5} v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM_{2,5} pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace částic PM_{2,5} byla pozorována v únoru. Naopak nejnižší hodnota byla naměřena v květnu.



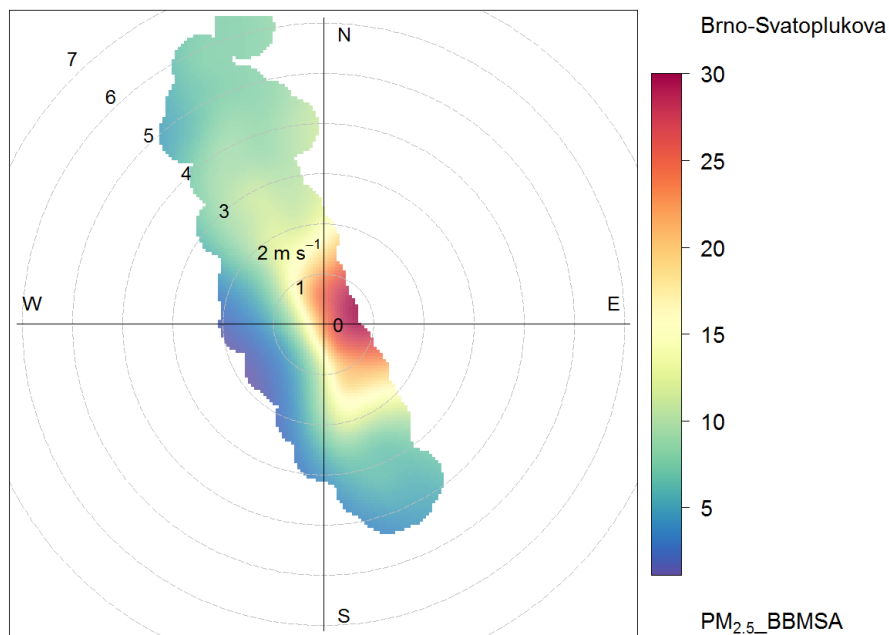
Obrázek 148 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic $PM_{2,5}$ v roce 2021 na stanici Brno-Svatoplukova vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Všechny měsíční průměrné hodnoty koncentrací částic $PM_{2,5}$ byly v roce 2021 podprůměrné (< 100 %). Nejvyšší poměr (98,7 %) byl naměřen v červnu, naopak relativně nejnižší podprůměrný byl květen 2021, kdy měsíční průměrná koncentrace částic $PM_{2,5}$ nedosáhla ani 60 % dlouhodobého průměru pro tento měsíc a stanici.



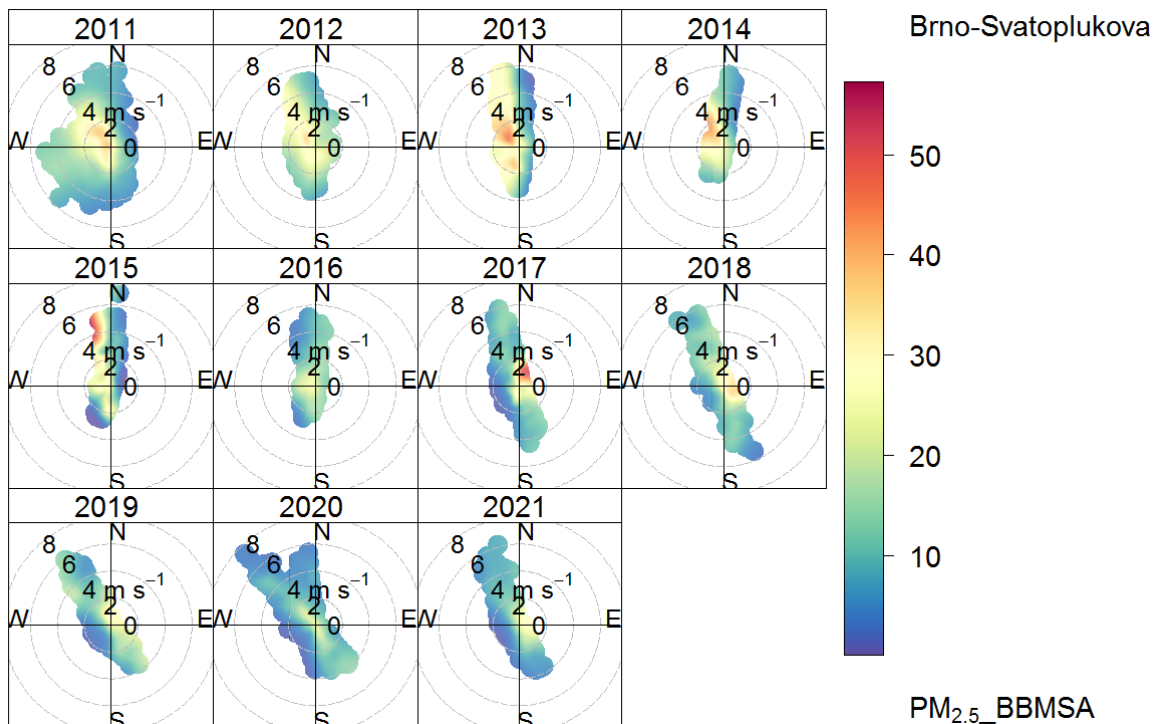
Obrázek 149 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice pro částice $PM_{2,5}$ je velmi podobná té pro PM_{10} . Nejvyšší koncentrace jsou pozorovány při nízkých rychlostech větru, v tomto případě zejména při východním proudění. Tento směr ale je na této stanici velmi potlačen blízkou budovou a pokud tedy proudí v tomto směru, znamená to spíše velmi nízkou rychlost až bezvětří a s tím související kumulaci znečištění v daném místě.



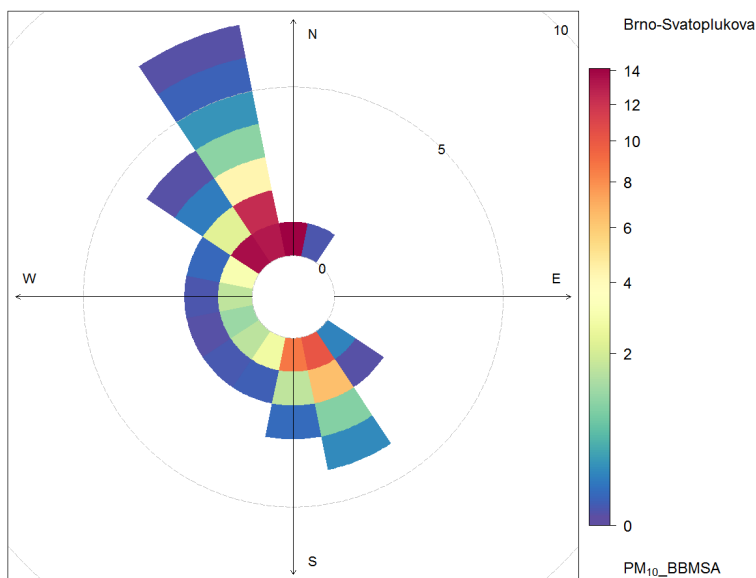
Obrázek 150 - koncentrační růžice suspendovaných částic $PM_{2,5}$ pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

V dlouhodobém srovnání koncentračních růžic pro $PM_{2,5}$ na stanici Brno-Svatoplukova není patrný až tak výrazný rozdíl v charakteru proudění, jako spíše rozdíly v absolutních hodnotách koncentrací. Rok 2020 a 2021 vypadá v tomto srovnání výrazně příznivěji, což je dáno posunem maxima barevné škály tak, aby byla přizpůsobena celému hodnocenému období. Přestože byly koncentrace v roce 2021 mírně vyšší oproti roku předchozímu, je zde pozorován příznivý trend zlepšování kvality ovzduší snižováním koncentrací částic $PM_{2,5}$.



Obrázek 151 - koncentrační růžice suspendovaných částic $PM_{2.5}$ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Svatoplukova.

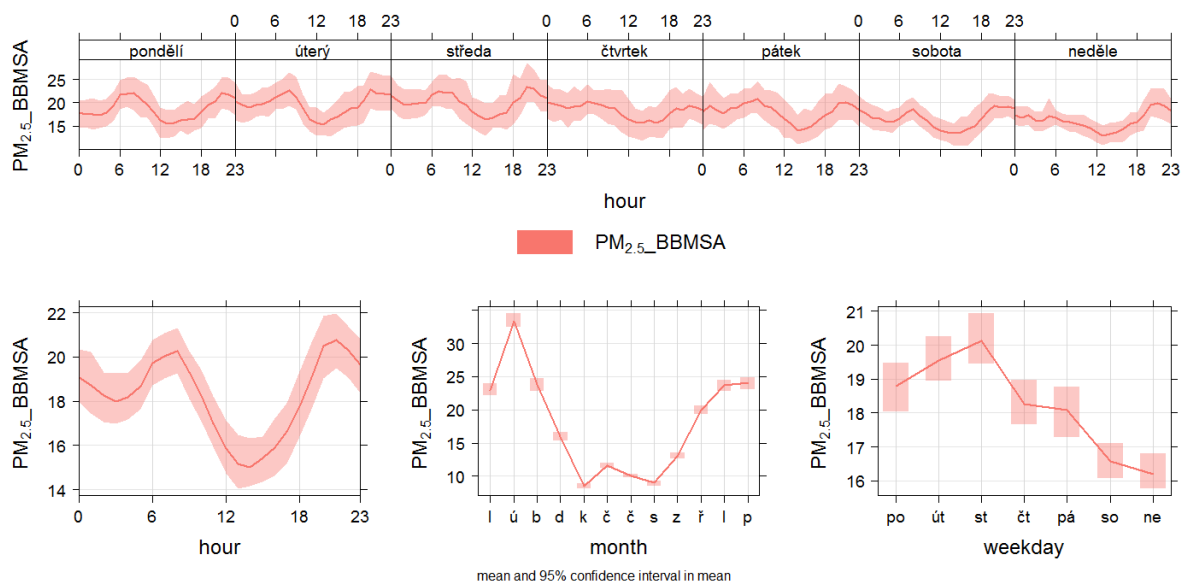
Vážená koncentrační růžice pro částice $PM_{2.5}$ ukazuje nejvyšší podíl znečištění v ročním součtu z jihovýchodního a severozápadního směru. Tento směr přibližně odpovídá dopravní komunikaci.



Obrázek 152 – vážená koncentrační růžice suspendovaných částic $PM_{2.5}$ pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

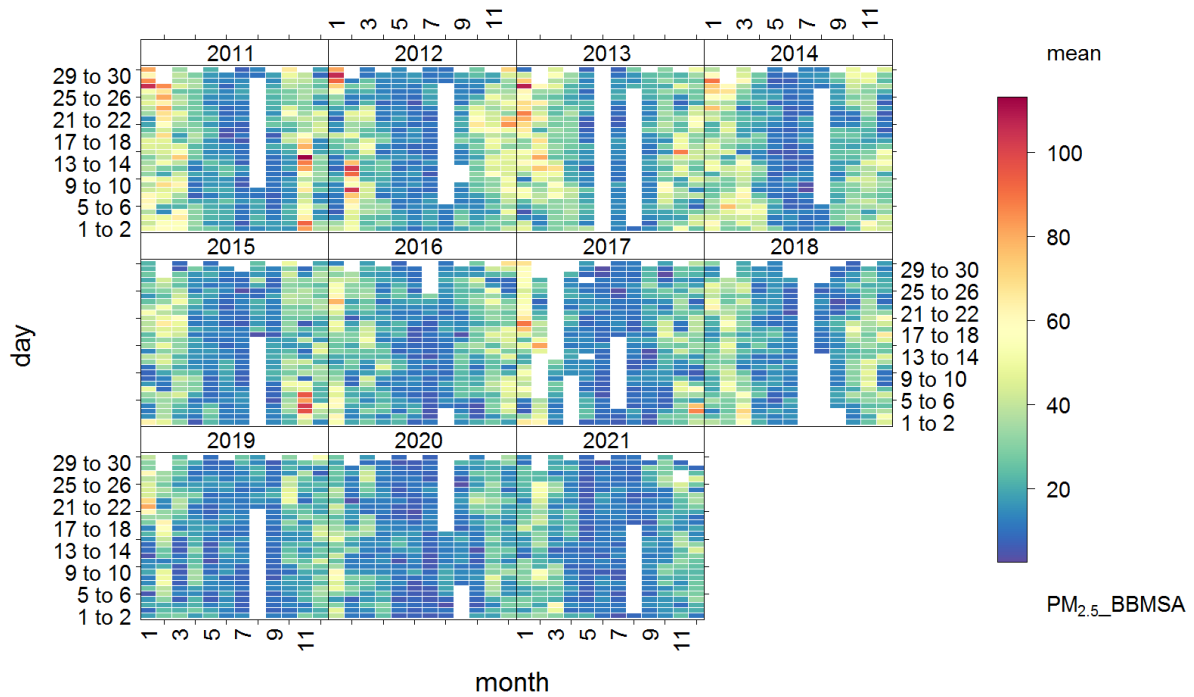
Kombinovaný graf ročního, týdenního a denního chodu koncentrací $PM_{2.5}$ ukazuje na typický chod dopravní stanice se špičkou v ranních hodinách. Po poledni následuje pokles

daný převážně vyššími rychlostmi větru v tuto hodinu, útlumem dopravy i útlumem vytápění, které se na této stanici může také projevovat, například z ubytovny přímo naproti stanici, kde se hojně topí na tuhá paliva. Jak ukazuje týdenní chod, víkendové dny mají výrazně nižší koncentraci těchto částic, což opět souvisí zejména s dopravní intenzitou.

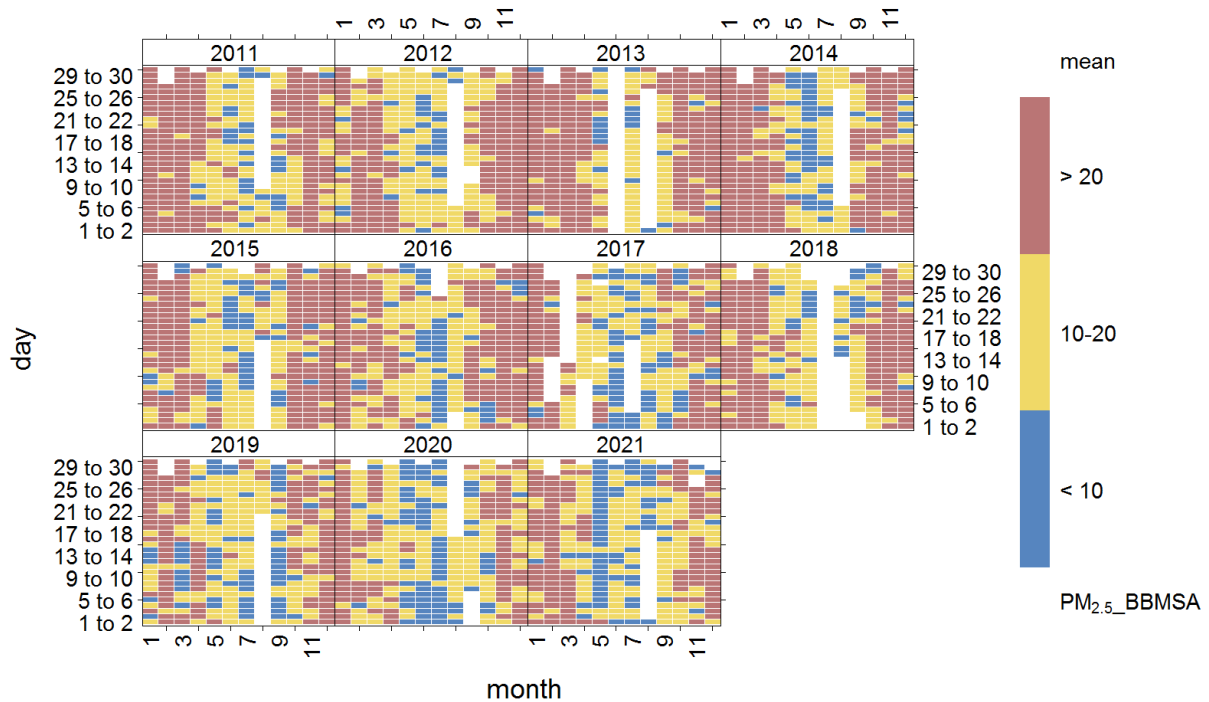


Obrázek 153 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021.

Následující heatmapy ukazují průměrné denní koncentrace částic $PM_{2.5}$ za celé hodnocené období od roku 2011 do roku 2021. Z těchto denních heatmap je patrné, že koncentrace částic $PM_{2.5}$ byly v roce 2021 v letním období dokonce nižší než v extrémně příznivém roce 2020. Celkově však byl roční průměr v roce 2021 mírně vyšší, a to zejména díky extrémnímu únoru 2020, kdy byly koncentrace výjimečně nízké, což je na heatmapách rovněž patrné a pro tento zimní měsíc neobvyklé.



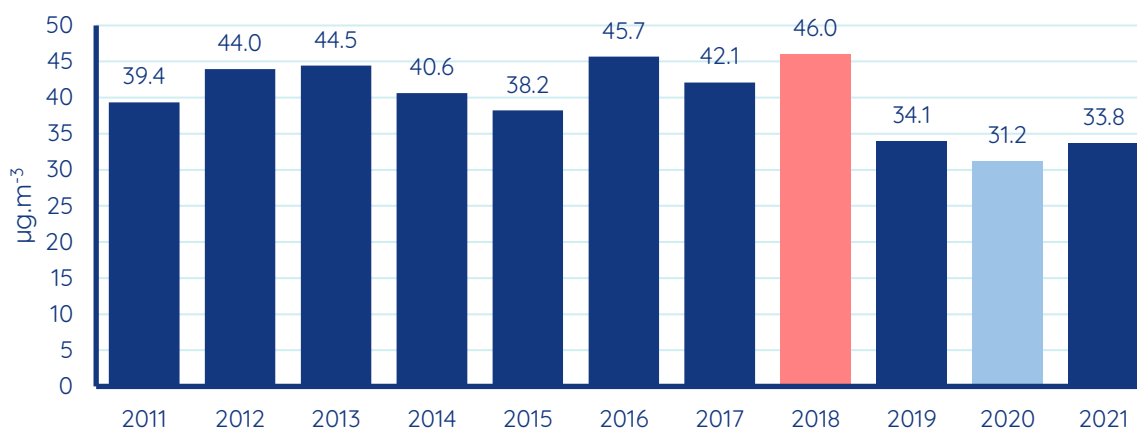
Obrázek 154 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.



Obrázek 155 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

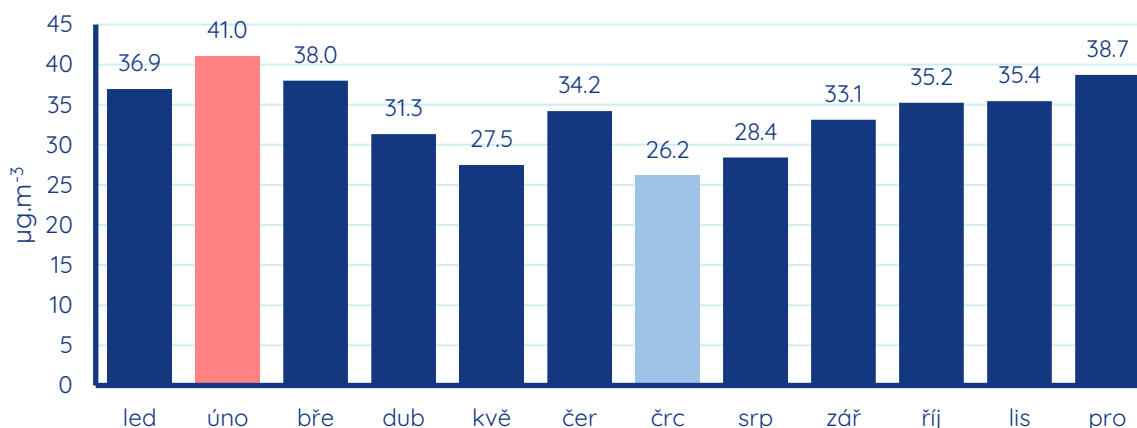
OXID DUSIČITÝ

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO_2 na stanici Brno-Svatoplukova ukazuje následující sloupcový graf. Z grafu je patrné, že přestože sestupný trend v tomto případě není tak patrný, jako je tomu u částic PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$, určitý postupný pokles zde patrný je. Výrazně nižší byly hodnoty ročního průměru NO_2 v posledních třech letech hodnotícího období, tedy 2019-2021. Přestože byla hodnota průměrné roční koncentrace v roce 2021 mírně vyšší oproti roku 2020, stále se jedná o druhou nejnižší průměrnou roční koncentraci. Imisní limit byl naposledy překročen v roce 2018.



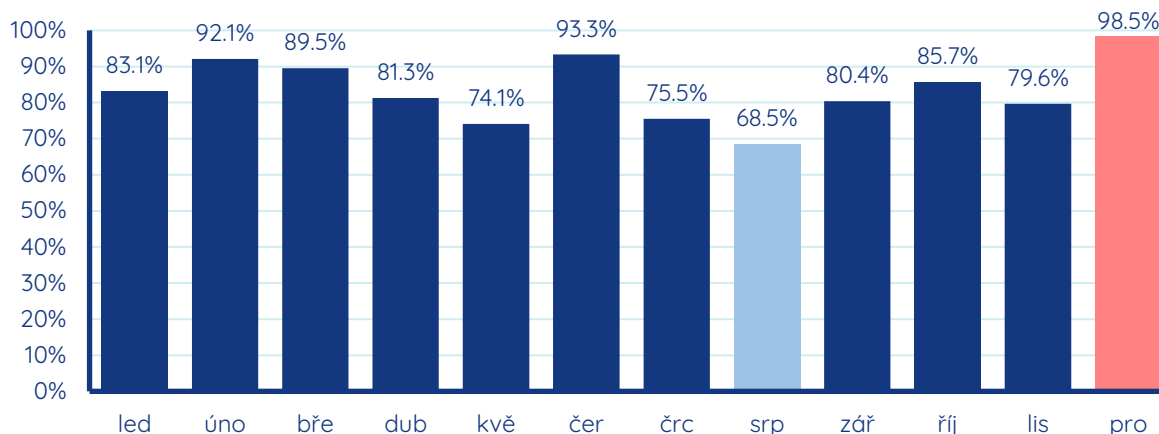
Obrázek 156 - průměrné roční koncentrace NO_2 na stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací NO_2 v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO_2 pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace byla naměřena v únoru, nejnižší v červenci.



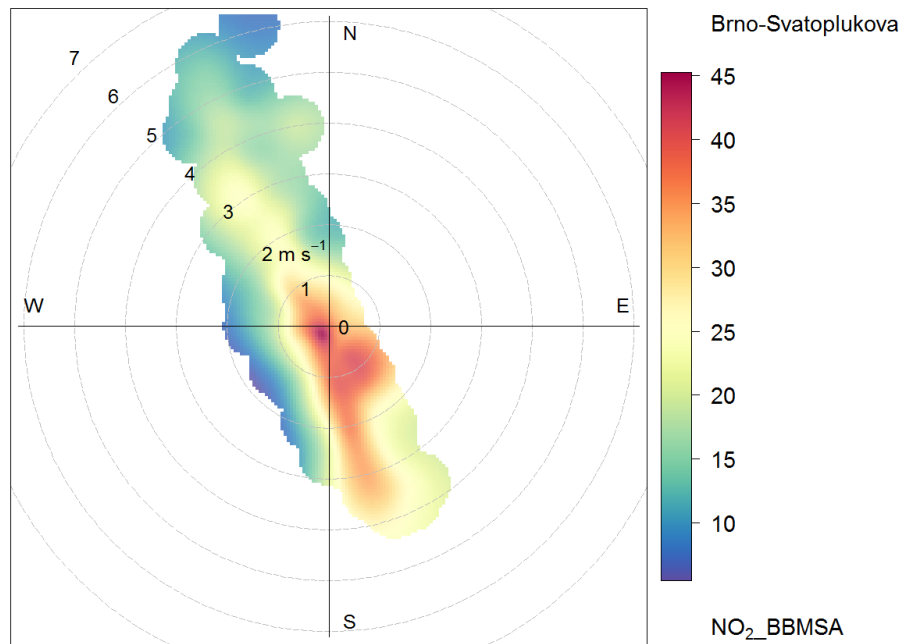
Obrázek 157 - průměrné měsíční koncentrace NO_2 na stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO₂ v roce 2021 na stanici Brno-Svatoplukova vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Ve všech měsících roku 2021 byly měsíční průměrné koncentrace NO₂ pro daný měsíc ve srovnání s desetiletým průměrem podprůměrné. Nejvíce v srpnu, nejméně v prosinci, kdy byly téměř rovny dlouhodobé průměrné hodnotě pro prosinec.



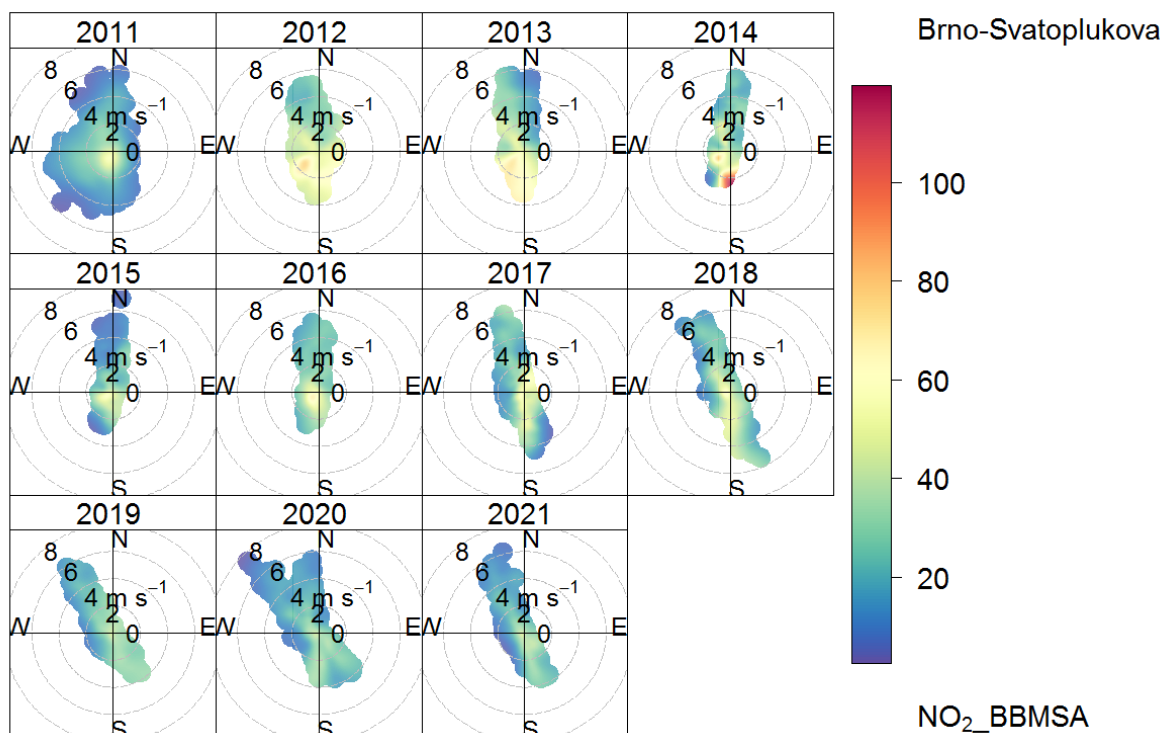
Obrázek 158 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice ze stanice Brno-Svatoplukova pro oxid dusičitý ukazuje, že nejvyšší koncentrace byly v roce 2021 pozorovány při velmi nízké rychlosti proudění, popř. při bezvětří. Velmi výrazně se zde v takovém případě projevuje vliv blízkého okolí (zejména dopravy) a znečištění se zde kumuluje.



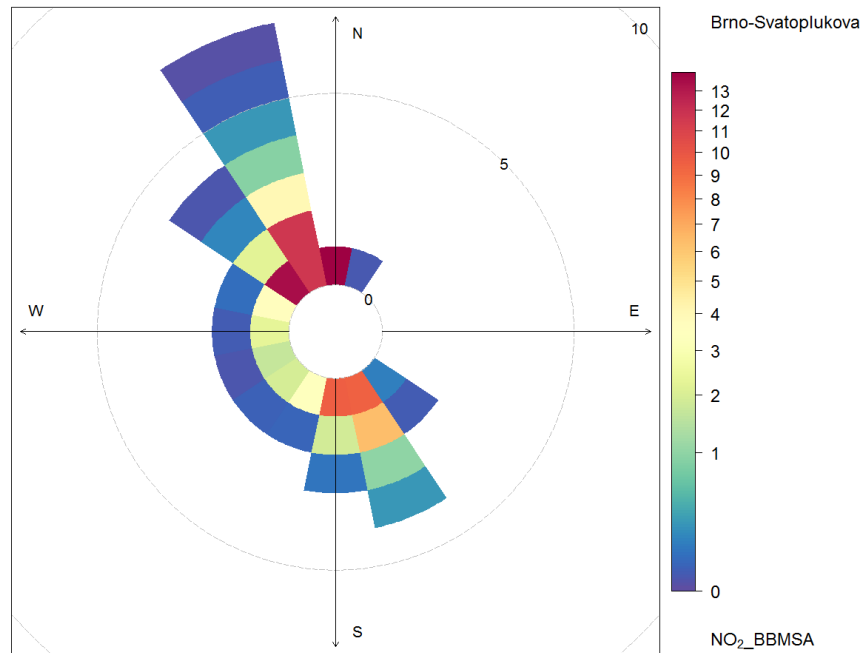
Obrázek 159 - koncentrační růžice NO₂ pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Z dlouhodobějšího pohledu se zde situace příliš nemění. Rok 2021 patří v absolutních hodnotách k roku s nízkými koncentracemi, stejně jako dva roky předchozí.



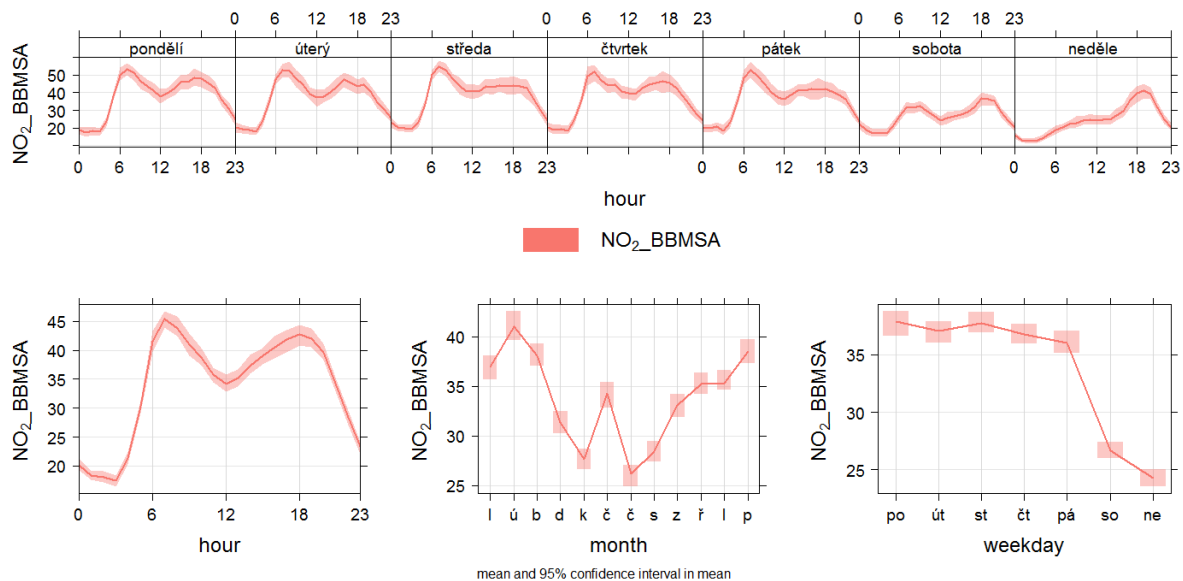
Obrázek 160 - koncentrační růžice NO₂ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Svatoplukova.

Vážená koncentrační růžice ukazuje nejvyšší podíl znečištění při nízkých rychlostech větru a severozápadním či jižním směru proudění. Opět tedy je patrný vliv dopravy v blízkém okolí.



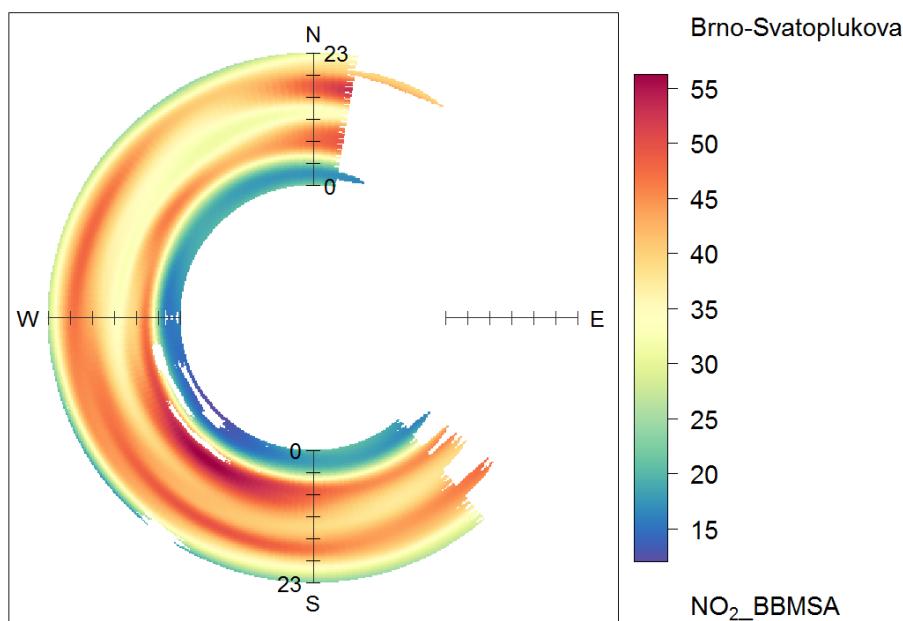
Obrázek 161 – vážená koncentrační růžice NO₂ pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

V grafu týdenního chodu koncentrací NO₂ za rok 2021 je patrný výrazný rozdíl mezi pracovním dnem a sobotou a nedělí. V pracovní dny je patrná velmi výrazná ranní špička a o něco méně výraznější, ale delší, špička odpolední. V sobotu a neděli jsou patrné špičky zejména ve večerních hodinách, obzvláště v neděli, kdy lze očekávat návrat lidí po víkendu.



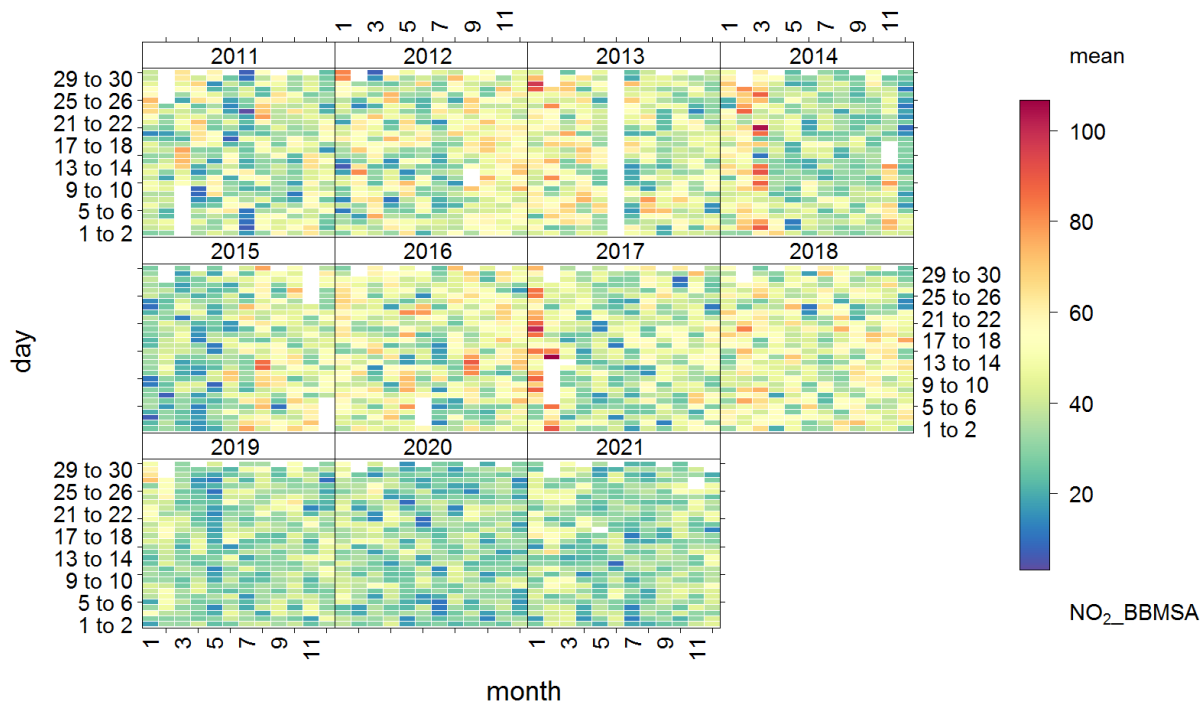
Obrázek 162 - denní, týdenní a roční chod koncentrací NO₂ na stanici Brno-Svatoplukova v roce 2021.

Anulární koncentrační růžice ukazuje nejvyšší koncentrace právě v ranních hodinách při jihozápadním proudění, což ukazuje na nejvyšší hodnoty v ranní špičce při proudění přímo od hlavního dopravního proudu.



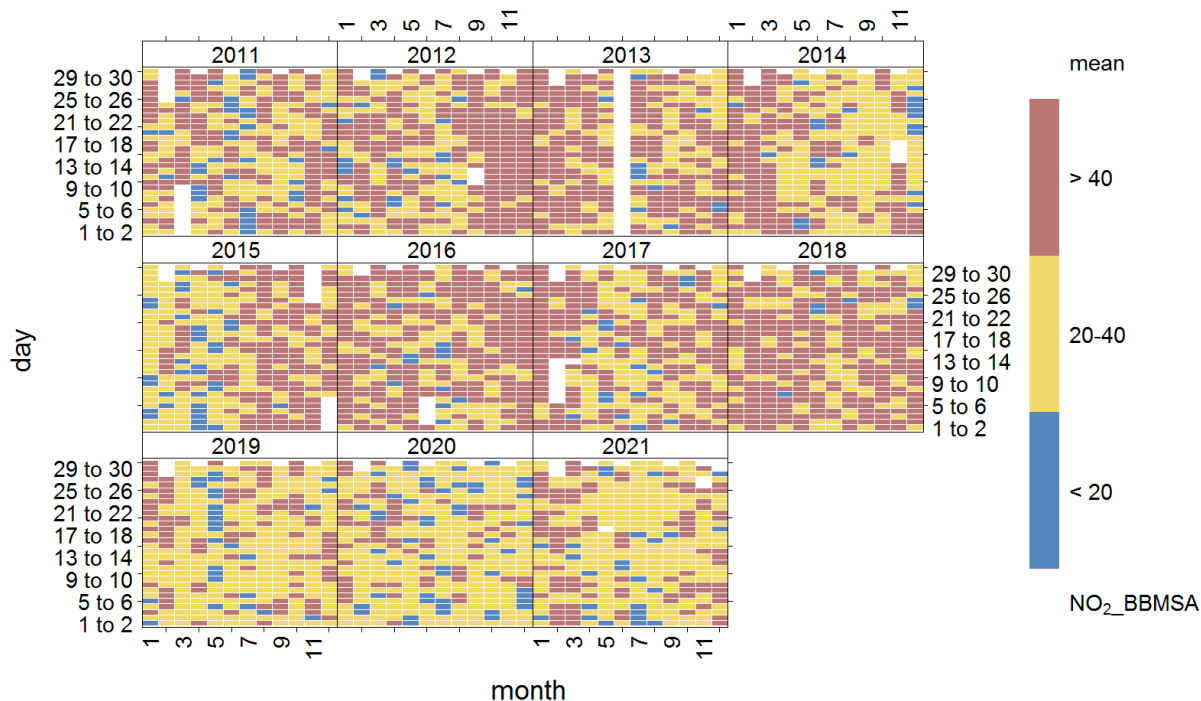
Obrázek 163 - anulární koncentrační růžice pro NO₂ pro stanici Brno-Svatoplukova za rok 2021.

Heatmapa průměrných denních koncentrací NO₂ za období 2011 až 2021 ukazuje výrazněji lepší situaci v letech 2019 až 2021. Naopak nejvyšší průměrné denní hodnoty, kolem 100 µg.m⁻³, byly pozorovány například v lednu 2017 nebo březnu 2014.



Obrázek 164 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

V počátku hodnoceného období převládají dny s průměrnými denními koncentracemi NO₂ nad 40 µg.m⁻³. Naopak v letech 2019 až 2021 je již dominantní interval 20 až 40 µg.m⁻³.

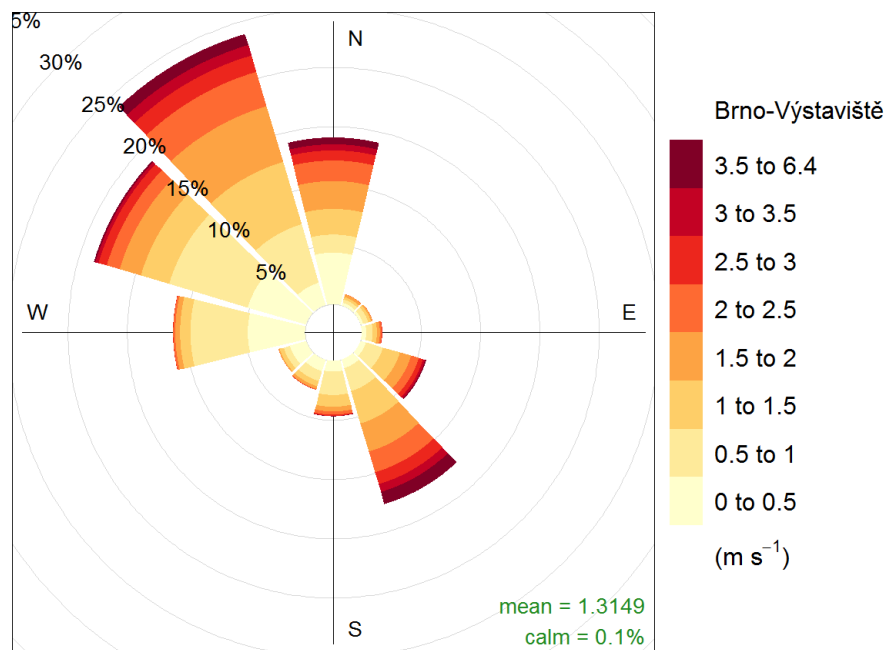


Obrázek 165 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Svatoplukova za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

BRNO-VÝSTAVIŠTĚ

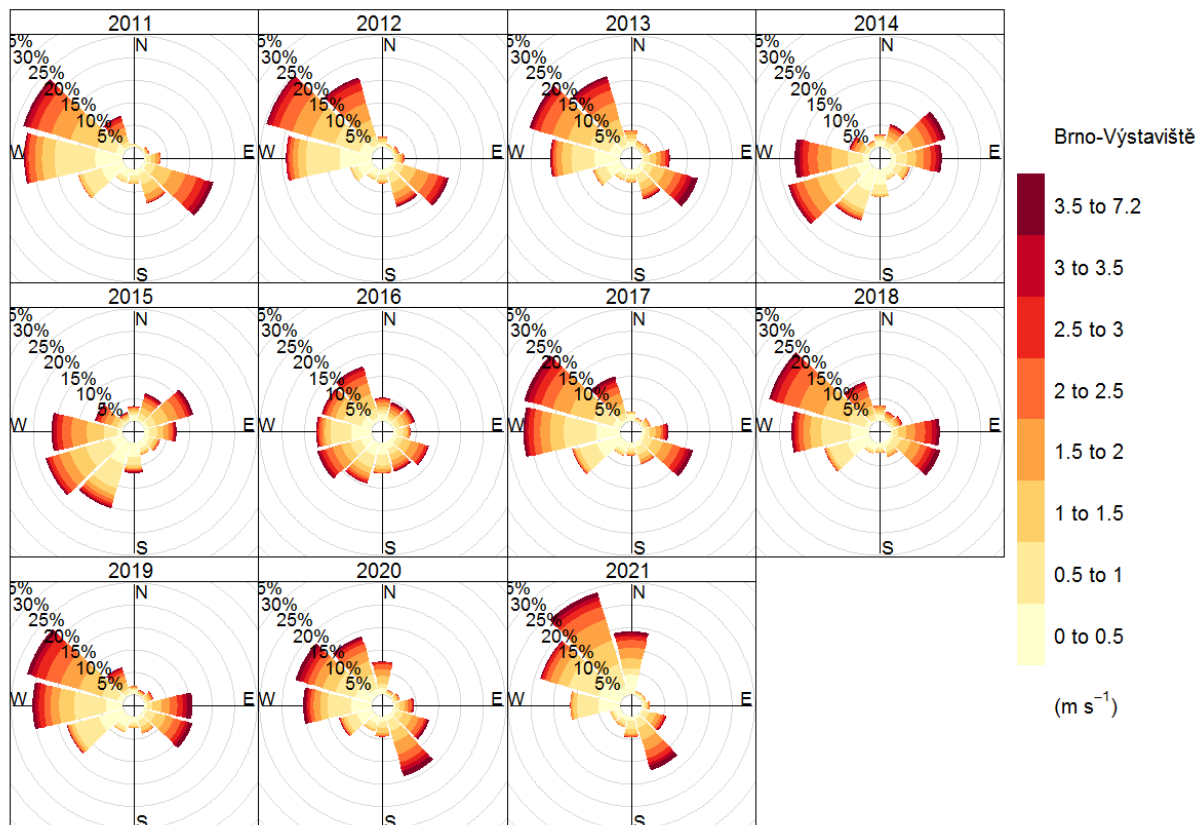
Stanice Brno-Výstaviště je městskou dopravní stanicí situovanou u severozápadního okraje areálu brněnského výstaviště. Stanice se nachází v těsné blízkosti čtyřproudé komunikace a v blízkosti nadúrovňové křižovatky víceproudých silnic. Okolí stanice je relativně otevřené, a tak je stanice dobře provětrávaná.

Jak ukazuje větrná růžice z této stanice, v roce 2021 bylo dominantní severozápadní, a jihovýchodní proudění.



Obrázek 166 - větrná růžice pro stanici Brno-Výstaviště z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.

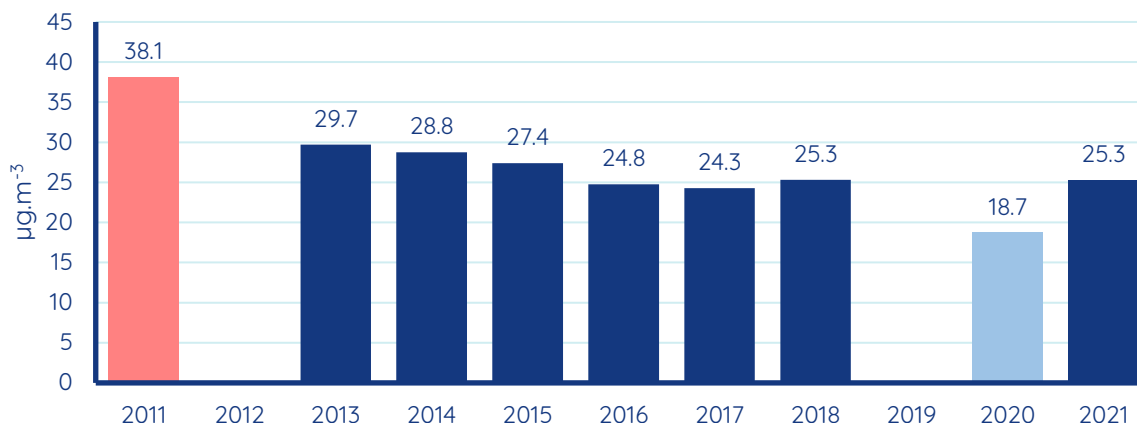
Jak pak ukazují větrné růžice za období 2011 až 2021 pro jednotlivé roky, tento charakter distribuce směru proudění je v této lokalitě relativně konstantní.



Obrázek 167 - větrné růžice pro stanici Brno-Výstaviště v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

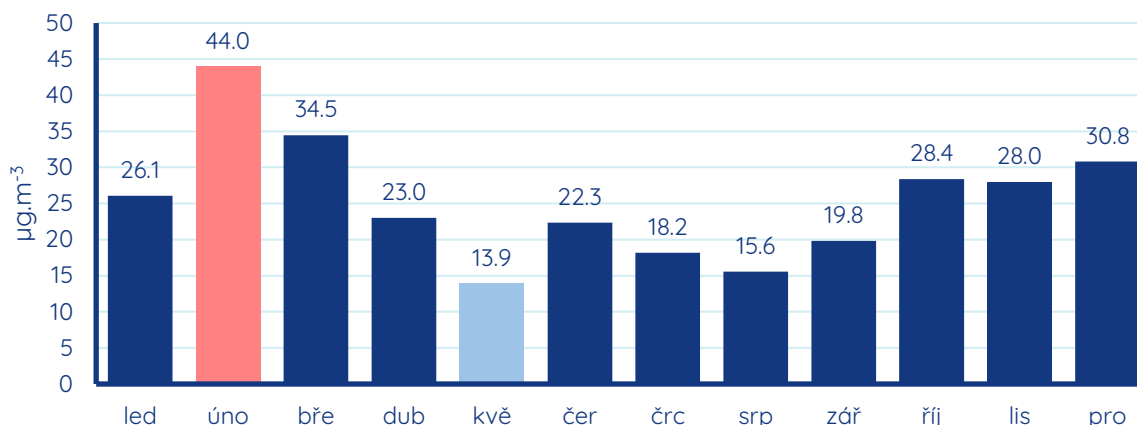
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na stanici Brno-Výstaviště ukazuje následující sloupcový graf. Ten jasně ukazuje dlouhodobý sestupný trend koncentrací. V roce 2020 byly koncentrace vůbec nejnižší. V roce 2021 došlo k výraznějšímu nárůstu, který je ale v tomto konkrétním případě zapříčiněn dvěma faktory. Tím prvním jsou, stejně jako v případě ostatních stanic, nepříznivější rozptylové a zejména meteorologické podmínky v roce 2021 ve srovnání s rokem 2020, tím druhým faktorem je pak skutečnost, že se v blízkosti stanice na výstavišti v roce 2021 začala stavět nová multifunkční hala v areálu výstaviště. Ze zkušenosti například ze stanice Brno-Zvonařka je známo, že stavební práce mohou lokálně velmi významně až dominantně ovlivňovat kvalitu ovzduší, a to právě zejména koncentrace suspendovaných částic frakce PM₁₀.



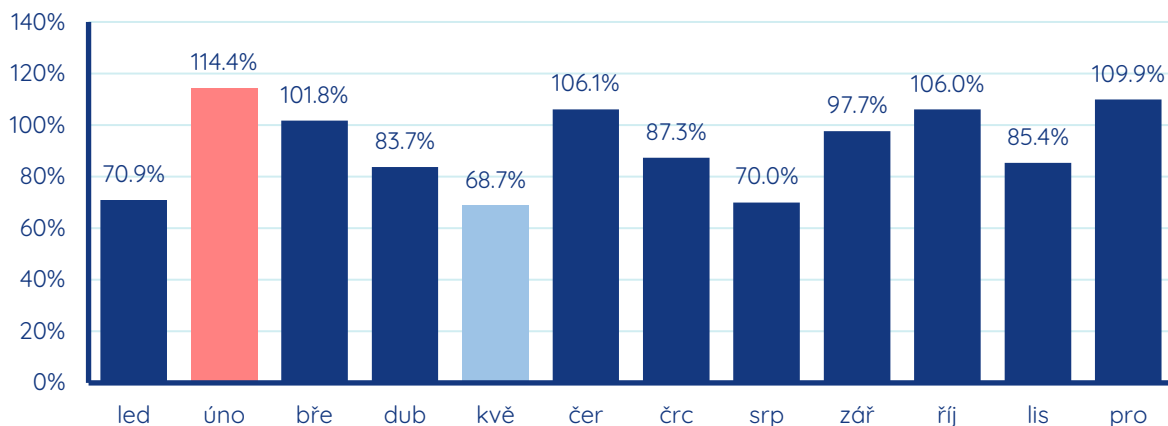
Obrázek 168 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM₁₀ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ pro tuto stanici. Z grafu je patrný typický roční chod koncentrací částic PM₁₀ v České republice, s maximy v nejchladnější části roku a minimy v nejteplejší. Vůbec nejvyšší byla průměrná měsíční koncentrace v únoru, což souvisí s nízkými teplotami a zhoršenými rozptylovými podmínkami. Naopak nejnižší byla v měsíci květnu.



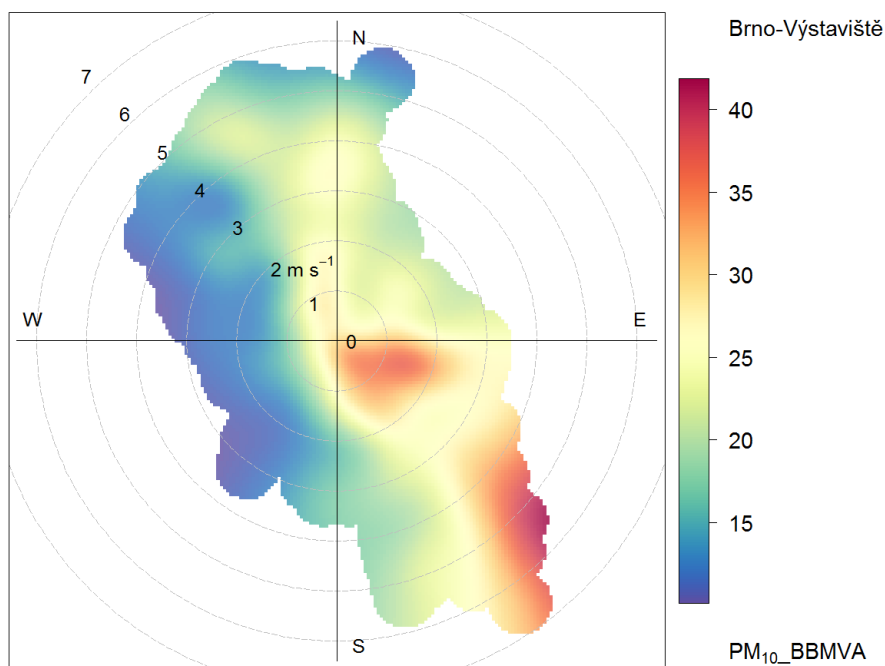
Obrázek 169 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ v roce 2021 na stanici Brno-Výstaviště vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Nadprůměrné byly měsíční koncentrace částic PM₁₀ v únoru, březnu, červnu, říjnu a prosinci. Jak již bylo popsáno výše, toto může být dáno také stavebními pracemi v okolí. Přesto lze říci, že v případě, že byla koncentrace oproti dlouhodobému průměru v daný měsíc nadprůměrná, rozdíl byl vždy do 15 %, nejvíce v únoru. Naopak například v květnu, srpnu a lednu byla průměrná měsíční koncentrace o 30 % nižší, než byl průměr pro příslušný měsíc v předchozích desíti letech.



Obrázek 170 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na stanici Brno-Výstaviště v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

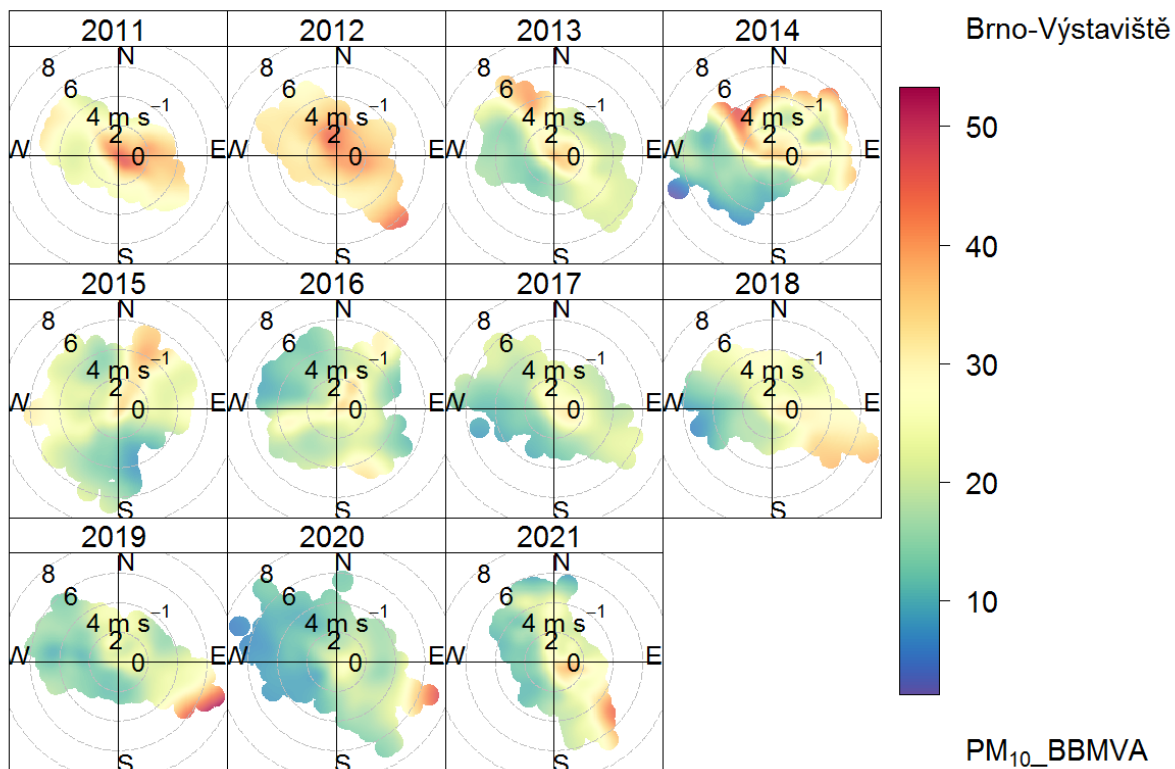
Za jakých parametrů větru byly koncentrace na stanici Brno-Výstaviště nejvyšší, ukazuje následující koncentrační růžice. Z růžice je patrné, že vyšší koncentrace byly pozorovány při vyšších rychlostech větru a jihovýchodním proudění a při velmi nízkých rychlostech větru. Jihovýchodní směr odpovídá směru směrem na výstaviště a za ním ulici Bauerovu.



Obrázek 171 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

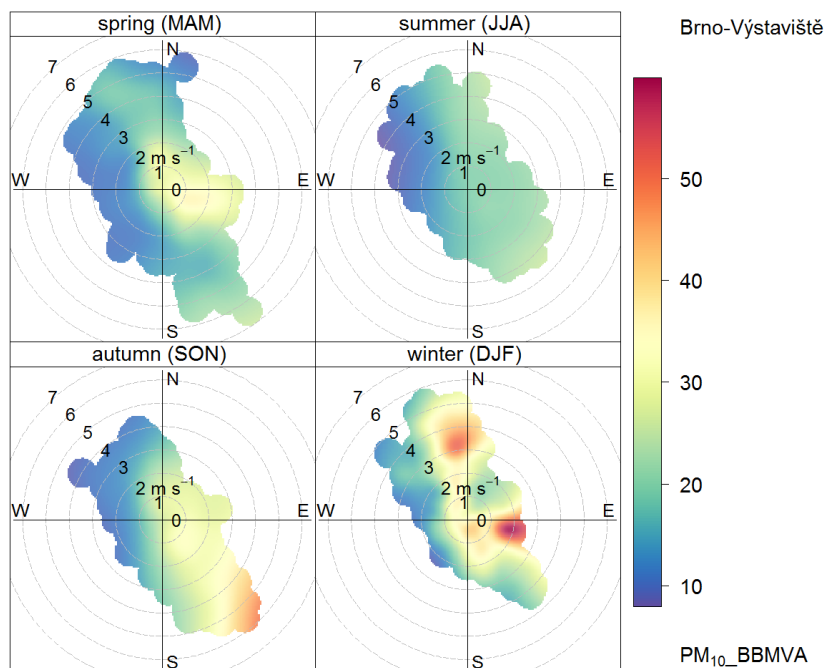
Dlouhodobý vývoj na této stanici ukazují následující koncentrační růžice pro částice PM_{10} pro dílčí roky období 2011 až 2021. Z tohoto srovnání je patrné, že v posledních letech nedochází k výraznějším změnám charakteru koncentrací ve vztahu ke směru a rychlosti

proudění. Zároveň zde je patrné, že v první dva roky hodnoceného období (2011 a 2012) byly celkově koncentrace výrazně vyšší.



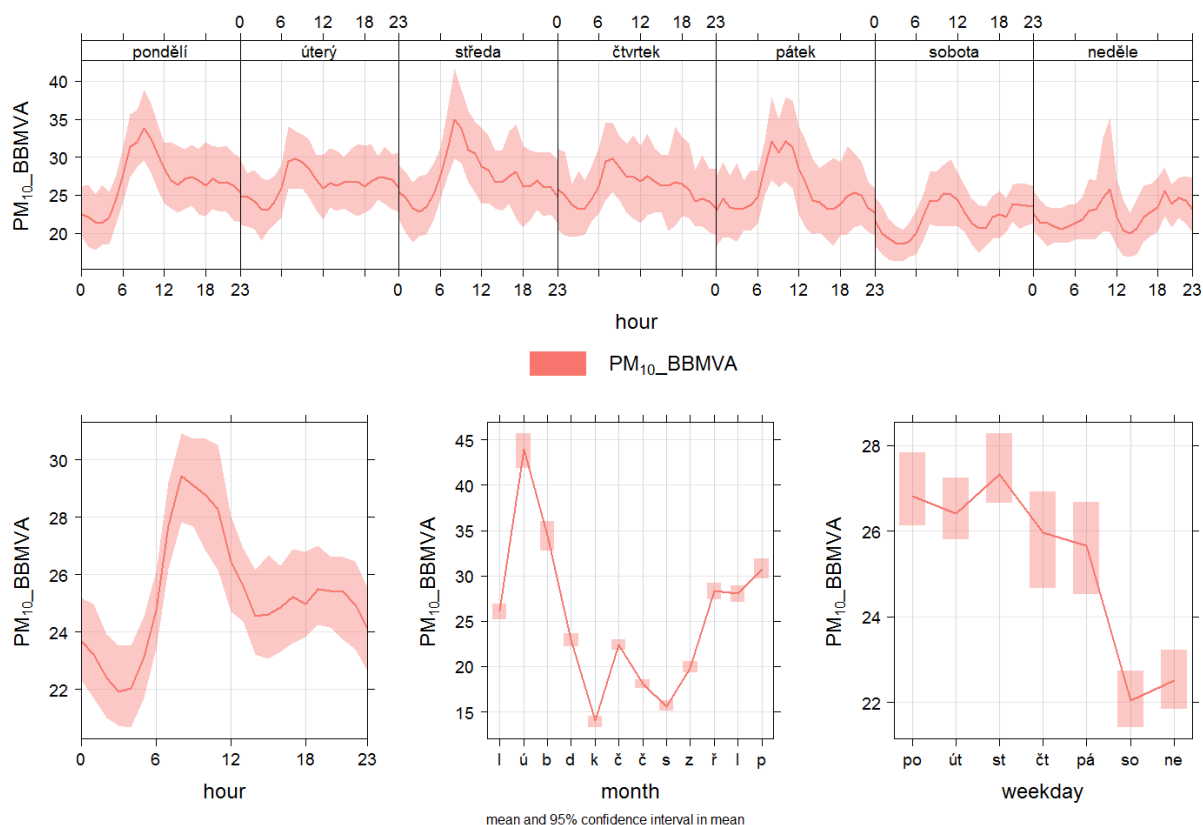
Obrázek 172 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Výstaviště.

Koncentrační růžice byly zkonstruovány také pro měsíce jednotlivých ročních období za rok 2021. Růžice dobře ilustruje fakt, že nejvyšší koncentrace byly pozorovány v nejchladnější část roku, což odpovídá vlivu zdrojů a také zhoršeným rozptylovým podmínkám zejména v únoru roku 2021.



Obrázek 173 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Brno-Výstaviště. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

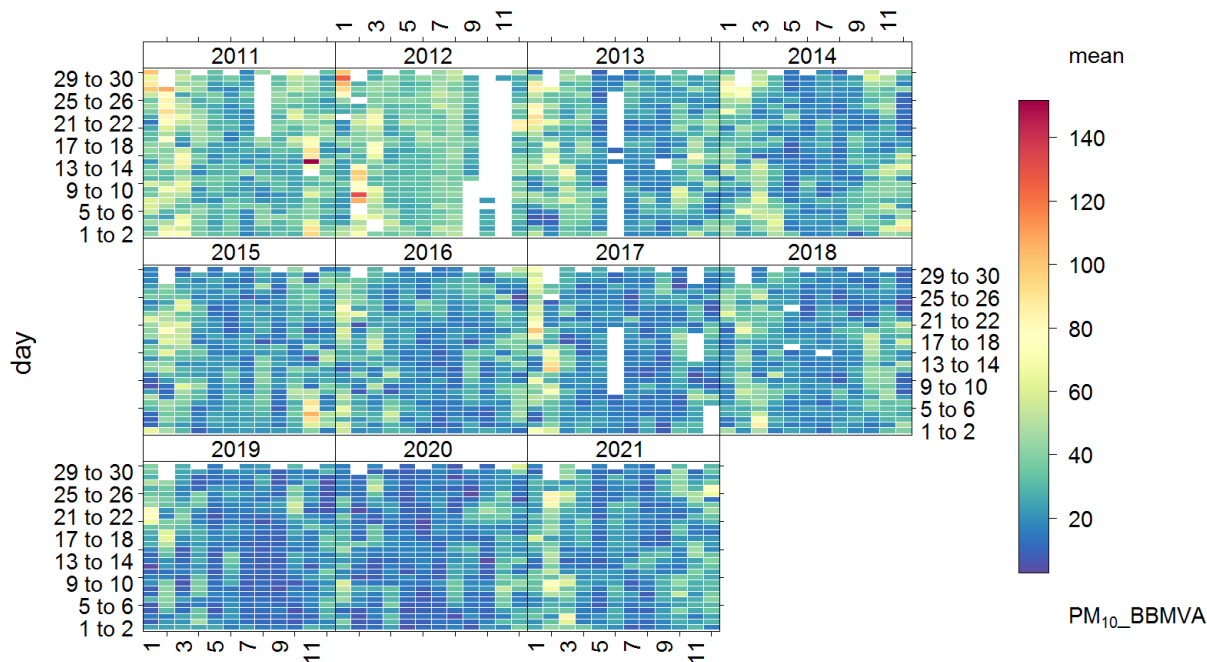
Následující graf ukazuje průměrný denní, týdenní a roční průběh koncentrací PM₁₀ na stanici Brno-Výstaviště v roce 2021. Denní chod ukazuje typický chod na dopravních stanicích, se špičkou v ranních a odpoledních hodinách. V případě stanice Brno-Výstaviště je ranní špička výrazně významnější než špička odpolední, která ale trvá déle (tento trend je na této stanici dlouhodobý). Zatímco v ranních hodinách začínají lidé pracovní dobu přibližně mezi 7 a 9 hodinou, v odpoledních hodinách je konec pracovní doby výrazně variabilnější. Výrazný je rozdíl mezi pracovními a nepracovními dny a také mezi zimním a letním obdobím.



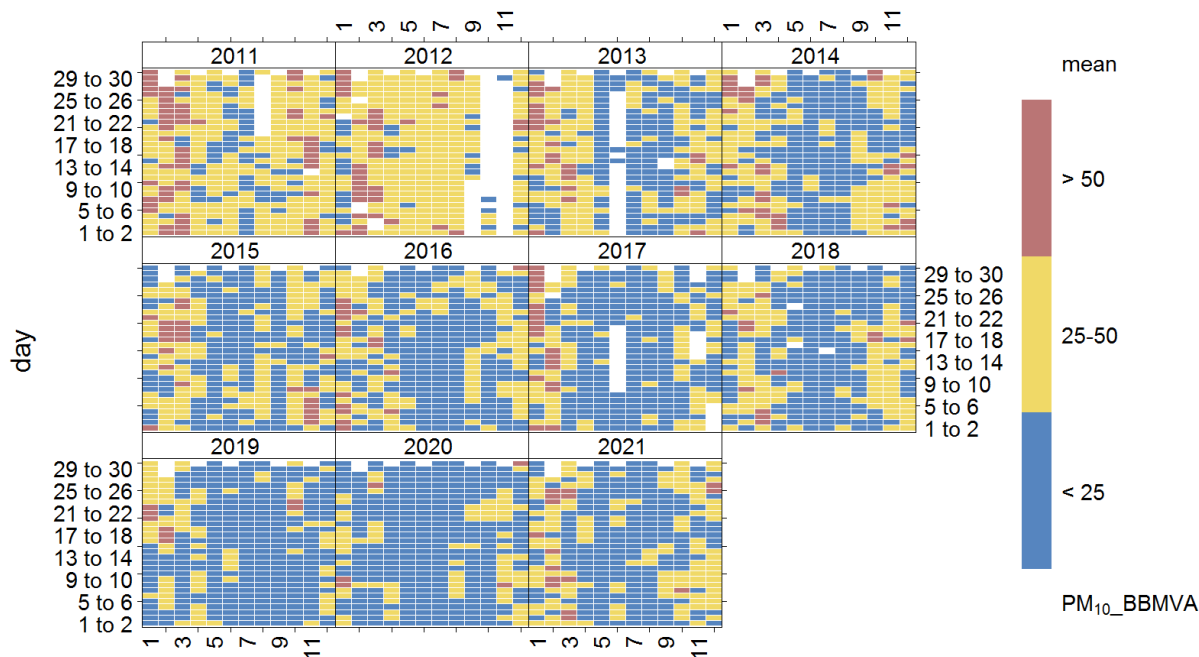
Obrázek 174 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

Tzv. heatmapy jsou speciálním typem vizualizace, který umožňuje přehledně zobrazit velké množství dat – v tomto případě 10letý průběh denních koncentrací částic PM₁₀ v lokalitě Brno-Výstaviště. V prvním případě byla použita gradientní škála, v druhém případě byly denní koncentrace kategorizovány podle hodnoty. Červená barva značí hodnotu vyšší než 50 µg.m⁻³, což je 24h imisní limit pro tuto látku.

Na obou heatmapách jsou patrné velmi nízké koncentrace částic PM₁₀, a to zejména v roce 2019 a 2020. Výrazněji vyšší byly hodnoty denních koncentrací částic PM₁₀ v letech 2011 a 2012.



Obrázek 175 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

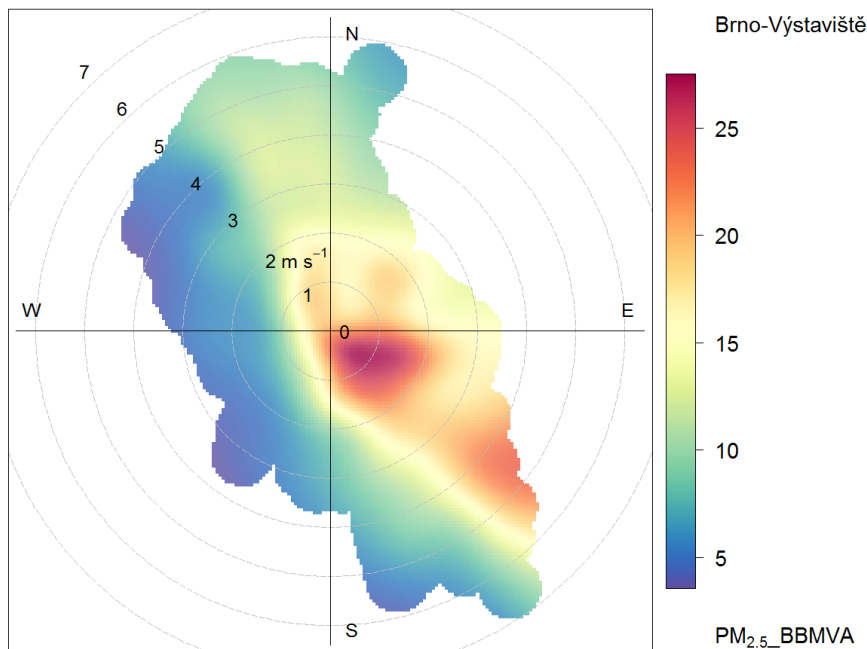


Obrázek 176 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

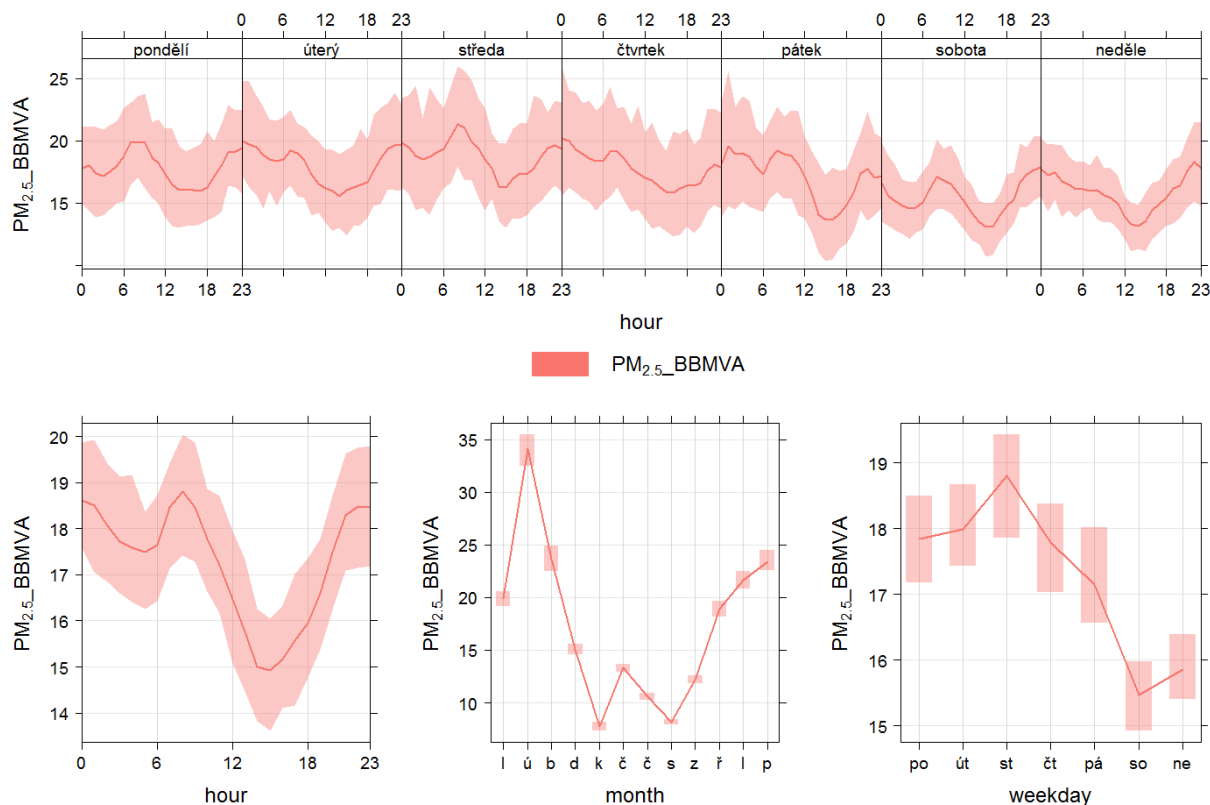
Koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} se na stanici Brno-Výstaviště monitorují až od dubna 2019. K dispozici tedy není dlouhodobé srovnání hodnot.

Na koncentrační růžici částic $PM_{2,5}$ je ve srovnání s růžicí pro PM_{10} z této stanice výraznější vyšší míra znečištění při nízkých rychlostech větru. Tento fakt souvisí s bližším zdrojem, který v tomto případě je pravděpodobně blízká dopravní komunikace.



Obrázek 177 - koncentrační růžice suspendovaných částic $PM_{2,5}$ pro stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

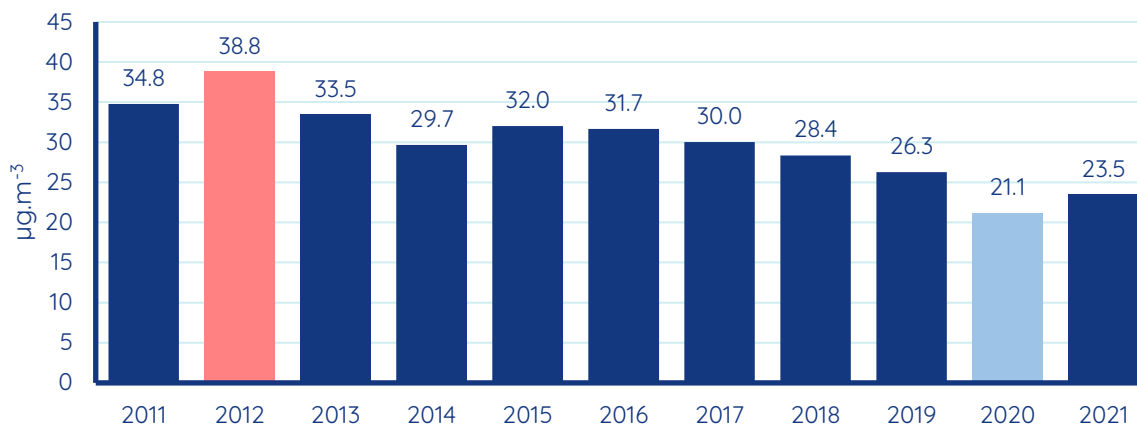
Následující graf ukazuje roční, týdenní a denní chod koncentrací částic $PM_{2,5}$ za rok 2021. Chod denních koncentrací ukazuje na výraznější ranní špičku, následný pokles daný jak poklesem dopravy, tak v průměru vyššími rychlostmi větru a následně opětovný postupný nárůst koncentrací. V ročním chodu je vidět vyšší hodnoty v chladné měsíce, naopak nižší v měsíce teplejší.



Obrázek 178 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

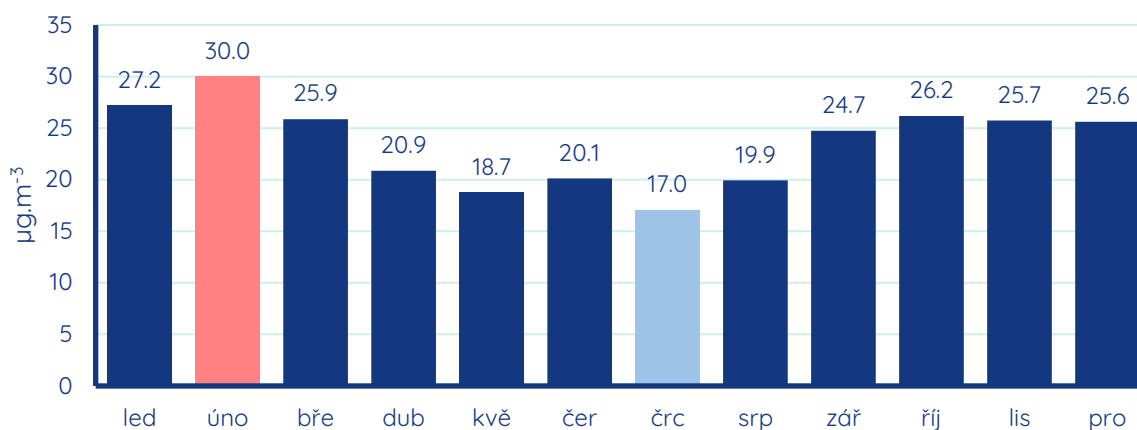
OXID DUSIČITÝ

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO₂ na stanici Brno-Výstaviště ukazuje následující sloupcový graf. Z dat ročních průměrů je jasně zřetelný dlouhodobý pokles průměrných ročních koncentrací NO₂ na této stanici. Roční průměrná koncentrace z roku 2020 je nejnižší naměřenou průměrnou koncentrací NO₂ na této stanici. Naopak nejvyšší byla hodnota ročního průměru z hodnocených let v roce 2012. Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci NO₂ (40 µg·m⁻³) nebyl překročen v žádný z roků srovnávaného období. Koncentrace v roce 2021 byly mírně vyšší než v roce 2020, což je dáno jak méně příznivými rozptylovými a meteorologickými podmínkami v tomto roce, tak možným pozitivním vlivem restrikcí v rámci pandemických opatření v roce 2020, které se v roce 2021 projevovaly ve nižší míře pouze na začátku roku.



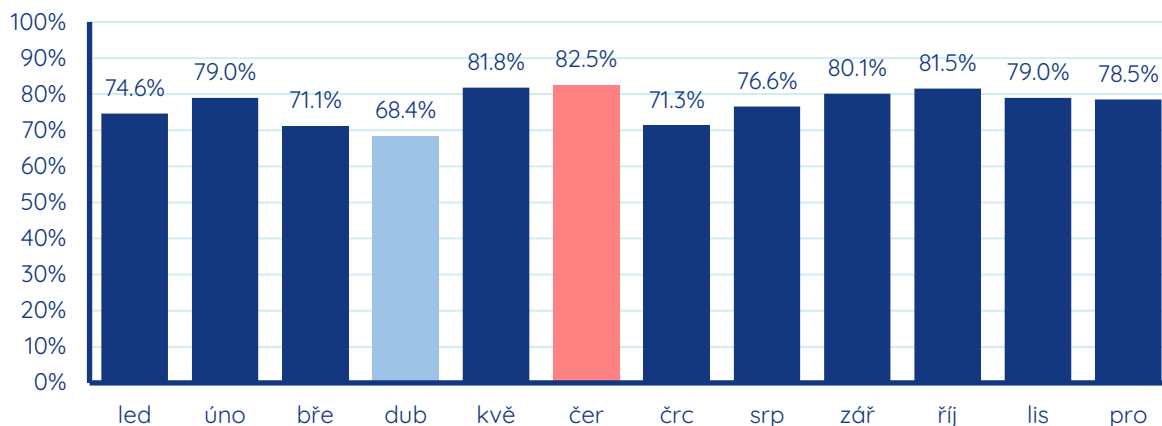
Obrázek 179 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací NO₂ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO₂ pro tuto stanici. Nejvyšší měsíční průměrná koncentrace byla naměřena v únoru (30,0 µg.m⁻³), nejnižší v červenci (17,0 µg.m⁻³).



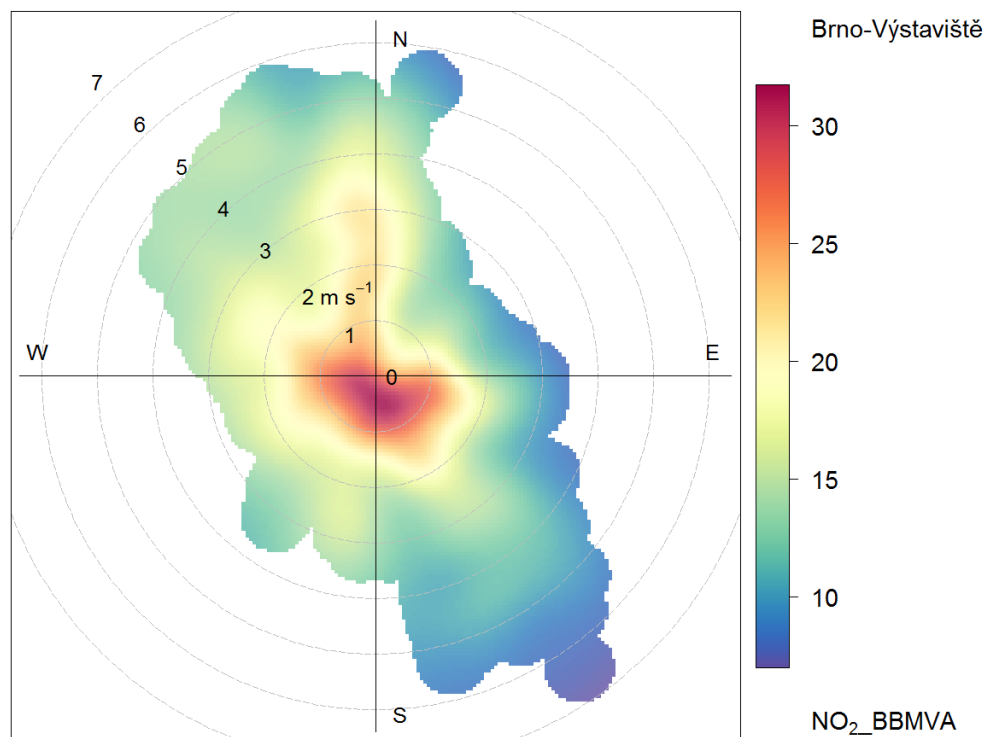
Obrázek 180 - průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO₂ v roce 2021 na stanici Brno-Výstaviště vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Všechny měsíce roku 2021 lze z pohledu průměrných koncentrací NO₂ hodnotit jako podprůměrné. Nejvíce to bylo patrné v dubnu, kdy průměrná měsíční koncentrace NO₂ dosáhla pouze 68 % desetiletého průměru pro daný měsíc. Naopak nejvyšší poměr, avšak stále výrazně pod 100 %, byl pozorován v červnu (83 %).



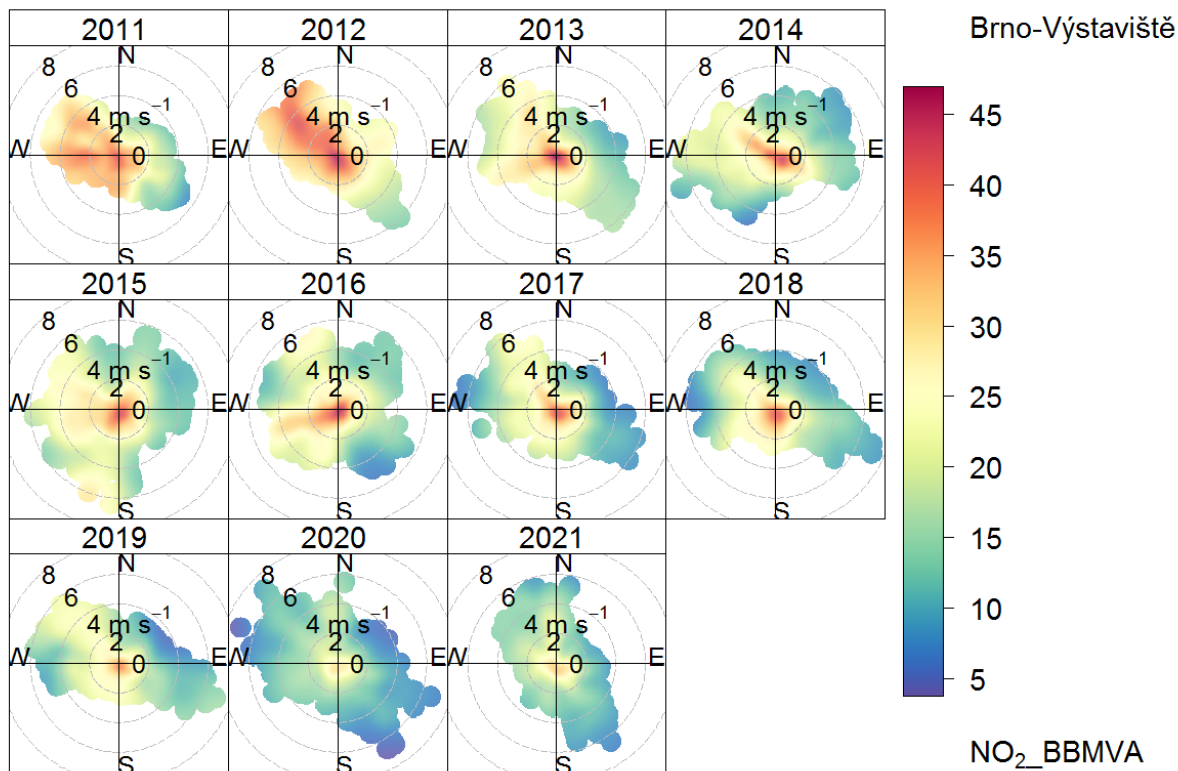
Obrázek 181 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Výstaviště v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice ze stanice Brno-Výstaviště pro oxid dusičitý ukazuje, že nejvyšší koncentrace byly v roce 2021 pozorovány výhradně při velmi nízkých rychlostech větru. To odpovídá předpokladu, že NO₂ zde pochází zejména z přiléhající komunikace a během nízkých rychlostí větru se pomaleji rozptyluje do širšího okolí.



Obrázek 182 - koncentrační růžice NO₂ pro stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

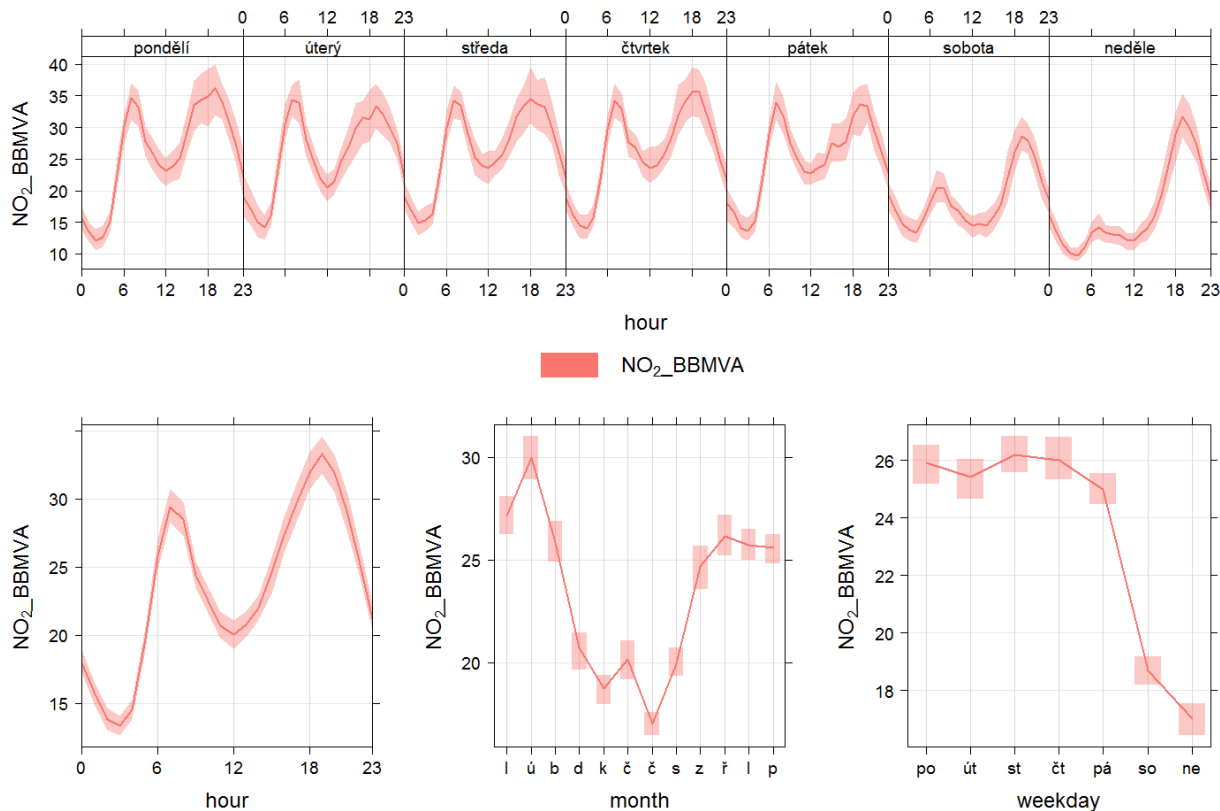
Z dlouhodobého vývoje koncentračních růžic je vidět dlouhodobé snižování koncentrací NO₂ na této stanici. Nejhorší byla situace v letech 2011 a 2012, naopak v letech 2020 a 2021 jsou koncentrace nižší.



Obrázek 183 - koncentrační růžice NO₂ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Výstaviště.

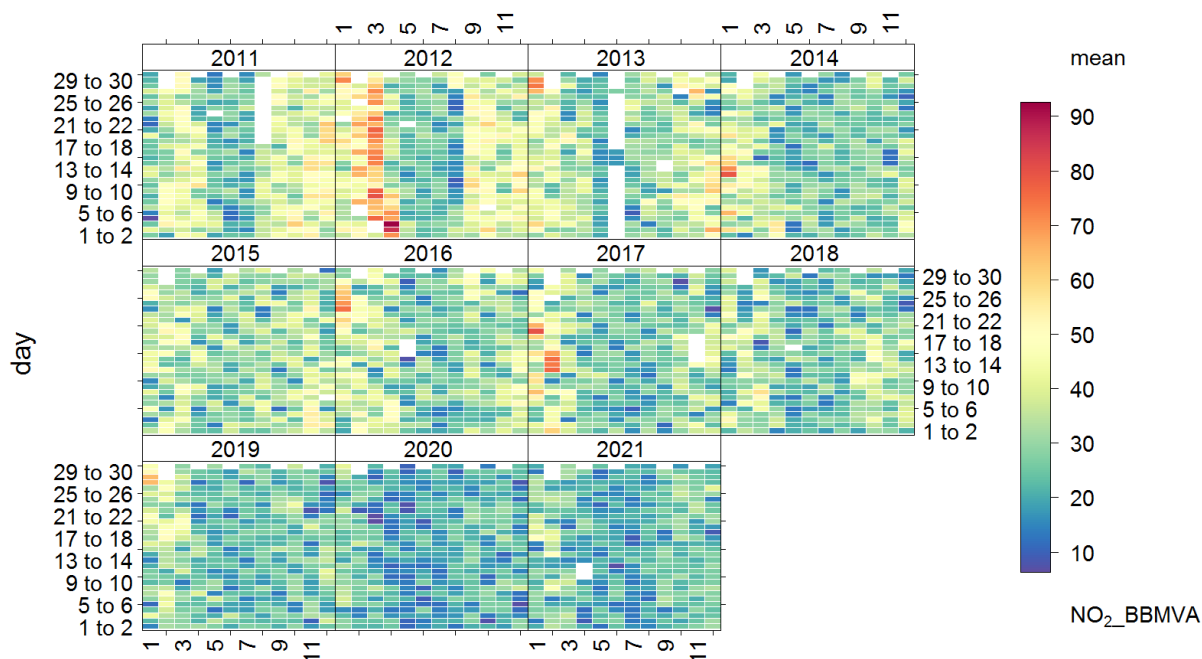
Tak jak je pro dopravní stanici typické, v případě oxidu dusičitého pozorujeme velmi výrazný rozdíl mezi koncentracemi v pracovní dny a ve dny víkendu. Na stanici Brno-Výstaviště byly v roce 2021 víkendové koncentrace NO₂ přibližně o 25 % nižší.

Na rozdíl například od stanice Brno-Svatoplukova, je zde v průměrném denním chodu ranní špička o něco málo méně výrazná než špička odpolední. Rozdíly a poměry mezi ranní a odpolední špičkou na dopravních stanicích většinou korespondují s tím, do jaké míry je daná trasa vhodná a využívaná pro cesty do a ze zaměstnání.



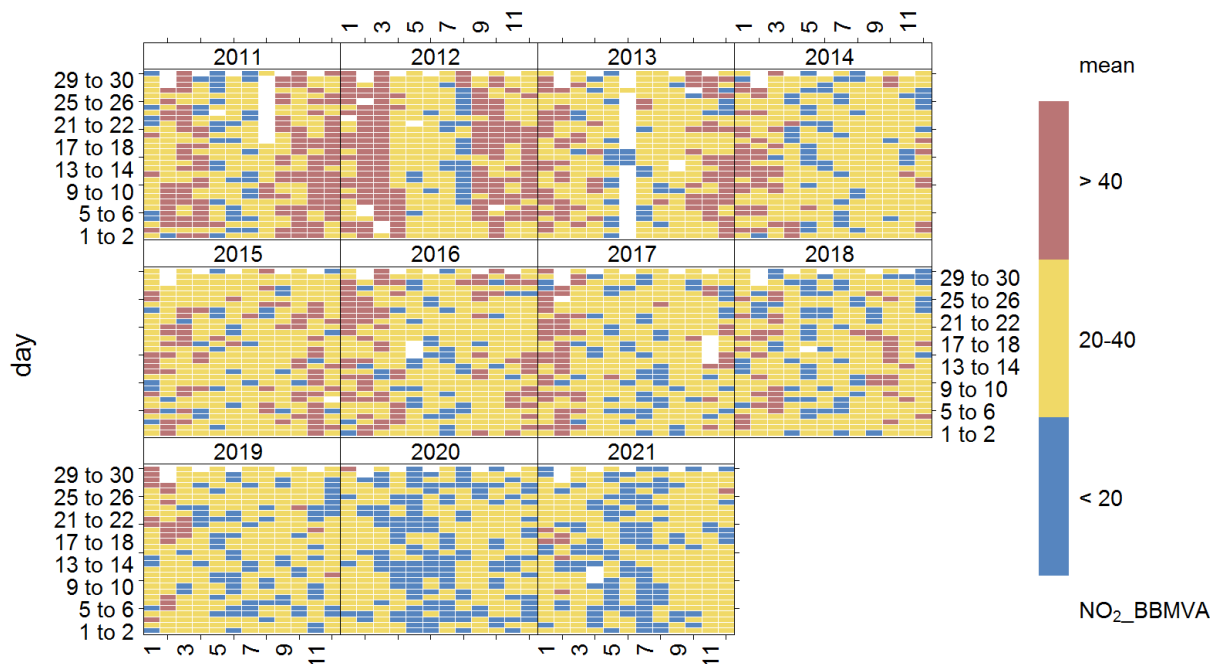
Obrázek 184 - denní, týdenní a roční chod koncentrací NO₂ na stanici Brno-Výstaviště za rok 2021.

Heatmapa ukazuje průměrné denní koncentrace NO₂ za období od roku 2011 do 2021. Nejvyšší koncentrace, charakterizované v tomto případě odstíny oranžové až tmavě červené, se v posledních 4 letech téměř nevyskytují, v roce 2020 a 2021 vůbec. Naopak nejvyšší zastoupení mají tyto dny s průměrnou denní koncentrací NO₂ kolem 70 a více µg.m⁻³ na začátku roku 2012.



Obrázek 185 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

Také na heatmapě používající kategoričnou škálu je jasný nejvyšší počet dní s průměrnou koncentrací NO₂ do 20 µg.m⁻³ v roce 2020 a 2021. Dny s koncentracemi nad 40 µg.m⁻³ (červený odstín) se v roce 2020 nevyskytly téměř vůbec, v roce 2021 v řádu jednotek dní. Naopak například v roce 2012 byly v únoru a březnu dny s koncentracemi vyššími než 40 µg.m⁻³ téměř všechny.



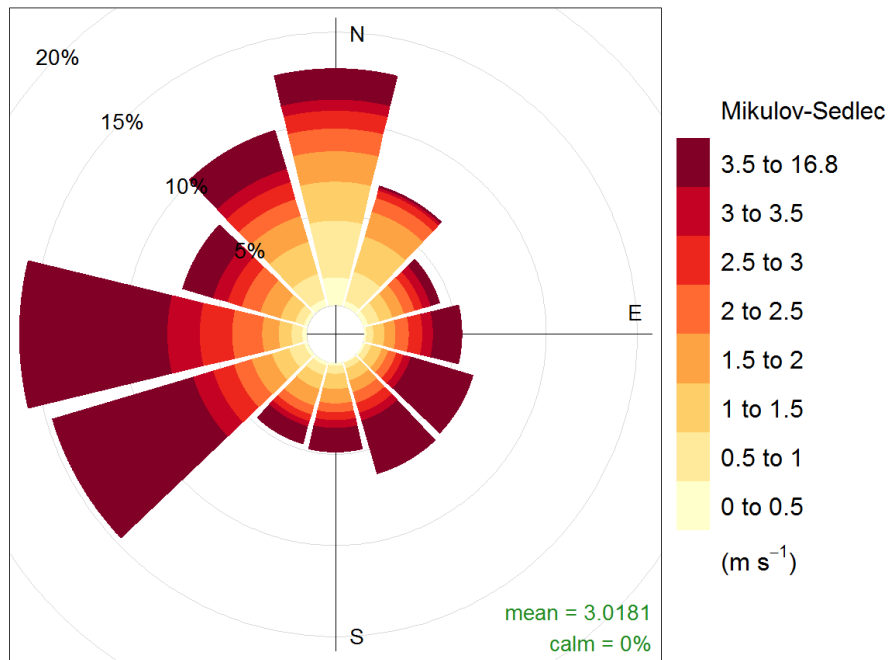
Obrázek 186 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Výstaviště za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

MIKULOV-SEDEC

Stanice Mikulov-Sedlec představuje venkovskou pozadovou stanici umístěnou v zemědělské oblasti přímo na poli. Jedná se zároveň o tzv. regionální pozadovou stanici, což jsou stanice reprezentující pozadové koncentrace znečišťujících látek pro celý region a mají nejvyšší reprezentativnost.

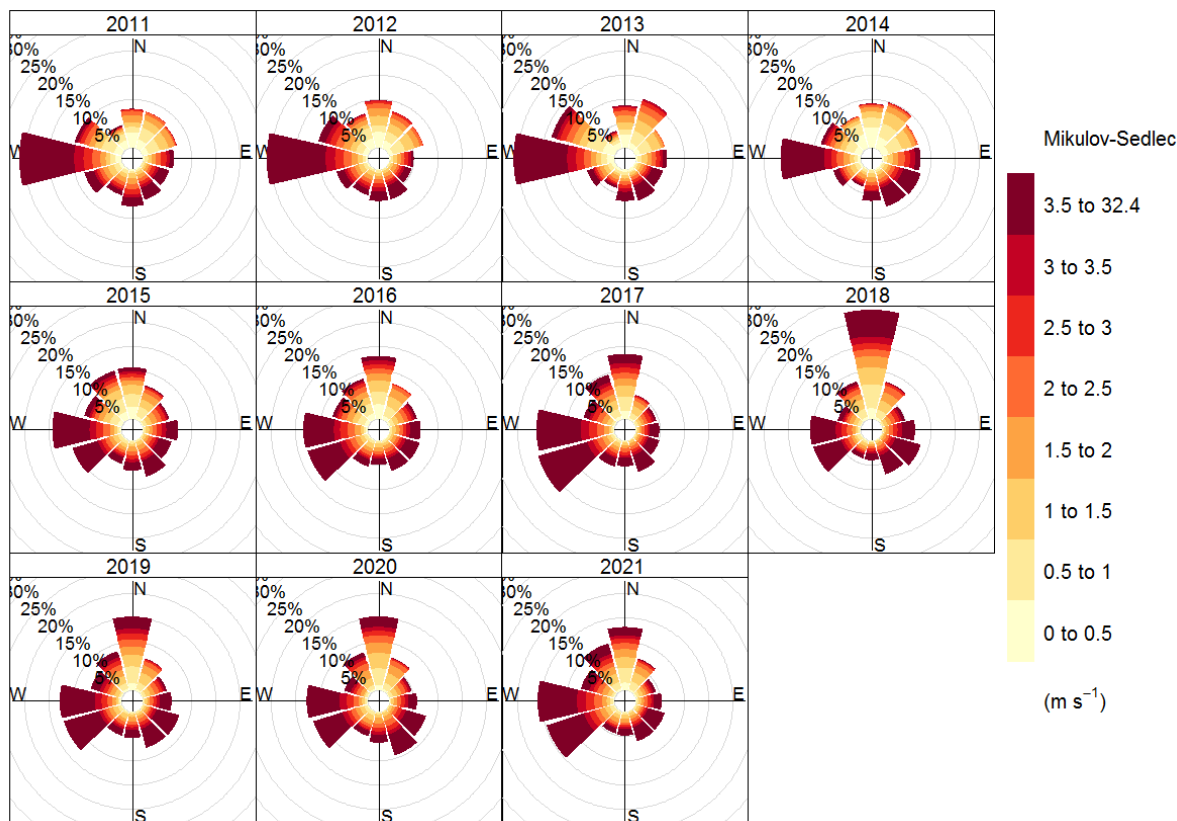
Vliv dopravy i vytápění domácností je zde relativně malý, naopak výrazněji se zde projevují např. polní práce a další zemědělská činnost.

Absenci zástavby a relativní otevřenost terénu ilustruje dobře níže uvedená větrná růžice z dat z roku 2021. Ta ukazuje na dominantní severní proudění, ale výrazněji jsou zde zastoupeny také směry západní, jihozápadní a jihovýchodní.



Obrázek 187 - větrná růžice pro stanici Mikulov-Sedlec z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.

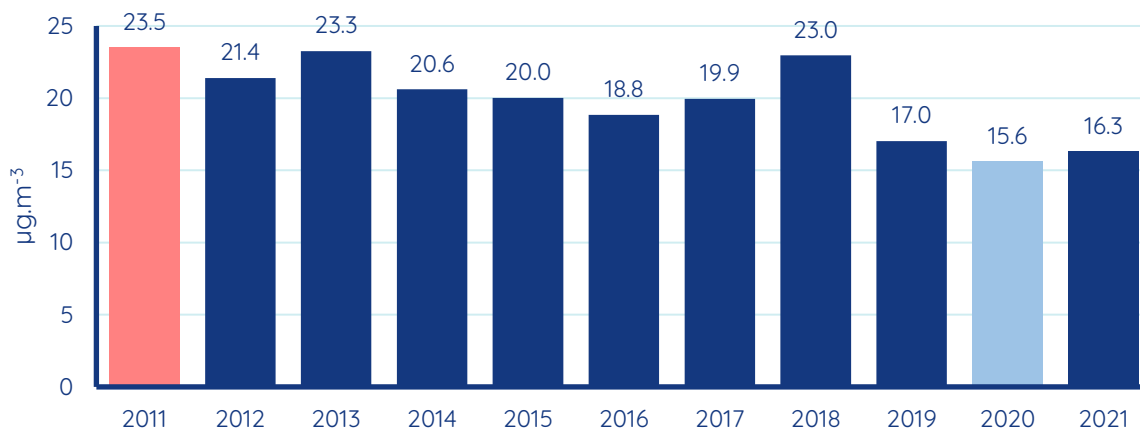
Distribuci směru a rychlosti větru v dílčích letech 2011 až 2021 ukazují následující větrné růžice. Větrná růžice za rok 2021 je velmi podobná růžicím z posledních let, výraznější je zde západní a jihozápadní proudění a mírně méně častěji bylo zastoupeno proudění severní.



Obrázek 188 - větrné růžice pro stanici Mikulov-Sedlec v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

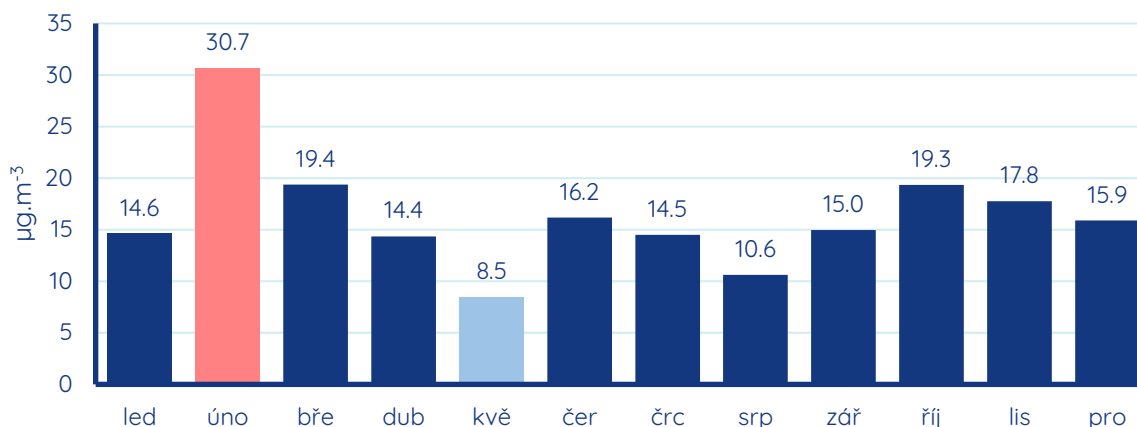
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na stanici Mikulov-Sedlec ukazuje následující sloupcový graf. Obecně je patrné, že koncentrace částic PM₁₀ jsou v ročním průměru na této regionální pozadové stanici relativně nízké. Zároveň je patrné postupné snižování průměrných ročních koncentrací. Poslední dva roky hodnoceného období jsou roky s nejnižšími koncentracemi částic PM₁₀ za celé hodnocené období.



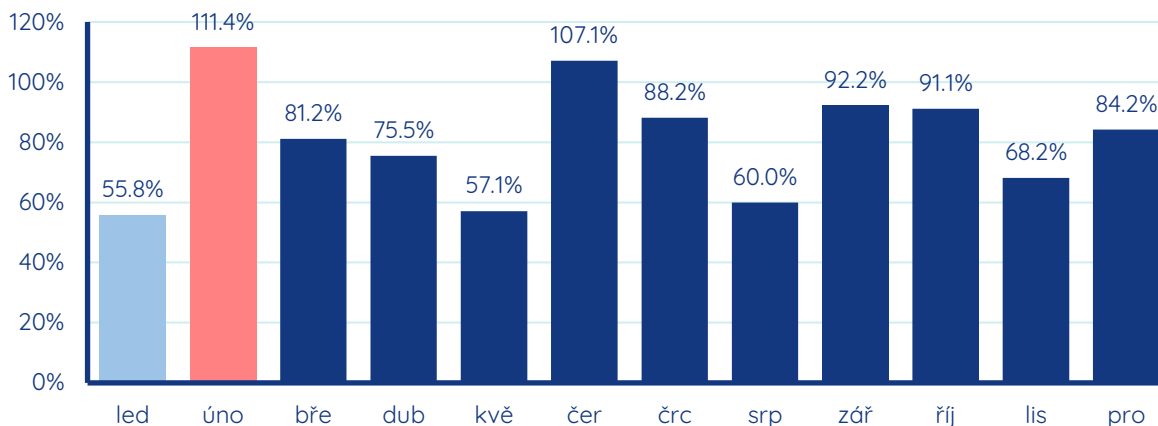
Obrázek 189 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM_{10} v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM_{10} pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace byla v roce 2021 pozorována v únoru. Rovněž se zde projevily zhoršené meteorologické a rozptylové podmínky a také nízké teploty a s nimi související vyšší emise z vytápění, které se do oblasti této stanice mohou dostávat dálkovým transportem jak z přilehlých obcí, tak z větších vzdáleností. Nejnižší byla průměrná měsíční koncentrace v květnu, kdy byl měsíční průměr nižší než $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



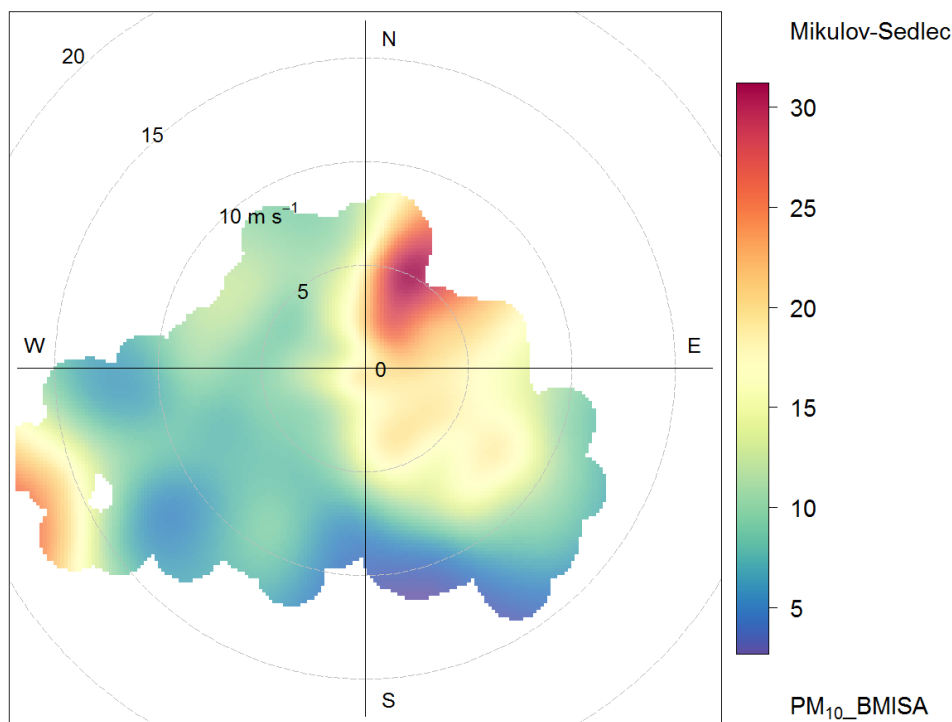
Obrázek 190 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM_{10} v roce 2021 na stanici Mikulov-Sedlec vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Pouze v únoru a červnu byly průměrné měsíční koncentrace vyšší, než je hodnota průměrné koncentrace pro příslušný měsíc vypočítaná jako průměr předchozích deseti let. Rozdíl je navíc maximálně kolem 10 %. Naopak v lednu, květnu a srpnu byly měsíční průměrné koncentrace o 40 a více % nižší než je dlouhodobý průměr.



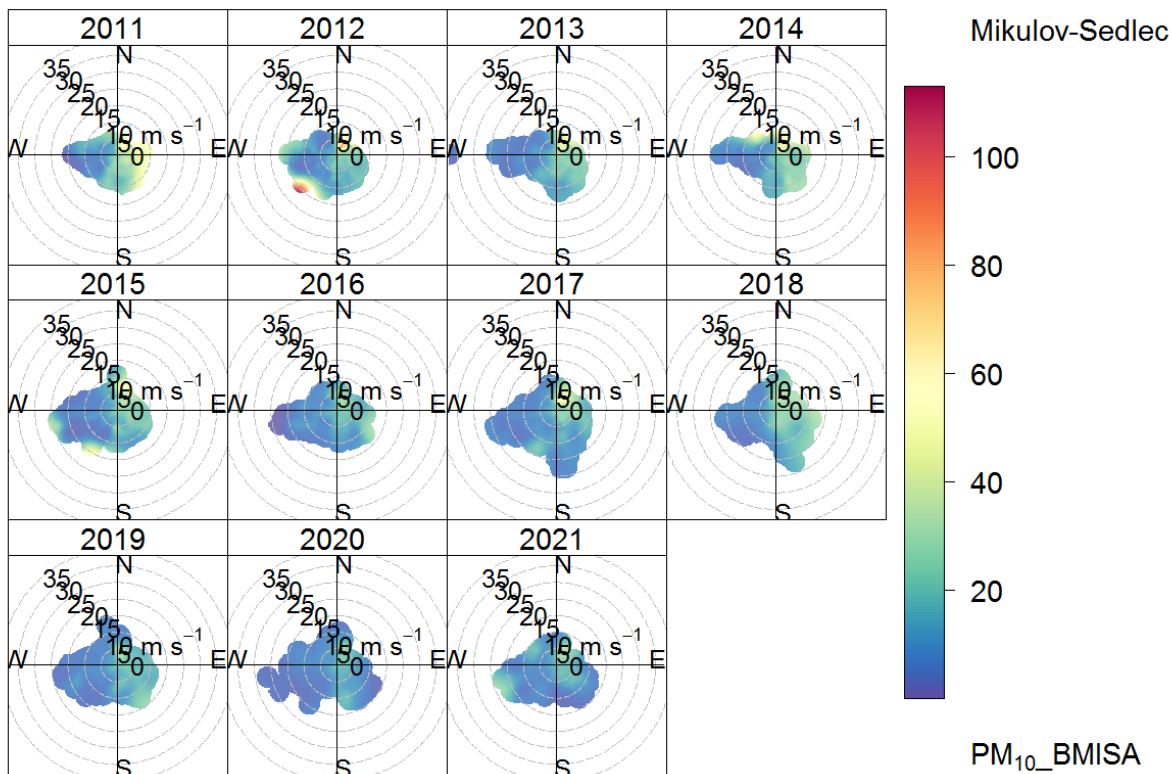
Obrázek 191 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na stanici Mikulov-Sedlec v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Za jakých parametrů větru byly koncentrace na stanici Mikulov-Sedlec nejvyšší, ukazuje následující koncentrační růžice. Tato růžice ukazuje, že nejvyšší hodnoty koncentrací částic PM_{10} byly v průměru pozorovny při severovýchodním proudění. Ve výjimečných případech při severovýchodním proudění, zejména v období velmi chladném, kdy je intenzivní vytápění, bývá výrazněji ovlivněna dálkovým transportem i stanice Mikulov-Sedlec. Právě v těchto situacích tedy bývají koncentrace částic PM_{10} na této stanici nejvyšší. Do jisté míry se však v tomto směru může projevovat také eroze půdy z pole, které se v tomto směru nachází.



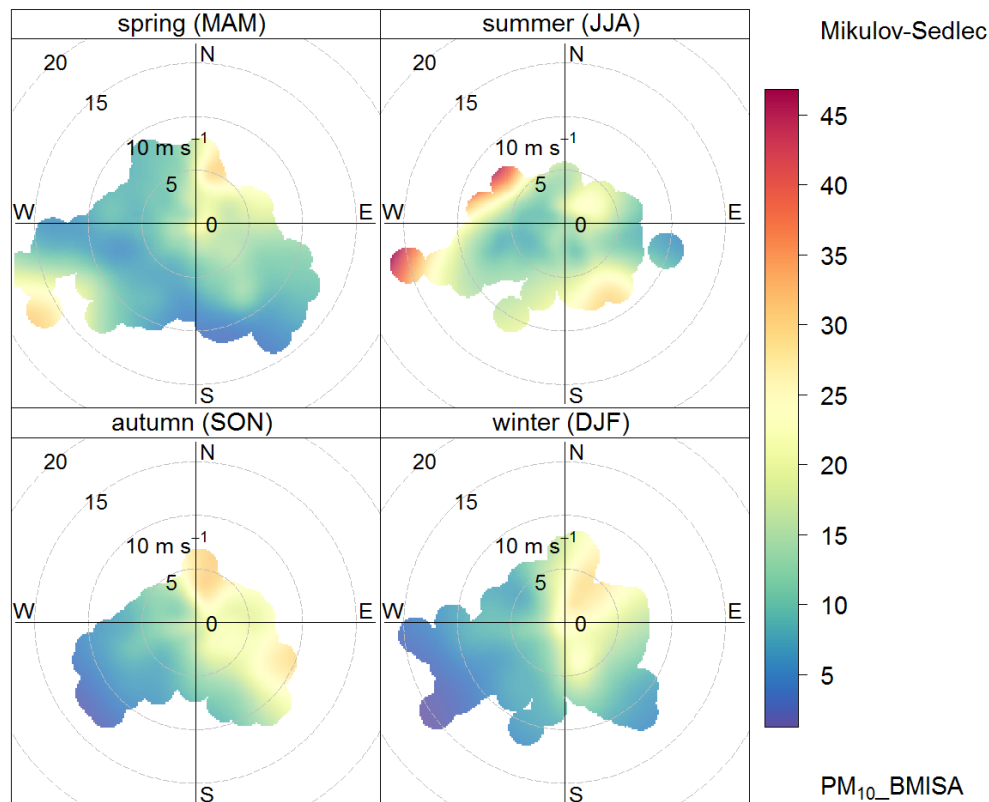
Obrázek 192 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Následující koncentrační růžice ukazují průběh v období 2011 až 2021 pro jednotlivé roky. Z růžic je patrné, že koncentrace částic PM_{10} na stanici Mikulov-Sedlec jsou dlouhodobě velmi nízké a mírně vyšší byly pouze na začátku hodnoceného období.



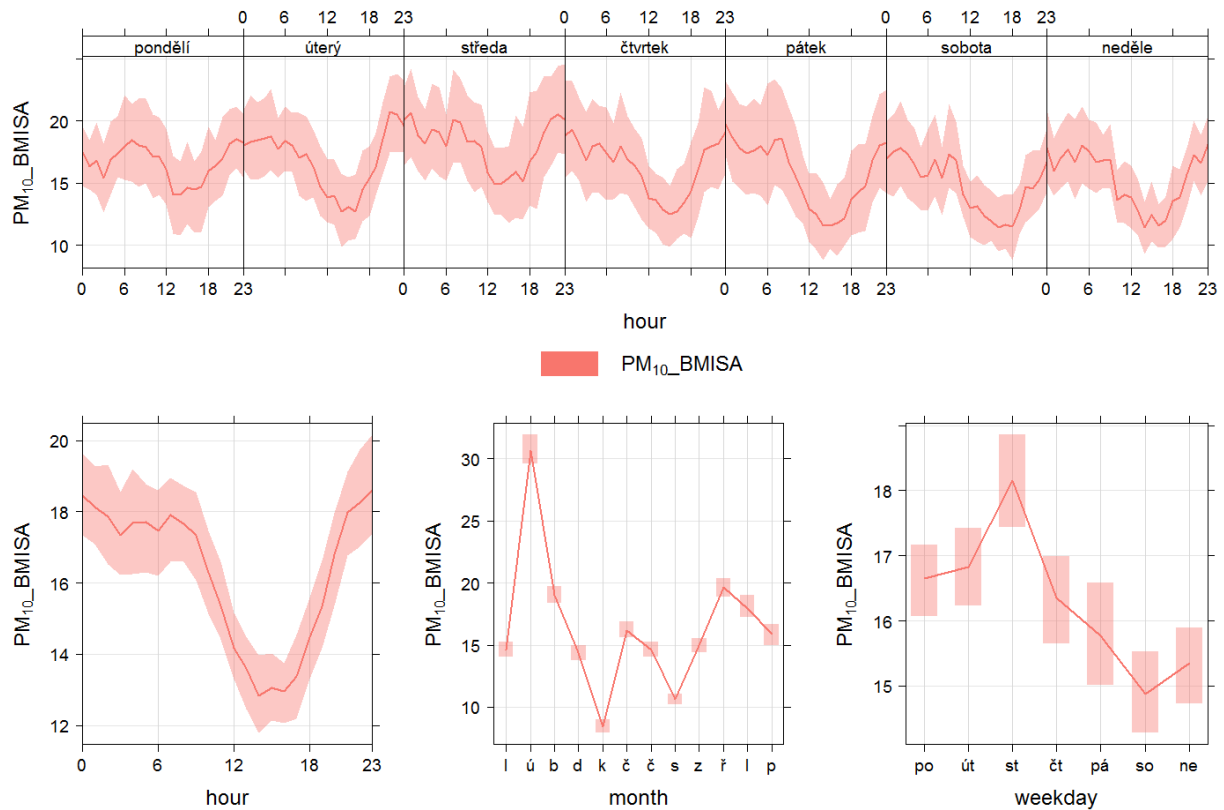
Obrázek 193 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Mikulov-Sedlec.

Následující sada koncentračních růžic, kde jsou měsíce agregovány podle ročního období, do kterého spadají, ukazuje, že nejvyšší hodnoty koncentrací částic PM_{10} byly pozorovány v létě. Stanice Mikulov-Sedlec se nachází uprostřed zemědělské oblasti a vysoké koncentrace částic PM_{10} zde v létě pochází právě ze zemědělské činnosti, popř. z resuspenze částic.



Obrázek 194 - koncentrační růžice pro suspendované částice PM₁₀ pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Mikulov-Sedlec. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

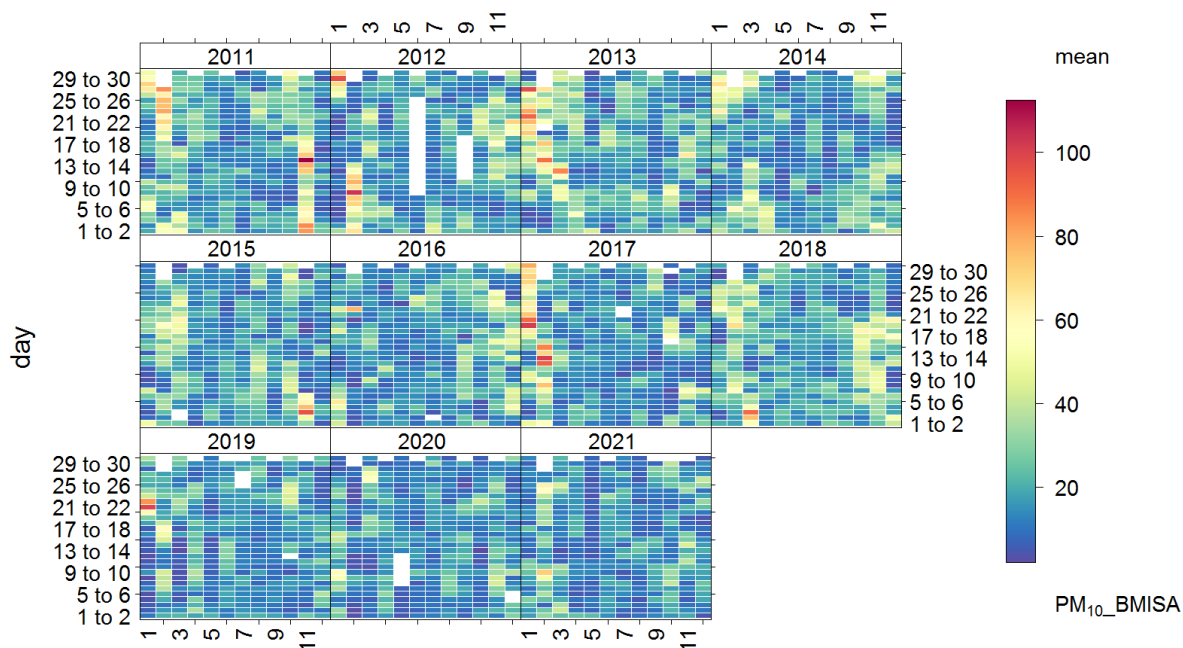
Co se týče průměrného ročního, týdenního a denního chodu koncentrací, oproti typickému chodu na dopravních a většinou i městských stanicích obecně, je zde odlišný chod týdenní a denní. U ročního chodu je vývoj na všech stanicích v České republice téměř totožný – nejvyšší koncentrace částic PM₁₀ bývají pozorovány v chladném období s ohledem na vytápění a horší rozptylové podmínky. U venkovských pozadových stanic se však v týdenním chodu příliš neliší pracovní den od dne víkendového a stejně tak není patrná ranní a odpolední špička. Jak ukazuje graf pro denní průměrný průběh koncentrace PM₁₀ na stanici Mikulov-Sedlec v roce 2021, je zde dobře patrný vliv vytápění a zhoršených rozptylových podmínek v nočních hodinách. Koncentrace zde výrazně klesají po poledni, což souvisí s faktem, že je v tuto denní dobu v nížinách v průměru nejvyšší rychlost větru. Večer se s útlumem větru a zatápěním v okolních obcích či vlivem dálkového transportu koncentrace zvyšují a přetrvávají na přibližně stejné hladině až do následujícího dopoledne.



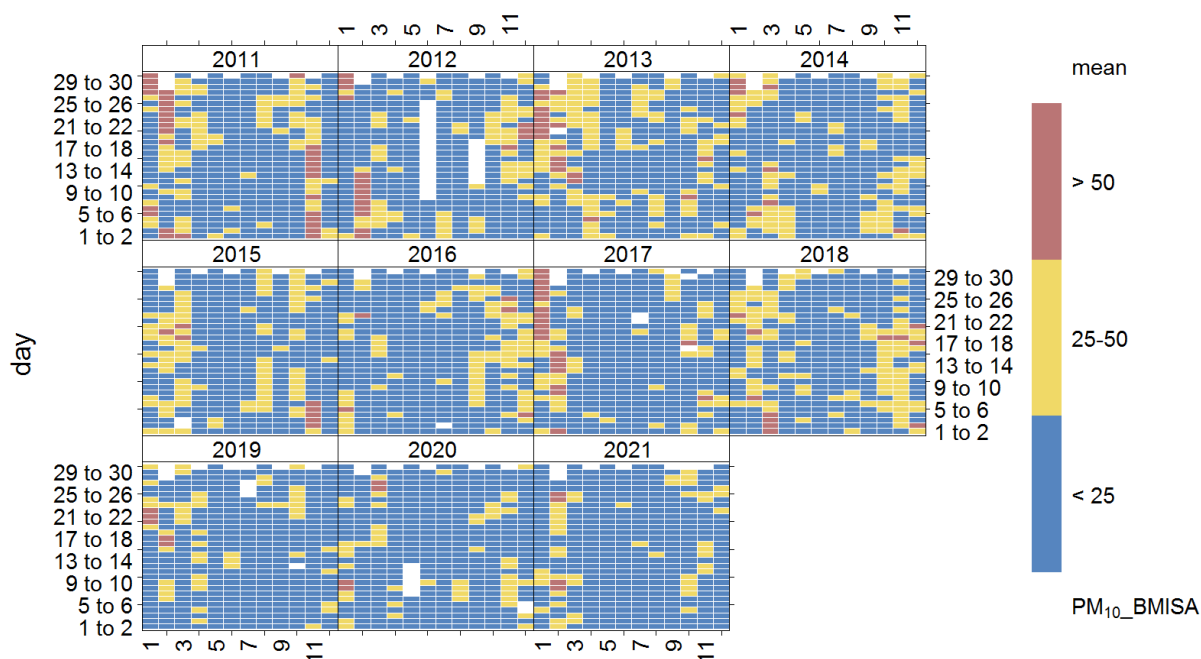
Obrázek 195 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Mikulov-Sedlec v roce 2021.

Heatmapy umožňují přehledně zobrazit velké množství dat – v tomto případě 10letý průběh denních koncentrací částic PM₁₀ v lokalitě Mikulov-Sedlec. V prvním případě byla použita gradientní škála, v druhém případě byly denní koncentrace kategorizovány podle hodnoty. Červená barva značí hodnotu vyšší než 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je 24h imisní limit pro tuto látku.

Celkově lze říci, že koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ jsou na stanici Mikulov-Sedlec dlouhodobě nízké a nejnižší v Jihomoravském kraji. Roky 2019 až 2021 byly v tomto směru z hodnoceného období 2011 až 2021 nejpříznivější. Zvýšené koncentrace částic PM₁₀ lze v heatmapách pozorovat například na začátku roku 2012, 2013 a 2017 a na začátku a konci roku 2011. V těchto případech se jednalo zejména o vliv zhoršených rozptylových podmínek, velmi nízkých teplot a v řadě případů vlivu dálkového transportu, zejména při severovýchodním proudění.



Obrázek 196 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

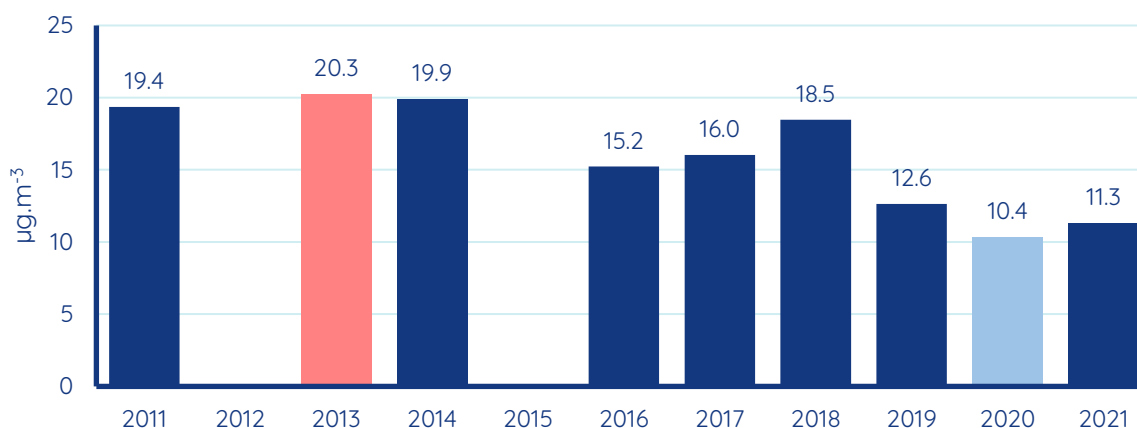


Obrázek 197 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

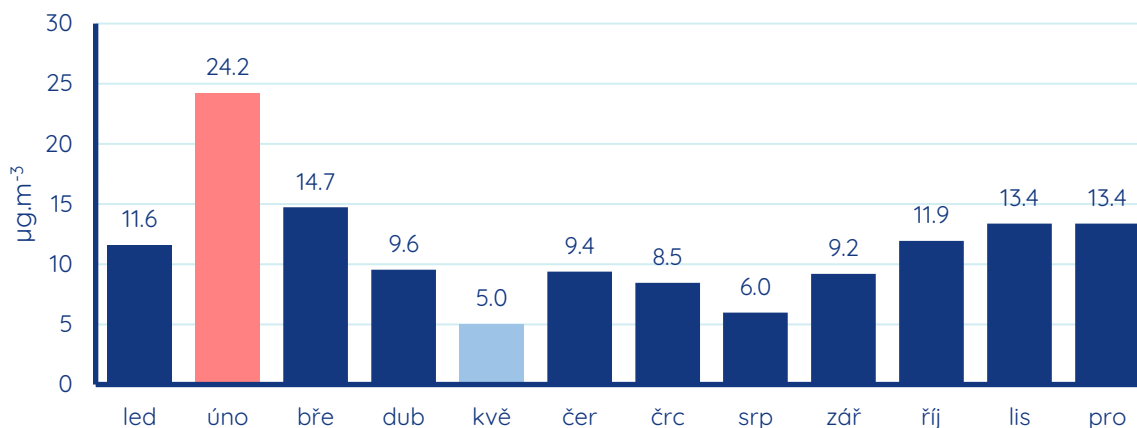
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM_{2,5} na stanici Mikulov-Sedlec ukazuje následující sloupcový graf. Graf ukazuje, že v letech 2011 až 2014 byly průměrné roční koncentrace částic PM_{2,5} v Mikulově velmi podobné. V roce 2016 a 2017 byly nižší,

v roce 2018 mírně zvýšené a v roce 2019 výrazně nižší. Rok 2020 je pak rokem s vůbec nejnižším ročním průměrem koncentrací částic $PM_{2,5}$ na této stanici. V roce 2021 je sice průměrná roční koncentrace mírně vyšší než v roce 2020, avšak nižší než ve všechny roky před rokem 2020 a na velmi nízké úrovni. Rozdíl oproti roku 2020 je dán zejména méně příznivými rozptylovými a meteorologickými podmínkami. Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci částic $PM_{2,5}$ nebyl překročen v žádný rok. Nový imisní limit platný od roku 2020 má hodnotu $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Pouze v roce 2013 byla průměrná roční koncentrace mírně nad hodnotou $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v té době však ještě byl platný imisní limit o hodnotě $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



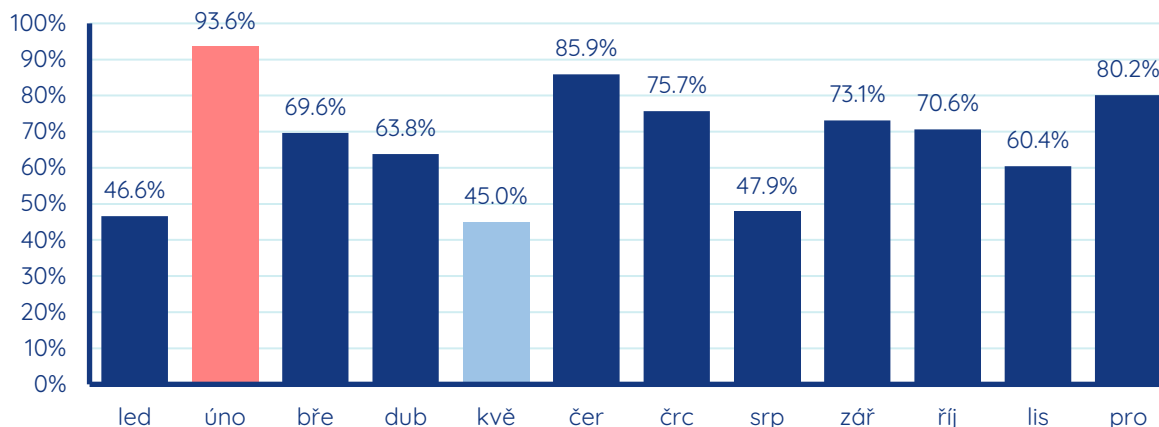
Obrázek 198 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací $PM_{2,5}$ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic $PM_{2,5}$ pro tuto stanici. Nejvyšší měsíční průměr byl pozorován v únoru ($24,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), naopak nejnižší v květnu ($5,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). S výjimkou února, kdy byly zhoršené rozptylové podmínky a velmi nízké teploty, byly koncentrace částic $PM_{2,5}$ ve všechny měsíce velmi nízké do $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



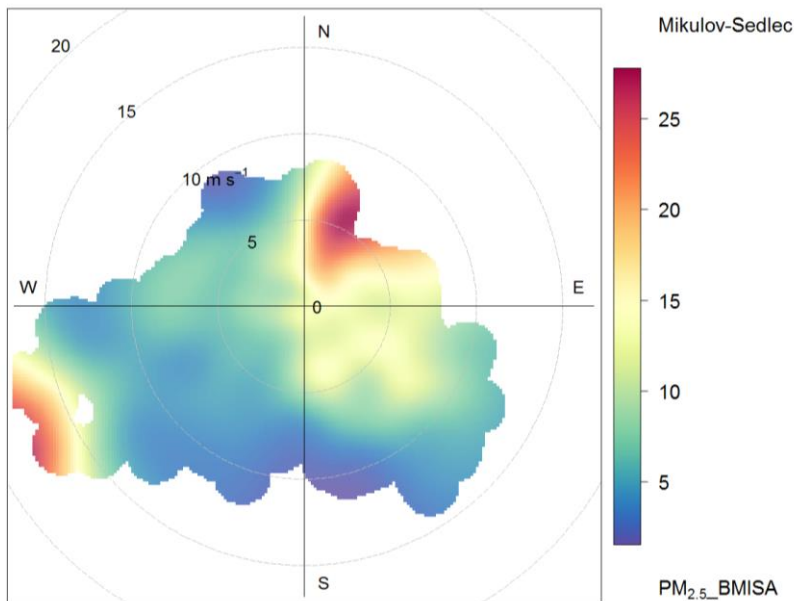
Obrázek 199 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic $PM_{2.5}$ v roce 2021 na stanici Mikulov-Sedlec vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Nejvyšší byly poměrově měsíční koncentrace v únoru, naopak nejnižší v květnu. Všechny měsíce roku 2021 lze z dlouhodobého pohledu co do koncentrací částic $PM_{2.5}$ hodnotit jako podprůměrné.



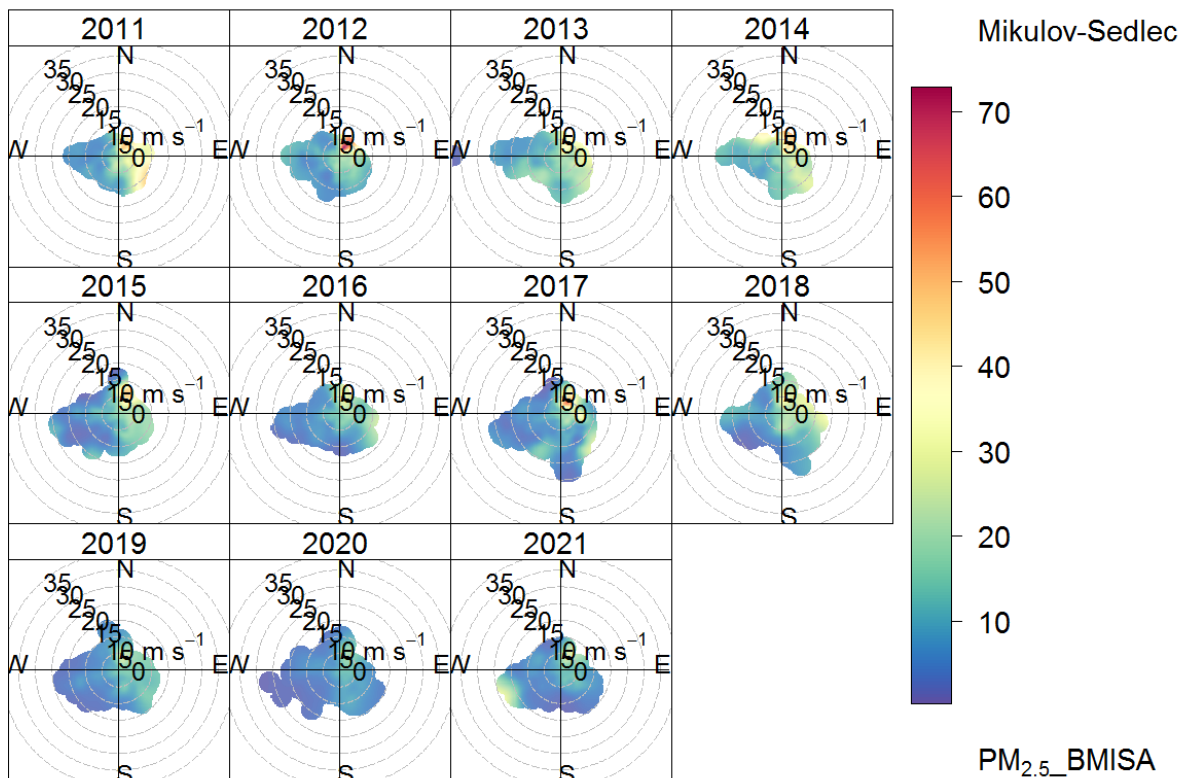
Obrázek 200 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na stanici Mikulov-Sedlec v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice pro částice $PM_{2.5}$ za rok 2021 vypadá velmi podobně koncentrační růžici pro PM_{10} . Jelikož je tato frakce zemědělstvím a erozí produkována výrazně menší měrou než PM_{10} , lze zde usuzovat vliv lokálního vytápění, a to jak v obcích blízko stanice, tak vzdálenějších lokalitách, jejichž vliv se zde projevuje vlivem dálkového transportu. Odpovídá tomu i severovýchodní směr, kdy byly koncentrace nejvyšší, a tento směr by odpovídal dálkovému transportu ze severovýchodu republiky, což je směr který pro Jihomoravský kraj znamená transport z Moravskoslezského kraje, potažmo Polska, což je v zimním období velmi problematická oblast.



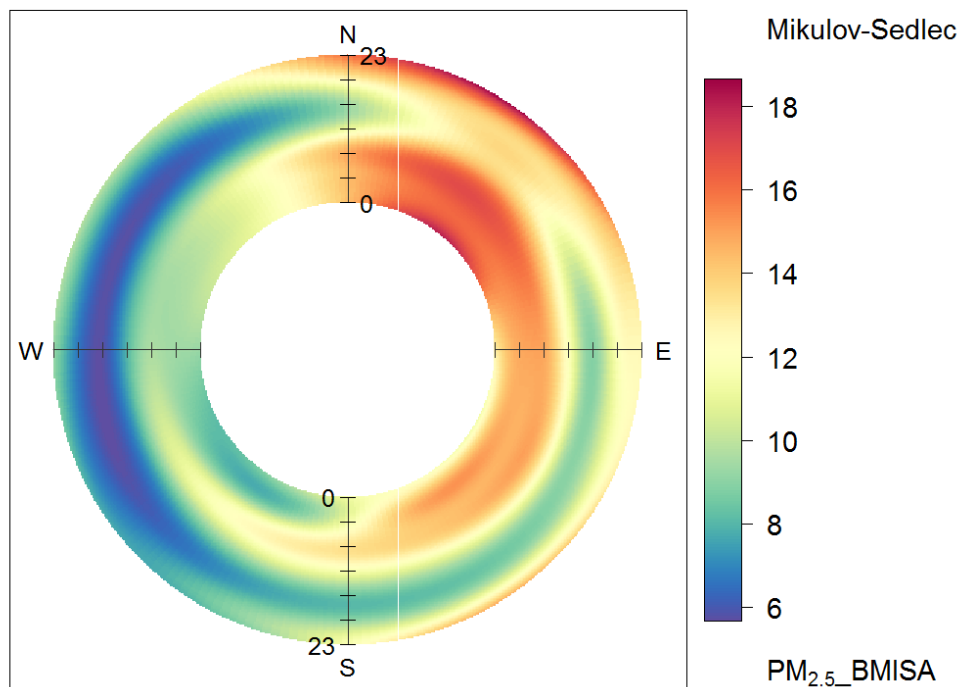
Obrázek 201 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{2,5} pro stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

V dlouhodobém pohledu je patrné postupné zlepšování kvality ovzduší a snižování koncentrací částic PM_{2,5} obecně.



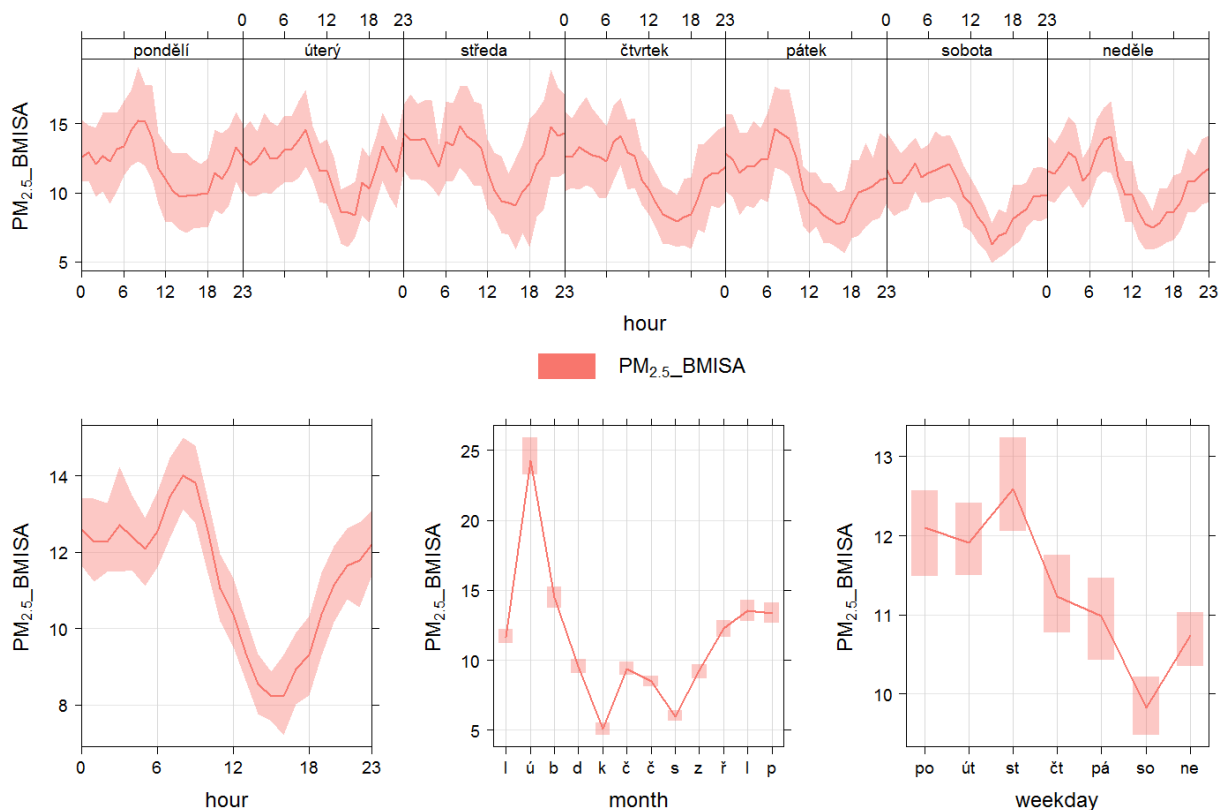
Obrázek 202 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{2,5} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Mikulov-Sedlec.

Hodina dne a směr větru, při kterých jsou koncentrace částic $PM_{2,5}$ nejvyšší, jsou velmi podobné jako v případě částic PM_{10} – převažuje vliv severovýchodního směru a nočních a brzkých ranních hodin, což dále potvrzuje vliv topenišť a vytápění obecně.



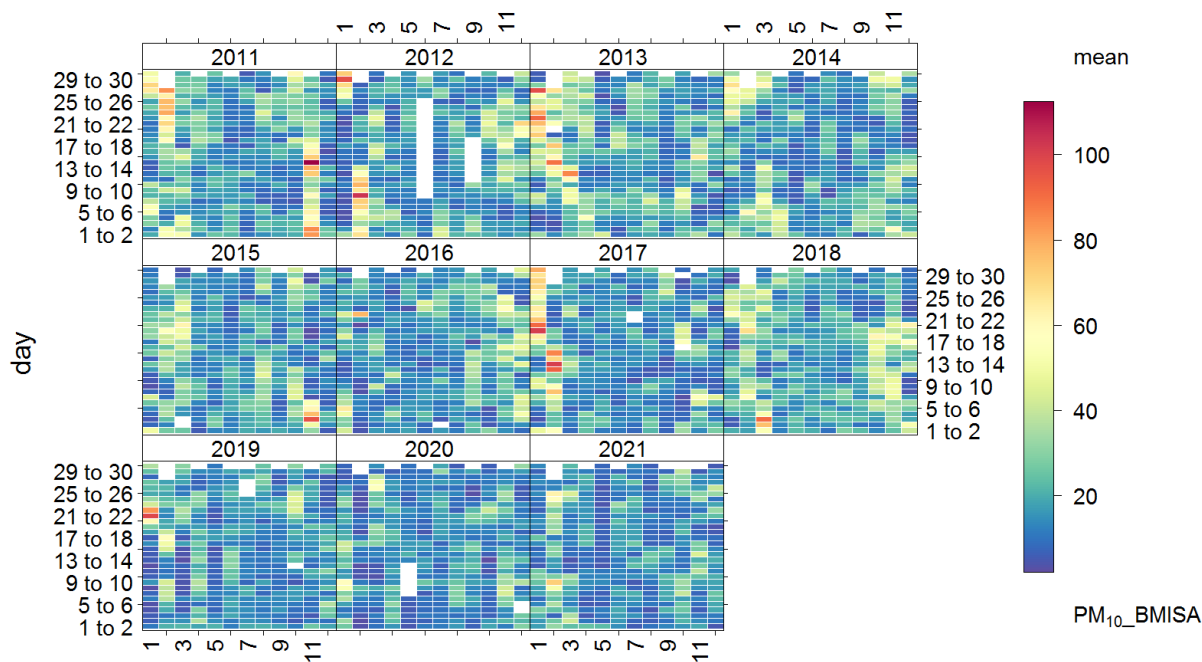
Obrázek 203 - anulární koncentrační růžice pro suspendované částice $PM_{2,5}$ pro stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Následující graf ukazuje roční, týdenní a denní průměrný průběh koncentrací částic $PM_{2,5}$ za rok 2021. Dobře patrné jsou zde v denním chodu nejvyšší koncentrace částic v ranních hodinách a postupné zvyšování od hodin večerních.

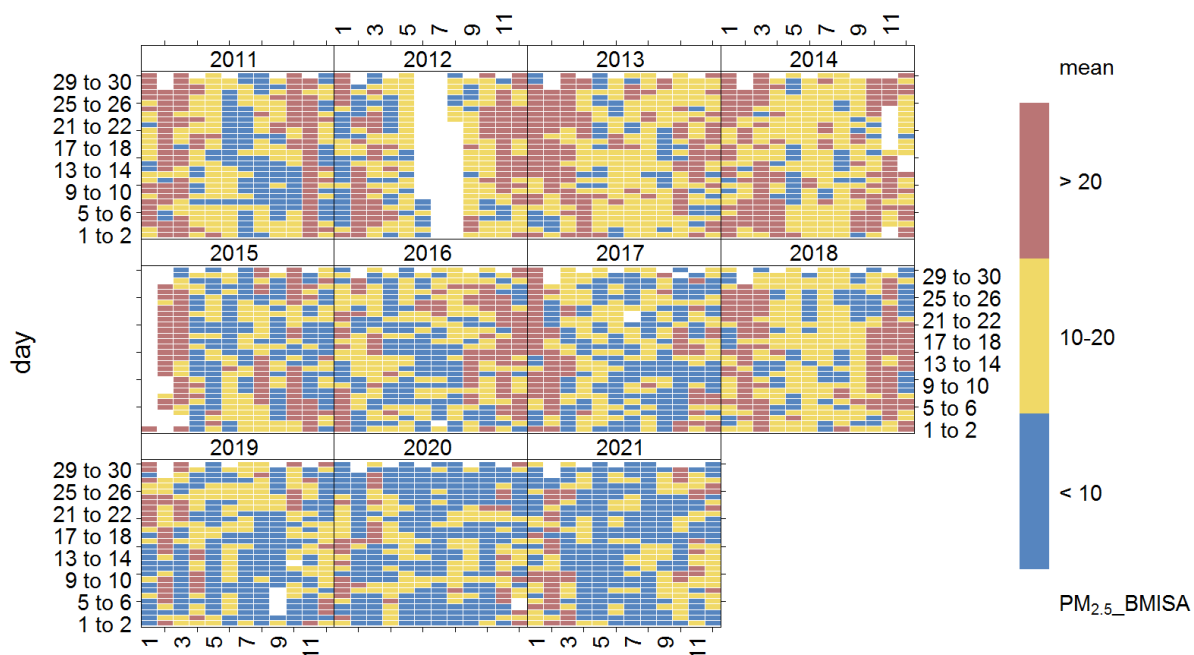


Obrázek 204 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Následující heatmapy ukazují průměrné denní koncentrace částic PM_{2,5} za celé hodnocené období od roku 2011 do roku 2021. Z heatmap je patrné, že v posledních dvou letech se již vyšší koncentrace částic PM_{2,5} (oranžové až červené odstíny) nevyskytovaly. Posledním obdobím s výrazně vyššími koncentracemi částic PM_{2,5} byl rok 2017 leden a únor.



Obrázek 205 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

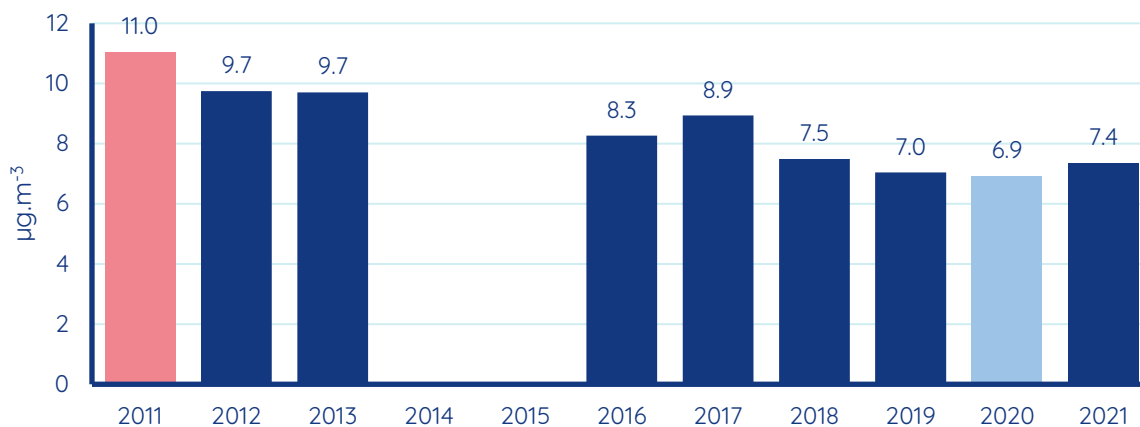


Obrázek 206 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

OXID DUSIČITÝ

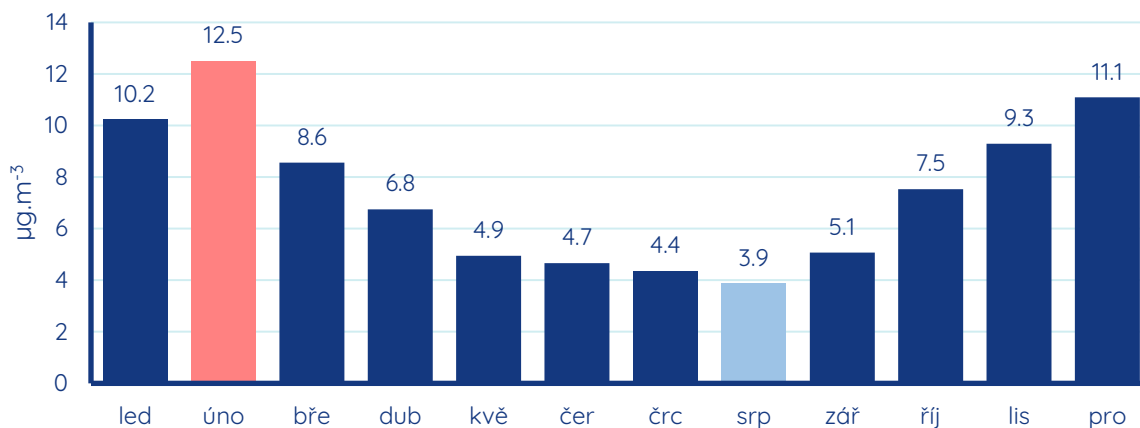
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO₂ na stanici Mikulov-Sedlec ukazuje následující sloupcový graf. Nejvyšší roční průměr byl naměřen v roce 2011, nejnižší naopak v roce 2020. Dlouhodobě jsou koncentrace NO₂ na této stanici velmi nízké a zároveň

dlouhodobě klesají. Hodnota $7,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ představuje hodnotu pouze 19 % příslušného imisního limitu.



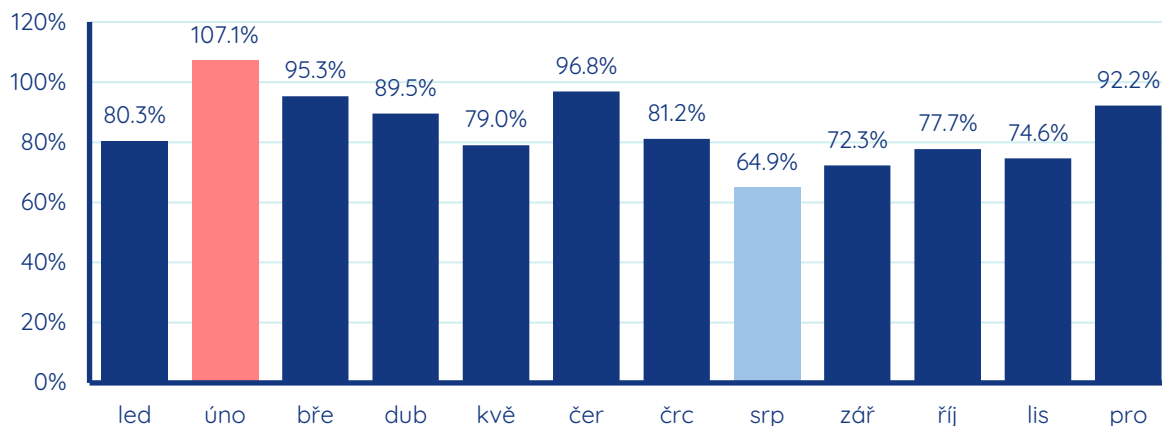
Obrázek 207 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací NO₂ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO₂ pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace na stanici Mikulov-Sedlec pro NO₂ byla naměřena v únoru ($12,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), naopak nejnižší v srpnu ($3,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



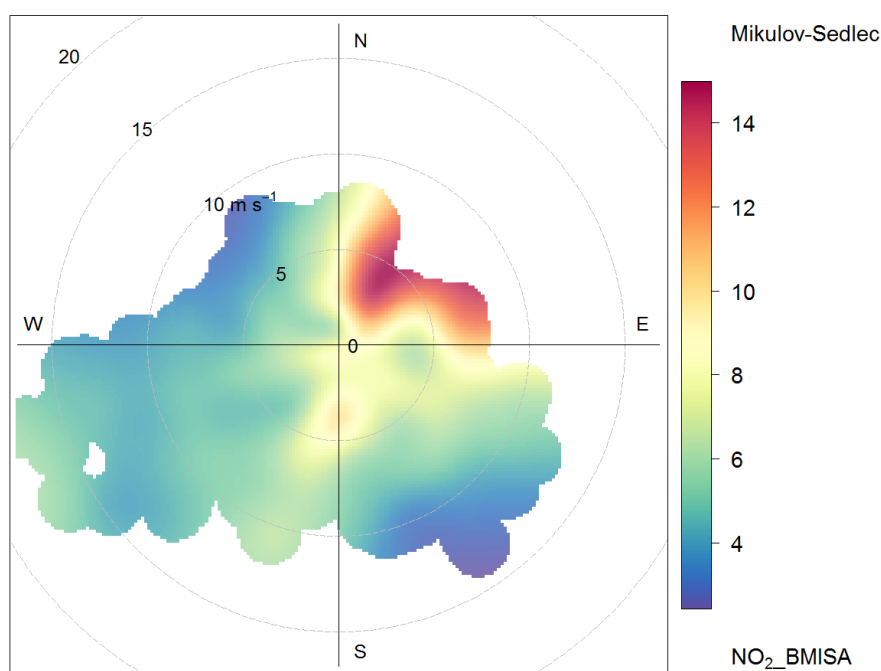
Obrázek 208 - průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO₂ v roce 2021 na stanici Mikulov-Sedlec vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Pouze v únoru byla v roce 2021 měsíční průměrná koncentrace vyšší, než je průměr pro tento měsíc za posledních 10 let. Ve všech ostatních měsících byly koncentrace podprůměrné, nejvíce v srpnu, kdy byl měsíční průměr o 35 % nižší než je srpnový průměr 2011-2020.



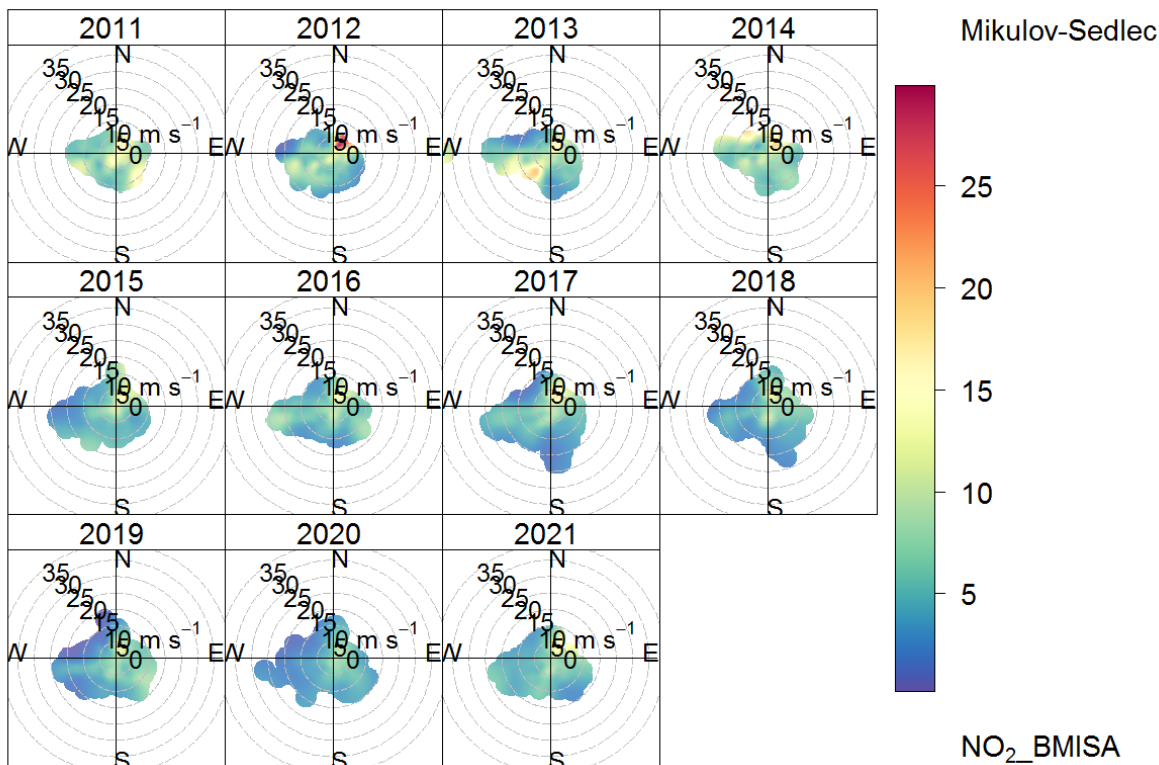
Obrázek 209 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO_2 na stanici Mikulov-Sedlec v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice pro oxid dusičitý za rok 2021 ukazuje na nejvyšší koncentrace NO_2 při severovýchodním proudění. Nelze v tomto případě vyloučit například vliv zemědělských strojů, příp. přenos z blízkých obcí.



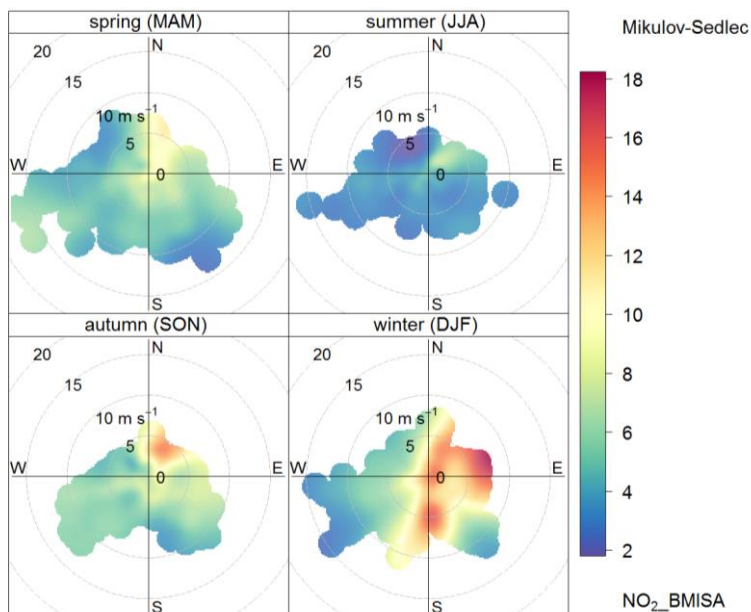
Obrázek 210 - koncentrační růžice NO_2 pro stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

V dlouhodobějším pohledu je patrné postupné snižování koncentrací oxidu dusičitého, v růžicích čím dál více převládají modré a zelené odstíny, naopak mizí odstíny žluté až červené. Směr a rychlost větru, při kterých je koncentrace NO_2 nejvyšší, se dlouhodobě nemění.



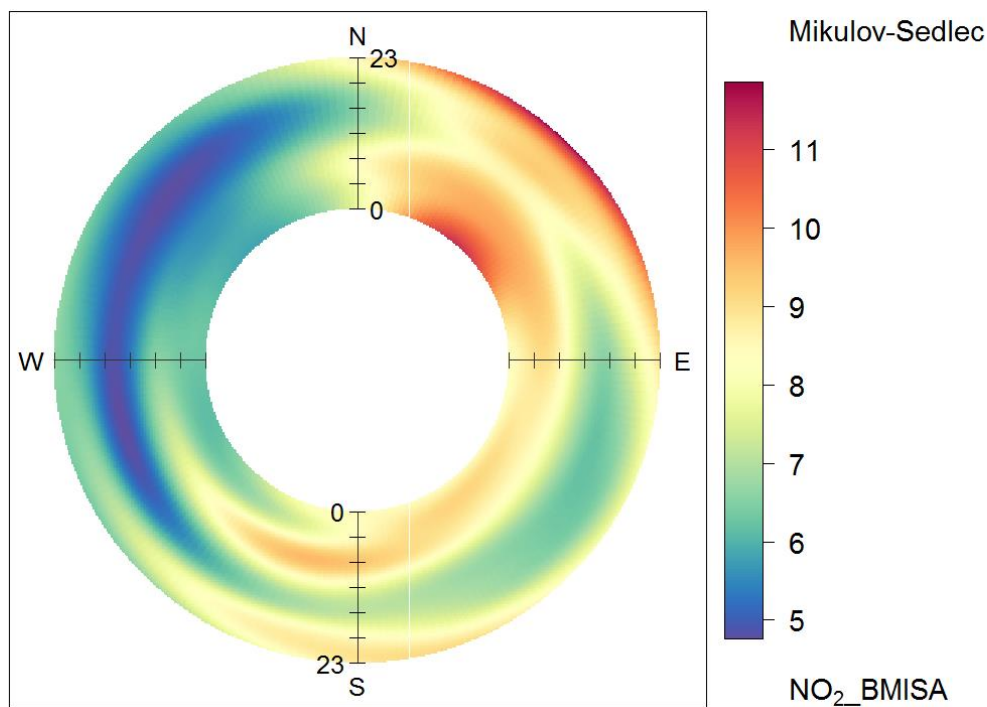
Obrázek 211 - koncentrační růžice NO₂ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Mikulov-Sedlec.

Potenciálně jsou zde možné dva zdroje NO₂. Prvním je dálkový transport, potažmo vliv vytápění a zhoršených rozptylových podmínek v zimním období, druhým je vliv zemědělských strojů, které mohou být významným zdrojem NO₂. Jak však ukazují následující koncentrační růžice zkonstruované pro jednotlivá roční období, potvrzuje se spíše hypotéza vlivu dálkového transportu a obecně horší kvality ovzduší v zimních měsících. V letním období byly koncentrace NO₂ nejnižší.



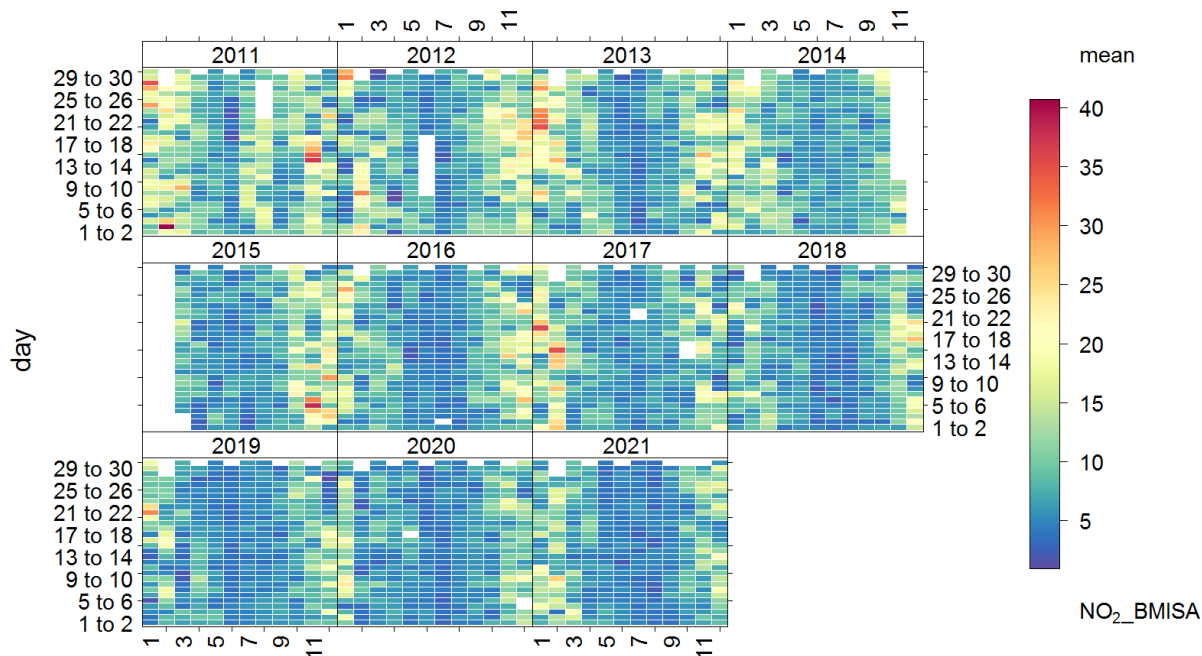
Obrázek 212 - koncentrační růžice pro NO₂ pro jednotlivá období za rok 2021 na stanici Mikulov-Sedlec. MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen, SON – září až listopad, DJF – leden, únor a prosinec.

Nejvyšší hodnoty oxidu dusičitého jsou na stanici Mikulov-Sedlec pozorovány při severovýchodním proudění ve večerních, nočních a brzkých ranních hodinách. Obecně však můžeme říci, že i nejvyšší hodnoty v této růžici odpovídají jen přibližně 10 μg·m⁻³, což je velmi nízká hodnota. Rozdíly v jednotlivých směrech jsou tak v absolutních číslech velmi malé.



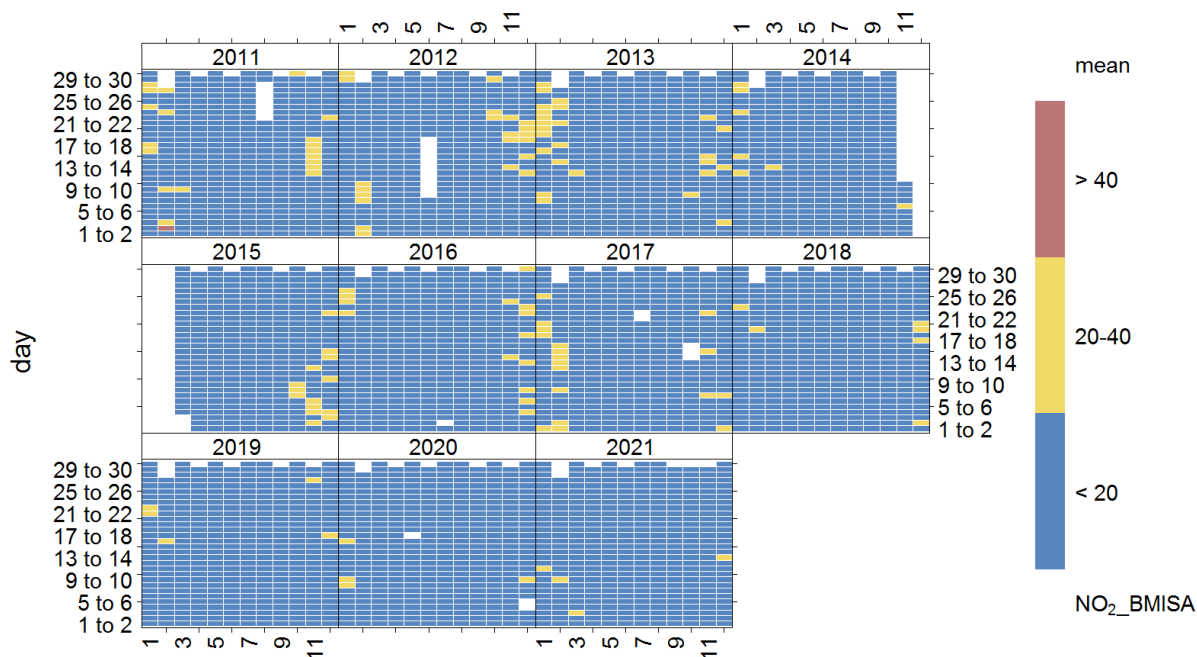
Obrázek 213 - anulární koncentrační růžice pro NO₂ pro stanici Mikulov-Sedlec za rok 2021.

Heatmapy ukazují průměrné denní koncentrace NO_2 za celé srovnávané období 2011 až 2021. První heatmapa využívající gradientní škálu ukazuje, že dny s vyššími koncentracemi NO_2 (v tomto případě kolem $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) nejsou v posledních dvou letech pozorovány vůbec.



Obrázek 214 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO_2 pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

Na heatmapě s kategoričnou škálou je dobře patrné, že koncentrace NO_2 na stanici Mikulov-Sedlec jsou obecně dlouhodobě velmi nízké. V některých letech, včetně roku 2021, jsou téměř všechny dny vybarveny do modrého odstínu, tedy odpovídají průměrné denní koncentraci NO_2 do $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Denní průměrná koncentrace nad $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla pozorována jen v několika málo dnech, a to pouze v roce 2011.



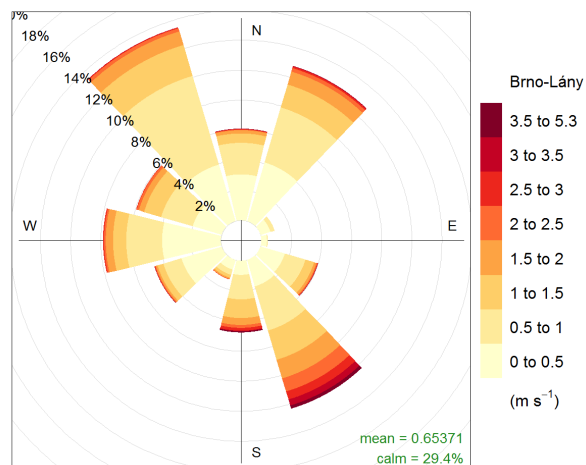
Obrázek 215 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Mikulov-Sedlec za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

BRNO-LÁNY

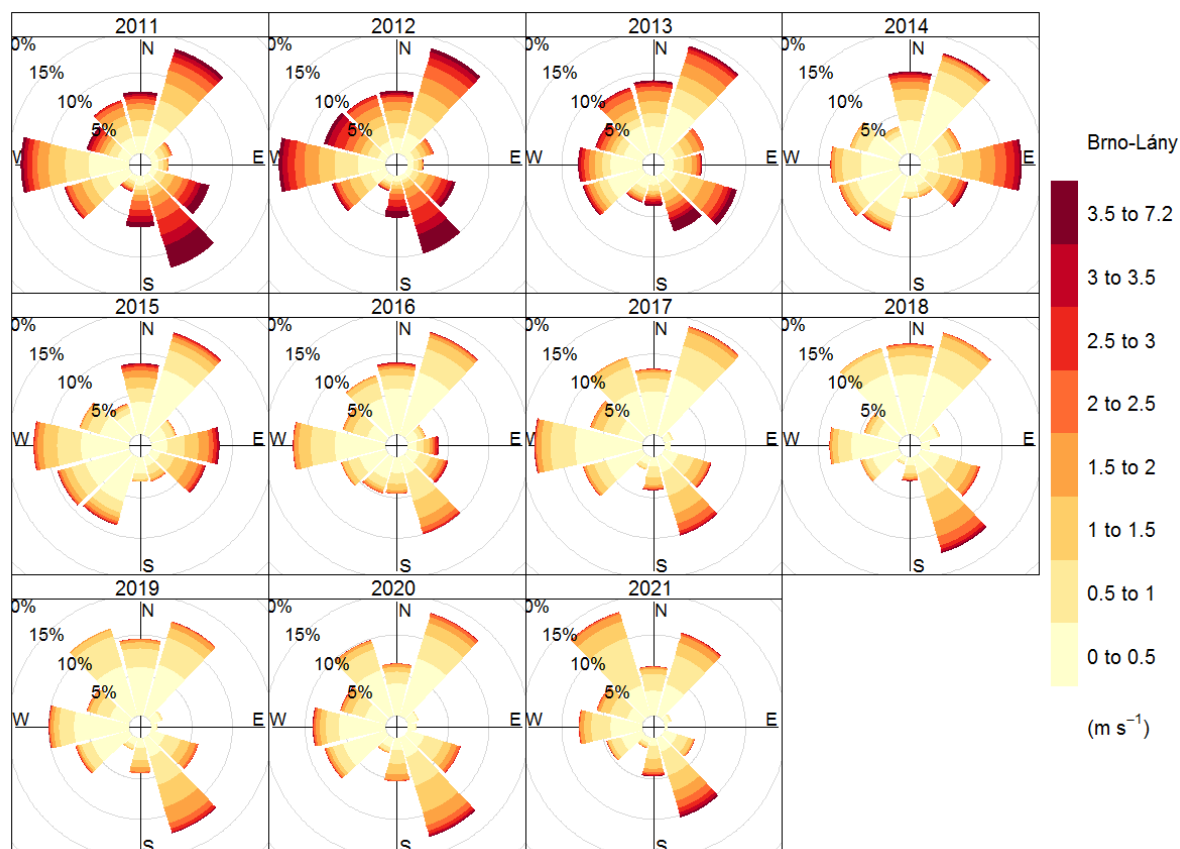
Stanice Brno-Lány je předměstskou pozadovou stanicí, umístěnou na jižním okraji Brna. Přestože se jedná o předměstskou pozadovou stanicí, projevuje se zde i vliv dopravy, a to zejména z dálnice D1, která vede 405 metrů na jih od stanice v západovýchodním směru, tudíž ovlivňuje stanici v sektoru od jihozápadu až po jihovýchod.

Rozložení jednotlivých směrů větru v roce 2021 a z dlouhodobého pohledu ukazují následující větrné růžice zkonstruované pro tuto stanici pro rok 2021 a jako dlouhodobý průběh za období 2011 až 2021.

Růžice za rok 2021 ukazuje převládající severozápadní, jihovýchodní a severovýchodní směr proudění. Toto rozložení je patrné i na dalších větrných růžicích za předchozí roky. Na první pohled je také patrné, že v počátku hodnoceného období 2011 až 2021 byly rychlosti větru na této stanici markantněji vyšší než k jeho konci. Toto však pravděpodobně nesouvisí se změnou rychlosti proudění v této lokalitě plošně, ale s faktem, že v místě stanice vzrostla v blízkosti zeleň, což vedlo ke zpomalení proudění přímo v místě umístění stanice.



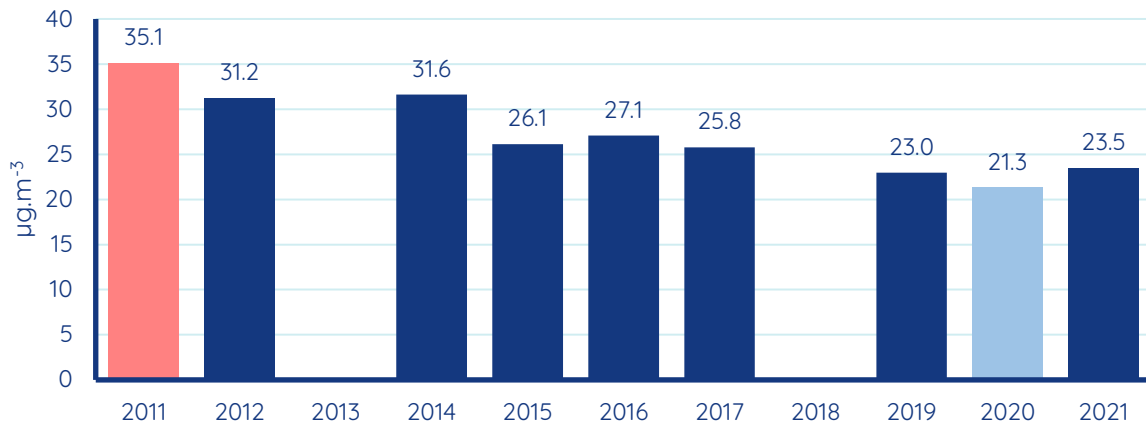
Obrázek 216 - větrná růžice pro stanici Brno-Lány z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.



Obrázek 217 - větrné růžice pro stanici Brno-Lány v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

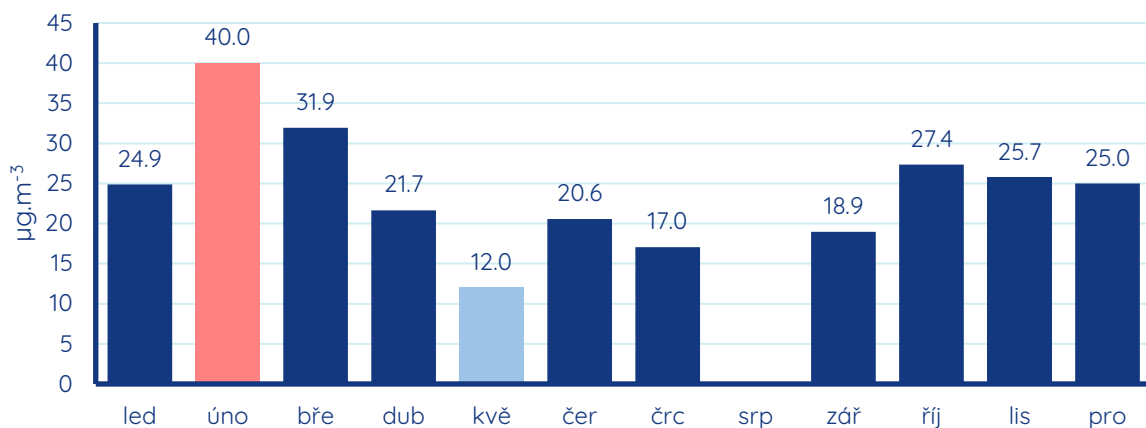
SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM₁₀

Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM₁₀ na stanici Brno-Lány ukazuje následující sloupcový graf. Z dat je patrné dlouhodobé snižování průměrné roční koncentrace částic PM₁₀. V posledních třech letech byly koncentrace částic PM₁₀ na této stanici nejnižší.



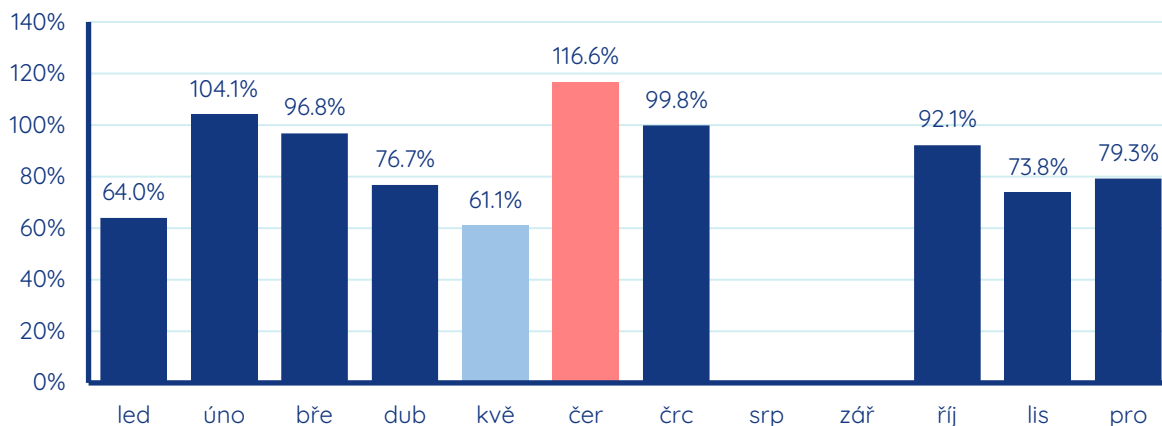
Obrázek 218 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací PM₁₀ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ pro tuto stanici. Nejvyšší byly koncentrace v únoru, kdy měsíční průměr dosáhl hodnoty 40 µg.m⁻³: Naopak nejnižší byly v květnu (12,0 µg.m⁻³).



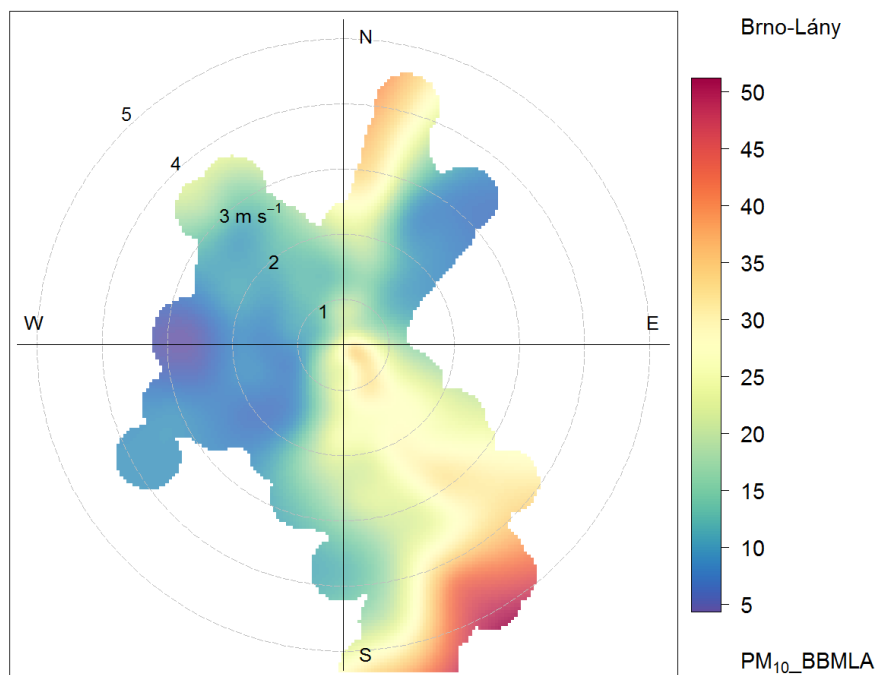
Obrázek 219 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Lány za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic PM₁₀ v roce 2021 na stanici Brno-Lány vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Poměrově nejvyšší byly průměrné měsíční koncentrace v červnu, naopak nejnižší v květnu.



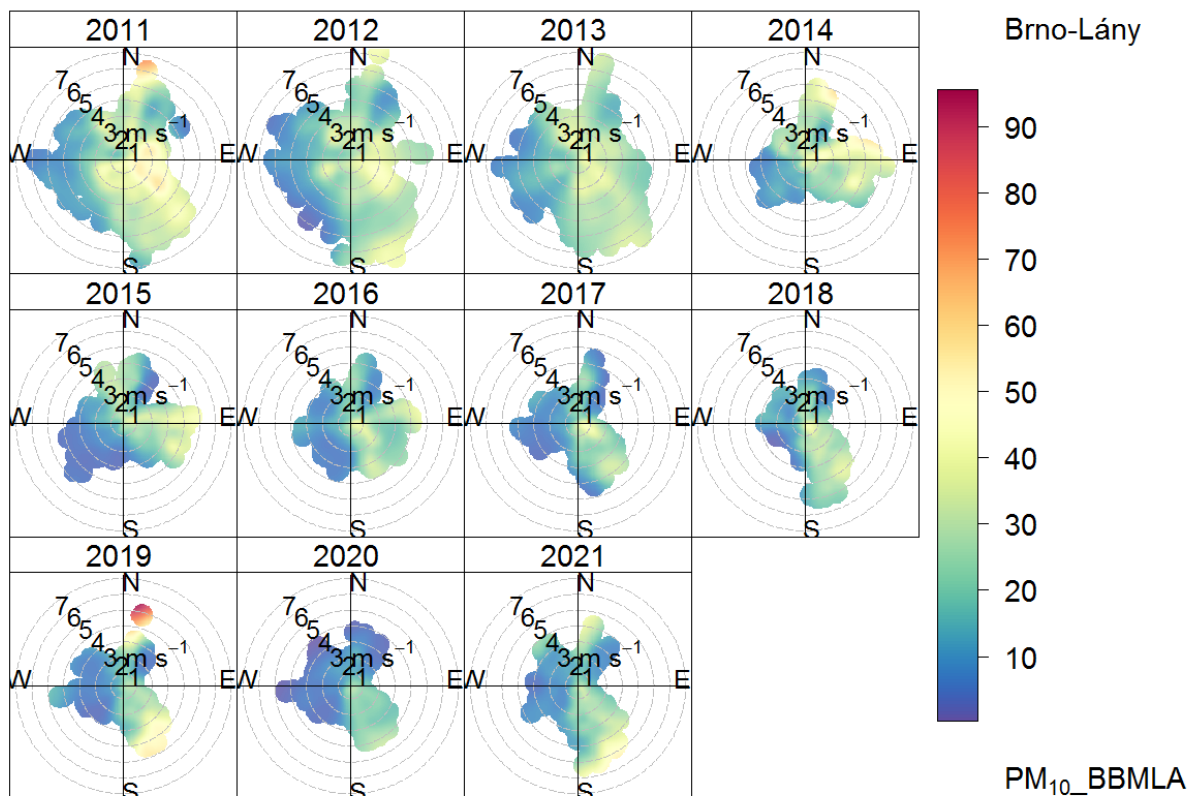
Obrázek 220 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na stanici Brno-Lány v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Následující koncentrační růžice ukazuje, při jakém směru a rychlosti větru byly koncentrace částic PM_{10} v roce 2021 nejvyšší. Velmi výrazně je zde patrný jihovýchodní směr, a to zejména při nízkých rychlostech větru. Jedná se právě o vliv blízké dálnice, která se více projevuje ve východním směru, protože se zde navíc dálnice D1 ve vzdálenosti přibližně 1 km křížuje s další několikaproudou významnou brněnskou tepnou - několikaproudou ulicí Heršpickou. Do určité míry nelze v případě částic PM_{10} vyloučit ani vliv nedalekého pole, které leží právě jižním směrem od stanice a eroze půdy produkuje převážně větší částice frakce PM_{10} .



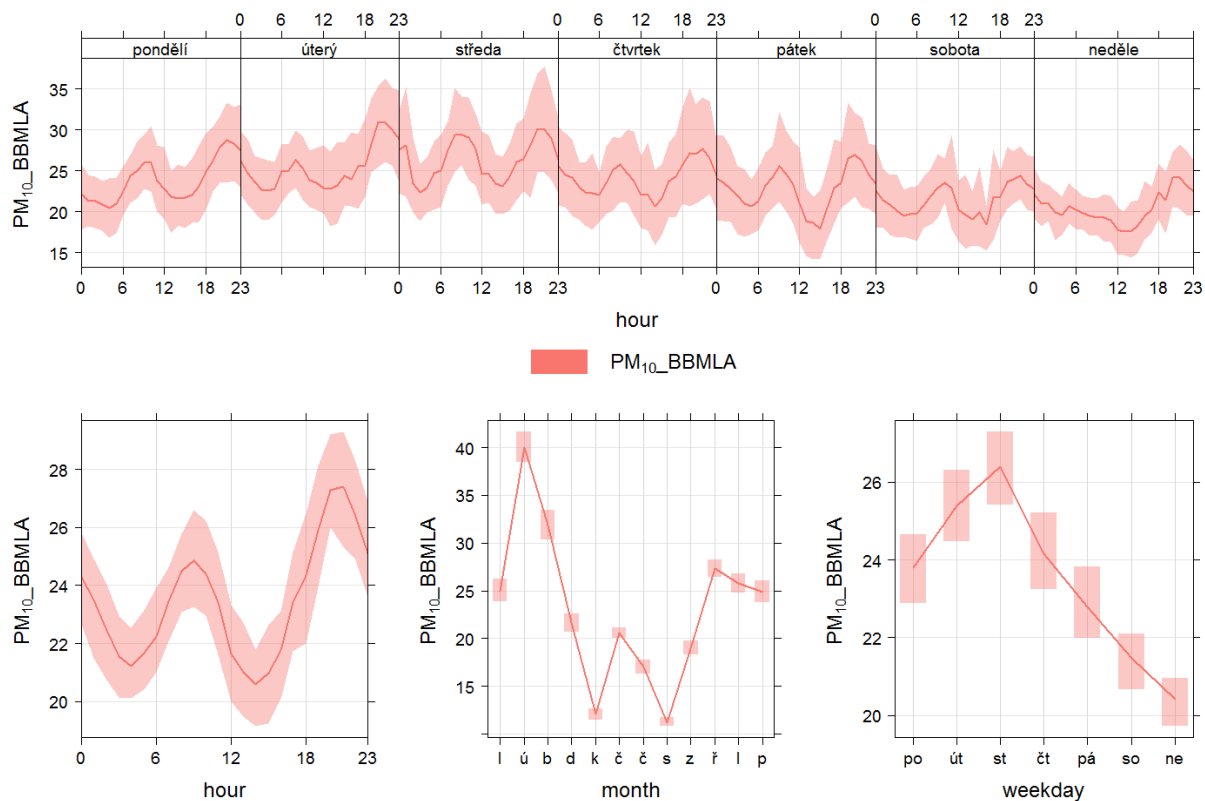
Obrázek 221 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{10} pro stanici Brno-Lány za rok 2021.

Dlouhodobý průběh koncentračních růžic na této stanici ukazuje následující vizualizace 10letého vývoje. Nejvyšší koncentrace byla pozorována při severovýchodním proudění v roce 2019. Je však patrné, že jihovýchodní směr je v posledních letech dlouhodobě charakterizován vyššími koncentracemi než ostatní směry.



Obrázek 222 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM₁₀ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Lány.

Průměrný roční, týdenní a denní průběh koncentrací PM₁₀ na této stanici ukazuje následující kombinace grafů. Roční průběh koncentrací vykazuje typický průběh koncentrací částic PM₁₀ v České republice, s minimy v létě a maximy v zimním období. Vzhledem k vlivu dopravy je zde patrná ranní i odpolední špička. Koncentrace však výrazněji stoupají především ve večerních hodinách. Tento fakt naznačuje potenciální vliv lokálního vytápění. To je možné očekávat zejména z jižního směru, z malých obcí za Brnem. Nachází se zde například obec Moravany, kde v minulosti ČHMÚ prováděl měření kvality ovzduší a vliv lokálního vytápění zde byl velmi výrazný (Skeřil R., 2018).

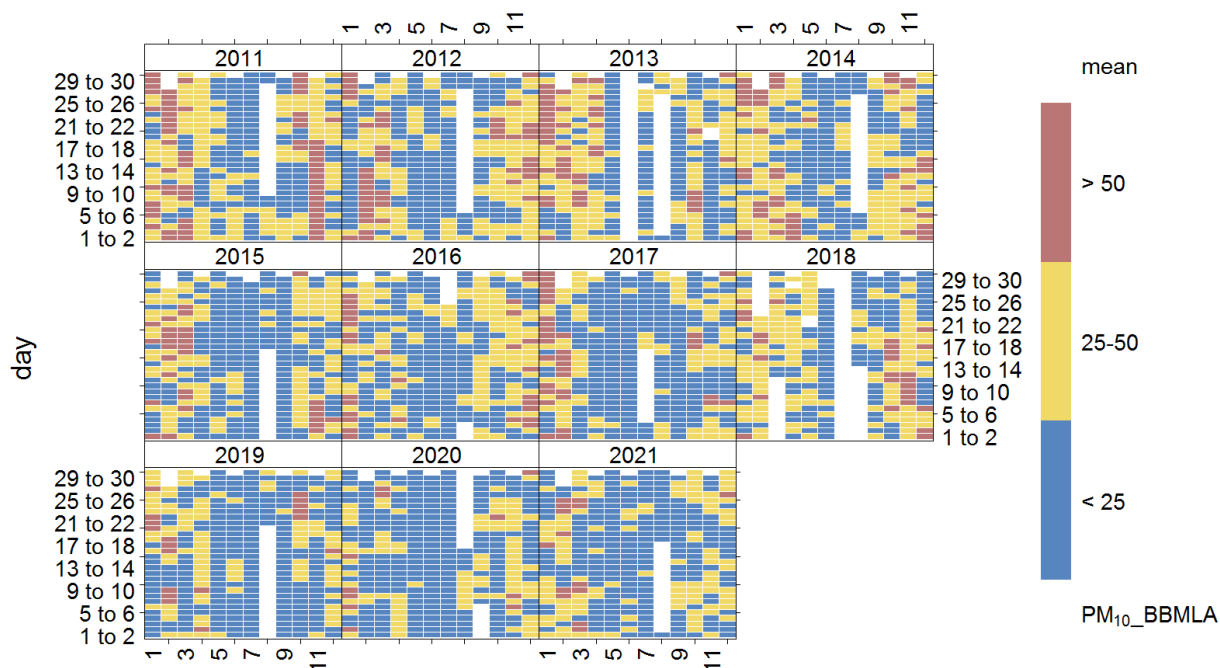


Obrázek 223 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na stanici Brno-Lány.

Dlouhodobý průběh denních průměrných koncentrací (0-0 UTC) ukazují následující heatmapy, jedna s gradientní a jedna s kategoričnou škálou. Při celkovém pohledu na jednotlivé roky je patrné, že rok 2021 byl charakteristický vysokým podílem dní s nízkými koncentracemi částic PM₁₀.



Obrázek 224 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

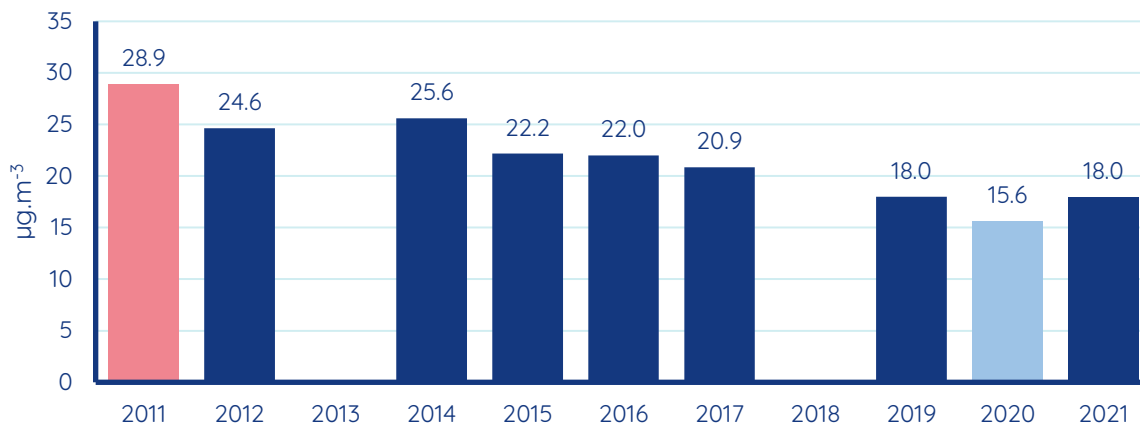


Obrázek 225 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM₁₀ pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE PM_{2,5}

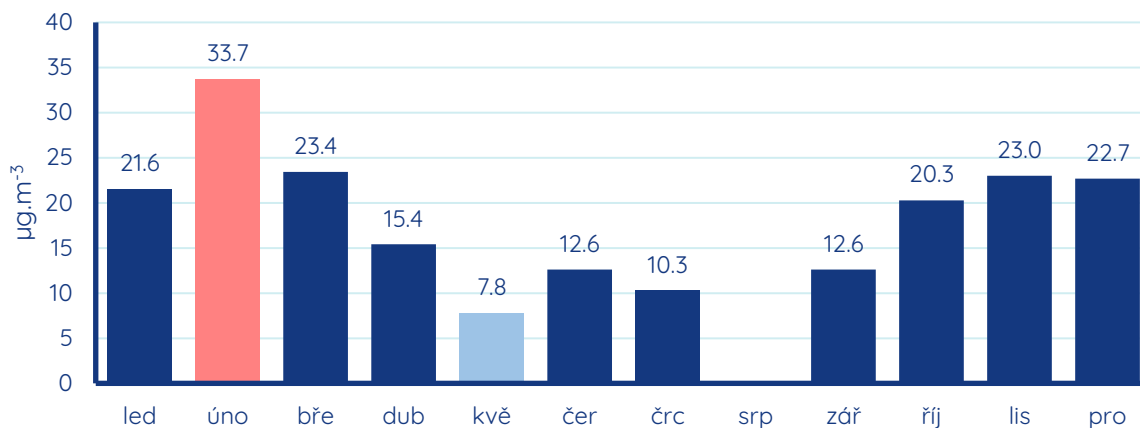
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací částic PM_{2,5} na stanici Brno-Lány ukazuje následující sloupcový graf. Z grafu je jasně zřetelný dlouhodobý pokles průměrných koncentrací PM_{2,5}. Nejvyšší roční průměr byl pozorován v roce 2011, nejnižší v

roce 2020. Průměrná roční koncentrace částic $PM_{2.5}$ v roce 2021 je spolu s rokem 2019 druhá nejnižší. Obecně můžeme říci, že byly koncentrace v posledních třech letech ve srovnání s předchozím obdobím nejnižší.



Obrázek 226 - průměrné roční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021.

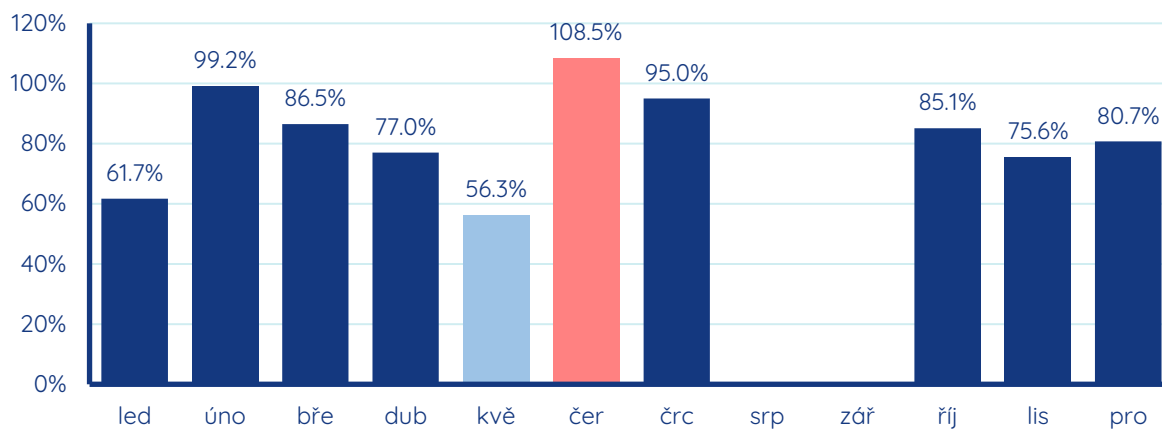
Vývoj koncentrací $PM_{2.5}$ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací částic $PM_{2.5}$ pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace částic $PM_{2.5}$ byla naměřena v únoru. Naopak nejnižší v květnu.



Obrázek 227 - průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2.5}$ na stanici Brno-Lány za rok 2021.

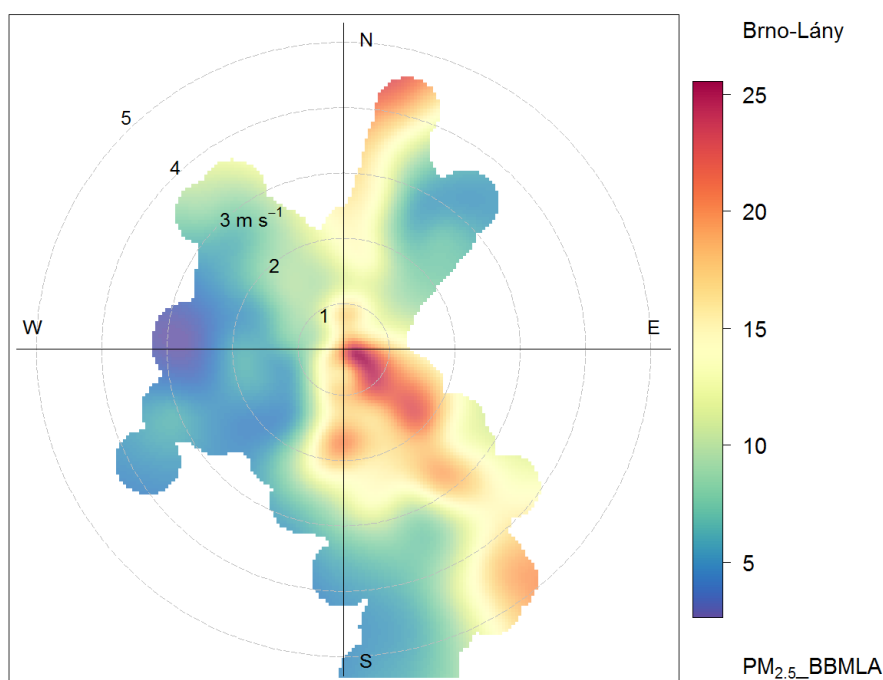
Poměr průměrných měsíčních koncentrací částic $PM_{2.5}$ v roce 2021 na stanici Brno-Lány vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Nejvyšší poměr byl zaznamenán v červenci, avšak rozdíl oproti desetiletému průměru pro tento měsíc je i v tento měsíc s nejvyšším poměrem méně než 10 %. Naopak ve všechny ostatní měsíce byly koncentrace pro daný měsíc ve srovnání s předchozím desetiletím podprůměrné.

Nejvíce v květnu – květnový měsíční průměr je o téměř 45 % nižší než květnový průměr 2011-2020.



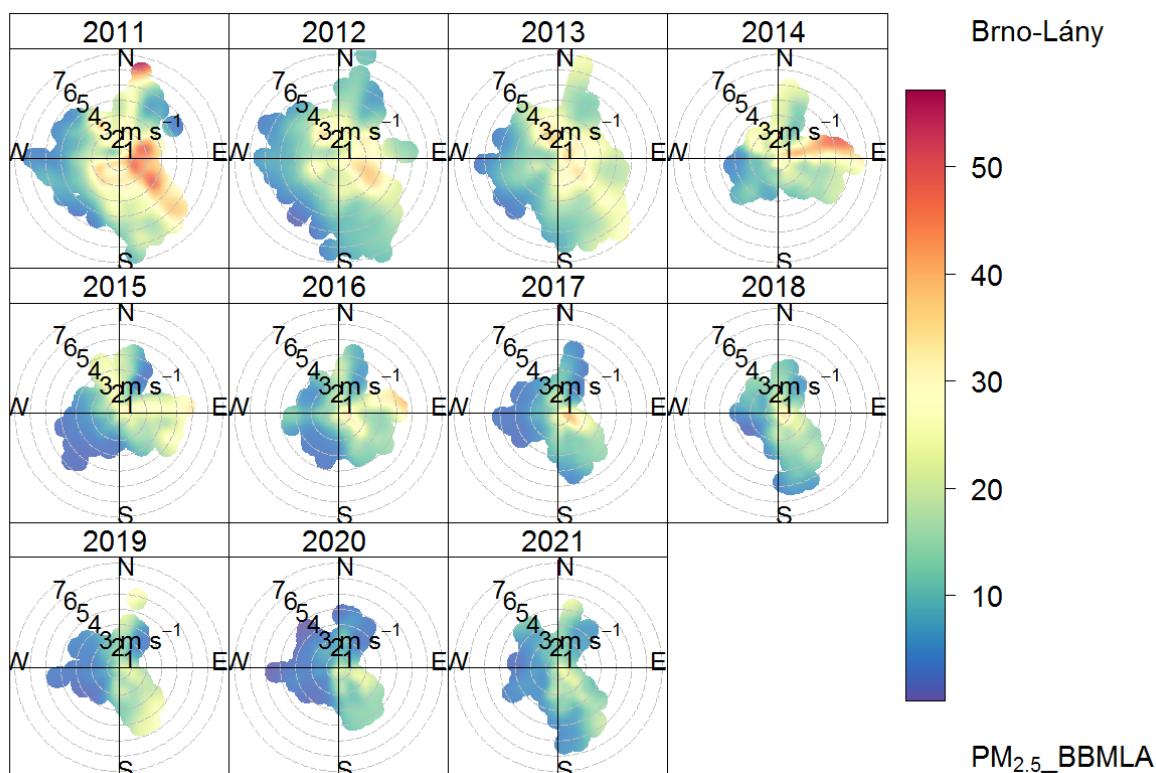
Obrázek 228 - podíl průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na stanici Brno-Lány v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Závislost směru a rychlosti větru na koncentracích částic $PM_{2,5}$ ukazuje koncentrační růžice pro rok 2021. Nejvyšší koncentrace byly stejně jako v případě částic PM_{10} pozorovány při jihovýchodním proudění, což naznačuje vliv nedaleké dálnice. Vůbec nejvyšší pak byly při velmi nízkých rychlostech větru. Určité zvýšení je pozorováno také při severovýchodním proudění, tentokrát však jen při vyšších rychlostech větru, což jasně naznačuje vliv dálkového transportu z tohoto směru.



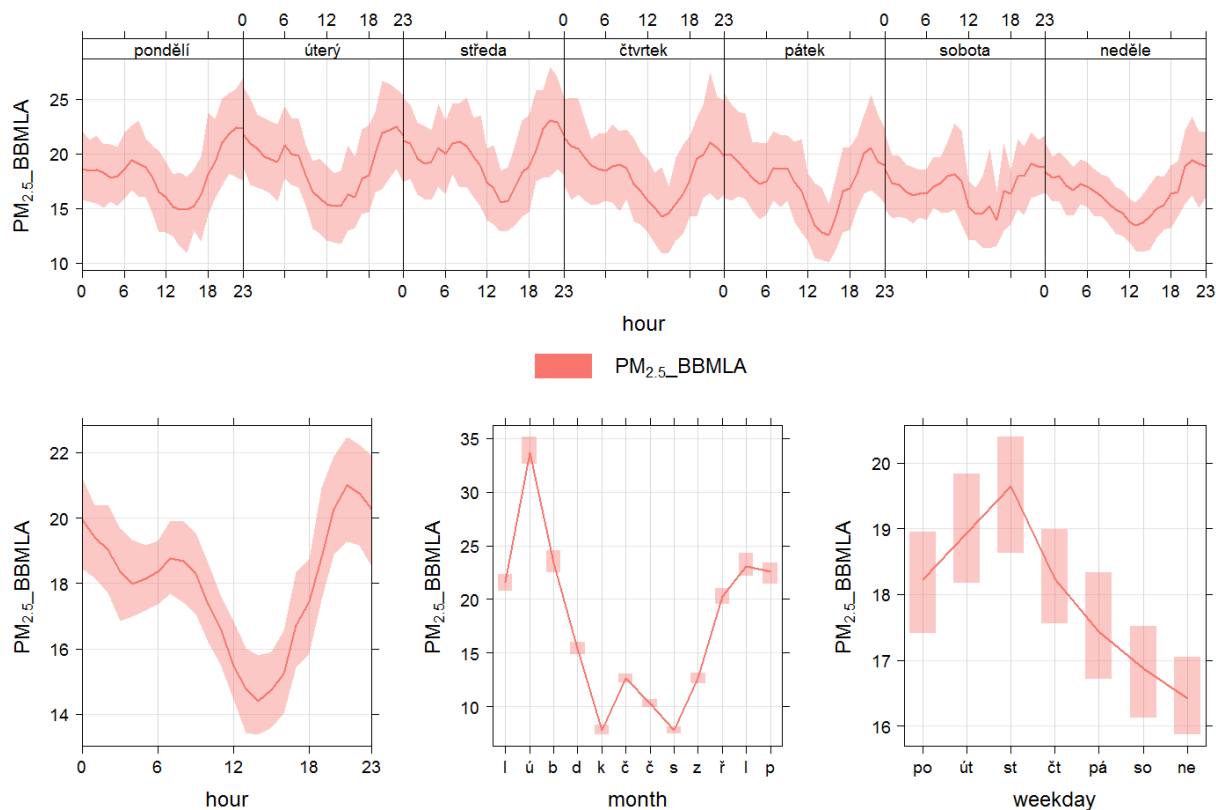
Obrázek 229 - koncentrační růžice suspendovaných částic $PM_{2,5}$ pro stanici Brno-Lány za rok 2021.

Dlouhodobý vývoj ukazují koncentrační růžice pro jednotlivé roky za celé hodnocené období 2011 až 2021. Je patrné, že na začátku tohoto období byly koncentrace v absolutních hodnotách výrazně vyšší. Naopak poslední čtyři roky lze i dle růžic hodnotit velmi pozitivně. Charakter vztahu koncentrací a směru větru se dlouhodobě nemění. Nejvyšší hodnoty bývají pozorovány při nízkých rychlostech větru při jihovýchodním proudění a v některé roky také při severovýchodním proudění a vyšších rychlostech větru vlivem dálkového transportu.



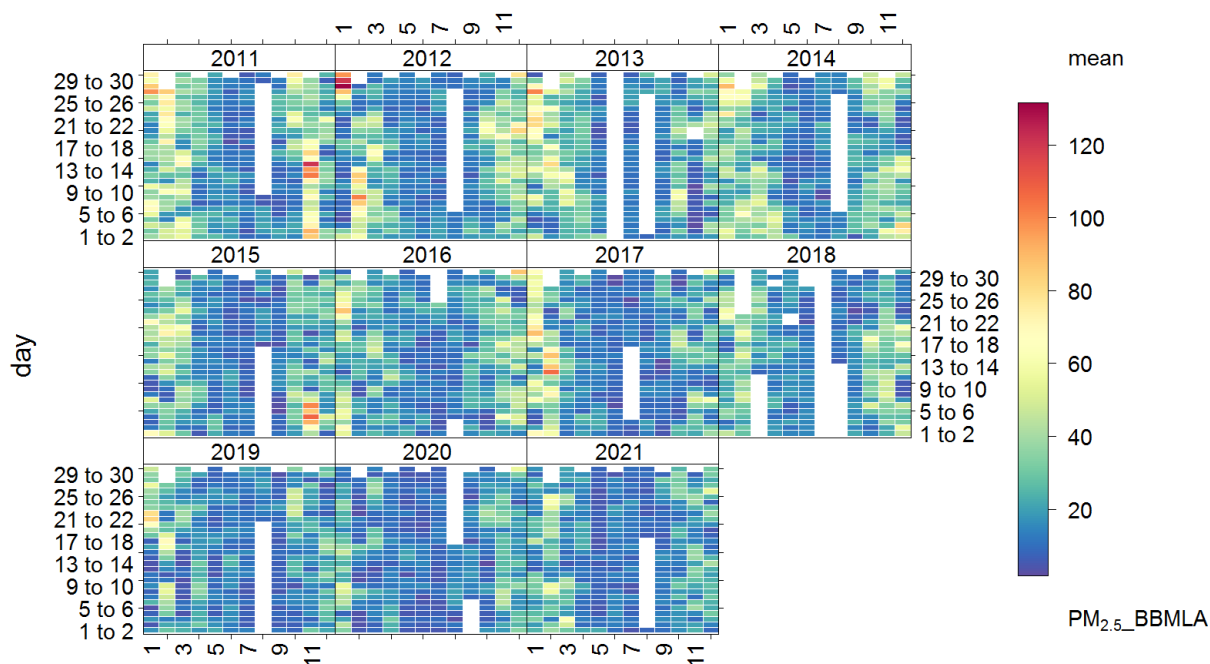
Obrázek 230 - koncentrační růžice suspendovaných částic PM_{2.5} pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Lány.

Chod průměrných denních koncentrací ukazuje mírný nárůst v době ranní špičky a výrazně vyšší nárůst ve večerních hodinách. Tento vývoj potenciálně indikuje spíše vliv vytápění u částic PM_{2.5}. Jak bylo uvedeno v teoretickém úvodu, právě lokální vytápění je v České republice násobně významnějším zdrojem ve srovnání s vlivem dopravy, přestože ve městě je tento nepoměr výrazně menší. Stanice Brno-Lány však může být ovlivňována i nedalekými menšími obcemi na jih od Brna, což prokázaly i předchozí studie v této lokalitě (Skeřil, 2018).

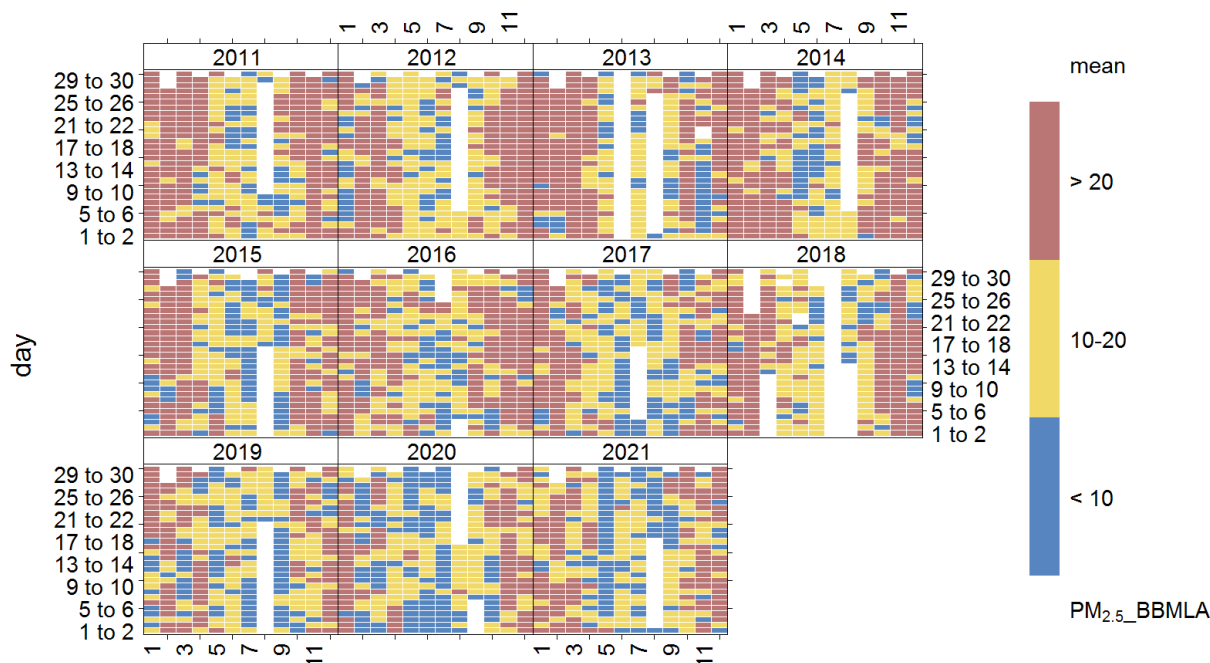


Obrázek 231 - denní, týdenní a roční chod koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na stanici Brno-Lány v roce 2021.

Průběh denních koncentrací částic PM_{2,5} ukazují následující dvě heatmapy, a to za celé hodnocené období od roku 2011 až do 2021. První z heatmap používající gradientní škálu jasně ukazuje na úplnou absenci dní s vysokými průměrnými denními koncentracemi částic PM_{2,5} v roce 2020 a 2021. Také na druhé heatmapě je patrný zvyšující se podíl dní s průměrnými koncentracemi do 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (modrá barva).



Obrázek 232 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

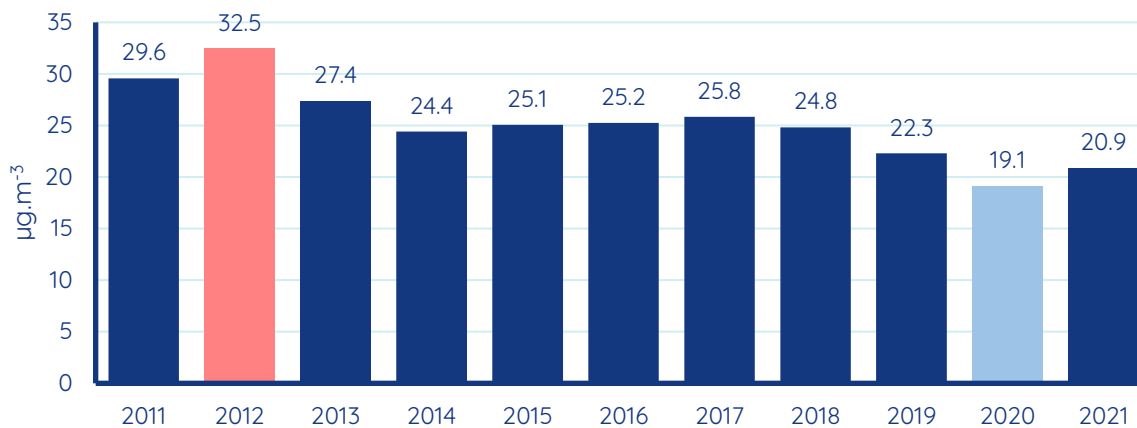


Obrázek 233 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací PM_{2,5} pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

OXID DUSIČITÝ

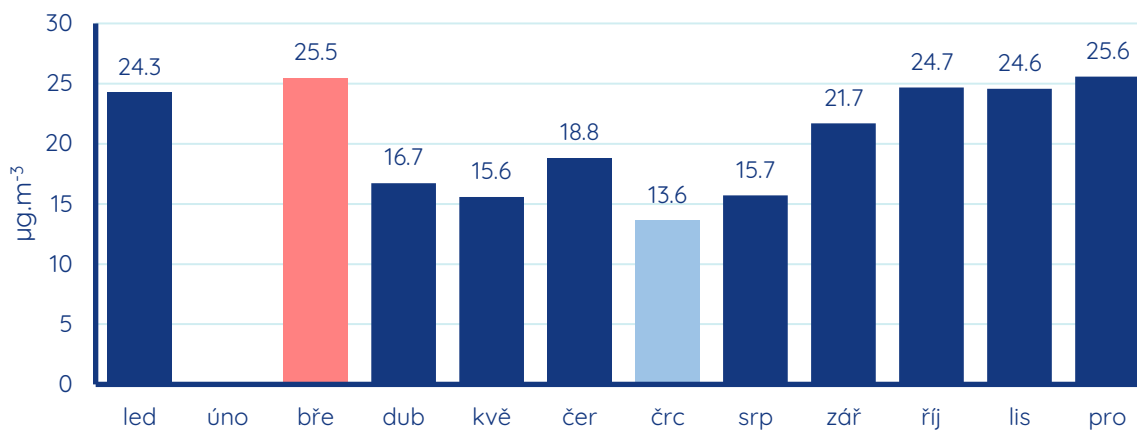
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO₂ na stanici Brno-Lány ukazuje následující sloupcový graf. Z grafu je patrný postupný pokles průměrných ročních koncentrací NO₂ v průběhu srovnávaného období 2011 až 2021. V roce 2021 byly

koncentrace NO_2 mírně vyšší než v roce předchozím (který byl ovlivněn velmi příznivými meteorologickými a rozptylovými podmínkami a také omezením dopravy v důsledku pandemie), jedná se však o rok s druhými nejnižšími koncentracemi a potvrzuje se sestupný trend.



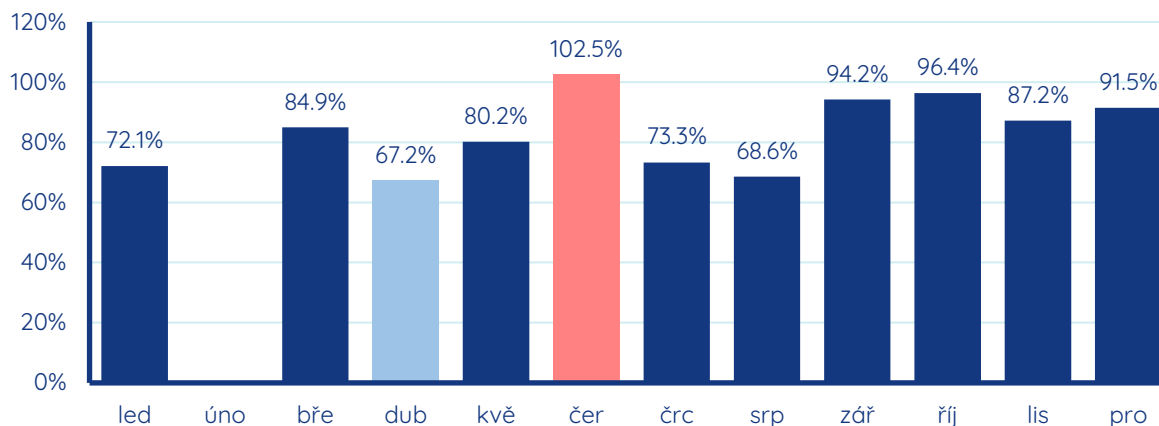
Obrázek 234 - průměrné roční koncentrace NO_2 na stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací NO_2 v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO_2 pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace NO_2 byla pozorována v březnu, naopak nejnižší v červenci.



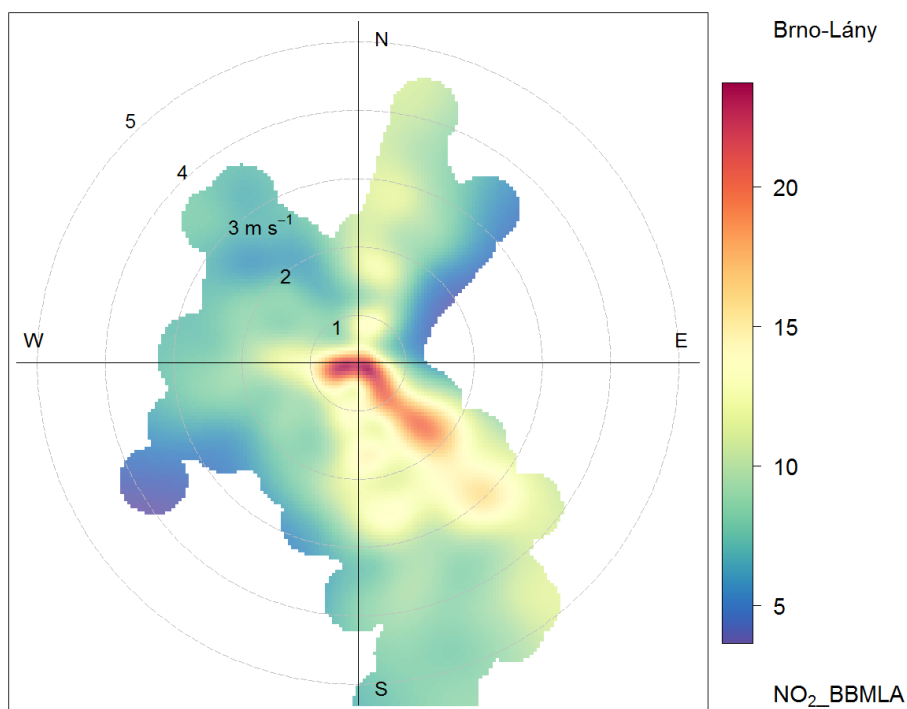
Obrázek 235 - průměrné měsíční koncentrace NO_2 na stanici Brno-Lány za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO_2 v roce 2021 na stanici Brno-Lány vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Všechny měsíce lze z pohledu dlouhodobého stavu hodnotit jako podprůměrné s výjimkou červnu, kdy však byly koncentrace pouze necelá 3 % nad desetiletým průměrem pro daný měsíc. Naopak nejpříznivější byla v tomto směru měsíční průměrná koncentrace v dubnu (67,2 %).



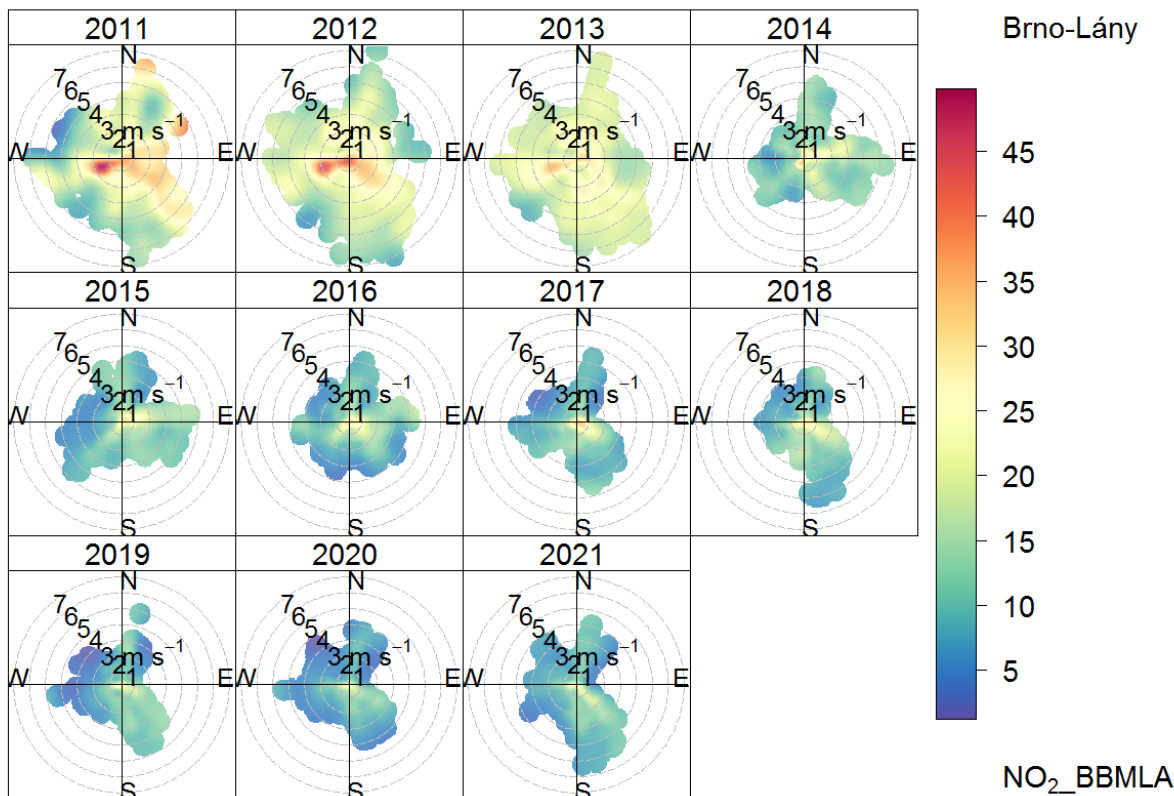
Obrázek 236 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO_2 na stanici Brno-Lány v roce 2021 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2011-2020.

Koncentrační růžice ze stanice Brno-Lány ukazuje, že nejvyšší hodnoty koncentrací NO_2 jsou pozorovány při kterémkoliv směru při velmi nízkých rychlostech větru. Při vyšších rychlostech větru pak zejména z jihovýchodu, ze směru blízké dálnice D1.



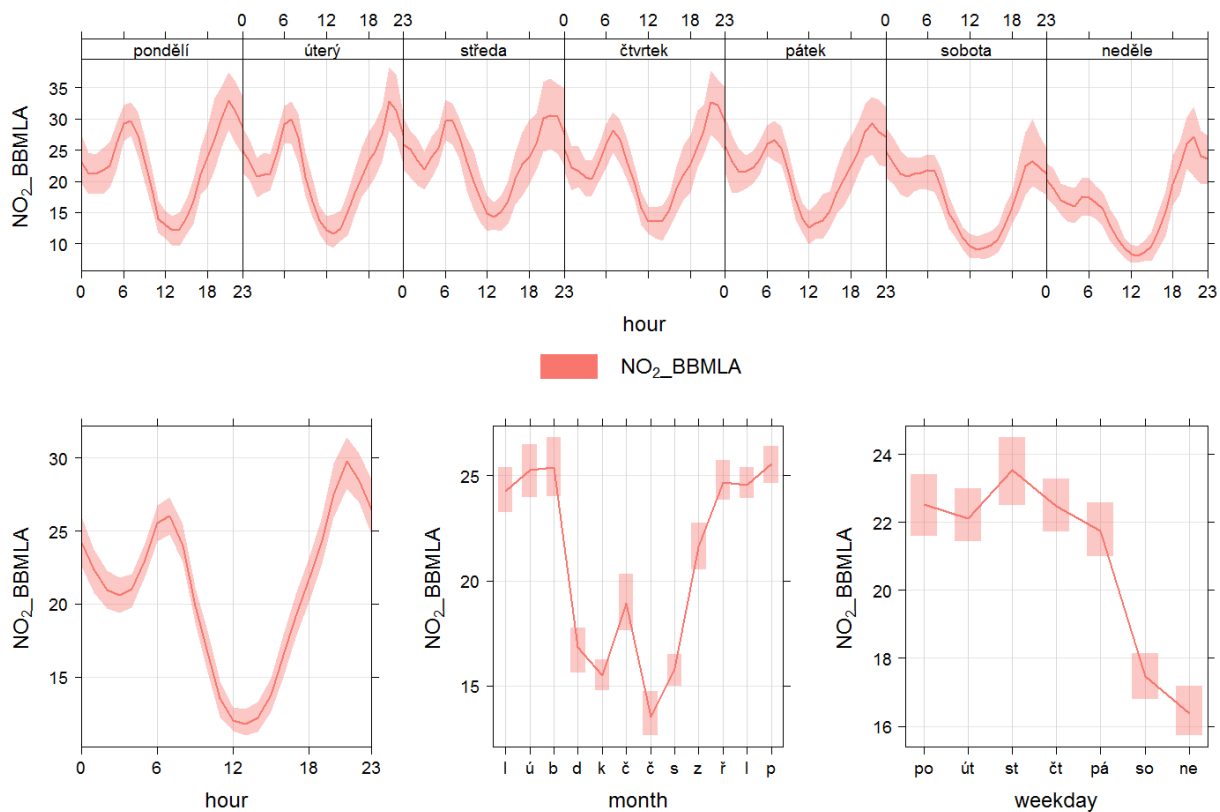
Obrázek 237 - koncentrační růžice NO_2 pro stanici Brno-Lány za rok 2021.

V dlouhodobém srovnání je patrné, že stejně jako v případě růžic pro PM, je i zde jasný pokles rychlosti větru (růžice v posledních letech srovnávaného období jsou více soustředěné u středu) a zároveň snižování koncentrací NO_2 dlouhodobě.



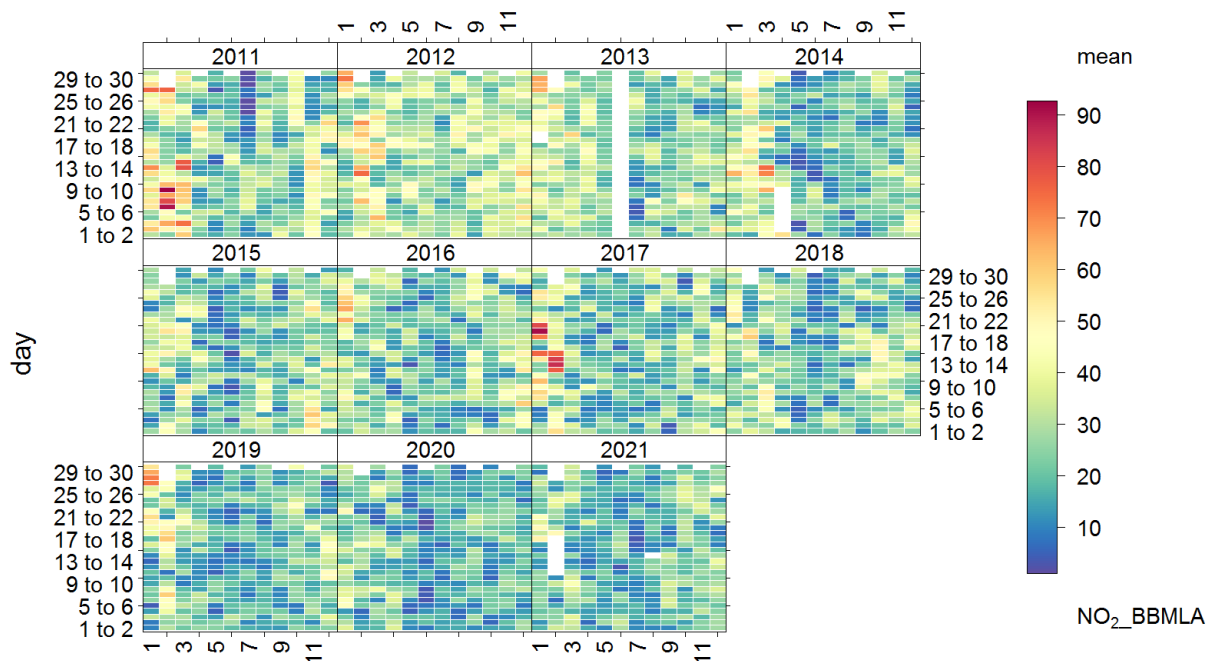
Obrázek 238 - koncentrační růžice NO₂ pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Lány.

Přestože je stanice Brno-Lány předměstskou pozadořovou stanicí, do značné míry vykazuje chování stanic dopravních, a to zejména kvůli nedaleké nejrušnější české dálnici D1. Z týdenního trendu je tedy patrný výraznější rozdíl mezi pracovními dny a dny víkendovými. V denním průběhu je zajímavé, že ranní špička zde sice je patrná, ale nejvyšších hodnot je dosahováno ve večerních hodinách. Zde se pravděpodobně podepisuje fakt, že ve večerních hodinách klesá rychlost větru a odpolední špička z dálnice se zde projevuje více, protože se NO₂ pomaleji rozptyluje.



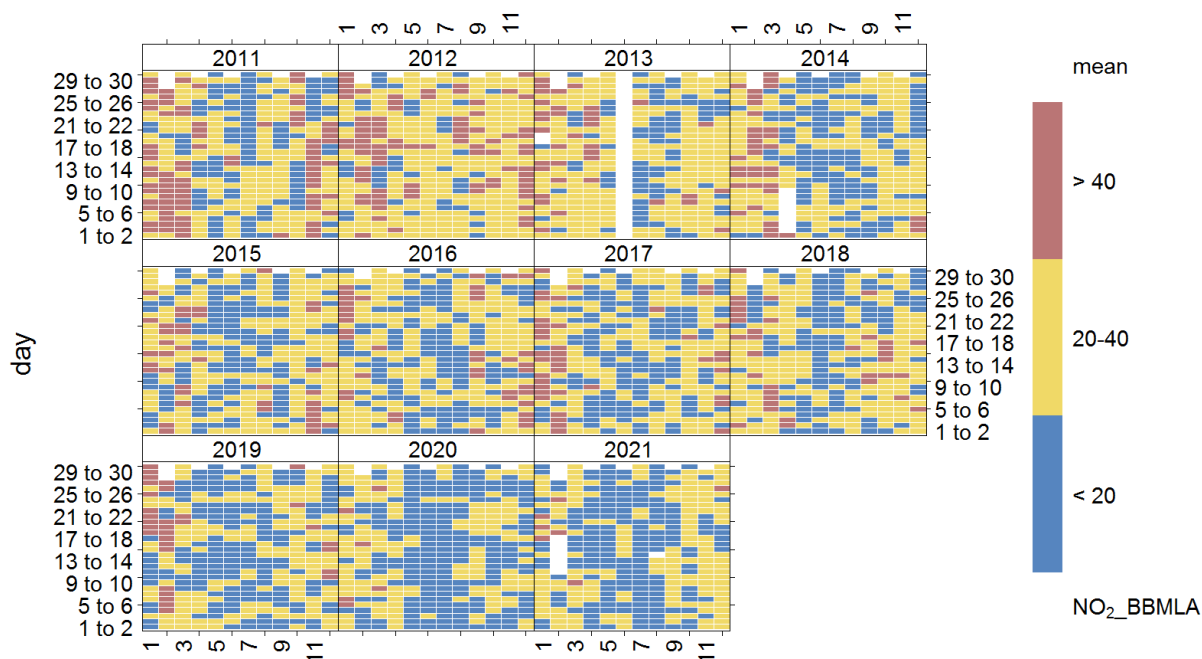
Obrázek 239 - denní, týdenní a roční chod koncentrací NO₂ na stanici Brno-Lány v roce 2021.

Heatmapa průměrných denních koncentrací NO₂ na stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 ukazuje na postupné snižování koncentrací NO₂ na stanici obecně. Dny s nejvyššími koncentracemi, což v případě této stanice odpovídá hodnotám kolem 80 až 90 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nebyly v roce 2020 a 2021 pozorovány vůbec. Výrazněji pak zejména na začátku roku 2017, což souviselo s plošně výrazně zhoršenou kvalitou ovzduší vzhledem k velmi špatným rozptylovým podmínkám, což na začátku roku 2017 vedlo i k vyhlášení smogové situace.



Obrázek 240 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

V případě heatmapy s kategoričnou škálou je dobře patrný velmi vysoký podíl modře zbarvených dní (dny s průměrnou denní koncentrací nižší než 20 µg.m⁻³), nejvyšší podíl těchto dní je patrný v letech 2020 a 2021.



Obrázek 241 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Lány za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

BRNO-ZVONAŘKA

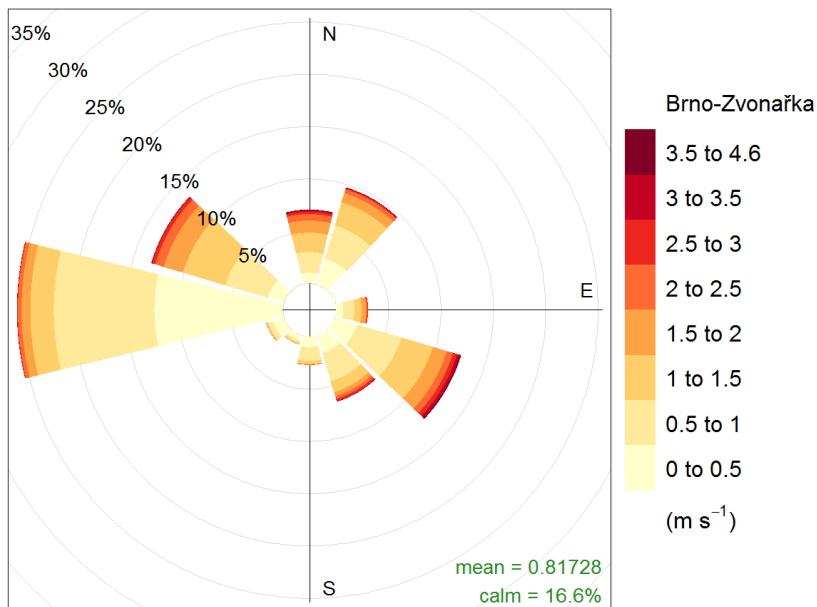
Stanice Brno-Zvonařka byla až do září 2018 stanicí městskou dopravní. Vzhledem k velmi intenzivnímu rozvoji této části města na jižním centru Brna a s ním související velmi rozsáhlou stavební činností v této lokalitě, byla tato stanice od září 2018 překlasifikována na stanici městskou průmyslovou. Stavební činnost je z pohledu hodnocení kvality ovzduší považována za průmyslovou aktivitu.

V souvislosti s touto stavební činností byly na stanici pozorovány nárazově extrémně vysoké koncentrace PM_{10} . Stavební činnost, zejména pak různé formy demolice, produkuje obrovskou spoustu částic, a to především větších, tedy frakce PM_{10} . Velmi podrobně se vlivu stavebních prací na kvalitu ovzduší na stanici Brno-Zvonařka věnovala studie ČHMÚ z roku 2019, jejímž zadavatelem byl rovněž Jihomoravský kraj (Brzezina J. & Antošová Š., 2019). Celoroční průměr koncentrací PM_{10} byl na této stanici stavební činností ovlivněn natolik, že byl dokonce nejvyšší v České republice a převýšil stanice v Moravskoslezském kraji, kde jsou koncentrace PM_{10} dlouhodobě nejvyšší.

V tomto směru je však nutné zdůraznit, že tyto velmi vysoké koncentrace jsou pouze velmi lokální a nelze je vztahovat plošně na celé Brno, ani jeho větší část. Dobrým důkazem toho je stanice Brno-Výstaviště, která se nachází jen o 3 km dále, a dokonce je umístěna u totožné dopravní komunikace. Zde však jsou koncentrace výrazně nižší a výrazně nižší byl v roce 2020 i počet překročení 24h imisního limitu pro částice PM_{10} , na stanici Brno-Výstaviště bylo překročení přesně desetinasobně méně (50 na stanici Brno-Zvonařka vs. 5 na stanici Brno-Výstaviště).

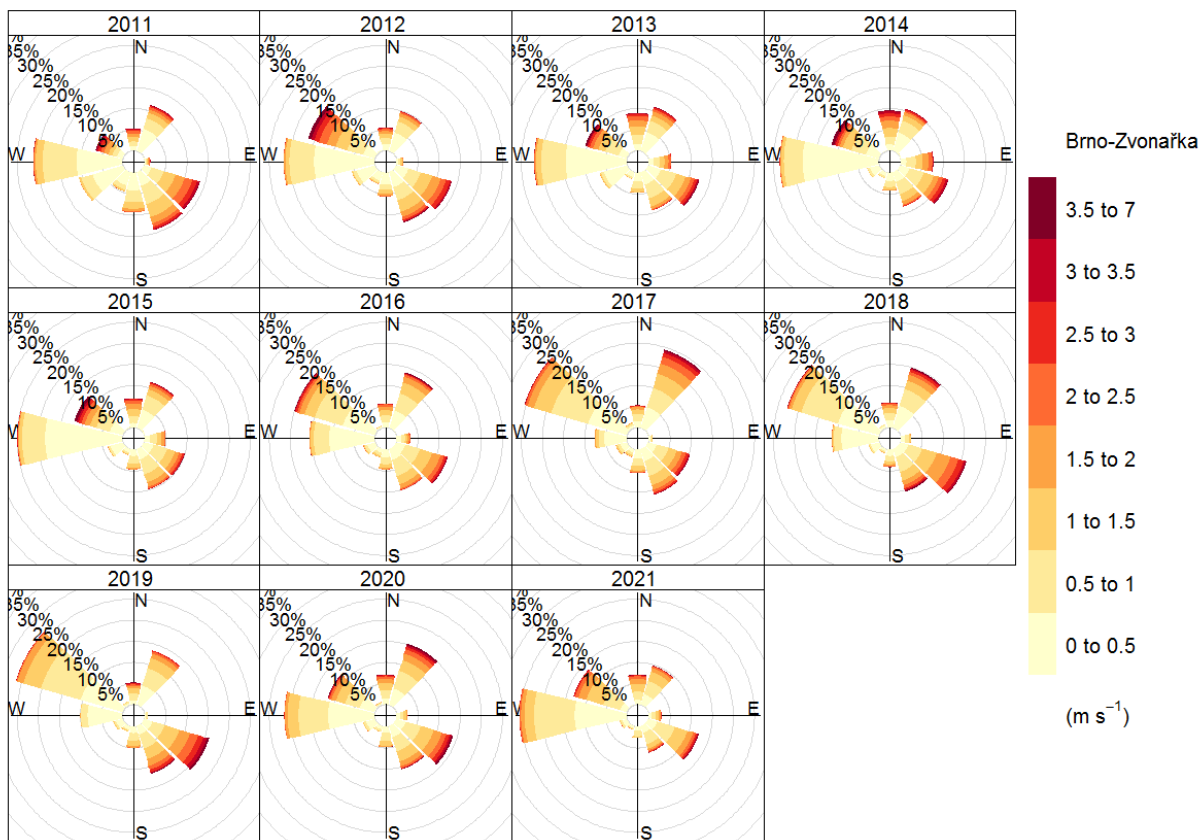
Vzhledem k nesplnění podmínky dostupnosti dat koncentrací částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou pro tuto stanici hodnoceny pouze koncentrace oxidu dusičitého.

Následující větrná růžice ukazuje distribuci směrů větru v průběhu roku 2021.



Obrázek 242 - větrná růžice pro stanici Brno-Zvonařka z dat o rychlosti a směru větru za rok 2021.

Dominuje zde proudění ze západního a jihovýchodního směru. Následující větrné růžice pak ukazují průběh směru a rychlostí větru na této stanici za období 2011-2021.

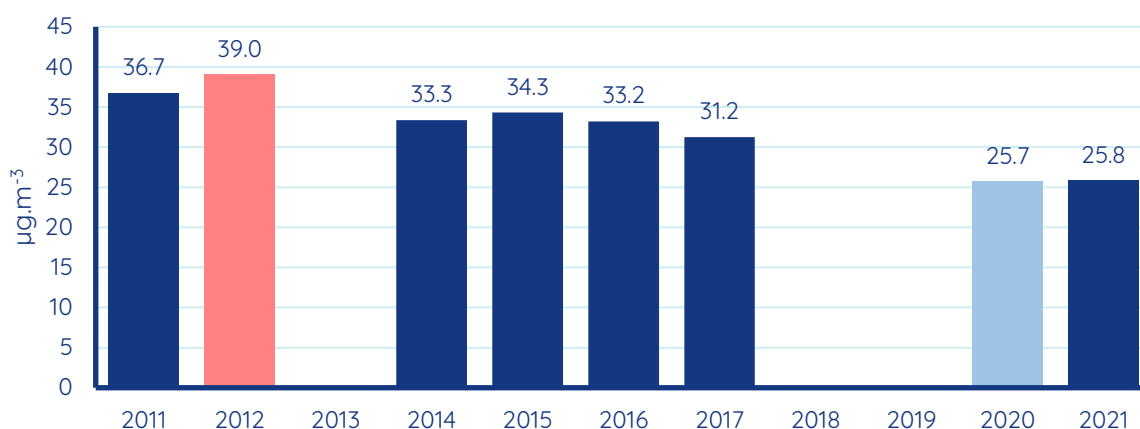


Obrázek 243 - větrné růžice pro stanici Brno-Zvonařka v jednotlivé roky období 2011 až 2021.

OXID DUSIČITÝ

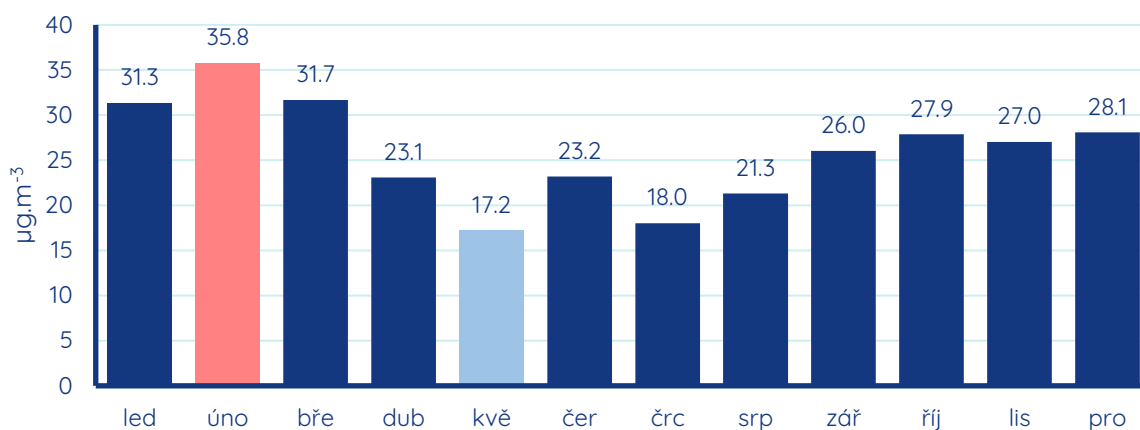
Dlouhodobý vývoj průměrných ročních koncentrací NO₂ na stanici Brno-Zvonařka ukazuje následující sloupcový graf. Koncentrace v roce 2021 byly téměř shodné s rokem 2020 a v celkovém srovnání velmi nízké. Obecně je patrný relativně výrazný sestupný trend koncentrací NO₂ na této stanici.

Imisní limit pro roční průměrnou koncentraci nebyl na stanici Brno-Zvonařka překročen v žádném roce, avšak v roce 2012 byly průměrné roční koncentrace těsně pod hraniční hodnotou imisního limitu.



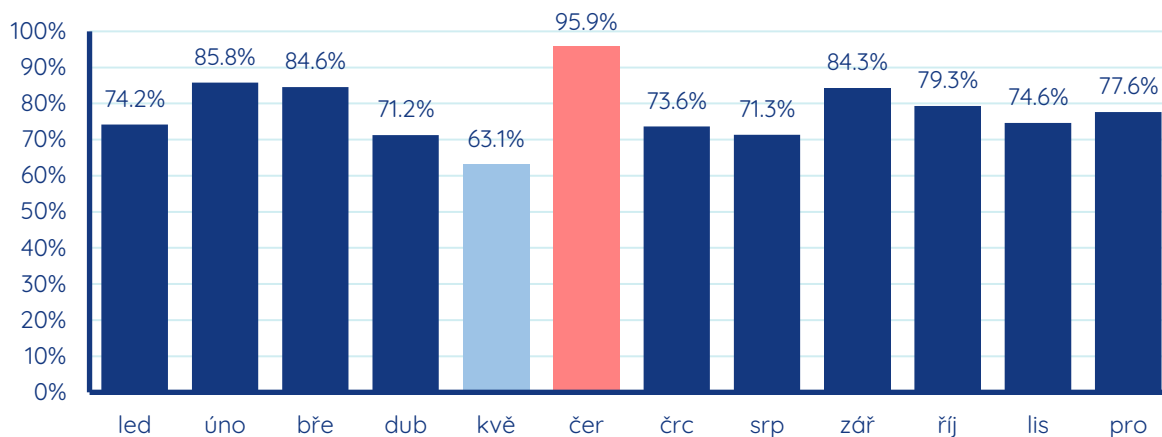
Obrázek 244 - průměrné roční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Zvonařka za období 2011 až 2021.

Vývoj koncentrací NO₂ v průběhu roku 2021 ukazuje graf průměrných měsíčních koncentrací NO₂ pro tuto stanici. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace byla naměřena v únoru, nejnižší v květnu.



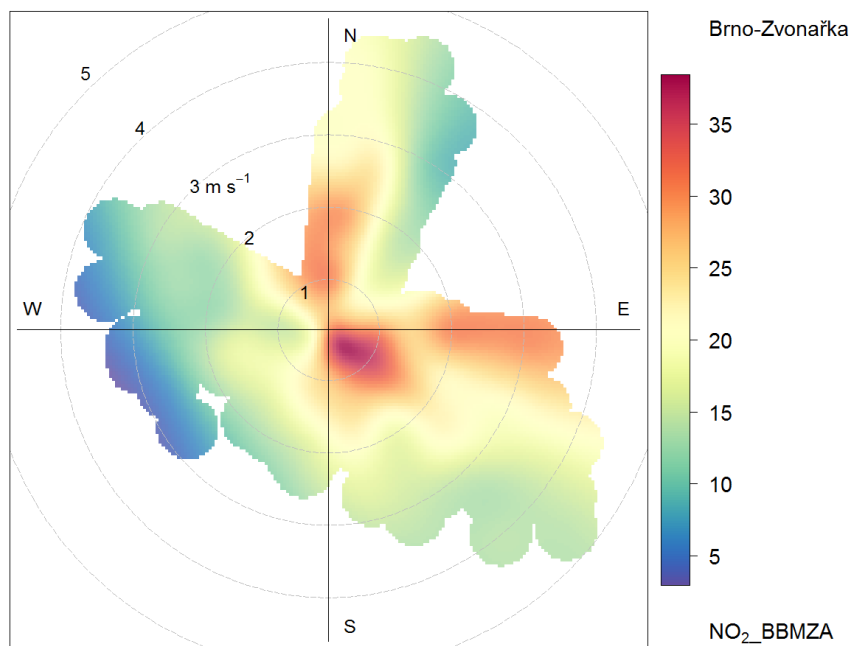
Obrázek 245 - průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Zvonařka za rok 2021.

Poměr průměrných měsíčních koncentrací NO₂ v roce 2021 na stanici Brno-Zvonařka vůči desetiletému průměru 2011-2020 ukazuje následující graf. Ve všech měsících roku 2021 byly průměrné koncentrace NO₂ nižší, než je desetiletý průměr pro daný měsíc. Nejvyšší byly poměrově v červnu (96 %), naopak v květnu to bylo jen 63 %.



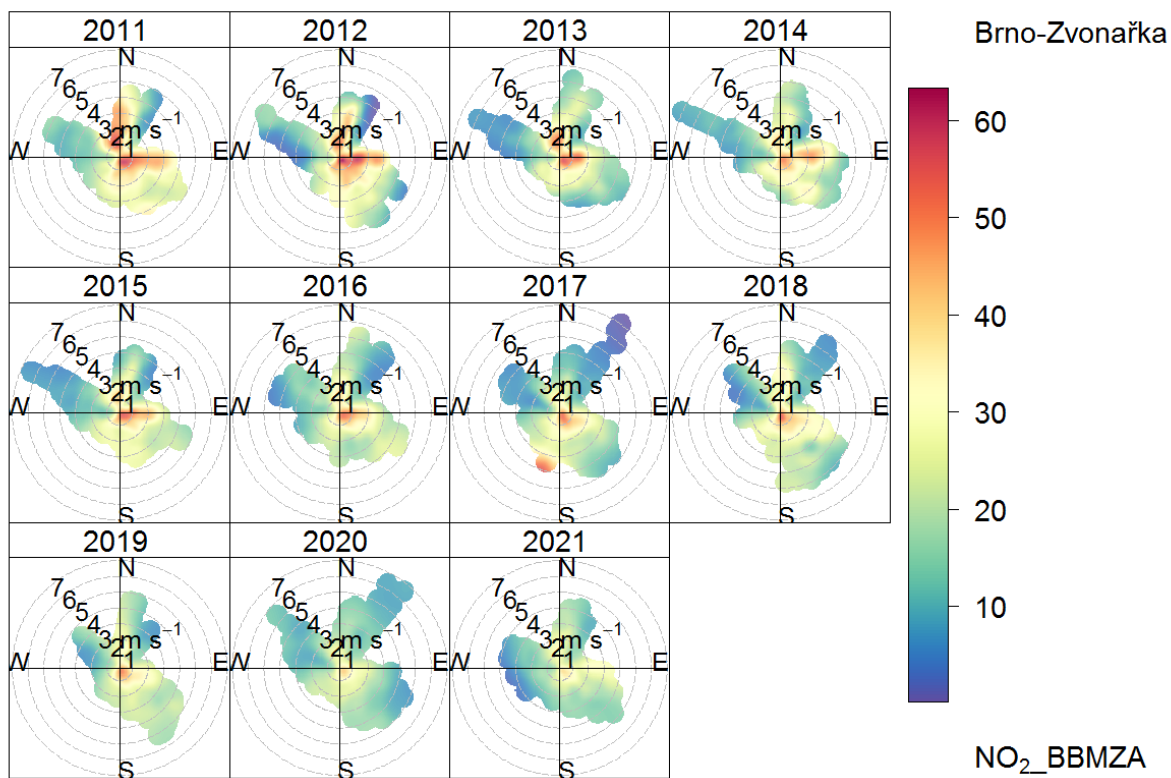
Obrázek 246 - podíl průměrné měsíční koncentrace NO₂ na stanici Brno-Zvonařka v roce 2020 z průměrné měsíční koncentrace pro daný měsíc a stanici za období 2010-2019.

Koncentrační růžice pro NO₂ na stanici Brno-Zvonařka za rok 2021 ukazuje nejvyšší hodnoty koncentrací při nízké rychlosti větru a jihovýchodním proudění – tedy ze směru přiléhající vozovky.



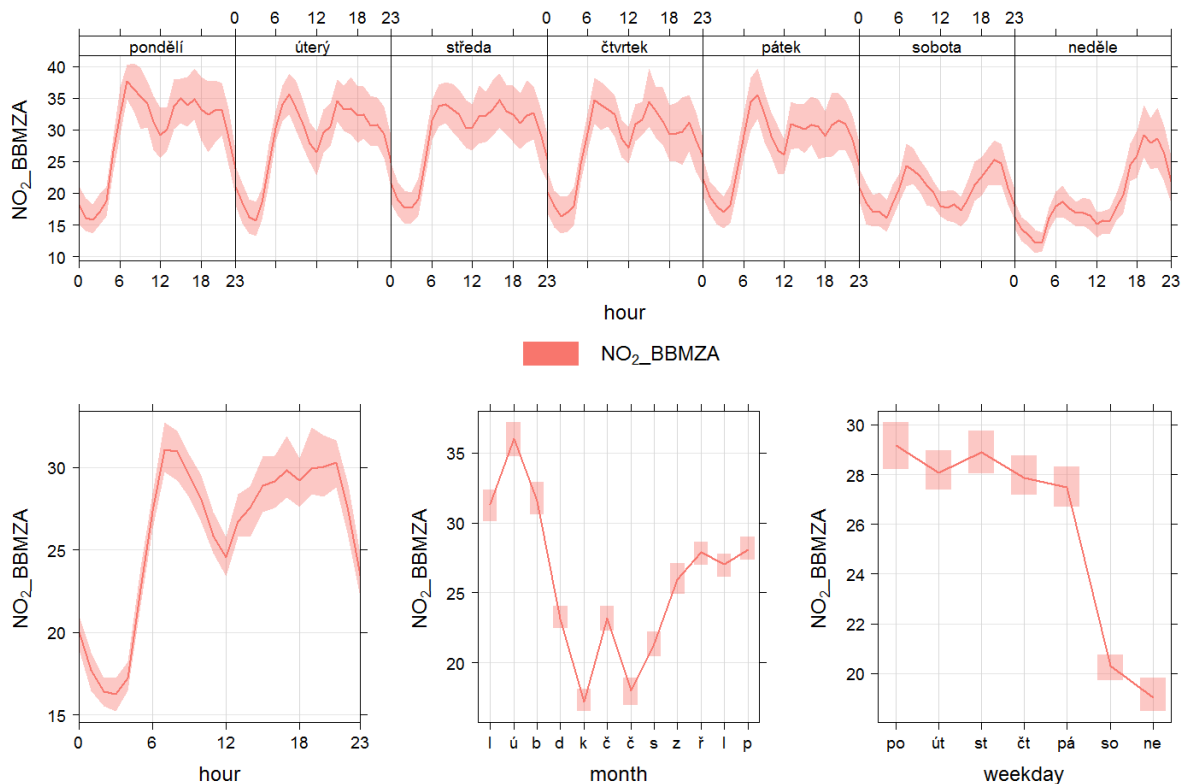
Obrázek 247 - koncentrační růžice NO₂ pro stanici Brno-Zvonařka za rok 2021.

Z dlouhodobého pohledu, jak ukazuje následující průběh koncentračních růžic pro jednotlivé roky 2011 až 2021, dochází k výraznému poklesu koncentrací NO_2 na této stanici. Oranžové až červené odstíny, které v tomto případě reprezentují hodnoty kolem 50 až $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejsou v roce 2021 zastoupeny vůbec.



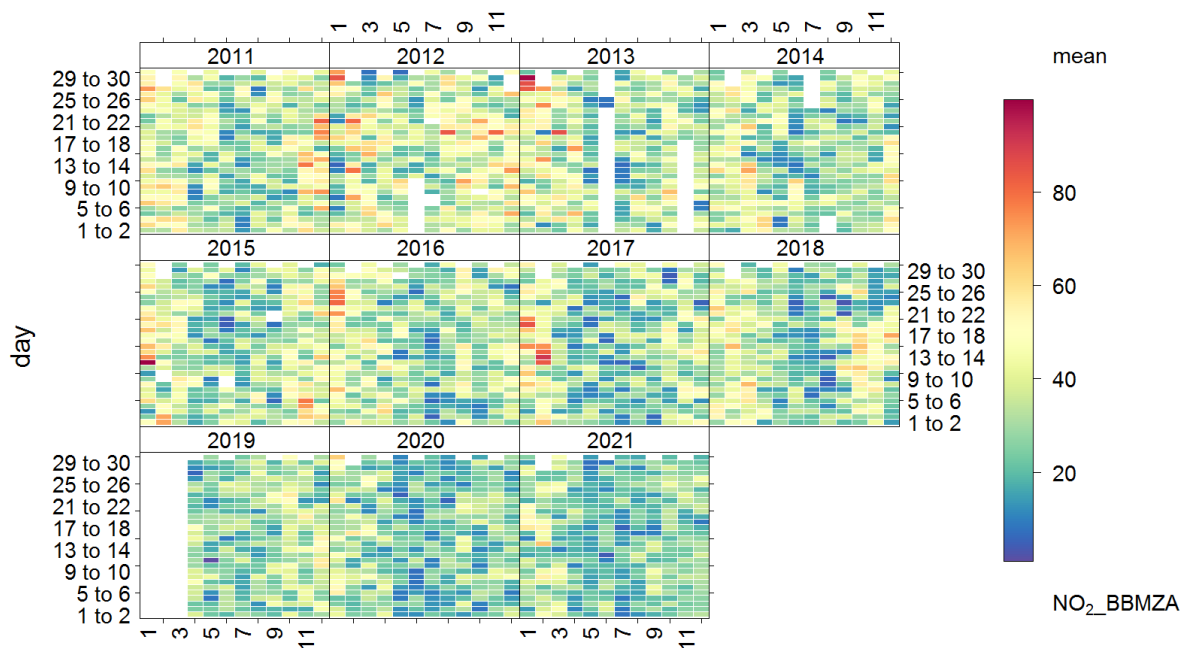
Obrázek 248 - koncentrační růžice NO_2 pro jednotlivé roky období 2011 až 2021 pro stanici Brno-Zvonařka.

Přestože je formálně stanice od září 2018 stanicí průmyslovou, v případě NO_2 , na které nemají stavební práce takový vliv, zůstává tato stanice svým charakterem stanicí dopravní, kterou byla do roku 2018. Je zde velmi dobře patrný rozdíl mezi pracovními dny a víkendy, výrazná je zde ranní špička i odpolední špička.



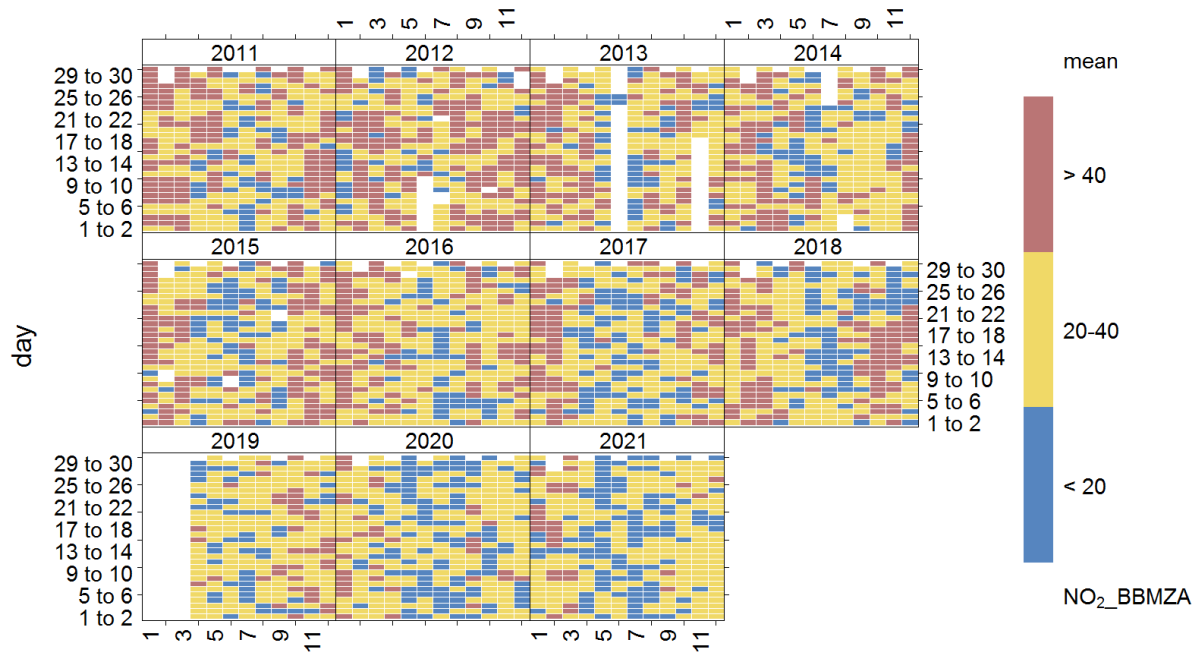
Obrázek 249 - denní, týdenní a roční chod koncentrací NO₂ na stanici Brno-Zvonařka v roce 2021.

Heatmapa průměrných denních koncentrací NO₂ ukazuje, že od roku 2018 již na stanici nebyly pozorovány tak vysoké koncentrace, jako na začátku srovnávaného období (oranžové až červené odstíny, 80 až 100 µg.m⁻³).



Obrázek 250 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO₂ pro stanici Brno-Zvonařka za období 2011 až 2021 s využitím gradientní škály.

Jak ukazuje následující heatmapa, zatímco v letech 2011 až 2018 nebyly dny s průměrnou denní koncentrací NO_2 nad $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ výjimkou, v roce 2019 až 2021 bylo těchto dní výrazně méně.



Obrázek 251 - heatmapa koncentrací průměrných denních koncentrací NO_2 pro stanici Brno-Zvonařka za období 2011 až 2021 s využitím kategoričké škály.

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.

Alizadeh T, Amjadi S. Preparation of nano-sized Pb²⁺ 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. & Antošová Š. Brno-Zvonařka – vyhodnocení kvality ovzduší 9/2018–2/2019. Český hydrometeorologický ústav. 2019. Dostupné online: <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=389107&TypeID=61>.

Brzezina J. & Schreiberová M. Kvalita ovzduší na území České republiky během nouzových stavů. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. 2020. Český hydrometeorologický ústav. Ročenka. Příloha II. Dostupné online na <https://info.chmi.cz/rocenka/ko2020/appendix2.php>

De Santis, D., Petracca, I., Corradini, S., Guerrieri, L., Picchiani, M., Merucci, L., ... & Schiavon, G. (2021, July). Volcanic SO₂ 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.

Friberg L. Cadmium in the Environment: 0. CRC press; 2017 Dec 22.

Grant, L., & Schneider, T. (Eds.). (2013). Air pollution by nitrogen oxides. Elsevier.

Guerreiro, C. B. B., Horálek, J., de Leeuw, F., & Couvidat, F. (2016). Benzo (α) pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects. *Environmental pollution*, 214, 657-667.

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.

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 (SO₂) on growth and physiological activity in *Alnus sieboldiana* at Miyakejima Island in Japan. *Ecological research*, 29(1), 103-110.

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.

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 PM₁₀, NO₂, and O₃ 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.

Křůmal K., Mikuška P., Večeřa Z. Využití organických markerů pro identifikaci zdrojů atmosférických aerosolů. *Chemické listy*. 2012; 106: 95-103.

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.

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.

Skeřil R. Měření kvality ovzduší v malých obcích v topné sezoně 2017. Český hydrometeorologický ústav. 2018. Dostupné z <https://m.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=361865&TypeID=61>

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, B., Tang, Z., Li, Y., Cai, N., & Hu, X. (2021). Experiments and simulations of human walking-induced particulate matter resuspension in indoor environments. Journal of Cleaner Production, 295, 126488.

Wang, X., Xu, Z., Su, H., Ho, H. C., Song, Y., Zheng, H., ... & Cheng, J. (2021). Ambient particulate matter (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and childhood pneumonia: the smaller particle, the greater short-term impact?. *Science of The Total Environment*, 772, 145509.

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.

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.