

Ovzduší pod lupou na Vysočině

Adéla Holubová Šmejkalová, Jáchym Brzezina,
Markéta Schreiberová, Adriana Šindelářová,
Zuzana Vránová



Spolufinancováno
Evropskou unií

STRATEGICKÝ PLÁN SZP 

Ovzduší pod lupou na Vysočině

RNDr. Adéla Holubová Šmejkalová, Ph.D.

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.

RNDr. Markéta Schreiberová

Ing. Adriana Šindelářová

Ing. Zuzana Vránová

Praha 2026


**Český
hydrometeorologický
ústav**

Autorský kolektiv:

RNDr. Adéla Holubová Šmejkalová, Ph.D. – Český hydrometeorologický ústav, Observatoř Košetice, Kramolín 25, 395 01 Křešín-Kramolín

Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D. – Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

RNDr. Markéta Schreiberová – Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany

Ing. Adriana Šindelářová – Český hydrometeorologický ústav, Observatoř Tušimice, Tušimice 6, 432 01 Kadaň

Ing. Zuzana Vránová – Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

Obsah

Úvod	5
1. Měření dat, tvorba map a zákonné limity	6
1.1 Základní princip tvorby map	6
1.2 Mapy Kraje Vysočina v této publikaci	7
1.3 Kraj Vysočina – stručná charakteristika	7
1.4 Zákonné imisní limity	7
2. Aerosolové částice.....	9
2.1 Hmotnostní koncentrace.....	9
2.2 Chemické složení aerosolových částic – Těžké kovy	23
2.3 Chemické složení aerosolových částic – Perzistentní organické látky – Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), Benzo[a]pyren.....	24
3. Plynné polutanty.....	28
3.1 Oxid siřičitý (SO_2).....	28
3.2 Oxidy dusíku (NO_x).....	33
3.3 Přízemní ozon (O_3)	39
3.4 Volatilní organické látky – VOC, Benzen.....	44
4. Případové studie z Observatoře Košetice.....	46
4.1 Observatoř Košetice.....	46
4.2 Případová studie z Observatoře Košetice	47
Závěrem.....	50
Použité zdroje informací	51



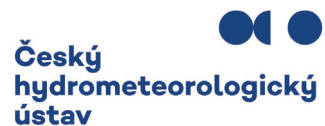
**Spolufinancováno
Evropskou unií**

STRATEGICKÝ PLÁN SZP



LEADER

Rozvoj realizovaný místními komunitami



Tento projekt „Klimatické a environmentální dopady změn kvality ovzduší na vybraném území Kraje Vysočina v čase“ je spolufinancován Evropskou unií.

Úvod

Publikace „Ovzduší pod lupou na Vysočině“ představuje široké veřejnosti srozumitelným způsobem téma kvality ovzduší. Dobrá kvalita ovzduší je jedním z nejdůležitějších parametrů pro hodnotný život.

Dýchání je životně důležité nejen pro člověka, ale také pro živočichy a rostliny. Proto by čistý vzduch a zajištění jeho kvality mělo být prioritou každého z nás. Kvalitu ovzduší totiž ovlivňujeme svým chováním každý den – způsobem, jakým topíme, druhem dopravy, který volíme na cestě do práce, školy, obchodu či volnočasově, i skrze produkty, které používáme.

Pojďme si to ukázat na příkladu z jednoho běžného rána. Než vyrazíme za svými povinnostmi, vstaneme a uvaříme si čaj. Konvice, kterou používáme, funguje na elektřinu, která může být vyráběna například uhelnou elektrárnou. Uhelná elektrárna spaluje uhlí – fosilní palivo, které do ovzduší uvolňuje znečišťující látky. Konvice byla vyrobena na jiném kontinentu a při výrobě plastů a elektronických součástek se opět do atmosféry uvolnily znečišťující látky z průmyslové výroby. Konvice byla k nám domů dopravena hned několika dopravními prostředky – lodí, nákladním autem, dodávkou či osobním vozem. Všechny tyto dopravní prostředky mají pravděpodobně spalovací motory na pohonné hmoty z fosilních paliv. Protože spalování těchto paliv probíhá nedokonale, při jejich využití se do ovzduší opět uvolňují znečišťující látky. To byl krátký příklad, jak naše aktivity působí na kvalitu ovzduší. Je na každém z nás, jak se rozhodneme ovzduší ovlivňovat a přispívat tak k jeho stavu.

Kromě plyných látek, které jsou součástí naší atmosféry a umožňují život na Zemi (78 % dusíku, 21 % kyslíku a 1 % vzácných a ostatních plynů), se ve vzduchu nacházejí i další látky. Přestože jsou v ovzduší zastoupeny ve velmi malém množství (0,058 % objemu – podmnožina 1 % vzácných a ostatních plynů), mohou zhoršovat kvalitu ovzduší a negativně působit na zdraví člověka, živočichů a rostlin – tedy celkově i na stav životního prostředí kolem nás.

Jaké látky to jsou? Jak vznikají a jaké mají dopady na životní prostředí? O tom všem se dočtete v této publikaci, která shrnuje obecné a teoretické informace o vybraných znečišťujících látkách a zaměřuje se na hodnocení kvality ovzduší v Kraji Vysočina.

V Kraji Vysočina se nachází významné odborné pracoviště specializující se na měření a výzkum kvality ovzduší a dalších jevů v atmosféře, a tím je Observatoř Košetice, která v této publikaci nezůstala opomenuta.

Pojďme společně zjistit, jaká je kvalita ovzduší na Vysočině – a to pořádně do detailu, pod lupou!

Publikace vznikla v rámci projektu Klimatické a environmentální dopady změn kvality ovzduší na vybraném území Kraje Vysočina v čase. Na projektu spolupracovaly Společnost pro rozvoj Humpolecka, z.s. Via rustica z.s. a Český hydrometeorologický ústav. Publikace vznikla s finanční podporou Evropské unie prostřednictvím Strategického plánu SZP na období 2023–2027.

1. Měření dat, tvorba map a zákonné limity

Měření kvality ovzduší v České republice provádí primárně Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) prostřednictvím Státní sítě imisního monitoringu, která pokrývá celé území republiky. Síť je nejhustší v oblastech s nejvyšším znečištěním a zahrnuje automatizované stanice měřící nepřetržitě v reálném čase i manuální stanice s odběrem vzorků pro podrobnou laboratorní analýzu.

Historie měření sahá až do roku 1957, přičemž nejvíce stanic bylo v provozu v 80. a 90. letech 20. století zejména kvůli snížené kvalitě ovzduší a dostupnému vybavení. Technologie se od té doby výrazně vyvinuly – zásadní modernizace vybavení proběhla v roce 2015, kdy bylo rozšířeno automatické měření do více lokalit, což přineslo podrobnější informace a lepší informovanost obyvatel. V následujících letech (2017–2018) byla obnovena speciální měřicí technika včetně citlivých analyzátorů pro pozadové stanice a v roce 2018 byla modernizována laboratorní technika pro stanovení organických látek.

Stanice jsou pečlivě klasifikovány podle typu (dopravní, průmyslová, pozadová), umístění (městská, předměstská, venkovská) a charakteru oblasti (obytná, průmyslová, přírodní). Tato klasifikace je klíčová pro správnou interpretaci naměřených dat. Síť monitoruje látky se zákonem stanovenými imisními limity a také další environmentálně významné látky, jako jsou například těkavé organické látky.

Klíčovým prvkem celého systému je důsledná kontrola kvality naměřených dat. Všechna data jsou ukládána do databáze ISKO (Informační systém kvality ovzduší). Kontrola dat probíhá ve dvou na sobě nezávislých krocích. První kontrolu provádějí přímo pracovníci ČHMÚ, kteří jsou zodpovědní za měření na konkrétních stanicích. Tito odborníci znají místní podmínky a dokážou posoudit, zda naměřené hodnoty odpovídají aktuální situaci v dané lokalitě. Kontrolují funkčnost přístrojů, správnost odběrů vzorků a průběžně sledují kvalitu měření. Druhá kontrola je prováděna specialisty oddělení ISKO pomocí pokročilého automatizovaného softwaru. Tento systém analyzuje všechna nahraná data a pomocí statistických metod a porovnání s historickými hodnotami označí „podezřelá data“ – tedy hodnoty, které se výrazně odchyľují od očekávaných parametrů. Tato podezřelá data jsou následně podrobena expertnímu

posouzení kvalifikovanými pracovníky. Pokud specialisté identifikují problematická data, dochází k jejich ověření či zjišťování příčiny odchylky. V případě potvrzení chyby jsou data opravena a znovu uložena do databáze. Tento dvoustupňový proces zajišťuje vysokou spolehlivost a přesnost všech publikovaných údajů.

Sběr dat a jejich hodnocení jsou prováděny s nejvyšší možnou pečlivostí. Kvalita měření přitom přirozeně odráží úroveň dostupných technologií a vědeckého poznání v době jejich pořízení. Tento fakt je třeba při hodnocení delších časových řad zohlednit.

1.1 Základní princip tvorby map

Mapy znečištění ovzduší v České republice vznikají kombinací naměřených hodnot na stanicích a modelových dat. Mapy jsou vytvářeny v prostředí geografických informačních systémů s rozlišením 1 × 1 km.

Celý proces tvorby map probíhá ve třech na sebe navazujících krocích. V prvním kroku dochází k oddělení mapování podle typu území. Městské a venkovské znečištění má totiž odlišný charakter, proto se vytvářejí samostatné mapové vrstvy. Venkovská vrstva využívá data z pozadových venkovských stanic, zatímco městská vrstva pracuje s daty z městských a předměstských pozadových stanic. U některých látek, konkrétně PM_{10} , $PM_{2.5}$ a NO_2 , se vytváří i speciální dopravní vrstva pro zachycení vlivu dopravy na znečištění ovzduší.

Ve druhém kroku následuje prostorová interpolace dat. Pro odhad koncentrací mezi měřicími stanicemi se používá lineární regresní model doplněný prostorovou interpolací. Využívají se přitom dvě metody – IDW (Inverse Distance Weighting) a kriging, které umožňují odhadnout hodnoty i v místech, kde se nenachází měřicí stanice.

Třetí krok představuje sloučení mapových vrstev. Venkovská a městská vrstva se spojí pomocí gridu populační hustoty – v hustě obydlených oblastech převažuje měst-

ská vrstva, v řídce osídlených venkovská. Pokud existuje dopravní vrstva, přičte se k městské pozadové vrstvě podle gridu emisí z dopravy, čímž vznikne finální mapa znečištění.

Pro doplnění měřených dat se používají tři hlavní sofistikované modely. Model CAMx je pokročilý trojrozměrný model, který počítá rozptyl látek, jejich chemické reakce a depozici v atmosféře. Model SYMOS je jednodušší gaussovský model, který počítá průměrné roční koncentrace primárních látek. Třetím zdrojem je ansámbl CAMS, což je soubor evropských modelů poskytující navíc předpověď kvality ovzduší.

Při tvorbě map je nutné počítat s nejistotami, které ovlivňují přesnost výsledků. Omezený počet měřicích stanic znamená, že interpolace mezi stanicemi může přehlédnout lokální zdroje znečištění. Nejistoty v modelech vyplývají ze zjednodušení reality – například některé modely počítají s přímočarým šířením znečištění, což neodpovídá složitému proudění vzduchu v hornatém terénu.

Přes všechny tyto nejistoty poskytují mapy nejlepší dostupný odhad prostorového rozložení znečištění ovzduší na celém území České republiky. Kombinují přesnost skutečných měření s komplexním pokrytím území pomocí modelů. Sběr dat a jejich hodnocení probíhají s využitím nejmodernějších dostupných metod a technologií, přičemž kvalita se s rozvojem měřicí techniky a modelů průběžně zvyšuje.

1.2 Mapy Kraje Vysočina v této publikaci

Plošné mapy znečištění vytvořené pro tuto publikaci ukazují, jak se v čase měnila úroveň znečištění ovzduší vybranými látkami v Kraji Vysočina. Většina map zobrazuje pětileté průměry za období 2005–2009, 2010–2014, 2015–2019 a 2020–2024. Použití pětiletých průměrů umožňuje lépe zachytit dlouhodobý vývoj kvality ovzduší, protože omezuje vliv rozdílných meteorologických podmínek mezi jednotlivými roky. V některých případech nebylo kvůli nedostatku dat možné vytvořit mapy pro všechna období, konkrétně u benzo(a)pyrenu pro období 2005–2009 a 2010–2014 a u $PM_{2.5}$ pro období 2005–2009. Mapy přízemního ozonu jsou založeny na tříletých průměrech 26. nejvyšší osmihodinové koncentrace.

U většiny znečišťujících látek jsou mapy založeny na ročním průměru koncentrací. U PM_{10} je navíc hodnocena také 36. nejvyšší 24hodinová koncentrace, která vychází

z limitní hodnoty $50 \mu g \cdot m^{-3}$. Tento limit může být překročen maximálně 35krát za rok, a proto 36. nejvyšší hodnota dobře ukazuje oblasti, kde dochází k častému výskytu zvýšených koncentrací. U SO_2 jsou mapy zpracovány jako pětileté průměry 4. nejvyšší denní koncentrace. Vzhledem k dlouhodobě nízkým koncentracím SO_2 byla pro tyto mapy použita odlišná zelená barevná škála, aby nemohlo dojít k mylnému dojmu, že dochází k překračování imisních limitů. U ostatních map je použita barevná škála od žluté, která označuje nejprůběžnější stav, po hnědou, která značí nejvyšší úroveň znečištění. Červená barva u většiny map upozorňuje na překročení imisního limitu nebo na hodnoty, které se k limitu výrazně přibližují.

1.3 Kraj Vysočina – stručná charakteristika

Kraj Vysočina se rozkládá na ploše 6 796 km², což z něj činí čtvrtý největší kraj v České republice. S hustotou zalidnění 76 obyvatel na km² se řadí na třetí místo mezi kraji s nejnižším počtem obyvatel na jednotku plochy. Průměrná nadmořská výška dosahuje 517 metrů nad mořem, díky čemuž je Vysočina třetím nejvýše položeným krajem v ČR. Tyto geografické charakteristiky významně přispívají k čistotě ovzduší. Díky nízké průmyslové zátěži, převážně venkovskému rázu krajiny a vyšší nadmořské výšce, která podporuje proudění vzduchu, patří Vysočina mezi pět krajů s nejčistším ovzduším v České republice, a to dlouhodobě. Nejvýznamnějším zdrojem znečištění je lokální vytápění domácností.

1.4 Zákoné imisní limity

Klíčovým právním rámcem pro řízení a ochranu kvality ovzduší je zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a vyhláška č. 330/2012 Sb. Uvedený zákon stanovuje imisní limity včetně jejich maximální frekvence překročení. Limity pro znečišťující látky v ovzduší slouží k ochraně lidského zdraví a zdraví ekosystémů. Překročení limitů je ukazatelem nevyhovující kvality ovzduší, a to znamená, že v těchto oblastech je nutné zavést opatření, která přispějí ke zlepšení kvality ovzduší. V praxi může jít například o omezení vjezdu vozidel, která výrazně znečišťují ovzduší, podporu veřejné dopravy nebo zavádění nízkoe emisních zón. Dalším opatřením je výměna starých kotlů a důslednější

kontrola lokálních topenišť. V průmyslu se uplatňují účinnější filtrační technologie a při smogových situacích může docházet i k omezení provozu některých zdrojů. V zemědělství se pozornost zaměřuje například na snižování prašnosti a lepší nakládání s hnojivy.

Překročení limitů na ochranu vegetace se vyhodnocuje především v národních parcích a chráněných krajinných oblastech (CHKO). V Kraji Vysočina se toto hodnocení týká CHKO Žďárské vrchy.

Podíl území CHKO Žďárské vrchy, na němž dochází k překročení imisních limitů, se v jednotlivých letech výrazně mění. Například v období 2004–2010 bylo nadlimitními hodnotami stanovenými pro AOT40* zasaženo 34 až 100 % území CHKO. V letech

Tab. 1 Přehled imisních limitů pro ochranu zdraví lidí podle zákona č. 201/2012 Sb. a vyhlášky č. 330/2012 Sb.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Hodnota imisního limitu [µg·m ⁻³]
SO ₂	1 hodina	350
		max. 24× za rok
	24 hodin	125
		max. 3× za rok
NO ₂	1 hodina	200
		max. 18× za rok
	kalendářní rok	40
CO	maximální denní 8hodinový klouzavý průměr	10 000
benzen	kalendářní rok	5
PM ₁₀	24 hodin	50
		max. 35× za rok
	kalendářní rok	40
PM _{2,5}	kalendářní rok	20
olovo (Pb)	kalendářní rok	0,5
arsen (As)	kalendářní rok	0,006
kadmium (Cd)	kalendářní rok	0,005
nikl (Ni)	kalendářní rok	0,020
benzo[a]pyren	kalendářní rok	0,001
O ₃	maximální denní 8hodinový klouzavý průměr	120
		25× v průměru za 3 roky

2011–2017 naopak nebyly překročeny nadlimitní hodnoty AOT40. V letech 2018 a 2019 přesahoval podíl území s nadlimitními hodnotami 90 % rozlohy CHKO. V posledním hodnoceném roce 2024 však překročení limitu AOT40 zjištěno nebylo.

Tab. 2 Přehled imisních limitů pro ochranu ekosystémů a vegetace podle zákona č. 201/2012 Sb. a vyhlášky č. 330/2012 Sb.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Hodnota imisního limitu [µg·m ⁻³] (pro AOT40 [µg·m ⁻³ ·h])
SO ₂	rok a zimní období (1. 10.–31. 3.)	20
NO _x	kalendářní rok	30
O ₃	AOT40*	18 000

* AOT40 je součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací větší než 80 µg·m⁻³ (= 40 ppb) a hodnotou 80 µg·m⁻³ v dané periodě s užitím pouze hodinových hodnot změřených každý den mezi 08:00 a 20:00 SEČ, vypočtený z hodinových hodnot v letním období (1. 5.–31. 7.).

2. Aerosolové částice

Atmosférické aerosolové částice (AA) jsou pevné a kapalné částice, které jsou suspendovány (rozptýleny) v atmosféře, a jejich existence v tomto prostředí je tedy časově omezená v rozpětí od několika hodin po týdny. Tyto částice dosahují velikostí v rozmezí od 1 nm do 100 μm . Pouhým okem nejsou viditelné, ale jsou významné pro náš život. Přítomnost těchto částic v atmosféře totiž zabezpečuje oběh vody na planetě (slouží jako kondenzační jádra pro vznik vodních kapek a oblaků), který je podmínkou života na Zemi, nebo například ovlivňují distribuci přichozího slunečního záření (mohou sluneční záření pohlcovat a/nebo rozptylovat), čímž ovlivňují mimo jiné klimatické podmínky. Množství aerosolových částic navíc také ovlivňuje dohlednost a může mít negativní vliv na lidské zdraví.

Atmosférické aerosoly lze klasifikovat podle různých kritérií, které souvisejí s jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi – například dle velikosti, mechanismu vzniku či chemického složení. Dále lze AA dělit dle jejich účinku na lidské zdraví. **Dle velikosti** AA dělíme na **jemné částice** (o velikosti do 2,5 μm) a **hrubé částice** (nad 2,5 μm), nebo podrobněji podle tzv. velikostních módů – nukleární mód (do 20 nm), Aitkenův mód (20–100 nm) a akumulární mód (nad 100 nm). Tyto velikostní skupiny zastřešují částice se stejnou či podobnou charakteristikou, jako je mechanismus vzniku, doba setrvání v atmosféře, vliv na klima a další. Dále je možné AA rozlišovat **podle mechanismu** jejich vzniku na **primární částice**, které jsou přímo emitovány (vypouštěny) do atmosféry, a **sekundární částice**. Ty vznikají chemickými reakcemi až po rozptýlení v atmosféře. Klasifikovat AA lze i dle zdroje vzniku, a to na AA **přírodního** či **lidského** původu. Rozdělení se prolínají a nejsou samostatné – charakterizovat částici lze tedy například jako jemnou primární částici přírodního původu.

Aerosolové částice se vyznačují nejen značnou variabilitou ve fyzikálních vlastnostech, ale také v chemickém složení. Chemické složení je ovlivněno faktory, jako jsou zdroje emisí, vlastnosti okolní atmosféry v místě vzniku částic a také procesy probíhající během jejich transportu v atmosféře (viz kapitola 3).

AA mohou mít negativní vliv na zdraví člověka. Pro možnosti stanovení ochranných zákonných norem (limitů) byly vybrány ty velikosti částic, které jsou schopny pronik-

nout do plic a působit závažné zdravotní komplikace a problémy. Jsou to částice o velikosti do 10 μm (PM_{10}) a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). PM_{10} mohou pronikat do horních (nosní dutina až hltan) a dolních cest dýchacích (průdušnice až průdušinky). Do nejhlubší části plic (plicních sklípků) se dostávají částice $\text{PM}_{2,5}$. Pro PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ existují zákonem stanovené imisní limity, které udávají limitní hodnotu v jednotce hmotnostní koncentrace (viz podkapitoly 1.4 a 2.1).

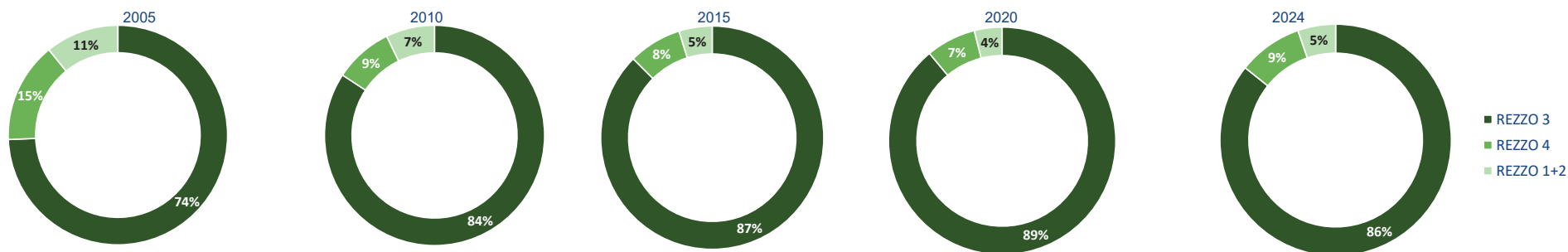
Koncentrace těchto i dalších zákonem stanovených látek jsou proto monitorovány v rámci Státní sítě imisního monitoringu Českého hydrometeorologického ústavu. Data jsou kontrolována, pravidelně hodnocena a v případě dlouhodobého překračování limitů musí být přijata opatření ke snížení koncentrací těchto látek.

2.1 Hmotnostní koncentrace

Zákonem stanovené imisní limity stanovují úroveň koncentrace PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$, při jejíž delší expozici může dojít k poškození zdraví jedince. Doba, za kterou k poškození zdraví může dojít, je individuální, záleží na zdravotním stavu, věku a citlivosti organismu jedince. Pro PM_{10} jsou stanoveny dva limity: 24hodinový průměr 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s maximálním množstvím překročení 35× za rok a roční průměr 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. $\text{PM}_{2,5}$ má pouze roční limit průměrné koncentrace, a to 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Limity se zpřísňují na základě nových vědeckých poznatků.

2.1.1 Zdroje

Jak již bylo řečeno, AA lze klasifikovat podle jejich zdrojů na AA přírodního nebo lidského původu. Aerosolové částice přírodního původu jsou nejen součástí přirozeného „pozadí“ (koncentrace AA není nikdy nulová), ale podílejí se také na zvýšených koncentracích v případě nenadálých událostí, jako jsou např. sopečné erupce a lesní požáry, nebo jsou součástí přirozených procesů (větrná eroze, rozptyl částecek solí



Obr. 2.1.1 Skladba emisí PM_{10} v Kraji Vysočina v letech 2005, 2010, 2015, 2020 a 2024. Kategorie REZZO 1 + 2: Zvláště velké a velké zdroje, například spalovací zařízení nad 5 MW tepelného příkonu, významné technologické procesy. Střední zdroje, spalování s příkonem 0,3 až 5 MW a méně významné technologie. REZZO 3: Malé zdroje, lokální topeniště do 0,2 MW, méně významné technologické procesy, skládky, lomy a další plošné zdroje. REZZO 4: Mobilní zdroje, jako jsou silniční, železniční, plavební a letecká doprava.

v přímořských oblastech). Aerosolové částice lidského původu mají široké spektrum zdrojů a na zvýšených koncentracích se mohou podílet buď celoročně (např. průmysl), nebo sezónně (např. zemědělská činnost, domácí vytápění).

Pro částice PM_{10} platí, že jejich hlavním zdrojem je lokální vytápění domácností pevnými palivy, které tvoří 2/3 celkových emisí těchto částic v České republice. Dalšími významnými producenty PM_{10} je např. zemědělská činnost (resp. polní práce), silniční doprava (především kvůli otěrům pneumatik a brzd), povrchová těžba nebo stavební práce.

Hlavním zdrojem částic $PM_{2,5}$ je podobně jako u PM_{10} lokální vytápění domácností pevnými palivy, ovšem u této velikostní frakce je jeho podíl vyšší – kolem 80 %. Protože částice $PM_{2,5}$ obecně nejčastěji pocházejí z různých spalovacích procesů, jejich dalšími významnými zdroji jsou průmysl, energetika a doprava.

Zdrojem AA v určitém přeneseném významu je tzv. resuspenze. Jedná se o zviření již usazených částic, nejedná se tedy o primární zdroj, který by přímo vypouštěl aerosolové částice. Uplatňuje se především v případě zemědělské činnosti nebo dopravy.

Aerosolové částice nemusí vždy pocházet z blízkých zdrojů, ale naopak se u nich může uplatňovat tzv. dálkový transport, kdy jsou částice unášeny na velké vzdálenosti až v řádu tisíců kilometrů (např. při přechodu kouřových vleček z požárů v Kanadě nad Evropou nebo při přechodu saharského písku nad Českou republikou). Tyto částice se

však běžně pohybují ve vyšších vrstvách troposféry (tzn. několik kilometrů nad zemí), a tudíž za normálních okolností nezvyšují koncentrace měřené pozemní sítí.

Dle registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) lze sledovat vývoj emisí za posledních 20 let. Struktura emisí PM_{10} na Vysočině byla podobná, dominovaly malé zdroje (domácí vytápění) s podílem 74–89 %. Doprava se na PM_{10} podílela v rozsahu 7–15 %. Průmyslové zdroje přispívaly k emisím PM_{10} 4–11 %. Výraznější rozdíl mezi zdroji je patrný zejména při porovnání roků 2005 a 2024, kdy v roce 2005 byl nejvyšší podíl dopravy na PM_{10} v celém sledovaném období, a to 15 %.

2.1.2 Vliv aerosolových částic na prostředí

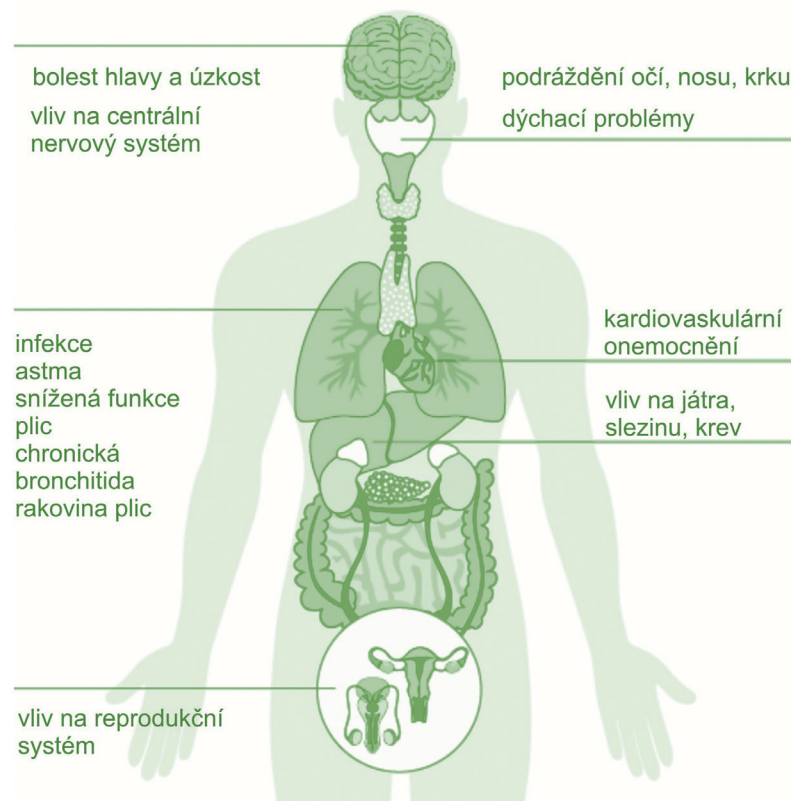
Částice PM_{10} a $PM_{2,5}$ mají dopady především v oblasti lidského zdraví. Dostávají se do těla skrze dýchací soustavu, přičemž obecně platí, že čím jsou menší, tím dále pronikají. Menší částice jsou tedy schopné pronikat až do krevního řečiště, a tím pádem do celého těla. Částice na sebe navíc vážou řadu potenciálně zdravotně nebezpečných látek, jakými jsou např. těžké kovy nebo polycyklické aromatické uhlovodíky jakožto prokázané karcinogeny.

AA tedy mohou zhoršovat akutní i chronická onemocnění dýchací soustavy, mohou vést k předčasnému úmrtí osob s dýchacími nebo srdečními poruchami, případně mohou ovlivnit vznik jiných onemocnění (např. rakoviny). Vliv těchto částic na lid-

ské zdraví je natolik významný, že částice $PM_{2,5}$ bývají dokonce někdy považovány za nejměrodatnější indikátor celkové kvality ovzduší v konkrétní oblasti.

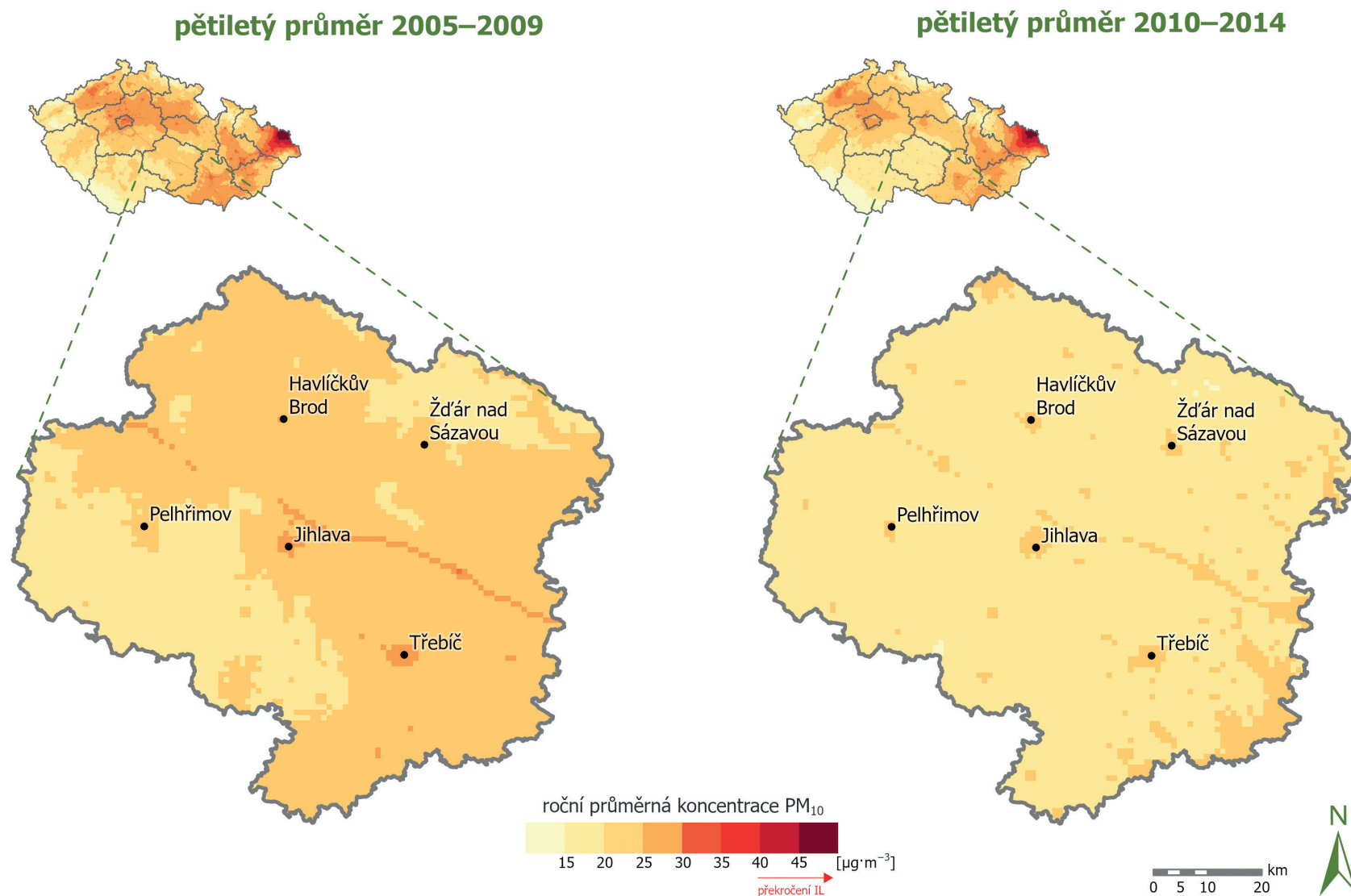
PM_{10} a $PM_{2,5}$ ovlivňují i životní prostředí. Přítomnost těchto částic v atmosféře má vliv nejen na klima Země, ale ovlivňuje i ekosystémy. Směs chemických látek, ze kterých jsou částice tvořeny, může negativně ovlivnit rostliny, půdu i kvalitu vody.

Případné překračování limitních hodnot tedy může být mimo jiné způsobeno i postupným zpřísňováním limitů, na což je třeba brát zřetel především při obecném hodnocení trendů kvality ovzduší na konkrétním místě.

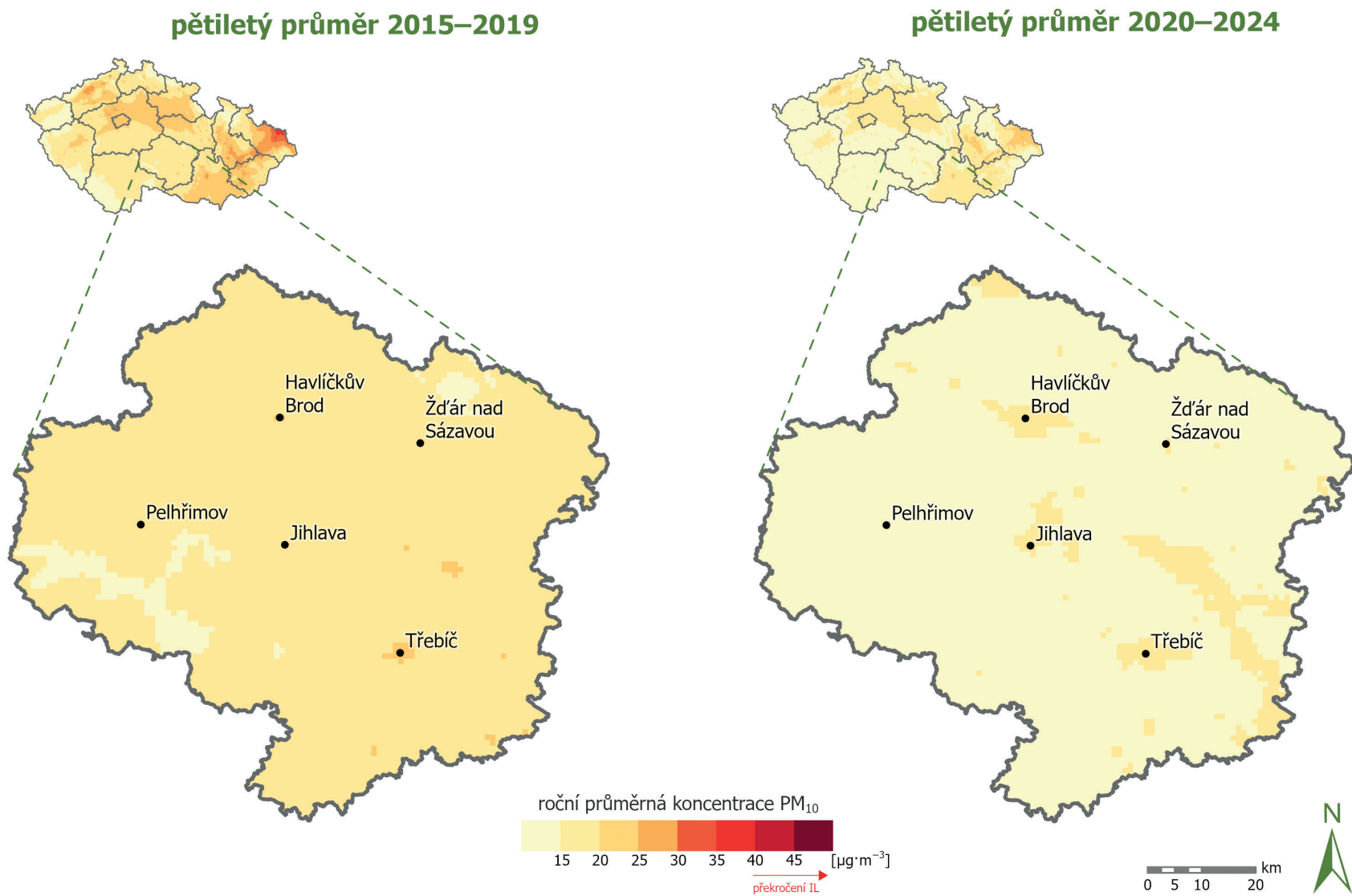


Obr. 2.1.2 Přehled zdravotních dopadů na lidské zdraví.

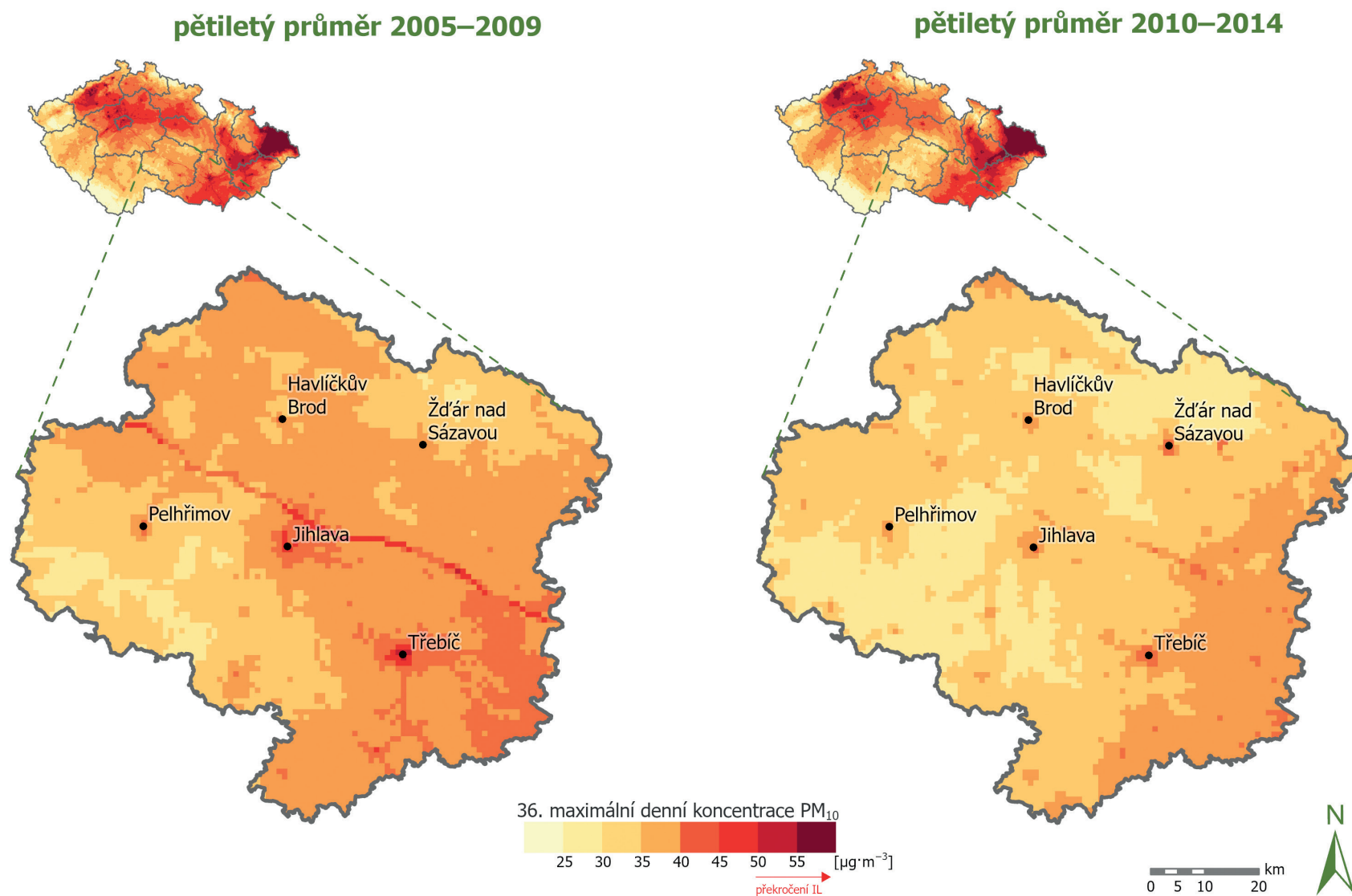
2.1.3 Mapy pětiletých průměrů koncentrací PM₁₀



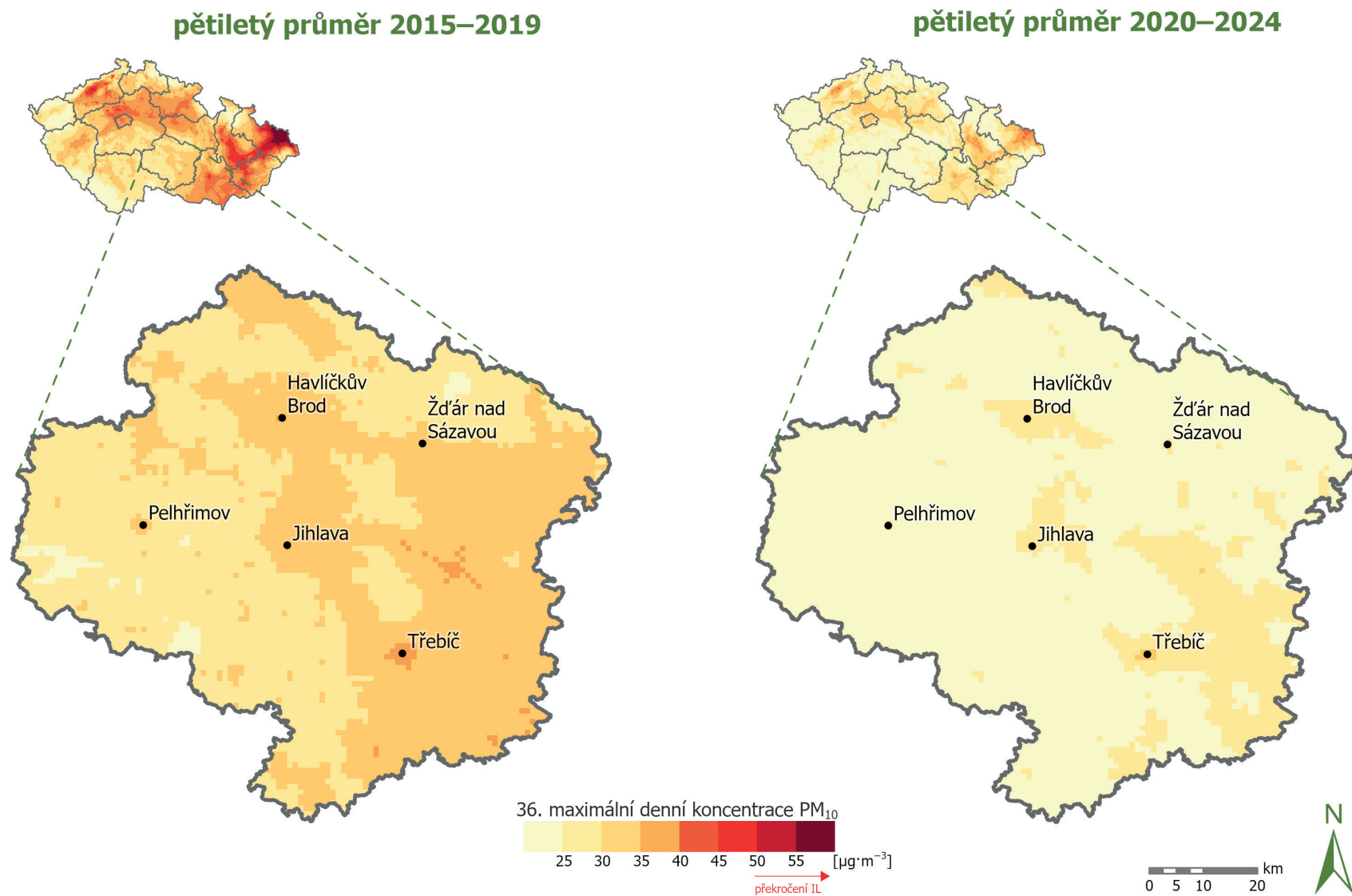
Obr. 2.1.3a Mapy pětiletých průměrů koncentrací PM₁₀, Vysočina, 2005–2009 a 2010–2014.



Obr. 2.1.3b Mapy pětiletých průměrů koncentrací PM_{10} , Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.



Obr. 2.1.3c Mapy pětiletých průměrů 36. maximální denní koncentrace PM_{10} , Vysočina, 2005–2009 a 2010–2014.



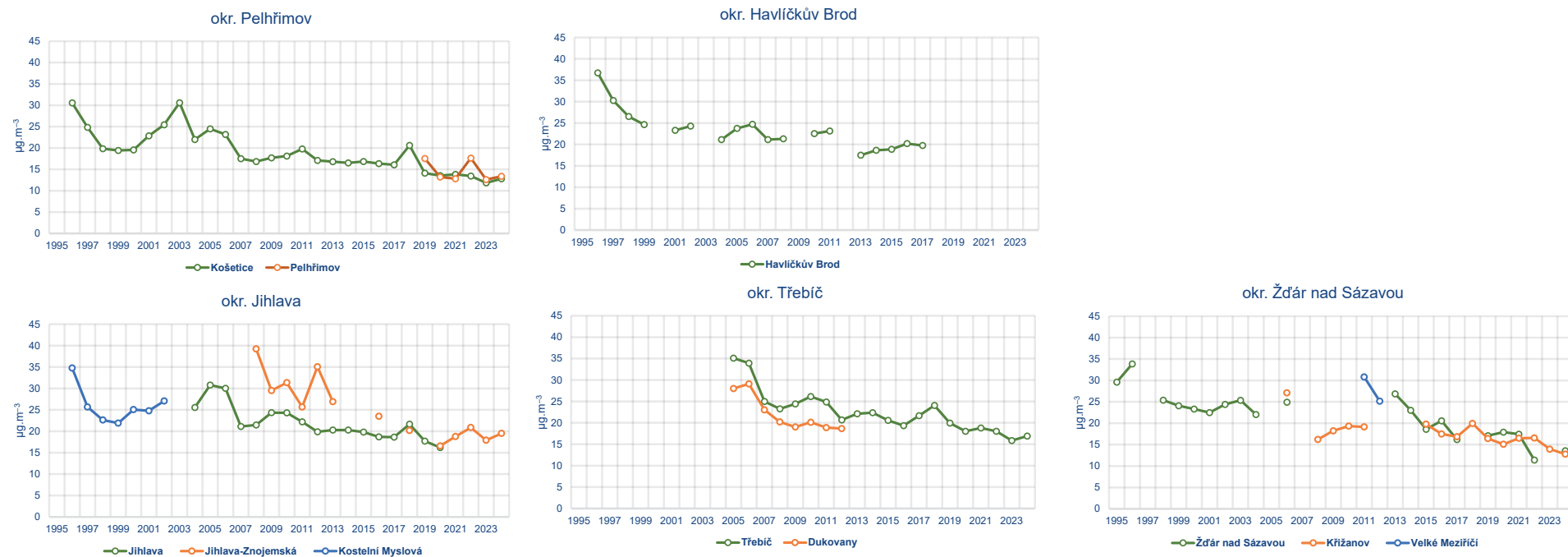
Obr. 2.1.3d Mapy pětiletých průměrů 36. maximální denní koncentrace PM_{10} , Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.

2.1.4 Vývoj koncentrací PM₁₀

Vývoj koncentrací částic PM₁₀ dle okresů

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace částic PM₁₀ v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na jednotlivých stanicích po jednotlivých okresech. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případech, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

Grafy dobře ukazují na trend dlouhodobého poklesu koncentrací částic PM₁₀. Zatímco na začátku hodnoceného období byly koncentrace často kolem $30\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a více, na konci hodnoceného období se pohybovaly v intervalu $10\text{ až }20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 2.1.4a Vývoj koncentrací PM₁₀ měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 1995–2024.

	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
1995											29,1	29,6
1996	54,5	57,4	43,9	40,5		23,8	15,3	19,0	15,9	29,0	20,4	30,8
1997	49,5	22,4	34,9	24,4	20,5	21,1	18,6	25,4	21,2	19,9	26,2	18,0
1998	22,9	28,4	20,2	23,0	20,2	13,7	14,7	18,1	17,0	12,0	24,2	25,2
1999	19,6	16,2	26,6	23,6	19,4	14,5	17,0	18,3	19,8	16,8	25,1	16,6
2000	21,8	18,9	18,6	25,2	15,9	13,3	12,3	19,5	22,2	22,8	19,1	25,3
2001	29,9	28,9	25,2	20,8	26,2	18,3	17,4	23,7	15,2	24,9	20,3	22,7
2002	26,8	23,1	31,2	31,5	25,2	22,9	21,3	26,7	22,0	18,3	21,2	34,0
2003	28,9	45,8	36,7	30,4	23,4	31,8	30,4	34,2	29,7	23,9		24,3
2004	23,0	26,5	32,3	32,4	18,2	22,0	24,6	25,6	23,9	27,4	26,5	32,2
2005	20,4	34,7	40,3	32,2	20,4	19,3	24,3	24,8	28,3	37,7	35,1	23,7
2006	47,6	35,2	35,2	23,5	24,7		25,7	11,9	26,0	27,8	17,8	18,9
2007	10,8	19,3	27,5		16,8	15,7	13,7	17,8	13,7	21,6	15,4	26,1
2008	18,0	21,4	12,6		19,3	18,0	16,2	13,2	16,2	17,8	17,8	16,4
2009	33,7	14,0	13,4	26,2	14,2	13,3	13,5	17,3	19,4	15,6	16,1	20,0
2010	30,7	31,1	19,0	20,4	13,8	15,5	18,1	13,2	14,3	20,5	14,5	21,4
2011	20,9	32,0	27,6	20,9		11,4	12,5	16,7	14,8		36,3	11,2
2012	15,9	35,2	25,2	19,5	18,0	12,7	17,7	15,1	16,7	16,4	20,2	18,1
2013	20,0	27,3	27,6	22,4	14,6	17,1			12,7	17,8	16,8	14,4
2014	25,5		28,1	22,6	13,8	13,5	17,3	13,2	18,7	20,1	20,6	11,8
2015		25,7	22,1	15,5	16,0	16,9	15,5	22,9	11,8	20,7	16,1	13,1
2016	19,6	10,8	14,7	13,7	16,3	13,3		15,7	22,8	16,1	21,0	20,6
2017	26,9	33,5	12,7	14,9	16,1	14,0	18,0	13,7	12,2	9,9	11,8	12,3
2018	19,0	36,4	31,0	24,7	23,9	18,4	18,4	17,8	15,7	27,7	26,9	11,7
2019	13,1	15,3	11,2	19,1	10,8	15,1	15,0	13,0	10,8	13,3	12,9	11,9
2020	15,2	7,4	14,9	16,1	9,8	10,3	11,3	14,7	11,8	9,9	14,6	13,7
2021	10,9	22,1	17,0	13,4	7,0	13,7	11,1	8,9	12,9	15,0		10,5
2022	9,4	7,9	22,7	11,9	12,2	11,9	13,3	13,2	8,7	14,7	11,6	16,1
2023	9,1	13,1	10,7	12,0	12,9	13,8	11,6	12,1	12,9	10,8	6,4	8,5
2024	12,5	10,0	19,8	10,0	10,3	12,2	13,4	13,6	14,9	13,4	12,9	9,8

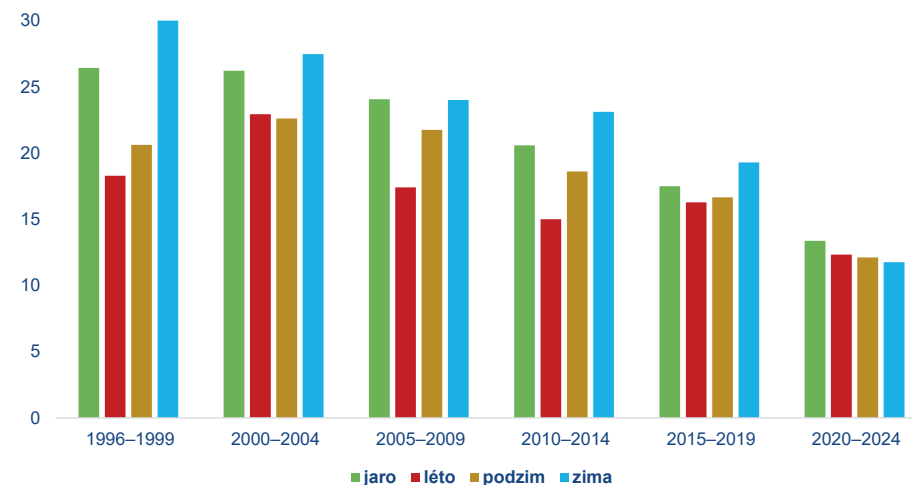
Obr. 2.1.4b Průměrné měsíční koncentrace částic PM₁₀ v lokalitě Košetice [μg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.

Průměrné měsíční koncentrace na stanici Košetice

V posledních letech hodnoceného období byly koncentrace výrazně nižší než na jeho začátku. Nejvíce se tento rozdíl projevuje u zimních měsíců, kde na začátku hodnoceného období dosahovaly průměrné měsíční koncentrace částic PM₁₀ v některé měsíce hodnot i vyšších než 50 μg·m⁻³. V posledním hodnoceném roce 2024 byly zvýšené koncentrace pozorovány pouze v březnu, což bylo ovlivněno velmi vysokými koncentracemi v několik dní na konci měsíce vlivem velmi intenzivní celorepublikově se projevující epizody přechodu saharského písečného prachu přes Českou republiku.

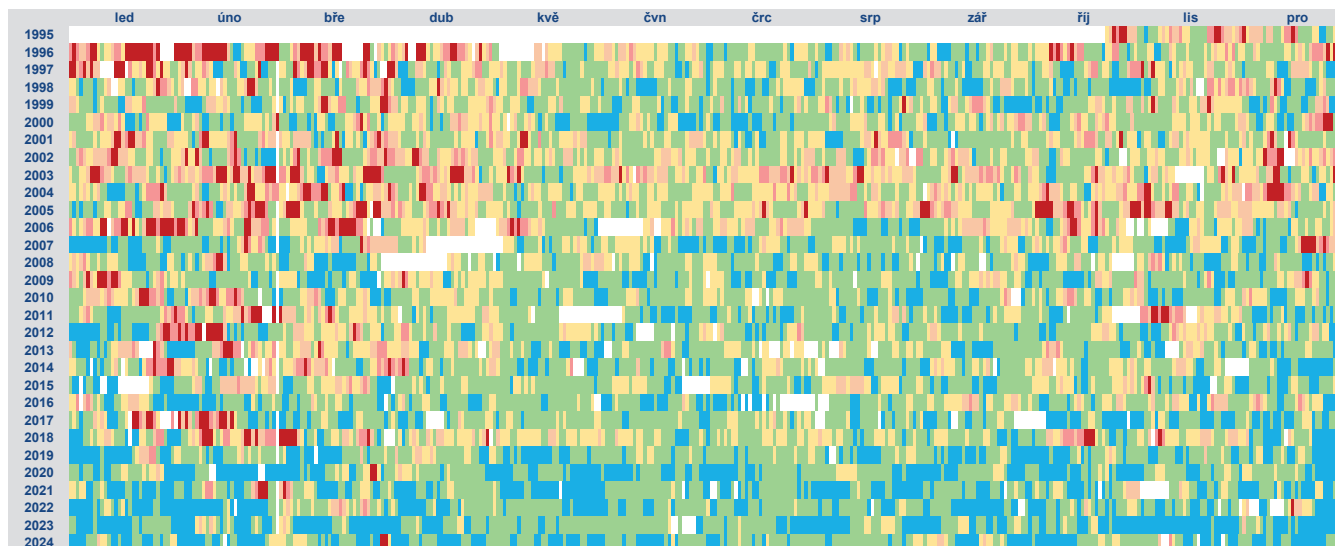
Vývoj ročního chodu koncentrací částic PM₁₀ na stanici Košetice

Dlouhodobě je kromě trendu celkového poklesu koncentrací částic PM₁₀ pozorován také trend změny ročního chodu, a to zejména na venkovských stanicích, jako je například stanice Košetice. V minulosti byly jednoznačně nejvyšší koncentrace částic PM₁₀ pozorovány v zimním období (vlivem častějších zhoršených rozptylových podmínek a zejména vlivem emisí z vytápění). Postupně však dochází obnovou kotlů ke snižování emisí z vytápění, což je navíc ještě umocněno obecně snižující se potřebou vytápět s ohledem na globální oteplování. To se projevuje poklesem koncentrací v zimě. Naopak v létě jsou však vlivem zvyšujících se teplot častější periody sucha, které koncentrace částic PM₁₀ ovlivňují negativně. Pozorujeme tedy jak pokles absolutních koncentrací ve všech ročních obdobích, tak postupné oplošťování křivky ročního chodu koncentrací PM₁₀ s výraznějším poklesem ve chladnějším období roku.

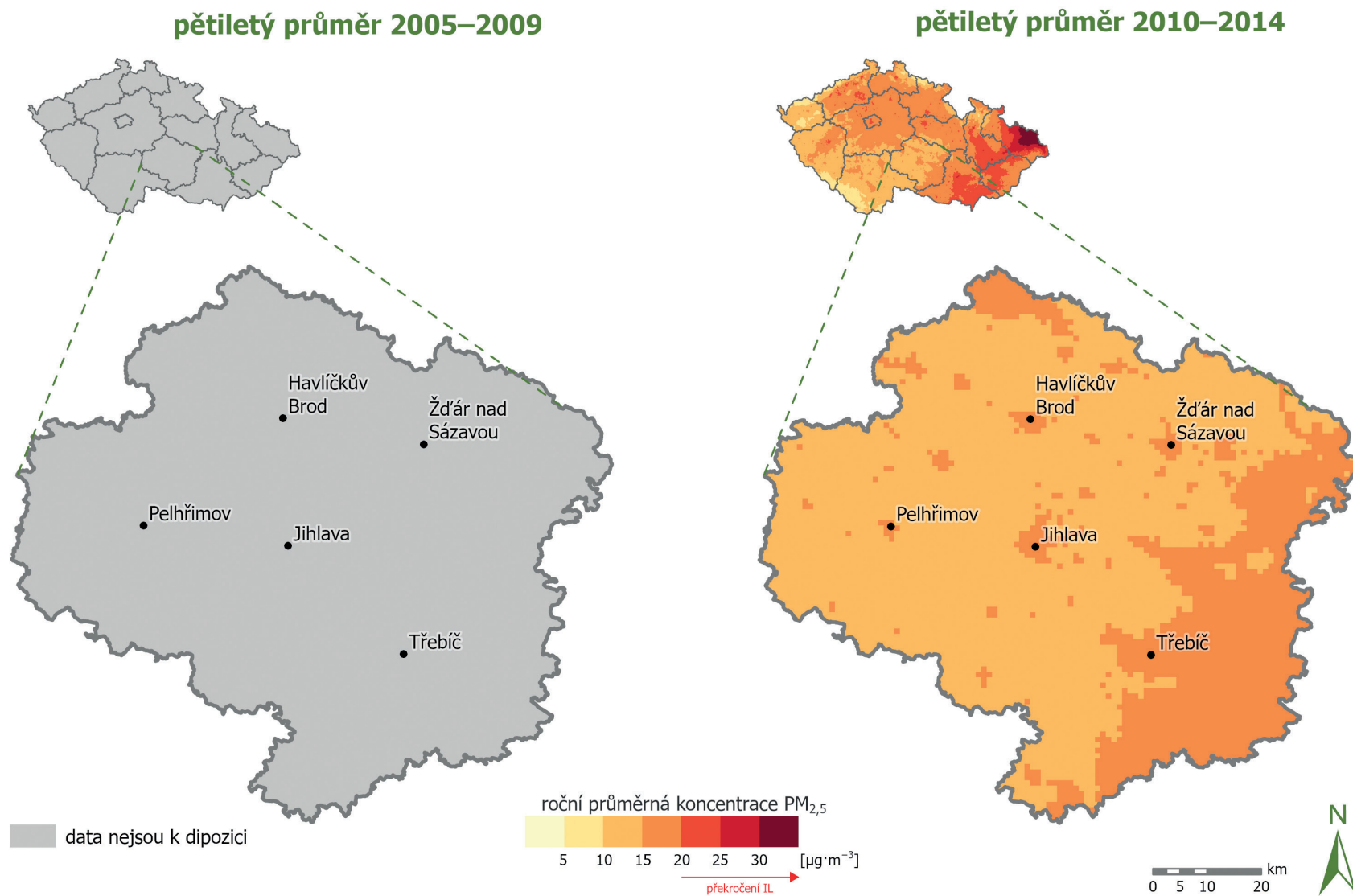


Obr. 2.1.4c Průměrné koncentrace částic PM₁₀ v lokalitě Košetice v jednotlivá roční období roku [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1995–2024.

Obr. 2.1.4d Průměrné denní koncentrace částic PM₁₀ v lokalitě Košetice [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1995–2024.

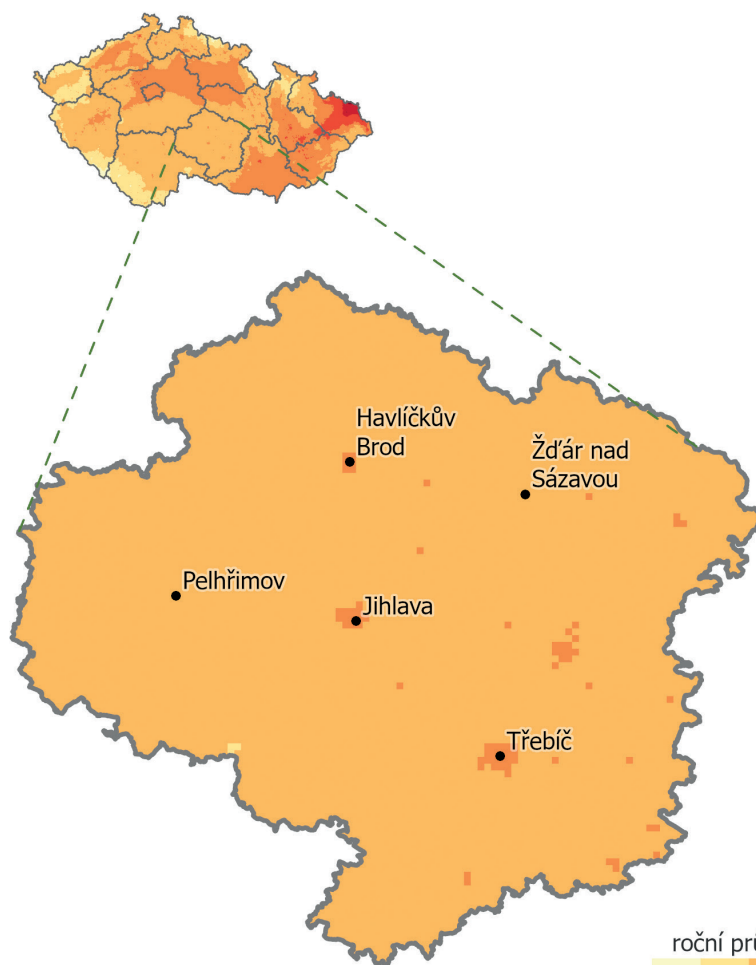


2.1.5 Mapy pětiletých průměrů koncentrací $PM_{2,5}$

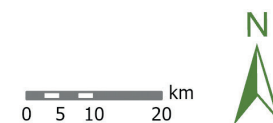
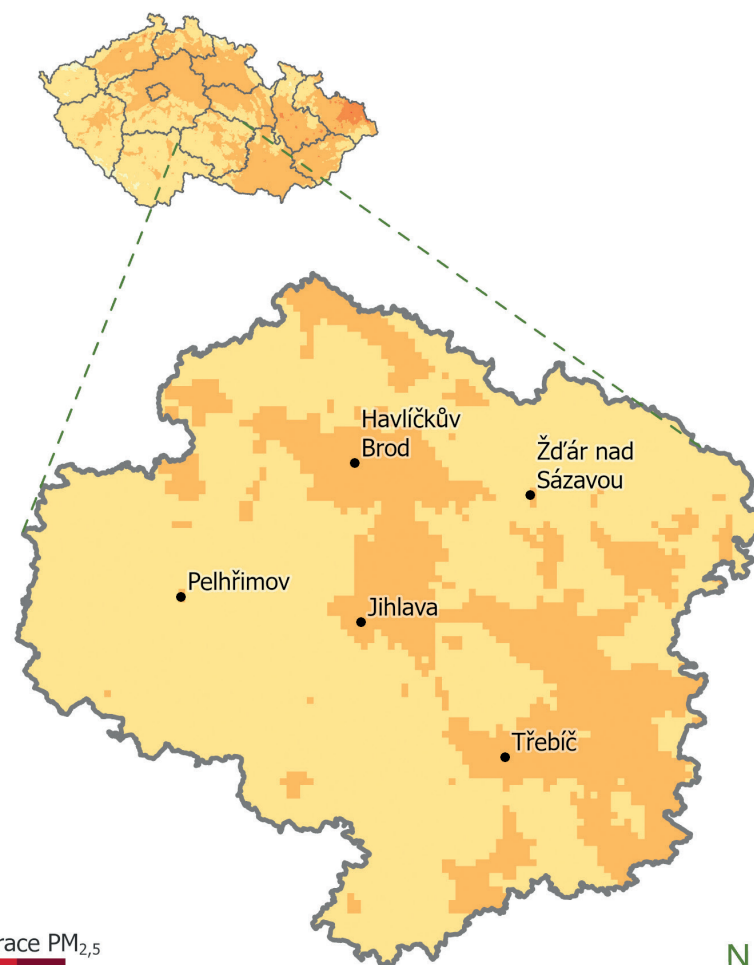


Obr. 2.1.5a Mapy pětiletých průměrů koncentrací $PM_{2,5}$, Vysočina, 2005–2009 a 2010–2014.

pětileťý průměr 2015–2019

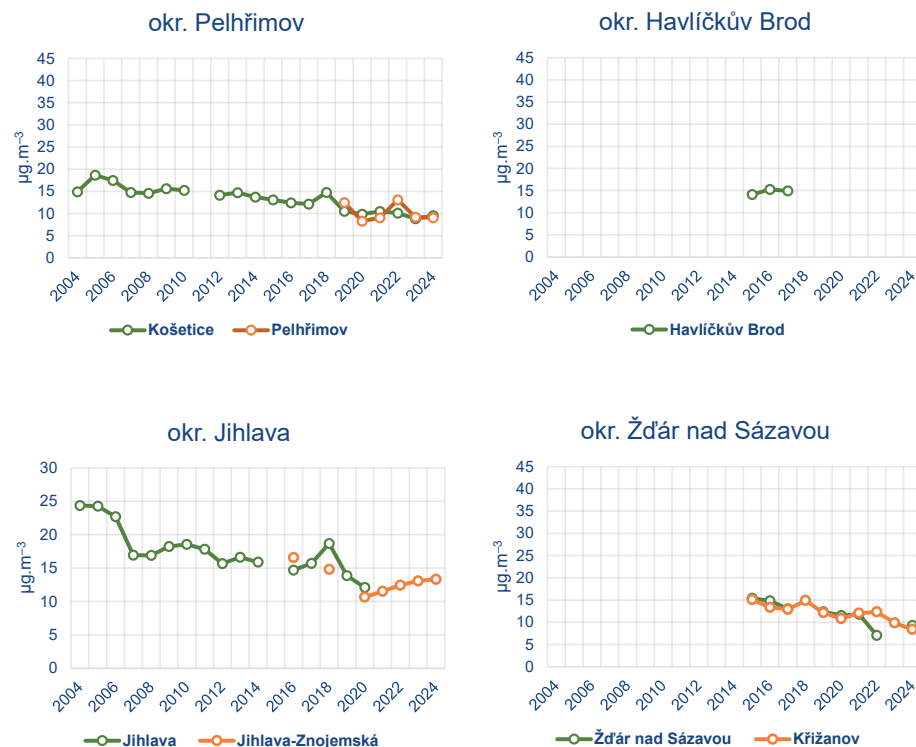


pětileťý průměr 2020–2024



Obr. 2.1.5b Mapy pětileťých průměrů koncentrací $PM_{2,5}$, Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.

2.1.6 Vývoj koncentrací $PM_{2,5}$



Obr. 2.1.6a Vývoj koncentrací $PM_{2,5}$ měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 2004–2024.

Vývoj koncentrací částic $PM_{2,5}$ dle okresů

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace částic $PM_{2,5}$ v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na jednotlivých stanicích po jednotlivých okresech. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případě, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
2004	33,0	23,4	27,0	22,0	15,5	15,5	16,2	18,5	16,1	18,8	16,2	21,9
2005	16,6	30,0	32,2	24,8	16,2	14,0	16,8	16,5	19,7	25,9	26,8	18,7
2006	37,3	25,4	24,9	17,1	18,5	15,6	20,2	9,9	19,5	20,0	16,8	18,8
2007	9,9	18,4	20,5	20,0	15,7	14,2	11,6	15,3	11,6	20,3	13,8	21,6
2008	17,2	19,5	11,8	17,0	16,5	14,4	14,9	12,2	14,9	17,2	17,9	16,3
2009	34,1	14,1	12,9	22,8	13,1	12,4	13,4	16,0	17,0	15,0	14,4	19,0
2010	27,8	25,6	16,2	16,1	11,9	13,3	15,5	12,0	12,0	19,2	13,8	19,8
2011	16,4	27,4	21,7	16,4	15,0	11,1	10,2	11,6	12,3	15,1	30,4	7,9
2012	12,2	27,5	18,3	13,6	12,2	10,2	13,0	11,9	11,6	13,1	16,5	16,6
2013	24,8	20,1	22,6	18,6	10,7	10,9	13,4	13,5	9,5	14,3	13,5	11,9
2014	20,9	16,1	22,9	18,1	9,3	9,7	13,4	11,3	14,2	16,6	17,7	10,1
2015	12,3	21,9	17,9	10,7	12,6	11,9	10,9	17,9	9,5	21,0	15,4	13,1
2016	21,3	12,4	17,8	12,9	12,4	9,4	9,9	10,2	15,1	13,2	17,0	17,5
2017	28,8	26,7	14,1	11,3	10,7	7,9	8,4	9,2	9,7	11,2	13,5	10,7
2018	15,1	25,4	22,5	13,4	13,2	11,1	10,8	11,7	10,9	17,7	22,7	14,0
2019	14,0	17,7	11,1	16,7	8,9	11,9	10,5	10,0	7,8	12,3	11,6	13,0
2020	17,4	7,4	12,4	14,1	8,4	7,4	8,0	9,4	8,3	8,4	12,5	11,2
2021	11,4	20,0	15,9	10,9	6,1	10,1	8,7	6,4	9,4	12,3	13,7	10,4
2022	9,5	7,4	20,1	10,6	9,9	8,9	8,9	9,2	7,0	11,0	12,4	15,1
2023	9,1	12,8	10,2	10,8	10,2	11,6	8,5	8,9	10,4	9,9	7,1	9,7
2024	13,0	9,3	14,1	7,3	7,0	8,0	7,3	8,9	9,0	10,0	13,6	10,7

Obr. 2.1.6b Průměrné měsíční koncentrace částic $PM_{2,5}$ v lokalitě Košetice [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 2004–2024.

Grafy dobře ukazují na trend dlouhodobého poklesu koncentrací částic $PM_{2,5}$. Zatímco na začátku hodnoceného období byly koncentrace často kolem 20 až 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, na konci hodnoceného období se pohybovaly v intervalu 5 až 15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Průměrné měsíční koncentrace na stanici Košetice

V posledních letech hodnoceného období byly koncentrace výrazně nižší než na jeho začátku. Nejvíce se tento rozdíl projevuje u zimních měsíců, kde na začátku hodnoceného období dosahovaly průměrné měsíční koncentrace částic $PM_{2,5}$ v některé měsíce hodnot i vyšších než 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak v posledních třech letech koncentrace částic $PM_{2,5}$ i v zimních měsících nepřekračovaly ani 15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

V posledních pěti letech hodnoceného období byly koncentrace částic $PM_{2,5}$ v letních měsících většinou kolem 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

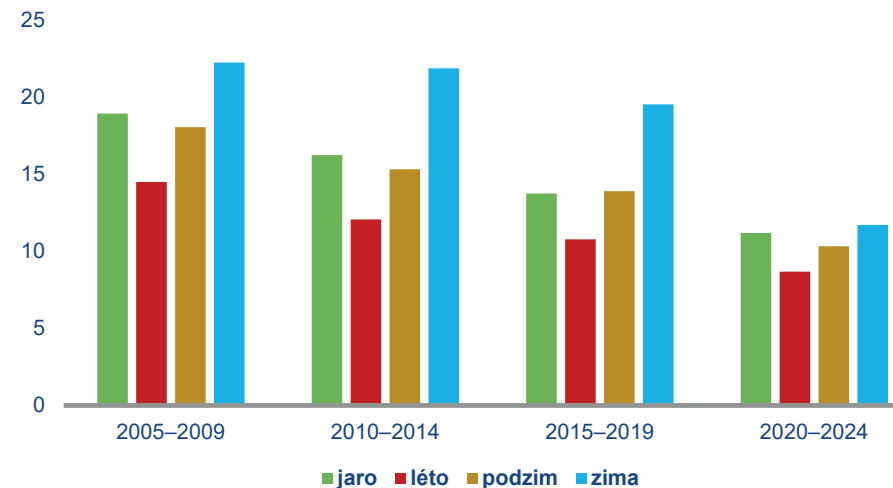
Vývoj ročního chodu koncentrací částic $PM_{2.5}$ na stanici Košetice

Dlouhodobě je kromě trendu celkového poklesu koncentrací částic $PM_{2.5}$ pozorován také trend změny ročního chodu, a to zejména na venkovských stanicích, jako je například stanice Košetice.

V minulosti byly jednoznačně nejvyšší koncentrace částic $PM_{2.5}$ pozorovány v zimním období (vlivem častějších zhoršených rozptylových podmínek a zejména vlivem emisí z vytápění).

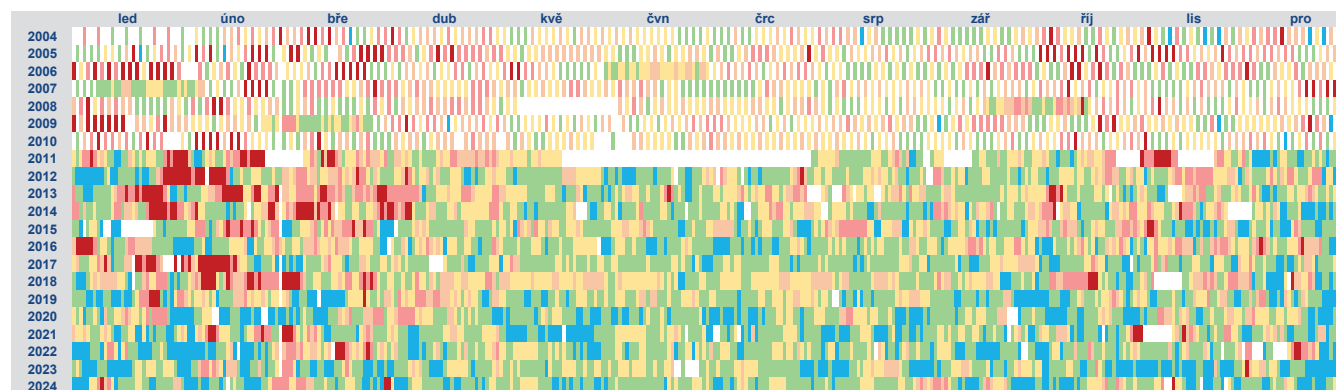
Postupně však dochází obnovou kotlů ke snižování emisí z vytápění, což je navíc ještě umocněno obecně snižující se potřebou vytápět s ohledem na globální oteplování. To se projevuje poklesem koncentrací v zimě. Naopak v létě jsou však vlivem zvyšujících se teplot častější periody sucha, které koncentrace částic ovlivňují negativně.

Pozorujeme tedy jak pokles absolutních koncentrací ve všech ročních obdobích, tak postupné oplošťování křivky ročního chodu koncentrací $PM_{2.5}$ s výraznějším poklesem ve chladnějším období roku.



Obr. 2.1.6c Průměrné koncentrace částic $PM_{2.5}$ v lokalitě Košetice v jednotlivá roční období roku [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 2004–2024.

Obr. 2.1.6d Průměrné denní koncentrace částic $PM_{2.5}$ v lokalitě Košetice [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 2004–2024.



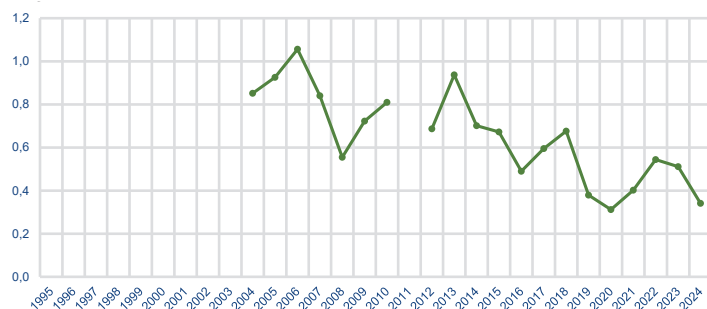
2.2 Chemické složení aerosolových částic – Těžké kovy

Těžké kovy jsou přirozenou součástí zemské kůry a do prostředí se dostávají v různém množství přirozenými procesy, jako je eroze půdy, sopečná činnost, vyplavování těžkých kovů vodou i lidskou činností, jako je průmysl, doprava, těžba. V prostředí se téměř nerozkládají a mohou být bioakumulativní (zejména rtuť), což vzhledem k jejich toxicitě pro životní prostředí a člověka má velmi negativní dopad.

Těžké kovy uvolněné do atmosféry se stávají součástí aerosolových částic a prostřednictvím depozice se dostávají do půdy a vody, kde se mohou ukládat a opětovně se uvolňovat do atmosféry, nebo se stávají součástí potravního řetězce.

Do skupiny těžkých kovů řadíme zejména kovy s toxickým účinkem pro člověka a životní prostředí, z této skupiny mají zákonem stanovený roční imisní limit čtyři těžké kovy: arsen (As) $6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, kadmium (Cd) $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, nikl (Ni) $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a olovo (Pb) $500 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Ke sledovaným látkám patří i koncentrace rtuti (Hg). Rtuť je považována za nejtoxičtější kov a sledování a regulace jejích koncentrací je podřízeno mezinárodní Minamatské konvenci. V životním prostředí se vyskytuje v různých formách s odlišnou mírou toxicity. Kontinuální měření koncentrací rtuti v ovzduší probíhá v ČR omezeně. Na Vysočině jsou koncentrace rtuti v ovzduší měřeny na Národní atmosférické observatoři Košetice.

Expozice těžkým kovům v atmosféře může vést k mnoha závažným zdravotním problémům, jako jsou různé druhy rakoviny, poškození orgánů (poškození ledvin, plic a jater kadmiiem či olovem), kardiovaskulární problémy, poškození nervového systému, poškození buněk oxidativním stresem a další.



Obr. 2.2.1a
Průměrné roční koncentrace arzenu v lokalitě Košetice [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] Vysočina, 1995–2024.

Největším zdrojem arsenu jsou domácnosti (vytápění, ohřev vody, vaření), veřejná energetika a výroba tepla a výroba olova. Kadmium je produkováno z poloviny domácnostmi a dále veřejnou energetikou a výrobou železa a oceli. Významnými zdroji niklu je veřejná energetika, spalovací procesy v chemickém průmyslu a domácnosti. Olovo je produkováno zejména otěry brzd a pneumatik, ostatními zdroji a domácnostmi.

2.2.1 Vývoj koncentrací arsenu, kadmia, niklu a olova

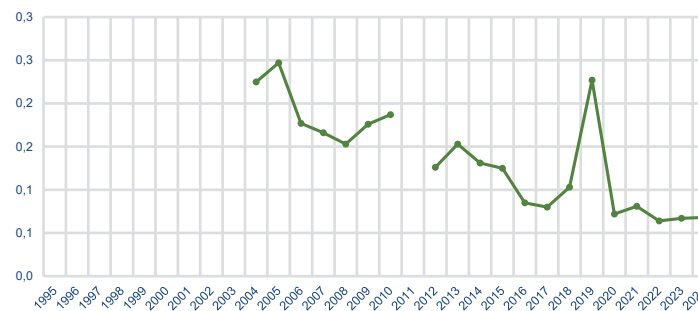
Vývoj koncentrací těžkých kovů – arsenu, kadmia, niklu a olova

Vývoj koncentrací těžkých kovů na lokalitě Košetice má u všech čtyř sledovaných kovů As, Cd, Ni i Pb klesající tendenci. Měřené koncentrace většinou poklesly na polovinu hodnot, které byly měřeny na začátku sledovaného období.

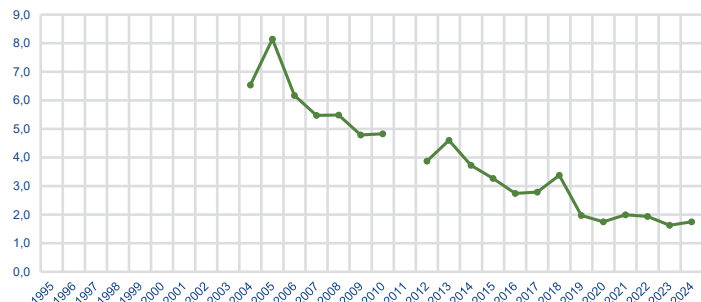
Koncentrace As byly variabilní v čase, ale obecně postupně klesaly. V roce 2004 dosahovaly koncentrace As $0,84 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, zatímco v roce 2024 $0,38 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$.

Koncentrace Cd byly v roce $0,27 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a od roku 2022 se pohybovaly stabilně na hodnotě blízké $0,13 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. K neobvyklému nárůstu koncentrací došlo v roce 2019, kdy se průměrné koncentrace zvýšily na $0,27 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Jednalo se pravděpodobně o časově omezený vliv lokálního zdroje znečištění.

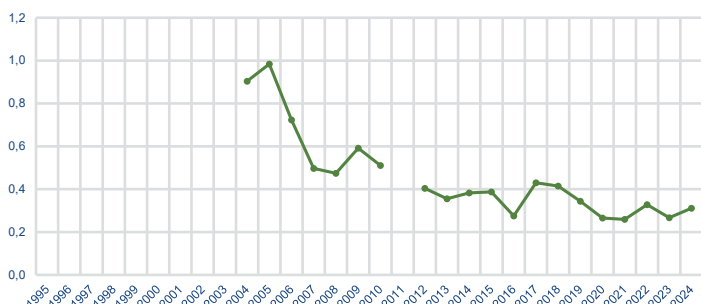
Na začátku sledovaného období byly měřeny koncentrace Ni s hodnotou $0,90 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (s nárůstem na $0,99 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2005), v dalších letech však následoval kontinuální



Obr. 2.2.1b
Průměrné roční koncentrace kadmia v lokalitě Košetice [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$] Vysočina, 1995–2024.



Obr. 2.2.1c
Průměrné
roční
koncentrace
niklu v lokalitě
Košetice
[ng·m⁻³]
Vysočina,
1995–2024.



Obr. 2.2.1d
Průměrné
roční
koncentrace
olova v lokalitě
Košetice
[ng·m⁻³]
Vysočina,
1995–2024.

pokles a od roku 2019 se koncentrace Ni na lokalitě Košetice pohybovaly mezi hodnotami 0,22 a 0,32 ng·m⁻³.

Koncentrace Pb mají obdobný vývoj koncentrací jako koncentrace niklu. V roce 2005 došlo k nárůstu koncentrací oproti předchozímu roku z 0,66 na 8,10 ng·m⁻³. Následný souvislý pokles koncentrací se stabilizoval po roce 2019, kdy koncentrace Pb kolísaly okolo hodnoty 2,00 ng·m⁻³.

Pozn. Pro nedostatek dat z dalších stanic v Kraji Vysočina jsou prezentovány pouze data z observatoře Košetice.

2.3 Chemické složení aerosolových částic – Perzistentní organické látky – Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), Benzo[a]pyren

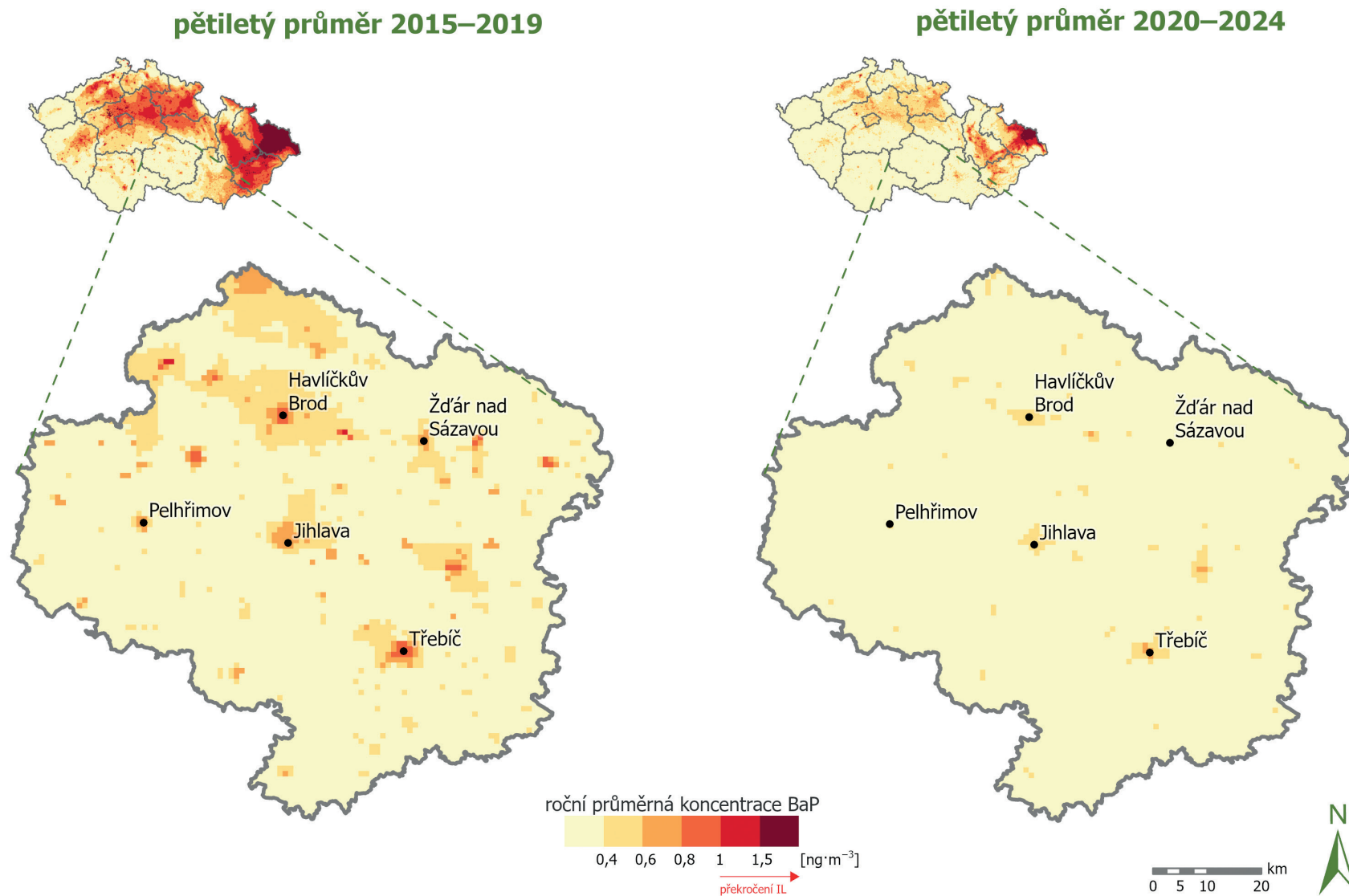
Perzistentní organické látky (POPs) jsou toxické látky ohrožující lidské zdraví i zdraví ekosystémů. Vznikají při průmyslových činnostech, jsou bioakumulativní a odolné vůči degradaci. Pro své negativní účinky na lidské zdraví a zdraví ekosystémů je jejich produkce omezoována již od devadesátých let. POPs zahrnují široké spektrum látek, do kterých řadíme i skupinu polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU, angl. PAH). PAH jsou organické sloučeniny, které díky své stabilitě setrvávají dlouhou dobu v životním prostředí. Vzhledem k tomu, že jsou rozpustné v tucích, mají potenciál putovat napříč potravním řetězcem až k člověku. Jedná se o prokázané karcinogenní a mutagenní látky, a to už při nízkých koncentracích. Ze stovek různých polycyklických aromatických uhlovodíků bylo stanoveno 16 prioritních PAH, kterým je vzhledem k jejich toxicitě věnována zvýšená pozornost. Mezi tyto prioritní PAH patří např. naftalen, pyren, antracen, fluoren nebo benzo[a]pyren, který je nejvýznamnějším zástupcem celé této skupiny látek.

Benzo[a]pyren můžeme v současnosti považovat za nejproblematictější znečišťující látku v České republice. Vzniká při nedokonalém spalování organického materiálu, a ačkoliv může být stejně jako ostatní látky ze skupiny PAH produkovan přírodními zdroji (lesními požáry, sopečnými erupcemi), jeho v podstatě výhradním zdrojem je lokální vytápění domácností pevnými palivy. Protože tento způsob vytápění převažuje především v malých obcích, bývají v topné sezóně právě tam měřeny nejvyšší koncentrace benzo[a]pyrenu. Délka topné sezóny je závislá na potřebě vytápění ovlivněné venkovní teplotou vzduchu, a tedy i měřené koncentrace benzo[a]pyrenu v daném roce odpovídají délce, intenzitě a způsobu vytápění. Díky postupné výměně starých kotlů na dřevo a uhlí se však daří jeho koncentraci postupně snižovat. Z dalších (mnohem méně významných) zdrojů benzo[a]pyrenu můžeme dále jmenovat spalování rostlinného materiálu, koksovny nebo cigaretový kouř.

Benzo[a]pyren je karcinogenní látka. Při dlouhodobé expozici této látky tedy může docházet k rozvoji různých typů rakoviny, především pak rakoviny dýchací soustavy. Benzo[a]pyren je také mutagenní látkou, jeho působením může tedy docházet ke změnám v DNA, a tím pádem k různým mutacím včetně vrozených vad u plodu.

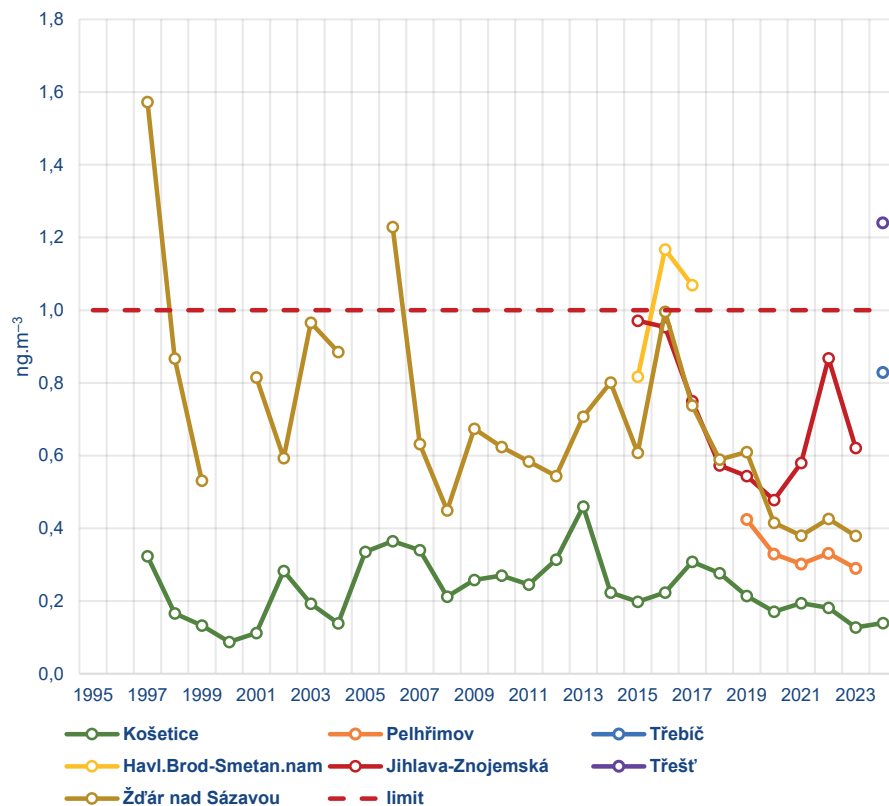
Benzo[a]pyren je jedinou látkou ze skupiny PAH, pro kterou je stanoven imisní limit, a to roční průměrná koncentrace o hodnotě 1 ng·m⁻³.

2.3.1 Mapy pětiletých průměrů koncentrací benzo[a]pyrenu (2015–2025)



Obr. 2.3.1 Mapy pětiletých průměrů koncentrací benzo[a]pyrenu, Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.

2.3.2 Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu (BaP)



Obr. 2.3.2a Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 1997–2024.

Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu (BaP)

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace BaP v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ na jednotlivých stanicích v Kraji Vysočina. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případě, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

Červenou přerušovanou čarou je zvýrazněn imisní limit pro roční průměrnou koncentraci.

Koncentrace BaP v České republice dlouhodobě klesají díky postupné obnově starých kotlů na pevná paliva, které jsou téměř výhradním zdrojem emisí BaP v České republice.

Pozadová venkovská stanice Košetice má koncentrace BaP dlouhodobě nízké. Zlepšení je lépe patrné na stanici Žďár nad Sázavou.

Od roku 2024 je v provozu také stanice v Třešti. Ta během prvního roku měření vykázala nadlimitní koncentraci, což souvisí s faktem, že je stanicí výrazně ovlivněnou lokálním vytápěním.

Průměrné měsíční koncentrace BaP na stanici Košetice

Téměř výhradním zdrojem BaP je lokální vytápění, tedy topení ve starých kotlech na pevná paliva. Dobře je tento fakt patrný i z dat – v letních měsících, kdy se netopí, jsou koncentrace BaP téměř nulové nebo pod mezí detekce. Dlouhodobě je patrný pokles koncentrací BaP i v zimních měsících. Na stanici Košetice však tento pokles není tak výrazný, protože se jedná o pozadovou stanici, která ve své blízkosti nemá žádný významný emisní zdroj lokálního vytápění.

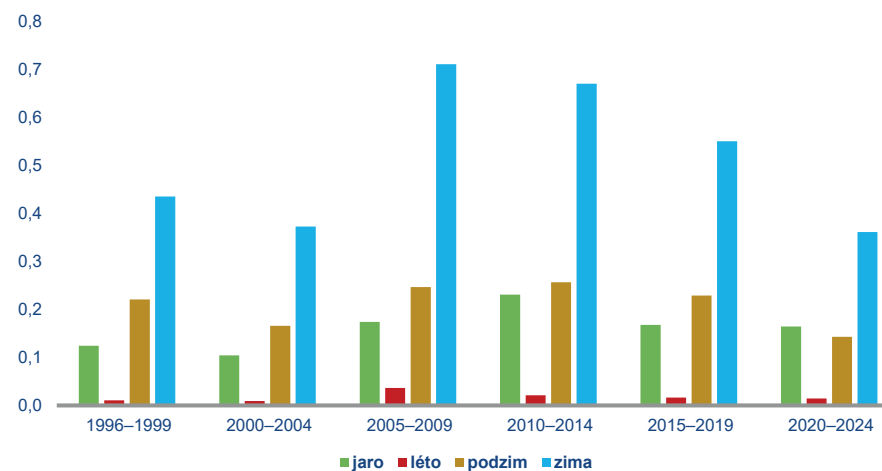
Vývoj ročního chodu koncentrací BaP na stanici Košetice

Z grafu průměrných koncentrací BaP je vidět výrazně vyšší průměrná hodnota v zimních měsících. Naopak v letních jsou koncentrace zcela minimální. Vidět je také pokles absolutních hodnot koncentrací. Na jaře a na podzim jsou průměry velmi podobné.

	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
1995												
1996												
1997	1,4	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7	0,4
1998	0,6	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5
1999	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,2
2000	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3
2001	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,3
2002	0,4	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,1
2003	1,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3
2004	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4
2005	0,6	0,7	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,7
2006	1,3	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,7
2007	0,4	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,6	1,4
2008	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
2009	1,5	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5
2010	0,9	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,8
2011	0,3	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	0,3
2012	0,6	0,7	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,5
2013	1,8	1,1	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5
2014	0,8	0,4	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3
2015	0,5	0,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3
2016	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6
2017	1,1	1,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	0,4
2018	0,3	0,8	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,5
2019	0,6	0,4	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,5
2020	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4
2021	0,5	0,8	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3
2022	0,3	0,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5
2023	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
2024	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5

Obr. 2.3.2b Průměrné měsíční koncentrace benzo[a]pyrenu v lokalitě Košetice [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1997–2024.

Obr. 2.3.2c Průměrné koncentrace částic benzo[a]pyrenu v jednotlivá roční období roku [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1996–2024.



3. Plynné polutanty

Plynné polutanty jsou škodlivé plynné látky přítomné v atmosféře, které mají nepříznivé účinky na lidské zdraví i na ekosystémy. Tyto látky pocházejí ze dvou hlavních zdrojů – z přírodních procesů a z lidské činnosti.

Příroda produkuje plynné polutanty například prostřednictvím sopečné činnosti a přirozených požárů. Člověkem vytvořené znečišťující plynné látky jsou spojeny zejména s nedokonalým spalováním fosilních paliv během různých procesů, zahrnujících průmyslové aktivity, dopravu, vytápění domácností a zemědělskou činnost.

Plynné polutanty lze také rozdělit do dvou odlišných kategorií podle jejich vzniku. Primární plynné polutanty jsou ty, které se uvolňují do atmosféry přímo ze svého zdroje. Běžnými příklady těchto přímých emisí jsou oxid siřičitý (SO_2), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO) a těkavé organické sloučeniny (VOC).

Naproti tomu sekundární plynné polutanty vznikají chemickými reakcemi mezi primárními polutanty a dalšími atmosférickými složkami, jako je například vodní pára a molekuly kyslíku. Sluneční záření hraje klíčovou roli při spouštění těchto chemických reakcí. Příkladem sekundárního polutantu je přízemní (nebo také troposférický) ozon (O_3), který se tvoří v dolní části atmosféry – v troposféře, kde žijeme a dýcháme.

Některé z plynných polutantů přispívají k formování fotochemického smogu. Tento typ znečištění ovzduší se vyvíjí za zvýšených koncentrací látek, jako jsou oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické sloučeniny (VOC), oxid siřičitý (SO_2), a za vhodných meteorologických podmínek (např. bezvětří, inverze, vysoké teploty a silné sluneční záření). Tyto látky spolu reagují právě za přítomnosti slunečního záření a vytvářejí nebezpečnou směs s nepříznivými dopady na lidské zdraví. Fotochemický smog způsobuje dýchací potíže, snižuje kapacitu plic a dráždí sliznice v našich dýchacích cestách. Kromě lidského zdraví toto znečištění poškozuje také rostlinstvo tím, že degraduje průduchy listů (drobné póry, kterými rostliny dýchají), zpomaluje rychlost růstu a snižuje výnosy plodin. Fotochemický smog navíc urychluje stárnutí a rozklad různých materiálů, včetně plastů, nátěrů a textilií.

Vzhledem k těmto dopadům na lidské zdraví a stav životního prostředí jsou koncentrace těchto a dalších zákonem regulovaných látek nepřetržitě monitorovány prostřednictvím Státní sítě imisního monitoringu provozované Českým hydrometeorologickým ústavem. Shromážděná data procházejí přísnou kontrolou kvality a pravidelným hodnocením. Když úrovně polutantů trvale překračují stanovené bezpečnostní limity, jsou příslušné orgány povinny zavést opatření zaměřená na snížení koncentrací těchto škodlivých látek, čímž chrání jak veřejné zdraví, tak životní prostředí.

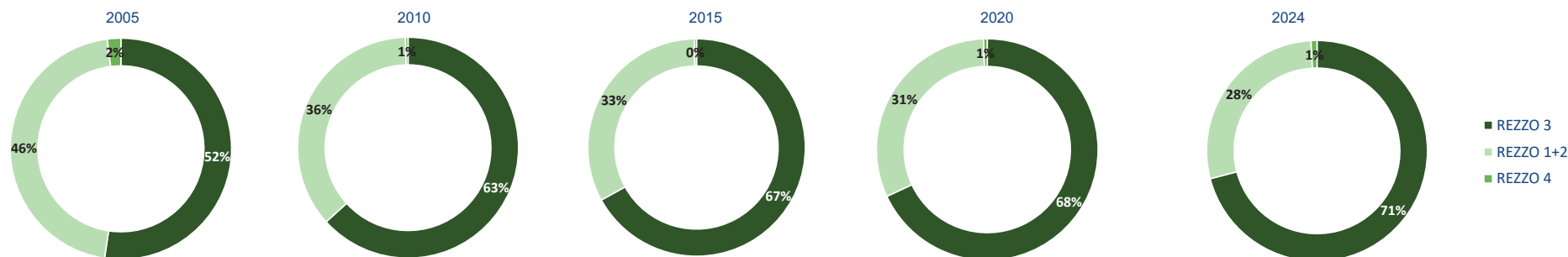
3.1 Oxid siřičitý (SO_2)

Oxid siřičitý je bezbarvým plynem s velmi výrazným, charakteristicky štiplavým zápachem.

Může pocházet jak z přírodních zdrojů, tak z lidských aktivit. Jeho největším přirozeným zdrojem je sopečná činnost. Z lidských aktivit lze obecně jako nejvýznamnější zdroj považovat nedokonalé spalování fosilních paliv obsahujících síru (např. méně kvalitní uhlí).

Oxid siřičitý má negativní vliv na lidské zdraví, vegetaci a ekosystémy. Při krátkodobém vystavení se oxidu siřičitému může docházet k dráždění sliznic dýchacích cest a snížení funkce plic, přičemž nejohroženější je citlivá skupina obyvatelstva (zejména astmatici, děti a starší lidé). Dlouhodobá expozice zvýšenou koncentrací SO_2 může způsobovat respirační nemoci, jako je astma, bronchitida, neurologické či kardiovaskulární choroby.

Negativní dopady na životní prostředí mohou vznikat prostřednictvím reakce SO_2 v atmosféře s dalšími látkami (především s molekulami vody) za vzniku slabých roztoků kyselin, tedy tzv. kyselého deště. Kyselý déšť má pH nižší než běžné srážky a ovlivňuje pH půdy a vod, což nepříznivě působí na ekosystém. Způsobuje poškození lesních porostů i erozi materiálů (např. budovy, sochy, konstrukce). Pro některé organismy může být toxický.



Obr. 3.1 Skladba emisí SO₂ v Kraji Vysočina v letech 2005, 2010, 2015, 2020 a 2024. Kategorie REZZO 1 + 2: Zvláště velké a velké zdroje, například spalovací zařízení nad 5 MW tepelného příkonu, významné technologické procesy. Střední zdroje, spalování s příkonem 0,3 až 5 MW a méně významné technologie. REZZO 3: Malé zdroje, lokální topeniště do 0,2 MW, méně významné technologické procesy, skládky, lomy a další plošné zdroje. REZZO 4: Mobilní zdroje, jako jsou silniční, železniční, plavební a letecká doprava.

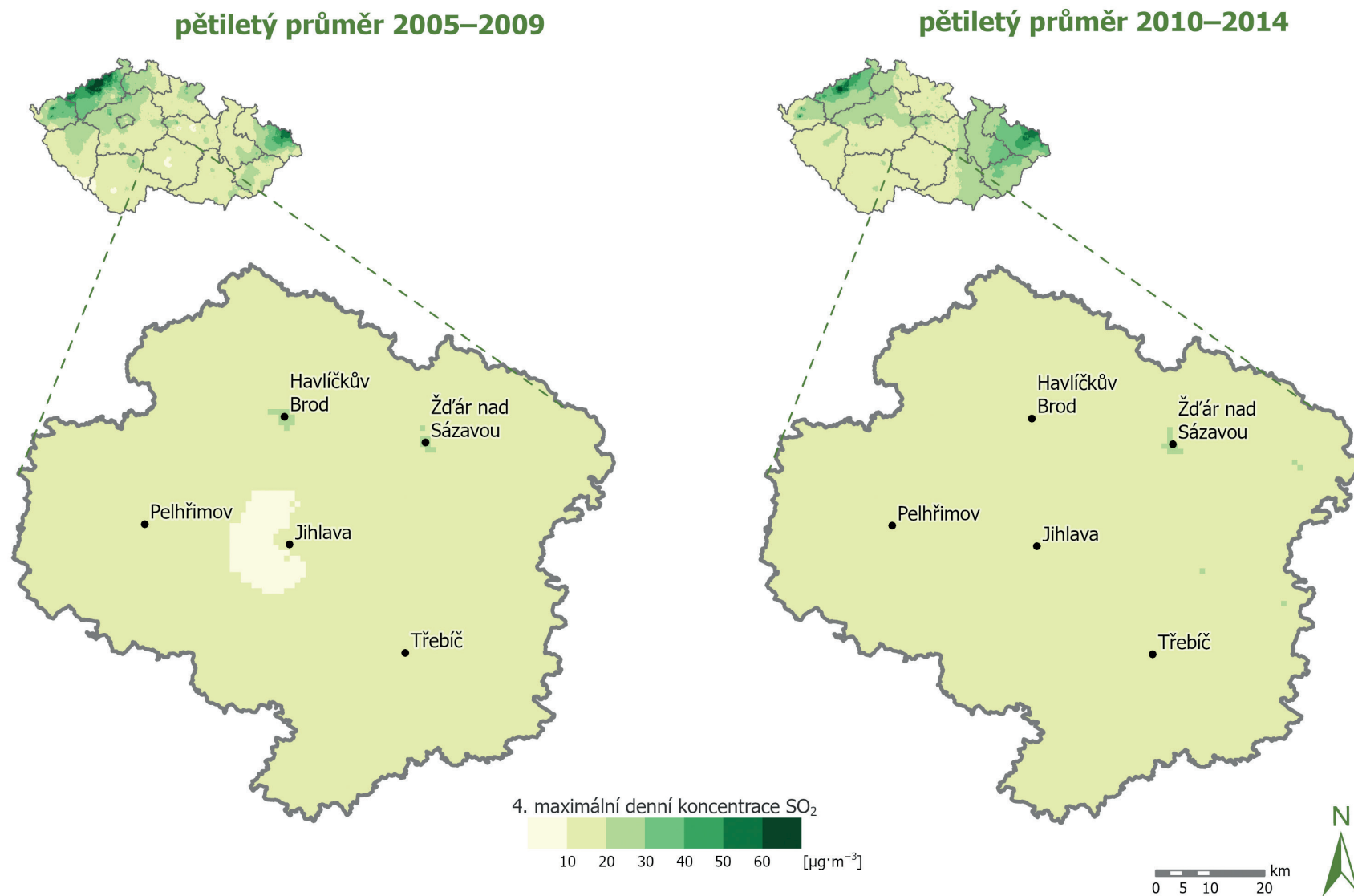
V 70. a 80. letech 20. století patřil oxid siřičitý k velmi problematickým látkám v ovzduší. Například v oblasti Krušných hor způsobil rozsáhlé odumírání tamních lesů. Vzhledem k nové legislativě a rozsáhlým změnám v energetice (odsíření elektráren) v 90. letech 20. století došlo k razantnímu poklesu koncentrací SO₂ a v současnosti již tato látka nepředstavuje významné environmentální riziko. Poslední smogová situace v souvislosti se zvýšenou koncentrací SO₂ byla vyhlášena v roce 2015, a to na severozápadě České republiky.

Hlavními zdroji SO₂ je v České republice veřejná energetika a výroba tepla, vytápění domácností a spalovací procesy ve výrobě železa a oceli.

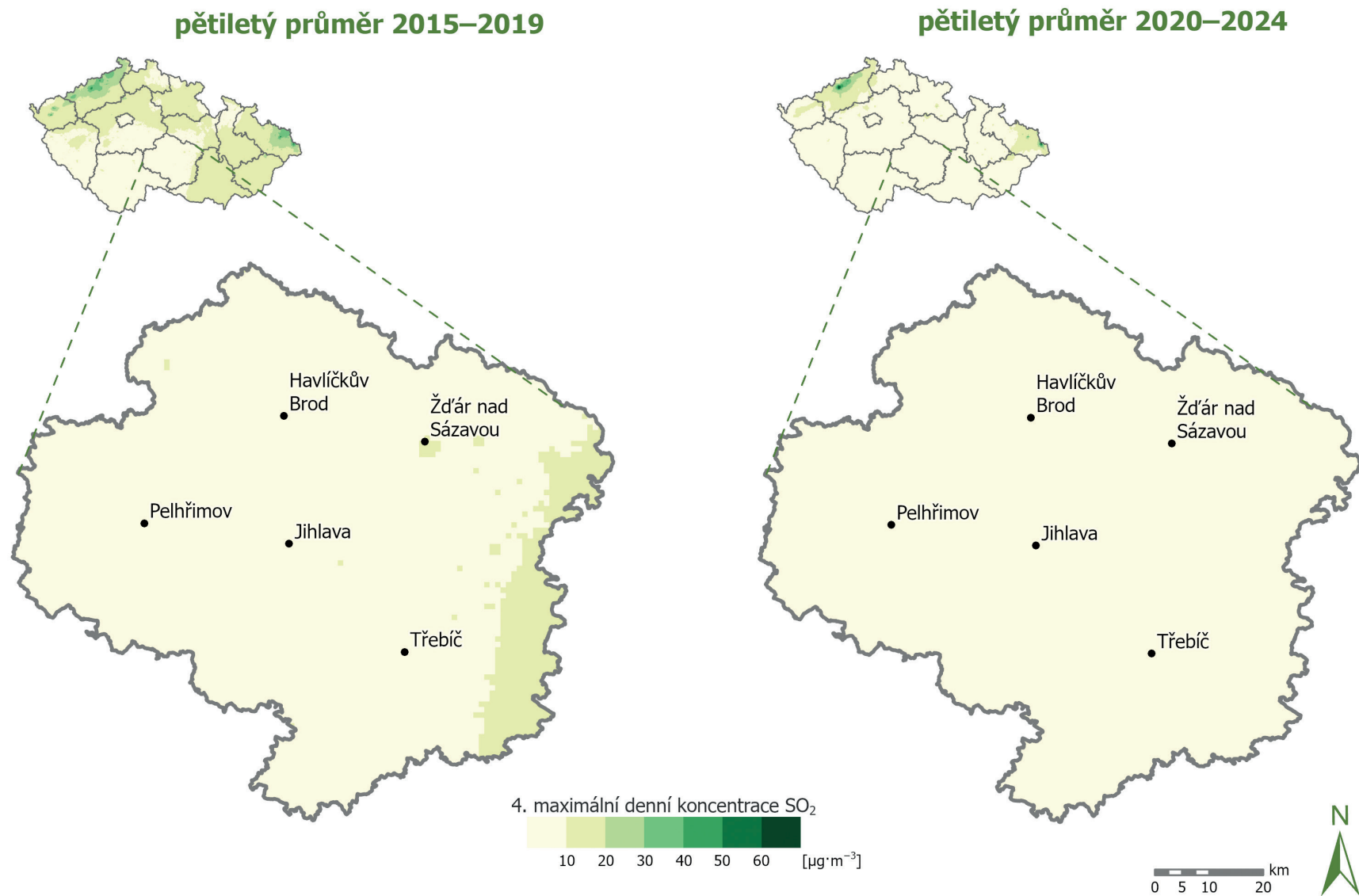
I přes značné snížení koncentrací patří SO₂ pro své nepříznivé působení na životní prostředí a zdraví člověka mezi sledované látky s imisními limity. V případě imisních limitů stanovených za účelem ochrany zdraví se jedná o hodinovou průměrnou koncentraci 350 µg·m⁻³ s maximálním množstvím překročení 24× za rok a 24hodinový průměr 125 µg·m⁻³ s maximálním množstvím překročení 3× za rok. Imisní limit stanovený pro ochranu ekosystémů a vegetace má hodnotu 20 µg·m⁻³ za rok a zimní období (říjen–březen).

Dle registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) lze sledovat vývoj emisí za posledních 20 let. Struktura emisí SO₂ na Vysočině se mírně měnila během let. Nad poloviční podíl tvořily malé zdroje (domácí vytápění) s 52–71 %. Průmyslové zdroje přispívaly k emisím SO₂ 28–46 %. Doprava se na SO₂ podílela minimálně, a to 1–2 %. Výraznější rozdíl mezi zdroji je patrný zejména při porovnání roků 2005 a 2024, kdy v roce 2005 byl podíl malých zdrojů na SO₂ 52 % a v roce 2024 vzrostl na 71 %.

3.1.1 Mapy pětiletých průměrů koncentrací SO₂



Obr. 3.1.1a Mapy pětiletých průměrů 4. maximální denní koncentrace SO₂, Vysočina, 2005–2009 a 2010–2014.



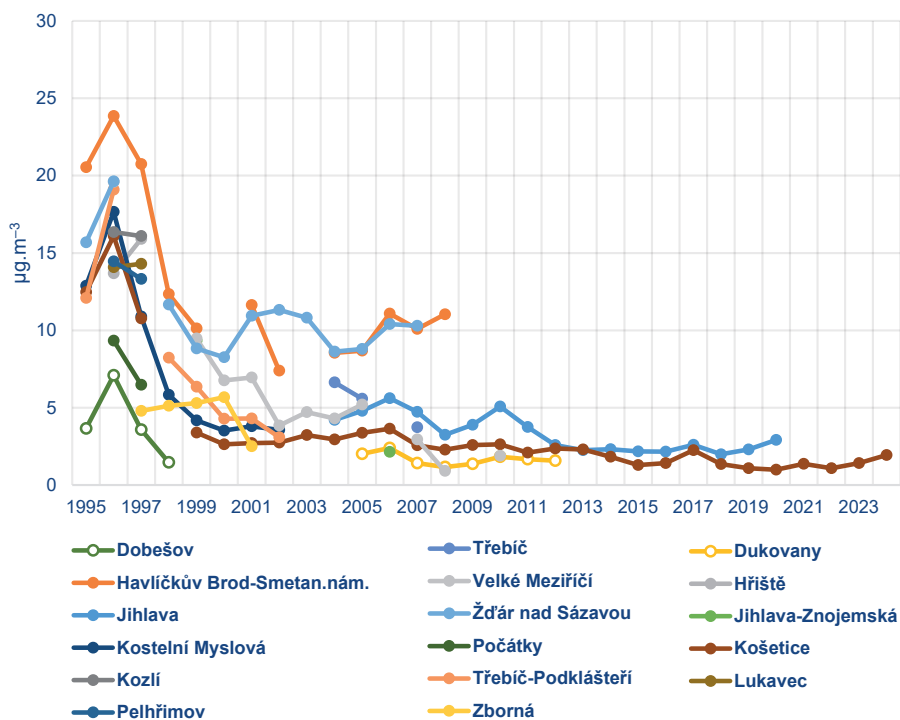
Obr. 3.1.1b Mapy pětiletých průměrů 4. maximální denní koncentrace SO₂, Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.

3.1.2 Vývoj koncentrací SO₂

Vývoj koncentrací oxidu siřičitého (SO₂)

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace SO₂ v µg·m⁻³ na jednotlivých stanicích v Kraji Vysočina. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případě, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

Koncentrace SO₂ díky změně legislativy v 90. letech 20. století zaznamenaly prudký pokles. Zatímco v minulosti byl počet stanic monitorujících koncentrace právě SO₂ vysoký, v současnosti je naopak nízký, protože jsou koncentrace v naprosté většině lokalit hluboko pod hodnotou příslušného imisního limitu.



Obr. 3.1.2a Vývoj koncentrací oxidu siřičitého (SO₂) měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 1995–2024.

Na počátku hodnoceného období byly ještě koncentrace SO₂ vyšší a jednalo se o závěrečnou fázi rychlého poklesu. Následně už se koncentrace mění relativně pomalu, směrem dolů, a zůstávají velmi nízké. V grafu je také patrný právě pokles počtu stanic, které koncentrace SO₂ monitorují.

Průměrné měsíční koncentrace SO₂ na stanici Košetice

Koncentrace SO₂ v hodnoceném období vykazují výrazný pokles. Zatímco na začátku hodnoceného období byly měsíční koncentrace v chladnou část roku až na hranici téměř 50 µg·m⁻³, na konci hodnoceného období se pohybují do 3 µg·m⁻³.

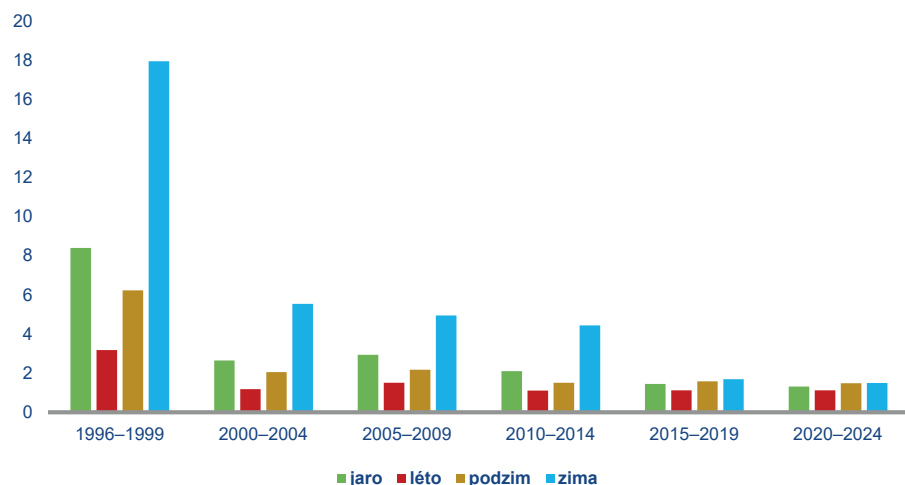
Přestože mírně vyšší koncentrace pozorujeme v chladnější část roku, v absolutních číslech je tento rozdíl téměř zanedbatelný.

	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
1995	22,7	9,7	12,8	10,6	8,8	8,5	6,1	9,0	6,8	7,6	14,6	26,7
1996	48,4	43,4	24,0	15,5	9,1	7,1	3,5	3,4	7,9	6,3	5,2	18,5
1997	40,1	9,3	10,6	11,8	5,6	4,9	5,9	6,9	8,2	8,7	11,2	8,5
1998	10,6	8,3	6,3	3,1	2,8	1,3	1,2	1,1			8,6	9,5
1999	5,9	8,1	5,3	4,0	2,7	1,7	0,7	0,4	0,7	2,1	4,5	4,6
2000	7,1	3,9	3,5	3,1	1,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	4,2
2001	8,4	5,0	3,3	2,1	1,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	2,3	5,6
2002	7,1	1,9	2,7	2,9	1,5	0,9	0,9	1,4	2,5	2,0	2,4	6,9
2003	4,9	9,0	4,0	1,9	1,3	1,3	1,3	1,9	3,1	3,0	2,6	4,7
2004	6,4	4,7	4,7	3,1	2,0	1,5	1,2	1,6	2,2	2,0	2,7	3,6
2005	4,4	9,3	6,6	3,2	1,4	1,6	1,4	1,4	1,7	2,9	2,7	4,2
2006	10,9	8,2	6,3	2,2	1,7	2,0	1,8	1,2	2,6	2,1	1,8	2,8
2007	2,7	2,8	3,3	3,4	1,6	1,5	1,5	1,9	1,8	2,7	3,2	4,3
2008	3,7	3,2	2,2		1,8	1,5	1,3		2,1	1,6	2,5	3,3
2009	6,3	4,9	2,6	2,9	1,7	1,5	1,2	1,4	2,0	1,7	1,3	3,3
2010	7,1	7,6	3,3	2,0	1,4	1,3	1,2	0,5	0,8	1,8	1,2	3,9
2011	3,3	5,1	3,6	1,5	1,4	1,6	0,8	0,7	1,1	1,6	2,5	
2012		9,5	3,0	1,4	1,6		0,8	1,3	1,3	1,2	1,4	2,2
2013	5,6	5,1	4,1	1,7	0,7	0,9	1,3	1,3	1,3	1,8	2,0	1,7
2014	3,7	2,4	2,9	1,7	1,4	1,3	1,1	1,1	1,5	1,5		2,2
2015	1,6	3,1	1,6	1,4	0,8	0,7	0,6		1,2	1,2	1,2	1,1
2016	1,6	1,3	1,4	0,9	1,2	1,0	0,8	1,0	1,8	1,6	2,5	1,9
2017	2,4	2,5	3,4	1,5	2,2	1,5	2,2	2,1	2,4	2,4		1,5
2018	1,6	1,9	1,9	1,3	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	2,0	1,1	1,0
2019	1,2	1,3	0,7	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	1,7	1,5
2020	0,8	0,9	1,1	1,0	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,3	1,5
2021	1,3	2,4	0,9	1,4	1,3	1,3	1,6	1,1	1,0	1,7		1,1
2022	1,3	0,8	1,7	1,0	0,9	0,7	1,1	0,7	0,8	1,1	1,4	1,7
2023	1,7	0,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,3	1,2	1,6	1,4	2,2	1,4
2024	2,0	2,1	2,0	1,8	1,7	1,3	1,5	1,4	2,3	2,6	1,5	2,8

Obr. 3.1.2b Průměrné měsíční koncentrace SO₂ v lokalitě Košetice [µg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.

Vývoj ročního chodu koncentrací SO₂ na stanici Košetice

V pětiletí 1996–2000 byly rozdíly mezi chladnou a teplou částí roku velmi výrazné. Naopak na konci hodnoceného období jsou rozdíly minimální. Pokles absolutních hodnot koncentrací je výrazný ve všech ročních obdobích.



Obr. 3.1.2c Průměrné koncentrace SO₂ v lokalitě Košetice v jednotlivá roční období roku [µg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.

3.2 Oxidy dusíku (NO_x)

Jako oxidy dusíku (NO_x) označujeme pro účely hodnocení kvality ovzduší kombinaci oxidu dusičitého (NO₂) a oxidu dusnatého (NO). Zatímco oxid dusičitý je velmi reaktivní plyn štiplavého zápachu, oxid dusnatý zápach nemá. Oxid dusnatý je v ovzduší oxidován do formy oxidu dusičitého. Tato reakce probíhá například za působení kyslíku nebo těkavých organických látek (VOC), ve venkovním prostředí je velmi rychlá, ve vnitřním prostředí probíhá oxidace pomaleji.

Ačkoliv oxidy dusíku mohou vzniknout i přirozenými procesy (biologickými procesy v půdách nebo jako důsledek elektrických výbojů v atmosféře), jejich hlavním zdrojem je doprava, energetika a používání anorganických hnojiv.

Oxidy dusíku představují zdravotní riziko především proto, že jejich vdechování může v krátkodobém horizontu zhoršit průběh dýchacích onemocnění nebo dráždit dýchací cesty (objevuje se hvízdání, obtížné dýchání nebo kašel). Při dlouhodobém působení zvýšených koncentrací může dojít k rozvoji závažnějších onemocnění dýchací soustavy.

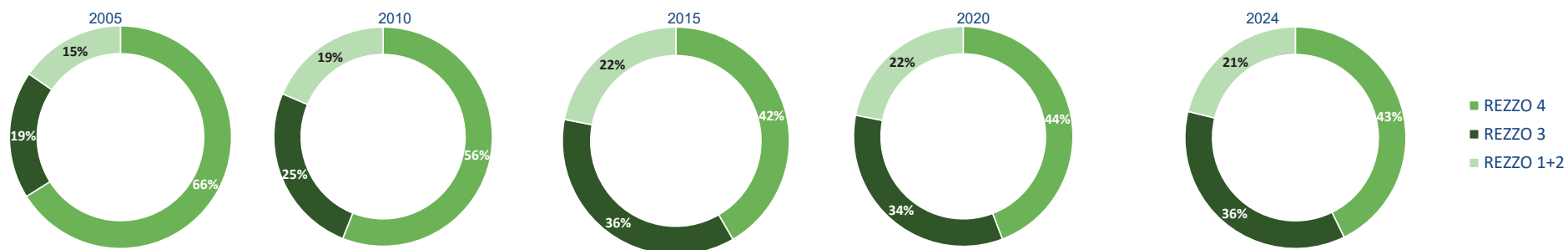
Stejně jako oxid siřičitý reagují také oxidy dusíku s molekulami atmosférické vody za vzniku kyselých dešťů, které dále poškozují lesní a vodní ekosystémy. Vyšší koncentrace oxidů dusíku mohou také způsobovat eutrofizaci vod. Zvýšení množství živin ve vodách způsobuje nadměrný růst vybraných druhů rostlin, což ovlivňuje hladinu kyslíku ve vodě a může negativně působit na vodní ekosystémy.

Vzhledem k tomu, že oxidy dusíku jsou primárně produkovány dopravou, jejich nejvyšší koncentrace jsou zaznamenávány především v dopravně vytižených oblastech (města, významné dopravní komunikace, dálnice). Díky technologickému vývoji v průmyslu (ať už v chemickém, nebo v automobilovém) a díky obnově vozového parku koncentrace NO_x dlouhodobě klesají. Další zlepšení by mohlo přinést zavádění nízkoemisních zón ve městech.

Oxidy dusíku jsou spojeny s termínem „losangeleský smog“. Tento fenomén bývá také označován jako kalifornský, fotochemický nebo oxidační smog a byl poprvé popsán právě v Los Angeles. Kvůli silné automobilové dopravě a vysoké intenzitě slunečního záření vznikají příznivé podmínky pro vznik tohoto typu smogu. Oxidy dusíku (NO_x) společně s těkavými organickými látkami (VOC) pocházejícími z dopravy totiž vstupují do chemických reakcí, které jsou katalyzovány (umocňovány) právě přítomným slunečním zářením za vzniku přízemního ozonu (O₃). Více v podkapitole o ozonu (3.3).

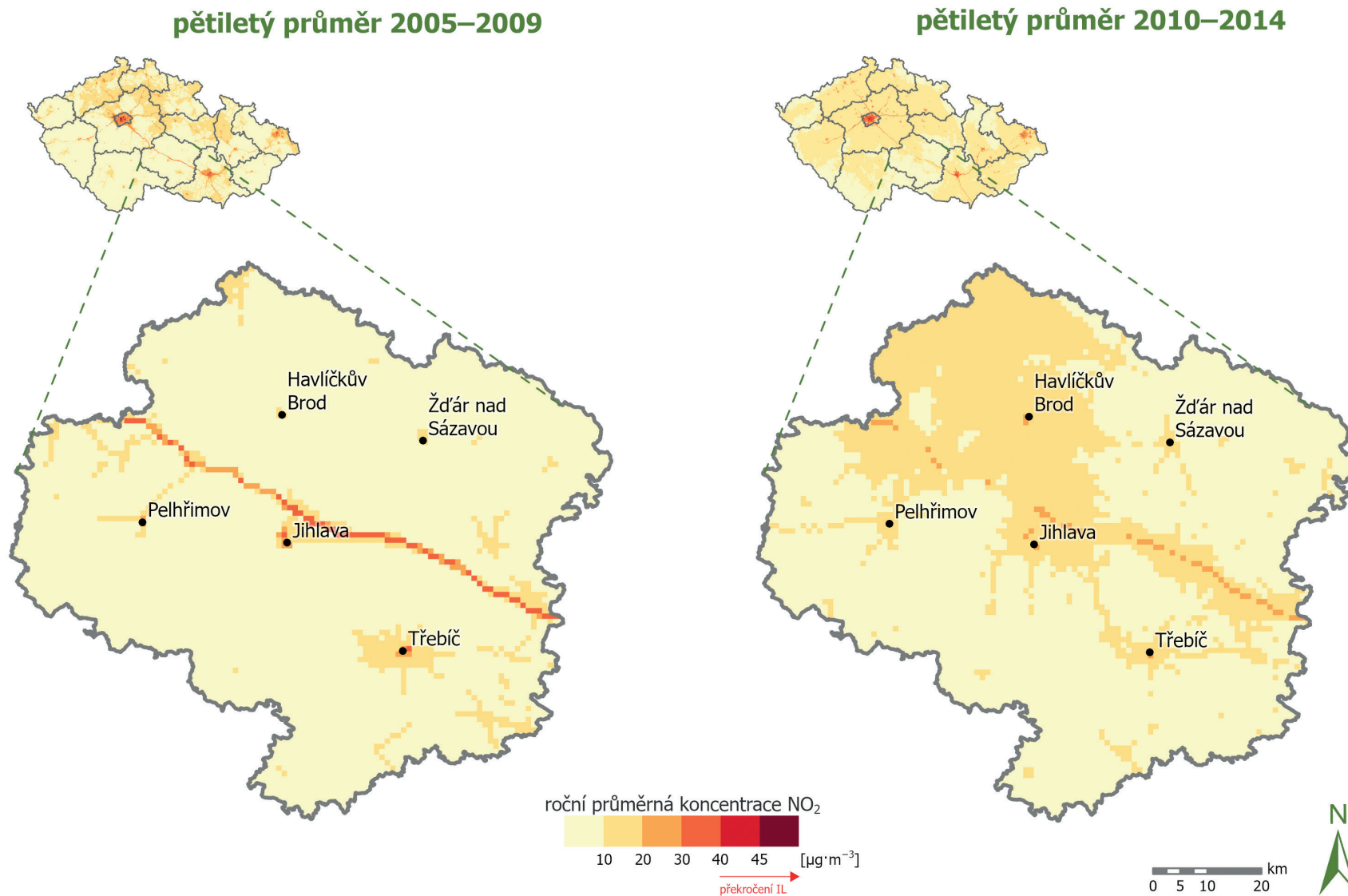
Oxid dusičitý má zákonem stanovené imisní limity, a to hodinovou průměrnou koncentrací 200 µg·m⁻³ s maximálním množstvím překročení 18× za rok a roční průměr 40 µg·m⁻³. Kromě toho je stanoven imisní limit pro souhrn oxidů dusíku (NO_x, tj. NO₂ + NO) za účelem ochrany ekosystémů a vegetace o hodnotě roční průměrné koncentrace 30 µg·m⁻³.

Dle registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) lze sledovat vývoj emisí za posledních 20 let. Struktura emisí NO₂ na Vysočině se měnila během let. Největším zdrojem NO₂ byla doprava s podílem 42–66 %. Malé zdroje (domácí vytápění) tvořily 19–36 % emisí. Průmyslové zdroje přispívaly k emisím NO₂ 15–22 %. Výraznější rozdíl mezi zdroji je patrný zejména při porovnání roků 2005 a 2024, kdy v roce 2005 byl podíl dopravy na NO₂ 66 % a v roce 2024 se snížil na 43 %.

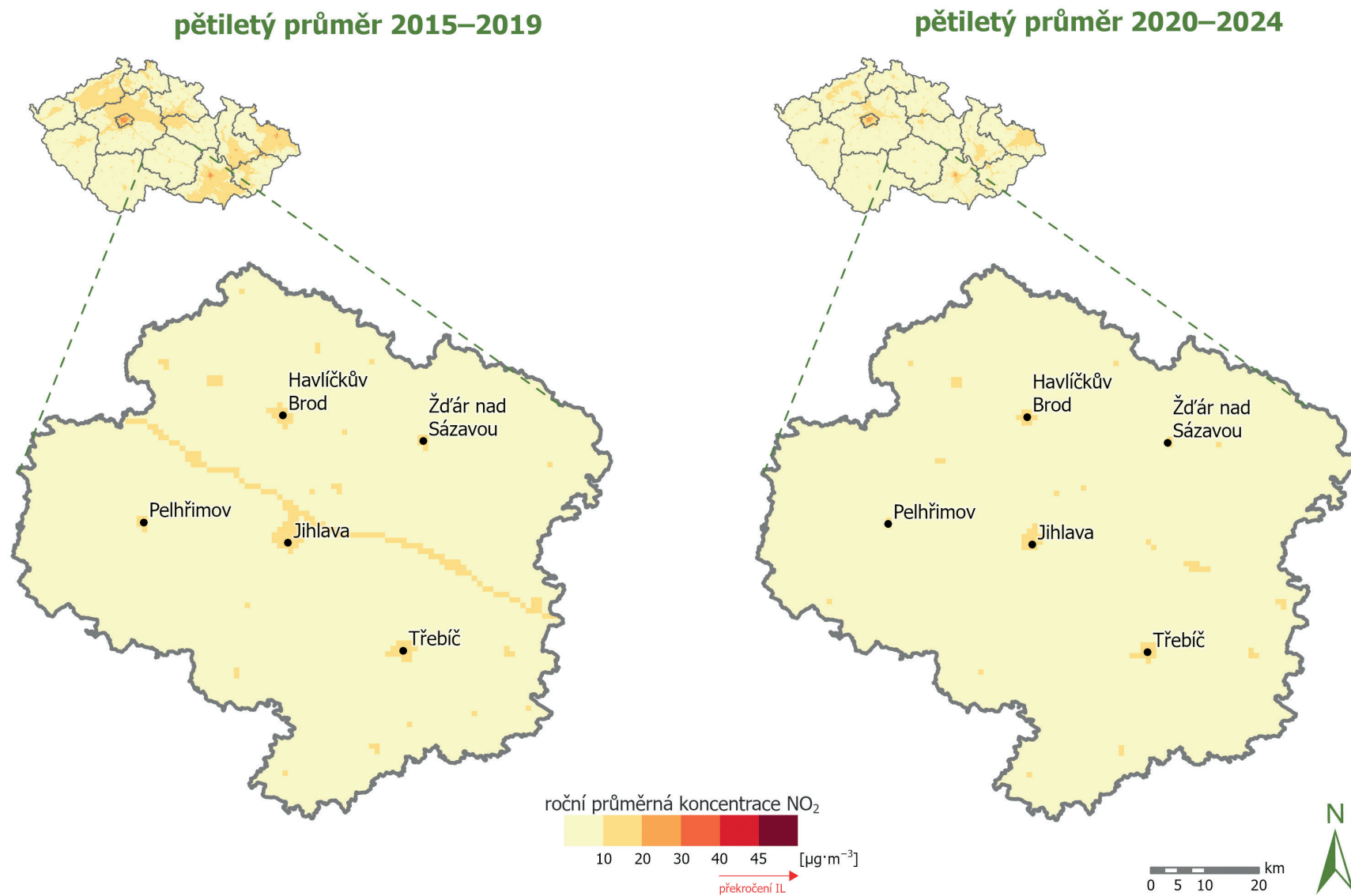


Obr. 3.2 Skladba emisí NO₂ v Kraji Vysočina v letech 2005, 2010, 2015, 2020 a 2024. Kategorie REZZO 1 + 2: Zvláště velké a velké zdroje, například spalovací zařízení nad 5 MW tepelného příkonu, významné technologické procesy. Střední zdroje, spalování s příkonem 0,3 až 5 MW a méně významné technologie. REZZO 3: Malé zdroje, lokální topeniště do 0,2 MW, méně významné technologické procesy, skládky, lomy a další plošné zdroje. REZZO 4: Mobilní zdroje, jako jsou silniční, železniční, plavební a letecká doprava.

3.2.1 Mapy pětiletých průměrů koncentrací NO₂



Obr. 3.2.1a Mapy pětiletých průměrů koncentrací NO₂, Vysočina, 2005–2009 a 2010–2014.



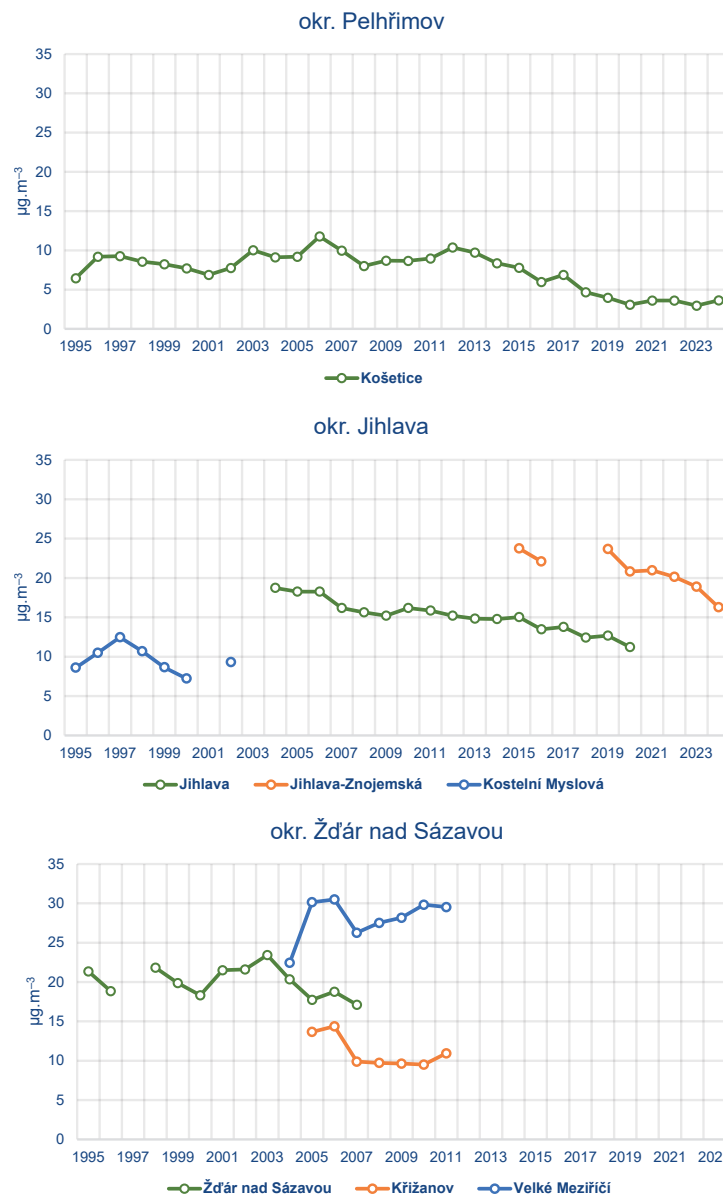
Obr. 3.2.1b Mapy pětiletých průměrů koncentrací NO₂, Vysočina, 2015–2019 a 2020–2024.

3.2.2 Vývoj koncentrací NO₂

Vývoj koncentrací oxidu dusičitého (NO₂) dle okresů

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace oxidu dusičitého v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na jednotlivých stanicích po jednotlivých okresech. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případě, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

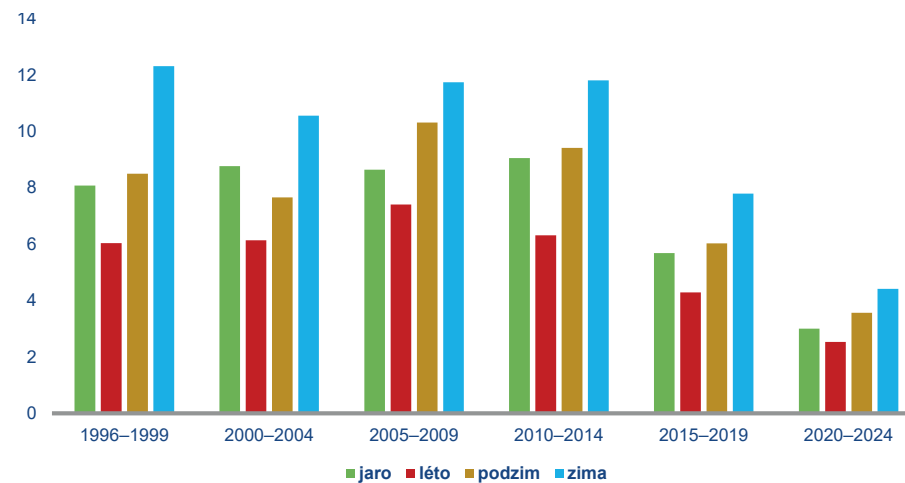
Grafy dobře ukazují na trend dlouhodobého poklesu koncentrací NO₂. Patrné je to například u dopravní stanice Jihlava-Znojemská. Právě na dopravních stanicích bývají koncentrace NO₂ nejvyšší.



Obr. 3.2.2a Vývoj koncentrací oxidu dusičitého (NO₂) měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 1995–2024.

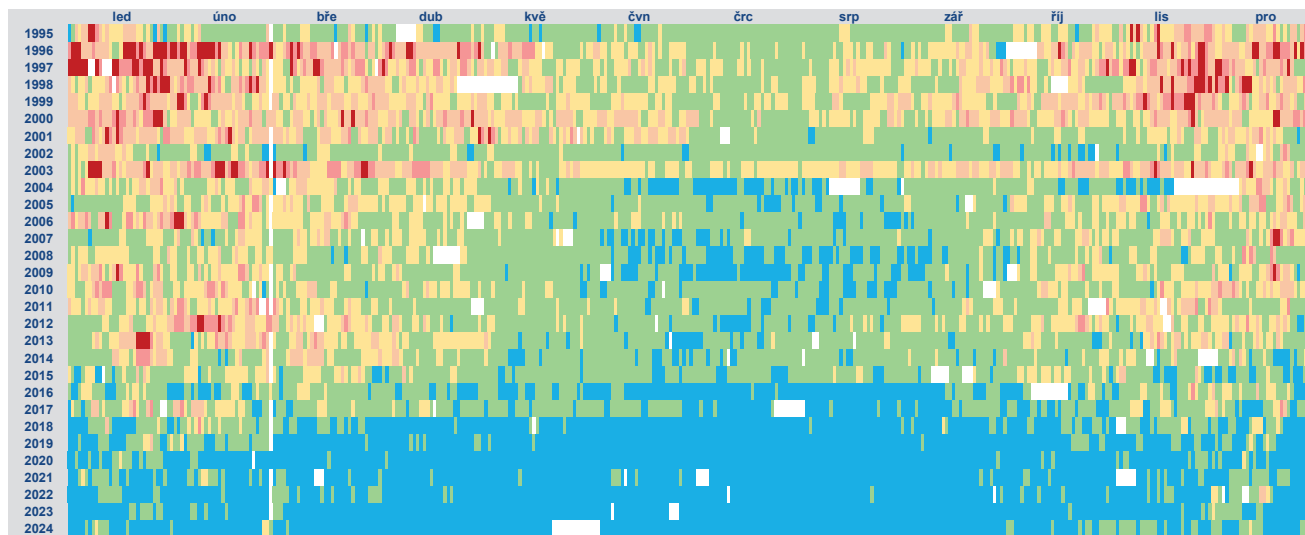
	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
1995	6,8	5,1	5,3	5,2	3,9	5,5	3,2	5,4	6,2	7,6	12,1	11,2
1996	16,9	14,2	10,8	8,9	7,0	6,7	4,2	3,9	5,1	6,9	9,2	14,4
1997	17,3	8,6	10,1	10,9	7,1	6,5	7,0	6,4	7,1	8,7	12,6	10,7
1998	10,8	12,7	7,6	5,3	4,5	5,7	7,6	8,2	6,5	7,6	10,6	11,4
1999	10,0	11,9	10,2	8,3	6,1	6,5	4,6	5,2	8,2	7,9	11,5	8,9
2000	13,0	11,8	7,5	8,2	7,8	7,1	4,5	4,8	5,7	7,3	7,0	8,1
2001	9,8	9,5	7,2	6,6	11,7	5,9	3,7	4,9	4,3	5,4	5,9	7,4
2002	11,4	6,0	6,8	12,8	6,4	5,6	5,2	6,0	6,6	5,9	8,5	11,7
2003	11,5	13,6	11,5	9,5	7,3	7,5	7,5	8,8	9,1	10,2	12,0	12,1
2004	11,9	9,8	10,9	9,4	7,8	6,5	7,0	7,1	7,7	7,6	11,6	10,7
2005	9,4	9,9	11,2	9,3	8,0	8,0	6,3	5,7	7,2	11,1	13,3	10,9
2006	19,4	17,6	13,3	11,2	6,0	8,6	8,9	10,3	13,3	13,4	9,7	10,1
2007	6,9	10,3	8,5	8,5	6,1	8,7	10,2	9,3	9,5	13,8	12,7	14,6
2008	10,4	10,3	6,7	8,7	7,4	6,1	6,6	5,8	6,4	8,6	8,2	10,5
2009	12,9	11,5	7,9	9,4	7,4	5,9	3,6	7,0	7,4	10,7	9,3	11,4
2010	12,4	10,9	9,0	8,5	7,2	5,7	5,2	5,5	7,3	9,2	9,4	13,3
2011	10,8	13,7	9,2	7,2	7,5	7,7	7,3	7,1	8,4	7,1	15,8	6,8
2012	10,9	19,1	11,2	8,4	8,0	5,9	6,8	6,4	8,0	11,8	10,1	10,8
2013	16,0	13,1	12,5	11,2	7,4	6,0	5,7	7,6	6,9	8,0	11,5	10,0
2014	12,8	8,3	12,3	9,7	6,3	5,9	6,0	6,1	7,3	8,6		8,0
2015	8,7	10,1	9,4	8,2	7,1	6,6	5,8	7,2		10,1	7,4	5,8
2016	7,6	6,6	7,7	5,2	5,4	3,7	4,6	3,5	4,5		8,0	9,2
2017	10,0	11,4	7,2	6,5	6,9	5,7	4,2	5,1	6,4	6,5	9,8	9,6
2018	6,1	8,4	4,8	3,1	3,4	3,3	3,0	3,4	4,0	4,3	7,0	5,7
2019	6,2	6,6	3,3	3,7	3,3	2,6	2,9	2,8	3,2	4,0	4,5	4,7
2020	5,5	3,5	3,3	2,9	2,8	2,0	1,5	2,0	2,4	3,1	4,0	3,9
2021	5,0	5,0	3,7	3,0	2,4	3,8	2,1	2,2	2,9	3,4		5,3
2022	4,2	2,8	4,4	3,5	3,0	2,8	2,8	3,3	3,1	3,3	3,9	6,4
2023	3,6	3,5	3,0	2,4	2,0		1,9	2,5	2,9	3,3	3,6	4,5
2024	4,7	3,7	3,1	2,9		2,2	2,6	3,5	3,3	4,3	5,5	4,7

Obr. 3.2.2b Průměrné měsíční koncentrace NO₂ v lokalitě Košetice [μg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.



Obr. 3.2.2c Průměrné koncentrace NO₂ v lokalitě Košetice v jednotlivá roční období roku [μg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.

Obr. 3.2.2d Průměrné denní koncentrace NO₂ v lokalitě Košetice [μg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.



Průměrné měsíční koncentrace na stanici Košetice

V posledních letech hodnoceného období byly koncentrace výrazně nižší než na jeho začátku. Výraznější pokles je zaznamenán zejména od roku 2018. Poslední roky hodnoceného období pak vykazují průměrné měsíční koncentrace výrazně nižší, než jaké byly pozorovány na začátku hodnoceného období, a to ve všech měsících roku. V období 1995 až 2014 byly běžné průměrné koncentrace NO_2 v zimních měsících nad $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V posledním pětiletí už to bylo jen do přibližně $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Vývoj ročního chodu koncentrací NO_2 na stanici Košetice

Z grafu průměrných koncentrací NO_2 v jednotlivá roční období je patrné, že dochází ke shlazování rozdílů. Zatímco v prvních pětiletích hodnoceného období byly koncentrace NO_2 výrazně vyšší v zimě, na konci hodnoceného období to sice stále platí, ale rozdíly mezi jednotlivými sezónami nejsou tak výrazné.

3.3 Přízemní ozon (O_3)

Jako ozon označujeme molekulu tvořenou třemi atomy kyslíku. Jedná se o plynnou látku, která je velmi reaktivní a má ostrý zápach. Podle toho, v jaké výšce v atmosféře se vyskytuje, je buď látkou nezbytnou pro život, nebo naopak látkou škodlivou.

Stratosférický ozon zahrnuje zhruba 85–90 % veškerého ozonu v zemské atmosféře. Nachází se ve výšce 20–30 km nad zemí, kde tvoří ozonovou vrstvu, jejíž existence je jednou z podmínek života. Chrání totiž organismy před účinky ultrafialového záření (UV-C s vlnovou délkou nižší než 280 nm a částečně UV-B s vlnovou délkou 280–315 nm), které má dostatečnou energii, aby vážně poškozovalo živé tkáně (především kůži). Bez ozonové vrstvy by byl tedy život na Zemi možný jen v oceánech nebo pod povrchem.

Oproti tomu přízemní (nebo také troposférický) ozon se vyskytuje v blízkosti zemského povrchu, tedy ve vzduchu, který dýcháme. Přízemní ozon nemá žádný přímý přírodní ani lidský zdroj. Jedná se o tzv. sekundární polutant, což znamená, že vzniká až jako následek fotochemických reakcí v atmosféře. Je tedy produktem reakcí, které ke svému průběhu potřebují světelnou energii. Právě proto je ozon v podstatě jedinou látkou, pro kterou jsou (v podmínkách České republiky) zaznamenávány vysoké koncentrace pouze v letním období, kdy jsou v atmosféře vhodné podmínky pro jeho vznik (dostatek slunečního záření).

Přízemní ozon vzniká dvěma způsoby. Jednou z možností vzniku je rozpad molekuly kyslíku (O_2) na dva atomy kyslíku (O) vlivem působení ultrafialového záření. Volné atomy kyslíku se mohou navázat na molekulu kyslíku za vzniku ozonu (O_3).

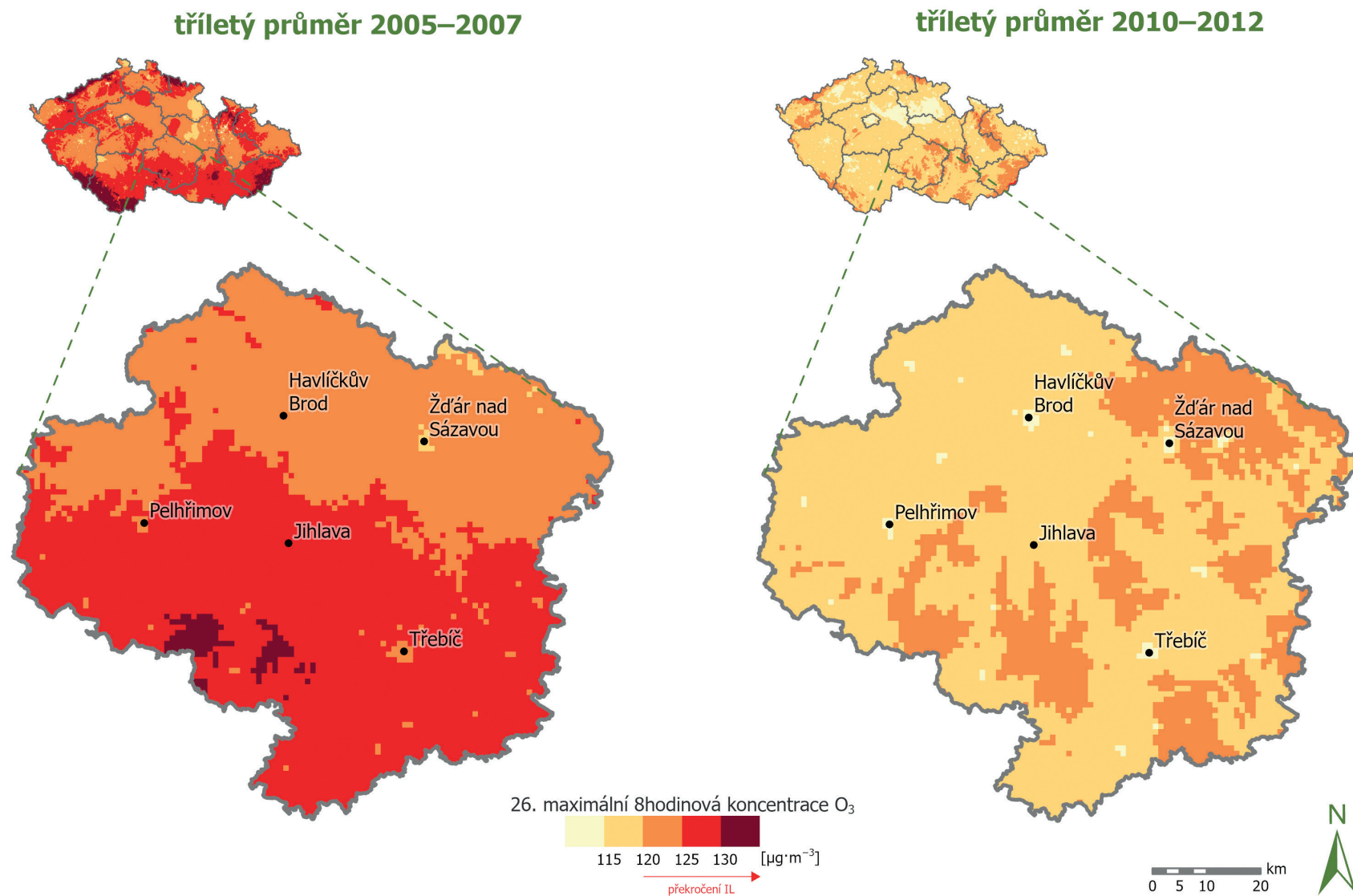
Druhý způsob vzniku přízemního ozonu je výsledkem řetězce reakcí oxidů dusíku (NO_x) s těkavými organickými látkami (VOC), slunečním zářením a dalšími složkami atmosféry. Oxidy dusíku (NO_x) společně s těkavými organickými látkami (VOC) jsou do ovzduší uvolňovány lidskou činností, jako je doprava a průmysl. Jsou označovány jako prekurzory ozonu – tj. sloučeniny, které přispívají k tvorbě jiné látky. Koncentraci přízemního ozonu ovlivňuje typ lokality a typ zdrojů znečištění (od nichž se odvíjejí konkrétní koncentrace NO_x , VOC) i meteorologické podmínky, jako teplota vzduchu, vlhkost vzduchu (nárůst s teplotou vzduchu, pokles s nárůstem vlhkosti vzduchu) a množství ultrafialového záření. Přízemní ozon je úzce spjat s tzv. losangeleským smogem (viz podkapitola o NO_x , 3.2), který vzniká vlivem husté dopravy.

Přízemní ozon je silně dráždivou látkou a má negativní vliv na lidské zdraví. Způsobuje akutní problémy, jako škrábání v krku, kašel, obtížné dýchání, podráždění očních spojivek, bolest hlavy, nebo zhoršuje/vyvolává chronická onemocnění dýchacích cest (astma, bronchitidy apod.). Kromě zdravotních důsledků má přízemní ozon také negativní vliv na ekosystémy. Způsobuje zpomalení růstu rostlin, zvyšuje jejich náchylnost k chorobám nebo napadení škůdci a narušuje přirozené mikrobiální složení půdy.

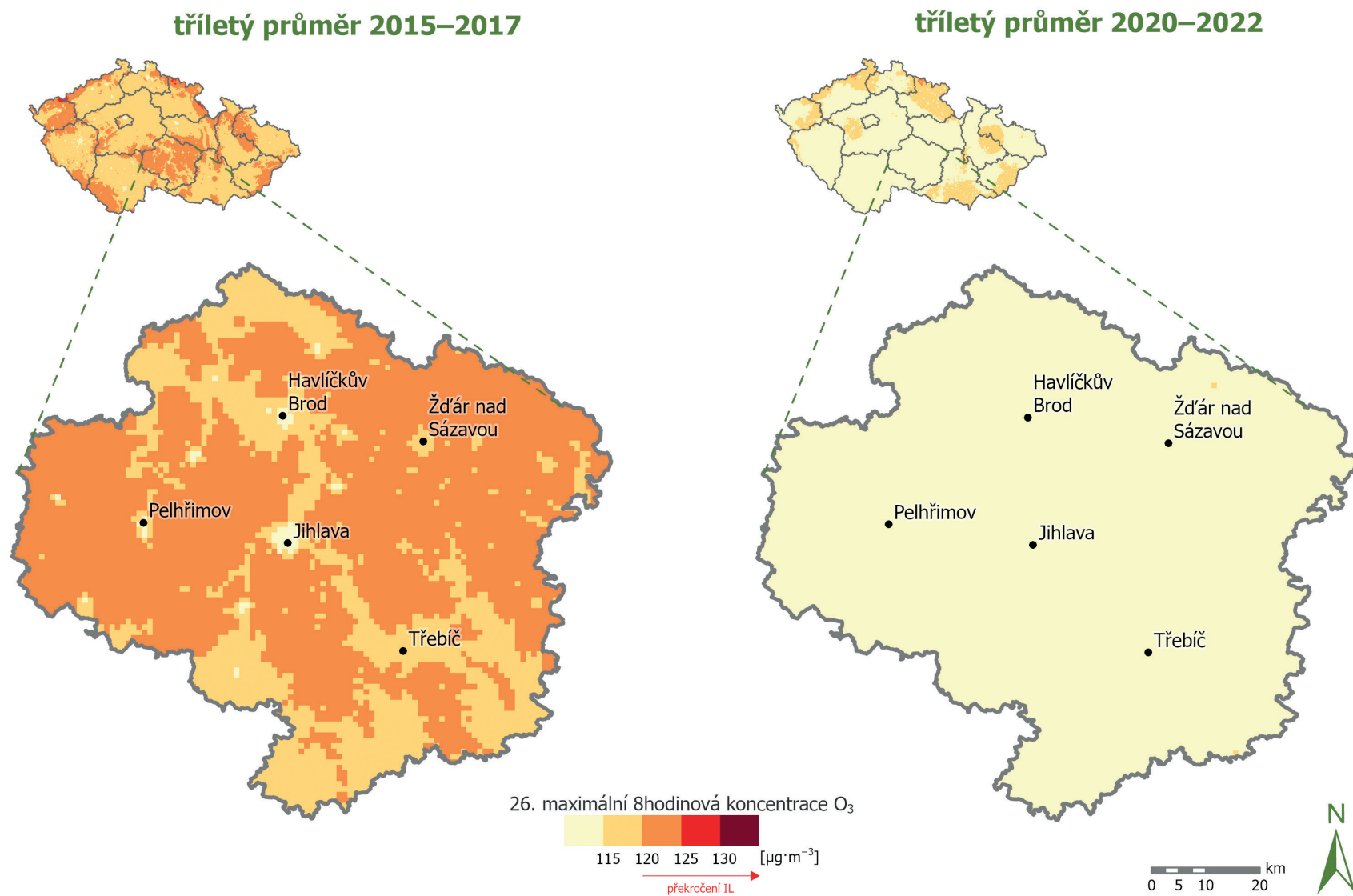
Nejvyšší koncentrace ozonu jsou měřeny typicky za horkých a jasných letních dnů. To se pak promítá i do ročních statistik, kdy teplejší roky vykazují vyšší koncentrace ozonu oproti těm chladnějším. K nejvyššímu nárůstu koncentrací přízemního ozonu, na rozdíl od jiných znečišťujících látek, dochází v odlehlejších oblastech – především ve vyšších nadmořských výškách, tj. v horských oblastech.

Pro účely ochrany zdraví je imisní limit pro koncentraci O_3 stanoven jako maximální denní 8hodinový klouzavý průměr $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s průměrným překročením max. 25× ročně během 3 let. Z důvodu ochrany vegetace je vyhodnocován tzv. expoziční index AOT40, který je počítán jako součet rozdílů mezi hodinovou koncentrací vyšší než $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnotou $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž do výpočtu vstupují pouze koncentrace změřené denně mezi 8:00 a 20:00 SEČ v období od 1. května do 31. července. Pětiletý průměr tohoto indexu pak nesmí přesáhnout hodnotu $18\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.3.1 Mapy tříletých průměrů koncentrací O_3



Obr. 3.3.1a Mapy tříletých průměrů 26. maximální 8hodinové koncentrace O_3 , Vysočina, 2005–2007 a 2010–2012.



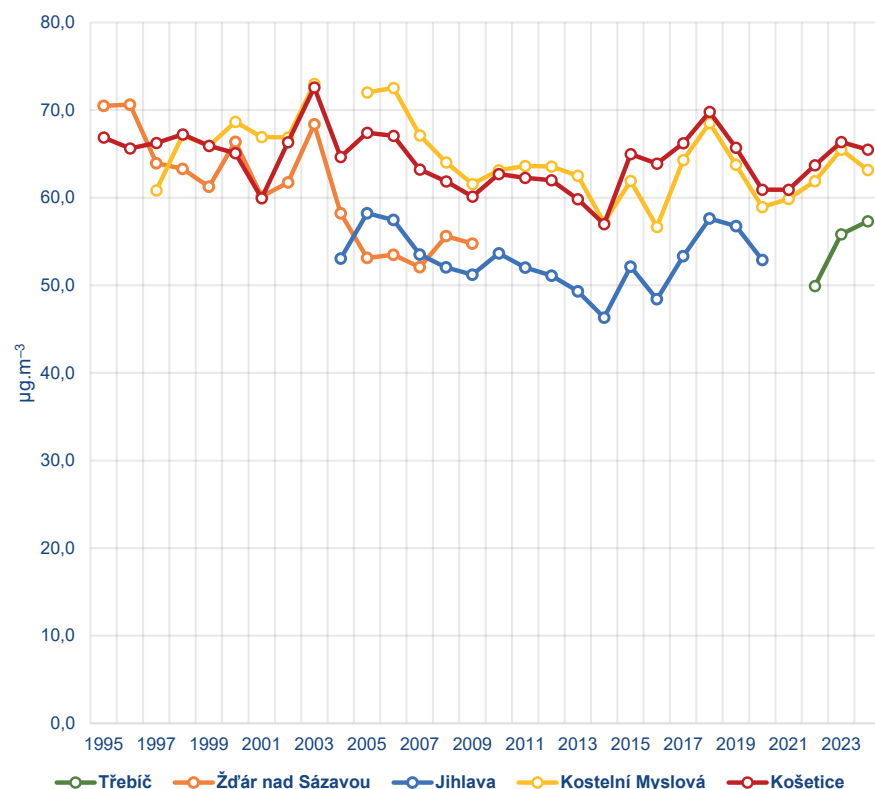
Obr. 3.3.1b Mapy tříletých průměrů 26. maximální 8hodinové koncentrace O₃, Vysočina, 2015–2017 a 2020–2022.

3.3.2 Vývoj koncentrací O₃

Vývoj koncentrací přízemního ozonu (O₃)

Grafy ukazují průměrné roční koncentrace O₃ v µg·m⁻³ na jednotlivých stanicích v Kraji Vysočina. Hodnota ročního průměru se stanovuje pouze v případě, kdy je splněna podmínka alespoň 90% dostupnosti dat za daný rok.

Koncentrace O₃ na začátku hodnoceného období vykazují klesající trend, posledních 10 let však dochází spíše ke stagnaci.



Obr. 3.3.2a Vývoj koncentrací přízemního ozonu (O₃) měřených na stanicích imisního monitoringu ČHMÚ, Vysočina, 1995–2024.

Hodnoty v jednotlivé roky jsou velmi výrazně ovlivněny zejména počasím, konkrétně teplotou vzduchu a intenzitou slunečního záření. V posledních 10 letech byly koncentrace vyšší například v roce 2018, což byl rok s velmi horkým létem a obecně velmi teplý.

Na jednu stranu se daří snižovat koncentrace prekurzorů fotochemické reakce, ze které přízemní ozon vzniká (například oxidů dusíku), na straně druhé se však dlouhodobě otepluje, což koncentrace přízemního ozonu naopak zvyšuje.

Průměrné měsíční koncentrace O₃ na stanici Košetice

Přízemní ozon vzniká v přízemní vrstvě fotochemickou reakcí, tedy jsou tyto koncentrace závislé zejména na intenzitě slunečního záření a teplotě vzduchu. Na rozdíl od ostatních znečišťujících látek jsou tedy koncentrace O₃ nejvyšší v nejteplejší části roku.

	led	úno	bře	dub	kvě	čvn	črc	srp	zář	říj	lis	pro
1995	47,8	55,6	65,0	79,5	93,9	74,3	104,0	89,7	68,6	52,9	33,5	38,5
1996	43,5	78,9	86,8	93,3	74,3	85,8	73,6	75,2	51,1	49,0	39,5	36,9
1997	42,3	68,3	69,5	81,4	89,1	86,7	77,4	85,4	69,2	51,2	35,2	37,3
1998	48,0	65,4	75,0	85,0	90,6	80,3	74,0	88,2	59,7	46,2	44,0	49,8
1999	48,4	66,2	68,9	80,4	89,5	77,1	82,4	78,1		46,5	36,9	53,4
2000	52,9	61,0	66,7	85,4	91,5	90,9	67,6	80,6	60,7	49,5	38,0	36,4
2001	43,7	57,0	63,7	77,1	78,9	78,0	73,0	73,4	47,6	44,1	40,3	43,5
2002	51,9	62,6	70,3	80,1	82,1	83,0	80,8	84,4	65,4	51,7		34,2
2003	46,6	69,3	79,3	88,8	88,8	96,7	87,0	103,6	78,7	49,9	35,2	46,3
2004	54,3	66,1	80,6	79,6	76,0	74,5	75,5	82,6	67,7	42,6	39,4	36,9
2005	54,2	71,6	88,2	84,7	86,6	83,9	78,4	65,6	65,4	53,2	36,6	41,9
2006	55,7	64,6	85,0	84,1	90,4	82,7	92,5	55,1	64,3	52,1	44,1	38,5
2007	54,7	50,4	66,8	89,3	84,6		79,0	73,1	55,8	42,7	43,1	37,0
2008	47,8	57,0	74,1	75,1	82,7	77,7	76,7	74,2	56,5	40,7	40,9	36,5
2009	43,3	49,9	65,2	89,5	78,6	70,9	67,4	72,7	60,7	39,9	42,1	39,7
2010	49,5	71,4	74,2	78,3	66,8	77,3	87,0	67,5	54,8	48,3	35,0	43,7
2011	51,3	55,2	70,6	79,5	83,2	77,3	68,8	66,9	57,9	50,4	38,7	46,9
2012	53,1	54,3	64,2	81,9	87,5	74,8	68,6	77,6	59,2	45,2	36,9	42,2
2013	42,4	55,3	73,5	79,2	66,4	69,5	83,6		54,4	49,0	36,2	39,8
2014	37,5	59,5	71,2	72,4	73,2	75,3	74,3	52,1	45,3	41,2		45,8
2015		59,7	64,5	73,9	74,6	76,6	89,2	92,4	61,2	38,0	48,3	43,5
2016	49,0	56,7	58,8	75,7	90,8	74,8	79,5	77,0	82,0	42,7	40,0	41,3
2017	60,5	62,5	69,0	76,8	82,2	85,6	76,5	83,0	58,2	52,8	40,8	46,7
2018	48,5	57,3	72,9	86,8	93,0	80,2	93,4	87,5	69,9	61,5	37,0	47,3
2019	55,0	61,9	69,8	84,4	74,2	89,6	81,2	74,9	61,7	45,8	41,5	50,7
2020	48,6	67,0	75,0	89,8	73,4	66,7	66,4	68,8	62,5	44,8	34,1	36,3
2021	44,6	54,4	63,1	73,6	72,6	81,7	72,7	62,3	64,0	54,7		44,1
2022	53,1	63,5	74,7	74,0	79,5	82,4	78,7	75,3	58,2	43,2	37,4	42,8
2023	50,1	58,2	69,1	69,4	77,9	81,3	83,0	75,5	71,1	58,1	51,5	51,2
2024	55,6	55,0	63,1	78,2	74,9	77,0	76,8	85,0	77,5	50,6	42,8	46,0

Obr. 3.3.2b Průměrné měsíční koncentrace O₃ v lokalitě Košetice [µg·m⁻³], Vysočina, 1995–2024.

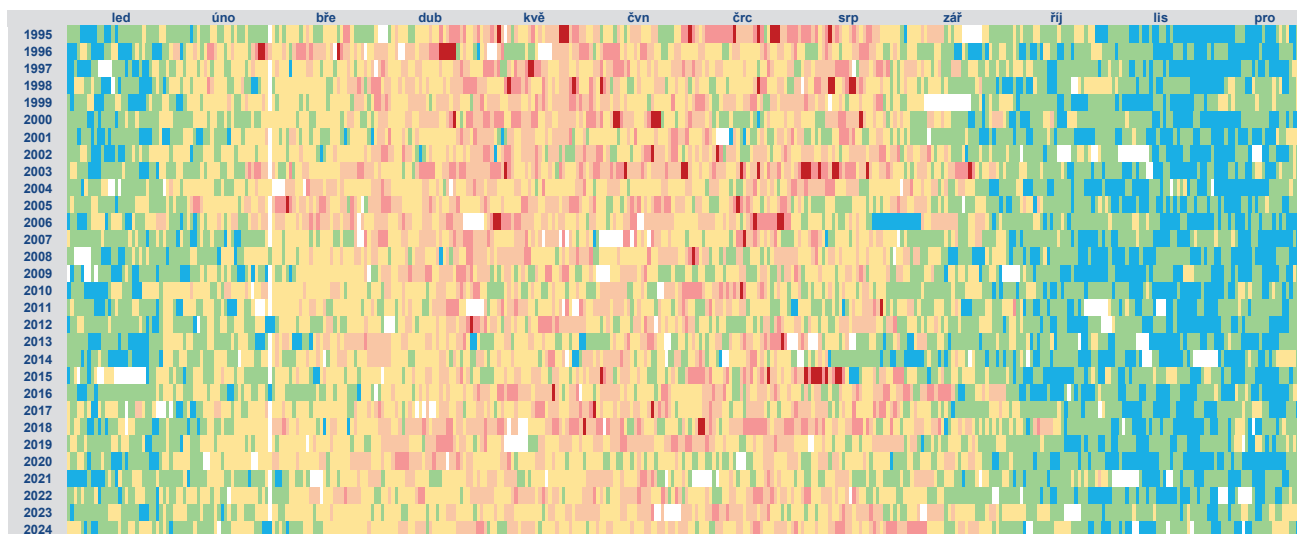
Vývoj ročního chodu koncentrací O_3 na stanici Košetice

Z grafu průměrných koncentrací O_3 je vidět vyšší průměrná hodnota v jarních, a především letních měsících. Naopak v zimních jsou koncentrace nejnižší. To je dáno jak nižšími teplotami, tak nižší intenzitou slunečního záření a kratší délkou dne. Mezi obdobími 1996–1999 a 2020–2024 je patrný mírný pokles na jaře (o přibližně 10 %) a v létě (o přibližně 5 %).



Obr. 3.3.2c Průměrné koncentrace O_3 v lokalitě Košetice v jednotlivá roční období roku [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1995–2024.

Obr. 3.3.2d Průměrné denní koncentrace O_3 v lokalitě Košetice [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1995–2024.



3.4 Volatilní organické látky – VOC, Benzen

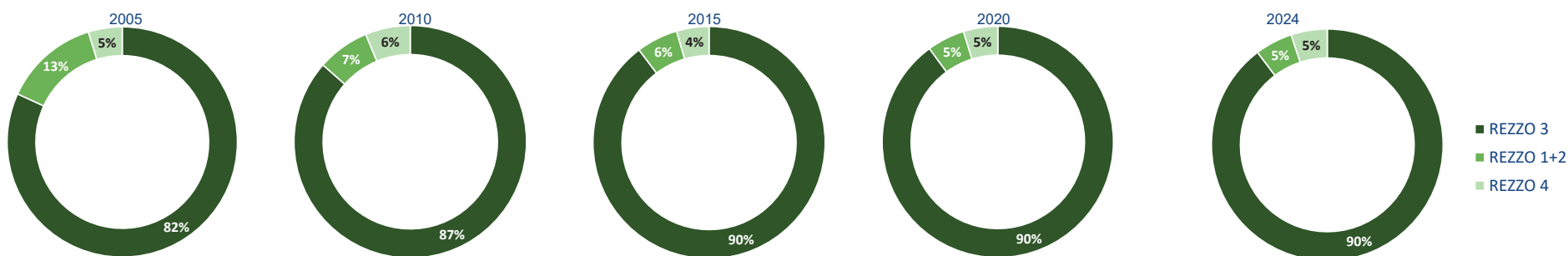
Volatilní organické látky (VOC), nazývané také jako těkavé organické látky, jsou sloučeniny s vysokým tlakem par a nízkou rozpustností ve vodě. V podmínkách za normální teploty a tlaku se tedy mohou snadno vypařovat. Jejich přítomnost v ovzduší podporuje oxidační procesy v atmosféře, přičemž v kombinaci se slunečním zářením a dalšími plynnými látkami dochází ke vzniku jiných látek, jako je například troposférický ozon či aerosolové částice (sekundární organické aerosoly). VOC zahrnují širokou škálu látek (více než sto) různého původu, s širokou škálou vlastností a s odlišnou dobou setrvání v atmosféře, která kolísá v rozsahu hodin (reaktivní VOC) až týdnů (málo reaktivní VOC). K látkám, které vznikají přírodními procesy, lze zařadit terpeny produkované vegetací a charakteristické pronikavou a mnohdy příjemnou vůní. Terpeny jsou například součástí silic či éterických olejů rostlin. Lidskou činností jsou VOC produkovány zejména ve spojení s využíváním motorových vozidel (používání fosilních paliv) a rozpouštědel (výroba rozpouštědel, barev, čisticích prostředků).

Některé látky ze skupiny VOC jsou označovány jako nebezpečné pro lidské zdraví. Mohou způsobit astma, záněty, ovlivnit funkci centrálního nervového systému a přispět tak ke vzniku rakoviny.

Jedinou volatilní organickou látkou se stanoveným zákonným limitem koncentrace v ovzduší, jež poškozuje lidské zdraví, je benzen. Hodnota imisního limitu je stanovena na $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v ročním průměru. Benzen je karcinogenní látka s dobou setrvání v atmosféře několik dní, a to s ohledem na podmínky prostředí a koncentrace dalších látek. Tato relativně dlouhá doba umožňuje transport benzenu na delší vzdálenosti. Benzen je obsažen v pohonných hmotách, zejména v benzínu. Převážná část emisí benzenu je tedy tvořena automobilovou dopravou. Dalšími jeho zdroji jsou průmyslová výroba, domácí vytápění, cigaretový kouř (včetně elektronických cigaret), stavební materiály, vaření, skladování rozpouštědel a pohonných hmot.

Dlouhodobé vystavení zvýšeným koncentracím benzenu způsobuje genetické poškození buněk vedoucí k rakovině, poškození kostní dřeně nebo snížení počtu červených i bílých krvinek vedoucí k rozvoji leukémie.

Benzen se vyskytuje nejen v ovzduší, ale také ve vodě a půdě, kam se může mimo jiné dostat prostřednictvím srážek, které jsou kontaminovány ze znečištěného ovzduší. Oproti rozpadu benzenu v ovzduší, který trvá v řádu dní, je jeho rozklad v půdě a vodě zpomalen na dny až měsíce v závislosti na podmínkách prostředí. Zvýšené koncentrace benzenu mají negativní vliv na reprodukci a délku života živočichů žijících ve vodě. Stejně tak benzen způsobuje zpomalení růstu rostlin a jejich úhyn.

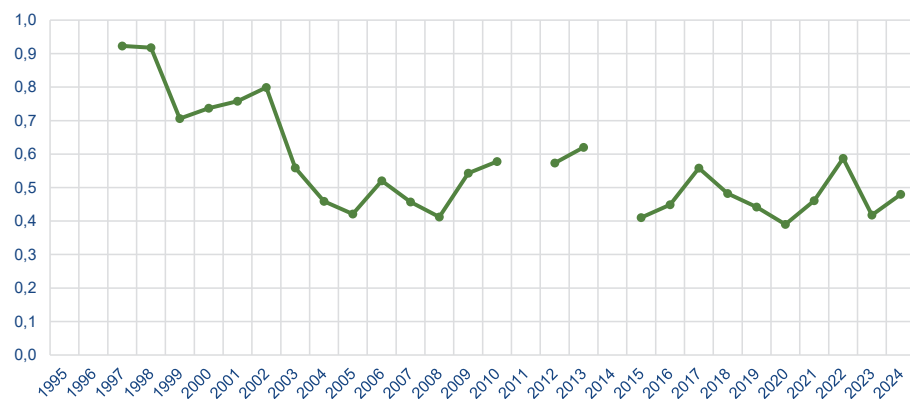


Obr. 3.4 Skladba emisí VOC v Kraji Vysočina v letech 2005, 2010, 2015, 2020 a 2024. Kategorie REZZO 1 + 2: Zvláště velké a velké zdroje, například spalovací zařízení nad 5 MW tepelného příkonu, významné technologické procesy. Střední zdroje, spalování s příkonem 0,3 až 5 MW a méně významné technologie. REZZO 3: Malé zdroje, lokální topeniště do 0,2 MW, méně významné technologické procesy, skládky, lomy a další plošné zdroje. REZZO 4: Mobilní zdroje, jako jsou silniční, železniční, plavební a letecká doprava.

Dle registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) lze sledovat vývoj emisí za posledních 20 let. Struktura emisí VOC na Vysočině se během let změnila. Největším zdrojem VOC byly malé zdroje s podílem 82–90 %. Doprava tvořila 5–13 % emisí. Průmyslové zdroje přispívaly k emisím VOC 6–15 %. Rozdíl v podílu zdrojů je patrný od roku 2015. V předchozím období byla druhým největším zdrojem emisí VOC doprava (7 a 13 %). Od roku 2015 podíl dopravy poklesl na 4–5 % a je nižší než podíl průmyslových zdrojů (5–6 %).

3.4.1 Vývoj koncentrací benzenu

Vývoj koncentrací benzenu v lokalitě Košetice má klesající tendenci. Zatímco na počátku měření koncentrace benzenu mírně přesahovaly hodnotu $0,90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v roce 2024 byla zaznamenána průměrná roční koncentrace $0,49 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. I přes mírnou variabilitu koncentrací lze identifikovat stabilní snížení koncentrací, od roku 2015 průměrné roční koncentrace nepřesahují hodnotu $0,60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 3.4.1 Průměrné roční koncentrace benzenu v lokalitě Košetice [$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$], Vysočina, 1997–2024.

Pozn. Pro nedostatek dat z dalších stanic v Kraji Vysočina jsou prezentovány pouze data z observatoře Košetice.

4. Případové studie z Observatoře Košetice

4.1 Observatoř Košetice

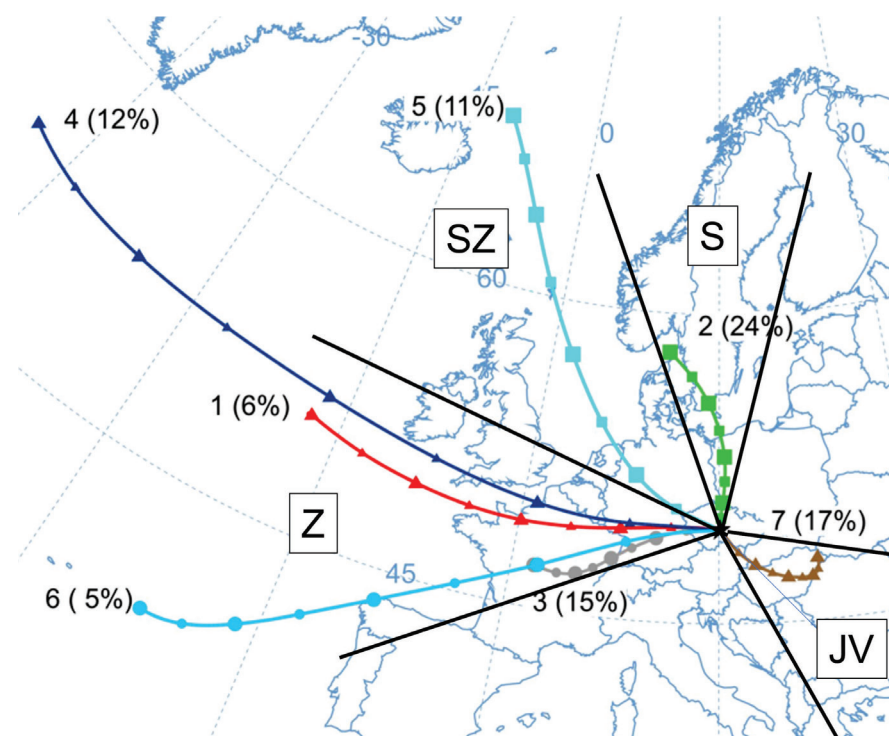
Observatoř Košetice je jedinečné pracoviště svého druhu v České republice. Nachází se v odlehlejší oblasti Kraje Vysočina, nedaleko geografického středu naší republiky i střední Evropy, a soustředí se na měření kvality ovzduší a meteorologických prvků.

Díky odloučené poloze observatoř měří pozadové znečištění – tedy základní (referenční) úroveň znečištění ovzduší. Na rozdíl od měření u rušných silnic, továrních komínů nebo domácích topenišť data z Observatoře Košetice ukazují průměrnou úroveň znečištění, která pochází z emisí z rozsáhlých území. Toto znečištění se šíří atmosférou v regionálním i globálním měřítku.

Observatoř Košetice provozuje nejrozsáhlejší program monitorování kvality ovzduší v České republice a zapojuje se do několika evropských i celosvětových výzkumných projektů. Mnohá zdejší měření jsou unikátní – neprovádějí se nikde jinde v České republice – a musí splňovat ty nejvyšší standardy kvality a přesnosti.

Práce observatoře zahrnuje několik vzájemně propojených činností: provoz sofistikované přístrojové techniky, nepřetržité měření, kontrolu kvality dat a jejich zpracování. Naměřená data jsou součástí jak národních zpráv (například Hodnocení kvality ovzduší a atmosférické depozice v České republice), tak mezinárodních reportů, které sledují dlouhodobý vývoj koncentrací znečišťujících látek (například <https://emep-ccc.nilu.no/reports>). Kromě toho jsou z výsledků zpracovávány odborné studie ve formě vědeckých článků. Vědecké články například vysvětlují, jak mohou meteorologické podmínky a geografické faktory ovlivnit kvalitu ovzduší. Propojením současných poznatků s existujícími vědeckými znalostmi pomáhají výzkumníci detailněji definovat, jak znečištění ovlivňuje lidské zdraví a životní prostředí. Objasňují také složité vztahy mezi látkami v atmosféře a slunečním zářením, čímž přispívají k lepšímu pochopení klimatické změny. Informace získané na Observatoři Košetice mohou sloužit jako cenný podklad pro zákonodárce při vytváření opatření ke zlepšení kvality ovzduší a plánování účinnějších strategií pro adaptaci na změnu klimatu.

Kvalitu ovzduší na Observatoři Košetice ovlivňuje především dálkový transport znečišťujících látek. Pomocí specializovaných modelů používajících meteorologická data mohou vědci určit, které vzduchové hmoty stanici ovlivňují a jak často – tedy sledují, odkud náš vzduch přichází a jaké znečištění s sebou nese.



Obr. 4.1 Vzduchové hmoty různého původu, které ovlivňují kvalitu ovzduší na Observatoři Košetice 2005–2024.

Výsledky z období 2005–2024 ukazují, že stanici ovlivňovaly vzduchové hmoty ze čtyř hlavních oblastí rozdělených podle světových stran. Nejčastěji na stanici působí vzduchové hmoty ze západního a severního sektoru, dále z jihovýchodního sektoru a nejméně často ze severozápadu. Chemické složení vzduchu se liší podle původu a délky cesty vzduchových hmot. Například tři vzduchové hmoty ze západního sektoru mají mořský původ a delší trajektorii, proto přináší zpravidla nízké množství znečišťujících látek. Naproti tomu vzduchové hmoty z jihovýchodního sektoru jsou kontinentálního původu s krátkou trajektorií a nesou s sebou vyšší koncentrace znečištění (obr. 4.1). Tyto rozdíly poskytují vědcům cenné poznatky o vzorcích znečištění v celé Evropě.

4.2 Případová studie z Observatoře Košetice

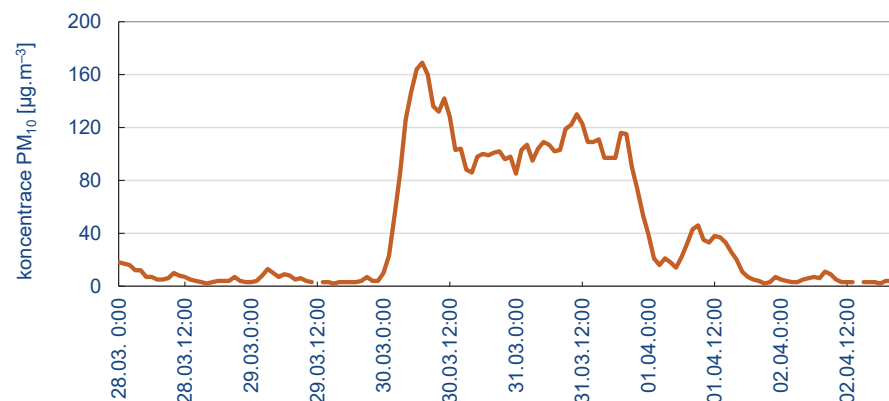
Kvalita ovzduší a jeho stav jsou ovlivněny více zdroji – přirozenými procesy a lidskou činností. I když tyto zdroje nepůsobí vždy zcela odděleně, lze identifikovat příklady, kdy jeden z těchto významných zdrojů dominuje.

4.2.1 Ovlivnění kvality ovzduší přírodními procesy – saharský prach

Události s výskytem saharského písku jsou fenoménem čistě přírodního původu. Částice písku původem ze Sahary jsou větrem vzneseny do výšek nad 1 000 m nad povrch a díky dálkovému transportu jsou přeneseny na místa vzdálená až tisíce km od zdrojové oblasti, tedy od Saharské pouště. Pro dálkový transport částic písku jsou zapotřebí vhodné meteorologické podmínky zahrnující silný vítr, specifické proudění spojené s přítomností tlakové níže a stabilitu atmosféry umožňující přenos písku ve vyšších vrstvách atmosféry. Písek je bohatý na prvky zemské kůry (např. křemík, železo, hliník, vápník) a do mnohých oblastí přináší potřebné živiny pro život místních organismů (např. Amazonie, povrchové vrstvy Atlantického oceánu).

V případě Evropy či konkrétně České republiky je pro přenos saharského písku nutné jižní až jihozápadní proudění. Jednou z významných událostí byl přesun saharského písku ve velikonocním období 30. března – 2. dubna 2024. V těchto dnech byla

významně ovlivněna kvalita ovzduší zvýšenými koncentracemi aerosolových částic (PM_{10} a $PM_{2.5}$). Tato událost byla zaznamenána téměř na všech stanicích kvality ovzduší. Na Vysočině, konkrétně na Observatoři Košetice, prudce stouply v noci 30. března koncentrace PM_{10} z obvyklých $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na hodnotu přesahující $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Koncentrace PM_{10} se pohybovaly mezi 90 a $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ až do noci 1. dubna, kdy začaly klesat na hodnoty pod $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Zvýšené hodnoty koncentrací PM_{10} měly za následek snížení teplot vzduchu, jelikož vrstva písku blokovala přísun slunečního záření, snížila dohlednost a pravděpodobně měla i negativní vliv na zdraví, například mohla způsobit problémy s dýcháním.

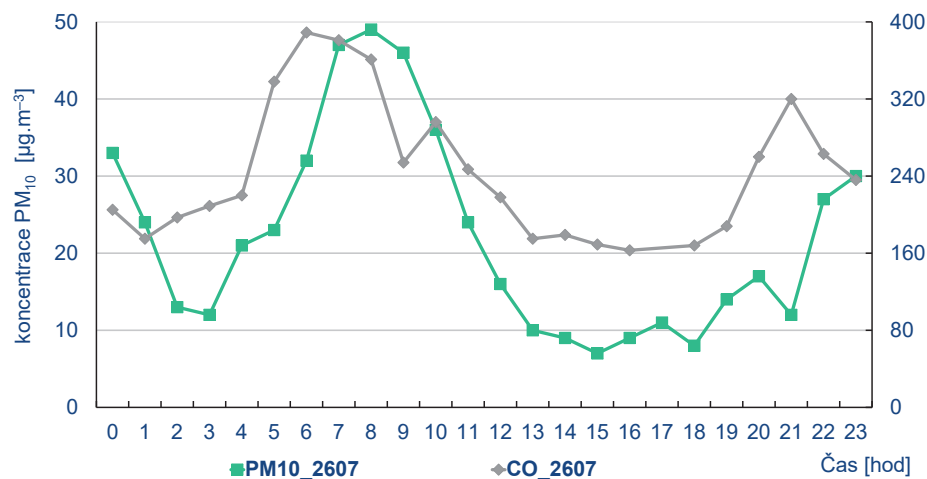


Obr. 4.2.1 Koncentrace PM_{10} ovlivněné přítomností saharského prachu nad Českou republikou, Observatoř Košetice 28. 3. 2024 – 2. 4. 2024.

4.2.2 Ovlivnění kvality ovzduší přírodními procesy – kouř z požárů

K přírodním vlivům působícím na kvalitu ovzduší patří i kouř z přirozených požárů. Při požárech uniká do ovzduší směs znečišťujících látek zahrnující například aerosolové částice, černý a hnědý uhlík, oxid uhelnatý, oxidy dusíku, aromatické uhlovodíky a další organické látky. Během spalování vzniká kouř obsahující uvedené plyny a čas-

tice malých rozměrů ($PM_{2.5}$ a menší), kouř se může díky větru dostat do vyšších vrstev atmosféry a může být přenášen na velké vzdálenosti. V České republice tak můžeme detekovat přenos kouře například z kanadských požárů (např. červen 2025). Jedním z nejvýznamnějších požárů v nedávné historii byl požár lesního porostu v Českosaském Švýcarsku trvající 20 dní v termínu 23. července – 12. srpna 2022. Již na počátku (26. 7. 2022) tohoto požáru nastaly podmínky umožňující šíření kouře z požáru pod vrstvou sesedající oblačnosti, přičemž došlo k zasažení části České republiky. Ani Kraj Vysočina nebyl výjimkou a vliv požáru na kvalitu ovzduší byl naměřen také na Observatoři Košetice, která je vzdálená 120 km od zdrojové oblasti. V ranních hodinách došlo ke zvýšení koncentrací PM_{10} a CO až na hodnoty $49 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (PM_{10}) a $389 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (CO). Tento stav trval jednotky hodin, dokud se nezlepšily rozptylové podmínky a vzduchová hmota obohacená kouřem z požárů byla zředěna čistším vzduchem. Poté byly měřeny opět běžné koncentrace uvedených znečišťujících látek.



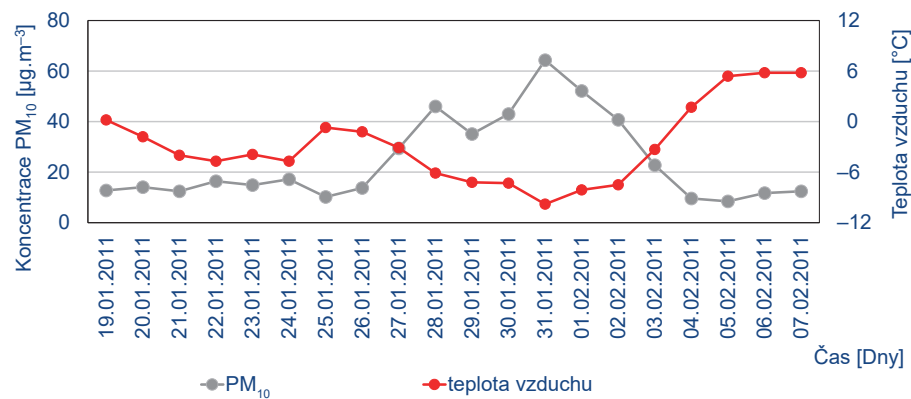
Obr. 4.2.2 Koncentrace PM_{10} a CO ovlivněné přenosem kouře z požáru v Českosaském Švýcarsku, Observatoř Košetice 26. 7. 2022.

4.2.3 Ovlivnění kvality ovzduší lidskou činností – domácí vytápění

Kvalita ovzduší může být ovlivněna i lidskou činností a je spojena zejména s důsledky nedokonalého spalování. Nejčastějšími zdroji znečištění ovzduší jsou domácí vytápění, doprava a průmyslové aktivity. I přes vhodné umístění Observatoře Košetice mimo působení přímých zdrojů znečištění můžeme ve výsledcích identifikovat jako jeden z významných lidských zdrojů znečištění ovzduší domácí vytápění. Domácí vytápění může mít vliv na kvalitu ovzduší prostřednictvím několika faktorů. Jedná se o typ kotle, způsob hoření, údržbu kotle a komínových cest nebo použité palivo. Tyto faktory určují množství znečišťujících látek, které se do ovzduší dostávají, a stejně tak i jejich charakter (chemické složení). Například při použití nekvalitního uhlí se mohou do ovzduší dostávat oxidy síry a dusíku, aerosolové částice či těžké kovy. Vytápění domácností je spojeno s chladnou částí roku, kdy je za chladných dní přirozeně zvýšená potřeba vytápění, která se projevuje zejména zvýšenými koncentracemi aerosolových částic (např. PM_{10}) v ranních a večerních hodinách. Tento nárůst koncentrací je spojen i s výškou mezní vrstvy atmosféry. Mezní vrstva atmosféry se mění v průběhu dne a její výška se vyvíjí mimo jiné díky turbulentnímu proudění, které vzniká zahříváním zemského povrchu slunečním zářením. V ranních, večerních a nočních hodinách je tato vrstva nejnižší, zatímco kolem poledne až v odpoledních hodinách dosahuje svého maxima. Výška mezní vrstvy určuje prostor, kde může docházet k promíchávání znečišťujících látek. Proto jsou nejvyšší koncentrace znečišťujících látek z vytápění zvýšené zejména ráno, večer a v noci, kdy je tento prostor výrazně omezen právě výškou mezní vrstvy. V chladném období je navíc obecně výška mezní vrstvy atmosféry nižší než v teplé části roku. Avšak není tomu tak ve všech případech.

Vliv na množství znečišťujících látek v ovzduší z domácího vytápění má totiž také aktuální meteorologická situace. V chladném období může vzniknout inverzní ráz počasí, kdy se chladný vzduch nahromadí při zemském povrchu (inverzní vrstva může dosahovat výšky stovek až 1 500 metrů v závislosti na topografii terénu a meteorologických podmínkách) a teplejší vzduch pak nad touto chladnou vrstvou vytváří pomyslnou neprostupnou bariéru, kvůli které dochází v chladné vrstvě k omezenému promíchávání vzduchu a znečišťující látky z vytápění či dopravy se v ní tak mohou hromadit. Pak je denní chod koncentrací méně výrazný.

Příkladem důsledku zvýšených koncentrací z domácího vytápění může být leden roku 2011, kdy koncentrace PM_{10} dosahovaly až k průměrné denní hodnotě $64 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V době nejvyšších koncentrací byla průměrná teplota vzduchu $-9,8^\circ\text{C}$.



Obr. 4.2.3 Koncentrace PM_{10} ovlivněné domácím vytápěním, Observatoř Košetice 19. 1. – 7. 2. 2011.

Závěr

Znečišťující látky v ovzduší jsou kontinuálně a systematicky monitorovány již několik desítek let. Během této dlouhé doby došlo k významnému vývoji technologie měření, která se stala přesnější a spolehlivější. Zároveň se měnil počet monitorovacích lokalit rozmístěných po celém území České republiky. Proměňovala se i pozornost věnovaná jednotlivým měřeným látkám – některé znečišťující látky byly do monitoringu nově přidány, zatímco jiné, které již nepředstavují tak významný problém, se monitorují minimálně.

Na všechny tyto změny v technologiích, měřených látkách, a především na rostoucí úroveň poznání jejich konkrétního vlivu na lidské zdraví a životní prostředí reagují i zákonné prostředky. A to ve formě evropských směrnic, národních zákonů či mezinárodních úmluv, jež stanovují závazná pravidla pro ochranu ovzduší.

Od šedesátých let 20. století, kdy začala být problematice kvality ovzduší věnována systematická pozornost, bylo identifikováno mnoho závažných problémů spojených se znečištěným ovzduším. Tyto problémy se projevovaly například v podobě kyselých dešťů poškozujících lesy a budovy, eutrofizace vod (zvýšené množství dusíku způsobující nadměrný a nezdavý růst rostlin ve vodních ekosystémech), výrazného nárůstu počtu smogových situací zejména ve velkých městech, a také znepokojivého zvýšení výskytu dýchacích onemocnění u obyvatelstva.

Díky cíleně přijatým opatřením a investicím do čistších technologií se podařilo snížit koncentrace některých znečišťujících látek v ovzduší, a výrazně tak omezit negativní projevy ovzduší se sníženou kvalitou na zdraví lidí i životního prostředí. I přes tento pozitivní vývoj a skutečnost, že v uplynulých letech došlo k významnému snížení koncentrací například oxidu siřičitého, oxidů dusíku, aerosolových částic, polyaromatických uhlovodíků a těžkých kovů, stále existuje prostor ke zlepšení a nelze v úsilí polevit.

Jasným důkazem této skutečnosti je vznik nové Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/2881 ze dne 23. října 2024 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. Tato směrnice reflektuje nejnovější vědecké důkazy a poznatky o lát-

kách v atmosféře a přináší řadu nových opatření směřujících k další ochraně veřejného zdraví. Zpřísňuje limity pro vybrané látky na základě aktuálních poznatků o jejich škodlivosti, zavádí nové znečišťující látky do pravidelného monitoringu a navrhuje konkrétní opatření, která povedou ke zlepšení kvality ovzduší.

Kraj Vysočina v současné době patří k prvním pěti nejčistším krajům v České republice. To však neznamená, že můžeme povolit a přestat se o kvalitu ovzduší aktivně starat. Právě naopak! Toto příznivé postavení znamená závazek a odpovědnost pro nás všechny – pro občany, firmy i veřejnou správu.

Ovzduší je nedílnou a nenahraditelnou částí našeho společného majetku, který patří nám všem a budoucím generacím. Musíme o něj zodpovědně pečovat, chránit ho před znečištěním a aktivně se snažit zamezit nežádoucím projevům a negativním dopadům na zdraví lidí, zvířat, rostlin a celkový stav životního prostředí kolem nás. Tak můžeme zajistit kvalitní život pro současné i budoucí obyvatele našeho kraje.

Použité zdroje informací

Arnika, 2025. Arnika [online]. [citováno 2025-04-16]. Dostupné z: <https://arnika.org/>.

ČHMÚ, 2000–2024. Znečištění ovzduší na území České republiky, Praha: Český hydrometeorologický ústav.

ČHMÚ, 2025. Český hydrometeorologický ústav [online]. [citováno 2025-02-07]. Dostupné z: www.chmi.cz.

ČMeS, 2023. Elektronický meteorologický slovník (eMS). [online]. [citováno 2025-05-30]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>.

ČSÚ, 2026. Český statistický úřad [online]. [citováno 2026-01-30]. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/>.

EC, 2025. Air pollution in the EU: facts and figures [online]. [citováno 2025-16-04]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/air-pollution-in-the-eu/>.

EEA, 2013. Air quality in Europe – 2013 report. EEA Technical report 9/2013. Copenhagen: EEA. [online]. [citováno 2025-07-21]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013>.

ENVIDATA, 2025. ENVIDATA, analýza veřejně dostupných dat o životním prostředí. [online]. [citováno 2025-01-27]. Dostupné z: <https://www.envidata.cz/>.

EPA 2025. U.S. Environmental Protection Agency. [online]. [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/>.

HINDS, W. C., 1999. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. New York: Wiley. ISBN 978-0-471-19410-1.

Infoviz.cz, 2025. Infoviz, datová a informační vizualizace [online]. [citováno 2025-02-21]. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/index.php>.

MŽP, 2025. Ministerstvo životního prostředí [online]. [citováno 2025-07-22]. Dostupné z: <https://www.mzp.gov.cz/cz>.

RAGOTHAMAN, A., ANDERSON, W. A., 2017. Air quality impacts of petroleum refining and petrochemical industries. *Environments*, Vol. 4, No. 3, s. 66. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/environments4030066>.

WHO, 2025. Environment, Climate Change and Health [online]. [citováno 2025-02-26]. Dostupné z: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/>.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky* [online]. [citováno 2025-02-26]. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2012/201/2025-05-01?f=201%2F2012&zalozka=text>.

Ovzduší pod lupou na Vysočině

**RNDr. Adéla Holubová Šmejkalová, Ph.D., Mgr. Jáchym Brzezina, Ph.D.,
RNDr. Markéta Schreiberová, Ing. Adriana Šindelářová, Ing. Zuzana Vránová**

Vydalo nakladatelství Český Hydrometeorologický ústav

Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4, nakladatelstvi@chmi.cz

Praha 2026, 1. vydání, 52 stran

Monografie prošla odborným recenzním řízením a byla doporučena k publikaci
na základě posudku odborného recenzenta.

Recenzent: Mgr. Vendula Breburdová

Tisk a vazba: Jakub Hyrš, Hněvkovice 103, 396 01 Humpolec

ISBN 978-80-7653-090-4