

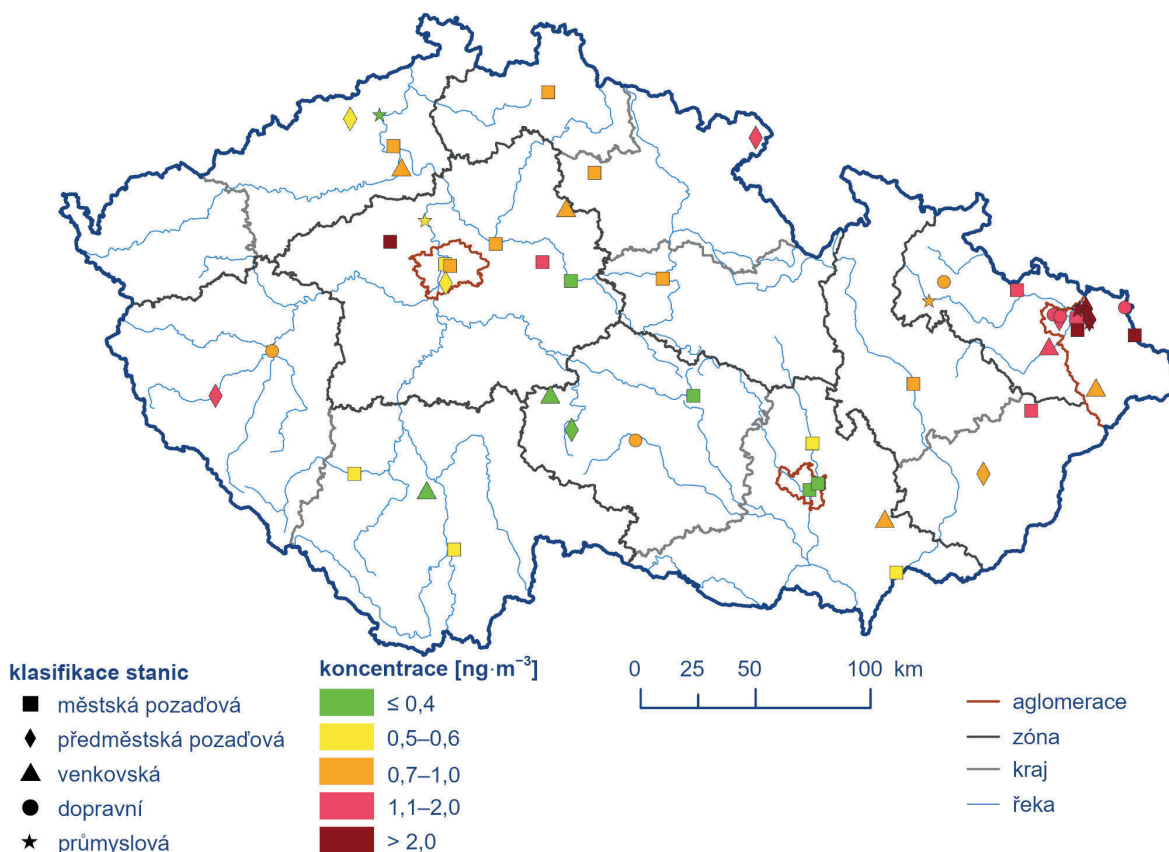
IV.2 Benzo[a]pyren

IV.2.1 Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem v roce 2022

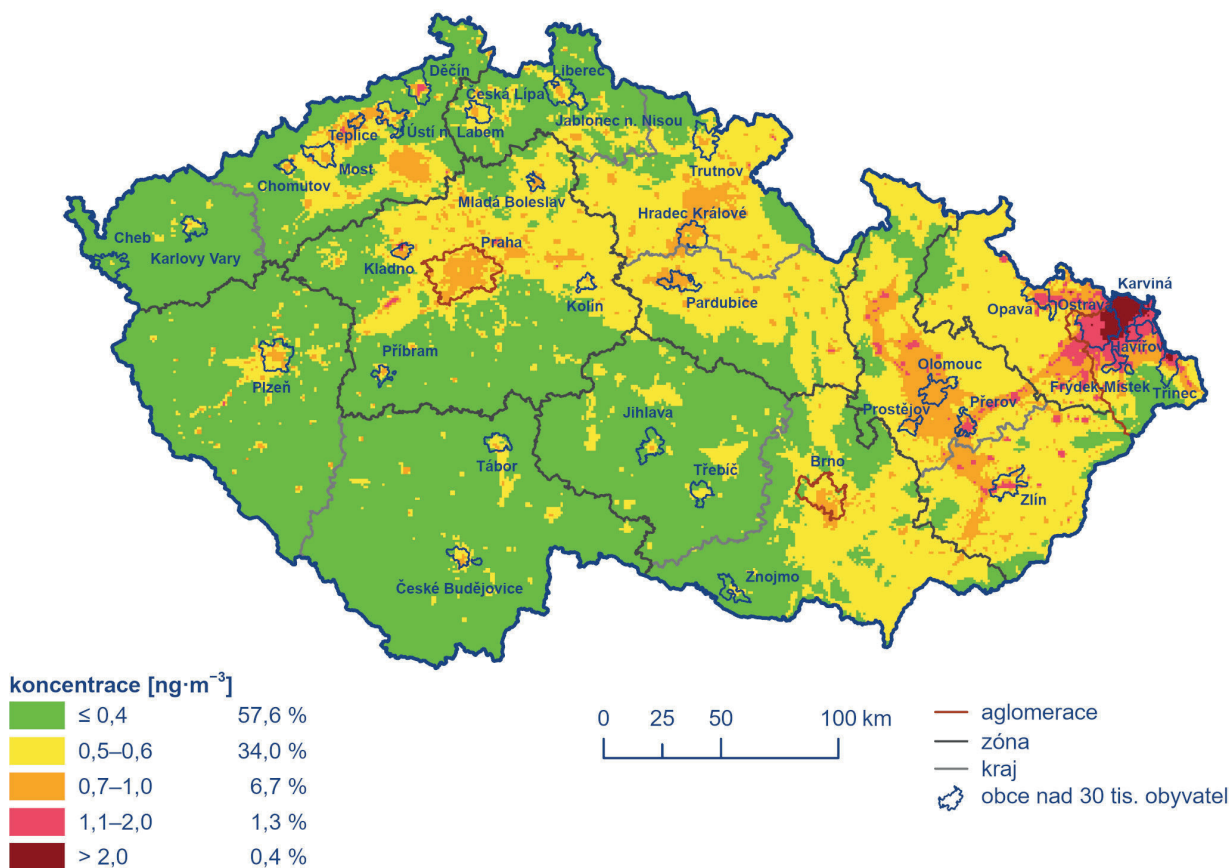
Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem patří k hlavním problémům kvality ovzduší v ČR. V roce 2022 překročily roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu imisní limit ($1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) na 37 % stanic, tj. na 19 z celkového počtu 51 stanic s dostatečným počtem naměřených dat pro hodnocení (Obr. IV.2.1). Plocha s nadlimitními koncentracemi benzo[a]pyrenu byla v roce 2022 vymezena na 1,7 % plochy území ČR, kde žije přibližně cca 12 % obyvatel ČR (Obr. IV.2.2). Nejvíce zatíženými oblastmi s nejvyššími hodnotami koncentrací benzo[a]pyrenu z dlouhodobého hlediska zůstávají kraje Moravskoslezský, Zlínský a Olomoucký (Obr. IV.2.3). Nicméně k překračování ročního imisního limitu benzo[a]pyrenu ve spojitosti s lokálním vytápěním dochází i v řadě měst a obcí mimo zmíněné nejzatíženější kraje.

Nejvyšší roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu jsou dlouhodobě zaznamenávány na všech typech stanic na celém území aglomerace O/K/F-M (Obr. IV.2.4). Vysoké nadlimitní koncentrace benzo[a]pyrenu se zde vyskytují ve spojitosti s nejvyšším emisním zatížením v rámci ČR (z různých typů zdrojů), včetně vlivu přeshraničního přenosu z Polska. Stejně jako v minulých

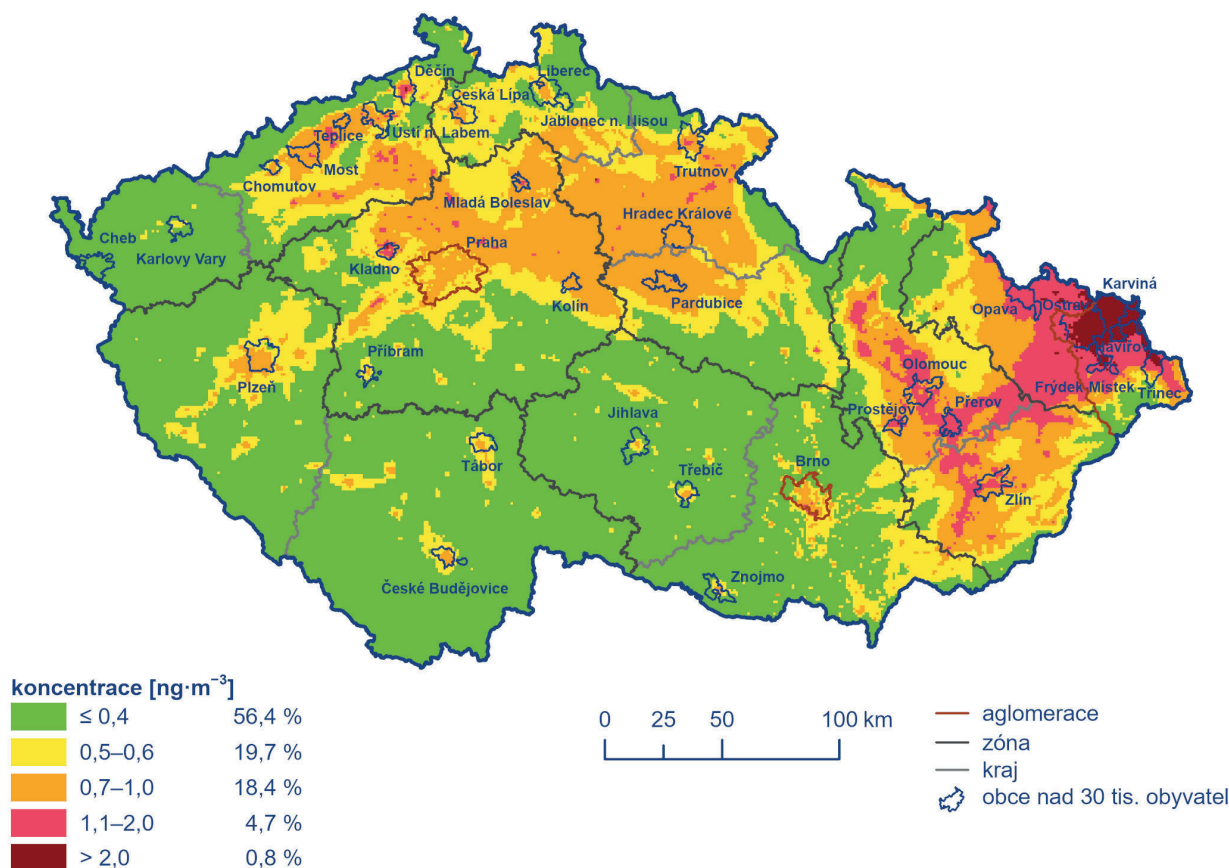
letech, i v roce 2022 byla nejvyšší roční průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu ($6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) zaznamenána na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ, kde byl roční imisní limit benzo[a]pyrenu překročen šestinásobně. Zároveň se jednalo o stanici s nejvýraznějším meziročním poklesem roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu, a sice o $2,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Z výsledků provedené identifikace zdrojů znečišťování ovzduší s vyhodnocením příčin znečištění ovzduší ve východní části Ostravy v projektu ARAMIS (TA ČR „Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší“) vyplývá, že na této stanici s omezenou reprezentativností řádově stovky metrů od stanice (odpovídající klasifikaci a účelu stanice) pochází znečištění benzo[a]pyrenem převážně z areálu hutního podniku Liberty Ostrava a.s. (asi dvě třetiny v chladné části roku) a téměř celá zbývající část připadá na vytápění domácností (Seibert et al. 2022). Nadlimitní hodnoty benzo[a]pyrenu byly naměřeny na všech stanicích v aglomeraci O/K/F-M, vyjma regionální venkovské stanice Ostravice-Golf ($0,9 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), která je umístěna ve volné krajině mimo zastavěnou obec. Mimo nejzatíženější oblast na severní Moravě jsou každoročně zaznamenávány vyšší koncentrace benzo[a]pyrenu na stanici Kladno-Švermov ($2,9 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$); z pohledu úrovně koncentrací se jednalo o třetí nejhorší stanici v ČR. Vysoké koncentrace benzo[a]pyrenu na této stanici souvisí s hustou zástavbou rodinných domů vytápěných pevnými palivy a se zhoršenými podmínkami provětrávání vzhledem k umístění v údolí Týneckého potoka. Nadlimitní hodnoty lze však očekávat i v dalších obcích s vyšším podílem vytápění domácností pevnými palivy, kde se benzo[a]pyren rutinně neměří. Příkladem mohou být lokality Broumov a Staňkov s ročními průměrnými koncentracemi



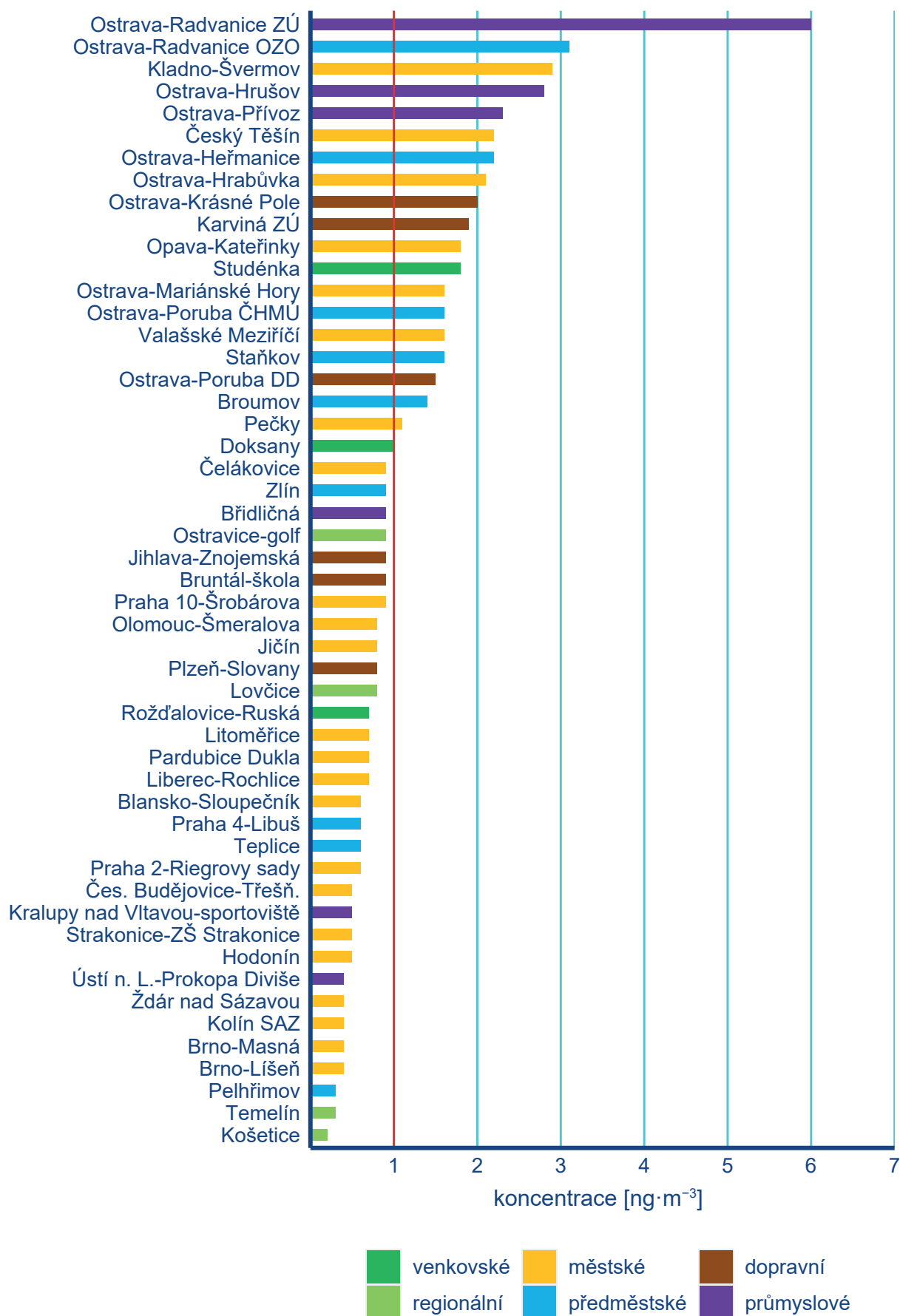
Obr. IV.2.1 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu měřené na stanicích imisního monitoringu, 2022



Obr. IV.2.2 Pole roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu, 2022



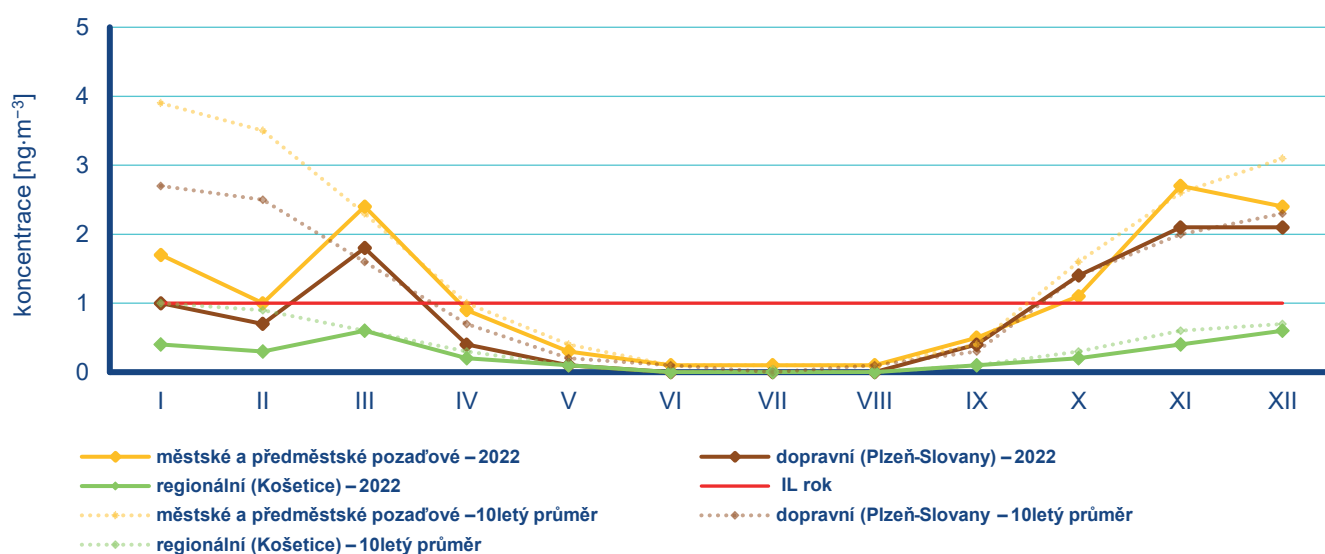
Obr. IV.2.3 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu, 2018–2022



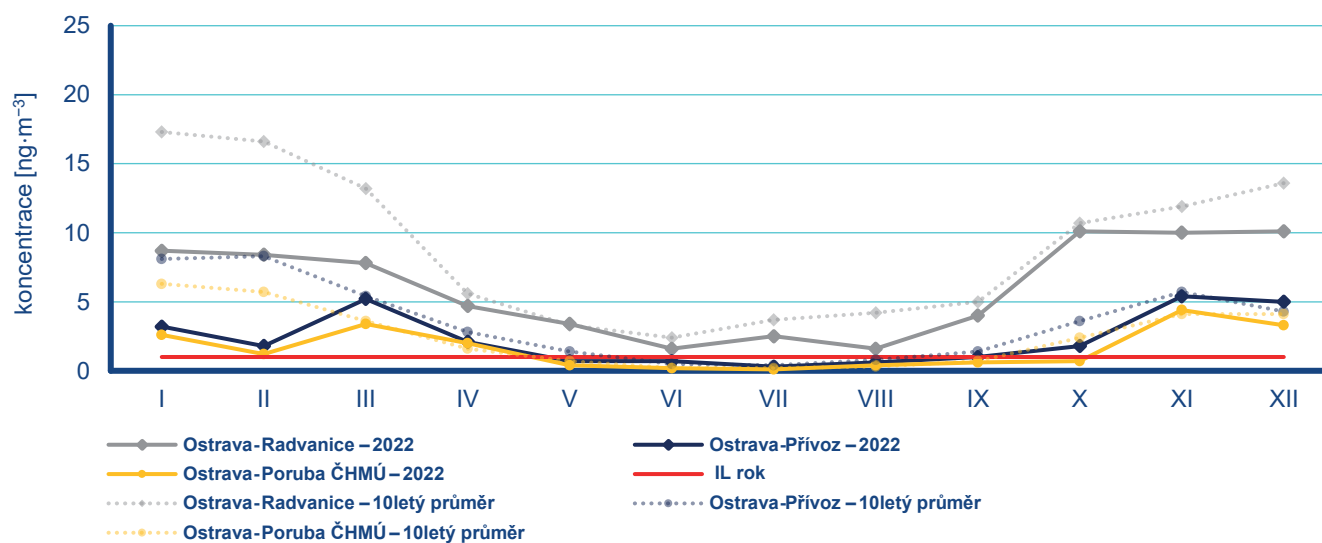
Obr. IV.2.4 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na měřicích stanicích, 2022

benzo[a]pyrenu 1,4 a 1,6 ng·m⁻³. Zmíněné obce byly proměřeny během putovního měření ČHMÚ, které je zacíleno na znečištění ovzduší pocházejícího převážně z lokálního vytápění. Nadlimitní úroveň benzo[a]pyrenu byla zjištěna i v obci Pečky (1,1 ng·m⁻³), kde měření financoval Středočeský kraj. Nadlimitní roční koncentrace byly naměřeny rovněž v rámci ročního dotovaného monitoringu Moravskoslezským krajem v okrajových částech Ostravy (Ostrava-Heřmanice, Ostrava-Hrabůvka, Ostrava-Krásné Pole). Nízké roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu byly zjištěny opětovně v aglomeraci Brno a v Jihočeském kraji a v kraji Vysočina. Podlimitní hodnoty koncentrací benzo[a]pyrenu jsou zana-

menávány i v centrech velkých měst (Praha, Brno, Plzeň) mimo zástavbu rodinných domů, tedy v místech s vysokým podílem dálkového centrálního vytápění. Podlimitní byly ale také koncentrace benzo[a]pyrenu stanovené v rámci ročních kampaní pro identifikaci zdrojů znečišťování dotovaných Moravskoslezským krajem¹ ve frakci PM_{2,5} na Bruntálsku (na stanicích Bruntál-škola i Břidličná 0,9 ng·m⁻³). Nejnižší průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu byla naměřena, stejně jako v předchozích letech, na regionální venkovské stanici Košetice (0,2 ng·m⁻³), která monitoruje pozadové koncentrace znečišťujících látek v ČR. Regionální lokality nejsou přímo ovlivněny místními emisními zdroji, ale



Obr. IV.2.5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu (průměry pro daný typ stanice), 2022 a v průměru let 2012–2021



Obr. IV.2.6 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu na stanicích Ostrava-Radvanice, Ostrava-Přívov a Ostrava-Poruba ČHMÚ, 2022 a v průměru let 2012–2021

1 https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/OCO/prehledy/bruntal_bridlicna/MSK_2022_final.pdf

jsou ovlivňovány pouze dálkovým transportem znečišťujících látek v kombinaci s meteorologickými a rozptylovými podmínkami. Nízké koncentrace benzo[a]pyrenu lze tedy očekávat i v místech vzdálených od přímého působení emisních zdrojů a na době provětrávaných lokalitách (např. přírodní horské oblasti).

Koncentrace benzo[a]pyrenu vykazují výrazný roční chod s nejvyššími hodnotami v zimním období (Obr. IV.2.5, Obr. IV.2.6). Důvodem vysokých koncentrací benzo[a]pyrenu v chladné části roku jsou emise ze sezonních antropogenních zdrojů – z lokálních topenišť, které jsou navíc umocněny působením nepříznivých meteorologických podmínek v tomto období. Roční chod měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu jasně kopíruje působení emisí z lokálního vytápění, jejichž míru (nebo intenzitu) ovlivňuje počet topných dnů během topné sezony, který určuje spotřebu paliv. Na hodnotu roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu, která má stanovený imisní limit, mají zásadní vliv úrovně koncentrací v měsících během chladného období roku, jelikož v letních měsících jsou koncentrace benzo[a]pyrenu minimální – vyjma průmyslových oblastí v aglomeraci O/K/F-M. V letním období dochází k poklesu koncentrací díky zlepšení rozptylových podmínek, zvýšení chemického a fotochemického rozkladu PAH za vyšší intenzity slunečního záření a vysokých teplot a samozřejmě hlavně díky razantnímu poklesu emisí z antropogenních zdrojů (Li et al. 2009; Ludykar et al. 1999; Teixeira et al. 2012). V roce 2022 byly nejvyšší měsíční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na městských a předměstských lokalitách zaznamenány v závěru roku (v listopadu a v prosinci) a také v březnu. V listopadu a v březnu měsíční průměrné koncentrace navíc nepatrně překonaly hodnoty desetiletého průměru (2012–2021). V březnu došlo k navýšení koncentrací vlivem kombinace zvýšeného vytápění při nízkých teplotách na začátku měsíce a silně podnormálnímu úhrnu srážek. Listopadové koncentrace 2022 byly za poslední čtyři roky nejvyšší. Vyšší koncentrace benzo[a]pyrenu z porovnání meteorologicky podobných měsíců poukazují na nárůst emisí benzo[a]pyrenu z lokálního vytápění domácností oproti předchozímu období. Prosincové měsíční průměry benzo[a]pyrenu se v posledních čtyřech letech meziročně výrazně nelišily a z porovnání meteorologicky obdobných měsíců navýšení emisí benzo[a]pyrenu z lokálního vytápění nevyplývá. Výrazně nižší koncentrace benzo[a]pyrenu oproti desetiletému průměru (2012–2021) na městských a předměstských pozadových stanicích byly zjištěny v lednu a v únoru (téměř o 2,3 ng·m⁻³, tj. 58 % respektive o 2,5 ng·m⁻³, tj. 71 %), tj. v měsících, kdy naopak bývají koncentrace v rámci roku nejvyšší. Příčinou nízkých koncentrací v lednu a únoru byly nadprůměrně vysoké teploty spojené s nižší intenzitou emisí z lokálních topenišť a v únoru navíc i nezvykle dobré rozptylové podmínky s občasným výskytem silného větru. Roční chod měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu na regionální stanici Košetice je podobný jako na předměstských a městských stanicích, ale s výrazně nižšími hodnotami koncentrací benzo[a]pyrenu.

Na Obr. IV.2.6 je znázorněn roční chod na průmyslových stanicích Ostrava-Přívaz a Ostrava-Radvanice, kde se kromě přeshraničního přenosu znečištění, typického pro celou oblast Ostravsko-Karvinska, projevuje enormní emisní zátěž kombinace emisních zdrojů pocházejících z lokálního vytápění a z průmyslu. Pro porovnání je v grafu také uvedena pozadová městská stani-

ce Ostrava-Poruba ČHMÚ. Na stanici Ostrava-Přívaz byly měsíční koncentrace benzo[a]pyrenu oproti dlouhodobému průměru ve všech měsících, vyjma června a prosince, nižší. Při porovnání městské pozadové stanice Ostrava-Poruba ČHMÚ jsou hodnoty na stanici Ostrava-Přívaz nepatrně vyšší, nicméně roční chod je na obou stanicích obdobný. Hodnoty měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ jsou několikanásobně vyšší než na stanici Ostrava-Přívaz i Ostrava-Poruba ČHMÚ a mají mírně odlišný průběh. V porovnání s dlouhodobým průměrem 2012–2021 koncentrace benzo[a]pyrenu na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ byly, obdobně jako u ostatních stanic, výrazně nižší v lednu (o 8,7 ng·m⁻³, tj. o 50 % nižší) a v únoru (o 8,2 ng·m⁻³, tj. o 49 % nižší). Na rozdíl od jiných stanic však byly měsíční průměrné koncentrace o dost nižší i v březnu (o 5,4 ng·m⁻³, tj. o 41 % nižší) a v srpnu (o 2,6 ng·m⁻³, tj. o 62 % nižší). Hodnoty desetiletých průměrů (2012–2021) pro měsíční průměrné koncentrace nebyly překročeny. Denní koncentrace nad 1 ng·m⁻³ se na průmyslových stanicích v aglomeraci O/K/F-M vyskytují v průběhu celého roku, včetně letních měsíců, což dokládá celoroční vliv emisí z průmyslu v těchto lokalitách.

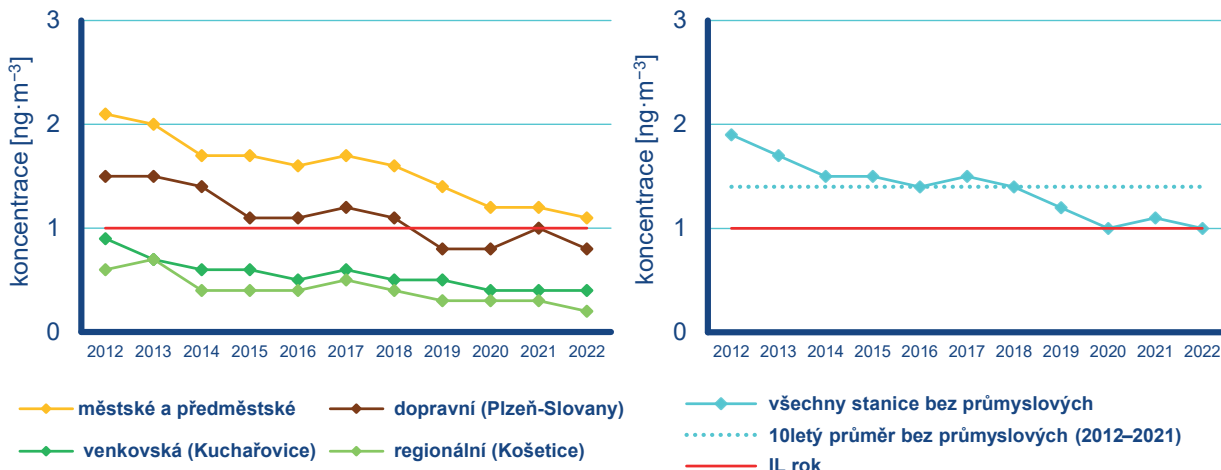
Je třeba mít na zřeteli, že odhad polí ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu (Obr. IV.2.2) je zatížen výrazně většími nejistotami ve srovnání s ostatními mapovanými látkami. Na nejistotě mapy se podílí mj. omezený počet měření na venkovských regionálních stanicích a absence rozsáhlejších měření v malých sídlech ČR, která by z hlediska znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem reprezentovala zásadní vliv lokálních topenišť. ČHMÚ proto využívá tzv. systém rotujících stanic, který umožňuje proměřit více lokalit během několika let. Větší nejistotou je zatíženo i posuzování meziroční změny podílu zasaženého území a obyvatel vystavených nadlimitním koncentracím benzo[a]pyrenu. Počet stanic s měřením benzo[a]pyrenu je limitován zejména vysokými náklady na laboratorní analýzy a kapacitou laboratoří pro zpracování vzorků benzo[a]pyrenu. Nejistoty map jsou podrobně popsány v Příloze I.

IV.2.2 Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu

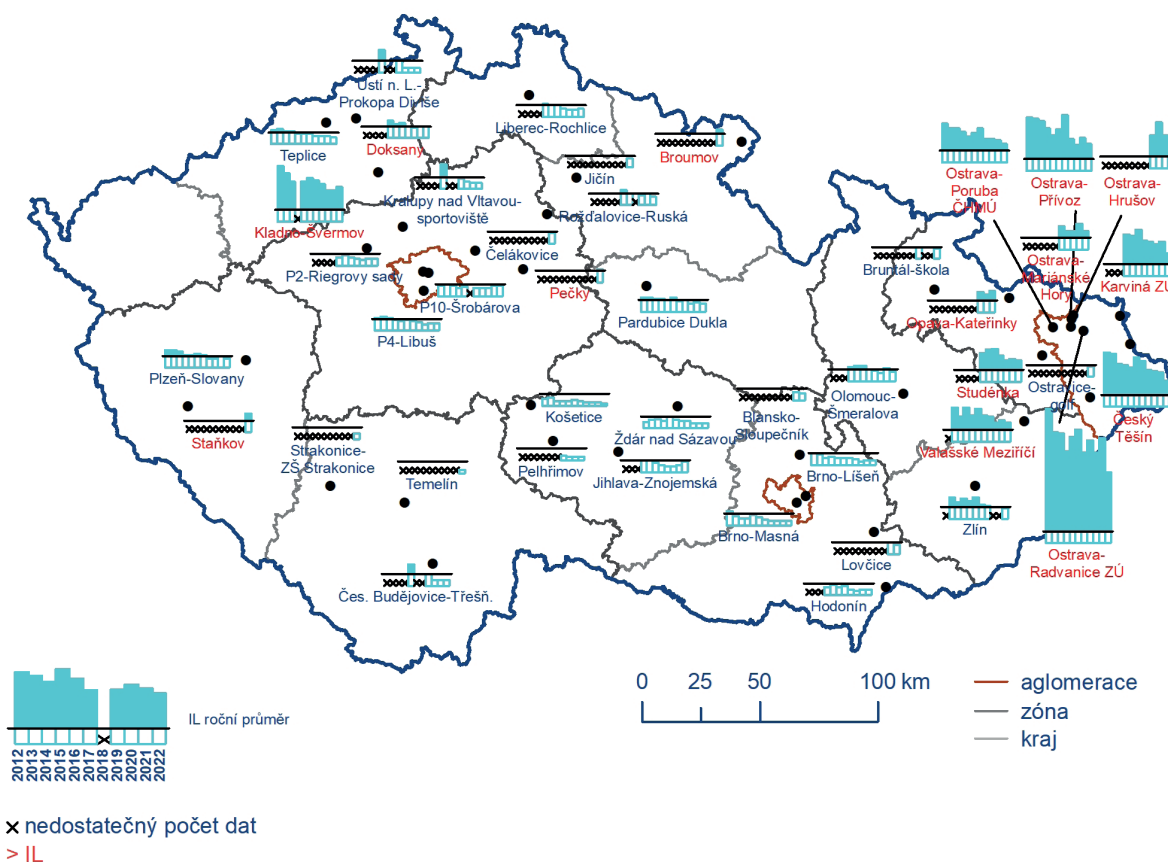
Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu na jednotlivých typech stanic a v průměru pro všechny stanice vyjma průmyslových je hodnocen za období posledních 11 let, tj. 2012–2022 (Obr. IV.2.7). Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu v hodnoceném období vykazují klesající trend. Roční průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu v průměru pro všechny stanice v roce 2022 nepatrně překonala rekordně nízké koncentrace v roce 2020, a byla tedy nejnižší za celou dobu měření, tj. od počátku druhého tisíciletí. V obou letech (2020 a 2022) s minimálními koncentracemi benzo[a]pyrenu byly shodně zaznamenány neobvykle nízké měsíční koncentrace v lednu i v únoru v souvislosti s výskytem atypických meteorologických podmínek (nadprůměrné teploty a silný vítr). Oproti desetiletému průměru 2012–2021 byla průměrná roční koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2022 nižší o 28 % nižší. K nižší úrovni roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2022 v porovnání s desetiletým průměrem 2012–2021 souběž-

ně přispěla i realizovaná opatření ke zlepšení kvality ovzduší na všech typech zdrojů, zejména ovšem obnova kotlů v domácnostech a přechod domácností na vytápění alternativními způsoby². Vliv energetické krize na koncentrace benzo[a]pyrenu, jehož hlavním zdrojem je lokální vytápění domácností, je prezentováno v Příloze 2.

Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu na stanicích během hodnoceného období kolísají a v oblastech největšího imisního zatížení (aglomerace O/K/F-M a Kladensko) dochází k jejich poklesu (Obr. IV.2.8). Meziroční variabilita je ovlivněna zejména meteorologickými podmínkami v chladné části roku. V meziročním srovnání 2021/2022 koncentrace benzo[a]pyrenu klesly na více

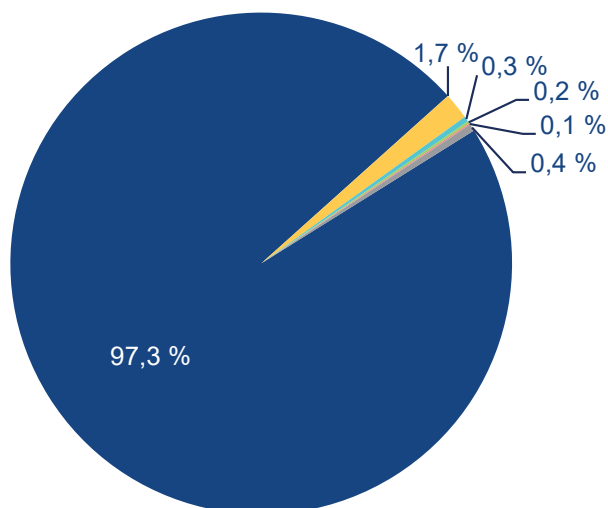


Obr. IV.2.7 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na jednotlivých typech stanic, 2012–2022



Obr. IV.2.8 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na vybraných stanicích, 2012–2022

než polovině stanic, které měly data pro oba porovnávané roky (tj. na 19 z 35 stanic). Nejvyšší meziroční pokles zaznamenaly stanice Ostrava-Radvanice ZÚ (o 2,9 ng·m⁻³) a Ostrava-Hrušov (o 1,1 ng·m⁻³), obě v závětrí průmyslových zdrojů znečišťování benzo[a]pyrenu v Ostravě.

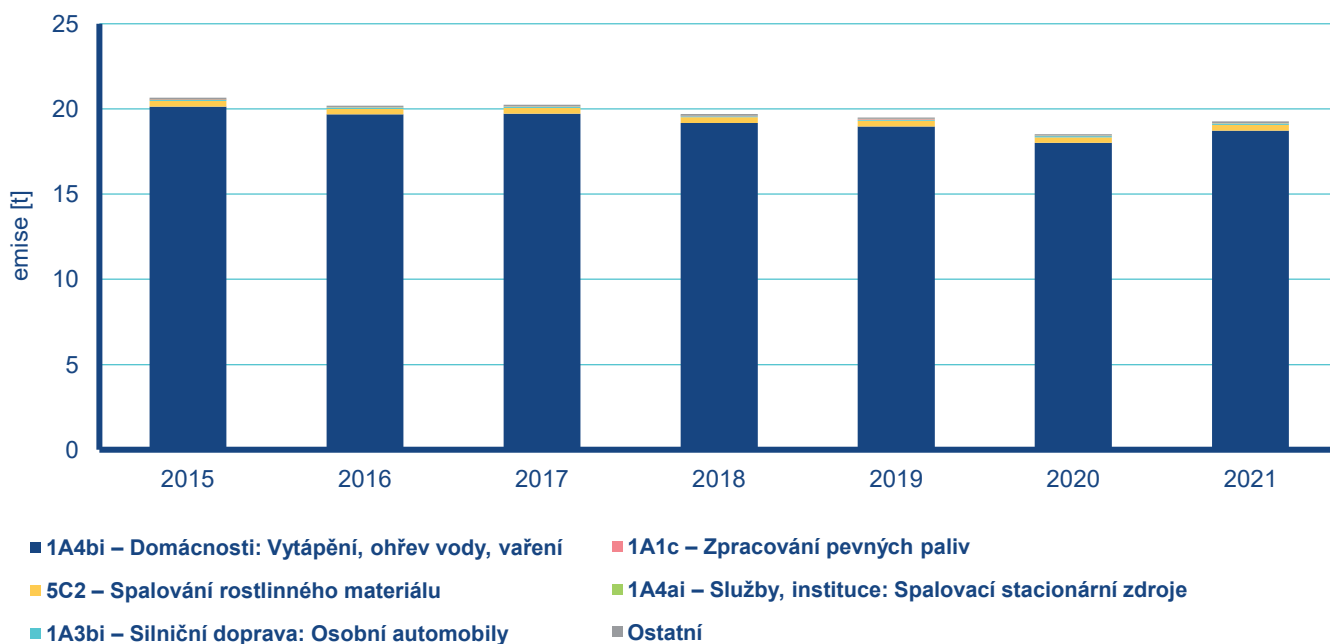


Obr. IV.2.9 Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu, 2021

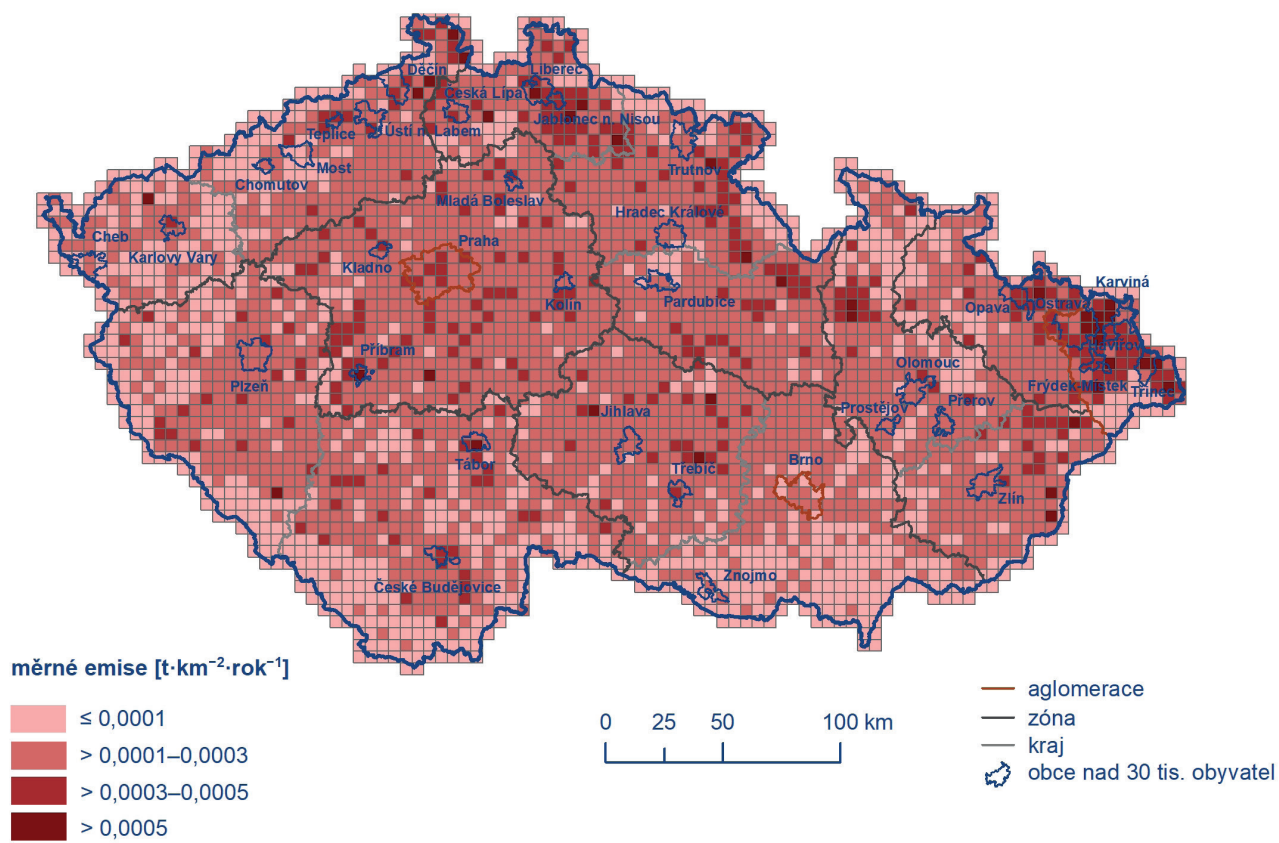
IV.2.3 Emise benzo[a]pyrenu

Emise PAH, z nichž je v oblasti kvality ovzduší sledován zejména benzo[a]pyren, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem nedokonalého spalování při teplotách 300 až 600 °C. Mezi jeho nejvýznamnější zdroje se proto řadí spalování pevných paliv v kotlích nižších výkonů, především v domácích topeništích (sektor 1A4bi – Domácnosti: Vytápění, ohřev vody, vaření Obr. IV.2.9) a to z důvodu podílu 97,3 % celkové produkce benzo[a]pyrenu v roce 2021. Dalším významnějším zdrojem je spalování rostlinného materiálu (NFR 5C2), které se podílí v roce 2021 na celkových emisích 1,7 %. Vliv dopravy se uplatňuje především podél dálnic, komunikací s intenzivní dopravou a na území větších městských celků. Emise benzo[a]pyrenu z průmyslových zdrojů, především z koksoven, sice nepředstavují významný podíl na celkových emisích, ale v lokálním měřítku mohou i s ohledem na celoroční provoz zásadně ovlivňovat kvalitu ovzduší. Vývoj celkových emisí v letech 2015–2021 (Obr. IV.2.10) souvisí především se spotřebou pevných paliv v domácnostech, závislou na konkrétních teplotních podmínkách. Na snížení emisí v posledních letech se podílí také výměna starších kotlů, přechod na zemní plyn nebo na neemisní zdroje, zejména tepelná čerpadla.

Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise benzo[a]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR (Obr. IV.2.11). Největšími emisemi benzo[a]pyrenu je zatížena aglomerace O/K/F-M. Důvodem je především vysoká hustota osídlení, vyšší podíl spalování černého uhlí v domácnostech v kotlích prohořvácího typu a rovněž hutní průmysl a výroba koksu v ČR.



Obr. IV.2.10 Celkové emise benzo[a]pyrenu, 2015–2021



Obr. IV.2.11 Celkové emise benzo[a]pyrenu v rozlišení 5 × 5 km, 2021