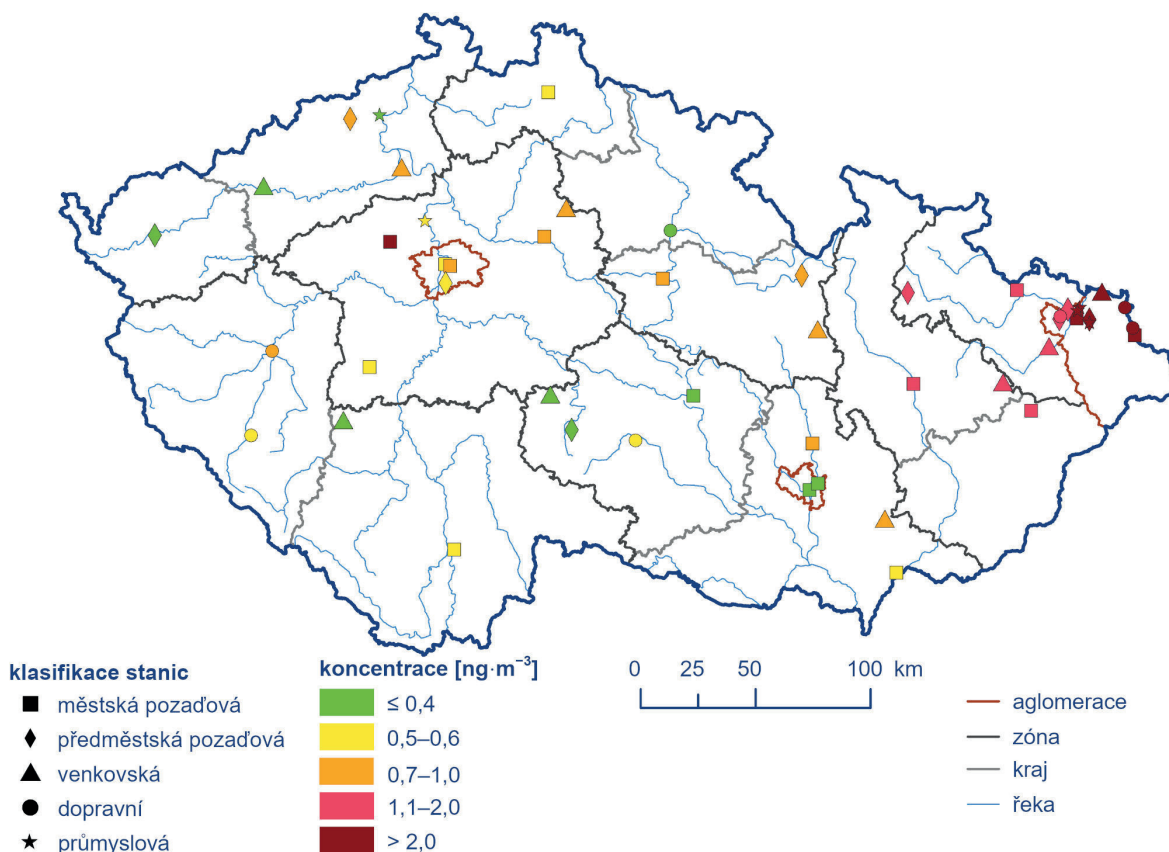


IV.2 Benzo[a]pyren

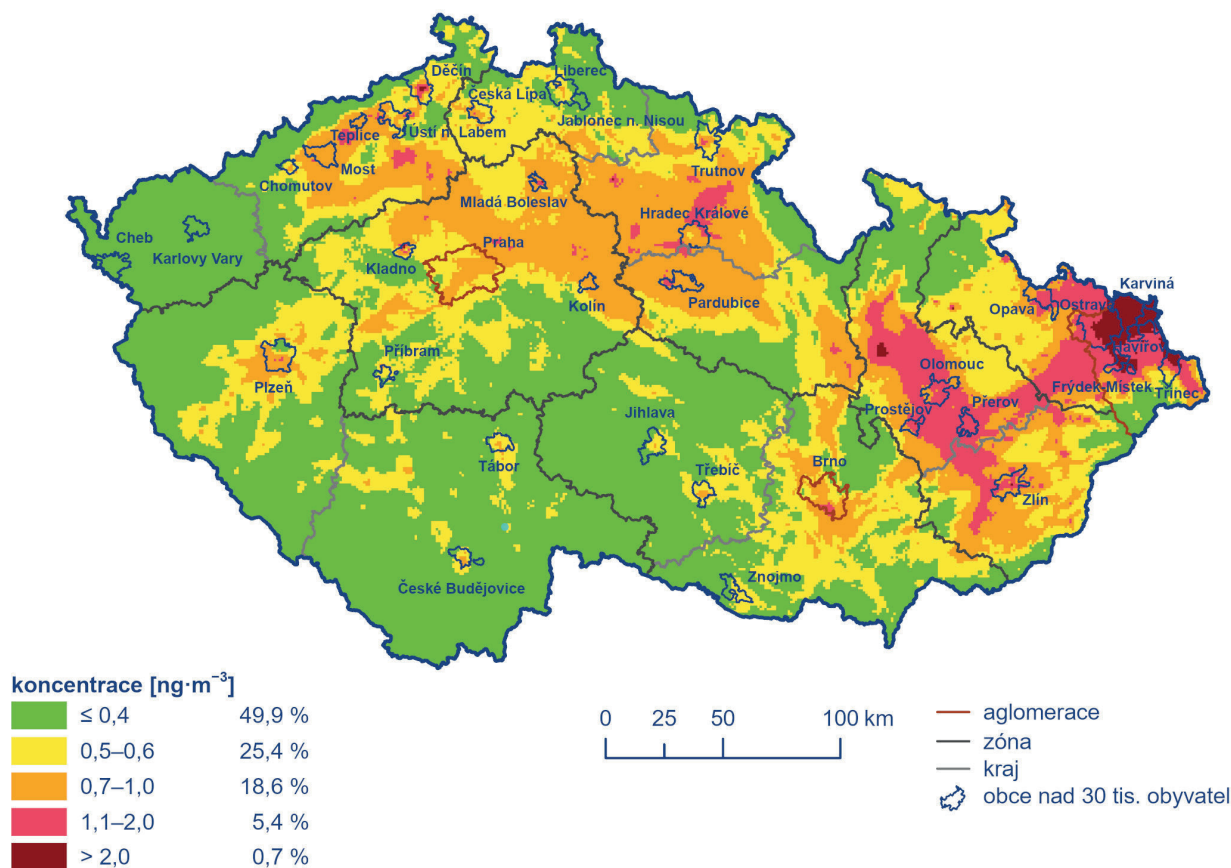
IV.2.1 Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem v roce 2021

Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem patří k hlavním problémům kvality ovzduší v ČR. V roce 2021 překročily roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu imisní limit ($1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) na 40 % stanic, tj. na 19 z celkového počtu 49 stanic s dostatečným počtem naměřených dat pro hodnocení (Obr. IV.2.1). Plocha s nadlimitními koncentracemi benzo[a]pyrenu byla v roce 2021 vymezena na 6,1 % plochy území ČR, kde žije přibližně cca 20 % obyvatel ČR (Obr. IV.2.2). Plocha s nadlimitními koncentracemi byla v roce 2021 druhá nejmenší za posledních pět let. K největšímu meziročnímu zvětšení plochy s nadlimitními koncentracemi benzo[a]pyrenu došlo na území Zlínského a Olomouckého kraje. 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.

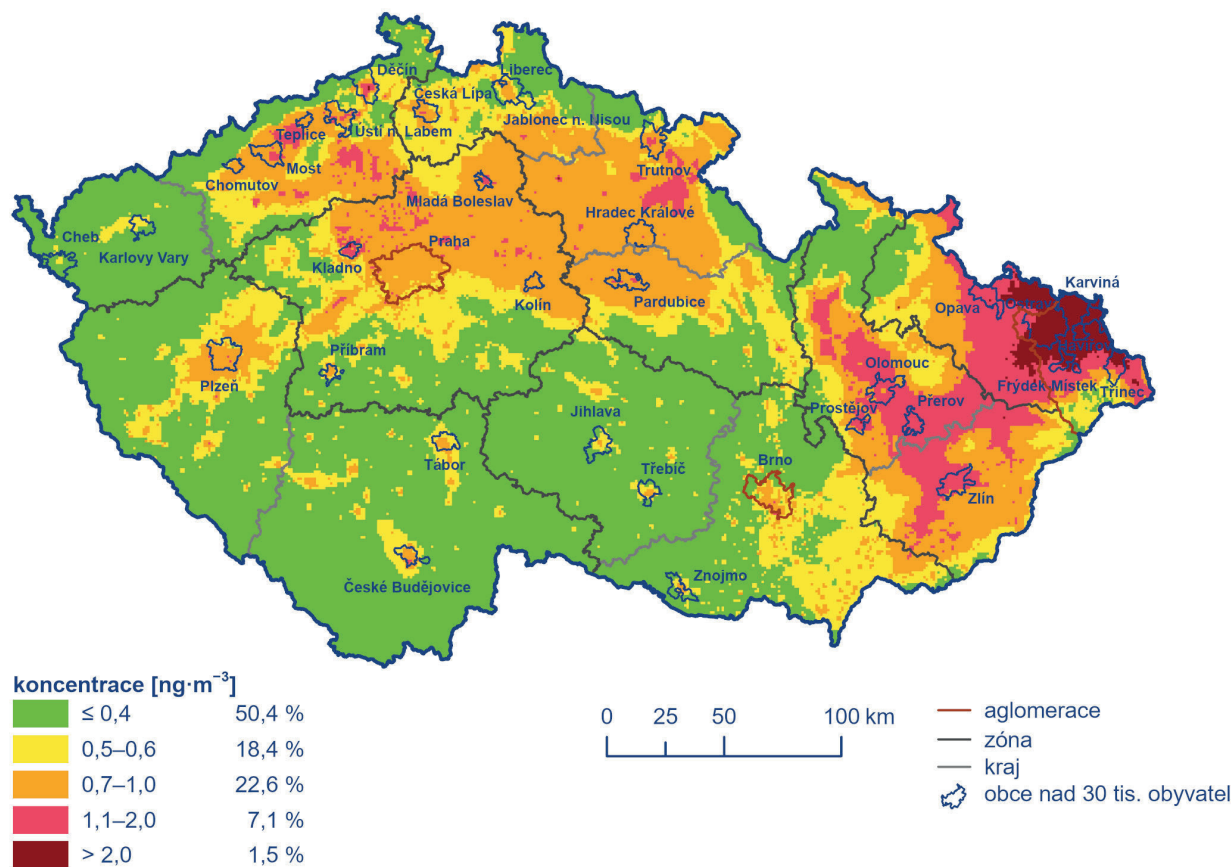
Nejvyšší roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu jsou dlouhodobě zaznamenávány na všech typech stanic na celém území aglomerace O/K/F-M (Obr. IV.2.4). Vysoké nadlimitní koncentrace benzo[a]pyrenu se zde vyskytují ve spojitosti s nejvyšším emisním zatížením v rámci ČR (z různých typů zdrojů), včetně vlivu přeshraničního přenosu z Polska. Stejně jako v minulých letech, i v roce 2021 byla nejvyšší roční průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu ($8,9 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) zaznamenána na průmyslové stanici Ostrava-Radvanice ZÚ, kde byl roční imisní limit benzo[a]pyrenu překročen téměř devítinásobně. Z výsledků provedené identifikace zdrojů znečišťování ovzduší s vyhodnocením příčin znečištění ovzduší ve východní části Ostravy v projektu ARAMIS – Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší (spolufinancován se státní podporou TA ČR v rámci programu Prostředí pro život) vyplývá, že na této stanici s omezenou reprezentativností řádově stovky metrů od stanice (odpovídající klasifikaci a účelu stanice) znečištění benzo[a]pyrenem pochází 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). Druhá nejvyšší hodnota roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu byla v rámci dotovaného rozšíření monitoringu Moravskoslezským krajem zjištěna na příhraniční venkovské stanici Věřňovice ($6,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) (Hladký et al. 2022). V této lokalitě se projevuje kombinace vlivu znečištění ovzduší z jižního Polska a specifické zástavby malých sídel na české straně hranice spolu s často nepříznivými rozptylovými podmínkami v údolí řeky Olše. Znečištěné ovzduší benzo[a]pyrenem



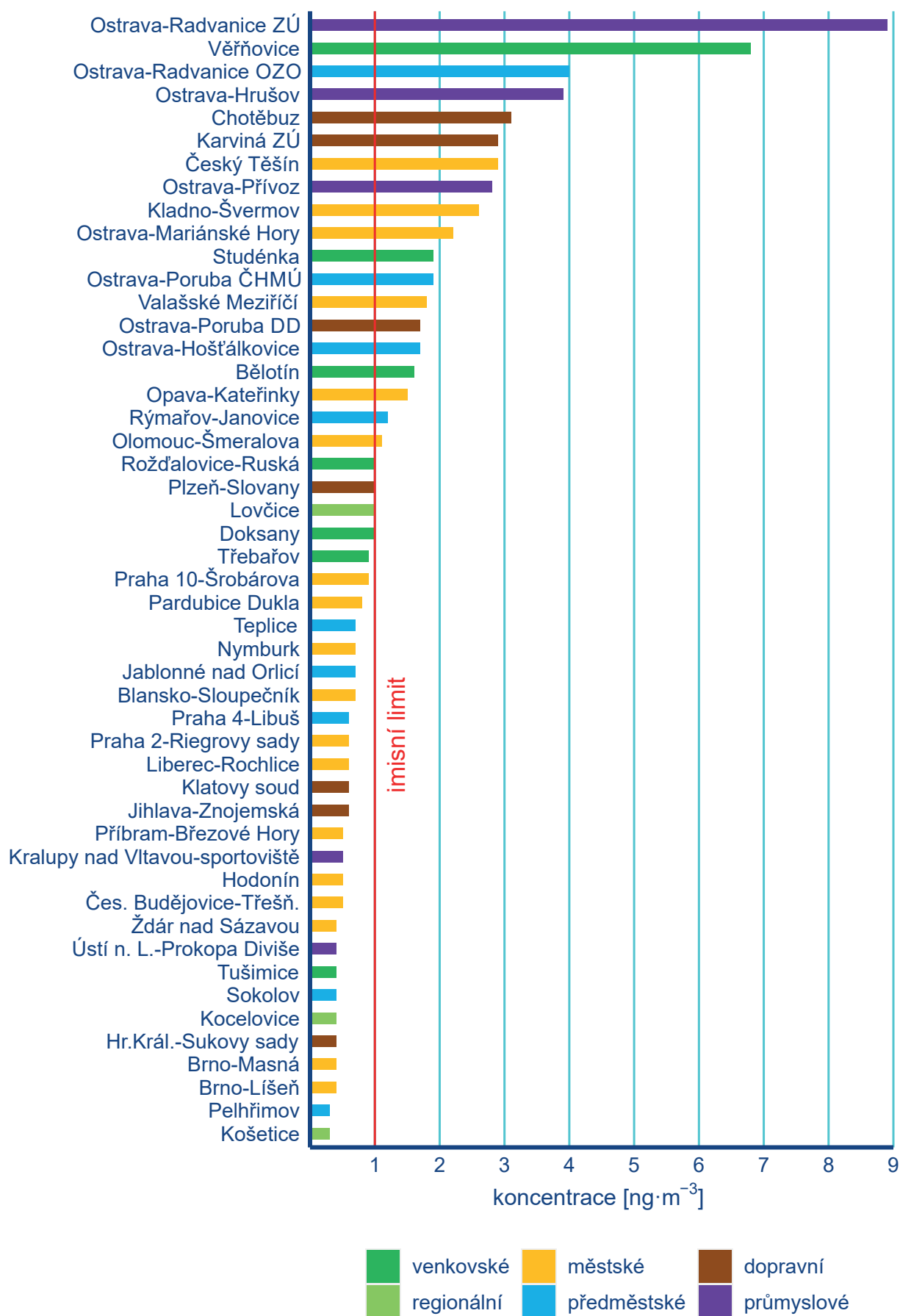
Obr. IV.2.1 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu měřené na stanicích imisního monitoringu, 2021



Obr. IV.2.2 Pole roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu, 2021



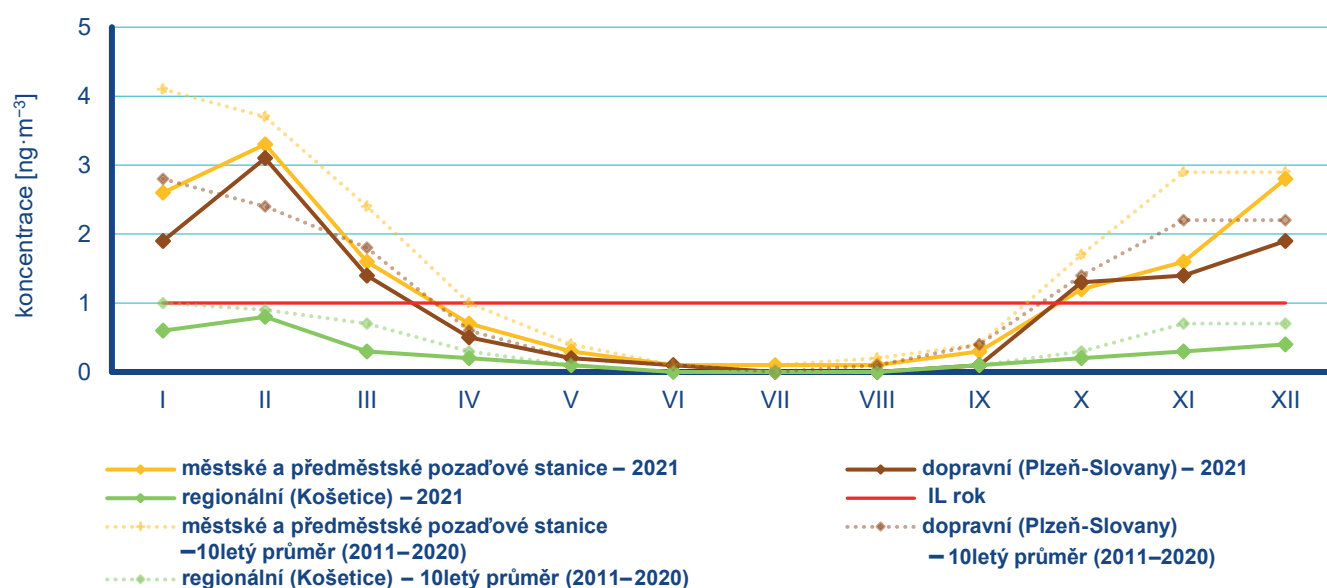
Obr. IV.2.3 Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu, 2017–2021



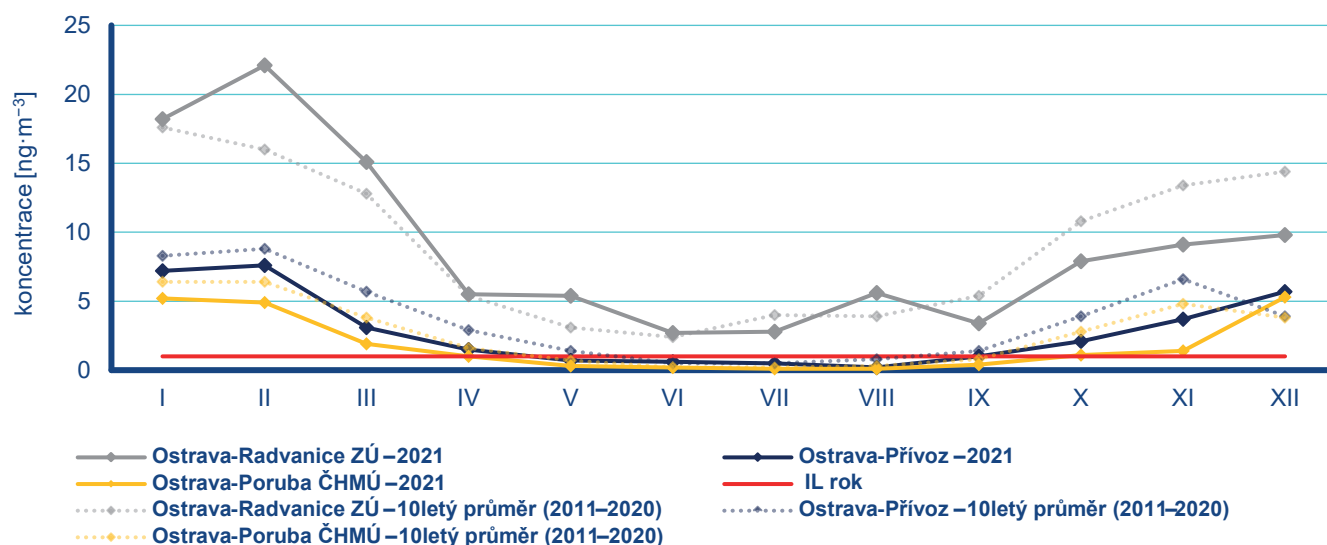
Obr. IV.2.4 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na měřicích stanicích, 2021

zde pochází z lokálního vytápění domácností uhlím (dvě třetiny až tři čtvrtiny průměrné roční koncentrace) a biomasou (necelých 20 % průměrné roční koncentrace). Nadlimitní hodnoty benzo[*a*]pyrenu byly naměřeny i na stanicích s nejnižšími koncentracemi benzo[*a*]pyrenu v aglomeraci O/K/F-M (Ostrava-Hošťalkovice a Ostrava-Poruba DD s hodnotami 1,7 resp. 1,6 ng·m⁻³). Koncentrace benzo[*a*]pyrenu, které překračují imisní limit, byly naměřeny na všech stanicích monitorujících koncentrace benzo[*a*]pyrenu v Moravskoslezském, Olomouckém a Zlínském kraji. Mimo nejzatíženější oblast na Moravě jsou každoročně zaznamenávány vyšší koncentrace benzo[*a*]pyrenu na Kladensku (stanice Kladno-Švermov – 2,6 ng·m⁻³) ve spojitosti s hustou zástavbou rodinných domů s lokálními topeništi v okolí měřicí stanice. Nadlimitní hodnoty lze však očekávat i v dalších obcích s vyšším podílem vytápění domácností pevnými palivy, kde se

benzo[*a*]pyren rutinně neměří. Naopak nízké roční průměrné koncentrace benzo[*a*]pyrenu byly zjištěny v aglomeraci Brno a v krajích Jihočeském a Karlovarském a v kraji Vysočina. Podlimitní hodnoty koncentrací benzo[*a*]pyrenu jsou zaznamenávány i ve velkých městech (Praha, Brno, Plzeň), tedy ve městech s vysokým podílem dálkového centrálního vytápění. Nejnižší průměrná roční koncentrace benzo[*a*]pyrenu byla naměřena na regionální stanici Košetice (0,3 ng·m⁻³), která monitoruje požadové koncentrace znečišťujících látek v ČR. Regionální lokality nejsou přímo ovlivněny místními emisními zdroji, ale 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 dobře provětrávaných lokalitách (např. přírodní horské oblasti).



Obr. IV.2.5 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo[*a*]pyrenu (průměry pro daný typ stanice), 2021 a v průměru let 2011–2021



Obr. IV.2.6 Roční chod průměrných měsíčních koncentrací benzo[*a*]pyrenu na stanicích Ostrava-Radvanice, Ostrava-Přivoz a Ostrava-Poruba ČHMÚ, 2021 a v průměru let 2011–2021

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. 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 2021 byly nejvyšší měsíční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na městských a předměstských lokalitách zaznamenány ve spojitosti se zhoršenými rozptylovými podmínkami v únoru a v prosinci, kdy se navíc hodnoty blížily k hodnotám desetiletého průměru (2011–2020) a na některých stanicích s dlouhou řadou měření došlo i k jejich překonání. Naopak výrazně nižší koncentrace benzo[a]pyrenu oproti desetiletému průměru 2011–2020 na městských a předměstských pozadových stanicích byly zjištěny v lednu a v listopadu (téměř o $1,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. o 38 % respektive o $1,3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. o 44 %). 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 stanice Ostrava-Poruba ČHMÚ, která monitoruje úroveň pozadových koncentrací ve městě Ostrava. Na stanici Ostrava-Přívaz byly měsíční koncentrace benzo[a]pyrenu oproti dlouhodobému průměru 2011–2020 ve všech měsících, vyjma června a prosince, nižší. Při porovnání s městskou pozadovou stanicí Ostrava-Poruba ČHMÚ jsou hodnoty na stanici Ostrava-Přívaz nepochybně 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 roční průběh. Oproti dlouhodobému průměru 2011–2020 koncentrace benzo[a]pyrenu na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ kolísají. Největší pokles koncentrací benzo[a]pyrenu oproti dlouhodobému průměru 2011–2020 na stanici Ostrava-Radvanice ZÚ byl zaznamenán v prosinci ($4,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. o 32 % nižší) a v listopadu ($4,2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. 32 %). Naopak největší nárůst koncentrací byl zaznamenán v únoru (o $6,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. 38 %) a v květnu ($2,3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. 73 %). Denní koncentrace nad $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ 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. V prosinci byly stejně jako v předchozím roce na stanicích Ostrava-Poruba a Ostrava-Přívaz zaznamenány vyšší průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu oproti dlouhodobému průměru 2011–2020. Na zvýšených prosincových koncentracích

benzo[a]pyrenu, kdy byla vyhlášena jediná smogová situace v roce 2021, se podílely zhoršené rozptylové a meteorologické podmínky v závěru roku.

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 v období 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.

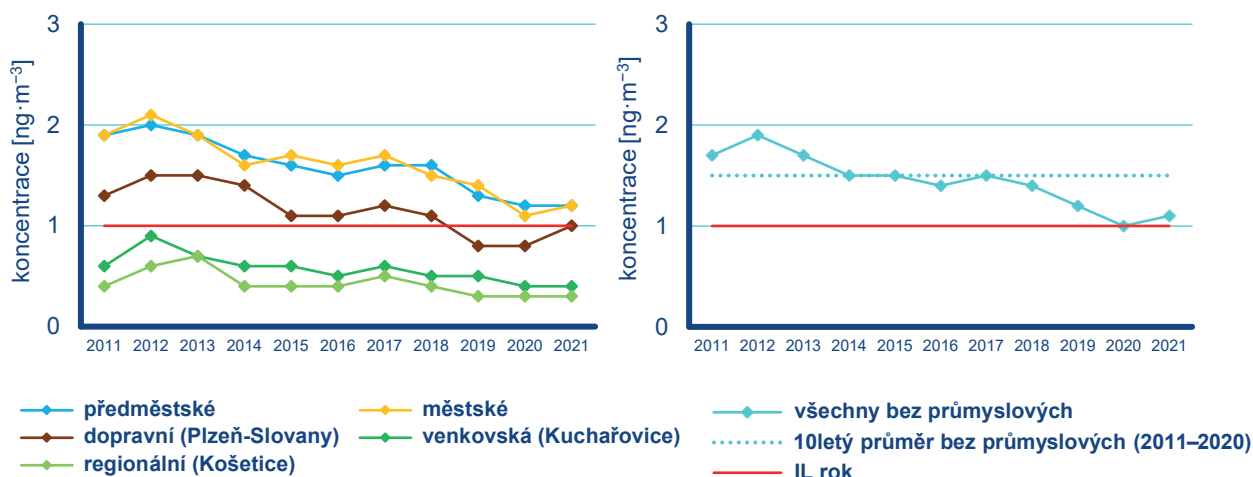
IV.2.2 Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu

Vývoj koncentrací benzo[a]pyrenu na jednotlivých typech stanic a v průměru pro všechny stanice je hodnocen za období posledních 11 let, tj. 2011–2021 (Obr. IV.2.7). Na hodnotu roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na všech stanicích vyjma průmyslových stanic v aglomeraci O/K/F-M, která má stanovený imisní limit, mají zásadní vliv úroveň koncentrací v měsících během chladného období roku, jelikož v letních měsících jsou koncentrace benzo[a]pyrenu minimální. V hodnoceném období byly zaznamenány nejvyšší roční koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2012 spojené s opakovaným výskytem nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek v chladném období roku. Od roku 2012 do roku 2016 je možné pozorovat pozvolný pokles či stagnaci koncentrací benzo[a]pyrenu. Nepatrný nárůst koncentrací benzo[a]pyrenu v roce 2017 byl spojen s nepříznivými rozptylovými podmínkami v chladné části roku. Během let 2018 až 2020 koncentrace benzo[a]pyrenu opět klesaly. Po rekordně příznivém roce 2020 z pohledu kvality ovzduší byly koncentrace BaP v roce 2021 nepatrně vyšší, nicméně i přesto byly koncentrace BaP v roce 2021 v průměru o cca 20 % nižší ($0,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) oproti desetiletému průměru 2011–2020. Roční průměrná koncentrace benzo[a]pyrenu v průměru pro všechny stanice v roce 2021 byla v hodnoceném období druhá nejnižší.

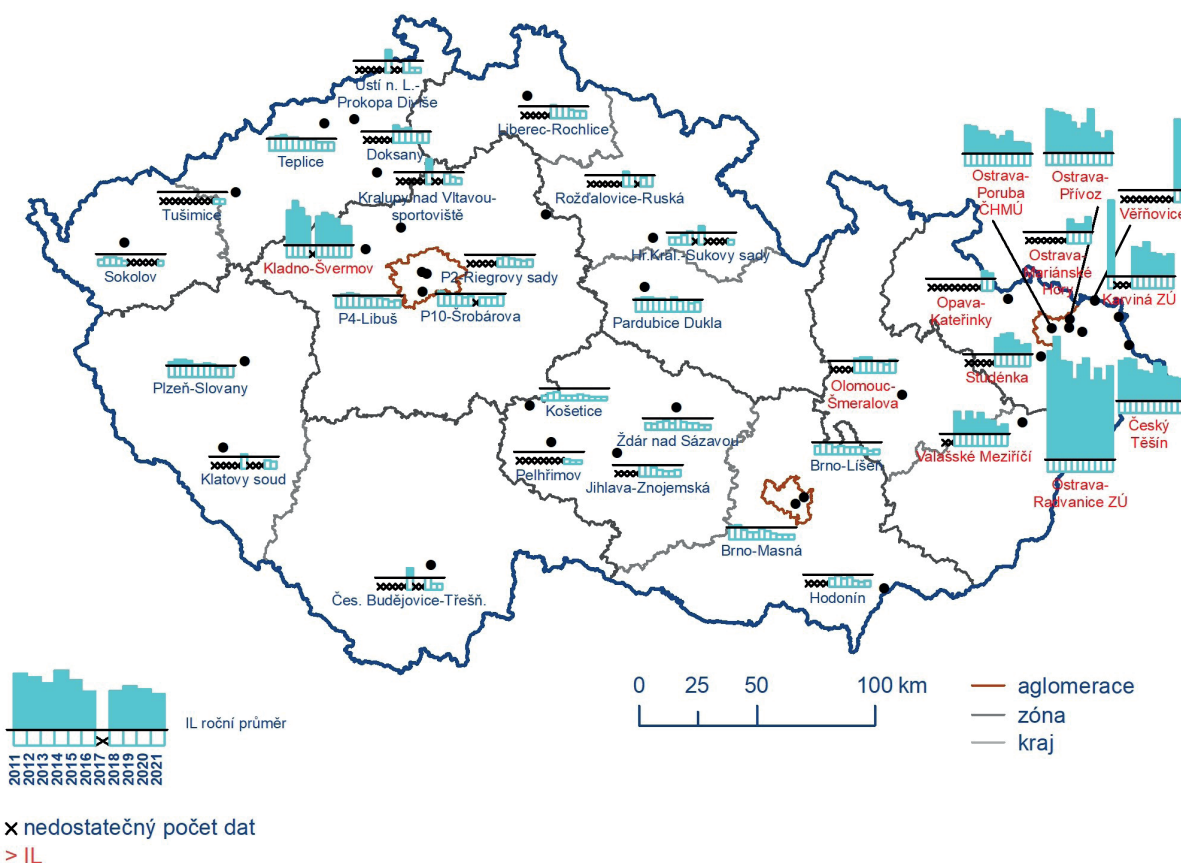
Průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu na stanicích během hodnoceného období kolísají a v oblastech největšího imisního zatížení (aglomerace O/K/F-M a Kladensko) dochází k jejich poklesu (Obr. IV.2.8). Meziroční variabilita je ovlivněna zejména meteorologickými podmínkami v chladné části roku. V meziročním srovnání 2020/2021 koncentrace benzo[a]pyrenu stouply na více než polovinu stanic, které měly data pro oba porovnávané roky (tj. na 28 z 38 stanic). Nejvyšší meziroční nárůst zaznamenaly stanice Ostrava-Radvanice ZÚ (o $1,2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a Ostrava-Hrušov (o $1,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), obě v závětiř průmyslových zdrojů znečišťování benzo[a]pyrenu v Ostravě.

V případě hodnocení benzo[a]pyrenu došlo k nepatrnému meziročnímu nárůstu ročních průměrných koncentrací a roční imisní limit byl překročen v mnoha oblastech ČR. V řadě měst a obcí v souvislosti s lokálním vytápěním se stále vyskytují nadlimitní koncentrace benzo[a]pyrenu. Nicméně v porovnání s dlouhodobým desetiletým průměrem 2011–2020 byly naměřené koncentrace benzo[a]pyrenu v roce 2021 nižší. Ke zlepšení situace při-

spěl zejména méně častý výskyt nepříznivých podmínek v lednu a v listopadu v porovnání s desetiletými hodnotami, a také klesající spotřeba paliv díky rostoucím teplotám v zimních měsících v posledních letech. Na poklesu koncentrací benzo[a]pyrenu se také podílí realizovaná opatření ke zlepšení kvality ovzduší, zejména obnova kotlů v domácnostech (Novák a Plachá eds. 2021).



Obr. IV.2.7 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na jednotlivých typech stanic, 2011–2021



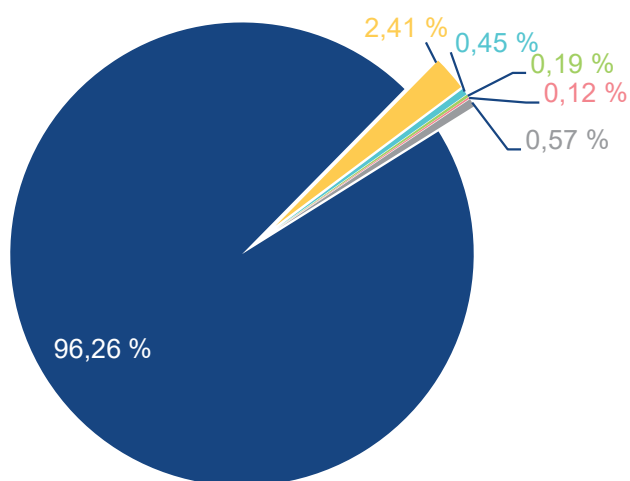
Obr. IV.2.8 Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu na vybraných stanicích, 2011–2021

IV.2.3 Emise benzo[a]pyrenu

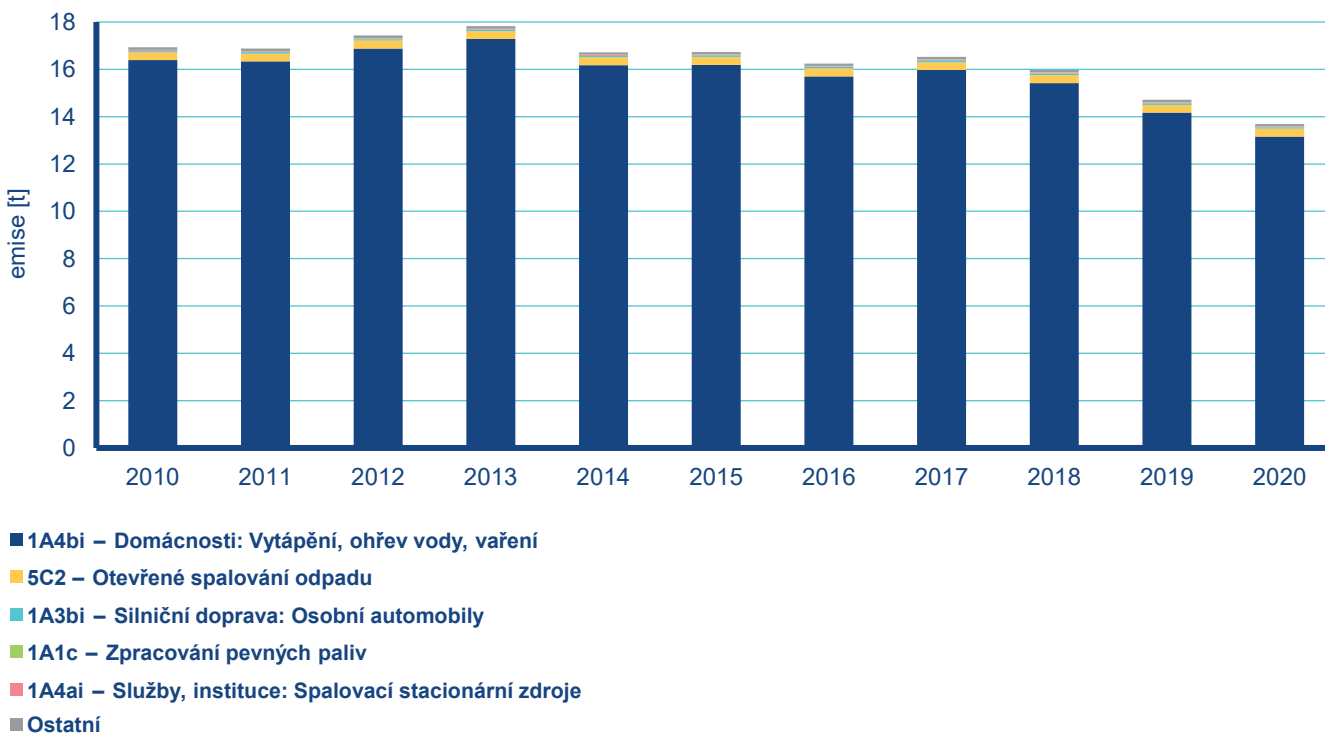
Emise PAH, z nichž je v oblasti kvality ovzduší sledován zejména benzo[a]pyren, jsou produkovány téměř výhradně spalovacími procesy, při nichž nedochází k dostatečné oxidaci přítomných organických spalitelných látek. Benzo[a]pyren je produktem ne-

dokonalého 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). Dalším významnějším zdrojem je spalování rostlinného materiálu (NFR 5C2), které se podílí v roce 2020 na celkových emisích 2,4 %. 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 2010–2020 (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.

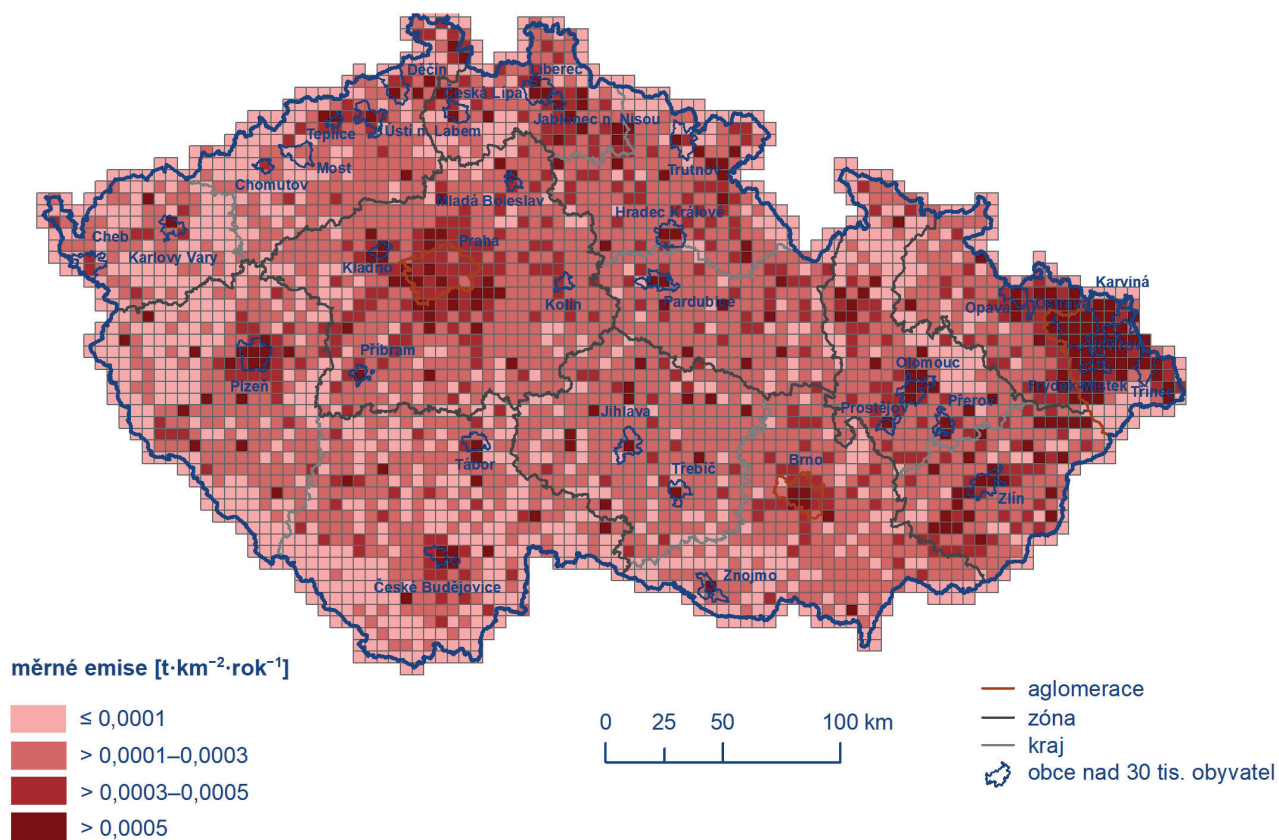
Vzhledem k dominantnímu podílu sektoru 1A4bi jsou emise benzo[a]pyrenu rozloženy na území obydlené zástavby celé ČR (Obr. IV.2.11). Největšími emisemi benzo[a]pyrenu je zatížena aglomerace O/K/F-M. Důvodem je především vysoká hustota osídlení, vyšší podíl spalování černého uhlí v domácnostech v kotlích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



Obr. IV.2.9 Podíl sektorů NFR na celkových emisích benzo[a]pyrenu, 2020



Obr. IV.2.10 Celkové emise benzo[a]pyrenu, 2010–2020



Obr. IV.2.11 Celkové emise benzo[a]pyrenu v rozlišení 5×5 km, 2020