

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ – KATEDRA VODNÍHO
HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem v Moravskoslezském
kraji a jeho dopady na životní prostředí**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavla Dagsson Waldhauserová, Ph.D.

Bakalant: Pavel Kusnierz

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Kusnierz

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem v Moravskoslezském kraji a jeho dopady na životní prostředí

Název anglicky

Air pollution and environmental impacts caused by Benzo(a)pyrene in the Moravian-Silesian region, Czech Republic

Cíle práce

Zhodnotit, jaké jsou hlavní zdroje znečištění benzo(a)pyrenem, jeho účinky na zdraví člověka a na poškození ekosystémů. Popsat existující opatření k omezení exhalace do ovzduší a zmapování vývoje koncentrace v Moravskoslezském kraji za období 2010-2019.

Metodika

Práce pomocí odborných publikací stanovuje, co je benzo(a)pyren. Dopad na člověka a ekosystémy přejímá z výzkumů a odborných článků. Z průzkumů dále vyvozuje hlavní zdroje znečištění a za pomoci odborných studií a praktické aplikace zjišťuje, jakým způsobem omezit množství vypouštění této látky do ovzduší. Analýzou dat ČHMÚ vytváří přehled vývoje koncentrace v Moravskoslezském kraji v období 2010-2019.

Doporučený rozsah práce

30 pages

Klíčová slova

Znečištění ovzduší, benzo(a)pyren, BP, Moravskoslezský kraj, polycyklické aromatické uhlovodíky, PAH

Doporučené zdroje informací

- GUERREIRO, C.B.B., J. HORÁLEK, F. DE LEEUW a F. COUVIDAT. Benzo(a)pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects. *Environmental Pollution* [online]. 2016, 214, 657-667 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749116303475>
- NIELSEN, Torben, Hans E. JØRGENSEN, John Chr. LARSEN a Morten POULSEN. City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects. *Science of The Total Environment* [online]. 1996, 189-190, 41-49 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0048969796051893>
- OSTATNICKÁ, H., et.al. ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2010. Znečištění ovzduší na území České republiky [online]. Praha: ČHMÚ, 2011 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/obsah.html>
- SCHREIBEROVÁ, Markéta, et. al. Benzo[a]pyrene in the Ambient Air in the Czech Republic: Emission Sources, Current and Long-Term Monitoring Analysis and Human Exposure. *Atmosphere* [online]. 2020, 11(9), 955 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/9/955> doi:10.3390
- SVECOVA, Vlasta, Jan TOPINKA, Ivo SOLANSKY, Pavel ROSSNER JR a Radim J. SRAM. Personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in the Czech Republic. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* [online]. 2013, 23, 350–355 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/jes2012110>
- ŠKÁCHOVÁ, H., L. VLASÁKOVÁ, et. al. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019 [online]. ČHMÚ, 2020 [cit. 2021-03-17]. ISBN 978-80-7653-009-6. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/19_rocenka_UKO_web_tisk_up1.pdf
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Mgr. Pavla Dagsson Waldhauserová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Znečištění ovzduší benzo(a)pyrenem v Moravskoslezském kraji a jeho dopady na životní prostředí“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30.03.2022

.....
Pavel Kusnierz

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Pavle Dagsson Waldhauserové, Ph.D. za skvělou spolupráci, ochotu, pomoc, čas a rady, které mi věnovala a kontrolu bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

V Praze dne 30.03.2022

Abstrakt

Benzo(a)pyren je polycyklický aromatický uhlovodík, který je jedním z hlavních polutantů v atmosféře. Jeho škodlivost spočívá hlavně v karcinogenitě a mutagenitě. Majoritními zdroji emisí benzo(a)pyrenu jsou průmysl, doprava a domácnosti. Bakalářská práce analyzuje data imisních koncentrací benzo(a)pyrenu, přejatá z Českého hydrometeorologického úřadu v Moravskoslezském kraji. Celkem zpracovává data z šesti stanic imisního monitoringu. Účelem práce je zmonitorovat situaci za posledních 10 let a zhodnotit, zda došlo ke změně imisních koncentrací. Jednotlivé kapitoly bakalářské práce se zabývají jak benzo(a)pyrenem, tak jeho vlivem na člověka a životní prostředí. Dále se zaměřuje na legislativu spojenou se znečištěním ovzduší a v neposlední řadě také nástroji ke snížení koncentrací nejen benzo(a)pyrenu.

Koncentrace benzo(a)pyrenu v atmosféře mají již delší dobu klesající trend, nicméně stále dlouhodobě mnohonásobně překračují imisní limity. Výrazným trendem je také pravidelné střídání vysokých imisních koncentrací v období zimy a nižších koncentrací v létě. Vysokým koncentracím benzo(a)pyrenu nejsou vystaveni pouze lidé a organismy žijící v místě vypouštění emisí, ale díky pohybu atmosféry také populace tisíce kilometrů daleko, například v Arktidě nebo ve Středomoří. Celkem ¼ populace Evropy je vystavena nadlimitním imisím benzo(a)pyrenu.

Špatnou imisní situaci se nyní snaží řešit legislativa stanovováním limitů, nebo tvořením strategických dokumentů, které vedou k jejich snížení apod. Legislativní řešení mnohdy nejsou dostatečné a byla by třeba jejich úprava. Jako jeden z příkladů můžeme uvést neexistenci emisního limitu pro benzo(a)pyren, což vede k jeho neregulovatelné exhalaci, nebo vysoký evropský imisní limit oproti limitu stanoveným Světovou zdravotnickou organizací (WHO).

Klíčová slova

Znečištění ovzduší; polycyklické aromatické uhlovodíky; PAH; benzo(a)pyren; dálkový přenos znečištění ovzduší

Abstract

Benzo(a)pyrene is polycyclic aromatic hydrocarbon which represents one of the main pollutants in the air. Benzo(a)pyrene is harmful because of its carcinogenicity and mutagenicity. Industry, transport, and households are the major sources of its emission. This bachelor thesis analyses data of benzo(a)pyrene concentrations obtained from Czech Hydrometeorological Institute of the Moravian-Silesian region, Czech Republic. It evaluates data from six air monitoring stations. Purpose of the thesis is to monitor situation over the last 10 years and assess changes in the air pollution. Benzo(a)pyrene, together with its impact on humans and environment, are described within the chapters of the bachelor thesis. Furthermore, air pollution legislation and tools to reduce concentrations of benzo(a)pyrene and other pollutants are taken into account.

Concentrations of benzo(a)pyrene in the atmosphere have followed a declining trend for a long time, however, they have still exceeded the emission limit values many times. A significant trend is also the regular alternation of high air pollution concentrations in the winter and lower concentrations in the summer. Not only humans and organisms living in the area of exhalation are exposed to high concentrations of benzo(a)pyrene, but also populations living thousands of kilometres away, such as the Arctic or the Mediterranean, are affected. The total of $\frac{1}{4}$ of European population is exposed to above-limit concentrations of benzo(a)pyrene.

Legislation is now aiming to solve the impaired air pollution situation by setting limits, creating strategic documents that lead to their reduction etc. Legislative solutions are often not sufficient enough, and their adjustment would be necessary. One of the examples is the absence of an emission limit for benzo(a)pyrene that leads to its unregulated exhalation. Another example is the high European limit for benzo(a)pyrene compared to the significantly lower limit set by the World Health Organization (WHO).

Key Words

Air pollution; polycyclic aromatic hydrocarbons; PAH; benzo(a)pyrene; long-range transport of air pollution

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle a metody	3
3. Benzo(a)pyren.....	9
3.1 Základní charakteristika	9
3.2 Hlavní zdroje emisí	10
3.3 Vznik a setrvání v atmosféře	10
4. Vlivy na zdraví člověka a na životní prostředí.....	11
4.1 Vliv na zdraví člověka.....	11
4.2 Vliv na životní prostředí	12
5. Znečištění ve světě, Evropě a České republice	13
5.1 Svět.....	13
5.2 Evropa	13
5.3 Česká republika	15
7. Znečištění v Moravskoslezském kraji.....	17
7.1 Aktuální situace (2020)	17
7.2 Vývoj znečištění 2010 – 2019	18
7.1 Dálkový přenos ovzduší	22
8. Diskuse.....	25
9. Závěr	32
10. Přehled literatury a použité zdroje	34
11. Zdroje dat imisních koncentrací.....	40
12. Seznam obrázků a tabulek.....	41

1. Úvod

Kvalita ovzduší a jeho znečištění je velkým diskusním tématem dnešní doby. Část znečištění se velkou měrou podílí na globálním oteplování a zhoršuje životní podmínky nám i ostatním živým organismům (MA et al., 2021). Vzhledem k těmto faktorům se dostává do povědomí čím dál širší veřejnosti, která se snaží s problémem nějak naložit, například změnu zdroje vytápění, či častějším využívání hromadné dopravy. Současná situace znečištění ovzduší je sice lepší než na konci minulého století, nicméně je stále špatná (EEA, ©2020). Největší problém z celosvětového hlediska představuje jižní a východní Asie, která emituje tony jak částicového, tak plynného znečištění. Amerika s Evropou nicméně nejsou žádnou výjimkou a vypouštějí stále vysoké množství znečišťujících látek. V současnosti jsou největším problémem částice PM_{2.5} (particulate matter), sloučeniny dusíku, uhlíku a síry. Dalšími významnými znečišťujícími látkami jsou organické polutanty a sloučeniny halogenidů (DALY et ZANNETTI, 2007). Přestože se povědomí o znečištění ovzduší relativně rychle rozšiřuje, stále existují znečišťující látky, které mnoho lidí nezná. Jednou z nich jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) a množství perzistentních organických polutantů (POP). Dle STELLMAN (1998) jsou PAH organické sloučeniny, které jsou tvořeny třemi, nebo více aromatickými kruhy, kde každé dva, nebo tři kruhy mají společné uhlíky. POP jsou látky s vysokým poločasem rozpadu, který vede k jejich dlouhodobé akumulaci. Poločasy rozpadu se různí, v půdách a sedimentech mohou být i několik let, kdežto v atmosféře řádově dny (JONES et DE VOOGT, 1999). Jedním ze zástupců PAH i POP je benzo(a)pyren (dále BaP). Organický polutant vznikající nedokonalým spalováním organických látek, jež má výrazný vliv na zdraví člověka. Byly u něj prokázány mutagenní a karcinogenní účinky, významně ovlivňuje životní prostředí a volně žijící živočichy (NACCI et al., 2002; KODÍČEK, 2004; USACHPPM, 2005; FANG, 2013; VÁLEK, 2017; SIVARAM et al., 2018; MA et al., 2021).

Legislativa Evropské unie (dále EU) a České republiky (dále ČR) zabývající se problémem znečištění ovzduší, stanovuje limity (emisní i imisní) pro jednotlivé znečišťující látky a obecně se snaží snížit množství znečišťujících látek v atmosféře. Hlavním legislativním dokumentem v ČR je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, který vychází z legislativy EU. Nicméně ovzduší v Evropě není zrovna nejčistší. Podle Evropské agentury pro životní prostředí (EEA, ©2020) je 90%

obyvatel evropských měst vystaveno životu nebezpečným koncentracím znečištění. Z hlediska koncentrací BaP je nejvíce zasažena střední a východní Evropa (EEA, ©2020). Produkce znečištění není jediným problémem ve znečišťování ovzduší. Díky pohybům v atmosféře dochází k přenosu znečištění na velké vzdálenosti a tím dochází ke znečišťování míst, kde by za normálních okolností, mělo být znečištění minimální, například Arktida. V ČR stále panují z hlediska znečištění ovzduší velké rozdíly mezi jednotlivými oblastmi. Jednou z nejvíce znečištěných oblastí je Moravskoslezský kraj. Za příčinu tohoto jevu se udává hlavně průmysl, který je pro region typický a vysoká hustota obyvatelstva jež přímo souvisí s nárůstem automobilové dopravy a emisemi z domácích topenišť (OSTATNICKÁ et MATOUŠKOVÁ, 2013).

Tato práce má zhodnotit imisní koncentrace BaP v Moravskoslezském kraji se zaměřením na aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek v období 2010–2019. Studuje škodlivost BaP na člověka a zkoumá jeho vliv na životní prostředí v ČR i světě. V úvodu práce představuje způsoby měření BaP a legislativu spojenou s emisemi a imisemi. Dále práce charakterizuje zájmové území – Moravskoslezský kraj a charakterizuje BaP. V hlavní části se zabývá majoritními zdroji emisí, reakcemi, působením BaP na člověka a životní prostředí. Pojednává o znečištění ovzduší ve světovém a lokálním měřítku. Zpracovává data o imisních koncentracích v Moravskoslezském kraji. V závěru poukazuje na nástroje, které vedou ke snížení nejen BaP, ale i emisí.

2. Cíle a metody

Cílem je zmapovat kvalitu ovzduší a znečištění BaP v Moravskoslezském kraji – konkrétně v aglomeraci Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek v období od roku 2010 až do současnosti (2022) a stanovit hlavní zdroje znečištění. Dalším cílem bakalářské práce je zhodnotit škodlivost BaP na člověka a životní prostředí. V neposlední řadě má za úkol interpretovat a vyhodnotit současnou legislativu, zda dochází k plnění stanovených cílů a představit nástroje, které vedou ke snižování emisí.

Původce znečištění neboli emitor, svým působením vytváří emise, které jsou dále rozptýleny do atmosféry a způsobují znečištění ovzduší – imise. VYSOUDIL (2002) definuje imise, jako příměsi znečištění ve vzduchu, které již jsou rozptýleny do okolí svých zdrojů. Při tomto procesu u nich mnohdy dochází ke změně jak chemických, tak fyzikálních vlastností. BaP se převážně váže na částice PM_{2.5} a PM₁₀. Imise můžeme také definovat, jako množství znečišťujících látek přecházející z ovzduší na příjemce. Imise vznikají z emisí chemickými reakcemi, přenosem nebo rozptylem v ovzduší. Během těchto procesů dochází k naředění látky, proto jsou imise méně koncentrované než emise. Imisní úroveň neboli kvalita venkovního ovzduší, se měří hlavně kvůli možným negativním účinkům na příjemce, tzv. receptory (HŮNOVÁ et JANOUŠKOVÁ, 2004).

Evropská i česká legislativa stanovuje limity na vypouštění polutantů do ovzduší (emisní) a dále na jejich koncentraci v místě expozice (imisní). Limitem se rozumí nejvyšší možná povolená koncentrace. Limit se vztahuje na konkrétní znečišťující látky, nebo pouze na jeden zdroj znečištění – emitor.

Emisní limity

Problematikou emisních limitů se zabývá vyhláška č. 415/2012 Sb., která interpretuje různé směrnice Evropského parlamentu (dále EP). Příkladem jsou směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích; směrnice 2000/76/ES o spalování odpadu a další. Celkem vyhláška interpretuje 13 směrnic EP. Tato vyhláška byla několikrát novelizována. Naposledy vyhláškou č. 216/2019 Sb. Problematikou emisních limitů se zabývá také zákon č. 201/2012 sb. Emisní limity přímo pro BaP nejsou přesně určeny. Nicméně jsou určeny limity obecně pro polycyklické aromatické uhlovodíky (dále PAH), do kterých BaP spadá. Limit je určen vyhláškou č. 415/2021 Sb. a jeho mezní hodnota je 0,2 mg/m³.

Imisní limity

Imisními limity jsou stanoveny přímo v zákoně č. 201/2012 sb. Zákon mimo jiné zpracovává celkem 13 směrnic EP, jako jsou například 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu; 2004/107/ES o obsahu arsenu, kadmia, rtuti, niklu a polycyklických aromatických uhlovodíků ve vnějším ovzduší; 2001/81/ES o národních emisních stropcích pro některé znečišťující látky a další. Imisní limit je stanoven vždy na období jednoho roku. Vedle samotného imisního limitu je také stanoven maximální počet dnů, kdy dojde k jeho překročení během roku. Imisní limit pro BaP je stanoven na 1 ng/m³/rok a počet maximálních překročení na 0. Což, jak bude vysvětleno dále, ČR v dlouhodobém horizontu neplní.

K analýze imisí se využívala data z tzv. Státní sítě imisního monitoringu (dále SSIM) z let 2010-2019. SSIM se skládá ze sedmi zón (Jihovýchod, Jihozápad, Moravskoslezsko, Severovýchod, Severozápad, Střední Čechy a Střední Morava) a tří aglomerací (Brno, Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek, dále O/K/F, a Praha). Správcem SSIM je Český hydrometeorologický ústav (dále ČHMÚ). Stanice imisního monitoringu (dále stanice) spadající do SSIM jsou buď přímo pod ČHMÚ nebo i dalšími institucemi – např. Státní zdravotní ústav. Síť stanic na území ČR není rovnoměrná. Nejvíce stanic se nachází převážně v průmyslových oblastech a velkých městech. Získaná data se dále ukládají do Informačního systému kvality ovzduší (dále ISKO), kde každá stanice má své číslo (BRZEZINA, 2018). V roce 2020 bylo v ČR celkem 200 stanic, z toho 61 monitorovalo koncentrace persistentních organických látek – kam mimo jiné patří BaP (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021). Stanice dělíme na dva základní typy – manuální (MIM) a automatické (AIM). Automatické stanice analyzují ovzduší přímo na místě a získaná data odesílají do centrálního počítače. Stanice manuální musí být pravidelně navštěvovány. Filtry použité k zachycování částic musí být vyjmuty a poté podrobeny laboratorním testům. Právě pomocí manuálních stanic se měří BaP, kde se k získání vzorků používají křemičité filtry. Stanice se dále dělí podle evropské klasifikace dle typu lokality, typu zóny a charakteristiky zóny. Rozlišujeme tři základní typy stanic dle lokality podle převládajícího zdroje znečištění: dopravní stanice (T, trafic), průmyslové stanice (I, industrial) a pozadíové stanice (B, background). Typy zón specifikujeme do tří skupin, které se zakládají na rozložení populace v oblasti: městská (U, urban), příměstská (S, suburban) a venkovská (R, rural). Charakteristika zóny slouží

k upřesnění polohy stanice a rozlišujeme zónu: obytnou (R, residential), obchodní (C, commercial), průmyslovou (I, industrial), zemědělskou (A, agricultural) a přírodní (N, natural). Při stanovení oblasti se může použít více zkratk, kdy první má vždy vyšší prioritu (BRZEZINA, 2018).

Stanovení koncentrace BaP probíhá v laboratoři pomocí dvou metod – plynovou a kapalinovou chromatografií. Nejvíce je používána plynová chromatografie a to na 60 % měřících stanic (ČHMÚ, ©2020a).

Plynová chromatografie (GC) je metoda sloužící k dělení a stanovení plynů, kapalin a pevných látek, které mají bod varu nižší než 400 °C, jelikož jejich detekce probíhá v jejich plynné fázi. Každá složka vzorku má v koloně svou rychlost, jež závisí na distribuční konstantě složky (KD) $KD = cs/cm$, kde cs a cm jsou rovnovážné koncentrace složky. Jednotlivé složky látky postupují k detektoru v pořadí jejich rostoucích distribučních konstant. Detektor rozpozná okamžitou koncentraci složky a vyšle signál, který je následně zpracován do grafického záznamu závislosti signálu detektoru na čase – tzv. chromatogram (ZACHAŘ et SÝKOROVÁ, 2019).

Vysokoučinná kapalinová chromatografie (HPLC) je metoda sloužící ke stanovení složek látky v její kapalně fázi. Při průduchu látky kolonou dochází k detekci k separaci složek na základně fyzikálně-chemických vlastnosti. Po separaci se jednotlivé složky určují pomocí jednotek fluorescence, absorbance, indexu lomu světla, elektrické vodivosti. Výstupem z detektoru je grafický výsledek závislosti odezvy detektoru na čase – chromatogram (BAČINA et al., 2012).

Mimo přímého měření koncentrací znečišťujících látek se využívá také výsledků modelování. V ČR se využívá Gaussovský disperzní model SYMOS 97 (LYSKOVÁ, 2010). Tento model počítá koncentrace z dat emisních měření a meteorologických podmínek pro období jednoho roku. Celé území ČR je rozděleno na 47 geomorfologických oblastí, které mají různé meteorologické podmínky. Na základě těchto 47 oblastí poté model vypočítává předpokládané imise v regionech (LYSKOVÁ, 2010).

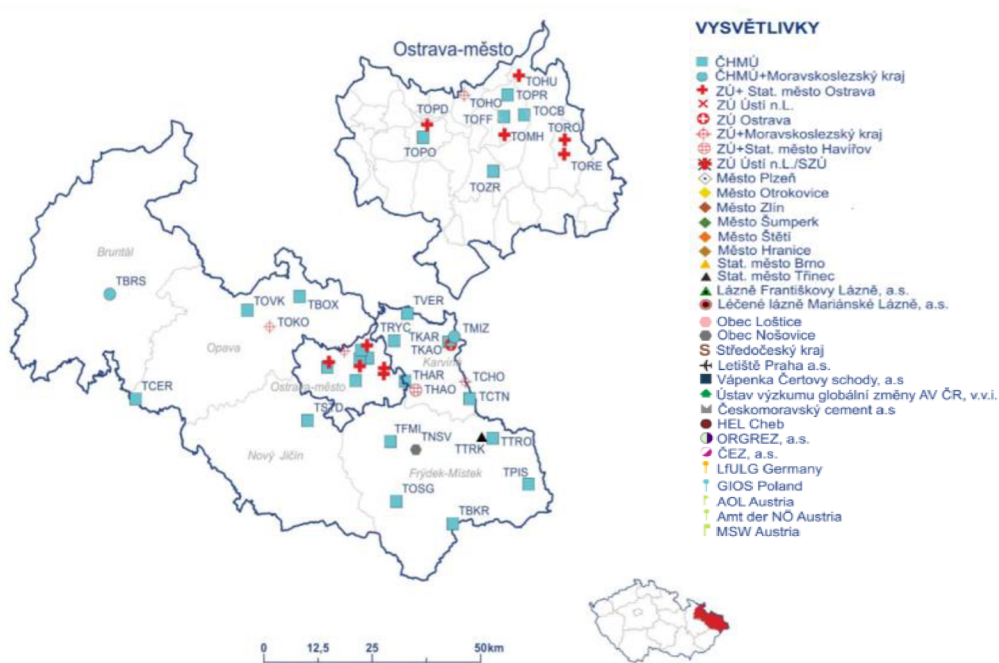
Charakteristika zájmového území

Hlavním územím odkud pocházejí data, je Moravskoslezský kraj. Dle dat statistického úřadu z roku 2020 jde o šestý největší kraj ČR s rozlohou 5 431 km². Je tvořen šesti okresy, které jsou rozděleny na 22 správních obvodů obcí s rozšířenou

působností. Více než polovinu území tvoří zemědělské pozemky a dalších přibližně 35 % pokrývají lesy. S 1,201 mil. obyvateli jde o třetí nejlidnatější kraj ČR. Majoritní skupina obyvatel, přesněji cca. 58 %, žije ve městech nad 20 000 obyvatel. Druhá největší skupina (cca 26 %) žije v obcích od 500 do 4 999 obyvatel. Přírodní charakter a odlišný ekonomický vývoj se podílejí na rozdílech v kvalitě životního prostředí jednotlivých oblastí kraje. Moravskoslezský kraj je imisemi BaP nejvíce zatíženým krajem v ČR. Nejzávažnější dopady znečištění ovzduší na životní prostředí se koncentrují do střední a severovýchodní části kraje (Ostravsko, Karvinsko a Třínecko) (ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, ©2020).

Stanice SSIM v zájmovém území

Aktuálně se v Moravskoslezském kraji nachází 33 meteorologických stanic (Obrázek 1), z nichž 17 měří koncentrace BaP. Většina měřících stanic se nachází v aglomeraci O/K/F. Pro účely porovnání hodnot BaP v aglomeraci O/K/F jsou použita imisní data z celkem 6 měřících stanic, které měřily většinu studovaného 10letého horizontu. Jednotlivá měření stanic byla prováděna v intervalu 1d/3d (délka odběru vzorku/frekvence odběru vzorku), nebo 1d/6d v počátečních letech měření. Jde konkrétně o stanice v okrese Karviná a Ostrava město. Na Karvinsku pocházejí data ze stanic v Českém Těšíně a Karviné. Data z Ostravska zase ze stanic Ostrava – Mariánské Hory, Ostrava – Poruba, Ostrava – Přívoz a Ostrava – Radvanice. Data koncentrací imisí pocházejí z tabelárních ročenek 2010–2020 vydávaných ČHMÚ.



Obrázek 1: Mapa stanic imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji v roce 2020 (ČHMÚ, 2021).

Stanice v Českém Těšíně vznikla v roce 1993. Koncentrace BaP jsou na stanici měřeny od roku 2005. Stanovují se za pomoci plynové chromatografie s hmotnostní detekcí (dále GC-MS). Jedná se o pozad'ovou stanici v městské obytné zóně v nadmořské výšce 285 m n. m. Vlastníkem stanice je ČHMÚ.

Stanice v Karviné byla zprovozněna v roce 1981. Koncentrace BaP se zde měří od roku 1997. Vzorky se analyzují pomocí metody HPLC. Stanice je dopravního typu v městské obytné zóně ve výšce 251 m. n. m. Provozovatelem stanice je Zdravotní ústav Ostrava.

Stanice v Ostravě Mariánských Horách byla vybudována v roce 2003 a v provozu je od roku 2004. Koncentrace BaP jsou na stanici měřeny od začátku provozu. Stanice je průmyslového typu, nacházející se v městské obytně-přírodní zóně v 225 m. n. m. Vlastníkem stanice je Zdravotní ústav Ostrava. Vzorky jsou analyzovány metodou HPLC.

K vybudování stanice v Ostravě Porubě došlo v roce 1970, koncentrace BaP se zde měří od roku 2004. Stanice je pozad'ová v příměstské obytné zóně v nadmořské výšce 242 m. n. m. Správcem stanice je ČHMÚ, který analyzuje vzorky ze stanice pomocí metody GC-MS.

Stanice v Ostravě Přívoze začala svou činnost v roce 1999, koncentrace BaP se zde měří od roku 2004. Jedná se o průmyslovou stanici v městské průmyslově-obytné zóně. Při stanovování koncentrace znečištění se používá metoda GC-MS. Stanice se nachází v 207 m. n. m. a spravuje jí ČHMÚ.

Zahájení měření na stanici v Ostravě Radvanicích nastalo v roce 2003, o rok později se na stanici začala analyzovat i koncentrace BaP. Metoda použitá pro stanovení koncentrace je HPLC. Stanice průmyslového typu se nachází v předměstské průmyslově-obytné zóně v 250 m. n. m. Je provozována Zdravotním ústavem Ostrava.

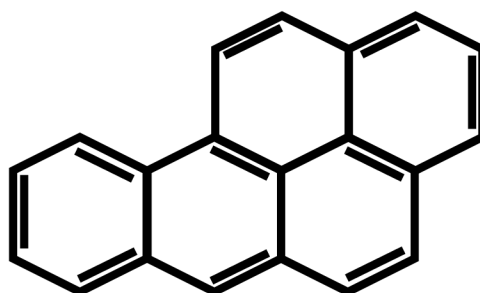
Modely dálkového přenosu HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) byly vytvořeny pomocí online aplikace, kterou spravuje a poskytuje Air Resources laboratory (DRAXLER et ROLPH, 2003). Aplikace vychází z predikce existence dobře promíchané vrstvy atmosféry, kde dochází k přenosu a rozptylu. Třírozměrný pohyb je počítán za pomoci výstupních větrných polí modelu NGM (National Meteorological Center's Nested Grid Model) (STEIN

et al., 2015). Vypočítány byly trajektorie 72hodinového přenosu větrných polí, tzv. air parcels, ve výškách 250 m a 1 000 m z *in situ* lokací měření BaP, konkrétně stanice Ostrava – Radvanice, v 15:00 UTC pro události, kdy byla místní průměrná denní koncentrace vyšší nebo rovna 49 ng/m^3 . Pomocí HYPPLITu pak byly identifikovány potenciální lokace, kam mohl být znečištěný vzduch pomocí atmosférických proudů přenesen.

3. Benzo(a)pyren

3.1 Základní charakteristika

Benzo(a)pyren, přesněji 3,4-benzopyren, je polycyklický aromatický uhlovdík tvořený pěti svázanými benzenovými řetězci (Obrázek 2) s registračním číslem CAS 50-32-8.



Obrázek 2: Benzo(a)pyren.

Za běžných podmínek jde o nažloutlou krystalickou látku s teplotou tání 179 °C a teplotou varu 495 °C. Nejčastěji je emitován v aerosolu – kapaliny, která se mísí se vzduchem a váže se na částice v něm rozptýlené. Přitom snadno vstupuje do dýchacího ústrojí organismů, případně ve formě imisí kontaminuje půdu a vodní zdroje. Do atmosféry nejčastěji vstupuje, jakožto složka kouře z antropogenních i přírodních zdrojů při nedokonalém spalování (teploty 300 – 600 °C) (PUBCHEM, ©2004). Poločas rozpadu se pohybuje mezi 229 a 309 dny (PARK et al., 1990). BaP má větší hustotu než voda, a to 1,4 g/cm³. Je dobře rozpustný v organických rozpouštědlech, jako jsou tuky a oleje. Rozpustnost ve vodě je relativně malá, přesněji 1,62x10⁻³ mg/l při 25 °C (PUBCHEM, ©2004). Vzhledem k menší rozpustnosti ve vodě není zásadní složkou kyselých dešťů. Rozpustnost v tucích je zásadní hlavně pro vstřebávání BaP do těla např. při styku s pokožkou (VÁLEK, 2017).

BaP patří mezi perzistentní organické polutanty (POPs) a v EU je kvůli svému riziku pro zdraví a životní prostředí zařazen do přílohy XVII nařízení Evropského parlamentu a Rady (dále ES) č. 1907/2006. Nařízení pojednává o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky. Příloha XVII upřesňuje omezení výroby, uvádění na trh a používání některých nebezpečných látek, přípravků a předmětů.

3.2 Hlavní zdroje emisí

Nelze přesně rozhodnout, zda v širším měřítku převažují antropogenní zdroje znečištění, nad přírodními. Lze ale podotknout, že přírodní zdroje znečištění nemůžeme ovlivnit, kdežto ty antropogenní ano. Proto bychom se nad antropogenními zdroji měli zamyslet a hledat řešení, jak jejich emise co nejvíce snížit. Antropogenními zdroji mohou být jednak stacionární, především lokální topeniště a průmyslové procesy, tak mobilní, kde svou významnou roli hrají vznětové motory spalující naftu. Přírodními zdroji jsou lesní požáry a sopečné erupce (OSTATNICKÁ et MATOUŠKOVÁ, 2013). Reprezentativním příkladem zdroje BaP ze sopečných erupcí jsou erupce Islandských sopek Eyjafjallajökull v roce 2010 a Grímsvötn v roce 2011, jejíž emise způsobily výrazné navýšení BaP v atmosféře (KOZAK, et al., 2017). Při hoření biomasy, například suchého dřeva, suché trávy a suchého listí je nejvíce BaP uvolněno při hoření trávy (průměrně 179 ng/m³), případně při kombinaci všech tří složek (průměrně 188 ng/m³) (BRZEZINA, 2022).

ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ (2020) uvádějí, že v ČR jsou největším emitorem znečištění BaP domácnosti, přesněji domácí topeniště. Na celkových vypuštěných emisích se podílejí 98,8 %. Dopravní sektor je zodpovědný přibližně za 0,8 % vypuštěných emisí. Průměrná koncentrace v neprůmyslových oblastech je 0,4 ng/m³ a v průmyslových oblastech 7,7 ng/m³ (SCHREIBEROVÁ et al., 2020). BaP ale není jediným problematickým polutantem, který produkují převážně domácnosti. Podle International Institute for Applied System Analysis, bylo v ČR v roce 2015 celkem 41 % jemného prachu a 57 % emisí černého uhlíku, tzv. black carbon, česky saze, vyprodukováno právě domácnostmi (PRESS-KRISTENSEN, 2016).

3.3 Vznik a setrvání v atmosféře

Nejen BaP, ale polycyklické aromatické uhlovodíky všeobecně nesetrvávají v atmosféře v původním stavu. Buď se váží na částice, nejčastěji frakce PM_{2.5}, nebo PM₁₀ a v takovém stavu mohou setrvat i několik dnů, až týdnů (OSTATNICKÁ et MATOUŠKOVÁ, 2013), nebo podléhají přeměnám. Přeměny jsou buď reakcemi s ostatními složkami ovzduší nebo se světlem, přesněji jeho ultrafialovou složkou (tato reakce se nazývá fotolýza). Nejvýznamnějšími studovanými reakcemi jsou zejména: i. fotooxidace, reakce s ozonem, ii. reakce s volnými radikály OH^{*} a CH₃^{*}, iii. reakce s SO₂ a H₂SO₄ a iv. reakce s NO₂ (HŮNOVÁ et JANOUŠKOVÁ, 2004).

4. Vlivy na zdraví člověka a na životní prostředí

4.1 Vliv na zdraví člověka

V dnešní době hraje míra znečištění ovzduší na zdraví člověka významnou roli. Již mnoho studií prokázalo, pokud je člověk chronicky vystaven (chronické vystavení je definováno např. normou ČSN EN IEC 62933-1 jako dlouhodobé vystavení vlivům okolního prostředí, buď trvalé, nebo přerušované) větší míře znečištění, dostává se u něj dříve nebo později zdravotní komplikace. Nejčastěji podporuje vznik respiračních onemocnění, kardiologické problémy či například rakovinu plic. Nejpostiženějšími skupinami lidí jsou již nemocné osoby, osoby staršího věku, děti nebo sociálně vyloučení lidé. Nejvíce škodlivým polutantem jsou dle dosavadních sledování částice PM_{2.5} (WHO, ©2019). Největší nebezpečí částic PM_{2.5} spočívá převážně jejich velikosti, kdy se dostávají hluboko do plic a způsobují jejich poškození (XING et al., 2016). Škodlivost částic PM_{2.5} je ještě více umocněna navázáním BaP.

BaP se řadí mezi toxické a mutagenní látky. Do těla vstupuje většinou vdechnutím, nicméně prostupuje i pokožkou. V těhotenství ohrožuje vývoj plodu, je karcinogenní a při styku s kůží může způsobit její popálení (VÁLEK, 2017). Chronické vystavení BaP způsobuje poškození trávicího traktu a dýchacích cest. BaP poškozují imunitní systém, červené krvinky, má mutagenní účinky, omezuje reprodukční schopnost (VÁLEK, 2017). Chronické expozice v prenatální a rané části života mohou negativně ovlivnit kognitivní vývoj dítěte a mohou vést k výskytu různých poruch, příkladem je porucha pozornosti s hyperaktivitou (ADHD) (EDWARDS et al., 2010).

Karcinogenita je způsobená převážně metabolity (látky vstupující do metabolismu, meziprodukty metabolismu nebo konečné produkty metabolismu, KODÍČEK, 2004) BaP, které vznikají jeho metabolizováním pomocí enzymu cytochrom P450. Právě karcinogenita některých metabolitů zařadila BaP do 1. třídy hodnocení karcinogenity dle International Agency for Research on Cancer (IARC, VÁLEK, 2017). Při průměrné celoživotní koncentraci BaP 0,7 ng/m³ je odhadované celoživotní riziko vzniku rakoviny $6,1 \cdot 10^{-5}$ tj. riziko 0,0061 % neboli přibližně 1:16400 (SKÁCEL et TEKÁČ, 2019). Tato hodnota jakožto roční průměrná byla v roce 2020, podle dat imisních koncentrací ČHMÚ, překročena alespoň na jedné stanici v devíti krajích. Stejně, jako u arsenu je působení BaP bezprahové,

tedy nemůžeme stanovit jeho nebezpečnou hladinu (VÁLEK, 2017). Při bezprahovém působení je efekt látky pozorovatelný vždy při jakékoli nenulové koncentraci.

Nejvíce jsou BaP vystaveni kuřáci. Vykouření 20 klasických cigaret denně odpovídá ekvivalentní celodenní expozici 20 ng/m³ (VÁLEK, 2017). Dnešním kuřáckým trendem je nahřívání tabák, při kterém nedochází ke spalování tabáku. Dle studie Vysoké učení technické (VUT) v Brně z roku 2018 byly koncentrace BaP ve zplodinách výrobků nahřívajících tabák několikanásobně menší ve srovnání s klasickými cigaretami. Studie uvádí, že koncentrace BaP je u klasických cigaret cca. 5 ng/1 cigaretu a u nahřívání tabáku <0,05 ng/1 cigaretu (KODAD, 2018). Studie o celkové mortalitě způsobené BaP nebyly nalezeny.

4.2 Vliv na životní prostředí

Znečištěné ovzduší má krom vlivu na člověka i nemalý dopad na životní prostředí. Imise polutantů škodí jednotlivcům a decimují celé populace živočichů, rostlin a ekosystémy. (VACEK et al., 2015) Příkladem je třeba imisní kalamita způsobená SO₂ v Krušných horách během 70. a 80. let minulého století. Během této kalamity bylo v Krušných horách zničeno více jak 50 % lesního porostu (PŘIBYL, 2019). Nejvíce sledovanými látkami, které mají při vyšších koncentracích fatální důsledky na ekosystémy, jsou NO₂, SO₂ a O₃. Pro všechny tyto polutanty stanovila World Health Organization (dále: WHO) doporučené hodnoty pro ochranu vegetace (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).

Vliv BaP na zvířata je různorodý a záleží převážně na třídě živočichů. Účinek na savce je neurotoxický. Při vyšších koncentracích může dojít i k poškození dýchacího ústrojí. Ptačí populace jsou ohroženy hlavně v embryonálním stádiu vývoje, kdy účinky BaP způsobují zpomalení růstu a genetické mutace (USACHPPM, 2005). U ryb BaP způsobuje nižší samičí sexuální aktivitu (NACCI et al., 2002). Další studie ukazuje, že BaP má na ryby mutagenní účinky a v pozdějších stádiích života způsobuje nádorová onemocnění (FANG, 2013).

Dopad BaP na rostliny zkoumal například SIVARAM et al. (2018). Zjistili, že dopady se různí podle jednotlivých druhů. Klíčivost semen například slunečnice nebo ovsu se nikterak nezměnila, ale u semen hořčice klesla o 27,8 %. BaP má také vcelku výrazný vliv na růst rostlin. Například u vojtěšky způsobil čtyřnásobný pokles hmotnosti biomasy. Výrazné změny se projevují i na rozvinutosti kořenového systému.

5. Znečištění ve světě, Evropě a České republice

Problém znečištění ovzduší začal v období průmyslové revoluce v 18. století, kdy se ve velkém začalo spalovat uhlí. (POWER et al., 2018). Od doby průmyslové revoluce se podmínky a koncentrace znečišťujících látek v atmosféře podstatně změnily a jsou stále velkým tématem, které je potřeba řešit z důvodu ochrany zdraví lidí, živočichů a rostlin.

5.1 Svět

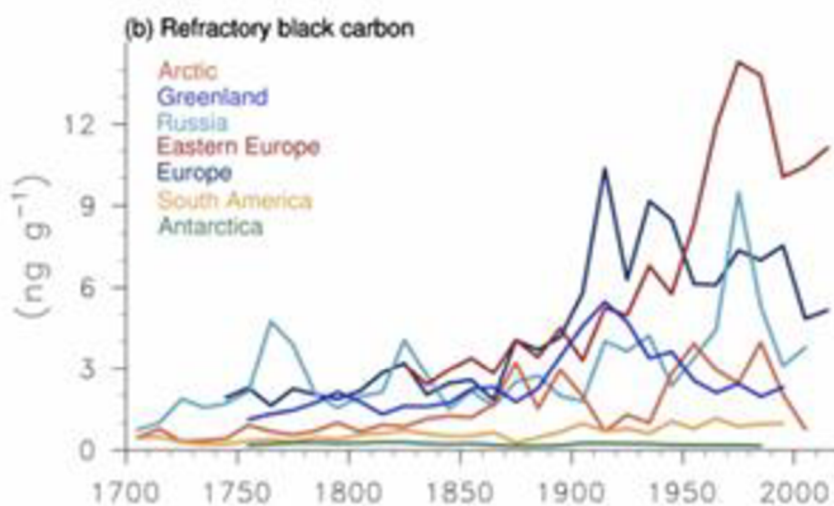
Znečištěné ovzduší je globálním problémem. Bylo prokázáno na všech místech naší planety. Největšími emitory znečištění, konkrétně částic $PM_{2.5}$ je dle agentury IQAIR (2020) jihovýchodní Asie, následovaná blízkým východem a balkánskými zeměmi spolu s východní Evropou. Nepodařila se bohužel dohledat souhrnná celosvětová data o imisích BaP. BaP se nicméně zabývá třeba kanadská legislativa, která pro BaP stanovuje roční imisní limity ve třech provinciích, Albertě ($0,3 \text{ ng/m}^3$), Ontariu ($0,01 \text{ ng/m}^3$) a Quebecu ($0,9 \text{ ng/m}^3$). V Ontariu je stanoven i 24-h imisní limit a to $0,05 \text{ ng/m}^3$ (GALARNEAU et al., 2016). Dle GALARNEAU et al. (2016) byly tyto limity překročeny celkem na 23 % stanic.

5.2 Evropa

Zrod myšlenky řešení znečištění ovzduší v rozsáhlejší kontextu než jen národním přišel v 60. letech 20. století. O dekádu později došlo ke vzniku Úmluvy o dálkovém znečištění ovzduší přecházející hranice států (dále VLRTAP). Ke zrodu VLRTAP došlo na popud Skandinávských zemí. Vědci se zabývali acidifikací místních vodních toků a nádrží. Zjistili, že současná situace je způsobená kyselými dešti, které sem přivály z kontinentální Evropy (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021). Díky opatřením VLRTAP a EU se kvalita ovzduší v Evropě v průběhu několika desetiletí podstatně zlepšila.

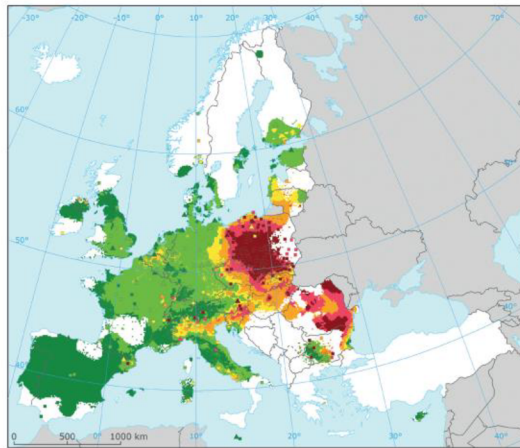
Emise majoritních znečišťujících látek od 90. let minulého století podstatně poklesly. Pokles znečištění však nebyl zaznamenán ve všech sektorech, u některých látek se zvýšil. Příkladem zvýšení koncentrací jsou oxidy dusíku produkované převážně mobilními zdroji. Posledních několik dekád došlo v EU ke zvýšení koncentrace částic $PM_{2.5}$ a BaP (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021). Neproblematičtějšími polutanty v kontextu lidského zdraví jsou v Evropě hlavně koncentrace PM, O_3 , SO_2 a BaP (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).

Jednou z hlavních znečišťujících látek je black carbon. Dlouhodobé sledování jeho koncentrací nám ukazuje ve 20. století v Evropě výrazný nárůst a následný pozvolný pokles. Podle zprávy Mezivládního panelu pro klimatickou změnu, která pokles koncentrací aerosolů v posledních dekádách zobrazuje, se ale pro východní Evropu ukazuje, že koncentrace black carbonu jsou stále jedny z nejvyšších a opětovně od roku 2000 dlouhodobě stoupají. (Obrázek 3). V ČR, jak bylo již zmíněno výše, celkem 52 % black carbonu pochází z domácností (PRESS-KRISTENSEN, 2016). Podíl domácností na Slovensku činí 76 % a v Polsku dokonce 86 %. Bohužel trend hovoří ve prospěch zvyšování podílu. V roce 2030 se předpokládá zvýšení podílů v průměru o 10 %. V ČR dokonce o 20 % (PRESS-KRISTENSEN, 2016).



Obrázek 3: Graf trendů koncentrací black carbonu (IPPC, 2022).

Znečištění ovzduší BaP patří v Evropě k jednomu z největších problémů. Odhaduje se, že v období 2016–2018 bylo v EU vystaveno nadlimitním koncentracím BaP cca. 15 – 22 % městské populace. Vysoké koncentrace BaP v ovzduší jsou zaznamenávány převážně na Balkáně a ve východní a střední Evropě (Obrázek 4 a Obrázek 5) (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021). V Evropě dlouhodobě dochází k poklesu koncentrací BaP, změna je patrná i při porovnání Obrázku 4 a Obrázku 5, kdy můžeme pozorovat výrazný úbytek imisí BaP mezi lety 2012-2019 (HORÁLEK et al., 2021).

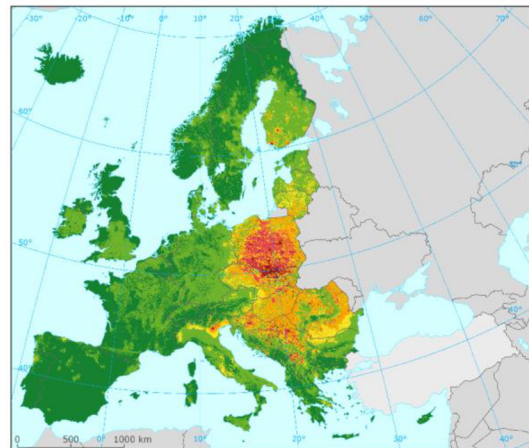


Benzo[a]pyren
Roční průměr
Rok: 2013
Kombinovaná venkovská a městská mapa
Rozlišení: 1x1 km

- ≤ 0,12 ng.m⁻³
- 0,12-0,4 ng.m⁻³
- 0,4-0,6 ng.m⁻³
- 0,6-1 ng.m⁻³
- 1-1,5 ng.m⁻³ (1 = clový limit)
- > 1,5 ng.m⁻³

nejde o členskou či spolupracující zemi EEA
nejdou dostupná data
△ venkovská pozadová stanice
○ městská či předměstská pozadová stanice

Obrázek 4: Pole průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu v Evropě, 2013 (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).



Benzo(a)pyrene (BaP)
Annual Average
Reference Year: 2019
Combined Rural and Urban Background Map
Resolution: 1x1 km²

- ≤ 0.12 ng.m⁻³
- 0.12 - 0.4 ng.m⁻³
- 0.4-0.6 ng.m⁻³
- 0.6 - 1 ng.m⁻³
- 1 - 1.5 ng.m⁻³ (1 = TV)
- > 1.5 ng.m⁻³

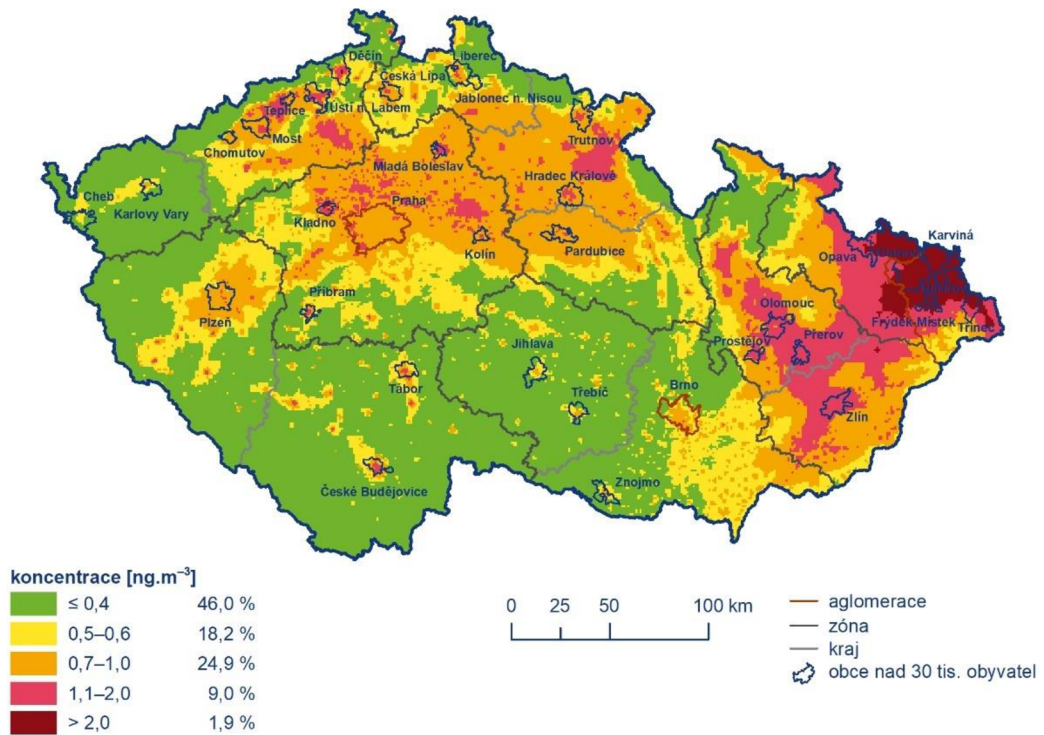
non EEA member or cooperating countries
no available data

Obrázek 5: Pole průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu v Evropě, 2019 (HORÁLEK et al., 2021).

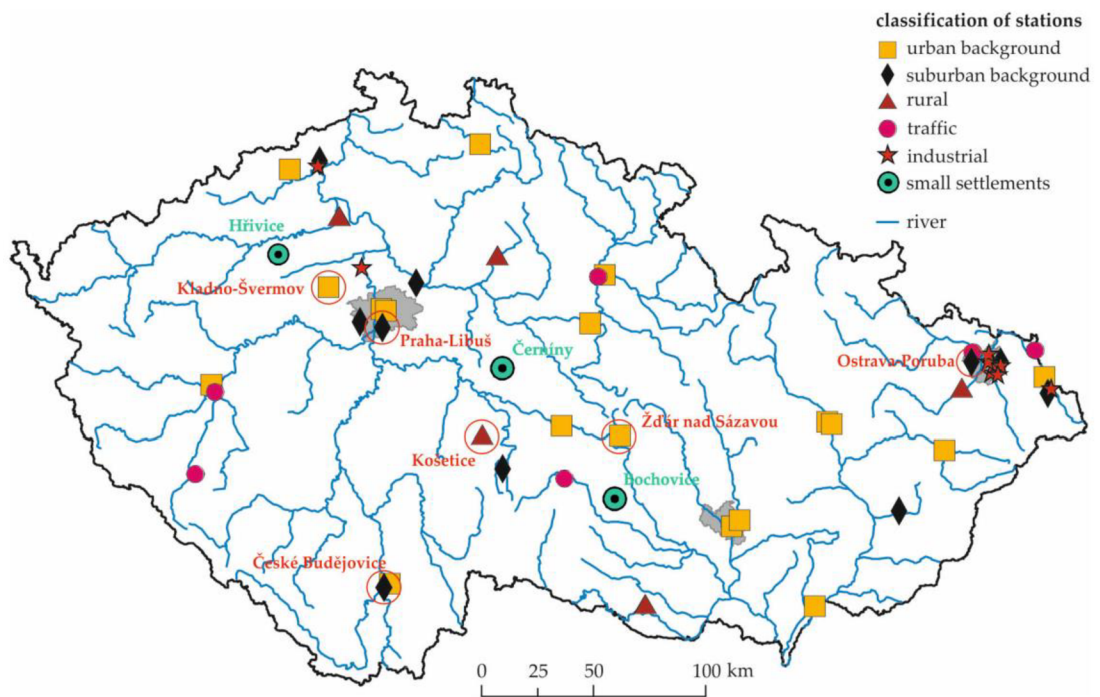
5.3 Česká republika

V ČR se podobně jako v ostatních zemích Evropy problém se znečištěním ovzduší začal více řešit až koncem minulého století. Příchod nového tisíciletí přinesl významné snížení emisí většiny polutantů, především SO₂ (EEA, ©2020). Moravskoslezský kraj je nejvíce emisemi BaP zatíženým krajem ČR. Dalšími nejvíce znečištěnými kraji je kraj Středočeský, Královehradecký, Olomoucký a Zlínský. V těchto krajích byl v roce 2020, podle dat imisních koncentrací ČHMÚ, překročen roční imisní limit alespoň na jedné stanici. BaP nejznečištěnějšími oblastmi jsou převážně oblast Kladenska a aglomerace O/K/F.

Nadlimitními hodnotami BaP je v pětiletém průměru ohroženo celkem 10,9 % rozlohy ČR. Přibližně 46% rozlohy ČR se v pětiletém horizontu potýká s koncentracemi ≤ 0,4 ng/m³ (Obrázek 6). Když tyto informace porovnáme s mapou rozmístění stanic (Obrázek 7), dojdeme k závěru, že velká část ČR není stanicemi pokryta a data jsou proto v těchto oblastech modelovaná. Vzhledem k okolnostem jsou data v oblastech bez měřících stanic zatížena velkou chybou a mohou být nerelevantní.



Obrázek 6: Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo(a)pyrenu, 2016–2020 (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).



Obrázek 7: Stanice imisního monitoringu měřící BaP v ČR v roce 2018 (SCHREIBEROVÁ et al., 2020).

7. Znečištění v Moravskoslezském kraji

7.1 Aktuální situace (2020)

Oblast aglomerace O/K/F je nejvíce znečištěnou oblastí Moravskoslezského kraje, co se kvality ovzduší a potažmo BaP týče. Podle analyzovaných dat byla na všech stanicích v kraji průměrná roční koncentrace BaP $> 1 \text{ ng/m}^3$, což je více, než je imisní limit (Tabulka 1). Nejvyšší roční průměrná koncentrace byla naměřena v Ostravě Radvanicích a to $7,7 \text{ ng/m}^3$. Nejnižší roční průměrná koncentrace $1,5 \text{ ng/m}^3$ byla naměřena v Ostravě Porubě.

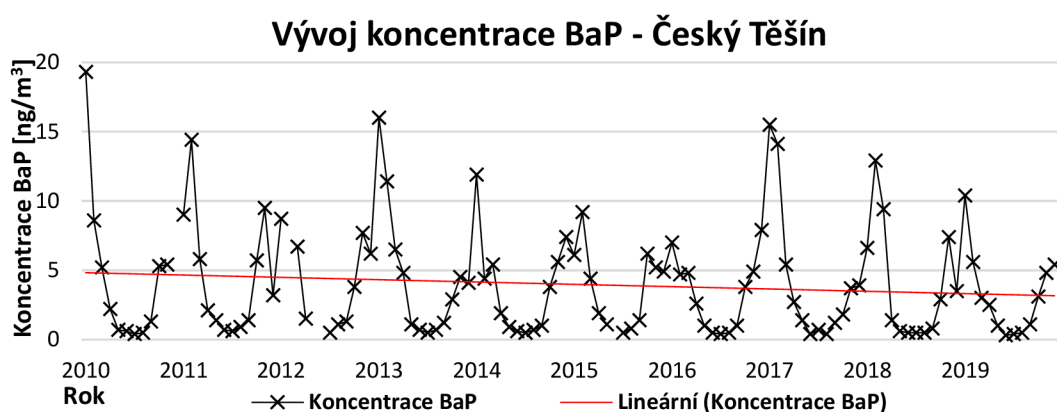
Název stanice	Ostrava-Hošťálkovice	Ostrava-Hrušov	Ostrava-Mariánské Hory	Ostrava-Poruba ČHMÚ	Ostrava-Poruba DD	Ostrava-Přívoz
Roční průměrná koncentrace BaP [ng/m ³]	1,8	2,8	1,6	2	1,5	2,2
Název stanice	Ostrava-Radvanice OZO	Ostrava-Radvanice ZÚ	Český Těšín	Chotěbuz	Karviná ZÚ	Mizerov
Roční průměrná koncentrace BaP [ng/m ³]	3,8	7,7	3	3,6	2,7	3,1
Název stanice	Věřňovice	Studénka	Bolatice	Opava-Kateřinky	Opava-Komárov	
Roční průměrná koncentrace BaP [ng/m ³]	7	1,8	4,7	1,7	2,1	

Tabulka 1: Roční průměrná koncentrace BaP, 2020.

7.2 Vývoj znečištění 2010 – 2019

Stanice Český Těšín (ISKO: 1588)

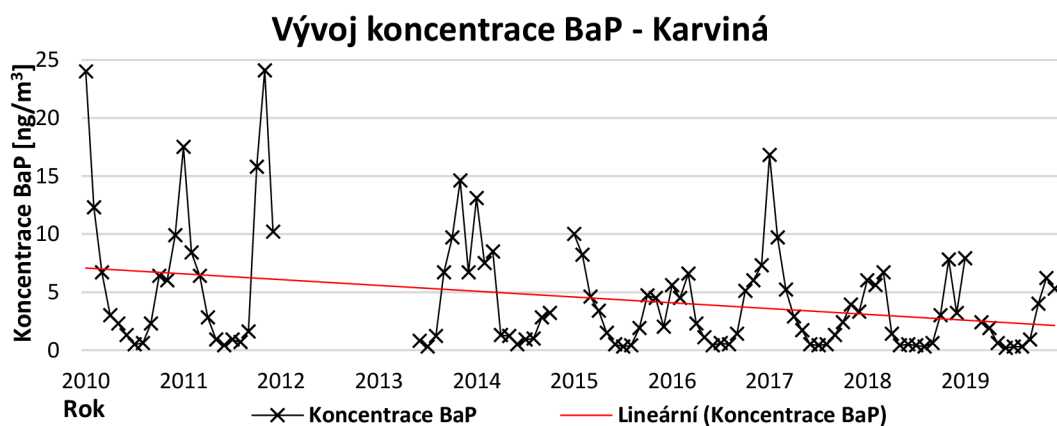
Obrázek 8 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Český Těšín. Součástí grafu je také spojnice trendu. Nejnižší měsíční průměrná hodnota ve studovaném období naměřená na stanici je $0,3 \text{ ng/m}^3$ v červnu 2019. Nejvyšší průměrná měsíční hodnota ve zkoumaném období naměřená na stanici je $19,3 \text{ ng/m}^3$ v lednu 2010. Dlouhodobý trend vývoje koncentrací je klesající. Výrazný kolísavý trend můžeme pozorovat mezi letními a zimními měsíci.



Obrázek 8: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Český Těšín za období 2010-2019.

Stanice Karviná (ISKO: 1710)

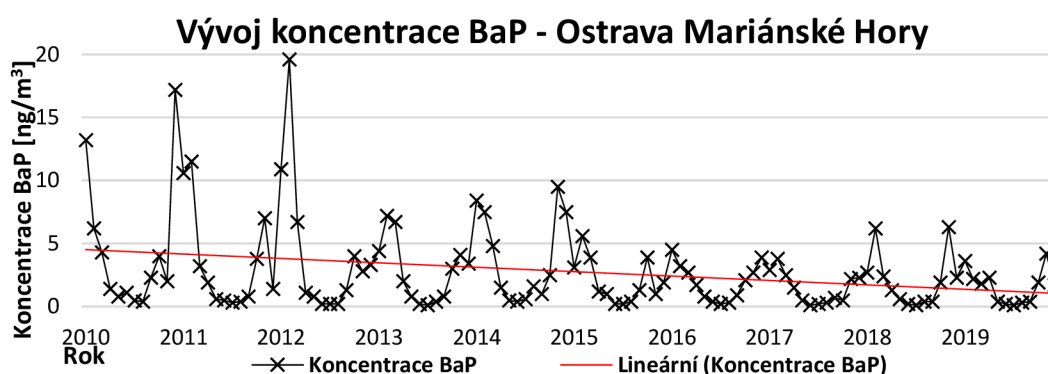
Obrázek 9 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Karviná. Součástí grafu je také spojnice trendu. Ve sledovaném období stanice naměřila nejnižší průměrnou měsíční koncentraci BaP $0,2 \text{ ng/m}^3$ v červnu 2019 a nejvyšší průměrnou měsíční koncentraci $25,1 \text{ ng/m}^3$ v listopadu 2011. Dlouhodobý trend vývoje na stanici je klesající. Výrazný kolísavý trend můžeme pozorovat mezi letními a zimními měsíci. Z roku 2012 nejsou data o koncentraci dostupná.



Obrázek 9: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Karviná za období 2010-2019.

Stanice Ostrava – Mariánské Hory (ISKO: 1716)

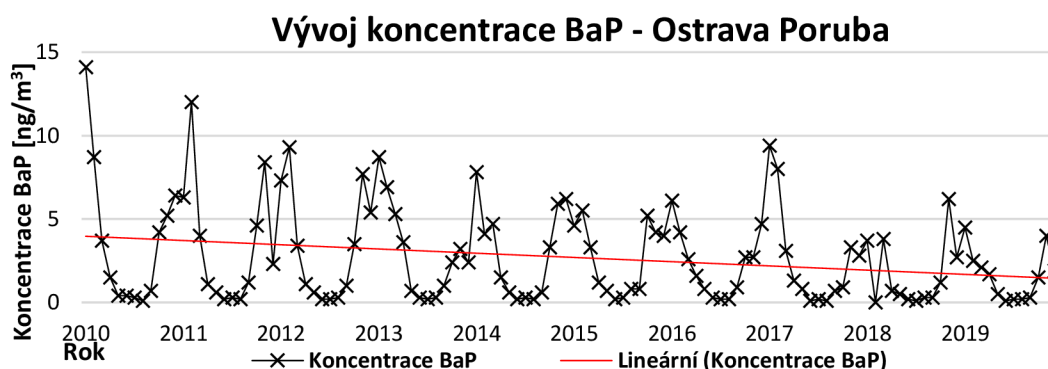
Obrázek 10 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Ostrava – Mariánské Hory. Součástí grafu je také spojnice trendu. Nejnížší průměrná měsíční hodnota naměřená ve studovaném období byla $0,1 \text{ ng/m}^3$ a bylo jí dosaženo ve čtyřech měsících – červen 2017 a červenec 2013, 2018 a 2019. Nejvyšší průměrná měsíční koncentrace ve studované období stanice naměřila v únoru 2012 a to $19,6 \text{ ng/m}^3$. Dlouhodobý trend vývoje koncentrací na stanici je klesající. Výrazný kolísavý trend můžeme pozorovat mezi letními a zimními měsíci. V roce 2012 došlo v oblasti k prudkému dlouhodobému snížení koncentrací BaP.



Obrázek 10: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Ostrava Mariánské Hory za období 2010-2019.

Stanice Ostrava – Poruba (ISKO: 1537)

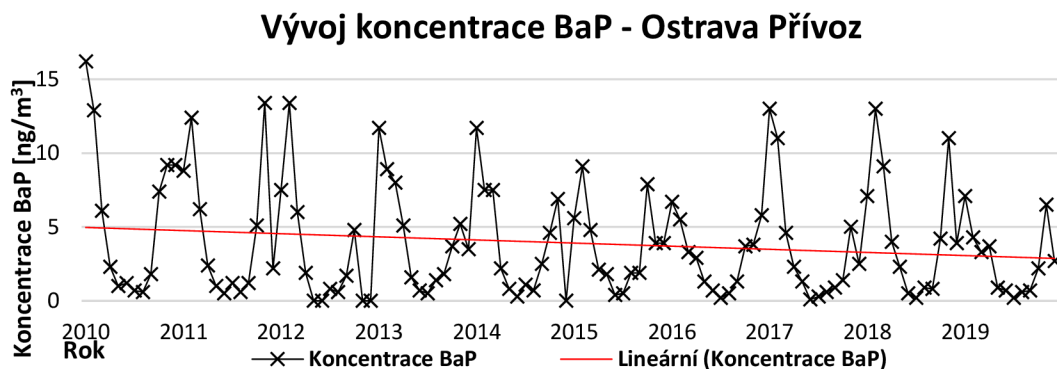
Obrázek 11 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Ostrava – Poruba. Součástí grafu je také spojnice trendů. Nejnížší naměřená průměrná hodnota $0,1 \text{ ng/m}^3$ byla na stanici dosažena v červnu 2017 a 2019, červenci 2018 a srpnu 2010 a 2017. Nejvyšší průměrné hodnoty bylo dosaženo v lednu 2010, kdy koncentrace vystoupala k $14,1 \text{ ng/m}^3$. Dlouhodobý trend vývoje koncentrací na stanici je klesající. Výrazný kolísavý trend můžeme pozorovat mezi letními a zimními měsíci.



Obrázek 11: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Ostrava Poruba za období 2010-2019.

Stanice Ostrava – Přívoz (ISKO: 1538)

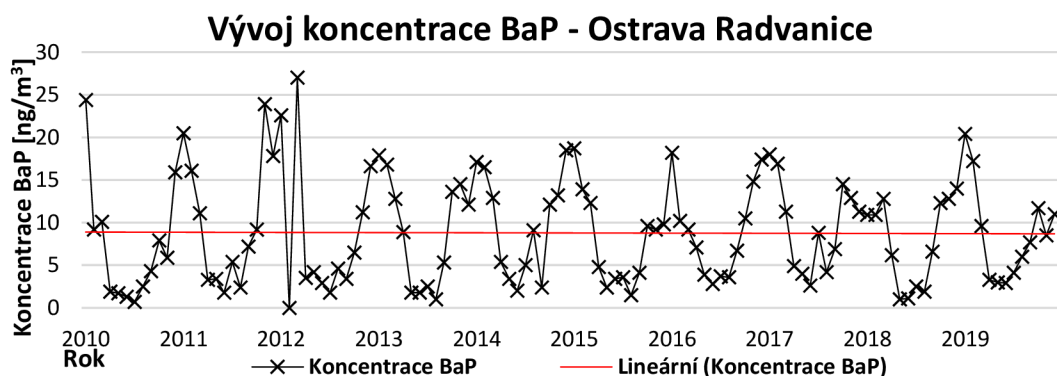
Obrázek 12 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Ostrava – Přívoz. Součástí grafu je také spojnice trendů. Nejnižší průměrná měsíční hodnota $0,1 \text{ ng/m}^3$ byla zaznamenána v červnu 2017, nejvyšší $16,2 \text{ ng/m}^3$ v lednu 2010. Dlouhodobý trend vývoje koncentrací BaP na stanici je klesající. Výrazný kolísavý trend můžeme pozorovat mezi letními a zimními měsíci.



Obrázek 12: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Ostrava Přívoz za období 2010-2019.

Stanice Ostrava – Radvanice (ISKO: 1713)

Obrázek 13 znázorňuje měsíční průměrné hodnoty BaP na stanici Ostrava – Radvanice. Součástí grafu je také spojnice trendů. Průměrná koncentrace BaP za sledované období klesla pod hodnotu 1 ng/m^3 pouze 1x a to na $0,7 \text{ ng/m}^3$ v červenci 2010. Nejvyšší průměrnou hodnotou ve sledovaném období na stanici je koncentrace 27 ng/m^3 v březnu 2012. Dlouhodobý trend vývoje koncentrací BaP na stanici je klesající. Radvanická stanice je dle měření nejvíce imisemi zasaženou stanicí a zároveň s nejmírněji klesajícím trendem ze všech sledovaných stanic. Stanice má také největší výkyvy koncentrace mezi zimou a létem ze všech sledovaných stanic.

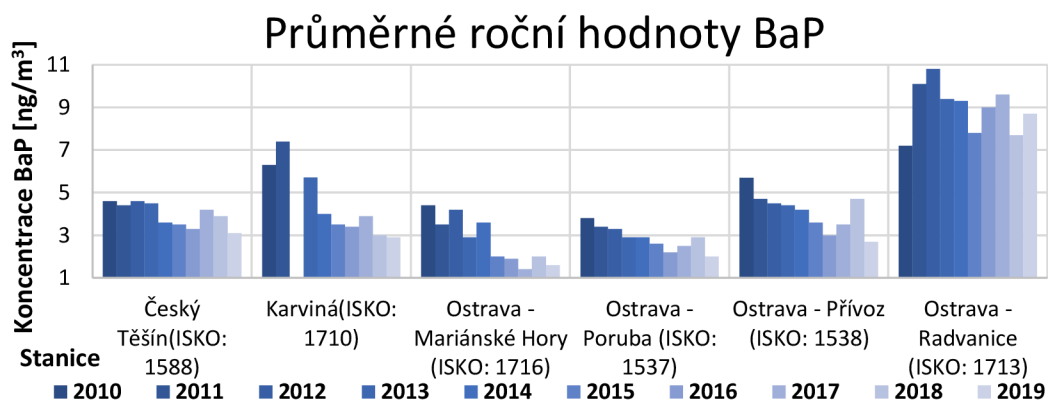


Obrázek 13: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Ostrava Radvanice za období 2010-2019.

Data z jednotlivých stanic nám ukazují jasný trend v rozdílu koncentrací mezi létem a zimou. V letních měsících je koncentrace BaP výrazně nižší než v zimních měsících. Tento trend se dá přisuzovat hlavně, již zmíněnému majoritnímu znečišťovateli, domácnostem, přesněji zvýšenému spalování pevných paliv. Z průměrných ročních koncentrací vyplývá (Tabulka 2), že v každém studovaném roce a na každé stanici byly hodnoty vždy vyšší, než 1 ng/m^3 , tedy nadlimitní. Z dlouhodobého hlediska (Obrázek 14) lze vyčíst klesající trend vedoucí ke snižování celkových imisí, potažmo emisí. Velký výkyv koncentrace BaP byl zaznamenán 31.12.2013, kdy na stanici v Ostravě Radvanicích dosáhla denní imisní koncentrace BaP 60 ng/m^3 . Výrazně zvýšené koncentrace BaP byly v tento den naměřeny i na ostatních studovaných stanicích. Jedním z důvodů rekordní imisní koncentrace by se mohly zdát zvýšené emise, způsobené odpalováním pyrotechniky. Nicméně výzkum z USA (JIA et al., 2020) ukazuje, že pyrotechnika na koncentrace BaP má minimální vliv.

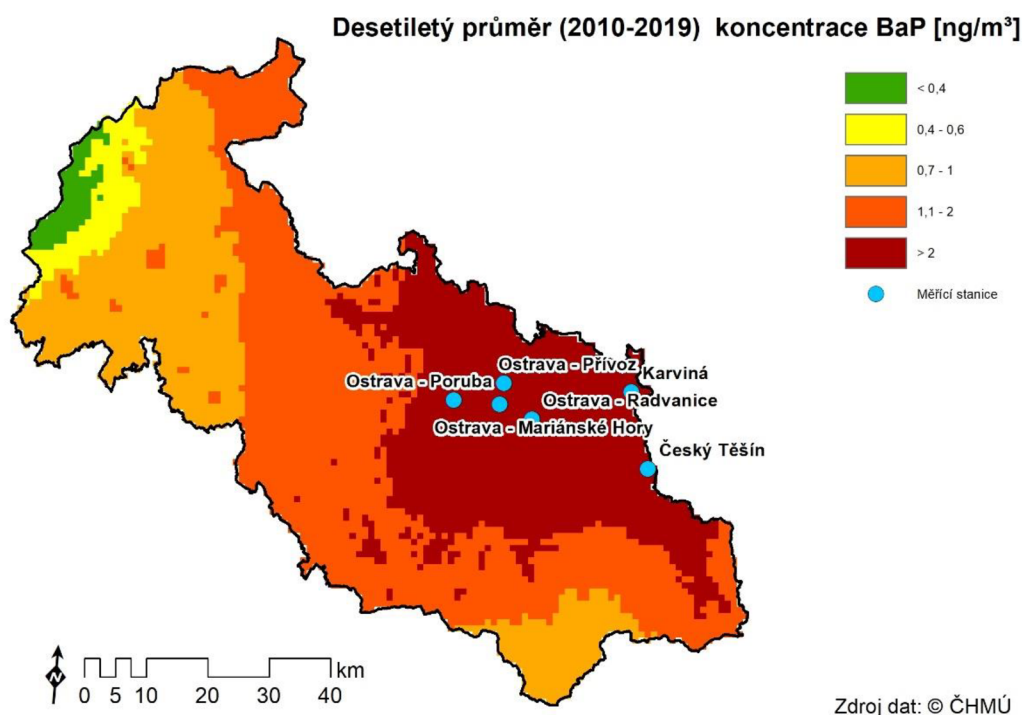
Měřicí stanice	Průměrné roční hodnoty BaP [ng/m^3]									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Český Těšín (ISKO: 1588)	4,6	4,4	4,6	4,5	3,6	3,5	3,3	4,2	3,9	3,1
Karviná (ISKO: 1710)	6,3	7,4		5,7	4	3,5	3,4	3,9	3	2,9
Ostrava – Mariánské Hory (ISKO: 1716)	4,4	3,5	4,2	2,9	3,6	2	1,9	1,4	2	1,6
Ostrava – Poruba (ISKO: 1537)	3,8	3,4	3,3	2,9	2,9	2,6	2,2	2,5	2,9	2
Ostrava – Přívoz (ISKO: 1538)	5,7	4,7	4,5	4,4	4,2	3,6	3	3,5	4,7	2,7
Ostrava – Radvanice (ISKO: 1713)	7,2	10,1	10,8	9,4	9,3	7,8	9	9,6	7,7	8,7

Tabulka 2: Průměrné roční hodnoty BaP [ng/m^3] na stanicích v Českém Těšíně, Karvině a Ostravě v období 2010 – 2019.



Obrázek 14: Graf průměrné roční koncentrace BaP [ng/m^3] na stanicích v Českém Těšíně, Karvině a Ostravě v období 2010 – 2019, souhrnný graf.

Celková desetiletá průměrná koncentrace BaP v Moravskoslezském kraji nepoklesla pod imisní limit na většině území Moravskoslezského kraje (Obrázek 15).

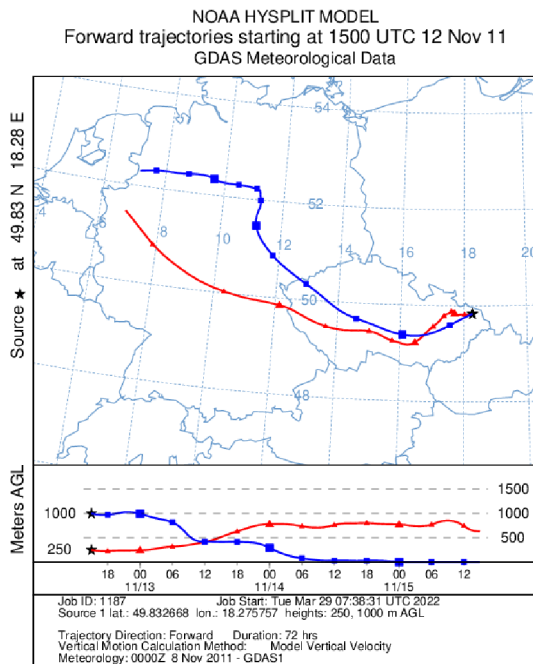


Obrázek 15: Desetiletý průměr koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m³] v Moravskoslezském kraji v období 2010-2019.

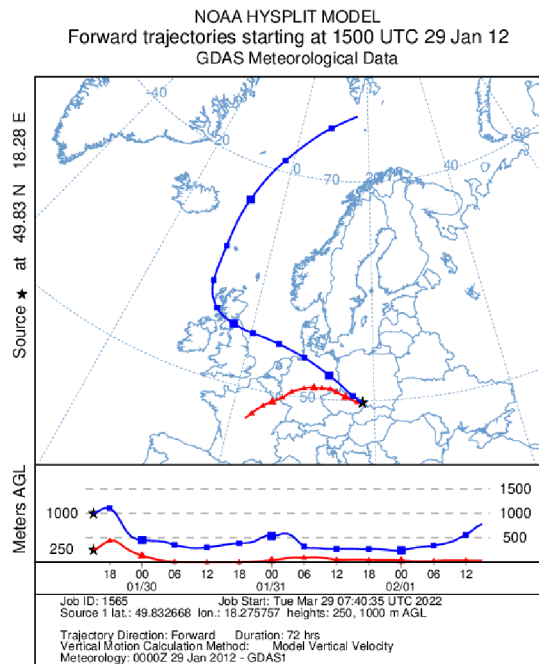
7.1 Dálkový přenos ovzduší

Dálkovým přenosem polutantů ve vzduchu (air parcels, AP), se Evropané začali zabývat již v 60. letech 20. století, kdy výzkum skandinávských států potvrdil znečištění místních vodních toků polutanty z jiných zemí, proto byla přijata Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přecházející hranice států (VLRTAP) (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).

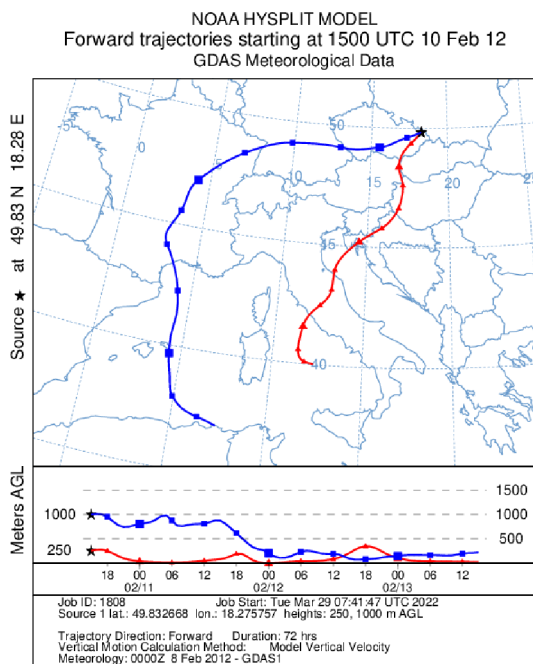
Model HYSPLIT na Obrázku 16 ukazuje, že vysoké koncentrace z Ostravy mohly být přeneseny jak na krátké vzdálenosti (12.11.2011 do Německa), tak na další vzdálenosti přes Velkou Británii na Arktidu (29.1.2012, Obrázek 17). V únoru 2012 (10.2.2012) putovaly air parcels přes Francii na pobřeží Afriky (Obrázek 18). Během března 2012 (5.3.2012, Obrázek 19) se částice ostravského znečištění mohly dostat do Itálie a dále do Středomoří. Při nejvyšší naměřené koncentraci 60 ng/m³ (31.12.2013, Obrázek 20) mohly být dle výpočtů částice přeneseny přes Skandinávii a Baltské moře až do Arktidy. V únoru 2019 (18.2.2019, Obrázek 21) směřovala trajektorie AP s částicemi do asijské části Ruska a hranice s Kazachstánem.



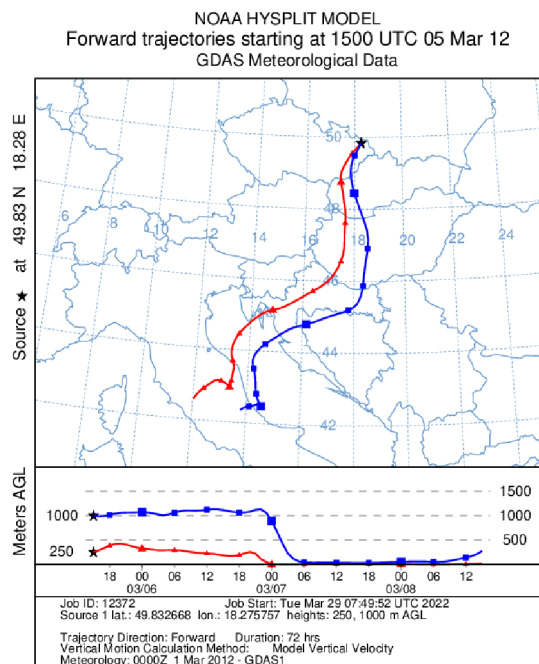
Obrázek 16: HYSPLIT model z 12.11.2011 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciálním znečištěním z Ostravy do Německa, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 54 ng/m³.



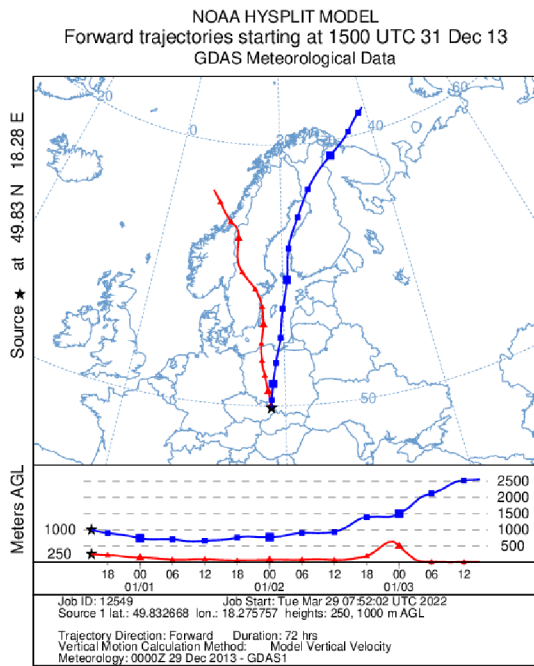
Obrázek 17: HYSPLIT model z 29.1.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciálním znečištěním z Ostravy do Arktidy, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 49 ng/m³.



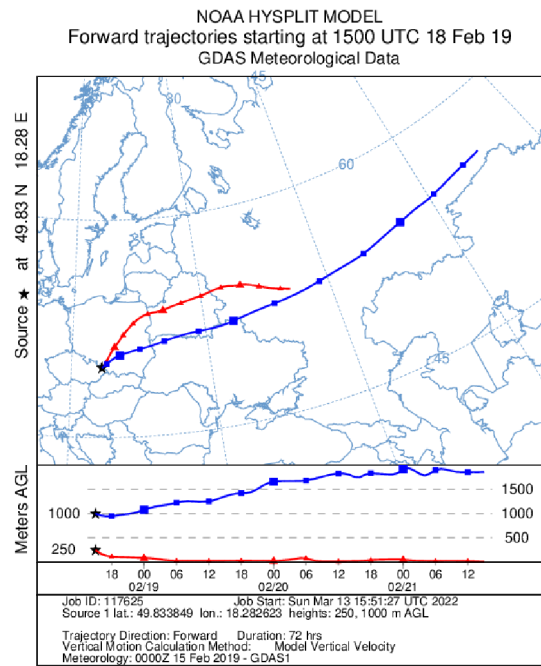
Obrázek 18: HYSPLIT model z 10.2.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciálním znečištěním z Ostravy do Středomoří, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 51 ng/m³.



Obrázek 19: HYSPLIT model z 5.3.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciálním znečištěním z Ostravy do Středomoří, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 53 ng/m³.



Obrázek 20: HYSPLIT model z 31.12.13 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potencionálním znečištěním z Ostravy do Arktidy, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 60 ng/m³.

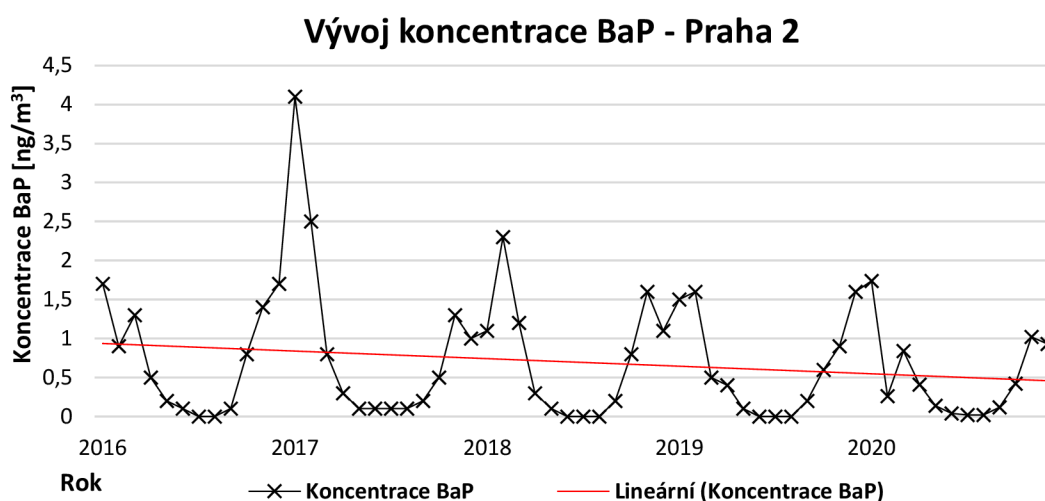


Obrázek 21: HYSPLIT model z 18.2.2019 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potencionálním znečištěním z Ostravy do Ruska, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 49 ng/m³.

8. Diskuse

Znečištění ovzduší BaP a znečištění ovzduší obecně je velkým problémem nejen v Moravskoslezském kraji, ale i světově. Ze sledovaných stanic v aglomeraci O/K/F vyplývá, že se sice dlouhodobé imise BaP snižují, nicméně jsou stále velmi vysoké a překračují české, potažmo evropské imisní limity. Lokalitu můžeme zařadit mezi evropské hot spoty s ohledem na znečištění ovzduší BaP (HORÁLEK et al., 2021). Koncentrace BaP se v průběhu roku výrazně mění, hlavním trendem je rozdíl koncentrací mezi létem a zimou. V zimě jsou koncentrace výrazně vyšší než v létě. Tento trend se dá přisuzovat hlavně, již zmíněnému majoritnímu znečišťovateli, domácnostem, přesněji zvýšenému spalování pevných paliv. Nejvyšší imisní koncentrace byly sledovány na stanici v Ostravě Radvanicích, kdy nejvyšší průměrná denní koncentrace BaP vystoupala až k 60 ng/m^3 (31.12.2013). Pro představu, tato koncentrace odpovídá vykouření 3 krabiček (60 ks) cigaret, kdy vycházíme z VÁLKA (2017), jež uvádí, že kuřáci při vykouření 20ks cigaret jsou vystavení ekvivalentu denní koncentrace 20 ng/m^3 . Jedním z důvodů rekordní imisní koncentrace by se mohly zdát zvýšené emise způsobené odpalováním pyrotechniky, nicméně výzkum z USA (JIA et al., 2020) ukazuje, že pyrotechnika na koncentrace BaP má minimální vliv. Pokud koncentrace ze stanic v Moravskoslezském kraji porovnáme například s daty z Prahy 2 (Obrázek 22), zjistíme jejich výrazný rozdíl. V centru Prahy se koncentrace BaP přes léto jsou téměř nulové, ale v zimě výrazně rostou. Z ročního hlediska se průměrné roční hodnoty koncentrací BaP v Praze 2 od roku 2016 nedostaly nad $0,9 \text{ ng/m}^3$. Pokud průměrné roční hodnoty BaP porovnáme například se stanicí v Ostravě Radvanicích, zjišťujeme, že v Radvanicích je průměrná roční koncentrace až 15x vyšší. Například v roce 2016 byla v Praze 2 průměrná roční hodnota BaP $0,7 \text{ ng/m}^3$, kdežto v Ostravě 9 ng/m^3 , to představuje skoro 13násobek pražské koncentrace. Při zkoumání nejnovějších dostupných dat (2020) byla průměrná roční koncentrace BaP v Praze 2 $0,5 \text{ ng/m}^3$ a v Ostravě $7,7 \text{ ng/m}^3$. Zde je rozdíl dokonce patnáctinásobný. Rozdíl koncentrací znečištění BaP je zřejmě způsoben rozsáhlým hutním průmyslem na východě republiky (LYSKOVÁ, 2010). Na nižší koncentrace v Praze má zřejmě vliv obecně závazná vyhláška č. 11/2019 Sb. hl. m. Prahy, která zakazuje spalování uhlí v domácích kotlích. Dalším důvodem je také téměř dvounásobný počet rodinných domů v Moravskoslezském kraji, než v Praze z čehož plyne více samostatných zdrojů vytápění (ČESKÝ

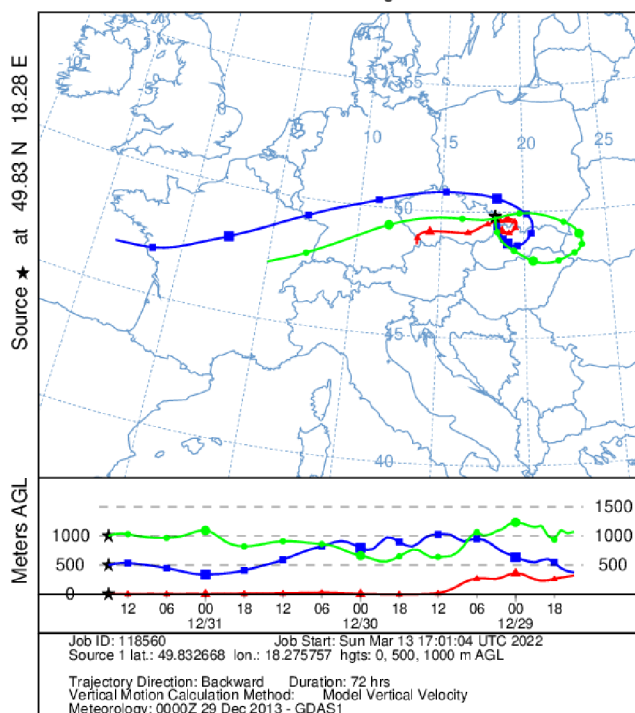
STATISTICKÝ ÚŘAD, ©2022). Můžeme konstatovat, že v Praze je výraznější provoz osobní dopravy, nicméně data hovoří, že vliv dopravy v Praze není až tolik markantní, jako ostatní zdroje v Moravskoslezském kraji.



Obrázek 22: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m³] na stanici Praha 2 za období 2016-2020.

Vysoké koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích 31.12. 2013 mohly být způsobeny přenosem BaP ze zahraničí, převážně pak z Polska, jak ukazuje HYSPLIT model (Obrázek 23), který monitoruje pohyb vzduchu tři dny do minulosti. Podle zprávy Zemského inspektorátu ochrany životního prostředí v Krakově (WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA W KRAKOWIE, ©2018) je jižní Polsko, potažmo Malopolská oblast, nejvíce BaP zatíženou lokalitou Polska. Proto lze usuzovat, že velká část přeneseného znečištění BaP pochází právě odtud. Podle zprávy, v roce 2012 měsíční koncentrace BaP ve sledovaných městech dosahovaly hodnot až 20 – 30 ng/m³. Ve městě Nowy Sącz v únoru 2012 průměrná měsíční koncentrace BaP dokonce překonala hranici 40 ng/m³. Zpráva také ukazuje měsíční koncentrace BaP v roce 2016. Situace se od roku 2012 zlepšila, nicméně například ve městě Nowy Sącz průměrná měsíční koncentrace BaP přesáhla v lednu 2016 40 ng/m³.

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 1500 UTC 31 Dec 13
 GDAS Meteorological Data



Obrázek 23: HYSPLIT model z 31.12.2013 ukazující třídní zpětnou trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciálním znečištěním ze západní a střední Evropy do Ostravy.

Přítomnost PAH byla v Arktidě prokázána, konkrétně na stanici v Norském Ny Alesundu. Kdy byl v zimní sezóně 2018 a 2019 proveden výzkum na přítomnost PAH ve sněhu. Výsledky ukazují, že týdenní koncentrace PAH se ve sněhové pokrývce dostaly až na 37 ng/l. Výzkum také uvádí průměrné množství BaP ve směsi PAH a to 5,2 % (SPOLAOR, 2010). Po přepočtu nejvyšší měsíční koncentrace PAH dostaneme přibližnou koncentraci BaP a to 1,9 ng/l. Dle výzkumu YU et al. (2019) se koncentrace BaP v ovzduší Arktidy nesnižují takovým tempem v porovnání se světovým trendem snižování znečištění ovzduší.

Moravskoslezský kraj je emisemi BaP nejvíce zatíženým krajem v ČR. Důvodem nadměrného znečištění je převážně průmysl, doprava, spalování v domácnostech a také přeshraniční přenos BaP převážně z Polska. Toto potvrzuje (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2020), která dále upřesňuje, že v domácnostech je především spalováno černé uhlí v kolích prohořivacího typu.

Je až zarážející, že v ČR ani Evropě nemáme pro BaP stanoven emisní limit, který by podstatně snížil či upozornil na výsledné imise. Můžeme také vyzdvihnout, že evropský imisní limit pro BaP 1 ng/m³ je oproti imisnímu limitu WHO 0,12 ng/m³ (GUERREIRO et al., 2016) podstatně vyšší. Pokud by EU přejala tento imisní limit,

většina evropské populace by byla vystavena nadlimitním koncentracím (Obrázek 5). Nyní jsou některé limity EU nastavené podstatně vyšší než limity WHO z roku 2021. V tomto roce WHO přistoupilo k úpravám imisních limitů pro: částice PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂ a SO₂ dále pak došlo ke stanovení imisního limitu pro CO (WHO, 2021).

V ČR a v Evropě panují dlouhodobé snahy ke snížení vypouštění emisí škodlivých látek do ovzduší, které následně vede ke snížení jejich imisí. Aktuálním nejvíce mediálně šířeným nástrojem ke snížení emisí (hlavně z domácností) je zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy od 1. 9. 2022. Další mediálně šířeným nástrojem ke snížení emisí z domácností bylo vyhlášení povinných pravidelných kontrol kotlů v domácnostech od konce roku 2016. Tyto povinnosti vycházejí ze zákona č. 201/2012 sb.

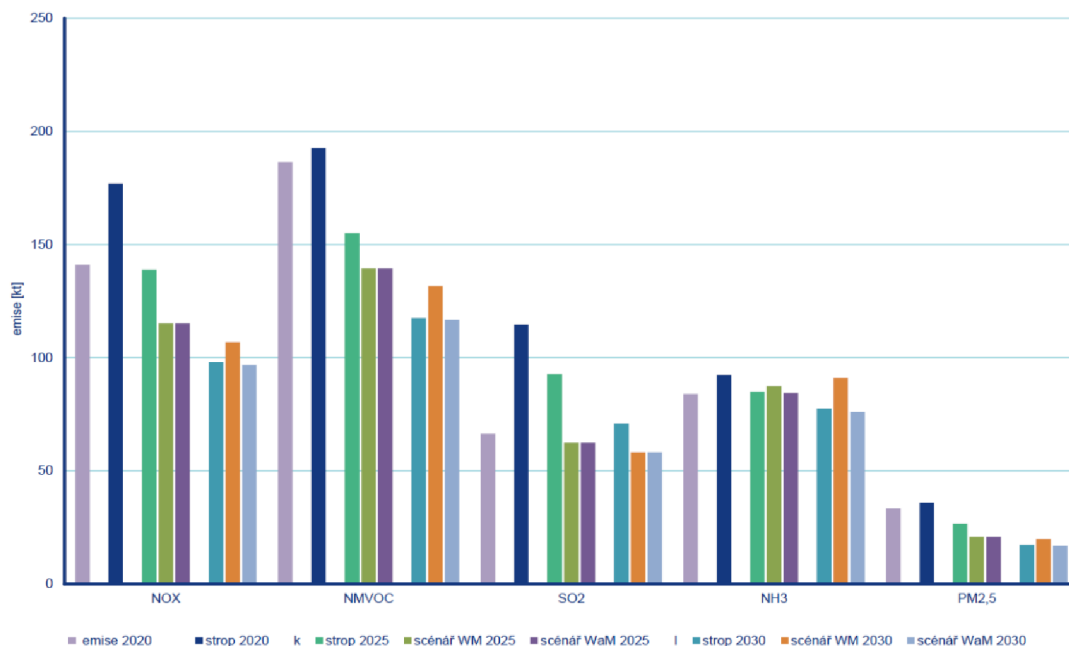
V současné době se Ministerstvo životního prostředí (dále MŽP) řídí třemi strategickými dokumenty, které mají vést ke snížení znečištění ovzduší – Národní program snižování emisí, Programy zlepšování kvality ovzduší a Střednědobá strategie zlepšení kvality ovzduší v ČR.

Národní program snižování emisí

Národní program snižování emisí (dále NPSE) je jedním ze základních strategických dokumentů v oblasti zlepšování kvality ovzduší a snižování vypouštěných emisí. Je kontinuálně připravován MŽP od roku 2004. Naposledy byl schválen vládou v roce 2015 a vypracován na základně zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Během roku 2019 došlo k jeho aktualizaci. Požadavek na vypracování NPSE je požadován EU, konkrétně jej vyžaduje směrnice 2016/2284/EU o snižování národních emisí některých látek znečišťování ovzduší. Mezi hlavní cíle patří splnění nových závazků k letům 2020, 2025 a 2030 (MŽP, ©2021a).

Obsahem NPSE je aktuální analýza stavu a vývoje kvality ovzduší v ČR, příčiny znečištění, emise znečišťujících látek z jednotlivých ekonomických sektorů, scénáře vývoje znečišťování ovzduší, národní závazky ČR a jejich dodržování. Obsahuje celkem šest prioritních opatření, 14 podpůrných a sedm průřezových opatření a dále další opatření, která byla stanovena již NPSE schváleným v roce 2015. NPSE stanovuje převážně opatření ke snižování emisí a k nápravě nevyhovujícího stavu ovzduší. Opatření byla navržena na základně modelů vývoje znečištění. Zaměřuje

se především na klíčové sektory, které jsou největšími emitory znečištění, a to zejména lokální vytápění domácností, energetika, doprava a zemědělství. Vyhodnocení NPSE za rok 2020 přineslo velmi kladné výsledky. Všechny závazky na snižování emisí NO_x, organických polutantů, SO₂, NH₃ a PM_{2.5} byly splněny, jak vyplývá z grafu MŽP (viz Obrázek 24). Graf nám také ukazuje, že při splnění všech opatření ke snižování emisí by plán měl být splněn i v letech 2025 a 2030 (MŽP, ©2021b).



Obrázek 24: Srovnání emisních stropů, předběžné emisní inventury za rok 2020 a scénářů emisních projekcí základních znečišťujících látek (MŽP, ©2021b).

Program zlepšování kvality ovzduší

Program zlepšování kvality ovzduší (dále PZKO) je vydáván MŽP ve spolupráci s kraji a obcemi. V případě překročení imisního limitu jsou zapojeny příslušné krajské a obecní úřady. PZKO je vydáván při překročení imisního limitu pro každou zónu a aglomeraci SSIM. Cílem programu je stanovit opatření na regionální a lokální úrovni k dosažení požadované kvality ovzduší v co nejkratším čase. Spolu s NPSE se jedná o základní strategický dokument v oblasti zlepšování kvality ovzduší.

V návaznosti na novelizaci zákona č. 172/2018 Sb. o ochraně ovzduší byl vypracován PZKO na období 2020+ (dále PZKO 2020+). PZKO 2020+ pro jednotlivé zóny a aglomerace je zveřejněn ve Věstníku MŽP, kde byly zveřejňovány v letech 2020 a 2021 (MŽP, ©2021b). PZKO 2020+ stanovují závazná opatření k dosažení imisních limitů na základě analýz příčin znečištění a imisní projekce vývoje kvality

ovzduší ve výhledu na rok 2023. Vyjma závazných opatření PZKO 2020+ stanovují tzv. Podpůrná opatření. Vzhledem ke skutečnosti, že u Podpůrných opatření nelze všeobecně kvantifikovat rozsah realizace či stanovit jejich přínos, nejsou přímou součástí PZKO, ale jsou v nich uvedena. Podpůrná opatření jsou realizována příslušnými orgány veřejné správy v maximální možné míře tak, aby vedla ke stále se zvyšující kvalitě ovzduší (MŽP, ©2021b).

Střednědobá strategie zlepšení kvality ovzduší v ČR

Ovzduší v ČR dlouhodobě nesplňuje národní a evropské požadavky pro ochranu zdraví lidí a ekosystémů. Střednědobá strategie (do roku 2020) zlepšení kvality ovzduší v ČR (dále strategie) je hlavním dokumentem shrnujícím výstupy Národního programu snižování emisí ČR a 10 programů zlepšování kvality ovzduší vypracovaných pro všech 7 zón a 3 aglomerace. Strategie byla schválena v prosinci 2015 usnesením vlády ČR. Strategie je jedním z primárních podkladů pro financování opatření ke zlepšení kvality ovzduší z fondů EU prostřednictvím operačních programů (MŽP, ©2021a).

Kotlíkové dotace pro nízkopříjmové domácnosti

Nemalý přínos ve zlepšení kvality ovzduší přinesly a stále přinášejí kotlíkové dotace. Mnoho domácností si s příchodem novely zákona č. 201/2012 Sb. nemůže dovolit výměnu současného zdroje vytápění, proto mohou zažádat o dotaci na zdroj nový. Výše dotace u instalací kotlů realizovaných od 1. 1. 2021 je až 95 % ze způsobilých výdajů. Tento dotační program je určen výhradně pro nízkopříjmové domácnosti mající čistý měsíční příjem <14 242 Kč/os. V případě, že se nejedná o domácnost s nízkými příjmy, může domácnost využít dotaci Nová zelená úsporám. Příjem žádostí pro Kotlíkové dotace je jaro 2022.

Dotační program kotlíkových dotací byl zahájen v roce 2015 a patří mezi nejúspěšnější dotační programy. Do současnosti byly realizovány tři výzvy s celkovou alokací 11,8 mld. Kč. Žadostí bylo přijato 120 000, vyměněno 84 000 kotlů a vyplaceno 9,3 mld. Kč. Dotaci lze čerpat na výměnu zdroje vytápění, který nespadá do 3., 4., nebo 5. emisní třídy. Tyto zdroje lze při využití dotace vyměnit za kotel na biomasu splňující emisní třídu, elektrická a plynová tepelná čerpadla či plynový kondenzační kotel (SFŽP, ©2021a).

Kotlíkové dotace Nová zelená úsporám

Druhý významný dotační program, který napomáhá obnově zdrojů vytápění v domácnostech, je Nová zelená úsporám. Tento dotační program se zaměřuje na všechny občany, neohledně na jejich finanční situaci. Zjednodušeně můžeme říci, že se jedná o nástroj nepřímý, jenž může obyvatelům, s ne tak velkým vztahem k problematice znečištění ovzduší, napomoci k rozhodnutí ke změně zdroje vytápění. Výše dotace u kotlů jejichž instalace je realizována od 1. 1. 2021 činí až 50 % ze způsobilých výdajů. Příjem žádostí byl v říjnu 2021. Dotační program rozdělí mezi žadatele 8,5 mld. Kč a dojde díky ní k výměně cca. 100 000 kotlů (SFŽP, ©2021a). Velkou výhodou tohoto programu je, že jej mohou čerpat i bytové domy a vzniká tak zajímavá příležitost pro zlepšení ovzduší i v oblastech s vysokou hustotou obyvatel.

Program podporuje výměnu současného zdroje 1. a 2. emisní třídy za kotle na biomasu, tepelná čerpadla pro teplovodní systém vytápění, tepelná čerpadla vzduch-vzduch, tepelná čerpadla pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody připojené k FV systému, plynové kondenzační kotle, napojení na soustavu zásobování teplem a kombinovaná výroba elektřiny a tepla (pouze pro bytové domy).

Další velkou výhodou dotačního programu Nová zelená úsporám je možnost kombinace více dotačních programů a tím například snížení energetické náročnosti budovy, popřípadě využívání šedých a dešťových vod. Nemalou výhodou kombinace více programů je možnost získání finančního bonusu (SFŽP, ©2021b).

Pokud zhodnotíme projevy opatření ve vztahu ke studovaným koncentracím v aglomeraci O/K/F dojdeme k závěru, že koncentrace BaP ve studovaném území se dlouhodobě snižují, ale nejsou zaznamenány výrazné výkyvy v měsíčních průměrných koncentracích. Výjimkou je stanice v Ostravě Mariánských horách, kdy nejvyšší koncentrace v zimních měsících meziročně spadla z téměř 20 ng/m³ v roce 2012 pod hranici 5 ng/m³ a v dalších letech nejvyšší průměrné měsíční koncentrace tuto hranici nepokořily a dále klesají (Obrázek 10). Z těchto poznatků plyne, že opatření sice fungují, ale ve většině případů nejsou poklesy skokové, ale pozvolné.

9. Závěr

Práce měla za cíl posoudit stav BaP v Moravskoslezském kraji a zhodnotit jeho škodlivost na zdraví člověka a životní prostředí. Několik studií prokázalo, že BaP má vysoký karcinogenní a mutagenní účinek. Při chronickém působení průměrné koncentrace BaP $0,7 \text{ ng/m}^3$ se zvyšuje riziko rakoviny. Hodnota roční průměrné koncentrace byla v roce 2020 překročena alespoň na jedné stanici v devíti krajích. Nejvíce jsou BaP vystaveni kuřáci, kteří „konzumují“ vysoké dávky BaP během kouření. Vliv na životní prostředí se různí s ohledem na druh živočicha i rostlin. Jednoduše lze však shrnout, že je pro zvířata toxický, působí na ně stejně jako na člověka, má karcinogenní a mutagenní účinky. Rostlinám se po působení BaP snižuje klíčivost a studie prokázaly, že má vliv i na jejich růst.

Při mapování imisní situace BaP bylo zjištěno, že necelá $\frac{1}{4}$ populace EU je vystavena koncentracím vyšších, než udává evropský imisní limit. Pokud ale srovnáme imisní koncentrace BaP během posledních 10 let zjišťujeme jejich znatelný pokles podobně jako globální trend snižování množství aerosolu. V detailnějším měřítku Moravskoslezského kraje byl během poslední dekády také zaznamenán pokles koncentrací. Na některých stanicích byl pokles více znatelný, na některých méně. Například na stanici v Ostravě Přívoze průměrná roční koncentrace klesla mezi lety 2010 a 2019 z $5,7 \text{ ng/m}^3$ na $2,7 \text{ ng/m}^3$, v Ostravě Porubě ve stejném časovém horizontu klesla z $3,8 \text{ ng/m}^3$ na 2 ng/m^3 . Výrazný trend byl zpozorován především mezi zimou a létem, kdy v létě jsou koncentrace BaP znatelně nižší. Emise BaP vyprodukované ve studovaném území mohou ovlivňovat i koncentrace nejen na území jejich vypouštění, ale i na velké vzdálenosti, jako je oblast Arktidy, Středomoří nebo Asie. Přenos znečištění není jen ze studovaného území. Vysoké naměřené koncentrace BaP mohou být také ovlivněny vnějšími vlivy, třeba BaP vyprodukovaným v jiných částech Evropy.

BaP je v české i evropské legislativě sice zahrnut, limity však nejsou dostatečné. Roční imisní limit sice stanoven je, ale oproti doporučením WHO, nebo limitům v kanadských provinciích je stále výrazně vysoký. Česká legislativa přináší velké množství nástrojů, ať už přímých nebo nepřímých, které mají vést ke snížení koncentrací znečišťujících látek v ovzduší, potažmo BaP. Velkým problémem je postoj Evropské unie k tzv. obnovitelným zdrojům energie, kde se řadí mimo jiné i spalování biomasy. Spalování těchto materiálů je sice uhlíkově neutrální,

ale vyprodukuje velké množství ostatních znečišťujících látek, jako je například benzo(a)pyren.

10. Přehled literatury a použité zdroje

BAČINA A., BUDAYOVÁ E., VOKOVÁ S., 2012: HPLC (vysokoúčinná kapalinová chromatografie) (online) [cit. 2021.12.27], dostupné z <<https://labmet.zshk.cz/vyuka/hplc.aspx>>.

BRZEZINA J., 2018: Typy a klasifikace stanic imisního monitoringu (online) [cit. 2021.12.30], dostupné z <<https://chmibrno.org/blog/2018/11/25/typy-stanic-imisniho-monitoringu/>>.

BRZEZINA J., 2022: Znečištění ovzduší z palení v otevřených ohništích (online) [cit. 2022.07.03], dostupné z <<https://chmibrno.org/blog/2022/02/11/znecesteni-ovzdusi-z-paleni-v-otevrenych-ohnistich/>>.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, ©2020: Charakteristika Moravskoslezského kraje (online) [cit. 2021.09.22], dostupné z <https://www.czso.cz/csu/xt/charakteristika_moravskoslezskeho_kraje>.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, ©2022: Veřejná databáze, Tab. 11 Domy podle typu vlastníka domu a krajů (online) [cit. 2022.03.28], dostupné z <<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvoc=&katalog=33477&pvo=SLD21011&z=T>>.

ČHMÚ, ©2020a: Přehled stanic a metod měření kvality ovzduší registrovaných v IIS-ISKO (online) [cit. 2021.12.27], dostupné z <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/pdf/PrehledStanic.pdf>.

ČSN EN IEC 62933-1: Systémy pro akumulaci elektrické energie (EES) - Část 1: Terminologický slovník. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha 2018. 36 s.

DALY A. et ZANNETTI P., 2007: An Introduction to Air Pollution – Definitions, Classifications, and History. The EnviroComp Institute, Fremont (USA).

DRAHLER R.R. ET ROLPH G. D., 2003: HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. NOAA Air Resources Laboratory. Silver Spring, MD, USA.

EDWARDS S. C., JEDRYCHOWSKI W., BUTSCHER M., CAMANN F., KIELTYKA A., MROZ E., FLAK E., LI Z., WANG S., RAUH V., PERERA F., 2010: Prenatal Exposure to Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Children's Intelligence at 5 Years of Age in a Prospective Cohort Study in Poland. *Research*. 118(9), 1326 – 1331.

EEA, ©2020: Air pollution (online) [cit. 24.3.2022], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>>.

FANG X., THORNTON C., SCHEFFLER B. E., WILLETT K. L., 2013: Benzo[a]pyrene decreases global and gene specific DNA methylation during zebrafish development. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 36(1), 40-50.

GALARNEAU E., WANG D., DABEK-ZLOTORZYNSKA E., SIU M., CELO V., TARDIF M., HARNISH D., JIANG Y., 2016: Air toxics in Canada measured by the National Air Pollution Surveillance (NAPS) program and their relation to ambient air quality guidelines. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 6(2) 184-200.

GUERREIRO C.B.B., HORÁLEK J., DE LEEUW F., COUVIDAT F., 2016: Benzo(a)pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects. *Environmental Pollution*. 214, 657-667.

HORÁLEK J., SCHREIBEROVÁ M., SCHNEIDER P., 2021: Benzo(a)pyrene (BaP) annual mapping (online) [cit. 2022.07.03], dostupné z <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-18-2021-benzo-a-pyrene-bap-annual-mapping-evaluation-of-its-potential-regular-updating/@@download/file/ETC-ATNI_2021-18_Eionet_Report_BaP_mapping_version_for_publication%2021-01-2022.pdf>.

HŮNOVÁ I. et JANOUŠKOVÁ S., 2004: Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Karolinum, Praha. ISBN 80-246-0796-4.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2022: Sixth Assessment Report. IPCC, Geneva.

- IQAIR, ©2020: World air quality report 2020 (online) [cit. 2022.07.03], dostupné z <<https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2020-en.pdf>>.
- JIA C., XUE Z., FU X., SULTANA F., SMITH L. J., ZHANG Y., LI Y., LIU B., 2020: Impacts of Independence Day fireworks on pollution levels of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the U.S.. *Science of The Total Environment*. 743(15), 140774.
- JONES K. C. et DE VOOGT P., 1999: Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental Pollution*. 100(1-3), 209-221.
- PRESS-KRISTENSEN K., 2016: ZNEČIŠTĚNÍ Z DOMÁCÍCH TOPENIŠŤ. Dánská ekologická rada, Kodaň. ISBN 978-87-92044-92-1.
- KODAD D., 2018: ELEKTRONICKÉ CIGARETY NOVÉ GENERACE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, Brno. 53 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. Digitální knihovna VUT.
- KOZAK K., RUMAN M., KOSEK K., KARASIŃSKI G., STACHNIK Ł., POLKOWSKA Ž., 2017: Impact of Volcanic Eruptions on the Occurrence of PAHs Compounds in the Aquatic Ecosystem of the Southern Part of West Spitsbergen (Hornsund Fjord, Svalbard). *Water*. 9(1), 42.
- LYSKOVÁ D., 2010: Kvalita ovzduší a znečišťování atmosféry v Třinci. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA, Olomouc. 93 s. (diplomová práce). „nepublikováno“ Dep. Katedra geografie přírodovědecké fakulty UP.
- MA X., ZHANG T. , JI C., ZHAI Y., SHEN X., HONG J., 2021: Threats to human health and ecosystem: Looking for air-pollution related damage since 1990. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 145, 111146.
- MŽP, ©2021a: Strategické dokumenty (online) [cit. 2022.02.14], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/strategicke_dokumenty#narodni_program>.
- MŽP, ©2021b: VYHODNOCENÍ PLNĚNÍ NÁRODNÍHO PROGRAMU SNIŽOVÁNÍ EMISÍ ČESKÉ REPUBLIKY (online) [cit. 2022.02.14], dostupné

z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/\\$FILE/OO-vyhodnoceni_plneni_NPSE_2021-20211228.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/strategicke_dokumenty/$FILE/OO-vyhodnoceni_plneni_NPSE_2021-20211228.pdf)>.

NACCI D. E., KOHAN M., PELLETIER M., GEORGE E., 2002: Effects of benzo[a]pyrene exposure on a fish population resistant to the toxic effects of dioxin-like compounds. *Aquatic Toxicology*. 57(4), 203-215.

Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES v platném znění.

Obecně závazná vyhláška č. 11/2019 Sb. hl. m. Prahy, v platném znění.

OSTATNICKÁ J. et MATOUŠKOVÁ L., 2013: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012. ČHMÚ, Praha. ISBN 978-80-87577-20-2.

PARK K., SIMS R., DUPONT R., DOUCETTE W., MATTHEWS J., 1990: Fate of PAH compounds in two soil types: Influence of volatilization, abiotic loss and biological activity. *Environmental toxicology and chemistry, Environmental toxicology and chemistry*. 9(2), 187–195.

POWER A. L., TENNANT R. K., JONES R. T., TANG Y., DU J., WORSLEY A. T., LOVE J., 2018: Monitoring Impacts of Urbanisation and Industrialisation on Air Quality in the Anthropocene Using Urban Pond Sediments. *Frontiers in Earth science*. 07.

PŘIBYL P., 2019: I po děsivé imisní kalamitě se v Krušných horách přírodě povedl restart (online) [cit. 2022.02.02], dostupné z <https://www.idnes.cz/usti/zpravy/krusne-hory-imisni-katastrofa-priroda-lesy-elektrarna-turistika-vejprty-imise-zivotni-prostredi.A191005_506028_usti-zpravy_pakr>.

PUBCHEM, ©2004: PubChem Compound Summary for CID 2336, Benzo[a]pyrene (online) [cit. 2021.6.24], dostupné z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzo_a_pyrene>.

- SFŽP, ©2021a: Kotlíkové dotace (online) [cit. 2022.02.22], dostupné z <<https://www.opzp.cz/o-programu/kotlikove-dotace/>>.
- SFŽP, ©2021b: Kotlíkové dotace - Ostatní domácnosti (online) [cit. 2022.02.22], dostupné z <<https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/kotlikove-dotace/ostatni-domacnosti/>>.
- SPOLAOR A., VECCHIATO M., CALLEGARO A., MAFFEZZOLIN., CAIRNS W. R. L., BARBANTE C., 2021: Data set of anthropogenic contaminants in snow from polar regions (Ny-Alesund and Dome C). Zenodo.
- SCHREIBEROVÁ M., VLASÁKOVÁ L., VLČEK O., ŠMEJDÍŘOVÁ J., HORÁLEK J., BIESER J., 2020: Benzo[a]pyrene in the Ambient Air in the Czech Republic: Emission Sources, Current and Long-Term Monitoring Analysis and Human Exposure. *Atmosphere*. 11(9), 955.
- SIVARAM A. K., LOCKINGTON P., NAIDU R., MEGHARAJ M., 2018: Impact of plant photosystems in the remediation of benzo[a]pyrene and pyrene spiked soils. *Chemosphere*. 193, 625-634.
- SKÁCEL F. et TEKÁČ V., 2019: Analýza ovzduší. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN 978-807-5920-386.
- STEIN A.F., DRAXLER R.R., ROLPH G.D., STUNDER B.J.B., COHEN M.D., NGAN F., 2015: NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling systém. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 96(12), 2059–2077.
- STELLMAN J. M., 1998: Encyclopaedia of occupational health and safety. International labour office, Ženeva. ISBN 92-2-109203-8.
- ŠKÁCHOVÁ H. et VLASÁKOVÁ L., 2020: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2019. ČHMÚ, Praha. ISBN 978-80-7653-009-6.
- ŠKÁCHOVÁ H. et VLASÁKOVÁ L., 2021: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. ČHMÚ, Praha. ISBN 978-80-7653-024-9.
- USACHPPM, 2005: Wildlife Toxicity Assessment for Benzo(a)Pyrene. U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (USACHPPM) Project Number 39-EJ1138-01P, Aberdeen Proving Ground, Maryland, December 2005.

VACEK S., HŮNOVÁ I., VACEK Z., Hejzmanova P., Podrazsky V., Král J., Putalova T., Moser W. K., 2015: Effects of air pollution and climatic factors on Norway spruce forests in the Orlické hory Mts. (Czech Republic), 1979–2014. *Eur J Forest Res.* 134, 1127–1142.

VÁLEK P., 2017: Benzo(a)pyren (online) [cit. 2021.12.27], dostupné z <<https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/benzoapyren>>.

Vyhláška č. 415/2012 o přípustné úrovni znečištění a jejím zjištění a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, v platném znění.

VYSOUDIL M., 2002: Ochrana ovzduší. Univerzita Palackého, Olomouc. ISBN 80-244-0400-1.

WHO, ©2019: Health consequences of air pollution on populations (online) [cit. 2022.02.04], dostupné z <<https://www.who.int/news/item/15-11-2019-what-are-health-consequences-of-air-pollution-on-populations>>.

WHO, 2021: WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva. ISBN 978-92-4-003422-8.

WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA W KRAKOWIE, ©2018: POPRAWA JAKOŚCI POWIETRZA W MAŁOPOLSCE (online) [cit. 2022. 03.28], dostupné z <http://krakow.pios.gov.pl/wp-content/uploads/2018/01/poprawa_jakosci_powietrza_w_malopolsce.pdf>.

XING Y. F., XU Y. H., SHI M. H., LIAN Y. X., 2016: The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease.* 8(1), E69–E74.

YU Y., KATSOYIANNIS A., BOHLIN-NIZZETTO P., BRORSTRÖM-LUNDÉN E., MA J., ZHAO Y., WU Z., TYCH W., MINDHAM D., SVERKO E., BARRESI E., DRYFHOUT-CLARK H., FELLIN P., HUNG H., 2019: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Not Declining in Arctic Air Despite Global Emission Reduction. *Environmental Science & Technology.* 3(5), 2375–2382.

ZACHAŘ D. et SÝKOROVÁ P., 2019: Plynová Chromatografie (online) [cit. 2021.12.27], dostupné z <<http://old.vscht.cz/anl/lach2/GC.pdf>>.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

11.Zdroje dat imisních koncentrací

ČHMÚ, 2011: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2010. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2012: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2011. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2013: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2012. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2014: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2013. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2015: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2014. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2016: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2015. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2017: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2016. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2018: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2017. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2019: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2018. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2020b: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2019. ČHMÚ, Praha.

ČHMÚ, 2021: Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika
- Tabelární ročenka 2020. ČHMÚ, Praha.

12. Seznam obrázků a tabulek

Seznam Obrázků

Obrázek 1: Mapa stanic imisního monitoringu v Moravskoslezském kraji v roce 2020 (ČHMÚ, 2021).	6
Obrázek 2: Benzo(a)pyren.	9
Obrázek 3: Graf trendů koncentrací black carbonu (IPPC, 2022).	14
Obrázek 4: Pole průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu v Evropě, 2013 (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).	15
Obrázek 5: Pole průměrné roční koncentrace benzo(a)pyrenu v Evropě, 2019 (HORÁLEK et al., 2021).	15
Obrázek 6: Pětiletý průměr ročních průměrných koncentrací benzo(a)pyrenu, 2016–2020 (ŠKÁCHOVÁ et VLASÁKOVÁ, 2021).	16
Obrázek 7: Stanice imisního monitoringu měřící BaP v ČR v roce 2018 (SCHREIBEROVÁ et al., 2020).	16
Obrázek 8: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Český Těšín za období 2010-2019.	18
Obrázek 9: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Karviná za období 2010-2019.	18
Obrázek 10: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Ostrava Mariánské Hory za období 2010-2019.	19
Obrázek 11: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Ostrava Poruba za období 2010-2019.	19
Obrázek 12: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Ostrava Přívoz za období 2010-2019.	20
Obrázek 13: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Ostrava Radvanice za období 2010-2019.	20

Obrázek 14: Graf průměrné roční koncentrace BaP [ng/m ³] na stanicích v Českém Těšíně, Karvině a Ostravě v období 2010 –2019, souhrnný graf.....	21
Obrázek 15: Desetiletý průměr koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m ³] v Moravskoslezském kraji v období 2010-2019.	22
Obrázek 16: HYSPLIT model z 12.11.2011 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Německa, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 54 ng/m ³	23
Obrázek 17: HYSPLIT model z 29.1.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Arktidy, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 49 ng/m ³	23
Obrázek 18: HYSPLIT model z 10.2.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Středomoří, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 51 ng/m ³	23
Obrázek 19: HYSPLIT model z 5.3.2012 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Středomoří, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 53 ng/m ³	23
Obrázek 20: HYSPLIT model z 31.12.13 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Arktidy, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 60 ng/m ³	24
Obrázek 21: HYSPLIT model z 18.2.2019 ukazující trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním z Ostravy do Ruska, průměrná denní koncentrace BaP v Ostravě Radvanicích činila 49 ng/m ³	24
Obrázek 22: Graf měsíčních průměrných koncentrací BaP [ng/m ³] na stanici Praha 2 za období 2016-2020.	26
Obrázek 23: HYSPLIT model z 31.12.2013 ukazující třídenní zpětnou trajektorii vzduchu (air parcel) s potenciaálním znečištěním ze západní a střední Evropy do Ostravy.	27
Obrázek 24: Srovnání emisních stropů, předběžné emisní inventury za rok 2020 a scénářů emisních projekcí základních znečišťujících látek (MŽP, ©2021b).....	29

Seznam tabulek

Tabulka 1: Roční průměrná koncentrace BaP, 2020.	17
Tabulka 2: Průměrné roční hodnoty benzo(a)pyrenu ng/m ³ na stanicích v Českém Těšíně, Karviné a Ostravě v období 2010 – 2019.	21