

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování**



**Bakalářská práce**

**Znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na  
území Prahy**

**Autor práce: Barbora Skořepová**

**Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.**

**© 2022 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Barbora Skořepová

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy**

Název anglicky

**Air pollution by heavy metals in dust particles in Prague**

---

### **Cíle práce**

Cílem práce je zhodnotit vývoj znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy, jeho dopad na životní prostředí a diskuze o hlavních zdrojích tohoto typu kontaminace.

### **Metodika**

Vyhodnocení proběhne na základě výsledků měření obsahu těžkých kovů (v PM 2.5 a PM10 částicích) v přízemním ovzduší na území Prahy. Převzatá data naměřená v síti AIM ČHMÚ budou porovnávána s imisními limity a dávana do souvislosti s údaji a závěry dostupnými z aktuálních informačních zdrojů.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran textu

**Klíčová slova**

PM10, těžké kovy, znečištění ovzduší, Praha

---

**Doporučené zdroje informací**

BARTOŇOVÁ, Alena. Aktuální otázky znečištění ovzduší. V Praze: Univerzita Karlova, [2004], 216 s. ISBN 80-239-2187-8.

BENCKO, Vladimír, Miroslav CIKRT a Jaroslav LENER. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Vyd. 2., přeprac. a dopl., V Grada Publishing vyd. 1. Praha: Grada, 1995, 282 s. ISBN 80-7169-150-X.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma:

### **„Znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy“**

vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

V ..... dne .....

.....

(podpis autora práce)

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D., za cenné rady a připomínky, trpělivost, a především za vedení mé bakalářské práce. Dále bych ráda vyjádřila díky své rodině a přátelům za podporu a motivaci při psaní mé bakalářské práce.

# **Znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá znečištěním ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy. Cílem bylo zhodnotit vývoj znečištění ovzduší těmito látkami a jeho dopad na lidské zdraví a životní prostředí. Vyhodnocování probíhalo na základě zpracování dat meteorologických stanic ČHMÚ, které pravidelně měří obsah těžkých kovů v PM10 částicích. Ve výsledcích jsou data formulována do přehledných tabulek a grafů a je zhodnocen aktuální vývoj znečištění ovzduší těžkými kovy na území Prahy z hlediska platných imisních limitů a pravděpodobné hlavní zdroje tohoto typu znečištění.

## **Klíčová slova**

PM10, těžké kovy, znečištění, ovzduší, Praha, částice, prostředí, arsen, kadmium, olovo, nikl

# **Air pollution by heavy metals in dust particles in Prague**

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with air pollution by heavy metals in dust particles in the territory of Prague. The aim was to evaluate the development of air pollution by these substances and its impact on the environment. The evaluation was based on the processing of data of CHMI meteorological stations, which regularly measure the content of heavy metals in PM10 particles. In the results, the data are formulated into clear tables and graphs and the current development of air pollution by heavy metals in the territory of Prague is evaluated in terms of valid emission limits and the main sources of this type of pollution.

## **Keywords**

PM10, heavy metals, pollution, air, Prague, particles, environment, arsenic, cadmium, lead, nickel

## Obsah

ÚVOD .....	11
1 Cíl a metodika .....	12
2 Literární rešerše .....	13
2.1 Těžké kovy .....	13
2.1.1 Arsen .....	14
2.1.2 Kadmium .....	15
2.1.3 Chrom .....	16
2.1.4 Nikl .....	17
2.1.5 Měď .....	18
2.1.6 Rtuť .....	18
2.1.7 Olovo .....	19
2.1.8 Zinek .....	20
2.2 Prachové částice .....	20
2.2.1 Co jsou prachové částice .....	21
3 Znečištění ovzduší .....	22
3.1 Zdroje znečištění ovzduší na území Prahy .....	24
4 Výsledky – znečištění ovzduší těžkými kovy na území Prahy .....	25
4.1 Vývoj a dopad znečištění .....	26
4.2 Historie vs aktuální situace .....	37
5 Diskuse a závěr .....	39
6 Přehled literatury a použitých zdrojů .....	41

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Zdroje znečištění, Praha .....	24
--	----

## Seznam grafů

Graf 1 Průměrné roční imisní charakteristiky 2016 .....	26
Graf 2 Vývoj imisí olova 2016 .....	27



Graf 3 Vývoj imisí arsenu 2016.....	27
Graf 4 Vývoj imisí niklu 2016.....	28
Graf 5 Průměrné roční imisní charakteristiky 2017.....	29
Graf 6 Vývoj imisí arsenu 2017.....	29
Graf 7 Vývoj olova 2017 .....	30
Graf 8 Průměrné roční imisní charakteristiky 2018.....	31
Graf 9 Vývoj imisí olova v roce 2018 .....	31
Graf 10 Vývoj imisí kadmia v roce 2018 .....	32
Graf 11 Průměrné roční imisní charakteristiky 2019.....	33
Graf 12 Vývoj imisí arsenu 2019.....	33
Graf 13 Vývoj imisí niklu v roce 2019 .....	34
Graf 14 Průměrné roční imisní charakteristiky 2020.....	35
Graf 15 Vývoj imisí kadmia v 2020 .....	35
Graf 16 Srovnání průměrných hodnot imisních koncentrací kovů na Praze 5 v letech 1997 a 2020 .....	38

## **Seznam zkratk a prvků**

Ag – Stříbro

AIM – Automatický imisní monitoring

Al – Hliník

As – Arsen

Ba – Baryum

Ca – Vápník

Cd – Kadmium

Co – Kobalt

Cr – Chrom

Cu – Měď

č. – číslo

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

Fe – Železo

Hg – Rtuť

IARC – International Agency for Research on Cancer

In – Indium

ISKO – Informační systém kvality ovzduší

K – Draslík  
Mg – Hořčík  
Mn – Mangan  
MŽP – Ministerstvo životního prostředí  
Na – Sodík  
Ni – Nikl  
Pb – Olovo  
PM – Particulate matter  
REACH – Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals  
REZZO – Registr zdrojů znečištění ovzduší  
Sb – Antimon  
Sb. – Sbirka zákonů  
Se – Selen  
Sn – Cín  
Sr – Stroncium  
Th – Thorium  
Ti – Titan  
V – Vanad  
vyhl. – vyhláška  
WHO – World Health Organization  
Zn – Zinek  
ZnO – Oxid zinečnatý

## ÚVOD

Znečištění ovzduší je jeden z hlavních problémů v celosvětovém měřítku, což se týče životního prostředí. Znečištění má negativní vliv jak na živou, tak neživou přírodu. Kontaminaci mohou způsobovat organické i anorganické látky, které mohou být vytvořené buď přírodními procesy, nebo přímo či nepřímo člověkem. Látky produkované antropogenní činností jsou pro přírodu škodlivější než látky produkované přírodními vlivy.

Těžké kovy se vážou v atmosféře na atmosférický aerosol, tedy na prachové částice, které představují skutečnou zátěž pro životní prostředí a jsou prokazatelně toxické. Těžké kovy jsou schopny se hromadit v organismech a složkách životního prostředí, kde pak později působí negativně, například se při dýchání ukládají v dýchacích cestách člověka a mohou způsobit zdravotní potíže.

Zdrojem tohoto znečištění mohou být spalovací procesy jako například výroba a zpracování železa a oceli, některé technologické procesy, které obsahují vstupní složky s těžkými kovy, a také doprava, při které dochází ke spalování pohonných hmot a tím se uvolňují nebezpečné látky do ovzduší. Doprava je jeden z hlavních zdrojů kontaminace ovzduší těžkými kovy ve velkých městech. Množství nebezpečných látek unikajících do ovzduší se mohou lišit dle druhu pohonných hmot, stavu motoru nebo dokonce způsobu jízdy.

Po celé České republice dochází k měření a sledování obsahu těžkých kovů v prachových částicích a tato data jsou v imisní databázi systému ISKO ukládána pravidelně od roku 1986. Tato práce je zaměřena na sledování těchto údajů na území hlavního města Prahy, autor bude přebírat data získaná z pražských meteorologických stanic ČHMÚ a sledovat znečištění těžkými kovy v PM10 částicích.

# 1 Cíl a metodika

## Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit vývoj znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy, dohledat zásadní zdroje tohoto typu znečištění a dopad znečištění na lidské zdraví a životní prostředí.

## Metodika

V první části této bakalářské práce se autor bude věnovat teoretické části, která je zpracována jako rešerše, pomocí metody sekundárního sběru dat, deskripce a komparace. Budou zde popsány jednotlivé těžké kovy, vysvětlen pojem prachové částice a znečištění ovzduší.

Analytická část práce se bude věnovat vývojem znečišťování ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy, zdroji tohoto typu znečištění a dopadem na lidské zdraví a životní prostředí.

V analytické části bakalářské práce bude využita metoda analýzy dokumentů a dat ze sítě AIM ČHMÚ z let 2016-2020 na území hlavního města Prahy. Pomocí aritmetického průměru měsíčních hodnot získáme průměrné roční hodnoty těžkých kovů, které pomocí sloupcového grafu docílíme jasného zobrazení získaných dat. Porovnáním těchto hodnot se podaří vyvodit závěry ročního vývoje. Následná analýza a vyhodnocení dat probíhá pomocí spojnicového grafu, který nám znázorňuje roční vývoj konkrétního těžkého kovu. Poté pomocí histogramu porovnáme vývoj znečištění v roce 1997 a 2020. Pomocí tabulky jsou znázorněny platné imisní limity a maximální hodnoty těžkých kovů v období 2016-2020.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Těžké kovy

Těžké kovy jsou definovány jako kovové prvky, které mají ve srovnání s vodou vysokou relativní hustotu. Za těžké kovy jsou považovány i metaloidy, jako je například arsen (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, 2012). Těžké kovy představují celkovou zátěž pro životní prostředí a mohou být již ve stopových koncentracích pro konkrétní složky životního prostředí toxické. Za těžké kovy jsou považovány prvky antimon, arsen, beryllium, cín, hliník, chrom, kadmium, mangan, měď, molybden, nikl, olovo, rtuť, vanad, wolfram a zinek (Bencko, 1995). Ačkoliv se těžké kovy přirozeně vyskytují v zemské kůře, většina kontaminace životního prostředí a vystavení člověka pochází z antropogenní činnosti jako je například těžba, hutnictví, průmyslová výroba a doprava. Průmyslová výroba zahrnuje zpracování kovů v rafinériích, spalování uhlí v elektrárnách, spalování ropy, výroba plastů, textilií, konzervace dřeva a závody na zpracování papíru (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, 2012).

Při výrobě a zpracování kovů, které se získávají z rud, dochází ke kontaminaci životního prostředí. Jelikož je obsah některých kovů v rudách poměrně nízký, dochází k zatížení životního prostředí ještě více, neboť se výrobní technologie skládají z více stupňů. Polymetalické rudy běžně obsahují kovy olovo, zinek, hliník a měď. Během procesu jejich zpracování vznikají meziprodukty a odpady obsahující např. kadmium, thallium a germanium. Při zpracování těchto odpadních produktů za záměrem získání jiných kovů, dochází k dalšímu riziku kontaminace životního prostředí. Hlavní druh kontaminace při zpracovávání polymetalických rud jsou emise do ovzduší, ale dochází i k znečištění odpadních vod (Bencko, 1995). Největší množství emisí je uvolňováno při výrobě a zpracování železa a oceli, které mají zásadní podíl na emisích olova a zinku (Modlík, 2013). Také sklářský průmysl vytváří velmi rozsáhlou škálu emisí, jednou z nich jsou i těžké kovy, které jsou přítomny jako minoritní nečistoty v některých surovinách, v tavidlech a barvivech při výrobě frity nebo jako součást speciálních skel (Beranová, 2013).

Těžké kovy jsou v malém množství zastoupeny i v pevných fosilních palivech, kde dochází při spalování k podstatnému uvolňování emisí do ovzduší. Největší podíl na kontaminaci ovzduší těžkými kovy mají veřejná energetika a výroba tepla. Veřejná energetika a výroba tepla má hlavní podíl u emisí rtuti, kadmia, arsenu, chromu a niklu

(Modlík, 2013). Popílek vznikající při spalování uhlí v tepelných elektrárnách je emitován do ovzduší a vzniká tak znečištění ovzduší prachovými částicemi s obsahem těžkých kovů. Energetika v České republice využívá převažující podíl mladšího uhlí, které má větší popelnatost (Bencko, 1995). Po roce 1989 došlo ke zlepšení a změně průmyslu z důvodu zavedené nových technologií šetrnějších k životnímu prostředí, které způsobily výrazné snížení vypouštěných škodlivých látek z průmyslu a také díky podstatnému snížení vytěženého množství hnědého uhlí bohatého na arsen, beryllium, měď, mangan, olovo a antimon se množství těchto prvků v prostředí dramaticky snížilo (Suchara, Sucharová, Holá, 2015).

Dalším prostředkem zdrojem kontaminace, který má velký dopad na znečištění ovzduší především ve velkých městech, je doprava. Zde dochází ke spalování pohonných hmot a tím se uvolňují nebezpečné látky do ovzduší. Doprava má zásadní vliv u emisí mědi, kde je měď součástí pohonných hmot jako aditivum (Modlík, 2013). Dříve se využívaly alkylované sloučeniny olova jako antidetonační přísada do benzínů (Bencko, 1995). S rostoucí automobilovou dopravou rostl i obsah olova v ovzduší měst. Po roce 1990, kdy prudce vzrostl prodej automobilů v České republice, došlo k snížení distribuce benzínu s olovnatou přísadou a v roce 2000 byla zcela zastavena (Suchara, Sucharová, Holá, 2015).

Těžké kovy se váží především na prachové částici jemné frakce – do 2,5  $\mu\text{m}$  (Keder, 2013). V rámci emisní inventarizace je dle požadavků mezinárodních úmluv sledováno celkem 9 prvků skupiny těžkých kovů. Jde o rtuť, olovo, kadmium, arzén, chrom, měď, nikl, selen a zinek (Modlík, 2013).

### **2.1.1 Arsen**

Arsen je metaloid, který je všudypřítomný a běžně vyskytující se prvek. Mezi hlavní anorganické formy arsenu patří trojmocný arsenitan a pětímocný arseničnan, mezi organické formy patří methylované metabolity – kyselina monomethylarsonová, kyselina dimethylarsinová a oxid trimethylarsinu. K znečištění životního prostředí arsenem dochází v důsledku přírodních jevů jako je sopečná činnost nebo eroze půdy a zejména v důsledku antropogenní činnosti (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, 2012).

Kontaminace arsenem na vyšších úrovních je znepokojivá, protože arsen může mít řadu nepříznivých vlivů na lidský organismus. Velké množství arsenu se uvolňuje

do prostředí prostřednictvím průmyslových činností, které mohou být široce rozptýleny a hrají důležitou roli při kontaminaci půdy, vod a vzduchu (Bhattacharya, Welch, Stollenwerk, McLaughlin, Bundschuh, Panaullah, 2007). Vysoký obsah arsenu najdeme v některých druzích uhlí, především v hnědém uhlí, které se využívá pro energetické účely. Při spalování uhlí se arsen vyskytuje v popelu ve formě arzenitanů a arzeničanů železa, mědi a vápníku. Vysoký obsah arsenu v uhlí má negativní dopad na fungování životní prostředí. Arsen je také produkován při zpracování rud, hlavně rudy olova, mědi, niklu a železa, jako vedlejší produkt. Výroba arsenu se zvyšovala do roku 1943, kdy se výtěžilo přibližně 70 000 tun. Poté se arsen začal nahrazovat arsenovými pesticidy, který jsou méně toxické a došlo k postupnému snížení jeho produkce (Bencko, 1995).

V České republice dochází k pravidelnému monitoringu arsenu v ovzduší a je stanoven emisní limit zákonem o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.) na  $5 \text{ mg/m}^3$  a imisní limit pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM<sub>10</sub> vyhlášený pro ochranu zdraví lidí (201/2012 Sb.) na  $6 \text{ ng/m}^3$  (Havel, Válek, 2010).

## 2.1.2 Kadmium

Kadmium je kov, které se přirozeně vyskytuje spolu se zinkem a olovem. Nachází se v anorganických i organických sloučeninách jako dvojmocný kation. Kadmium je chemicky podobný zinku a společně se vyskytují v rudách. Kadmium lze získat také jako vedlejší produkt při rafinaci zinku a ostatních kovů, především olova a mědi. Přirozeně se kadmium dostává do ovzduší sopečnou činností, ale antropogenní zdroje jsou nesrovnatelně významnější. Zásadní znečištění životního prostředí kadmiiem je způsobeno jeho využitím v průmyslu, především jde o průmyslové činnosti jako slévárství kovů, výroba plastů, barviv a akumulátorů (Lener, 1995). I když použití kadmia v bateriích vykazuje v posledních letech značný nárůst, jeho využití ve vyspělých zemích klesá, právě kvůli obavám o životní prostředí (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, 2012).

Další kontaminace ovzduší je pak způsobena spalováním pohonných hmot, olejů a uhlí. V hustě osídlených městech může být vyšší koncentrace kadmia v ovzduší právě vlivem dopravy a průmyslu. Znečištění ovzduší a vystavení člověka způsobují i cigarety, které kadmium přímo obsahují. Kouření je významným zdrojem expozice kadmia pro obyvatelstvo. Vykouřením jedné cigarety, která obsahuje 1–2  $\mu\text{g}$  kadmia,

dochází k inhalaci 0,1-0,2 µg kadmia. Akutní i chronické vystavení se vyšší koncentrací kadmia v prachu nebo parách kovů je velmi toxické. U dělníků pracujících v kovoprůmyslu může způsobit poruchu funkce plic, která se projevuje těžkým podrážděním dýchacích cest už do několika hodin od expozice. Koncentrace 5 mg/m<sup>3</sup> kadmia v ovzduší vdechovaná po dobu 8hodinové směny může být pro člověka smrtící. Kvůli svým toxickým účinkům pro životní prostředí i člověka, patří kadmium do evropského nařízení REACH (J. Lener, 1995).

V České republice není stanoven obecný emisní limit pro kadmium, ale je stanoven specifický emisní limit Zákonem o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.) na 0,05 mg/m<sup>3</sup> a imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM10 vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (201/2012 Sb.) 5 ng/m<sup>3</sup> (Petrlík, Válek, 2010).

### 2.1.3 Chrom

Chrom se nachází v přírodě výhradně navázaný ve sloučeninách, ve volné formě byl nalezen pouze v meteoritech (Bencko, 1995). Přirozeně se vyskytuje v zemské kůře s oxidačním číslem od chromu (II) do (VI). Chrom jako sloučenina je nejstabilnější v trojmocné [Cr (III)] formě, ve které se vyskytuje v rudách. Druhou nejstabilnější formou chromu je šestimocná [Cr (VI)] forma (Tichounkou, Yedjou, Patlolla, 2012). Zatím co šestimocná forma je pro člověka jednoznačně toxická, trojmocná forma je biogenním prvkem, který je potřebný pro metabolismus cukrů (Bencko, 1995).

Chrom vstupuje do složek životního prostředí ze široké škály přírodních a antropogenních zdrojů. Největší emise chromu pochází z průmyslových činností, jako jsou zpracování kovů, koželužny, výroba chromátu, svařování nerezové oceli a výroba pigmentů. Zvyšující se koncentrace chromu v životním prostředí souvisí s jeho uvolňováním do ovzduší a odpadních vod zejména z metalurgických provozů, výroby žáruvzdorných materiálů a chemického průmyslu. Chrom se také používá jako antikoroziční složka ve varných systémech a kotlích (Tichounkou, Yedjou, Patlolla, 2012). Hlavní spotřebitelem chromu ve formě kovu a ferochromu je metalurgický průmysl, následovaný výrobou zrcadel, chemický průmysl a koželužny. Významní podíl má i výroba chromových pigmentů a jejich použití v barvířství a tiskařském průmyslu a při impregnaci dřeva. Chromit je nejvýznamnější rudou průmyslové produkce (Bencko, 1995).



Chrom, který je uvolňován do životního prostředí z antropogenních aktivit, se vyskytuje především v šestimocné formě. Expozice na pracovištích šestimocnou [Cr (VI)] formou chromu je velmi nebezpečná, hrozí vysoké riziko nemocí vyvolaných chromem, zejména alergenní a karcinogenní onemocnění. Odhaduje se, že více než 300 000 pracovníků je ročně vystaveno působení chromu. Ohrožena může být i lidská populace a někteří volně žijící živočichové. Odhaduje se, že ročně se do životního prostředí uvolní 33 tun chromu (Tichounkou, Yedjou, Patlolla, 2012).

V České republice jsou emisní limity pro ovzduší stanoveny dle obecného limitu pro skupinu kovů obsahující arsen, kobalt, nikl, selen, telur a šestimocný chrom. Při hmotnostním toku emisí všech těchto znečišťujících látek vyšším než 10 g/h nesmí být v odpadním plynu překročena celková hmotnostní koncentrace 2 mg/m<sup>3</sup> těchto znečišťujících látek. Imisní limit pro chrom není stanoven (Petrлік, Příbylová, 2010).

#### **2.1.4 Nikl**

Nikl se nachází v zemské kůře, kde však není hojně zastoupen. Vyznačuje se ubikvitární přítomností v prostředí obdobně jako arsen. Kovový nikl se vyskytuje v železných meteoritech, dále nikl najdeme ve sloučeninách se sírou, arsenem, antimonem nebo kyselinou křemičitou. Nikl je přítomen v magnetových kyzech železa a garnieritu, které jsou nejčastějšími průmyslově zpracovanými rudami. Obsah niklu v rudách bývá často velmi nízký, a proto se výrobní technologie skládá z více stupňů, tj. flotace, magnetická separace, pražení a tavení. Světová produkce niklu byla v polovině 70. let přibližně 700 000 tun za rok. Znečišťování ovzduší niklem v městských oblastech pochází ze spalování fosilních paliv, především uhlí a také nafty. Znečištění způsobené těžbou a produkcí niklu a jeho slitin či sloučenin má značný lokální charakter. Dalším zdrojem produkce, podobně jako u kadmiumu, je kouření. V jedné cigaretě nalezneme 1,1-3,1 µg niklu (Bencko, 1995).

V České republice není stanoven obecný emisní limit pro nikl, je stanoven specifický emisní limit Zákonem o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.) na 5 mg/m<sup>3</sup> a imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM10 vyhlášené pro ochranu zdraví lidí (201/2012 Sb.) 20 ng/m<sup>3</sup> (Kleger, Válek, 2010).

## 2.1.5 Měď

Měď je prvek, který je pro člověka esenciální a zároveň potenciálně toxický. V přírodě se nachází v jednomocném a dvojmocném stavu, můžeme ho najít i jako čistý kov. Ve dvojmocném stavu je izomorfní se  $Zn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  a  $Fe^{2+}$ . Důležité rudy, které obsahují měď, jsou kuprit, malachit, azurit, chalkosin, chalkopyrit a bornit. Měď se vyskytuje v rudách zejména ve formě sulfidů, z menší části ve formě uhličitánů a oxidů. Měď získáváme z rud pomocí tavením. V roce 1970 dosáhla světová produkce mědi 6 000 000 tun. Velká část produkce mědi je spotřebována pro výrobu elektrotechnických zařízení a je využívána i pro instalatérské a topenářské práce, kde uhlí obsahuje pouze nízké množství mědi. Zdrojem emisí mědi jsou především provozy zpracovávající horniny bohaté na měď, výroby železa a oceli, slévárny mosazi a bronzu, sekundární tavení mědi a jejich slitin. Vyšší hodnoty mědi jsou nalézány v ovzduší průmyslových měst. Měď není z profesionální expozice nijak nebezpečná, ale vystavení pracovníků parám nebo jemným prašným aerosolům může vyvolat horečku z kovů (Cikrt, 1995).

## 2.1.6 Rtuť

Rtuť je těžký kov patřící do řady přechodných prvků periodické tabulky. Rtuť je jedinečná svou existencí v přírodě ve třech formách (elementární, anorganické a organické). Elementární rtuť se při pokojové teplotě vyskytuje jako kapalina, která se uvolňuje do prostředí ve formě rtuťové páry. Při kontaktu s rtutí se nejčastěji setkáváme s methylrtutí, která je organickou formou nacházející se v životním prostředí. Rtuť je široce rozšířená, toxická a znečišťující látka, která způsobuje vážné poškození tělesných tkání a širokou škálu nepříznivých zdravotních účinků. Vzhledem ke skutečnosti, že je rtuť všudypřítomná v prostředí, lidé, rostliny a živočichové nejsou schopni se vystavení nějaké formě rtuti zcela vyhnout (Tichounek, Yedjou, Patlolla, 2012).

Rtuť se využívá v elektrotechnickém průmyslu, stomatologii, v jaderných reaktorech, jako protiplísňová činidla pro zpracování dřeva, jako rozpouštědlo drahých kovů a konzervační prostředek farmaceutických výrobků. Průmyslová poptávka po rtuti dosáhla vrcholu v roce 1964. Produkce začala prudce klesat mezi lety 1980-1994 v důsledku zákazů rtuťových přísad v barvách, pesticidech a snížením jejího obsahu v bateriích (Tichounek, Yedjou, Patlolla, 2012). Rtuť a její sloučeniny jsou těkavé, snadno tedy dochází k jejich ztrátám. Do životního prostředí se rtuť dostává při její

výrobě a zpracování, při spalování fosilních paliv, různými odpady i průmyslovými a zemědělskými postupy. V metabolismu i toxickém působení anorganických a organických sloučenin elementární rtuti existují významné rozdíly (Cikrt, 1995).

V České republice je stanoven emisní limit dle vyhlášky č. 356/2002 Sb. pro skupinu 2.19 znečišťujících látek zahrnující azbest, beryllium, kadmium, rtuť, thallium. Při hmotnostním toku emisí všech těchto znečišťujících látek vyšším než 1 g/h nesmí být překročena úhrnná hmotnostní koncentrace 0,2 mg/m<sup>3</sup> těchto znečišťujících látek v odpadním plynu, pro spalovny odpadu jsou stanoveny specifické emisní limity (Petrlík, Válek, 2010).

### **2.1.7 Olovo**

Olovo je přirozeně se vyskytující modrošedý kov přítomný v malém množství v zemské kůře. Přestože se olovo vyskytuje přirozeně v životním prostředí, k uvolňování jeho vysokých koncentrací významně přispívá antropogenní činnost jako je spalování fosilních paliv, těžba a výroba olova (Tichounkou, Yedjou, Patlolla, 2012). Olovo je nejrozšířenější prvkem z kategorie těžkých kovů. Tento těžký kov se vyskytuje v půdě, vodách a atmosférických komponentách biosféry. Mezi důležité minerály obsahující olovo patří galenit, cerusit a anglesit. Do atmosféry se olovo dostává z přírodních zdrojů pomocí lesních požárů a aerosolu z mořské vody. Olovo z těchto přírodních zdrojů vstupuje do ovzduší v koncentracích v rozmezí 0,005-0,006 µg/g<sup>1</sup> (Cikrt, 1995).

Olovo má široké využití v průmyslových, zemědělských a domácích činnostech, používá se při výrobě olovných akumulátorů, munice, kovových výrobků jako je pájka na potrubí a zařízení k odstínění rentgenového záření. V posledních letech klesá využití olova pro výrobu barev, keramickou výrobu, produkci těsnění a pájky na potrubí. K vystavení organismu olovu dochází především vdechováním aerosolových částic kontaminovaných olovem a použitím kontaminovaných potravin, vod a barev. Od konce 70. let 20. století se expozice olova výrazně snížila v důsledku odstranění olova v benzínu a snížení úrovně olova v barvách, plechovkách od potravin a nápojů a vodovodním systému (Tichounkou, Yedjou, Patlolla, 2012).

V České republice není stanoven obecný emisní limit pro olovo, je stanoven pouze specifický emisní limit Zákonem o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.) na 5 mg/m<sup>3</sup>.

Olovo patří mezi látky měřené především jednorázovým měřením. Imisní limity stanovené Zákonem o ochraně ovzduší (201/2012 Sb.) pro ochranu zdraví, imisní limit je stanoven na  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na 1 kalendářní rok. (Havel, Gažáková, 2010).

### **2.1.8 Zinek**

Zinek je poměrně měkký kov, který snadno reaguje jak s anorganickými kyselinami, tak s organickými látkami, v průmyslu je hlavně používán ZnO. Nejdůležitější minerály obsahující zinek jsou sfalerit, zinkit, smithsonit, willemit a hemimorfit. Při odstřelu a drcení rudy uniká zinek do životního prostředí jen velmi málo. Rudy zinku neobsahují obvykle oxidy zinku, z tohoto důvodu je nutné tyto rudy předem upravovat. Při tavně zinku dochází k uvolnění emisí zinku do ovzduší, které doprovází emise kadmia, olova a arsenu. Zinek je nejčastěji využíván v průmyslu při výrobě nekorozivních slitin, mosazi, při výrobě železa, galvanizaci oceli a při pozinkování železných plechů a drátů. Sloučeniny zinku mohou obsahovat značné množství některých jiných více toxických kovů jako například kadmium a olovo. Při inhalaci kovového zinku a oxidu zinečnatého může také dojít k horečce z kovů, jako například u mědi (Cikrt, 1995).

V České republice není stanoven obecný emisní limit pro zinek ani imisní limit, protože je obsah zinku v ovzduší relativně nízký a konstantní, koncentrace zinku je poblíž průmyslových oblastí vyšší. Zinek je dle přílohy č. 1 vyhl. č. 356/2002 Sb. zařazen do skupiny 2 mezi azbest a těžké kovy a jejich anorganické sloučeniny vyjádřené jako kov (Havel, Vebr, Petrlík, Válek, 2010).

## **2.2 Prachové částice**

Koncentrace kovů v aerosolových částicích je značně variabilní a závisí na různých faktorech. Koncentraci může ovlivnit i roční období, například v létě a na podzim mohou způsobit vyšší koncentrace kovů především přírodní procesy, jedním z nich je výskyt mořského aerosolu. Naopak v zimě a na jaře přispívá k vyšším koncentracím antropogenní činnost. Dále koncentrace závisí na meteorologických podmínkách, umístění posuzované lokality, dálkovém transportu a emisních zdrojích. Aerosolové částice dělíme podle velikosti částic na jemnou a hrubou frakci. Jemná frakce jsou částice menší než  $2,5 \mu\text{m}$ , na které se převážně váží kovy a jejich sloučeniny pocházející z antropogenních činností. Hrubé frakce jsou částice větší než  $2,5 \mu\text{m}$ , na

kteře se vazou kovy a jejich sloučeniny předeveřim z přirodních procesů. Pro lidsk organismus jsou nejvíce nebezpene astice o velikosti menři neř 10  $\mu\text{m}$ , kteře se mohou dostat do dýchacích cest. Kovy a jejich sloučeniny se celkove podil na slořen aerosolu necelých 5 %. Mezi hlavní složky, kteře se vazou na astice patří, oxidy hliníku, řeleza spolu s manganem, olovo, zinek a kadmium. V tabulce 1 je prezentován výskyt kovů v jemne a hrube frakci s hlavním typem původu (Vojtšek, Mikuřka, Večeřa, 2009).

**Tabulka 1 Frakce**

<b>Frakce:</b>	<b>Původ:</b>	<b>Kovy:</b>
Jemn	Antropogenní	Cu, Zn, Ba, Cd, V, Pb, Sn, Se, Cr, Ni, As, Co
Hrub	Přirodn	Ca, Mg, Sr, Mn, Fe, Na, Al, Ti, K

Zdroj: (Večeřa, Vojtšek, Mikuřka, 2009)

## 2.2.1 Co jsou prachové astice

Atmosfrick aerosol je popisován jako soubor tuhých, kapalných nebo směsných astic o velikosti od 1 nm do 100  $\mu\text{m}$  suspendovaných v atmosfe. Atmosfrick aerosol je ubikvitární složkou atmosféry Země. Koncentrace atmosférického aerosolu je sledována předeveřim z důvodu mořnho výskytu toxických látek, kteře negativně působí na vegetaci, řivoichy a lidské zdraví. Nejdůležitřim parametrem, kteří ovlivņuje chování astic, je jejich velikost, tvar a mrn hustota. S ohledem na lokalizaci můžeme astice dělit na primrn a sekundární. U primárního aerosolu jsou astice uvolņovny přimo ze zdroje, u sekundárního musí dojít k reakci plyných složek atmosféry. V tabulce 2 vidíme přehled primárních zdrojů atmosférického aerosolu a velikost frakce (Bartoņov, 2004).

**Tabulka 2 Primrn aerosol**

<b>Zdroj přirodnho primárního aerosolu:</b>	<b>Typ frakce:</b>
Prach	Hlavne hrub
Mořsk sůl	Hrub
Vulkanick prach	Hrub
Bioaerosol	Hrub
<b>Zdroj antropogenního primárního aerosolu:</b>	
Prach z přumyslu	Jemn a hrub
Saze	Jemn

Zdroj: (Bartoņov, 2004)

Částice nukleačního modu vznikají především z fotochemických reakcí v atmosféře a z vysokoteplotních procesů jako je hoření, tavení rud, kovů a svařování. Částice nukleačního modu jsou reaktivní a jejich doba zdržení v troposféře se pohybuje kolem desítek minut. Částice akumulčního modu následně tvoří podstatnou část povrchu a hmotnosti atmosférického aerosolu. Částice akumulčního modu mají delší výskyt v atmosféře, kde se mohou vyskytovat i po řadu týdnů. Převážně na jemnou frakci částic se váží některé přechodné kovy jako například olovo, zinek, kadmium a arsen. Naopak prvky zemské kůry jako například železo a hliník tvoří především hrubou frakci částic. Nejsložitější z chemického hlediska je městský aerosol, na který působí řada nepříznivých vlivů (Bartoňová, 2004).

V tabulce číslo 3 můžeme vidět přehled zdrojů znečištění ovzduší kovy v atmosférickém aerosolu. (Vojtěšek, Mikuška, Večeřa, 2009).

**Tabulka 3 Zdroj kovů**

<b>Zdroj:</b>	<b>Kovy:</b>
Doprava a prach z vozovek	Ba, Zn, Pb, Ag, Cu, Al, Ti, V
Spalovny uhlí a odpadů	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg, Se, As, Cr, Co, Al
Průmysl	Sb, Ag, V, Ni, As, In, Cu, Mn, Ce, Co, Cr, Pb
Spalování biomasy	K
Půdní a městský prach	Ti, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Th

Zdroj: (Večeřa, Vojtěšek, Mikuška, 2009)

Do ovzduší se díky resuspenzi půdy dostávají částice s vyšším obsahem hliníku a železa. Zplodiny z ohňostroje mohou způsobit vyšší koncentraci olova a mědi v ovzduší. Z průmyslových zdrojů se dostávají do ovzduší nejčastěji tyto kovy: zinek, měď, nikl, chrom a arsen. Emise z kotlů na spalování uhlí a ze spaloven obsahují tyto kovy: železo, hliník, nikl, zinek, olovo, chrom, arsen, rtuť a měď. Z benzinových motorů dochází k emisím železa, niklu, mědi, zinku a olova (Vojtěšek, Mikuška, Večeřa, 2009).

### **3 Znečištění ovzduší**

Znečišťování ovzduší je soubor jevů a procesů, které spolu souvisí a nelze je od sebe oddělit. Za vznikem emisí stojí spousta fyzikálních procesů a chemických reakcí. Primárním předmětem při kontrole a studiích kvality ovzduší je vypouštění škodlivin ze

zdroje, což jsou emise. Emise se mohou dělit dle různých faktorů, například se dělí podle umístění zdroje na přízemní či vyvýšené a výškové. Dále se mohou dělit dle uspořádání zdroje na bodové, liniové, plošné a objemové nebo také dle stálosti povahy zdroje na stacionární a mobilní či doby trvání na kontinuální a diskontinuální (Braniš, Hůnová, 2009).

Podstatným emisním zdrojem jsou spalovací procesy. Spalovací procesy a vysokoteplotní technologie jsou typické pro spoustu průmyslových odvětví. Velký podíl na znečištění ovzduší mají tepelné elektrárny, které používají k výrobě energie uhlí, ropu nebo mazut. Dalším podstatným emisním zdrojem je automobilová doprava. V minulosti došlo k značnému poklesu emisí z automobilové dopravy, a to díky využívání katalyzátorů a zastavení využívání tetraethylolova jako součást pohonných hmot. Ale i přes tyto progresivní změny se automobilová doprava stále podílí ve větším množství na tvorbě emisí, a to především z důvodu nárůstu dopravy. Faktory, které ovlivňují čistotu a kvalitu ovzduší, mohou být dle povahy rozděleny na fyzikální, chemický a biotický. V tabulce č. 4 vidíme přehled faktorů a jejich rozdělení dle povahy. Z tabulky je patrné, že těžké kovy, které vstupují do ovzduší, spadají do chemických faktorů ovlivňující kvalitu ovzduší (Braniš, Hůnová, 2009).

**Tabulka 4 Faktory ovlivňující kvalitu ovzduší**

<b>Fyzikální faktory:</b>	elektromagnetické vlnění
	vlnění pružného prostředí
	optické vlastnosti aerosolu
<b>Chemické faktory:</b>	skleníkové plyny
	látky poškozující ozonovou vrstvu
	směsi látek redukčního smogu
	směsi látek fotochemického smogu
	specifické látky a skupiny látek
<b>Biotické faktory:</b>	živé organismy
	fragmenty těl a produkty metabolismu

Zdroj: (Braniš, Hůnová, 2009)

Uvolněné škodlivé látky a případně jejich transport nemusí být vždy doprovázeny zásadními chemickými a fyzikálními změnami. Látky, které nepodléhají změnám, nazýváme primární polutanty. Tyto látky mají jasný zdroj, ze kterého dochází

k uvolnění škodlivých látek. Mezi primární polutanty patří popílek ze spalovacích procesů a prach. Na proti tomu sekundární polutanty nemají jasný zdroj a vznikají prostřednictvím chemických reakcí primárních polutantů při jejich transformaci (Braniš, Hůnová, 2009).

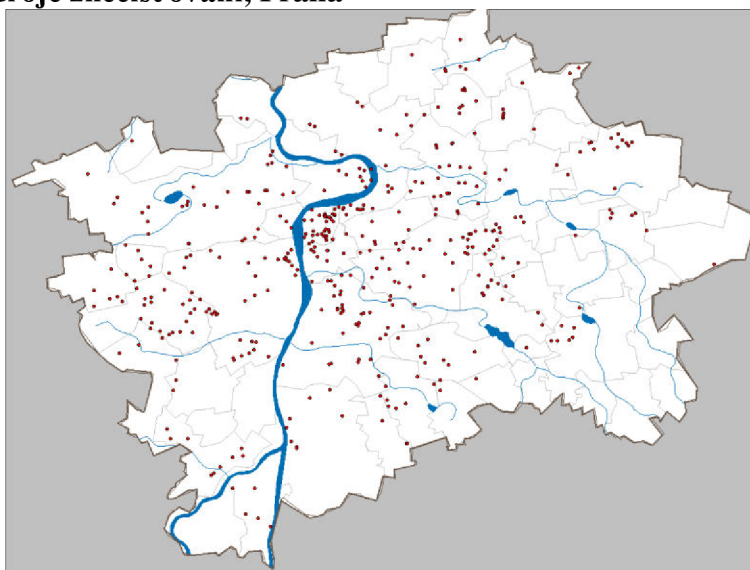
Koncentrace, složení a charakter znečišťujících látek mohou být ovlivněny spoustou faktorů a závisí na období a prostorové lokalizaci (Braniš, Hůnová, 2009). Důležitou roli hrají geomorfologické a meteorologické podmínky, dopravní zátěž a způsob vytápění. Zejména při vytápění uhlím dochází k uvolňování těžkých kovů do ovzduší a následně nárůstu jejich imisních koncentrací. Množství vypuštěných emisí je při vytápění vyšší, pokud dochází k nesprávnému spalování nebo při použití špatného paliva (MŽP, 2022).

### 3.1 Zdroje znečištění ovzduší na území Prahy

Na znečištění ovzduší velkých měst má především vliv doprava, která je zde převládající a celkově ovlivňující faktor znečišťování ovzduší. Další faktory, které ovlivňují znečištění ovzduší, jsou spíše lokálního charakteru jako domácí vytápění, teplárny, malé a střední průmyslové podniky. (MŽP, 2022)

Na obrázku č. 1 jsou vyznačeny provozovny, které svým provozem mohou znečišťovat ovzduší z důvodu unikání škodlivých látek do ovzduší. Jde o provozovny, které jsou zařazeny do kategorií REZZO 1 a REZZO 2. (ČHMÚ, 2022).

**Obrázek 1 Zdroje znečišťování, Praha**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)



## 4 Výsledky – znečištění ovzduší těžkými kovy na území Prahy

Sledováním kvality ovzduší se zabývá Český hydrometeorologický ústav, který spadá pod Státní síť imisního monitoringu. Při hodnocení znečištění ovzduší dochází k monitorování koncentrace znečišťujících látek v přízemní vrstvě atmosféry v síti měřicích stanic, kde je zejména pozorován vztah zjištěných imisních hodnot k příslušným imisním limitům. Přehled o kvalitě ovzduší za minulé roky pak zpracovává Ministerstvo životního prostředí (MŽP, 2022). V tabulce č. 5 je přehled ročních limitních hodnot u arsenu, olova, niklu a kadmia (ČHMÚ, 2022).

**Tabulka 5** Roční limitní hodnota arsenu, niklu, olova a kadmia

<b>Těžký kov</b>	<b>Roční limitní hodnoty v ng/m<sup>3</sup></b>
Arsen	6
Olovo	500
Nikl	20
Kadmium	5

Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

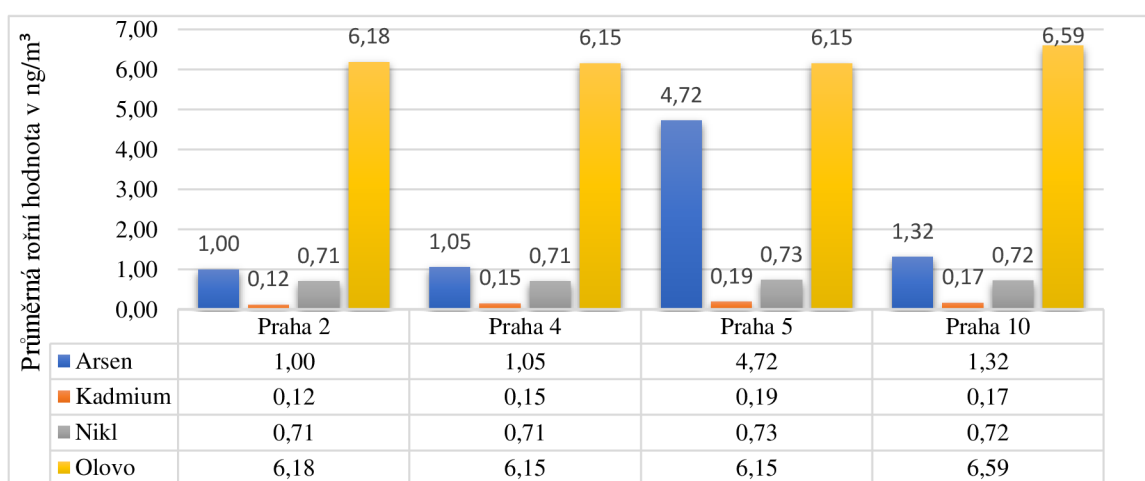
Základní právní předpis, který v České republice upravuje hodnocení kvality ovzduší, je zákon č. 201/2012 Sb., O ochraně ovzduší, v aktuálně platném znění. Tento zákon určuje zóny a aglomerace na základě, kterých se podle úrovně určuje kvalita ovzduší. Zóny jsou vymezená území, která určuje Ministerstvo životního prostředí a aglomerace je sídelní seskupení, kde se vyskytuje více než 250 000 obyvatel. Podle zákona o ochraně ovzduší máme tři aglomerace a jedna z nich je aglomerace hlavního města Prahy. Imisní limity pro konkrétní znečišťující látky stanovuje tentýž zákon o ochraně ovzduší. Důkladněji posuzuje a hodnotí ovzduší vyhláška č. 330/2012 Sb. (MŽP, 2022).

## 4.1 Vývoj a dopad znečištění

### Vývoj znečištění v roce 2016

V roce 2016 nebyl na žádné stanici překročen roční imisní limit u žádného těžkého kovu. Bylo provedeno měření arsenu, kadmia, niklu a olova v PM10 částicích na Praze 2, Praze 4, Praze 5 a Praze 10. Podle grafu č. 1 je patrné, že nejvyšší roční průměrnou hodnotu imisní koncentrace v roce 2016 mělo olovo, poté arsen, nikl a kadmium (ČHMÚ, 2022).

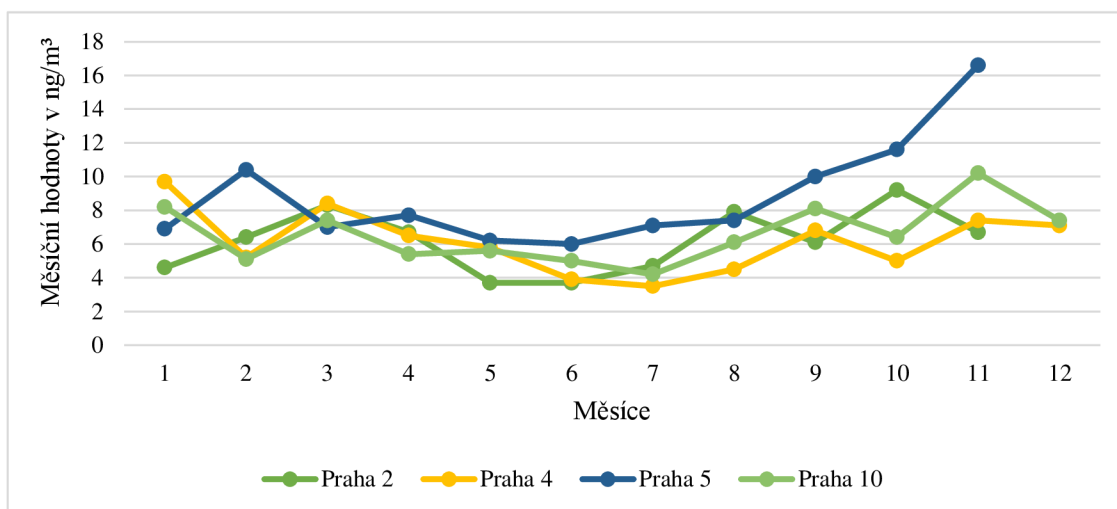
**Graf 1 Průměrné roční imisní charakteristiky 2016**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Když se zaměříme na vývoj imisních koncentrací olova v roce 2016, je očividné, že nejvyšší hodnoty byly naměřeny v podzimních a zimních měsících. Nejvyšší měsíční hodnota olova, která byla naměřena v roce 2016, byla 16,6 ng/m<sup>3</sup> na Praze 5 v listopadu. Emise olova vznikají především při výrobě a zpracování železa a oceli, které tvoří až 40,1 % celkového množství emisí olova, na druhém místě jsou emise způsobené otěrem pneumatik a brzd. Emise vzniklé otěrem brzd a pneumatik tvoří až 35,1 % (ČHMÚ, 2022).

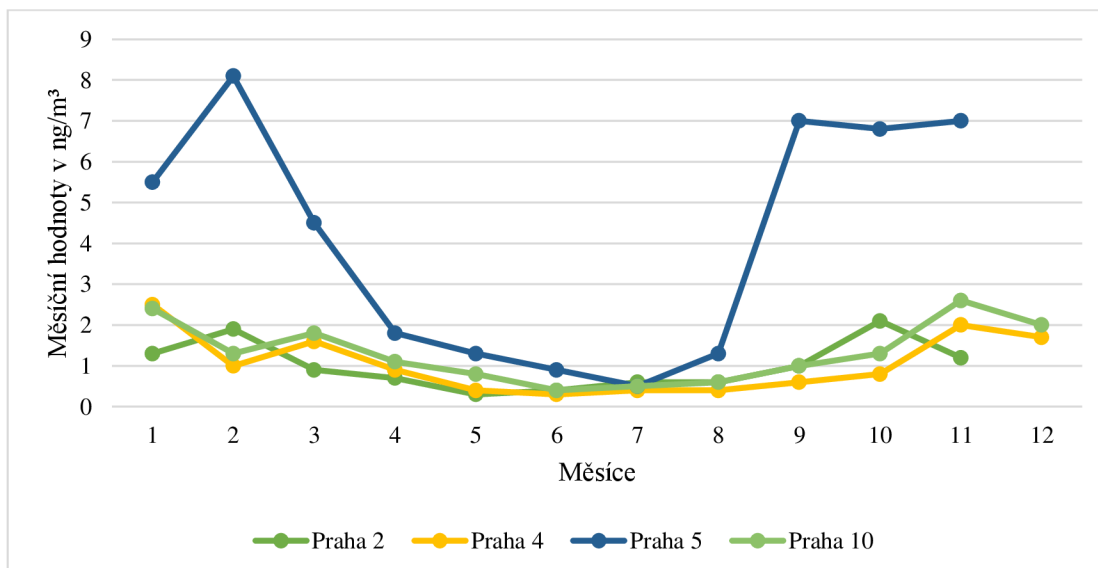
**Graf 2 Vývoj imisí olova 2016**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Emise arsenu niklu tvoří hlavně spalovací procesy v sekci veřejné energetiky a výroby tepla. V roce 2016 tvořily emise arsenu způsobené lokálním vytápěním domácností 25,3 %. Graf č. 3 znázorňuje vývoj imisních koncentrací arsenu v roce 2016 ve vybraných lokalitách Prahy (ČHMÚ, 2022).

**Graf 3 Vývoj imisí arsenu 2016**



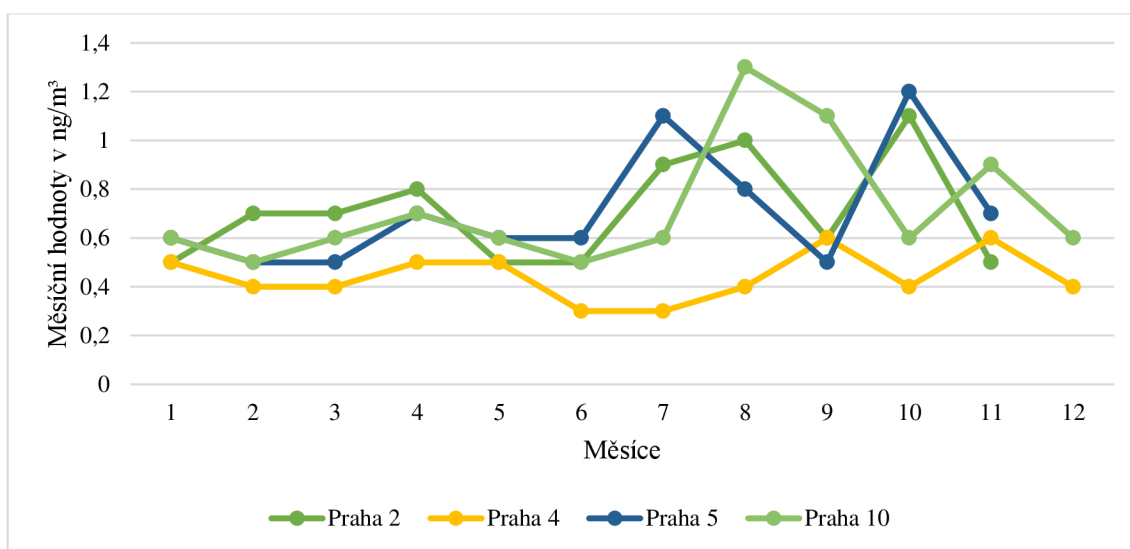
Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Z grafu č. 3 je patrné, že k emisím arsenu dochází hlavně v podzimních a zimních měsících, kdy dochází k vyššímu vytápění domácností. Razantně vyšší hodnoty arsenu byly naměřeny na Praze 5 oproti ostatním stanicím, kde bylo v zimních měsících naměřeno mezi 5-8 ng/m<sup>3</sup>. Jak už je výše zmíněné arsen tvoří 25,3 % emisí

způsobených lokálním vytápěním domácností. Nikl v porovnání s arsenem tvoří pouze 4,3 % emisí způsobených lokálním vytápěním domácností, ale až 39,3 % emisí z veřejné energetiky. Na grafu č. 4 je znázorněn vývoj imisních koncentrací niklu v roce 2016, díky tomu je zřejmé, že k emisím dochází hlavně v letních měsících a na začátku podzimu, což se liší od vývoje arсенu i olova. Nejvyšší hodnota imisní koncentrace byla naměřena na Praze 2 v srpnu (ČHMÚ, 2022).

Vysoký podíl na emisích z veřejné energetiky má i kadmium, které tvoří 20 % emisí z tohoto sektoru. Emise kadmia vznikají i při výrobě oceli a železa (ČHMÚ, 2022).

**Graf 4 Vývoj imisí niklu 2016**

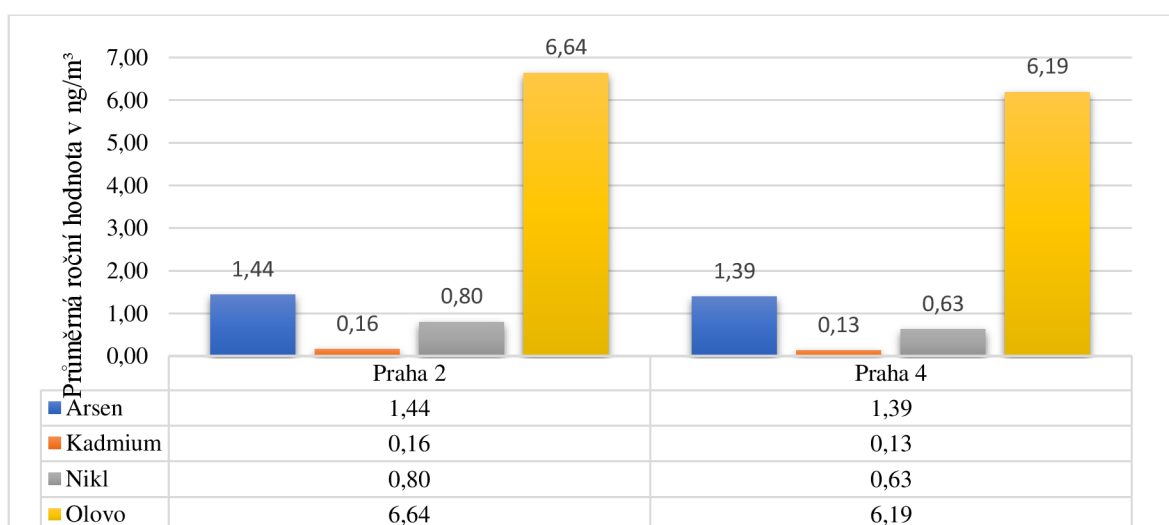


Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

### Vývoj znečištění v roce 2017

V roce 2017 došlo k monitoringu pouze na dvou pražských stanicích, a to na Praze 2 a Praze 4. Pozorovány byly stejně jako v roce 2016 tyto kovy: arsen, kadmium, nikl a olovo. Docházelo k měření těžkých kovů v PM10 částicích. Na grafu č. 5 jsou znázorněny roční průměrné hodnoty imisních koncentrací uvedených kovů. Když porovnáme graf č. 4 a graf č. 5 můžeme vidět, že hodnoty v roce 2016-2017 se skoro shodují (ČHMÚ, 2022).

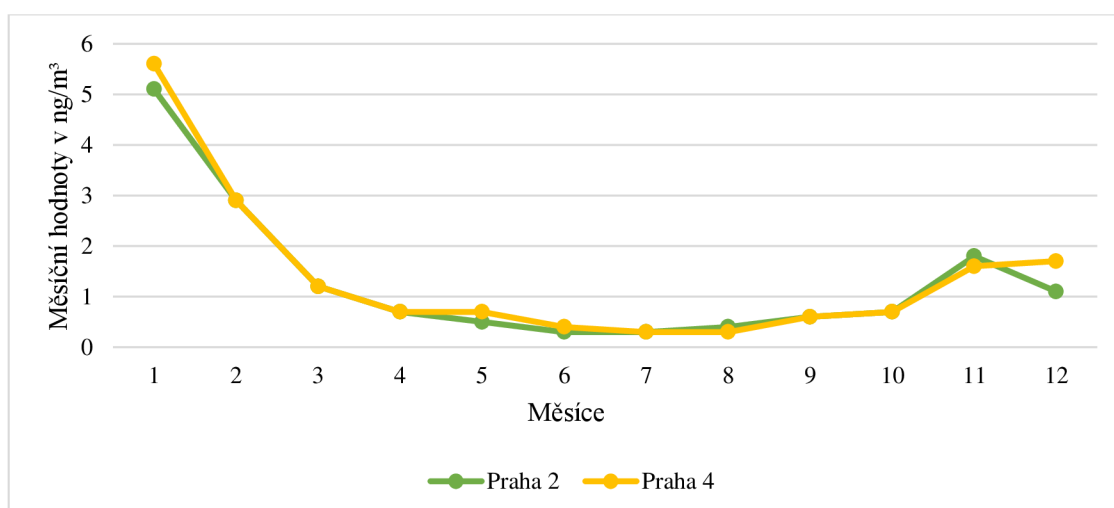
**Graf 5 Průměrné roční imisní charakteristiky 2017**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

V roce 2017 nebyl na žádné pražské stanici překročen imisní limit sledovaných kovů, ale byl zaznamenán nárůst hodnot arsenu na Praze 2 a Praze 4 oproti roku 2016, především v zimních měsících. Na grafu č. 6 je zaznamenán vývoj arsenu v roce 2017, kde můžeme vidět, že na obou pražských stanicích byly naměřené hodnoty skoro totožné. Nárůstu imisní koncentrace arsenu v lednu a únoru v roce 2017, mohl být způsoben nárůstem emisí z lokálního vytápění domácností, které tvořily v roce 2016 25,3 % emisí z tohoto sektoru a v roce 2017 došlo k zvýšení na 33,2 % (ČHMÚ, 2022).

**Graf 6 Vývoj imisí arsenu 2017**



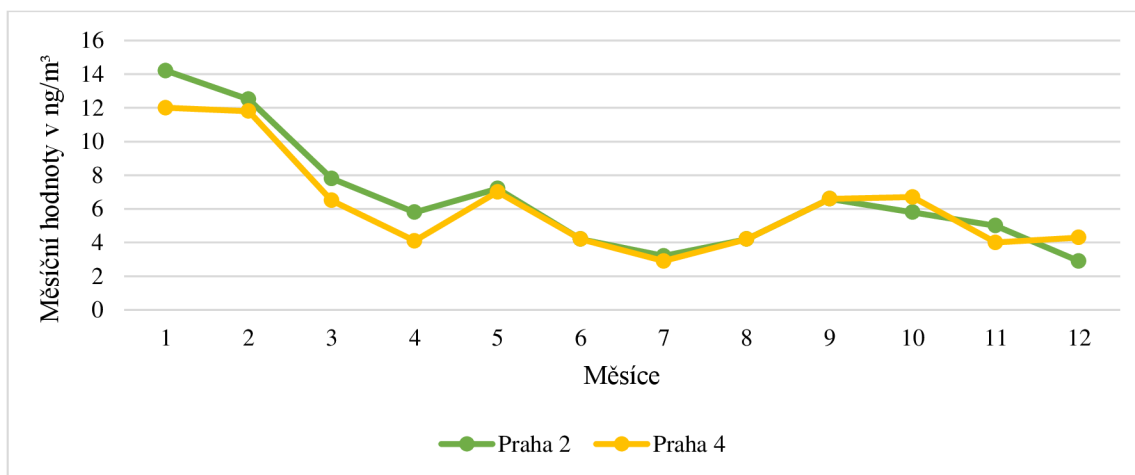
Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Při zaměření na vývoj imisí olova, který je znázorněn na grafu č. 7, zjišťujeme, že nedošlo k žádnému razantnímu rozdílu v naměřených hodnotách, ale došlo

k výraznému rozdílu v podílech sektorů na emisích. V roce 2016 bylo ze sektoru výroba a zpracování železa a oceli 40,1 % celkového množství emisí a v roce 2017 došlo poklesu téměř o polovinu na 25,7 % celkového množství emisí. Nárůst byl zaznamenán v sektoru otěry pneumatik a brzd z 35,1 % na 41,4 % celkového počtu emisí (ČHMÚ, 2022).

U niklu došlo v roce 2017 k nárůstu emisí způsobených lokálním vytápěním domácností ze 4,3 % na 10,2 % celkového množství emisí (ČHMÚ, 2022).

**Graf 7 Vývoj olova 2017**

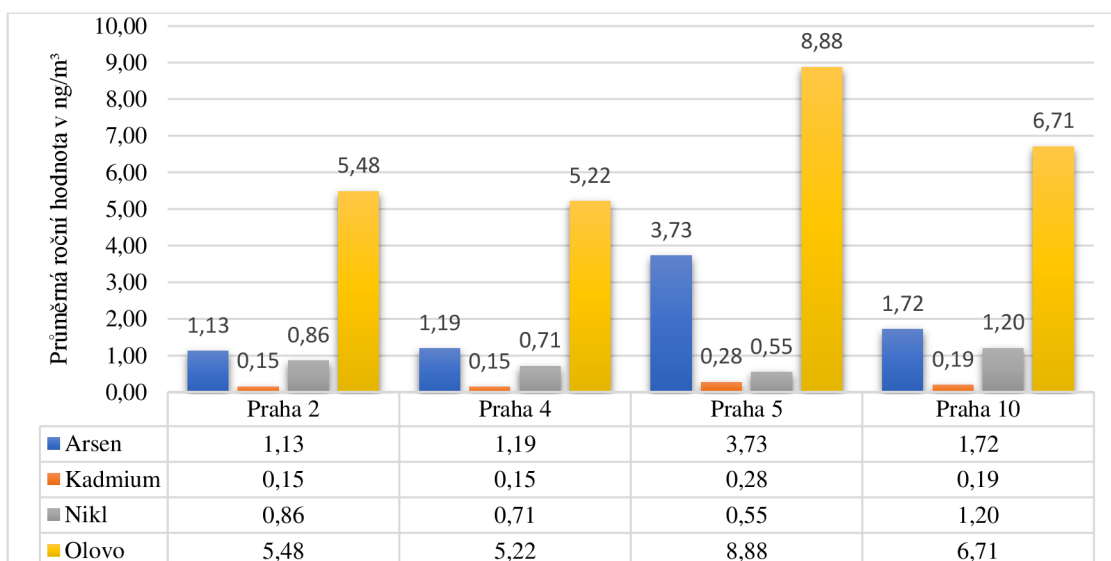


Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

### Vývoj znečištění v roce 2018

Vývoj těžkých kovů v roce 2018 byl sledován na Praze 2, Praze 4, Praze 5 a Praze 10, kde ani na jedné stanici nedošlo k překročení stanoveného imisního limitu. Pozorovány byly stejně jako v roce 2016 a 2017 tyto kovy: arsen, kadmium, nikl a olovo. Docházelo k měření těžkých kovů v PM10 částicích. V grafu č. 8 jsou zobrazeny průměrné roční hodnoty kovů na daných stanicích. Při porovnání vývoje imisních koncentrací kovů v předchozích dvou letech si můžeme všimnout nárůstu u olova, niklu a kadmia především na stanicích na Praze 5 a Praze 10 (ČHMÚ, 2022).

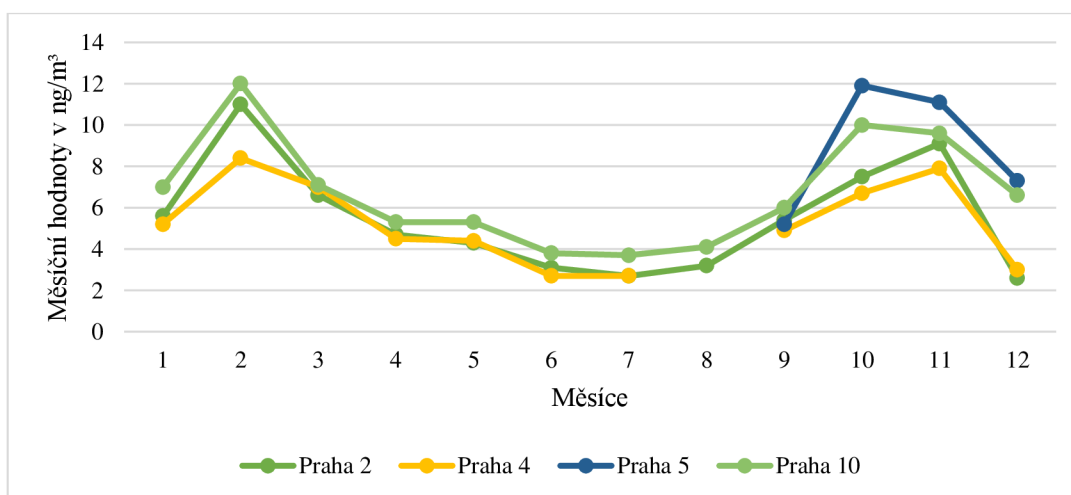
**Graf 8 Průměrné roční imisní charakteristiky 2018**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

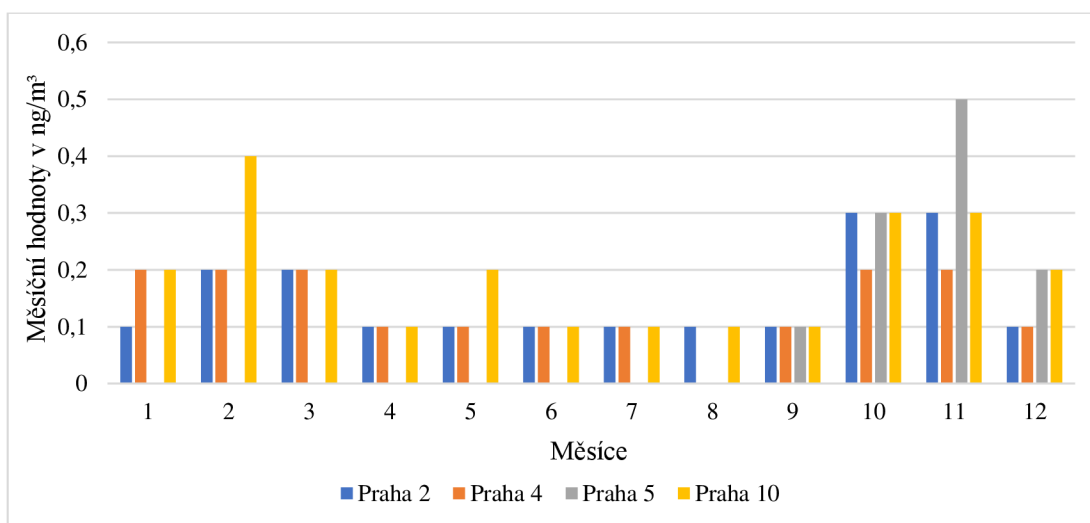
V grafu č. 9 je znázorněn vývoj imisních koncentrací olova za rok 2018. V tento rok významně přispělo k emisím olova odpalování ohňostrojů a pyrotechniky, které tvořily až 28,4 % celkového počtu emisí za rok 2018. Emise z výroby železa a oceli byly skoro stejné jak v roce 2017, kdy tvořily 23,4 % a v roce 2018 tvořily 22,2 % celkového množství emisí. Nejvyšší hodnota byla zjištěná v roce 2018 na Praze 2 v únoru, kde hodnota činila 12 ng/m<sup>3</sup> (ČHMÚ, 2022).

**Graf 9 Vývoj imisí olova v roce 2018**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

**Graf 10 Vývoj imisí kadmia v roce 2018**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

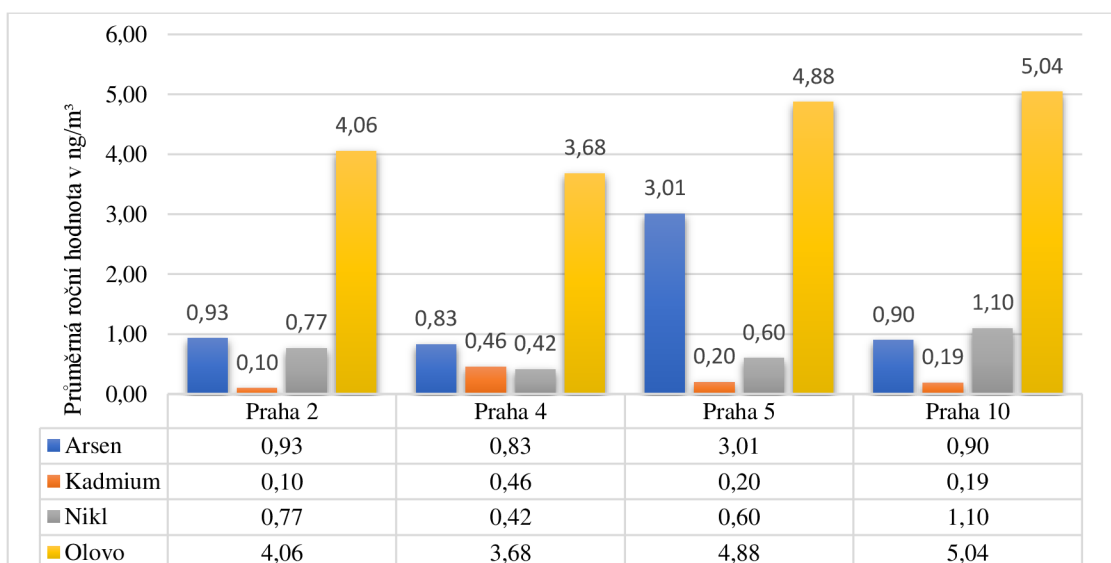
Hodnoty kadmia bývají od dubna do září konstantní, jak vidíme v grafu č. 10 a hodnoty se lehce zvyšují v říjnu a listopadu. Největší zástupce emisí kadmia je sektor lokální vytápění domácností, který tvořil v roce 2017 i v roce 2018 až 50 % celkového množství emisí kadmia. Nárůst emisí na 10,5 % zaznamenal sektor 2G, což je sektor ostatní zdroje, kde je u kadmia nejvýznamnější zástupce cigaretový kouř (ČHMÚ, 2022).

### Vývoj znečištění v roce 2019

V roce 2019 nedošlo k žádnému překročení imisních limitů u měřených těžkých kovů. Stejně jako v předchozích letech bylo provedeno měření arsenu, kadmia, niklu a olova v PM10 částicích na Praze 2, Praze 4, Praze 5 a Praze 10. Vývoj imisí v roce 2019 se nijak razantně neliší od ostatních let. Při porovnání grafů č. 8 a 12 zjišťujeme patrný pokles průměrných ročních imisí u olova. Došlo k poklesu celkového množství emisí olova v těchto sektorech: silniční doprava (otěry pneumatik a brzd), lokální vytápění domácností, veřejná energetika a výroba tepla a silniční doprava (ostatní automobily). Naopak nárůst celkového množství emisí olova zaznamenaly tyto sektory: 2G – ostatní zdroje, výroba železa a oceli, spalovací procesy v průmyslu a stavebnictví (železo a ocel) a výroba olova (ČHMÚ, 2022).



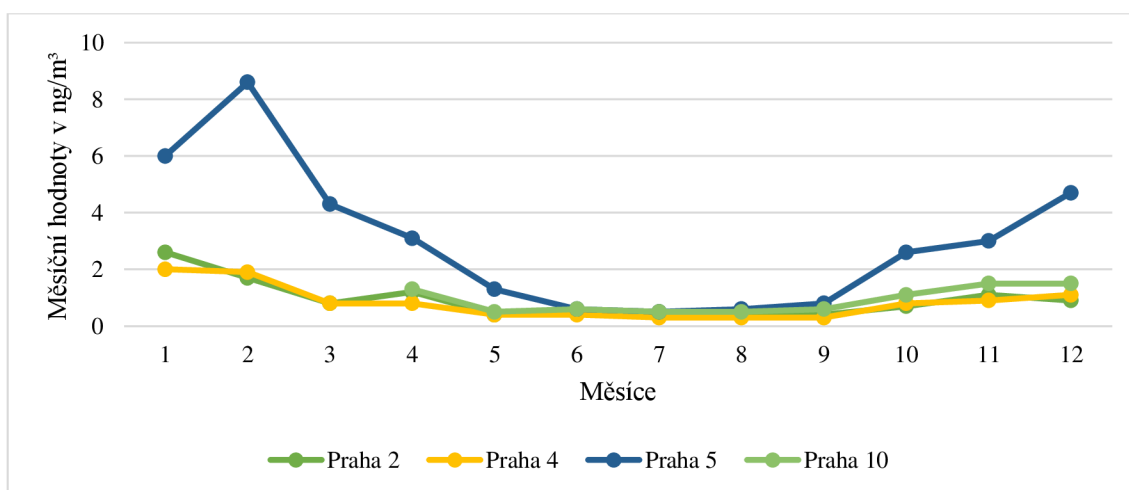
**Graf 11 Průměrné roční imisní charakteristiky 2019**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

V roce 2019 byly zjištěny nejvyšší koncentrace arsenu na území hlavního města Prahy a okresu Kladna. Na grafu č. 12 můžeme vidět vývoj imisí arsenu v roce 2019. Nejvyšší hodnota byla naměřena v únoru na Praze 5, kde jsou koncentrace arsenu vyšší než na ostatních pražských stanicích. Celkové množství emisí v sektoru lokální vytápění domácností od roku 2016 značně vzrostlo. V roce 2016 arsen tvořil v tomto sektoru cca 25 % celkového množství emisí, naproti tomu v roce 2019 tvořil arsen v tomto sektoru 36,8 % celkového množství emisí. Došlo i k nárůstu celkového množství emisí v sektoru veřejná energetika a výroba tepla okolo 2 % oproti předchozím rokům (ČHMÚ, 2022).

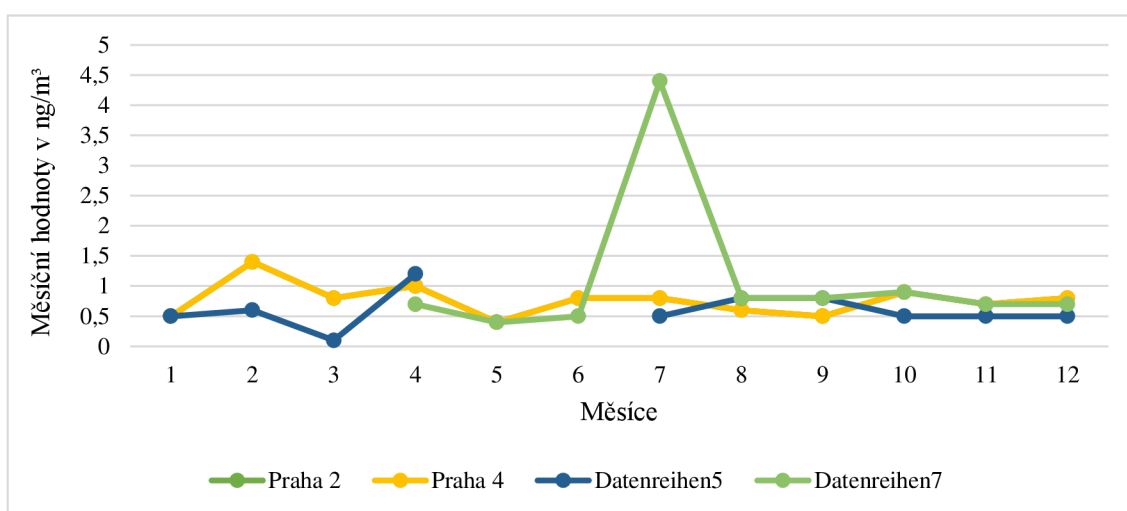
**Graf 12 Vývoj imisí arsenu 2019**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Vývoj imisí niklu v roce 2019 je téměř totožný s rokem 2018, kde se průměrné roční imisní hodnoty pohubují okolo 0,42 až 1,20 ng/m<sup>3</sup>. Graf č. 13 znázorňuje vývoj imisí niklu v roce 2019, kde na některých stanicích nebyly data úplně kompletní. Vyšší hodnoty imisí niklu jsou opět naměřeny v letních měsících. Největší emise niklu vznikají při spalovacích procesech a tvoří hlavní podíl v sektoru veřejná energetika a výroba tepla, kde spolu s arsenem tvoří dohromady 64,3 % celkového množství imisí. U kadmia došlo oproti roku 2018 k poklesu celkového množství emisí u lokálního vytápění domácností z 51 % na 44,5 %. (ČHMÚ, 2022).

**Graf 13 Vývoj imisí niklu v roce 2019**

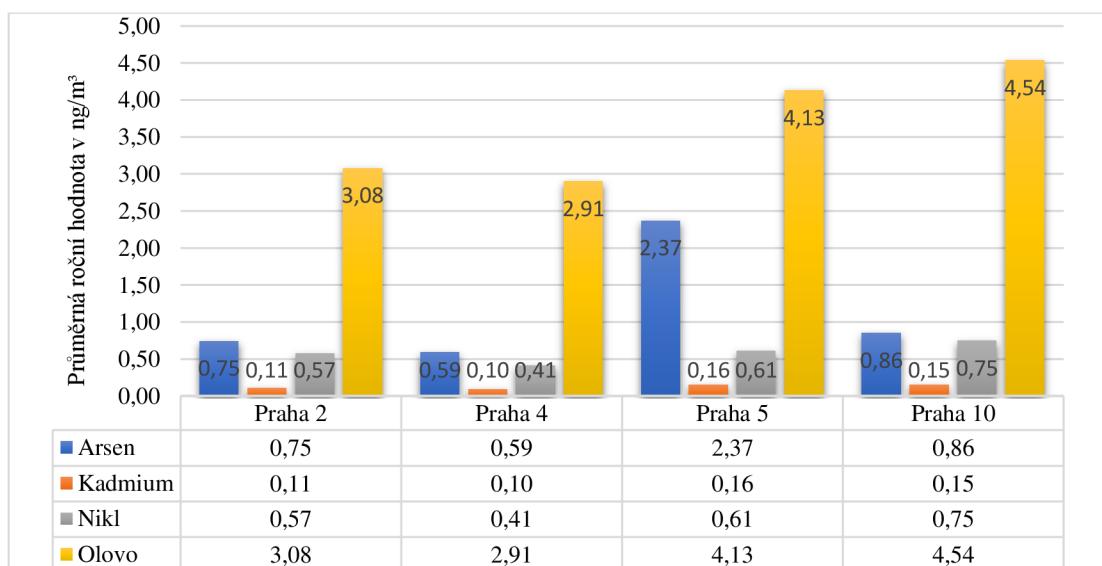


Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

### Vývoj znečištění v roce 2020

V roce 2020 bylo provedeno měření těžkých kovů také na čtyřech pražských stanicích (Praha 2, Praha 4, Praha 5 a Praha 10), kde byly zjišťovány imisní hodnoty u arsenu, kadmia, niklu a olova v PM10 částicích. Jak v předchozích letech nedošlo k žádnému překročení imisních limitů a podle grafu č. 14, ve srovnání s grafy předchozích let s průměrnou roční imisní charakteristikou, došlo k poklesu imisí u arsenu, kadmia, olova a lehký pokles byl i zaznamenán u niklu (ČHMÚ, 2022).

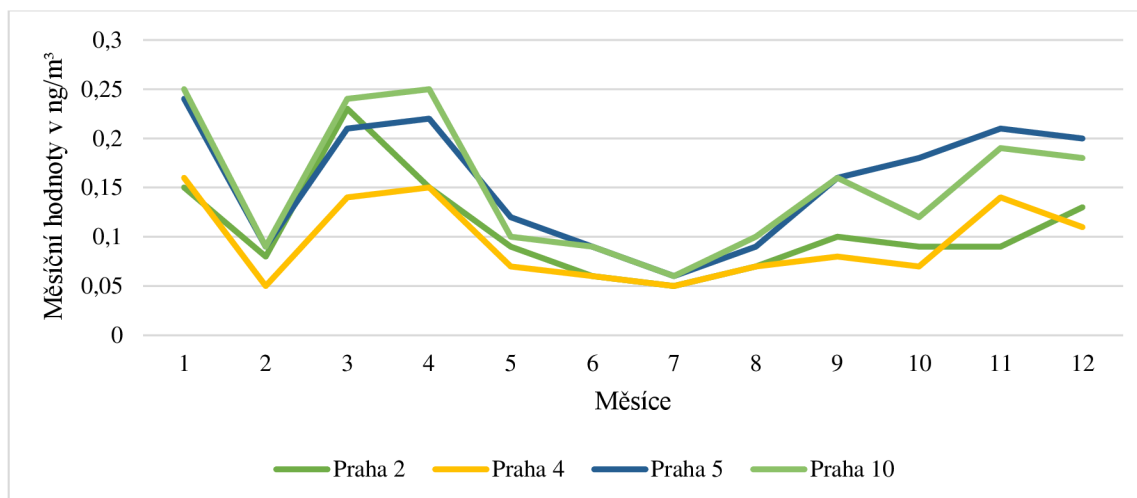
**Graf 14 Průměrné roční imisní charakteristiky 2020**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Emise ze sektoru veřejná energetika a výroby tepla byly nižší u arsenu i niklu v roce 2020. Průměrná koncentrace niklu je v poslední letech velice nízké na celém území České republiky a má setrvalý vývoj. U arsenu došlo i k poklesu emisí ze sektoru lokální vytápění domácností o 4,9 % celkového množství emisí. Sektor lokální vytápění domácností u niklu tvoří už od roku 2017 téměř polovinu celkového množství emisí. Mírný pokles emisí byl i u niklu v sektoru 2G – ostatní zdroje, kde je hlavním zdrojem emisí cigaretový kouř. V grafu č. 15 je znázorněn vývoj imisí kadmia v 2020, kde se nejvyšší hodnoty pohybují v jarních a zimních měsících (ČHMÚ, 2022).

**Graf 15 Vývoj imisí kadmia v 2020**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Koncentrace olova posledních letů klesají. V roce 2020 byl nepatrný nárůst v sektoru 2G – ostatní zdroje, kde je u olova hlavním zástupcem emisí ohňostroje a pyrotechnika. Malý pokles byl v roce 2020 v sektoru výroba železa a oceli z 20,4 % na 19,5 % celkového množství emisí (ČHMÚ, 2022).

Na tabulce č. 6 je přehled nejvyšších naměřených hodnot arsenu, kadmia, niklu a olova v období 2016-2020. Na tabulce č. 6 je u každého těžkého kovu upřesněna lokalita, měsíc a rok (ČHMÚ, 2022).

**Tabulka 6 Nejvyšší měsíční hodnoty v ng/m<sup>3</sup>**

Těžký kov	Nejvyšší měsíční hodnoty v ng/m <sup>3</sup>	Rok	Měsíc	Lokalita
Arsen	8.6	2019	2	Praha 5
Kadmium	0.9	2019	12	Praha 4
Nikl	4.5	2018	2	Praha 10
Olovo	14.2	2017	1	Praha 2

Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

## **Dopad znečištění**

Znečištění ovzduší je jedním z činitelů, který dokáže významně poškozovat lidské zdraví. Může způsobovat jak akutní formu onemocnění, tak i onemocnění, která se projeví až po dlouhodobé expozici škodlivé látky. Mezi nejčastější onemocnění způsobené znečištěním ovzduší patří onemocnění dýchací a oběhové soustavy (MŽP, 2022).

Negativní zdravotní účinky těžkých kovů závisí na jejich typu, chemické formě, na dávce a času vystavení. Kromě mnoha dalších faktorů hraje klíčovou roli v působení kovu v organismu toxikokinetika a toxikodynamika, které mohou vysoce ovlivňovat faktory jako stav valence, velikost částic, rozpustnost, biotransformace a chemická forma (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, 2012).

Působení částic na organismus je ovlivňováno jejich velikostí, tvarem a chemickým složením. Velikost částic má vliv na proniknutí a následné uložení částic v dýchacích cestách. Větší částice se dostávají do horních dýchacích cest, zatímco menší částice mohou proniknout ještě níže k dolním dýchacím cestám. Částice frakce PM10 pronikají k dolním dýchacím cestám a částice frakce PM2.5 se dostávají až do

průdušinek. Částice mohou narušovat sliznici dýchacích cest, ovlivňovat strukturu a funkci řasinkové tkáně, zvýšit produkci hlenu a snížit schopnost samoregulace dýchacích cest. Tyto účinky způsobené vdechováním aerosolových částic mohou ovlivňovat přirozenou obranyschopnost člověka a mohou vést k lehčímu vzniku infekce. Akutní zánětlivá onemocnění mohou po nějaké době přejít do chronické formy onemocnění průdušek, plic se zatížením pravé srdeční komory. Aerosolové částice jsou brány jako podstatný environmentální faktor ovlivňující úmrtnost. Aerosolové částice patří od roku 2013 do Mezinárodní Agentury pro výzkum rakoviny (IARC) Světové zdravotnické organizace (WHO), mezi prokázané lidské karcinogeny skupiny 1, přispívající ke vzniku rakoviny plic (MŽP, 2022).

Chronická otrava arsenem způsobuje nejvíce kožní problémy jako kontaktní alergický dermatitidy a ekzémy. Může dojít i k poškození nervového systému, které může vést k degeneraci optického nervu a poškození vestibulárního ústrojí. Dále může dojít k poškození trávicího ústrojí, cévního systému a krvetvorby. Při expozici niklu a jeho sloučenin dochází k poškození dýchacích cest a k vyvolání různé imunologické odpovědi. Kadmium má výjimečně dlouhý biologický poločas, který způsobuje nevratnou akumulaci kadmia, která zatěžuje ledviny a játra a může způsobovat jejich poškození. Kadmium má negativní dopady na reprodukci, kde ovlivňuje kvalitu spermií, kostní tkáň, imunitní a kardiovaskulární systém a může ovlivnit metabolismus ostatních kovů (MŽP, 2022).

## 4.2 Historie vs aktuální situace

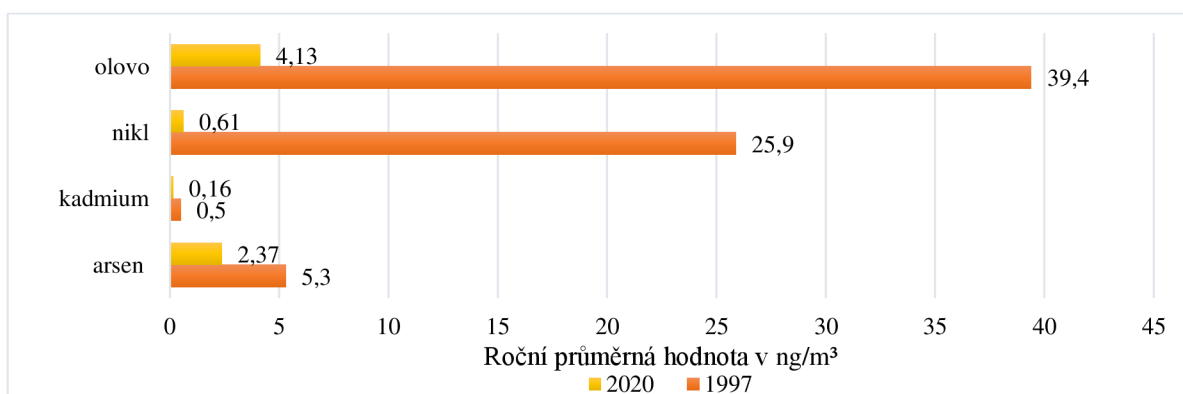
Už delší dobu dochází k poklesu emisí těžkých kovů. Velký podíl na tomto poklesu mají zavedené kroky v sektoru výroby železa a oceli, které vedly k značnému poklesu. Ke zlepšení v tomto sektoru především přispělo zavedení opatření v systému odprášení spékacích pásů aglomerace. K dalšímu technickému zlepšení došlo při výrobě skla, které také vedlo k poklesu emisí těžkých kovů (ČHMÚ, 2022).

Sledování znečištění ovzduší v České republice je prováděno od 50. let 20. století. Ústřední garantem v této době byla hygienická služba. Až s koncem 50. let přišla snaha o zlepšení ovzduší, do které se začlenil i Český hydrometeorologický ústav, to především výzkumem rozptylu znečištění v ovzduší. Znečišťování ovzduší bylo způsobené díky nekontrolovanému rozvoji průmyslu, které se projevilo v druhé

polovině padesátých let. Situaci ještě více zhoršila výstavba hnědouhelných elektráren. V 60. a 70. letech byl velký nárůst imisí související s realizací energetického programu na základě hnědého uhlí. Proti prašnosti se začaly využívat dvoustupňové odlučovače, které poměrně snížily prašnost hnědého uhlí. V 80. letech vrcholí znečištění ovzduší v České republice. Na významné znečištění ovzduší měl vliv i častý vznik inverzí. V této době bylo provedeno velkoplošné odtěžení lesů. Za znečištěním ovzduší stálo také lokální vytápění, doprava a dálkový přenos škodlivin. Znečišťování ovzduší se pomalu dostávalo do podvědomí lidí a zprávy o změnách zdravotního stavu populace zaznamenaly zvýšený výskyt alergií a onemocnění dýchacích cest především u dětí. V 90. letech byl na celém území České republiky zaznamenán značný pokles emisí znečišťujících látek, docházelo k tomu například díky odprášením hlavních zdrojů.

Dále pak díky změně skladby průmyslové výroby, dopravního parku a používaných paliv (Matoušková, 2022).

**Graf 16 Srovnání průměrných hodnot imisních koncentrací kovů na Praze 5 v letech 1997 a 2020**



Zdroj: (ČHMÚ, 2022)

Grafu č. 16 znázorňuje porovnání ročních průměrných hodnot arsenu, kadmia, niklu a olova na Praze 5 v Řeporyjích. Dle grafu je zřejmé, že v roce 1997 bylo znečištění ovzduší těžkými kovy razantně vyšší. Arsen měl v roce 1997 průměrnou hodnotu 2x vyšší než v roce 2020, kadmium mělo průměrnou hodnotu 3x vyšší, olovo mělo průměrnou hodnotu skoro 10x vyšší a nikl měl průměrnou hodnotu skoro až 43x vyšší v roce 1997 než v roce 2020. Tato bilance jen potvrzuje postupné zlepšení kvality ovzduší a snížení vypouštění emisí do ovzduší (ČHMÚ, 2022).

## 5 Diskuse a závěr

### Diskuse

Hodnoty imisních koncentrací těžkých kovů, ze kterých vychází závěry této bakalářské práce, jsou uváděny a vyhodnocovány jako měsíční a roční průměry. Vzhledem k tomu, že imisní limity pro hodnocené těžké kovy jsou stanoveny pouze jako roční průměry, lze s nimi porovnávat pouze takto zprůměrované hodnoty imisních koncentrací. Lze konstatovat, že veškeré hodnoty ročních průměrů čtyř hodnocených kovů naměřených na vybraných stanicích AIM v Praze v období 2016–2020 jsou významně podlimitní. Lze dodat, že i většína hodnot průměrných měsíčních koncentrací nedosahuje úrovní limitů pro roční průměry. Výjimkou je pouze nejvyšší hodnota průměrné imisní koncentrace arsenu ( $8,6 \text{ ng/m}^3$ ) naměřená v únoru 2019 na stanici v Praze 5 – viz Tabulka 6. Z hlediska celkového trendu v daném časovém období je zřejmé, že imisní zátěž vybranými těžkými kovy v hodnocených lokalitách hlavního města Prahy má mírně klesající a posledních dvou letech stagnující tendenci. Hodnoty měsíčních průměrů, které jsou ČHMÚ poskytovány samozřejmě nevypovídají o možných krátkodobých výkyvech, které teoreticky mohou např. s ohledem na aktuální dopravní a meteorologickou situaci v některých lokalitách reprezentovat i relativně vyšší hodnoty imisních koncentrací sledovaných kovů, nicméně tyto možné epizodní stavy jsou z hlediska imisních limitů reflektujících dlouhodobě průměrnou imisní zátěž přípustné.

Uváděné výsledky a jejich vyhodnocení reflektují reálnou situaci ve vybraných pražských lokalitách. Imisní zátěž těžkými kovy v jiných oblastech Prahy pak může být do jisté míry rozdílná, zejména pokud jde o lokality s extrémní dopravní zátěží.

### Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit vývoj znečištění ovzduší těžkými kovy v prachových částicích na území Prahy, zjistit hlavní zdroje tohoto typu znečištění a jeho dopad na lidské zdraví a životní prostředí.

Během pozorování nebylo zjištěno žádné překročení imisních limitů těžkých kovů na území Prahy. Průměrné roční hodnoty všech sledovaných těžkých kovů byly po dobu 2016-2020 téměř konstantní a docházelo jen k malým odchylkám mezi roky. Při

pozorování vývoje, ale bylo zjištěno, že se liší rozložení celkového množství emisí mezi sektory. Nejvyšší průměrné roční hodnoty mělo během pozorování vždy olovo a arsen. Naopak nejnižší průměrné roční hodnoty vykazovalo kadmium a nikl. Nejvyšší průměrné měsíční hodnoty u arsenu a kadmia byly zjištěny v roce 2019, zatímco u niklu v roce 2018 a u olova a roce 2017. Samotné nejvyšší měsíční hodnoty se mezi sebou liší podle sledovaného kovu a liší se i lokalita naměřených nejvyšších měsíčních hodnot.

Byl zpozorován razantní pokles emisí těžkých kovů za posledních 20 let, a to převážně z důvodu modernizací provozoven, zavedení opatření proti prašnosti a odstranění olovnatých benzinů. Byť jsou koncentrace těžkých kovů aktuálně podlimitní, je třeba je stále sledovat, kontrolovat jejich vývoj a vyhodnocovat možnosti stanovení případných opatření, která by snížila emise těžkých kovů.

Dopad na životní prostředí a lidské zdraví závisí na délce expozice a koncentraci těžkých kovů v ovzduší. Na proniknutí do organismu má hlavní roli velikost částic, na které je těžký kov navázán.

Na znečištění ovzduší těžkými kovy má velký vliv doprava. Praha má jako hlavní město České republiky rozsáhlou dopravní infrastrukturu a během pozorování vývoje znečištění těžkými kovy bylo zjištěno, že kontaminaci nezpůsobují jenom spalovací procesy motorů, ale velký podíl emisí vzniká i otěrem pneumatik a brzd.

Dle pozorovaného trendu je patrné, že na znečištění ovzduší těžkými kovy má velký podíl lokální vytápění domácností, veřejná energetika a výroba tepla. Emise z těchto sektorů jsou vyšší v zimních měsících. Nejvyšší koncentrace těžkých kovů v zimních měsících jsou jednoznačně zjištěny na Praze 5, které může ovlivňovat přítomnost Fakultní nemocnice Motol, která uvolňuje emise arsenu, kadmia, mědi, niklu, olova a rtuti. Na Praze 5 se nachází i spousta autoservisů a výtopyna Košíře.

Při pozorování bylo také zjištěno, že podíl na emisích některých těžkých kovů do ovzduší má i ohňostroj, pyrotechnika a kouření. Na území hlavního města Prahy probíhá každoročně velký novoroční ohňostroj, který může mít vliv na kvalitu ovzduší a jeho znečištění.



## 6 Přehled literatury a použitých zdrojů

ANDREOVSKÝ, Jan, HENELOVÁ, Vladimíra. ed. *Příručka ochrany kvality ovzduší*. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, 2013. ISBN 978-80-86832-77-7.

BARTOŇOVÁ, Alena. *Aktuální otázky znečištění ovzduší*. V Praze: Univerzita Karlova, [2004], 216 s. ISBN 80-239-2187-8.

BENCKO, Vladimír, CIKRT, Miroslav, LENER, Jaroslav. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. Vyd. 2., přeprac. a dopl., V Grada Publishing vyd. 1. Praha: Grada, 1995, 282 s. ISBN 80-7169-150-X.

BHATTACHARYA, Prosun, WELCH, Alan H., STOLLENWERK, Kenneth G., MCLAUGHLIN, Mike J., BUNDSCHUH, Jochen, PANAUULLAH, G., *Arsenic in the environment: Biology and Chemistry*. Science of The Total Environment, Volume 379, Issues 2-3, 2007, 109-120 s. DIO: 10.1016/j.scitotenv.2007.02.037.

BRANIŠ, Martin, HŮNOVÁ, Iva, ed. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

Český hydrometeorologický ústav. [03-03-2022]. Znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2017. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV6\\_TK\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV6_TK_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [06-03-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/1997\\_enh/CZE/kap\\_12/kap\\_12\\_top.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/1997_enh/CZE/kap_12/kap_12_top.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [14-03-2022]. Znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2019. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04\\_6\\_tezke\\_kovy\\_v3.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/04_6_tezke_kovy_v3.pdf)“

Český hydrometeorologický ústav. [15-03-2022]. Znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2020. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20\\_04\\_6\\_tezke\\_kovy\\_v3.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/20_04_6_tezke_kovy_v3.pdf)“

Český hydrometeorologický ústav. [19-02-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2020\\_enh/index\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/index_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [19-02-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2019\\_enh/index\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2019_enh/index_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [20-02-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2018\\_enh/index\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2018_enh/index_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [20-02-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2017\\_enh/index\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2017_enh/index_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [20-02-2022]. Souhrnný tabelární přehled. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2016\\_enh/index\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2016_enh/index_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [20-03-2022]. Historická data o stavu ovzduší. (online). „K dispozici zde: <https://www.chmi.cz/historicka-data/ovzdusi>“

Český hydrometeorologický ústav. [28-02-2022]. Zdroje znečištění za rok 2019. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/plants/praha\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/praha_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [28-02-2022]. Znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2016. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/IV6\\_TK\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/IV6_TK_CZ.html)“

Český hydrometeorologický ústav. [28-02-2022]. Znečištění ovzduší těžkými kovy v roce 2018. (online). „K dispozici zde: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.6.TK\\_CHM\\_U2018.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.6.TK_CHM_U2018.pdf)“

HAVEL, Milan, GAŽÁKOVÁ, Lucie, 2010. [12-02-2022] „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/olovo>“

HAVEL, Milan, VÁLEK, Petr, 2010. [13-12-2021]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/arsen>“

HAVEL, Milan, VEBR, Vít, PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, 2010. [13-02-2022]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/zinek>“

KLEGER, Ladislav, VÁLEK, Petr, 2010. [15-01-2022]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/nikl>“

MATOUŠKOVÁ, Leona, [15-02-2022]. Vývoj úrovně znečištění ovzduší: minulost, současnost. (online). „K dispozici zde: [http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar1/2\\_matouskova\\_a.pdf](http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar1/2_matouskova_a.pdf)“

Ministerstvo životního prostředí. [05-03-2022]. Informace o zdravotních rizicích spojených s kvalitou ovzduší v roce 2022. (online). „K dispozici zde: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita\\_ovzdusi/\\$FILE/000-zdravotni\\_rizika\\_2020-20220105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita_ovzdusi/$FILE/000-zdravotni_rizika_2020-20220105.pdf)“

Ministerstvo životního prostředí. [19-02-2022]. Informace\_kvalita\_ovzdusi\_2020. (online). „K dispozici zde: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita\\_ovzdusi/\\$FILE/000-Zprava\\_o\\_kvalite\\_ovzdusi\\_2020-20220105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kvalita_ovzdusi/$FILE/000-Zprava_o_kvalite_ovzdusi_2020-20220105.pdf)“

Ministerstvo životního prostředí. [19-02-2022]. Kvalita ovzduší. (online). „K dispozici zde: [https://www.mzp.cz/cz/kvalita\\_ovzdusi](https://www.mzp.cz/cz/kvalita_ovzdusi)“

PETRLÍK, Jindřich, PŘIBYLOVÁ, Jarmila, 2010. [14-01-2022]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/chrom>“

PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, 2010. [13-12-2021]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/kadmium>“

PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, 2010. [16-01-2022]. „K dispozici zde: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/mercury>“

SUCHARA, Ivan, SUCHAROVÁ, Julie, HOLÁ, Marie. *A quarter century of biomonitoring atmospheric pollution in the Czech Republic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. DOI 10.1007/s11356-015-5368-8.

TCHOUNWOU, Paul B, YEDJOU, Clement G, PATLOLLA, Anita K, SUTTON, Dwayne J. *Heavy Metals Toxicity and the Environment*. USA: NIH-RCMI Center for Environmental Health, College of Science, Engineering and Technology, Jackson State University, 2012, 133–164 s. DOI:10.1007/978-3-7643-8340-4\_6.

VOJTĚŠEK, Martin, MIKUŠKA, Pavel, VEČEŘA, Zbyněk. *Výskyt, zdroje a stanovení kovů v ovzduší*. V Brně: Chem. Listy 103, s. 136-144, 2009.