

# **Analýza kvality vybraných lokalit v městské zástavbě s ohledem na výskyt vybraných polutantů.**

Tomáš Hořeňovský

---

Diplomová práce 2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta logistiky a krizového řízení

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hořeňovský**

Osobní číslo: **L16360**

Studijní program: **N3953 Bezpečnost společnosti**

Studijní obor: **Bezpečnost společnosti**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza kvality vybraných lokalit v městské zástavbě s ohledem na výskyt vybraných polutantů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši k problematice znečištění městských lokalit těžkými kovy včetně relevantní legislativy.
2. Zaměřte se na popis klíčových polutantů a metodik pro jejich stanovení.
3. Zmapujte relevantní legislativu.
4. Experimentálně proveďte stanovení míry kontaminace těžkými kovy vzorky z různých oblastí městské zástavby a korelujte získaná data s terénním šetřením.
5. Získané poznatky přehledně zpracujte a diskutujte s dostupnými literárními zdroji.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] HÝLKOVÁ, Jaromíra, Renáta ŠELEŠOVSKÁ a Markéta TOMÁŠKOVÁ. Ekoanalýza I. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, 117 s. ISBN 978-80-7395-600-4.

[2] HARRISON. Pollution: Causes, Effects and Control. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2013, 1 online zdroj (579 pages). ISBN 9781680158106. Dostupné také z: [http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPCECE015/pollution\\_causes\\_effects\\_and\\_control\\_5th\\_edition](http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPCECE015/pollution_causes_effects_and_control_5th_edition)

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Vladimír Sedlařík, Ph.D.**  
Centrum polymerních materiálů

Datum zadání diplomové práce: **3. listopadu 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2018**

V Uherském Hradišti dne 10. listopadu 2017



L.S.

  
doc. RNDr. Jiří Dostál, CSc.  
děkan

  
prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.  
ředitel ústavu

## PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Beru na vědomí, že:

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti dne 2.8.2019

podpis studenta



<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy. Vysoká škola disertační práce nezveřejňuje, byla-li již zveřejněna jiným způsobem.

(2) Bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmožnění.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

(4) Vysoká škola může odložit zveřejnění bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce nebo jejich části, a to po dobu trvání překážky pro zveřejnění, nejdéle však na dobu 3 let. Informace o odložení zveřejnění musí být spolu s odůvodněním zveřejněna na stejném místě, kde jsou zveřejňovány bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce, již se týká odklad zveřejnění podle věty první, jeden výstisk práce k uchování ministerstvu.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše, přitom se přihlídnou k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1

## **ABSTRAKT**

Abstrakt česky

Diplomová práce je zaměřena na výzkum kontaminace pískovišť a půdy v Uherském Hradišti nebezpečnými polutanty. V teoretické části je provedena literární rešerše dostupných zdrojů, legislativní ustanovení ke kvalitě a ochraně půdy a pískovišť. Následně jsou popsány nebezpečné vlastnosti vybraných polutantů a způsob jejich zjištění v půdě. Praktická část práce popisuje odběr vzorků dle ISO normy a samotnou analýzu vzorků, které jsou zde zhodnoceny a diskutovány.

Klíčová slova:

Pískoviště, polutant, těžké kovy, kvalita, bezpečnost

## **ABSTRACT**

This Master thesis is focused on the research of contamination of sandboxes and soil in Uherské Hradiště with dangerous pollutants. The theoretical part contains literary research of available resources, legislative provisions on the quality and protection of soil and sandboxes. Then the hazardous properties of selected pollutants and the way of their detection in the soil are described. The practical part of the thesis describes sampling according to ISO standard and sampling analysis, which are evaluated and discussed.

Keywords:

Sandbox, Pollutants, Heavy Metals, Quality, Safety

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval paní RNDr. Evě Domincové Bergerové Ph.D. a panu doc. Ing. Vladimírovi Sedlaříkovi Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a vstřícné jednání, které mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovali.

Motto:

It's a big, big world.

Yet I'm happiest when I'm on an island that's only 40 miles from one side to the other.

Hawaii quote

# OBSAH

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE A LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ</b> .....  | <b>12</b> |
| 1.1 URBÁNNÍ PŮDY .....  | 12        |
| 1.2 OCHRANA PŮDY A PÍSKOVIŠŤ .....  | 13        |
| <b>2 NEBEZPEČNÉ POLUTANTY V PŮDĚ A PÍSKOVIŠTÍCH</b> .....   | <b>21</b> |
| 2.1 PŮDA.....   | 21        |
| 2.1.1 Kontaminanty v půdě .....   | 21        |
| 2.1.2 Organické kontaminanty .....  | 22        |
| 2.1.3 Anorganické kontaminanty .....  | 22        |
| 2.1.4 Radioaktivní kontaminanty .....   | 23        |
| 2.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ PŮDY.....  | 23        |
| 2.2.1 Chování a vlastnosti rizikových prvků v půdě a písku.....   | 23        |
| 2.3 TĚŽKÉ KOVY.....   | 24        |
| 2.3.1 Chrom (Cr).....   | 25        |
| 2.3.2 Měď (Cu).....   | 26        |
| 2.3.3 Olovo (Pb).....   | 26        |
| 2.3.4 Kadmium (Cd) .....  | 27        |
| <b>3 METODY STANOVENÍ TĚŽKÝCH KOVŮ V ANALYTU</b> .....  | <b>29</b> |
| 3.1 SPEKTROSKOPIE .....   | 29        |
| 3.1.1 Absorpční atomová spektrometrie .....   | 30        |
| 3.1.2 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS).....                               | 33        |
| 3.1.3 Rentgenofluoresenční metoda .....   | 34        |
| <b>4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....   | <b>37</b> |
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>5 ZKOUMANÁ LOKALITA – UHERSKÉ HRADIŠTĚ</b> .....   | <b>39</b> |
| 5.1 OBECNÉ INFORMACE .....  | 39        |
| 5.2 ZDROJE MOŽNÉHO ZNEČISTĚNÍ NA ÚZEMÍ MĚSTA UHERSKÉ HRADIŠTĚ.....                                      | 40        |
| <b>6 VZORKOVÁNÍ PŮD A PÍSKU</b> .....   | <b>42</b> |
| 6.1 MÍSTA ODBĚRU VZORKŮ.....  | 42        |
| 6.1.1 Postup odběru vzorků půdy.....  | 44        |
| 6.1.2 Postup odběru vzorků písku .....  | 45        |
| 6.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE, ZAŘÍZENÍ A CHEMIKÁLIE.....   | 48        |
| 6.3 MINERALIZACE VZORKŮ NA PŘÍSTROJI MARS 5 .....   | 48        |
| <b>7 STANOVENÍ MĚDI, CHROMU, KADMIA A OLOVA VE VZORCÍCH NA PŘÍSTROJI AGILLEN T DUO 240FS/240Z</b> ..... | <b>52</b> |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 7.1      | STANOVENÍ KADMIA (Cd) .....                    | 53        |
| 7.1.1    | Stanovení kadmia v písku .....                 | 54        |
| 7.1.2    | Stanovení kadmia v půdě .....                  | 54        |
| 7.2      | STANOVENÍ OLOVA (Pb).....                      | 56        |
| 7.2.1    | Stanovení olova v písku .....                  | 56        |
| 7.2.2    | Stanovení olova v půdě .....                   | 57        |
| 7.3      | STANOVENÍ CHROMU (Cr).....                     | 58        |
| 7.3.1    | Stanovení chromu v písku .....                 | 59        |
| 7.3.2    | Stanovení chromu v půdě.....                   | 60        |
| 7.4      | STANOVENÍ MĚDI (Cu) .....                      | 61        |
| 7.4.1    | Stanovení mědi v písku .....                   | 62        |
| 7.4.2    | Stanovení mědi v půdě .....                    | 63        |
| <b>8</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>                              | <b>65</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>          | <b>66</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b> | <b>74</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                    | <b>75</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                     | <b>76</b> |
|          | <b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>                      | <b>77</b> |

## ÚVOD

V dnešní době je mnoho látek v životním prostředí, které mají negativní vliv na člověka a na kvalitu jeho života. Na kontaminaci životního prostředí má největší podíl právě člověk samotný a jeho činnosti, které vykonává. K výraznější kontaminaci životního prostředí pomáhá rychlý rozvoj osobní a nákladní dopravy, průmyslu a hospodářská činnost, ve které se rozmohlo použití chemických hnojiv. K nejvýznamnějším kontaminantům životního prostředí, především půdy, patří těžké kovy. Naše společnost zná tyto kovy již několik stovek let a uvědomuje si jejich rizika jak na sebe samotné, tak na přírodu kolem nás. Nejvyšší koncentrace těchto látek nacházíme především v blízkosti průmyslných zón, dolů a silnic.

Kovy se do půdy dostávají depozicí z ovzduší nebo jako prachové částice, které se usadí na povrchu., nebo se tyto prachové částice naváží na kapky vody a v podobě deště se dostanou do půdy. Na míru koncentrace těžkých kovů v půdě má vliv typ půdy, pH a redoxní potenciál půdy.

Těžké kovy se z půdy, a nejen z ní, odstraňují velmi obtížně. Jsou biologicky neodebouratelné, perzistentní a velmi rychle a jednoduše se akumulují. Právě pro tyto aspekty jsou těžké kovy hrozbou pro celou propojenou sféru životního prostředí.

V současnosti dochází ve vyspělých zemích k legislativnímu opatření, které kladou důraz na snižování těžkých kovů v životním prostředí. Vytvářejí se i nové technologické postupy ve všech odvětví průmyslu. Tyto nové technologie si kladou za cíl tzv. zelenější provoz, kdy jsou postupně snižovány emise z průmyslu. Těmito kroky by mělo pomalu dojít ke zlepšení stavu životního prostředí.

Oblast Uherského Hradiště je v rámci běžného monitoringu monitorováno a analyzováno, ovšem posouzení kontaminace půd není až tak časté a pokud ano, jedná se téměř vždy pouze o analýzu zemědělské půdy. Tato práce tedy analyzuje lokality, které nejsou běžně monitorovány a pro tuto analýzu jsem vybral čtyři těžké kovy (kadmium, olovo, chrom a měď), které jsou měřeny na přístroji AAS.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE A LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ

## 1.1 Urbánní půdy

Stěhování populace z venkova do obcí a měst a přeměna venkova na města jsou důležitými důsledky nárůstu obyvatel v urbánních oblastech rozvinutých regionů. Urbanizace je způsob využití země, který vykazuje souhru osmi odlišných dimenzí (koncentrace, nepřetržitost seskupování, blízkost apod.).[55] Tato kumulace obyvatel ve městě vytváří rostoucí nároky na energetiku, dopravu a služby a tím se zvyšuje množství odpadů, kontaminantů a organických polutantů v ovzduší. Takto ovlivněné životní prostředí může negativně ovlivňovat lidské zdraví. [56]

První písemná definice urbánní půdy pochází z 19. stol. Od Ferdinanda Senfta, který zmiňuje nízkou úrodnost půd v urbánních, průmyslových a těžebních podmínkách vlivem toxické depozice.[57] O poznání modernější definici se postaral Burghardt v roce 1994, který popisuje urbánní půdy jako všechny půdy vyskytující se v urbanizovaných, průmyslových a vojenských prostorách, a půdy spojené s dopravou a těžbou nerostů. [58]

Funkce půdy v městských podmínkách je nejen ochrana vody a vzduchu ale i funkce rekreační a estetická. Půda plní celou řadu důležitých úkolů, jako je: retence, rozklad a imobilizace kontaminantů, zadržování vody a prachu z ovzduší, vyrovnání teplot apod. Kromě zastavěných ploch sem zde zařadit parky, lesoparky, stromové aleje, zahrady a brownfields. Brownfields jsou plochy využívané v minulosti k průmyslové či zemědělské činnosti a v důsledku toho může být půdy kontaminována nebo jinak znehodnocena.[59,60]

Problematikou ochrany a znečištění urbánních půd se zabývá *Metodický pokyn MŽP Indikátory znečištění*, který zpracovalo Ministerstvo životního prostředí v roce 2013. Tento metodický pokyn slouží k posuzování úrovně znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu na antropogenně znečištěných lokalitách. Smyslem indikátorů je indikace míst se zvýšeným obsahem chemických látek, kde může hrozit riziko pro lidské zdraví. Obecně platí, že v místech kde je koncentrace nižší než hodnoty indikátorů, není potřeba další analýzy. [73]

Tabulka 1 Přehled hodnot indikátorů znečištění zemin. [73]

|    | Látka                             | Registrační číslo CAS | ZEMINA                     |                |
|----|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
|    |                                   |                       | Průmyslově využívané území | Ostatní plochy |
|    |                                   |                       | mg/kg sušiny               |                |
| č. | <b>I. Kovy</b>                    |                       |                            |                |
| 1  | Stříbro                           | 7440-22-4             | 5 100                      | 390            |
| 2  | Arsen <sup>(1)</sup>              | 7440-38-2             | 2,4                        | 0,61           |
| 3  | Bór                               | 7440-42-8             | 200 000                    | 16 000         |
| 4  | Baryum                            | 7440-39-3             | 190 000                    | 15 000         |
| 5  | Berylium                          | 7440-41-7             | 2 000                      | 160            |
| 6  | Kadmium                           | 7440-43-9             | 800                        | 70             |
| 7  | Kobalt                            | 7440-48-4             | 300                        | 23             |
| 8  | Chrómov šestimocný <sup>(2)</sup> | 18540-29-9            | 5,6                        | 0,29           |
| 9  | Měď                               | 7440-50-8             | 41 000                     | 3 100          |
| 10 | Železo                            | 7439-89-6             | 720 000                    | 55 000         |
| 11 | Rtuť                              | 7439-97-6             | 43                         | 10             |
| 12 | Mangan                            | 7439-96-5             | 23 000                     | 1 800          |
| 13 | Molybden                          | 7439-98-7             | 5 100                      | 390            |
| 14 | Nikl                              | 7440-02-0             | 20 000                     | 1 500          |
| 15 | Olovo <sup>(3)</sup>              | 7439-92-1             | 800                        | 400            |
| 16 | Antimon                           | 7440-36-0             | 410                        | 31             |
| 17 | Selen                             | 7782-49-2             | 5 100                      | 390            |
| 18 | Cín                               | 7440-31-5             | 610 000                    | 47 000         |
| 19 | Vanad                             | -                     | 5 100                      | 390            |
| 20 | Zinek                             | 7440-66-6             | 310 000                    | 23 000         |

## 1.2 Ochrana půdy a pískovišť

Ochrana půd v České republice je ukotvena v Zákoně o ochraně zemědělského půdního fondu č. 334/1992 Sb. ve znění pozdějších právních předpisů. Na základě zákona je Zemědělský půdní fond základním bohatstvím naší země a nenahraditelným výrobním prostředkem pro zemědělskou výrobu, ze zákona plyne potřeba pečovat a chránit tento fond.[1]

Zemědělský půdní fond se do pěti tříd dle produkční schopnosti půdy. Nejhodnotnější půdy jsou zařazeny v první třídě, ty méně kvalitní v páté třídě. Na základě tohoto řazení by půda z první třídy měla být odebírána jen výjimečně.

Ochrana půdy se opírá o 4 základní pravidla:

- je zakázáno ohrožovat znečištěním půdy, zdravotní nezávadnost potravin nebo krmiv, zdraví lidí nebo zvířat,
- je zakázáno ohrožovat zemědělskou půdu erozí,
- je zakázáno užívat zemědělskou půdu k nezemědělským účelům bez souhlasu s odnětím z fondu,
- je zakázáno poškozovat fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti zemědělské půdy jejím zhutňováním, zamokřováním, vysoušením, překrýváním nebo narušováním erozí.

Pro činnosti nezemědělské povahy je nutno použít nezemědělskou půdu (půda svým složením nevhodná k zemědělskému obdělávání např. lesní pozemky, vodní plochy, již zastavěné plochy a ostatní plochy).[1]

V zákoně č.183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění zákona č. 68/2007 Sb., jsou stanoveny cíle územního plánování v § 18, kde se uvádí:

*(4) Územní plánování ve veřejném zájmu chrání a rozvíjí přírodní, kulturní a civilizační hodnoty území, včetně urbanistického, architektonického a archeologického dědictví. Přitom chrání krajinu jako podstatnou složku prostředí života obyvatel a základ jejich totožnosti.*

Ve stavebním zákoně nejsou uvedeny limity rizikových prvků obsažených v půdách odejmutých ze Zemědělského půdního fondu. V diplomové práci aplikuji limity uvedené ve vyhlášce č. 13/1994 Sb. o podrobnostech ochrany zemědělského půdního fondu i na půdu odebranou ze Zemědělského půdního fondu.

Limity kontaminace zemědělských půd jsou stanoveny ve vyhlášce Ministerstva životního prostředí č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy v příloze číslo 1.[61]

Tabulka 2 Obsah maximálně přístupných hodnot rizikových prvků v půdách zařazených do zemědělského půdního fondu.[2]

| Prvky     | lehké půdy [mg.kg <sup>-1</sup> ] | ostatní půdy [mg.kg <sup>-1</sup> ] |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Arsen     | 30                                | 30                                  |
| Beryllium | 7                                 | 7                                   |
| Kadmium   | 0,4                               | 1                                   |
| Kobalt    | 25                                | 50                                  |
| Chrom     | 100                               | 200                                 |
| Měď       | 60                                | 100                                 |
| Rtuť      | 0,6                               | 0,8                                 |
| Molybden  | 5                                 | 5                                   |
| Nikl      | 60                                | 80                                  |
| Olovo     | 100                               | 140                                 |
| Vanad     | 150                               | 220                                 |
| Zinek     | 130                               | 200                                 |

Vyhláška 13/1994 Sb. o podrobnostech ochrany zemědělského půdního fondu (Tabulka 2) byla novelizována v roce 2016 vyhláškou 153/2016 Sb. o stanovení podrobnosti ochrany kvality zemědělské půdy (Tabulka 3). V příloze číslo 1 této vyhlášky jsou stanoveny preventivní hodnoty pro výskyt rizikových prvků v půdách. Ve druhé příloze jsou stanoveny indikační hodnoty rizikových prvků v půdách, kdy by mohla být ohrožena zdravotní nezávadnost potravin nebo krmiv pokud by tyto hodnoty byly překročeny.

Tabulka 3 Preventivní hodnoty rizikových prvků v půdách.[3]

| Prvky     | lehké půdy [mg.kg <sup>-1</sup> ] | ostatní půdy [mg.kg <sup>-1</sup> ] |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Arsen     | 15                                | 20                                  |
| Beryllium | 1,5                               | 2                                   |
| Kadmium   | 0,4                               | 0,5                                 |
| Kobalt    | 20                                | 30                                  |
| Chrom     | 55                                | 90                                  |
| Měď       | 45                                | 60                                  |
| Rtuť      | 0,6                               | 0,3                                 |
| Nikl      | 45                                | 50                                  |
| Olovo     | 55                                | 60                                  |
| Vanad     | 120                               | 130                                 |
| Zinek     | 105                               | 120                                 |

V příloze číslo 3 novelizované vyhlášky je definováno jak postupovat při odběru vzorků, počet vzorků, hloubka odběru, hmotnost, uskladnění a následná příprava k analýze vzorků.[3]

Další legislativní ustanovení k problematice kontaminace půd je Zákon o hnojivech č. 156/1998 Sb. a zejména prováděcí Vyhláška č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (ve znění pozdějších právních předpisů). V příloze této vyhlášky jsou určeny pojmy „rizikový prvek“ a „riziková látka“. Za rizikové prvky označuje As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mo, Ni, Pb, V, Zn a Tl. Legislativní ustanovení se snaží omezit vniknutí těchto prvků do půd prostřednictvím limitních hodnot rizikových prvků ve vyhlášce č. 474/2000 Sb., ve znění pozdějších právních předpisů. Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb. definuje půdu jako jednu ze složek životního prostředí. Dle směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/35/ES o odpovědnosti za životní prostředí v souvislosti s prevencí a nápravou škod na životním prostředí je uvedeno, že by měla být přijata nezbytná opatření pro zajištění minimálně toho, aby byly dané polutanty odstraněny, kontrolovány, izolovány nebo sníženy, tak aby kontaminovaná půda již nepředstavovala riziko na lidský organismus.[54]

Jelikož tato diplomová práce se nezabývá pouze půdou ze zemědělského půdního fondu, ale i dětskými pískovišti, je zde potřeba uvést i legislativu týkající se právě těchto lokalit.

Ochrana venkovních hracích ploch je zakotvena v Zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Zde je uvedeno, že provozovatel venkovní hrací plochy určené pro děti je **povinnen** zajistit, aby písek nebyl mikrobiálně, chemicky a parazitně kontaminován nad hygienické limity. [4] Tyto limity jsou uvedeny v prováděcím právním předpisu č. 238/2011 Sb., kterým se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.



Tabulka 4 Hygienické limity pro vybrané indikátory mikrobiologického a parazitologického znečištění písku v pískovištích na venkovních hracích plochách. [5]

| Indikátorový mikroorganismus               | Jednotky    | Počet zkoušených vzorků při každé kontrole* |   | LIMIT            |
|--|-------------|---|---|------------------|
|  |             |   |   | (NÁLEZ/KTJ)      |
| <i>Geohelminți (živá stadia)</i>           | nález v 50g | 5   |   | negativní v 15 g |
| <i>Termotolerantní koliformní bakterie</i> | KTJ         | 5   | 1 | $< 10^3$         |
|  | v 1 gramu   |   | 4 | $< 50$           |
| <i>Enterokoky</i>                          | KTJ         | 5   | 1 | $< 10^3$         |
|  | v 1 gramu   |   | 4 | $< 50$           |

\*Z odebraných 5 vzorků musí minimálně stanovený počet vyhovět předepsaným limitům.

V tabulce č. 5 jsou uvedeny hygienické limity mikrobiálního a parazitárního znečištění písku užívaného ke hram dětí v pískovištích na venkovních hracích plochách určených pro hry dětí z přílohy č. 14 k vyhlášce č. 238/2011Sb.

Tabulka 5 Hygienické limity vybraných chemických prvků v pískovištích. [5]

| Prvek     | Limitní hodnoty vybraných prvků v pískovištích dětských hřišť v mg.kg <sup>-1</sup> sušiny |
|-----------|--|
|           | Celkový obsah  |
| Arsen     | 10   |
| Beryllium | 1,5  |
| Kadmium   | 0,5  |
| Kobalt    | 50   |
| Chrom     | 100  |
| Měď       | 100  |
| Rtuť      | 0,3  |
| Molybden  | 0,8  |
| Nikl      | 60   |
| Olovo     | 60   |
| Vanad     | 80   |
| Zinek     | 150  |

## **Zásady provozu volných hracích ploch**

Principy a zásady provozu venkovních hracích ploch k plnění požadavků daných zákonem č.258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění posledních předpisů a zákonem č.22/1997 sb., o technických požadavcích na výrobky ve znění posledních předpisů

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů stanovuje hygienické požadavky a vyhláška č. 238/2011 Sb., kterou se stanovují hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích.[5] Metodický pokyn Hlavního hygienika č. j. MZDR 35023/2004 HEM poskytuje základní hygienické požadavky pro provoz venkovních hracích ploch ve smyslu zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. V příloze tohoto dokumentu jsou uvedeny metody odběru vzorků písku, parazitologické a mikrobiologické stanovení ve vzorcích písku. Tento Metodický pokyn obsahuje: Výklad pojmů, Zásady provozu a státního zdravotního dozoru volných hracích ploch, Další zásady provozu a kontroly venkovních hracích ploch.

- Výklad pojmů
  - Pískoviště – ohraničená plocha s možností výměny písku, určená pro hraní dětí.
  - Písek – kopaný písek, který splňuje hygienické požadavky stanovené ve vyhlášce č. 238/2011 Sb.
  - Opatření pro zabránění nebo odstranění kontaminace písku a hracích ploch – nesespecifická opatření vedoucí k minimalizaci mikrobiologického znečištění, např. plot pro zabránění vstupu psů na pískoviště nebo zakrytí pískoviště.
  - Hygienické limity pro vybrané indikátory mikrobiologického, parazitologického a chemického znečištění písku ve smyslu přílohy č. 14 vyhlášky č. 238/2011 Sb.
  - Státní zdravotní dozor pískovišť venkovních hracích ploch – stanoven zákonem 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví ve znění pozdějších předpisů.

- Zásady provozu a státního zdravotního dozoru volných hracích ploch
  - o Venkovní hrací plocha s pískovištěm – minimální rozsah kontrol pískoviště stanovuje Krajské hygienické stanoviště. Je doporučeno provádět kontrolu minimálně jednou ročně, dle potřeby a podmínek provozu zařízení. Kontroluje se provozní řád pískoviště a samotné pískoviště - pokud je viditelně znečištěné, je proveden odběr písku k laboratornímu vyšetření.
  - o Kvalita písku – při překročení limitů ve vzorku písku (příloha č. 14. 238/2011 Sb.) je nutno požadovat nápravná opatření a současně zakázat provoz pískoviště do doby odstranění závad (zákon 258/2000 Sb.) [7]
  - o Provádění údržby písku – chemická desinfekce pískoviště není vhodná, je doporučeno provádět zahřívání, prosívání a překopání písku.
  - o Zakrytí pískoviště - zakrytí pískoviště musí být prováděno prodyšným materiálem. Neprodyšný materiál je nevhodný z důvodu růstu plísní v písku.
  - o Četnost výměny písku - výměna písku závisí na zatížení pískoviště a na lokalitě umístění pískoviště, je doporučeno provádět výměnu alespoň jednou ročně.

### **Vybavení dětských hřišť**

Technické normy ČSN EN 1176/2009 - *Norma bezpečnostní pro zařízení dětských hřišť* a ČSN EN 1177 - *Povrch hřiště tlumící náraz-bezpečnostní požadavky a zkušební metody* stanovují požadavky na zařízení a povrch dětských hřišť. Tyto normy jsou pouze doporučujícími, ale i přesto jsou uznávanými pravidly, která se vyvíjí řadu let dle statistik a poznatků z praxe. Pokud je bezpečnost hřišť zajištěna jiným způsobem, tak je možné se od těchto norem odchýlit. [9]

### **Zákon č. 86/2012 Sb., občanský zákoník**

Zákon č. 86/2012 Sb., občanský zákoník v ustanoveních o odpovědnosti za škodu uvádí, že každý je povinen chovat se tak, aby nezpůsobil škodu na zdraví, majetku, přírodě či životním prostředí. Každý je odpovědný za škodu, kterou způsobil porušením právních

předpisů. Provozovatel dětských hřišť je právně odpovědný za bezpečný provoz dětských hřišť. [8]

Děti tráví na hřištích podstatnou část svého volného času, proto je nutné, aby jejich vybavení neskrývalo žádná ohrožující nebezpečí. Mikrobiální, chemické či parazitární znečištění pískoviště představuje velké riziko, a proto jsou nastavené přísné limity a provádí se důkladná kontrola dětských pískovišť.

## 2 NEBEZPEČNÉ POLUTANTY V PŮDĚ A PÍSKOVIŠTÍCH

### 2.1 Půda

Půda je souhrnné označení pro velmi heterogenní soubor látek, které se nachází na pevném povrchu Země. Ochrana půdy, zejména orné, je potřeba věnovat mimořádnou pozornost. Půda ubývá zejména stavební činností, kde dochází k rozšiřování měst, či komunikací. V neposlední řadě k úbytku půdy dochází lidskou činností, kdy se do země dostávají organické a anorganické kontaminanty a tato půda je následně znehodnocena a není ji již jak využít.

Zvláštností půdy je omezená migrace látek, které jsou v ní obsažené. Znamená to, že každé lokální znečištění půdy se projeví ve větším měřítku až v budoucnosti. To vede k představě, že do půdy můžeme ukládat, nebo vypouštět jakékoliv odpady. Znečištění spodních vod je důkazem, že kapacita půdy má své limity, které se nedají beztrestně překračovat. Dekontaminace půdy představuje složitou a velmi nákladnou operaci, která v současnosti není ve větším měřítku zvládnutelná. [15]

#### 2.1.1 Kontaminanty v půdě

Půda představuje pro všechny živé organismy ať už přímo, nebo zprostředkovaně zdroj živin pro růst. Půda je součástí životního prostředí a jako taková plní řadu globálních funkcí sama o sobě, ale i ve vztahu k ostatním sférám životního prostředí, s kterým je propojena výměnou látek a energie. Půda má schopnost, podle svých specifických vlastností tlumit nepříznivé vlivy hospodaření, průmyslu a dopravy. Nejdůležitější funkce jsou:

- Filtrační – znečišťující látky jsou půdou mechanicky zadržovány. Zejména částice s velikostí pod 2  $\mu\text{m}$ , které jsou v půdě zadržované zejména při vsakování vody.
- Pufrovací – látky, které se vypařují a zejména látky rozpustné a škodlivé jsou imobilizované adsorpcí na půdu nebo tvoří nerozpustné sloučeniny. Vysoký obsah organické hmoty, jílu, oxidů železa a hliníku v půdě zvyšuje pufrovací schopnost této půdy.

- Transformační – určena zejména aktivitou mikrobiální složky. Škodlivé a toxické látky organické povahy mohou být činností bakterií mineralizované až na H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> nebo na další anorganické látky. [16]

Charakter půdy, jako suma vzorků, ve většině případů nedovoluje hovořit o globálním znečištění, ale pouze o lokální či plošné kontaminaci. Faktorem ovlivňující stanovení polutantů v půdě je velké množství látek, které se v půdě přirozeně vyskytují. Při izolaci polutantů jsou tyto látky z půdy uvolněné a přecházejí do frakce obsahující polutant. Ve většině případů je potřeba kontaminanty zkoncentrovat a získaný podíl i přečistit. [15]

Kontaminanty v půdě lze rozdělit na organické, anorganické a radioaktivní látky.

### **2.1.2 Organické kontaminanty**

V současnosti jsou nejčastějšími organickými kontaminanty insekticidy a herbicidy. Tyto látky byly a jsou používány v zemědělství na ochranu rostlin před škůdci. Rezistentní insekticidy či herbicidy můžeme nalézt téměř v každém vzorku půdy. V blízkosti ropovodů nebo zásobníků ropy může dojít k lokální kontaminaci ropnými produkty.[15] Dusíkaté látky a fosfáty zejména z hnojiv způsobují nepřirozenou eutrofizaci (obohacování vod a půdy o živiny). Dalším zdrojem fosfátů mohou být zejména prací prášky. Důsledkem je přemnožení planktonu a sinic a poté nedostatek kyslíku, který je spotřebován na tlení organické hmoty. Eutrofizaci lze omezit zejména čištěním odpadních vod a zabráněním splachů ze zemědělských půd.

### **2.1.3 Anorganické kontaminanty**

Anorganické kontaminanty se vyskytují v takovém měřítku, že jde spíše o plošné než lokální znečištění. Nejčastějším kontaminantem je olovo, které se vyskytuje v blízkosti měst a silnic. U silnic se silným provozem lze zvýšit obsah olova nalézt až 100 m od silnice. Dalšími častými kontaminanty je rtuť a kadmium, které se do půd dostávají v používaných přípravcích nebo jako mikrokomponenty hnojiv.[15]

K získání kovů z půdy je potřeba využít extrakce do vhodných rozpouštědel a zejména odstranit ze vzorků kameny či části rostlin.

#### 2.1.4 Radioaktivní kontaminanty

Radioaktivní znečištění půdy je indikované plutoniem, izotop  $^{239}\text{Pu}$  má dlouhý poločas rozpadu a vyskytuje se v místech, kde se manipuluje zejména s jaderným palivem.[15]

## 2.2 Chemické složení půdy

Chemické složení půdy je výsledkem antagonistického působení geologického a biologického koloběhu prvků. Geologický cyklus v našich podmínkách je ovlivněn zejména vnějšími geologickými vlivy. Následkem tohoto cyklu je odnos prvků, který je závislý na intenzitě vnějších vlivů. Rozdíl mezi geologickým a biologickým cyklem je ten, že biologický cyklus má za následek výnos minerálních látek směrem k povrchu.[17]

Zdroj v prvků půdě lze dělit na:

1. Přírozené – primární, jedná se zejména o nerosty, horniny a ložiska.
2. Přírozené – sekundární, jsou tvořené z přírodních procesů např.: prachové bouřky, sopečná činnost, atmosférické srážky.
3. Antropogenní – zejména imisní spady z průmyslové činnosti, spalovacích procesů a dopravy, aplikace kalů z čistíren odpadních vod či rybníčních sedimentů. [18]

Sledování obsahu prvků v půdě patří k hlavním faktorům, které pomáhají pochopit koloběh prvků v přírodě. Výzkum se zaměřuje na prvky, které mají dokazatelný význam pro život rostlin, živočichů a člověka.[15]

### 2.2.1 Chování a vlastností rizikových prvků v půdě a písku

Obsah toxických prvků v půdě, může vést ke změnám biologických, chemických i fyzikálních vlastností půdy. Za chemickou změnu lze považovat změnu pH, která negativně ovlivňuje život v půdě, působí na maceraci prvků a mění strukturu půdy samotné.[15]

Toxický vliv prvků se neprojevuje ihned po intoxikaci. Jen mírným zvýšením látky dochází k nepřímým změnám půdy, která může mít za následek celkové snížení úrodnosti půdy. Prvky, které jsou dobře rozpustné ve vodě, jsou lehce přijímané rostlinami, což vede ke zvýšenému obsahu těchto prvků v rostlinách.[19,20]

Setrvačnost rizikových prvků v půdě je poměrně delší než v atmosféře a hydrosféře, protože poločas rozpadu některých prvků v půdě je dlouhý a tím i stupeň přemývaní je nízký. Kontaminace povrchové vrstvy půdy úměrně roste s intenzifikací a využíváním chemických látek v průmyslu a zemědělství. V porovnání s hydrosférou a atmosférou je detoxikace půdy technicky velmi obtížná. Samočisticí schopnost půdy je nižší než u atmosféry či hydrosféry a k vzhledem na kumulativní účinek těžkých kovů musí být jejich hodnocení komplexní. Žádné dávky těžkých kovů, které mají rakovinotvorný účinek, nemohou být považované za bezpečné. Znečištění půdy těžkými je ve většině případů pouze lokální až bodové i když může docházet výjimkám tam, kde se ve větší míře používají průmyslová hnojiva. Toxicita těžkými kovy není stabilní, při vstupu kovů do půdy dochází k fyzikálně – chemickým změnám a prvek se zapojuje do biogeochemického koloběhu. V důsledku toho vzniká nebo zaniká množství dalších látek, které zvyšují pomalou akumulaci, která je pro půdu typická.[21,22]

Každý prvek má odlišný fyziologický význam a tím i různé stupně biotoxicity. Dělení dle biotoxicity je následující:[23]

1. Prvky s velmi vysokým stupněm potenciálního ohrožení. Mezi tyto prvky řadíme: Cd, Hg, Pb, Cu, Tl, Sn, Cr, Sb a Zn.
2. Prvky s vysokým stupněm potenciálního ohrožení. Mezi tyto prvky patří: Bi, U, Mo, Ba, Mn, Ti, Fe, Se, Bi, Te, Ni, Co a As.
3. Prvky se středním stupněm potenciálního ohrožení. Mezi tyto prvky patří: F, V, Rb, Li, Ge, In, B, Br a Cs
4. Prvky s nízkým stupněm potenciálního ohrožení. Mezi tyto prvky řadíme: Sr, Zr, Ta, La a Rb.

### **2.3 Těžké kovy**

Půda, atmosféra a voda patří mezi základní složky prostředí. Z hlediska zajištění nezávadných potravin a krmiv je půda a její úrodnost nejdůležitější. Látky, které lze označit, jako cizorodé se do půdy mohou dostávat zemědělskou činností, nebo z nezávislých zdrojů. Škodlivé látky, které se do půdy dostávají, jsou zejména toxické prvky a pesticidy. Nejnebezpečnější z hlediska ekologie jsou olovo, kadmium, arzen a rtuť. Z hlediska hygieny pů-



dy jsou vytvořeny normy, které stanovují přípustné hodnoty těchto prvků v půdě. Tyto definované hodnoty zamezují nadměrnému vstupu nebezpečných prvků do potravinového řetězce. [22]

Sledované prvky vstupují do půdy různými cestami, např.: chemické pesticidy, kaly z čistíren odpadních vod, emise z průmyslových a energetických zdrojů, imise z dopravy.

### 2.3.1 Chrom (Cr)

Je světle bílý, lesklý, velmi tvrdý a zároveň křehký kov, který byl objeven v roce 1797. Chrom je nejtvrdějším elementárním kovem s velmi nízkou reaktivitou. Atomové číslo chromu je 24, relativní atomová hmotnost chromu je 51,996, bod tání 1903,85 °C a bod varu 2670,85 °C. Chrom se relativně hojně vyskytuje v přírodě zejména společně s železem (chromit).

Biologické účinky chromu jsou závislé na mocenství, ve kterém se do organismu dostává. Trojmocný chrom je považován za prospěšný pro lidský organismus, zatímco šestimocný chrom je potencionální karcinogen. Trojmocný chrom se přirozeně vyskytuje v potravinách, zejména v melase, pивě, třtině apod. Nejnebezpečnějším účinkem chromu na lidský organismus je jeho karcinogenita, která hrozí u osob dlouhodobě exponované šestimocnému chromu. Akutní vystavení šestimocnému chromu způsobuje zánět kůže – chromové vředy. Chrom je klasifikován jako lidský karcinogen. [37] LD50 pro chrom se pohybuje mezi 50 až 150 mg.kg<sup>-1</sup>. V těle je šestimocný chrom redukován několika mechanismy na třímocný chrom již v krvi - tedy předtím, než může vstoupit do buněk. Akutní toxicita šestimocným chromem je způsobena jeho oxidačními vlastnostmi, které poškozují krevní buňky. Výsledkem poškození krevních buněk jsou hemolýzy a následné selhání ledvin.[68]

Chrom se využívá při výrobě legované oceli, kde zlepšuje její vlastnosti (tvrdost a odolnost). Dále se používá v chirurgických nástrojích, potravinářském průmyslu a při výrobě vodních turbín. Do organismu se chrom dostává zejména z pitné vody a ovzduší, které mohou být znečištěny průmyslovým odpadem. [38]

V půdě se podstatná většina chromu vyskytuje v málo pohyblivé formě  $\text{Cr}^{3+}$  vázaných na oxidy železa a hliníku. Mobilita chromu je závislá na půdní reakci, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílu a oxidačně redukčním potenciálu půdy. [39]

### 2.3.2 Měď (Cu)

Měď patří k nejstarším kovům, které lidstvo zná a používá pro svůj prospěch. V živých organismech byla objevena již před více jak 170 lety. [24,25] Atomové číslo mědi je 29 a její relativní atomová hmotnost činí 63,546. Teplota tání je 1084 °C a bod varu 2562 °C. Měď se vyznačuje velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, velmi dobře se zpracovává, tzn. je kujná. Měď je součástí mnoha slitin a je mimořádně důležitá pro elektrotechniku.

Měď se podílí na tvorbě enzymů, chrání tkáň před poškozením volnými radikály a napomáhá prevenci rakoviny a srdečních chorob. [24] Doporučená denní dávka mědi pro dospělou osobu je 2 – 3 mg/den (příjem více jak 5 mg/den je považován za toxický). [25,27] Do lidského organismu se dostává konzumací vnitřností, mořských plodů, ořechů, čokolády, luštěnin apod. [26] Nadbytek mědi při perorálním požití se projevuje průjmem a vomitem, následně s dalším příjmem mědi dochází k poškození jater a ledvin, a až k smrti jedince.[27] U myši je LD 50 30 mg.kg<sup>-1</sup>, pro člověka jsou potencionálně letální gramové dávky.

Do životního prostředí se měď dostává zejména činností člověka – důlní průmysl, zemědělství (součást pesticidů), zpracování pevného odpadu a kalu z ČOV. [28]

### 2.3.3 Olovo (Pb)

Olovo je namodralý, lesklý a měkký kov vyskytující se běžně v malých koncentracích v zemské kůře. Člověku je olovo známé více jak 3000 let. [29] Olovo je nerozpustné ve vodě, ale dobře se rozpouští kyselině chlorovodíkové. Atomové číslo olova je 82 a jeho relativní atomová hmotnost činí 207,2. Teplota tání je 327 °C a bod varu 1749 °C. Tak jako měď i olovo je součástí mnoho slitin a dodnes se používá ke spojování předmětů – pájky.

V lidském těle nemá olovo žádnou fyziologickou úlohu. Po požití olova dochází k jeho ukládání do kostí (90%), jater a ledvin. Koncentrace olova již od  $100 \mu\text{g.l}^{-1}$  v krvi, negativně působí na nervový systém, krev a ledviny. Mezi příznaky zvýšeného olova v krvi a kostech lze zařadit: pokles IQ, zvýšený práh slyšení, anémie, zvýšení krevního tlaku, poruchy metabolismu vitamínu D apod. [30]

Negativní vliv olova na zdraví lidí je dlouhodobě sledován. Olovo může ovlivňovat krvetvorný a nervový systém, ledviny, imunitní mechanismy, trávicí a reprodukční systém. Ve vyšších dávkách se olovo hromadí v kostech, játrech a ledvinách. Dlouhodobá expozice nízké koncentraci olova může vést k poruše chování (hyperaktivita) a to zejména u dětí. [42] LD50 u olova je pro člověka  $450 \text{ mg.kg}^{-1}$ . [69]

Do životního prostředí se olovo dostalo zejména v minulém století, kdy bylo přidáváno do benzínu, barev, při výrobě skel, použitím fosforečných hnojiv, díky své geochemické mobilitě je olovo rozšířeno téměř po celém světě. [31] Olovo v půdě vykazuje nízkou mobilitu, a je tedy pevně vázáno v horní vrstvě půdy. [32]

#### **2.3.4 Kadmium (Cd)**

Kadmium je vzácný kovový prvek stříbrné barvy s atomovým číslem 48 a relativní atomovou hmotností 112,411. Teplota tání je  $321,07 \text{ }^\circ\text{C}$  a teplota varu  $767 \text{ }^\circ\text{C}$ . Za normálních podmínek je kadmium stálé a ve vodě nerozpustné. Ve volné přírodě se kadmium vyskytuje jako příměs zejména v zinkových rudách. Tak jako ostatní prvky tak i kadmium nemůže být degradován, proto představuje dlouhodobou hrozbu pro životní prostředí. [62]

Dlouhodobým pozorováním bylo zjištěno, že se kadmium chová jako kumulativní jed a při dlouhodobé expozici mohou vznikat rakovinové buňky. U živočichů se kadmium hromadí zejména v játrech a ledvinách. Člověk se může snadno intoxikovat při požití ryb, jater, ledvin či obilnin. Průměrný denní příjem kadmia v neznečištěných oblastech je přibližně  $10 - 40 \mu\text{g}$  za den, v kontaminovaných oblastech se jedná o stovky  $\mu\text{g}$  za den. [65] LD50 pro kadmium je při orálním podání  $0,3 - 8,9 \text{ g}$ . V lidském organismu se kadmium akumuluje nejčastěji v ledvinách. Mezi známky chronické expozice patří například anémie, chronická rýma, poškození zrakového nervu, žlutá pigmentace zubů, rozedma plic a onemocnění ledvin. Nejznámějším případem chronické intoxikace je nemoc itai-itai (vznik

kostních fraktur). Nemoc byla popsána v Japonsku podél řeky Jinzu, do které vypouštěla odpadní vody ocelářská společnost Kamioka Mining. [66,67]

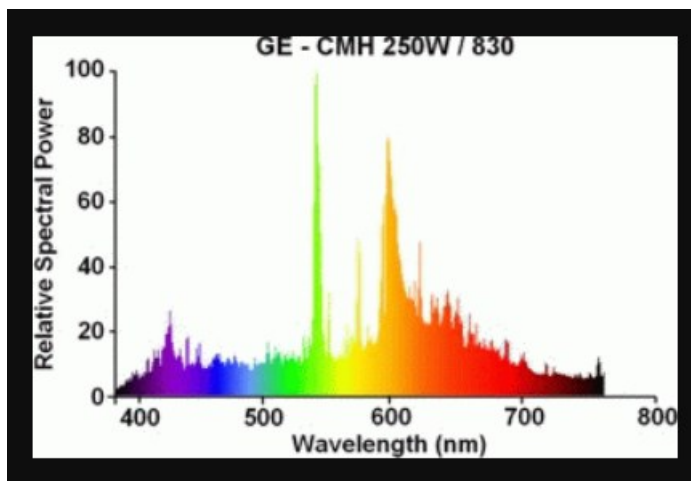
Kontaminace půdy kadmíem se zvyšuje zejména s jeho používáním v průmyslovém odvětví, a v minulosti s používáním kadmia v hnojivech. Ke kontaminaci životního prostředí nejvíce přispívají slévárny kovů, výroby plastů, výroba baterií a zejména spalování fosilních paliv a olejů. Kadmium z těchto zdrojů se akumuluje v půdě a vodě odkud vstupuje do potravinového řetězce. [63,64]

### 3 METODY STANOVENÍ TĚŽKÝCH KOVŮ V ANALYTU

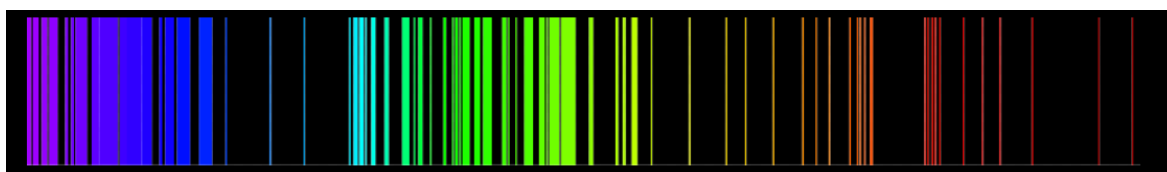
Ke stanovení těžkých kovů v analytu je možno použít mnoho metod, které se liší mezi detekce, náročností na provedení a přístrojové vybavení.

#### 3.1 Spektroskopie

Spektroskopie se zabývá vznikem a vlastnostmi spekter (záření). Metoda je založena na principu vzájemného působení elektromagnetického záření a zkoumaného vzorku. Dochází zde k výměně energie, zkoumaná látka záření pohlcuje nebo vyzařuje, spektrometrie měří absorpce a emise různých vlnových délek.



Obrázek 1 Emisní spektrum halogenové lampy [71].



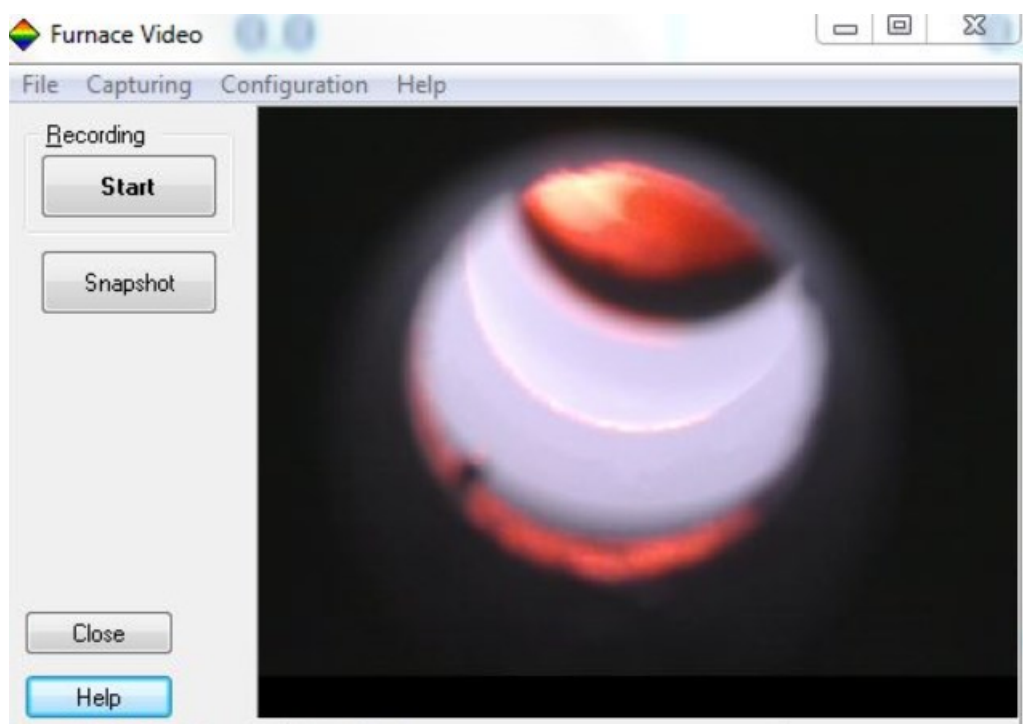
Obrázek 2 Emisní spektrum železa [70].

Historie spektrometrie sahá do sedmnáctého století - nové objevy v optice umožnily systematické pozorování slunečního spektra. Počátkem osmnáctého století provedl Joseph von Fraunhofer experimenty s disperzními (disperze = rozklad, rozptyl) spektrometry, které umožnily spektroskopii stát se přesnější a kvantitativní vědeckou technikou v chemii, fyzice a astronomii. [52]

### 3.1.1 Absorpční atomová spektrometrie

První použití metody AAS proběhlo v roce 1802 Wiliamem Hydem, který pozoroval absorpční čáry ve slunečním spektru. První využití této metody k analýze vzorku učinil Alan Walsh v roce 1953. [43]

**Hlavním principem** metody je absorpce elektromagnetického záření volnými elektrony v plynném stavu, které vznikají v atomizátorech. Volné atomy v plynném stavu absorbují fotony určité energie. Úbytek primárního záření je mírou koncentrace volných atomů prvku, který záření absorboval. Atomizátory jsou nejčastěji plameny nebo elektricky vyhřívané grafitové trubice. AAS se řadí mezi nejpoužívanější analytické metodu, kterou lze stanovit více než 60 prvků, kovových prvků a metaloidů.[43]

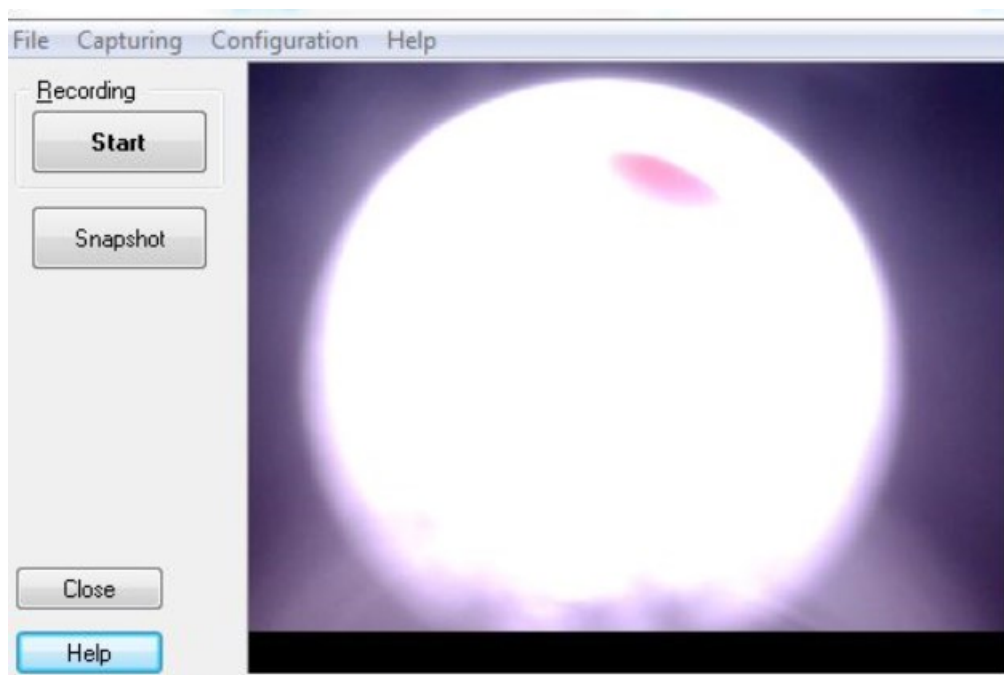


Obrázek 3 Kamerový snímek kyvety krátce před atomizací vzorku [Zdroj: Vlastní].

Nejvhodnějším materiálem pro analýzu jsou roztoky ve zředěných minerálních kyselinách, zředěné biologické tekutiny a suspenze tuhých vzorků.[46]

V praktické části diplomové práce, při měření vzorků je použit přístroj s elektrotermickou atomizací – jedná se o grafitovou kyvetu ve tvaru trubičky. Při této metodě se dávkuje velmi malé množství vzorku (10 – 40  $\mu\text{l}$ ) do speciální miniaturní odporové

zahříváné kyvety. Vzorek se může dávkovat na stěny kyvety, na platformu či přímo na sondu. Atomizace probíhá postupným ohřevem kyvety procházejícím elektrickým proudem. Výhodou této metody je, že se na absorpci primárního záření podílí celé nadávkované množství vzorku.



Obrázek 4 Probíhající atomizace vzorku v kyvetě [Zdroj: Vlastní].

Absorpce záření jinými složkami absorpčního prostředí než atomy analytu je mnohdy řádově vyšší než absorpce analytu a je základním rušivým vlivem zejména u grafitové kyvety. Pro separaci analytického signálu od pozadí je možné použít dva základní principy:

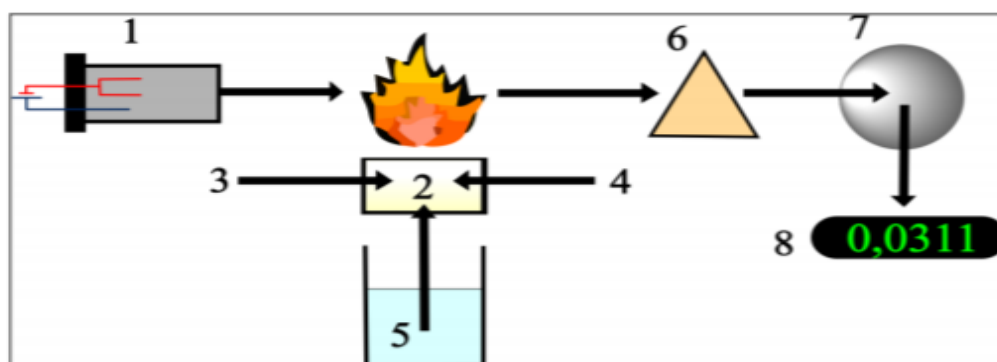
- Změření absorpčního spektra a ze spektra odečíst hodnotu absorpce analytu.
- Periodickou změnou optických vlastností měřícího záření nebo atomů analytu tak, aby se měnil definovaně poměr absorpce analytu k pozadí a ze získaného signálu vypočíst hodnotu absorpce analytu.

### **Metody korekce pozadí v AAS**

**Metoda slepého pokusu** – provede se měření slepé zkoušky na rezonanční linii měřeného prvku a pak se změří vzorek (za stejných podmínek). Hodnoty absorbancí se odečtou a rozdíl se slepým pokusem se považuje za absorbanci zkoumaného prvku.

**Metoda měření na dvou liniích** – využívá měření na dvou málo rozdílných vlnových délkách. První měření se provede na primární vlnové absorpční linii měřeného prvku (absorbance prvku i absorbance neatomického druhu). Druhé měření se provede na blízké vlnové délce, které neabsorbují měřený prvek, ale pouze neatomické druhy. Rozdílem je dána absorbance hledaného prvku.

**Zeemanova metoda korekce pozadí** - Tento systém používá velmi intenzivní magnetické pole, které rozšíří buď emisní záření zdrojové lampy, nebo absorpční spektrum vzorku. Tento způsob korekce pozadí umožňuje měření absorpčního signálu velmi blízko u atomové absorpční linie. Korekce s využitím Zeemanova jevu využívá změnu atomových emisních nebo absorpčních profilů atomů v magnetickém poli. Nevýhodou je snížení citlivosti a nejednoznačné koncentrační závislosti díky nedostatečné monochromatickosti záření měřící výbojky.[72]



Obrázek 5 Schématické uspořádání absorpčního atomového spektrometru [44]. 1 – zdroj světla, 2 – atomizátor, 3 – palivo, 4 – oxidant, 5 – vzorek, 6 – monochromátor, 7 – detektor, 8 – vyhodnocovací zařízení

- Jako zdroj záření se nejčastěji využívají výbojky s dutou katodou nebo bezelektrodové katody. V současnosti se uplatňují i superlampy a polovodičové laditelné laserové diody. [45]
- Atomizátor převádí vzorky do formy volných atomů za pomoci vysoké teploty. Fotony dopadající na tyto atomy způsobují jejich excitaci. Atomizátory se podle způsobu atomizace dělí na plamenové, elektrotermické a pro atomizaci těkavých sloučenin. Každý



způsob atomizace má své přednosti i nedostatky, ze kterých vyplývá rozsah použití jednotlivých technik ke stanovení určitého prvku.

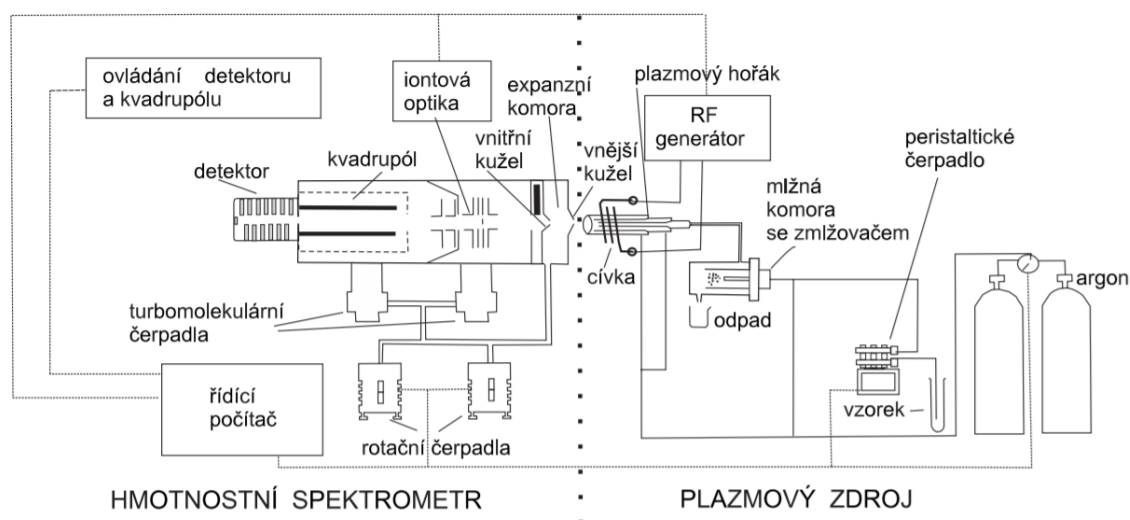
- Monochromátor slouží k izolaci požadovaného intervalu vlnové délky s absorpční rezonanční čarou stanoveného prvku.
- Detektor slouží k zachycení záření, které prošlo monochromátorem. Nejčastěji se zde uplatňují fotonásobiče, které jsou tvořeny z katody, anody a soustav dynod.

Výhodou absorpční atomové spektrometrie je, že lze stanovit prvky bez předcházející separace.

### 3.1.2 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)

První použití metody ICP-MS pochází od profesora Sama Houka, který ji použil na univerzitě v Iowě (USA) v roce 1980. [47] Přístroje byly vyvinuty ze dvou technologií – argonové ICP a kvadrupólového hmotnostního spektrometru. První přístroje byly velmi přesné, ale měly několik nedostatků (drahé, objemné, složité, omezeně automatizované).

Základními částmi ICP-MS přístroje je plazmový zdroj, expanzní komora a hmotnostní spektrometr tvořeny iontovou optikou, kvadrupólem a detektorem. ICP-MS technika umožňuje analyzovat téměř všechny prvky periodické tabulky – od lithia po uran s citlivostí od jednotek ppt až po stovky ppm.



Obrázek 6 Schématický náčrt ICP-MS [48].

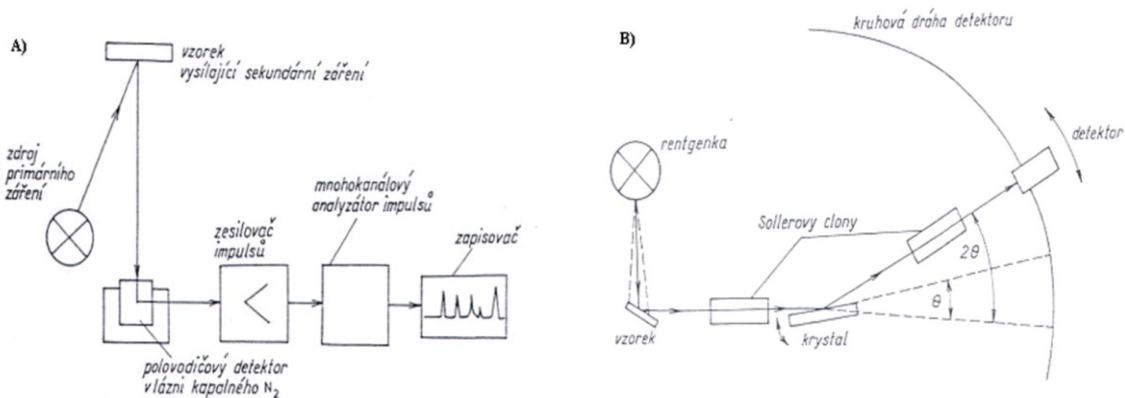
**Princip metody** – roztok analytu je zmlžen a vzniklá mlha je proudem argonu vedena do hořáku, ve kterém je udržováno argonové plazma o teplotě 6000 – 10000 K. V těchto podmínkách se rozpouštědlo odpaří a zaniknou chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Jednotlivé volné atomy vytvoří kladně nabitě ionty  $Me^+$ , které jsou vedeny do přechodové komory, kde je tlak snížen na přibližně 0,01 Torru. Po průchodu do detektoru klesá tlak na  $10^{-5}$  Torru a ionty se systémem elektromagnetických čoček dostávají do kvadrupólového detektoru. Zde jsou analyzované ionty vedeny tak, aby dopadaly na povrch zesilovače v daném časovém okamžiku pouze ionty se zvolenou hmotností. Dopadem vzniká elektrický proud, který je zesílen a změřen. Výpočetní program převede naměřená data na koncentrační data a výsledkem jsou údaje o koncentraci měřených prvků v analytu.

Nevýhodou techniky ICP-MS jsou vysoké náklady (cena přístroje, klimatizovaná laboratoř, vysoké nároky na čistotu) a nutnost vysokého stupně naředění vzorku.

### 3.1.3 Rentgenofluoresenční metoda

Tato spektrometrie je jednou z nejpoužívanějších aplikací atomové spektroskopie subvalenčních elektronů v běžné analytické praxi. První komerční využití metody měřící disperzi vlnové délky bylo dostupné v padesátých letech dvacátého století. Metoda využívající disperzi energie byla běžně dostupná až v sedmdesátých letech. [50]

Přístroj pro XRF zjednodušeně sestává ze zdroje ionizačního záření, vzorku, monochromátoru a detektoru rentgenového záření. Zdroj ionizačního záření je nejčastěji rentgenové záření z rentgenky či elektronový paprsek při spojení s elektronovým mikroskopem. Další částí spektrometru je u vlnově – disperzních přístrojů monochromátor, u energo – disperzních přístrojů přebírá tuto funkci přímo detektor.[49] Touto metodou lze měřit prvky od s protonovým číslem větším než 5, ovšem čím je prvek těžší tím je metoda citlivější. Hlavní výhodou přístroje je rychlá nedestruktivní analýza pevných vzorků (vzorek může být v jakémkoliv skupenství). Přesnost metody závisí na úpravě vzorků a na kvalitě kalibrace (od jednotek ppm).



Obrázek 7 Schématický náčrt A) energo – disperzního a B) vlnově – disperzního spektrometru. [51]

**Princip metody** – ionizace atomů vzorku primárním rentgenovým zářením dopadajícím na analyt. Při dopadu záření na analyt dochází k vyražení elektronů z vnitřních valenčních orbitalů a k přeskokům elektronů z vyšších hladin na vzniklá volná místa, za současného vyslání charakteristického fluorescenčního rentgenového záření. Výstupem je čárové spektrum, ve kterém je zobrazen počet pulsů za sekundu pro příslušné vlnové délky (energie).

Tabulka 6 Porovnání jednotlivých měřících přístrojů. [74]

| <b>Metoda</b> | <b>Detekční limit</b> | <b>Požadavky na úpravy vzorku</b>    | <b>Klady</b>   | <b>Zápory</b>   |
|---------------|-----------------------|--------------------------------------|--|---|
| AAS           | ppm                   | - vzorek musí být dokonale rozpuštěn | - vysoká selektivita,<br>- snadné ovládaní.<br>- nízké investiční a provozní náklady | - obvykle není možná multi-elementární analýza              |
| ICP - MS      | ppb- ppm              | - minimální požadavky na úpravu      | - rychlá multi-elementární analýza<br>- stanovení kovů i nekovů                      | - cena přístroje,<br>- vysoké nároky na čistotu laboratoře. |
| XRF           | < 1 ppm               | - minimální požadavky na úpravu      | - rychlá analýza vzorků  | - méně přesná metoda.                                       |

## 4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Těžké kovy představují významné riziko pro životní prostředí i člověka samotného. Monitoring těžkých kovů je podle současné legislativy soustředěn pouze na zemědělskou půdu. V městských zástavbách není stanoven jejich limit, ale je vydán „*Metodický pokyn MŽP Indikátor znečištění*“ z roku 2013, který stanovuje indikátory znečištění a při jejich překročení může hrozit riziko poškození lidského zdraví.

Cílem této práce je zhodnotit kontaminaci urbánních půd a dětských pískovišť v Uherském Hradišti z pohledu obsahu vybraných těžkých kovů s ohledem na konkrétní vybrané lokality, které byly vybrány se zaměřením na přítomnost hustého dopravního provozu či blízkosti průmyslových závodů pracujících s těžkými kovy.

Pro naplnění vytyčených cílů budou v experimentální části realizovány následující aktivity:

- Analýza rizikových lokalit a vytvoření vzorkovacího plánu
- Odběr vzorků
- Kvantitativní stanovení vybraných těžkých kovů
- Vyhodnocení a diskuze výsledku v kontextu stanovených cílů

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ZKOUMANÁ LOKALITA – UHERSKÉ HRADIŠTĚ

### 5.1 Obecné informace

Uherské Hradiště je město v jihovýchodní části České republiky ležící v jižní části Zlínského kraje. Od krajského města Zlín je vzdáleno 23 km. V samotném městě žije 25 246 obyvatel [10]. Uherské Hradiště, Kunovice a Staré Město tvoří aglomeraci s více jak 38 tisíci obyvatel.

Město je vystavěno na územní rovině ve výšce 178 - 180 metrů nad mořem, která vznikla naplaveninami z řek Moravy a Olšavy. Nejvyšším bodem na katastru města je rozhledna Rovnina s kótou 230 m n. m. Celkově se Uherské Hradiště rozkládá na ploše 2 125,7 ha. Z toho je 996,1 ha tvořenou ornou půdou, 27 ha vinice, 187,4 ha ovocné sady, 135,9 ha trvalé travní porosty, 42,7 ha lesní půdy, 40,5 ha vodní plochy, 157,2 ha zastavěné plochy a 511,5 ha ostatní plochy.[11]

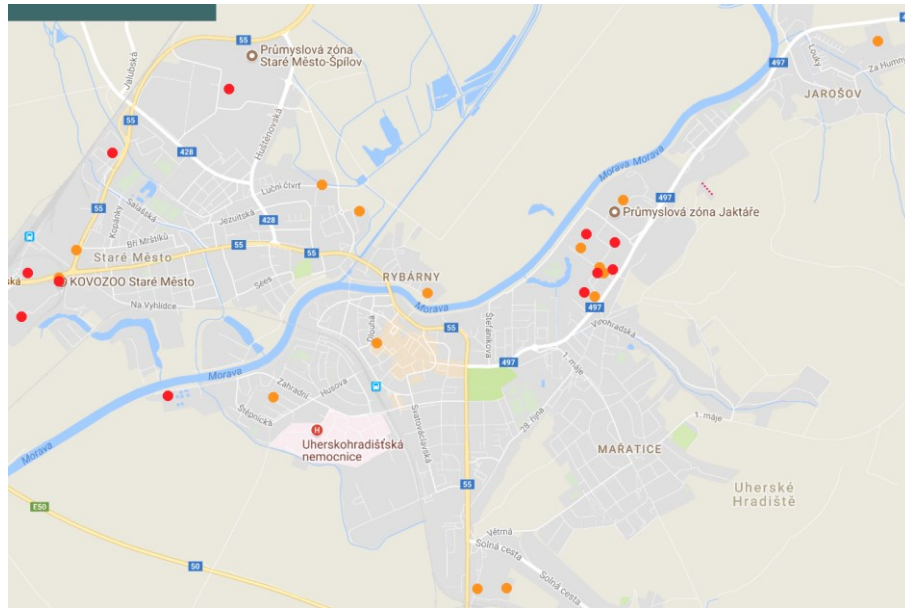
Tabulka 7 Průměrné roční teploty z let 2015 a 2016 v °C. [14]

| Rok  | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|------|-------|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|------|-------|----------|----------|
| 2015 | 1,56  | 1,2  | 5,77   | 10,4  | 15,39  | 20,03  | 23,83    | 24,4  | 16,3 | 9,7   | 6,26     | 2,98     |
| 2016 | -1,1  | 5,2  | 5,66   | 10,5  | 16,4   | 21,2   | 22,32    | 20,1  | 18,1 | 9,1   | 4,86     | -0,42    |

Uherské Hradiště se nachází v teplé klimatické oblasti s průměrnými ročními teplotami okolo 11 °C a průměrnými ročními srážkami 600 mm. Z toho vyplývá, že je zde dlouhé teplé léto a krátká suchá zima.

## 5.2 Zdroje možného znečistenia na území mesta Uherské Hradiště

Uherské Hradiště není průmyslovým městem, ale i přesto se zde vyskytuje několik firem, kde v minulosti došlo k úniku nebezpečných látek, a kde v současnosti dochází ke zpracování těžkých kovů. V následujícím obrázku č. 8 jsou uvedeni ti největší zpracovatelé těchto látek v Uherském Hradišti.



Obrázek 8 Mapa města Uherské Hradiště s částí města Staré Město s vyznačenými znečišťovateli. (Obrázek Vlastní, Zdroj [12])

V rámci diplomové práce, která se zabývá nebezpečnými látkami (viz Tabulka č 2), Byly vybrány tyto zdroje znečištění v Uherském Hradišti (za rok 2016)[12]:

- MESIT & RÖDERS v.o.s. – slévárna – přenos chromu a sloučenin v odpadech – 229 kg
- THERMACUT, s.r.o. – přenos mědi a sloučenin v odpadech – 400 302,6 kg
- MESIT foundry, a.s. – přenos mědi, olova a chromu v odpadech, měď a sloučeniny – 1865,3 kg, olovo a sloučeniny – 78,4 kg, Chrom a sloučeniny 470,1 kg
- MESIT reality, s.r.o. – přenos chromu, mědi a niklu v odpadech, chrom a sloučeniny – 9423,4 kg, měď a sloučeniny – 617,4 kg, nikl a sloučeniny 3614,6 kg



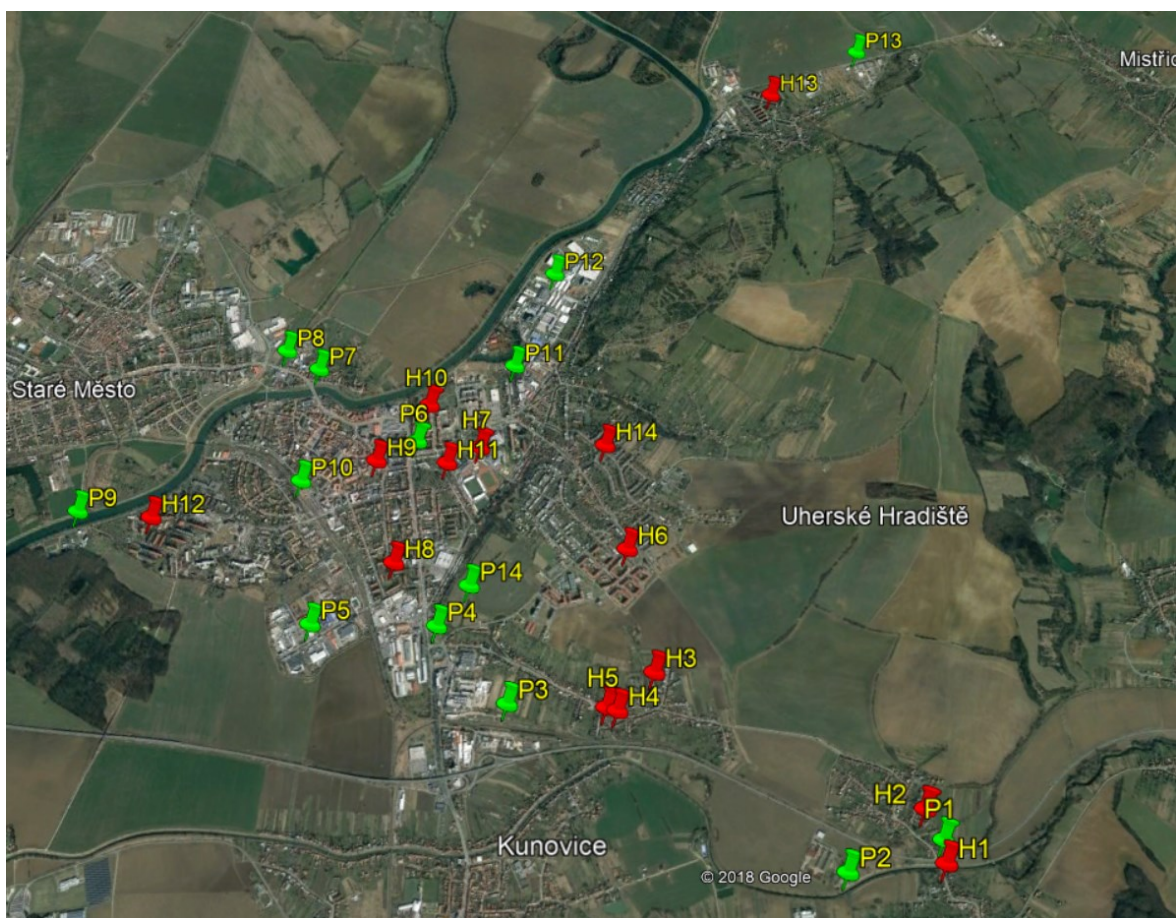
- Únik niklu a jeho sloučenin do vody – 24,4 kg
- MESIT machining, s.r.o. – přenos chromu, mědi, niklu, olova a zinku v odpadech, chrom a sloučeniny – 6542,9 kg, měď a sloučeniny – 4354,2 kg, nikl a sloučeniny 2466,5 kg, olovo a sloučeniny 168 kg, zinek a sloučeniny 7616,5 kg
- Slováké vodárny a kanalizace, a. s. – přenos zinku v odpadech, zinek a sloučeniny – 1010,24 kg
  - Únik niklu a jeho sloučenin do vody – 21,195 kg
- THERMACUT, s.r.o. – přenos mědi v odpadech, měď a sloučeniny 400302,6 kg

V době psaní diplomové práce ještě nebyly dostupné data za rok 2017, proto byly použity data z roku 2016.

## 6 VZORKOVÁNÍ PŮD A PÍSKU

Vzorkování představuje jeden z nesložitějších problémů celé analýzy, protože cílem je stanovení stopového množství analytu v heterogenní matrici. Analyt může být distribuován ve vzorkovacím místě zcela nepravidelně a to jak horizontálně, tak i vertikálně.

Vzorkování vzorků proběhlo dne 4. 3. 2018 v městské zástavbě v Uherském Hradišti a městských částech Sady, Vésky, Míkovice, Mařatice a Jarošov. Bylo odebráno 14 vzorků písku a 14 vzorků půdy. Místa odběru jsou uvedeny na obrázku č. 9.



Obrázek 9 Mapa Uherského Hradiště s vyznačenými místy odběru písku a půdy. Červená značka značí pískoviště (písek) a zelená značka půdu (Obrázek Vlastní, Zdroj [41]).

### 6.1 Místa odběru vzorků

Výběr lokalit odběru vzorků probíhal s ohledem na pohyb dětí, blízkost zdroje polutantů, blízkost silnic s frekventovanou automobilovou a nákladní dopravou apod.

V tabulce č. 8 jsou uvedena místa odběru s přesnou GPS lokalizací, povětrnostními podmínkami a popisem okolí místa odběru.

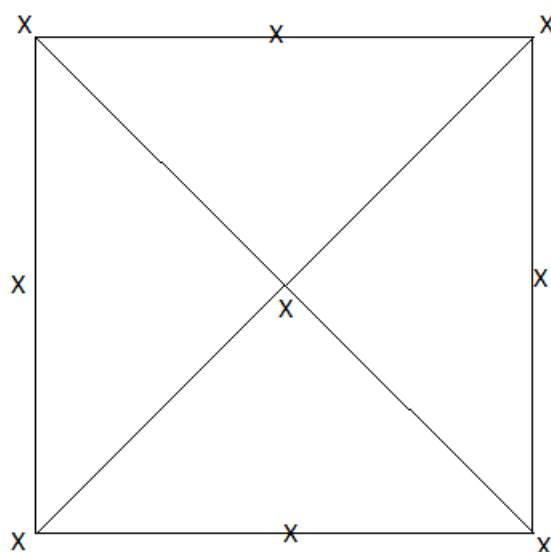
Tabulka 8 Popis odběrných míst půdy a písku [Zdroj: Vlastní].

| Vzorek | GPS                          | Povětrnostní podmínky                        | Popis místa   |
|--------|------------------------------|--|---|
| H1     | 49°02'25.0"N<br>17°30'09.2"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Silnice č. 05014 (10 m), obytná zóna.                                     |
| H2     | 49°02'35.2"N<br>17°30'06.5"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Silnice č. 05014 (50 m), obytná zóna.                                     |
| H3     | 49°03'07.7"N<br>17°29'00.8"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Obytná zóna, hřbitov, park  |
| H4     | 49°03'02.8"N<br>17°28'48.0"E | teplota 6°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Rodinné domy, železnice (70 m)  |
| H5     | 49°03'03.3"N<br>17°28'44.7"E | teplota 6°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Rodinné domy, železnice (100 m)   |
| H6     | 49°03'32.9"N<br>17°28'57.5"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Střed sídliště, silnice (50 m)  |
| H7     | 49°04'01.2"N<br>17°28'18.5"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Městské sportoviště, silnice č. 497 (100 m)                               |
| H8     | 49°03'38.8"N<br>17°27'50.6"E | teplota 6°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Sídliště  |
| H9     | 49°04'02.5"N<br>17°27'48.2"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Rodinné domy, Základní škola, ČOV (300 m)                                 |
| H10    | 49°04'12.4"N<br>17°28'04.3"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Sídliště, silnice č. 55 (100 m)   |
| H11    | 49°04'00.1"N<br>17°28'08.5"E | teplota 5°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Silnice č. 55 (100 m)   |
| H12    | 49°03'57.7"N<br>17°26'40.8"E | teplota 7°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Sídliště, ČOV (200 m)   |
| H13    | 49°05'16.8"N<br>17°30'09.4"E | teplota 7°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Sídliště, silnice č. 497 (100 m)  |
| H14    | 49°03'56.9"N<br>17°28'56.9"E | teplota 7°C, slunečno, písek částečně zmrzlý | Obytná zóna   |
| P1     | 49°02'29.1"N<br>17°30'09.7"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá  | Silnice E50 (5 m), rodinné domy   |
| P2     | 49°02'26.4"N<br>17°29'43.1"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá  | Čistička odpadních vod, Silnice E50 (50 m),                               |
| P3     | 49°03'10.6"N<br>17°28'10.5"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá  | Železniční nádraží, DFK Cab, s.r.o. - Slovácké vodárny a kanalizace, a. s |
| P4     | 49°03'25.2"N<br>17°28'00.2"E | teplota 6°C, slunečno, půda částečně zmrzlá  | Silnice č. 55 (5 m) a č. 05014 (70 m)                                     |

|     |                              |   |   |
|-----|------------------------------|---|---|
| P5  | 49°03'29.5"N<br>17°27'27.1"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Průmyslová zóna   |
| P6  | 49°04'04.5"N<br>17°27'59.8"E | teplota 7°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Silnice č. 55 a 497 (10 m)                                      |
| P7  | 49°04'21.0"N<br>17°27'33.4"E | teplota 7°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Silnice č. 55 (2 m)   |
| P8  | 49°04'29.6"N<br>17°27'23.4"E | teplota 6°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Silnice č. 55 (3 m)   |
| P9  | 49°04'01.0"N<br>17°26'20.5"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Čistička odpadních vod  |
| P10 | 49°03'59.4"N<br>17°27'28.4"E | teplota 6°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Železniční nádraží (10 m)                                       |
| P11 | 49°04'18.4"N<br>17°28'31.6"E | teplota 6°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | CTZ s.r.o. (25 m), průmyslová zóna                              |
| P12 | 49°04'39.0"N<br>17°28'47.9"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Průmyslová zóna   |
| P13 | 49°05'27.0"N<br>17°30'48.0"E | teplota 7°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Čerpací stanice, Správa a údržba silnic Slovácka, s.r.o. (50 m) |
| P14 | 49°03'32.7"N<br>17°28'12.5"E | teplota 5°C, slunečno, půda částečně zmrzlá | Rekreační zóna Sadské vykopávky                                 |

### 6.1.1 Postup odběru vzorků půdy

Na vybraném místě odběru byl vyznačen čtverec o rozměrech 1x1 m. Vrcholy čtverce byly označeny kolíky. Z každého vrcholu byla vedena přímka do protilehlého vrcholu, tímto vznikl ve středu průsečík a tím i odběrové místo odkud byl vzorek odebrán, dále byl vzorek odebrán z vrcholů čtyřúhelníku, a v polovině délek stran vzniklým spojením vrcholů. Z každého takového místa odběru byla odebrána půda z hloubky 15 cm. Odběr byl prováděn tvrzenou plastovou trubicí o vnitřním průměru 2 cm, která byla zatlačována do půdy pomocí kladívka. Půda z trubky byla vytlačena a tím vznikl válec půdy. Vzorek byl odebrán v hloubce 15 cm a hmotnost zredukována na 200 g. Ze vzorků byly odebrány všechny nežádoucí nečistoty a předměty, například kořeny, kamínky a podobně. Smíchání dílčích vzorků proběhlo na PVC plachtě a ze všech dílčích vzorků z jednoho místa odběru byl kvartací vytvořen jeden vzorek o hmotnosti 200 g. Používané pomůcky byly nejdříve umyty v 3% HNO<sub>3</sub>, aby se předešlo případné kontaminaci vzorků.



Obrázek 10 Schéma odběrových míst, X značí místo odběru [Zdroj: Vlastní].

Vzorky zbavené nečistot byly uloženy do polyethylenového sáčku, na který bylo zapsáno místo odběru, datum odběru, hloubka odběru, teplota vzduchu, a meteorologické podmínky při odběru. Postup vzorkování probíhal v souladu s normou ČSN ISO 11648-2 (Statistická hlediska vzorkování hromadných materiálů). [53]

### 6.1.2 Postup odběru vzorků písku

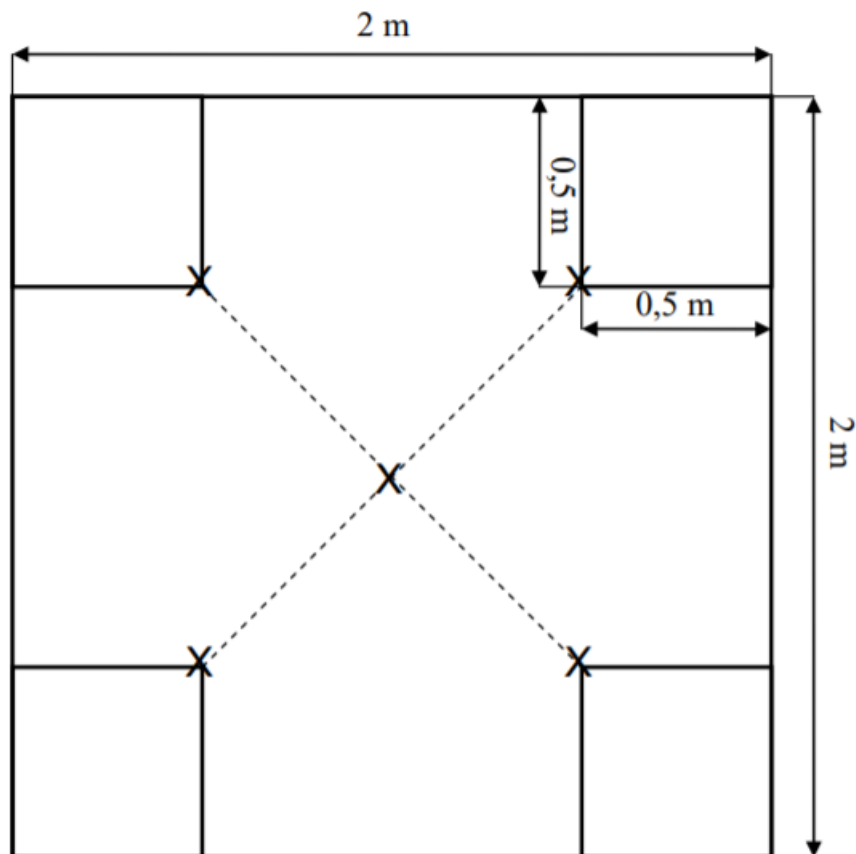
Postup odběru písku z pískoviště probíhal dle platného postupu uvedeného v *Příloze č. 2 k pokynu HH č. j. MZDR 35023/2004 HEM*. [40] Odběr vzorků tedy probíhal následovně:

Pískoviště bylo změřeno po obvodu a dle obvodu byla vypočítána plocha pískoviště. Na základě tabulky č. 9 bylo určeno, kolik vzorku musí být odebráno.

Tabulka 9 Počet odběrových bodů v závislosti na ploše pískoviště. [40]

| Plocha pískoviště v m <sup>2</sup> | Počet odběrových míst |
|------------------------------------|-----------------------|
| 1                                  | 2                     |
| 2                                  | 3                     |
| 3                                  | 4                     |
| 4                                  | 5                     |
| 5                                  | 6                     |
| 7                                  | 7                     |
| 8                                  | 8                     |
| 9                                  | 9                     |
| 10                                 | 10                    |
| 11                                 | 12                    |
| 12                                 | 13                    |
| 13                                 | 14                    |
| 14                                 | 16                    |
| 15                                 | 18                    |
| 16                                 | 20                    |
| 17                                 | 22                    |
| 18                                 | 25                    |
| 19                                 | 28                    |

Na pískovišti s plochou 8 m<sup>2</sup> bylo odebráno 8 dílčích vzorků písku z hloubky 20 cm a o hmotnosti 200 g. Tyto dílčí vzorky byly zbaveny nečistot – kamínků, kořenů, skla či zbytků rostlin. Dílčí vzorky byly zhomogenizovány (promíchány) v plastové nádobě a vysypány na folii a zformovány do kruhu o výšce 1 – 2 cm. Tento kruh byl rozdělen na čtyři kvadranty. Proběhlo smíchání dvou protilehlých kvadrantů a zbylé dva byly odstraněny. Dva smíchané kvadranty byly zhomogenizovány a opět proběhla kvartace. Homogenizace a kvartace probíhala až do hmotnosti vzorku 200 g. Vzorek písku byl uložen do polyethylenového sáčku, na který bylo zapsáno místo odběru, datum, teplota vzduchu, a meteorologické podmínky při odběru.



Obrázek 11 Rozmístění odběrových bodů (X) na pískovišti nebo hřišti. [40]

Po odběru vzorků byly tyto vzorky uloženy v ledničce při stálé teplotě 4°C. Po převozu do laboratoře byly vzorky přemístěny na filtrační papír, kde probíhalo sušení, a vzorky byly z dosahu jakýchkoliv kontaminantů. Po vyschnutí a rozmělnění následovalo prosívání až do velikosti ok 2 mm (jemnozsem). Upravené vzorky byly skladovány v polyethylenových lahvích s popiskem. Používané pomůcky byly nejdříve umyty v 3% HNO<sub>3</sub>, aby se předešlo případné kontaminaci vzorků.

## 6.2 Použité přístroje, zařízení a chemikálie

Všechny dále prezentované postupy a analýzy byly prováděny na infrastruktuře Centra polymerních systémů UTB ve Zlíně.

- Přístroje a vybavení
  - Agilent Duo 240FS/240Z
  - CEM Mars 5 Digestion Oven
  - Analytické váhy
  - Mikropipety
  - Síto o velikosti ok 2 mm
  - Technický filtrační papír
- Chemikálie
  - HNO<sub>3</sub>
  - HCL
  - Lučavka královská – Směs koncentrované HNO<sub>3</sub> a HCL v poměru 1:3
  - Destilovaná voda
  - Kalibrační standard kadmia s koncentrací 1000 mg.l<sup>-1</sup>
  - Kalibrační standard olova s koncentrací 1000 mg.l<sup>-1</sup>
  - Kalibrační standard chrómu s koncentrací 1000 mg.l<sup>-1</sup>
  - Kalibrační standard mědi s koncentrací 1000 mg.l<sup>-1</sup>

## 6.3 Mineralizace vzorků na přístroji Mars 5

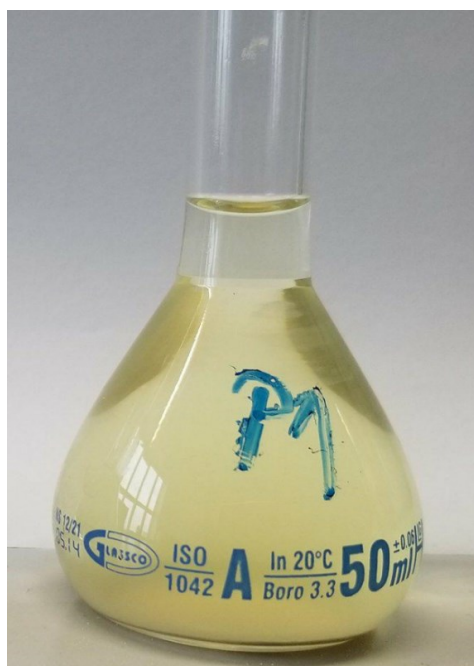
Z důvodu použití přístroje Agilent Duo 240FS/240Z, bylo potřeba vzorky písku i půdy mineralizovat – přístroj vyžaduje vzorky v kapalném stavu, proto byly vzorky mineralizovány. Mineralizace probíhala na přístroji MARS 5 využívající mikrovlnou mineralizaci. Mineralizace je rozklad vzorků látky chemickými činidly nebo spálením na jednoduché



anorganické látky. V přístroji MARS 5 působí mikrovlny přímo na vzorek v rozkladné nádobce, ve které se mění energie mikrovln na teplo. Rozkladné nádoby jsou vyrobeny z kvalitního teflonu, který působí jako izolátor a zároveň snese působení kyselin i vysokého tlaku. Použití mikrovlnných mineralizátorů je výhodné, protože významně zkracuje čas potřebný na rozklad vzorku, dosahuje úplného rozrušení matrice vzorku, snižuje množství použitých kyselin a dalších činidel.

Při používání mikrovlnného rozkladu je potřeba vzít v úvahu charakter vzorku, hmotnost navážky, druh a množství rozkladného činidla, způsob reakce vzorku s činidlem a rychlost ohřevu nádobek. Mineralizace písku a půdy v přístroji MARS 5 probíhala dle zvoleného programu:

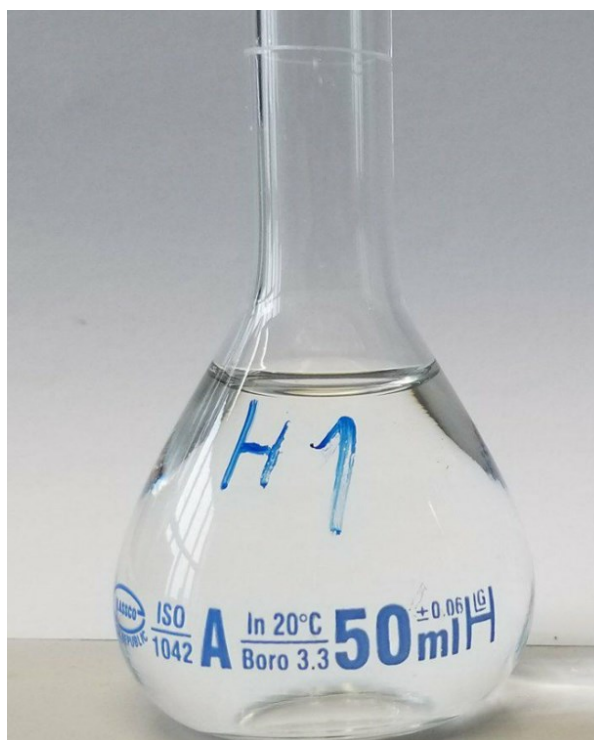
**Půda** – při mineralizaci vzorku půdy bylo naváženo 0,5 g půdy s přesností na 1 mg, který byl přesunut do rozkladné nádoby společně s 6 ml HCL, 2 ml HNO<sub>3</sub> a 2 kapky destilované vody. Následovalo 15 minut opatrného promíchávání, až poté mohlo dojít k uzavření nádoby a vložení do přístroje. Takto bylo postupováno se všemi vzorky půdy. [75]



Obrázek 12 Mineralizovaný vzorek P1 v Lučavce královské [Zdroj: Vlastní].

K dokonalé mineralizaci půdy je potřeba nastavit přístroj MARS 5 takto: Pomalý ohřev na teplotu 175 °C za 15 minut, tlak 800 psi. Po dosažení této teploty a tlaku držet stálou teplotu a tlak 10 minut, poté může začít chlazení vzorků a vypnutí přístroje. Výsledkem byly čiré, bezbarvé a čisté vzorky. Po mineralizaci byl vzorek přenesen do 50 ml baňky, poté byl vzorek naředěn destilovanou vodou do hodnoty 50 ml [75].

**Písek** - při mineralizaci vzorku půdy bylo naváženo 0,5 g písku s přesností na 1 mg, který byl přesunut do rozkladné nádoby společně s 6 ml HCL a 2 ml HNO<sub>3</sub>. Následovalo opatrného promíchání, uzavření a vložení nádoby do přístroje. Takto bylo postupováno se všemi vzorky písku. [75]



Obrázek 13 Mineralizovaný vzorek H1  
v Lučavce královské [Zdroj: Vlastní].

K dokonalé mineralizaci písku je potřeba nastavit přístroj MARS 5 takto: Pomalý ohřev na teplotu 175 °C za 15 minut, tlak 800 psi. Po dosažení této teploty a tlaku držet stálou teplotu a tlak 10 minut, poté může začít chlazení vzorků a vypnutí přístroje. Výsledkem byly čiré, bezbarvé a čisté vzorky. [75]

Po mineralizaci následovalo přefiltrování vzorků přes technický filtrační papír, aby se zamezilo případnému ucpání částí přístroje Agilent Duo 240FS/240Z, kde probíhala sa-

motná analýza vzorků. Následně byl vzorek přenesen do 50 ml baňky, kde byl vzorek naředěn destilovanou vodou do hodnoty 50 ml.

## 7 STANOVENÍ MĚDI, CHROMU, KADMIA A OLOVA VE VZORCÍCH NA PŘÍSTROJI AGILLENT DUO 240FS/240Z

Mineralizované a nečistot zbavené vzorky byly nachystány na samotnou analýzu, jako první bylo potřeba spustit software SpectrAA Pro, dále pak umístit lampu pro daný prvek a vybrat metodu pro daný prvek ze seznamu metod. Přístroj si sám nastavuje kroky, čas i teploty. Po tomto nastavení mohlo dojít k umístění standardů a změření kalibrační křivky pro každý prvek. Po kalibraci následovalo měření slepých vzorků a vzorků půdy a písku. Měření každého vzorku proběhlo 6x a z těchto šesti měření byl stanoven průměrný obsah daného prvku ve vzorku. Přístroj Agilent Duo 240FS/240Z lze vidět na Obrázku č. 15



Obrázek 14 Rozložení jednotlivých mineralizovaných vzorků písku, půdy, standartu a destilované vody na karuselu přístroje Agilent Duo 240FS/240Z [Zdroj: Vlastní].



Obrázek 15 Přístroj Agilent Duo 240FS/240Z [Zdroj: Vlastní].

## 7.1 Stanovení kadmia (Cd)

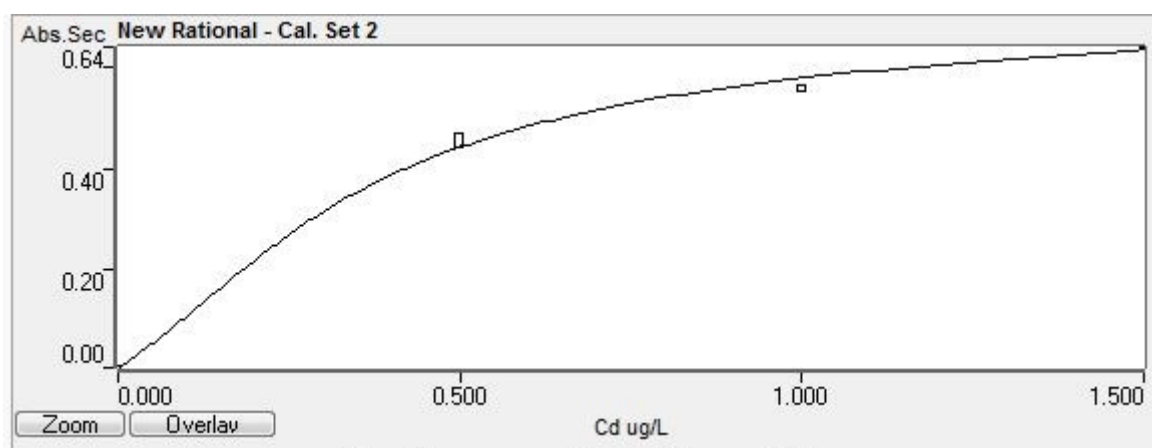
Na obrázku č. 16 lze vidět Kalibrační křivku kadmia a v tabulce č. 10 nastavené parametry při měření. Koncentrace roztoků standardů byly nastaveny dle doporučených hodnot v softwaru SpectrAA Pro. Koncentrace byly následující:

- Standard 1 – 0,500  $\mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 2 – 1,000  $\mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 3 – 1,500  $\mu\text{g.l}^{-1}$

Tabulka 10 Parametry nastavení pro měření Cd [Zdroj: Vlastní].

| Prvek | I [mA] | Šířka štěrbin [nm] | Vlnová délka [nm] |
|-------|--------|--------------------|-------------------|
| Cd    | 4,0    | 0,5                | 228,8             |

Kalibrační křivka na Obrázku 16 vyjadřuje závislost absorbance na koncentraci látky v roztoku, přes nějž prochází monochromatické záření. Metoda kalibrační křivky slouží ke kvantitativnímu hodnocení vzorku – k určení neznámé koncentrace látky ve vzorku, v tomto případě kadmia.

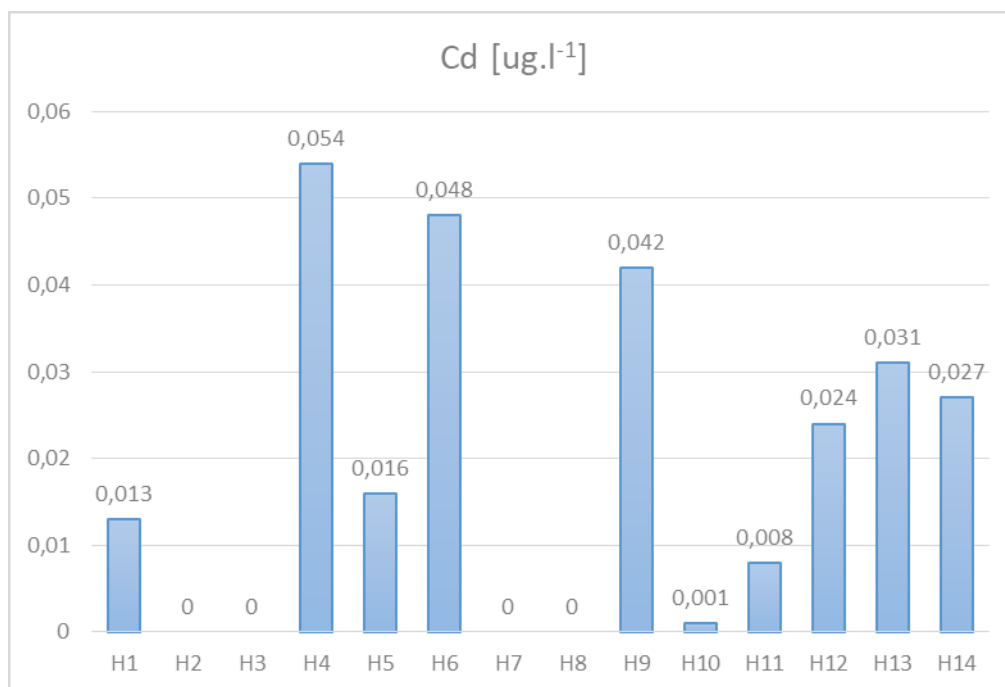


Obrázek 16 Kalibrační křivka pro stanovení kadmia [Zdroj: Vlastní].

Přirozený obsah kadmia v půdě je 0,2-1,5  $\text{mg.kg}^{-1}$ . [77]

### 7.1.1 Stanovení kadmia v písku

Naměřený obsah kadmia v písku lze vidět na grafu 1. Ve vzorku H4, který byl odebrán z pískoviště na místě. 49°03'02.8"N 17°28'48.0"E bylo naměřeno 0,054 ug.l<sup>-1</sup> kadmia, jedná se o nejvyšší naměřenou hodnotu. Ve vzorcích H2, H3, H7 a H8 byla naměřena hodnota kadmia pod mezi detekce použitého přístroje – pozice pískoviště nemá vliv na koncentraci kadmia.



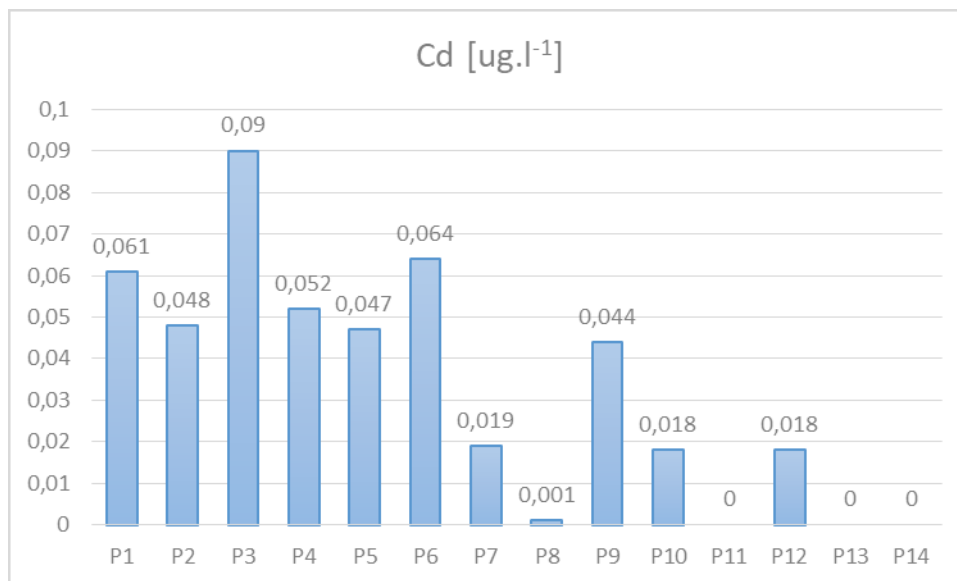
Graf 1 Obsah kadmia ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].

Mezní hodnota kadmia v písku stanovena v příloze č. 14 k vyhlášce č. 238/2011Sb. je **0,5 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 11). Po převedení jednotek je nejvyšší hodnota kadmia v pískovišti 0.000054 mg.kg<sup>-1</sup>, všechna pískoviště splňují danou limitní hodnotu kadmia. **Preventivní činnost výměny písku v pískovišti daná vyhláškou je tedy dostatečná pro kvalitu písku v souvislosti s obsahem kadmia.**

### 7.1.2 Stanovení kadmia v půdě

Naměřený obsah kadmia v půdě lze vidět na Grafu 2. Ve vzorku půdy P3, který byl odebrán z místa 49°03'10.6"N 17°28'10.5"E byla naměřena nejvyšší hodnota kadmia a to 0,09 ug.l<sup>-1</sup>. Vzorek byl odebrán v blízkosti železniční zastávky a firmy DFK Cab, s.r.o.

Naopak nejnižší obsah kadmia byl naměřen v místech P11, P12 a P13, kde se kadmium vyskytovalo pod mezí detekce použitého přístroje.



Graf 2 Obsah kadmia ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní].

Limitní hodnota kadmia v půdě dané vyhláškou č. 153/2016 Sb. je  $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Tabulka č. 12), po převedení jednotek je mnou změřená hodnota  $0,00009 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Lze konstatovat, že se v půdě kadmium téměř nevyskytuje a je zanedbatelné.

Mírně zvýšené hodnoty kadmia v místech P1 až P6 mohou být způsobené automobilovou a nákladní dopravou. Vzorky P7 a P8, které byly odebrány z míst vzdálených cca 100 metrů od sebe, vykazují opačnou závislost. Odběr vzorku P7 proběhl cca 2 metry od silnice a vzorku P8 cca 3 metry od silnice, ovšem ve vzorku P7 je devatenáctkrát více kadmia než ve vzorku P8. Jelikož oba vzorky byly odebrány od stejné vozovky, ale v různé vzdálenosti od této silnice, je zde pravděpodobně závislost pouze na vzdálenosti od místa znečištění (silnice č. 55).

## 7.2 Stanovení olova (Pb)

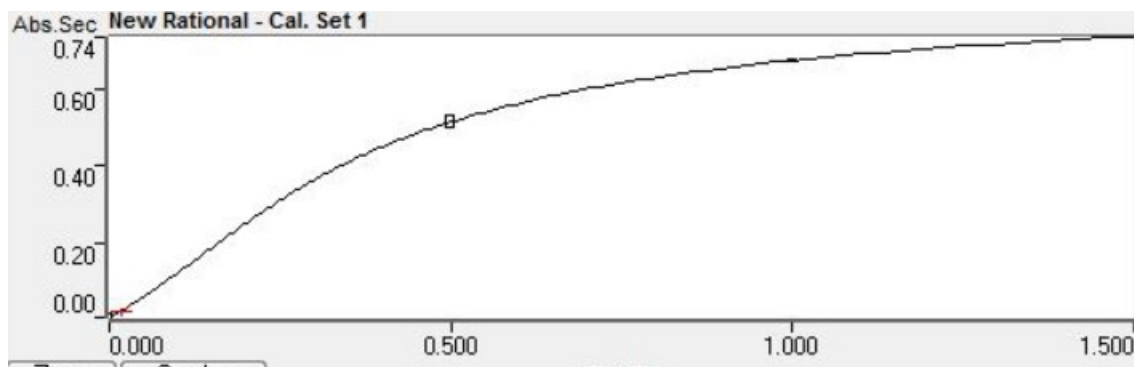
Na obrázku č. 17 lze vidět Kalibrační křivku olova a v tabulce č. 11 nastavené parametry při měření. Koncentrace roztoků standardů byly nastaveny dle doporučených hodnot v softwaru SpectrAA Pro. Koncentrace byly následující:

- Standard 1 –  $15 \mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 2 –  $30 \mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 3 –  $45 \mu\text{g.l}^{-1}$

Tabulka 13 Parametry nastavení pro měření Pb [Zdroj: Vlastní].

| Prvek | I [mA] | Šířka štěrbin [nm] | Vlnová délka [nm] |
|-------|--------|--------------------|-------------------|
| Pb    | 10     | 1                  | 217               |

Kalibrační křivka na Obrázku 17 vyjadřuje závislost absorbance na koncentraci látky v roztoku, přes které prochází monochromatické záření. Metoda kalibrační křivky slouží ke kvantitativnímu hodnocení vzorku – k určení neznámé koncentrace látky ve vzorku, v tomto případě olova.



Obrázek 17 Kalibrační křivka pro stanovení olova [Zdroj: Vlastní].

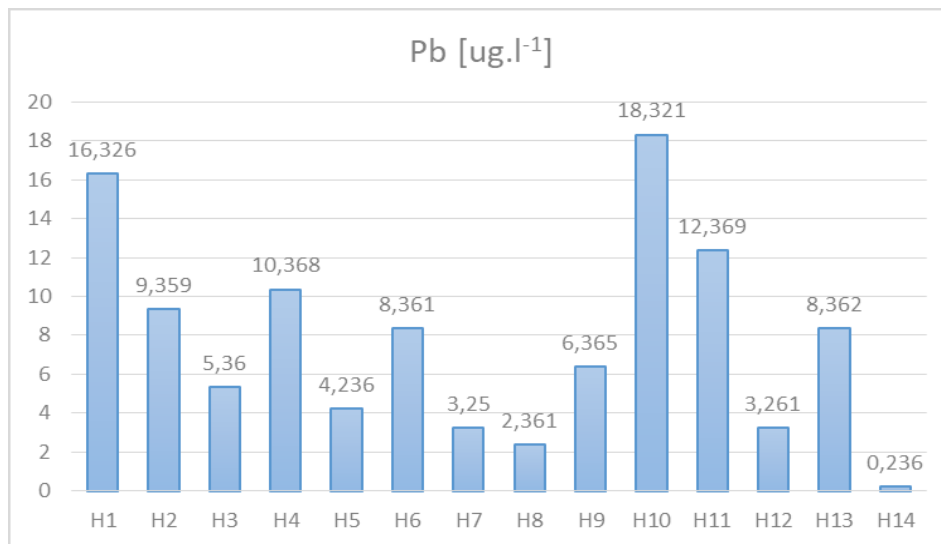
Přirozený obsah olova v půdě je  $2 - 300 \text{ mg.kg}^{-1}$ . [77]

### 7.2.1 Stanovení olova v písku

Naměřený obsah olova v písku lze vidět na Grafu 3. Ve vzorku H10 byla naměřena nejvyšší hodnota olova v písku, vzorek byl odebrán z místa  $49^{\circ}04'00.1''\text{N } 17^{\circ}28'08.5''\text{E}$ ,



keré je vzdáleno cca 100 metrů od frekventované silnice číslo 55. Nejnižší hodnota olova ve vzorku byla naměřena ve vzorku H14, který byl odebrán z místa 49°03'56.9"N 17°28'56.9"E, který byl odebrán z místa, kde jsou pouze rodinné domy.



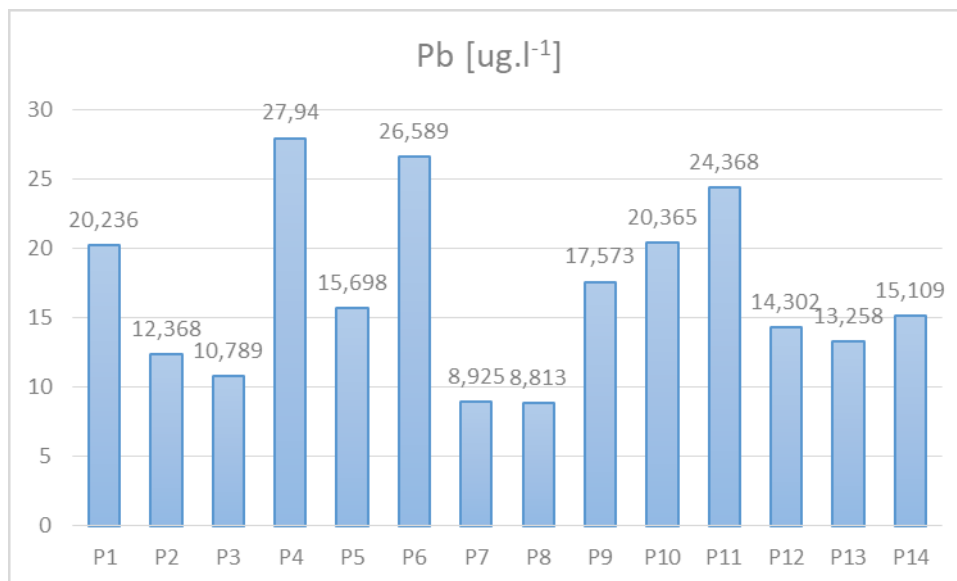
Graf 3 Obsah olova ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].

Mezní hodnota olova v písku je stanovena v příloze č. 14 k vyhlášce č. 238/2011Sb. je **60 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 14). Po převedení je nejvyšší hodnota olova v pískovišti 0.018321 mg.kg<sup>-1</sup>, všechna pískoviště splňují danou limitní hodnotu olova. **Preventivní činnost výměny písku v pískovišti daná vyhláškou je tedy dostatečná pro kvalitu písku v souvislosti s obsahem olova.**

Vzorky odebrané z míst H1, H10 a H11 vykazují mírně zvýšený obsah olova, přisuzují to blízkosti velmi frekventovaných silnic (H1 – silnice č. 05014 – cca 10 m, H10 – silnice č. 55 – cca 100 m, H11 – silnice č. 55 – cca 100 m)

### 7.2.2 Stanovení olova v půdě

Naměřený obsah olova v půdě lze vidět na Grafu 4. Ve vzorku P4 byla naměřena nejvyšší hodnota olova v půdě, vzorek byl odebrán z místa 49°03'25.2"N 17°28'00.2"E, které je vzdáleno cca 5 metrů od silnice č. 55 a 10 metrů od silnice č. 05014. Nejnižší hodnota byla naměřena ve vzorku P8, který byl odebrán z místa 49°04'29.6"N 17°27'23.4"E v blízkosti odběrového místa vede frekventovaná silnice č. 55 (2 m).



Graf 4 Obsah olova ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní].

Limitní hodnota kadmia v půdě dané vyhláškou č. 153/2016 Sb. je **55 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 15), po převedení jednotek je mnou nejvyšší změřená hodnota 0,027940 mg.kg<sup>-1</sup>. Mohu říci, že se v půdě olovo téměř nevyskytuje a je zanedbatelné.

Vzorky P4 a P6, které byly odebrány na křižovatce dvou velmi frekventovaných silnic, vykazují nejvyšší hodnotu olova, ale vzorky P7 a P8, které byly odebrány taktéž u velmi frekventované silnice, naopak vykazují nejnižší hodnotu olova. Všechny 4 vzorky byly odebrány přibližně ve stejné vzdálenosti od silnic. Silniční doprava tedy nemá velký vliv na obsah olova v půdě a musí se zde vyskytovat jiný, ač minimální zdroj olova, nebo se jedná o přírodní pozadí obsahu olova v půdě. Tuto hypotézu mohou potvrdit vzorky P1 a P17. Vzorek P1 byl odebrán u velmi frekventované silnice E50 ve vzdálenosti cca 5 m a vzorek P14 byl odebrán v rekreační části města v půdě mezi stromy. Ovšem rozdíl olova v těchto dvou vzorcích se příliš neliší.

### 7.3 Stanovení chromu (Cr)

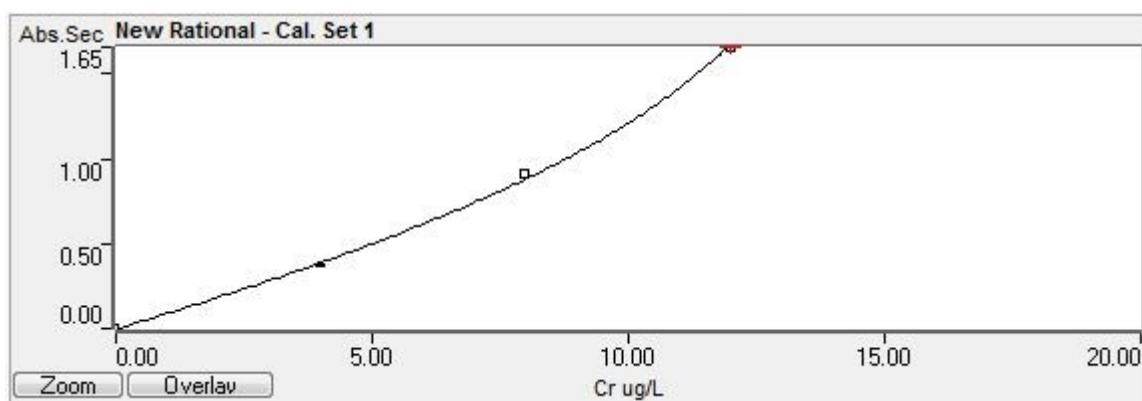
Na obrázku č. 18 lze vidět Kalibrační křivku chromu a v tabulce č. 12 nastavené parametry při měření. Koncentrace roztoků standardů byly nastaveny dle doporučených hodnot v softwaru SpectrAA Pro. Koncentrace byly následující:

- Standard 1 – 4  $\mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 2 – 8  $\mu\text{g.l}^{-1}$
- Standard 3 – 12  $\mu\text{g.l}^{-1}$

Tabulka 16 Parametry nastavení pro měření Cr [Zdroj: Vlastní].

| Prvek | I [mA] | Šířka štěrbin [nm] | Vlnová délka [nm] |
|-------|--------|--------------------|-------------------|
| Cr    | 7      | 0,5                | 429               |

Kalibrační křivka na Obrázku 18 vyjadřuje závislost absorbance na koncentraci látky v roztoku, přes něž prochází monochromatické záření. Metoda kalibrační křivky slouží ke kvantitativnímu hodnocení vzorku – k určení neznámé koncentrace látky ve vzorku, v tomto případě chromu.

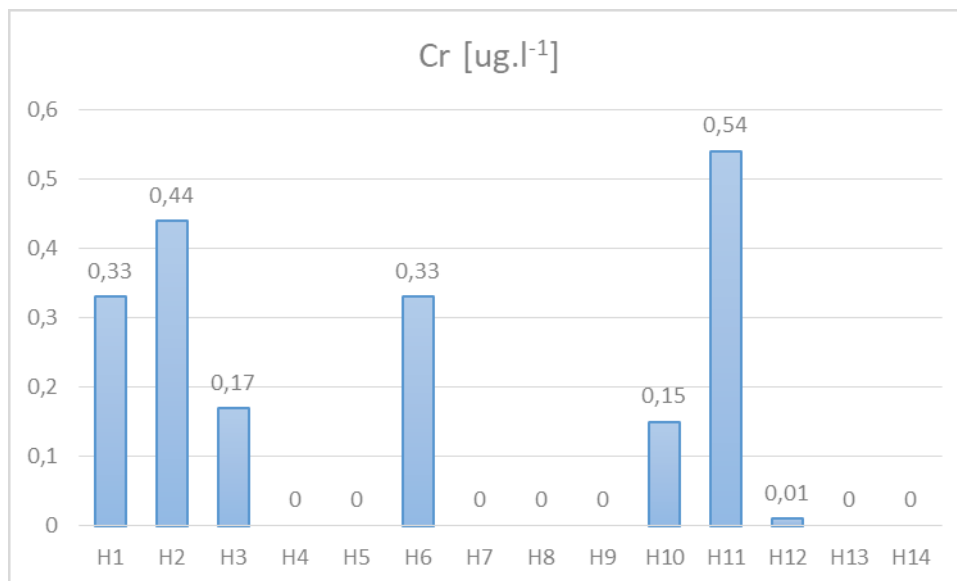


Obrázek 18 Kalibrační křivka pro stanovení chromu [Zdroj: Vlastní].

Přirozený obsah chromu v půdě je 5 - 120  $\text{mg.kg}^{-1}$ . [77]

### 7.3.1 Stanovení chromu v písku

Naměřený obsah chromu v písku lze vidět na Grafu 5. Ve vzorku H11 byla naměřena nejvyšší hodnota chromu v písku, vzorek byl odebrán z místa 49°04'00.1"N 17°28'08.5"E, které je vzdáleno cca 100 metrů od frekventované silnice číslo 55. Chrom pod mezí detekce použitého přístroje, byl naměřen na sedmi místech (pískovištích). Těchto 7 pískovišť se nachází ve vzdálených lokalitách od silnic či jiných možných zdrojů znečištění.



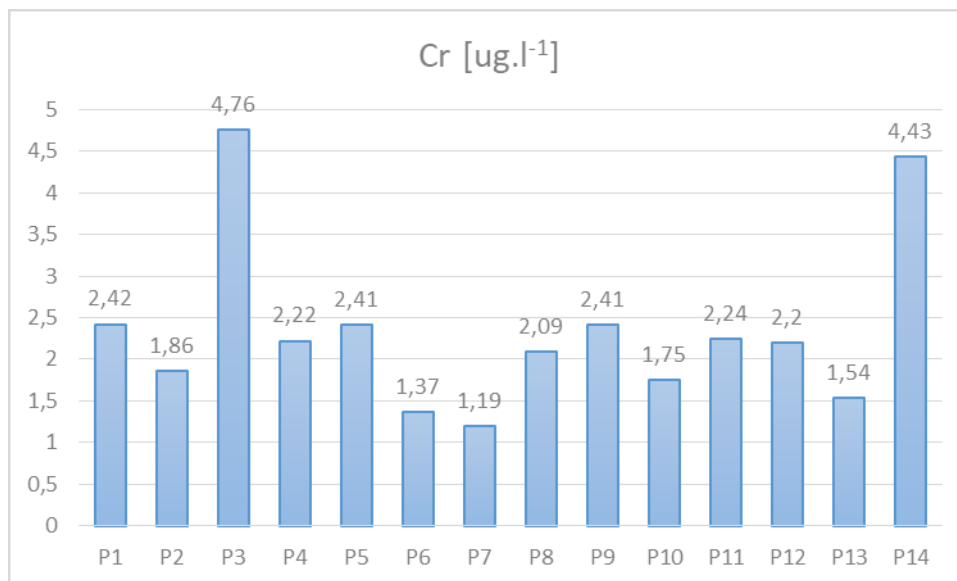
Graf 5 Obsah chromu ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].

Mezní hodnota chromu v písku je stanovena v příloze č. 14 k vyhlášce č. 238/2011Sb. je **100 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 17). Po převedení je nejvyšší hodnota chromu v pískovišti 0.00054 mg.kg<sup>-1</sup>, všechna pískoviště splňují danou limitní hodnotu olova. **Preventivní činnost výměny písku v pískovišti daná vyhláškou je tedy dostatečná pro kvalitu písku v souvislosti s obsahem chromu.**

Vzorky odebrané z míst H1, H2, H10 a H11 vykazují mírně zvýšený obsah chromu, přisuzují to blízkosti velmi frekventovaných silnic (H1 – silnice č. 05014 – cca 10 m, H2 – silnice č. 05014 – cca 50 m, H10 – silnice č. 55 – cca 100 m, H11 – silnice č. 55 – cca 100 m)

### 7.3.2 Stanovení chromu v půdě

Naměřený obsah chromu v půdě lze vidět na Grafu 6. Ve vzorku P3 byla naměřena nejvyšší hodnota chromu v půdě, vzorek byl odebrán z místa 49°03'10.6"N 17°28'10.5"E, které je vzdáleno cca 10 metrů od železničních kolejí a cca 50 m od firmem DFK Cab, s. r. o a Slovácké vodárny a kanalizace a. s. Nejnižší hodnota byla naměřena ve vzorku P7, který byl odebrán z místa 49°04'21.0"N 17°27'33.4"E v blízkosti odběrového místa vede silnice č. 55 (2 m).



Graf 6 Obsah chromu ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní].

Limitní hodnota chromu v půdě dané vyhláškou č. 153/2016 Sb. je **55 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 18), po převedení jednotek je mnou nejvyšší změřená hodnota 0.00476 mg.kg<sup>-1</sup>. Můžu říci, že se v půdě chrom téměř nevyskytuje a je zanedbatelný.

Vzorky P3 a P14 vykazují nejvyšší hodnoty chromu v půdě. Vzorek P3 byl odebrán v blízkosti železniční stanice a firem DFK a SVKUH. Vzorek P14 byl odebrán v rekreační lokalitě Sadská výšina, kde se bezprostředně nenachází zdroje znečištění (Sadská výšina je národní kulturní památka, která je v jihovýchodní části města Uherské Hradiště, okolí převyšuje o cca 80 m). Ostatní vzorky vykazují velmi podobné hodnoty i přesto, že byly odebrány na odlišných místech. Zdroje naměřeného chromu v půdě je pravděpodobně přirozené přírodní pozadí a chrom byl naměřen jen díky kvalitnímu vybavení laboratoře CPS.

#### 7.4 Stanovení mědi (Cu)

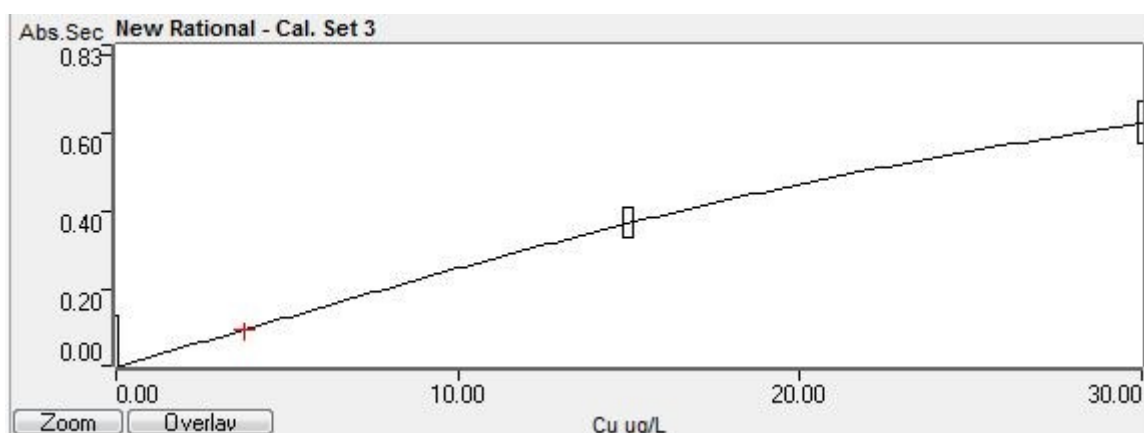
Na obrázku č. 19 lze vidět Kalibrační křivku mědi a v tabulce č. 13 nastavené parametry při měření. Koncentrace roztoků standardů byly nastaveny dle doporučených hodnot v softwaru SpectraAA Pro. Koncentrace byly následující:

- Standard 1 – 15 µg.l<sup>-1</sup>
- Standard 2 – 30 µg.l<sup>-1</sup>

Tabulka 19 Parametry nastavení pro měření Cu [Zdroj: Vlastní].

| Prvek | I [mA] | Šířka štěrbin [nm] | Vlnová délka [nm] |
|-------|--------|--------------------|-------------------|
| Cu    | 4      | 0,2                | 217,9             |

Kalibrační křivka na Obrázku 19 vyjadřuje závislost absorbance na koncentraci látky v roztoku, přes nějž prochází monochromatické záření. Metoda kalibrační křivky slouží ke kvantitativnímu hodnocení vzorku – k určení neznámé koncentrace látky ve vzorku, v tomto případě mědi.

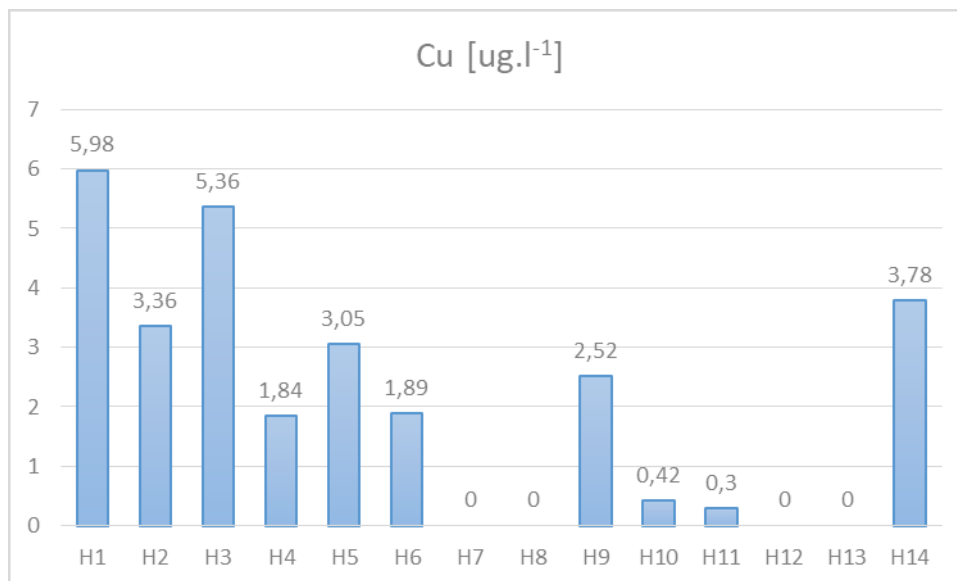


Obrázek 19 Kalibrační křivka pro stanovení mědi [Zdroj: Vlastní].

Přirozený obsah mědi v půdě je 55–70 mg.kg<sup>-1</sup>. [76]

#### 7.4.1 Stanovení mědi v písku

Naměřený obsah mědi v písku lze vidět na Grafu 7. Ve vzorku H1 byla naměřena nejvyšší hodnota mědi v písku, vzorek byl odebrán z místa 49°02'25.0"N 17°30'09.2"E, které je vzdáleno cca 10 metrů od frekventované silnice č. 05014. Hodnoty pod mez detekce přístroje byly naměřeny na čtyřech místech (pískovištích) a dvě hodnoty blíží se k mezi detekce použitého přístroje (H10, H11). Těchto šest pískovišť se nachází ve vzdálených lokalitách od silnic či jiných možných zdrojů znečištění.



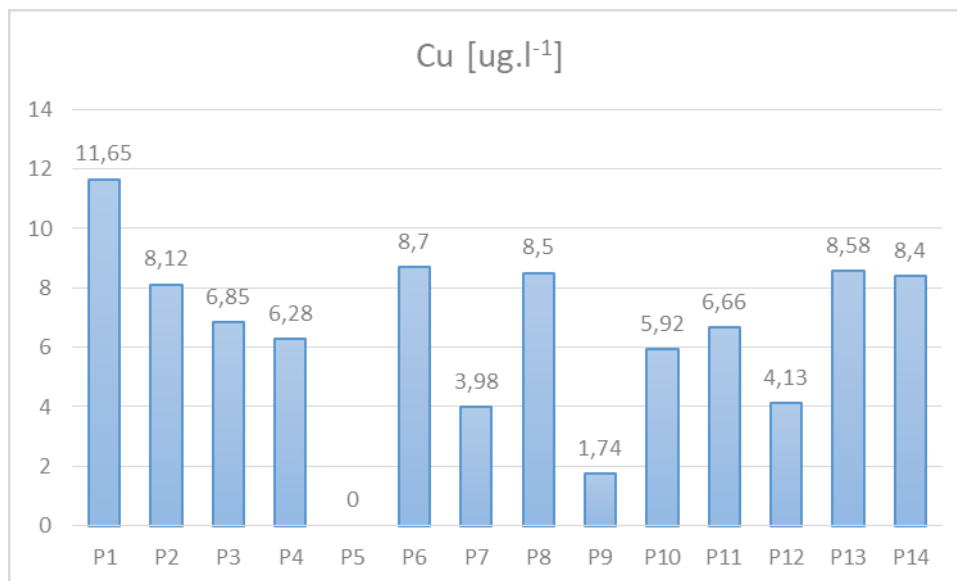
Graf 7 Obsah mědi ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].

Mezní hodnota mědi v písku je stanovena v příloze č. 14 k vyhlášce č. 238/2011Sb. je **100 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 20). Po převedení je nejvyšší hodnota chromu v pískovišti 0,00598 mg.kg<sup>-1</sup>, všechna pískoviště splňují danou limitní hodnotu olova. **Preventivní činnost výměny písku v pískovišti daná vyhláškou je tedy dostatečná pro kvalitu písku v souvislosti s obsahem mědi.**

Vzorky odebrané z míst H1 a H3 vykazují mírně zvýšený obsah mědi, vzorek H1 byl odebrán z místa cca 10 m vzdáleném od silnice č. 05014, ale vzorek H3 byl odebrán z místa vzdáleném od možnosti znečištění, a i přes to vykazuje mírně zvýšenou hodnotu mědi – pravděpodobně se jedná o přírodní pozadí obsah mědi v písku.

#### 7.4.2 Stanovení mědi v půdě

Naměřený obsah mědi v půdě lze vidět na Grafu 8. Ve vzorku P1 byla naměřena nejvyšší hodnota mědi v půdě, vzorek byl odebrán z místa 49°02'29.1"N 17°30'09.7"E, které je vzdáleno cca 5 metrů od velmi frekventované silnice E50. Nejnižší hodnota byla naměřena ve vzorku P5, který byl odebrán z místa 49°03'29.5"N 17°27'27.1"E – průmyslová zóna v Uherském Hradišti – hodnota mědi ve vzorku byla pod mez detekce použitého přístroje,



Graf 8 Obsah mědi ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní].

Limitní hodnota mědi v půdě dané vyhláškou č. 153/2016 Sb., je **45 mg.kg<sup>-1</sup>** (Tabulka č. 21), po převedení jednotek je mnou nejvyšší změřená hodnota 0.01165 mg.kg<sup>-1</sup>. Mohu říci, že se v půdě měď téměř nevyskytuje a je zanedbatelná.

Výsledky měření jsou rovnoměrné. Vzorky odebrané z míst pár metrů vzdálených od silnic, nebo průmyslových zón nejsou příliš odlišné od těch, které byly odebrané z obytných oblastí. Měď obsažená v půdě, je tak pravděpodobně daná pouze přírodním pozadím půdy.



## 8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřená na výskyt nebezpečných polutantů v půdě a pískovištích (písku) v Uherském Hradišti. Jedná se o měď, chrom, olovo a kadmium. Odběr vzorků proběhl 4. 3. 2018.

Pro tuto práci bylo vybráno 14 míst, odkud byly odebrány vzorky písku a 14 míst odkud byly odebrány vzorky půdy. Odběrové místa byla vybrána rovnoměrně se snahou odebrat vzorky z míst, kde hrozí potencionální znečištění a zároveň i z míst, kde by k znečištění nemělo docházet. Vzorky půdy i písku byly mineralizovány v Lučavce královské a poté analyzovány atomovým absorpčním spektrometrem.

Limitní hodnoty stanovené vyhláškou č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a vyhláškou č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, **nebyly překročeny v žádném vzorku půdy ani písku**, hodnoty sledovaných polutantů byly v některých vzorcích detekovatelné pouze díky citlivosti přístroje Agilent Duo 240FS/240Z – kvantitativním limitům v Centru polymerních systémů. Ochrana zdraví dětí hrajících se na pískovištích je dostatečná v rámci mnou sledovaných polutantů.

Kovy jsou v životním prostředí doslova všudypřítomné. Člověk kovy nestvořil, ani je nemůže chemicky destruovat, může však významně přispět k jejich zvýšení mobility v životním prostředí a zejména k jejich zvýšené kumulaci v určitých místech zemského ekosystému. Sledování a hodnocení jejich obsahu v půdě, vodě i vzduchu se tudíž stává stále významnější disciplínou.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKO. Zákon č. 334/1992 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-334>
- [2] ČESKO. Vyhláška č. 13/1994 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-13>
- [3] ČESKO. Vyhláška č. 153/2016 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
- [4] ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>
- [5] ČESKO. Vyhláška č. 238/2011 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-238>
- [6] *Metodický pokyn MZ 35023/2004 HEM ke kontrole pískovišť - příloha: Profesní komora SOTKVO* [online]. 2005 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.sotkvo.cz/news/metodicky-pokyn-mz-35023-2004-hem-ke-kontrole-piskovist-priloha/>
- [7] *Zásady provozu volných hracích ploch: Státní zdravotní ústav* [online]. 2005 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa\\_venkovni\\_hraci\\_plochy/Zasady\\_provozu\\_volnych\\_hracich\\_ploch.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa_venkovni_hraci_plochy/Zasady_provozu_volnych_hracich_ploch.pdf)
- [8] ČESKO. Zákon č. 89/2012 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-89>
- [9] HOUŽVIČKOVÁ, Zdeňka a Libor DUPAL. *Bezpečné provozování dětských a sportovních hřišť, sportovišť a tělocvičen: základní informace pro provozovatele dle požadavků předpisů a technických norem*. 1. vyd. Praha: Sdružení českých spotřebitelů, 2010, 28 s. Průvodce spotřebitele, sv. 18. ISBN 978-80-904633-1-8.

- [10] Český statistický úřad: *Počet obyvatel v obcích k 1. 1. 2017*. Praha. 28. dubna 2017. Dostupné online. [cit. 2018-05-04]
- [11] *Obce v číslech - okres Uherské Hradiště - N: Český statistický úřad* [online]. 2007 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/obce-v-cislech-okres-uherske-hradiste-n-r7a1ykuetb#>
- [12] *Znečišťovatelé pod lupou: Arnika* [online]. 2017 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://zncistovatele.cz/spot/500>
- [13] *Celostátní sčítání dopravy 2010: Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>
- [14] *Průměrné měsíční teploty z let 1986 až 2017* [online]. Kunovice, 2018 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.kesyl.unas.cz/pocasi-kunovice/tables.htm>
- [15] POPL, M., FÄHNRIK, J.: *Analytická chemie životního prostředí*. 4. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 1999. 218 s. ISBN 80-7080-336-3.
- [16] BENEŠ, S.: *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí*. 1. část. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospoji, 1993. 88 s.
- [17] JENÍK, J.: *Ekoanalýza*. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, 1994. 113 s.
- [18] *Kontaminace půdy: eAGRI* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/kontaminace-pudy/>
- [19] GREENWOOD, N. N.: *Chemie prvků: Svazek I*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. 793 s. ISBN 80-85427-38-9.
- [20] GREENWOOD, N. N.: *Chemie prvků: Svazek II*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. 794-1635 s. ISBN 80-85427-38-9.
- [21] PROUSEK, J.: *Rizikové vlastnosti látek*. 2. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2005. 247 s. ISBN 80-227-2199-9.
- [22] FARGAŠOVÁ, Agáta. *Environmentálna toxikológia a všeobecná ekotoxikológia*. Bratislava: Orman, 2008. ISBN 978-809-6967-568.

- [23] KABATA-PENDIAS, Alina. a Henryk. PENDIAS. *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2001. ISBN 08-493-1575-1.
- [24] MANDŽUKOVÁ, Jarmila a Henryk. PENDIAS. *Léčivá síla vitaminů, minerálů a dalších látek: praktický domácí rádce*. Benešov: Start, 2005. ISBN 978-808-6231-365.
- [25] ZIMA, Tomáš, Julius ŠPIČÁK, Milan LUKÁŠ a Zdeněk MAREČEK. *Poškození jater, pankreatu a trávicího traktu alkoholem*. Praha: Medprint, 1996. ISBN 80-902-0361-2.
- [26] MASOPUST, Jiří, Aleš URBAN a Martin VALIŠ. *Neuropsychiatrické případy*. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-801-8.
- [27] BUSH, Ashley I., James DOECKE, Alan REMBACH, Patrizio PASQUALETTI, Mariacristina SIOTTO, Mariacarla VENTRIGLIA, Ilaria SIMONELLI a Rosanna SQUITTI. *Meta-Analysis of Serum Non-Ceruloplasmin Copper in Alzheimer's Disease*: Journal of Alzheimer's Disease [online]. 2013, , - [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.3233/JAD-131247.
- [28] PUEYO, M., LÓPEZ- SANCHEZ, J. F., RAURET, G.: Assessment of CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> extraction procedures next term for the study of Cd, Cu, Pb and Zn extractability in contaminated soils. *Analytica Chimica Acta*. 23. 1. 2004, no. 504, pp. 217-226.
- [29] ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. Lead. In: Rsc.org [online]. 23. 10. 2009 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/82/lead>
- [30] PRAŽÁKOVÁ, MUDr. Hana, Dr. M. OTTO a Prof. K. E. v ON MÜHLEND AHL. *OLOVO* [online]. 29. 3. 2013 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.allum.cz/toxicke-latky/olovo>
- [31] EDITED BY JACQUES OOSTHUIZEN. *Environmental health emerging issues and practice*. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. ISBN 978-953-3078-540.
- [32] ODUM, Howard T. *Heavy metals in the environment: using wetlands for their removal*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. ISBN 978-156-6704-014.
- [33] KOMÍNKOVÁ, Dana. *Ekotoxikologie*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04058-4.

- [34] PIRRONE, N., S. CINNIRELLA, X. FENG, et al. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics* [online]. 2010, (13), 5951-5964 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.5194/acp-10-5951-2010. ISSN 1680-7324. Dostupné z: <http://www.atmos-chem-phys.net/10/5951/2010/>
- [35] UNEP (The United Nations Environment Programme), 2010a: Final review of scientific information on cadmium. In: Unep.org [online]. Geneva: Chemicals Branch, Division of technology, industry and economics. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: [http://drustage.unep.org/chemicalsandwaste/sites/unep.org.chemicalsandwaste/files/publications/GAELP\\_PUB\\_UNEP\\_GC26\\_INF\\_11\\_Add\\_2\\_Final\\_UNEP\\_Cadmium\\_review\\_and\\_appendix\\_Dec\\_2010.pdf](http://drustage.unep.org/chemicalsandwaste/sites/unep.org.chemicalsandwaste/files/publications/GAELP_PUB_UNEP_GC26_INF_11_Add_2_Final_UNEP_Cadmium_review_and_appendix_Dec_2010.pdf)
- [36] BERNHOFT, Robin A. Mercury Toxicity and Treatment: A Review of the Literature. *Journal of Environmental and Public Health* [online]. 2012, 1-10 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1155/2012/460508. ISSN 1687-9805. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/jeph/2012/460508/>
- [37] BENCKO, Vladimír, Jaroslav LENER a Miroslav CIKRT. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. 2. přepracované a doplněné vyd., v Grada Publishing 1. vyd. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-716-9150-X.
- [38] BENCKO, Vladimír, Jaroslav LENER a Miroslav CIKRT. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. 2. přepracované a doplněné vyd., v Grada Publishing 1. vyd. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-716-9150-X.
- [39] ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003. ISBN 80-704-0630-5.
- [40] *Metodika odběru vzorků písku z pískovišť pro chemické, bakteriologické a parazitologické rozborý: Příloha č. 2 k pokynu HH č. j. MZDR 35023/2004 HEM*. PRAHA. Dostupné také z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa\\_venkovni\\_hraci\\_plochy/priloha2.doc](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/puda/legislativa_venkovni_hraci_plochy/priloha2.doc)

- [41] *Google maps*. 2018. Dostupné také z: <https://www.google.cz/maps?source=tldsi&hl=en>
- [42] GAŽÁKOVÁ, Lucie, Ing. Milan HAVEL a Ing. Petr VÁLEK. *Olovo: Arnika* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://arnika.org/olovo>
- [43] KOMÁREK, Josef. *Atomová absorpční spektrometrie*. Brno: Masarykova univerzita, 2000. ISBN 80-210-2500-X.
- [44] *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS): New Mexico State University* [online]. In: [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://web.nmsu.edu/~kburke/Instrumentation/AAS.html>
- [45] GANCHOFF, John. Analytical Chemistry: An Introduction, Fifth Edition (Skoog, Douglas A.; West, Donald; Holler, F. James). *Journal of Chemical Education* [online]. 1991, A293- [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1021/ed067pA293.1. ISSN 0021-9584. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed067pA293.1>
- [46] *METODY ATOMOVÉ SPEKTROMETRIE: FA\_atomová\_spektrometrie\_v4*. Dostupné také z: [https://web.vscht.cz/~koplikr/6\\_FA\\_atomov%C3%A1\\_%20spektrometrie.pdf](https://web.vscht.cz/~koplikr/6_FA_atomov%C3%A1_%20spektrometrie.pdf)
- [47] *ICP-MS for Forensic Applications: Spectroscopy*. 2011. Dostupné také z: <http://www.spectroscopyonline.com/icp-ms-forensic-applications>
- [48] MIHALJEVIČ, Martin; STRNAD, Ladislav; ŠEBEK, Ondřej. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické Listy*. 2004, č. 98, s. 123-130. [online]. [cit. 13. 3. 2018] Dostupné z: <http://docplayer.cz/11624413-Vyuziti-hmotnostni-spektrometrie-s-indukcne-vazanym-plazmatem-v-geochemii.html>
- [49] POLÁK, Jan. *METODY ATOMOVÉ SPEKTROMETRIE PRO ANALÝZU PRVKOVÉHO SLOŽENÍ*. Crytur s.r.o. Turnov, 2010. Dostupné také z: [http://csacg.fzu.cz/func/viewpdf.php?file=2010\\_21Polak.pdf](http://csacg.fzu.cz/func/viewpdf.php?file=2010_21Polak.pdf)
- [50] JENKINS, Ron. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. Crytur s.r.o. Turnov: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2000. Dostupné také z: [https://facultystaff.richmond.edu/~jbell2/sb3-6801\\_EAC.pdf](https://facultystaff.richmond.edu/~jbell2/sb3-6801_EAC.pdf)

- [51] *Schématický náčrt A) energo – disperzního a B) vlnově – disperzního spektrometru* [online]. In: [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://enpedie.cz/domains/enpedie.cz/images/Xrf2.png>
- [52] BURSEY, Maurice M. *A brief history of spectroscopy: Department of Chemistry, University of North Carolina, Chapel Hill, North Carolina*. [online]. 2017 [cit. 2018-03-13]. DOI: <https://doi.org/10.1036/1097-8542.BR0213171>. Dostupné z: <http://www.accessscience.com/content/BR0213171>
- [53] ČSN ISO 11648-1 (010264): *Statistická hlediska vzorkování hromadných materiálů - Část 1: Obecné principy*. 2004.
- [54] *DIRECTIVE 2004/35/CE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT: Official Journal of the European Union*. 2004.
- [55] GALSTER, G., HANSON, R., RATCLIFFE, M. R., WOLMAN, H., COLEMAN, S., FREIHAGE, J.: *Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept, Housing Policy Debate*, 12, 2001, p. 681–717. Dostupné z: <http://www.gulfofmaine.org/2/wp-content/uploads/2014/03/Wrestling-Sprawl-to-the-Ground-Defining-and-Measuring-an-Elusive-Concept.pdf>
- [56] LOREDO, J., ORDONEZ, A., CHARLESWORTH, S., DE MIGUEL, E.: *Influence of industry on the geochemical urban environment of Mieres (Spain) and associated health risk, Environmental Geochemistry and Health*, 25, 2003, p. 307-323. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024521510658>
- [57] KARL, ANDREAS, LEHMANN a STAHR. *Nature and significance of anthropogenic urban soils*[online]. 2007 [cit. 2018-03-13]. DOI: <https://doi.org/10.1065/jss2007.06.235>.
- [58] BURGHARDT, Wolfgang. *Soils in urban and industrial environments. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* [online]. 1994, 205-214 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1002/jpln.19941570308. ISSN 00443263. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/jpln.19941570308>
- [59] PECHMANN, Ildiko, John D. BOGDEN, Jason GRABOSKY a Peddrick WEIS. *Soil metal concentrations and productivity of Betula populifolia (gray birch) as measured by field spectrometry and incremental annual growth in an abandoned urban*

- Brownfield in New Jersey. *Environmental Pollution* [online]. 2008, 699-706 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.06.013. ISSN 02697491. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749108003187>
- [60] AJMONE-MARSAN, F., M. BIASIOLI, T. KRALJ, H. GRČMAN, C.M. DAVIDSON, A.S. HURSTHOUSE, L. MADRID a S. RODRIGUES. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environmental Pollution* [online]. 2008, 73-81 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.05.020. ISSN 02697491. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749107002527>
- [61] ČESKO. Zákon č. 183/2006 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- [62] BENEŠ, S.: *Obsahy a bilance prvků ve sférah životního prostředí*. 1. část. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospoji, 1993. 88 s.
- [63] JÄRUP, Lars a Agneta ÅKESSON. Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology* [online]. 2009, 201-208 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1016/j.taap.2009.04.020. ISSN 0041008X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0041008X09001690>
- [64] JENÍK, Josef. *Ekoanalýza*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1994. ISBN 80-851-1368-6.
- [65] L. FRIBERG a DR C. G. ELINDER. *Cadmium*. Geneva: WHO, 1992. ISBN 92-415-7134-9. Dostupné také z: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm>
- [66] SLÍVA, MUDr. Jiří. Vliv kadmia na zdraví člověka. *Postgraduální medicína*. 2005.
- [67] NISHIJO, Muneko, Hideaki NAKAGAWA, Yasushi SUWAZONO, Kazuhiro NOGAWA a Teruhiko KIDO. Causes of death in patients with Itai-itai disease suffering from severe chronic cadmium poisoning: a nested case-control analysis of a follow-up study in Japan. *BMJ Open* [online]. 2017, 7(7) [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-015694. ISSN 2044-6055. Dostupné z: <http://bmjopen.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmjopen-2016-015694>
- [68] DAYAN, A D a A J PAINE. *Mechanisms of chromium toxicity, carcinogenicity and allergenicity: Review of the literature from 1985 to 2000* [online]. 2016, 439-



- 451 [cit. 2018-03-13]. DOI: 10.1191/096032701682693062. ISSN 0960-3271. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/096032701682693062>
- [69] *Lethal Dose Table: Toxins* © UC Regents, *LHS Living by Chemistry*, 2004. [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://whs.rocklinusd.org/documents/Science/Lethal\\_Dose\\_Table.pdf](http://whs.rocklinusd.org/documents/Science/Lethal_Dose_Table.pdf)
- [70] *Emission spectrum - Fe* [online]. In: 2009 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emission\\_spectrum-Fe.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emission_spectrum-Fe.svg)
- [71] LIGHTING, Philips. *Emission spectrum of a metal halide lamp*. [online]. In: 2006 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MHL.png>
- [72] VÁVROVÁ, Jaroslava. *Metody korekce pozadí v AAS* [online]. In: [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/cd/hypertext/JVAPN.htm>
- [73] *Metodický pokyn MŽP: INDIKÁTORY ZNEČIŠTĚNÍ*. Ministerstvo životního prostředí, 2013. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky\\_ekologicke\\_zateze/\\$FILE/OES-MZP\\_%20Indikator-%20zncisteneni-akt-2013-20140318.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-MZP_%20Indikator-%20zncisteneni-akt-2013-20140318.pdf)
- [74] *METODY ATOMOVÉ SPEKTROMETRIE: FA\_atomová\_spektrometrie\_v4*. Dostupné také z: [https://web.vscht.cz/~kopligr/6\\_FA\\_atomov%C3%A1\\_%20spektrometrie.pdf](https://web.vscht.cz/~kopligr/6_FA_atomov%C3%A1_%20spektrometrie.pdf)
- [75] *ISO/TC 190/SC 3 N 558: Chemical and physical characterization. D-10787 Berlin*.
- [76] KLEGER, Ladislav a Petr VÁLEK. Arnika: Měď. *Arnika* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://arnika.org/med>
- [77] Prof. Ing. Rostislav Richter, DrSc. ŽIVINNÝ REŽIM PŮD: TĚŽKÉ KOVY V PŮDĚ. *Ústav agrochemie a výživy rostlin* [online]. 2004 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/puda\\_tk.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_tk.htm)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

|          |  |
|----------|--|
| pH       | Potential of hydrogen - potenciál vodíku.  |
| MŽP      | Ministerstvo životního prostředí.  |
| LD50     | Lethal dose – smrtelná dávka.  |
| ČOV      | Čistička odpadních vod.  |
| IQ       | Intelligence quotient – inteligenční kvocient.   |
| ICP – MS | Inductively coupled plasma mass spektrometry - hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem |
| ppm      | Parts per million - částic na jeden milion.  |
| SVKUH    | Slovácké vodárny a kanalizace Uherské Hradiště.  |
| GPS      | Global Positioning System – globální polohový systém.  |
| ppb      | Parts per billion - částic na jednu miliardu.  |
| ppt      | Parts per quadrilion - částic na jednu biliardu.   |
| AAS      | Atomic absorption spectroscopy - atomová absorpční spektrometrie                                     |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Emisní spektrum halogenové lampy [71].....   | 29 |
| Obrázek 2 Emisní spektrum železa [70].....   | 29 |
| Obrázek 3 Kamerový snímek kyvety krátce před atomizací vzorku [Zdroj: Vlastní]. .....  | 30 |
| Obrázek 4 Probíhající atomizace vzorku v kyvetě [Zdroj: Vlastní]. .....  | 31 |
| Obrázek 5 Schématické uspořádání absorpčního atomového spektrometru [44]. 1 – zdroj světla, 2 – atomizátor, 3 – palivo, 4 – oxidant, 5 – vzorek, 6 – monochromátor, 7 – detektor, 8 – vyhodnocovací zařízení ..... | 32 |
| Obrázek 6 Schématický náčrt ICP-MS [48].....   | 33 |
| Obrázek 7 Schématický náčrt A) energo – disperzního a B) vlnově – disperzního spektrometru. [51] .....   | 35 |
| Obrázek 8 Mapa města Uherské Hradiště s částí města Staré Město s vyznačenými znečišťovateli. (Obrázek Vlastní, Zdroj [12]).....   | 40 |
| Obrázek 9 Mapa Uherského Hradiště s vyznačenými místy odběru písku a půdy. Červená značka značí pískoviště (písek) a zelená značka půdu (Obrázek Vlastní, Zdroj [41]).....   | 42 |
| Obrázek 10 Schéma odběrových míst, X značí místo odběru [Zdroj: Vlastní].....  | 45 |
| Obrázek 11 Rozmístění odběrových bodů (X) na pískovišti nebo hřišti. [40] .....  | 47 |
| Obrázek 12 Mineralizovaný vzorek P1 v Lučavce královské [Zdroj: Vlastní]. .....  | 49 |
| Obrázek 13 Mineralizovaný vzorek H1 v Lučavce královské [Zdroj: Vlastní].....  | 50 |
| Obrázek 14 Rozložení jednotlivých mineralizovaných vzorků písku, půdy, standartu a destilované vody na karuselu přístroje Agilent Duo 240FS/240Z [Zdroj: Vlastní].....   | 52 |
| Obrázek 15 Přístroj Agilent Duo 240FS/240Z [Zdroj: Vlastní].....   | 52 |
| Obrázek 16 Kalibrační křivka pro stanovení kadmia [Zdroj: Vlastní]. .....  | 53 |
| Obrázek 17 Kalibrační křivka pro stanovení olova [Zdroj: Vlastní]. .....   | 56 |
| Obrázek 18 Kalibrační křivka pro stanovení chromu [Zdroj: Vlastní].....  | 59 |
| Obrázek 19 Kalibrační křivka pro stanovení mědi [Zdroj: Vlastní]. .....  | 62 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1 Přehled hodnot indikátorů znečištění zemin. [73] .....  | 13 |
| Tabulka 2 Obsah maximálně přístupných hodnot rizikových prvků v půdách<br>zařazených do zemědělského půdního fondu.[2] .....  | 15 |
| Tabulka 3 Preventivní hodnoty rizikových prvků v půdách.[3] .....   | 15 |
| Tabulka 4 Hygienické limity pro vybrané indikátory mikrobiologického a<br>parazitologického znečištění písku v pískovištích na venkovních hracích<br>plochách. [5]..... | 17 |
| Tabulka 5 Hygienické limity vybraných chemických prvků v pískovištích. [5] .....  | 17 |
| Tabulka 6 Porovnání jednotlivých měřicích přístrojů. [74].....  | 36 |
| Tabulka 7 Průměrné roční teploty z let 2015 a 2016 v °C. [14] .....   | 39 |
| Tabulka 8 Popis odběrných míst půdy a písku [Zdroj: Vlastní]. .....   | 43 |
| Tabulka 9 Počet odběrových bodů v závislosti na ploše pískoviště. [40] .....  | 46 |
| Tabulka 10 Parametry nastavení pro měření Cd [Zdroj: Vlastní].....  | 53 |
| Tabulka 11 Parametry nastavení pro měření Pb [Zdroj: Vlastní]. .....  | 56 |
| Tabulka 12 Parametry nastavení pro měření Cr [Zdroj: Vlastní]. .....  | 59 |
| Tabulka 13 Parametry nastavení pro měření Cu [Zdroj: Vlastní].....  | 62 |

## SEZNAM GRAFŮ

|   |    |
|---|----|
| Graf 1 Obsah kadmia ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].....   | 54 |
| Graf 2 Obsah kadmia ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní]. .....   | 55 |
| Graf 3 Obsah olova ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].....    | 57 |
| Graf 4 Obsah olova ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní]. .....    | 58 |
| Graf 5 Obsah chromu ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní]. ..... | 60 |
| Graf 6 Obsah chromu ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní]. .....   | 61 |
| Graf 7 Obsah mědi ve vzorcích písku [Zdroj: Vlastní].....     | 63 |
| Graf 8 Obsah mědi ve vzorcích půd [Zdroj: Vlastní]. .....     | 64 |