

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA GEOENVIRONMENTÁLNÍCH VĚD

MECHOROSTY A LIŠEJNÍKY JAKO BIOINDIKÁTORY  
ZNEČIŠTĚNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ TĚŽKÝMI  
KOVY  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Anna Francová  
Bakalant: Lukáš Urbančok

2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Urbančok

Územní technická a správní služba

Název práce

**Mechorosty a lišejníky jako bioindikátory znečištění životního prostředí těžkými kovy**

Název anglicky

**Bryophytes and lichens as bioindicators of environmental pollution by heavy metals**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je pomocí vzorků mechů a lišejníků z Ostravska zhodnotit dopady antropogenně vzniklých kovů (Pb, Cu, Ni, Cd, Cr) na jednotlivé složky životního prostředí a identifikovat hlavní zdroje znečištění.

### Metodika

Bakalářská práce bude pojata formou experimentální bakalářské práce. Student podá informace týkající se výskytu toxických kovů v různých složkách životního prostředí a o hlavních antropogenních zdrojích emisí. V praktické části student zpracuje dané vzorky z okolí Ostravy, provede analýzu obsahu prvků a ze zjištěných dat vyvodí závěry o znečištění a zdrojích. Student využije informací především ze zahraničních, a dále pak českých zdrojů.

## Doporučený rozsah práce

30 stran

## Klíčová slova

kovy, mechy, lišejníky, Ostrava, znečištění atmosféry

---

## Doporučené zdroje informací

- Bargagli, R., Monaci, F.F., Borghini, F., Bravi, F.F., Agnorelli, C., 2002. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environ. Pollut.* 116, 279-287.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00125-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00125-7)
- BENEŠ, S. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. II. část, Vstupy prvků do půd zvětrávaním hornin, ... ve srovnání s výstupy erozní činností, podzemními vodami a sklizní zemědělských plodin.* Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospoj, 1994. ISBN 80-7084-090-0.
- CIBULKA JIŘÍ A KOL. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře.* PRAHA: ACADEMIA, 1991.
- CIKRT, M. – LENER, J. – BENCKO, V. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka.* Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-.
- Conti, M.E., Cecchetti, G., 2001. Biological monitoring; lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environ. Pollut.* 114, 471-492.
- ČESKO. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, – BENEŠ, S. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 1, Obsahy, akumulace a kriteria hodnocení prvků v zemědělských půdách.* Praha: Agrospoj, 1993. ISBN 80-7084-051-.
- Wolterbeek, B., 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environ. Pollut.* 1, 11-21. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00124-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00124-0)
- 

## Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Anna Francová

## Garantující pracoviště

Katedra geoenvironmentálních věd

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2018

**prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2018

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Anny Francové a že jsem uvedl všechny literární publikace a zdroje, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 25.4.2018

Podpis: .....

Lukáš Urbančok

### **Poděkování**

Děkuji vedoucí své práce Ing. Anně Francové za její ochotu, vstřícnost a vedení při zpracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu při psaní bakalářské práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problémem znečištění složek životního prostředí těžkými kovy v oblasti Ostravska. Jsou zde popsány vybrané těžké kovy: chrom, nikl, měď, kadmium a olovo. K bioindikaci byly použity mechy travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) a lišejníky terčovník tenouký (*Physcia tenella*). Všechny vzorky byly podrobeny pseudototálnímu rozkladu. Koncentrace těžkých kovů byly stanoveny chemickou analýzou ICP-OES. Byly zjištěny výrazné rozdíly mezi koncentracemi v mechorostech a lišejnících. V mechorostech byly naměřeny vyšší koncentrace těžkých kovů než v lišejnících. Například nejvyšší koncentrace Zn byla 1369,77 mg.kg<sup>-1</sup> v mechorostech zatímco 348,04 mg.kg<sup>-1</sup> u lišejníků. Vyšší koncentrace těžkých kovů byly pozorovány u vzorků, které se nachází v blízkosti velkých stacionárních zdrojů emisí jako jsou železárny a jiné metalurgické podniky. Ve srovnání s předešlým výzkumem došlo ke zvýšení koncentrací u většiny prvků mimo Cu.

## Abstract

This bachelor thesis focuses on problem environmental pollution by heavy metals in Ostrava region. Selected heavy metals chrome, nickel, copper, cadmium and lead are described here. Mosses (*Pleurozium schreberi*) and lichens (*Physcia tenella*) were used for bioindication. All the samples were subjected to pseudototal digestion. Concentration of heavy metals were determined by chemical analysis ICP-OES. Significant differences were found between the concentrations in mosses and lichens. Higher concentrations of heavy metals were measured in mosses than in lichens. For example the highest concentration of Zn was 1369,77 mg.kg<sup>-1</sup> in mosses while 348,04 mg.kg<sup>-1</sup> in lichens. Higher concentrations of heavy metals were observed in samples near large stationary sources of emissions like ironworks and other metalworking factories. Concentrations of most elements were increased except Cu compared to previous research.

Klíčová slova: kovy, mechy, lišejníky, Ostrava, znečištění atmosféry

Key words: metals, bryophytes, lichens, Ostrava, atmospheric pollution

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle.....	2
3. Literární rešerše .....	3
3.1 Ostrava.....	3
3.1.1 Klimatické podmínky.....	3
3.1.2 Geologické podmínky .....	4
3.2 Znečišťující prvky .....	4
3.3 Olovo.....	4
3.3.1 Výskyt a využití.....	5
3.3.2 Vliv olova na člověka .....	5
3.4 Kadmium .....	5
3.4.1 Výskyt a použití .....	5
3.4.2 Vliv kadmia na člověka .....	5
3.5 Chrom .....	6
3.5.1 Výskyt a použití .....	6
3.5.2 Vliv chromu na člověka.....	6
3.6 Nikl .....	7
3.6.1 Výskyt a použití .....	7
3.6.2 Vliv niklu na člověka .....	7
3.7 Měď .....	7
3.7.1 Výskyt a použití .....	7
3.7.2 Vliv mědi na člověka.....	8
3.8 Zinek .....	8
3.8.1 Výskyt a použití .....	8
3.8.2 Vliv zinku na člověka .....	8
3.9 Emise a imise .....	8
3.9.1 Emise .....	8
3.9.2 Imise.....	9
3.10 Integrovaný registr znečišťování .....	9
3.11 Bioindikátory a znečištění ovzduší .....	10
3.11.1 Biomonitory .....	10
3.11.2 Biomarkery .....	10
3.11.3 Biosenzory.....	11
3.12 Mechorosty.....	11
3.12.1 Základní charakteristika.....	11

3.12.2	Mechorosty jako bioindikátory.....	11
3.13	Lišejníky .....	12
3.13.1	Základní charakteristika.....	12
3.13.2	Lišejníky jako bioindikátory .....	12
3.14	Využití lišejníků a mechorostů při bioindikaci .....	12
3.14.1	Stanovištní indikace.....	12
3.14.2	Ovzduší .....	13
3.14.3	Znečištění vody .....	13
4.	Experimentální část .....	14
4.1	Metodika.....	14
4.1.1	Seznam použitých nástrojů a přístrojů .....	14
4.1.2	Příprava vzorků .....	14
4.1.3	Vážení a rozklad.....	16
4.1.4	Příprava na ICP-OES .....	16
5.	Výsledky .....	18
5.1	Mechorosty.....	18
5.2	Lišejníky .....	19
5.3	Průměrné hodnoty těžkých kovů ve vzorcích .....	21
5.4	Směrodatná odchylka .....	22
6.	Diskuze.....	23
7.	Závěr .....	25
8.	Zdroje .....	26
8.1	Literární zdroje.....	26
8.2	Internetové zdroje.....	28
9.	Seznam obrázků a tabulek .....	29
9.1	Obrázky .....	29
9.2	Tabulky.....	29
10.	Přílohy.....	30



# 1. Úvod

Tuto práci jsem si vybral, jelikož znečištění životního prostředí je aktuální téma a zaujala mě i experimentální část práce, kdy jsem mohl pracovat v laboratoři.

Těžké kovy jsou nedílnou součástí přírody kolem nás. Vyskytují se jak v neživých, tak v živých složkách přírody. Oblast Ostravska je jednou z největších průmyslových oblastí v České republice. V oblasti se nachází několik velkých metalurgických společností například ArcelorMittal, Třinecké železářny nebo Vítkovické železářny. Tento druh průmyslu se zde rozmohl díky hornoslezské uhelné pánvi.

Bioindikátory, jako mechy a lišejníky, jsou dobrým ukazatelem znečištění dané oblasti, jelikož z ekonomického hlediska se jedná o dostupný zdroj a k základnímu obhlédnutí oblastí se může využít lichenolog, který prozkoumá v lokalitě druhovou skladbu. Přesnější metodou zjištění stavu znečištění životního prostředí a stanovení obsahu těžkých kovů je laboratorní experiment s nasbíranými vzorky z dané lokality.

V rešeršní části je v jednotlivých kapitolách popsáno území Ostravska. Další kapitola je věnována těžkým kovům a jejich základním informacím, výskytu a vlivu na člověka. V následující kapitole jsou popsány emise a imise. Poslední kapitola je věnována charakteristice bioindikátorů a dále mechorostům a lišejníkům a jejich využití v bioindikaci.

Experimentální část je věnována vlastnímu pokusu s mechorosty a lišejníky. První část je věnována metodice experimentu. V dalších částech je znázorněno srovnání výsledků mezi sebou a k limitním hodnotám obsahu těžkých kovů v půdě.

## 2. Cíle

Cílem bakalářské práce je pomocí vzorků mechů a lišejníků z Ostravska zhodnotit dopady antropogenně vzniklých kovů (Pb, Cu, Ni, Cd, Cr, Zn) na jednotlivé složky životního prostředí a identifikovat hlavní zdroje znečištění.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Ostrava

Statutární město Ostrava, tvořeno 23 obvody, leží na severovýchodě České republiky v Moravskoslezském kraji. Městem protéká řeka Odra, do které se vlévá Opava a Ostravice. V dnešní době je Ostrava třetí největší město v České republice. Její rozloha je 214 km<sup>2</sup> a počet obyvatel činí 291 634 podle Českého statistického úřadu k 1.1 2017. Hustota obyvatel činí 1500 obyvatel na km<sup>2</sup>. Nachází se na severním okraji Moravské brány, což je údolí mezi Jeseníky a Beskydy. Ostrava má dobrou geografickou pozici – 10 kilometrů na jih od hranice s Polskem a 50 kilometrů na západ od hranice se Slovenskem ([www.ostravainfo.cz](http://www.ostravainfo.cz); [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)). Mezi hlavní odvětví průmyslu patří metalurgie, těžba uhlí, energetika a chemický průmysl (Sýkorová et al., 2015).

##### 3.1.1 Klimatické podmínky

Průměrná roční teplota dosahuje +8,6 °C. Převládající směr větrů je jihozápadní. V roce 2017 na Ostravsku napršelo 857 mm srážek, což je 107 % dlouhodobého normálu. Dlouhodobý průměr z let 1981-2010 je 802 mm srážek za rok. Ostravsko je nejvlhčí nížinné území v České republice ([www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)).

Měsíc	Minimální denní průměr teplot (°C)	Maximální denní průměr teplot (°C)	Srážky (mm)
Leden	-4,3	1,6	28,9
Únor	-3,6	3,7	29,1
Březen	-0,4	8,6	40,6
Duben	3,3	14,9	47,1
Květen	8,1	20,3	80,5
Červen	11,2	22,8	91,3
Červenec	13,1	25,4	93,5
Srpen	12,6	25,2	85,5
Září	9,1	19,8	68,9
Ríjen	5,2	14,3	39,9
Listopad	1,1	7,5	46,9
Prosinec	-2,8	2,5	41,2

Tabulka 1 Dlouhodobé teplotní a srážkové průměry (Zdroj: Světová meteorologická organizace)

### 3.1.2 Geologické podmínky

Ostravsko je součástí hornoslezské uhelné pánve, která je nejvýchodnější částí Českého masivu. Tato uhelná pánev je jedním z největších ložisek černého uhlí v celé Evropě. Leží na hranicích České republiky a Polska. Těžba uhlí zde začala v osmnáctém století (Pešek et Sivek, 2012; Ptáček, 2017).

Ostrava se nachází v nejnižnějším výběžku Slezské nížiny tvořenou Opavsko-ostravskou pánví, na kterou navazuje na jihu Moravská brána, přirozený krajinný koridor.

Území náleží k základním taxonomickým systémům, které se na území České republiky vyskytují. Je to hercynský a alpsko-himalájský systém ([www.msk.cz](http://www.msk.cz)).

### 3.2 Znečišťující prvky

Periodická tabulka prvků obsahuje asi osmdesát kovů. Z nich se třicet označuje jako toxické nebo těžké. Tyto prvky představují riziko pro biotu. Stopové kovy jsou kovy, které se v nízkých koncentracích vyskytují v životním prostředí nebo organismech. Příklad těchto kovů je zinek nebo železo (Kafka et Punčochářová, 2002).

Esenciální kovy jsou pro biologickou funkci důležité a běžně se vyskytují v organismech, ale ve velkých koncentracích jsou některé z nich toxické (Pitter, 2009).

Těžké kovy jsou největším problémem v oblasti škodlivin anorganického původu. Do skupiny těžkých kovů se řadí prvky mezi mědí a olovem. Tyto prvky mají hustotu větší než  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Za nejnebezpečnější se považují kadmium, rtuť, olovo nebo chrom. Problémy způsobují i další těžké kovy jako zinek, nikl, měď aj. Těžké kovy mají schopnost kumulovat v půdě, rostlinách a živočišném materiálu (Herčík et al., 1995).

Těžký kov není synonymem toxického kovu, jelikož některé těžké kovy nejsou toxické a naopak některé prvky jsou toxické, ale neřadí se mezi těžké kovy (Pitter, 2009).

### 3.3 Olovo

Olovo má barvu modrostříbřitě bílou. Atomová hmotnost činí 207,19, atomové číslo 82. Taje při  $327,5 \text{ °C}$  a bod varu je  $1740 \text{ °C}$  (Bencko et al., 1995). Olovo je velmi kujné a tažné. Mezi jeho vlastnosti patří špatná vodivost elektřiny ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

### 3.3.1 Výskyt a využití

Jedná se o nejrozšířenější těžký kov vyskytující se ve všech složkách životního prostředí (Bencko et al., 1995).

Využívá se ve výrobě střeliva, kabelů, barviv a slitin. Nejvíce se spotřebuje olovo v automobilovém průmyslu (Bencko et al., 1995). Především jsou to automobilové akumulátory, které se využívají pro své parametry v nákladních automobilech. Je využíváno jako ochrana proti rentgenovému záření a gama paprskům, jelikož toto záření účinně pohlcuje. Olovo je velice rezistentní vůči kyselině sírové. Je využíváno v oloveném skle pro zlepšení indexu lomu světla v lustrech a jiných předmětech. V dnešní době je snaha o omezení jeho využívání (www.irz.cz).

### 3.3.2 Vliv olova na člověka

Toxicita je závislá na oxidačním stupni, v kovové formě není samo o sobě jedovaté (Beneš, 1994). Riziko vzniku otravy olovem dochází při těžbě olovených rud, v následném zpracování a při výrobě akumulátorů. Olovo má vliv na cévy, krev a nervový systém. V dnešní době se akutní otrava olovem vyskytuje jen zřídka. Častější forma otravy olovem je chronická. Oxidy a soli olova jsou pro člověka smrtelné v dávce desítek gramů (Horák et al., 2004).

## 3.4 Kadmium

Kadmium je měkký, kujný a tažný kov. Jeho barva je stříbřitá (www.irz.cz). Jeho atomová hmotnost činí 112,4, atomové číslo má 48. Taje při 320 °C a bod varu má při 765 °C. Kadmium se zinkem jsou chemicky příbuzné prvky (Bencko et al., 1995). Je to poměrně vzácný prvek při výskytu v zemské kůře, proto jsou velmi vzácné čisté sloučeniny kadmia vyskytující se v přírodě (Beneš et Pabiánová, 1987).

### 3.4.1 Výskyt a použití

Kadmium se získává z rud, kde je jeho poměr se zinkem od 1:100 až do 1:1000. Lze ho také získat při rafinaci zinku nebo například olova a mědi. Při rafinaci těchto kovů vzniká jako vedlejší produkt (Bencko et al., 1995).

### 3.4.2 Vliv kadmia na člověka

Toxicita kadmia je vysoká. Je toxické ve formě kovu i soli. Smrtelná dávka se pohybuje v rozmezí 0,3–8,9 g. Inhalace dýmu a prachu je ještě nebezpečnější. Smrtelná koncentrace je v rozmezí 40–50 mg.m<sup>-3</sup> za dobu jedné hodiny. Otrava má latentní periodu 0,5–10 hodin. Jako zdroje kadmia se uvádí metalurgie, výroba akumulátorů, cigaretový kouř nebo potraviny, které jsou kontaminované kadmiiem

z hnojiv. Mezi chronické účinky patří například karcinogenita a poškození jater a plic (Horák et al., 2004).

## 3.5 Chrom

Barva chromu je stříbrobílá. (www.irz.cz) Je to litofilní prvek, který objevili Vaqueline a Klaproth (Beneš et Pabiánová, 1987). Využívá se v ocelářství k výrobě slitin nebo ke galvanickému pokovování, jelikož má vysokou teplotu tání – 1907 °C. Vyskytuje se v nízkých koncentracích ve všech typech půd a sopečném prachu. V trojmocné formě je chrom nejstálejší a v šestimocné má největší oxidační účinky. (www.irz.cz).

### 3.5.1 Výskyt a použití

Hlavní výskyt chromu je ve formě oxidů, ale nachází se v nerostech i ve vazbě křemičitanové, chromanové, sulfidové a uhličitanové. Největší výskyt chromu je v jílech, kde se nachází v koncentraci 60-120 ppm, nejmenší v pískovcovitých s koncentrací 20-0 ppm a uhličitanových se zastoupením 5-15 ppm. Pokud má vhodné podmínky k oxidaci, mění se na šestimocný chrom  $\text{Cr}^{6+}$ , ale více se vyskytuje ve formě  $\text{Cr}^{3+}$ , která je méně pohyblivá. V organické hmotě dochází k redukci  $\text{Cr}^{6+}$  na  $\text{Cr}^{3+}$  (Beneš et Pabiánová, 1987).

Nejvýznamnější ruda z průmyslového hlediska je chromit ( $\text{FeO} \cdot \text{CrO}_3$ ). Z chromitu je vyráběn ferochrom. Z chromitých solí nebo elektrolýzou se získává kovový chrom. Po metalurgii je využíván při výrobě zrcadel, v chemických provozech nebo v koželužství. Chromové pigmenty jsou používány v barvách a v tiskařství. (Bencko et al., 1995).

### 3.5.2 Vliv chromu na člověka

Chrom ve formě kovu je málo toxický, ale u sloučenin záleží na jejich oxidačním stupni. Chrom v oxidačním stupni +6 má nejvyšší toxicitu. Oxidy silně dráždí sliznice, kůže nebo způsobují kožní nebo žaludeční vředy. Kation chromu je silně karcinogenní (Horák et al., 2004). Šestimocný chrom lokálně vyvolává toxický zánět kůže, ze kterého vznikají, zejména na ruku, chromové vředy. V lidském těle se chrom vyskytuje již v plodech. Od desátého roku stoupá jeho obsah v plicích, ale v ostatních orgánech klesá. Chrom je karcinogenní. Při dlouhodobém vystavení šestimocnému chromu vzniká rakovina plic (Bencko et al., 1995).

## 3.6 Nikl

Nikl je stříbrošedý kov s dobrou vodivostí elektrického proudu. Je odolný proti korozi ([www.arnika.cz](http://www.arnika.cz)). Pro rostliny a živočichy je esenciálním prvkem. Rostliny ho absorbují kořenovými systémy a v nich se kumuluje ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

### 3.6.1 Výskyt a použití

Často se v rudách vyskytuje v relativně malém množství, proto se musí vyrábět vícestupňovou technologií zahrnující flotaci, magnetickou separaci, pražení a tavení. Kov o vysoké čistotě lze získat pyrometalurgickými postupy, které se kombinují s hydrometalurgickými postupy například s loužením. Poslední stupeň je elektrolytický.

Nikl je využíván v metalurgii k legování ocelí nebo pro výrobu jiných slitin, mincí, kuchyňského náčiní. Síran nikelnatý je používán k elektrolytickému pokovování. Dále je nikl obsažen v nikl-kadmiových bateriích ve formě hydroxidu nikelnatého nebo jeho karbonáty v elektronických součástkách (Bencko et al., 1995). Využívá se především při výrobě nerezové oceli ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

### 3.6.2 Vliv niklu na člověka

Nikl ovlivňuje biologickou aktivitu i v malých koncentracích (Kruszewski et al., 2017). Nikl spadá pod výrazně toxické těžké kovy. Nejtoxičtější je tetrakarbonyl nikl, ale i ostatní sloučeniny niklu, jako jsou soli a oxid, jsou toxické. Nikl se používá v hutnictví, při galvanickém pokovování jiných kovů jako ochrana před korozi. Vyskytuje se také v cigaretách. Vdechování způsobuje poškození nosní přepážky, což může vyvolat alergickou reakci. Na kůži se projevuje tak zvaným niklovým svrabem. Při inhalaci dochází k prudké imunitní reakci. Tato reakce je způsobená vazbou oxidů a kovů na krevní bílkoviny, které pak imunitní systém odstraní. Chronické působení způsobuje i rakovinu plic (Horák et al., 2004).

## 3.7 Měď

Měď má atomové číslo 29, relativní atomová hmotnost činí 63,54. Je to načervenalý kov s dobrým vedením tepla a elektrické energie, který taje při 1083,4 °C. Bod varu má při 2567 °C (Bencko et al., 1995). Je odolná proti korozi, jelikož na jejím povrchu se tvoří vrstva z oxidů ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

### 3.7.1 Výskyt a použití

Měď se nachází ve sloučeninách, ale i jako ryzí kov (Beneš et Pabiánová, 1987). Vyskytuje v rudách například kuprit, malachit a azurit. Z rud s obsahem mědi se získává tavením, loužením nebo elektrolýzou (Bencko et al., 1995).

Hlavní využití mědi je výroba elektrotechnických zařízení. Dále je její využití v zemědělství jako pesticidy a v instalatérství a topenářství (Bencko et al., 1995).

### 3.7.2 Vliv mědi na člověka

Pro lidský organismus má význam jako esenciální prvek, který je důležitý pro kosti, mozek a srdce. Má uplatnění při tvoření hemoglobinu a jiných enzymů. Napomáhá správnému využití vitamínu C a vstřebávání železa (www.irz.cz).

## 3.8 Zinek

Zinek je prvek s atomovým číslem 27 a relativní atomovou hmotností 65,4. Taje při 420 °C a bod varu má při 907 °C (Bencko et al., 1995). Za normálních teplot se jedná o křehký kov, který vede elektrický proud (www.irz.cz). Na rozdíl od jiných těžkých kovů se považuje za málo rozpustný (Beneš et Pabiánová, 1987).

### 3.8.1 Výskyt a použití

V přírodě značně rozšířený, především jako substituent (Beneš et Pabiánová, 1987). Při hutnické výrobě je nutná úprava rud, jelikož neobsahují oxidy zinku, jenž se redukuje v žaru uhlí. U uhlíčitanů a křemičitanů se pálením docílí ztráta vody a CO<sub>2</sub>. Sfalerit ZnS se praží, aby zoxidoval na oxid. Znečištění půd se vyskytuje u zdrojů zinkových emisí, jenž mohou být způsobeny tavbou (Bencko et al., 1987).

Průmyslové využití zinku tkví ve využití při výrobě slitin, mosazi, pozinkování. Využívá se jako ochrana proti korozi (Bencko et al., 1987).

### 3.8.2 Vliv zinku na člověka

Inhalace par nebo prachu kovového zinku vyvolává horečku z kovů, která trvá i několik dní. Je to podobné jako záchvat malárie. Chlorid zinečnatý (ZnCl<sub>2</sub>) může způsobit těžké poškození dýchacího ústrojí (Bencko et al., 1987).

## 3.9 Emise a imise

### 3.9.1 Emise

Emise tvořené plynnými a pevnými produkty ze spalovacích a technologických procesů před vstupem do ovzduší, životního prostředí.

Emise se dělí na geogenní, vzniklé přírodními procesy, a antropogenní, které vznikly důsledkem činnosti člověka. Antropogenní emise se tvoří v pevné, kapalné nebo plynné formě. Jsou to látky, které se běžně v atmosféře nevyskytují,



nebo se vyskytují v nižších koncentracích. Mezi hlavní zdroje antropogenních emisí patří průmysl, doprava a zemědělství (Hadaš, 2002).

Problémem již není chemické znečištění, jelikož díky přísným emisním limitům v průmyslových zemích je život v řekách podobný jako v těch v odlehlých oblastech bez civilizace. Celkově v průmyslových zemích nejsou ekosystémy, které vykazují přirozené podmínky, běžné. Spíše jsou vzácné (Kienzl et al, 2003).

### 3.9.2 Imise

Jsou v podstatě emise pronikající do životního prostředí, které mohou a nemusí v tomto prostředí dále reagovat a měnit chemické složení. Díky monitoringu je můžeme vyjádřit váhovým množstvím přepočteným na jednotku objemu vzduchu.

Imise rozdělujeme do dvou skupin – primární a sekundární. Primární imise odpovídají svým složením emisím. Na druhou stranu sekundární imise jsou takové, které vznikly v ovzduší chemickou reakcí nebo fotooxidačním procesem (Hadaš, 2002).

Problematikou emisních a imisních limitů se zabývá Zákon o ochraně životního prostředí č. 201/2012 Sb. v platném znění. Emisní limity jsou uvedeny v příloze 4 a imisní limity jsou uvedeny v příloze 1 k tomuto zákonu (Zákon č. 201/2012 Sb.).

### 3.10 Integrovaný registr znečišťování

Integrovaný registr znečišťování byl založen zákonem č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Vznikl na základě vstupu České republiky do Evropské unie a podepsání důležitých mezinárodních dokumentů, například Aarhuská úmluva (úmluva o přístupu k informacím, účasti veřejnosti na rozhodování a přístupu k právní ochraně v záležitostech životního prostředí) ([www.irz.cz](http://www.irz.cz)).

### 3.11 Bioindikátory a znečištění ovzduší

Jako bioindikátor se považuje organismus, nebo jeho část. Za bioindikátor lze považovat i celé populace organismů. Jsou to organismy, jenž poskytují informace o kvalitě životního prostředí. Biomonitoring je pokračující průzkum území nebo regionu pomocí bioindikátorů. (Markert et al., 2003). Informace v biomonitoringu je zjišťována ze změn v chování monitorovaného organismu například v druhové skladbě, fyziologii nebo morfologii, nebo z koncentrací látek v tkáních (Wolterbeek, 2002). Bioindikátory jsou užitečné kvůli jejich citlivosti na široké spektrum látek a jejich schopnost je akumulovat látky po delší dobu (Markert et al., 2003). V oblasti monitoringu znečištění ovzduší se využívají více lišejníky, neboť v zasažených oblastech rychleji odumírají a častěji se vyskytují na kůře stromů oproti mechorostům (Váňa, 2006).

Hlavní výhodou biomonitoringu při správně vybraném organismu s trvalým a běžným výskytem, i ve vzdálených oblastech, je snadný odběr vzorků bez potřeby nákladného technického vybavení (Wolterbeek, 2002).

Mezi problémy v oblasti využití výtrusných rostlin při biomonitoringu patří sezónní fluktuace v koncentracích prvků, efekty dešťových srážek, vliv nadmořské výšky na koncentraci prvků u mechorostů, vstup prvků z půdy do rostlin, který se promítá do celkové koncentrace (Bargagli et al., 2002).

Velký problém představuje znečištění ovzduší v městských a průmyslových oblastech, kde negativně účinkuje na lidské zdraví a životní prostředí (Gerdol et al., 2004).

Na lidskou kůži polutanty při normálních koncentracích v okolním vzduchu nemají vliv. Oblečení snižuje účinek znečištění ovzduší. K přímému kontaktu s plynnými nebo s pevnými částicemi polutantů dochází u očí. Může dojít k podráždění očí, ale nedochází k permanentnímu poškození. Polutanty se do těla dostávají hlavně dýchacím ústrojím, jelikož v průměru člověk za den vdechuje a vydechuje 13,4 kg vzduchu. Vdechování znečištěného vzduchu po delší dobu může dráždit průdušky a plicní sklípky, což způsobuje poškození, které snižuje jejich správnou funkčnost. Toto poškození činí plíce náchylné k chronické bronchitidě a jiným respiračním nemocem (Stern et al., 2014).

#### 3.11.1 Biomonitoring

Biomonitorem je organismus, jeho část nebo společenství organismů, které obsahují informaci o kvantitativních aspektech životního prostředí. Biomonitoring jsou vždy bioindikátory, ale bioindikátory nemusí splňovat podmínky pro biomonitoring (Markert et al., 1999).

#### 3.11.2 Biomarkery

Biomarkery jsou měřitelné biologické parametry na genetické, fyziologické a morfologické úrovni, ve kterých dochází ke strukturním nebo funkčním změnám. Změny naznačují environmentální vlivy a působení znečišťujících látek (Markert et al., 2003).

### 3.11.3 Biosenzory

Biosenzor je zařízení, které sleduje koncentraci definovaných látek přes vhodnou kombinaci vybraných biologických systémů například enzymů, buněk, tkání nebo organismů. Záznamy se odesílají on-line a poskytují informace o zkoumaném území. (Markert et al., 2003)

## 3.12 Mechorosty

### 3.12.1 Základní charakteristika

Přibližně jedna pětina vyšších rostlin v České republice jsou mechorosty (Kučera, 2012). Patří mezi nejprimitivnější suchozemské rostliny. Do mechorostů se řadí játrovky, hlevíky a mechy. Charakteristika mechorostů je v heteromorfické a heterofázické rodozměně. To znamená, že mechorosty mají generaci pohlavní (gametofyt) a nepohlavní (sporofyt). Gametofyt obsahuje pouze jednu sadu chromozomů a je autotrofní. Sporofyt má dvě sady chromozomů. Jsou také závislé na gametofytech z hlediska výživy a vodního režimu. Voda je získávána především z atmosférických srážek nebo z kondenzace vlhkosti. Vodní mechorosty získávají vodu z jejich okolního vodního prostředí, jen malý zlomek ze substrátu (Váňa, 2006).

### 3.12.2 Mechorosty jako bioindikátory

Mechorosty se v Evropě využívají ke sběru a analýze v biomonitorovacích programech od roku 1990 (Cowden et al., 2015). Společně s lišejníky se dají považovat za citlivé bioindikátory látek znečišťujících ovzduší. Dají se využít při biomonitoringu, jelikož pomalu rostou a mají omezenou schopnost se zbavovat například těžkých kovů nebo radioaktivních izotopů (Kučera, 2012). Mechorosty přijímají svoji výživu z ovzduší a srážek, a tak poskytují spolehlivé výsledky atmosférického znečištění. Studie ukázaly, že koncentrace těžkých kovů v mechorostech mají vztah k hodnotám atmosférických depozic monitorovaných srážek, proto jsou mechorosty využívány k biomonitoringu jako účinný a efektivní nástroj (Cowden et al., 2015). Oproti cévnatým rostlinám dokáží snést 60krát vyšší koncentraci těžkých kovů. Rozdíl v koncentraci mezi mechorostem a substrátem může být o několiksetkrát vyšší (Váňa, 2006). Limity ve využití mechorostů jako bioindikátorů jsou například absence výskytu jednoho druhu na více zkoumaných lokalitách. Lze nakombinovat více druhů mechorostů, ale tento proces vyžaduje mezidruhovou kalibraci, jelikož každý druh má jinou účinnost absorpce (Wilkins et Aherne, 2015).

### 3.13 Lišejníky

#### 3.13.1 Základní charakteristika

Lišejníky jsou podvojně organismy, které se skládají z houby (mykobionta) a řasy nebo sinice (fotobionta). Nejedná se u všech druhů však o ideální symbiózu s výhodami pro obě strany, proto se dnes tento vztah nazývá specifický lichenismus. Lišejníky jsou velice rezistentní organismy k velmi nízkým teplotám nebo suchu. Kolonizují i lokality s extrémními klimatickými podmínkami. Na druhou stranu jsou citlivé na znečištění životního prostředí kyselými dešti, prachovými částicemi a jinými polutanty. Vodu, která obsahuje i rozpuštěné látky, absorbují do stélky velmi snadno, jelikož stélka není chráněna jako u cévnatých rostlin a je vstřebávána celým povrchem stélky (Skalka, 2004), a to zejména u druhů epifytických. To jsou druhy rostoucí na stromech nebo jiných rostlinách. Lišejníky akumulují rozličné látky včetně radioaktivních prvků (Svoboda, 2012). Jsou to pomalu rostoucí rostliny a mají velkou závislost na životním prostředí kvůli jejich výživě. Oproti jiným cévnatým rostlinám neshazují své části. Znečišťující látky vstupují do lišejníků celým jejich povrchem, jelikož mají nedostatek kutikul a stomat (Conti et Cecchetti, 2001).

#### 3.13.2 Lišejníky jako bioindikátory

Vytrvalé lišejníky jsou užitečné jako bioindikátory znečištění ovzduší, jelikož vodu a základní živiny získávají především z ovzduší. Díky této vlastnosti reagují na znečištění ovzduší po celý rok. V porovnání s jinými druhy monitorování jsou nenákladné. Lišejníky lze použít k měření toxických elementárních polutantů a radioaktivních kovů, protože tyto látky kumulují ve svých houbových vláknech.

Využívají se jako bioindikátory zejména kvůli ekonomickým faktorům. Základní metodou bioindikace je návštěva lokality lichenologem, který sleduje změny v lišejníkové vegetaci. Další způsob bioindikace je přenesení určitého lišejníku se substrátem do jiného prostředí například ke zdroji znečištění. Tato metoda se nazývá metoda transplantace. První bioindikační měření se uskutečnilo v roce 1926 R. Sernanderem v okolí Stockholmu. Ve studii popsal tři základní kategorie kvality ovzduší. Tyto tři kategorie byly: centrální v centru Stockholmu, kde se nevyskytovali žádné lišejníky, přechodová zóna s výskytem některých druhů lišejníků a normální s běžným výskytem lišejníků.

Na území České republiky se mezi prvními zabýval bioindikačními metodami prof. Z. Černohorský. V České republice je nestejněměrné zasažení oxidem siřičitým. Mezi relativně čistá území patří například Šumava. Těžce poškozené je například Teplicko. Nezasažené lokality se už u nás nevyskytují (Skalka, 2004).

### 3.14 Využití lišejníků a mechorostů při bioindikaci

#### 3.14.1 Stanovištní indikace

Ekologické faktory stanovišť jsou indikovány vyskytujícími se mechorosty, protože každý druh má jiné stanovištní požadavky na světlo, teplotu, vodu nebo na složení substrátu. Odlišné druhy se vyskytují na otevřených nebo zastíněných

stanovištích. Xerofytní druhy obývají suchá stanoviště, naopak hygromytní se vyskytují na zamokřených územích. Některé druhy dokáží indikovat ložiska kovů jako měď nebo zinek. Stanovištní typologie mechorostů je využívána v lesnictví pro určení bonity stanoviště. Změny v klimatu, například zvyšování teploty ve vodních tocích, kyselá dešť aj., mají za následek úbytek vodních mechorostů nebo rozšíření jiných druhů mechorostů (Váňa, 2006).

#### 3.14.2 Ovzduší

Na znečištění ovzduší průmyslovými emisemi, a to i ve vzdálených oblastech od zdroje znečištění, jsou nejcitlivější epifytické druhy mechorostů a lišejníků. U mechorostů nejméně citlivé druhy terikolní (rostoucí na zemi) a mezi nimi jsou druhy saxikolní (skalní). V oblasti monitoringu znečištění ovzduší se využívají více lišejníky, neboť v zasažených oblastech rychleji odumírají a častěji se vyskytují na kůře stromů oproti mechorostům (Váňa, 2006).

#### 3.14.3 Znečištění vody

Vodní mechorosty lze využít při bioindikaci, ale tato metoda není příliš využívána. Lze tyto mechorosty využít při zjišťování znečištění odpadních vod, chemickým znečištěním z odpadů z továren nebo stanovení stupně kyselosti (Váňa, 2006).

## 4. Experimentální část

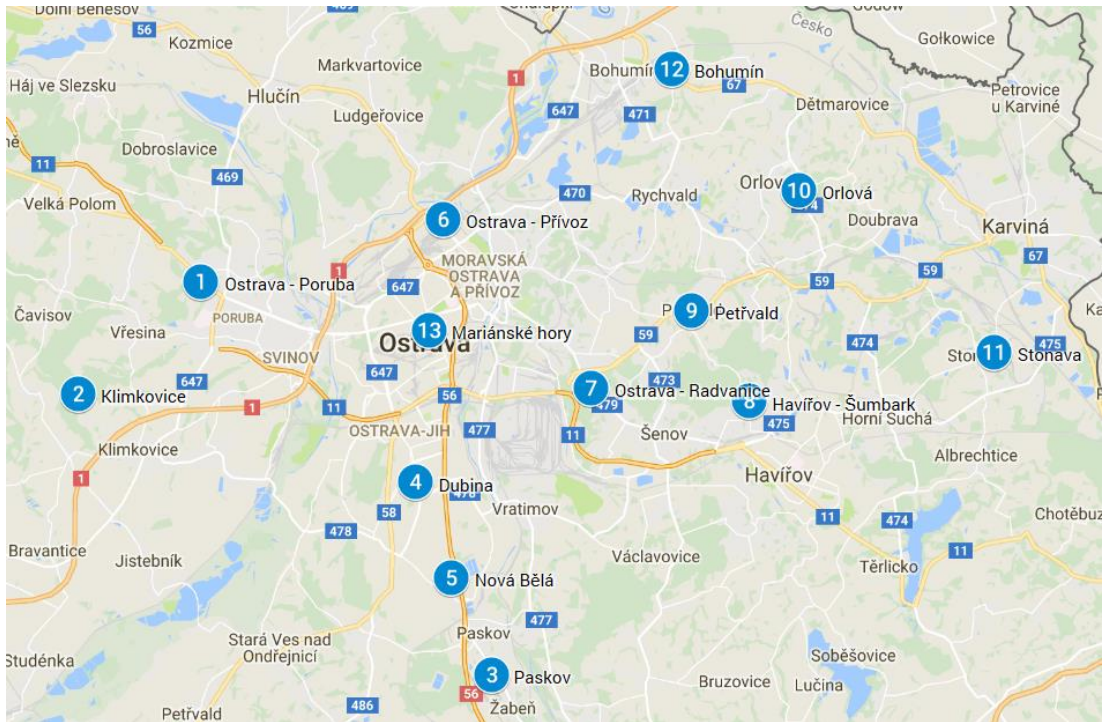
### 4.1 Metodika

#### 4.1.1 Seznam použitých nástrojů a přístrojů

- Rukavice
- Keramický hmoždíř
- Pinzeta
- Nůž
- Laboratorní lžička
- Zkumavky
- Plastové navažovací lodičky
- Analytická váha Phoenix instrument GmbH AS-224, Německo
- Digestoř
- Skleněné kádiny
- Teflonové nádoby a Mikrovlnný reakční systém Microwave PRO, Anton Paar GmbH, Rakousko
- Pipety různých objemů

#### 4.1.2 Příprava vzorků

K provádění výzkumu byly využity vzorky mechu travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) a lišejníku terčovníku tenounkého (*Physcia tenella*) ze 13 lokalit Ostravska (viz obr. 1). V první fázi experimentu se jednotlivé vzorky pomocí pinzety, nože a lžičky čistily od zeminy, jehličí, kůry a jiných nečistot (viz obr. 2). Následně se homogenizovaly v hmoždíři a uložily do označených zkumavek. Po každém vzorku se pracovní náčiní čistilo v demineralizované vodě.



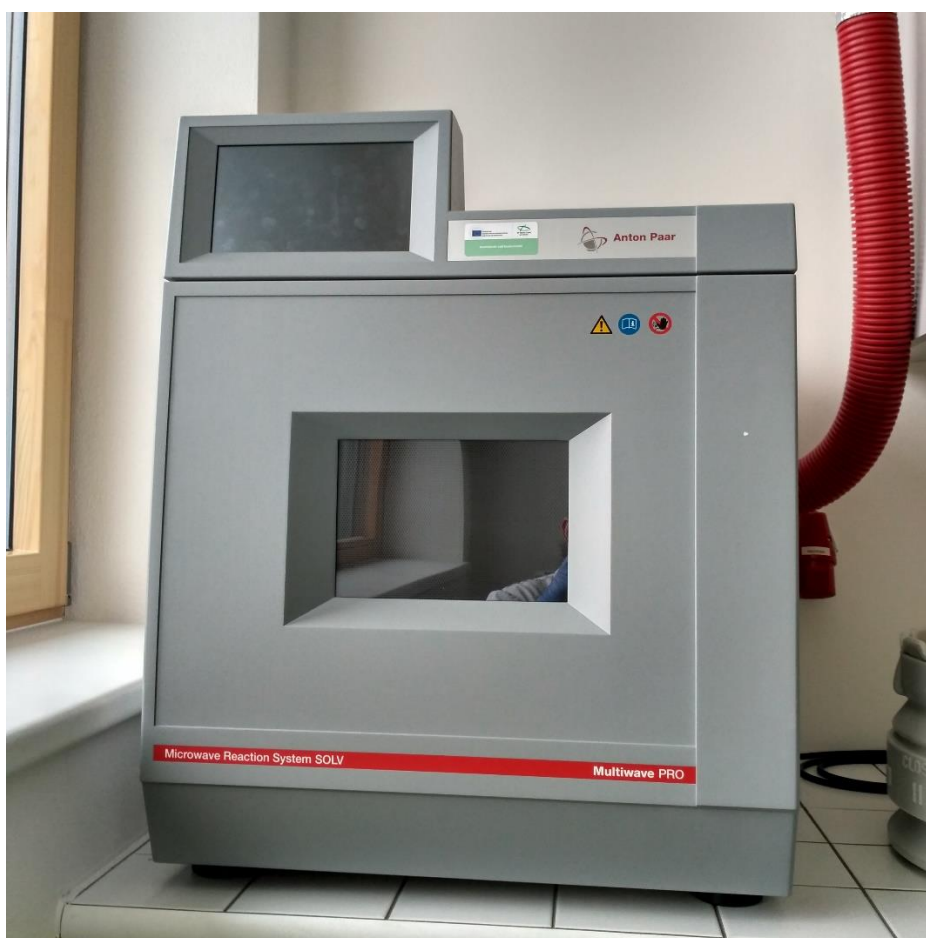
Obr. 1 Mapa lokalit sběru vzorků (Zdroj: [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps))



Obr. 2 Příprava vzorků

#### 4.1.3 Vážení a rozklad

Druhá část přípravy obsahovala vážení a rozklad vzorků v mikrovlnném zařízení. Váha vzorků byla stanovena na  $0,15 \text{ g} \pm 0,005 \text{ g}$ . V digestoři byla do vzorků přidávána směs kyselin, a to 2,5 ml kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 7,5 ml kyseliny dusičné (HNO<sub>3</sub>). Rozklad vzorků byl prováděn pomocí mikrovlnného zařízení (obr. 3). Pro rozklad byla použita metoda EPA 3052. Po vyjmutí z mikrovlnného zařízení byly rozložené vzorky přelity do zkumavek.



Obr. 3 Mikrovlnné zařízení

#### 4.1.4 Příprava na ICP-OES

Následně se připravily dvě sady prázdných zkumavek. První sada byla určena na filtrované vzorky. Filtrace probíhala pomocí injekční stříkačky s 0,45 mm nylonovým filtrem. Do druhé sady se přefiltrované vzorky ředily, a to v poměru 1:50, tedy 0,2 ml vzorku a 9,8 ml demineralizované vody. Každý vzorek byl zhotoven v

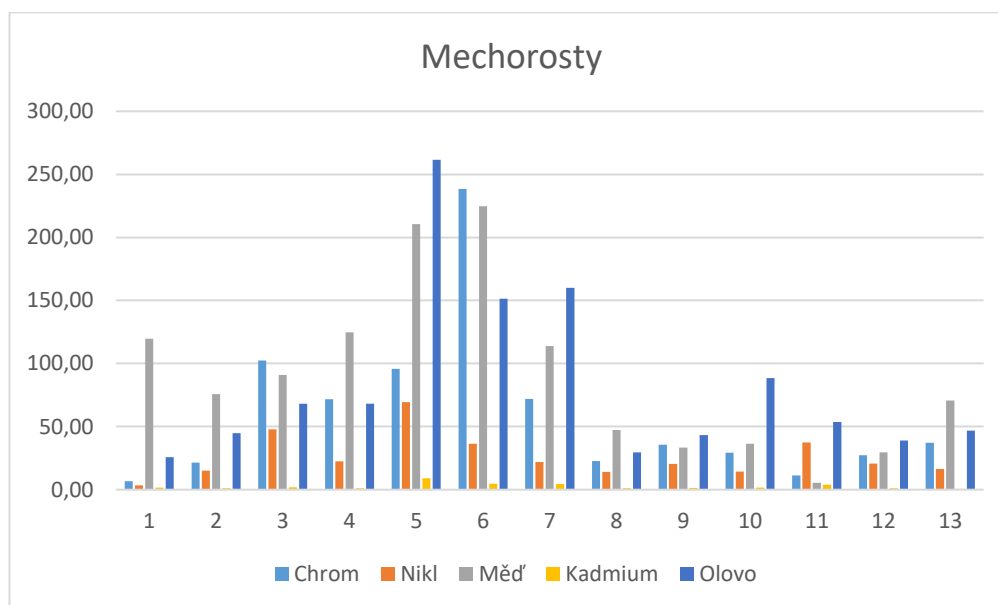


duplikátu. Takto připravené vzorky byly analyzovány na emisní spektrometrii s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).

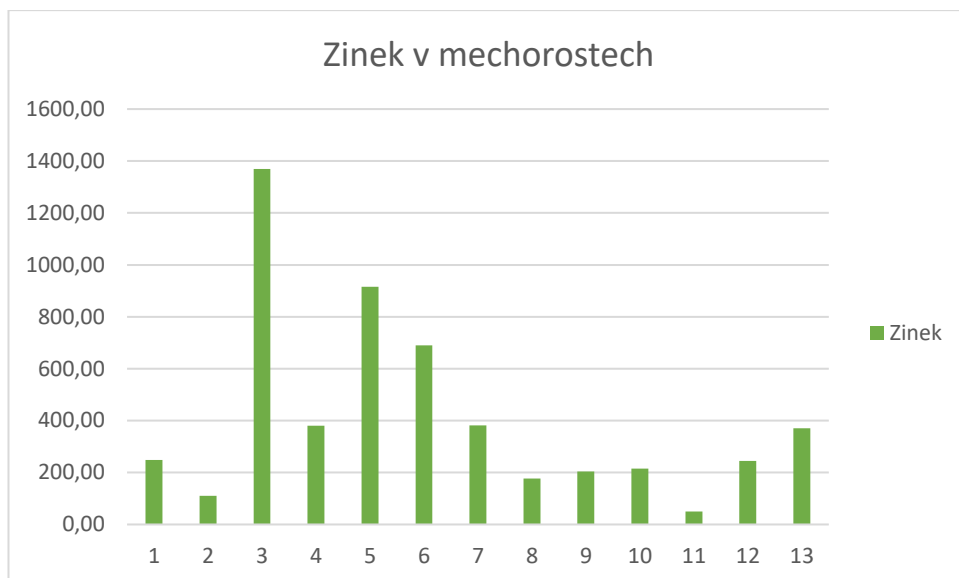
## 5. Výsledky

### 5.1 Mechorosty

V této kapitole jsou popsány výsledky analýzy. Kompletní tabulka výsledků koncentrací těžkých kovů ve vzorcích mechorostů je k dispozici v příloze 1. V obr. 4 jsou ukázány průměrné koncentrace z obou duplikátů v mechorostech. Průměrné výsledky zinku v mechorostech (viz obr. 5) jsou pro přehlednost uvedeny samostatně. Přehled výsledků průměrných koncentrací z obou duplikátů je uveden v příloze 3. Od nejvyšších průměrných koncentrací byly výsledky následující: Zn > Pb > Cr > Cu > Ni > Cd (viz tab. 2).



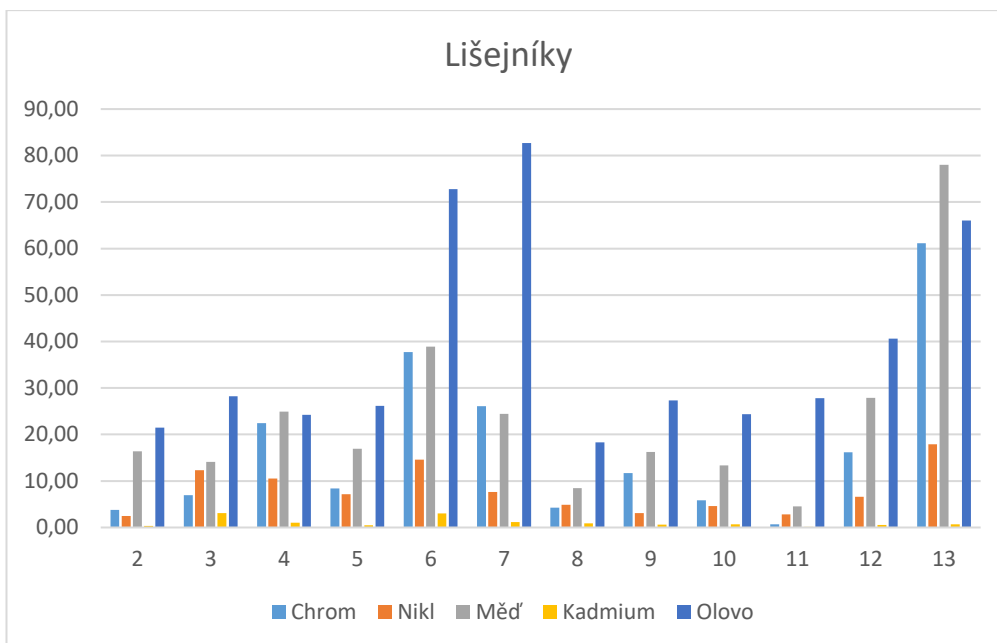
Obr. 4 Koncentrace těžkých kovů v mechorostech v  $\text{mg.kg}^{-1}$



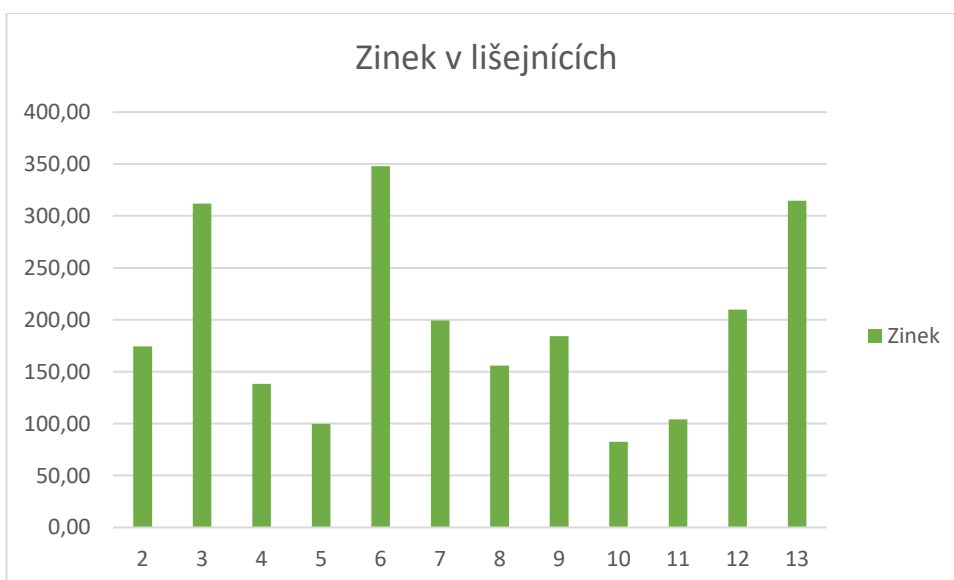
Obr. 5 Koncentrace zinku v mechorostech v mg.kg<sup>-1</sup>

## 5.2 Lišejníky

V této podkapitole jsou uvedeny výsledky měření koncentrací u lišejníků. Nezprůměrované výsledky jsou uvedeny v příloze 2. Výsledné koncentrace jsou uvedeny v obr. 6 pro Cr, Ni, Cu, Cd a Pb. Výsledky Zn jsou zobrazeny pro přehlednější podání výsledků v obr. 7. Od nejvyšších průměrných koncentrací byly výsledky následující: Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > Cd (viz tab. 2).



Obr. 6 Koncentrace těžkých kovů v lišejnících v mg.kg<sup>-1</sup>



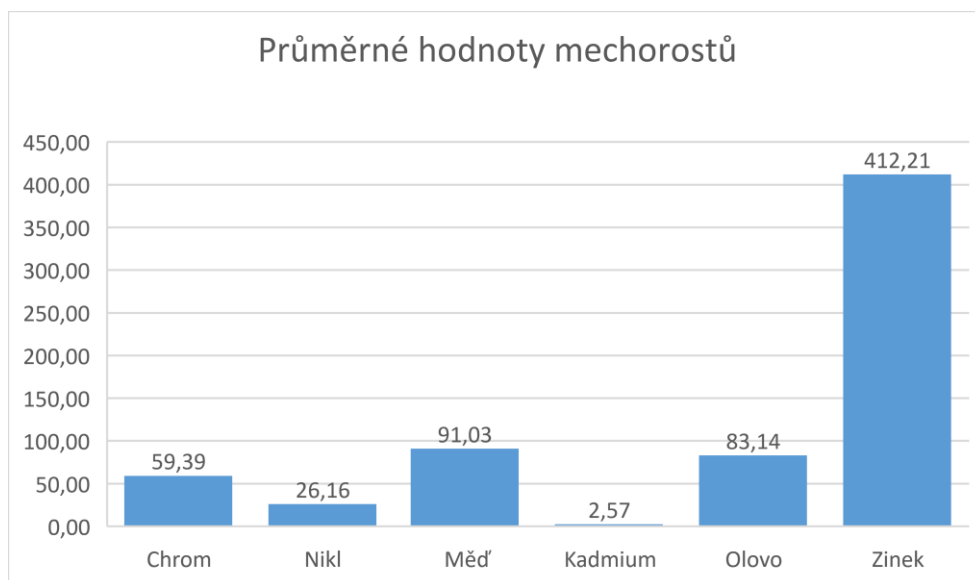
Obr. 7 Koncentrace zinku v lišejnících v mg.kg<sup>-1</sup>

Prvek	Nejvyšší hodnota mechorosty	Nejnižší hodnota mechorosty	Nejvyšší hodnota lišejníky	Nejnižší hodnota lišejníky
Chrom	238,5	6,67	61,16	0,68
Nikl	69,53	3,34	17,92	2,5
Měď	224,72	5,53	78,30	4,54
Kadmium	8,99	0,6	3,11	0,12
Olovo	261,56	25,84	82,71	18,31
Zinek	1369,77	50,37	348,04	82,33

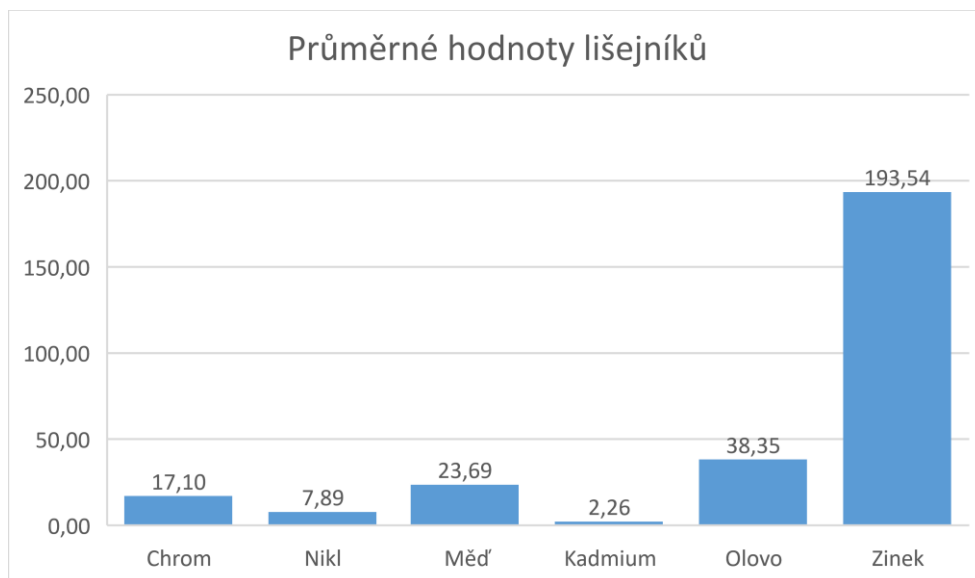
Tabulka 2: Srovnání nejvyšších, nejnižších hodnot vzorků mechorostů a lišejníků v  $\text{mg.kg}^{-1}$

### 5.3 Průměrné hodnoty těžkých kovů ve vzorcích

V této podkapitole jsou zobrazeny graficky data průměrných koncentrací jednotlivých těžkých kovů. V obr. 8 a 9 je dokázáno, že vyšší průměrná koncentrace těžkých kovů byla dosažena ve vzorcích mechorostů, a to u všech prvků. Nejvyšší rozdíl mezi hodnotou v mechorostu a lišejníku byl zjištěn u prvku zinku a to  $218,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Druhý nejvyšší rozdíl v hodnotách je u mědi, kde rozdíl byl  $67,37 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Třetí nejvyšší hodnota byla objevena u olova ( $44,80 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). U chromu byl rozdíl  $42,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Druhá nejnižší koncentrace byla naměřena u niklu ( $18,27 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Nejnižší rozdíl byl zjištěn u kadmia, pouhých  $0,31 \text{ mg.kg}^{-1}$ .



Obr. 8 Průměrné hodnoty těžkých kovů v mechorostech v  $\text{mg.kg}^{-1}$



Obr. 9 Průměrné hodnoty těžkých kovů v lišejnících v mg.kg<sup>-1</sup>

<b>Vzorky</b>	<b>Chrom</b>	<b>Nikl</b>	<b>Měď</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Olovo</b>	<b>Zinek</b>
<b>MECHY</b>	59,39	26,16	91,03	2,57	83,14	412,21
<b>LIŠEJNÍKY</b>	17,10	7,89	23,69	2,26	38,35	193,54
<b>Rozdíl</b>	42,29	18,27	67,37	0,31	44,80	218,67

Tabulka 3: Souhrnná tabulka průměrných koncentrací v mg.kg<sup>-1</sup>

V tabulce 3 je zobrazen průměr hodnot jednotlivých těžkých kovů. V posledním řádku jsou uvedeny rozdíly mezi mechrosty a lišejníky. Nejvyššího rozdílu bylo dosaženo u prvku zinku, a to 218,67 mg.kg<sup>-1</sup>. Sestupně rozdíly ostatních prvků – měď, olovo, chrom, nikl, a kadmium. U kadmia byl rozdíl jen 0,31 mg.kg<sup>-1</sup>.

#### 5.4 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je vypočítána z obou duplikátů od jednoho vzorku mechrostu a lišejníku. Tabulka směrodatných odchylek je uvedena v příloze 5.

## 6. Diskuze

V této části jsou konfrontovány průměrné výsledky (viz tabulka 3) k tabulce 5 podle Beneše, 1993. Podle tabulky 4 jsou nadlimitní průměrné hodnoty u olova ve vzorcích mechorostů o 12,14 mg.kg<sup>-1</sup>. Ve vzorcích mechorostů i lišejníků jsou průměrné hodnoty zinku vyšší než průměry podle Beneše. V mechorostech bylo více zinku o 270,21 mg.kg<sup>-1</sup> a v lišejnících o 51,54 mg.kg<sup>-1</sup>. Hodnoty pro ostatní půdy překročily všechny průměrné obsahy prvků v mechorostech. U lišejníků přesáhly tyto hodnoty prvky zinek a kadmium.

Chrom	Nikl	Měď	Olovo	Zinek
19-450	20-200	5-140	24-71	22-142

Tabulka 4 Průměrné celkové obsahy prvků v půdách v mg.kg<sup>-1</sup> (Zdroj: Beneš, 1993)

Poznámka: Hodnoty pro kadmium nebyly stanoveny

Další srovnání výsledků (viz příloha 2 a 3) k obsahu těžkých kovů v půdách nabízí tabulka 6. Ve všech kovech bylo naměřeno u některých vzorků nadlimitní množství. Nejvíce v zinku, kde hodnoty splňovaly pouze pro ostatní půdy vzorky 5 a 10 v lišejnících a vzorek 11 z mechorostů. U kadmia byl druhý nejvyšší počet překročení limitu pro ostatní půdy. U chromu byl limit překročen jen v pěti případech.

Prvek	Maximálně přípustné hodnoty obsahu cizorodých prvků v půdě (mg.kg <sup>-1</sup> )	
	Lehké půdy	Ostatní půdy
Kadmium	0,4	1,0
Chrom	40,0	40,0
Olovo	50,0	70,0
Měď	30,0	50,0
Nikl	15,0	25,0
Zinek	50,0	100,0

Tabulka 5 Maximální hodnoty prvků v lehkých a ostatních půdách v mg.kg<sup>-1</sup> (Zdroj: Půda – kov – rostlina, web2.mendelu.cz)

Výsledné koncentrace mohou být ovlivněny podniky zpracovávající kovové rudy a produkující výrobky z kovů v blízkosti sběru vzorků. První část je zaměřena na mechorosty a druhá na lišejníky.

Vzorek z Paskova (lokality č. 3) vykazuje nejvyšší koncentraci Zn v mechorostech. Vyšší koncentrace vykazuje i u Cr, Ni a Cu v mechorostech. V blízkosti se nachází válcovna plechu ve Frýdku-Místku. Nejvyšší koncentrace Cu a

Cr v mechorostech byla naměřena ve vzorku z lokality 6 (Ostrava-Přívov). V této městské části se nachází koksovna a Přívovská halda po bývalém dole Ondra. Nejvyšší koncentrace Ni, Cd a Pb byla ve vzorku z lokality 5 (Nová Bělá). V tomto vzorku byly i vyšší koncentrace Cu a Zn. V okolí se nachází průmyslová zóna Ostrava-Hrabová a v roce 2017 zavřená úpravna uhlí dolu Paskov. Ve vzorku z lokality 5 (Nová Bělá) byla nejvyšší koncentrace Ni.

Nejnižší koncentrace Cu a Zn se vyskytovaly ve vzorku z lokality 11 (Stonava). Vzorek z lokality 1 (Ostrava-Poruba) obsahoval nejméně Cr, Pb a Ni. Nejméně Cd bylo naměřeno ve vzorku z lokality 13 (Mariánské Hory).

U lišejníků se nejvyšší koncentrace Cd nacházela ve vzorku z lokality 3 (Paskov). Vzorek z lokality 6 (Ostrava-Přívov) vykazoval nejvyšší koncentraci Zn. Vzorek z lokality 13 (Mariánské Hory) obsahuje nejvyšší koncentrace Cr, Ni a Cu. Vzorek byl odebrán v blízkosti ocelárny v Ostravě-Hulváky. Lišejník odebraný na lokalitě 7 (Ostrava-Radvanice) má nejvyšší koncentraci Pb. Radvanice se nacházejí u odvalu Lihovarská a Nové hutě. Podle Kucbela et al, 2015, se v Radvanicích nachází více partikulárních částic PM<sub>10</sub> než v lokalitě Třinec. Obě lokality jsou silně ovlivněny metalurgickým průmyslem.

V ostatních vzorcích se vyskytují minima. Například vzorek ze Stonavy (11) obsahuje nejnižší koncentrace Cr, Cu a Cd. Ve vzorku z lokality 2 (Klimkovice) byly nejnižší koncentrace Ni. Nejméně Pb v lišejnících bylo naměřeno ve vzorku z lokality 8 (Havířov-Šumbark). Ve vzorku z lokality 10 (Orlová) byla nejnižší naměřená koncentrace Zn.

Vzorky 4 (Dubina), 9 (Petřvald) a 12 (Bohumín) neobsahovaly žádné minimální ani maximální koncentrace. V okolí sběru těchto vzorků nejsou žádné velké stacionární zdroje emisí a hlavním zdrojem emisí je doprava.

Podle Gandois et al. 2014 jsou nižší koncentrace v lišejnících způsobeny jejich vyšší senzitivitou na přírodní faktory. Například vymývání obsažených znečišťujících látek dešťovými srážkami. Mechorosty reflektují atmosférické depozice a jsou navíc ovlivněny okolním prostředím, protože jsou obohacovány prachovými depozicemi.

Francová et al. 2017 uvádí, že výhodou epifytických druhů lišejníků při bioindikaci je vstřebávání vlhkosti a živin pouze z atmosféry. To znamená, že prvky, které byly ve vzorcích lišejníků analyzovány, pochází téměř výhradně z atmosféry.

Ve srovnání výsledků s dřívějším výzkumem Francové et al. 2017 na stejných lokalitách došlo ke zvýšení koncentrací v průměru u všech zkoumaných prvků v mechorostech až na Cu. Bez vysoké hodnoty ze vzorku 9 (Petřvald) by i průměr koncentrací u Cu byl nižší než ve výsledcích mé práce.



## 7. Závěr

Bakalářská práce v rešeršní části uvádí polohu a základní údaje zkoumaného území Ostravy a Ostravska, popisuje jednotlivé vlastnosti těžkých kovů, působení těžkých kovů na zdraví člověka. Dále jsou zde popsány mechorosty a lišejníky s důrazem na jejich využití jako bioindikátorů.

V druhé části bakalářské práce se pracuje se vzorky mechorostů a lišejníků. Je zaznamenán průběh celého experimentu od přípravy vzorků až po pseudototální rozklad a analýzu ICP-OES. K představení výsledků byly vybráno šest těžkých kovů – Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Zn. V části výsledky se prezentují dosažené hodnoty těchto prvků pomocí tabulek a grafů.

Průměrně se ve vzorcích mechorostů vyskytovaly větší koncentrace těžkých kovů než ve vzorcích lišejníků. Vyšší hodnoty byly zaznamenány u všech zkoumaných prvků. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny u zinku a nejmenší u kadmia. Výsledky ze vzorků nasbíraných v blízkosti producentů kovových produktů nebo v blízkosti důlní činnosti prokazují, že oblasti v okolí těchto podniků jsou větší měrou ovlivněny emisemi těžkých kovů než v oblastech bez velkých průmyslových podniků. Například vzduch v Radvanicích je považován za jeden z nejznečištěnějších vůbec v České republice. Ve srovnání s dřívějším výzkumem na těchto lokalitách došlo ke zvýšení koncentrací.

Pro další zkoumání lze doporučit opakování experimentu s časovým odstupem a srovnání výsledků z obou měření. Doporučit lze i víceletou studii s odběrem vzorků v jiných ročních obdobích a porovnávat změny koncentrací v průběhu roku nebo let.

## 8. Zdroje

### 8.1 Literární zdroje

BARGAGLI, R., MONACI, F.F., BORGHINI, F., BRAVI, F.F., AGNORELLI, C., 2002. Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environ. Pollut.*, vol. 116. 279-287. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00125-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00125-7)

BENCKO, V., CIKRT, M., LENER, J., 1995. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Praha: Grada publishing. 282 s. ISBN: 80-7169-150-X

BENEŠ, S., 1993. Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí I. Část. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky. 88 s.

BENEŠ, S., 1994. Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí II. Část. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky. 159 s.

BENEŠ, S., PABIÁNOVÁ, J., 1986. Přirozené obsahy, distribuce a klasifikace prvků v půdách. Praha: Vysoká škola zemědělská Praha. 205 s.

CONTI, M.E., CECCHETTI, G., 2001. Biological monitoring; lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environmental Pollution*, vol. 114. 471-492.

COWDEN, P., LIANG, T., AHERNE, J., 2015. Mosses as bioindicators of air pollution along an urban-agricultural transect in the credit river watershed, Southern Ontario, Canada. *Annali di botanica*, vol. 5. Ann. Bot. 63-70.

FRANCOVÁ, A., CHRASTNÝ, V., ŠILLEROVÁ, H. VÍTKOVÁ, M., KOCOURKOVÁ, J., KOMÁREK, M., 2017. Evaluating the suitability of different environmental samples for tracing atmospheric pollution in industrial areas. *Environmental Pollution*, vol. 220. Elsevier. 286-297.

GANDOIS, L., AGNAN, Y., LEBLOND, S., SÉJALON-DELMAS, N., LE ROUX, G., PROBST, A., 2014. Use of geochemical signatures, including rare earth elements, in mosses and lichens to assess spatial integration and the influence of forest environment. *Atmospheric Environmental*, vol 95. 96-104.

GERDOL, R., MARCHESINI R., IACUMIN, P., BRANCALEONI, L., 2014. Monitoring temporal trends of air pollution in an urban area using mosses and lichens as biomonitors. *Chemosphere*, vol. 108. Elsevier. 388-395.

HADAŠ, P., 2002. Emise, imise, depoziční toky a poškozování lesních porostů. *Lesnická práce*, vol. 81, (10).

HERČÍK, M., LAPČÍK, V., OBROUČKA, K., 1995. Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium. Ostrava: Vysoká škola báňská. 205 s. ISBN 80-7078255-2.

HORÁK, J., LINHART, I., KLUSOŇ, P., 2004. Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze 187 s. ISBN: 80-7080-548-X

KAFKA, Z., PUNCOCHÁŘOVÁ J., 2002. Těžké kovy a jejich toxicita. *Chemické listy*. 611-617.

KIENZL, K., RISS, A., VOGEL, W., HACKL, J., GÖTZ, B., 2003. Trace metals and other contaminants in the environment. Chapter 3 Bioindicators and biomonitors for policy, legislation and administration. Elsevier. 85-122.

KUCBEL, M., SÝKOROVÁ, B., RŮŽIČKOVÁ, J., 2016. Carbonaceous particles in the air of the Moravian-Silesian Region, Czech Republic. *Perspectives in Science*, vol. 7. 333-336.

KUČERA, J., 2012. Mechorosty České republiky. *Živa*, (4), 165-166.

KUSZEWSKI, B., OBIEDZIŃSKI, M. W., KOWALSKA J., 2017. Nickel, cadmium and lead levels in raw cocoa and processed chocolate mass materials from three different manufacturers. *Journal of food composition and analysis*. Elsevier. 127-135.

MARKERT, B.A., BREURE, A.M., ZECHMEISTER., 2003. *Bioindicators & Biomonitors: Principles, Concepts, and Applications*. Elsevier. 997 s.

MARKERT, B., WAPPELHORST, O., WECKERT, V., HERPIN, U., SIEWERS, U., FRIESE, K., BREULMANN, G., 1993. The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 240, (2). 425-429.

PEŠEK, J., SIVEK, M., 2012. Uhlonosné pánve a ložiska černého a hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba. Str. 7. ISBN: 978-80-7075-800-7

PTÁČEK, J., 2017: Rockburst in Ostrava-Karvina Coalfield. In: KONÍČEK, P., SOUČEK, K., KONEČNÝ P.: *ISRM European Rock Mechanics Symposium EUROCK 2017*. Elsevier. 1144-1145. ISSN: 1877-7058

SKALKA, M., 2004. Lišejníky jako bioindikátory. *Živa*. (3), 107-108.

STERN, A. C., WOHLERS H. C., BOUBEL R. W., LOWRY W. P., 2014. *Fundamentals of air pollution*. Elsevier. 508 s. 129-131.

SVOBODA, D., 2004. Český kras – stanovení úrovně znečištění prostředí pomocí lišejníků. *Živa*. (3), 110.

SÝKOROVÁ, B., KUCBEL, M., RAČLAVSKÝ, K., 2016. Composition of airborne particulate matter in the industrial area versus mountain area. *Perspectives in Science*, vol. 7. 369-372.

VÁŇA, J., 2006. *Obecná bryologie*. Praha: Karolinum. 187 s. ISBN 80-246-1093-0

WILKINS, K., AHERNE, J., 2015. *Isoetecium myosuroides* and *Thuidium tamariscium* mosses as bioindicators of nitrogen and heavy metals deposition in Atlantic oak woodlands. *Annali di botanica. Ann. Bot.*, vol. 5. 71-78.

WOLTERBEER, B., 2002. *Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives*. *Environmental Pollution 1*, vol. 120. Elsevier. 11-21. ISSN: 0269-7491

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

## 8.2 Internetové zdroje

ARNIKA. Nikl [online]. [cit. 2.10.2017]. Dostupné z: <http://arnika.org/nikl>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚŘAD [online]. [cit. 18.3.2018]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Počet obyvatel v obcích [online]. [cit. 20.9.2017] <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112017>

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Chrom a sloučeniny [online]. [cit. 24.9.2017]. Dostupné z [https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Chrom\\_a\\_jeho\\_slouceniny.pdf](https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Chrom_a_jeho_slouceniny.pdf)

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Kadmium a sloučeniny [online]. [cit. 26.9.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Kadmium.pdf>

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Měď a sloučeniny [online]. [cit. 24.9.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/node/67>

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Nikl a sloučeniny [online]. [cit. 26.9.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/node/72>

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Olovo a sloučeniny [online]. [cit. 24.9.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/node/74>

INTERGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. O IRZ [online]. [cit. 12.11.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/node/108>

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Zinek a sloučeniny [online]. [cit. 26.9.2017]. Dostupné z <https://www.irz.cz/node/106>

MORAVSKOSLEZSKÝ KRAJ. GEOLOGIE [online]. [cit. 27.9.2017]. Dostupné z [https://www.msk.cz/cz/zivotni\\_prostredi/geologie-41591/](https://www.msk.cz/cz/zivotni_prostredi/geologie-41591/)

OSTRAVAINFO [online] Ostrava: Ostravský informační servis s.r.o [cit. 17.9.2017] Dostupné z <https://www.ostravainfo.cz/cz/o-ostrave/ve-zkratce/>

Pitter Pavel: *Hydrochemie* [online]. Version 1.0. Praha : VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2018-03-12], 69. Dostupné z [www: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-978-80-7080-701-9/pages-pdf/069.html>](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-701-9/pages-pdf/069.html). ISBN 978-80-7080-701-9

WIKIPEDIA. Ostrava [online]. [cit. 21.9.2017]. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ostrava>

## 9. Seznam obrázků a tabulek

### 9.1 Obrázky

Obr. 1 Mapa lokalit sběru vzorků, dostupné z:

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=cs&hl=cs&mid=1qnxCiRU1it6613Jci1IZrHcEnUVYSYAc&ll=49.79488950228638%2C18.29504644906001&z=12>

Obr. 2 Příprava vzorků

Obr. 3 Mikrovlnné zařízení

Obr. 4 Koncentrace těžkých kovů v mechorostech v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Obr. 5 Koncentrace zinku v mechorostech v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Obr. 6 Koncentrace těžkých kovů v lišejnících v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Obr. 7 Koncentrace zinku v lišejnících v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Obr. 8 Průměrné hodnoty těžkých kovů v mechorostech v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Obr. 9 Průměrné hodnoty těžkých kovů v lišejnících v  $\text{mg.kg}^{-1}$

### 9.2 Tabulky

Tabulka 1 Dlouhodobé teplotní a srážkové průměry. Světová meteorologická organizace, dostupné z: <http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=920>

Tabulka 2 Srovnání nejvyšších, nejnižších hodnot vzorků mechorostů a lišejníků v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Tabulka 3 Souhrnná tabulka průměrných koncentrací v  $\text{mg.kg}^{-1}$

Tabulka 4 Průměrné celkové obsahy prvků v půdách v  $\text{mg.kg}^{-1}$  (Zdroj: BENEŠ, S. Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí I. Část. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky. 1993. 88 s.)

Tabulka 5 Maximální hodnoty prvků v lehkých a ostatních půdách v  $\text{mg.kg}^{-1}$ , dostupné z: Půda – kov – rostlina, [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/npv2/index.php?N=1&I=3&J=6&K=0](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/npv2/index.php?N=1&I=3&J=6&K=0)

## 10. Přílohy

Vzorek	Chrom	Nikl	Měď	Kadmium	Olovo	Zinek
OM 1/1	5,37	4,20	69,57	0,72	8,16	247,17
OM 1/2	7,98	2,48	169,72	2,71	43,52	250,40
OM 2/1	15,98	9,50	71,55	1,08	33,51	77,66
OM 2/2	26,66	20,53	79,85	1,09	56,13	142,17
OM 3/1	101,73	49,61	89,00	2,36	65,99	1396,08
OM 3/2	103,27	46,00	93,13	1,47	70,30	1343,46
OM 4/1	52,36	19,06	98,87	1,02	56,62	334,14
OM 4/2	91,28	25,85	150,74	1,10	79,79	427,34
OM 5/1	95,71	72,54	215,16	8,88	281,38	934,37
OM 5/2	95,99	66,52	205,96	9,10	241,73	896,60
OM 6/1	191,22	35,34	204,29	3,60	135,81	672,40
OM 6/2	285,78	37,63	245,14	5,58	167,04	707,01
OM 7/1	69,42	21,48	100,68	4,07	159,21	369,18
OM 7/2	74,41	22,61	127,23	4,71	160,66	393,73
OM 8/1	27,20	16,18	76,78	1,55	20,13	194,67
OM 8/2	18,26	12,09	17,75	0,48	39,13	160,36
OM 9/1	40,19	23,47	40,60	2,24	43,05	236,02
OM 9/2	31,20	17,38	26,23	0,43	43,50	172,48
OM 10/1	25,06	11,49	34,29	2,03	69,99	208,02
OM 10/2	33,70	16,99	38,52	1,03	107,05	222,19
OM 11/1	18,00	28,71	6,60	1,85	15,84	36,55
OM 11/2	4,62	46,21	4,47	6,11	91,64	64,20
OM 12/1	33,62	22,48	33,09	1,57	57,76	264,97
OM 12/2	20,77	18,86	26,05	0,82	19,91	225,46
OM 13/1	34,74	12,75	66,86	0,91	54,56	355,52
OM 13/2	39,61	20,15	74,65	0,30	39,32	385,33

Příloha 1 Hodnoty koncentrací v mechorostech v mg.kg<sup>-1</sup>

<b>Vzorek</b>	<b>Chrom</b>	<b>Nikl</b>	<b>Měď</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Olovo</b>	<b>Zinek</b>	
OL	2/1	7,60	3,14	17,53	0,18	21,68	180,64
OL	2/2	0,00	1,87	15,25	0,48	21,23	168,29
OL	3/1	13,69	10,29	26,62	3,11	50,22	402,13
OL	3/2	0,17	14,35	1,59	31,93	6,28	221,55
OL	4/1	33,53	13,16	40,89	1,73	25,49	200,35
OL	4/2	11,37	7,91	8,91	0,38	23,04	76,08
OL	5/1	12,04	8,75	23,57	0,57	37,33	122,12
OL	5/2	4,80	5,57	10,35	0,42	14,99	77,15
OL	6/1	37,59	15,06	37,53	1,49	61,31	331,54
OL	6/2	37,85	14,13	40,33	4,57	84,28	364,54
OL	7/1	29,73	7,47	28,60	0,70	98,77	201,15
OL	7/2	22,52	7,79	20,26	1,63	66,65	197,31
OL	8/1	4,08	5,47	8,29	0,61	9,25	150,76
OL	8/2	4,44	4,27	8,63	1,10	27,36	161,20
OL	9/1	9,87	3,77	18,88	0,57	35,32	200,51
OL	9/2	13,51	2,47	13,62	0,67	19,38	167,76
OL	10/1	5,73	4,95	13,16	0,81	9,75	77,16
OL	10/2	5,93	4,32	13,50	0,50	39,04	87,51
OL	11/1	0,44	2,50	2,86	0,11	24,54	59,03
OL	11/2	0,93	3,12	6,23	0,13	31,06	149,34
OL	12/1	8,70	4,59	17,35	0,59	26,90	131,27
OL	12/2	23,64	8,56	38,43	0,53	54,35	288,28
OL	13/1	62,84	16,95	77,84	0,30	67,87	319,97
OL	13/2	59,47	18,89	78,23	1,02	64,23	309,43

Příloha 2 Hodnoty koncentrací v lišejnících v mg.kg<sup>-1</sup>

<b>Vzorek</b>	<b>Chrom</b>	<b>Nikl</b>	<b>Měď</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Olovo</b>	<b>Zinek</b>	
<b>OM</b>	1	6,67	3,34	119,64	1,72	25,84	248,78
<b>OM</b>	2	21,32	15,02	75,70	1,08	44,82	109,91
<b>OM</b>	3	102,50	47,81	91,07	1,91	68,14	1369,77
<b>OM</b>	4	71,82	22,46	124,80	1,06	68,21	380,74
<b>OM</b>	5	95,85	69,53	210,56	8,99	261,56	915,49
<b>OM</b>	6	238,50	36,48	224,72	4,59	151,42	689,71
<b>OM</b>	7	71,92	22,04	113,96	4,39	159,93	381,45
<b>OM</b>	8	22,73	14,14	47,27	1,02	29,63	177,52
<b>OM</b>	9	35,70	20,42	33,42	1,33	43,27	204,25
<b>OM</b>	10	29,38	14,24	36,40	1,53	88,52	215,10
<b>OM</b>	11	11,31	37,46	5,53	3,98	53,74	50,37
<b>OM</b>	12	27,19	20,67	29,57	1,20	38,84	245,21
<b>OM</b>	13	37,17	16,45	70,75	0,60	46,94	370,42

Příloha 3 Výsledky průměrné koncentrace v duplikátech mechorostů v mg.kg<sup>-1</sup>

<b>Vzorek</b>	<b>Chrom</b>	<b>Nikl</b>	<b>Měď</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Olovo</b>	<b>Zinek</b>	
<b>OL</b>	2	3,80	2,50	16,39	0,33	21,46	174,46
<b>OL</b>	3	6,93	12,32	14,11	3,11	28,25	311,84
<b>OL</b>	4	22,45	10,53	24,90	1,06	24,26	138,22
<b>OL</b>	5	8,42	7,16	16,96	0,50	26,16	99,63
<b>OL</b>	6	37,72	14,59	38,93	3,03	72,79	348,04
<b>OL</b>	7	26,13	7,63	24,43	1,17	82,71	199,23
<b>OL</b>	8	4,26	4,87	8,46	0,85	18,31	155,98
<b>OL</b>	9	11,69	3,12	16,25	0,62	27,35	184,14
<b>OL</b>	10	5,83	4,63	13,33	0,66	24,40	82,33
<b>OL</b>	11	0,68	2,81	4,54	0,12	27,80	104,19
<b>OL</b>	12	16,17	6,57	27,89	0,56	40,63	209,78
<b>OL</b>	13	61,16	17,92	78,03	0,66	66,05	314,70

Příloha 4 Výsledky průměrné koncentrace v duplikátech lišejníků v mg.kg<sup>-1</sup>



Vzorek		Chrom	Nikl	Měď	Kadmium	Olovo	Zinek
OM	1	1,30	0,86	50,07	1,00	17,68	1,62
OM	2	5,34	5,52	4,15	0,01	11,31	32,26
OM	3	0,77	1,80	2,06	0,44	2,16	26,31
OM	4	19,46	3,40	25,93	0,04	11,59	46,60
OM	5	0,14	3,01	4,60	0,11	19,83	18,88
OM	6	47,28	1,15	20,43	0,99	15,62	17,31
OM	7	2,50	0,57	13,28	0,32	0,73	12,27
OM	8	4,47	2,04	29,51	0,54	9,50	17,15
OM	9	4,50	3,05	7,18	0,91	0,23	31,77
OM	10	4,32	2,75	2,11	0,50	18,53	7,08
OM	11	6,69	8,75	1,07	2,13	37,90	13,82
OM	12	6,43	1,81	3,52	0,37	18,93	19,75
OM	13	2,44	3,70	3,89	0,30	7,62	14,90
OL	2	3,80	0,63	1,14	0,15	0,23	6,17
OL	3	6,76	2,03	12,51	14,41	21,97	90,29
OL	4	11,08	2,62	15,99	0,67	1,22	62,13
OL	5	3,62	1,59	6,61	0,07	11,17	22,49
OL	6	0,13	0,46	1,40	1,54	11,48	16,50
OL	7	3,60	0,16	4,17	0,47	16,06	1,92
OL	8	0,18	0,60	0,17	0,24	9,06	5,22
OL	9	1,82	0,65	2,63	0,05	7,97	16,38
OL	10	0,10	0,31	0,17	0,15	14,64	5,17
OL	11	0,25	0,31	1,69	0,01	3,26	45,16
OL	12	7,47	1,99	10,54	0,03	13,72	78,50
OL	13	1,68	0,97	0,19	0,36	1,82	5,27

Příloha 5 Tabulka směrodatných odchylek