



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

**ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ**

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

**STUDIUM OBSAHU RIZIKOVÝCH PRVKŮ V
PŮDÁCH A ROSTLINNÉM MATERIÁLU**

STUDY OF THE CONTENT OF RISK ELEMENTS IN SOILS AND PLANT MATERIAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Renáta Vlčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1697/2021 Akademický rok: 2021/22
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studentka: **Renáta Vlčková**
Studijní program: Chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Studium obsahu rizikových prvků v půdách a rostlinném materiálu

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracování literární rešerše na téma problematiky kontaminace životního prostředí vybranými těžkými kovy.
2. Analýza vzorků půd a rostlinného materiálu.
3. Zhodnocení získaných výsledků.

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2022:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu.
Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Renáta Vlčková
studentka

doc. Mgr. Renata Komendová,
Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2022

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá studiem obsahu vybraných těžkých kovů (Zn, Ni, Fe, Mn) v půdách a houbách. Pro stanovení obsahu těžkých kovů byla použita metoda plamenové atomové absorpční spektrometrie. Vzorky hub a půd byly odebrány na 18 lokalitách v oblasti Jeseníků. Koncentrace těžkých kovů v houbách se pohybují v rozmezích, které klesají v pořadí 140–582 mg/kg Zn, 48–380 mg/kg Fe, 5–19 mg/kg Mn a 3–8 mg/kg Ni. Nejvyšší hodnotu koncentrace u všech druhů hub měl zinek. V půdách se koncentrace těžkých kovů pohybovaly v rozmezích 10–72 g/kg Fe, 52–1 000 mg/kg Mn, 29–115 mg/kg Zn a 6–50 mg/kg Ni. Nejvíce zastoupeným prvkem v půdách bylo železo. Na studované oblasti bylo vyhodnoceno znečištění hub jako zdravotně rizikové. Znečištění lesních půd však bylo vyhodnoceno jako vyhovující a není tak narušena produkční funkce půdy. Bylo zjištěno, že druh lesního porostu má na chemické složení půd minimální vliv.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the study of the content of selected heavy metals (Zn, Ni, Fe, Mn) in soils and mushrooms. The flame atomic absorption spectrometry method was used to determine the heavy metal content. Fungi and soil samples were collected at 18 sites in the Jeseníky region. The concentrations of heavy metals in the mushrooms were in the range from 140–582 mg/kg Zn, 48–380 mg/kg Fe, 5–19 mg/kg Mn and 3–8 mg/kg Ni. Zinc had the highest concentration value in all mushroom species. In soils, the concentrations of heavy metals ranged from 10–72 g/kg Fe, 52–1,000 mg/kg Mn, 29–115 mg/kg Zn and 6–50 mg/kg Ni. Iron was the most abundant element in the soils. Mushrooms contamination was assessed as a health risk in the study area. However, the pollution of forest soils was assessed as satisfactory and thus the productive function of the soil is not impaired. The type of forest cover was found to have minimal effect on the chemical composition of the soils.

KLÍČOVÁ SLOVA

zinek, nikl, železo, mangan, houby, půdy, AAS

KEYWORDS

zinc, nickel, iron, manganese, mushrooms, soil, AAS

VLČKOVÁ, Renáta. *Studium obsahu rizikových prvků v půdách a rostlinném materiálu*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139139>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem citovala správně a úplně. Bakalářská práce je z hlediska obsahem majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
Renáta Vlčková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce doc. Mgr. Renatě Komendové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a vstřícnost při konzultacích. Bakalářská práce vznikla díky projektu „Stanovení vertikální mobility těžkých kovů v lesních půdách jako podklad pro optimalizaci dřevinné skladby s cílem snížení rizika jejich transferu do jedlých hub“ (TJ02000128). Ráda bych tímto poděkovala za poskytnutí vzorků hub a půd z tohoto projektu. Poděkování také patří Bc. Romanovi Jurnečkovi za technickou podporu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala mé rodině a přátelům za podporu během studia.

Obsah

1	ÚVOD	6
2	TEORETICKÁ ČÁST	7
2.1	Rizikové prvky v životním prostředí	7
2.1.1	Zinek.....	7
2.1.2	Nikl.....	8
2.1.3	Železo	9
2.1.4	Mangan.....	9
2.2	Limity vybraných těžkých kovů	10
2.2.1	Limitní hodnoty v houbách	10
2.2.2	Preventivní hodnoty v půdách.....	10
2.3	Vzorkování půd	11
2.4	Rozklad a rozpouštění vzorku	12
2.4.1	Rozpouštění v anorganických kyselinách	12
2.4.2	Mikrovlnný rozklad.....	13
2.5	Atomová absorpční spektrometrie.....	13
2.5.1	Zdroj záření	14
2.5.2	Atomizátor.....	15
2.5.3	Monochromátor	16
2.5.4	Detektor	17
2.6	Další metody stanovení těžkých kovů	17
3	CÍL PRÁCE	19
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
4.1	Použité přístroje	20
4.2	Použité chemikálie.....	20
4.2.1	Certifikované referenční materiály.....	20
4.2.2	Chemikálie	20
4.3	Použité pomůcky	20
4.4	Odběry vzorků hub a půd	21
4.5	Příprava vzorků hub.....	22
4.6	Příprava vzorků půd.....	22
4.7	Mikrovlnný rozklad hub a půd	22
4.7.1	Houby	22

4.7.2	Půdy.....	23
4.8	Analýza hub a půd	23
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	25
4.1	Obsahy těžkých kovů v houbách	25
4.2	Obsahy těžkých kovů v půdách	25
4.3	Půdní profil těžkých kovů.....	26
4.4	Vliv lesního porostu na chemické složení půd	29
5	ZÁVĚR	31
6	POUŽITÁ LITERATURA	32
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	36
8	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	37
9	SEZNAM TABULEK A PŘÍLOH	38
	PŘÍLOHY.....	39

1 ÚVOD

V roce 2019 byl zahájen projekt s názvem „Stanovení vertikální mobility těžkých kovů v lesních půdách jako podklad pro optimalizaci dřevinné skladby s cílem snížení rizika jejich transferu do jedlých hub“ (TJ02000128). Výzkum byl proveden v oblasti Jeseníků v České republice. V této oblasti v minulosti probíhala průmyslová těžba nerostných surovin, která se promítla na současnou kontaminaci pocházející z atmosférického spadu. Cílem projektu bylo posoudit znečištění horní vrstvy půdy vybranými potenciálně toxickými prvky Cd, Cu, Pb a Zn.

Tato bakalářská práce navazuje na zmíněný projekt, jejíž cílem je zhodnotit kontaminaci životního prostředí těžkými kovy Zn, Ni, Fe a Mn v horních vrstvách půdy a rostlinném materiálu (houby); posoudit distribuci systému půda-houba; porovnat vliv lesních porostů buku a smrku na obsah těžkých kovů v půdách a houbách. Těžké kovy jsou stanoveny ve 20 vzorcích hub, které byly odebrány na 18 lokalitách zároveň s půdními vzorky.

Z hlediska životního prostředí je nutné o lesy pečovat, a to nejen v zájmu lesních porostů ale i v zájmu zdraví lidské společnosti. V minulosti došlo k několika negativním zásahům, které dodnes ovlivňují zdravotní stavy lesů. V dnešní době je snaha o jejich zlepšení. Negativní vliv mají zejména emise, které jsou vypouštěny do ovzduší a následně přicházejí do styku se životním prostředím (imise). Imise se kumulují v půdách, vodách a v organismech. Jedná se hlavně o těžké kovy nebo jiné látky, které se hromadí v životním prostředí. Listnaté stromy jsou v porovnání s jehličnatými odolnější díky jejich každoroční obnově (opad listů). Přesto že se stav českých lesů zlepšuje, stromy na všechny změny reagují se zpožděním. Nejčastěji vysazovanou dřevinou v českých lesích je smrk. Smrk má větší potenciál zachytávat atmosférické znečištění a kumulovat ho ve vrstvách humusu v porovnání s bukem.

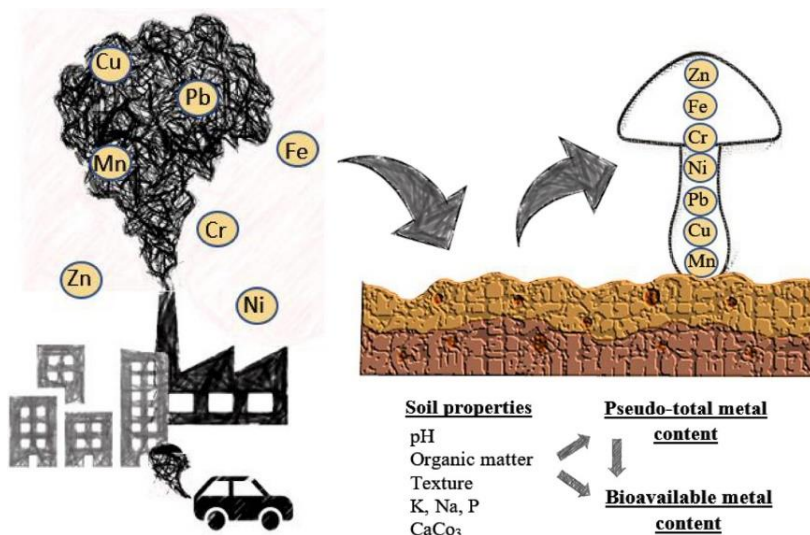
Kvalitu půdy určuje půdní struktura, sorpční schopnosti a půdní reakce. Její kvalita je negativně ovlivňována obsahem rizikových prvků a látek v půdě. Sledují se jak anorganické polutanty (rizikové prvky), tak perzistentní organické polutanty. V minulosti bylo zjištěno, že zemědělské i lesní půdy jsou mírně kyselé, což je způsobeno antropogenními zdroji (průmyslová a zemědělská činnost a těžba). Špatný stav lesních půd je provázán se zdravotním stavem stromů, který se objevuje zejména u jehličnatých porostů. Je to způsobeno stresovými faktory a výživou. V létě roku 2019 bylo v ČR období sucha, které v kombinaci se škodlivými organismy sehrálo významnou roli, která se promítla na životním prostředí.

Volně rostoucí houby jsou považovány za důležitou součást života. Houby mají charakteristické vlastnosti, které je spojují jak s rostlinami, tak s živočichy. Jsou oblíbenou pochutinou v mnoha zemích. Sběr hub se v ČR stal velmi oblíbenou činností. U volně rostoucích hub je známo, že snadno hromadí těžké kovy ze svého okolí. Tohoto faktu lze využít k vyhodnocení znečištění životního prostředí.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Rizikové prvky v životním prostředí

Těžké kovy přirozeně se vyskytující v životním prostředí jsou životně důležité. Jakmile se však začnou hromadit v organismech, mohou se stát nebezpečnými [1]. Znečištění životního prostředí je v dnešní době způsobené rozvojem moderní techniky. S tím souvisí velmi rychlá produkce a spotřeba kovů a polokovů [2]. To se týče zejména neželezných kovů, jako jsou wolfram, molybden, vanad, mangan a zinek. Dále roste také produkce barevných kovů, pro něž se nacházejí i nová uplatnění. Mezi tyto kovy se řadí hliník, olovo, měď, nikl, chrom, antimon a rtuť [3]. Výše uvedené kovy se dostávají do ovzduší, vody, půdy a potravin. Kovy v životním prostředí nedegradují, ale kumulují se ve vrstvách půdy, na rozdíl od organických látek, kdy některé z nich mohou podléhat degradaci. Zvyšováním koncentrace toxických kovů v půdě se zvyšuje jejich obsah v potravinách živočišného i rostlinného původu [2]. Hlavním zdrojem v životním prostředí je prach s obsahem kovů, který vzniká při manipulaci se surovinami a výrobky, skladování a spalování [4].



Obr. 1 Akumulace těžkých kovů v houbách a půdách [5]

2.1.1 Zinek

Zinek je jedním z nejběžnějších prvků, které tvoří zemskou kůru. V přírodě se zinek vyskytuje ve sloučeninách v oxidačním stavu II. Ve sloučeninách se váže především se sírou a kyslíkem. Nejběžnějším minerálem a rudou pro průmyslovou výrobu je minerál sfalerit (ZnS), jeho vzácnější modifikací je wurtzit [6]. Dalším minerálem je smithsonit (ZnCO₃), jinak nazýván kalamín uhličitý. Zinek se využívá k výrobě slitin. Nejznámější slitinou je mosaz (Cu a Zn), nebo alpaka (Ni, Cu a Zn). Větší část vytěženého zinku se využívá pro úpravu kovových povrchů proti korozi, jedná se o tzv. pozinkování [7; 8].

Zinek je součástí životního prostředí, nalezneme ho ve vzduchu, v půdě, ve vodě a je přítomný i ve všech potravinách. Mezi antropogenní zdroje zinku se zařazuje těžba, metalurgický průmysl. Po železe, mědi a hliníku je čtvrtým nejčastěji používaným kovem. Do ovzduší se dostává při spalování uhlí a jiných organických materiálů. Ve vzduchu se poté váže na pevné

částice a postupně klesá k zemi. Do vod se dostává vypouštěním odpadních vod z průmyslu, domácností a při dešti je splachován z půdy. Ve vodách se usazuje ke dnu a při zvýšené kyselosti vody se rozpouští. Koncentrace zinku v půdě se zvyšuje zejména z důvodu ukládání odpadů z průmyslu a z uhelného popílku z elektráren. V půdách je zinek pevně vázán, a proniká do podzemních vod [7].

Pro fungování lidského těla je zinek nezbytným prvkem, který ale má definovaný doporučený denní příjem. Pro ženy je denní dávka definována na 12 mg/kg a pro muže na 15 mg/kg. Po železe je druhým nejrozšířenějším stopovým prvkem v těle. Zdrojem zinku, který je běžně přijímán v potravě, jsou maso, játra a mořské ryby. Zinek je součástí mnoha enzymů, které jsou důležité pro funkci imunitního systému, pro normální růst tkání a hojení ran. Nedostatek zinku se projevuje sníženou imunitou, zhoršuje stav kůže, nehtů a vlasů. Naopak nadbytek zinku může způsobit zvýšenou hladinu cholesterolu v těle a to se např. projevuje třesem rukou [7; 8]. Jako kov je zinek netoxický, ale pro vodní organismy je výrazně toxický [9].

2.1.2 Nikl

Převážná část niklu je obsažena v zemském vnitřním a vnějším jádře. Nikl se přirozeně vyskytuje v půdě, ve vodě, v potravinách, uvolňuje se vulkanickou činností a požáry. V přírodě se vyskytuje ve formě minerálů společně se sírou, antimonem a arsenem [10]. Sloučeniny niklu se vyskytují výhradně v oxidačním stavu II. Nikl se může vyskytovat také v komplexních sloučeninách s oxidačním číslem 0, I a III [6]. Na Zemi se nikl vzácně nachází v ryzím stavu v nikl-železných meteoritech [10]. Nikl se získává z rud jako jsou nikelin (NiAs), millerit (NiS), pentlandit $[(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8]$ a dále garnierit a pyrrhotin [9]. Nikl se zejména využívá k výrobě slitin, na výrobu nerezové oceli a jako katalyzátor chemických reakcí. V kombinaci s železem a mědí vytváří odolnou slitinu, tzv. Monelův kov [10].

Antropogenním zdrojem niklu je důlní těžba, metalurgie, spalování uhlí a fosilních paliv. Z těchto procesů se nikl uvolňuje do ovzduší. Dalším zdrojem jsou odpadní vody z povrchových úprav kovů. Z přírodních i antropogenních zdrojů se částice niklu se uvolňují do okolí. Nikl a jeho sloučeniny se suchou a mokrou depozicí dostávají do vody a půdy. Postupným vymýváním půdy se nikl dostává dále až do podzemních vod. Do povrchových vod se nikl dostává přirozeným rozpadem hornin, ve kterých je obsažen. Za příznivých podmínek se nikl vyskytuje společně se sloučeninami železa a hořčíku. Z tohoto důvodu, je nikl obsažen v půdách a sedimentech ve velkém množství [9–11].

Pro člověka není nikl v malém množství toxický. Příjem niklu je většinou z potravy, a to zejména z luštěnin, celozrnných obilovin a čokoláda. Mnoho sloučenin niklu je řazeno mezi karcinogeny. Ve styku s kůží může způsobovat dermatitidu u lidí, kteří jsou na tento kov citliví. Nejčastěji k tomu dochází při dlouhodobém nošení šperků, které jsou z tohoto prvku vyrobeny. U velmi citlivých osob může docházet až k astmatickému záchvatu. Dalšími negativními účinky jsou zvracení a bolesti žaludku, které jsou vyvolány při nadměrném užití niklu v potravě nebo v pitné vodě. Podráždění očí, nosu a krku způsobuje niklový prach. Dlouhodobé vdechování tohoto prachu způsobuje chronickou bronchitidu, snižuje funkci plic. Nikl v pitné vodě koreluje s úmrtností na rakovinu dutiny ústní a střev. Pro všechny živé i neživé

organismy je nikl v malém množství nezbytný pro normální růst. Avšak pro vodní organismy vykazuje nikl a jeho sloučeniny vysokou akutní a chronickou toxicitu [8; 10].

2.1.3 Železo

Železo je nerozšířenějším a nejvíce používaným těžkým kovem na Zemi. Ve sloučeninách se vyskytuje nejčastěji v oxidačních stavech II a III. Hlavními rudami železa jsou: pyrit (FeS_2), hematit neboli krevel (Fe_2O_3), magnetovec (Fe_3O_4), limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) a ilmenit (FeTiO_3). Na vlhkém vzduchu podléhá oxidaci za vzniku rzi. Využívá se pro výrobu slitin, jako je ocel nebo litina. Železo je součástí molekuly hemoglobinu a používá se k léčbě anémie, což je nemoc způsobená nedostatkem železa. Využití železa a jeho sloučenin je mnohostranné. Používá se jako pigment, katalyzátor, dále na výrobu magnetických pásek a jako přísada do paliv [8; 12].

Antropogenní zdroje železa v životním prostředí jsou většinou zapříčiněny korozí ve vodovodním potrubí a z průmyslového odpadu železných produktů. Železné a železité ionty jsou ve vodě nerozpustné. Naopak železnaté ionty nejsou ve vodě rozpustné. Dochází k oxidaci na hydroxid železitý, který se ve vodě nerozpouští, ale flokuje a usazuje se ke dnu. Na železo se v prostředí váže mnoho kontaminantů, zejména uran. Elementární kovové železo se nachází v zemském povrchu. Do rostlin se dostává příjmem vody z půdy. Železité ionty jsou v půdě obtížně rozpustné. Z průmyslových výrob se dostává do ovzduší. [8; 13].

Železo je součástí molekuly hemoglobinu, jehož účelem je transport kyslíku v lidském těle. Používá se k léčbě anémie, což je nemoc způsobená nedostatkem železa. Denní příjem železa pro muže je definována na 10 mg/kg a pro ženy na 18 mg/kg. Hlavním zdrojem příjmu železa je červené maso a vnitřnosti, nalezneme ho i v luštěninách, listové zelenině, v houbách, v meruňkách nebo v pivních kvasnicích. Ve vysokých dávkách je však železo toxické. Velké dávky železa způsobují poškození jater, srdeční poruchy a cukrovku. Deficit železa se vyskytuje u lidí, kteří chodí pravidelně darovat krev. Chronické vdechování výparů nebo prachu oxidu železa vede k jejich ukládání v plicích a zhoršuje jejich funkci. Tato nemoc se nazývá sideróza [2; 8; 12].

2.1.4 Mangan

Mangan se v přírodě vyskytuje v mnoha horninách a půdách. V prostředí se však nevyskytuje jako čistý, ale v kombinaci s jinými látky, jako jsou kyslík, chlor a síra. Obvykle doprovází železné rudy. Vyskytuje se v šesti oxidačních stavech, a to od I do VII. Nejběžnějšími oxidačními stavy ve sloučeninách jsou však II, IV a méně často také III. V technologii vody má význam mangan v oxidačním stupni VII. Mezi manganové rudy se řadí burel (MnO_2) jinak nazývaný pyroluzit, braunit (Mn_2O_3), hausmanit (Mn_3O_4) manganit [$\text{MnO}(\text{OH})$] a dialogit (MnCO_3). Manganu se nejvíce využívá v ocelářství. Dále je využíván pro výrobu hliníkových slitin, slitin s mědí (manganový bronz) a hořčíkem nebo antimonem. Je také používán ve sklářství a keramice [8; 9; 14].

Mezi antropogenní zdroje se řadí zejména výroba manganu, feromanganu a jiné metalurgické procesy. Dále průmyslové odpadní vody ze zpracování rud a úprava vody, kde se využívá manganistanu draselného jako oxidačního činidla. Při těchto procesech se mangan uvolňuje

do ovzduší, půd a vod. Z půd a sedimentů mangan přechází do vod. Hned po železe je mangan druhou hlavní součástí dnových sedimentů. V prostředí se mangan nemůže rozkládat, pouze může změnit svou formu, nebo se vázat či oddělit od částic. Chemický stav manganu a typ půdy určuje, jak rychle se mangan pohybuje půdou a kolik se ho v půdě zadrží [9; 15].

Mangan se řadí mezi esenciální stopové prvky, které nemají určenou denní dávku příjmu. Je tedy nezbytný jak pro rostliny, tak i pro živočichy. Mangan je do těla přijímán konzumací potravin nebo doplňkem stravy. Potravinami bohaté na mangan jsou obiloviny, fazole, ořechy olivy nebo třeba borůvky. Mangan je prvkem, který je důležitý pro krvetvorbu a podílí se na vývoji mezibuněčné hmoty, kostí a chrupavek. Při nedostatku manganu dochází k poruchám metabolismu tuků, kožním změnám a poruchám tvorby chrupavky a kostní tkáně. Přebytek manganu v potravě působí negativně na nervovou soustavu. Dlouhodobý příjem vysokých dávek manganu může způsobit vznik Parkinsonovy choroby. Vdechováním velkých dávek sloučenin manganu může být smrtelné. Zápal plic, který může být až smrtelný, způsobuje vdechování manganových výparů. Při požití manganistanu draselného (KMnO_4) hrozí akutní otrava. Dochází k poleptání zažívacího traktu, zánět ledvin až smrt [8; 15; 16].

2.2 Limity vybraných těžkých kovů

2.2.1 Limitní hodnoty v houbách

Nynější legislativa neuvádí limitní množství rizikových prvků v houbách. Platná Vyhláška č. 397/2021 Sb. není pro posouzení těchto prvků dostačující, je tedy vycházeno z již neplatné Vyhlášky č. 53/2002 Sb., kterou se stanoví chemické požadavky na zdravotní nezávadnost jednotlivých druhů potravin a potravinových surovin. Zde jsou uvedeny hodnoty nejvyššího přípustného množství pro různé potraviny, kde požadované limitující množství pro houby je uvedeno pod názvem „potraviny obecně B“. V Tab. 1 jsou vypsány limitní hodnoty pro nikl, zinek a železo. Limitní množství pro mangan není ve vyhlášce uvedeno [17].

Tab. 1 Přípustná množství pro sušené houby [17]

Rizikový prvek	Přípustné množství [mg/kg]
Fe	80
Ni	6,0
Zn	80

2.2.2 Preventivní hodnoty v půdách

Podle Vyhlášky č. 153/2016 Sb. jsou uváděny preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě. Hodnoty jsou zjištěny extrakcí lučavkou královskou v jednotkách mg/kg sušiny a jsou děleny na běžné půdy a lehké půdy. Mezi běžné půdy jsou řazeny písčito-hlinité, hlinité, jílovitohlinité a jílovité půdy. Jako lehké půdy jsou míněny písky a šterkopísky [18].

Tab. 2 Preventivní hodnoty množství vybraných rizikových prvků v zemědělské půdě po extrakci lučavkou královskou [18]

Rizikový prvek	Preventivní hodnota [mg/kg]	
	Běžné půdy	Lehké půdy
Zn	120	105
Ni	50	45
Cr	90	55
Cd	0,5	0,4
Co	30	20

Dále jsou ve vyhlášce uvedeny indikační hodnoty, jejichž definici cituji: „hodnoty, při jejichž překročení může být podezření z ohrožení růstu rostlin a produkční funkce půdy“. Indikační hodnoty jsou stanoveny také pro extrakci lučavkou královskou [18].

Tab. 3 Indikační hodnoty po extrakci lučavkou královskou [18]

Rizikový prvek	pH/CaCl ₂	Indikační hodnota [mg/kg]
Zn	-	400
Ni	≤ 6,5	150
	> 6,5	200
Cu	< 5,0	150
	5,0-6,5	200
	> 6,5	300

Preventivní hodnoty a indikační hodnoty pro obsah železa a manganu v půdě nejsou ve vyhlášce uvedeny.

2.3 Vzorkování půd

Půda je povrchovou vrstvou Země, která se tvoří půdotvornými procesy. Na složení půdy mají vliv půdotvorné faktory, jako jsou klima, geologické podloží, činnost organismů, činnost člověka a čas. Půda se skládá ze dvou složek, abiotické a biotické. V půdním profilu jsou vlivem pedogeneze tyto faktory horizontálně členěny. Vše se pak promítá do vzorkovacích technik a nelze doporučit jednotný postup vzorkování. Výhodou je, že se složení půdy s časem nemění. Způsob vzorkování je pak závislý na cíli vzorkování [19; 20].

Vzorkování je začátkem analytického procesu. Pro odběry půd je ustanovena platná ČSN 01 5111 norma pro Vzorkování sypkých a zrnitých materiálů [21]. Základní body plánu odběru vzorků jsou také definovány v příloze č. 4 k Vyhlášce č. 153/2016 Sb. Postup odběru vzorků je následovný: plán odběru vzorků, stanovení počtu vzorků, počet odběrů a odběrové zařízení, hloubka odběru, hmotnost vzorku, uskladnění vzorků a příprava vzorků k analýzám [18].

Podle povahy substrátu, hloubky vzorkování, potřebného množství vzorku a požadovaných analýz lze použít různé typy odběrů. Mezi manuální a mechanizované odběry se řadí např. spirálový Edelmanův vrták, žlábkový vrták, pouzdrové sondýrky. Dále je možno využít i běžného nářadí, jako je špachtle, lopatky, rýče. Typy vzorkování se dělí na bodový odběr a směsný vzorek. Hloubka odběru je určena dle cílů vzorkování a pedologickými vlastnostmi. Na lesních půdách se vzorky odebírají podle hlavních diagnostických horizontů. Tento odběr z různých hloubek se provádí z profilu pedologické sondy [20]. Nejčastějším způsobem úpravy vzorku je tzv. kvartace, kterou se zajišťuje homogenita vzorku. Celý navrtaný profil se nasype na podložku, rozdělí se na čtvrtiny, vždy dvě protilehlé se odstraní a takto se postupuje až do získání potřebného objemu vzorku [19; 22]. Jeden směsný vzorek musí mít minimálně 0,5 kg [18], standardní hmotnost vzorku pro chemické analýzy je 1 kg. Po odběru se každý vzorek musí čitelně označit a vyplní se dokumentace o odběru. Při balení a uchovávání vzorků je nutné dodržet čistotu a nezávadnost obalů [20].

2.4 Rozklad a rozpouštění vzorku

V analytické chemii se nejčastěji pracuje s roztokem analytu, proto je nutné odebrané vzorky převést do roztoku. Jednou z možností je rozpouštění ve vodě nebo v organických rozpouštědlech. Pokud vzorek nelze rozpustit v těchto dvou případech, je nutné provést rozklad vzorku. Rozklad se provádí za působení chemických látek a fyzikálních faktorů. K rozpouštění anorganických analytů se používají silné anorganické kyseliny nebo hydroxidy nebo tavení s anorganickými solemi. U organických analytů se využívá spalování, tento způsob je nazýván jako rozklad na suché cestě. Naopak u rozkladu na mokré cestě je využíváno oxidačního rozkladu [23].

2.4.1 Rozpouštění v anorganických kyselinách

Nejčastějším způsobem rozkladu anorganických materiálů je rozpouštění v minerálních kyselinách. Najemno nadrcené vzorky se smísí s minerální kyselinou ve vhodné kádince. Kádinka se přikryje hodinovým sklem, aby se zabránilo možným ztrátám [23].

Kyselina chlorovodíková je nejvhodnějším rozpouštědlem. Je využívána k rozkladu řady anorganických látek. Naopak málo rozpouští organické látky. Teplota, při které dochází k úniku chlorovodíku, je 110 °C, což je teplota varu kyseliny chlorovodíkové. Při této teplotě dochází ke snížení její koncentrace na 20 % [23].

Dalším vhodným rozpouštědlem je kyselina dusičná. Horká koncentrovaná kyselina dusičná dobře rozpouští většinu kovů. V kombinaci s peroxidem vodíku se využívá při stanovení stopových množství kovů k rozkladu organických vzorků. Rozklad na mokré cestě, jak je tento způsob nazýván, zcela oxiduje organické látky, kdy vzniká voda a oxid uhličitý. Je nutno rozklad provádět v uzavřené nádobě, jinak mohou uniknout nekovové sloučeniny [23].

Z důvodu vysoké teploty varu kyseliny sírové, která je 340 °C, se v ní snadno rozpouští řada látek. Je využívána pro stanovení obsahu dusíku při rozkladu organických látek Kjeldahlovou metodou. Při tomto rozkladu vzniká dehydratací a oxidací oxid uhličitý a voda [23].

Velmi silným oxidačním činidlem je kyselina chloristá. Jako horká koncentrovaná kyselina, jejíž teplota varu je 203 °C, dokáže rozpustit řadu slitin, které jsou odolné vůči ostatním kyselinám. Anorganické látky snadno oxiduje, a naopak s organickými látkami reaguje explozivně, proto je nutné se při rozpouštění vzorků řídit speciálními postupy [23].

Lučavka královská je nejčastěji využívaným rozpouštědlem odolných anorganických vzorků. Směs, která se skládá z kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné v poměru 3:1. Využívá se elementárního chloru, který je důležitý pro rozpouštění obtížně rozložitelných sulfidů kovů a zlata, proto se vždy připravuje až před jejím použitím. Vznikající oxid dusičitý zapříčiňuje oranžové zbarvení směsi minerálních kyselin [23].

2.4.2 Mikrovlnný rozklad

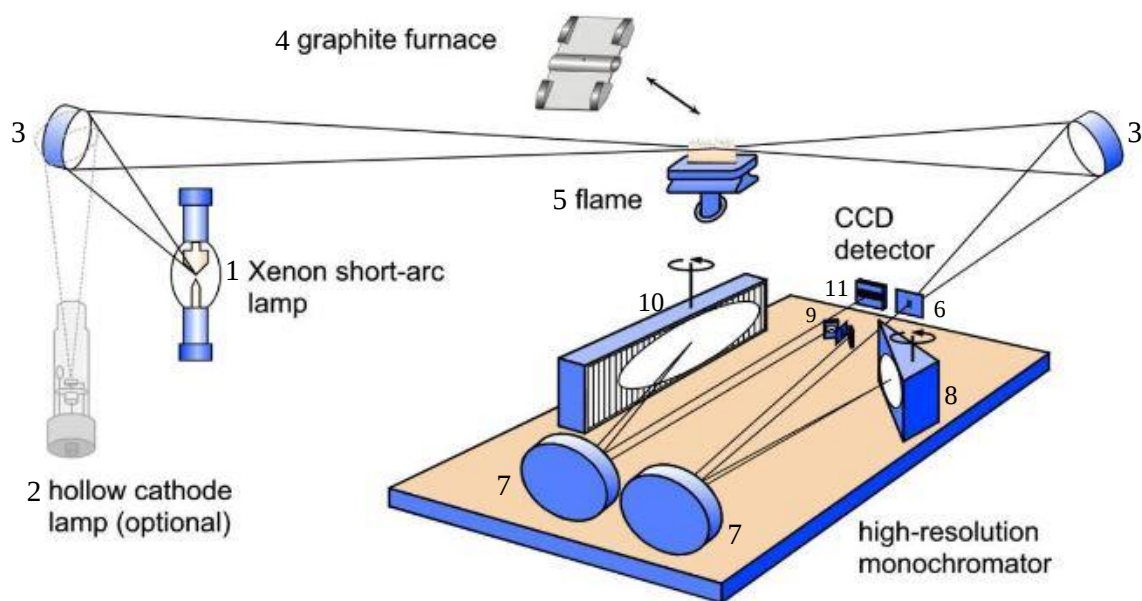
V této metodě je využíváno mikrovlnného záření, které má frekvenci od 300 MHz do 300 GHz. Tomuto záření jsou vystaveny vzorky a potřebná rozkladná činidla v nádobkách z vysoce odolného polymeru, nejčastěji polytetrafluorethylen (PTFE) nebo polypropylen (PP). Molekuly vzorku absorbují přes stěnu nádoby energii mikrovln, tím rychleji se dosáhne varu směsi v uzavřené nádobce [23; 24]. Tento typ rozkladu je velice účinný a doba rozkladu je poměrně nižší než u otevřeného rozkladu na mokré cestě, protože lze záraz rozkládat větší počet vzorků.

2.5 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je metoda, ve které se využívá absorpce elektromagnetického záření k detekci prvků. Tato metoda byla a je vysoce využívána ke studiím stopových prvků v životním prostředí a v biologických vzorcích. V atomech dochází k elektronovým přechodům a důsledkem toho jsou atomová spektra tvořena čarami. Čáry jsou mnohem ostřejší než pás, který pozorujeme v molekulové spektrometrii. K tvorbě atomových absorpčních spekter dochází při absorpci záření volnými atomy při specifických vlnových délkách [8; 23].

Při měření je nutné analyt nejprve převést na atomy nebo ionty v plynném stavu. Nejčastěji bývá analyzovaný vzorek kapalný. Pokud je vzorek v pevném stavu, je nutné ho před analýzou podrobit vhodné úpravě na roztok. Atom v základním stavu absorbuje energii ve formě záření specifické vlnové délky a je zvýšen do excitovaného stavu. Absorbované záření se poté změní a využije se ke stanovení koncentrace daného prvku ve vzorku [8; 23].

Atomový absorpční spektrometr je sestaven ze zdroje záření, atomizátoru, monochromátoru a detektoru [25].



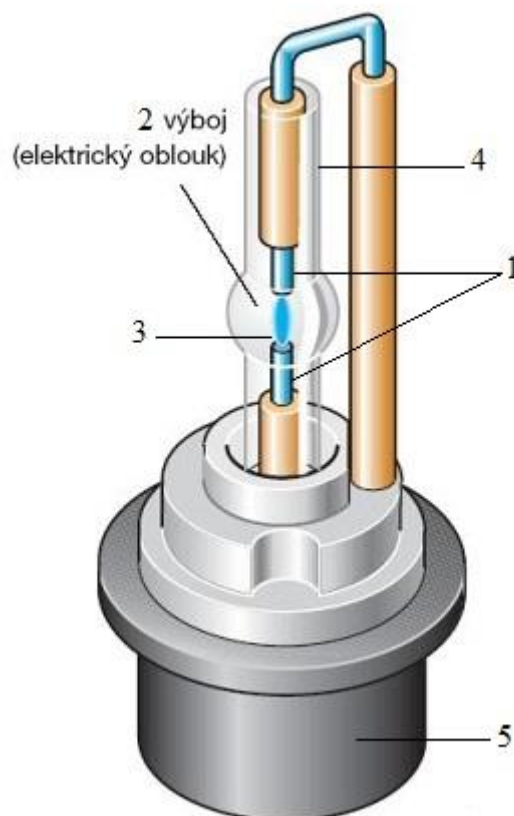
Obr. 2 Schéma atomového absorpčního spektrometru: 1. xenonová výbojka s krátkým obloukem, 2. výbojka s dutou katodou, 3. eliptická zrcadla, 4. grafitová kyveta, 5. plamenový atomizátor, 6. vstupní štěrbina, 7. parabolická zrcadla, 8 hranol, 9. sklopná zrcadla s mezistěnou, 10. echelle mřížka, 11. výstupní štěrbina CCD detektor [26; 27]

2.5.1 Zdroj záření

Jak bylo již zmíněno, atom absorbuje záření na charakteristických vlnových délkách. To znamená, že záření, které je vyzařované z lampy, by mělo být takové, jaké je požadováno pro danou analýzu. Nejčastější zdroje záření používané v atomové absorpční spektrometrii jsou výbojka s dutou katodou (HCL) a xenonová výbojka [8; 23].

Výbojka s dutou katodou je skleněná trubice, která je sestavena z wolframové anody a válcové kovové katody. Katoda je vyrobená přímo ze stanovovaného kovu. Trubice je naplněna inertním plynem, buď neonem nebo argonem o nízkém tlaku 100–200 Pa. Atomy plynu jsou ionizovány. Kationty plnicího plynu narážejí do povrchu katody a uvolňují atomy kovu a dochází k vytvoření oblaku atomů. Mezi atomy a ionty inertního plynu dochází ke srážkám. Energií uvolněnou při této srážce jsou atomy excitovány a návratem do základního stavu emitují záření specifické pro materiál katody. Nevýhodou výbojek s dutou katodou je omezená životnost a slouží pouze pro stanovení jednoho prvku. Je však možné sestavit víceprvkové výbojky, kde je katoda složena z dvou a více různých kovů [8; 23; 25].

Xenonová výbojka je baňka z křemenného skla s wolframovými elektrodami a je naplněna xenonem pod tlakem 8–25 atmosfér. Výhodou xenonové výbojky je, že pokrývá jak ultrafialovou oblast (UV), tak viditelnou oblast (VIS) a je schopna víceprvkového měření. Zdrojem intenzivního bílého záření je krátký oblouk, který se nachází mezi elektrodami [23].



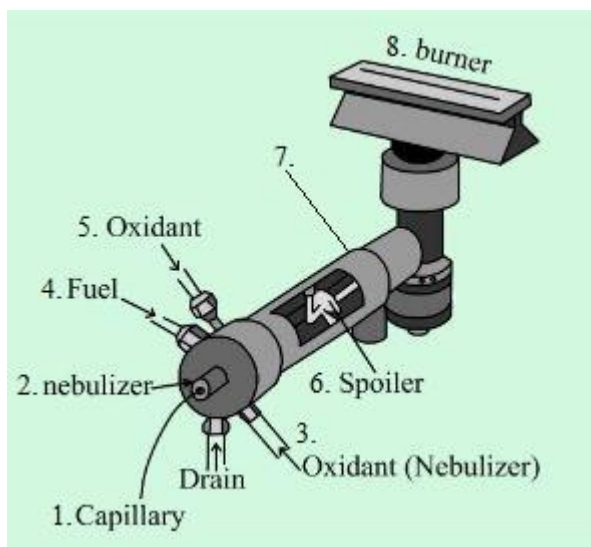
Obr. 3 Xenonová výbojka: 1. wolframové elektrody, 2. elektrický oblouk, 3. skleněná trubice s xenonem, 4. trubice z křemenného skla, 5. základna [28]

2.5.2 Atomizátor

Atomizátor je část přístroje, jehož účelem je převést stanovovaný prvek do plynného stavu. Atomizátory mohou pracovat dvěma způsoby. Prvním je kontinuální atomizace, kde dávkování vzorku probíhá neustále. Sem se řadí plamenový atomizátor. Druhým způsobem je atomizace diskrétního množství vzorku. Zde je vzorek zaváděn pomocí automatického dávkovače nebo dávkovací jehlou eventuálně pipetou. Tímto způsobem pracuje elektrotermický atomizátor [23; 25].

Plamenový atomizátor se skládá ze zmlžovače a hořáku. Zmlžovač převádí kapalný vzorek nebo roztok vzorku na aerosol a nad hořákem hoří zapálená směs paliva a oxidantu. Jako palivo je nejčastěji využíván acetylen a jako oxidovadlo vzduch. Nejběžnějším typem pro plamenovou spektrometrii je koncentrační zmlžovač se štěrbinovým hořákem. Pro zmlžování vzorku je využíván vysoký tlak oxidantu, který způsobí nasávání vzorku kapilárou a vznik aerosolu. Vzniklé velké kapky aerosolu jsou zachytávány mlžnou komorou, která je umístěna mezi zmlžovačem a hořákem. Aerosol, který projde je následně smísen s palivem a přiváděn do štěrbinového hořáku. Délka štěrbiny pro směs acetylen–vzduch je 10 cm. V primární reakční zóně plamene proběhne odpaření vzorku. Následně je aerosol rozpadajících částic veden do mezireakční zóny, kde má plamen nejvyšší teplotu. Teplota plamene pro směs acetylen–vzduch je v rozmezí 1 700–2 400 °C. V mezireakční zóně dochází k odpaření

kapalných částic a převedení na volné atomy. Další a poslední částí plamene je sekundární reakční zóna, v níž může probíhat oxidace molekul, atomů a iontů a následně proběhne rozptýlení reakčních produktů do okolí [23; 25].



Obr. 4 Plamenový atomizátor: 1. plastová kapilára, 2. zmlžovač, 3. oxidovadlo, 4. palivo, 5. pomocné oxidovadlo, 6. spoiler, 7. zmlžovací komora, 8. hořák [29]

Elektrotermická atomizace je účinnější než atomizace v plameni. Jednorázová dávka vzorku je přenesena z vialky automatickým dávkovačem nebo injekční stříkačkou do trubičky neboli kyvety o délce asi 2 cm. Kyveta je vyrobena z grafitu, který má vysokou chemickou odolnost a mechanickou pevnost. Po vnesení vzorku do kyvety následuje ohřev atomizátoru, který probíhá ve třech krocích. Prvním krokem je sušení, při kterém dochází k odpaření rozpouštědla při teplotě v rozmezí 100–120 °C. Dalším krokem je pyrolýza, která slouží k převedení organických látek na anorganické látky. Teplota pyrolýzy je v rozmezí 300–1 200 °C. Posledním krokem je atomizace. V tomto kroku dochází k prudkým nárůstům teploty, v jeho průběhu se odečítá absorbance. Vzorek je převeden na volné atomy v plynném stavu. Výsledkem je získaný signál, který má tvar píku a je závislý na čase. Po atomizaci je nutné kyvetu vyčistit a ochladit na laboratorní teplotu pro další měření vzorku [23; 25].

2.5.3 Monochromátor

Monochromátor je zařízení, jehož funkcí je izolovat zvolený pás vlnových délek. Součástí monochromátoru je difrakční mřížka, která rozkládá procházející světlo na jednotlivé vlnové délky. Světlo ze zdroje záření je směřováno do vstupní štěrbinu monochromátoru. Následně je pomocí konkávního zrcadla svazek rovnoběžných paprsků soustřeďován na difrakční mřížku. Na povrchu mřížky dochází k disperzi. Odrazem od reflexního povrchu mřížky se různé vlnové délky světla odchyľují pod různými úhly. Po odrazu světla jsou vlnové délky zaostřeny do ohniskové roviny monochromátoru dalším konkávním zrcadlem. Pomocí otáčení mřížky dochází k zaostření na výstupní štěrbinu. U výstupní štěrbinu je umístěn detektor záření. Závislost kvality disperzního prostředí, šířky výstupní štěrbinu a ohniskové vzdálenosti monochromátoru je nazývána efektivní šířka pásu. V ultrafialové a viditelné oblasti dosahují

monochromátory šířky pásu v řádu desetin nanometru. Napodobeninou matricových mřížek jsou difrakční mřížky. Na opticky plochý leštěný povrch mřížky jsou pomocí diamantového nástroje vyryty souběžně orientované vrypy. Výroba probíhá odléváním z kapalné pryskyřice. Povrch pryskyřice je ještě navíc pokryt vrstvičkou hliníku [23; 25].

Mřížka typu echelle je typem odrazné mřížky, která má odrazné plochy širší než plochy, na kterých k odrazu nedochází. Na širokých plochách mřížky dochází k difrakci záření. Od zdroje záření přichází svazek záření, který dopadá na mřížku pod ostrým úhlem α . Odražený svazek svírá s mřížkou jiný úhel β . Spektrum o vyšším řádu dopadající na mřížku, může být odstraněno filtrem nebo hranolem. K eliminaci vyšších řádů spektra z viditelné oblasti lze použít obvyčejné sklo, které absorbuje záření vlnových délek pod 350 nm [23].

2.5.4 Detektor

Detektor záření slouží k identifikování propuštěného záření, které je přeměněno a zpracováno na měřitelnou veličinu. Mezi detektory fotonů se řadí fotonky, fotonásobiče, křemíkové polovodičové diody a fotovodivostní detektory.

Detektory s diodovým polem se zařazují mezi křemíkové fotodiody a diodová pole. Jsou složeny ze stovek křemíkových polovodičových diod umístěných těsně vedle sebe. Mezi detektory s diodovým polem se řadí zařízení s přenosem náboje (CTD). Detektory CTD mají velmi podobnou funkci jako fotografické filmy. Sdružují informaci o signálu, tak jak záření dopadá na detektor. Vložením záporného náboje na elektrody, vzniká pod elektrodami oblast, do které migrují vakance nesoucí kladný náboj. Oblast představuje potenciálovou jámu, v níž se kladné náboje hromadí. Pomocí vkládaného napětí na elektrody, lze náboji manipulovat. Měření náboje se dělí na dva způsoby. Změnu napětí, která vzniká při přesunu náboje z oblasti pod jednou elektrodou do oblasti pod druhou elektrodou, měří detektor CID. Detektor CCD měří postupný přesun náboje do čtecího řádku na okraji čipu, kde dochází k zesílení náboje. Detektory CCD jsou ještě dále vyvinuty se zesilovači obrazu na přední straně detektoru. ICCD detektory je možné řízeně spínat a vypínat ve zvolených intervalech. Tohoto se využívá zejména v časově rozlišených studiích doby života nebo k eliminaci nežádoucích signálů. Dalším typem detektoru CCD je detektor EMCCD, ve kterém je před výstupní zesilovač umístěn signál zesilující prvek. Oba typy detektorů detegují dopad jednotlivých fotonů. Nevýhodou detektoru EMCCD je, že se musí chladit na nízké teploty, a to vede k častým problémům, protože dochází ke kondenzaci na detektoru [23].

2.6 Další metody stanovení těžkých kovů

Pro stanovení těžkých kovů jsou zavedeny různé techniky. Lze je rozdělit do dvou skupin na metody atomové spektrometrie a metody voltametrické. Mezi nejuniverzálnější metody atomové spektrometrie pro detekci těžkých kovů se řadí optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES) a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS). Jedná se o vysoce citlivé a selektivní metody, které však vyžadují poměrně drahé přístroje [30; 31]. Voltametrie je vysoce citlivá elektrochemická metoda. Sleduje se odezva protékajícího elektrického proudu pracovní elektrodou na jejím potenciálu,

který se s časem mění. Výsledkem měření je voltametrická křivka, která vykresluje závislost elektrického proudu na vloženém potenciálu [32].

Atomová absorpční spektrometrie s atomizací v plameni (FAAS) je metoda, která byla zvolena pro tuto bakalářskou práci. Metoda umožňuje stanovení široké řady prvků v roztoku. Mezi hlavní výhody atomové absorpční spektrometrie patří vysoká rychlost analýzy, selektivita, dostatečná přesnost pro kvalitní výsledky a cenová dostupnost [30].

3 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zhodnocení kontaminace životního prostředí vybranými těžkými kovy ve vzorcích hub a půd odebraných v oblasti Jeseníků. Dále je cílem posoudit distribuci systému půda-houba a porovnání vlivu lesních porostů na chemické složení půd.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Použité přístroje

Mikrovlnný rozkladný systém ETHOS EASY (Milestone, Itálie)

Duální atomový absorpční spektrometr – ContrAA 800 D (Analytik Jena, Německo)

Milli-Q ultrapure water system (Merck, Německo)

Laboratorní váhy (Denver Instrument, USA)

Laboratorní horkovzdušná sušárna (Memmert, Německo)

4.2 Použité chemikálie

4.2.1 Certifikované referenční materiály

Kalibrační standard zinku ASTASOL® o koncentraci $100,0 \pm 0,2$ mg/l v kyselině dusičné (Analytika, spol. s r. o.)

Kalibrační standard niklu ASTASOL® o koncentraci $1,000 \pm 0,002$ g/l v kyselině dusičné (Analytika, spol. s r. o.)

Kalibrační standard železa ASTASOL® o koncentraci $1,000 \pm 0,002$ g/l v kyselině dusičné (Analytika, spol. s r. o.)

Kalibrační standard manganu ASTASOL® o koncentraci $1,000 \pm 0,002$ g/l v kyselině dusičné (Analytika, spol. s r. o.)

Materiál pro kontrolu jakosti METRANAL® (QCM 34) – Hlinitá půda (Analytika, spol. s r. o.)

4.2.2 Chemikálie

Kyselina dusičná, p.a. (ANALPURE®) o koncentraci 67-69 % (Analytika, spol. s r. o.)

Peroxid vodíku 6% vodný roztok, p.a. (PENTA s.r.o.)

Kyselina chlorovodíková, p.a. (ANALPURE®) o koncentraci 34-37 % (Analytika, spol. s r. o.)

Ultračistá voda (Milli-Q)

4.3 Použité pomůcky

Mikropipety (Finnpipette, 1–10 µl , 10–100 µl, 20–200 µl, 100–1 000 µl, 1–10 ml)

Dělená pipeta o objemu 10 ml

Laboratorní sklo

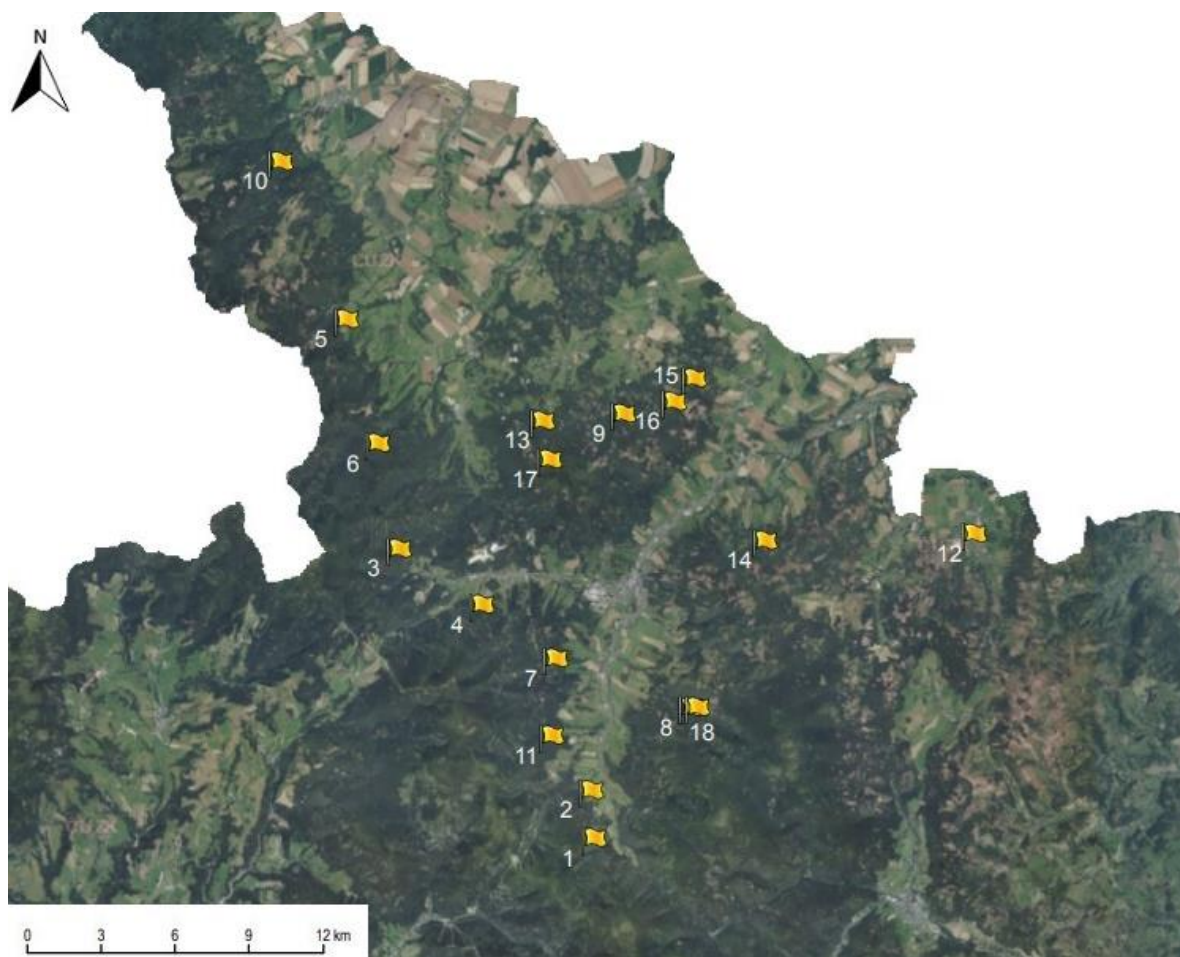
Laboratorní lžíce

Parafilm

Plastové nádoby na uskladnění

4.4 Odběry vzorků hub a půd

Vzorky hub a půd pochází z projektu s názvem „Stanovení vertikální mobility těžkých kovů v lesních půdách jako podklad pro optimalizaci dřevinné skladby s cílem snížení rizika jejich transferu do jedlých hub“(TJ02000128), který byl zahájen v roce 2019. Celkem bylo odebráno 420 vzorků, z nichž byla část využita ke zpracování této práce. Podrobněji jsou odběry a příprava vzorků popsány v bakalářské práci, která vznikla díky podpoře zmíněného projektu [33].



Obr. 5 Vyznačení lokalit odběru vzorků

Na vyznačených lokalitách byly současně s půdními vzorky odebrány i směsné vzorky jedlých hub. Pro tuto práci bylo vybráno 20 vzorků hub, které byly vybrány na základě výsledků ze zmíněné bakalářské práce [33]. Ve vybraných vzorcích se opakují tyto druhy hub: hřib žlutomasý, hřib hnědý, hřib pravý, hřib sametový, hřib smrkový a hřib kovář. Ke vzorkům hub byly následně dohledány vzorky půd. Protože se tři vzorky hub nachází na stejné lokalitě, bylo nakonec vybráno 18 vzorků půd pro vrstvu 0–2 cm. Na lokalitě č. 1 byl analyzován celý půdní profil do hloubky 30 cm.

Tab. 4 Lokality odebraných vzorků hub a půd

Lokalita	Území	Druh porostu	GPS souřadnice	
			Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
1	Domašov	Smrk	50°7'30.216''N	17°11'6.000''E
2	Domašov	Smrk	50°8'31.560''N	17°10'51.780''E
3	Horní Lipová	Smrk	50°13'22.008''N	17°3'30.852''E
4	Horní Lipová	Buk	50°12'17.640''N	17°6'31.536''E
5	Petrovice u Skorošic	Smrk	50°18'12.852''N	17°0'57.528''E
6	Horní Skorošice	Buk	50°15'35.856''N	17°2'25.764''E
7	Adolfovice	Smrk	50°11'18.564''N	17°9'12.348''E
8	Domašov	Smrk	50°11'12.430''N	17°13'58.408''E
9	Nová Červená Voda	Buk	50°16'47.845''N	17°10'40.962''E
10	Zálesí u Javorníka	Smrk	50°21'29.581''N	16°58'10.060''E
11	Adolfovice	Buk	50°9'37.044''N	17°9'19.429''E
12	Zlaté Hory	Smrk	50°14'56.533''N	17°22'57.036''E
13	Vápenná	Smrk	50°16'27.354''N	17°7'56.813''E
14	Široký Brod	Smrk	50°14'20.544''N	17°15'53.028''E
15	Nová Červená Voda	Buk	50°17'42.824''N	17°12'56.635''E
16	Nová Červená Voda	Buk	50°17'9.427''N	17°12'19.494''E
17	Vápenná	Smrk	50°15'37.944''N	17°8'19.658''E
18	Domašov	Buk	50°10'32.768''N	17°14'9.913''E

4.5 Příprava vzorků hub

Vzorky hub byly před mikrovlnným rozkladem preventivně sušeny v sušárně. Sušárna byla nastavena na 105 °C bez horkého vzduchu. Mezitím byly z nádobek přesypány vzorky hub na Petriho misky a rovnoměrně rozmístěny. Následně byly vzorky přeneseny do sušárny a ponechány tam po dobu 3 hodin. Po usušení byly vzorky přes násypku pomocí laboratorní lžice přesypány do nových připravených, označených nádobek a uskladněny.

4.6 Příprava vzorků půd

Před mikrovlnným rozkladem byly vzorky půd usušeny na vzduchu při laboratorní teplotě, homogenizovány a upraveny na jemnou půdu dle normy ČSN ISO 11464 [34]. Úpravu vzorků provedl Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i (VÚLHM).

4.7 Mikrovlnný rozklad hub a půd

4.7.1 Houby

Metoda mikrovlnného rozkladu hub byla vybrána podle Sarikurku et al. [35]. Pomocí porcelánové lodičky bylo na analytických vahách naváženo 0,25 g vzorku hub s přesností na 4 desetinná místa. Pro každý vzorek houby byly připraveny dvě navážky. Do poslední

patrony bylo vždy naváženo 0,25 g materiálu pro kontrolu jakosti. Navážené množství analytu bylo kvantitativně převedeno směsí činidel kyseliny dusičné a peroxidu vodíku do teflonové patrony. Nejprve bylo přidáno 9 ml HNO_3 z dávkovače s nastavitelným objemem a poté byl přidán 1 ml H_2O_2 pomocí dělené pipety. Na připravené patrony byly nasazeny kryty a následně byly uzavřeny. Do referenční patrony označené číslem 1, byl do otvoru ve středu bezpečnostního šroubu vložen termočlánek se sondou. Uzavřené patrony byly naskládány do mikrovlnného systému ETHOS EASY. V knihovně metod byl vybrán rozkladný postup nazvaný KAL/PUDY viz Tab. 5 a program byl spuštěn.

Tab. 5 Podmínky programu mikrovlnného rozkladu

	Čas [min]	Teplota [°C]	Výkon [W]
1.	15	20–200	1800
2.	15	200	1800
3.	20	200–50	-

Celý proces mikrovlnného rozkladu trvá zhruba 50–60 minut. Po skončení programu se nechají patrony vychladnout asi na teplotu 50 °C, poté se vyndají a naskládají do digestoře. Rozložené vzorky byly kvantitativně převedeny do odměrných baněk, které byly následně doplněny Milli-Q vodou po rysku. Do odměrných baněk o objemu 50 ml byly převedeny vždy dva rozložené roztoky pro jeden daný vzorek houby. Rozložený materiál pro kontrolu jakosti byl převeden do odměrné baňky o objemu 25 ml. Roztoky byly promíchány, převedeny do předem označených nádobek, utěsněny parafilmem a uloženy v chladničce.

4.7.2 Půdy

Před mikrovlnným rozkladem všech vzorků půd, byly na jednom vzorku půdy testovány dvě metodiky rozkladu. První metodikou byl rozklad pomocí 9 ml HCl a 3 ml HNO_3 (lučavka královská). Druhou metodikou byl již výše zmíněný rozklad pomocí HNO_3 a H_2O_2 . Po analýze vzorků bylo zjištěno, že se výsledky metod neliší, tudíž byla použita metoda s peroxidem vodíku.

Z důvodu nepřítomnosti některých vzorků půd na fakultě byly použity již dříve rozložené vzorky, které byly použity ve zmíněném projektu.

4.8 Analýza hub a půd

Pro stanovení obsahu zinku, niklu, železa a manganu ve vzorcích hub a půd byla vybrána metoda plamenové atomové absorpční spektrometrie (FAAS). Pro každou metodu byly připraveny kalibrační roztoky daného kalibračního standardu ASTASOL® o potřebných koncentracích. Pro kontrolu správnosti naměřených výsledků byl analyzován referenční materiál METRANAL® (QCM 34). Pro každý stanovovaný prvek byl spuštěn program analýzy, kde je nejprve naměřena a vyhodnocena kalibrační křivka a následně probíhá analýza vzorků. Roztok vzorku je nasáván kapilárou po dobu 5 s a následně je celkem třikrát změřena absorbance, která je poté zprůměrována na jednu hodnotu. Mezi jednotlivými vzorky je vždy

nasávána Milli-Q voda pro vyčistění přístroje. Podmínky měření pro jednotlivé prvky jsou uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6 Podmínky měření pro stanovení Zn, Ni, Fe a Mn

	λ^1 [nm]	Read time [s]	Rychlost průtoku [l/h]	T ² [°C]
Zinek	213,8570	3	50	2250
Nikl	232,0030	3	55	2250
Železo	248,3270	3	60	2250
Mangan	279,4817	3	80	2250

¹⁾ Vlnová délka

²⁾ Průměrná teplota plamene

Pro určení meze detekce (LOD) a meze stanovitelnosti (LOQ) byla desetkrát změřena absorbance blanku. Pomocí funkce v programu ASpect CS byly následně tyto dvě hodnoty vypočítány. Experimentálně zjištěné hodnoty LOD a LOQ jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7 Meze detekce a stanovitelnosti pro jednotlivé prvky

	LOD [mg/l]	LOQ [mg/l]
Zinek	0,0015	0,0044
Nikl	0,0038	0,0127
Železo	0,0028	0,0083
Mangan	0,0008	0,0023

Mez detekce je definována jako nejmenší hodnota koncentrace analytu ve vzorku, která může být detekována přístrojem. Mez detekce lze vyjádřit vztahem:

$$LOD = \frac{3 \cdot s_B}{S}$$

kde s_B je směrodatná odchylka slepého pokusu, hodnota S je získána ze směrnice kalibrační křivky a vyjadřuje citlivost [36].

Mez stanovitelnosti je definována jako nejnižší množství analytu ve vzorku, které je přístroj schopen detekovat, ale také stanovit jeho hodnotu s určitou pravděpodobností. Je vyjádřena vztahem:

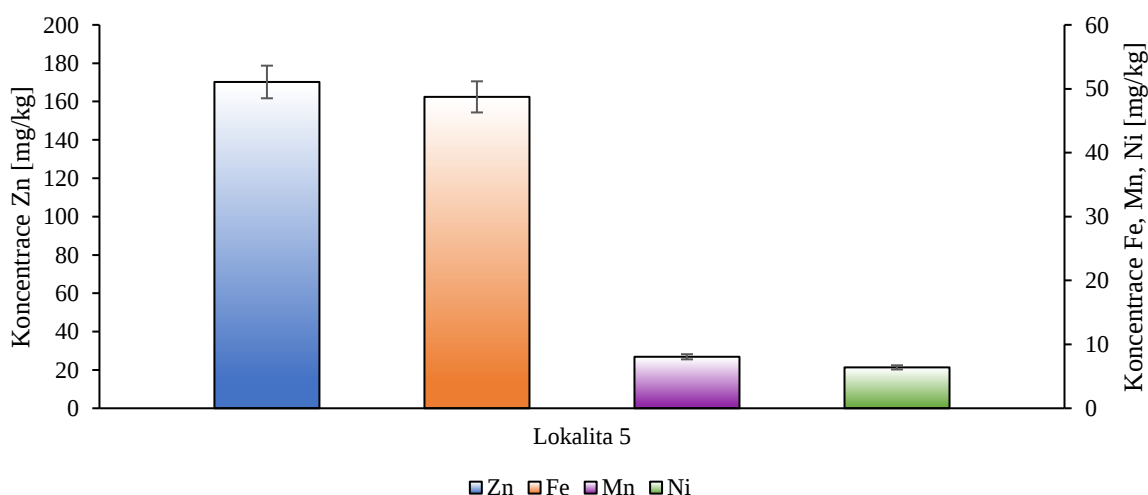
$$LOQ = \frac{10 \cdot s_B}{S}$$

kde s_B je směrodatná odchylka slepého pokusu, hodnota S je získána ze směrnice kalibrační křivky a vyjadřuje citlivost [36].

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Obsahy těžkých kovů v houbách

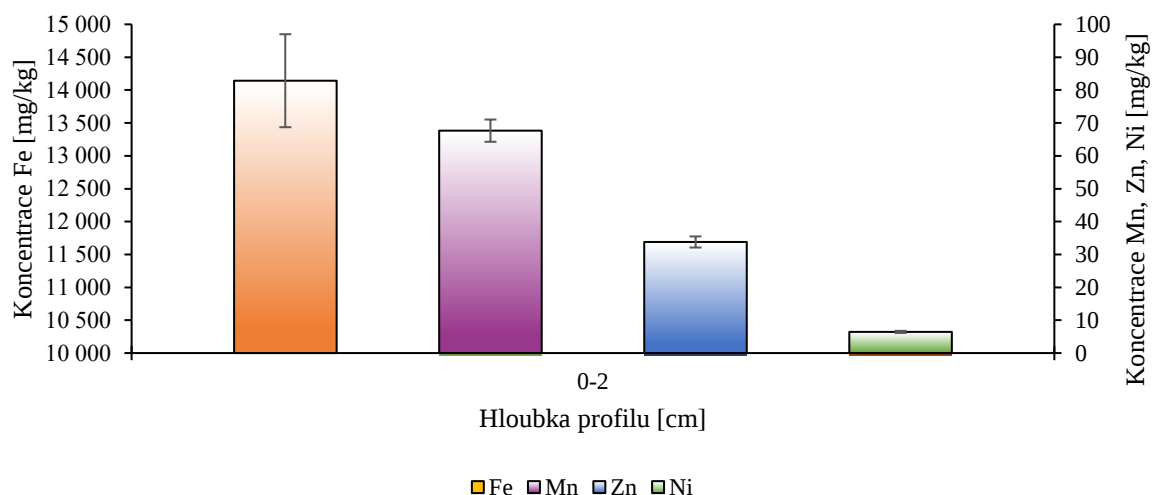
Naměřené hodnoty koncentrací Zn, Ni, Fe a Mn ve vzorcích hub jsou uvedeny v kapitole příloh pod názvem Příloha 1. Průměrné hodnoty stanovených prvků jsou: 202,25 mg/kg Zn, 112,74 mg/kg Fe, 9,69 mg/kg Mn a 4,15 mg/kg Ni. Dle Vyhlášky 53/2002 Sb. [17] lze orientačně posoudit možná rizika po konzumaci hub. Železo a zinek jsou esenciálními prvky, ale dle vyhlášky jsou limity překročeny. Naměřené obsahy zinku překračují limit pro potraviny na všech lokalitách. Limit pro železo je dle vyhlášky překročen na lokalitách č. 1, 4, 10, 11, 12, 15 a 16. U niklu jsou naměřené obsahy překročeny na lokalitách č. 1, 5, 11 a 15. Do hub se prvky dostávají nejvíce z půdních vrstev FH a 0–2 cm [37]. Byla vybrána lokalita č. 5 pro posouzení obsahu jednotlivých prvků v houbách. Podle Obr. 6 obsah jednotlivých prvků v houbách klesá v pořadí $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Ni}$. Vysoký obsah zinku naznačuje, že se tento prvek v houbách akumuluje.



Obr. 6 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku houby na lokalitě č. 5

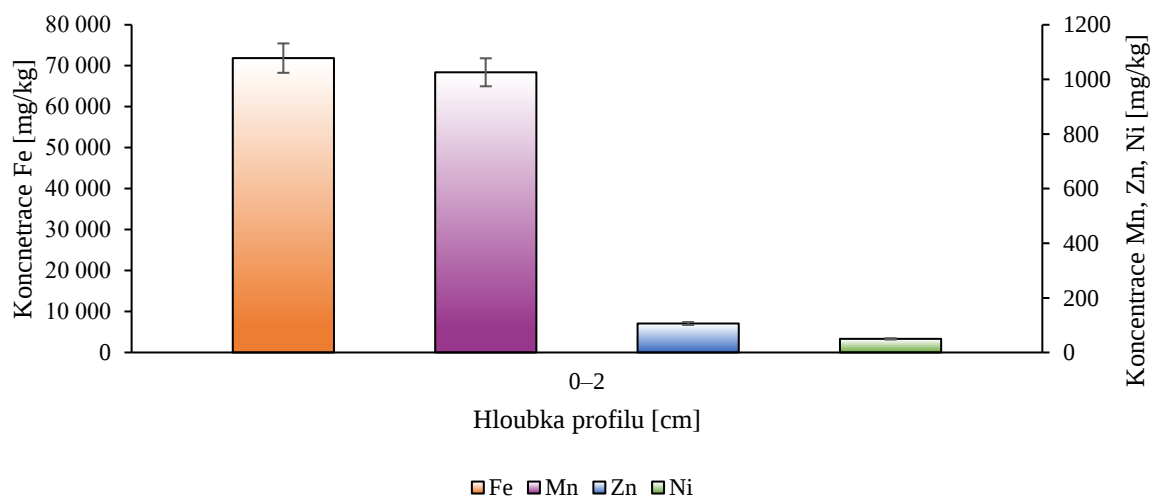
4.2 Obsahy těžkých kovů v půdách

Koncentrace železa ve vzorcích půd se pohybuje v řádech gramů na kilogram vzorku, na rozdíl od zinku, manganu a niklu, které jsou v řádech miligramů. Naměřené hodnoty všech prvků jsou uvedeny v Příloha 2. Nejvyšší obsah železa (71 g/kg) byl zjištěn na lokalitě č. 18. Železo je v půdách přítomno z horninového podloží, což dokazují půdní mapy [38]. Díky vysokým koncentracím železa v horninách se předpokládá přítomnost manganu. Zastoupení jednotlivých prvků v půdách klesá v pořadí $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Ni}$. Průměrné hodnoty stanovených prvků v půdách jsou 35,06 g/kg Fe, 346,46 mg/kg Mn, 70,43 mg/kg Zn a 21,22 mg/kg Ni. Naměřené obsahy zinku a niklu jsou v porovnání s Vyhláškou č. 153/2016 Sb. [18] na všech lokalitách v limitu. Dle vyhlášky lze usoudit, že na všech vybraných lokalitách není ohrožen růst rostlin a produkční funkce půdy. Pro názornou ukázkou obsahu jednotlivých prvků v půdní vrstvě 0–2 cm byla vybrána jedna lokalita č. 5 viz Obr. 7.



Obr. 7 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku půdy na lokalitě č. 5

Pro další porovnání obsahu těžkých kovů v půdách byla ještě vybrána lokalita č. 18. Tato lokalita byla vybrána z důvodu, že jsou zde obsahy Fe, Mn a Ni nejvyšší v porovnání s ostatními lokalitami.

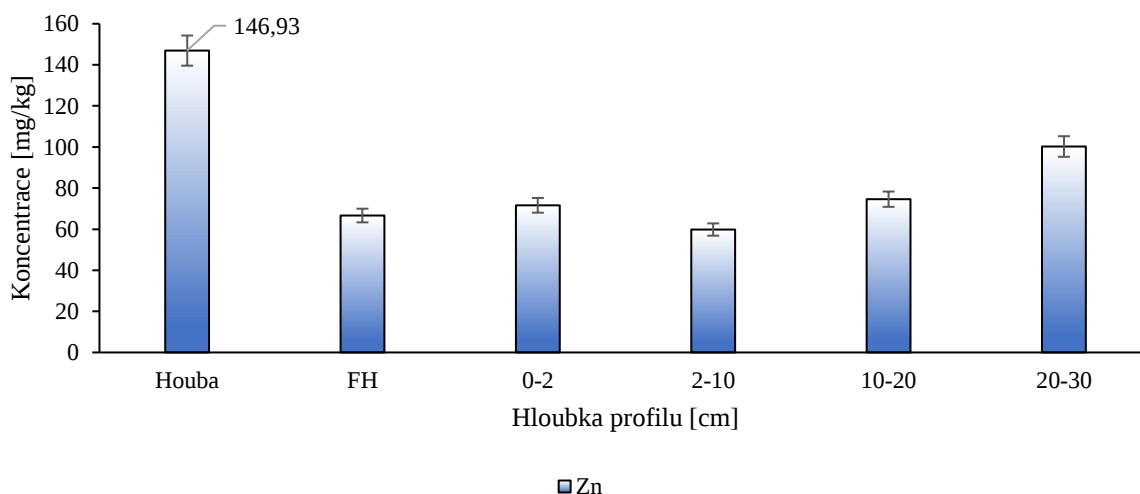


Obr. 8 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku půdy na lokalitě č. 18

4.3 Půdní profil těžkých kovů

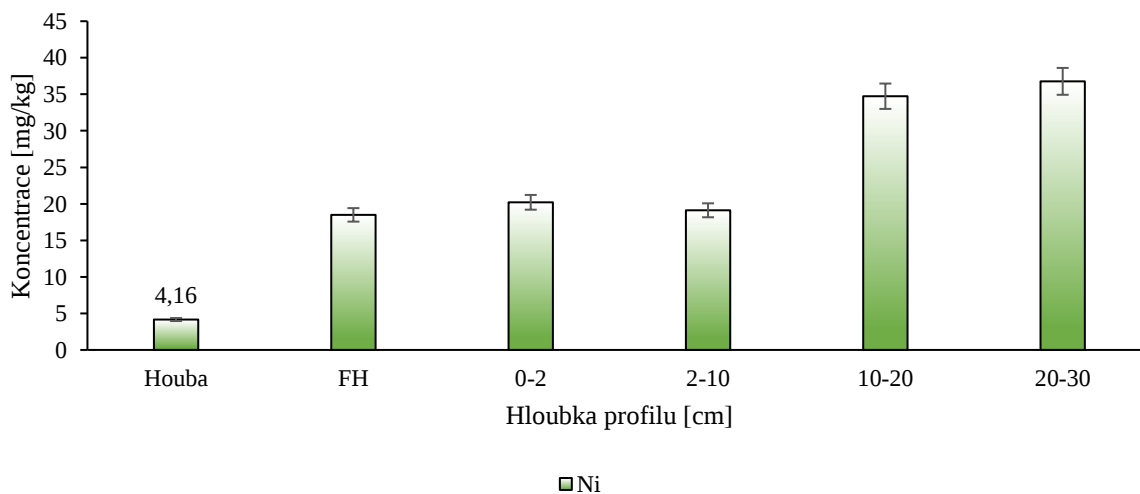
Pro zjištění obsahu vybraných prvků v jednotlivých půdních vrstvách byl na vzorku z lokality č. 1 analyzován celý půdní profil. Půdní profil se skládal z vrstev FH, 0–2 cm, 2–10 cm, 10–20 cm a 20–30 cm. V grafech jsou pro posouzení distribuce prvků v systému půda-houba zobrazeny hodnoty obsahu prvků ve vzorcích hub ze stejné lokality. Zastoupení jednotlivých prvků v každé půdní vrstvě je stejné a klesá v pořadí $Fe > Mn > Zn > Ni$.

Na Obr. 9 můžeme vypořizovat, že mezi půdními vrstvami nenastávají velké rozdíly z hlediska obsahu zinku. Hodnota obsahu zinku ve všech vrstvách se pohybuje okolo 70 mg/kg. Naopak v houbách je obsah zinku okolo 140 mg/kg, tedy dvojnásobně vyšší.



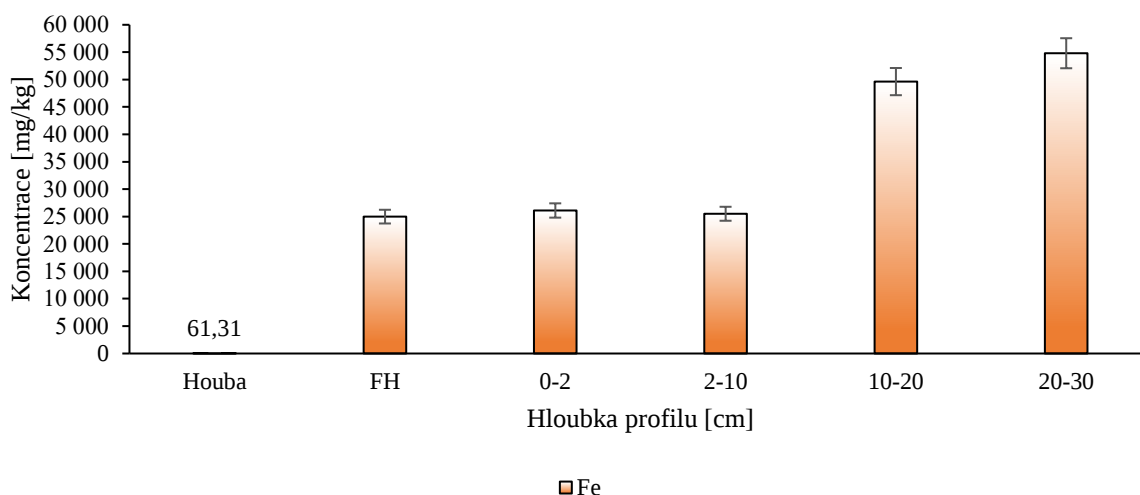
Obr. 9 Půdní profil zinku na lokalitě č. 1

Půdní profil niklu je znázorněn na Obr. 10. Koncentrace niklu narůstá od hub po nejvyšší půdní vrstvu. Ve vrstvě od 10 do 30 cm je obsah niklu nejvyšší. Přítomnost niklu ve spodních vrstvách půdy je pravděpodobně způsobena horninovým složením na dané lokalitě. Hodnota koncentrace niklu v houbách se pohybuje řádově v jednotkách mg/kg. V půdních vrstvách FH, 0–2 cm a 2–10 cm je obsah niklu okolo 20 mg/kg. Ve spodních vrstvách 10–20 cm a 20–30 cm se koncentrace niklu pohybují 35 mg/kg.



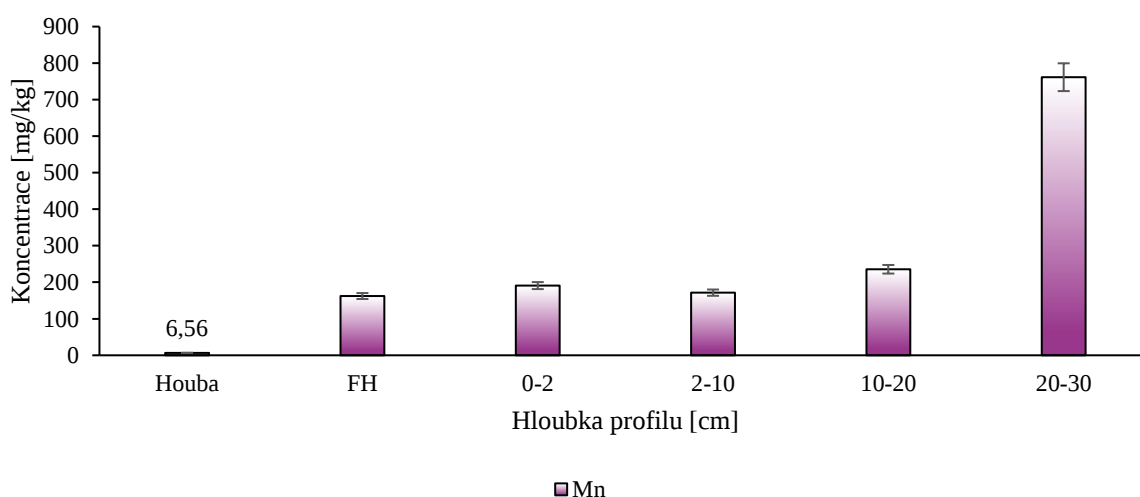
Obr. 10 Půdní profil niklu na lokalitě č. 1

Na Obr. 11 je patrné, že koncentrace železa výrazně roste s hloubkou půdního profilu. Ve vzorku houby byla nalezena koncentrace železa 61 mg/kg. Ve vrstvách FH, 0–2 cm a 2–10 cm se koncentrace železa pohybuje kolem hodnoty 25 g/kg. Nejvyšší obsah železa se nachází v půdní vrstvě od 10 do 30 cm. V těchto vrstvách nabývá koncentrace železa hodnot od 50 g/kg. Zdrojem železa jsou s největší pravděpodobností horniny nacházející se v dané lokalitě.



Obr. 11 Půdní profil železa na lokalitě č. 1

Hodnoty koncentrace manganu do vrstvy 10–20 cm se pohybují kolem hodnoty 200 mg/kg, jak naznačuje Obr. 12. V půdní vrstvě 20–30 cm začíná markantní nárůst koncentrace manganu, která nabývá hodnoty 760 mg/kg. Protože mangan v horninách doprovází železo, předpokládalo se, že bude nejvyšší obsah manganu právě v nejnižší půdní vrstvě, což se potvrdilo.

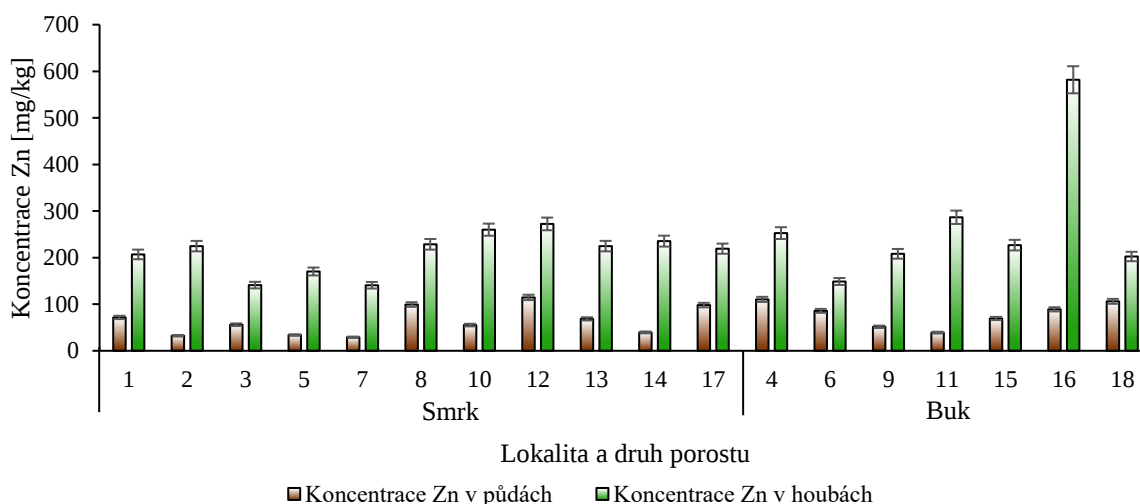


Obr. 12 Půdní profil manganu na lokalitě č. 1

4.4 Vliv lesního porostu na chemické složení půd

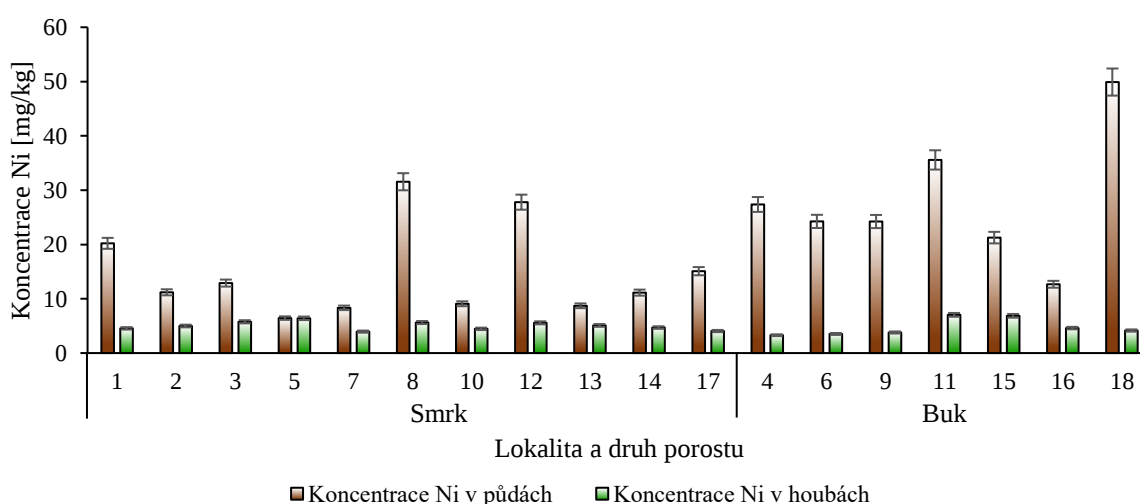
Půdním typem v lesích v oblasti Jeseníků je převážně kambizem. Tento typ půdy je převážně písčitohlinitý a tmavěji zbarvený. Půda je stanovena jako mírně kyselená, což může být způsobeno opadem jehličí. V Jeseníkách převažují smrkové a bukové lesní porosty [39]. Vliv lesního porostu je pozorován na svrchním půdním horizontu 0–2 cm.

Na Obr. 13 můžeme pozorovat, že na všech lokalitách byl obsah zinku v houbách vyšší než v půdách. To je pravděpodobně způsobeno atmosférickým spadem, který se hromadí v nadložním humusu a houby pak zinek vstřebávají. Rozdíl mezi smrkovým a bukovým porostem není velký. Koncentrace zinku v půdách se pohybují kolem hodnoty 80 mg/kg.



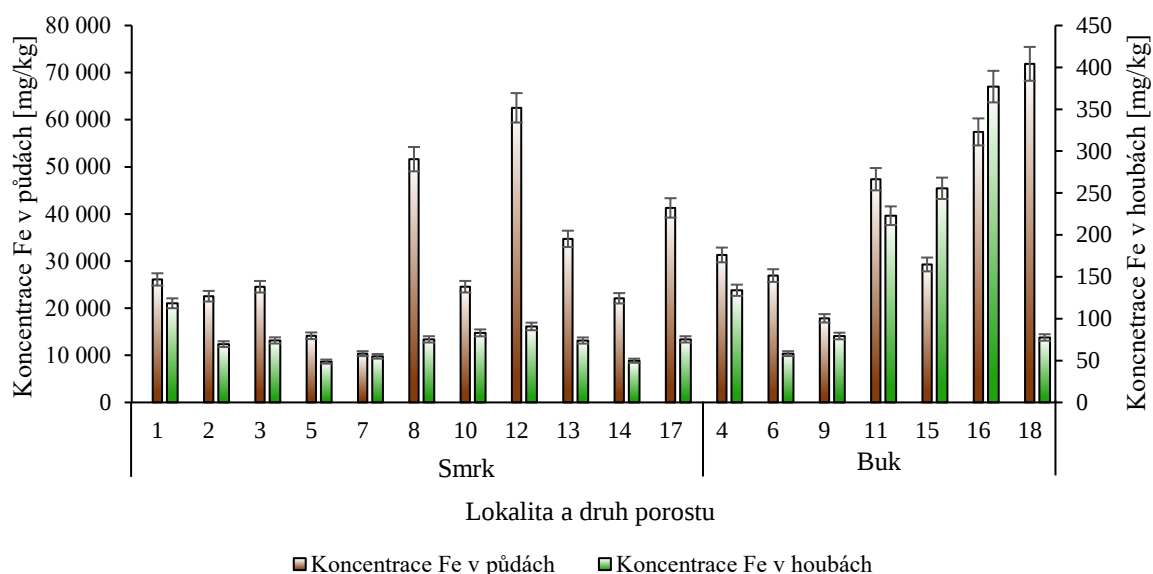
Obr. 13 Vliv lesního porostu na koncentraci Zn houbách a půdách

Z Obr. 14 lze vyvodit závěr, že obsah niklu v půdách je vyšší v bukovém porostu než u smrku. Nejvyšší obsah niklu (49,91 mg/kg) byl zaznamenán v bukovém porostu na lokalitě č. 18.



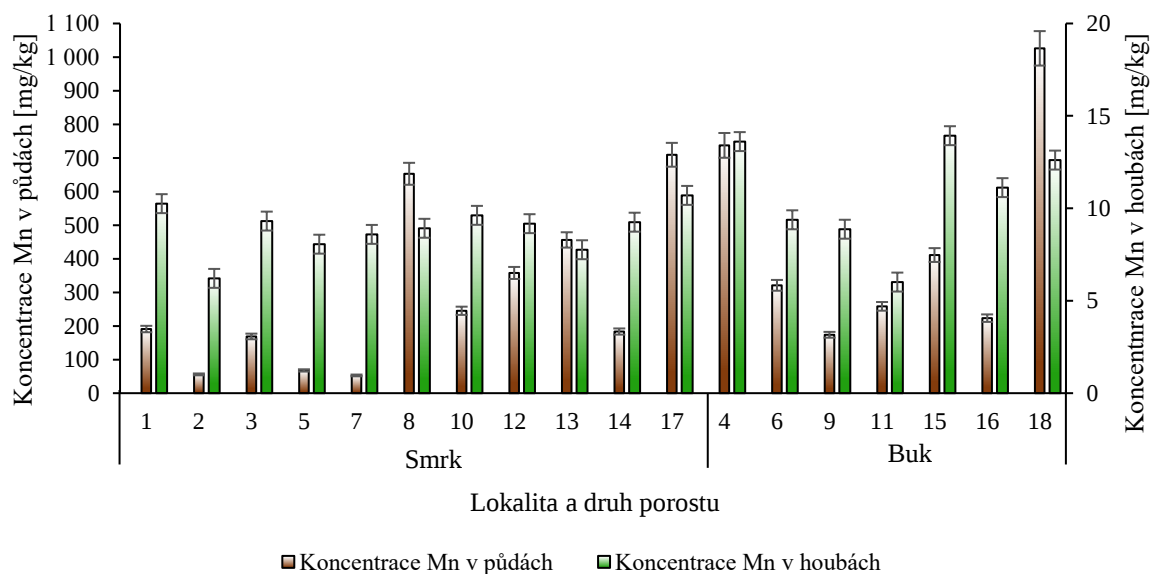
Obr. 14 Vliv lesního porostu na koncentraci Ni v houbách a půdách

Obr. 15 znázorňuje, že obsah železa v půdách ve smrkovém a bukovém porostu se výrazně neliší. Nejvyšší koncentrace železa (71,86 g/kg) byla zaznamenána v bukovém porostu na lokalitě č. 18.



Obr. 15 Vliv lesního porostu na koncentraci Fe v houbách a půdách

Obr. 16 nám potvrzuje, že mangan v horninách doprovází železo. Významné rozdíly mezi smrkovým a bukovým porostem se nevyskytují. Nejvyšší koncentrace manganu (1 026 mg/kg) byla opět zaznamenána v bukovém porostu na lokalitě č. 18. Vyšší obsahy manganu jsou vidět i ve smrkovém porostu na lokalitách č. 8 a 17.



Obr. 16 Vliv lesního porostu na koncentraci Mn v houbách a půdách

5 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla provedena studie obsahu rizikových prvků v houbách a půdách. Celkem bylo z oblasti Jeseníků vybráno 18 lokalit, kde byly odebrány vždy na každé lokalitě vzorky půd i hub na nich rostoucích. V těchto vzorcích byly metodou plamenové absorpční spektrometrie stanoveny koncentrace vybraných těžkých kovů, zinku, niklu, železa a manganu.

Zinek jako jediný ze zkoumaných kovů vykazoval vysokou akumulaci v houbách, jehož průměrná hodnota koncentrace dosahovala průměrných hodnot 200 mg/kg. Vysoký obsah zinku v houbách je pravděpodobně způsoben atmosférickými emisemi, které se do životního prostředí dostávají zejména z průmyslové činnosti. V půdách byl jeho obsah nižší, průměrná hodnota jeho obsahu činila 70 mg/kg. Koncentrace niklu v houbách byla nízká, jeho obsah však postupně s klesající hloubkou narůstal. Průměrná koncentrace niklu v houbách byla stanovena okolo 5 mg/kg a v půdách 20 mg/kg. Obsah železa v půdách byl nejvyšší ze všech stanovených kovů, jeho průměrná hodnota koncentrace byla 35 g/kg. Vysoká přítomnost železa v nejnižších půdních vrstvách je způsobena horninovým složením. V houbách je jeho obsah s porovnáním s půdami výrazně nižší, průměrná hodnota byla stanovena na 100 mg/kg. Studií bylo dokázáno, že mangan doprovází v horninách železo, a tak je jeho nejvyšší koncentrace obsažena v nejnižších vrstvách půdy. Průměrná hodnota manganu v půdách byla stanovena na 350 mg/kg, tedy 100krát méně než železa. Obsah manganu v houbách je stejně jako u niklu a železa nižší, jehož průměrná hodnota je 10 mg/kg. Na všech lokalitách ve vzorcích hub klesá zastoupení prvků v tomto pořadí: $Zn > Fe > Mn > Ni$. Ve vzorcích půd je obsah jednotlivých prvků rozdílný oproti houbám. Posloupnost zastoupení jednotlivých prvků na všech lokalitách je $Fe > Mn > Zn > Ni$.

Limitní koncentrace v houbách byly překročeny u zinku, železa a niklu. Přesto, že jsou zinek a železo esenciálními prvky, byly houby z oblasti Jeseníků vyhodnoceny jako potenciálně rizikové. V půdách nebyly překročeny žádné limity. Z toho můžeme usoudit, že není narušena funkce půdy a není ohrožen růst rostlin.

Dále byl sledován vliv lesních porostů, smrku a buku, na chemické složení půd. Ačkoliv má smrk větší potenciál zachytávat atmosférické znečištění a kumulovat ho ve vrstvách humusu v porovnání s bukem, bylo studií prokázáno, že nejvyšší obsah těžkých kovů je na lokalitě č. 18 v bukovém porostu. Výsledky však mohou být nepatrně zkresleny z důvodu, že lokalita č. 18 (buk) se nacházela v blízkosti lokality č. 8 (smrk), která u niklu, železa a manganu také vykazuje vyšší koncentrace. Na lokalitě č. 16 byla vyhodnocena vysoká přítomnost zinku.

Z výsledků bakalářské práce byly vyvozeny následující závěry – půdy ve zkoumané oblasti vyhovují limitům a nebyla prokázána jejich kontaminace, naopak u hub na nich rostoucích byly limity obsahu vybraných prvků překročeny, což může znamenat jisté riziko pro konzumenty. Vliv lesního porostu byl mírně patrný pouze u niklu, jehož koncentrace v půdách byly vyšší v bukovém porostu oproti smrku.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MITRA, Saikat, Arka Jyoti CHAKRABORTY, Abu Montakim TAREQ et al. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science* [online]. 2022, **34**(3) [cit. 2022-03-15]. ISSN 10183647. Dostupné z: doi:10.1016/j.jksus.2022.101865
- [2] PROUSEK, Jozef. *Rizikové vlastnosti látok*. 2. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2005. Edícia skrípt. ISBN 80-227-2199-9.
- [3] Perspektivy rozvoje výroby a použití materiálů na bázi neželezných kovů v technické praxi 3. Tisíciletí. In: *ADOC.PUB* [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://adoc.pub/download/perspektivy-rozvoje-vyroby-a-pouiti-material-na-bazi-neeeln.html>
- [4] BRIFFA, Jessica, Emmanuel SINAGRA a Renald BLUNDELL. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon* [online]. 2020, **6**(9) [cit. 2022-03-15]. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04691
- [5] KOKKORIS, Vasilis, Ioannis MASSAS, Elias POLEMIS, Georgios KOUTROTSIOS a Georgios I. ZERVAKIS. Accumulation of heavy metals by wild edible mushrooms with respect to soil substrates in the Athens metropolitan area (Greece). *Science of The Total Environment* [online]. 2019, **685**, 280-296 [cit. 2022-05-07]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.447
- [6] HOUSECROFT, Catherine E. a A. G. SHARPE. *Anorganická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.
- [7] HAVEL, Milan, et al. Zinek. *Arnika* [online]. Praha, 2010 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/zinek>
- [8] CSUROS, Maria a Csaba CSUROS. *Environmental sampling and analysis for metals*. 1st edition. Florida: CRC Press, 2002. ISBN 1-56670-572-X.
- [9] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [10] KLEGER, Ladislav, et al. Nikl. *Arnika* [online]. 2010 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/nikl>
- [11] Stopové prvky – třetí část. *EUPHRASIA s.r.o.* [online]. Ořechov, 2016 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.euphrasia.cz/stopove-prvky-treti-cast/>

- [12] Iron (Fe): Chemical properties, Health and Environmental effects. *Lenntech* [online]. Netherlands [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/fe.htm>
- [13] A clearer look at how iron reacts in the environment. *Argonne National Laboratory* [online]. Lemont, 2012 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.anl.gov/article/a-clearer-look-at-how-iron-reacts-in-the-environment>
- [14] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Mangan. *Arnika* [online]. Praha, 2011 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/mangan>
- [15] Toxicological profile for manganese. In: *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* [online]. Atlanta, 2012 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.pdf>
- [16] Stopové prvky – první část. *EUPHRASIA s.r.o.* [online]. Ořechov, 2016 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.euphrasia.cz/stopove-prvky-prvni-cast/>
- [17] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 53/2002 Sb.: Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví chemické požadavky na zdravotní nezávadnost jednotlivých druhů potravin a potravinových surovin, podmínky použití látek přídatných, pomocných a potravních doplňků. In: *Sbírka zákonů*. 2002, ročník 2002, částka 22, číslo 53. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-53>
- [18] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 153/2016 Sb.: Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. In: *Sbírka zákonů*. 2016, ročník 2016, částka 59, číslo 153. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153#p1>
- [19] *Metodický pokyn MŽP pro průzkum kontaminovaného území*. In: . 2005, ročník 15, částka 9. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/Met%20pokyn%2013.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/Met%20pokyn%2013.pdf)
- [20] KOTLÍK, Bohumil, Jan LANGHANS, Pavel BERNÁTH a Vladimír KRAJÁK. *Vzorkování II: Životní prostředí*. 1st ed. Český Těšín: 2 Theta, 2016. ISBN 978-80-86380-81-0.
- [21] *ČSN 01 5111 Vzorkování sypkých a zrnitých materiálů*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1975.
- [22] *ČSN EN 16179 Kaly, upravený bioodpad a půdy: Návod pro úpravu vzorků*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 2013.

- [23] SKOOG, Douglas A., Donald M. WEST, F. James HOLLER a Stanley R. CROUCH. *Analytická chemie*. 9th ed. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN 978-80-7592-043-0.
- [24] KRAKOVSKÁ, Erika a Heinz-Martin KUŠS. *Rozklady v analytickej chémii: súčasný stav a trendy*. Prvé. Košice: Vienaľa, 2001. ISBN 80-889-2248-8.
- [25] ZÁRUBA, Kamil. *Analytická chemie*. 1st ed. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-951-8.
- [26] *Inovace v atomové absorpční a fluorescenční spektroskopii* [online]. Praha: VŠCHT, 2007 [cit. 2022-02-16]. ISBN 978-80-86238-33-3. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/Inovace.pdf>
- [27] WELZ, Bernhard, Maria Goreti R. VALE, Éderson R. PEREIRA, Ivan N. B. CASTILHO a Morgana B. DESSUY. Continuum Source Atomic Absorption Spectrometry: Past, Present and Future Aspects - A Critical Review. *Journal of the Brazilian Chemical Society* [online]. 2014 [cit. 2022-02-16]. ISSN 0103-5053. Dostupné z: doi:10.5935/0103-5053.20140053
- [28] Xenonové světlomety (výbojky). In: *Autolexicon* [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/xenonove-svetlomety-vybojky/>
- [29] FARRUKH, Muhammad Akhyar. *Atomic absorption spectroscopy*. 1st ed. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. ISBN 978-953-307-817-5.
- [30] LI, Kejun, Haiyan YANG, Xin YUAN a Mei ZHANG. Recent developments of heavy metals detection in traditional Chinese medicine by atomic spectrometry. *Microchemical Journal* [online]. 2021, **160** [cit. 2022-03-20]. ISSN 0026265X. Dostupné z: doi:10.1016/j.microc.2020.105726
- [31] ČERNOHORSKÝ, Tomáš a Pavel JANDERA. *Atomová spektroskopie*. První. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. ISBN 80-7194-114-X.
- [32] LU, Yuanyuan, Xinqiang LIANG, Christophe NIYUNGEKO, Junjie ZHOU, Jianming XU a Guangming TIAN. A review of the identification and detection of heavy metal ions in the environment by voltammetry. *Talanta* [online]. 2018, **178**, 324-338 [cit. 2022-03-20]. ISSN 00399140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2017.08.033
- [33] JURNEČKA, Roman. *Studium vertikální mobility těžkých kovů a jejich transferu do hub* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/124085>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Renata Komendová.
- [34] ČSN ISO 11464 *Kvalita půdy – Úprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 2011.

- [35] SARIKURKCU, Cengiz, Jelena POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ a Mehmet Halil SOLAK. Wild edible mushrooms from Mediterranean region: Metal concentrations and health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2020, **190** [cit. 2022-02-13]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2019.110058
- [36] IUPAC, Guidelines for data acquisition and data quality evaluation in environmental chemistry. *Analytical Chemistry*. 2002, **52**(14), 2242–2249.
- [37] PECINA, Václav, Martin VALTERA, Karel DRÁPELA, Radek NOVOTNÝ, Petr VAHALÍK, Renata KOMENDOVÁ, Martin BRTNICKÝ a David JUŘIČKA. Influence of beech and spruce on potentially toxic elements-related health risk of edible mushrooms growing on unpolluted forest soils. *Scientific Reports* [online]. 2022, **12**(1) [cit. 2022-05-09]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-022-09400-9
- [38] Geovědní mapy. *Česká geologická služba* [online]. Česká republika [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr25/?extent=-594604.1666%2C-1093774.0264%2C-495071.5276%2C-1029189.8252%2C102067>
- [39] Půdní poměry. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky* [online]. Jeseník [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://jeseniky.ochranaprirody.cz/charakteristika-CHKO/pudni-pomery/>

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<i>PTFE</i>	polytetrafluorethylen
<i>PP</i>	polypropylen
<i>AAS</i>	atomová absorpční spektrometrie
<i>HCL</i>	výbojka s dutou katodou
<i>UV</i>	ultrafialová oblast
<i>VIS</i>	viditelná oblast
<i>CCD</i>	charge coupled device
<i>CTD</i>	charge transfer device
<i>CID</i>	charge injection device
<i>ICCD</i>	intensified charge coupled device
<i>EMCCD</i>	elektron multiplying charge coupled device
<i>ICP OES</i>	optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
<i>ICP MS</i>	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
<i>FAAS</i>	plamenová atomová absorpční spektrometrie
<i>LOD</i>	mez detekce
<i>LOQ</i>	mez stanovitelnosti

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Akumulace těžkých kovů v houbách a půdách [5]	7
Obr. 2 Schéma atomového absorpčního spektrometru [26; 27]	14
Obr. 3 Xenonová výbojka [28]	15
Obr. 4 Plamenový atomizátor [29]	16
Obr. 5 Vyznačení lokalit odběru vzorků	21
Obr. 6 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku houby na lokalitě č. 5	25
Obr. 7 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku půdy na lokalitě č. 5	26
Obr. 8 Porovnání jednotlivých prvků v jednom vzorku půdy na lokalitě č. 18	26
Obr. 9 Půdní profil zinku na lokalitě č. 1	27
Obr. 10 Půdní profil niklu na lokalitě č. 1	27
Obr. 11 Půdní profil železa na lokalitě č. 1	28
Obr. 12 Půdní profil manganu na lokalitě č. 1	28
Obr. 13 Vliv lesního porostu na koncentraci Zn houbách a půdách	29
Obr. 14 Vliv lesního porostu na koncentraci Ni v houbách a půdách	29
Obr. 15 Vliv lesního porostu na koncentraci Fe v houbách a půdách	30
Obr. 16 Vliv lesního porostu na koncentraci Mn v houbách a půdách	30

9 SEZNAM TABULEK A PŘÍLOH

Tab. 1 Přípustná množství pro sušené houby [17]	10
Tab. 2 Preventivní hodnoty množství vybraných rizikových prvků v zemědělské půdě po extrakci lučavkou královskou [18]	11
Tab. 3 Indikační hodnoty po extrakci lučavkou královskou [18]	11
Tab. 4 Lokality odebraných vzorků hub a půd	22
Tab. 5 Podmínky programu mikrovlnného rozkladu	23
Tab. 6 Podmínky měření pro stanovení Zn, Ni, Fe a Mn	24
Tab. 7 Meze detekce a stanovitelnosti pro jednotlivé prvky	24
Příloha 1 Naměřené hodnoty vybraných rizikových prvků ve vzorcích hub	39
Příloha 2 Naměřené hodnoty vybraných rizikových prvků ve vzorcích půd	40

PŘÍLOHY

Příloha 1 Naměřené hodnoty vybraných rizikových prvků ve vzorcích hub

Lokalita	Zn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mn [mg/kg]
1	146,9 ± 1,9	4,161 ± 0,474	61,31 ± 0,49	6,559 ± 0,013
	227,4 ± 1,4	3,481 ± 0,059	58,52 ± 0,94	5,580 ± 0,006
	246,1 ± 0,7	6,009 ± 0,403	235,2 ± 7,8	18,62 ± 0,26
2	224,7 ± 4,0	4,981 ± 0,169	69,55 ± 0,63	7,045 ± 0,120
3	141,0 ± 3,5	5,762 ± 0,288	73,99 ± 1,55	9,315 ± 0,093
4	252,6 ± 4,0	3,289 ± 0,263	133,9 ± 0,7	13,61 ± 0,23
5	170,2 ± 1,0	6,404 ± 0,333	48,73 ± 0,78	8,059 ± 0,073
6	148,7 ± 2,7	3,516 ± 0,165	58,22 ± 1,80	9,381 ± 0,197
7	140,7 ± 2,0	3,950 ± 0,371	55,02 ± 0,55	8,590 ± 0,189
8	228,6 ± 5,5	5,615 ± 0,157	75,29 ± 2,33	8,921 ± 0,187
9	208,2 ± 1,2	3,791 ± 0,155	79,27 ± 1,74	8,866 ± 0,257
10	260,0 ± 3,6	4,457 ± 0,517	83,02 ± 4,48	9,622 ± 0,087
11	286,6 ± 2,3	7,036 ± 0,500	222,9 ± 4,2	6,01 ± 0,174
12	272,3 ± 6,8	5,570 ± 0,312	90,70 ± 1,36	9,174 ± 0,266
13	224,7 ± 3,1	5,093 ± 0,295	73,87 ± 2,14	7,756 ± 0,163
14	235,4 ± 6,8	4,699 ± 0,197	49,77 ± 1,34	9,253 ± 0,074
15	226,8 ± 4,1	6,863 ± 0,384	255,6 ± 11,8	13,93 ± 0,35
16	581,7 ± 2,9	4,603 ± 0,152	377,0 ± 7,5	11,12 ± 0,21
17	219,1 ± 2,4	4,055 ± 0,244	75,26 ± 0,83	10,70 ± 0,20
18	202,4 ± 1,0	4,150 ± 0,095	77,52 ± 2,87	12,61 ± 0,08

Příloha 2 Naměřené hodnoty vybraných rizikových prvků ve vzorcích půd

Lokalita	Půdní profil	Zn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mn [mg/kg]
1	FH	66,65 ± 2,40	18,49 ± 1,02	24 985 ± 525	162,3 ± 2,9
	0–2 cm	71,61 ± 1,22	20,21 ± 0,20	26 106 ± 104	190,9 ± 1,9
	2–10 cm	59,83 ± 3,17	19,12 ± 0,65	25 505 ± 128	171,6 ± 0,5
	10–20 cm	74,60 ± 1,34	34,73 ± 0,63	49 630 ± 645	235,6 ± 1,2
	20–30 cm	100,2 ± 2,4	36,77 ± 1,58	54 809 ± 329	761,4 ± 3,8
2	0–2 cm	32,26 ± 1,26	11,19 ± 0,73	22 541 ± 68	55,88 ± 0,73
3	0–2 cm	55,92 ± 1,45	12,89 ± 0,22	24 548 ± 466	168,8 ± 1,5
4	0–2 cm	110,3 ± 2,8	27,37 ± 1,01	31 302 ± 1 440	737,3 ± 5,9
5	0–2 cm	33,80 ± 0,71	6,443 ± 0,547	14 143 ± 71	67,66 ± 0,54
6	0–2 cm	85,69 ± 3,00	24,25 ± 0,39	26 921 ± 323	320,9 ± 4,2
7	0–2 cm	29,00 ± 0,49	8,330 ± 0,350	10 355 ± 425	52,76 ± 0,74
8	0–2 cm	99,24 ± 0,50	31,55 ± 0,25	51 634 ± 1 177	652,8 ± 2,0
9	0–2 cm	51,43 ± 0,82	24,23 ± 0,70	17 849 ± 196	173,8 ± 1,4
10	0–2 cm	55,17 ± 0,17	9,082 ± 0,508	24 558 ± 884	245,1 ± 2,5
11	0–2 cm	38,93 ± 0,35	35,57 ± 0,36	47 375 ± 190	258,3 ± 1,0
12	0–2 cm	114,5 ± 1,9	27,79 ± 0,33	62 524 ± 125	357,7 ± 4,3
13	0–2 cm	68,51 ± 0,89	8,705 ± 0,052	34 712 ± 104	456,0 ± 5,9
14	0–2 cm	39,40 ± 0,63	11,13 ± 0,32	22 098 ± 221	183,4 ± 1,3
15	0–2 cm	69,31 ± 1,73	21,26 ± 0,06	29 283 ± 937	411,0 ± 4,9
16	0–2 cm	88,98 ± 0,89	12,67 ± 0,47	57 412 ± 172	223,3 ± 0,7
17	0–2 cm	98,05 ± 0,98	15,08 ± 0,39	41 279 ± 826	709,3 ± 6,4
18	0–2 cm	106,1 ± 1,1	49,91 ± 1,50	71 862 ± 503	1 026 ± 4