



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Stanovení vybraných kovů v jedlých houbách na
Kladensku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: [OCHRANA OBYVATELSTVA](#)

Autor: Eliška Šimůnková

Vedoucí práce: Mgr. Martin Šeda, Ph. D.

České Budějovice 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „**Stanovení vybraných kovů v jedlých houbách na Kladensku**“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3.5.2022

Eliška Šimůnková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Mgr. Martinu Šedovi Ph.D. za skvělé vedení mé bakalářské práce, odborné rady, milý přístup, rychlé odpovědi a především čas věnovaný asistenci při zpracování praktické části v laboratoři. Dále děkuji Tereze Horákové za spolupráci při přípravě vzorků a jejich analýze. V neposlední řadě bych ráda poděkovala svým rodičům za veškerou podporu během studia.

Stanovení vybraných kovů v jedlých houbách na Kladensku

Abstrakt

Cílem této práce bylo stanovení obsahu rubidia, zinku, železa, mědi, stroncia a manganu ve vzorcích jedlých hub a získané výsledky porovnat s již provedeným výzkumem. Literární rešerše obsahuje stručné informace o houbách, půdách, jednotlivých prvcích, použité analytické metodě a výzkumné lokalitě.

Během letních měsíců let 2020 a 2021 bylo pro účely praktické části nasbíráno 12 vzorků sedmi druhů jedlých hub ve vytýčeném lese mezi bývalými kladenskými doly. Pro přípravu vzorků k analýze byl použit mikrovlnný rozklad na mokré cestě. Následovalo stanovení obsahu vybraných kovů ve vzorcích jedlých hub a půd metodou AAS (atomové absorpční spektrometrie). Celá praktická část bakalářské práce byla provedena v laboratoři Katedry aplikované chemie Zemědělské a technologické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a statisticky zpracovány.

Analýzou jsme zjistili, že bedla vysoká patří mezi druhy hub, které ochotně kumulují kovy. U tohoto druhu houby jsme naměřili nejvyšší koncentrace železa ($1148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), mědi ($150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a druhý nejvyšší obsah manganu ($339 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Naopak nejméně ze všech analyzovaných vzorků kumulovala rubidium ($12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), kdy koncentrace byla srovnatelná s obsahem kovu v půdním vzorku. Nejvyšší obsah rubidia byl naměřen ve vzorku hříbu borového ($224,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), značná schopnost absorpce byla zjištěna i u hříbu hnědého ($148,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $123,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Za zmínku stojí hadovka smrdutá, která nejvíce kumulovala stroncium ($10,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a mangan ($643 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). V případě manganu zjištěná koncentrace výrazně převyšovala hodnoty naměřené u ostatních analyzovaných vzorků. Mezi nejméně kumulující druhy hub patřil hřib žlutomasý, u kterého byly naměřeny nejnižší koncentrace manganu ($15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a stroncia ($1,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Klíčová slova: houby, kovy, atomová absorpční spektrometrie, kumulace, rubidium, stroncium, mangan, Kladno

Determination of selected metals in edible mushrooms in the Kladno district

Abstract

The aim of this work was to determine the concentrations of rubidium, zinc, iron, copper, strontium and manganese in samples of edible mushrooms and to compare our results with other studies. The literary research contains brief information about mushrooms, soils, metals, used analytical method and research site.

During the summer months of 2020 and 2021 twelve samples of seven edible mushroom species were collected from the forest between the former mines of Kladno for the purpose of the practical part. First of all the samples were processed by wet-digestion in a microwave oven. After that followed determination of selected metals in mushroom and soil samples by AAS (atomic absorption spectrometry). The whole practical part took place in the laboratory of the Department of Applied Chemistry, Faculty of Agriculture and Technology of the University of South Bohemia in České Budějovice. Measured values were recorded in tables and statistically processed.

Through analysis we found out that a parasol mushroom belongs to mushroom species with the highest ability to accumulate metals. Among the analyzed samples we found the highest content of iron ($1148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), copper ($150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and the second highest of manganese ($339 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). On the other hand we observed the lowest level of rubidium ($12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in this sample, the concentration was comparable with rubidium content in soil sample. The highest content of rubidium was measured in a pine bolete ($224,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), high accumulation ability was detected by bay bolete samples ($148,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $123,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). The stink snake is worth mentioning because of its high strontium ($10,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and manganese ($643 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) accumulation. Measured manganese content significantly exceeded the values measured in other analyzed samples. The least able to cumulate metals between analyzed mushroom species was red cracking bolete which contained the lowest contents of manganese ($15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and strontium ($1,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Key words: mushrooms; metals; atomic absorption spectrometry; cumulation; rubidium; strontium; manganese; Kladno

Obsah

Úvod	9
1. Půda	10
1.1. Složení půd.....	10
1.2. Znečištění půd	12
1.3. Těžké kovy v půdách	12
2. Houby.....	13
2.1. Stavba těla	14
2.2. Výživa hub	15
2.2.1. Saprofytické houby.....	15
2.2.2. Mykorhizní houby	16
2.2.3. Epifytické houby	16
2.3. Bedla vysoká (Macrolepiota procera)	16
2.4. Hřib hnědý (Xerocomus badius)	17
2.5. Hřib žlutomasý (Xerocomus chrysenteron)	18
3. Prvky v houbách	20
3.1. Biokoncentrační faktor.....	20
3.2. Rubidium.....	20
3.3. Železo	22
3.4. Stroncium	23
3.5. Mangan.....	24
3.6. Zinek	24
3.7. Měď	25

4. Atomová absorpční spektrometrie.....	26
4.1. Rozklad vzorku	26
4.2. Mokvý rozklad v mikrovlnném mineralizátoru	26
4.3. Atomová absorpční spektrometrie	27
5. Kladno	29
5.1. Historie hornictví	29
5.2. Historie hutnictví.....	30
5.3. Kladno v současné době.....	30
6. Cíle práce a hypotézy	31
6.1. Cíle	31
6.2. Hypotézy	31
7. Metodika.....	32
7.1. Odběr vzorků.....	32
7.2. Příprava vzorků k rozkladu	34
7.3. Rozklad vzorků	34
7.4. Roztoky pro stanovení obsahu vybraných kovů	34
7.5. Vlastní analýza	35
8. Výsledky a diskuse.....	36
8.1. Statistické zpracování výsledků	36
8.2. Rubidium.....	37
8.3. Zinek	38
8.4. Železo	40
8.5. Měď	41
8.6. Stroncium	43

8.7. Mangan.....	44
9. Závěr.....	47
Seznam literatury.....	48
Seznam příloh.....	56
Seznam obrázků.....	59
Seznam tabulek.....	60

Úvod

Houby tvoří součást lidského jídelníčku již po mnoho tisíciletí. Vynikají obsahem rostlinných bílkovin a vlákniny. Češi bývají označováni za národ houbařů. Sběr hub a následná konzumace jsou populární i v dalších zemích Evropy, které leží severovýchodně od České republiky. V 70. letech 20. století započal výzkum hub jako možných bioindikátorů znečištění životního prostředí. Dalším cílem bylo určit, zda existuje druhová závislost kumulace kovů v jedlých houbách. Pomocí metody atomové absorpční spektrometrie je možné velmi přesně stanovit více než 62 kovů. Právě tuto metodu jsem použila v praktické části své bakalářské práce.

Kladensko je město s historií v oblasti hornictví a hutnictví. Pro těžbu černého uhlí a ocelárny se stalo průmyslovým centrem Čech. Tyto činnosti zanechaly stopy na charakteru samotného města a okolní krajiny. Půdy obsahují větší množství kovů, které mohou přecházet do jedlých hub vyrůstajících v přilehlých lesích. Mezi kovy představující riziko pro konzumenty patří například kadmium, rtuť, olovo a měď.

Cílem bakalářské práce bylo zpracování literární rešerše týkající se problematiky kovů v jedlých houbách a jejich stanovení ve vzorcích. Pro analýzu vzorků jsme použili metodu atomové absorpční spektrometrie s mokrým mikrovlnným rozkladem vzorků. Stanovili jsme obsah rubidia, zinku, železa, mědi, stroncia a manganu ve vzorcích hub a půd. Závěr práce obsahuje zhodnocení výsledků analýzy.

1. Půda

Půda tvoří svrchní část pevného zemského povrchu, který nazýváme pedosféra. Jedná se o dynamický přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a organických zbytků za působení půdotvorných faktorů. Představuje životní prostředí půdních organismů tzv. edafonu, stanoviště planě rostoucích rostlin a zároveň je jedním ze základních předpokladů lidské civilizace. Půda je lidmi využívána zejména k pěstování kulturních plodin, ale představuje i regulátor koloběhu látek v přírodě. Může mít funkci úložiště či být zdrojem potenciálně rizikových látek. Pevný zemský povrch je vystaven vlivu ovzduší a vodstva. Pro pedogenezi (tvorbu půdy) je nezbytné, aby se působení k ovzduší a vodstva připojila činnost organismů (Tomášek, 1995).

Vznik půdy je ovlivněn půdotvornými činiteli, které dělíme do dvou skupin: půdotvorné faktory a podmínky půdotvorného procesu. Mezi půdotvorné faktory řadíme matečnou horninu, podnebí, biologický faktor, podzemní vodu a vliv člověka. K podmínkám půdotvorného procesu patří utváření terénu a čas, tzv. reliéf (Tomášek, 1995).

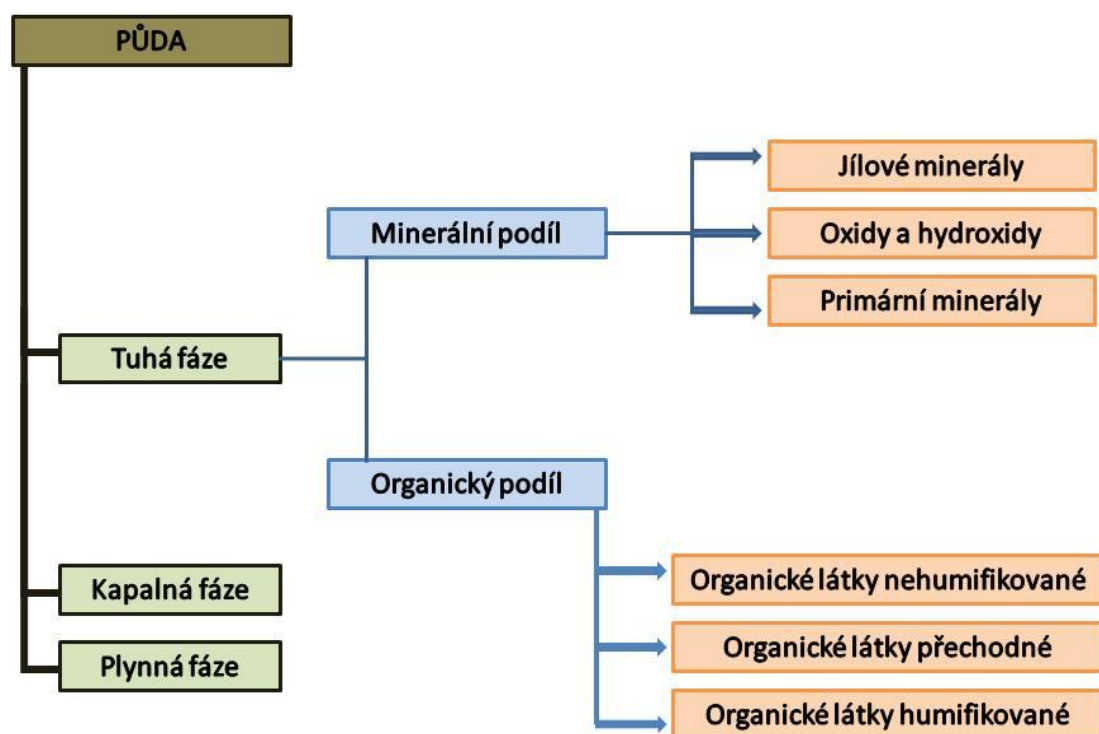
1.1. Složení půd

Půdu definujeme jako heterogenní směs obsahující organickou i anorganickou hmotu (pevná složka), kapalnou a plynnou složku v proměnlivých poměrech. Mezi jednotlivými složkami se ustavuje homeostáza. Organická pevná složka se dále rozlišuje na živou a neživou (Koplík et al., 1997, Loučka, 2014). Minerální podíl v půdách na území ČR se pohybuje v rozmezí 95-98 % hmotnosti sušiny všech tuhých částic půdy. Organický podíl půdy tvoří podstatně menší část od 2 do 5 % (Koplík et al., 1997).

Pevná anorganická složka vzniká zvětráváním nejsvrchnější části zemské kůry. Skládá se ze zvětralých částí původní horniny, které mají různou velikost: kameny, štěrk, písek a prach (Kozák et al., 2008). Nejvíce je zastoupen SiO_2 , který je odolný vůči zvětrávání. Rozpadem matečné horniny vznikají primární minerály: oxidy, křemičitany, uhličitany, fosforečnany a sírany. Primární minerály se přeměňují na sekundární minerály, například jíly (Loučka, 2014).

Organická pevná složka půdy neživá vzniká z odumřelých částí rostlin a těl živočichů, které se působením edafonu přeměňují na humus. Proces přeměny rostlinných a živočišných zbytků na humus se nazývá humifikace (Sposito, 2008). Humifikace

probíhá za omezeného přístupu vzduchu a současně probíhající částečné mineralizace. organické hmoty v půdě.



Obrázek 1: Složení půd (www.web2.mendelu.cz)

Voda je pro život esenciální, tzn. nezbytná. Jako součást půdy má velký význam pro edafon a vegetaci (např. transport látek do kořenových buněk rostlin). Nejčastěji se v půdní vodě vyskytují ionty: H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , OH^- , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} a CO_3^{2-} (Hillel, 1971, Loučka, 2014, Vrba a Huleš, 2016). Koncentrace půdního roztoku se mění v závislosti na vlhkosti, teplotě, provzdušnění půdy, složení pevné fáze půdy atd. Velká míra půdní vlhkosti zpomaluje rozklad organických látek, tím podporuje jejich hromadění, tzv. rašelinění (Vrba a Huleš, 2016, Tomášek, 1995).

Půdní vzduch je stálou součástí půdy a vyplňuje prostory, které nejsou zaplněny půdní vodou. Jeho přítomnost je podmínkou dýchání edafonu a rostlinných kořenů, zároveň umožňuje vývoj půdy. Od atmosférického vzduchu se liší poměrem oxidu uhličitého a kyslíku, obsahuje méně kyslíku a více oxidu uhličitého (Loučka, 2014).

1.2. Znečištění půd

Pojem znečištění půd označuje přítomnost látky, jejíž výskyt není běžný, nebo se vyskytuje ve vyšší než normální koncentraci a má negativní vliv na organismy. Většina polutantů má antropogenní původ, některé se mohou přirozeně vyskytovat v půdách jako součást minerálů a toxické jsou až při vyšších koncentracích (Rodríguez et al., 2018).

Mezi významné zdroje kontaminace půd řadíme:

- atmosférický spad – spalování fosilních paliv, chemický průmysl, kovo zpracující průmysl, likvidaci odpadů spalováním, havárie atd.
- zemědělství – nadužívání knojiv a pesticidy
- důlní odpady a opuštěné průmyslové provozy (Loučka, 2014).

1.3. Těžké kovy v půdách

Obecně řečeno půdy obsahují širokou škálu těžkých kovů v různých koncentracích závislých na okolním geologickém prostředí a antropogenních nebo přírodních činnostech, ke kterým dochází nebo kdy v minulosti došlo. Těmito kovy mohou být železo, chrom, mangan, nikl, zinek, měď, olovo, kadmium, rtuť atd.

2. Houby

Jedná se o velkou skupinu eukaryotních organismů, která byla dříve řazena k rostlinám. Stejně jako zvířata či lidé postrádají fotosyntetická barviva (chlorofyly). Mezi zásobní látky hub patří glykogen a tuk, u rostlin jsou zásobními látkami škroby. Na základě fylogenetických odlišností a zkoumání sekvencí DNA byla v taxonomii živých organismů vymezena samostatná říše „Houby“ (Webster a Weber, 2007).

Základní úlohou hub v přírodě je rozklad organické hmoty na anorganické složky (minerální látky, CO₂), dochází tak k navrácení složek do životního prostředí a jejich opětovnému využití. Organické sloučeniny představují pro houby zdroj energie. Potravu netráví uvnitř plodnice, ale skrz stélku vylučují do substrátu enzymy, kterými ji rozloží na základní stavební složky. Živný roztok stélkou absorbují zpět do těla. Uhlík získávají především rozkladem polysacharidů, např. celulózy. Dusík si zajišťují rozkladem bílkovin na amoniak, který je v půdě dále oxidován a denitrifikačními bakteriemi převeden na molekulu dusíku. Mimo jiné se houby podílí také na humifikaci půd, což znamená depozici organických látek v půdách. V porovnání s bakteriemi disponují bohatší enzymatickou výbavou. Houby jsou v substrátu zakotveny hyfy, které mohou mít různé funkce – rozmnožovací, zásobní, růstovou atd. (Hrouda, 2017).

Houby jsou součástí lidského jídelníčku již po mnoho tisíciletí. Pro svou delikátní chuť, výživové hodnoty a rozmanité způsoby kulinářské úpravy jsou považovány za atraktivní potraviny. Obsahují sacharidy, bílkoviny, spektrum vitamínů a minerálů, vlákninu a malé množství tuků. Pro svou nízkou kalorickou hodnotu bývají zařazovány do nízkokalorických diet. Výtažky z hub a jejich fenolové kyseliny mají potenciál v prevenci a boji proti mikrobiálním infekcím. Představují zdroj antioxidantů, které pomáhají významně snižovat hladinu oxidativního stresu v buňkách a tím minimalizují riziko nemocí jako například ateroskleróza, diabetes mellitus, chronické záněty a rakovina. Nižší hladina oxidativního stresu znamená i zpomalení stárnutí. Houby obsahují ergosterol, prekurzor vitamínu D, který se po kontaktu s UV zářením mění na vitamín D₂ (Heleno et al., 2015).

Sebrané plodnice se doporučuje co nejdříve zkonsumovat, nebo uskladnit (sušení, mražení). Houby mají relativně krátce po sklizni tendenci se kazit a ztrácet na kvalitě v důsledku ztráty vody, možného mikrobiálního napadení a nedostatku fyzické ochrany.

Pro zachování nutrientů a chuti se jeví jako výhodnější způsob uskladnění zmrazení (Fernandes et al., 2013). Houby patří mezi finančně dostupné potraviny. Volně rostoucí druhy jsou sbírány především v zemích střední a východní Evropy. Houbaření se v České republice stalo národním koníčkem. Houbaření se oddává přibližně 72 % českých rodin, průměrná domácnost za rok nasbírá 7 kg čerstvých hub. Ve výjimečných případech jedinci zkonzumují i více než 10 kg hub ročně (Kalač a Svoboda, 2000).

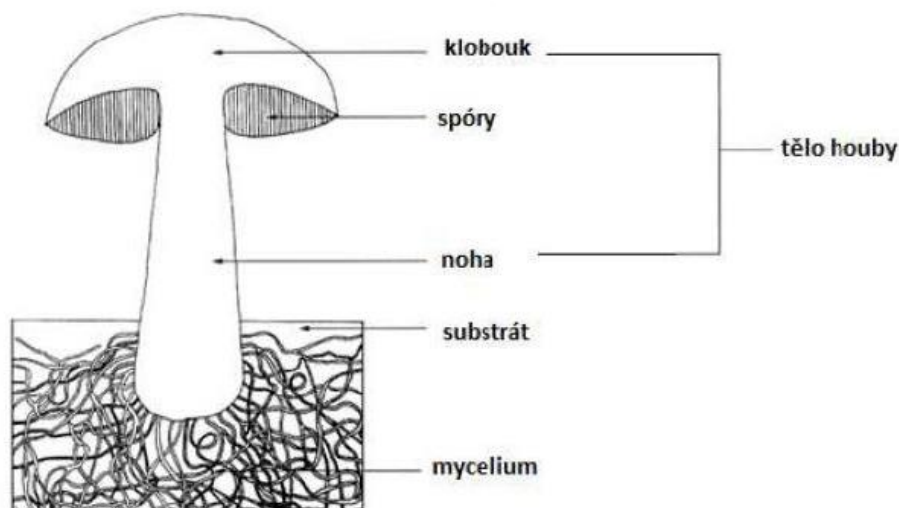
Tabulka 1: Obsah makroživin v 300 gramech čerstvých hub

Makroživina	Obsah makroživiny v gramech
Tuky	0,4–1,2
Bílkoviny	2,7–5,8
Sacharidy	4,8–25,8

Zdroj: Kalač a Svoboda, 2000

2.1. Stavba těla

Celoročně je houba přítomna na stanovišti ve formě podhoubí (mycelium). Pokud nastanou vhodné podmínky pro růst, vyrůstají z podhoubí plodnice. Některé houby vyrůstají každoročně, jiné v intervalu 2-3 let, ve výjimečných případech i s odstupem několik desetiletí. Plodnice je rozmnožovací část houby, která nese spory. Její dvě části se nazývají klobouk a třeň. Stavba těla houby je znázorněna a popsána na obrázku č. 2. Podkladem pro růst může být dřevo či půda. Životnost plodnice se pohybuje v rozmezí 10-14 dnů. Výjimku tvoří některé druhy plodnic, kterým slouží jako substrát dřevo, ty mohou setrvávat i několik měsíců či let (Kalač, 2019).



Obrázek 2: Stavba těla houby (Kalač a Svoboda, 2000)

2.2. Výživa hub

Houby jsou heterotrofní eukaryotické organismy. Heterotrofie znamená, že nejsou schopné samy vytvářet organické látky z látek anorganických, proto jsou z hlediska výživy závislé na autotrofních organismech. Dle výživové strategie dělíme houby na symbiotické, saprofytické a parazitické. Symbiotické druhy žijí se svým hostitelem v oboustranně výhodném vztahu. Houby saprofytické získávají organické látky z mrtvých těl rostlin nebo živočichů, zpravidla organickou hmotu dále rozkládají, proto jsou řazeny mezi tzv. rozkladače. Saprofytické houby se snadno kultivují. Parazitické houby získávají živiny z živých organismů, svým hostitelům škodí nebo způsobí jejich smrt, např. dřevokazné houby (Kalač, 2019). Zpravidla je velmi obtížné jednoznačně určit, do které ekologické skupiny houba patří.

2.2.1. Saprofytické houby

Saprofytické houby disponují enzymatickou výbavou potřebnou k získávání živin z odumřelých částí živočichů a rostlin, podílí se tak na recyklaci minerálních složek biomasy (Holec, 2001). Mezi saprofytické druhy patří například pečárka (*Agaricus*), bedla (*Macrolepiota*), lysohlávka (*Psilocybe*) a špička (*Marasmius*). V rámci praktické části bakalářské práce byl analyzován vzorek bedly vysoké.

2.2.2. Mykorhizní houby

Mykorhiza je symbiotický vztah mezi houbou a rostlinou. Rostlina představuje zdroj energie a organických látek pro houbu. Prostřednictvím výměšků kořenů mohou rostliny pozitivně ovlivňovat růst sobě vlastních mykorhizních hub. Přínos houby spočívá v přísunu vody, fosforu, dusíku a minerálních látek. Mycelium mykorhizních hub může na stejném místě setrvat i několik let. Známe-li stanovištní nároky jednotlivých druhů, můžeme na základě biotopu předvídat jejich výskyt, těchto znalostí využívají v praxi především mykologové a zkušení houbaři (Hrouda, 2017, Holec, 2001). Příkladem mykorhizních druhů jsou muchomůrka (*Amanita*), hříb (*Boletus*, *Xerocomus*), klouzek (*Suillus*) a kozák (*Leccinum*). Mykorhizní houby se hojně vyskytují v lesních ekosystémech na území České republiky a jsou vyhledávány houbaři.

2.2.3. Epifytické houby

Houby mohou získávat paraziticky živiny od jakéhokoliv živého organismu – rostliny, jiné houby či živočichovi (člověka nevyjímaje). Parazité mohou být částečně či úplně závislí na hostitelském organismu jako zdroji živin. Vzniká stav nutriční závislosti. Příkladem epifytických druhů hub jsou václavka (*Armillaria*), hlíva (*Pleurotus*) a choroš (*Polyporus*). Mezi paraziticky se živící druhy hub patří například *Cordyceps sinensis*, který je užíván v rámci čínské medicíny k harmonizaci duše a těla, řadíme jej mezi tzv. adaptogeny (Jedličková, 2017). Epifytické houby nebyly v praktické části bakalářské práce analyzovány.

2.3. Bedla vysoká (*Macrolepiota procera*)

Bedla vysoká dorůstá až do výšky 40 cm. Roste v období od července do října. Můžeme ji nalézt na okrajích lesů všech typů a v travnatých porostech. Vyskytuje se převážně ve skupinách. Kulinářsky využitelný je pouze klobouk, proto se při sběru třen většinou odlamuje (Hagara et al., 2006).

Klobouk je v mládí uzavřený do tvaru paličky, v dospělosti se rozkládá do šířky až 25 cm. Barva klobouku je bělavá až krémová s šedohnědými až červenohnědými šupinami soustředěnými do kružnic, na vrcholu bývá hnědá hrbolek. Spodní strana klobouku se skládá z volných širokých lupenů bělavé až krémové barvy. Třeň je válcovitý, na bázi hlízovitý. V horní třetině je třeň bělavý s jemně hnědým vločkováním. Poté je na třeni

bělavý prstenec, pod prstencem přechází třeh do hnědé až červenohnědé barvy (Hagara et al., 2004).



Obrázek 3: *Bedla vysoká*, lat. *Macrolepiota procera* (www.mykologie.net)

2.4. Hřib hnědý (*Xerocomus badius*)

Hojně se vyskytující chutná houba, která se vyskytuje od června do listopadu. Roste především v jehličnatých lesích (i v podhorských oblastech), zřídka jej můžeme nalézt v lesích smíšených. Jeho předností je odolnost vůči červivosti, avšak slouží velmi často jako potrava lesních hlodavců. Nevyhýbá se znečištěným oblastem, zdá se, že hříbu hnědému nevadí kyselejší půdy (Hagara et al., 2006).

Klobouk dorůstá velikosti 4-20 cm, v mládí je polokulovitý, v dospělosti až plochý. Zbarvení klobouku je většinou kaštanově hnědé, vzácněji červenohnědé či žlutohnědé. Rourky a póry jsou v mládí světlé, poté přechází v žlutavou barvu. Po mechanickém poškození jsou silně zelenomodrající. V mládí je třen soudkovitý, později válcovitý žlutavé barvy s hnědým síťkováním (Hagara et al., 2004).



Obrázek 4: Hřib hnědý, lat. *Xerocomus badius* – vzorek K20-H05 (vlastní fotografie)

2.5. Hřib žlutomasý (*Xerocomus chrysenteron*)

Hřib žlutomasý neboli „babka“ patří mezi nejznámější a nejsbíranější na území ČR. Můžeme jej nalézt v období od června do listopadu. Roste hojně ve skupinách na území listnatých i jehličnatých lesů. Jeho výskyt není omezen nadmořskou výškou ani druhem půdy (Hagara et al., 2004). Sbírají se především mladé plodnice, které jsou pevné. Velkou nevýhodou je náchylnost houby k plísním (konkrétně nedohub zlatovýtrusný) a červivosti (Hagara et al., 2006).

Klobouk dosahuje velikosti 3-10 cm, je zbarvený v odstínech hnědé barvy (šedohnědé, olivově hnědé, šedohnědé, olivově šedé až tmavošedé barvy) a v dospělosti rovnoměrně rozpraskaný po celém povrchu. V mládí klobouk polokulovitého tvaru, v dospělosti až

plochý. Rourky a póry má žlutozelené až olivově šedé, po mechanickém poškození modrají. Třeň je válcovitý, u vrcholu žlutý, směrem k bázi růžovějící až tmavě červený (Hagara et al., 2004).



Obrázek 5: Hřib žlutomasý, lat. *Xerocomus chrysenteron* (www.ohoubach.cz)

3. Prvky v houbách

Počátek výzkumu minerálů v houbách sahá do 70. let 19. století, kdy bylo zjištěno, že houby obsahují široké spektrum minerálů (značně větší než např. u zeleniny). Teorie o závislosti koncentrace minerálů v houbách říkájící, že výskyt minerálních látek v plodnicích závisí na druhu houby, byla do jisté míry potvrzena. Tuto hypotézu budeme ověřovat v praktické části bakalářské práce. Dalším významným faktorem je substrát, ale existuje rozdílnost v absorpci jednotlivých kovů, což bylo zjištěno v 80. letech 19. století (Kalač a Svoboda, 2000).

Menší vliv pro absorpci má stáří plodnice a její velikost, avšak u mladších plodnic se může vyskytovat více stopových prvků. Rozpor v tvrzení byl vysvětlen transportem látek z mycelia během počáteční růstové fáze (Kalač, 2019).

3.1. Biokoncentrační faktor

Schopnost hub kumulovat těžké kovy je vyjádřena biokoncentračním faktorem (*bioconcentration factor*, BCF). Jedná se o poměr obsahu prvku v plodnici ku obsahu prvku v substrátu. Pokud je hodnota BCF větší než 1, prvek je houbou kumulován. Hodnota BCF menší než 1 značí, že prvek není houbou kumulován a zůstává koncentrován v substrátu (Kalač, 2019).

Některé druhy hub mají hodnotu BCF v řádech stovek až tisíců, tzn. hyperkumulují určité prvky. Například muchomůrka šiškovitá (*Amanita strobiliformis*) a muchomůrka ježatohlavá (*Amanita solitaria*) hyperkumulují stříbro, zjištěná hodnota BCF se pohybovala v rozmezí 800 až 250 (Borovička et al., 2007).

Plodnice hub s vysokou akumulací schopností mohou být užitečné jako bioindikátory v otázce znečištění životního prostředí. Vysoké koncentrace těžkých kovů byly pozorovány poblíž hlavní silnice v Bulharsku (Kuthan, 1979), na území měst, kovových hutí, v těžebních oblastech, odkalištích a oblastech bohatých na kovovou rudu (Kalač a Svoboda, 2000).

3.2. Rubidium

Prvek byl objeven v roce 1861 německými vědci Gustavem R. Kirchhoffem a Robertem W. Bunsenem, kteří pomocí optického spektroskopu provedli spektrální analýzu

minerálních vod. Při zkoumání složení vzorků narazili na dva nové prvky: cesium a rubidium. Rubidium zde bylo vázáno jako stopová složka minerálu zvaného lepidolit. Názvy byly odvozeny na základě barev emisních čar – caesius a rubidius (Georgescu, 2015).

Patří mezi kovy alkalických zemin, které se vyznačují vysokou reaktivitou. Rubidium je měkký stříbrolesklý kov, který lze krájet nožem. Má velmi nízkou teplotu tání 39,3 °C. Prudce reaguje s vodou za vzniku vodíku. Na vzduchu může dojít k samovznícení, proto se elementární rubidium uchovává pod vrstvou alifatických uhlovodíků, např. petroleje nebo nafty, se kterými nereaguje. Velmi dobře vede elektrický proud a teplo (Georgescu, 2015).

Obsah rubidia v zemské kůře je přibližně 310 mg·kg⁻¹, převažují stabilní izotopy (72,2 %) nad radioaktivními (28,8 %). Výzkumem je prokázána nepřímá korelace mezi obsahem rubidia a pH půd, nejvíce rubidia se nachází v kyselých půdách. Absorpce rubidia rostlinami je větší kyselostí půd taktéž podpořena, naopak může být inhibována přítomností draslíku (Anke a Angelow, 1995).

Podle názoru některých odborníků patří rubidium mezi ultrastopové prvky, které jsou esenciální pro živočichy a rostliny (Kosla et al., 2002). Lidský organismus hospodaří s ionty rubidia obdobně jako s ionty draslíku, soustředí je především v intracelulární tekutině. Zájem o rubidium a jeho význam pro živočichy vzrostl po experimentu s nedostatkem rubidia na březích kozách, kdy více než 80 % svá mláďata potratilo (Anke a Angelow, 1995). Studie z roku 2008 prokázala antidepressivní účinky. Celkový obsah v lidském těle se pohybuje v rozmezí 400–900 mg (Canavese et al., 2008). Denní příjem rubidia v potravinách je přibližně 3 mg. Mezi hlavní zdroje patří hovězí maso, sójové boby a pitná voda. Malnutrice může být způsobena nevhodnou dietou, která omezuje konzumaci červeného masa (Dixit et al., 2017). Mezi další významné zdroje rubidia se řadí káva (40 mg·kg⁻¹ sušiny) a černý čaj (100 mg·kg⁻¹ sušiny), do nápojů přechází asi 85 % celkového obsahu. Byla prokázána nepostradatelnost nízkých koncentrací prvku pro živé organismy, ale také jeho toxicita při dávce vyšší než 1000 mg·kg⁻¹ (Kosla et al., 2002).

3.3. Železo

Jedná se o šedobílý neušlechtilý kov, který je po hliníku druhý nejrozšířenější kov na Zemi. Typickou vlastností je feromagnetismus, tzn. dá se silně magnetizovat. Pokud železo vystavíme účinku vzdušné vlhkosti a kyslíku, pokrývá se vrstvou hydratovaného oxidu železitého a hloubkově koroduje. Řadíme jej mezi mikrobiogenní prvky. Železo je nezbytné pro biosyntézu některých enzymů, fytochromů, je součástí cytochromů (dýchací enzymy) a hemoglobinu (Strebllová, 2012).

Celkový obsah železa v půdě je poměrně vysoký. Vyskytuje se vázané ve formě oxidů, sulfidů, fosfátů a silikátů. Poměr Fe^{2+} ku Fe^{3+} je závislý na pH a provzdušněnosti půdy. Vysoká koncentrace Fe^{2+} může být pro rostliny toxická, stává se tak u zamokřených půd. Naopak půdy s vysokým obsahem CaCO_3 u rostlin vyvolávají chlorózu z nedostatku železa. Chloróza je příznak na listech rostlin, který poukazuje na nedostatek některého z nutrientů (Richter, 2007).

Železo je důležité pro pokrytí základních životních funkcí houby (metabolické dráhy, růst), ale zároveň je kumulováno ze substrátu. Vyšší obsah železa vykazuje spíše klobouk než třen hub. Obsah železa v houbách se většinou pohybuje v rozmezí 50–150 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ v sušině, avšak byly zjištěny i hodnoty kolem 1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ obsahu železa v sušině hub rodu hřib. (Kalač, 2019) Významná schopnost kumulovat železo byla pozorována například u hub klouzek strakoš a lištička pomerančová, kde se zjištěné hodnoty obsahu železa pohybovaly v rozmezí 1000-5000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ v sušině (Borovička, 2007).

Ze statistik WHO (*World Health Organization*) vyplývá, že nedostatkem železa trpí na světě více než 2 miliardy lidí, především malé děti a mladé ženy žijící v rozvojových zemích. Hlavním zdrojem železa v hemové formě (Fe^{2+}) jsou potraviny živočišného původu, například červené maso. Ve snaze zvýšit obsah železa v potravinách rostlinného původu, byly započaty výzkumy s účelem obohatit o železo houby, konkrétně hlívu ústřičnou. Plodnice vyrůstající na kávových slupkách obohacených o sulfid železnatý dosáhly obsahu železa 149 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ v sušině, ve srovnání s plodnicemi vyrůstajícími na neobohaceném substrátu, které obsahovaly 112 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ železa v sušině. Obohacený substrát obsahoval 0,8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ železa. V dalším pokusu provedeném v roce 2016 Yokota et al. zvýšili obsah železa v substrátu skládajícího se z bagasy z cukrové třtiny a vlákniny sójových bobů na 22 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Plodnice vyrůstající na tomto substrátu

vykazovaly hodnoty železa do $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ v sušině. V případě hlívy ústříčné bylo zjištěno, že železo je akumulováno zejména v myceliu, současně byla potvrzena závislost obsahu prvku v plodnici na obsahu prvku v substrátu, ze kterého plodnice vyrůstá (Kalač, 2019, Yokota et al., 2016)

3.4. Stroncium

Řadíme jej mezi kovy alkalických zemin. První zmínky o stronciu pochází z roku 1790, kdy bylo objeveno při těžbě poblíž skotské vesnice Strontian. Je to měkký lesklý kov šedobílé barvy, na vzduchu nestálý, rychle se pokrývá vrstvou oxidu strontnatého. V přírodě se nevyskytuje v čisté formě, poprvé bylo izolováno v roce 1808. Má schopnost, stejně jako vápenaté a hořečnaté ionty, vázat se na proteiny v tělních tekutinách (sérum, plasma). Nebezpečí pro lidský organismus představuje radioaktivní izotop ^{90}Sr , kterému můžeme být vystaveni po jaderné havárii či použití nukleární zbraně. Poškozuje krevní kapiláry a tím ohrožuje tok krve v kostní tkáni, zabudovává se do kostní tkáně (na úkor vápníku) a má malou afinitu k chelatačním činidlům (Nielsen, 2004).

Obsah stroncia v zemské kůře se pohybuje v rozmezí od 0,02 do 0,03%. Jeho koncentrace v půdě a pitné vodě je 0,001 až $39 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, například ve Spojených státech amerických je koncentrace stroncia v pitné vodě menší než $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Toxicological profile for strontium, 2004). Existuje korelace mezi obsahem vápníku a stroncia v půdě, kdy 8 mg stroncia připadá na 1000 mg vápníku (Fleischer, 1953), ovšem existuje variabilita mezi regiony. Rostliny obsahují tyto dva kovy alkalických zemin přibližně ve stejném poměru, jako je jejich výskyt v půdě. Stroncium na rostliny působí jako růstový stimulant (Nielsen, 2004).

Nejčastěji autoři studií uvádí hodnoty obsahu stroncia v plodnicích hub menší než $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ v sušině, velmi časté jsou i hodnoty v rozmezí od 2 do $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vysoký obsah do $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ byl naměřen v plodnicích, které vyrůstaly na kyselých půdách obsahujících křemenec. Obsah stroncia v houbách koreluje s obsahem vápníku (Kalač, 2019). Nebyl jednoznačně určen druh houby, který by vykazoval vysokou hodnotu biokoncentračního faktoru pro stroncium, v důsledku čehož nedochází k hromadění v plodnicích hub. Například u bedly vysoké jsou hodnoty BCF pro klobouk 0,96 a třeh 0,16 (Kuldo et al., 2014).

3.5. Mangan

Mangan je podobný železu, je křehký, na vzduchu stálý. V průmyslu má uplatnění jako součást slitin a také zvyšuje tvrdost oceli. Patří mezi mikrobiogenní prvky, protože je významný pro fotosyntézu, pro správný vývoj a funkci slinivky, pro růst kostry atd. Při dlouhodobém působení sloučenin manganu se zvyšuje pravděpodobnost výskytu Parkinsonovy choroby (Streblová, 2012).

Obsah manganu v půdě kolísá v rozmezí 0,01-0,29 %, kumuluje se především ve svrchní vrstvě půdy. Vyskytuje se ve sloučeninách ve formě Mn^{2+} (vodorozpustný), Mn^{3+} a Mn^{4+} (Richter, 2007).

V průběhu posledního desetiletí bylo získáno velké množství dat ohledně obsahu manganu v houbách, divoce rostoucích i kultivovaných. Obsah manganu v sušině se pohybuje v rozmezí 25-75 $mg \cdot kg^{-1}$. Výjimku tvoří například pýchavka obecná, u které byly zjištěny hodnoty 514 $mg \cdot kg^{-1}$ manganu v sušině (Sarikurkcu et al., 2015), nebo houby rodu holubinka s hodnotami 167-210 $mg \cdot kg^{-1}$. Hodnota BCF pro mangan je běžně $<0,5$, zřídka dosahuje hodnoty >1 , proto ve většině případů dochází k biologickému vylučování. Pokud dochází ke kumulaci, děje se tak spíše ve třeni plodnice (Kalač, 2019).

3.6. Zinek

Namodralý kov, který je na vzduchu stálý (pokrývá se vrstvou oxidu). V průmyslu se používá do slitin (např. mosaz) a jako ochrana železných předmětů či plechů před korozí. Patří mezi mikrobiogenní prvky. Je součástí inzulínu. Ve formě kationu Zn^{2+} je aktivátorem nebo součástí některých enzymů (např. dehydrogenáz). Kationty těžkých kovů Cd^{2+} , Hg^{2+} a Pb^{2+} snižují resorpci zinku z potravy, vyskytují se v kontaminované potravě rostlinného i živočišného původu. Nedostatek zinku se projevuje zpomalením růstu a kožními poruchami. Zinečnaté soli jsou poměrně toxické, smrtelná dávka $ZnSO_4$ pro lidský organismus je přibližně 10 g (Streblová, 2012).

Obsah zinku v půdách je různý, závisí především na obsahu zinku v mateční hornině a charakteru půdotvorného procesu. Mezi hlavní antropogenní zdroje patří barevná metalurgie, následkem této činnosti je v některých oblastech vysoká míra kumulace zinku v horní vrstvě půd a představuje vážný problém v ochraně životního prostředí (Richter, 2007).

Obsah zinku ve volně rostoucích houbách je v rozmezí 25-200 mg·kg⁻¹, v pěstovaných houbách dosahuje maximálně 125 mg·kg⁻¹ v sušině. U některých druhů mohou být hodnoty i vyšší, například u hříbu smrkového, bedly vysoké a hříbu hnědého. Klobouky, hlavně jejich výtrusotvorná část, obsahují více zinku než třen (Kalač, 2019).

3.7. Měď

Načervenalý kov, který se na vlhkém vzduchu pokrývá vrstvou měďenky, zásaditého uhličitany měďnatého - CuCO₃·Cu(OH)₂. Měď má široké spektrum využití především v elektrotechnickém průmyslu a jako součást slitin. Rozpustné měďnaté sloučeniny jsou pro živé organismy toxické (smrtelná dávka kolem 10 gramů). Navzdory zmíněné toxicitě je měď součástí některých enzymů (např. cytochromoxidázy) a respiračního pigmentu některých bezobratlých (modrý hemocyanin). Dlouhodobý nedostatek mědi vede k poruchám plodnosti a anemii, kdy organismus ztrácí schopnost absorbovat železo z potravy (Streblová, 2012).

Obsah mědi v půdě je uváděn v rozmezí 1-180 mg·kg⁻¹. Průzkum orných půd v ČR na obsah mikroelementů ukázal, že 83,3 % půd se vyznačuje středním obsahem mědi. Výměnná měď představuje pouze 1 % z celkového obsahu, jedná se o kationt Cu²⁺, který je vázán organickými a minerálními koloidy. Zdrojem mědi pro rostliny jsou tak především huminové kyseliny obsažené v humusu, které mají schopnost měď poutat. Zbylých 99 % mědi je vázáno pevnou vazbou v minerálech, např. chalkopyrit (Richter, 2007).

Měď je v plodnicích hub kumulována především v klobouku. Obsah mědi v houbách je výrazně druhově závislý a rozpětí hodnot je široké. U divoce rostoucích druhů hub byly zjištěny hodnoty od menší než 10 do 75 mg·kg⁻¹ v sušině, zatímco u kultivovaných druhů do 30 mg·kg⁻¹ v sušině. Projevila se i závislost na znečištění životního prostředí, čím více byla oblast zasažena antropogenní činností, tím vyšší hodnoty koncentrace mědi v houbách lze předpokládat (Kalač, 2019). Zajímavé je, že hodnoty BCF nemusí být konstantní, u 13 druhů jedlých hub sebraných ve stejné lokalitě (málo znečištěná oblast v Polsku) v období tří po sobě jdoucích let se hodnota BCF výrazně lišila. Nejvyšší hodnoty BCF byly zaznamenány u bedly vysoké: 66.3, 58.2 a 60.3. Naproti tomu kozák březový má podstatně nižší schopnost akumulace mědi, hodnoty BCF byly následující: 11.9, 7.7. a 11.4 (Mlecze et al., 2015).

4. Atomová absorpční spektrometrie

4.1. Rozklad vzorku

Významnou součástí analytických metod je příprava vzorku k měření. Cílem úpravy vzorku je dosažení vhodných fyzikálních a chemických parametrů pro analýzu, kterých se docílí destrukcí vzorku. Řada analytických metod vyžaduje vzorky v tekuté formě s dokonalou destrukcí (maximální homogenita, minimální viskozita). Oproti jiným analytickým metodám má metoda AAS relativně malé požadavky na odstranění organické osnovy (Mader a Čurdová, 1997).

Rozklad organické hmoty je podmíněn překonáním vysoké aktivační energie potřebné k její destrukci. Metody rozkladu vzorku se na základě použitého postupu dělí do tří skupin: suchý, nebo mokrý rozklad a ostatní metody rozkladu. Stěžejní metodou pro analýzu v rámci této práce je mokrý rozklad, konkrétně v mikrovlnném mineralizátoru (Mader a Čurdová, 1997).

Vzorek je rozkládán ve směsi koncentrovaných minerálních kyselin za zvýšené teploty při atmosférickém tlaku. Během reakce dochází k oxidaci biologického materiálu. V první fázi je rozrušena struktura kyselou hydrolýzou, následně probíhá oxidace vzniklých meziproductů. Rychlost probíhající reakce je závislá na reakční teplotě a použití katalyzátorů. Pro teplotu je limitujícím faktorem bod varu oxidačních činidel, případně jejich směsí. Nejčastěji používaným oxidačním činidlem je kyselina dusičná samostatně, nebo ve směsi s další anorganickou kyselinou (Mader a Čurdová, 1997).

4.2. Mokrý rozklad v mikrovlnném mineralizátoru

Mokrý rozklad provádíme v otevřeném nebo uzavřeném systému. Obě varianty využívají konvenční nebo mikrovlnný ohřev. Rozklad v uzavřeném systému je výhodnější z hlediska efektivnosti – nedochází k úniku těkavých látek, minimální kontaminace z vnějších zdrojů a nízká spotřeba reakčních činidel (Mader a Čurdová, 1997). Vzorky v rámci této práce byly rozloženy metodou mokrého rozkladu v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem.

Základní výhody mikrovlnného rozkladu: značné zkrácení doby rozkladu, dokonalý/téměř dokonalý rozklad organického materiálu a malá spotřeba reagensů. Mikrovlnné záření spadá do neionizující části elektromagnetického spektra. Absorpce

energie mikrovlnného záření v kapalinách vyvolává rotaci molekul s permanentními dipóly nebo pohyb iontů, aniž by došlo ke změně struktury látky. Mikrovlnné záření je generováno tzv. magnetronem. Další části mikrovlnného mineralizátoru jsou vlnovod, vysokofrekvenční rezonátor, směšovač, cirkulátor, držák s nádobkami na vzorky (často otočný karusel), snímače teploty a tlaku, regulátor výkonu. Vlivem specifických vlastností mikrovlnného záření je primárně zahříván rozkládaný vzorek, nikoliv stěny nádobek (Halko a Hutta, 2007, Mader a Čurdová, 1997).

4.3. Atomová absorpční spektrometrie

Primární metodou pro stanovení kovů v houbách je atomová absorpční spektrometrie (AAS), analytická metoda založená na měření množství absorbovaného monochromatického záření atomy v základním elektronovém stavu. Na základě Kirchhoffových zákonů předpokládáme, že volné atomy v plynném stavu jsou schopny pohltit záření jen takových vlnových délek, které následně samy vyzařují při deexcitaci ve formě fluorescenčního záření. Generace volných atomů v plynném stavu je prováděna při teplotách 2000-3000 K prostřednictvím plamenového nebo elektrotermického atomizátoru. Pro analýzu se využívá záření o vlnových délkách v rozmezí 190-850 nm. Přechodu atomu ze základního stavu do některého excitovaného stavu (nejpravděpodobněji prvního) odpovídá rezonanční čára. Z rezonančních čar se použijí ty, které s nejvyšší pravděpodobností odpovídají přechodu na vyšší energetickou hladinu, nebo-li absorpce záření je největší. Originalita rezonančních čar jednotlivých prvků je dána jejich atomovou stavbou, především elektronovou konfigurací. Pomocí metody AAS je možné stanovit více než 62 kovů v roztocích (Křížek a Šíma, 2015, García a Báez, 2012).

Měřenou veličinou v AAS je absorbance, kterou definuje Lambert-Beerův zákon:

$$A=c \cdot \varepsilon \cdot l$$

Rovnice vyjadřuje vztah přímé úměrnosti mezi absorbancí a koncentrací absorbující látky. Při měření metodou AAS záření generované zdrojem prochází skrz analyzovaný vzorek, kde je zeslabováno a po průchodu monochromátorem dopadá na detektor, jehož signál je veden na indikační zařízení (Křížek a Šíma, 2015).

Přístroje pro atomovou absorpční spektrometrii se stávají z pěti základních částí: zdroj záření, atomizátor, monochromátor, detektor a indikační systém.

Nejběžnějším zdrojem monochromatického záření pro měření je výbojka s dutou katodou. Používají se katody vyrobené ze stanovovaného prvku, jelikož záření musí obsahovat rezonanční linie specifické pro chemický prvek, který má být stanovován (Křížek a Šíma, 2015).

Absorpční prostředí musí obsahovat volné atomy stanovovaného prvku v základním stavu, čehož je docíleno pomocí plamenových nebo elektrotermických atomizátorů. Plameny jsou realizovány směsí paliva (zpravidla acetylen) a oxidovadla (vzduch nebo oxid dusný). Vzorek je do plamene přiváděn prostřednictvím pneumatického zmlžovače (Křížek a Šíma, 2015).

Monochromátor izoluje příslušnou rezonanční čaru, která vychází z absorpčního prostředí. Nejčastěji jsou používány monochromátory s odraznou mřížkou, kdy je natáčením odrazné mřížky regulována vlnová délka rezonanční čary na maximální propustnost.

K detekci toku záření slouží fotonásobič s fotokatodou umístěný za výstupní štěrbinou monochromátoru. Fotonásobiče jsou vysoce senzitivní pro sledovanou oblast spektra, tj. 190-900 nm (Komínková a Mestek, 1997).

Metoda AAS patří mezi analytické metody srovnávací. Vyhodnocování výsledků provádíme pomocí metody kalibrační křivky. Při stanovování koncentrací sledovaných prvků porovnáváme naměřené hodnoty absorpce s hodnotami absorpce standardních roztoků o známé koncentraci (Komínková a Mestek, 1997).

5. Kladno

Město jako takové neoplývá bohatou historií, svého významu nabylo až v druhé polovině 19. století, kdy v návaznosti na průmyslovou revoluci ve Velké Británii a bouřlivý rozvoj těžkého průmyslu, zažilo svou „chvíli slávy“ včetně následného úpadku.

5.1. Historie hornictví

První šachty na nově otevřeném západním poli kladenské uhelné sloje byly Barbora, Václav a Jindřich, postupem času se dolování přesouvalo do východní části, kde ve 30. letech 19. století vznikly u Cvrčovic šachty Ferdinand a Ludmila (Sládečkovu vlastivědné muzeum v Kladně, 2005).

Hlavní kladenskou sloj objevil 1. listopadu 1846 horník Jan Váňa, který byl zaměstnaný u Václava Novotného. Uhlé ložisko na katastru Kročehlavy bylo přiřknuto do vlastnictví Václavu Novotnému, v roce 1847 byla započata těžba v důlní jámě Josefa – Kateřina. V té době zemřel jeden ze společníků Novotného a na scénu přichází dva noví obchodní partneři, kteří se nesmazatelně zapsali do dějin průmyslu na Kladensku. Prvním z nich byl českobudějovický loďař a velkoobchodník s dřívím Vojtěch Lanna a druhým František Klein, stavitel železnic ze Sobína na Moravě (Sládečkovu vlastivědné muzeum v Kladně, 2005, Rojková, 2013).

Do poloviny 19. století probíhala těžba primitivním způsobem – na okrajích uhelné pánve a v krátkých štolách. Změna přišla ve 40. letech s příchodem Státní kutací komise. K rychlému rozvoji hlubinné těžby pomohla výhodná poloha v blízkosti Prahy a velká poptávka po černém uhlí (Kladno minulé, 2008, Rojková, 2013).

5.2. Historie hutnictví

Z klidného malého městečka, kde převládal zemědělský způsob života, se díky nálezu zdroje železné rudy v nedalekých Nučicích zařadilo Kladno mezi města s těžkým průmyslem a zapsalo se do historie českého železářství. Pro zahájení éry hutnictví byla rovněž významná kamenouhelná těžba započatá V. Lannou, V. Novotným a bratry Kleinovými. První kladenskou hutí byla Vojtěšská huť, která byla v lednu 1855 zapálena jako první vysoká pec na koks v Čechách. V únoru roku 1858 byla uvedena do provozu trať dlouhá 22,7 km (Sládečkovo vlastivědné muzeum v Kladně, 2020).

V roce 1889 vyrostl závod zaměřený na výrobu ušlechtilé oceli – Poldina huť. Výroba byla zaměřena na materiál pro zbrojní průmysl (hlavňový materiál, ocelové střely, pancíře) a ocel pro řezné nástroje a břity (Sládečkovo vlastivědné muzeum v Kladně, 2020).

Výroba v Poldině huti udržovala krok s nejmodernějšími postupy a výrobními technologiemi, díky vysoké kvalitě práce se stala významným průmyslovým centrem.

5.3. Kladno v současné době

Kladno je statutární město ve Středočeském kraji, žije zde přibližně 69 tisíc obyvatel. Po pádu socialismu byl kladenský průmysl poškozen neúspěšnou privatizací, těžba černého uhlí ani hutnictví již nejsou aktuální. Těžba černého uhlí v kladenské oblasti trvala 227 let. Oficiálně byla ukončena dne 29.6.2002 vývozem posledního vozíku černého uhlí z dolu Schoeller v Libušíně u Kladna. K předčasnému ukončení těžby přispěla havárie – výbuch methanu dne 29. listopadu 2001. Po havárii byl důl Schoeller převeden do kategorie plynujících, což vedlo ke zpřísnění bezpečnostních pravidel a zvýšení nákladů na těžbu (BEZK, 2002).

6. Cíle práce a hypotézy

6.1. Cíle

Cílem teoretické části bylo vypracování literární rešerše týkající se obsahu rubidia, zinku, železa, mědi, stroncia a manganu v jedlých houbách za pomoci odborné literatury. Rešerše obsahuje základní informace o zkoumané problematice a slouží jako základ pro porovnání zjištěných výsledků s dalšími výzkumnými lokalitami.

Cílem praktické části bylo stanovení koncentrací vybraných kovů v houbách nasbíraných v lese rozprostírajícím se mezi bývalými doly na Kladensku. Kladno a jeho okolí bylo v minulosti zatíženo důlní těžbou černého uhlí a hutnickým průmyslem. Analýza vzorků byla provedena pomocí metody atomové absorpční spektrometrie. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a porovnány s odbornou literaturou prezentující výsledky studií z dalších výzkumných lokalit. Současně jsme provedli porovnání obsahu kovů v plodnicích s obsahem kovů v půdách, ze kterých houby vyrůstaly.

6.2. Hypotézy

Předpokládáme druhovou závislost kumulace kovů v plodnicích hub. To znamená, že koncentrace kovů v plodnicích se budou mezi jednotlivými druhy hub lišit a některé houby budou mít vyšší schopnost bioakumulace než ostatní.

Důležitým faktorem pro přechod prvků do plodnic je jejich dostupnost v půdním substrátu. S ohledem na hornickou a hutnickou aktivitu v minulosti bude obsah vybraných kovů v půdách na Kladensku vyšší než ve většině lokalit na území České republiky nezatížených uvedenými činnostmi.

7. Metodika

V laboratoři Katedry aplikované chemie Zemědělské a technologické fakulty Jihočeské univerzity jsem pod vedením Mgr. Martina Šedy, Ph. D. provedla přípravu vzorků k rozkladu, jejich rozklad a analýzu metodou atomové absorpční spektrometrie. Měření jsme prováděli celkem dvakrát – první po odběru vzorků v roce 2020, druhé po odběru vzorků v roce 2021.

7.1. Odběr vzorků

Vzorky hub a půd byly odebrány v předem vytýčené lokalitě mezi bývalými černouhelnými doly Energie a Engerth, viz. obrázek 6. Jedná se o zalesněnou oblast, která nyní slouží k volnočasové rekreaci obyvatelů přilehlých městských částí. V průběhu dvou letních období jsme nasbírali 12 vzorků jedlých hub. Nalezené houby jsme při nálezů očistili od větších nečistot a vložili do papírových sáčků označených číslem vzorku. Současně s houbami jsme odebrali i vzorky půd, ze kterých plodnice vyrůstaly. Kovovou lopatkou jsme vyhloubili minimálně 10-20 centimetrů hlubokou jamku a do mikrotenového sáčku odebrali přibližně 100 až 200 gramů zeminy. Sáček jsme nadepsali číslem odpovídajícím vzorku nalezené houby. Po úspěšném sběru následoval převoz vzorků z Kladna do Českých Budějovic. Houby jsme nakrájeli na tenké plátky kuchyňským nožem a dokonale vysušili v potravinové sušičce. Půdy jsme uložili do chladného sklepního prostoru, aby se předešlo možným mikrobiálním změnám.



Obrázek 6: Lokalita sběru vzorků (www.mapy.cz)

Tabulka 2: Označení vzorků, názvy hub česky a latinsky, souřadnice nálezu

Označení vzorku houby	Název česky	Název latinsky	Označení odpovídajícího vzorku půdy	Souřadnice místa nálezu
K20-H01	čechratka černohuňatá	<i>Tapinella atrotoomentosa</i>	K20-P01	50°15'08,24"N 14°08'15,65"E
K20-H02	bedla vysoká	<i>Macrolepiota procera</i>	K20-P02	50°14'76,61"N 14°08'12,81"E
K20-H05	hřib hnědý	<i>Xerocomus badius</i>	K20-P05	50°14'92,92"N 14°08'26,70"E
K20-H06	hřib hnědý	<i>Xerocomus badius</i>	K20-P06	50°14'91,58"N 14°08'25,52"E
K20-H07	hřib žlutomasý	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	K20-P07	50°14'85,56"N 14°08'22,89"E
K20-H08	hřib žlutomasý	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	K20-P08	50°14'84,65"N 14°08'28,39"E
K21-H09	hřib žlutomasý	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	K21-P09	50°14'95,73"N 14°08'32,62"E
K21-H10	hřib borový	<i>Boletus pinophilus</i>	K21-P10	50°15'22,76"N 14°08'26,10"E
K21-H11	muchomůrka růžovka	<i>Amanita rubescens</i>	K21-P11	50°14'92,33"N 14°08'47,16"E
K21-H12	hřib borový	<i>Boletus pinophilus</i>	K21-P12	50°15'24,09"N 14°07'93,65"E
K21-H13	hadovka smrdutá	<i>Phallus impudicus</i>	K21-P13	50°14'88,16"N 14°08'36,97"E
K21-H14	hřib žlutomasý	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	K21-P14	50°14'93,80"N 14°08'36,97"E
K21-H15	muchomůrka růžovka	<i>Amanita rubescens</i>	K21-P15	50°15'21,16"N 14°08'13,58"E

Zdroj: vlastní výzkum

7.2. Příprava vzorků k rozkladu

Sušinu hub jsme mlýnkem rozemleli na hrubý prášek a vrátili zpět do příslušných papírových sáčků. Vzorky půd jsme nejdříve manuálně zbavili velkých nečistot (jehličí, kořeny, kamínky apod.) a proseli přes síto o velikosti oka 2 mm. Prosátou zeminu jsme vložili do keramických misek označených číslem vzorku. Následovalo sušení půd v sušárně po dobu 8 hodin při teplotě 100 °C.

7.3. Rozklad vzorků

Rozkladu vzorků hub a půd předcházela navážka na analytických vahách. Od každého vzorku jsme navážili analyticky přesně kolem 0,5 g. Odvážené požadované množství jsme opatrně vsypali do očíslovaných teflonových patron tak, aby materiál neulpíval na stěnách patrony. V dalším kroku jsme do všech patron se vzorky odpipetovali 10,0 ml kyseliny dusičné o koncentraci 65 % a čistotě pro polovodiče (p.p.). Jedna z patron obsahovala pouze kyselinu dusičnou bez vzorku, tak jsme vytvořili slepý vzorek, tzv. blank.

Patrony jsme vyskládali do revolveru, který je součástí mikrovlnného mineralizátoru. Do první patrony jsme vložili sondu obsahující tepelné a tlakové čidlo pro měření a kontrolu v průběhu rozkladu vzorků. Následně jsme celý revolver vložili do mikrovlnného mineralizátoru MARS®5 od výrobce CEM Corporation, Matthews, USA. Přístroj jsme nastavili na požadovaný rozkladný program, který trval přibližně 30 minut.

Po vychladnutí rozkladného zařízení jsme vyjmuli revolver. Z patron po otevření unikaly žlutohnědé nitrózní plyny, které byly vedlejším produktem rozkladu kyseliny dusičné. Získaný extrakt vzorků jsme přemístili do baněk o objemu 50 ml a doplnili ultračistou deionizovanou vodou po rysku. Vzorky půd bylo nutné přefiltrovat z důvodu vyššího podílu anorganických látek, u kterých rozklad nemusel proběhnout dokonale.

Baňky označené čísly vzorků a doplněné na objem 50 ml jsme uzavřeli a promíchali. Připravené vzorky jsme uložili do lednice do doby analýzy.

7.4. Roztoky pro stanovení obsahu vybraných kovů

V rámci bakalářské práce jsme stanovovali obsah rubidia, zinku, železa, mědi, stroncia a manganu ve vzorcích hub a půd. Před vlastní analýzou byla proměřována kalibrační řada roztoků. Kalibrační roztoky jsme připravili z multielementárního standardu

s přidavkem kyseliny dusičné (1 ml do 100 ml roztoku standardu). Rozsah koncentrací roztoků byl od 0,05 do 20 mg·l⁻¹.

Pro stanovení obsahu rubidia a stroncia jsme pomocí pipety přidali 0,3 ml cesiového deionizátoru v podobě CsCl na 30 ml vzorku. Před stanovením železa jsme vzorky půd ředili padesátkrát.

7.5. Vlastní analýza

Analýzu vzorků jsme prováděli pomocí atomového absorpčního spektrometru iCE™3500 od výrobce Thermo Fisher Scientific, Cambridge, UK. Před spuštěním analýzy jsme zkontrolovali nastavení metody měření – databáze vzorků, použitá lampa, plamen. Před stanovením jednotlivých prvků jsme nejdříve proměřili příslušnou kalibrační řadu roztoků. Výslednou kalibrační křivku jsme zkontrolovali a následně spustili analýzu vzorků.

Stanovení rubidia a stroncia jsme prováděli v režimu emise, měřili jsme záření emitované samotnými vzorky bez použití lampy jako zdroje záření. Ostatní kovy jsme měřili v režimu absorpce, zdrojem záření byla lampa vyrobená ze stejného materiálu jako stanovovaný kov. Vlnové délky záření byly pro jednotlivé kovy následující: mangan 279,5 nm, měď 324,8 nm, zinek 213,9 nm a železo 248,3 nm. Plamen byl realizován směsí oxidovadla (vzduch) a paliva (acetylen). V některých případech jsme pro dosažení vyšších atomizačních teplot použili jako oxidovadlo oxid dusný. Ke korekci pozadí jsme použili deuterium.

Postupně jsme do jednotlivých baněk se vzorky vkládali kapiláru zmlžovače, prostřednictvím které přístroj automaticky nasál množství potřebné pro analýzu. V průběhu měření jsme mohli na synchronizovaném počítačovém monitoru sledovat výsledky analýzy jednotlivých vzorků. Získané hodnoty jsme vyexportovali do počítačového programu Microsoft Excel a provedli vyhodnocení.

8. Výsledky a diskuse

Výsledky měření obsahu vybraných kovů ve vzorcích jedlých hub a půd z lokality Kladno-Bresson zjištěné metodou atomové absorpční spektrometrie byly zpracovány do tabulek uvedených v části „Přílohy“.

8.1. Statistické zpracování výsledků

Statisticky zpracované výsledky měření obsahu jednotlivých kovů ve vzorcích hub a půd jsou obsaženy v následujících tabulkách:

Tabulka 3: Statistické zpracování výsledků pro houby

HOUBY	Rb	Zn	Fe	Cu	Sr	Mn
Počet vzorků (n)	12	12	12	12	12	12
Průměrná hodnota (x)	107,7	120,4	380,4	45,6	5,2	136,6
Směrodatná odchylka (S)	19,24	17,73	93,12	10,27	0,83	51,58
Minimální hodnota (x min)	12	4,5	99	4,5	1,6	15
1. kvartil	45,8	75,4	153	29,4	2,2	32,5
Medián	115	138,3	222,5	35,6	4,7	45
3. kvartil	136,1	167,8	517,5	50,4	7,9	173,5
Maximální hodnota (x max)	224,3	201,4	1148	150	10,1	643

Zdroj: vlastní výzkum

Tabulka 4: Statistické zpracování výsledků pro půdy

PŮDY	Rb	Zn	Fe	Cu	Sr	Mn
Počet vzorků (n)	12	12	12	12	12	12
Průměrná hodnota ($\bar{x}$)	9,72	89,61	6351	22,6	40,93	601,3
Směrodatná odchylka (S)	1,29	13,9	1489	3,83	7,6	148,8
Minimální hodnota ($x_{\min}$)	5,6	45	1247	13,8	20,7	178
1. kvartil	8,8	79,9	4586	17,4	27,8	446,5
Medián	10,2	89,7	6757	24,5	40,2	705,5
3. kvartil	12,7	113,8	12324	29,2	54,5	1143
Maximální hodnota ($x_{\max}$)	23,5	247,1	18817	65,4	110,2	2064

Zdroj: vlastní výzkum

V následujících podkapitolách jsou prezentovány a diskutovány analýzou zjištěné výsledky hodnot koncentrací jednotlivých kovů ve vzorcích hub a půd. Pro lepší orientaci je ke každé podkapitole přiložen graf. Grafické zpracování výsledků znázorňuje obsah stanovovaného kovu v houbě a jí příslušné půdě. Houby jsou v grafech řazeny podle vzrůstajícího obsahu prvku ve vzorcích.

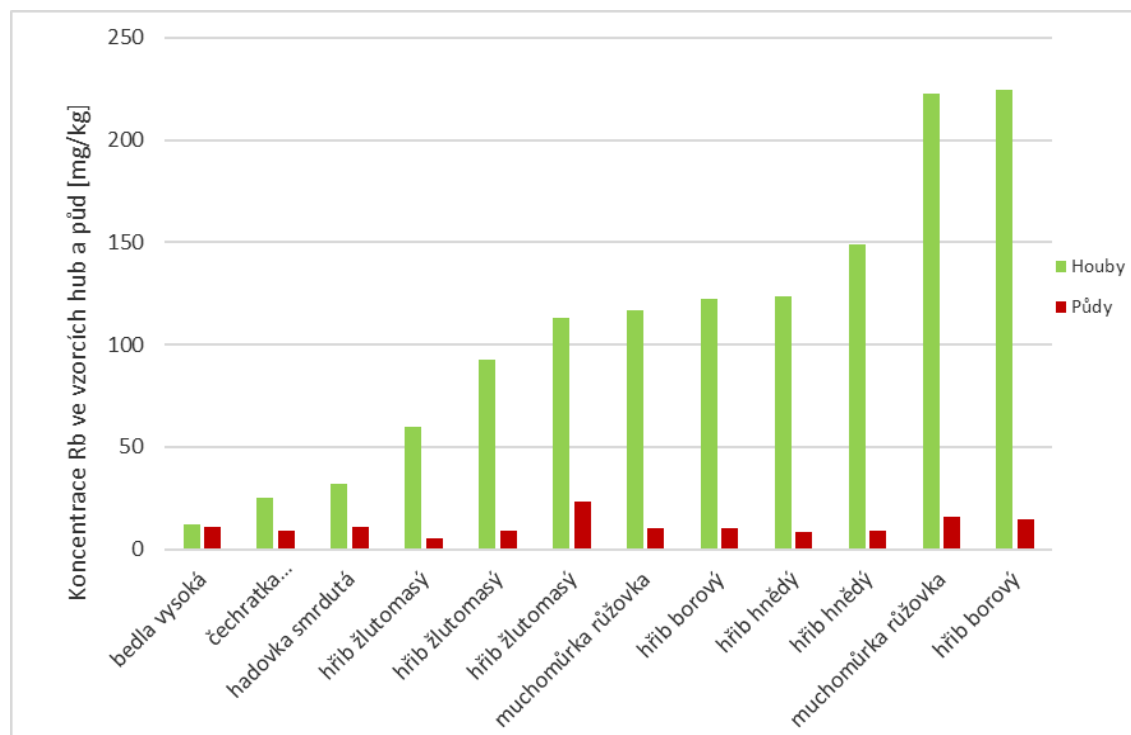
8.2. Rubidium

Nejvyšší hodnota obsahu rubidia ve vzorku hub byla zjištěna u hříbu borového ($224,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), naopak nejnižší koncentrace byla naměřena ve vzorku bedly vysoké ($12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Houby rodu *Macrolepiota* obecně vykazují nízkou míru schopnosti kumulovat rubidium, což potvrzují i další studie provedené na území České republiky (Dvořáková, 2018), Finska (Pelkonen et al., 2008) a Polska (Falandysz et al., 2001).

V porovnání se studií z Finska jsme naměřili mnohonásobně nižší hodnoty. Nejnižší koncentrace zjištěná u *Macrolepiota procera* $47,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ je čtyřnásobně vyšší než hodnota naměřená u kladenského vzorku. Medián pro koncentrace rubidia u vzorků hub z Finska byl $300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, v naší analýze $115 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Pelkonen et al. 2008). Výzkum z Polska poukazuje na vyšší schopnost kumulace rubidia hřibovitými houbami, konkrétně u hříbu pravého naměřili hodnotu $130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Falandysz et al., 2001). Extrémně vysoký obsah $3009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ rubidia stanovili Svoboda a Chrástný (2008) u

hříbu žlutomasého, vzorek byl ze studie pro velkou odchylku vyřazen Grubbsovým testem. Hříbovitě houby z Kladenska obsahovaly od 59,7 do 224,3 mg·kg⁻¹ rubidia.

Vzorky půd obsahovaly v porovnání se vzorky hub přibližně desetkrát méně rubidia. Obsah rubidia v půdách se pohyboval v rozpětí hodnot 5,6 až 23,5 mg·kg⁻¹. Houby ochotně absorbují rubidium, avšak existuje jistá druhová závislost. Brzostowski et al. prostřednictvím analýzy dvanácti vzorků čečratky podvinuté z různých lokalit na území Polska z roku 2011 poukazují na význam dostupnosti kovů v půdách. Důležitost prosycenosti půdy kovovými ionty potvrzuje Tyler (1982). Zároveň připojil tvrzení, že přechod kovu do plodnic v případě rubidia ovlivňuje pH substrátu. Regresní analýzou objevil negativní korelaci mezi obsahem kovu v houbách a kyselostí substrátu. Nižší pH půdy znamená vyšší obsah rubidia v plodnici. Detailní rozbor půd včetně stanovení hodnoty pH jsme v rámci analýzy neprováděli z důvodu vysoké variability vzorků. Nemůžeme potvrdit ani vyvrátit souvislost mezi kyselostí substrátu a obsahem kovu v houbě.



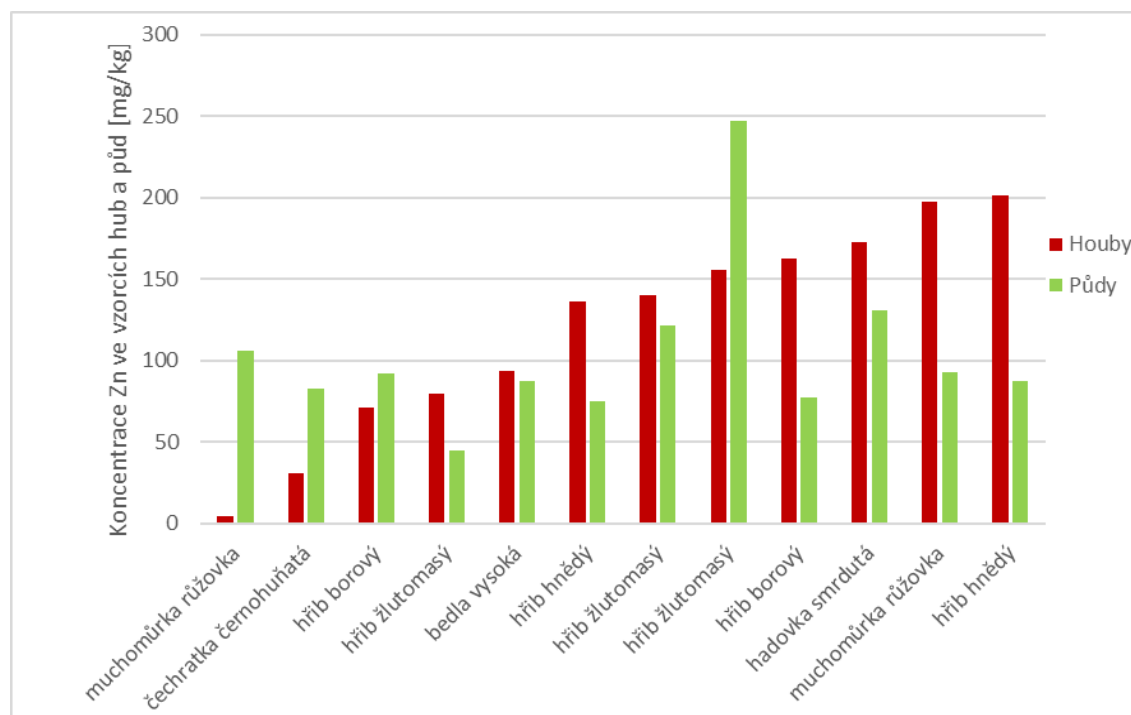
Obrázek 7: Koncentrace rubidia stanovené ve vzorcích hub a půd (vlastní výzkum)

8.3. Zinek

Koncentrace zinku ve vzorcích hub se pohybovala v rozmezí od 4,5 do 201,4 mg·kg⁻¹. Dle Kalače a Svobody se koncentrace zinku v houbách zpravidla pohybuje v rozmezí 30

až $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. V porovnání s výsledky z Příbrami, kde rozpětí obsahu zinku bylo 68,7 až $245,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ jsme naměřili hodnoty nižší. Diference mohla nastat na základě rozdílného složení vrchní vrstvy půdy v oblasti sběru. Nejnižší obsah kovu byl stanoven u vzorku muchomůrky růžovky, avšak jiný vzorek stejného druhu obsahoval $197,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ zinku. Koncentrace zinku v půdách příslušných vzorků byly srovnatelné. Rozdíl v míře přestupu z půd do plodnic mohl vzniknout na základě odlišného pH. Nižší pH vede ke zvýšení absorpce rostlinami (Poláková a Florián, 2005). Vyšší kyselost půdy mohla být příčinou snadného přestupu zinku do plodnice.

Průměrná hodnota obsahu zinku v houbách byla $120,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, půdní vzorky v průměru obsahovaly méně zinku ($89,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Dochází ke kumulaci zinku v plodnicích, především u hřibovitých hub. Naopak bedla vysoká a čechratka černohuňatá obsahovaly zinku méně než půdy, na kterých vyrůstaly. Rumunská studie naměřila u čechratky černohuňaté koncentraci $30,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Elekes et al., 2010), my jsme stanovili množství $30,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Výsledky měření jsou téměř totožné. Naše tvrzení potvrzuje studie provedená v časovém horizontu let 2016-2018, kdy byl monitorován obsah 18 prvků u pěti druhů jedlých hub. Vyšší hodnoty biokoncentračního faktoru byly zjištěny u hříbu žlutomasého a muchomůrky růžovky (Šíma et al., 2019).

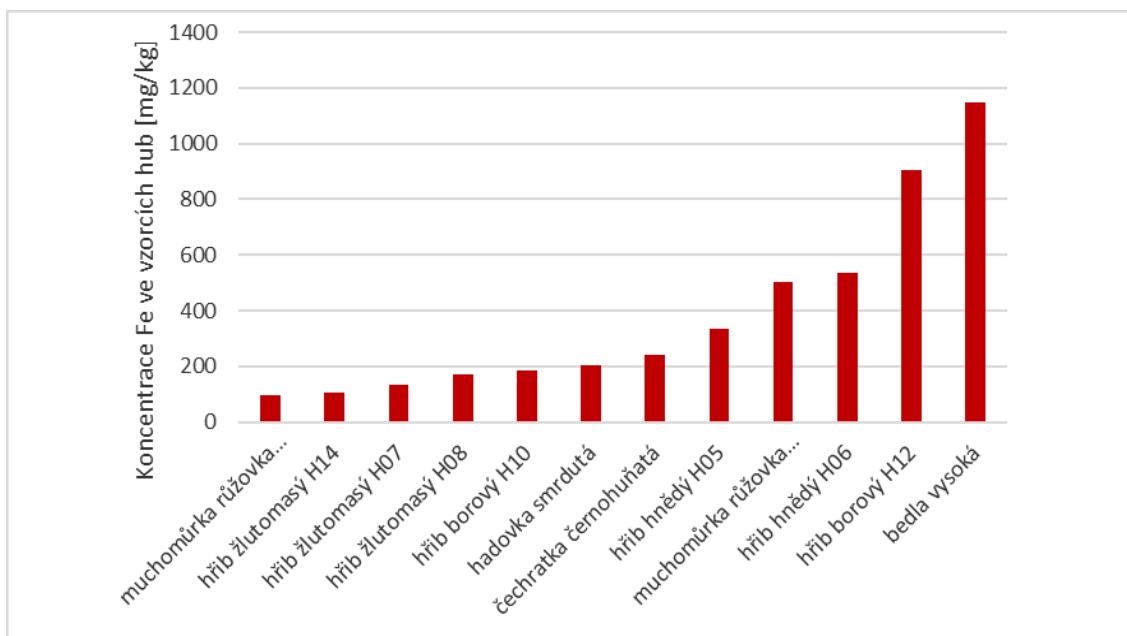


Obrázek 8: Koncentrace zinku stanovené ve vzorcích hub a půd (vlastní výzkum)

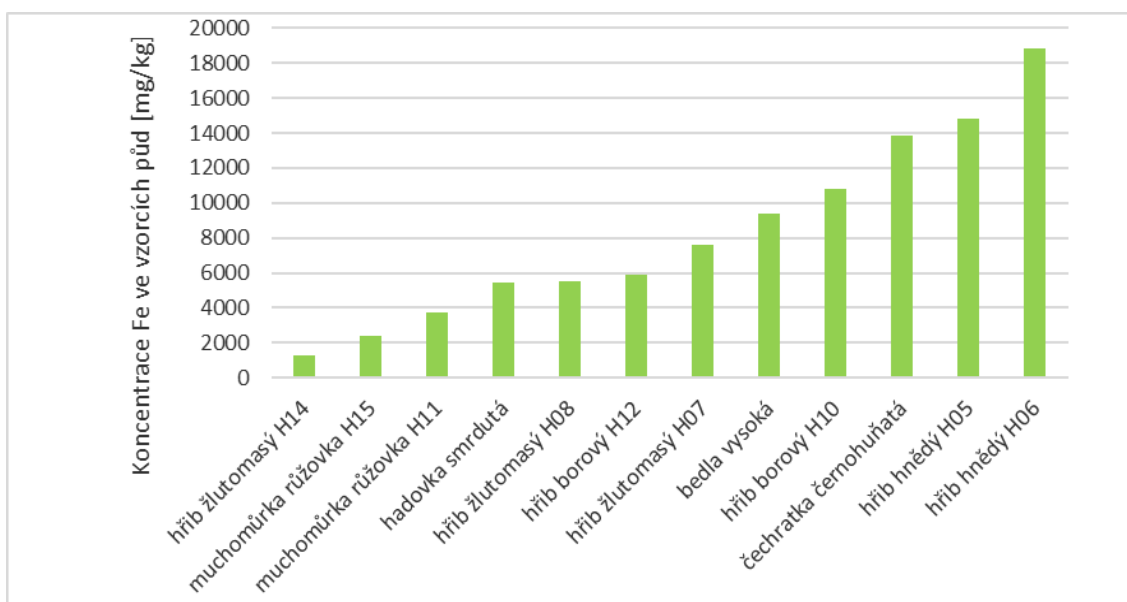
8.4. Železo

Ve vzorcích hub jsme stanovili průměrnou hodnotu obsahu železa $380,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Rozpětí hodnot koncentrace železa v plodnicích hub bylo stanoveno od $99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ u muchomůrky růžovky do $1148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ u bedly vysoké. Zjištěné hodnoty jsou srovnatelné se studiemi z Turecka ($187\text{--}985 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). V porovnání s našimi výsledky byl obsah železa v plodnicích sebraných v čínské provincii Yunnan ($2,0\text{--}826,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) nižší. Studie z území Číny vykazuje nejnižší naměřenou hodnotu u hříbu smrkového. Výzkum v oblasti Kladna prokázal hodnoty nižší než 1. kvartil ($153 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) u vzorků hříbu žlutomasého a jednoho ze dvou vzorků muchomůrky růžovky. (Tuzen et al., 2005, Liu et al., 2015). Výsledky našeho měření jsou v rozporu s tvrzením Kalače a Svobody (2000), že běžný obsah železa v houbách v rozmezí $30\text{--}150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Hodnoty naměřené na Kladensku jsou mnohonásobně vyšší. Velmi pravděpodobně tomu tak je z důvodu vysokého obsahu železa v půdách. Průměrná koncentrace železa ve vzorcích půd byla $6351 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, což může být důsledkem hutnických aktivit.

Železo je čtvrtý nejrozšířenější prvek v zemské kůře. Vyskytuje se především vázané ve formě oxidů, sulfidů, fosfátů a silikátů. Navzdory nadbytku železa v půdách obsahovaly plodnice hub železa mnohonásobně menší množství. Z toho důvodu byly v rámci statistické zpracování výsledků vypracovány dva grafy. Železo s kyslíkem vytváří oxidy, které jsou nerozpustné, tudíž i biologicky nedostupné pro rostliny. Dostupnost železa může být navýšena lepším provzdušněním půdy nebo působením mikroorganismů, které redukuji nerozpustné trojmocné železo na biologicky dostupné dvojmocné železo (Abbaspour et al., 2014, Richter, 2007).



Obrázek 9: Koncentrace železa stanovené ve vzorcích hub (vlastní výzkum)



Obrázek 10: Koncentrace železa stanovené ve vzorcích půd (vlastní výzkum)

8.5. Měď

Kalač a Svoboda (2000) uvádí běžné množství mědi v houbách od 10 do 70 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, u kumulujících druhů 100 až 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Měřením jsme zjistili hodnoty v rozpětí od 4,5 mg/kg u čechratky černohuňaté do 150,0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ u bedly vysoké. Průměrná hodnota obsahu mědi v houbách byla 45,6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Naše výsledky s výjimkou bedly vysoké odpovídají výsledkům Kalače a Svobody ve studii z roku 2000. Námi zjištěné množství mědi v houbách je zdravotně nezávadné, nepřekračuje limit 250 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Mírně

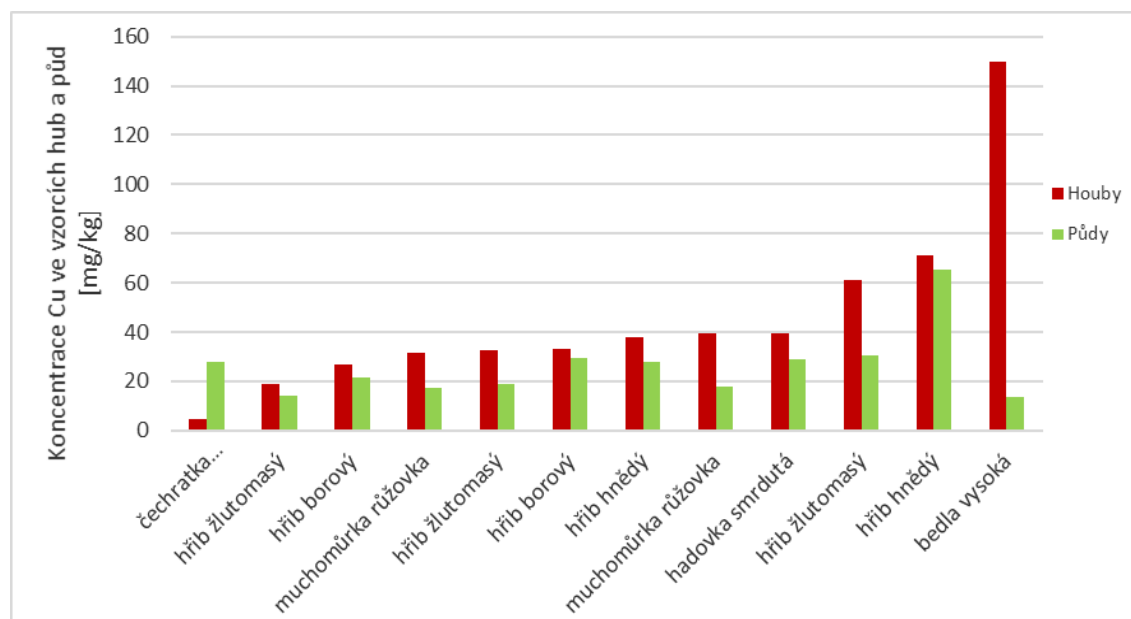
nadlimitní obsah mědi ($255 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) stanovila u bedly vysoké z oblasti Příbrami Dvořáková v roce 2018. Biologická dostupnost pro člověka je malá, ke vstřebávání mědi z plodnic dochází především v tenkém střevě. Kyseliny podporující absorpci mědi byly izolovány z trsnatce lupenitého, chorošovitá houba vyrůstající na dubových kmenech (Uzun et al., 2011).

Hodnoty zjištěné u hříbu hnědého odpovídají výsledkům měření z oblasti kovohutí Krompachy a Rudňany (Slovensko), kde průměrná hodnota obsahu mědi v plodnicích byla $66,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Kalač et al., 1996). Hříby žlutomasé sebrané na území Slovenska obsahovaly $93,5\text{--}195 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ mědi, naproti tomu koncentrace v plodnicích z Kladenska byla od $18,7$ do $61,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Příčinou rozdílu ve výsledcích je pravděpodobně lokalita sběru vzorků na Slovensku, kdy houby byly sebrány ve vzdálenosti do 6 km od kovohutí. Hodnoty obsahu mědi v půdách z okolí slovenských kovohutí nejsou ve studii uvedeny, ale s ohledem na hutnické aktivity lze předpokládat vysokou dostupnost mědi v půdách. Mnohonásobně vyšší koncentraci mědi naměřili u dvou vzorků hříbu žlutomasého Svoboda a Chrástný v okolí Moravského Krumlova, konkrétně hodnoty 451 a $502 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, tyto hodnoty autoři označili jako extrémní na základě Grubbsova testu. U dalších vzorků hříbu žlutomasého byly koncentrace mědi v rozpětí hodnot od $30,8$ do $69,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Pozoruhodné hodnoty jsme získali při analýze vzorku bedly vysoké, kdy jsme stanovili nejvyšší obsah mědi $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny, avšak bedle příslušející vzorek půdy obsahoval kovu nejméně – $13,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Plodnice vykazovala více než desetinásobnou koncentraci oproti půdě, což ukazuje na značnou schopnost absorpce a kumulace mědi. V porovnání se studií Kalače et al. z roku 1996 ($236,0\text{--}363,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) jsme u bedly vysoké stanovili obsah mědi výrazně nižší. Našemu měření bližší hodnoty od 188 do $269 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ byly stanoveny u šesti vzorků bedly vysoké sebraných v okolí Moravského Krumlova (Svoboda a Chrástný, 2008).

Naproti tomu čechratka černohuňatá nepřijímá měď do plodnic skoro vůbec navzdory její dobré dostupnosti v substrátu. U čechratky jsme stanovili nejnižší hodnotu obsahu mědi ($4,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), avšak půda vykazovala koncentraci $27,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Rumunská studie u čechratky černohuňaté stanovila přibližně 2,5krát vyšší obsah mědi v plodnici oproti půdě. Měření si vzájemně odporují (Elekes et al., 2010). Z důvodu nesouladu ve výsledcích by bylo vhodné provést analýzu většího množství vzorků této houby.

Svoboda a Chrastný v rámci výzkumu zjistili, že pýchavka obecná a pýchavka obrovská patří mezi houby s vyšší mírou schopnosti kumulovat měď. U vzorků pýchavek byla naměřena široká škála hodnot od 41,3 do 310 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Variabilita výsledků nebyla autory diskutována (Svoboda a Chrastný, 2008).



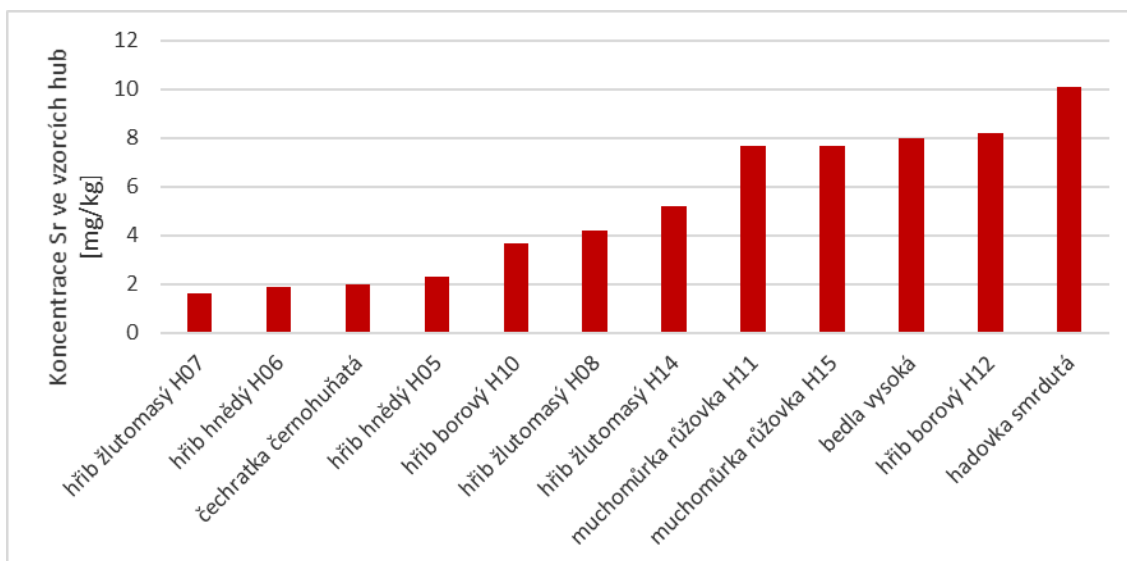
Obrázek 11: Koncentrace mědi stanovené ve vzorcích hub a půd (vlastní výzkum)

8.6. Stroncium

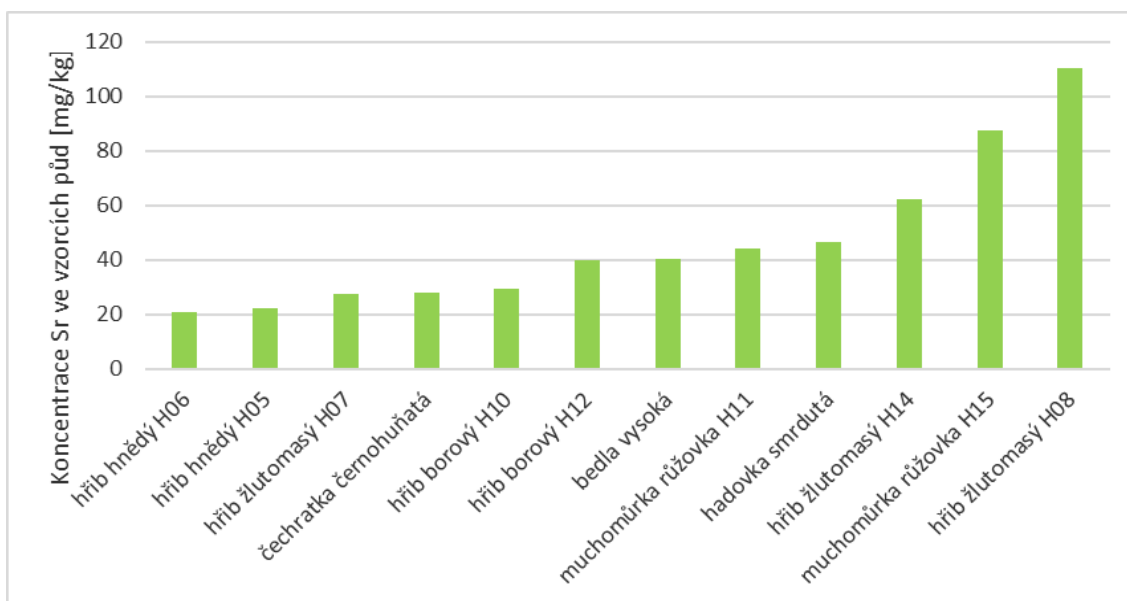
Ve vzorcích hub jsme stanovili hodnoty koncentrací stroncia v rozmezí od 1,6 do 10, 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace byla naměřena ve vzorku hadovky smrduté. V rámci analýzy jsme neprováděli selektivní stanovení radioizotopů. S ohledem na absenci potenciálního zdroje radionuklidů předpokládáme, že v plodnicích se s nejvyšší pravděpodobností nachází stabilní izotopy stroncia.

Na území České republiky se naměřený obsah stroncia v houbách pohyboval na úrovni hodnot 2,2 až 22 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Příbram). Nejvyšší hodnota byla zjištěna u muchomůrky růžovky. Průměrná hodnota obsahu byla 4,44 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Výsledky z oblasti Příbrami jsou srovnatelné s našimi. Vzorky hub z Kladenska obsahovaly v průměru 5,22 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ stroncia. Kalač a Svoboda (2000) uvádí obvyklou koncentraci stroncia v houbách 5-10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ bez příkladu akumulujícího druhu houby. Naše výsledky se shodují s uvedenými studiemi. Na základě malého rozpětí hodnot nelze jednoznačně potvrdit či vyvrátit druhovou podmíněnost kumulace stroncia u hub.

Půdy obsahovaly průměrně $40,93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ stroncia, což je desetkrát více než průměrný obsah v houbách. Z toho důvodu jsou pro lepší prezentaci výsledků vytvořeny dva grafy. Na základě analýzy lze usuzovat na malou absorpci stroncia houbami.



Obrázek 12: Koncentrace stroncia stanovené ve vzorcích hub (vlastní výzkum)



Obrázek 13: Koncentrace stroncia stanovené ve vzorcích půd (vlastní výzkum)

8.7. Mangan

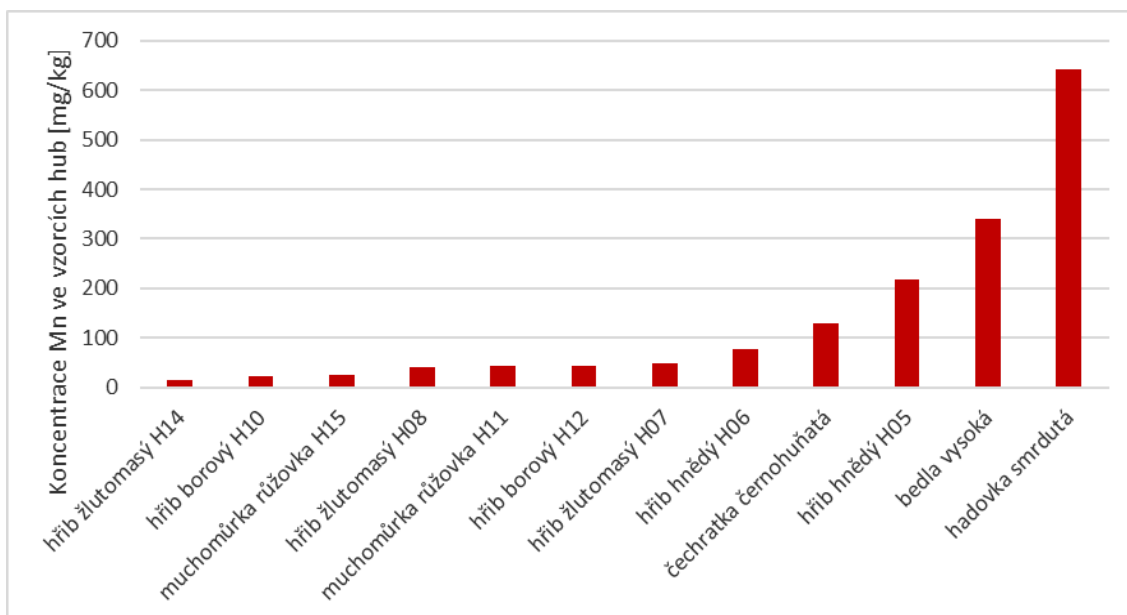
Při stanovení obsahu manganu ve vzorcích jedlých hub jsme získali široké rozpětí hodnot od 21 do $643 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nejnížší hodnota byla zjištěna u hříbu žlutomasého, nejvíce manganu obsahoval vzorek hadovky smrduté. I v rámci turecké studie byl nejvyšší obsah manganu zjištěn u hadovky smrduté, ovšem v porovnání s naším

výsledkem se jednalo o hodnotu mnohonásobně nižší - $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Uzun et al., 2011). Polská studie stanovila obsah manganu u hadovky smrduté $618,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny (Miroslawski et al., 2005). Naše výsledky jsou s Polskem srovnatelné. Všechny tři analýzy potvrzují významnou schopnost hadovky smrduté kumulovat mangan v plodnicích.

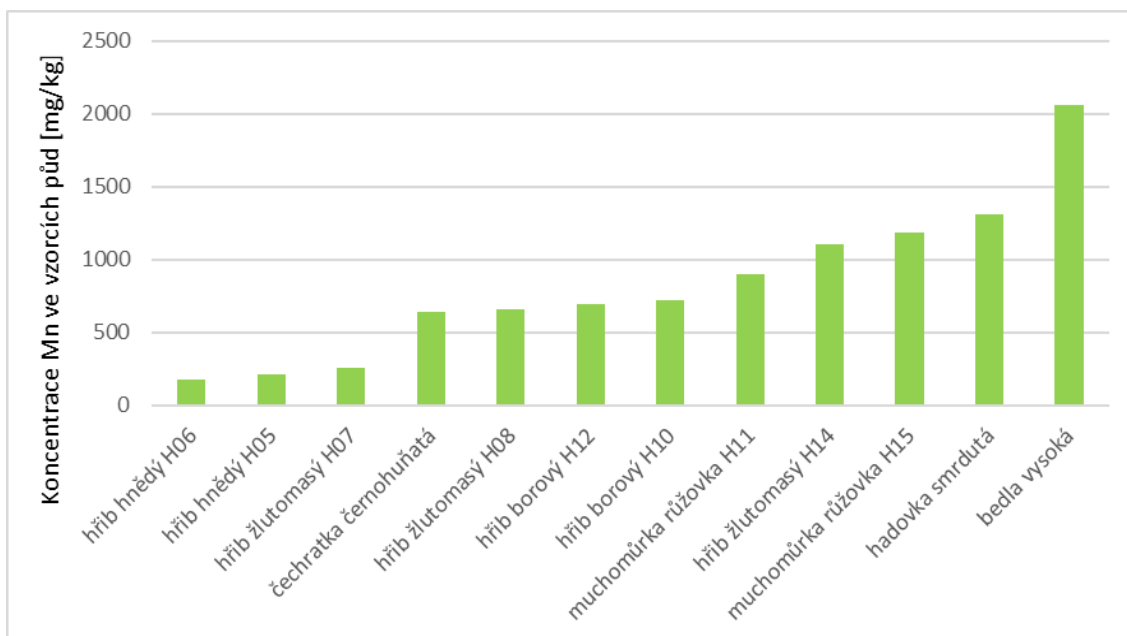
Z výsledků můžeme vyvodit tvrzení, že hříbovité houby kumulují mangan velmi málo. Obsah manganu ve vzorcích muchomůrky růžovky byl 24 a $42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Muchomůrka růžovka sebraná na území Příbrami obsahovala $69,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ manganu, což byla v rámci měření nejvyšší zjištěná hodnota ve vzorku hub (Dvořáková, 2020).

Podle Kalače a Svobody (2000) je obvyklý obsah manganu v houbách $5\text{-}60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny. Hypotézu obvyklého obsahu manganu v houbách potvrdily v rámci svých bakalářských prací Dvořáková (2020) a Horáková (2022). V tureckém městě Tokat se obsah manganu v houbách pohyboval v rozmezí 16 až $64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Turkekul et al., 2004). Vyšší koncentrace naměřili v čínské provincii Yunnan, kde maximální hodnota byla $110,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Předchozí studie provedené na území Číny uváděly koncentraci manganu v houbách $13,5\text{-}113 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Analýzou hub z Kladenska jsme zjistili hodnoty mnohonásobně vyšší. Rozporujeme i tvrzení autorů, že obsah manganu v houbách a substrátu je srovnatelný. Půdy v našem případě obsahovaly přibližně dvakrát více manganu než plodnice hub.

Minimální koncentrace manganu ve vzorku půdy byla $178 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, maximální koncentrace dosáhla hodnoty $2064 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Koncentrace manganu v půdách je v porovnání s výsledky z území Příbrami v průměru o necelých $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ nižší. Půdy na Příbramsku jsou významně kontaminované těžkými kovy v důsledku nešetrného provozu kovohutí v minulosti. Výsledky našeho měření jsou srovnatelné s hodnotami naměřenými u dálnice D1 (Dvořáková, 2020, Horáková, 2022). Z toho můžeme vyvodit, že hutnické aktivity na Kladensku byly provozovány šetrněji než v Příbrami.



Obrázek 14: Koncentrace manganu stanovené ve vzorcích hub (vlastní výzkum)



Obrázek 15: Koncentrace manganu stanovené ve vzorcích půd (vlastní výzkum)

9. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo stanovení šesti vybraných kovů ve vzorcích sedmi druhů jedlých hub nasbíraných na Kladensku.

V teoretické části jsem uvedla základní informace o studovaném tématu, tzn. o houbách, půdách, analyzovaných kovech, použité metodě a lokalitě zvolené pro odběr vzorků. Podkapitoly věnované stanovovaným kovům obsahují základní charakteristiky včetně významu pro člověka, výskytu v půdách a houbách.

Pro účely praktické části jsem nasbírala celkem 12 vzorků jedlých hub v určené lokalitě. Následně jsem vzorky připravila k analýze – sušení, mletí a mikrovlnný rozklad. Metodou atomové absorpční spektrometrie jsem stanovila obsah vybraných kovů ve vzorcích hub a půd. Výsledky měření jsem statisticky zpracovala do formy tabulek a porovnála obsah jednotlivých kovů v houbách a půdách. Cíle práce byly splněny.

Zjistili jsme, že některé druhy hub mají vyšší schopnost bioakumulace stanovovaných kovů. Bedla vysoká obsahovala největší množství železa a mědi, naopak rubidium a zinek v plodnicích váže jen velmi málo. Obecně můžeme tvrdit, že hřibovité houby kumulují rubidium a zinek. Naproti tomu stroncium a mangan hřibovité houby ve svých plodnicích nekumulují, u obou zmíněných prvků byly nejnižší hodnoty stanoveny u hříbu žlutomasého. Naše výsledky potvrdily i jiné studie uvedené v bakalářské práci. Pozoruhodné výsledky byly zjištěny u hadovky smrduté, která obsahovala ze všech vzorků hub nejvíce stroncia a manganu.

Předpokládali jsme zvýšený obsah kovů ve vzorcích půd. Skutečně jsme pozorovali vyšší množství manganu v odebraných půdách na Kladensku, je tomu tak pravděpodobně v důsledku důlní těžby a hutnických aktivit, které zde v minulosti byly provozovány.

Seznam literatury

1. ABBASPOUR N., HURRELL R., KELISHADI R., 2014. Review on iron and it's importance for human health [online]. *Journal of Research in Medical Sciences* [cit. 2022-03-03]. 19(2), 164–174. ISSN 1735-7136. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3999603/>
2. ANKE, M., ANGELOW, L., 1995. Rubidium in the food chain [online]. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* [cit. 2022-03-03], 352, 236-239. doi: 10.1007/BF00322334. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00322334>
3. BOROVIČKA, J., 2007. Houby a stopové prvky. *Vesmír: přírodovědecký časopis Akademie věd České republiky*. 86 (8), 508-11. ISSN 0042-4544.
4. BOROVIČKA, J., JELÍNEK, E., KOTRBA, P., RANDA, Z., 2007. Hyperaccumulation of silver by *Amanita strobiliformis* and related species of the section *Lepidella*. *Mycological Research*. 111 (11). 1339-44. doi: 10.1016/j.mycres.2007.08.015.
5. BRZOSTOWSKI, A., FALANDYSZ, J., JARZYŃSKA, G., ZHANG, D., 2011. Bioconcentration potential of metallic elements by Poison Pax (*Paxillus involutus*) mushroom. *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 46 (4), 378-93. doi: 10.1080/10934529.2011.542387.
6. CANAVESE, C., DECOSTANZI, E., BERGAMO, D., SABBIONI, E., STRATTA, P., 2008. Rubidium, Salami and Depression [online]. *Blood Purif* [cit. 2022-03-03], 26, 311-314. doi: 10.1159/000129657. Dostupné z: <https://www.karger.com/Article/Pdf/129657>.
7. DIXIT, Y., CASADO-GAVALDA, M. P., CAMA-MONCUNILL, R., MARKIEWICZ-KESZYCKA, M., CAMA-MONCUNILL, X., CULLEN, P. J., SULLIVAN, C., 2017. Quantification of rubidium as a trace element in beef using laser induced breakdown spectroscopy [online]. *Meat science* [cit. 2022-03-03], 130, 47-49. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.03.013. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174016306519#bb0020>.
8. *Doly kladenského revíru*, 2008. [online]. Kladno minulé. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <http://www.kladnominule.cz/pohlednice/doly-kladenskeho-reviru>.

9. DVOŘÁKOVÁ, H., 2020. *Stanovení vybraných kovů v jedlých houbách na Příbramsku*. České Budějovice. Bakalářská práce. ZSF JU.
10. ELEKES, C. C., BUSUIOC, G., IONITA, G., 2010). The bioaccumulation of some heavy metals in the fruiting body of wild growing mushrooms. [online]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* [cit. 2022-04-12]. 38 (2), 147-151. ISSN 1842-4309. Dostupné z: <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/4736/4526>
11. FALANDYSZ, J., SZYMCZYK, K., ICHIHASHI, H., BIELAWSKI, L., GUCIA, M., FRANKOWSKA, A., YAMASAKI, S.-I. 2001. ICP/MS and ICP/AES elemental analysis (38 elements) of edible wild mushrooms growing in Poland. *Food Addit Contam*, 18(6). 503–513. ISSN 1464-5122.
12. FERNANDES, Â., BARROS, L., BARREIRA, J. C., ANTONIO, A. L., OLIVEIRA, M. B. P., MARTINS, A., FERREIRA, I. C., 2013. Effects of different processing technologies on chemical and antioxidant parameters of *Macrolepiota procera* wild mushroom [online]. *LWT-Food Science and Technology* [cit. 2022-03-03], 54(2), 493-499. doi: 10.1016/j.lwt.2013.06.027. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381300248X>
13. FLEISCHER, M., 1953. *Recent Estimates of the Abundances of the Elements in the Earth's Crust*. Vol. 285. Washington DC: U.S. Geological Survey. 14 p. doi: 10.3133/cir285.
14. GARCÍA, R.; BÁEZ, A. P., 2012. *Atomic Absorption Spectrometry (AAS), Atomic Absorption Spectroscopy*. Rijeka: InTech. pp 1-13. ISBN: 978-953-307-817-5. doi: 10.25925: 1-13.
15. GEORGESCU, I., 2015. Rubidium round-the-clock [online]. *Nature Chemistry* [cit. 2022-03-03], 1034 (7). doi: 10.1038/nchem.2407. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/nchem.2407>
16. HAGARA, L., ANTONÍN, V., BAIER, J. 2004. *Houby*. 6. vydání. Praha: Aventinum. 412 s. ISBN 80-7151-236-2.
17. HAGARA, L., ANTONÍN, V., BAIER, J., 2006. *Velký atlas hub*. Praha: Ottovo nakladatelství. 432 s. ISBN 80-7360-334-9.

18. HALKO R., HUTTA M., 2007. Extrakcia podporená mikrovlnovým žiarením a jej využitie pri analýze pevných vzoriek [online]. *Chemické listy* [cit. 2021-9-28]. 101, 649-656. ISSN 1213-7103. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1757/1757>.
19. HELENO, S. A., BARROS, L., MARTINS, A., MORALES, P., FERNANDEZ-RUIZ, V., GLAMOCLIA, J., FERREIRA, I. C., 2015. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms [online]. *LWT-Food Science and Technology* [cit. 2022-03-03], 63 (2), 799-806. doi: 10.1016/j.lwt.2015.04.028. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643815002960>
20. HILLEL, D., 1971. *Soil and Water: Physical Principles and Processes*. Londýn: Academic Press. 304 s. ISBN 978-0-32-315670-7.
21. HOLEC, J., 2001. Ekologické skupiny a stratégie veľkých hub. *ŽIVA* 3/2001, 107-109. ISSN 0044-4812.
22. HORÁKOVÁ, T., 2022. *Stanovení vybraných kovů v houbách a v půdách v těsné blízkosti dálnice D1*. České Budějovice. Bakalářská práce. ZSF JU.
23. HROUDA, P., 2017. *Ekologie a význam hub* [online]. Brno: Ústav botaniky a zoologie, PF MUNI. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/botany/mycology/ekolhub.htm>
24. JEDLIČKOVÁ, L., 2017. *Tvorba informačního a výukového materiálu s tématem "Parazitické houby"*. Olomouc. Diplomová práce. PF UPOL.
25. KALAC, P., NIZNANSKA, M., BEVILAQUA, D., STASKOVA, I., 1996. Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter [online]. *Science of the Total Environment* [cit. 2022-03-03], 177(1-3), 251-258. doi: 10.1016/0048-9697(95)04850-2. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048969795048502>
26. KALAČ, P., 2019. *Mineral Composition and Radioactivity of Edible Mushrooms*. Academic Press. 369 s. ISBN 978-0-12-817565-1.
27. KALAČ, P., SVOBODA, L., 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food chemistry*. 69 (3), 273-281. doi: 10.1016/S0308-8146(99)00264-2.

28. *Kladno – město železa a oceli*, 2020. [online]. Sládečkovovo vlastivědné muzeum v Kladně. [cit.2021-03-27]. Dostupné z: http://www.omk.cz/dyn/doc/historie_huti?print=1.
29. KOMÍNKOVÁ, J., MESTEK, O., 1997. *Atomová absorpční spektrometrie* [online]. Praha: VŠCHT Praha [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/AAS.pdf>.
30. KOPLÍK, R., ČURDOVÁ, E., MESTEK, O., 1997. Speciace stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. *Chemické listy*. 91 (1), 38-47. ISSN 1213-7103.
31. KOSLA, T.; SKIBNIEWSKA, E.; DEBSKI, B.; URBANSKA-SLOMKA, G., 2002. Rubidium in the trophic chain soil-plants-animals [online]. *Trace Elements and Electrolytes* [cit. 2022-03-03], 19 (4), 171-176. ISSN 0946-2104. Dostupné z: https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/1783664
32. KOZÁK, J., NĚMEČEK, J., MATULA, S., VALL, M., BORŮVKA, L., 2008. *Pedologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 132 s. ISBN 978-80-213-0907-4.
33. KŘÍŽEK M., ŠÍMA J., 2015. *Analytická chemie*. 1. vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 214 s. ISBN 978-80-7394-486-5.
34. KUŁDO, E., JARZYŃSKA, G., GUCIA, M., FALANDYSZ, J., 2014. Mineral constituents of edible parasol mushroom *Macrolepiota procera* (Scop. ex Fr.) Sing and soils beneath its fruiting bodies collected from a rural forest area. *Chemical papers*, 68(4), 484-492. doi: 10.2478/s11696-013-0477-7.
35. KUTHAN, J., 1979. Die Auswertung des Bleigehaltes im Bronze-Röhrling-*Boletus aereus* Bull. ex Fr. entlang einer der Verkehrsadern in Bulgarien. *Česká mykologie*. 33, 58–59. ISSN 0009-0476.

36. LIU B., HUANG Q., CAI H., GUO X., WANG T., GUI M., 2015. Study of heavy metal concentrations in wild edible mushrooms in Yunnan Province, China. *Food Chemistry*, 188, 294–300. doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.010.
Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0308814615007293?token=71112DF65823C865CD111F4EFA5BECAC3C61C63597A80F1A3BA07BE396D3771C988C039845E1B57051AEB913DE2A9383&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220412141159>
37. LOUČKA, T., 2014. *Chemie životního prostředí*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí. 164 s. ISBN 978-80-7414-751-7.
38. MADER P., ČURDOVÁ E., 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků [online]. *Chemické listy* [cit. 2021-9-28]. 91, 227–236. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/1997_04_227-236.pdf
39. MIROŚLAWSKI, J., KOWOL, J., KWAPULIŃSKI, J., LINKARCZYK-PASZEK, G., PAUKSZTO, A., ROCHEL, R., ŁUCKOŚ, J., 2005. Zawartość manganu i żelaza w różnych gatunkach grzybów na terenie południowej Polski [online]. *Problemy Ekologii* [cit. 2021-9-28]. 9 (6), 309-313. ISSN 1427-3381. Dostupné z: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-0012-0043>
40. MLECZEK, M., SIWULSKI, M., MIKOLAJCZAK, P., GASECKI, M., RISSMANN, I., GOLINSKI, P., SOBIERALSKI, K., 2015. Differences in Cu content in selected mushroom species growing in the same unpolluted areas in Poland. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 50 (9), 659-666. doi: 10.1080/03601234.2015.1038959.
41. *Na Kladensku skončila těžba uhlí*, 2002. [online]. BEZK. [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/na-kladensku-skoncila-tezba-uhli>
42. NIELSEN, S. P., 2004. The biological role of strontium. *Bone*. 35(3), 583-588. doi: 10.1016/j.bone.2004.04.026.

43. PECINOVSKÝ, J., 2016. *Historie Kladna*. [online]. Město Kladno. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://mestokladno.cz/o-kladne/d-1401489/p1=2100050743>.
44. PELKONEN, R., ALFTHAN, G., JÄRVINEN, O., 2008. Element concentrations in wild edible mushrooms in Finland. *The Finnish Environment*. 25. 18-24. ISSN 1796-1637.
45. POHRANCOVÁ, N., 2014. *Triáda železa, chrom, mangan a jejich sloučeniny ve výuce chemie na SŠ*. Plzeň. Diplomová práce. ZČU Plzeň.
46. POLÁKOVÁ, Š., FLORIÁN, M., 2006. Balance and forms of zinc in soil and its uptake by plants. *Sborník mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně*. Brno. 54 (1), 59–70. ISSN 1211-8516.
47. RICHTER, R., 2007. *Multimediální učební texty z výživy rostlin* [online]. Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin MZLU v Brně. [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_fe.htm#top
48. RODRÍGUEZ-EUGENIO, N., Mc LAUGHLIN, M. and PENNOCK, D., 2018. *Soil Pollution: a hidden reality*. Řím: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 142 s. ISBN 978-92-5-130505-8 .
49. ROJKOVÁ, V., 2013. *Průmyslové dědictví Kladna*. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Katedra ruských a východoevropských studií.
50. SARIKURKCU, C., TEPE, B., KOCAK, M. S., UREN, M. C., 2015. Metal concentration and antioxidant activity of edible mushrooms from Turkey. *Food Chemistry*. 175, 549-555. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.019.
51. SPOSITO, G., 2008. *The Chemistry of Soils*. 2. vydání. Oxford: Oxford University Press. 321 s. ISBN 978-0-19-531369-7.
52. STREBLOVÁ, E., 2013. *Souhrnné texty z chemie: pro přípravu k přijímacím zkouškám (přírodovědné obory, lékařství)*. 3. upravené vydání. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-2135-7.

53. SVOBODA, L., CHRASTNÝ, V., 2008. Levels of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area. *Food Additives and Contaminants*, 25(1), 51-58. ISSN 1944-0057.
54. ŠÍMA, J., KOBERA, M., ŠEDA, M., ROKOS, L., VONDRUŠKA, J., KREJSA, J., SVOBODA, L., 2019. The three-year monitoring of 18 elements in five edible mushroom species collected from an old orchard, *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 55 (4), 319-328. doi: 10.1080/03601234.2019.1696618
55. TOMÁŠEK, M., 1995. *Atlas půd České republiky*. Praha: Český geologický ústav. 36 s. ISBN 80-7075-198-3.
56. Toxicological profile for strontium, 2004. [online]. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.[cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159.pdf>.
57. TURKEKUL, I., ELMASTAS, M., TÜZEN, M., 2004. Determination of iron, copper, manganese, zinc, lead, and cadmium in mushroom samples from Tokat, Turkey. [online]. *Food Chemistry* [cit. 2022-04-05], 84(3), 389-392. doi: 10.1016/S0308-8146(03)00245-0. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814603002450?casa_token=OPiSPnfEXSQAaaaa:9Cq4XU2p8CtRHjP4-LN2Eoh-TG0J4SumvVflbcgpxgEA5_ngwmL6ZOKfomnU5tD6rnVuvDrFpQ
58. TUZEN, M., SESLI, E., SOYLAK, M., 2007. Trace element levels of mushroom species from East Black Sea region of Turkey. *Food Control*, 18 (7), 806-810. ISSN 0956-7135.
59. TYLER, G., 1982. Accumulation and exclusion of metals in *Collybia Pleurotus* and *Amanita rubescens* [online]. *Transactions of the British Mycological Society* [cit. 2022-03-21], 79(2), 239-245. doi: 10.1016/S0007-1536(82)80109-5. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007153682801095>.

60. UZUN, Y., GENCCELEP, H., KAYA, A., AKCAY, M. E., 2011. The Mineral Contents of Some Wild Edible Mushrooms [online]. *Ekoloji Dergisi* [cit. 2022-04-05], 20 (80), 6-12. doi: 10.5053/ekoloji.2011.802. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Mustafa-Emre-Akcay/publication/278013183_The_Mineral_Contents_of_Some_Wild_Edible_Mushrooms/links/587dce7208aed3826af16f65/The-Mineral-Contents-of-Some-Wild-Edible-Mushrooms.pdf.
61. VRBA, V., HULEŠ, L., 2006. *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda* [online]. Biom.cz [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.
62. YOKOTA M. E., FRISON, P. S., MARCANTE, R. C., JORGE, L. F., VALLE, J.S., DRAGUNSKI, D. C., COLAUTO, N. B., LINDE, G.A., 2016. Iron translocation in *Pleurotus ostreatus* basidiocarps: Production, bioavailability and antioxidant activity. *Molecular Research*. 15 (1), 10 pp. doi: 10.4238/gmr.15017888.
63. *Z historie hornictví na Kladensku*, 2005. [online]. Sládečkovovo vlastivědné muzeum v Kladně. [cit.2021-02-13]. Dostupné z: http://www.omk.cz/dyn/doc/historie_hornictvi?print=1.
64. WEBSTER, J., WEBER, R., 2007. *Introduction to fungi*. 3. issue. Cambridge: Cambridge university press. 841 p. ISBN 9780511276026.

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: Obsah jednotlivých kovů ve vzorcích hub

PŘÍLOHA 2: Obsah jednotlivých kovů ve vzorcích půd

Příloha 1: Obsah jednotlivých kovů ve vzorcích hub

Označení vzorku	Obsah vybraných kovů ve vzorcích hub (mg/kg)					
	Rb	Zn	Fe	Cu	Sr	Mn
K20-H01	25,0	30,4	240	4,5	2,0	130
K20-H02	12,0	93,5	1148	150	8,0	339
K20-H05	123,4	136,1	337	37,8	2,3	217
K20-H06	148,8	201,4	534	71,2	1,9	77
K20-H07	59,7	79,6	136	18,7	1,6	47
K21-H08	23,5	247,1	170	30,5	4,2	41
K21-H10	10,2	77,0	185	29,5	3,7	21
K21-H11	10,1	93,2	501	17,6	7,7	42
K21-H12	14,4	92,0	903	21,3	8,2	43
K21-H13	10,9	131,1	205	28,9	10,1	643
K21-H14	9,1	121,2	107	19,1	5,2	15
K21-H15	15,7	106,3	99	17,2	7,7	24

Příloha 2: Obsah jednotlivých kovů ve vzorcích půd

Označení vzorku	Obsah vybraných kovů ve vzorcích půd (mg/kg)					
	Rb	Zn	Fe	Cu	Sr	Mn
K20-P01	8,8	82,8	13855	27,6	27,9	636
K20-P02	10,6	87,4	9391	13,8	40,5	2064
K20-P05	8,3	75,0	14810	27,6	22,5	212
K20-P06	8,8	87,4	18817	65,4	20,7	178
K20-P07	5,6	45,0	7589	14,1	27,7	257
K21-P08	23,5	247,1	5488	30,5	110,2	661
K21-P10	10,2	77,0	10793	29,5	29,4	721
K21-P11	10,1	93,2	3714	17,6	44,1	903
K21-P12	14,4	92,0	5924	21,3	39,9	690
K21-P13	10,9	131,1	5457	28,9	46,8	1307
K21-P14	9,1	121,2	1247	19,1	62,2	1102
K21-P15	15,7	106,3	2371	17,2	87,6	1185

Seznam obrázků

Obrázek 1: Složení půd.....	11
Obrázek 2: Stavba těla houby	15
Obrázek 3: Bedla vysoká	17
Obrázek 4: Hřib hnědý.....	18
Obrázek 5: Hřib žlutomasý	19
Obrázek 6: Lokalita sběru vzorků.....	32
Obrázek 7: Koncentrace rubidia stanovené ve vzorcích hub a půd	38
Obrázek 8: Koncentrace zinku stanovené ve vzorcích hub a půd	39
Obrázek 9: Koncentrace železa stanovené ve vzorcích hub	41
Obrázek 10: Koncentrace železa stanovené ve vzorcích půd	41
Obrázek 11: Koncentrace mědi stanovené ve vzorcích hub a půd	43
Obrázek 12: Koncentrace stroncia stanovené ve vzorcích hub	44
Obrázek 13: Koncentrace stroncia stanovené ve vzorcích půd	44
Obrázek 14: Koncentrace manganu stanovené ve vzorcích hub	46
Obrázek 15: Koncentrace manganu stanovené ve vzorcích půd	46

Seznam tabulek

Tabulka 1: Obsah makroživin v 300 gramech čerstvých hub.....	14
Tabulka 2: Označení vzorků, názvy hub česky a latinsky, souřadnice nálezu	33
Tabulka 3: Statistické zpracování výsledků pro houby	36
Tabulka 4: Statistické zpracování výsledků pro půdy	37