



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

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

**Stanovení obsahu vybraných kovů 1. a 2. skupiny v jedlých  
houbách**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

**Autor:** Nikola Máchová

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

České Budějovice 2019

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „*Stanovení obsahu vybraných kovů 1. a 2. skupiny v jedlých houbách*“ 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 3.5.2019

Nikola Máchová

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu Mgr. Martinu Šedovi, Ph.D. za odborný dohled, cenné rady a vstřícnost při konzultacích v průběhu zpracování mé bakalářské práce.

## **Stanovení obsahu vybraných kovů 1. a 2. skupiny v jedlých houbách**

### **Abstrakt**

Houby jsou schopny akumulovat ve svých plodnicích prvky, některé těžké kovy a radionuklidy. Tato práce se zabývá kumulací vybraných kovů 1. a 2. skupiny v jedlých stopkovýtrosných houbách a půdě. První sběr proběhl na podzim roku 2017, bylo nalezeno 11 vzorků hub, přičemž od každého druhu se odebíralo několik plodnic a půda, na které plodnice rostly. Druhý sběr se konal na podzim roku 2018, ten probíhal stejným způsobem jako v předešlém roce a odebráno bylo 10 druhů hub. Byla vybrána lokalita v České republice (Ledence), kde se čteně vyskytovaly druhy hub – žampion polní, hřib smrkový, hřib strakoš, hřib žlutomasý, hřib kovář, křemenáč osikový, bedla vysoká, klouzek obecný, hřib hnědý, kozák březový, ryzec pravý, žampion lesomilný, klouzek kravský a muchomůrka růžovka. Stanovovanými kovy byly lithium (Li), stroncium (Sr), cesium (Cs) a rubidium (Rb). Stanovování probíhalo pomocí metody atomové absorpční spektrometrie (AAS). Nejvyšší obsah lithia byl v obou letech naměřen v plodnici žampionu polního (2,3 mg/kg a 1,6 mg/kg) a stroncia u křemenáče osikového (3,7 a 6,6 mg/kg). Ze všech sledovaných hub bylo prokázáno, že druhy z čeledi *Boletus* vykazovaly největší kumulaci rubidia (hřib smrkový 519 mg/kg a hřib kovář 398,6 mg/kg). U čeledi *Boletus* byl naměřen i nejvyšší obsah cesia, a to kolem 1,1 mg/kg.

### **Klíčová slova**

Lithium; Cesium; Stroncium; Rubidium; jedlé houby; analýza stopových prvků; AAS

## **The content of selected group 1 and 2 metals in edible mushrooms**

### **Abstract**

Edible mushrooms are able to accumulate elements, especially some heavy metals and radionuclides, in their fruiting body. This work engages in accumulation of chosen metals (Groups 1 and 2) in basidiomycete fungi and soil. The first picking happened in autumn 2017. Eleven mushroom specimens were found – several fruiting bodies of each type. The soil where the mushrooms had grown was also taken. During the other picking in autumn 2018 ten types of mushrooms were taken. The locality in the Czech Republic (Ledenice) was chosen, because these fungi were frequently found there: *Agaricus campestris*, *Boletus edulis*, *Suillus variegatus*, *Xerocomellus chrysenteron*, *Neoboletus luridiformis*, *Leccinum rufum*, *Macrolepiota procera*, *Suillus luteus*, *Imleria badia*, *Leccinum scabrum*, *Lactarius deliciosus*, *Agaricus silvaticus*, *Suillus bovinus* and *Amanita rubescens*. The chosen metals were Lithium (Li), Strontium (Sr), Cesium (Cs) and Rubidium (Rb). I used methods of atomic absorption spectrometry (AAS). In both analysis (2017 and 2018) the largest content of Lithium was recorded in *Agaricus campestris* fruiting body (2.3 mg/kg and 1.6 mg/kg) and the largest content of Strontium in *Leccinum rufum* (3.7 mg/kg and 6.6 mg/kg). It was shown that varieties of the Bolete family demonstrated the biggest accumulation of Rubidium (*Boletus edulis* 519 mg/kg, *Neoboletus luridiformis* 398.6 mg/kg). The biggest content of Cesium (about 1.1 mg/kg) was recorded also in this family.

### **Key words**

Lithium; Cesium; Strontium; Rubidium; edible mushrooms; trace element analysis; AAS

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	7
<b>1. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	8
1.1. Lithium .....	8
1.2. Rubidium .....	11
1.4. Cesium .....	14
1.5. O biologii hub .....	19
1.6. Atomová absorpční spektrometrie .....	21
<b>2. CÍL PRÁCE</b> .....	23
2.1. Výzkumné otázky .....	23
<b>3. METODIKA VÝZKUMU</b> .....	24
3.1. Odběr vzorků .....	24
<b>4. VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	27
4.1. Lithium .....	28
4.2. Rubidium .....	31
4.3. Stroncium .....	34
4.4. Cesium .....	37
<b>ZÁVĚR</b> .....	41
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	42
<b>PŘÍLOHY</b> .....	47
<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	52

## ÚVOD

Na území České republiky se vyskytuje přibližně 4 000 druhů hub. Volně rostoucí houby jsou v mnoha zemích nejen oblíbenou pochoutkou, ale také jsou velice významné v ekosystému, využívají totiž k výživě odumřelou organickou hmotu a jsou to rozkladači odumřelé hmoty. Houby jsou také známé kumulací těžkých kovů, v tomto případě záleží, jakou má daný druh akumulací vlastnost a na koncentraci prvku v půdě. Kromě těžkých kovů mají schopnost kumulovat i radioaktivní izotopy, jako je například známé cesium-137.

V teoretické části práce jsou prezentovány vybrané sledované kovy, jejich charakteristika a dopad na zdraví člověka. Obsahuje popis lithia, stroncia, rubidia a cesia. Je zde popsána biologie hub a optická analytická metoda, která se využívá pro stanovení příslušných kovů v houbách i půdě a byla aplikována pro tento výzkum. Metodou je atomová absorpční spektrometrie, založená na měření úbytku záření, způsobeném volnými atomy stanovovaného prvku, který absorbuje záření.

Tato bakalářská práce obsahuje výsledky získané z výzkumu lednického lesního ekosystému a jejím cílem je diskutovat o tom, jak se liší obsahy vybraných prvků mezi jednotlivými druhy hub ve sledované lokalitě a zda existuje korelace mezi obsahem příslušných prvků v plodnici a v okolní půdě. Metodická část proběhla nejprve v terénu, a to v lednickém lese, kde byly sbírány vzorky plodnic a půd. Prvotní zpracování nashromážděných vzorků se odehrávalo v laboratoři katedry aplikované chemie na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Zároveň tam poté probíhalo i vlastní měření již zmiňovanou analytickou metodou. Práce má poukázat na možná zdravotní rizika spojená s konzumací hub.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1. Lithium

V roce 1790 by objeven první lithiový minerál petalit  $\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$ , na začátku 19. století zjistil švédský chemik Johann August Arfvedson, že minerál petalit obsahuje dříve neznámý kov, který později nazval lithiem (The Royal Society of Chemistry, 2016). Lithium (*Lithium*, Li) je velmi měkký kov, stříbrné barvy. Patří do skupiny alkalických kovů a jedná se o nejlehčí kovový prvek s nejmenší hustotou. Lithium je velice reaktivní a hořlavé, vzhledem k jeho vysoké reaktivitě se nevyskytuje volně v přírodě, ale pouze ve sloučeninách (Wikipedia, 2017).

Sloučeniny lithia mají významné vlastnosti, výroba vzrostla od šedesátých let 20. století z malého množství na tisícitunovou produkci. V současné době se ve velkém vyrábí 34 sloučenin Li, přičemž tentýž počet sloučenin se vyrábí pro vývoj a výzkum. V průmyslu se Li užívá hlavně jako stearát lithný uplatňující se jako zahušťovadlo a želatinovací látka k převedení olejů na mazací tuky. Tyto víceúčelové mazací tuky mají vysokou odolnost vůči vodě s vynikajícími nízkoteplotními vlastnostmi ( $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ) a stálostí při vysokých teplotách ( $>150\text{ }^\circ\text{C}$ ). Společně s hydratovaným hydroxidem lithným tvoří skoro polovinu celkového trhu motorových maziv v USA (Greenwood, 1993).

Při výrobě speciálních bezpečnostních skel a při výrobě porcelánu jako tavidlo ve smalttech se využívá uhličitan lithný. Přídavkem uhličitanu lithného při výrobě hliníku dochází ke snížení teploty tání taveniny a k většímu průtoku proudu. Poprvé se lithium v průmyslu využilo při přidávání do olova pro zvýšení tvrdosti ložisek. Dnes se používá k výrobě hliníkových slitin s velkou pevností a malou hustotou pro letecké konstrukce. S hořčíkem vytváří ohromně pevnou slitinu o malé hustotě využívanou na pancéřové desky, součástky družic a raketoplánů (Greenwood, 1993).

Ve vesmíru se lithium podle moderní kosmologické teorie syntetizovalo, jako jedno ze tří prvních prvků, ve Velkém třesku. Existuje tzv. „kosmologická lithiová nesrovnalost“. To znamená, že starší hvězdy, mají lithia méně, než by měly. A naopak,



některé mladší hvězdy mají mnohem více. Důvod, proč starší hvězdy obsahují méně lithia je zřejmě způsoben „směšováním“ lithia do nitra hvězd, kde je zničeno (Wikipedia, 2007).

V přírodě se lithium nevyskytuje jako kov, nachází se v malém množství téměř ve všech hnědých skalách a ve velkém množství minerálních vod. Mezi důležité minerály, obsahující lithium, patří spodumen, petalit, lepidolit a amblygonit (The Royal Society of Chemistry, 2016). Stopová množství se nachází také v rostlinách, živočiších. Mořští živočichové mají sklon bioakumulovat lithium větší měrou, než pozemští živočichové. Není však známo, zda má lithum fyziologickou roli v těchto organismech (Wikipedia, 2007).

V současnosti se většina lithia vyrábí v Chile z podzemních vod s vysokou koncentrací minerálu, tyto vody se nazývají solné roztoky. Solný roztok se odebere a přečerpá do odpařovací nádrže. Poté probíhá několik procesů odpařování, díky kterému je možné docílit potřebné koncentrace lithia. Tím se získá uhličitán lithný (Ministerstvo zahraničních věcí ČR, 2016).

Někteří si myslí, že stopová množství lithia se do našich těl vpravují pasivně s potravinou a jeho význam nemá pro naše tělo žádnou roli. Jsou tu však i příznivci lithia, kteří se domnívají, že je tento prvek pro naše zdraví důležitý. Význam lithia se však doposud nepodařilo odhalit. Malé množství lithia prodlužuje život kvasinkám, hlístům a octomilkám, existuje tu možnost, že prodlužuje i život lidský. Vědci předpokládají, že enzym, na který má lithium vliv, je glykogensyntáza (Pazdera, 2016).

Lithium užívají pacienti jako lék na deprese. Koncentrace v naší krvi je přibližně 70 nmol/l, výjimkou jsou pacienti s bipolární poruchou. Při užívání lithia mají pacienti v krvi o tři až čtyři řady vyšší koncentraci, než je normální hladina (Pazdera, 2016). Lithium je pozoruhodné také pro jaderné fyziky, kteří jím chladí hlavní část experimentálních fúzních reaktorů. Tyto reaktory mají kruhovou nádobu, v níž udržují plazmu. I přes snahu plazmu držet od stěn nádoby pomocí silného magnetického pole v co největší vzdálenosti, to není postačující. V případě, že by nebyla celá ponořená v tekutém lithiu, následně by se propálila. Lithium ochlazuje stěny a odvádí vytvořené

teplo k výměníkům. Ve výměnících se přeměňuje voda na páru a ta roztáčí generátor (Pazdera, 2016).

Houby obsahují mnoho prvků ve své struktuře, není však zcela zřejmé, jaký fyziologický význam tyto stopové prvky mají (Svoboda, 2008). Přestože zvýšení lithia jako doplňku stravy bylo navrženo jako možná metoda pro stabilizaci nálady a pro snížení násilí a míry sebevražd, tak žádné potraviny obohacené o Li nebyly doposud uvedeny na trh. Na základě tohoto, se zkoumal růst, akumulace a obsah minerálů (Ca, K, Mg a Na) hub *Agrocybe cylindracea* (polnička topolová) a *Hericium erinaceus* (korálovec ježatý) kultivovaných na substrátech doplněných 0,25–1,0 mmol/l octanu lithného ( $C_2H_3LiO_2$ ) nebo chloridu lithného (LiCl). Jak bylo prokázáno, doplnění chloridem lithným vedlo k přijatelnějším výsledkům, nemělo vliv na změnu biomasy hub, vzhledu, tvaru nebo velikosti bez ohledu na koncentraci lithia. U polničky topolové byl příjem lithia silně závislý na koncentraci roztoku. Slibnější výsledky byly nalezeny u *H. erinaceus*. Jak bylo vypočteno, spotřeba 100 g sušiny plodnic korálovce ježatého získaných z kultivace 0,1 mmol/l Li (jako acetátu, či chloridu), představovala 69 % doporučené denní dávky lithia stanoveného na 1,0 mg. Houba *Hericium erinaceus* by mohla být vybrána i pro další studie o potravinách obohacených lithiem, týkajících se biologické dostupnosti lithia v houbách, jejich bezpečnosti a aktivity v experimentálních modelech na zvířatech a případně i lidské studie (Rzymiski, 2017).

Byla provedena studie o biologickém obohacení hub lithiem, zkoumanou houbou byla hlíva ústřičná *Pleurotus ostreatus*. Tento druh byl pěstovaný v substrátu a byl obohacený chloridem lithným (LiCl). V plodnici bylo nahromaděno 62,5 – 500 mg/kg. Koncentrace Li v houbách byla přímo ovlivněná zvýšením koncentrace LiCl v substrátu. Jedná se o houbu s nejvyšší koncentrací Li. Neobohacená hlíva ústřičná totiž obsahovala kolem 50 mg/kg Li. I přesto, že přístupnost Li u obohacených hub byla vyšší než u běžných, v praxi není hlíva ústřičná přijatelná pro použití v psychiatrických léčivech (Falandysz, 2013)

## ***1.2. Rubidium***

V roce 1861 bylo objeveno německými chemiky Robertem Bunsenem a Gustavem Kirchhoffem. Jedná se o jeden z nejreaktivnějších chemických prvků. Explosivně reaguje s kyslíkem, a proto musí být uložen zcela ponořený v petroleji (Chemistry Explained, 2018). Rubidium (*Rubidium*, Rb) patří mezi alkalické kovy z prvků 1. skupiny. Je to měkký, stříbrolesklý kov s teplotou tání 39 °C a teplotou varu 688 °C. Jeho hustota je 1,532 g/cm<sup>3</sup> (Dye, 2017).

Jde o jeden ze čtyř elementů objevených spektroskopii. Spektroskopicky zjistitelné paprsky alkalického kovu vedly k tomu, že tento prvek byl pojmenován podle tzv. rubidisu, který v dávných časech sloužil k označení nejhlubší červené barvy. Využívá se k vytváření atomových hodin pro udržení velmi přesného času. Radioaktivní izotop rubidia se také používá k měření věku velmi starých objektů. Obecně však rubidium a jeho sloučeniny mají jen málo praktického využití (Chemistry Explained, 2018).

Podle Jeffersonlab se tento prvek využívá jako getr (z angl. getter) ve vakuových trubkách (Jeffersonlab, 2017). Jedná se o látku, která se přidává do vakuových zařízení, především elektronek a osvětlovacích trubic (Erben, 2008). Dále slouží při zhotovení fotobuněk a speciálních skel. Pro svou snadnou ionizovatelnost může být rubidium používáno jako hnací látka v motorech na kosmické lodi (Jeffersonlab, 2017). Rubidium se vždy nachází s cesiem a mnohdy s dalšími alkalickými kovy, proto není snadné získat čisté rubidium. Oddělování alkalických kovů je komplikované z důvodu podobného charakteru těchto prvků (Dye, 2017).

Rubidium nehraje žádnou významnou biologickou roli. Avšak tělo průměrného člověka obsahuje okolo půl gramu tohoto prvku, jelikož rubidium má chemické podobnosti s draslíkem a absorbujeme jej z jídla. Pro člověka není mimořádně škodlivé, v těle se jeho ionty vylučují potem a močí. Radioaktivní izotop Rb-82 může být díky jeho tendenci shromažďovat se uvnitř buněk, zejména nádorů, využíván k lokalizaci nádorů mozku (Periodic Table, 2017).

Mezi anorganické sloučeniny rubidia patří především krystalické látky, hydrid rubidný, který se využívá jako silné oxidační činidlo. Soli rubidia jsou například chlorid rubidný a uhličitan rubidný. Do organických sloučenin se řadí rubidné soli organických kyselin a rubidné alkoholáty, dále skupina organických rubidných sloučenin tvoří organické komplexy rubidných sloučenin tzv. crowny a kryptáty a skupinu organokovových sloučenin (Wikipedia,2017). Existují dva přirozeně se vyskytující izotopy rubidia, těmi jsou Rb-85 a Rb-87, který je zároveň radioaktivním izotopem. Rb-87 se využívá k odhadu věku velmi starých hornin. Mnoho druhů hornin obsahuje dva izotopy rubidia. Rozpadem Rb-87 vzniká nový izotop Sr-87 (Chemistry Explained, 2018).

Pomocí ICP-MS bylo stanoveno osm stopových prvků v 78 vzorcích plodnic z 22 druhů jedlých hub. Jeden z těchto osmi stopových prvků bylo rubidium, jehož průměrná hodnota byla 174 mg/kg. Nejvyšší hodnota byla zjištěna v druhu hřib žlutomasý. Vyšší akumulace rubidia byla pozorována ve vzorku *Cantharellus cibarius* (liška obecná), dále v některých druzích hřibů a klouzků, tam se koncentrace pohybovala kolem 350 mg/kg. Další vysoké obsahy vykazovaly druhy ryzců a muchomůrek (Svoboda, 2008). Obsah rubidia se většinou pohybuje mezi 200 až 1000 mg/kg. V tomto případě zde hraje podstatnou roli charakter geologického podloží (Borovička, 2007). U několika druhů hub se provádělo stanovení koncentrace 18 stopových prvků metodou rentgenové fluorescence. U ektomykorhizních druhů hub byl nalezen vyšší obsah rubidia. Velké množství rubidia obsahovaly houby *Clitocybe maxima* (strmělka) and *Suillus bellini* (klouzek). Sběr vzorků hub byl proveden v smíšeném lese borovic a dubů ve Španělsku. Nasbírané vzorky byly očištěny a promyty destilovanou vodou, po tomto procesu byly po 48 hodin sušeny při 60 °C, prášeny a prosévány. Konečný prášek byl skladován v hermeticky uzavřeném přístroji až do analýzy. Obsah rubidia byl podstatně vyšší než u jiných prvků, byl kolem 60 µg/g sušiny (Campos, 2012).

### ***1.3. Stroncium***

Poprvé bylo objeveno roku 1790 irským lékařem Adair Crawfordem, poté co zjistil, že některé z minerálů se nechovají tak, jak by očekával, jelikož neměly vlastnosti baryových minerálů. Dospěl k závěru, že minerály obsahují nový prvek. Nazýval ho podle města Strontianu, ležícího poblíž dolů, kde se vzorky našly. V roce 1808 našel Humphry Davy způsob, jak vyrábět čistý kov stroncia, a to elektrolýzou směsi obsahující chlorid strontnatý a oxid rtuťnatý (Chemistry Explained, 2018).

Stroncium (Strontium, Sr) je členem kovů alkalických zemin 2. skupiny periodické tabulky. Je to stříbrně bílý lesklý kov. Jeho teplota tání je asi 757 °C a teplota varu 1366 °C. Hustota stroncia je 2,6 g/cm<sup>3</sup>. Je to velmi reaktivní prvek, tudíž musí být skladován pod petrolejem, či naftou, s nimiž nereaguje. Takto stroncium nepřijde do styku se vzduchem. Je dostatečně aktivní, aby se při zahřátí mohlo kombinovat s vodíkem a dusíkem. Vzniklé sloučeniny jsou hydrid stroncia (SrH<sub>2</sub>) a nitrid stroncia (Sr<sub>3</sub>N<sub>2</sub>). Sloučeniny stroncia se někdy využívají k barvení skla a keramiky. Dávají těmto materiálům brilantně červenou barvu (Chemistry Explained, 2018).

Stroncium je relativně hojně zastoupeno v zemské kůře. Mezi nejběžnější minerály obsahující stroncium patří celestin a stroncianit. Celestin obsahuje primárně síran strontnatý (SrSO<sub>4</sub>), zatímco stroncianit obsahuje většinou uhličitan strontnatý (SrCO<sub>3</sub>). Mezi významné světové zdroje patří Mexiko, Španělsko, Turecko a Írán. Malé množství stroncia je také získáváno z dolů v Kalifornii a Texasu. V přírodě se vyskytují 4 izotopy stroncia. Jedná se o Sr-84, Sr-86, Sr-87 a Sr-88. Dále je známo asi okolo 10 radioaktivních izotopů stroncia. Zvláště zajímavým radioaktivním izotopem je Sr-90, který vzniká při testování jaderných zbraní (Chemistry Explained, 2018).

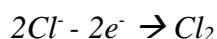
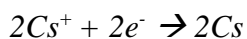
Stroncium má podobné chování jako vápník, tudíž při vstupu do těla zastupuje činnost vápníku při budování kostí a zubů. Problémem je, že radioaktivní Sr-90 vydává záření, které zabíjí nebo poškozuje živé buňky, případně může vést ke vzniku rakoviny. Radioaktivní Sr-90 má v dnešní době řadu využití, jako je například monitorování tloušťky materiálu, měření hustoty hedvábí a tabákových výrobků. V lékařském využití

je prospěšné z hlediska kontroly bolesti u lidí s rakovinou kostí a s různými očními poruchami (Chemistry Explained, 2018).

Pro lidské zdraví je radioaktivní stroncium poměrně nebezpečné, jelikož se v našem těle zaměňuje za vápník (Ca) a díky své radioaktivitě poškozuje zářením okolní buňky. Stroncium, které absorbujeme, zůstává v našem těle několik let (Mycio, 2005). Při akutní otravě se objevují dýchací potíže, pokud se stroncium dostane do těla cestou parenterální, způsobilo by to postižení krevních cév a bronchiálního svalstva. Jadernými reakcemi vznikají radioaktivní izotopy stroncia, z nichž mezi nejvýznamnější patří Sr-90, jenž se ukládá v kostech a porušuje krevetvorbu, jeho poločas rozpadu činí rozpadu 28 let (Javorský, 1987)

#### ***1.4. Cesium***

Cesium (Cs) se řadí mezi alkalické kovy, tento poměrně vzácný prvek stříbrolesklé barvy je měkký a v přírodě je často doprovázen rubidiem a ostatními alkalickými kovy. Objeviteli cesia se roku 1860 stali německý chemik Robertem W. Bunsen a německý fyzik Gustav R. Kirchhoff za použití spektrální analýzy. Cesium vlastní minerály vytváří relativně málo a stejně jako ostatní alkalické kovy má ze všech chemických prvků nejmenší hodnoty elektronegativity a ionizační energie. Protože cesium barví plamen do fialova, využívá se při plamenových zkouškách k důkazu solí alkalických kovů a solí alkalických zemin. Na vzduchu oxiduje, z tohoto důvodu je uchováváno v ochranném prostředí, obvykle v petroleji. Tento mimořádně reaktivní alkalický kov reaguje s dalšími prvky přímo a prakticky vždy se oxiduje, tudíž patří mezi silně redukční činidlo. Až po mírném zahřátí reaguje cesium s vodíkem za vzniku hydridu cesného. Příprava se provádí pomocí elektrolýzy taveniny chloridu cesného (CsCl). Cesium se vylučuje na železné katodě a na grafitové anodě chlor (Tabulka.cz, 2018).



V roce 1920 bylo realizováno první praktické využití cesia. Pro svoji schopnost reagovat s plyny se používalo ve vakuových trubicích k odstranění zbytků kyslíku a také jako povlak na vyhřívaných katodách pro zvýšení elektrického proudu. Vysoká cena cesia a rostoucí popularita podobných a levnějších technologií využívající jiné alkalické kovy, snižují produkci pouze na několik využití (Ross, 2016). Z tohoto důvodu není zatím nijak významné a využívá se pouze na výrobu fotočlánků, či do zdrojů ultrafialového záření (Tabulka.cz, 2018). Atomy cesia jsou neuvěřitelně přesné při časování a používají se v atomových hodinách. Oficiální definice sekundy je čas, který trvá, než se změní energetická hladina elektronu atomu cesia. Tato doba trvání má hodnotu 9 192 631 770 period. Atomové hodiny na bázi cesia ztrácejí jednu sekundu jednou za 100 milionů let (Ross, 2016).

Cesium je mononuklidem, který má relativní atomovou hmotnost přesně známou a neměnnou. Jediný zdroj cesia ve formě hydratovaného hlinitokřemičitanu polucitu  $\text{CS}_4\text{Al}_4\text{Si}_9\text{O}_{26} \cdot \text{H}_2\text{O}$  se nachází u jezera Bernic ve státě Kanada. Při výrobě lithia vzniká cesium jako vedlejší produkt, přičemž roční světová produkce cesia je okolo 5 tun. Cesium jako alkalický kov vytváří velké množství binárních sloučenin s kyslíkem, například oxidy a hyperoxidy.  $\text{CsO}_2$  má oranžovou barvu (Greenwood, 1993).

Stopovým množství cesia jsou lidé i zvířata neustále vystavováni při konzumaci jídla, pití a při dýchání (Ross, 2016). Radioaktivní izotop Cs-137 se v prostředí ukládá nejvíce ze všech izotopů díky tomu, že má poměrně dlouhý poločas rozpadu (30,17 roků). Kromě Cs-137 vzniká při štěpení U-235 dalších 12 izotopů Cs. Specifičností Cs-137 je jeho vysoká biologická mobilita, zapříčiněná tím, že jeho chemickým analogem je draslík. Množství cesia uvolňovaného ze zemské kůry se pohybuje v rozmezí 0,3 až 25 mg/kg. Cesium se mnohdy pojí s frakcí jílového minerálu půdy a je charakterizováno vysokou selektivitou. Izotopy Cs mají schopnost fixace v půdní pevné fázi. V rostlinách se Cs-137 hromadí v závislosti na vlastnosti půdy a podílu jílové frakce. Obvykle se cesium objevuje v rašeliništích a písčitých půdách (Škarbová, 2003).

Druhy hub akumulující Cs mívají i relativně vysoký obsah rubidia, z důvodu chemické příbuznosti těchto dvou homologů. Podstatnou roli hraje charakter geologického

podloží. Kromě řady jiných radionuklidů bylo území České Republiky kontaminováno také již zmíněným radioaktivním izotopem Cs-137 a dále Cs-134 a to především dopadem havárie v Černobylu z roku 1986. Zasažena byla nejvíce území, kde v době přechodu radioaktivního mraku přšelo. Zvýšené koncentrace radioaktivního cesia se během krátké chvíle objevily v plodnicích hub. Obsah radioizotopů cesia je ovlivněn především druhovou závislostí, a také mírou spadu na lokalitě a jeho vertikální distribucí v půdě. Některé druhy hub vykazovaly aktivitu jen v desítkách Bq/kg sušiny, do této skupiny patřila například bedla. Aktivita jiných druhů hub, jako je například hřib hnědý, vykazovala až 200 Bq/kg. Tyto zvýšené obsahy jsou však při běžné konzumaci hub zanedbatelné a nepředstavují žádné zdravotní riziko (Borovička, 2007).

V toxikologii je celkový účinek kationtů cesia nepříliš podstatný. Nicméně není úplně zanedbatelný, jelikož rovnováha mezi ionty alkalických kovů, hořčíkem a vápníkem je významná. Jeho celkový účinek v profesionální expozici bývá charakteristický větší náchylností k nachlazení a jedinci, kteří byli exponováni, se necítí ráno a po jídle v dobrém stavu (Javorský, 1987). Nepříznivé zdravotní účinky u lidí jsou spíše nepravděpodobné, avšak při vystavení působení radioaktivního cesia, či některých jeho sloučenin, může nastat nevolnost, zvracení, krvácení či poškození buněk (Ross, 2016). Cesný kation má asi pětkrát větší toxicitu než kation sodný (Javorský, 1987).

V současné době je cesium zkoumáno při léčbě několika forem rakoviny, včetně mozkových nádorů. Radioaktivní izotop cesia, cesium-131 se používá s jodem-125 v brachyterapii. Při brachyterapii jsou zrna umístěna přímo do rakovinové tkáně. Ukázalo se, že radioaktivní zrna jsou účinná u několika forem rakoviny, včetně rakoviny prostaty, děložního čípku a endometriálního karcinomu. Probíhala studie, kde 24 pacientům s mozkovými nádory byla implantovaná zrna cesia-131 do nádorů a byly zaznamenány minimální vedlejší účinky a celkově to byla dobře tolerovaná forma léčby studie ukázaly, že použití zrn Cs-131 pro léčbu rakoviny je velmi slibné (Ross, 2016).

Radioaktivní Cs-137 je nuklid, který je široce studován ve volně rostoucích houbách. Cs-137 a další radionuklidy usazené ze spadu jsou houbami absorbovány z půd.



„Efektivní“ bioakumulace Cs-137 houbami je vlastnost, týkající se těch druhů hub, závisící na potřebě stabilního Cs, který se v houbách vyskytuje hojně a na účinnosti šíření radionuklidů do půdního roztoku. Obsah stabilního Cs v houbách se liší jeho morfologickými částmi a v kloboucích je přibližně dvojnásobně větší množství než ve třeni. V houbách byly zaznamenány vysoké odchylky obsahu Cs. Například mykorrhizní druhy, jako je hřib smrkový *Boletus edulis* a kozák březový *Leccinum scabrum* vykazovaly hodnoty mezi 1,6 až 8,7 mg/kg sušiny v kloboucích. Ve srovnání s mykorrhizními druhy jako je muchomůrka červená *Amanita muscaria* (0,063 až 0,83 mg/kg sušiny) a čechratka podvinutá *Paxillus involutus* byl hřib smrkový a kozák březový na tento prvek bohatší. U saprofytických hub byla zkoumána bedla vysoká *Macrolepiota procera*, u té byl zjištěn obsah stabilního Cs v kloboucích 0,015 – 0,043 mg/kg sušiny, což je ve srovnání s mykorrhizními druhy nízká hodnota. V tomto případě není pochyb o tom, že i Cs-137 může být účinněji akumulováno v mykorrhizními houbami více než saprofytickými (Falandysz, 2013).

Po havárii v jaderné elektrárně Fukushima Dai-ichi v roce 2011 byly v japonských houbách hlášeny vysoké aktivity radiocesia. Houby hrají důležitou roli v dynamice radiocesia v lesních ekosystémech. Byl zkoumán obsah cesia a dalších alkalických kovů (Rb, K) v myceliu 15 izolátů ektomykorrhizních hub a 9 izolátů saprotrofních hub v syntetickém médiu buď s chloridem amonným ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) nebo s dusičnanem sodným ( $\text{NaNO}_3$ ), doplněný chloridem cesným a chloridem rubidným. Mycelia byla sklizena po 8 týdnech inkubace a obsah cesia, rubidia a draslíku byl měřen hmotnostní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem. Sušina mycelií v médiu s amoniakem byla významně vyšší než u dusičnanů, i když některé ektomykorrhizní druhy *Hebeloma* (slzivka), *Astraeus* (hvězdák), *Scleroderma* (pestřec), *Pisolithius* (měcháč) rostly dobře v médiu s dusičnanem. Mezi saprotrofickými druhy, *Crucibulum* (pohárovka) a *Cyathus* (číšenka) rostly v médiu s dusičnanem. Absorpce cesia, rubidia a draslíku u druhů *Suillus* (klouzek), *Pisolithius* (měcháč) a *Rhizopogon* (kořenovec), které rostly na médiu s amoniakem, byla vyšší než u ostatních ektomykorrhizních a saprotrofických druhů. Zatímco absorpce těchto prvků u druhů *Astraeus* (hvězdák) a *Scleroderma* (pestřec) byly vyšší než u jiných druhů pěstovaných na médiu

s dusičnanem. Obsah cesia byl pozitivně korelován s rubidiem a draslíkem. Akumulace cesia, rubidia i draslíku byla ovlivněna zdrojem dusíku (N) a druhem hub (Ogo, 2017).

Na území České republiky se provádí monitorování radiační situace, a to především prostřednictvím celostátní Radiační monitorovací sítě. Tuto činnost řídí Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Získaná data z monitorování radiační situace jsou využívány pro hodnocení radiační situace, pro potřeby sledování a posuzování stavu a posuzování stavu ozáření. Stále je měřitelné nezanedbatelné množství Cs-137 z černobylského spadu (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2019).

V roce 2018 proběhlo monitorování potravin, kde byly změřeny i houby. Celkem bylo měřeno 53 vzorků hub, přičemž 30 vzorků bylo Státního veterinárního ústavu (SVÚ). Patnáct vzorků vykazovalo hodnotu vyšší než 600 Bq/kg sušiny, maximální hodnota byla 3 321 Bq/kg a průměrná hodnota 755 Bq/kg. Hodnoty sušiny byly přepočteny na průměrnou čerstvou hmotnost, která se pohybovala kolem 89 Bq/kg. Ostatní vzorky měly hodnoty od 0,3 do 59 Bq/kg. Dosah po přepočtu maxima na čerstvou hmotnost hub byl 391 Bq/kg. Efektivní dávka pro 1 kilogram čerstvých hub byla 8,2 mikro Sv pro dítě do jednoho roku a 5,1 mikro Sv pro dospělého jedince (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2019).

Dostupnost radionuklidů (zejména Cs-137) v půdách různých ekosystémů je do značné míry regulována různými cévními rostlinami a druhy hub. Chování Cs-137 v lesních ekosystémech se tak podstatně liší od jiných ekosystémů, především díky hojnosti mycelia, který přispívá k přetrvávání černobylského radioaktivního cesia v lesních půdách. I když je biomasa hub ve srovnání s biomasou rostlinnou v lesní půdě relativně nízká, hromadí se u mnoha druhů hub více Cs-137 než u cévních rostlin a koncentrace aktivity Cs-137 u mnoha hub jsou 10krát až 100krát vyšší než u rostlin (Vinichuk, 2011).

Houby jsou důležité při migraci radioaktivního cesia v živných chudých a organicky bohatých půdách lesních systémů. Vzhledem k podobnosti fyzikálně-chemických vlastností draslíku (K), rubidia (Rb) a Cs-133 lze očekávat, že chemické chování těchto

alkalických kovů bude podobné Cs-137. V radioekologii se předpokládá, že cesium se chová podobně jako draslík. Vychytávání radioaktivního cesia plísněmi je ovlivněno přítomností K a Rb a přítomností stabilního Cs-133. Kromě jiných faktorů závisí vychytávání Cs-133 a Cs-137 plísněmi na tom, zda je dosaženo rovnováhy mezi oběma izotopy. Záleží, zda byla půda obdělávaná či neobdělávaná, tudíž nenarušená (Vinichuk, 2011).

Důležité úlohy hrají houby při vychytávání živin v lesních půdách, zejména jejich úloha při přenosu Cs-137 mezi půdou a plísněmi, vyžaduje lepší pochopení příslušných mechanismů. I když je přenos radioaktivního cesia z půdy na rostliny prostřednictvím hub značně zkoumán, stále existují omezené poznatky o přírodních stabilních Cs-133 a dalších alkalických kovech (K a Rb) a potenciální úloze radioaktivního cesia. O vztazích mezi stabilním Cs-133 a jinými alkalickými kovy (K a Rb) během vychytávání houbami je nedostatek informací. Afinita k alkalickému kovu závisí na nutričním stavu organismu, což alespoň částečně vysvětluje rozdíly hlášené mezi terénními pokusy a laboratorními pokusy s dobrým přísunem živin. Akumulace stabilního a radioaktivního cesia plísněmi je zřejmě ovlivněna místními podmínkami prostředí (Vinichuk, 2011).

### ***1.5. O biologii hub***

Houby jsou organismy, které se liší od zelených rostlin tím, že neobsahují chlorofyl, tudíž k životu nepotřebují světlo. Tyto organismy jsou tvořeny protáhlými vlákénky s jedno nebo vícejadernými buňkami, vlákénka jsou různě větvené a vzájemně propojené (Grünert, 1995) Houby se dělí na dvě základní skupiny, a to: houby nižší a vyšší. Do skupiny vyšších hub patří například plísně, ale také všechny houby, jejichž plodnice jsou jedlé a v našem jídelníčku nacházejí velkou oblibu. Označení „vyšší“ mají proto, že mají vyšší a složitější organizaci těla i rozmnožování (Kotlaba, 1965).

V buněčných stěnách bývají obsaženy stavební látky chitin a celulóza, svou výživu čerpají z organického substrátu. Místa, kde žijí, jsou různorodé. Vyskytují se pod povrchem země v půdě, na listí a jehličí, na odumřelém nebo živém dřevě atd.

Na spodu klobouku plodnice jsou jemná vlákna, tvořící řidší nebo hustší spleť, tato spleť se nazývá *podhoubí*, *mycelium* a může mít do velké míry rozmanitou podobu i barvu. Mycelium má často vatovitý, vláknitý či pavučinovitý vzhled (Grünert, 1995).

Důležité pro rozmnožování hub jsou jejich výtrusy, které se nám ve velkém množství jeví jako poprašek neboli výtrusný prach. Proces rozmnožování u většiny hub je takový, že při dozrávání z nich vypadávají velmi droboučké a lehké výtrusy. K tomu, aby výtrus vyrostl, je třeba dostatečně vlhké a teplé prostředí. Pokud jsou příznivé podmínky, ve spleti vláken podhoubí se začnou vytvářet malé rychle rostoucí uzlíky a změní se v základy plodnic. Průměrná doba růstu plodnic se pohybuje mezi čtyřmi až osmi dny. Většina hub, které sbíráme k jídlu, mají kloboukovitý tvar plodnice s nohou uprostřed, označují se jako kloboukaté houby s třeněm středovým. Houbám s třeněm mimo střed, blíže k okraji, se říká kloboukaté houby s třeněm výstředným (Kotlaba, 1965).

Houby jsou důležité nejen proto, že plní mnoho ekologických úkolů v koloběhu látkové přeměny v přírodě, ale také v rozmanitých životních společenstvích rostlinného života. Stále více se hovoří o volně rostoucích houbách obsahující zvýšené množství těžkých kovů, jež se vyskytují i u vzdálených silnic či průmyslových oblastí. Houby by se tedy neměly požívat ve velkém množství (Grünert, 1995).

Některé druhy makromycetů mají význačnou schopnost koncentrovat stopové prvky v plodnicích a akumulovat z prostředí některé těžké kovy či radionuklidy. V plodnicích se mohou prvky akumulovat dvojím způsobem. První způsob je transport přes podhoubí neboli mycelium. Druhý způsob hromadění prvků má význam pouze u druhů, které tvoří trvanlivější plodnice, zejména u chorošovitých hub, a tím je atmosférická depozice. Bioakumulační faktor vyjadřuje míru akumulace prvku houbou, tedy poměr mezi obsahem prvku v sušině plodnice a v sušině půdního substrátu. Houba má schopnost prvek akumulovat, jestliže je obsah prvku v plodnici vyšší než v půdě. Pakliže je nižší, jedná se o diskriminaci prvku. Pokud je bioakumulační faktor u některého druhu houby zřetelně vyšší (přibližně 100krát) než u většiny ostatních druhů hub, jedná se o hyperakumulaci. V případě, že hodnota bioakumulačního faktoru

je nižší než jedna, ale houba má význačně vyšší obsahy určitého prvku než většina ostatních hub, jedná se o schopnost koncentrovat prvek. Ve srovnání s cévnatými rostlinami je u hub problematické stanovit vrstvu substrátu, z níž mycelium přijímá živiny (Borovička, 2007).

### ***1.6. Atomová absorpční spektrometrie***

Po roce 1950 vzrostl prudce rozvoj atomových absorpčních spektrofotometrů na základě dalších objevů a zdokonalování této metody (Dastych, 2007). Atomová absorpční spektrometrie (dále jen „AAS“) patří mezi nejčastější metody anorganické prvkové analýzy, využívá se ke stanovení 68 prvků v koncentracích od desetin g/l po koncentrace nižší než 1 µg/l (Černohorský, 1997).

Postup AAS je založen na sledování záření absorbovaného stanovenou složkou. V případě, že světelné záření prochází prostředím, dochází k úbytku jeho toku v důsledku absorpce záření prostředím. Hodnota  $\phi_0$  značí tok záření, vstupující do prostředí. Tok vystupující z prostředí se značí  $\phi$ . Poměr mezi těmito hodnotami se nazývá transmitance neboli propustnost. S měnící se vlnovou délkou se mění transmitance prostředí v závislosti na koncentraci prostředí a tloušťce vrstvy absorbujícího prostředí. Při absorpčních měřeních se nejčastěji používá veličina  $A$ , nazývaná absorbance. Absorbanci získáme zlogaritmováním transmitance. Vztah mezi koncentrací látky v roztoku a její absorbancí vyjadřuje Lambert-Beerův zákon (Drbal, Křížek, 1999).

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

kde  $\varepsilon$  je molární absorpční koeficient, jeho hodnota je závislá na vlnové délce, pro danou látku a vlnovou délku konstantní. Tloušťka vrstvy  $l$  vyjádřena v cm a koncentrace  $c$  v mol/l (Drbal, Křížek, 1999).

Sestavu tvoří zdroj záření, atomizátor (vytváří volné atomy a zároveň je absorpčním prostředím), detektor, monochromátor, zpracování signálu a výpočetní systém (Černohorský, 1997)

Analýza vzorků touto specifickou metodou je velmi různorodá, pomocí AAS se stanovují jak kovy, tak i některé nekovy. Celkem je možné stanovit kolem 70 prvků, a to bez předcházející separace. V plamenu při koncentracích zhruba do 0,1 µg/ml se stanovují prvky, které se snadno atomizují. Tato mez se snižuje o 3 řády, jestliže jde o ultrastopovou analýzu s elektrotermickou atomizací (dále jen „ETA“) Jako většina instrumentálních metod je AAS metodou komparativní a srovnávací, tzn., že stanovení závisí na porovnání signálů, jež jsou získány s roztokem vzorku a s roztoky standardů, přičemž složení těchto roztoků musí být podobné složení matrice analyzovaného vzorku. Vzorky k analýze se mohou připravovat jako vodné roztoky, lze však použít i nevodná rozpouštědla, zejména při extrakčním zkoncentrování analytu. Obdobně lze při ETA dávkovat do kyvety suspenze pevných látek, či přímo pevný vzorek (Opekar, 2003).

## **2. CÍL PRÁCE**

1. Vypracování detailní rešerše týkající se obsahu lithia, rubidia, stroncia a cesia v jedlých houbách.
2. Stanovení obsahu Li, Rb, Sr a Cs ve vzorcích jedlých hub metodou AAS.
3. Vyhodnocení výsledků obsahu Li, Rb, Sr a Cs.

### ***2.1. Výzkumné otázky***

1. Liší se obsahy vybraných prvků mezi jednotlivými druhy hub ve sledované lokalitě?
2. Existuje pozitivní korelace mezi obsahem příslušných prvků v plodnici a v okolní půdě?

### 3. METODIKA VÝZKUMU

#### 3.1. Odběr vzorků

První sběr vzorků v lokalitě Ledenic, nacházející se přibližně 12 km jihovýchodně od Českých Budějovic, probíhal na přelomu léta a podzimu od září do října 2017. Pouze během jednoho odběru pršelo, zbylé dva bylo slunečno. Ze sběru bylo získáno celkem 11 vzorků plodnic, dále se u jednotlivých vzorků odebírala půda do hloubky max. 15 cm, a to včetně mycelia. Na Obrázku č.1 je uvedena mapka znázorňující místa odběru. U každého nálezu byly zaznamenány souřadnice pomocí GPS navigace (48°56'17"S, 14°38'52"V).

Plodnice byly sbírány v oblastech s málo frekventovanými místními komunikacemi, pouze v pásmu jednoho lesa. V prvním sběru byly nalezeny druhy hub žampion polní *Agaricus campestris*, hřib smrkový *Boletus edulis*, hřib strakoš *Suillus variegatus*, hřib žlutomasý *Xerocomellus chrysenteron*, hřib kovář *Boletus luridiformis*, křemenáč osikový *Leccinum aurantiacum*, bedla vysoká *Macrolepiota procera*, klouzek obecný *Suillus luteus*, hřib hnědý *Imleria badia*, kozák březový *Leccinum scabrum* a žampion lesomilný *Agaricus silvicola*. Vzorky žampionu polního byly odebírány na louce, využívané jako pastvina pro hovězí dobytek.



Obrázek č. 1: Zobrazení odběrového místa na mapě

Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)



Druhý sběr vzorků probíhal na konci září 2018. V tomto období bylo proměnlivé počasí, vystřídaly se deštivé, slunečné a sychravé dny. Získáno bylo celkem 10 druhů plodnic, které byly opět odebírány i s půdou. Byly nalezeny druhy muchomůrka růžovka *Amanita rubescens*, žampion polní *Agaricus campestris*, ryzec pravý *Lactarius deliciosus*, klouzek kravský *Suillus bovinus*, hřib smrkový *Boletus edulis*, hřib strakoš *Suillus variegatus*, hřib žlutomasý *Xerocomellus chrysenteron*, hřib kovář *Boletus luridiformis*, křemenáč osikový *Leccinum aurantiacum* a klouzek obecný *Suillus luteus*.

### **3.2. Příprava vzorků a zpracování vzorků**

Plodnice byly jednoznačně zařazeny do systému za pomoci odborné literatury GRÜNERT (1995) a KOTLABA (1965), vyčištěny od nečistot a následně rozkrájeny na plátky a sušeny při pokojové teplotě. Půdu bylo nutné uchovávat v chladničce až do doby přesunu vzorků do laboratoře.

Každý vzorek byl vložen do papírového sáčku označeným příslušným číslem, názvem a GPS souřadnicí. Vzorky poté byly přesunuty do laboratoře na katedře Aplikované chemie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, kde se nadále dosušovaly a zůstaly uloženy v chladícím zařízení. Z hub stejného druhu, rostoucích těsně vedle sebe, se zpracovaly směsné vzorky a následovala homogenizace, při které byly usušené houby rozemlety v mlýnku VIPO. Zhotovený prášek z každého směsného vzorku plodnice byl vrácen do papírového sáčku. Z každého směsného vzorku plodnic bylo analyticky přesně naváženo kolem 0,5 g a přidáno 10 ml 2M HNO<sub>3</sub>. Tato kyselina o čistotě p.p. pro polovodiče je využívána pro svou mimořádnou čistotu, protože v kyselině nejsou obsaženy žádné příměsi.

Půdy byly přemístěny do popsaných porcelánových misek, každou půdu bylo nutné probrat a obsažené cizorodé materiály, jako jsou kameny, biomasy apod. z ní odstranit. Půda se sušila po dobu 8 hodin při teplotě 100°C. Další úpravou bylo rozetření vzorku půdy v keramické misce pomocí tloučku a přesátí přes síto o velikosti oka 2 mm. S takto upravenými vzorky byla prováděná totožná příprava roztoku, jako se vzorky plodnic.

Další významnou a nezbytnou analytickou operací bylo převedení vzorků hub i půd do kapalné fáze pomocí mikrovlnného rozkladu na zařízení MARS 5 (microwave accelerated reaction systém). Kapalné vzorky půd byly dále filtrovány za sníženého tlaku a pomocí membránových filtrů FISHER o velikosti pórů 0,2  $\mu\text{m}$  a ponechaly se v chladničce při teplotě 4°C. Před samotnou analýzou bylo nutné vzorky rozdělit následovně: 5 ml se odpipetovalo a smíchalo s 5 ml draselného deionizátoru (KI, jodid draselný). Tento krok se prováděl pouze kvůli měření cesia. Z baněk, obsahující zbytek roztoků, se 25 ml odpipetovalo do 50 ml odměrných baněk a baňky se doplnily po rysku. Ke stanovení prvků lithia (Li), stroncia (Sr), vápníku (Ca), hořčíku (Mg) bylo přidáno do původních odměrných baněk se zbytkem kapalného vzorku 0,25 ml cesiového deionizátoru ve formě chloridu cesného CsCl. Před zahájením měření na přístroji byla nezbytná příprava kalibračních standardů sledovaných kovů. Kalibrační řada směsných standardů sestávala ze slepého vzorku (blank) a zhotovených standardů v rozsahu 0,05 mg/kg až 10 mg/kg. Totéž bylo provedeno ještě jednou s přidáním cesiového deionizátoru a dále bylo připraven kalibrační standard se samotným cesiem v rozmezí 0,05 až 0,5 mg/kg. Stanovované prvky byly měřeny metodou AAS. Měření probíhalo na přístroji AAS Thermo Scientific ICE 3500 v plamenové verzi na plamenu acetylén-vzduch, jak v režimu absorpce, tak emise. Po dokončeném měření všech vzorků byly koncentrace přepočteny, zaznamenány do tabulek a následně do grafů, poté přišlo na řadu vyhodnocení a diskuze těchto výsledků.

#### 4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafech. Vzorky plodnic a půd jsou porovnávány v obou letech odběru, kdy u každé houby jsou vyobrazeny dva sloupce půd a dva sloupce hub. Některé houby mají pouze dva sloupce, neboť se v zájmové lokalitě vyskytovaly pouze v roce 2017 nebo 2018. Z důvodu přehlednosti nejsou v grafech zvýrazněny směrodatné odchylky, jelikož ve všech případech činily méně než 2 %. Hodnoty jsou uváděny a přepočteny v miligramech na kilogram sušiny vzorku houby a půdy (mg/kg). Během roku 2017 a 2018 byly obsahy čtyř alkalických kovů (Li, Sr, Rb, Cs) byly sledovány v lokalitě Ledenic v patnácti druzích hub (**žampion polní** *Agaricus campestris*, **hřib smrkový** *Boletus edulis*, **hřib strakoš** *Suillus variegatus*, **hřib žlutomasý** *Xerocomellus chrysenteron*, **hřib kovář** *Boletus luridiformis*, **křemenáč osikový** *Leccinum aurantiacum*, **bedla vysoká** *Macrolepiota procera*, **klouzek obecný** *Suillus luteus*, **hřib hnědý** *Imleria badia*, **kozák březový** *Leccinum scabrum*, **žampion lesomilný** *Agaricus silvicola*, **muchomůrka růžovka** *Amanita rubescens*, **ryzec pravý** *Lactarius deliciosus*, **klouzek kravský** *Suillus bovinus*).

U analytické metody stanovena mez detekce (LOD), tato mez odpovídá koncentraci, pro kterou je analytický signál statisticky významně odlišný od šumu. Dále byla stanovena mez stanovitelnosti (LOQ), ta odpovídá koncentraci, při které je přesnost stanovení taková, že dovoluje kvantitativní vyhodnocení. Podle zvyku se v analytických metodách mez detekce vyjadřuje jako trojnásobek odchylky u slepého vzorku (blanku) a mez stanovitelnosti jako desetinásobek šumu základní linie, tyto hodnoty se vydělí směrnicí přímkou z rovnice regrese. Hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: Stanovení LOD a LOQ

ANALYT	LOD [mg/kg]	LOQ [mg/kg]
<b>Li</b>	0,002	0,007
<b>Rb</b>	0,045	0,572
<b>Sr</b>	0,255	0,849
<b>Cs</b>	0,172	0,15

#### **4.1. Lithium**

Porovnání obsahu Li v odebíraných vzorcích plodnic a půd je patrné na Obrázku 2. Obsah lithia u zkoumaných 12 z 14 druhů hub se pohyboval kolem 0,5 mg/kg v sušině plodnice a 5 mg/kg v půdě s výjimkou 3 druhů. Kumulaci ovlivňují půdní i klimatické podmínky. Obecně vzato je lithium v houbách kumulováno v malém množství a studií o kumulaci tohoto prvku je málo.

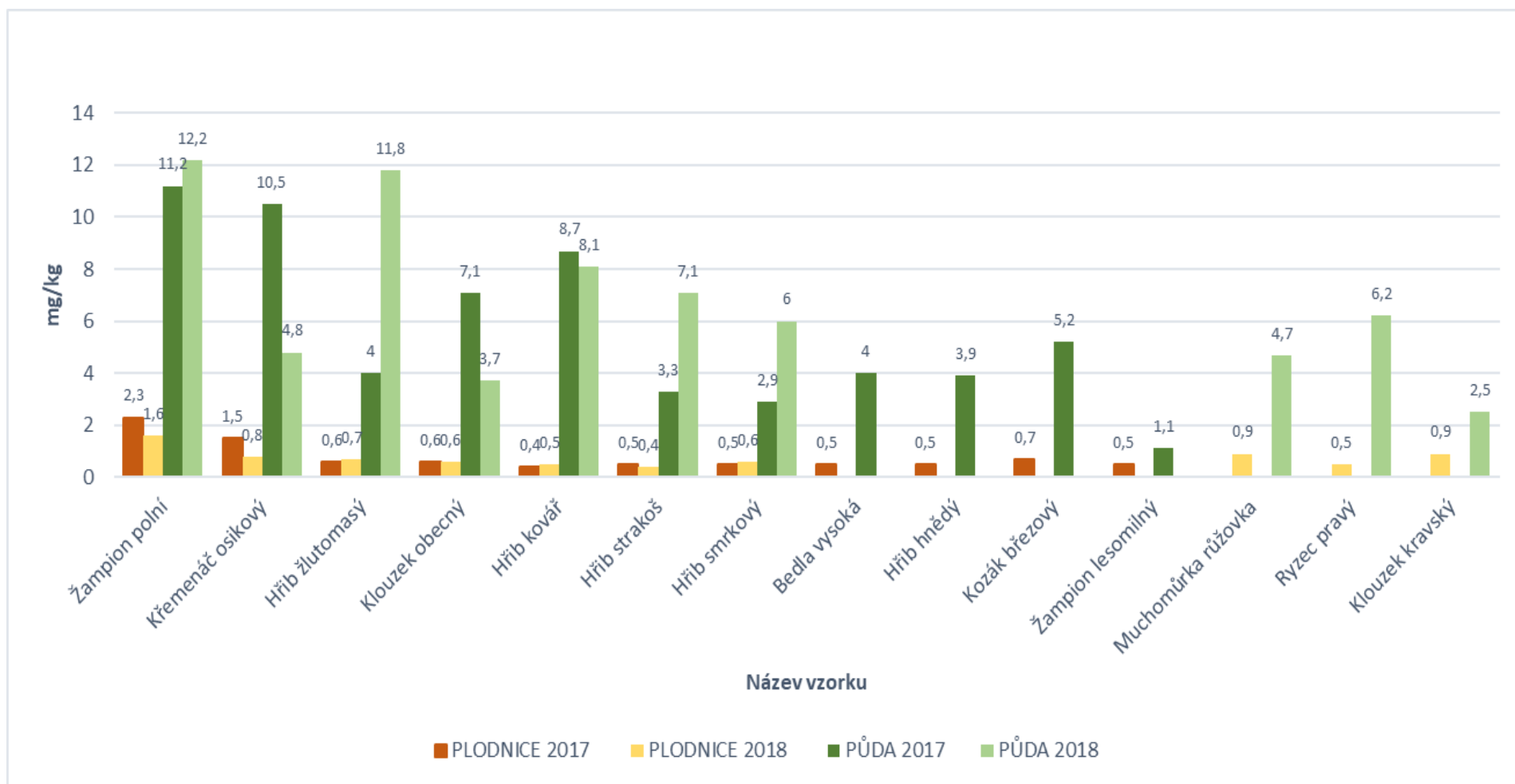
Ze získaných výsledků je patrné, že v roce 2017 byl nalezen nejvyšší obsah lithia v plodnici žampionu polního: 2,3 mg/kg sušiny a v půdě 11,2 mg/kg sušiny. Zvýšená koncentrace v plodnici i půdě žampionu polního mohla být zapříčiněná jeho růstem na louce využívané jako pastvina pro dobytek. Hodnota Li, kterou vykazoval křemenáč osikový byla 1,5 mg/kg sušiny v plodnici a 10,5 mg/kg sušiny v půdě. Dále byla zaznamenána negativní korelace mezi plodnicí klouzku obecného a půdou. Jak uvádí Borovička (2007), jestliže je obsah prvků v plodnici vyšší než v půdě, jedná se o schopnost houby tento prvek akumulovat. Důvodem vyššího obsahu lithia v půdě mohlo být zvětráním při kterém se do půdy uvolňují stopové prvky, jelikož vzorky klouzku byly nalezeny poblíž bývalé pískovny a pískovec je nejnáchylnější na zvětrávání. Částice nerostů a hornin z podloží jsou v půdě kolonizovány hlavně myceliem mykorhizních hub a rod klouzek patří mezi mykorhizní druhy

(Hrouda, 2017). Obsah lithia v plodnici klouzku obecného byl 0,6 mg/kg a v půdě, na kterém klouzek rostl činil obsah 7,1 mg/kg sušiny.

Ekologická strategie houby a pravděpodobně i stáří podhoubí jsou důležitým faktorem pro kumulaci. Velkou roli hraje daný typ geologického podloží, či znečištění a mobilita daného kovu v přírodnině, kterou houba kolonizuje je ovlivněná např. kyselostí, přítomností jílových minerálů, oxidačně-redukčními podmínkami a organických látek (Borovička, 2007). Houby byly sbírány v lese smíšeném, tudíž se zastoupením jehličnatých i listnatých stromů. Půdním typem byla nejčastěji kambizem a podzolové, lehčí a zrnitější půdy.

Jak je patrné na obrázku č. 2, v roce 2018 měla převážná většina druhů hub měla podobný lithia. Průměrná koncentrace lithia byla kolem 0,5 mg/kg sušiny v plodnici a 6,7 mg/kg sušiny půdy. Nejvíce kumulovaly lithium druhy žampion polní a téměř shodně hřib žlutomasý. Obsah lithia v plodnici žampionu polního byl 1,6 mg/kg sušiny a 12,2 mg/kg v sušině půdy. Hřib žlutomasý lithium přijímal o něco méně, obsah v plodnici byl 1,5 mg/kg sušiny a v půdě 11,8 mg/kg. V Yunnan provincii v oblasti Číny byly zaznamenány podobné koncentrace u houby hřib kovář, patřící do čeledi *Boletus*. Falandysz (2013) uvádí také výsledky z jiných studií o obsahu Li v hříbu pravém (0,2 mg/kg) a bedle vysoké (0,3 mg/kg), tyto hodnoty se přibližují i hodnotám zjištěných v mém měření. Dále byly prováděny výzkumy, kde byly hlášeny údaje u druhu ryzce, který obsahoval Li v koncentraci >1,0 a nejvíce >2,0 mg/kg. V mé práci byl naměřen obsah Li v ryzci pravém 0,5 mg/kg, ovšem studií obsahu tohoto prvku v houbách není mnoho a je třeba to objasnit v dalších výzkumech.

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, lithium by v praxi mohlo být použito v psychiatrických léčivech. Adeptem na houbu přijatelnou pro použití léčiv na poruchy nálad byla hlíva ústříčná *Pleurotus ostreatus*, která v prováděné studii obsahovala kolem 50 mg/kg Li. Bylo ale zjištěno, že tato houba není přijatelná pro použití v psychiatrických léčivech (Falandysz, 2013).



Obrázek 2: Srovnání obsahu lithia v jednotlivých druzích hub a půdách

#### 4.2. Rubidium

Na rozdíl od lithia je rubidium v houbách kumulováno ve velkém množství. Nejnižší akumulární schopnost hub poutat rubidium měl žampion polní a bedla vysoká, kdy koncentrace byly u žampionu polního 39,8 mg/kg a u bedly vysoké 31,8 mg/kg sušiny plodnice. Žampion polní i bedla vysoká vykazovaly mezi sušinou plodnice a půdy negativní korelaci. V sušině plodnice byly naměřeny již zmíněné nejnižší hodnoty, obsah v půdě byl u těchto dvou druhů jeden z nejvyšších ze všech naměřených vzorků. Nejvyšší obsah Rb byl naměřen u houby hřib strakoš, jehož hodnota činila 266,1 mg/kg a zároveň i po žampionu polním nejvyšší obsah v půdě (15,3 mg/kg). Ostatní druhy hub měly koncentrace v průměru kolem 200 mg/kg sušiny plodnice a obsah v půdě se pohyboval v okolo 10 mg/kg.

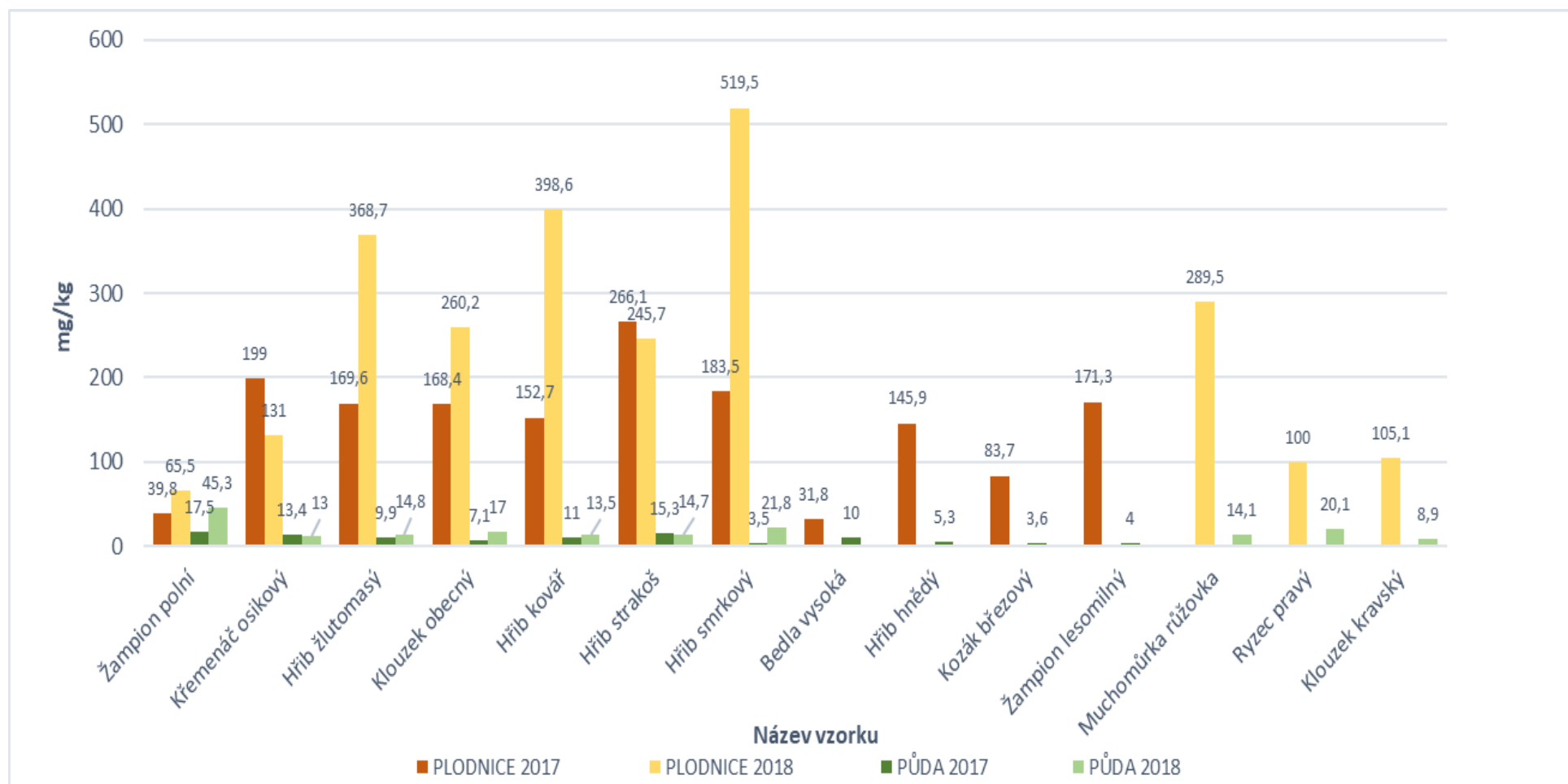
Výsledky z druhého roku sběru opětovaně naznačovaly negativní korelaci u žampionu polního, kdy naměřený obsah v sušině plodnice byl 65,5 mg/kg a zároveň se jednalo i druh s nejnižším obsahem rubidia ze všech měřených vzorků. Naopak výsledky analýz ukazují, že půda, kde rostl žampion polní, akumulovala nejvíce zkoumaného prvku. Hodnota byla 45,3 mg/kg. To by mohlo být způsobeno tím, že tento druh byl sbírán na louce, sloužící jako pastvina pro dobytek, tudíž je možné, že pastvina byla hnojena draslíkem, a v tom případě půda obsahovala i větší množství rubidia. Vinichuk (2011) ve své švédské studii uvedl, že rubidium ve velké míře napodobuje draslík. V jeho studii uvádí, že obsah Rb v houbách je vyšší než v půdě. Nejvyšší hodnoty Rb z odběru 2018 měly opět druhy hub z čeledi hříbovitých (*Boletus*). Koncentrace se pohybovaly mezi 400 až 500 mg/kg. Vyšší hodnoty vykazoval také klouzek obecný (260 mg/kg sušiny). Naopak klouzek kravský měl oproti klouzku obecnému poměrně nižší obsah Rb (105,1 mg/kg sušiny). Oproti předešlému roku byly naměřené poměrně vyšší hodnoty rubidia jak ve vzorcích hub, tak půd. Je možné, že některé druhy měly nedostatek draslíku a jelikož má Rb schopnost nahradit částečně tento prvek, mohl být příjem Rb zvýšen.

Borovička (2007) uvádí, že nízké koncentrace rubidia obsahují hlavně saprotrofní druhy, kam patří žampiony a bedly, naopak mykorhizní druhy, jako jsou například klouzky mají schopnost kumulovat vysoké koncentrace Rb. To je s našimi výsledky srovnatelné. Charakter podloží houby hraje v tomto případě významnou roli.

Ve studii Campos (2012) uvedl, že je Rb efektivněji absorbováno ektomykorhizními druhy hub, kam patří například hřib, či muchomůrka. Koncentrace těchto druhů se pohybovala kolem 300 mg/kg v sušině plodnice. Ve svém měření také zjistil, že druhy rodu klouzek kumulují tento prvek v mnohem větším množství než ostatní druhy. Předpokládá, že absorpce Rb je druhově specifická.

Svoboda (2008) ve své práci naměřil vyšší obsahy u hub z čeledi hřibovitých (*Boletus*) a slizákovitých (*Suillus*). Uvedl, že koncentrace kovů, kyselost a určité fyzikální vlastnosti substrátů mají ve většině případů mnohem menší význam při regulaci vychytávání kovů oběma zkoumanými druhy hub než cévními rostlinami. V rubidiu však existuje výjimka, neboť existuje poměrně vysoká pozitivní korelace jeho hladiny mezi plodnicí a substrátem a negativní korelace mezi pH nebo nasycením iontů kovů. V této práci jsme pH půdy nestanovovali, tudíž toto tvrzení nemůžeme potvrdit.





Obrázek 3: Srovnání koncentrace rubidia v jednotlivých druzích hub a půdách

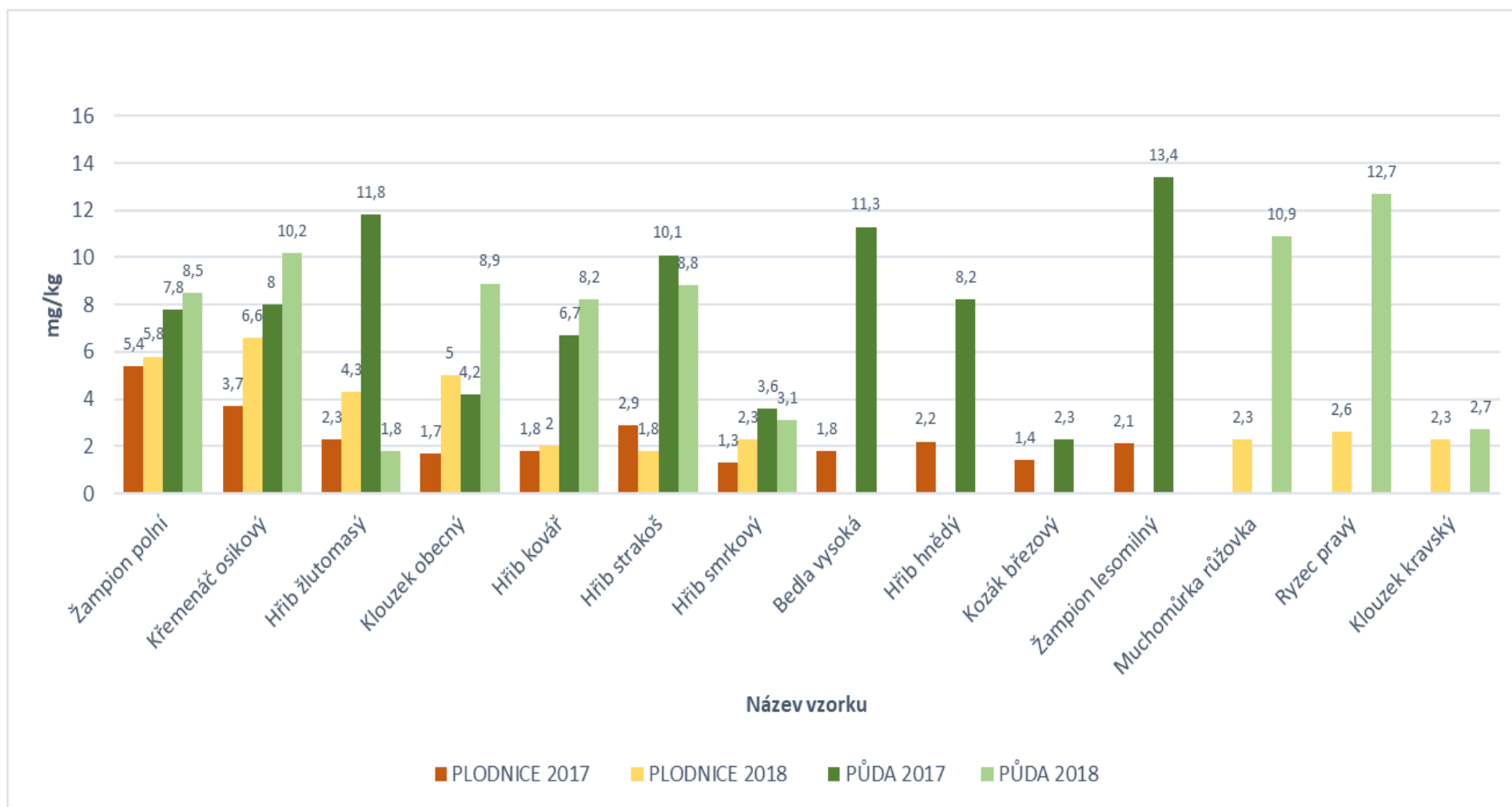
### 4.3. Stroncium

V odběru v roce 2017 měl největší schopnost kumulovat stroncium žampion polní, u něhož byla zjištěna hodnota 5,4 mg/kg sušiny. Nejbližší této hodnotě se přiblížil křemenáč osikový s 3,7 mg/kg sušiny. Naopak nejnižší koncentrace byla zaznamenána u hříbu smrkového s obsahem stroncia 1,3 mg/kg sušiny. Nejvyšší obsah stroncia v půdě byl naměřen u žampionu lesomilného (13,4 mg/kg sušiny) a hříbu žlutomasého (11,8 mg/kg sušiny). Nejnižší půdní koncentrace byla zaznamenána u kozáka březového (2,3 mg/kg sušiny). Koncentrace stroncia v houbách byla v průměru kolem 2,5 mg/kg sušiny. Vědecká práce z Japonska uvádí střední hodnoty koncentrací stroncia ve vzorcích, sbíraných v borových lesech, kolem 2,8 mg/kg sušiny (Yoshida, 2002). V práci (Falandysz, 2013) je zmíněno, že vliv geologického podlaží ovlivňuje koncentraci prvků, podle Falandysze nebyl zjištěn v kozáku březovém zjištěn žádný vliv na akumulaci Sr.

Při druhém měření v roce 2018 byla naměřena nejvyšší kumulace stroncia u druhu křemenáč osikový, a to 6,6 mg/kg, přičemž tento druh zároveň vykazoval pozitivní korelaci s půdou. Obsah stroncia v půdě u křemenáče osikového byl 10,2 mg/kg. Naopak nejnižší koncentraci a negativní korelaci mezi druhem houby a půdou vykazoval ryzec pravý. Jeho obsah stroncia v plodnici byl 2,6 mg/kg sušiny a v půdě 12,7 mg/kg.

Saniewski (2016) ve své studii uvedl, že houby rostoucí ve volné přírodě obvykle obsahují v menší koncentraci stabilní Sr a hodnota biokoncentračního faktoru mezi plodnicí a půdou bývá nízká. Udává se koncentrace menší než 1 mg/kg sušiny. V našich naměřených výsledcích dosahují koncentrace vyšších hodnot. Dlouholetá studie, která probíhala v letech 1976 až 2013 se zaměřovala na oděr vzorků hříbu smrkového *Boletus edulis* z oblasti Polska, Běloruska, Číny a Švédska. Byla zkoumána aktivita radioaktivního Sr-90. Hřib smrkový je jedna z nejvíce rozšířených druhů hub a také je to druh bohatý na různé minerální složky a radionuklidy. Vzorky hub z oblasti Číny měly větší koncentrace než vzorky z Evropy, i přesto, že radioaktivní spad po havárii

Černobyľu nejvíce zasáhnul Evropsu. Podle Saniweski (2016) tato studie prokázala, že koncentrace Sr-90 byla ze značné míry závislá na tom, jaké podloží houba měla. Lesní půdy vykazovaly menší koncentrace, zatímco v Yunnanu mohla větší absorpci Sr-90 zpříčinit specifická tamní půda, která je polymetalická a vysoce zvětralá. Tato bakalářská práce se zabývala měřením obsahu celkového Sr, radionuklidy jsme v tomto případě nebyli schopni měřit.



Obrázek 4: Srovnání obsahu stroncia v jednotlivých druzích hub a půdách

#### 4.4. Cesium

V této práci byl měřen obsah celkového cesia, nikoliv radionuklidu. Koncentrace cesia v houbách odebraných v roce 2017 se u skoro všech vzorků pohybovaly u meze stanovitelnosti. Výjimkou byl žampion lesomilný, jehož kumulační schopnost poutat cesium byla poměrně vysoká. Obsah cesia v plodnici žampionu lesomilného činil 2,2 mg/kg sušiny. Prakticky nulový obsah byl změřen v bedle vysoké a u žampionu polního. Zatímco žampion lesomilný kumuloval cesium nejvíce, v okolní půdě bylo cesia zanedbatelně. Žampion polní nevykazoval kumulaci téměř vůbec, přestože hodnoty obsahu cesia v půdě byly několikanásobně vyšší. Tento rozdíl by mohl být způsobený mnoha faktory. Jak uvádí Borovička (2007), může to být dané stářím podhoubí, ale také typem geologického podloží, jelikož také záleží na vertikálním rozložení prvku. Na nenarušených půdách se bude prvek hromadit více, zatímco u obdělávaných půd je to naopak. Náš vzorek žampionu lesního byl sbírán na louce. Většina vědců uvádí jako další faktory množství srážek, tudíž záleží také na vlhkosti půdy, doba odběru, klima aj. Ve studii (Falandysz, 2013) byla také ze saprofytických druhů měřená koncentrace Cs u bedly vysoké, kde byly stanoveny hodnoty v rozmezí 0,015 až 0,043 mg/kg. Což jsou také hodnoty velmi nízké. Uvedl, že bedly Cs v plodnicích prakticky nehromadí. Naše naměřené hodnoty u bedly vysoké byly pod mezí stanovitelnosti. Zastoupení kovu v půdě se první rok sběru pohybovalo u všech druhů kolem 0,1-0,3 mg/kg. V publikaci Vinichuk (2011) uvádí, že houby v sobě akumulují Cs hlavně z půdy a že chování stabilního Cs je podobné radioaktivnímu Cs-137. Záleží také na druhu houby, jelikož každý druh pohlcuje Cs z rozdílné hloubky půdy. Nejvíce Cs se hromadí ve vrchních vrstvách půdy. U našich vzorků byla odebíraná půda v hloubce max. 15 cm.

V dalším roce byla nejvyšší koncentrace cesia naměřena v klouzku obecném, jehož obsah v plodnici byl 1,8 mg/kg sušiny a v půdě 0,9 mg/kg sušiny. Dalšími houbami s výraznějšími hodnotami byl křemenáč osikový (1,1 mg/kg) a houby z čeledi *Boletaceae*, které dosáhly téměř stejných koncentrací jako křemenáč osikový. Například obsah cesia v plodnici hříbu smrkového byl 1,0 mg/kg sušiny a v půdě 1,3 mg/kg

sušiny. To je ve srovnání s půdním substrátem malý rozdíl. Obsah cesia v čeledi hřibovitých se oproti předešlému roku sběru zvýšil až o polovinu. To by mohlo být zapříčiněno rozdílnou hustotou spadu a půdních podmínek

V práci (Falandysz, 2013) byla stanovena nejvyšší koncentrace u hříbu smrkového a kozáka březového. Tyto houby patří mezi mykorrhizní druhy a jejich koncentrace Cs se pohybovaly mezi 1,6 až 8,7 mg/kg sušiny. Houby akumulující významnější množství stabilního Cs dokáží akumulovat i Cs-134 a Cs-137. Podle autora zmíněné studie tedy není pochyb o tom, že Cs je účinněji akumulováno mykorrhizními druhy. Nejnižší obsah byl naměřen v ryzci pravém a klouzku kravském. Tyto dvě houby měly totožné obsahy, a to 0,4 mg/kg. Půdní koncentrace cesia se pohybovala okolo 0,6 mg/kg.

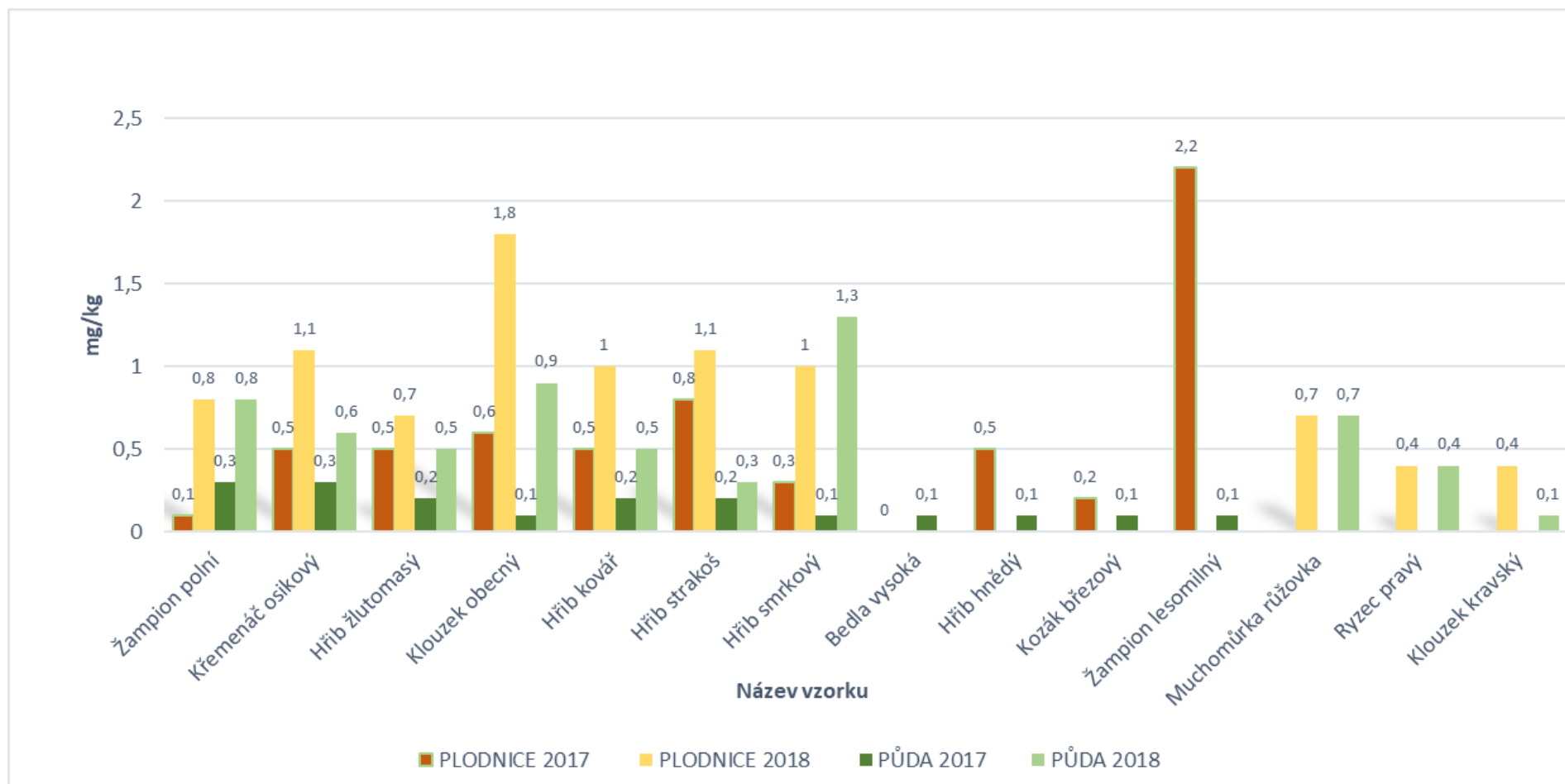
Druhý rok sběru byly opět naměřeny vyšší hodnoty ve všech vzorcích hub i půd stejně jako u rubidia. Z mého pohledu by to mohlo být způsobeno tím, že mechanismus vychytávání Cs houbami by mohl být do jisté míry podobný jako u Rb a mezi těmito elementy by mohla být blízká korelace.

Po černobylské havárii bylo především v evropských lesích prováděno mnoho studií lesních ekosystémů. Rozsáhle byly také studovány japonské lesy, i když depozice radionuklidů byla nízká. Ve studii, kterou se zabýval Yoshida (2002) byla zjištěna průměrný obsah stabilního Cs v houbách kolem 1,01 mg/kg. Hodnoty zcela odpovídají i těm, které jsem naměřila v této práci. I po 20 letech Černobylské havárie jsou tu obavy konzumace hub, které by mohly obsahovat radionuklidy, tedy i radioaktivní Cs. Avšak v současné době aktivita Cs-137 významně poklesla a Cs-134 téměř vymizelo (Borovička, 2007).

Již zmíněná švédská studie, kterou se zabýval Vinichuk (2011) byla zaměřená na kontaminaci hub a lesního ekosystému. Srovnávány byly tři alkalické kovy – Cs, Rb a K v půdě, rhizosféře, půdo-kořenovém rozhraní, mycelii a plodnicích mykorrhizních hub. Vychytávání Cs-137 je ovlivněno přítomností K a Rb a přítomností stabilního Cs 133. Ve výsledcích studie kumulovaly plodnice vybraných druhů hub Rb > K > Cs. Mezi ty druhy s vyššími koncentračními poměry pro každý prvek patřil hřib smrkový.

Některé druhy ryzců měly koncentrační poměry naopak nízké. To je srovnatelné i s našimi výsledky.

Obsahem Cs-137 se zabývala ve své bakalářské práci na Zdravotně sociální fakultě Čadová (2015). Nejvyšší naměřené hodnoty Cs-137 byly naměřeny u hřibovitých hub, především u hříbu smrkového a nejnižší byly naměřeny u bedly vysoké.



Obrázek 5: Srovnání obsahu cesia v jednotlivých druzích hub a půdách



## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnotit obsahy čtyř vybraných alkalických kovů (Li, Rb, Sr, Cs) ve volně rostoucích jedlých houbách a v půdách v lokalitě Ledenic. Sledovanými vzorky byly: žampion polní, hřib smrkový, hřib strakoš, hřib kovář, křemenáč osikový, bedla vysoká, klouzek obecný, hřib hnědý, kozák březový, bedla vysoká, ryzec pravý, muchomůrka růžovka, žampion lesomilný a klouzek kravský. Odběr vzorků probíhal na přelomu léta a podzimu roku 2017 a 2018. V práci bylo celkem zpracováno 22 vzorků hub a půd, přičemž od každého druhu houby bylo nasbíráno několik plodnic. Jejich následná analýza byla prováděna v laboratoři metodou atomové absorpční spektrometrie. Výsledky byly uvedeny v grafech.

Kontaminace jedlých hub závisí na regionu, klimatických a půdních podmínkách a znečištění životního prostředí. Zjištěné hodnoty obsahu vybraných kovů z mého výzkumu jsou srovnatelné s literaturou. Zároveň žádné naměřené hodnoty nebyly natolik zvýšené, aby byl běžný konzument hub nějak ohrožen, neboť žádný člověk obvykle nepozře tolik hub, aby pro něj byla dávka nebezpečná, či smrtelná.

Bylo by určitě zajímavé i nadále pokračovat v měření dalších prvků ve vzorcích, případně měřit i některé radioizotopy.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BOROVIČKA, Jan, 2007. Houby a stopové prvky. *Vesmír* [online]. **86**(508) [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2007/cislo-8/houby-stopove-prvky.htm>
2. CAMPOS, J. A. a kol. 2012. Lifestyle Influence on the Content of Copper, Zinc and Rubidium in Wild Mushrooms. *Applied and Environmental Soil Science* [online]. **2012**, 6 [cit.2017-08-20]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/aess/2012/687160>
3. ČERNOHORSKÝ, Tomáš a Pavel JANDERA. *Atomová spektroskopie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. ISBN 80-7194-114-X
4. ČADOVÁ, Michaela, 2015. *Obsah Cs-137 v houbách*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
5. *Chemistry Explained: Rubidium* [online], 2018. United States: Advameg [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: <http://www.chemistryexplained.com/elements/P-T/Rubidium.html?fbclid=IwAR0sF081Vz6fWqR4spwdkUqZgl2mrUVYe4an4td-Te3eJhv8tgtrvxXQGgU>
6. *Chemistry Explained: Strontium* [online], 2018. United States: Advameg [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <http://www.chemistryexplained.com/elements/P-T/Strontium.html>
7. DASTYCH, Milan, 2007. *Instrumentální technika: obor zdravotní laborant*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-4226-1.

8. DRBAL, Karel a Martin KRÍŽEK, 1999. *Analytická chemie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita. ISBN 80-704-0352-7.
9. DYE, James L., 2017. Rubidium. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/rubidium>
10. ERBEN, Milan, 2008. *Vakuová technika: Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií*. Pardubice. Učební text. Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice.
11. FALANDYSZ, Jerzy a Jan BOROVIČKA, 2013. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. **97**(2), 477-501 [cit. 2019-04-09]. DOI: 10.1007/s00253-012-4552-8. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00253-012-4552-8>
12. GREENWOOD, N. N. a Alan EARNSHAW, 1993. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium. ISBN 80-854-2738-9.
13. GRÜNERT, Helmut a Renate GRÜNERT, 1995. *Houby*. Praha: Knižní klub. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-717-6183-4.
14. HROUDA, Petr, 2017. Ekologie a význam hub. *Sci.muni* [online]. Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/botany/mycology/ekolhub.htm>
15. JAVORSKÝ, Petr, 1987. *Chemické rozborý v zemědělských laboratořích*. České Budějovice: Výstavnictví zemědělství a výživy.

16. KOTLABA, František, 1965. *Naše houby*. Praha: Dětské knihy. ISBN 13-070-65-14/56.
17. *Ministerstvo zahraničních věcí ČR: Příležitosti v těžbě lithia a v návazných oborech* [online], 2016. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: [http://www.mzv.cz/ekonomika/cz/novinky\\_z\\_velvyslanectvi/chile\\_prilezitosti\\_v\\_tezbe\\_lithia\\_a\\_v.html](http://www.mzv.cz/ekonomika/cz/novinky_z_velvyslanectvi/chile_prilezitosti_v_tezbe_lithia_a_v.html)
18. OGO, Sumika a Takashi YAMANAKA, 2017. Growth and uptake of caesium, rubidium, and potassium by ectomycorrhizal and saprotrophic fungi grown on either ammonium or nitrate as the N source. *Mycological progress* [online]. **16**(8), 801-809 [cit. 2018-10-31]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11557-017-1317-x>
19. OPEKAR, František, 2003. *Základní analytická chemie: pro studenty, pro něž analytická chemie není hlavním studijním oborem*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-0553-1. PAZDERA, Josef, 2016. *Objective Source E-Learning* [online]. 1 [cit. 2017-05-17]. ISSN ISSN 1214-6307. Dostupné z: <http://www.osel.cz/8790-lithium-prodluzuje-zivot-o-16.html>
20. PAZDERA, Josef, 2007. Budeme si obohacovat potravu stronciem? *OSEL* [online]. 1 [cit. 2017-08-16]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/2582-budeme-si-obohacovat-potravu-stronciem.html>
21. Periodic Table: Rubidium, 2017. *Royal Society of Chemistry* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/37/rubidium>
22. ROSS, Rachel, 2016. Facts About Cesium. *LiveScience* [online]. [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/37578-caesium.html>

23. RZYMSKI, Piotr, 2017. Lithium biofortification of medicinal mushrooms *Agrocybe cylindracea* and *Herichium erinaceus*. *Journal of Food Science and Technology* [online]. **54**(8), 2387-2393 [cit. 2018-10-31]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-017-2679-4>
24. SANIEWSKI, Michał, Tamara ZALEWSKA, Grażyna KRASIŃSKA, Natalia SZYLKE, Yuanzhong WANG a Jerzy FALANDYSZ, 2016. 90 Sr in King Boletus *Boletus edulis* and certain other mushrooms consumed in Europe and China. *Science of The Total Environment* [online]. **543**, 287-294 [cit. 2019-04-08]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.042. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004896971531024X>
25. *Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Monitorování radiační sítě* [online], 2019.Praha: FormaX Design [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace>
26. SVOBODA, L., CHRASTNÝ, V.: Levels of Eight Trace Elements in Edible Mushrooms from a Rural Area. *Food Addit Contam A*, (1), 51 (2008).
27. SVOBODA, Lubomír a Vladislav CHRASTNÝ, 2008. Levels of eight trace elements in edible mushrooms from a rural area. *Journal Food Additives & Contaminants: Part A* [online]. **25**(1), 51-58 [cit. 2018-10-31]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02652030701458519?journalCode=tfac20>
28. ŠKARBOVÁ, Silvie, 2013. *Radionuklidy v houbách lesních ekosystémů*. Brno. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.
29. Tabulka.cz: *Cesium* [online], 2018. [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: <https://tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=55>

30. Thomas Jefferson National Accelerator Facility-Office of Science Education., 2017. *The Periodic Table of Elements: The element Rubidium* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://education.jlab.org/itselemental/ele037.html>
31. *The Royal Society of Chemistry: Periodic table* [online], 2016. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/3/lithium>
32. VINICHUK, Mykhailo, Anders DAHLBERG a Klas ROSE, 2011. Cesium (137Cs and 133Cs), Potassium and Rubidium in Macromycete Fungi and Sphagnum Plants. *Radioisotopes - Applications in Physical Sciences* [online]. InTech, 2011-10-19 [cit. 2019-04-21]. DOI: 10.5772/22263. ISBN 978-953-307-510-5. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/radioisotopes-applications-in-physical-sciences/cesium-137cs-and-133cs-potassium-and-rubidium-in-macromycete-fungi-and-sphagnum-plants>
33. *Wikipedia:The free encyclopedia: Lithium* [online], 2017. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium>
34. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Rubidium* [online]. c2017 [citováno 11. 08. 2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Rubidium&oldid=14877062>>
35. YOSHIDA, Satoshi, 2000. Relationship between Radiocesium and Stable Cesium in Plants and Mushrooms Collected from Forest Ecosystems with Different Contamination Levels. *Japan Health Physics Society*, [online]. **01**(33) [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/251920160\\_Relationship\\_between\\_Radiocesium\\_and\\_Stable\\_Cesium\\_in\\_Plants\\_and\\_Mushrooms\\_Collected\\_from\\_Forest\\_Ecosystems\\_with\\_Different\\_Contamination\\_Levels](https://www.researchgate.net/publication/251920160_Relationship_between_Radiocesium_and_Stable_Cesium_in_Plants_and_Mushrooms_Collected_from_Forest_Ecosystems_with_Different_Contamination_Levels)

## **PŘÍLOHY**

Seznam příloh:

PŘÍLOHA 1: Obsah lithia ve vzorcích hub z Ledenicka

PŘÍLOHA 2: Obsah lithia ve vzorcích půd z Ledenicka

PŘÍLOHA 3: Obsah rubidia ve vzorcích hub z Ledenicka

PŘÍLOHA 4: Obsah rubidia ve vzorcích půd z Ledenicka

PŘÍLOHA 5: Obsah stroncia ve vzorcích hub z Ledenicka

PŘÍLOHA 6: Obsah stroncia ve vzorcích půd z Ledenicka

PŘÍLOHA 7: Obsah cesia ve vzorcích hub z Ledenicka

PŘÍLOHA 8: Obsah cesia ve vzorcích půd z Ledenicka

Příloha 1: Obsah lithia ve vzorcích hub z Lednicka (mg/kg sušiny)

VZOREK	2017	2018
Žampion polní	2,3	1,6
Hřib smrkový	0,5	0,6
Hřib strakoš	0,5	0,4
Hřib žlutomasý	0,6	1,5
Hřib kovář	0,4	0,5
Křemenáč osikový	1,5	0,8
Bedla vysoká	0,5	
Klouzek obecný	0,6	0,6
Hřib hnědý	0,5	
Kozák březový	0,7	
Žampion lesomilný	0,5	
Muchomůrka růžovka		0,9
Ryzec pravý		0,5
Klouzek kravský		0,9

Příloha 2: Obsah lithia ve vzorcích půd z Lednice (mg/kg sušiny)

VZOREK	2017	2018
Žampion polní	11,2	12,2
Hřib smrkový	2,9	6
Hřib strakoš	3,3	7,1
Hřib žlutomasý	4	11,8
Hřib kovář	8,7	8,1
Křemenáč osikový	10,5	4,8
Bedla vysoká	4	
Klouzek obecný	7,1	3,7
Hřib hnědý	3,9	
Kozák březový	5,2	
Žampion lesomilný	1,1	
Muchomůrka růžovka		4,7
Ryzec pravý		6,2
Klouzek kravský		2,5



Příloha 3: Obsah rubidia ve vzorcích půd na Ledenicku (mg/kg sušiny)

<b>VZOREK</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Žampion polní	39,8	65,5
Hřib smrkový	183,5	519,5
Hřib strakoš	266,1	245,7
Hřib žlutomasý	169,6	368,7
Hřib kovář	152,7	398,6
Křemenáč osikový	199	131
Bedla vysoká	31,8	
Klouzek obecný	168,4	260,2
Hřib hnědý	145,9	
Kozák březový	83,7	
Žampion lesomilný	171,3	
Muchomůrka růžovka		289,5
Ryzec pravý		100
Klouzek kravský		105,1

Příloha 4: Obsah rubidia ve vzorcích půd na Ledenicku (mg/kg sušiny)

<b>VZOREK</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Žampion polní	17,5	45,3
Hřib smrkový	6,5	21,8
Hřib strakoš	15,3	14,7
Hřib žlutomasý	9,9	14,8
Hřib kovář	11	13,5
Křemenáč osikový	13,4	13
Bedla vysoká	10	
Klouzek obecný	7,1	17
Hřib hnědý	5,3	
Kozák březový	3,6	
Žampion lesomilný	4	
Muchomůrka růžovka		14,1
Ryzec pravý		20,1
Klouzek kravský		8,9

Příloha 5: Obsah stroncia ve vzorcích hub na Ledenicku (mg/kg sušiny)

<b>VZOREK</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Žampion polní	5,4	5,8
Hřib smrkový	1,3	2,3
Hřib strakoš	2,9	1,8
Hřib žlutomasý	2,3	4,3
Hřib kovář	1,8	2
Křemenáč osikový	3,7	6,6
Bedla vysoká	1,8	
Klouzek obecný	1,7	5
Hřib hnědý	2,2	
Kozák březový	1,4	
Žampion lesomilný	2,1	
Muchomůrka růžovka		2,3
Ryzec pravý		2,6
Klouzek kravský		2,3

Příloha 6: Obsah stroncia ve vzorcích půd na Ledenicku (mg/kg sušiny)

<b>VZOREK</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Žampion polní	7,8	8,5
Hřib smrkový	3,6	3,1
Hřib strakoš	10,1	8,8
Hřib žlutomasý	11,8	1,8
Hřib kovář	6,7	8,2
Křemenáč osikový	8	10,2
Bedla vysoká	11,3	
Klouzek obecný	4,2	8,9
Hřib hnědý	8,2	
Kozák březový	2,3	
Žampion lesomilný	13,4	
Muchomůrka růžovka		10,9
Ryzec pravý		12,7
Klouzek kravský		2,7

Příloha 7: Obsah cesia ve vzorcích hub na Ledenicku (mg/kg sušiny)

VZOREK	2017	2018
Žampion polní	0,1	0,8
Hřib smrkový	0,3	1
Hřib strakoš	0,8	1,1
Hřib žlutomasý	0,5	0,7
Hřib kovář	0,5	1
Křemenáč osikový	0,5	1,1
Bedla vysoká	0	
Klouzek obecný	0,6	1,8
Hřib hnědý	0,5	
Kozák březový	0,2	
Žampion lesomilný	2,2	
Muchomůrka růžovka		0,7
Ryzec pravý		0,4
Klouzek kravský		0,4

Příloha 8: Obsah cesia ve vzorcích půd na Ledenicku (mg/kg sušiny)

VZOREK	2017	2018
Žampion polní	0,3	0,8
Hřib smrkový	0,1	1,3
Hřib strakoš	0,2	0,3
Hřib žlutomasý	0,2	0,5
Hřib kovář	0,2	0,5
Křemenáč osikový	0,3	0,6
Bedla vysoká	0,1	
Klouzek obecný	0,1	0,9
Hřib hnědý	0,1	
Kozák březový	0,1	
Žampion lesomilný	0,1	
Muchomůrka růžovka		0,7
Ryzec pravý		0,4
Klouzek kravský		0,1

## **SEZNAM ZKRATEK**

AAS	atomová absorpční spektrometrie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SVÚ	Státní veterinární ústav
ETA	elektrotermická atomizace
LOD	mez detekce
LOQ	mez stanovitelnosti