



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra aplikované chemie

Diplomová práce

# Obsah vybraných prvků v plodnicích hub ekologicky vázaných na břízu bělokorou

(Content of selected elements in fruiting bodies of mushrooms  
with ecological connection to white birch)

Vypracoval: Bc. Jiří Krejsa  
Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Šíma, Ph.D.

České Budějovice 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění, za použití pramenů uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich 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 výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 7. 7. 2020

Jiří Krejsa

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat zejména vedoucímu mé diplomové práce panu doc. RNDr. Janu Šímovi, Ph.D., za trpělivost, ochotný přístup a odborné rady.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

## Abstrakt

V této práci bylo stanovováno 21 rizikových a esenciálních prvků v plodnicích čtyř druhů hub ekologicky vázaných na břízu bělokorou. Kozák březový (*Leccinum scabrum*) a křemenáč březový (*Leccinum versipelle*) jsou běžné jedlé mykorrhizní houby, zatímco březovník obecný (*Piptoporus betulinus*) a rezavec šikmý (*Inonotus obliquus*) jsou parazitické dřevokazné houby s léčivými účinky. Vzorky byly odebírány ze dvou lokalit na Šumavě – v okolí města Vimperk a okolí obce Křišťánovice. V plodnicích kozáku březového byly akumulovány prvky Ag (BCF = 22,5), Cd (4,70), Cs (3,20), Cu (1,68), Rb (5,54), Se (1,96) a Zn (1,38). Podobné trendy v bioakumulaci byly pozorovány v případě křemenáče březového Ag (BCF = 28,2), Cd (1,60), Cu (2,43), Rb (5,21), Se (1,91) a Zn (1,65). V plodnicích březovníku obecného byly zaznamenány vysoké obsahy Ca ( $402 \pm 190$  mg/kg sušiny), Fe ( $108 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $1,11 \cdot 10^3 \pm 0,34 \cdot 10^3$  mg/kg) a Zn ( $222 \pm 88$  mg/kg). V případě rezavce šikmého byly stanoveny vysoké obsahy Ca ( $1,02 \cdot 10^3 \pm 0,74 \cdot 10^3$  mg/kg), Fe ( $114 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $2,01 \cdot 10^3 \pm 1,11 \cdot 10^3$  mg/kg), Mn ( $408 \pm 268$  mg/kg), Rb ( $163 \pm 65$  mg/kg) a Zn ( $141 \pm 73$  mg/kg).

## Klíčová slova

atomová absorpční spektrometrie, mikrovlnný rozklad, volně rostoucí jedlé houby, houby s léčivými účinky, bříza bělokorá

## Abstract

The contents of 21 risk and essential elements were determined in fruiting bodies of four macrofungi species with ecological connection to white birch. *Leccinum scabrum* and *Leccinum versipelle* were common mycorrhizal edible mushrooms, while *Piptoporus betulinus* and *Inonotus obliquus* were parasitic mushrooms with medicinal effects. The samples were taken from two locations in Šumava mountains – near the town of Vimperk and near the small village of Křišťánovice. Following elements were accumulated in fruiting bodies of *Leccinum scabrum*: Ag (BCF = 22.5), Cd (4.70), Cs (3.20), Cu (1.68), Rb (5.54), Se (1.96) and Zn (1.38). Similar trend in bioaccumulation was observed for *Leccinum versipelle*: Ag (BCF = 28.2), Cd (1.60), Cu (2.43), Rb (5.21), Se (1.91) a Zn (1.65). Considerably high contents of Ca ( $402 \pm 190$  mg/kg dry matter), Fe ( $108 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $1.11 \cdot 10^3 \pm 0.34 \cdot 10^3$  mg/kg) and Zn ( $222 \pm 88$  mg/kg) were determined in fruiting bodies of *Piptoporus betulinus*. Similarly, high contents of Ca ( $1.02 \cdot 10^3 \pm 0.74 \cdot 10^3$  mg/kg), Fe ( $114 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $2.01 \cdot 10^3 \pm 1.11 \cdot 10^3$  mg/kg), Mn ( $408 \pm 268$  mg/kg), Rb ( $163 \pm 65$  mg/kg) and Zn ( $141 \pm 73$  mg/kg) were observed for *Inonotus obliquus*.

## Keywords

atomic absorption spectrometry, microwave digestion, wild growing edible mushrooms, medicinal mushrooms, European white birch

## Obsah

1 Úvod.....	8
2 Literární rešerše.....	9
2.1 Charakteristika studovaných druhů hub.....	9
2.1.1 Kozák březový .....	9
2.1.2 Křemenáč březový .....	9
2.1.3 Březovník obecný .....	10
2.1.4 Rezavec šikmý .....	11
2.2 Obsah prvků v houbách.....	12
3 Metodika .....	17
3.1 Použité přístroje, chemikálie a další pomůcky .....	17
3.1.1 Přístroje .....	17
3.1.2 Chemikálie .....	17
3.1.3 Další pomůcky .....	17
3.2 Popis odběrových lokalit.....	18
3.3 Odběr a úprava vzorků .....	18
3.4 Atomová absorpční spektrometrie.....	19
3.4.1 Plamenová atomizace (F-AAS) .....	19
3.4.2 Elektrotermická atomizace (ET-AAS).....	20
3.5 Vlastní měření .....	20
3.6 Charakteristiky metod .....	21
4 Výsledky a diskuze .....	23
4.1 Obsah prvků ve vzorcích kozáku březového.....	23
4.2 Obsah prvků ve vzorcích křemenáče březového.....	28
4.3 Obsah prvků ve vzorcích březovníku obecného.....	32
4.4 Obsah prvků ve vzorcích rezavce šikmého .....	35
4.5 Obsah prvků ve vzorcích půd.....	37

5 Závěr .....	40
6 Seznam použité literatury.....	41
6.1 Odborné publikace .....	41
6.2 Internetové odkazy .....	45
6.3 Další zdroje .....	46
7 Seznam použitých zkratk.....	46

# 1 Úvod

Tato práce se věnuje stanovení obsahu vybraných prvků (Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, Zn) v plodnicích hub ekologicky vázaných na břízu bělokorou. Studovanými houbami jsou kozák březový (*Leccinum scabrum*), křemenáč březový (*Leccinum versipelle*), březovník obecný (*Piproporus betulinus*) a rezavec šikmý (*Inonotus obliquus*). Kozák březový a křemenáč březový jsou běžné jedlé houby, které vytváří mykorhizu s břízami. Březovník obecný a rezavec šikmý jsou parazitické dřevokazné houby specifické pro břízu a jsou jim přisuzovány léčivé účinky. Současně s mykorhizními houbami byly odebírány vzorky půd, což umožnilo následné stanovení biokoncentračních faktorů (BCF).

Odběr vzorků probíhal od července do září 2018. Vzorky hub a půd byly odebírány ve smíšených lesích na Šumavě ze dvou vybraných lokalit. První lokalitou byly lesy v okolí města Vimperk. Druhou zvolenou lokalitou byly smíšené lesy poblíž malé obce Kříšťánovice na Prachaticku.

Cílem této práce je stanovení vybraných prvků v plodnicích kozáku březového (*Leccinum scabrum*), křemenáče březového (*Leccinum versipelle*), březovníku obecného (*Piproporus betulinus*), rezavce šikmého (*Inonotus obliquus*) a ve vzorcích půd odebíraných přímo pod plodnicemi. Dalším cílem je stanovení biokoncentračních faktorů a zhodnocení schopnosti jednotlivých druhů hub akumulovat chemické prvky. Předpokládá se, že obsahy prvků v plodnicích hub budou výrazně druhově závislé. Některé druhy hub mohou přednostně akumulovat toxické a rizikové prvky (např. Cd, Pb, As), jiné naopak prvky s příznivými účinky na lidský organismus (např. Se, Zn).



## 2 Literární rešerše

### 2.1 Charakteristika studovaných druhů hub

#### 2.1.1 Kozák březový

Kozák březový (*Leccinum scabrum*) je jedlá houba z čeledi hřibovitých. Klobouk bývá 5 – 15 cm široký, má červenohnědou až hnědou barvu, je hladký a za vlhka slizký. Třeň je válcovitý, či mírně kyjovitý, 8 – 20 cm vysoký a 1 – 3 cm široký. Má bílou až naředlou barvu, na povrchu je pokrytý tmavými šupinkami. Dužina je rovněž bílá až naředlá a na řezu nemění barvu. Kozák březový vytváří mykorrhizu s břízami. Vyskytuje hojně od nížin po horské oblasti a roste od června do října (Grünert a Grünert, 1995, Hagara et al., 1999).



Obr. 1: Kozák březový (*Leccinum scabrum*) (mykologie.net).

#### 2.1.2 Křemenáč březový

Křemenáč březový (*Leccinum versipelle*) je jedlá houba z čeledi hřibovitých. Klobouk bývá 5 – 20 cm široký, má žlutooranžovou až červenooranžovou barvu (Gerhardt, 2003). Třeň je 8 – 20 cm vysoký a 2 – 6 cm široký. Má kyjovitý, nebo téměř válcovitý tvar, bělavou barvu a je na povrchu hustě pokryt nápadnými černými šupinkami. Dužina je bělavá, na řezu se zbarvuje až do fialově šedé barvy (Hagara et al., 1999). Křemenáč březový vytváří mykorrhizu s břízami. Hojněji se vyskytuje zejména v podhůří a horách. Roste v lese i mimo les, v mladých náletových porostech a také na rašeliništích (Papoušek, 2010).



Obr. 2: Křemenáč březový (*Leccinum versipelle*) (mykologie.net).

### 2.1.3 Březovník obecný

Březovník obecný (*Piptoporus betulinus*) je nejedlá parazitická houba charakteristická pro břízu. Klobouk bývá 5 – 20 cm široký, 2 – 5 cm silný, hladký, bělavý, později okrově hnědý až šedohnědý, tvarem připomínající kopyto či vějíř. Ke kmenům (či silnějším větvím) bříz je přirostlý třeňovitě zúženým bokem. Bílá dužina březovníku je zpočátku pevná těžká a šťavnatá, po usušení lehká křehká a lámavá. Březovník obecný je hojně rozšířený všude, kde rostou břízy, přičemž roste na živých i odumřelých stromech (Keizer, 1998, Hagara et al., 1999).



Obr. 3: Březovník obecný (*Piptoporus betulinus*) (mykologie.net).

V roce 1991 bylo v ledovci Val Senales v Itálii objeveno zachovalé tělo muže, který žil před více než 5000 lety. Muž byl pojmenován „Ötzi the Iceman“. U tohoto muže byly nalezeny dva úlomky plodnice březovníku obecného. Předpokládá se, že houba byla součástí Ötziho „lékárničky“, skutečný účel však nelze s jistotou určit (Pleszczyńska et al., 2017).

Březovník obecný má dlouhou tradici v lidovém léčitelství. Odvar z této houby byl populární zejména v Rusku, Maďarsku, Rumunsku a v pobaltských zemích pro své zklidňující účinky. Čaj z březovníku obecného byl používán na podporu imunity, na zklidnění trávicího ústrojí apod. Na poranění se přikládaly obklady z čerstvých plodnic, které měly mít antiseptický účinek a zmírňovat krvácení. Prášek ze sušených plodnic se používal proti bolesti (Pleszczyńska et al., 2017). De Jesus et al. (2017) izolovali z plodnic březovníku obecného  $\beta$ -D-glukany, které zlepšují hojení a potenciálně by mohly být používány v obvazových materiálech.

Moderní studie potvrzují léčivé účinky březovníku obecného. Objevují se důkazy, že březovník obecný má protizánětlivé, protiparazitické, protibakteriální, protirakovinné a další účinky (Pleszczyńska et al., 2017).

#### 2.1.4 Rezavec šikmý

Rezavec šikmý (*Inonotus obliquus*) je dřevokazná houba z čeledi kožovkovité (*Hymenochaetaceae*), která napadá živé stromy (duby, javory, olše, jilmy apod.) v místě poranění nebo suku, rozkládá jejich dřevo řadu let, aniž se to na povrchu projeví. Výhradně u bříz však tvoří až 30 cm široké černé tuhé nádory, které na stromě vytrvávají 10 i více let (Papoušek, 2010).



Obr. 4: Rezavec šikmý (*Inonotus obliquus*) (mykologie.net).

Rezavec šikmý (nazývaný také čága, anglicky: chaga) se vyskytuje v Evropě, Asii i Severní Americe. V Rusku, v Polsku a v Pobaltí se patrně od 16. století čága používala v tradičním léčení hlavně k léčbě řady nádorových onemocnění, onemocnění trávicího ústrojí, kardiovaskulárních, jaterních a infekčních chorob. V chudších oblastech Ruska, kde původní obyvatelé pravidelně pili odvar z rezavce šikmého (jako náhražku za čaj), byl zaznamenán mimořádně nízký výskyt rakovinových onemocnění (Gründemann et al., 2020, Navrátilová, 2016, Antonín et al., 2013). V současnosti je relativně velká pozornost věnována zejména protirakovinným účinkům rezavce šikmého a objevuje se řada studií, které tyto účinky potvrzují (Gründemann et al., 2020). Například Arata et al. (2016) uvádí možnost použití vodného extraktu této houby k léčbě rakoviny plic. Rezavec šikmý dále vykazuje antimutagenní, antibakteriální, antidiabetické, antioxidační a protizánětlivé účinky (Navrátilová, 2016, Javed et al., 2019, Gil et al., 2018).

## 2.2 Obsah prvků v houbách

První zmínky o chemickém složení hub jsou více než 100 let staré, většina studií se však začala objevovat zejména po roce 1970, což souvisí s rozvojem analytických metod. Akumulaci prvků v plodnicích hub ovlivňuje řada faktorů. Mezi hlavní faktory patří: složení substrátu, znečištění prostředí a způsob života houby (saprotrofie, ektomykorhiza). Bioakumulace je také vysoce prvkově a druhově specifická (Falandysz a Borovička, 2013).

V minulosti byly v České republice stanoveny nejvyšší přípustné obsahy těžkých kovů pro volně rostoucí a pěstované houby vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č.53/2002 Sb. Tato vyhláška byla zrušena v roce 2004 (Kalač, 2008). Současná legislativa však limity rizikových prvků v jedlých houbách neuvádí. Evropská legislativa v nařízení komise (ES) č. 1881/2006 udává limity pouze pro Cd (0,20 mg/kg) a Pb (0,30 mg/kg) v pěstovaných houbách. V tab. 1 jsou uvedeny maximální přípustné limity těžkých kovů podle zrušené vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č.53/2002 Sb.

Tab. 1: Maximální přípustné obsahy těžkých kovů v jedlých houbách (vyhláška MZ č.53/2002 Sb.).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<sup>c</sup> (mg/kg)	3	0,2	4	80	0,5	6	1	80

Kalač (2019) uvádí detailní informace o akumulaci prvků a prvkovém zastoupení ve volně rostoucích houbách. V tab. 2 jsou shrnuty obvyklé obsahy prvků (studovaných v této práci) v houbách tak, jak je uvádí Kalač (2019).

Zhang et al. (2010) stanovovali obsahy prvků v plodnicích hříbu smrkového (*Boletus edulis*) sbíraných ze stejné lokality po dobu dvou let a pozorovali rozdíl v prvkovém zastoupení. Obsahy Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na a Zn byly během obou let podobné, ale lišily se obsahy Al, Ba, Ca, Cd, Hg a Sr. Zhang et al. (2010) došli k závěru, že biologické vlivy spojené s myceliem a rozdílné povětrnostní podmínky během let mohou vést ke kolísání obsahů některých prvků v plodnicích volně rostoucích hub. Kolísání obsahů některých prvků popisují také Gucia et al. (2012) v plodnicích bedly vysoké (*Macrolepiota procera*).

Schopnost houby akumulovat určitý prvek lze vyjádřit pomocí biokoncentračního faktoru (BCF). BCF je poměr obsahu prvku v sušině plodnice k obsahu v sušině substrátu (Kalač, 2008). BCF některých prvků mohou v houbách dosahovat relativně vysokých hodnot. Mleczek et al. (2013) pozorovali vysoké BCF pro Cd, Cu, Hg, Sr a Zn v plodnicích křemenáče osikového (*Leccinum aurantiacum*), hříbu hnědého (*Xerocomus badius*), ryzce pravého (*Lactarius deliciosus*), hříbu smrkového (*Boletus edulis*), lišky obecné (*Cantharellus cibarius*) a klouzku obecného (*Suillus luteus*). Kupříkladu BCF stanovené v plodnicích křemenáče osikového činily pro Cd 9,8 (nejvýše až 19,7) a pro Hg 150,4 (nejvýše až 224,7). Giannaccini et al. (2012), kteří studovali houby z provincie Lucco v Itálii, uvádějí, že hřib smrkový (*Boletus edulis*) přednostně akumuloval Se (BCF v rozmezí 14 – 153) a bedla vysoká (*Macrolepiota procera*) Cu (BCF v rozmezí 5 – 15).

Tab. 2: Obvyklé obsahy prvků v sušině volně rostoucích hub (Kalač, 2019).

	c (mg/kg)
Ag	< 2
Al	< 25 - 500
As	< 2
Be	< 0,1
Ca	50 - 1000
Cd	< 1 - 15
Co	< 0,2 - 10
Cr	0,5 - 10
Cs	< 2 - 10
Cu	< 10 - 75
Fe	< 50 - 1000
Li	< 1,5
Mg	< 500 - 1500
Mn	< 25 - 75
Ni	0,5 - 5
Pb	< 5
Rb	< 25 - 500
Se	< 0,5 - 5
Sr	< 2 - 5
Tl	< 0,3
Zn	< 25 - 125

Zhang et al. (2013) stanovovali obsahy stopových prvků v plodnicích kozáku březového (*Leccinum scabrum*) odebíraných v Sudetském pohoří v Polsku. Určili obsahy Ag, Co, Cr, Hg, Ni a Sr nižší než 1,0 mg/kg, oproti tomu obsahy Fe, Na, Rb a Zn ležely v rozmezí 100 – 500 mg/kg. Mleczek et al. (2015a) pozorovali bioakumulaci Cu v plodnicích kozáku březového po dobu tří let (2011 – 2013). BCF určili v intervalech 8,1 – 14,2 (2011), 5,0 – 10,5 (2012) a 4,2 – 16,4 (2013). Mleczek et al. (2015b) uvádějí, že v plodnicích kozáku březového z jihovýchodu Polska byly akumulovány (BCF > 1) prvky: Ag, Cd, Co, Cu, Hg, Ni a Zn. Mleczek et al. (2016) pozorovali v plodnicích kozáku březového sbíraných v blízkosti frekventované silnice bioakumulaci Cu, Se a Zn. García et al. (2009) určovali obsahy a biokoncentrační faktory Pb v plodnicích hub sbíraných v provincii Lugo ve Španělsku. Obsah Pb stanovili  $1,2 \pm 0,47$  mg/kg pro hymenofory a  $1,4 \pm 0,48$  mg/kg pro zbytek plodnic kozáku březového, přičemž BCF stanovili 0,072 pro hymenofory a 0,085 pro zbytek plodnic. Falandysz (2018) určoval minerální složení plodnic kozáku březového sbíraných v nížinách ve Střední Evropě. Uvádí obsahy (vyjádřené jako medián) v kloboucích pro Mg (880 – 1000 mg/kg), Ca (48 – 210 mg/kg), Al (15 – 120 mg/kg) a Rb (90 – 320 mg/kg). Relativně nízké mediány obsahů stanovil pro rizikové prvky v kloboucích: Ag (0,48 – 0,98 mg/kg), Cd (1,0 – 5,8 mg/kg), Hg (0,36 – 0,59 mg/kg) a Pb (0,20 – 0,91 mg/kg). Mědyk et al. (2018) stanovovali prvky v plodnicích kozáku březového, které sbírali ze stejné lokality po dobu čtyř let. Jejich výsledky ukazují, že v plodnicích byly akumulovány prvky: Cd, Cu, Hg, K, Mg, Na, Rb a Zn.

Mědyk et al. (2017) studovali obsahy prvků v plodnicích kozáku březového i křemenáče březového. V plodnicích kozáku březového stanovili obsahy Ag ( $0,43 \pm 0,35$  mg/kg), Cd ( $2,0 \pm 1,4$  mg/kg) a Pb ( $2,1 \pm 2,0$  mg/kg), v plodnicích křemenáče březového Ag ( $0,60 \pm 0,39$  mg/kg), Cd ( $3,6 \pm 4,2$  mg/kg) a Pb ( $2,4 \pm 1,2$  mg/kg). K podobným výsledkům dospěli Brzezicha-Cirocka et al. (2019), kteří také studovali obě zmíněné houby. V plodnicích kozáku březového určili obsahy Ag ( $0,47 \pm 0,47$  mg/kg), Cd ( $1,45 \pm 1,44$  mg/kg) a Pb ( $1,82 \pm 1,53$  mg/kg), v plodnicích křemenáče březového Ag ( $0,51 \pm 0,27$  mg/kg), Cd ( $5,90 \pm 5,21$  mg/kg) a Pb ( $2,44 \pm 1,23$  mg/kg). Petkovšek a Pokorný (2013) stanovovali Cd a Pb v plodnicích hub v blízkosti dvou velkých zdrojů znečištění – tepelné elektrárny a opuštěné hutě. V plodnicích křemenáče březového z okolí tepelné elektrárny pozorovali obsahy Cd v rozmezí 0,21 – 0,85 a Pb 0,42 – 1,95 mg/kg. Pro plodnice z okolí hutě stanovili Cd v rozmezí 4,03 – 44,8 mg/kg a Pb 2,79 – 45,8 mg/kg. Vysoký

obsah Cd (medián 9,8 mg/kg, rozmezí 0,97 – 57 mg/kg) zaznamenali také Brzezicha-Cirocka et al. (2016) v oblasti Tarnobřežské Roviny v Polsku.

Informací o prvkovém zastoupení v plodnicích březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*) a rezavce šikmého (*Inonotus obliquus*) je podstatně méně než v případě mykorhizních hub. Chen et al. (2009) stanovili v případě rezavce šikmého vysoké obsahy Mg (1127,80 mg/kg), Ca (726,00 mg/kg), Fe (213,33 mg/kg), Mn (117,84 mg/kg) a Zn (88,13 mg/kg). Szymański et al. (2019) studovali prvkové zastoupení v šesti druzích hub rostoucích na bříze. V plodnicích rezavce šikmého stanovili vysoké obsahy Ca ( $843 \pm 178$  mg/kg), Mg ( $716 \pm 56$  mg/kg), Mn ( $229 \pm 21$  mg/kg) a Rb ( $453 \pm 24$  mg/kg). Obsahy Fe ( $8,9 \pm 1,7$  mg/kg) a Zn ( $33,5 \pm 1,3$  mg/kg) však udávají podstatně nižší než Chen et al. (2009). V případě březovníku obecného Szymański et al. (2019) zaznamenali relativně vysoký obsah Zn ( $144 \pm 7$  mg/kg), pro Ca a Mg uvádějí podobné údaje jako v případě rezavce šikmého.



## 3 Metodika

### 3.1 Použité přístroje, chemikálie a další pomůcky

#### 3.1.1 Přístroje

Atomový absorpční spektrometr (AAS) Thermo Scientific iCE 3500

- Thermo Fisher Scientific, Cambridge, Velká Británie

Analytické váhy Kern 770 (max. 120 g)

- Kern & Sohn GmbH, Balingen, Spolková republika Německo

Aparatura pro přípravu demineralizované vody Milli – Q water system

- Millipore S. A., Molsheim, Francie

Mikrovlnný mineralizátor Mars 5

- CEM Corporation, Matthews, North Carolina, USA

Filtrační aparatura

- Millipore S. A., Molsheim, Francie

Laboratorní mlýn

- VIPO, Partizánské, Slovenská republika

#### 3.1.2 Chemikálie

ICP multi-element standard solution (koncentrace prvků 1000 mg/l)

- Merck, Darmstadt, Spolková republika Německo

Kyselina dusičná  $\text{HNO}_3$  o čistotě „suprapur“ (65 %)

- Merck, Darmstadt, Spolková republika Německo

#### 3.1.3 Další pomůcky

Grafitové kyvety s prodlouženou životností

- Thermo Fisher Scientific, Dreieich, Spolková republika Německo

Analytické síto (velikost ok 0,5 mm)

- Stavební strojírenství n. p. Brno, závod Ivančice, Česká republika

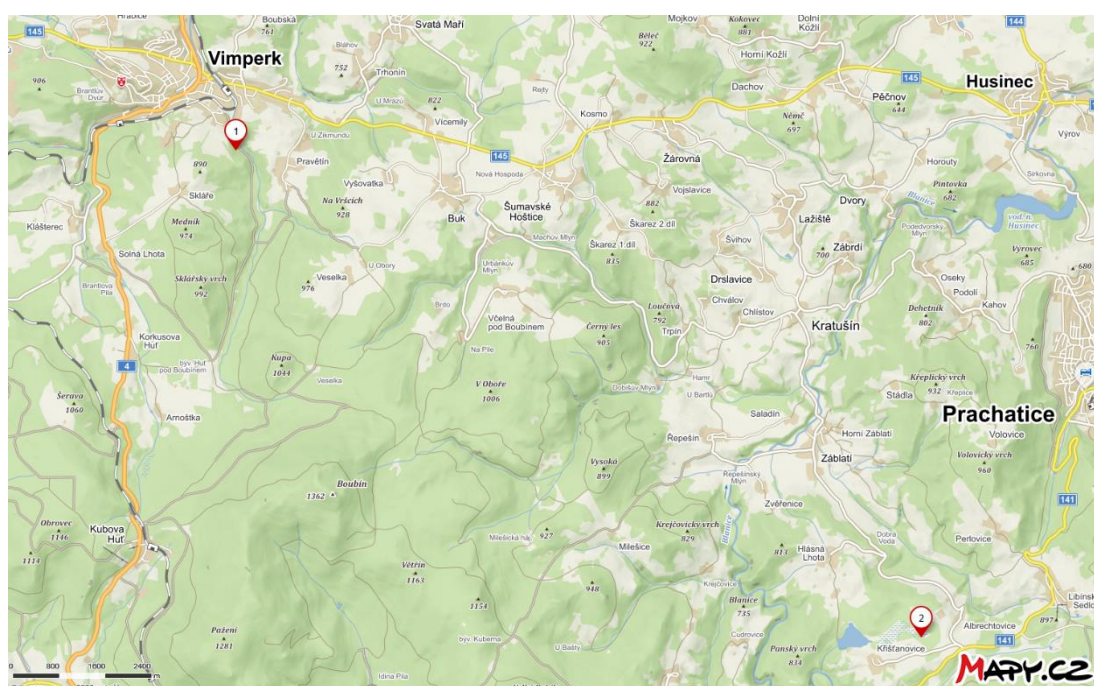
Plastové vzorkovnice k uchování homogenizovaných vzorků hub a půd

Filtry ze slisovaných skleněných vláken (velikost pórů 1,2  $\mu\text{m}$ )

- Macherey-Nagel GmbH, Düren, Spolková republika Německo

## 3.2 Popis odběrových lokalit

Odběr vzorků probíhal ve dvou lokalitách na Šumavě. První lokalitou jsou smíšené lesy v okolí do 5 km od města Vimperk (49°3'9''N, 13°46'27''E). Vimperk má přibližně 7400 obyvatel. Na okraji města se v blízkosti lesů vyskytují zejména rodinné domy či drobné zahrádkářské kolonie. Druhou lokalitou je smíšený les poblíž malé obce Křišťánovice (48°57'53''N, 13°56'48''E) na Prachaticku. Les je z velké části prostoupen mokřadem, který je spojen s nedalekým Křišťánovickým rybníkem. Nadmořská výška odběrových míst se pohybuje v rozmezí 700 – 1000 m. Lokality jsou znázorněny na obr. 5.



Obr. 5: Znázornění míst odběru vzorků (mapy.cz).

## 3.3 Odběr a úprava vzorků

Odběr vzorků probíhal od července do září 2018. Celkem bylo získáno 11 plodnic kozáku březového (*Leccinum scabrum*), 5 křemenáčů březových (*Leccinum versipelle*), 12 březovníků obecných (*Piptoporus betulinus*) a 11 rezavců šikmých (*Inonotus obliquus*), přičemž 5 vzorků kozáku březového, 5 křemenáčů březových a 5 březovníků obecných bylo odebráno v lokalitě poblíž Křišťánovic, ostatní vzorky pocházely z okolí Vimperka. U mykorrhizních hub byly současně odebírány vzorky půd, kvůli určení biokoncentračního faktoru (BCF).

Plodnice hub byly pečlivě očištěny, nakrájeny na plátky keramickým nožem a následně sušeny při laboratorní teplotě. Usušené plodnice (klobouk a třeh dohromady) byly pak rozemlety pomocí laboratorního mlýnu. Rozemleté vzorky hub bylo následně nutné převést do roztoku pomocí mikrovlnného rozkladu. Do teflonových nádobek bylo odváženo na analytických vahách přesně asi 0,5 g vzorku a přidáno 10 ml koncentrované  $\text{HNO}_3$ . Na mikrovlnném mineralizátoru byl zvolen program „rozklad rostlinného materiálu“. V průběhu rozkladu se nejprve pozvolna zvyšoval tlak a teplota uvnitř teflonových nádobek (20 min). V následující fázi přístroj pracoval s maximálním výkonem (10 min). Poté program končil fází chlazení (5 min). Po ochlazení byly rozložené vzorky hub kvantitativně převedeny do 50ml odměrné baňky a doplněny po rysku demineralizovanou vodou. Takto připravené roztoky byly uchovávány v lednici v plastových nádobkách.

Přímo pod plodnicemi hub byla odebírána vrchní vrstva půdy do hloubky 10 cm. Vzorky půd byly rovněž sušeny při laboratorní teplotě. Následně byly homogenizovány v třecí misce a prosívány přes síto s velikostí ok 0,5 mm. Proseté vzorky půd byly následně převedeny do roztoku shodným způsobem jako vzorky hub. Do teflonových nádobek bylo odváženo na analytických vahách přesně asi 0,5 g vzorku a přidáno 10 ml koncentrované  $\text{HNO}_3$ . Na mikrovlnném mineralizátoru byl zvolen program „rozklad rostlinného materiálu“. Po ochlazení byly rozložené vzorky půd kvantitativně převedeny do 50ml odměrné baňky, doplněny po rysku demineralizovanou vodou a filtrovány za sníženého tlaku pomocí aparatury Millipore S. A. s membránovým filtrem ze skleněných vláken s velikostí pórů 1,2  $\mu\text{m}$ . Takto upravené vzorky půd byly uchovávány v plastových nádobkách v lednici.

## **3.4 Atomová absorpční spektrometrie**

### **3.4.1 Plamenová atomizace (F-AAS)**

V atomové absorpční spektrometrii s plamenovou atomizací se využívá směsi paliva a oxidovadla. Palivem je obvykle acetylen a oxidovadlem vzduch, nebo oxid dusný. Vzorek je do plamene přiváděn pomocí pneumatických zmlžovačů, či alternativně využitím vysokotlakých hydraulických zmlžovačů. Koncentrace volných atomů analytu je různá v různých výškách nad hranou hořáku. Kvůli dosažení maximální citlivosti je třeba měření provádět v oblasti s nejvyšší koncentrací volných

atomů. Metoda atomové absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací má nižší citlivost (asi o tři řády koncentrace) v porovnání s variantou s elektrotermickou atomizací. Mezi výhody metody však patří velká rychlost analýzy a nižší vliv interferujících složek matrice (Křížek a Šíma, 2015).

### 3.4.2 Elektrotermická atomizace (ET-AAS)

Elektrotermické atomizátory (ETA) jsou odporově vyhřívané kyvety, které se nejčastěji vyrábějí z pyrolytického grafitu či polykrystalického elektrografitu (Welz a Sperling, 1999). Výhodou ETA je výrazně vyšší citlivost než v případě plamenové atomizace. Kyveta je vyhřívána v atmosféře argonu. Ohřev probíhá podle teplotního programu, který má tři základní fáze: sušení vzorku, pyrolýza matrice, atomizace analytu. Při pyrolýze matrice je možné pro stabilizaci analytu použít modifikátor (např. Pd) (Křížek a Šíma, 2015). Při měření může docházet k tzv. nespecifické absorpci pozadí. Jedná se o nežádoucí molekulární absorpci záření a rozptýl na nevypařených částicích, což může vést ke zkreslení výsledků. K odstranění těchto nežádoucích vlivů se používá Zeemanova, nebo deuteriová korekce pozadí (Welz a Sperling, 1999). Po ukončení měřicího cyklu dochází k vyčištění atomizátoru vypálením a k následnému ochlazení. Signál má tvar píku a je možné vyhodnocovat jeho výšku nebo plochu (Křížek a Šíma, 2015).

## 3.5 Vlastní měření

Měření probíhalo na atomovém absorpčním spektrometru Thermo Scientific iCE 3500 (obr. 6). Pro stanovení Ca, Cu, Fe, Mg, Mn a Zn byla použita atomová absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací, k určení Cs, Li, Rb a Sr byl spektrometr nastaven v režimu emise. V případě Ca a Sr byl plamen realizován směsí oxid dusný a acetylen ( $N_2O/C_2H_2$ ), v ostatních případech sloužil jako oxidant vzduch. Délka hořáku byla 5 cm a při měření v plamenu (F-AAS) byla zvolena deuteriová korekce nespecifické absorpce pozadí.



Obr. 6: AAS Thermo Scientific iCE 3500 (foto: Jiří Krejsa).

Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací byla použita pro stanovení Ag, Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, Se a Tl. Signál byl vyhodnocován z ploch píků, pouze při stanovení Pb a Se byly vyhodnocovány výšky píků. Do atomizátoru bylo dávkováno 20  $\mu\text{l}$  vzorku, v případě Ag, Al, Cd a Cr byl dávkovaný objem vzorku 10  $\mu\text{l}$ . Při stanovení As a Se bylo společně se vzorkem dávkováno 10  $\mu\text{l}$  modifikátoru matrice (roztok Pd o koncentraci 1 g/l). Měření v režimu elektrotermické atomizace probíhalo s použitím Zeemanovy korekce nespecifické absorpce pozadí. Všechny vzorky byly stanovovány ve třech opakováních.

### 3.6 Charakteristiky metod

V tab. 3 jsou shrnuty charakteristiky metod AAS použitých při stanovení obsahu prvků ve vzorcích. Přesnost (podle starší terminologie správnost) byla vyjádřena jako výtěžnost, preciznost (podle starší terminologie přesnost) jako opakovatelnost. Mez detekce (LOD) a mez stanovitelnosti (LOQ) byly určeny na základě  $3\sigma$  a  $10\sigma$  kritéria.

Tab. 3: Shrnutí charakteristik použitých metod AAS.

	LOD	LOQ	Citlivost	KK	Preciznost	Přesnost
	(mg/kg)	(mg/kg)	(l/mg)		(%)	(%)
Ag	0,003	0,01	0,0106 <sup>a</sup>	0,9953	3,51	103,1
Al	0,07	0,22	0,0003 <sup>a</sup>	0,9907	2,73	98,6
As	0,02	0,05	0,0034 <sup>a</sup>	0,9951	2,51	102,9
Be	0,002	0,005	0,0648 <sup>a</sup>	0,9975	5,10	95,5
Ca	0,90	3,00	0,0249	0,9995	0,41	101,6
Cd	0,01	0,04	0,0031 <sup>a</sup>	0,9963	3,23	101,4
Co	0,01	0,02	0,0098 <sup>a</sup>	0,9964	3,15	97,1
Cr	0,004	0,01	0,0138 <sup>a</sup>	0,9997	0,74	95,5
Cs	0,15	0,50	68,044	0,9985	1,27	97,8
Cu	1,53	5,10	0,0180	0,9997	0,25	101,1
Fe	2,00	6,67	0,0054	0,9975	0,29	100,8
Li	0,02	0,08	455,46	0,9999	0,16	103,3
Mg	2,18	7,26	0,0180	0,9964	0,26	101,7
Mn	0,96	3,20	0,0171	0,9997	0,72	98,9
Ni	0,02	0,06	0,0034 <sup>a</sup>	0,9994	0,21	97,5
Pb	0,003	0,01	23,484	0,9990	2,28	98,3
Rb	0,05	0,16	9,2584	0,9952	0,78	101,8
Se	0,03	0,10	1,5940	0,9979	4,28	95,6
Sr	0,05	0,16	78,120	0,9998	1,16	96,0
Tl	0,03	0,10	0,0022 <sup>a</sup>	0,9876	5,25	94,5
Zn	0,60	2,00	0,0298	0,9976	0,25	106,0

<sup>a</sup> (s·l/μg)

## 4 Výsledky a diskuze

### 4.1 Obsah prvků ve vzorcích kozáku březového

V tab. 4 jsou shrnuty výsledky stanovení prvků ve vzorcích kozáku březového (*Leccinum scabrum*) z obou studovaných lokalit. Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), směrodatná odchylka (SD) a rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální). Hodnoty v tab. 4 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

Ve vzorcích kozáku březového byly stanoveny vysoké obsahy Mg ( $807 \pm 121$  mg/kg) a Ca ( $71,4 \pm 29,4$  mg/kg). Takový výsledek byl očekáván vzhledem k tomu, že tyto prvky patří mezi hlavní minerální složky volně rostoucích hub (Kalač, 2016). Dále byly pozorovány vysoké obsahy Fe ( $60,7 \pm 17,7$  mg/kg), Zn ( $94,0 \pm 24,8$  mg/kg) a Rb ( $151 \pm 73,8$  mg/kg). Vysoký obsah Rb je typický pro houby z čeledi hřibovité (*Boletaceae*) (Kalač, 2019). Možným vysvětlením je schopnost rubidia vázat se jako kation na hnědé pigmenty (norbadion A a badion A) obsažené v kloboucích hřibovitých hub, kde může nahrazovat draslík (Šíma et al., 2019). Obsah Be a Tl se nacházel pod mezí stanovitelnosti (0,005 mg/kg a 0,10 mg/kg). Dále byly zaznamenány nízké obsahy As ( $0,23 \pm 0,08$  mg/kg), Cr ( $0,13 \pm 0,08$  mg/kg) a Pb ( $0,08 \pm 0,07$  mg/kg). Relativně nízké byly také obsahy Cd ( $1,86 \pm 1,68$  mg/kg) a Ni ( $1,16 \pm 0,64$  mg/kg). Obsah Cd odpovídá výsledku Mleczecka et al. (2015b)  $1,998 \pm 1,032$  mg/kg, kteří stanovovali obsah prvků ve vzorcích kozáku březového z jihozápadní části Polska. Vyšší hodnoty však určili v případě As ( $3,545 \pm 2,920$  mg/kg), Cr ( $1,611 \pm 0,584$  mg/kg), Ni ( $9,295 \pm 2,623$  mg/kg) a Pb ( $1,228 \pm 0,253$  mg/kg). Výrazně vyšší obsah Pb uvádějí také García et al. (2009) pro vzorky z provincie Lugo na severozápadě Španělska. Obsah Pb stanovili  $1,2 \pm 0,47$  mg/kg pro hymenofory a  $1,4 \pm 0,48$  mg/kg pro zbytek plodnic. Obsahy Ag, Cr a Co korespondují s výsledky, které pozorovali Zhang et al. (2013) v případě kozáku březového ze Sudetského pohoří v Polsku. V kloboucích stanovili Ag ( $0,69 \pm 0,20$  mg/kg), Cr ( $0,50 \pm 0,27$  mg/kg) a Co ( $0,13 \pm 0,14$  mg/kg), přičemž pro klobouky byly pozorovány vyšší obsahy těchto prvků než ve třeni. Obsah Rb uvádějí v rozsahu 130 – 920 mg/kg v klobouku a 45 – 200 mg/kg ve třeni.

Tab. 4: Obsahy prvků ve vzorcích kozáku březového.

	c	SD	Rozsah
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Ag	0,65	0,30	0,20 - 1,05
Al	37,60	19,30	15,2 - 85,3
As	0,23	0,08	0,09 - 0,39
Be	< 0,005	-	-
Ca	71,4	29,4	25,9 - 126
Cd	1,86	1,68	0,42 - 5,58
Co	0,27	0,24	0,03 - 0,81
Cr	0,13	0,08	0,04 - 0,28
Cs	13,6	7,69	9,51 - 37,6
Cu	25,6	17,8	10,1 - 72,4
Fe	60,7	17,7	28,3 - 93,2
Li	0,44	0,04	0,38 - 0,50
Mg	807	121	(0,64 - 1,06) · 10 <sup>3</sup>
Mn	7,19	3,10	3,10 - 13,7
Ni	1,16	0,64	0,40 - 2,53
Pb	0,08	0,07	0,02 - 0,24
Rb	151	73,8	68,3 - 286
Se	0,48	0,08	0,33 - 0,58
Sr	2,35	0,25	1,95 - 2,75
Tl	< 0,10	-	-
Zn	94,0	24,8	35,1 - 119

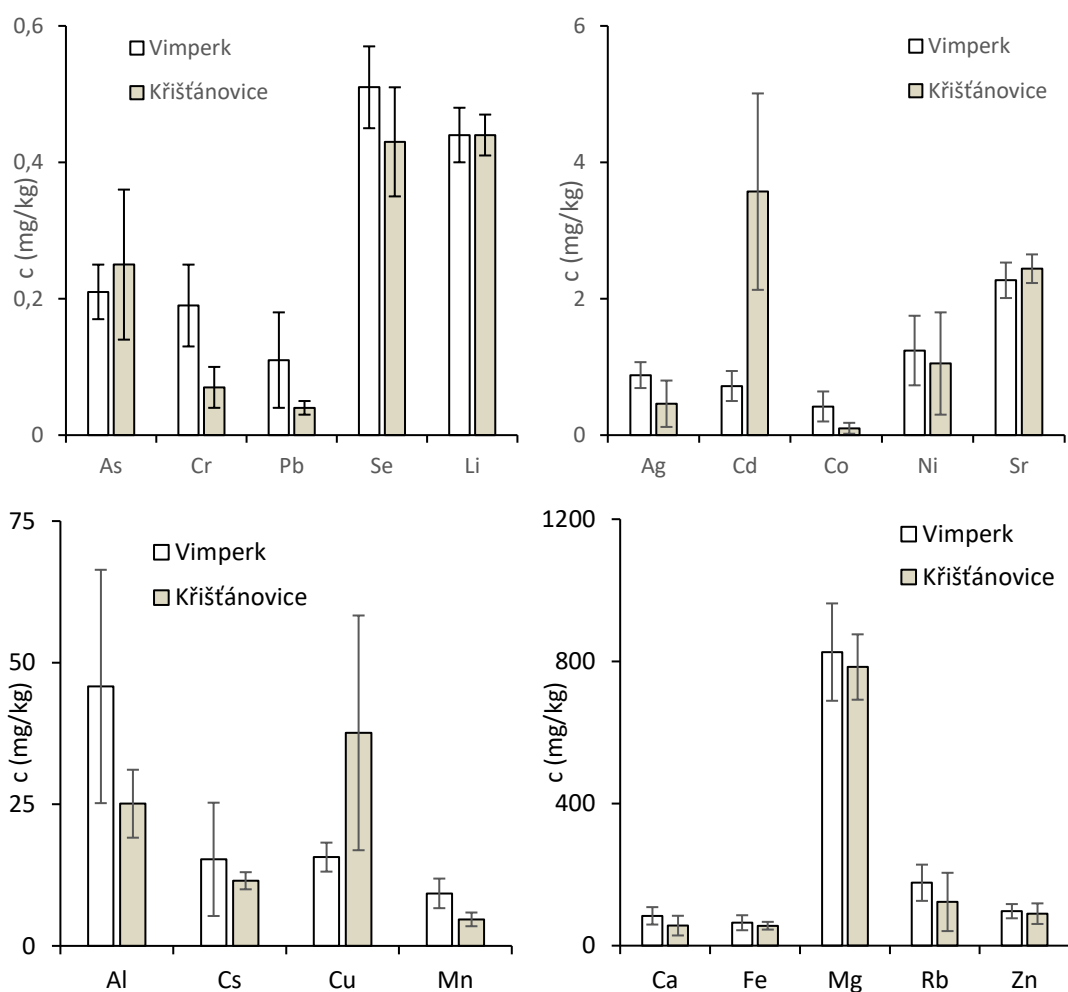


V tab. 5 jsou shrnuty biokoncentrační faktory určené pro vzorky kozáku březového (*Leccinum scabrum*) z obou studovaných lokalit. Každému prvku je přiřazen průměrný biokoncentrační faktor (BCF), směrodatná odchylka (SD) a rozsah stanovených biokoncentračních faktorů (minimální – maximální).

Biokoncentrační faktory vyšší než 1,0 byly stanoveny pro Ag (22,5), Cd (4,70), Cs (3,20), Cu (1,68), Rb (5,54), Se (1,96) a Zn (1,38). Pozoruhodný je zejména vysoký BCF pro Ag, avšak přihlédneme-li k tomu, že se obsah tohoto prvku ve vzorcích kozáku březového pohyboval v rozmezí 0,20 – 1,05 mg/kg, akumulace stříbra v plodnicích by neměla představovat výrazné zdravotní riziko. Oproti tomu akumulace Zn a Se může být z výživového hlediska vnímána pozitivně. Vyšší BCF stanovili Mleczek et al. (2016) pro Se (10,62) a Zn (5,97). Velmi nízké BCF byly pozorovány v případě Al (0,003), Cr (0,004) a Pb (0,003). Pro Be a Tl nebylo možné BCF určit, protože obsahy těchto prvků v plodnicích byly nižší než příslušné meze stanovitelnosti. Mleczek et al. (2015b) uvádějí rozsahy BCF pro Ag (9,8 – 32,2), Cd (1,8 – 11,8) a Zn (2,1 – 3,1). Dále stanovili BCF vyšší než 1 pro Co (2,9 – 4,3) a Ni (2,5 – 4,6); v této práci byly však určeny pro Co (0,046) a Ni (0,06) výrazně nižší. Mleczek et al. (2015a) studovali akumulaci Cu pro 18 druhů volně rostoucích druhů hub sbíraných ve Velkopolském vojvodství po dobu tří let. BCF uvádějí v rozmezí 4,2 – 16,4, což je podstatně více, než bylo zjištěno v této práci (0,46 – 4,03), oba výsledky se však shodují, že Cu je v plodnicích kozáku březového bioakumulována. Falandysz (2018) stanovoval obsahy prvků v kozáku březovém z pěti oblastí v Polsku. Uvádí, že v plodnicích byly bioakumulovány prvky Cd, Cu, Mn, Rb a Zn a míra akumulace se lišila v závislosti na lokalitě. To je v souladu s výsledky této práce s výjimkou Mn, u kterého byl BCF určen v rozsahu 0,01 – 0,58.

Tab. 5: Biokoncentrační faktory určené pro vzorky kozáku březového.

	BCF	SD	Rozsah
Ag	22,5	16,1	1,9 - 51,2
Al	0,003	0,002	0,001 - 0,007
As	0,045	0,024	0,016 - 0,085
Be	-	-	-
Ca	0,30	0,27	0,04 - 0,67
Cd	4,70	3,44	1,41 - 11,8
Co	0,046	0,024	0,018 - 0,106
Cr	0,004	0,002	0,002 - 0,007
Cs	3,20	2,36	1,19 - 7,54
Cu	1,68	1,41	0,46 - 4,03
Fe	0,007	0,008	0,001 - 0,024
Li	0,09	0,12	0,01 - 0,34
Mg	0,48	0,25	0,25 - 0,94
Mn	0,12	0,17	0,01 - 0,58
Ni	0,06	0,03	0,02 - 0,11
Pb	0,003	0,002	0,001 - 0,020
Rb	5,54	4,88	1,63 - 16,9
Se	1,96	1,46	0,51 - 5,00
Sr	0,25	0,18	0,02 - 0,60
Tl	-	-	-
Zn	1,38	0,71	0,59 - 2,98



Obr. 7: Porovnání obsahu prvků v plodnicích kozáku březového (*Leccinum scabrum*) v závislosti na lokalitě.

Na obr. 7 je znázorněno porovnání obsahů prvků v plodnicích kozáku březového vzhledem k lokalitě, kde byly odebrány. Pro lepší přehlednost jsou prvky sruženy do dílčích grafů podle podobné úrovně koncentrací. Ve smíšených lesích v okolí města Vimperk byly v porovnání s druhou lokalitou zaznamenány vyšší obsahy Cr ( $0,19 \pm 0,06$  mg/kg), Pb ( $0,11 \pm 0,07$  mg/kg), Ag ( $0,88 \pm 0,19$  mg/kg), Co ( $0,42 \pm 0,22$  mg/kg) a Al ( $45,8 \pm 20,6$  mg/kg). Oproti tomu v plodnicích z lokality poblíž obce Křišťánovice byly stanoveny výrazně vyšší obsahy Cd ( $3,57 \pm 1,44$  mg/kg) a Cu ( $37,61 \pm 20,72$  mg/kg).

## 4.2 Obsah prvků ve vzorcích křemenáče březového

V tab. 6 jsou shrnuty výsledky stanovení prvků ve vzorcích křemenáče březového (*Leccinum versipelle*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), směrodatná odchylka (SD) a rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální). Hodnoty v tab. 6 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

Výsledky získané pro vzorky křemenáče březového (*Leccinum versipelle*) jsou celkově srovnatelné s obsahy prvků pro kozák březový (*Leccinum scabrum*). Opět byly stanoveny vysoké obsahy Ca ( $85,6 \pm 14,7$  mg/kg), Mg ( $740 \pm 36$  mg/kg), Fe ( $73,6 \pm 10,4$  mg/kg), Rb ( $197 \pm 28$  mg/kg) a Zn ( $135 \pm 46$  mg/kg). Vysoké obsahy Ca, Mg a Rb lze vysvětlit stejnými způsoby jako v předchozím případě. Obsah Be ( $0,01 \pm 0,01$  mg/kg) se nachází v blízkosti meze stanovitelnosti a obsah Tl v jednotlivých vzorcích nebylo možné stanovit. Obsah Cs byl u tří vzorků křemenáče březového nižší než mez stanovitelnosti, v tab. 6 je tedy uveden pouze rozsah stanovených koncentrací  $<0,50 - 14,9$  mg/kg. Ve srovnání s výsledky pro kozák březový byly zjištěny nižší obsahy Cd ( $0,55 \pm 0,15$  mg/kg) a olova ( $0,02 \pm 0,01$  mg/kg). Oproti tomu vyšší obsahy byly naměřeny v případě Ag ( $1,36 \pm 0,21$  mg/kg), Cu ( $48,3 \pm 8,7$  mg/kg) a Ni ( $1,93 \pm 1,56$  mg/kg). Poměrně nízký obsah As ( $0,16 \pm 0,03$  mg/kg) nenaznačuje riziko pro lidské zdraví.

Výsledky této práce korespondují s hodnotami, které uvádějí Brzezicha-Cirocka et al. (2019) pro Cr ( $0,10 \pm 0,08$  mg/kg), Fe ( $57,2 \pm 44,4$  mg/kg), Mg ( $800 \pm 260$  mg/kg) a Zn ( $116 \pm 63$  mg/kg). Dále pak uvádějí obsahy Ag ( $0,51 \pm 0,27$  mg/kg) a Pb ( $2,44 \pm 1,23$  mg/kg). Výrazně vyšší obsah Cd (medián  $9,8$  mg/kg) zaznamenali Brzezicha-Cirocka et al. (2016) v oblasti Tarnobřežské Roviny v Polsku. V porovnání s touto prací uvádějí Mędyk et al. (2017) nižší obsahy Ag ( $0,60 \pm 0,39$  mg/kg), avšak vyšší obsahy Cd ( $3,6 \pm 4,2$  mg/kg) a Pb ( $2,4 \pm 1,2$  mg/kg).

Tab. 6: Obsahy prvků ve vzorcích křemenáče březového.

	c	SD	Rozsah
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Ag	1,36	0,21	1,11 - 1,66
Al	21,7	6,8	13,2 - 32,0
As	0,16	0,03	0,09 - 0,19
Be	0,01	0,01	0,01 - 0,02
Ca	85,6	14,7	65,7 - 108
Cd	0,55	0,15	0,39 - 0,83
Co	0,20	0,07	0,10 - 0,32
Cr	0,09	0,05	0,05 - 0,18
Cs	-	-	< 0,50 - 14,9
Cu	48,3	8,7	36,5 - 61,4
Fe	73,6	10,4	57,1 - 86,7
Li	0,39	0,02	0,37 - 0,41
Mg	740	36	689 - 790
Mn	3,69	2,41	2,03 - 7,00
Ni	1,93	1,56	0,35 - 4,90
Pb	0,02	0,01	0,01 - 0,03
Rb	197	28	157 - 236
Se	0,52	0,06	0,45 - 0,63
Sr	2,28	0,23	1,88 - 2,55
Tl	<0,10	-	-
Zn	135	46	71 - 209

V tab. 7 jsou shrnuty biokoncentrační faktory určené pro vzorky křemenáče březového (*Leccinum versipelle*). Každému prvku je přiřazen průměrný biokoncentrační faktor (BCF), směrodatná odchylka (SD) a rozsah stanovených biokoncentračních faktorů (minimální – maximální).

Biokoncentrační faktory vyšší než 1,0 byly pro vzorky křemenáče březového (*Leccinum versipelle*) stanoveny v případě Ag (28,2), Cd (1,60), Cu (2,43), Rb (5,21), Se (1,91) a Zn (1,65). Velmi podobný trend byl pozorován pro kozák březový, kde byl však určen vyšší BCF pro Cd (4,70). Obsah Cs byl u tří vzorků nižší než mez stanovitelnosti, proto je pro tento prvek v tab. 7 uveden pouze rozsah BCF, který se pohyboval v rozmezí <0,10 – 3,81. BCF pro Tl nebylo možné určit, jelikož jeho obsah ve vzorcích byl nižší než mez stanovitelnosti. Nejnižší hodnoty BCF byly zjištěny pro Al (0,001), Be (0,006), Cr (0,002), Fe (0,003) a Pb (0,001). Tyto prvky nebyly v plodnicích křemenáče březového téměř vůbec akumulovány. Podobný trend byl rovněž pozorován u vzorků kozáku březového.

Tab. 7: Biokoncentrační faktory určené pro vzorky křemenáče březového.

	BCF	SD	Rozsah
Ag	28,2	9,5	17,0 - 42,5
Al	0,001	$3 \cdot 10^{-4}$	0,001 - 0,002
As	0,028	0,010	0,011 - 0,041
Be	0,006	0,003	0,003 - 0,012
Ca	0,30	0,06	0,21 - 0,37
Cd	1,60	0,58	0,97 - 2,68
Co	0,026	0,007	0,016 - 0,036
Cr	0,002	0,001	0,001 - 0,004
Cs	-	-	< 0,10 - 3,81
Cu	2,43	0,52	1,62 - 3,00
Fe	0,003	$3 \cdot 10^{-4}$	$(2,6 - 3,4) \cdot 10^{-3}$
Li	0,017	0,001	0,015 - 0,019
Mg	0,52	0,03	0,48 - 0,55
Mn	0,011	0,007	0,005 - 0,022
Ni	0,09	0,06	0,02 - 0,21
Pb	0,001	$4 \cdot 10^{-4}$	$(0,5 - 1,4) \cdot 10^{-3}$
Rb	5,21	0,80	4,34 - 6,49
Se	1,91	0,85	1,29 - 3,11
Sr	0,28	0,03	0,23 - 0,30
Tl	-	-	-
Zn	1,65	0,51	0,75 - 2,16

### 4.3 Obsah prvků ve vzorcích březovníku obecného

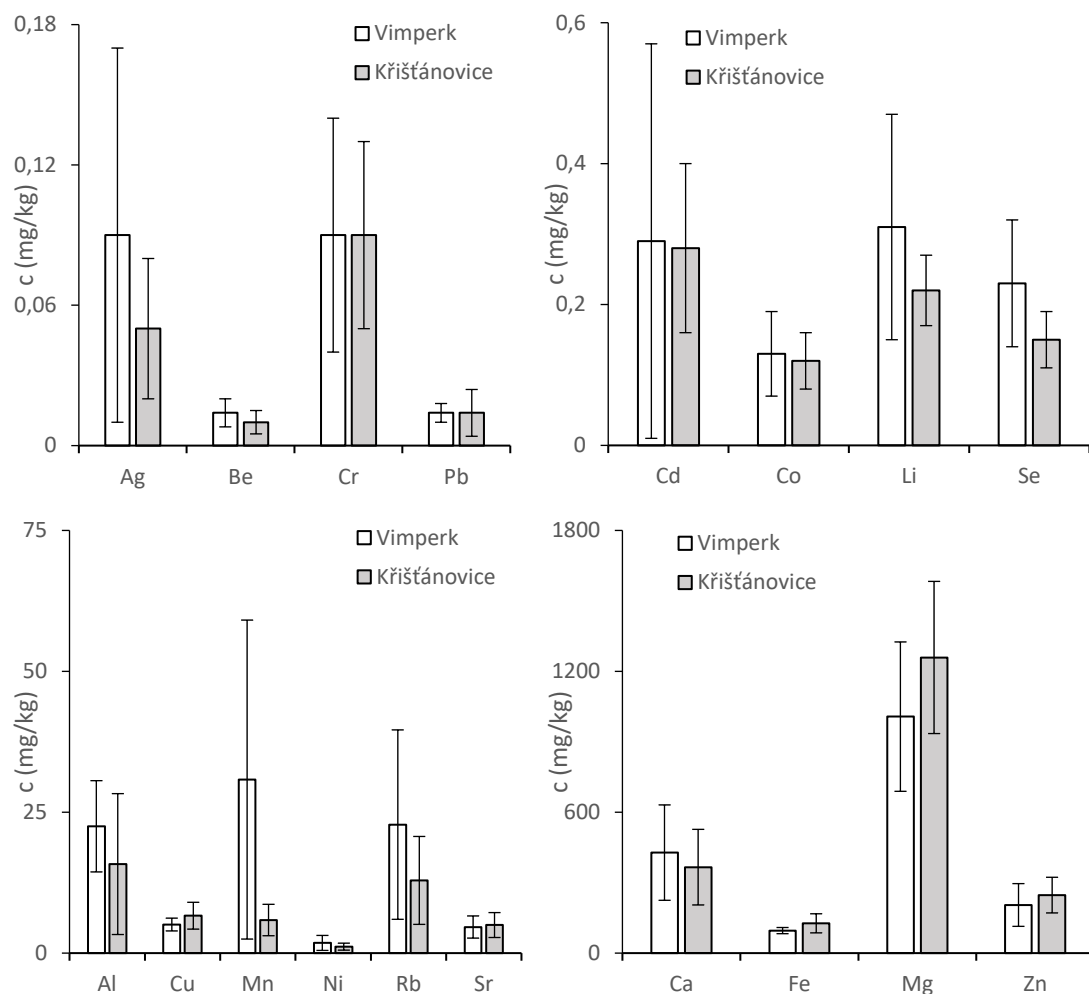
V tab. 8 jsou shrnuty výsledky stanovení prvků ve vzorcích březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*) z obou studovaných lokalit. Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), směrodatná odchylka (SD) a rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální). Hodnoty v tab. 8 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

V plodnicích březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*) byly stanoveny poměrně vysoké obsahy Ca ( $402 \pm 190$  mg/kg), Fe ( $108 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $1,11 \cdot 10^3 \pm 0,34 \cdot 10^3$  mg/kg) a Zn ( $222 \pm 88$  mg/kg). Obsahy těchto prvků byly podstatně vyšší v porovnání s kozákem březovým i křemenáčem březovým. Obsahy As, Cs a Tl byly nižší než příslušné meze stanovitelnosti. Dále byly pozorovány velmi nízké obsahy Ag ( $0,07 \pm 0,07$  mg/kg), Be ( $0,01 \pm 0,01$  mg/kg) a Pb ( $0,01 \pm 0,01$  mg/kg). Nižší obsahy byly stanoveny pro Cu ( $5,72 \pm 1,93$  mg/kg) a Al ( $19,7 \pm 10,7$  mg/kg) v porovnání s výsledky pro kozák březový. Poměrně nízké obsahy byly pozorovány v případě Cd ( $0,28 \pm 0,24$  mg/kg), Co ( $0,13 \pm 0,05$  mg/kg) a Rb ( $18,3 \pm 14,3$  mg/kg). Obsahy Cr ( $0,09 \pm 0,04$  mg/kg) a Ni ( $1,53 \pm 1,14$  mg/kg) byly srovnatelné s výsledky získanými pro kozák březový i křemenáč březový. Výsledky této práce korespondují s údaji, které uvádějí Szymański et al. (2019) pro Rb ( $25,6 \pm 1,3$  mg/kg), Sr ( $4,3 \pm 0,2$  mg/kg) a Zn ( $144 \pm 7$  mg/kg). Szymański et al. (2019) studovali prvkové zastoupení v šesti druzích hub rostoucích na bříze. V případě březovníku obecného stanovili výrazně vyšší množství Cr ( $1,71 \pm 0,04$  mg/kg) a Mn ( $107 \pm 1$  mg/kg).



Tab. 8: Obsahy prvků ve vzorcích březovníku obecného.

	c	SD	Rozsah
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Ag	0,07	0,07	0,01 - 0,25
Al	19,7	10,7	5,9 - 38,0
As	<0,05	-	-
Be	0,01	0,01	0,01 - 0,02
Ca	402	190	91 - 685
Cd	0,28	0,24	0,04 - 0,76
Co	0,13	0,05	0,07 - 0,26
Cr	0,09	0,04	0,04 - 0,19
Cs	< 0,50	-	-
Cu	5,72	1,93	3,45 - 10,0
Fe	108	32	78 - 195
Li	0,27	0,14	0,09 - 0,54
Mg	$1,11 \cdot 10^3$	$0,34 \cdot 10^3$	$(0,54 - 1,59) \cdot 10^3$
Mn	26,6	28,2	1,2 - 85,6
Ni	1,53	1,14	0,27 - 3,98
Pb	0,01	0,01	0,01 - 0,03
Rb	18,3	14,3	2,8 - 50,3
Se	0,20	0,08	0,07 - 0,35
Sr	4,78	2,07	1,30 - 8,44
Tl	< 0,10	-	-
Zn	222	88	109 - 355



Obr. 8: Porovnání obsahu prvků v plodnicích březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*) v závislosti na lokalitě.

Na obr. 8 je znázorněno porovnání obsahů prvků v plodnicích březovníku obecného vzhledem k lokalitě, kde byly odebrány. Pro lepší přehlednost jsou prvky sdruženy do dílčích grafů podle podobné úrovně koncentrací. V obr. 8 nejsou uvedeny prvky As, Cs a Tl, jejichž obsahy se v plodnicích březovníku obecného pohybovaly pod příslušnými mezemi stanovitelnosti. V plodnicích březovníku obecného odebíraných v okolí Vimperku byly stanoveny vyšší průměrné obsahy Ag ( $0,09 \pm 0,08$  mg/kg), Se ( $0,23 \pm 0,09$  mg/kg), Mn ( $30,8 \pm 28,3$  mg/kg) a Rb ( $22,8 \pm 16,8$  mg/kg). Rozdíl je nejvýraznější v případě Mn, kde bylo stanoveno v plodnicích z Křišťánovic  $5,87 \pm 2,79$  mg/kg.

#### 4.4 Obsah prvků ve vzorcích rezavce šikmého

V tab. 9 jsou shrnuty výsledky stanovení prvků ve vzorcích rezavce šikmého (*Inonotus obliquus*). Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), směrodatná odchylka (SD) a rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální). Hodnoty v tab. 9 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

Ve vzorcích rezavce šikmého (*Inonotus obliquus*) byly stanoveny relativně vysoké obsahy Ca ( $1,02 \cdot 10^3 \pm 0,74 \cdot 10^3$  mg/kg), Fe ( $114 \pm 73$  mg/kg), Mg ( $2,01 \cdot 10^3 \pm 1,11 \cdot 10^3$  mg/kg), Mn ( $408 \pm 268$  mg/kg), Rb ( $163 \pm 65$  mg/kg) a Zn ( $141 \pm 73$  mg/kg). Vysoký obsah Rb je srovnatelný s hodnotami získanými pro kozák březový (*Leccinum scabrum*) a křemenáč březový (*Leccinum versipelle*). Zajímavý je obsah Mn, který byl v případě rezavce šikmého výrazně vyšší v porovnání s ostatními druhy hub zkoumaných v této práci. Podobně vysoké obsahy pro Ca, Fe, Mg a Zn byly pozorovány u březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*). Hodnoty pro Mn a Rb korespondují s výsledky, které stanovili v plodnicích rezavce šikmého Szymański et al. (2019) Mn ( $229 \pm 21$  mg/kg) a Rb ( $453 \pm 24$  mg/kg). Vysoké obsahy pak rovněž zaznamenali pro Ca a Mg. Obsahy As, Cs a Tl ve vzorcích rezavce šikmého ležely pod příslušnými mezemi stanovitelnosti. Relativně nízké obsahy byly rovněž stanoveny v případě Ag ( $0,04 \pm 0,03$  mg/kg) a Se ( $0,11 \pm 0,05$  mg/kg). Obsah Be se pohyboval v rozmezí 0,01 – 0,21 mg/kg. Relativně nízký obsah byl rovněž pozorován pro Cd ( $0,44 \pm 0,31$  mg/kg). V porovnání s ostatními druhy hub, které byly zkoumány v této práci, byl v případě rezavce šikmého zaznamenán vyšší obsah Pb ( $0,58 \pm 0,21$  mg/kg). Obsah Al ( $44,3 \pm 14,8$  mg/kg) je v souladu s údaji, které uvádí Kalač (2019), že obsah Al se u volně rostoucích hub běžně pohybuje v rozmezí několika desítek až několika stovek mg/kg. Obsahy Ni ( $1,65 \pm 1,22$  mg/kg) a Cr ( $0,09 \pm 0,03$  mg/kg) jsou srovnatelné s výsledky získanými pro ostatní druhy hub, které byly studovány v této práci. Celkově lze usoudit, že prvkové zastoupení (s výjimkou Mn a Rb) v plodnicích rezavce šikmého (*Inonotus obliquus*) vykazuje podobné trendy jako v případě březovníku obecného (*Piptoporus betulinus*).

Tab. 9: Obsahy prvků ve vzorcích rezavce šikmého.

	c	SD	Rozsah
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Ag	0,04	0,03	0,01 - 0,11
Al	44,3	14,8	20,2 - 59,9
As	< 0,05	-	-
Be	0,08	0,08	0,01 - 0,21
Ca	$1,02 \cdot 10^3$	$0,74 \cdot 10^3$	$(0,10 - 2,62) \cdot 10^3$
Cd	0,44	0,31	0,16 - 1,07
Co	0,49	0,25	0,19 - 0,92
Cr	0,09	0,03	0,05 - 0,14
Cs	< 0,50	-	-
Cu	12,7	4,6	6,1 - 19,7
Fe	114	34	49 - 179
Li	0,78	0,26	0,46 - 1,40
Mg	$2,01 \cdot 10^3$	$1,11 \cdot 10^3$	$(0,76 - 4,95) \cdot 10^3$
Mn	408	268	108 - 952
Ni	1,65	1,22	0,52 - 4,95
Pb	0,58	0,21	0,27 - 0,94
Rb	163	65	35 - 272
Se	0,11	0,05	0,04 - 0,19
Sr	10,7	3,2	6,4 - 16,0
Tl	< 0,10	-	-
Zn	141	73	59 - 275

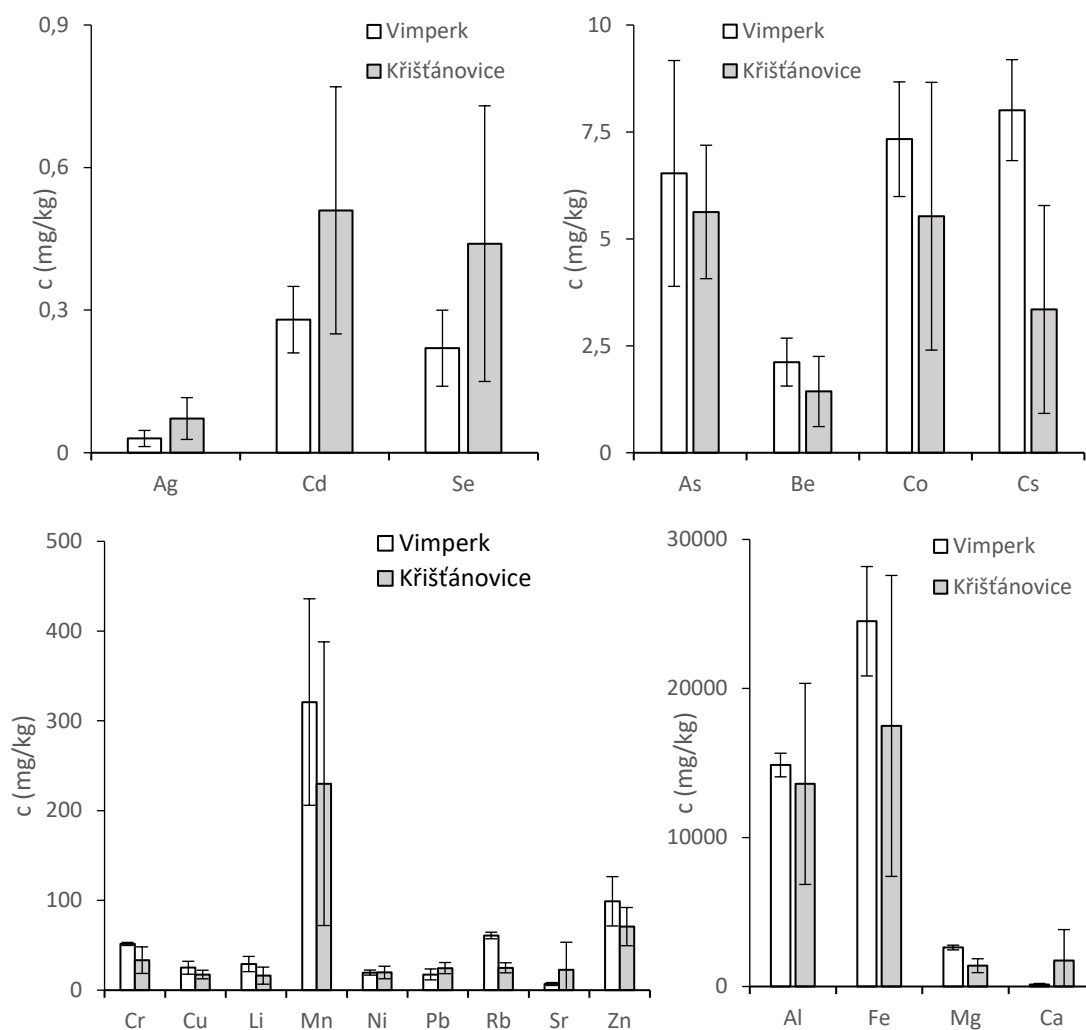
## 4.5 Obsah prvků ve vzorcích půd

V tab. 10 jsou shrnuty výsledky stanovení prvků ve vzorcích půd z obou studovaných lokalit. Pro každý prvek je uveden průměrný obsah (c), směrodatná odchylka (SD) a rozsah naměřených obsahů (minimální – maximální). Hodnoty v tab. 10 jsou vyjádřeny v mg/kg sušiny.

Vzorky půd byly odebírány přímo pod plodnicemi kozáku březového (*Leccinum scabrum*) a křemenáče březového (*Leccinum versipelle*). Odebírána byla vrchní vrstva půdy do hloubky 10 cm (Širić a Falandysz, 2020). Vysoké obsahy ve vzorcích půd byly stanoveny pro Al ( $14,1 \cdot 10^3 \pm 5,39 \cdot 10^3$  mg/kg), Ca ( $1,22 \cdot 10^3 \pm 1,85 \cdot 10^3$  mg/kg), Fe ( $20,1 \cdot 10^3 \pm 8,96 \cdot 10^3$  mg/kg) a Mg ( $1,85 \cdot 10^3 \pm 702$  mg/kg). Oproti tomu nízké obsahy byly pozorovány v případě Ag ( $0,06 \pm 0,04$  mg/kg), Cd ( $0,42 \pm 0,24$  mg/kg), a Se ( $0,35 \pm 0,25$  mg/kg). Obsah Tl v půdách byl nižší než mez stanovitelnosti ( $<0,10$  mg/kg). Výsledky této práce korespondují s údaji, které uvádějí Šíma et al. (2020) pro půdy odebrané z ovocného sadu. Šíma et al. (2020) však stanovili nižší obsahy Cr ( $14,0 \pm 2,9$  mg/kg), Ni ( $5,30 \pm 2,05$  mg/kg) a Rb ( $15,3 \pm 3,9$  mg/kg). Falandysz a Treu (2019) u vzorků půd odebraných v lesích poblíž obce Poniatowa v Polsku zaznamenali vyšší obsah Ag ( $3,1 \pm 2,5$  mg/kg), oproti tomu uvádějí nižší obsahy Cd ( $0,058 \pm 0,038$  mg/kg) a Co ( $1,2 \pm 0,7$  mg/kg). Vyšší obsahy As ( $33,7 \pm 12,8$  mg/kg) a Pb ( $40,7 \pm 24,0$  mg/kg) zaznamenali Zádrapová et al. (2019) v okolí Sokolova. Franclová et al. (2017) ve vzorcích půd (vrchních 10 cm) z okolí Ostravy, lokality s předpokládanou vysokou mírou znečištění, stanovili obsah Cd ( $0,8$  mg/kg), Cr ( $81$  mg/kg), Pb ( $57$  mg/kg) a As ( $23$  mg/kg).

Tab. 10: Obsahy prvků ve vzorcích půd.

	c	SD	Rozsah
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Ag	0,06	0,04	0,01 - 0,16
Al	$14,1 \cdot 10^3$	$5,39 \cdot 10^3$	$(2,49 - 20,8) \cdot 10^3$
As	5,97	2,08	2,64 - 10,4
Be	1,69	0,80	0,30 - 2,47
Ca	$1,22 \cdot 10^3$	$1,85 \cdot 10^3$	$(0,13 - 6,19) \cdot 10^3$
Cd	0,42	0,24	0,21 - 1,09
Co	6,21	2,75	1,12 - 8,85
Cr	40,2	14,6	8,80 - 53,8
Cs	5,09	3,05	0,41 - 9,64
Cu	20,2	6,72	8,52 - 30,3
Fe	$20,1 \cdot 10^3$	$8,96 \cdot 10^3$	$(2,30 - 27,2) \cdot 10^3$
Li	21,0	11,1	1,30 - 37,8
Mg	$1,85 \cdot 10^3$	702	$(0,81 - 2,88) \cdot 10^3$
Mn	264	150	11,6 - 423
Ni	19,7	5,80	8,97 - 37,4
Pb	21,1	7,24	11,8 - 40,7
Rb	46,9	13,8	24,9 - 67,8
Se	0,35	0,25	0,12 - 0,62
Sr	20,5	26,5	3,40 - 96,6
Tl	< 0,10	-	-
Zn	81,3	27,4	30,9 - 117



Obr. 9: Porovnání obsahu prvků v půdách v závislosti na lokalitě.

Na obr. 9 je znázorněno porovnání obsahů prvků ve vzorcích půd vzhledem k lokalitě, kde byly odebrány. Pro lepší přehlednost jsou prvky sdruženy do dílčích grafů podle podobné úrovně koncentrací. V půdách odebraných v okolí Vimperka byly zaznamenány vyšší obsahy Cs ( $8,01 \pm 1,18$  mg/kg), Rb ( $60,9 \pm 3,7$  mg/kg) a Zn ( $99,0 \pm 27,5$  mg/kg). V půdách z okolí Křišťánovic byly naměřeny vyšší obsahy Ag ( $0,07 \pm 0,04$  mg/kg), Cd ( $0,51 \pm 0,26$  mg/kg), Se ( $0,44 \pm 0,29$  mg/kg), Sr ( $22,6 \pm 30,8$  mg/kg) a výrazně vyšší obsah Ca ( $1,74 \cdot 10^3 \pm 2,08 \cdot 10^3$  mg/kg). Vyšší obsah Cd v půdách z Křišťánovic odpovídá vyššímu obsahu v plodnicích kozáku březového ze stejné lokality.

## 5 Závěr

V této práci bylo stanovováno 21 prvků v plodnicích hub ekologicky vázaných na břízu bělokorou. Studovanými houbami jsou kozák březový (*Leccinum scabrum*), křemenáč březový (*Leccinum versipelle*), březovník obecný (*Piproporus betulinus*) a rezavec šikmý (*Inonotus obliquus*). Kozák březový a křemenáč březový jsou běžné jedlé houby, které vytváří mykorhizu s břízami. Březovník obecný a rezavec šikmý jsou dřevokazné houby, které mají léčivé účinky. Současně s mykorhizními houbami byl stanoven obsah prvků v půdách, což umožnilo stanovení biokoncentračních faktorů (BCF). Odběr vzorků probíhal ve smíšených lesích na Šumavě ze dvou lokalit (okolí města Vimperk a okolí obce Křišťánovice).

Ve vzorcích kozáku březového byly stanoveny relativně vysoké obsahy Fe ( $60,7 \pm 17,7$  mg/kg), Rb ( $151 \pm 74$  mg/kg) a Zn ( $94,0 \pm 24,8$  mg/kg). Vysoký obsah Rb je typický pro hřibovité houby. Výsledky ukazují, že v plodnicích kozáku březového byly akumulovány prvky: Ag (BCF = 22,5), Cd (4,70), Cs (3,20), Cu (1,68), Rb (5,54), Se (1,96) a Zn (1,38).

V případě křemenáče březového byly pozorovány podobné trendy jako u kozáku březového, a to jak v obsahu prvků, tak v jejich akumulaci. V plodnicích křemenáče březového byly akumulovány tyto prvky: Ag (28,2), Cd (1,60), Cu (2,43), Rb (5,21), Se (1,91) a Zn (1,65). Oproti tomu nejnižší BCF byly stanoveny pro oba druhy mykorhizních hub v případě Al, Cr, Fe a Pb.

V plodnicích březovníku obecného byly zaznamenány vysoké obsahy Ca ( $402 \pm 190$  mg/kg), Fe ( $108 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $1,11 \cdot 10^3 \pm 0,34 \cdot 10^3$  mg/kg) a Zn ( $222 \pm 88$  mg/kg). V případě rezavce šikmého byly stanoveny vysoké obsahy Ca ( $1,02 \cdot 10^3 \pm 0,74 \cdot 10^3$  mg/kg), Fe ( $114 \pm 32$  mg/kg), Mg ( $2,01 \cdot 10^3 \pm 1,11 \cdot 10^3$  mg/kg), Mn ( $408 \pm 268$  mg/kg), Rb ( $163 \pm 65$  mg/kg) a Zn ( $141 \pm 73$  mg/kg). Zejména obsah Mn je překvapivě vysoký v porovnání s ostatními druhy hub, které byly studovány v této práci. Oproti tomu byly u březovníku obecného i rezavce šikmého stanoveny relativně nízké obsahy As a Ag.



## 6 Seznam použité literatury

### 6.1 Odborné publikace

ANTONÍN, V., JABLONSKÝ, I., ŠAŠEK, V., VANČUŘÍKOVÁ, Z., 2013. *Houby jako lék*. Praha, Ottovo nakladatelství s. r. o., s. 137-140.

ARATA, S., WATANABE, J., MAEDA, M., YAMAMOTO, M., MATSUHASHI, H., MOCHIZUKI, M., KAGAMI, N., HONDA, K., INAGAKI, M., 2016. Continuous intake of the Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) aqueous extract suppresses cancer progression and maintains body temperature in mice. *Heliyon*, 2(5): e00111.

BRZEZICHA-CIRICKA, J., GREMBECKA, M., GROCHOWSKA, I., FALANDYSZ, J., SZEFER, P., 2019. Elemental composition of selected species of mushrooms based on a chemometric evaluation. *Ecotoxicology and environmental safety*, 173: 353-365.

BRZEZICHA-CIRICKA, J., MĘDYK, M., FALANDYSZ, J., SZEFER, P., 2016. Bio- and toxic elements in edible wild mushrooms from two regions of potentially different environmental conditions in eastern Poland. *Environmental science and pollution research*, 23(21): 21517-21522.

CHEN, H., FU, L., DONG, P., ZHANG, X., LU, X., 2009. Acute toxicity evaluation and compositional analysis of a polysaccharide from medicinal mushroom *Inonotus obliquus*. In: Proceedings, 3<sup>rd</sup> international conference on bioinformatics and biomedical engineering, Beijing, pp 4541-4544.

DE JESUS, L. I., SMIDERLE, F. R., RUTHES, A. C., VILAPLANA, F., DAL'LIN, F. T., MARIA-FERREIRA, D., WERNER, M. F., VAN GRIENSVEN, L. J. L. D., IACOMINI, M., 2017. Chemical characterization and wound healing property of a  $\beta$ -D-glucan from edible mushroom *Piptoporus betulinus*. *International journal of biological macromolecules*, 117: 1361-1366.

FALANDYSZ J., 2018. Mineral constituents in *Leccinum scabrum* from lowland locations in the central Europe and their relation to concentration in forest topsoil. *Journal of science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 53: 546-560.

FALANDYSZ J., BOROVIČKA, J., 2013. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied microbiology and biotechnology*, 97: 477-501.

FALANDYSZ J., TREU, R., 2019. *Amanita muscaria*: bio-concentration and bio-indicative potential for metallic elements. *Environmental Earth science*, 78: 722.

FRANCLOVÁ, A., CHRASTNÝ, V., ŠILLEROVÁ, H., KOCOURKOVÁ, J., KOMÁREK, M., 2017. Suitability of selected bioindicators of atmospheric pollution in the industrialised region of Ostrava, Upper Silesia, Czech Republic. *Environmental monitoring and assessment*, 189: 478.

GARCÍA M. Á., ALONSO J., MELGAR M. J., 2009. Lead in edible mushrooms. Levels and bioaccumulation factors. *Journal of hazardous materials*, 167: 777-783.

GERHARTD, E., 2003. *Houby*. Čestlice, Rebo Productions CZ, s. 164.

GIANNACCINI, G., BETTI, L., PALEGO, L., MASCIA, G., SCHMID, L., LANZA, M., MELA, A., FABBRINI, L., BIONDI, L., LUCACCHINI, A., 2012. The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy. *Environmental monitoring and assessment*, 184: 7579-7595.

GIL, Y. G., KANG, S., CHAE, A., KIM, Y. K., MIN, D. H., JANG, H., 2018. Synthesis of porous Pd nanoparticles by therapeutic chaga extract for highly efficient tri-modal cancer treatment. *Nanoscale*, 10: 19810-19817.

GRÜNDEMANN, C., REINHARDT, J. K., LINDEQUIST, U., 2020. European medicinal mushrooms: Do they have potential for modern medicine? – An update. *Phytomedicine*, 66: 1-12.

GRÜNERT, H., GRÜNERT, R., 1995. *Houby*. Praha, Knížní klub.

GUCIA, M., JARZYŃSKA, G., KOJTA, A. K., FALANDYSZ, J., 2012. Temporal variability in 20 chemical elements content of Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*) collected from two sites over a few years. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 47: 81-88.

HAGARA, L., ANTONÍN, V., BAIER, J., 1999. *Houby*. Praha, Aventinum nakladatelství, s. 252.

JAVED, S., MITCHELL, K., SIDSWORTH, D., SELLERS, S. L., REUTENS-HERNANDEZ, H., MASSICOTTE, H. B., EGGER, K. N., LEE, C. H., PAYNE, G. W., 2019. *Inonotus obliquus* attenuates histamine-induced microvascular inflammation. *PLOS ONE*, 14(8): E0220776.

KALÁČ, P., 2008. *Houby – víme co jíme?* České Budějovice, Nakladatelství DONA s. r. o., s. 76.

KALÁČ, P., 2016. *Edible mushrooms. Chemical composition and nutritional value.* Elsevier, Academic Press, London.

KALÁČ, P., 2019. *Mineral composition and radioactivity of edible mushrooms.* Elsevier, Academic Press, London.

KEIZER, G. J., 1998. *Encyklopedie hub.* Čestlice, Rebo Production, s. 129.

KŘÍŽEK, M., ŠÍMA, J., 2015. *Analytická chemie.* 1. Vydání. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. s. 121.

MĘDYK, M., GREMBECKA, M., FALANDYSZ, J., BRZEZICHACIRICKA, J., 2017. Bio- and toxic elements in mushrooms from the city of Umeå and outskirts, Sweden. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 0(0): 1-7.

MĘDYK, M., LOGANATHAN, B., BIELAWSKI, L., FALANDYSZ, J., 2018. Inorganic elemental concentrations in birch bolete mushroom (*Leccinum scabrum*) and top soil: contamination profiles, bioconcentration and annual variations. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 53: 831-839.

MLECZEK, M., NIEDZIELSKI, P., KALÁČ, P., BUDKA, A., SIWULSKI, M., GAŚECKA, M., RZYMSKI, P., MAGDZIAK, Z., SOBIERALSKI, K., 2016. Multielemental analysis of 20 mushroom species growing near a heavily trafficked road in Poland. *Environmental science and pollution research*, 23: 16280-16295.

MLECZEK, M., SIWULSKI, M., MIKOŁAJCZAK, P., GAŚECKA, M., RISSMANN, I., GOLÍŃSKI, P., SOBIERALSKI, K., 2015a. Differences in Cu content in selected mushroom species growing in the same unpolluted areas in Poland. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 50 (9): 659-666.

MLECZEK, M., SIWULSKI, M., MIKOŁAJCZAK, P., GOLIŃSKI, P., GAŚECKA, M., SOBIERALSKI, K., DAWIDOWICZ, L., SZYMAŃCZYK, M., 2015b. Bioaccumulation of elements in three selected mushroom species from southwest Poland. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 50 (3): 207-216.

MLECZEK, M., SIWULSKI, M., STUPER-SZABLEWSKA, K., RISSMANN, I., SOBIERALSKI, K., GOLIŃSKI, P., 2013. Accumulation of elements by edible mushroom species: Part I. Problem of trace element toxicity in mushrooms. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 48: 69-81.

NAVRÁTILOVÁ, Z., 2016. Rezavec šikmý – obsahové látky a léčivé účinky. *Praktické lékařství*, 12(6): 237-239.

PAPOUŠEK, T., 2010. *Velký fotoatlas hub z jižních Čech*. České Budějovice, Josef Posekaný, s. 272.

PETKOVŠEK, S. A. S., POKORNY, B., 2013. Lead and cadmium in mushrooms from vicinity of two large emission sources in Slovenia. *Science of total environment*, 443: 944-954.

PLESZCZYŃSKA, M., LEMIESZEK, M. K., SIWULSKI, M., WIATER, A., RZESKI, W., SZCZODRAK, J., 2017. *Fomitopsis betulina* (formerly *Piptoporus betulinus*): the Iceman's polypore fungus with modern biotechnological potential. *World journal of microbiology and biotechnology*, 33: 83.

SZYMAŃSKI, M., SMOLIBOWSKA, J., SZYMAŃSKI A., 2019. An investigation into the relationships between antioxidant activity and chemical elements as well as polyphenolics in fungal fruiting bodies growing on *Betula l.* *Journal of entomology*, 24(1): 193-205.

ŠÍMA, J., KOBERA, M., ŠEDA, M., ROKOS, L., VONDRUŠKA, J., KREJSA, J., SVOBODA, L., 2020. The three-year monitoring of 18 elements in five edible mushrooms species collected from an old orchard. *Journal of environmental science and health, part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*, 55: 319-328.

ŠÍMA, J., VONDRUŠKA, J., SVOBODA, L., ŠEDA, M., ROKOS, L., 2019. The accumulation of risk and essential elements in edible mushrooms *Chlorophyllum rhacodes*, *Suillus grevillei*, *Imleria badia*, and *Xerocomellus chrysenteron* growing in the Czech Republic. *Chemistry & Biodiversity*, 16: 1-11.

ŠIRIĆ, I., FALANDYSZ, J., 2020. Contamination, bioccentration and distribution of mercury in *Tricholoma* spp. mushrooms from southern and northern regions of Europe. *Chemosphere*, 251: 1-8.

WELZ, B., SPERLING, M., 1999. *Atomic Absorption Spectrometry – Third, completely revised edition*. Weinheim, WILEY – VCH, s. 453.

ZÁDRAPOVÁ, D., TITĚRA, A., SZÁKOVÁ, J., ČADKOVÁ, Z., CUDLÍN, O., NAJMANOVÁ, J., TLUSTOŠ, P., 2019. Mobility and bioaccessibility of risk elements in the area affected by the long-term opencast coal mining. *Journal of environmental science and health, part A: Toxic/hazardous substances and environmental engineering*, 54(12): 1159-1169.

ZHANG, D., FRANKOWSKA, A., JARZYNSKA, G., KOJTA, A. K., DREWNOWSKA, M., WYDMANSKA, D., BIELAWSKI, L., WANG, J. P., FALANDYSZ, J., 2010. Metals of King Bolete (*Boletus edulis*) Bull.: Fr. Collected at the same site over two years. *African journal of agricultural research*, 5(22): 3050-3055.

ZHANG, D., ZHANG, Y., MORAWSKA, E., BIELAWSKI, L., KRASIŃSKA, G., DREWNOWSKA, M., PANKAVEC, S., SZYMAŃSKA, K., FALANDYSZ, J., 2013. Trace elements in *Leccinum scabrum* mushrooms and topsoils from Kłodzka Dale in Sudety Mountains, Poland. *Journal of mountain science*, 10 (4): 621-627.

## 6.2 Internetové odkazy

<https://mapy.cz/> (staženo dne 25. 4. 2020)

<http://mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/hribovite/item/263-leccinum-scabrum> (staženo dne 20. 4. 2020)

<http://mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/hribovite/item/1187-leccinum-versipelle> (staženo dne 20. 4. 2020)

<http://mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/chorose/item/2326-inotus-obliquus> (staženo dne 20. 4. 2020)

<http://mykologie.net/index.php/houby/podle-morfologie/chorose/item/577-piptoporus-betulinus> (staženo dne 20. 4. 2020)

## 6.3 Další zdroje

NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách.

Vyhláška č. 53/2002 Sb. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví chemické požadavky na zdravotní nezávadnost jednotlivých druhů potravin a potravinových surovin, podmínky použití látek přídatných, pomocných a potravních doplňků.

## 7 Seznam použitých zkratk

BCF – biokoncentrační faktor

SD – směrodatná odchylka

F-AAS – atomová absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací

ET-AAS – atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací

LOD – mez detekce

LOQ – mez stanovitelnosti

KK – korelační koeficient