

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

ROZDÍL V OBSAHU CA A MG MECHU *HYPNUM CUPRESSIFORME*  
NA DVOU TYPECH HORNIN, SERPENTINITU A GRANULITU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**VEDOUCÍ PRÁCE:** doc. RNDr. Jana Kocourková, CSc.

**DIPLOMANT:** David Paštyka

2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

David Paštyka

Krajinné inženýrství

Název práce

**Rozdíl v obsahu Ca a Mg mechu *Hypnum cupressiforme* na dvou typech hornin, serpentinitu a granulitu**

Název anglicky

**The difference in the content of Ca and Mg of moss *Hypnum cupressiforme* on two types of rock, serpentinite and granulite**

### Cíle práce

Cílem práce je porovnání obsahu Ca a Mg v mechu *Hypnum cupressiforme* na dvou typech hornin. Jedná se o serpentinit (hadec) a granulit, nacházející se v jižních Čechách. Práce tak navazuje na bakalářskou práci: Porovnání epilitické bryoflóry na třech horninových typech (hadec, ortorula a granulit) v Blanském lese. Práce by měla přinést konkrétnější závěry pomocí provedení chemické analýzy obsahu látek v uvedeném druhu mechu. Budou řešeny tyto základní otázky: 1. Je poměr Ca: Mg menší u rostlin z hadcových lokalit nežli na kontrolních lokalitách? 2. Do jaké míry kopíruje obsah Ca a Mg v rostlinkách *Hypnum cupressiforme* obsah Ca a Mg horninách? Doplnujícím cílem bude zjištění obsahu těžkých kovů v rostlinkách *Hypnum cupressiforme* na jedné z lokalit. Práce bude doplněna rešerší o chemismu hadců, jeho nepříznivém vlivu na život rostlin, a způsoby adaptace hadcových druhů.

### Metodika

Práce bude rozdělena na práci v terénu a v laboratoři. Práce v terénu bude probíhat v jižních Čechách, kde budou odebírána data na čtyřech různých lokalitách, vždy na dvou typech hornin. Na serpentinitu (hadci) a na granulitu, který bude sloužit jako kontrolní vzorek. Na každé z lokalit budou odebrány vzorky mechu *Hypnum cupressiforme* a to vždy čtyři vzorky z hadce a čtyři z granulitu. Celkem bude tedy odebráno 32 vzorků. Následně bude pomocí chemických analýz v laboratoři zjištěn obsah Ca a Mg a těžkých kovů v rostlinkách. Rovněž bude zjištěno mineralogické složení hornin na jedné z lokalit, které se porovná se změřenými obsahy látek v mechových rostlinkách.

**Doporučený rozsah práce**

60-80

**Klíčová slova**

Hypnum cupressiforme, serpentinit, Ca: Mg, mechorosty, edafické faktory, těžké kovy

---

**Doporučené zdroje informací**

- BRADY K. U., KRUCKEBERG A. R., BRADSHAW Jr. H. D., 2005: Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. – Annual review of ecology, evolution and systematics, Vol 36, 243-266.
- BRISCOE L. R. E., HARRIS T. B., BROUSSARD W., 2009: Bryophytes of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, U.S.A. -Rhodora, 111: 1-20.
- HEJTMAN B., 1962: Petrografie metamorfovaných hornin. – Nakladatelství československé akademie věd, Praha: 538 pp.
- CHYTRÝ M., KUČERA T., KOČÍ M., 2001: Katalog biotopů České Republiky. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 307 s.
- KAZAKOU E., DIMITRAKOPOULOS P. G., BAKER A. J. M., REEVES R. D., TROUMBIS A. Y., 2008: Hypotheses, mechanism and trade-offs of tolerance and adaptation to serpentine soils: from species to ecosystem level. – Biological Reviews 83: 495-508.
- KUČERA J., VÁŇA J., HRADÍLEK Z., 2012: Bryoflóra České Republiky: aktualizace seznamu a červeného seznamu a stručná analýza. – Preslia 84: 813-850.
- PROCTOR J., WOODDELL S. R. J., 1971: The plant ecology of serpentine. – Journal of ecology, Vol 59: 375-395.
- VÁŇA J., 2006: Obecná bryologie. – Univerzita Karlova v Praze, 187 s.
- WHITTAKER R. H., 1954: The Ecology of Serpentine Soils. – Ecology, Vol. 35, No. 2 (Apr., 1954), 258-288.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. RNDr. Jana Kocourková, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2016

**Ing. Jiří Vojar, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 11. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2017

---

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Jany Kocourkové, CSc., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal. Souhlasím se zveřejněním diplomové práce.

V Praze, dne 15. 4. 2017

Podpis: .....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat nejprve mé vedoucí, doc. RNDr. Janě Kocourkové, CSc., za cenné připomínky, rady, poskytnutou literaturu, a především za vstřícný přístup. Velké poděkování patří doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D., za ochotu, trpělivost a pomoc při zpracování chemických analýz. Dále děkuji RNDr. Janu Jehličkovi, CSc. za pomoc s geologickou částí.

V Praze, dne 15. 4. 2017

## **ABSTRAKT**

### **ROZDÍL V OBSAHU CA A MG MECHU *HYPNUM CUPRESSIFORME* NA DVOU TYPECH HORNIN, SERPENTINITU A GRANULITU**

Specifické vlastnosti serpentinitu (neboli hadce), negativně ovlivňují růst většiny rostlin. Jedná se především o nízký poměr Ca: Mg, sucho a vysoký obsah těžkých kovů. Díky těmto vlastnostem se na hadce váže specifická vegetace. Hadcovou problematikou se zabývalo mnoho vědců, mechorosty však získaly minimální pozornost. Tato práce se zabývá rozdílem v obsahu mechu *Hypnum cupressiforme* na hadci a granulitu v jižních Čechách.

Bylo zjištěno, že hadcové rostlinky *H. cupressiforme* obsahovaly signifikantně vyšší množství hořčíku. Poměr Ca: Mg byl nižší u rostlinek z hadcových lokalit nežli na kontrolních lokalitách. Vápník byl akumulován hadcovou a granulitovou rostlinkou téměř ve stejném poměru, hořčík byl akumulován hadcovou rostlinkou 13krát méně a nikl 7krát méně než kontrolní, granulitovou rostlinkou. Hadcové rostlinky obsahovaly signifikantně vyšší množství niklu a chromu než granulitové.

Konkrétnější závěry by pravděpodobně přinesly chemické analýzy jednotlivých částí mechorostu a analýzy jeho podloží. Vhodné by bylo zahrnout jak pleurokarpní a akrokarpní druhy, tak i játrovky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*Hypnum cupressiforme*, serpentinit, Ca: Mg, mechorosty, edafické faktory, těžké kovy

## **ABSTRACT**

### **THE DIFFERENCE IN THE CONTENT OF CA AND MG OF MOSS *HYPNUM CUPRESSIFORME* ON TWO TYPES OF ROCK, SERPENTINITE AND GRANULITE**

Most of plants are negatively affected by specific characteristics of serpentine. It is mainly due to the low ratio of Ca: Mg, drought and high content of heavy metals. Specific vegetation occurs on the serpentine thanks to these characteristics. Although many scientists looked into the topic of serpentine, mosses were not focused that much. This research is dedicated to the difference in the content of moss *Hypnum cupressiforme* on serpentine and granulite in south Bohemia.

This theses found out that bryophytes of serpentine contained significantly higher amounts of magnesium. Ca: Mg ratio was lower in plants at serpentine sites than at control sites. Calcium has been accumulated by mosses on the serpentine and granulite almost equally, on serpentine, magnesium was accumulated 13 times less and nickel 7 times less. Serpentine plants contained significantly higher amounts of nickel and chromium than granulite.

More accurate conclusions would probably bring chemical analyzes of individual parts of bryophytes and analysis of its subsoil. It would be interesting to include pleurocarp and acrocarp mosses and liverworts.

## **KEYWORDS**

*Hypnum cupressiforme*, serpentine, Ca: Mg, bryophytes, edaphic factors, heavy metals

# OBSAH

1. ÚVOD .....	11
2. CÍLE PRÁCE .....	12
3. METODIKA PRÁCE .....	13
3.1. ÚVOD .....	13
3.2. TERÉNNÍ SBĚR DAT .....	13
3.2.1. VÝBĚR LOKALIT .....	13
3.2.2. ODBĚR VZORKŮ MECHŮ .....	14
3.2.3. ODBĚR VZORKŮ HORNINY .....	14
3.3. LABORATORNÍ PRÁCE.....	15
3.3.1. PŘÍPRAVA VZORKU MECHU.....	15
3.3.2. ATOMOVÝ ABSORPČNÍ SPEKTROMETR .....	15
3.3.3. VZOREK HORNINY .....	16
3.4. STATISTIKA .....	16
4. LITERÁRNÍ REŠERŠE – ŽIVOT NA HADCI.....	17
4.1. ÚVOD .....	17
4.2. GEOLOGIE HADCE.....	17
4.3. VÝSKYT HADCE.....	18
4.4. HADCOVÝ SYNDROM.....	20
4.4.1. NÍZKÁ HLADINA HLAVNÍCH MAKRONUTRIENTŮ .....	20
4.4.2. ZÁSADITOST .....	20
4.4.3. NÍZKÁ DOSTUPNOST MOLYBDENU .....	20
4.4.4. TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ .....	21
4.4.5. NÍZKÝ POMĚR CA: MG .....	21
4.4.6. SUCHO, EROZE.....	23
4.5. ŽIVOT NA HADCI, ADAPTACE .....	24



4.5.1. ENDEMISMUS .....	24
4.5.2. TOLERANCE SUCHA .....	26
4.5.3. TOLERANCE NÍZKÉHO POMĚRU CA: MG .....	27
4.5.4. TOLERANCE VYSOKÉHO OBSAHU TĚŽKÝCH KOVŮ .....	28
4.5.5. AKUMULACE NIKLU .....	29
4.6. MECHOROSTY .....	31
4.7. DALŠÍ ŽIVOT NA HADCI.....	34
5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI .....	35
5.1. VYMEZENÍ STUDOVANÉ OBLASTI .....	35
5.2. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH LOKALIT .....	37
5.2.1. PR HOLUBOVSKÉ HADCE .....	37
5.2.2. PR BOŘINKA .....	40
5.2.3. PP ŠIMEČKOVA STRÁŇ .....	42
5.2.4. PR MILETÍNKY .....	44
6. VÝSLEDKY PRÁCE .....	46
6.1. DATA.....	46
6.2. VLIV HORNINY NA POMĚR CA: MG V MECHU H. CUPRESSIFORME .....	47
6.3. VLIV HORNINY NA POMĚR CA: MG V MECHU H. CUPRESSIFORME (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE) .....	50
6.4. VLIV HORNINY NA KONCENTRACI TĚŽKÝCH KOVŮ V MECHU H. CUPRESSIFORME (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE) .....	52
6.5. KORELACE JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ V MECHU H. CUPRESSIFORME (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE).....	55
6.6. AKUMULACE PRVKŮ Z HORNINY MECEM H. CUPRESSIFORME (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE) .....	56
7. DISKUZE.....	58
8. ZÁVĚR.....	63

9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	64
9.1. LITERATURA.....	64
9.2. INTERNETOVÉ ZDROJE .....	71
10. PŘÍLOHY .....	72

# 1. ÚVOD

Tato diplomová práce navazuje na moji bakalářskou práci a dále ji rozšiřuje. Hlavním předmětem studie jsou mechy rostoucí na serpentinitu neboli hadci.

Zatímco bakalářská práce byla zaměřena na porovnání epilitických společenstev mechorostů, diplomová práce se věnuje především obsahu vápníku a hořčíku v mechách.

Hadce neboli serpentinizovaná ultrabazika jsou zvláštní horninou, nacházející se roztroušeně téměř po celém světě. Serpentinitové výchozy poskytují unikátní příležitost pro ekology, aby mohli prozkoumat rozhodující roli geologie na biotu po celém světě (RAJAKARUNA et al. 2009). Chemické a fyzické faktory hadců znesnadňují život rostlin. Některé na něm nejsou schopny přežít, jiné se dokázaly přizpůsobit. Z řad cévnatých rostlin je na hadci pozoruhodný především vysoký výskyt endemitů.

A jak je to s mechorosty? Předpokládá se stejná adaptace jako u cévnatých rostlin nebo jsou mechorosty k vlivu hadce tolerantní? Mechorosty získaly mezi vědci minimální pozornost (BRISCOE et al. 2009). V této práci se pokusím shrnout výsledky z dostupné literatury. Na mechách z vybraných lokalit provedu chemickou analýzu obsahu Ca, Mg a některých těžkých kovů a pokusím se tak prohloubit svou předchozí práci.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je za pomoci chemické analýzy zjistit rozdíl v obsahu vápníku (*Ca*) a hořčíku (*Mg*) v druhu mechu rokyt cypřišový (*Hypnum cupressiforme*) na dvou typech hornin, serpentinitu a granulitu.

Studované lokality se nachází v jižních Čechách, v okolí Blanského lesa, bohatého na hadce. Celkem se jedná o čtyři lokality, na kterých je možno nalézt serpentinit i granulit. Serpentinitová a granulitová lokalita se nachází vždy v těsné blízkosti, aby byly zajištěny srovnatelné podmínky. Granulitová lokalita tak bude sloužit jako kontrolní.

Vybrané typy hornin se liší svým chemismem a fyzikálními vlastnostmi. Studie se pokusí ověřit, zda má hornina vliv na obsah látek akumulovaných do těla mechů.

Budou řešeny tyto základní otázky: 1. Je poměr *Ca*: *Mg* menší u rostlinek z hadcových lokalit nežli na kontrolních lokalitách? 2. Do jaké míry kopíruje obsah *Ca* a *Mg* v rostlinkách *Hypnum cupressiforme* obsah *Ca* a *Mg* v horninách? Doplňujícím cílem bude zjištění obsahu těžkých kovů v rostlinkách *Hypnum cupressiforme*.

Práce bude doplněna rešerší o chemismu hadců, jeho nepříznivém vlivu na život rostlin, a způsoby adaptace hadcových druhů.

### 3. METODIKA PRÁCE

#### 3.1. ÚVOD

Práce bude rozdělena na práci v terénu a v laboratoři. Práce v terénu bude probíhat v jižních Čechách, v Blanském lese a jeho okolí, které je bohaté na výskyt hadců. Bude se jednat o čtyři lokality, ve kterých se nachází hadec a zároveň i granulit. Vzorky z granulitu budou sloužit pro kontrolu.

Jedná se o tyto lokality: přírodní rezervace Holubovské hadce, přírodní rezervace Bořinka, přírodní památka Šimečkova stráž a přírodní rezervace Miletínky.

Na daných lokalitách budou odebrány vzorky mechu *Hypnum cupressiforme* a na jedné z lokalit bude navíc odebrán vzorek horniny, hadce a granulitu.

Laboratorní práce budou probíhat v laboratoři České zemědělské univerzity, v Kostelci nad Černými lesy, kde budou pomocí atomové absorpční spektrometrie provedeny chemické analýzy obsahu látek v mechu. V laboratoři České geologické služby - pracoviště Barrandov, bude provedena silikátová analýza obsahu látek v hornině.

Chemické analýzy obsahu látek by měly pomoci odpovědět na stanovené základní otázky diplomové práce. Pro komplexnější odpovědi by bylo nutné provést značně vyšší množství chemických analýz. Vzhledem k jejich finanční náročnosti, je však nebylo možné zahrnout do této diplomové práce. Mohly by tak být předmětem dalších studií, financovaných například z grantu.

#### 3.2. TERÉNNÍ SBĚR DAT

##### 3.2.1. VÝBĚR LOKALIT

Práce v terénu probíhaly na čtyřech lokalitách. Jedná se o přírodní rezervaci Holubovské hadce, přírodní rezervaci Bořinka, přírodní památku Šimečkova stráž a přírodní rezervaci Miletínky.

První tři lokality se nacházejí v okrese Český Krumlov, v Blanském lese. Čtvrtá lokalita, přírodní rezervace Miletínky se nachází nedaleko, v okrese Prachatice.

Záměrně jsem vybral takové hadcové lokality, v jejichž blízkosti bylo možno nalézt granulitové těleso. Každá lokalita tak poskytuje data jak z hadce, tak z granulitu. Díky srovnatelným klimatickým a geomorfologickým podmínkám mohou vzorky odebrané z granulitu sloužit jako kontrolní pro ty hadcové.

### 3.2.2. ODBĚR VZORKŮ MECHŮ

Odběr vzorků probíhal následujícím způsobem: na každé z lokalit jsem určil druh *Hypnum cupressiforme* a následně odebral čtyři vzorky z hadce a čtyři z granulitu.

Na lokalitě Holubovské hadce jsem odebral o dva vzorky více, tedy šest z každé horniny. Důvodem bylo, že pouze na vzorcích z této lokality byly prováděny i chemické analýzy těžkých kovů. Celkem bylo tedy odebráno třicet šest vzorků mechů.

Odebíral jsem pouze vzorky mechu, které byly v přímém kontaktu s horninou – tedy s hadcem nebo žulou. Vzorek mechu jsem odebral v dostatečném množství, přibližně o velikosti dlaně, aby ho bylo možno následně použít k rozkladu a chemické analýze. Každý vzorek jsem vložil do vlastní papírové obálky a označil číslem. Správnost odebraného vzorku jsem následně ověřil pomocí online klíče KUČERY et al. (2009).

Druh *Hypnum cupressiforme* jsem vybral proto, že se jedná o běžný druh, který patří podle Červeného listu KUČERA et al. (2012) mezi neohrožené taxony - LC (*Least Concern*) a lze ho hojně nalézt na hadcových půdách po celém světě (BRISCOE et al. 2009). Také z výsledků mé předchozí práce je patrné hojné zastoupení druhu *Hypnum cupressiforme* na Holubovských hadcích (PAŠTYKA 2014). Tento mech se často používá pro bioakumulační studie a v literatuře existuje spousta dat spojených právě s ním (BARGAGLI et al. 2002).

### 3.2.3. ODBĚR VZORKŮ HORNINY

Vzhledem k finanční náročnosti byly odebrány vzorky pouze z nejvýznamnější lokality Holubovské hadce, a to pouze jeden vzorek ze serpentinitu a jeden z granulitu.

Vzorky jsem odebral přibližně ze stejného místa výchozu, jako byly odebrány vzorky mechu. Vzorky horniny byly odebrány pomocí geologického kladívka do hloubky přibližně 5 cm. Vzorky byly označeny a uloženy do obálky.

### 3.3. LABORATORNÍ PRÁCE

#### 3.3.1. PŘÍPRAVA VZORKU MECHU

Laboratorní práce probíhaly v laboratoři České Zemědělské Univerzity, v Kostelci nad Černými lesy, pod odborným dohledem doc. Mgr. Vacha, Ph.D.

Vysušené vzorky mechů jsem zbavil humusové vrstvy a dalších nečistot. Čisté a vysušené vzorky jsem natrhal na malé kousky. Bylo třeba vyvarovat se kontaktu s jakýmkoli kovem, tedy i nůžkami.

Vzorky jsem odvážil na předem kalibrované digitální váze Sartorius. Suché vzorky byly homogenizovány a připraveny k rozkladu v mikrovlnném poli. Vzorek o hmotnosti 0,3 g byl rozkládán v 7 ml HNO<sub>3</sub> Merck Suprapur (65% kyselina dusičná) v PTFE tlakové nádobce (viz foto 1, Kapitola 10) v mikrovlnném zařízení značky Berghof (viz foto 2).

Po ochlazení byl mineralizát kvantitativně převeden do 50 ml odběrných baněk a doplněn po rysku demineralizovanou vodou. Každou zkumavku jsem označil, aby ji bylo možné následně identifikovat. Poté následovala analýza metodou atomové absorpční spektrometrie (AAS).

#### 3.3.2. ATOMOVÝ ABSORPČNÍ SPEKTROMETR

Chemickou analýzu Ca, Mg a těžkých kovů jsem prováděl pomocí atomové absorpční spektrometrie (viz foto 3).

Tato analytická metoda se používá ke stanovení stopových koncentrací kovových prvků ve vzorku a lze jí stanovit více než šedesát prvků z periodické tabulky (KOMÁREK 2000). Využívá princip absorpce světla daných vlnových délek volnými atomy prvků. Jedná se o jednoduchou a spolehlivou metodu, která se používá především tehdy, když jsou vzorky ve formě roztoku. Výsledkem analýzy metodou atomové absorpční spektrometrie je vždy údaj o koncentracích stanovovaných prvků (VACH et al. 2010).

Příprava před měřením probíhá tak, že se do prázdných zkumavek nalije 5 ml vzorku a přidá se 5 ml destilované vody. Zkumavky jsou kalibrovány pomocí známých

koncových roztoků. Z důvodu potlačení emisí (svítivosti) v průběhu měření byl přidán 1 ml chloridu lanthanitého,  $\text{LaCl}_3$ .

U metody atomové absorpční spektrometrie je měřena specifická absorpce elektromagnetického záření odpovídajícího spektrální čáře přechodu (elektronové excitaci) v elektronovém obalu volného atomu analyzovaného prvku. Zdrojem monochromatického záření je HCL lampa, která vyzařuje spektrum detekovaného prvku. Pro stanovení konkrétního prvku se vždy používá specifická lampa, která vyzařuje vlnové délky odpovídající spektrálním čarám daného prvku. Katoda lampy je daným prvkem tvořena či potažena. Pro detekci se využívá pouze ta spektrální čára, která je měřeným prvkem nejvíce absorbována. Toho se dosáhne pomocí monochromátoru. Za monochromátorem je umístěn fotonásobič, který měří míru absorpce záření (SARKAR 2002).

Pro stanovení prvků Ca a Mg byla použita metoda plamenové AAS, tzv. F-AAS. Jedná se o atomizaci zamlžováním do plamene. Mez detekce se pohybuje u většiny prvků okolo 10 - 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (VACH et al. 2010).

Pro stanovení zbylých prvků těžkých kovů byla použita metoda elektrotermické atomizace, tzv. ETA-AAS. Ta se používá pro potřeby ultrastopové analýzy, kdy se koncentrace prvků pohybuje okolo 0,05 – 0,10  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (VACH et al. 2010).

### 3.3.3. VZOREK HORNINY

Vzorky horniny byly po odebrání odeslány do laboratoře České geologické služby, na pracoviště Barrandov, kde byla provedena silikátová analýza obsahu látek v hornině.

## 3.4. STATISTIKA

Statistická data byla zpracována v tabulkovém editoru Microsoft Excel a v programu R Studio (Verze 1.0.136), za pomoci Šmilauerovi moderní regresní metody (ŠMILAUER 2007). One-way ANOVA, analýza rozptylu, byla použita k detekování významných rozdílů. Hodnoty byly zlogaritmovány, aby odpovídaly normální distribuci. Pro data všech čtyř lokalit byla použita funkce one-way ANOVA s náhodným efektem. Pro data, zabývající se pouze jednou lokalitou nebylo náhodného efektu třeba, proto byla použita pouze funkce one-way ANOVA. Korelační analýzy a matice byly provedeny výpočtem Pearsonovým korelačním koeficientem.



## 4. LITERÁRNÍ REŠERŠE – ŽIVOT NA HADCI

### 4.1. ÚVOD

Hadcové půdy a výchozy jsou extrémním stanovištěm pro život rostlin. Mají velmi vysoký obsah hořčíku, nízkou dostupnost základních živin a díky vysokému obsahu těžkých kovů jsou toxické. Půdy jsou mělké, skalnaté a suché. Tyto nehostinné podmínky podporují endemické druhy rostlin. Ačkoliv jsou hadce pro většinu rostlin jedovaté, najdeme i takové, které se životu na hadci přizpůsobily. Můžeme dokonce pozorovat vysoký výskyt endemitů z řad cévnatých rostlin. Hadce významně ovlivňují rostlinná i živočišná společenstva.

Hadce se roztroušeně nacházejí po celém světě. Odlišnost hadců lze poznat už na první pohled, a to především díky ostrému kontrastu hadcové a okolní vegetace. I proto se o hadcových oblastech hovoří jako o snadno rozeznatelných ostrovech s neúrodnou půdou nebo útesy (BERGLUN 2005). Tato nápadnost přitahuje pozornost vědců už velice dlouho.

Hadcová problematika je zkoumána především u cévnatých rostlin. Mechorosty jsou ve vztahu k hadci zmiňovány jen zřídka. Někteří vědci se domnívají, že mechorosty se nehostinným podmínkám hadce přizpůsobují stejně jako cévnaté rostliny, jiní zase tvrdí, že mechorosty se adaptovat nepotřebují. Jisté je, že mechorostům na hadci je třeba věnovat více pozornosti. Rešerše shrnuje poznatky z dostupné literatury.

### 4.2. GEOLOGIE HADCE

Zvláštnost hadce spočívá v jeho složení. Serpentinit neboli hadec, je metamorfovaná hornina, která vznikla z ultrabazických vyvřelých hornin. Jedná se o magmatickou nebo metamorfovanou horninu, která obsahuje méně než 45%  $\text{SiO}_2$ , tedy oxidu křemičitého, a obsahuje vysoké množství kovů, kterými jsou nikl, hořčík, železo, chrom a kobalt. Taková hornina je označována termínem „ultramafická“ (SUSAYA et al. 2010).

Ultramafická hornina je chemicky podobná pláští země (RAJAKARUNA et al. 2009 ex. MACGREGOR 1979). Plášť je primárně složen ze silikátů hořčíku (ALEXANDER et al. 2007).

Hadec je v podstatě železo-magnezitý silikát  $(\text{Fe, Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Pro vznik hadce je typický relativně nízký tlak, teplota mezi 100-300 °C a pH větší než 10 (BROOKS 1987). Hadcové půdy jsou tvořeny zvětráváním ultrabazických hornin. Vznikají metamorfózou peridotitu. Ten se nachází ve vyvřelých horninách v plášti země.

Jednou z hlavních složek peridotitu je olivín. Dalšími složkami, méně obsaženými než olivín, jsou pyroxen a amfibol. Díky tomu je v hadci přítomen vápník, hliník, sodík, nikl a také mnoho chromitu (ZIMÁK 2005). Jelikož se obsah těchto prvků mění, variabilita složení se odráží v různé barvě horniny od lesklé zelené, namodralé až po téměř černou. Půdy zvětralé z peridotitu silně odráží minerální složení matečné horniny. Často se skládají z minerálů jako je antigorit, chrysotil a lizardit, známé jako serpentínová skupina nerostů (KRUCKEBERG 1985). HEJTMAN (1962) je dle minerálů, které obsahují, rozděluje do několika skupin. Hadce granátické, hadce s pyroxeny, hadce jednotné, hadce tremolitové, hadce s brucitem a hadce s magnezity.

Ačkoliv se pH hadcových půd pohybuje v rozmezí 4-9 (BROOKS 1987), podzemní voda, která z nich vytéká, je silně bazická (OZE et al. 2004).

RAJAKARUNA et al. (2009) tvrdí, že hadcové výchozy poskytují unikátní příležitost ekologům, pro prozkoumání rozhodující role geologie na biotu celého světa.

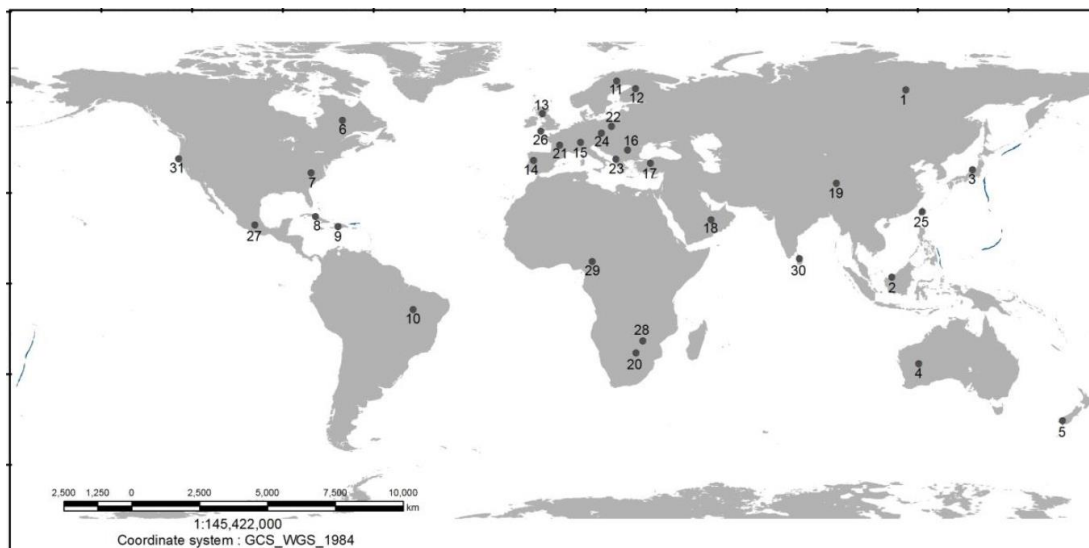
Hadce jsou mimo jiné snadno zpracovatelné horniny. Mnohé kultury je používají pro výrobu nástrojů, dekorací, šperků nebo amuletů (RAJAKARUNA et BOYD 2014), které prý slouží jako ochrana proti hadímu uštknutí (KOUŘIMSKÝ 1999).

### 4.3. VÝSKYT HADCE

Hadcové půdy jsou všudypřítomné, ale nejednotně rozložené (BRADY et al. 2005). Celosvětově pokrývají asi 1% zemského povrchu (BROOKS 1987). Hadcové půdy byly nalezeny na všech kontinentech, až na Antarktidu (KUMARATHILAKA et al. 2014). Významné světové hadcové lokality se nacházejí například v Nové Kaledonii, na Kubě, v Québecku, Kalifornii nebo Uralu.

### Obrázek 1: Světové hadcové lokality.

1. Sibiř, 2. Filipíny, 3. Japonsko, 4. Západní Austrálie, 5. Nový Zéland, 6. Newfoundland, USA, 7. Maryland, USA, 8. Kuba, 9. Puerto Rico, 10. Brazílie, 11. Norsko, 12. Finsko, 13. Skotsko, 14. Španělsko, 15. Itálie, 16. Řecko, 17. Turecko, 18. Omán, 19. Barma, 20. Jižní Afrika, 21. Francie, 22. Polsko, 23. Albánie, 24. Česká Republika, 25. Taiwan, 26. Anglie, 27. Mexiko, 28. Zimbabwe, 29. Kamerun, 30. Srí Lanka, 31. Nickel mountain, USA (KUMARATHILAKA et al. 2014).

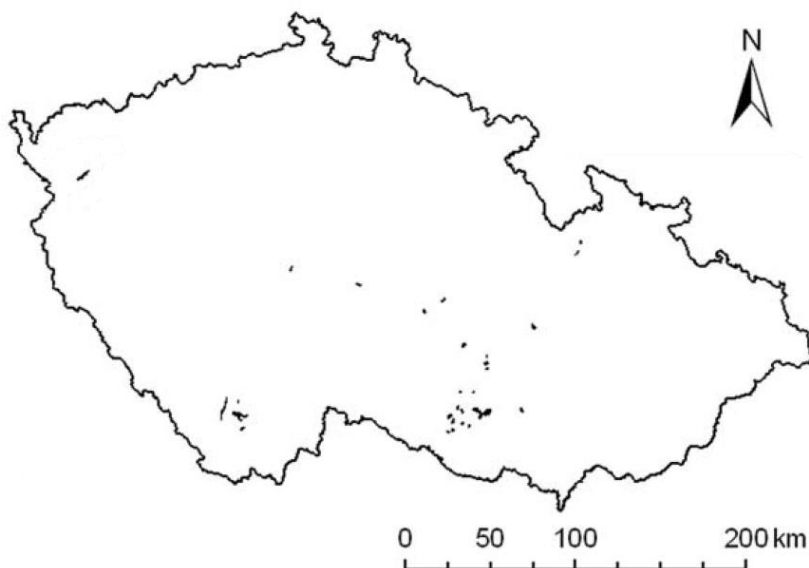


Plocha pokrytá hadci na území České Republiky je 68 km<sup>2</sup>, což představuje přibližně desetinu procenta celkové rozlohy ČR (KRÁM et al. 2009).

Významnými hadcovými lokalitami v České Republice jsou Borek u Chotěboře, Mohelno, Dolnokralovické hadce, Slavkovský les, Křemže, Mladá Vožice, Raškov a Staré Ransko (KOLÁŘ et VÍT 2008).

### Obrázek 2: Mapa České Republiky zobrazující výskyt hadcových oblastí.

Upraveno autorem (KRÁM et al. 2009).



## 4.4. HADCOVÝ SYNDROM

Edafické faktory hadce extrémně sužují podmínky pro život rostlin. Botanici z celého světa mu proto věnovali mnoho pozornosti (BAKER et al. 1992).

JENNY (1980) označuje celkový stres hadcových půd působící na rostlinné druhy jako tzv. hadcový syndrom. Stresové faktory se dají rozdělit na chemické a fyzikální.

Někteří vědci přikládají chemickým faktorům velkou váhu. Například KRUCKEBERG (1985) se domnívá, že nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje růst rostlin na hadci, je ten chemický.

Nejvíce citované faktory jsou toxicita těžkých kovů, především pak niklu, nízká dostupnost vápníku, vysoký obsah hořčíku a z toho plynoucí celkový nízký poměr Ca: Mg. Je třeba brát v úvahu i další chemické faktory.

### 4.4.1. NÍZKÁ HLADINA HLAVNÍCH MAKRONUTRIENTŮ

Hadcové půdy jsou živinově velmi chudé. Mají nízkou hladinu hlavních makronutrientů a rostlinám se tak nedostávají hlavní prvky. Jedná se o dusík, fosfor a draslík (WHITTAKER 1954 ex. GORDON et LIPMAN 1926). Všechny tyto prvky jsou základním předpokladem pro zdravý růst rostlin a jejich nedostatek růst limituje. VLAMISŮV (1949) pokus na ječmenu je tomu příkladem. Ječmen pěstovaný na hadcové půdě po přidání fosfátu výrazně zvýšil svůj růst. ALAXANDER et al. (2007) podotýkají, že hadcové půdy chudé na dusík se obvykle vyznačují tím, že jsou pokryty pouze řídkou vegetací, nebo nejsou pokryty vůbec.

### 4.4.2. ZÁSADITOST

WHITTAKER (1954 ex. GORDON et LIPMAN 1926) uvádí, že zásaditá reakce hadcových půd přispívá k neplodnosti rostlin. To bylo ale vyvráceno. Například v Kalifornii je mnoho půd zásaditých a přesto úrodných.

### 4.4.3. NÍZKÁ DOSTUPNOST MOLYBDENU

WALKER (1954) zjistil, že k neplodnosti může částečně přispívat i nízká dostupnost molybdenu. Ve své práci popisuje, že většina kalifornských hadců trpí tímto nedostatkem. Potřeba molybdenu u rostlin je však obecně velmi nízká, proto se nejedná o zásadní faktor, znesnadňující život rostlin.

#### 4.4.4. TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ

Podstatně větší důležitost se přikládá toxicitě těžkých kovů. Hadec obsahuje nadměrné množství chromu, kobaltu a především niklu.

To ukazuje i těžba těžkých kovů v minulosti. BROOKS (1998) uvádí, že se z hadce získával nikl, chrom ale například také azbest. V Nové Kaledonii byla v minulosti těžba niklu z hadcových půd významnou aktivitou (RAJAKARUNA et BOYD 2014). Více než 60% světové dodávky niklu pochází z niklových rud vzniklého z intenzivního zvětrávání hadců, nalezených ve vlhkých tropických podmínkách (BUTT et CLUZEL 2013)

Těžké kovy, přítomné ve zvýšené míře v hadcových půdách, působí na většinu rostlin toxicky (PROCTOR et WOODSELL 1971) a způsobují zpomalení jejich růstu.

Někteří vědci tvrdí, že největší vliv má nikl. Jeho vysoký obsah potlačuje fotosyntézu, transpiraci a zpomaluje růst. Například MINGUZZI et VERGNANO (1953) ve své práci uvádí, že zodpovědnost za specializovanou vegetaci na hadci nese právě nikl. Zvýšená koncentrace niklu může inhibovat dělení buněk v kořenových meristémech u netolerantních rostlin, má negativní vliv na fotosyntézu, respiraci a regulaci transpirace (BERGLUND et al. 2003).

RAJAKARUNA et BOYD (2014) dokonce zmiňují negativní účinky těžkých kovů hadců na lidské zdraví. KRÁM et al. (2009) poukázali na zvýšené množství niklu ve vodě odtékající ze středoevropské hadcové oblasti. RAJAKARUNA et BOYD (2014) dodávají, že v případě odtoku vody kontaminované hadcem přes pole, může pěstovaná plodina obsahovat zvýšené množství kovů.

#### 4.4.5. NÍZKÝ POMĚR CA: MG

A konečně, asi tím nejvýznamnějším stresovým faktorem, je nízký poměr Ca: Mg. Hadec má nízkou dostupnost vápníku, a naopak zvýšené množství hořčíku.

Vápník je prvek, který neutralizuje kyseliny v rostlinách, zpevňuje pletiva a ovlivňuje hospodaření s vodou. Jeho nedostatek ovlivňuje příjem živin, způsobuje nekrózu listů a pupenů a vede k zahnívání kořenů. Obsah hořčíku v rostlině je neméně důležitý. Je například aktivátorem mnoha reakcí ve fotosyntéze. Nedostatek hořčíku se projevuje

chlorózou listů. Pro růst mechorostů je vápník a hořčík také důležitý. Při jejich nedostatku dochází k omezení či potlačení růstu (VÁŇA 2006).

Obecně přijímaným názorem je, že zásadní a největší vliv na růst rostlin má koncentrace vápníku ve vztahu k hořčíku (PROCTOR et WOODSELL 1971). Už WHITTAKER (1954 ex. LOEW et MAY 1901) tvrdili, že pro dobrý růst rostlin je důležitý poměr Ca: Mg, roven alespoň jedné, lépe však vyšší. Nepříznivé podmínky pro růst rostlin nastávají, když je poměr Ca: Mg menší než jedna (BRADY et al. 2005).

A právě na hadci je tento poměr nižší než jedna, dokonce často dosahuje i hodnot nižších než 0,4. Výsledný poměr iontů má na svědomí vysoký obsah hořčíku, který pramení z bohaté Mg mineralogie hadců (KAZAKOU et al. 2008 ex. BURT et al. 2003).

Hadcové půdy obsahují potenciálně toxické koncentrace hořčíku (BRADY et al. 2005). VLAMIS et JENNY (1948) tvrdí, že hlavní příčinou neobyvatelnosti hadce je nedostatek vápníku, naproti tomu někteří vědci (PROCTOR et WOODSELL 1971, MARRS et PROCTOR 1976, BROOKS 1987) se domnívají, že hlavním důvodem je případná otrava hořčíkem. Vysoký obsah hořčíku tento problém jen zhoršuje, potlačením dostupnosti vápníku.

V následujícím textu uvádím konkrétní pokusy vědců, zabývajících se poměrem Ca: Mg.

WALKER (1948) se pokusil hypotézu nízkého obsahu Ca: Mg, která je limitující pro růst rostlin, prokázat pokusem na rostlinách rajčete a na hadcovém endemitu čeledi *Brassicaceae*. Do půdy postupně přidával vápník, hořčík a dále i dusík, fosfor a draslík. Růst plodu přímo koreloval s hladinou vápníku v půdě, zatímco na hadcový endemit zvýšení hladiny vápníku vliv nemělo. WALKER (1948) tak došel k závěru, že pouze rostliny tolerující nízký poměr Ca: Mg, mohou přežít na hadcových půdách.

Později WALKER (1954) experimentoval s různými poměry Ca: Mg v půdě. Vzal několik květináčů, naplnil je substrátem s různou koncentrací vápníku (5-80%) a hořčíku (19-94%) a zasadil do nich dva typy slunečnice. Hadcový endemit *Helianthus bolanderi* a nehadcový druh *Helianthus Annuus*. Růst nehadcového druhu úměrně koreloval s hladinou vápníku, zatímco na hadcový endemit neměla koncentrace prvků v půdě téměř žádný vliv.

VLAMIS (1949), jak již bylo zmíněno, prováděl pokus na ječmenu. Kromě toho, že lepší růst zajistil přidáním prvků N, P a K, experimentoval také s vápníkem. Jeho přidáním dosáhl ještě silnějšího efektu zvýšení růstu ječmene. Naopak, když přidal

hořčík, jeho růst se zhoršil. Vlamisova práce tak poukazuje na důležitost poměru Ca: Mg a jeho dopadu na růst rostlin.

BRADY et al. (2005) udávají, že právě nízký obsah vápenatých iontů je ve vztahu k hořečnatým nejdůležitější příčinou neobyvatelnosti hadcových půd.

Proctorova práce (PROCTOR 1970) zkoumá zvýšenou hladinu hořčíku na hadec-tolerantní rostlině čeledi *Poaceae* a na nehadcové rostlině *Agrostis stolonifera*. Nehadcový typ je náchylnější na toxicitu hořčíku. Proctor dále zjišťuje, že toxicita hořčíku je závislá na obsahu vápníku. Po jeho přidání totiž toxicita hořčíku polevuje. PROCTOR et WOODSELL (1971) dále uvádí, že nízký poměr Ca: Mg zároveň zvyšuje toxicitu niklu v rostlinách, a ještě více tak rostliny stresuje.

#### 4.4.6. SUCHO, EROZE

Aby stresu na rostliny nebylo málo, přidávají se často podceňované fyzikální činitelé. Fyzikální vlastnosti hadcových půd jsou na celém světě rozdílné. Mohou se značně lišit z místa na místo (ALEXANDER et al. 2007), ale také v rámci jedné lokality (RAJAKARUNA et BOHM 1999).

Hadcové oblasti jsou často situovány ve strmých a poměrně skalnatých výchozech. To podporuje erozi a odnášení živin z půdy. Výsledkem jsou pak mělké půdy s minimálním obsahem jílu. V takovýchto půdách se obtížně drží voda.

Hornina je také vystavena vysoké teplotě. Kvůli své tmavé barvě dosahuje teploty až 50°C a je tak dále vysušována (KOLÁŘ et VÍT 2008).

CHIARUCCI (2004) podotýká, že sucho může být často pro rostliny větším stresem než obsah těžkých kovů.

Když HUGHES et al. (2001) prováděli svůj pokus citlivosti hadcových a nehadcových rostlin čeledi *Phrymaceae* na sucho, zohlednili také jejich toleranci na vysoký obsah niklu. Zajímavým zjištěním bylo, že rostliny korelovaly s tolerancí sucha, ale ne s tolerancí niklu. Tolerance sucha se tak jeví jako důležitější adaptace pro život na hadci.

Hadcový syndrom je tedy souhrnný název pro všechny výše uvedené stresové faktory. Rostliny rostoucí na hadci se s nimi musejí vyrovnat.

## 4.5. ŽIVOT NA HADCI, ADAPTACE

Hadcová půda je neobvyklá, často ostře oddělená od okolních nehadcových lokalit. Za její specifickou vegetaci jsou zodpovědné chemické a fyzikální faktory popsané výše. Jak se vlastně hadcová flóra odlišuje od té nehadcové? Co je typické pro hadcovou půdu a jak se na ní rostliny adaptují?

WHITTAKER (1954) definoval tři kolektivní rysy ekologie hadců. Mezi ně zařadil:

- (a) nízkou produktivitu rostlin
- (b) vysokou míru endemismu
- (c) odlišný typ vegetace od sousedních oblastí

KRUCKEBERG (1985) uvádí, že rostliny rostoucí na hadci se často liší strukturou a fyziologií, nebo jsou čistě endemické.

### 4.5.1. ENDEMISMUS

Vědce zaujala především vysoká míra endemismu cévnatých rostlin. Hadcový ekosystém je charakteristický velkým počtem místních a oblastních endemitů (WALKER 1954).

KRUCKEBERG (1985) uvádí, že rozloha hadcových oblastí v Kalifornii činí pouze 1% z celkové rozlohy, přesto na nich žije 10% endemických druhů vyskytujících se na celém území. RAJAKARUNA et al. (2009 ex. HICKMAN 1993) zmiňují, že ze 1410 endemických druhů Kalifornie je 176 omezených pouze na hadce. Novější poznatky Anackera (ANACKER 2011) udávají, že počet nalezených hadcových endemických taxonů cévnatých rostlin v Kalifornii je 215, 845 na Kubě a v Nové Kaledonii dokonce 1150. Nová Kaledonie se vyznačuje celosvětově největší koncentrací endemitů na jednotku plochy (SUDA et KAPLAN 2012).

V České Republice je z celkem 3751 druhů a poddruhů cévnatých rostlin 48 výhradně českých endemitů (SUDA et KAPLAN 2012). České hadcové endemity popisuje KOLÁŘ et VÍT (2008). Patří mezi ně chřastavec rolní hadcový (*Knautia arvensis* subsp. *Serpentinicola*), mochna Crantzova hadcová (*Potentilla crantzii* subsp. *serpentina*), hvozdík kartouzek hadcový (*Dianthus carthusianorum* subsp. *capillifrons*), trávnička obecná hadcová (*Armeria vulgaris* subsp. *serpentina*), rožec kuříčkolistý (*Cerastium alsinifolium*) a kuříčka Smejkalova (*Minuartia smejkalii*).



STEBBINS (1942) hadcové endemity rozdělil na ubývající a ostrovní druhy.

(a) Ubývající druhy

Dříve se vyskytovaly v širokém okolí a nyní jsou kvůli výskytu silnějších konkurentů omezené na hadcové biotopy.

(b) Ostrovní druhy

Pocházejí z několika izolovaných jedinců, kteří se přizpůsobili specifickému prostředí.

REEVES et al. (1999) výraznou hadcovou vegetaci dělí na:

(a) Typicky hadcové endemity

Rostliny, které rostou výhradně na hadcových půdách.

(b) Hadeč-tolerantní druhy

Rostliny jsou schopny života na hadci, ale na jiných půdách se jim daří lépe.

Přitom PROCTOR et WOODSELL (1971) tvrdí, že všechny hadcové endemity je možné kultivovat v běžných podmínkách. Otázkou tedy je, proč se některé druhy vyskytují pouze na hadcích? KRUCKEBERG (1985) tento fakt vysvětluje jako konkurenční boj a označuje rostliny rostoucí výhradně na hadci jako stres-tolerantní druhy. Dle strategie populací rostlin jde o S-strategie, tedy stres snášející rostliny. Ty dávají přednost stresu před souboji s rostlinnými druhy s vysokou konkurenční schopností, zvanými C-strategie. Hadcové půdy jsou tedy útočištěm pro slabé kompetitory.

Zdá se, že endemitické druhy jsou závislé na klimatu. HARRIS et RAJAKARUNA (2009) zmiňují, že ultramařícká flóra dosahuje v regionech chladného podnebí nízkého endemismu. PROCTOR et al. (2005) dodávají, že v polární oblasti Uralu nebyly nalezeny endemitické druhy rostlin, schopné akumulovat těžké kovy. BATIANOFF et SINGH (2001) našli v největším hadcovém regionu v Austrálii rozdíl v ekologii rostlin mezi vysočinou a nížinou. Bohatost druhů negativně korelovala s koncentrací niklu v půdě. Přitom vyšší počet endemitů našli na vysočině, kde byla vyšší koncentrace niklu v půdě.

#### 4.5.2. TOLERANCE SUCHA

Aby mohly rostliny odolávat vysokému stresu hadcového prostředí, musejí se přizpůsobit, adaptovat se. Hadec-tolerantní druhy jsou také často tolerantní na sucho (BRADY et al. 2005). COOKE (1994) ve své studii poukazuje na důležitou adaptaci rostlin na sucho. Díky schopnosti rostlin udržet téměř uzavřené průduchy a díky celkově pomalejšímu růstu se rostliny s tímto stresem vyrovnají.

CHIARUCCI (2004) tvrdí, že adaptace rostlin na sucho je důležitější nežli adaptace na stres plynoucí z těžkých kovů v půdě.

GRAM et al. (2004) zjistili, že dostupnost vody silně koreluje s rozložením druhů na hadci. Jejich výzkum probíhal v Kalifornii. V období velkých dešťů se počet druhů na hadci skoro zdvojnásobil a to z 10 na 19.

HUGHES et al. (2001) testovali hadcové a nehadcové rostliny čeledi *Phrymaceae* vzhledem k toleranci na sucho. Všechny druhy se ukázaly být citlivé na sucho, ale hadcoví endemité byli výrazně tolerantnější. Dále pak zkoumali souvislost mezi tolerancí rostlin a jejich velikostí. Nejtolerantnější rostliny patřily mezi ty nejmenší. Hadcový substrát vyvolává morfologické změny vegetace (BROOKS 1998). Rostliny rostoucí na hadci mají menší vzrůst a rozsáhlý kořenový systém. Díky rozsáhlému kořenovému systému je rostlina schopna z půdy odebírat více živin a vláhy. Investice do kořenového systému však rostlinu stojí spoustu sil a nezbývá tak dostatek zdrojů pro růst její nadzemní části. Jedná se o princip trade-off, tedy něco za něco, kdy rostlina vymění výhodu v jednom směru za nevýhodu v jiném. V tomto případě za rozsáhlý kořenový systém zaplatí celkově menším vzrůstem. Proto se rostliny rostoucí na hadci často nazývají trpasličí formy rostlin (RUNE 1953). U nás si drobné hadcové formy získaly specifické pojmenování, nanismy. V minulosti se jimi intenzivně zabýval Rudolf Dvořák, který v roce 1935 vydal knihu *Nanismy, trpasličí formy rostlinné* (DVOŘÁK 1935). Popsal v ní 279 případů nanismů na Mohelské hadcové stepi.

Další morfologickou změnou je například kompaktní habitus rostlin nebo xeromorfní tendence u listů, která rostlině pomáhá vyrovnat se s nedostatkem vlhkosti.

### 4.5.3. TOLERANCE NÍZKÉHO POMĚRU CA: MG

Mezi další a diskutovanější adaptace patří tolerance nízkého poměru Ca: Mg. Tolerance nízkého poměru Ca: Mg u rostlin má více podob. TYNDALL et HULL (1999) tvrdí, že hadcové druhy rostlin mají vždy jednu nebo více následujících vlastností:

- (a) vyšší toleranci vysokého poměru Mg: Ca
- (b) vyšší požadavky na hořčík pro maximální růst
- (c) nižší vstřebávání hořčíku
- (d) vyšší vstřebávání vápníku
- (e) vylučování hořčíku pomocí listů

Tyto vlastnosti se vzájemně prolínají a umožňují rostlinám tolerovat nízký poměr Ca: Mg. Fyziologické regulace příjmu hořčíku a vápníku dovolují rostlinám udržovat v těle jejich vyvážený poměr (VICIC et al. 2014). Jednotlivé adaptace by se daly rozdělit následovně:

#### (a) Selektce

Z řady studií, jejichž výčet udávají BRADY et al. (2005), vyplynulo, že pokud ve shodných podmínkách na serpentinitovém substrátu pěstujeme obě edafické rasy, hadcový typ dokáže přijímat méně hořčíku a více vápníku ve srovnání se svým nehadcovým protějškem. WALKER et al. (1955) zjistili, že hadcové druhy jsou schopné absorbovat více vápníku a méně hořčíku z půdy než ty nehadcové. Dále jsou schopné vybraný vápník přesunout do listů a hořčík vyloučit pomocí kořenového systému (O'DELL et CLAASSEN 2006).

Jedná se o selekci neboli schopnost přijímat vápník i přes vysokou koncentraci hořčíku v půdě. Selektivní příjem vápníku a jeho přesun do listů se jeví jako důležitá adaptace hadcových endemitů (VIVIC et al. 2014).

#### (b) Tolerance nedostatku Ca / tolerance toxicity Mg

Další adaptací je tolerance nedostatku vápníku a (nebo) toxicity hořčíku. To, že hadcové druhy lépe tolerují vysokou koncentraci hořčíku, potvrzuje například pokus MARRSE et PROCTORA (1976). Vědci porovnali toleranci hořčíku u tří druhů rostlin a došli k závěru, že hadcové druhy měly vyšší požadavek na přítomnost hořčíku než druh nehadcový.

#### (c) Luxus konzumace Mg

Luxus konzumace hořčíku je taková adaptace, kdy hadcové rostliny mají nejen vyšší toleranci k obsahu hořčíku v těle, ale dokonce ho vyhledávají a mají potřebu jeho vyšší konzumace (MADHOK et WALKER 1969).

MAIN (1981) v jedné ze svých studií uvádí, že hadcový endemit čeledi *Poaceae* pozitivně koreloval s koncentrací hořčíku v půdě a pro dobrý růst vyžadoval abnormální množství hořčíku.

RAJAKARUNA et al. (2009 ex. WOOD 1984) ve svém pokusu porovnali obsah těžkých kovů a poměru vápníku a hořčíku hadcových a nehadcových půd na třech druzích dubu v Marylandu. Nenalezli žádný rozdíl v těžkých kovech ani koncentraci vápníku, zato našli signifikantní rozdíl v koncentraci hořčíku. To naznačuje jeho významnou roli.

#### 4.5.4. TOLERANCE VYSOKÉHO OBSAHU TĚŽKÝCH KOVŮ

Další pozoruhodnou adaptací je adaptace na vysoký obsah těžkých kovů. Akumulace těžkých kovů v rostlinách je fascinující fenomén. Mnoho vědců se věnovalo právě této problematice, aby se pokusili stanovit její fyziologický a genetický základ (POLLARD et al. 2002). Jejich zájem podnítila také extrémní variace v koncentraci těžkých kovů v rostlinách (BROOKS 1987).

BAKER (1981) navrhl čtyři kategorie rostlin se schopností odolávat těžkým kovům:

##### (a) Rostliny se schopností těžké kovy vyloučit, tzv. „excluders“

Neakumulační rostliny omezují příjem a transport těžkých kovů. Vysoký obsah těžkých kovů lze nalézt pouze v jejich kořenech. Dalším typem jsou rostliny s absencí příjmu těžkých kovů. ATER (2000) udává, že rostliny rostoucí na Ni a Mg bohatých ultramafických půdách si byly schopny udržet velmi nízkou koncentraci těchto prvků v těle.

##### (b) Rostliny akumulující

Akumulační rostliny mají schopnost translokace a hromadění vysoké hladiny kovů v nadzemní části rostliny, a to jak při nízké, tak i při vysoké koncentraci kovů v půdě. Rostliny přitom nevykazují známky toxicity. BERGLUN (2005) zmiňuje, že některé rostliny mají mechanismus pro akumulaci těžkých kovů v netoxické formě.

#### (c) Rostliny hyperakumulační

Hyperakumulační rostliny hromadí ve svých výhoncích stokrát více kovů než normální rostliny. Jejich chování se označuje jako extrémní v příjmu kovů. Hyperakumulační rostliny získaly díky jejich schopnostem mnoho pozornosti. V následující kapitole budou podrobněji popsány.

#### (d) Rostliny indikační

Indikační rostliny vykazují střední odpověď na vysokou koncentraci kovů v půdě. Vztah mezi obsahem prvku v půdě a rostlině je téměř lineární.

GABRIELLI et al. (1991) porovnávali vliv těžkých kovů, na dva hadcové druhy rostlin, s rozdílnou strategií tolerance. Jednalo se o rostlinu *Silene Italica*, se schopností těžké kovy vyloučit a rostlinu *Alyssum bertolonii*, se schopností těžké kovy hyperakumulovat. Rostlina se schopností hyperakumulace byla těžkými kovy nedotčena. Druhá rostlina byla již méně tolerantní.

### 4.5.5. AKUMULACE NIKLU

Nikl je prvek přítomný téměř ve všech půdách. Běžná koncentrace niklu v půdách je 5-39 g/t. V hadcových půdách je však koncentrace výrazně vyšší, přes 400 g/t. Koncentrace niklu v rostlinách pak běžně bývá 0,01-2 µg/g (HRUŠKA et BAJER 2004).

Rostlinami nejběžněji akumulovaný prvek je nikl (REEVES et BAKER 2000). Proto byl předmětem mnoha výzkumů. BOYD et JAFFRÉ (2009) ve své literatuře rozdělují rostliny podle konkrétní hodnoty obsahu niklu v jejich nadzemní části:

#### (a) Rostliny neakumulační

Obsahují méně než 100 mg Ni/kg.

#### (b) Rostliny akumulující

Obsahují 100-999 mg Ni/kg.

#### (c) Rostliny hyperakumulační

Obsahují 1000-9999 mg Ni/kg.

#### (d) Tzv. „hypernickelophore“ rostliny

Díky výzkumu v Nové Kaledonii vznikla tato kategorie tzv. „hypernickelophore“ rostlin, u kterých obsah niklu přesahuje hodnoty 10000 mg Ni/kg.

PROCTOR (1999) uvádí, že je známo asi 400 druhů hyperakumulačních rostlin, které akumulují nikl, ale většina hadec tolerantních druhů do této kategorie nespadá. Proto není třeba přikládat tomuto fenoménu ve vztahu k hadci takový význam (BRADY et al. 2005). Naproti tomu KAZAKOU et al. (2008) tvrdí, že je známo více než 360 hyperakumulačních druhů rostlin, téměř bez výjimky dvouděložných, a většina z nich (85-90%) jsou právě hadcovými endemity.

Schopnost akumulace těžkých kovů do nadzemních částí rostliny je vzácný a často citovaný fenomén (ENT et al. 2013). Hyperakumulace těžkých kovů, zejména niklu, je jev často se vyskytující u cévnatých rostlin rostoucích na hadcových půdách (REEVES 2003).

Rostliny s touto schopností vyvolaly velký zájem vědecké veřejnosti, zejména ve vztahu k jejich možnému použití v sanaci těžkých kovů u kontaminovaných půd (WANG et al. 2005). Této metodě se říká fytořemediace. V případě, že tyto rostliny využíváme k těžbě kovů z půd přirozeně obsahujících těžké kovy, metodu nazýváme fytomining neboli fytodobývání. Rostliny rostoucí na hadci se tak stávají vhodným genetickým materiálem pro tyto metody (RAJAKARUNA et BOYD 2014). Převážná většina rostlin s touto schopností se vyskytuje v tropickém a subtropickém pásmu (PAUKOV et TEPTINA 2015 ex. REEVES 2005).

Otázkou je, z jakého důvodu některé rostliny přijímají nikl v takovém množství. Může se jednat o selektivní výhodu? Zde jsou návrhy některých vědců:

(a) Schopnost odolávat suchu

KAZAKOU et al. (2008) se domnívají, že rostliny mohou akumulovat nikl za účelem snížení vodního potenciálu rostliny a lépe tak odolávat suchu. To by jim následně dovolilo podstoupit fotosyntézu za suchých podmínek (FITTER et HAY 1981).

(b) Konkurence

BAKER et BROOKS (1989) předpokládají, že hyperakumulace niklu může být obrannou strategií proti konkurenci ostatních druhů.

(c) Nechtěný příjem

SEVERENE et BROOKS (1972) tvrdí, že se může jednat o nechtěný příjem způsobený větší transpirací rostlin.

(d) Obrana

BOYD (2007) se domnívá, že akumulace niklu slouží především jako ochrana proti útokům hmyzu či jiným patogenům.

#### 4.6. MECHOROSTY

Cévnaté rostliny jsou ve vztahu k hadci dobře prozkoumané. Zájem botaniků po celém světě se ubíral právě k serpentinitům (BAKER et al. 1992). Ne však v souvislosti s mechorosty. Literatura na toto téma není proto příliš rozsáhlá. Většina literatury, vztahující se k mechorostům rostoucích na extrémních stanovištích je zaměřena na použití mechorostů jako bioindikátorů průmyslového znečištění (BRISCOE et al. 2009).

Mechorosty se mohou používat k indikaci jako senzitivní indikátory nebo akumulativní indikátory. Mezi senzitivní indikátory patří citlivé druhy, které mírou zatížení prostředí hynou nebo jsou jím poškozovány. Vyhodnocení zatížení pak probíhá na základě pokryvnosti. Mezi akumulativní indikátory patří druhy, které ve svém těle hromadí látky beze známky poškození. Zátěž se pak vyhodnocuje pomocí chemických analýz. Mezi vhodné bioindikátory patří pleurokarpní mechy. Hodnoty zjištěné chemickou analýzou těchto druhů významně korelují s naměřenými absolutními hodnotami atmosférického znečištění (SUCHARA et SUCHAROVÁ 1998). Koncentrace zjišťovaných látek pochází především z atmosféry a koncentrací látek v půdě jsou dotčeny jen minimálně. Mech může být dále kontaminován například humusem, stokem ze svahu nebo rozstříkem deště od matečné horniny.

Cévnaté rostliny přijímají vodu pomocí kořenů. Ty však mechorosty nemají. Namísto nich mají rhizoidy, které slouží pouze jako přichytná vlákna. Jejich funkcí není přijímat vodu ani minerály. Převážné množství vody získávají mechorosty z atmosféry, pouze malé množství ze substrátu (VÁŇA 2006). Jedná se o velmi omezený příjem vody a iontů. Vzhledem k absenci kořenového systému jsou tedy mechy závislé na vzdušném příjmu (SARDANS et PENUELAS 2005). Mechy dělíme na pleurokarpní neboli bokoplodé a akrokarpní neboli vrchoplodé. Bokoplodé mechy jsou většinou poléhavé a větvené, vrchoplodé jsou vzpřímené a nevětvené. Protože pleurokarpní mechy získávají minerální výživu z atmosféry, dá se tvrdit, že mají selektivní výhodu v serpentinovém prostředí oproti akrokarpním mechům, které nějaké těžké kovy přijímají stoupající kapilární vodou (TYLER 1990).

SIGAL (1975) odhaduje, že to, co je známé o cévnatých rostlinách se vztahuje rovněž na mechorosty. Mechorosty nemají oproti cévnatým rostlinám vyvinuta vodivá pletiva, proto u nich nelze předpokládat adaptaci spočívající v efektivním přesunu látek po těle rostlinky (BRISCOE et al. 2009). Anatomická stavba mechorostů tedy vylučuje, aby se adaptovaly na hadcové prostředí stejně jako cévnaté rostliny. V čem tedy adaptace spočívá, pokud vůbec nějaká je? Na hadcovém prostředí se vyskytuje mnoho mechů. Pro přežití na takovémto prostředí je adaptace často, ačkoli ne vždy vyžadována (SHAW 1991).

Cévnaté rostliny bývají v hadcovém prostředí specializované (CHYTRÝ 2009). V reakci na hadce a další extrémní substráty ale mechorosty oproti cévnatým rostlinám vykazují velmi nízký počet endemitů (SHAW et al. 1987). Počet známých hadcových endemitů ve světě je omezen pouze na kalifornskou *Pseudoleskeella serpentiniensis* (BRISCOE et al. 2009 ex. SHEVOCK 2003). Tento počet může být ale vyšší. Mechorosty vykazují nízký počet endemitů v odpovědi nejen na hadcové prostředí, ale i na jiná extrémní stanoviště (SHAW et al. 1987). MARÍN et al. (2004) uvádí, že z 15 druhů endemických mechorostů nalezených na hadci na Kubě, nebyl ani jediný mechorost omezen pouze na hadce. I přesto, že Kuba je na endemitické druhy velice bohatá.

Práce, které se věnují mechorostům na hadci, je stále velmi málo. Zde uvádím některé z těch, které se zabývají biodiverzitou mechorostů na hadci. LEWIS et al. (2004) porovnávali biodiverzitu mechorostů v Britské Kolumbii. Ta se ukázala být na hadcovém prostředí chudší než na nehadcovém. Konkrétně našli 43 druhů na hadci oproti 50 druhům na nehadcové půdě. Tvrdí, že mechorosty může více ovlivňovat mikroklima než typ půdy.

Studie Briscoeové a kol. (BRISCOE et al. 2009) oproti tomu představuje hadce jako druhově bohatší. Ve své práci, která probíhala v Maine v USA, našli 43 druhů mechorostů na hadci a pouze 26 druhů mechorostů na žule, přičemž 14 z nich se nacházelo na obou stanovištích. Na hadci našli 14 játrovek a na žule pouze 6.

Podobných výsledků jsem dosáhl i ve své předchozí práci (PAŠTYKA 2014), kde jsem porovnával bryofloru na hadci, žule a ortorule. Celkem jsem našel celkem 39 druhů mechorostů, z toho se 25 druhů vyskytovalo na hadci, 19 na ortorule a 20 na granulitu, přičemž 15 druhů se vyskytovalo pouze na hadci. Bryoflora hadců byla tedy druhově nejbohatší a nejvíce se lišila od bryoflóry ostatních dvou horninových typů. To je



ovšem do značné míry třeba vysvětlovat bazicitou hadcového prostředí, kde byly tyto rozdíly způsobeny zejména vyšším podílem subneutrofytů a bazifytů.

Další práce se věnuje chemické analýze mechů rostoucích na hadci. BRISCOE et al. (2009) ve své studii demonstrovali vyšší obsah niklu, hořčíku a chromu a nižší poměr Ca: Mg v pletivech mechu rostoucího na hadcových půdách než na těch nehadcových, konkrétně žulových. Pro srovnání koncentrace niklu použili akrokarpní mechy ploník jalovcový (*Polytrichum juniperinum*) a ploník chluponosný (*Polytrichum piliferum*). Na hadcové půdě byl obsah niklu 26.3 a 129 µg/g, zatímco na žulové pouze 1.5 a 3.69 µg/g.

Mechorosty se zdají být vůči edafickým podmínkám široce tolerantní. BRISCOE et al. (2009) upozorňují na to, že je třeba věnovat více úsilí pozorování mechorostů na hadci. Současné chápání distribuce druhů na hadci je podle nich spíše odrazem nedostatečného snímkování nežli jejich skutečného výskytu. Mechorosty se na hadci patrně vyskytují díky jejich ekologické nevyhraněnosti. TYLER (1990) uvádí, že nedostatečná konkurence jiných druhů, včetně rychle rostoucích cévnatých rostlin může pro mechy znamenat vhodnější prostředí pro kolonizaci, protože mechorosty jsou pomalu rostoucí a široce tolerantní. Mechorosty snášejí až 60krát vyšší koncentraci těžkých kovů ve svém těle než cévnaté rostliny. Jsou dokonce schopné obsahovat několik set-krát vyšší koncentraci, než je přítomna v substrátu, na kterém rostou (VÁŇA 2006).

## 4.7. DALŠÍ ŽIVOT NA HADCI

Nejen cévnaté rostliny a mechorosty jsou schopny života na hadci. Nacházejí se na nich také lišejníky, houby, bakterie, a dokonce i někteří živočichové.

### (a) Lišejníky

Ekologický vliv hadce na lišejníky je v mnoha aspektech podobný vlivům pozorovaných na cévnatých rostlinách (RUNE 1954), kde je mnoho taxonů omezeno na hadcové oblasti (RAJAKARUNA 2009).

Srovnání biodiverzity lišejníků na hadcové a nehadcové půdě v New Idria v USA vykazuje bohatší a zřetelnější lišejníkovou společnost na hadci (RAJAKARUNA et al. 2012).

### (b) Ektomykorhizní houby

BRANCO et REE (2010) zmiňují, že hadcové půdy podporují bohatost ektomykorhizních hub. Stresové faktory tedy nepotlačují život těchto organismů. DAGHNINO et al. (2012) nenalézají žádnou korelaci mezi složením hadcových půd a rozmanitostí hub.

### (c) Bakterie, býložravý hmyz

Velmi vysoká koncentrace kovů v těle hyperakumulačních rostlin poskytuje útočiště pro organismy, jakými jsou například bakterie, ale také býložravý hmyz (BOYD 2009). Hyperakumulační rostliny jsou schopny vytvořit vhodnou niku kov-tolerantním bakteriím (MENGONI et al. 2010). OLIVE (2006) porovnával ve své práci rozmanitost bakterií na hadcové a nehadcové půdě. Půdní bakterie hadcových půd mají tendenci být si navzájem více podobné.

### (d) Živočichové

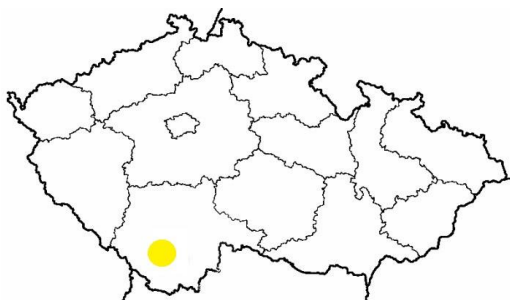
BOYD (2007) zjišťuje, že nejen rostliny ale také někteří živočichové jsou závislí na hadcových půdách a jejich rostlinách. Jsou to například mravenci, motýli nebo mandelinky.

## 5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI

### 5.1. VYMEZENÍ STUDOVANÉ OBLASTI

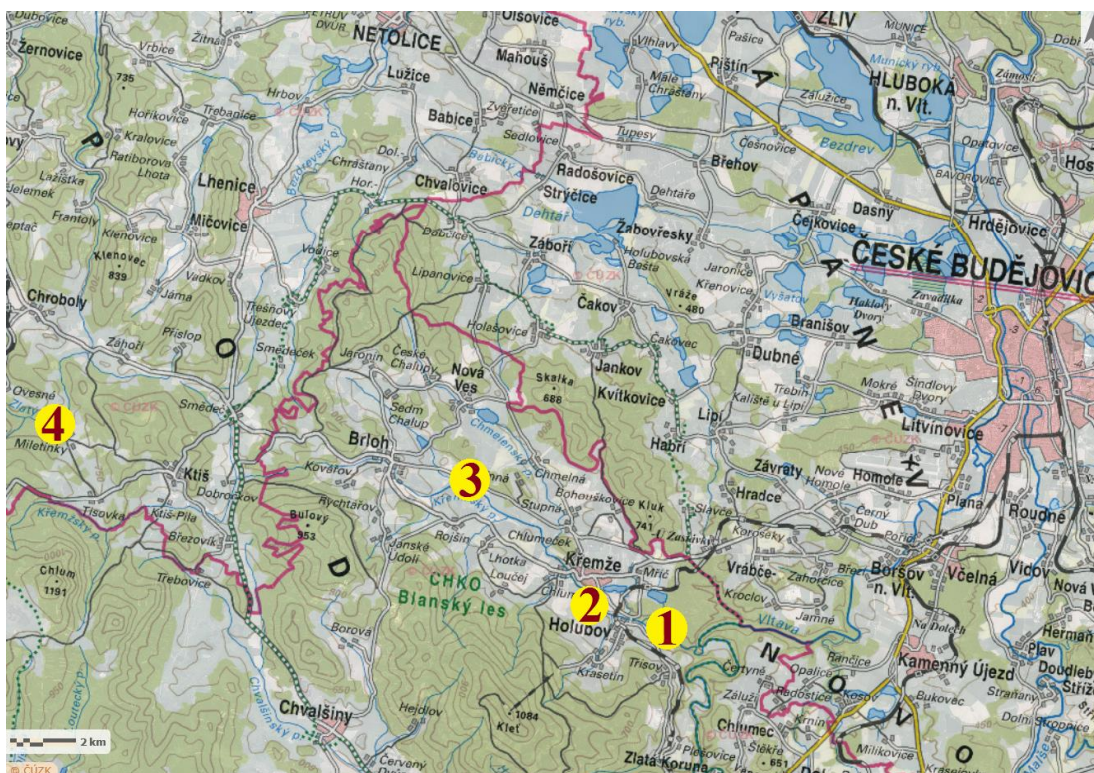
Výzkum probíhal ve čtyřech lokalitách chráněných území Českobudějovicka. Tři lokality se nacházejí v okrese Český Krumlov, v Blanském lese. Jedná se o PR Holubovské hadce, PR Bořinka, PP Šimečkova stráň. Poslední, čtvrtá lokalita PR Miletínky, se nachází v okrese Prachatice. Dané lokality jsou bohaté na hadce. Na mapě České republiky je vyznačena oblast zájmových lokalit (viz obr. 3). Lokality jsou vyznačené v podrobnější mapce (viz obr. 4). Základní charakteristiky zkoumaných zvláště chráněných území (ALBRECHT 2003) uvádím v Tabulce 1.

**Obrázek 3: Oblast zájmových lokalit na mapě České republiky.**



**Obrázek 4: Mapka studovaných lokalit**

1:75 000, upraveno autorem. 1 – PR Holubovské hadce, 2 – PR Bořinka, 3 – PP Šimečkova stráň, 4 – PR Miletínky (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2012).



**Tabulka 1: Stručné shrnutí charakteristik studovaných oblastí.**

(ALBRECHT 2003).

<b>Název CHÚ</b>	<b>Rok vyhlášení</b>	<b>Výměra [ha]</b>	<b>Nadmořská výška [m]</b>	<b>Katastrální území</b>	<b>Charakter území</b>
PR Holubovské hadce	1972	15,68	458-501	Holubov, Křemže, Třisov (okres Český Krumlov)	Pozoruhodný komplex reliktních hadcových borů a vegetace skalních štěrbin hadcových substrátů s hvozdíkem kartouzkem hadcovým a dalšími vzácnými rostlinnými druhy a s významnou faunou bezobratlých
PR Bořinka	1990	6,68	488-516	Holubov, Chlum u Křemže (okres Český Krumlov)	Charakteristicky vyvinutá společenstva hadcových borů a vegetace skalních štěrbin hadcových substrátů s chráněnými a ohroženými druhy rostlin
PP Šimečkova stráž	1993	1,75	528-540	Brloh pod Kletí, Rojšín (okres Český Krumlov)	Významná semixerotermní travinobylinná společenstva na výchozech serpentinitů se serpenitinomorfózami a se specifickou faunou suchomilných měkkýšů
PR Miletínky	1989	42,50	697-756	Křížovice u Ktiše (okres Prachatice)	Komplex porostů reliktních hadcových borů, společenstev skalních štěrbin na hadcích a polokulturních acidofilních borů s charakteristickou květenou

## 5.2. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH LOKALIT

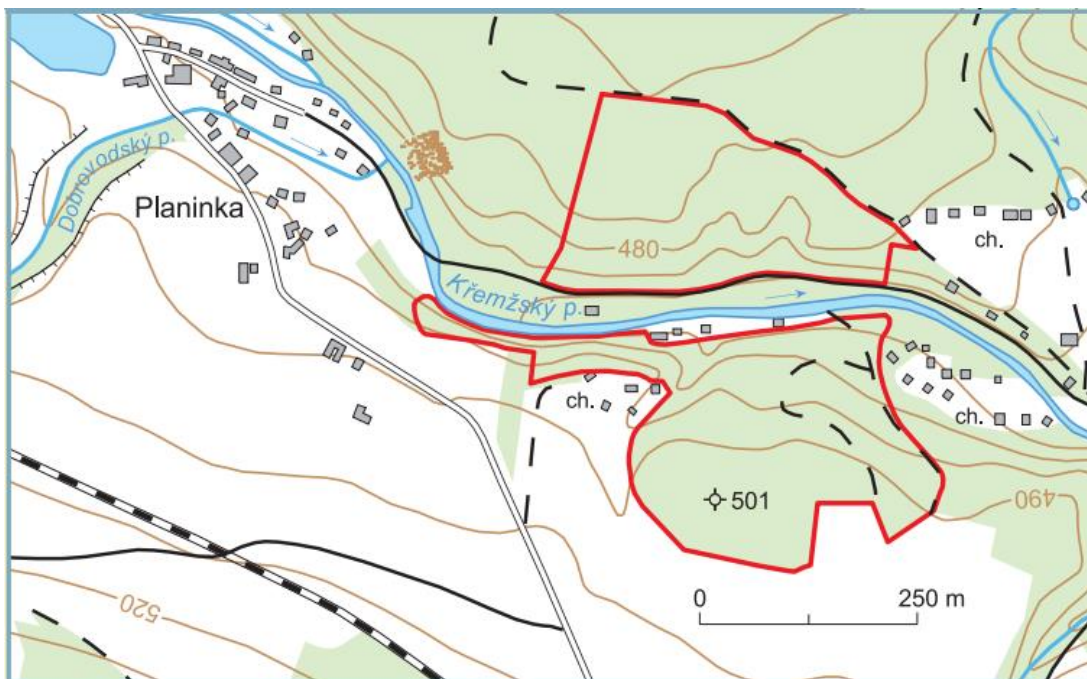
### 5.2.1. PR HOLUBOVSKÉ HADCE

Přírodní rezervace Holubovské hadce se nachází na katastrálním území Holubov, Křemže a Třisov, v okrese Český Krumlov, asi 0,6 km východně od obce Holubov. Přírodní rezervací byla vyhlášena roku 1972 a je součástí CHKO Blanský les. Lokalita má rozlohu 15,68 ha a nachází se v nadmořské výšce 458-501 m n. m. V pozoruhodném komplexu reliktních hadcových borů (viz foto 4) se vyskytují vzácné rostlinné druhy a významná fauna bezobratlých.

Přírodní rezervace (viz obr. 5) je v celé délce rozdělena Křemežským potokem, který je levostranným přítokem Vltavy. Ten spolu s prašnou cestou rozděluje oblast na jižní a severní část. Vliv hadcového podloží je nejvíce patrný na svazích jižní expozice, kde jsou mělké půdy a místy se objevují skalní výchozy. Prudký svah dále podporuje nedostatek vody.

#### **Obrázek 5: Mapa území PR Holubovské hadce.**

Vyznačeno červeně (ALBRECHT 2003).



Horninovým podkladem Holubovských hadců jsou částečně serpentinizovaná ultrabazika neboli hadce a při okrajích rezervace najdeme ortorulu a granulit. Hadce v této lokalitě obsahují vysoké množství hořčíku, niklu, chromu a kobaltu. Dříve zde probíhala těžba niklových rud a magnezitu, na území rezervace je tak několik slepých

štol. Ve skalní stěně nad potokem je možno vidět tu největší. Půdy jsou zde mělké, kambizemní rankery, které místy přecházejí v typické kambizemě. Půdním typem při březích toku je fluvizem typická (ALBRECHT 2003).

Podle regionálního geomorfologického členění (DEMEK et MACKOVČIN 2006) spadá tato rezervace do Šumavské soustavy, podcelku Prachatická hornatina, celku Šumavské podhůří, okrsku Křemžská kotlina. Dle CULKA et al. (2005) jde o vzácný typ biochory, -4BH, s názvem Erodované plošiny na hadcích 4. v.s., který je hojný v CHKO Blanský les. Lokalita se dle QUITTA (1971) nachází v mírně teplé klimatické oblasti MT5. Leží v dešťovém stínu Šumavy a je tak poměrně chudá na srážky. Roční srážkový úhrn zde činí přibližně 570-750 mm.

Dle ALBRECHTA (2003) jsou převládající vegetací na svazích s jižní expozicí hadcové bory asociace *Asplenio cuneifolii – Pinetum*. Stromové patro tvoří především borovice lesní (*Pinus sylvestris*), místy se vyskytuje smrk ztepilý (*Picea abies*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) či dub letní (*Quercus robur*). Bylinné patro tvoří kostřava ovčí (*Festuca ovina*), bezkolonec modrý (*Molinia caerulea* agg.) válečka prapořitá (*Brachypodium pinnatum*) silenka nadmutá (*Silene vulgaris*), chrpa čekánek (*Centaurea scabiosa*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), vítod obecný (*Polygala vulgaris*), bělozářka větvitá (*Anthericum ramosum*), tomkovice jižní (*Hierochloa australis*). Na skalních výchozech se nachází silně ohrožený sleziník hadcový (*Asplenium cuneifolium* – viz foto 8). Místa menšího vlivu hadce pokrývají acidofilní bory asociace *Dicrano-Pinetum*, se značným zastoupením smrku ztepilého, bezkolence modrého či třtiny rákosovité (*Calamagrostis arundinacea*). Významnou rostlinou je zde kriticky ohrožený hvozdík kartouzek hadcový (viz foto 9).

Dle fytoocenologického snímkování, kterému jsem se věnoval ve své bakalářské práci (PAŠTYKA 2014), se na hadcových výchozech v rezervaci vyskytují mechy rokytek obecný (*Amblystegium serpens*), hřebenitka měkkounká (*Ctenidium molluscum*), dvouhrotec čeřitý (*Dicranum polysetum*), dvouhrotec chvostnatý (*Dicranum scoparium*), kronglovka klamná (*Fissidens dubius*), těhovcec bezžebrý (*Hedwigia ciliata*), rokytník lesklý (*Hylocomium splendens*), rokyt cypřišový (*Hypnum cupressiforme*), plazivec obecný (*Isoetecium alopecuroides*), bělovec úhledný (*Isopterygium elegans*), trněnka prodloužená (*Kindbergia praelonga*), bělomech sivý (*Leucobryum glaucum*), bělozubka ocáskovitá (*Leucodon sciuroides*), měřík příbuzný (*Plagiomnium affine*), měřík čeřitý (*Plagiomnium undulatum*), lesklec křivolistý

(*Plagiothecium curvifolium*), lesklec příjemný (*Plagiothecium laetum*), travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), ploník ztenčený (*Polytrichum formosum*), pruhovka nestálá (*Rhabdoweisia fugax*), klanozoubek obecný (*Schistidium apocarpum*), srpnatka háčkovitá (*Sanionia uncinata*) a játrovky kovanec tamaryškový (*Frullania tamarisci*), která je dle červené knihy (KUČERA et al. 2012) řazena mezi taxony blízké ohrožení, dále kroknice spojená (*Metzgeria conjugata*) a kaprad'ovka odhořankovitá (*Plagiochila porelloides*).

Stáří stromů je převážně stejnověké, 110-130 let. V severní části rezervace se nachází mladší porosty jedle bělokoré. V této oblasti dochází k redukci smrku a je zde snaha podporovat borovici s příměsí dubu, buku a jedle (ALBRECHT 2003).

V současnosti je oblast využívána k rekreaci. Uvnitř rezervace se nachází několik chat a poblíž rezervace jsou chatové kolonie. Oblastí dále prochází naučná stezka.

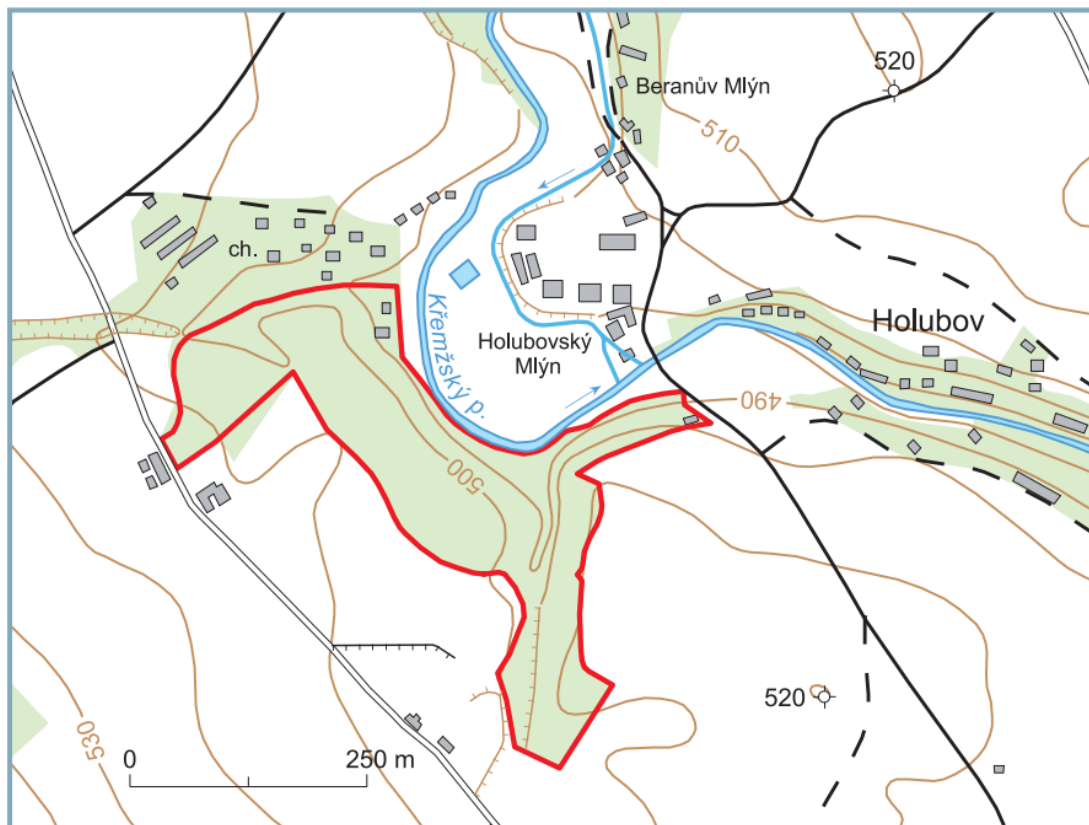
## 5.2.2. PR BOŘINKA

Přírodní rezervace Bořinka se nachází na katastrálním území Holubov a Chlum u Křemže, v okrese Český Krumlov, asi 0,6 km jižně od obce Křemže. Přírodní rezervaci byla vyhlášena roku 1990 a je součástí CHKO Blanský les. Lokalita má rozlohu 6,68 ha a nachází se v nadmořské výšce 488-516 m n. m. Nachází se zde charakteristicky vyvinutá společenstva hadcových borů (viz foto 5) a vegetace skalních štěrbin hadcových substrátů s chráněnými a ohroženými druhy rostlin.

Rezervace (viz obr. 6) se nachází na svahu nad pravým břehem Křemžského potoka. Tvoří ji severovýchodní plošiny s mírným sklonem a prudké, místy skalnaté svahy údolí Křemžského potoka.

### **Obrázek 6: Mapa území PR Bořinka.**

Vyznačeno červeně (ALBRECHT 2003).



Horninovým podkladem jsou převážně hadce, po okrajích rezervace je granulit. Půdy jsou zde vysychavé a mělké, kambizemní rankery a na hlubších profilech jsou typické kambizemě (ALBRECHT 2003).



V rezervaci a jejím okolí se nachází několik drobných důlních míst a šachtic (viz foto 10), které jsou pozůstatkem těžby. Dříve se zde těžil hadcový magnezit a probíhal průzkum železné a niklové rudy.

Podle regionálního geomorfologického členění (DEMEK et MACKOVČIN 2006) spadá tato rezervace stejně jako PR Holubovské hadce do Šumavské soustavy, podcelku Prachatická hornatina, celku Šumavské podhůří, okrsku Křemžská kotlina. Dle CULKA et al. (2005) jde o vzácný typ biochory, -4BH, s názvem Erodované plošiny na hadcích 4. v.s., který je hojný v CHKO Blanský les. Lokalita se dle QUITTA (1971) nachází v mírně teplé klimatické oblasti MT3, roční srážkový úhrn zde činí 570-750 mm.

Dle ALBRECHTA (2003) je převládajícím typem lesní vegetace rozvolněný hadcový bor (*Asplenio cuneifolii-Pinetum*). Hlavní dřevinou je borovice lesní. Bylinné patro tvoří kostřava ovčí, strdivka nicí (*Melica nutans*), silenka nadmutá, chrpa čekánek, mateřídouška vejčitá (*Thymus pulegioides*), zvonek ohrouhlostý (*Campanula rotundifolia*), bělozářka větvitá, bedrník obecný (*Pimpinella saxifraga*), psineček tenký (*Agrostis capillaris*), válečka prapořitá a vzácněji se vyskytující kriticky ohrožený hvozdík kartouzek hadcový. Pozvolné svahy rezervace jsou pak porostlé řídkým borem (*Dicrano-Pinetum*). Bylinný podrost je chudý a tvoří ho bezkolenec modrý či třtina rákosovitá. Na severovýchodě rezervace se nachází vegetace skalních štěrbin (*Asplenietum serpentini*), se silně ohroženým sleziníkem hadcovým a ohroženým sleziníkem zeleným (*Asplenium viride*).

Lesy jsou zde stejnověké, se stářím 80-100 let. Ze strany lesníků je snaha o podporu borovice lesní a redukci smrku ztepilého a modřinu opadavého (ALBRECHT et al. 2003).

Na přírodní rezervaci má nepřímý vliv zemědělské hospodaření. Na její svahy navazuje orná půda a dochází tak ke splachům živin. Přírodní rezervaci prochází bezejmenný vodní tok, jehož břehy jsou silně erodované. Rezervace navazuje na chatovou oblast.

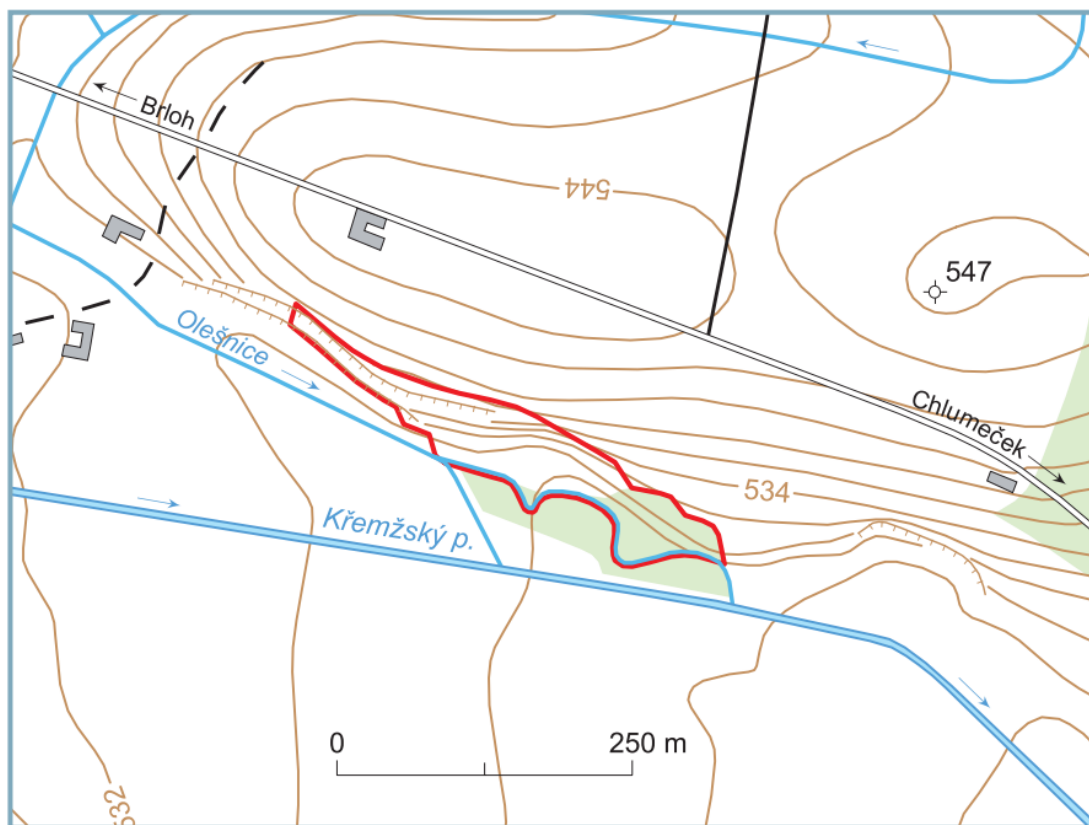
### 5.2.3. PP ŠIMEČKOVA STRÁŇ

Přírodní památka Šimečkova stráň se nachází na katastrálním území Brloh pod Kletí a Rojšín, v okrese Český Krumlov, asi 2,5 km východně od obce Brloh. Přírodní památkou byla vyhlášena roku 1993 a je součástí CHKO Blanský les. Lokalita má rozlohu 1,75 ha a nachází se v nadmořské výšce 528-540 m n. m. Nacházejí se zde významná semixerotermní travinobylinná společenstva (viz foto 6) na výchozech serpentinitů se serpentinomorfózami.

Rezervace (viz obr. 7) se nachází nad soutokem Křemežského potoka a potoka Olešnice. Tvoří ji stráň s jihozápadní expozicí, kde na několika místech vystupuje serpentínózní peridotit.

#### **Obrázek 7: Mapa území PP Šimečkova stráň.**

Vyznačeno červeně (ALBRECHT 2003).



Horninovým podkladem jsou nivní hlíny a serpentinizovaná ultrabazika. Půdy jsou kambizemní rankery a typické kambizemě, v nivě jsou to typické gleje s fluvizemí glejovou (ALBRECHT et al. 2003).

Podle regionálního geomorfologického členění (DEMEK et MACKOVČIN 2006) spadá tato rezervace do Šumavské soustavy, podcelku Prachatická hornatina, celku

Šumavské podhůří, okrsku Křemžská kotlina. Dle CULKA et al. (2005) jde o typ biochory 4Do, s názvem Podmáčené sníženiny na kyselých horninách 4. v.s. Lokalita se dle QUITTA (1971) nachází v mírně teplé klimatické oblasti MT5, roční srážkový úhrn je přibližně 570-750 mm.

Dle ALBRECHTA (2003) je stráž porostlá semixerotermními travinobylinnými společenstvy svazu *Bromion erecti*. Roste zde především válečka prapořitá, bělozářka větvitá, hvozdík kartouzek hadcový, bedrník obecný, devaterník velkokvětý tmavý (*Helianthemum grandiflorum obscurum*), chmerek vytrvalý (*Scleranthus perennis*), chrpa čekánek, silenka nadmutá, rožec rolní (*Cerastium arvense*), mateřídouška vejčitá, hasivka orličí (*Pteridium aquilinum*). Chrpa čekánek zde tvoří pro hadec typické nanismy a dosahuje malého vzrůstu. V menším množství zde roste kosatec sibiřský (*Iris sibirica*) a bezkolenec modrý. V okolí potoka jsou zbytky vlhkomilných lučních a mokřadních společenstev svazů *Calthion*, *Molinion* a *Caricion rostratae*. Významnými porosty jsou ostřice trsnatá (*Carex cespitosa*) a ostřice obecná (*Carex nigra*). Běžnými druhy jsou zde kohoutek luční (*Lychnis flos-cuculi*), pryskyřník prudký (*Ranunculus acris*), pomněnka hajní (*Myosotis nemorosa*), blatouch bahenní (*Caltha palustris*) či skřípinka lesní (*Scirpus sylvaticus*), dále bršlice kozí noha (*Aegopodium podagraria*), kerblík lesní (*Anthriscus sylvestris*), kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) a svízel přítula (*Galium aparine*). Břehy potoka tvoří vrba křehká (*Salix fragilis*), vrba popelavá (*Salix cinerea*), střemcha obecná (*Prunus padus*) a olše lepkavá (*Alnus glutinosa*).

Stráně přírodní rezervace se dříve využívaly jako pastva. Nebezpečí představuje intenzivní zemědělská činnost, která by mohla svými splachy rezervaci ohrozit.

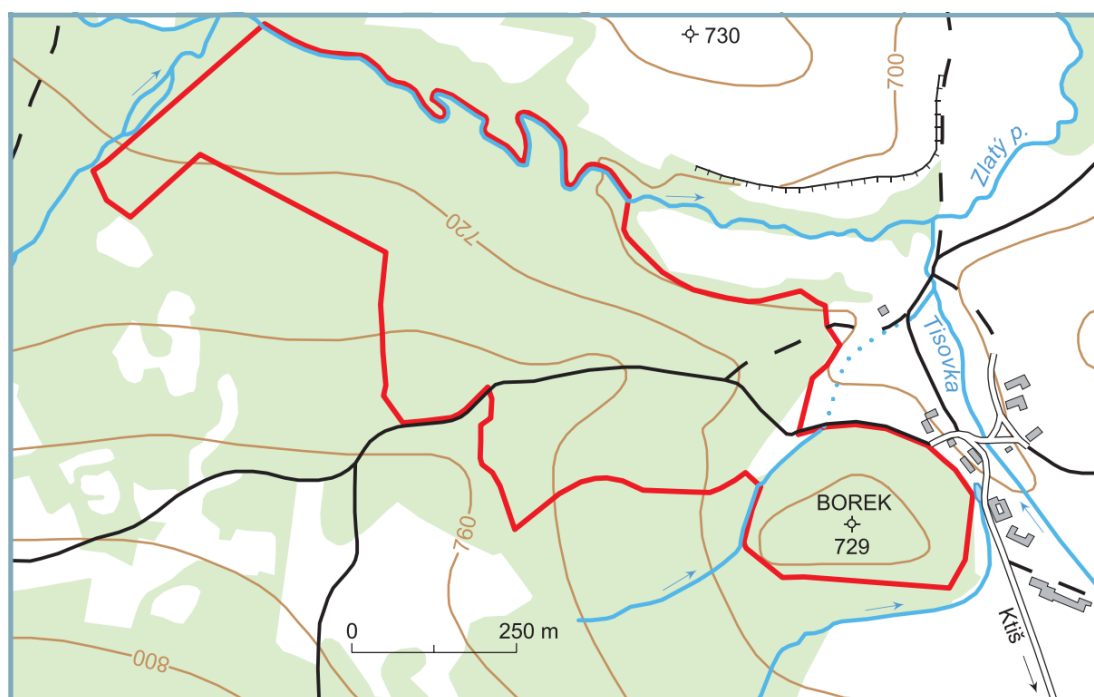
#### 5.2.4. PR MILETÍNKY

Přírodní rezervace Miletínky se nachází na katastrálním území Křížovice u Ktiše, v okrese Prachatice, západně od osady Miletínky a asi 3,5 km jihovýchodně od obce Chroboly. Přírodní rezervací byla vyhlášena roku 1989. Lokalita má rozlohu 42,5 ha a nachází se v nadmořské výšce 697-756 m n. m. Nachází se zde komplex porostů reliktních hadcových borů (viz foto 7), společenstev skalních štěrbin na hadcích a polokulturních acidofilních borů s charakteristickou květenou.

Rezervace (viz obr. 8) se nachází pravém svahu údolí Zlatého potoka, kde je typický vrchovinný reliéf s mírnějšími svahy. Hadcové výchozy se objevují pouze místy ve strmějších částech svahu. Rezervací prochází menší vodní toky. Ve východní části rezervace se nachází izolovaný vrch zvaný Borek. Oblast odvodňuje Zlatý potok, který je pravostranným přítokem Blanice.

#### **Obrázek 8: Mapa území PR Miletínky.**

Vyznačeno červeně (ALBRECHT 2003).



Horninovým podkladem je převážně těleso hadce, které je na jihozápadní straně lemováno biotitickým granulitem. Půdním pokryvem je kambizem typická a dystrická, na skalkách kambizemní rankery. Podél toků je glej typická a pseudoglej kambická (ALBRECHT 2003).

Podle regionálního geomorfologického členění (DEMEK et MACKOVČIN 2006) spadá tato rezervace do Šumavské soustavy, podcelku Želnavská hornatina, celku Šumava, okrsku Křišťanovská vrchovina. Dle CULKA et al. (2005) jde o typ biochory, 5PH, s názvem Pahorkatiny na hadcích 5. v.s. Lokalita se dle QUITTA (1971) nachází v chladné oblasti CH7, roční srážkový úhrn je přibližně 850-1000 mm.

Dle ALBRECHTA (2003) zde převažují acidofilní bory (*Dicrano-Pinion*). Na hadcových výchozech je vyvinut reliktní hadcový bor (*Asplenio cuneifolii-Pinetum*), na místech s hlubšími půdami se nachází polopřirozený acidofilní bor (*Dicrano-Pinetum*). Na několika málo hadcových výchozech jsou společenstva skalních štěrbin svazu *Asplenion serpentini*, kde roste především sleziník hadcový. Hlavní dřevinou je borovice lesní, dále pak smrk ztepilý, olše lepkavá a bříza bělokorá. Keřové patro hojně pokrývá jalovec obecný (*Juniperus communis*). Bylinné patro zastupuje bezkolonec modrý, kostřava ovčí, metlička křivolaká, silenka nadmutá, mochna nátržník (*Potentilla erecta*), kyselka obecná (*Rumex acetosella*), jetel horský (*Trifolium montanum*), mateřídouška vejčitá či chmerek vytrvalý. V této rezervaci je výrazně vyvinuto mechové a lišejníkové patro, které zastupuje především bělomech sivý, dvouhrotec čeřitý, puklěčka islandská (*Cetraria islandica*) a několik druhů dutohlávek (*Cladonia* spp.). V hadcovém boru se nacházejí některé vzácné druhy makromycetů, kterými jsou šťavnatka slizoprstenná (*Hygrophorus gliocyclus*), čirůvka pochybná (*Tricholoma stans*), pavučinec lepobarvý jehličnanový (*Cortinarius calochrous* var. *coniferarum*) či slizobedle slizká (*Limacella guttata*).

Lesy tvoří starší přirozené borové porosty stáří 80-160 let. Mladšími porosty se usměrňuje druhová skladba. Borovice se vysazují na suchých stanovištích a olše a smrk na podmáčených (ALBRECHT 2003).

Oblast byla v minulosti maloplošně využívána pro těžbu nerostných surovin. V současné době se rezervace využívá pro rekreaci, kdy nebezpečí poškození ekosystémů představuje především divoký motokros a jízda na koních.

## 6. VÝSLEDKY PRÁCE

### 6.1. DATA

Celkem bylo odebráno 36 vzorků mechu na čtyřech lokalitách, 16 z nich rostoucích na hadci a 16 na granulitu. Každý vzorek mechu byl podroben chemické analýze obsahu Ca a Mg. Mechy z lokality Holubovské hadce byly navíc testovány na obsah těžkých kovů a to Cd, Pb, Cr, Cu a Ni. Jednalo se o 6 vzorků hadcových a 6 granulitových. Z lokality Holubovské hadce byl také odebrán vzorek horniny – jak z hadce, tak z granulitu a na vzorcích byla provedena silikátová analýza obsahu látek, Ca, Mg a Ni. Níže předkládám data s průměrnou koncentrací prvků v mechách (viz tab. 2) ze všech čtyř lokalit a ze dvou horninových typů (viz tab. 3). Kompletní výsledky se nacházejí v přílohové části, a to jak pro prvky Ca, Mg a jejich poměr (viz tab. 9), tak pro těžké kovy (viz tab. 10).

**Tabulka 2: Průměrná koncentrace [μg/g] prvků v mechách.**

Lokality: 1 - Holubovské hadce, 2 - Miletínky, 3 - Šimečkova stráň, 4 – Bořinka.  
Hornina: S - serpentinit, G – granulit.

Lokalita	Ca	Mg	Ca: Mg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni
1 S	3722	6478	0,6	0,23	3,09	5,30	11,06	58,36
1 G	2732	1318	2,1	0,24	3,08	0,93	8,90	3,46
2 S	2753	6403	0,4					
2 G	3910	1475	2,7					
3 S	3448	3910	0,9					
3 G	4445	4548	1,0					
4 S	3135	5583	0,6					
4 G	3948	2855	1,4					

**Tabulka 3: Koncentrace prvků v hornině.**

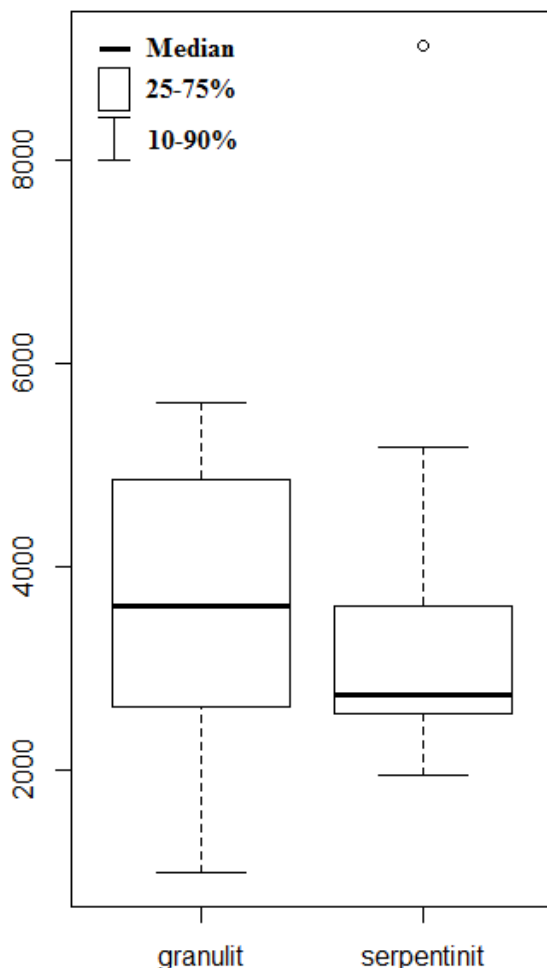
Typ horniny	Ca [%]	Mg [%]	Ni [ppm]
Serpentinit	1,10	20,26	1066
Granulit	0,63	0,34	10

## 6.2. VLIV HORNINY NA POMĚR CA: MG V MECHU *H. CUPRESSIFORME*

Následující data byla zlogaritmována, aby odpovídala normální distribuci a následně byla vytvořena pomocí jednocestné anovy, kde byla lokalita zvolena jako faktor s náhodným efektem. Byla tedy zahrnuta data všech lokalit.

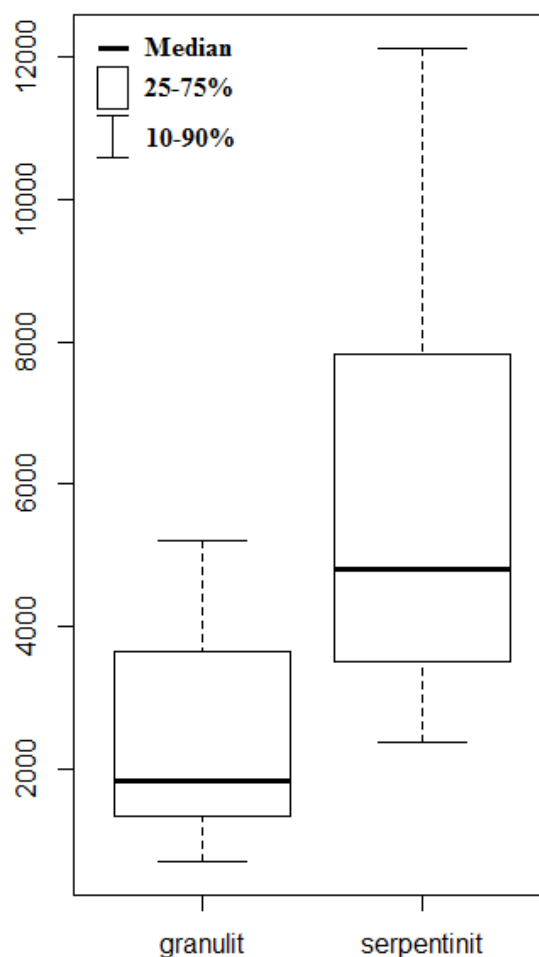
**Obrázek 9: Koncentrace Ca v mechu *H. cupressiforme* [ $\mu\text{g/g}$ ].**

Nebylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **vápníku** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 33,  $p=0,565$ ).



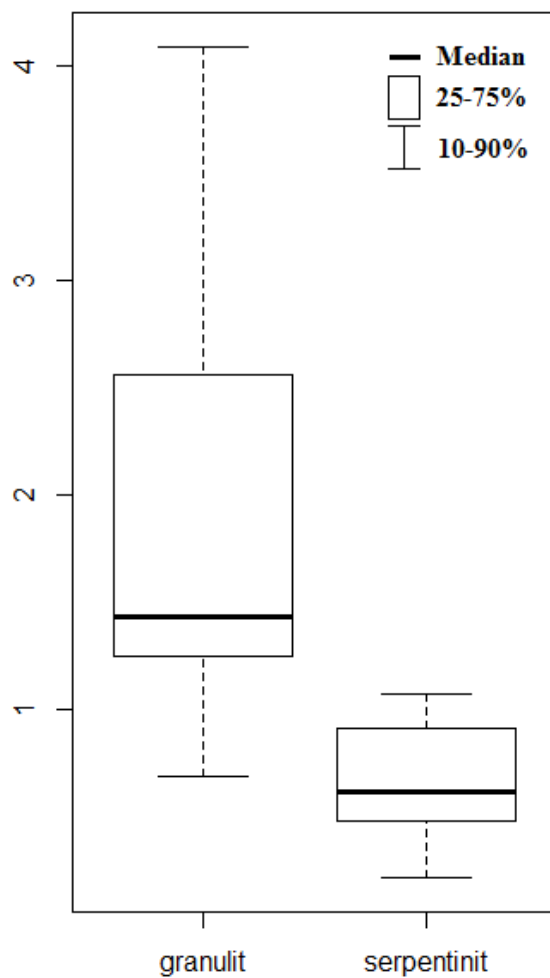
**Obrázek 10: Koncentrace Mg v mechu *H. cupressiforme* [ $\mu\text{g/g}$ ].**

Bylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **hořčíku** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 33,  $p < 0,0001$ ).



**Obrázek 11: Poměr Ca: Mg v mechu *H. cupressiforme*.**

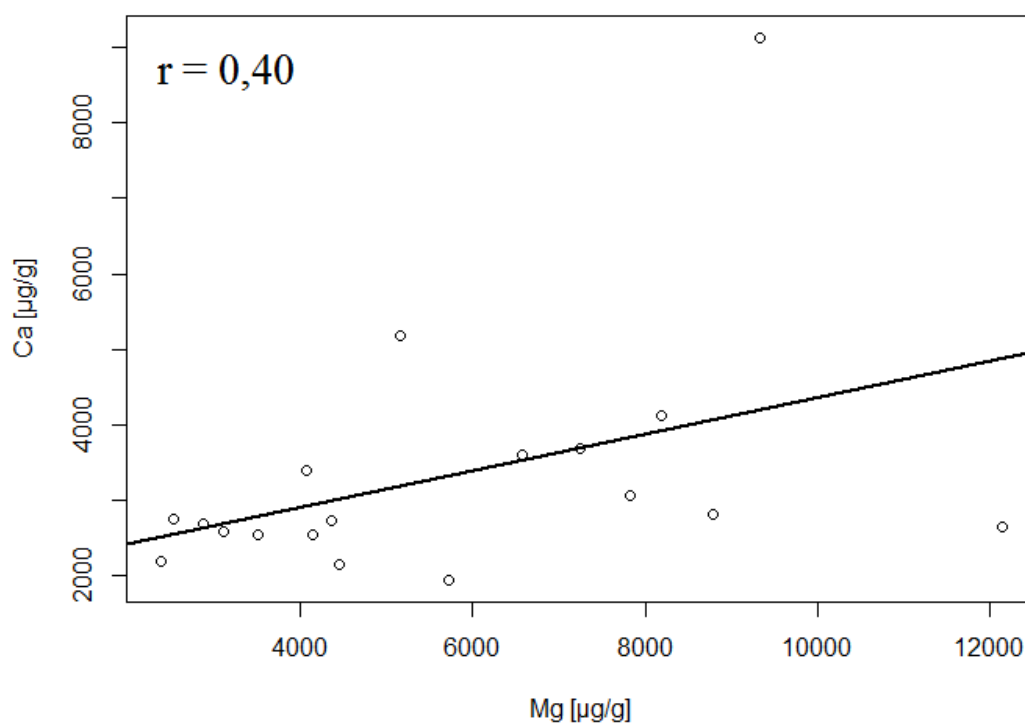
Chemismus hadce průkazně ovlivňuje poměr **Ca: Mg** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 33,  $p < 0,0001$ ).





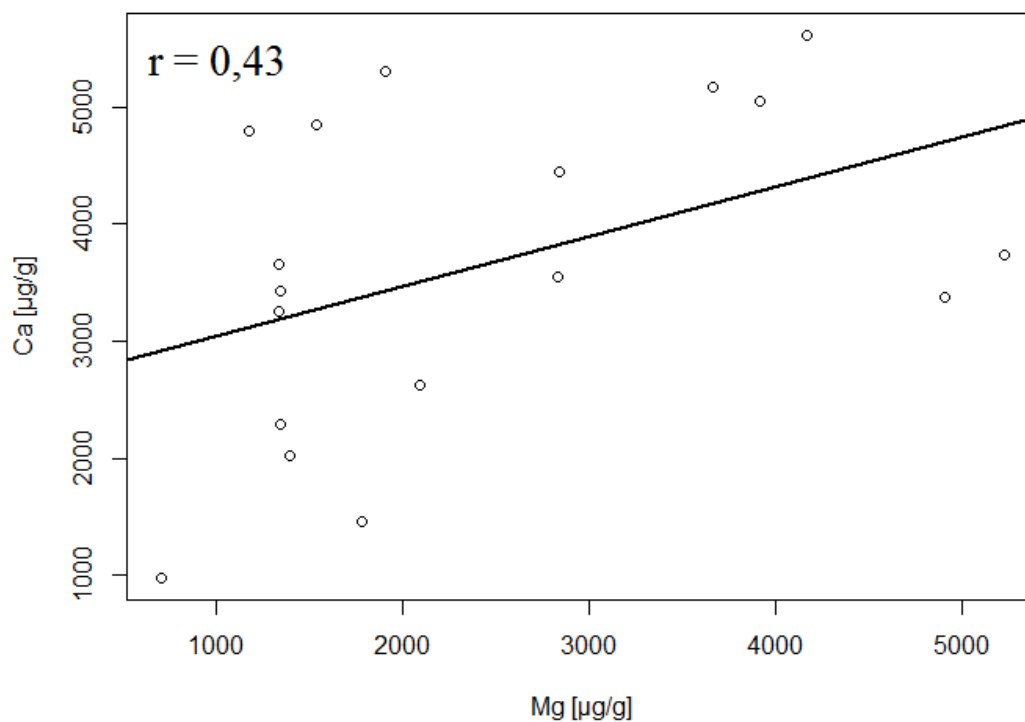
**Obrázek 12: Korelace Ca a Mg, serpentinit.**

Nebyla prokázána závislost Ca a Mg v mechových rostlinkách *H. cupressiforme* rostoucích na **serpentinitu** ( $p=0,09877$ ).



**Obrázek 13: Korelace Ca a Mg, granulit.**

Nebyla prokázána závislost Ca a Mg v mechových rostlinkách *H. cupressiforme* rostoucích na **granulitu** ( $p=0,0731$ ).

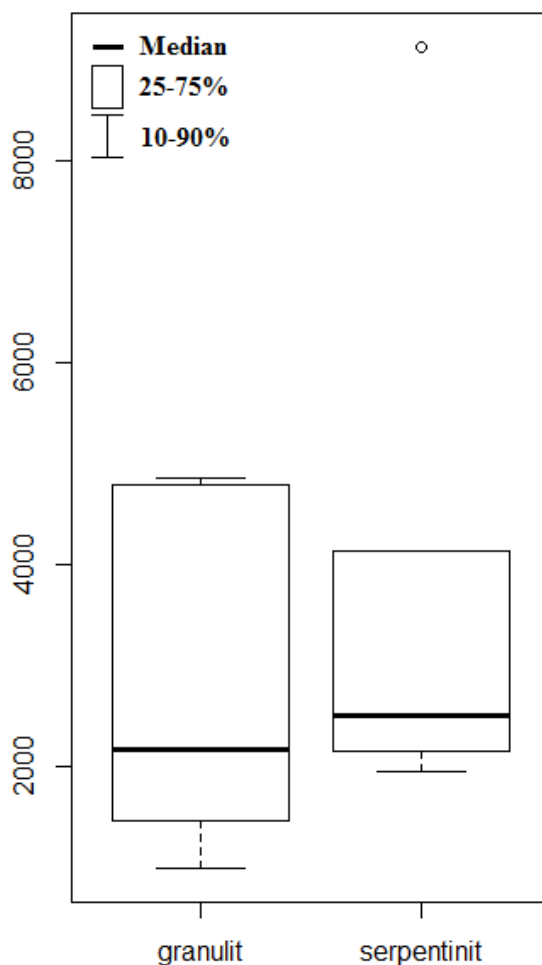


### 6.3. VLIV HORNINY NA POMĚR CA: MG V MECHU *H. CUPRESSIFORME* (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE)

Níže uvádím data pouze pro lokalitu Holubovské hadce, kde byly provedeny nejen chemické analýzy Ca, Mg, ale také analýzy těžkých kovů (Cd, Pb, Cr, Cu, Ni) v mechách. Data byla zlogaritmována, aby odpovídala normální distribuci a následně byla vytvořena pomocí jednocestné anovy bez náhodného efektu.

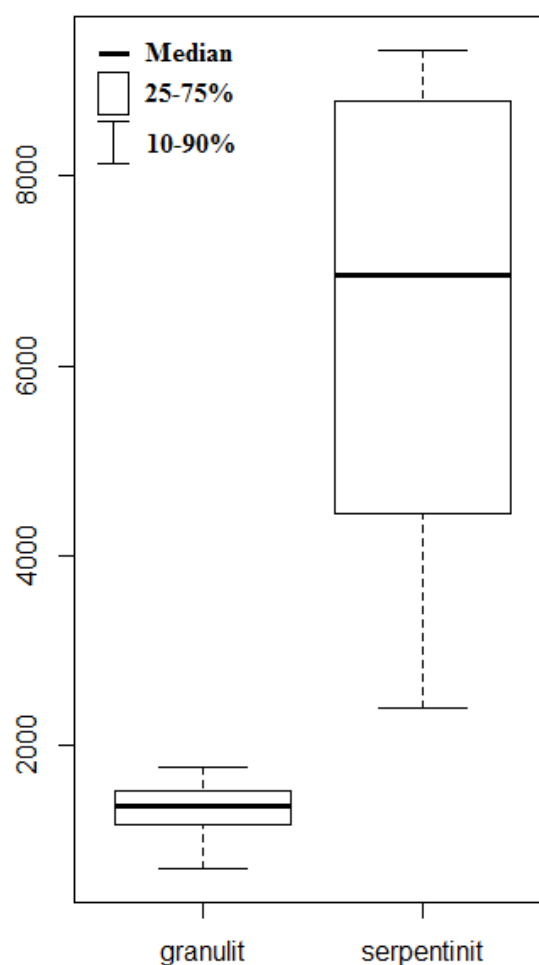
**Obrázek 14: Koncentrace Ca v mechu *H. cupressiforme* [ $\mu\text{g/g}$ ] Holubovských hadců.**

Nebylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **vápníku** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 10,  $p=0,41$ ).



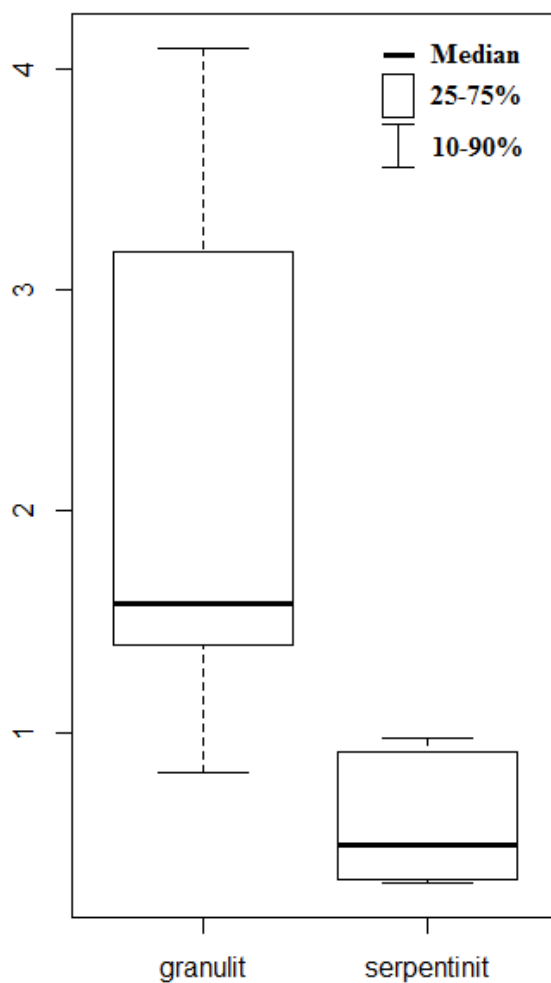
**Obrázek 15: Koncentrace Mg v mechu *H. cupressiforme* [ $\mu\text{g/g}$ ] Holubovských hadců.**

Bylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **hořčíku** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df=10,  $p < 0,0001$ ).



**Obrázek 16: Poměr Ca: Mg v mechu *H. cupressiforme* Holubovských hadců.**

Chemismus hadce průkazně ovlivňuje poměr **Ca: Mg** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 10,  $p < 0,001$ ).

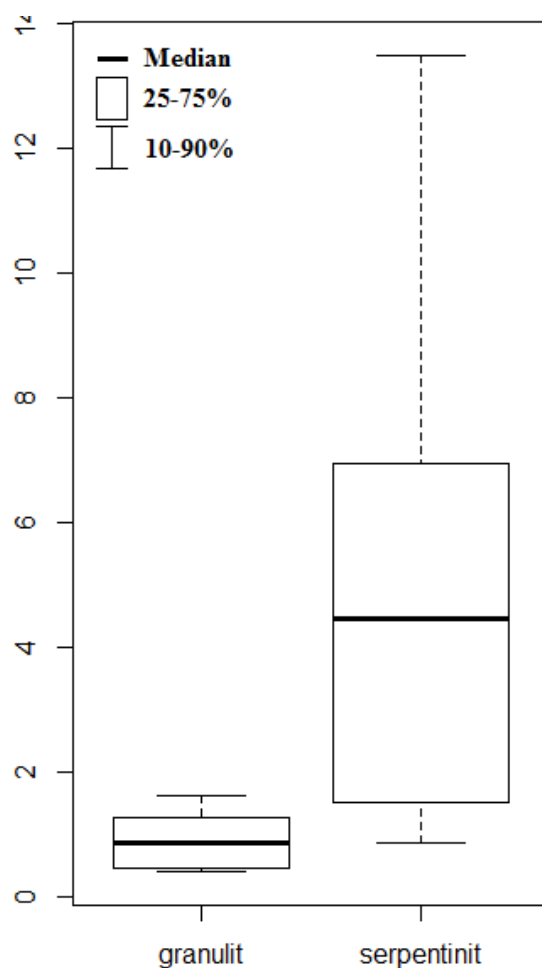


## 6.4. VLIV HORNINY NA KONCENTRACI TĚŽKÝCH KOVŮ V MECHU *H. CUPRESSIFORME* (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE)

Data byla zlogaritmována, aby odpovídala normální distribuci a následně byla vytvořena pomocí jednocestné anovy bez náhodného efektu.

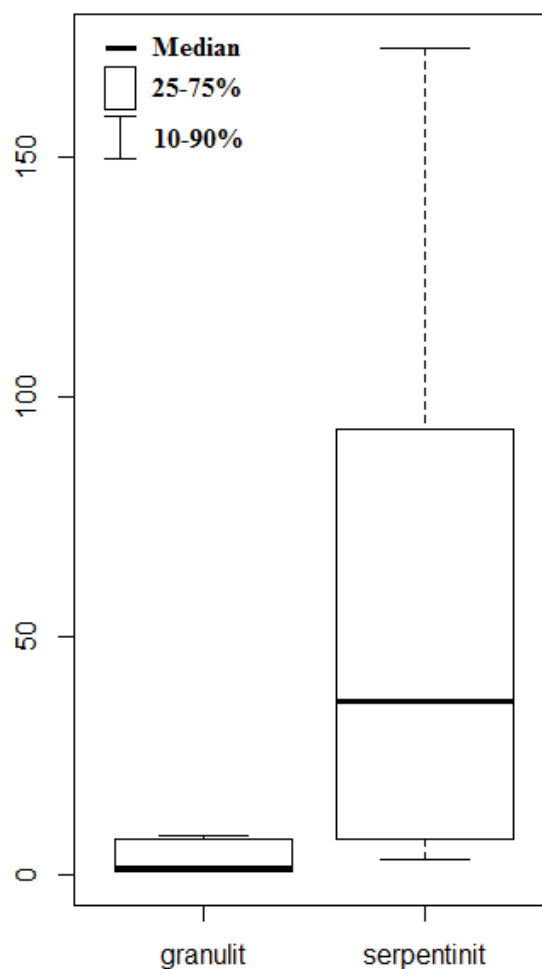
**Obrázek 17: Koncentrace Cr v mechu *H. cupressiforme* [μg/g].**

Bylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **chromu** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df=10,  $p < 0,01$ ).



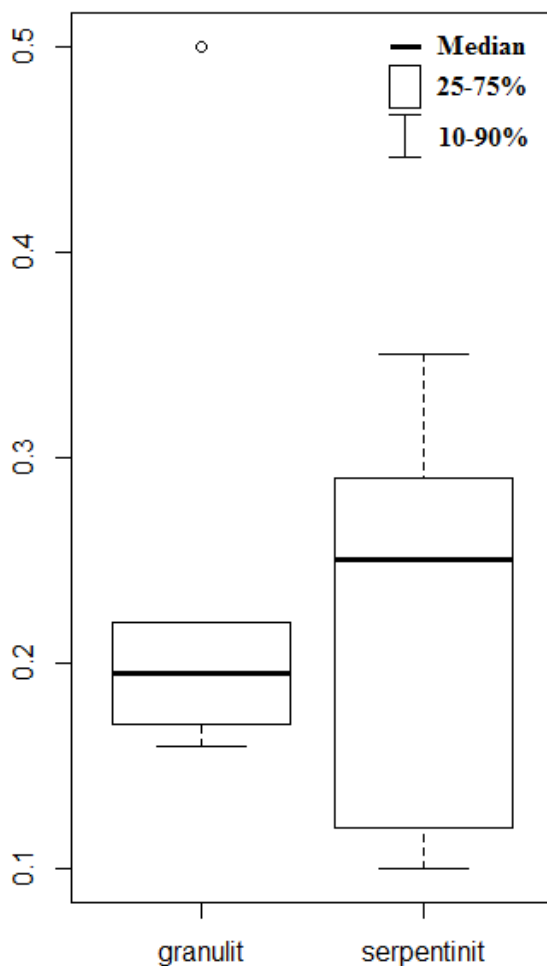
**Obrázek 18: Koncentrace Ni v mechu *H. cupressiforme* [μg/g].**

Bylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **niklu** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df=10,  $p < 0,001$ ).



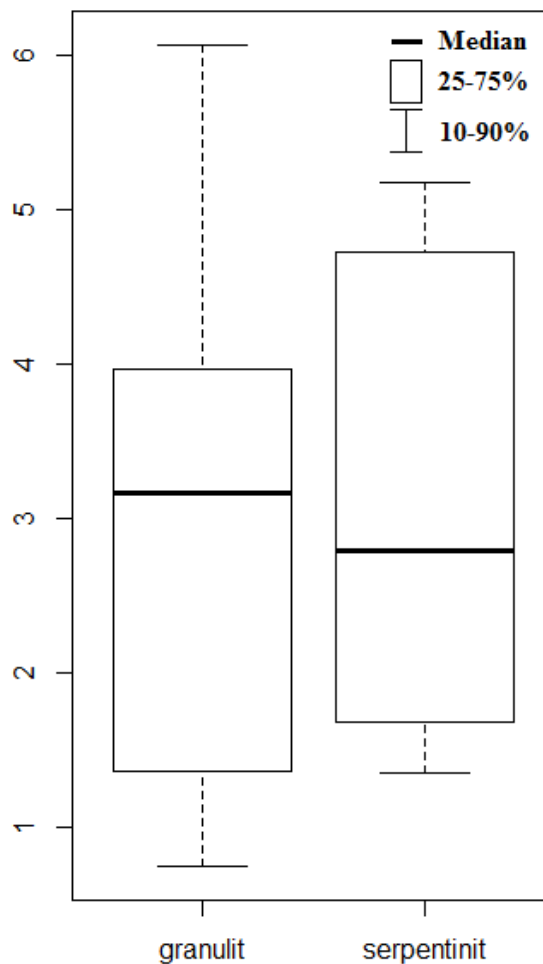
**Obrázek 19: Koncentrace Cd v mechu *H. cupressiforme* [µg/g].**

Nebylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **kadmia** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 10, p=0,809).



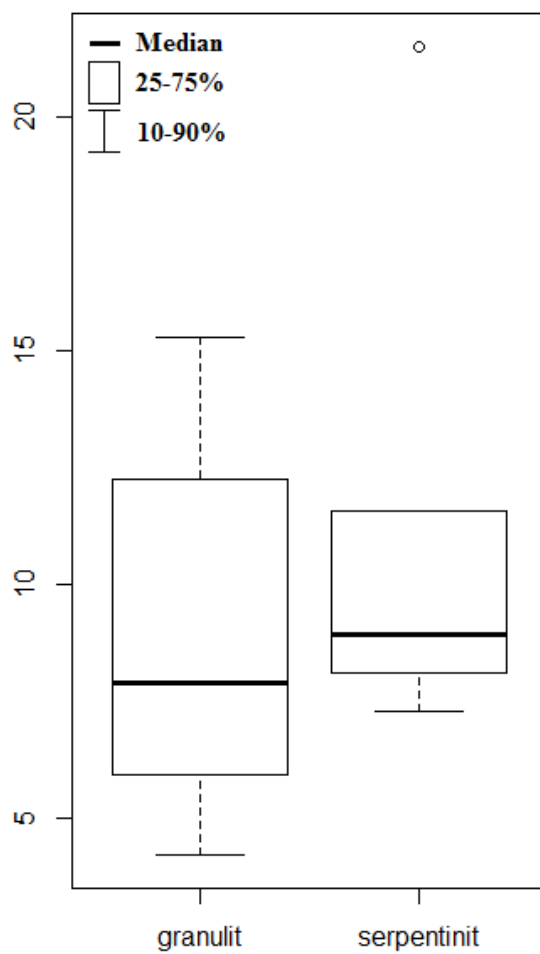
**Obrázek 20: Koncentrace Pb v mechu *H. cupressiforme* [µg/g].**

Nebylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **olova** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 10, p=0,816).



**Obrázek 21: Koncentrace Cu v mechu *H. cupressiforme* [ $\mu\text{g/g}$ ].**

Nebylo prokázáno, že typ horniny má vliv na koncentraci **mědi** v mechu *H. cupressiforme* (One-way ANOVA, Df=1, residuals Df= 10, p=0,374).



## 6.5. KORELACE JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ V MECHU

### H. CUPRESSIFORME (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE)

Na **serpentinitu** mají kladný lineární vztah prvky Ca: Cu, Mg: Cd, Cd: Pb a Cr: Cu (viz tab. 4, 5), na **granulitu** mají kladný lineární vztah prvky Cd: Cu a záporný lineární vztah prvky Mg: Cr (viz tab. 6, 7). Korelace ostatních prvků jsou neprůkazné.

**Tabulka 4: Korelační matice prvků na serpentinitu.**

	Ca	Mg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni
Ca							
Mg	0,65						
Cd	0,72	0,86					
Pb	0,49	0,49	0,85				
Cr	0,80	0,72	0,79	0,69			
Cu	0,99	0,68	0,76	0,57	0,84		
Ni	0,26	0,70	0,44	0,19	0,65	0,29	

**Tabulka 5: Průkaznost (P) korelační matice-serpentinit.**

	Ca	Mg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni
Ca							
Mg	0,1594						
Cd	0,1099	0,0265					
Pb	0,3021	0,3230	0,0329				
Cr	0,0567	0,1031	0,0607	0,1304			
Cu	0,0000	0,1366	0,0768	0,2406	0,0357		
Ni	0,6128	0,1253	0,3772	0,7189	0,1612	0,5792	

**Tabulka 6: Korelační matice prvků na granulitu.**

	Ca	Mg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni
Ca							
Mg	0,19						
Cd	-0,15	-0,05					
Pb	-0,42	0,39	-0,23				
Cr	0,09	-0,87	-0,40	-0,30			
Cu	0,16	-0,21	0,85	-0,34	-0,08		
Ni	-0,62	-0,47	0,71	0,14	0,04	0,55	

**Tabulka 7: Průkaznost (P) korelační matice-granulit.**

	Ca	Mg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni
Ca							
Mg	0,7207						
Cd	0,7700	0,9303					
Pb	0,4084	0,4446	0,6593				
Cr	0,8612	0,0240	0,4383	0,5681			
Cu	0,7627	0,6917	0,0332	0,5033	0,8797		
Ni	0,1888	0,3489	0,1138	0,7890	0,9396	0,2578	

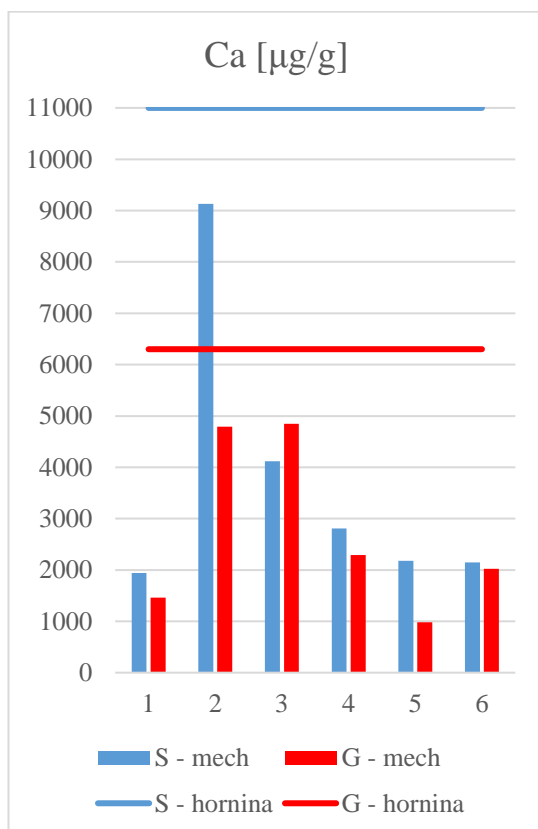
## 6.6. AKUMULACE PRVKŮ Z HORNINY MECHEM

### *H. CUPRESSIFORME* (PRO HOLUBOVSKÉ HADCE)

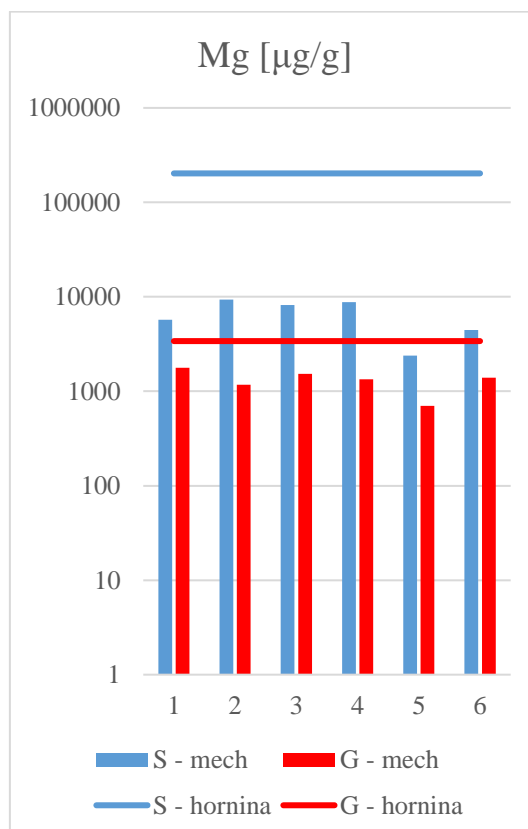
Na základě výsledků silikátové analýzy hornin a chemických analýz mechu *H. cupressiforme* Holubovských hadců, byly sestaveny následující grafy. Z finančních důvodů byly porovnány pouze nejdůležitější prvky. **Vápník** (viz obr. 22), **hořčík** (viz obr. 23) a **nikl** (viz obr. 24). Pro hořčík a nikl bylo z důvodu přehlednosti grafu použito logaritmické měřítko. V grafu je vždy modře vyznačen serpentinit (S) a červeně granulit (G). Sloupcový graf ukazuje hodnoty naměřené ve stélce mechu (n=6) a spojnicový graf zobrazuje hodnotu naměřenou v hornině (n=1).

Vysoká hodnota (a odchylka) naměřená v mechu č. 2 na serpentinitu (viz obr. 22) bude pravděpodobně způsobena chybou měření.

**Obrázek 22: Obsah Ca v mechu *H. cupressiforme* versus v hornině.**

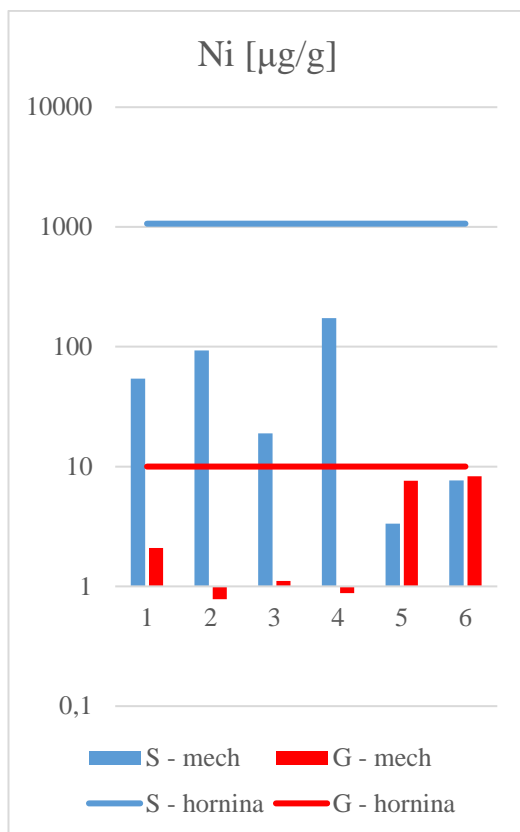


**Obrázek 23: Obsah Mg v mechu *H. cupressiforme* versus v hornině.**





**Obrázek 24: Obsah Ni v mechu *H. cupressiforme* versus v hornině.**



**Tabulka 8: Akumulační poměr prvků mechu *H. cupressiforme* a horniny**

Hornina	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>Ni</u>
Serpentinit	0,34	0,03	0,05
Granulit	0,43	0,39	0,35

## 7. DISKUZE

Hadce a hadcové půdy představují extrémně stresující prostředí pro život rostlin. To je způsobeno především nízkou dostupností hlavních makronutrientů, toxicitou hořčiku, nízkým poměrem Ca: Mg či toxicitou těžkých kovů. Další stresový faktor představuje skalnaté, mělké a suché prostředí. Rostliny žijící na hadci se musí s tímto stresem vyrovnávat. U cévnatých rostlin můžeme pozorovat zajímavé adaptace a hojný výskyt endemitů.

Zmiňovaný nízký poměr Ca: Mg je pro rostliny rostoucí na hadci typický. Často je výrazně nižší než jedna. Přitom pro dobrý růst rostlin je důležité, aby byl tento poměr vyšší než jedna (WHITTAKER 1954 ex. LOEW et MAY 1901). Hadcové půdy jsou tak útočištěm pro slabé kompetitory, kteří dávají přednost stresu.

Tato diplomová práce se zabývá mechy ve vztahu k hadcovému prostředí. Hadec získal z řad vědců mnoho pozornosti. Mechorostům na hadci se však věnovala jen hrstka z nich. Výzkum a literatura, která se vztahuje k tomuto tématu, je tedy velmi omezená, a proto bude obtížnější výsledná data hodnotit.

Fyziologické procesy mechorostů rostoucích na hadcích dosud nejsou dobře prozkoumány. Vzhledem k absenci kořenového systému a vodivých pletiv nelze u mechorostů předpokládat adaptaci spočívající v efektivním přesunu látek po těle rostlinky, jaká byla nalezena u cévnatých rostlin (BRISCOE et al. 2009). Tolerance k hadcovému prostředí bude tedy spočívat spíše v toleranci těchto mechorostů k prostředí, případně v efektivních metabolických procesech, jež jsou však u mechorostů obecně velmi málo prozkoumané.

Práce byla provedena na čtyřech lokalitách v jižních Čechách. Na každé z lokalit se nachází těleso hadce a granulitu. Granulit slouží jako kontrolní hornina. Všechny analýzy byly prováděny na mechu *Hypnum cupressiforme*, který se hojně nacházel na všech lokalitách. BRISCOE et al. (2009) zmiňují, že se jedná o mech, který byl zaznamenán na mnoha hadových půdách světa.

Hlavním předmětem této studie je poměr Ca: Mg v těle mechu rostoucím na hadci. Chemické analýzy Ca a Mg byly proto provedeny na vzorcích ze všech zájmových lokalit. Obsahy prvků těžkých kovů v těle mechu a některých prvků v hornině byly vzhledem k finanční náročnosti provedeny pouze na jedné z lokalit. Pro tyto účely byla zvolena nejvýznamnější lokalita, PR Holubovské hadce.

Z výsledků studie (viz kap. 6) zkoumaných rostlinek mechu *H. cupressiforme* lze usuzovat, že chemismus hadce ovlivňuje poměr Ca: Mg v mechách. Dále lze usuzovat, že typ horniny má vliv na koncentraci hořčíku, niklu a chromu v mechách, a naopak nemá vliv na koncentraci vápníku, kadmia, olova a mědi v mechách. Prvky Ca a Mg se zdají být na sobě nezávislé. Mechanismus působení Ca a Mg se tedy může lišit.

V mechu rostoucím na hadci byly průměrné koncentrace prvků naměřeny v následujícím pořadí: Mg > Ca > Ni > Cu > Cr > Pb > Cd. Pro mechy rostoucí na granulitu bylo pořadí odlišné. Prvky byly obsaženy v tomto pořadí: Ca > Mg > Cu > Ni > Pb > Cr > Cd. Mechy z hadce tak průměrně obsahovaly 2,5krát více hořčíku a naopak 1,1krát méně vápníku. Z toho plyne výrazně nižší poměr Ca: Mg v mechových rostlinkách z hadcových lokalit nežli z granulitových.

Těžké kovy byly průměrně (až na olovo), obsaženy ve větších koncentracích v mechách z hadce. Největší rozdíl byl v obsahu niklu – 12,7krát více a chromu – 4,3krát více. Mědi bylo 1,3krát více, kadmia 1,1krát více a olova naopak 1,1krát méně.

To koresponduje s výsledky BRISCOE et al. (2009), kteří prováděli svou práci na několika druzích mechů rostoucích na hadci a žule. Druhy rostoucí na hadci, vykazovaly signifikantně vyšší koncentraci hořčíku, niklu a chromu a měly nižší poměr Ca: Mg. Ten dosahoval 2,8krát vyšší hodnoty na granitu než na hadci. Dosáhl tak téměř stejného výsledku jako moje práce, kdy na granulitu byl poměr Ca: Mg 2,7krát větší.

Průměrné koncentrace prvků v *Hypnum cupressiforme*, rostoucím na hadci, byly do určité míry podobné s výsledky SAMECKA-CYMERMAN et al. (2002) na polských hadcích a s výsledky BRISCOE et al. (2009) v Maine, USA. Obsah vápníku byl oproti mým hodnotám 1,4krát vyšší ve studiích Samecka-Cymerman a kol. i Briscoe a kol. Obsah hořčíku byl velmi podobný, v pracích se lišil o  $\pm 10\%$ . Naměřené hodnoty niklu byly srovnatelné s prací Briscoe a kol., hodnoty Samecké-Cymerman a kol. byly 1,5krát vyšší. Obsah chromu byl opět srovnatelný s prací Briscoe a kol. Samecka-Cymerman a kol. naměřila 16krát vyšší hodnoty. Obsah mědi Samecka-Cymerman a kol. ve své práci nehodnotila. Moje hodnoty byly 1,5krát vyšší než výsledky Briscoe a kol. Korelace jednotlivých prvků mechů nelze porovnat, protože Samecka-Cymerman a kol. se zabývala především prvky Fe a Zn, které jsem ve své práci neměřil a Briscoe se spoluautory vzájemné vztahy prvků v mechách

nehodnotila vůbec. Z průkazných korelací jednotlivých prvků mechů se zdá, že na hadci mají kladný lineární vztah prvky Ca: Cu, Mg: Cd, Cd: Pb a Cr: Cu. Na granulitu jsou vzájemné vztahy odlišné. Zdá se, že kladný lineární vztah mají prvky Cd: Cu a záporný lineární vztah prvky Mg: Cr.

Horniny zájmových lokalit měly typické vlastnosti pro serpentinit. Vysoký obsah hořčíku a niklu a nízký obsah vápníku. Obsahy prvků v horninách byly naměřeny v následujícím pořadí: Mg > Ca > Ni pro hadec a Ca > Mg > Ni pro granulit. Poměr Ca: Mg byl tedy nižší nejen v mechách rostoucích na hadci, ale i v hadcové hornině. To může poukazovat na to, že mech do jisté míry kopíruje obsah prvků v podloží. Obsahy prvků hornin tak korespondují s výsledky PAUKOV et TEPTIN (2015), kdy hadcové půdy oproti nehadcovým vykazovaly signifikantně vyšší koncentraci hořčíku, niklu, chromu a kobaltu a nižší koncentraci Ca: Mg.

Naměřené obsahy prvků se velmi podobají výsledkům RAJAKARUNA et al. (2012) z New Idria, CA, USA, kdy byl obsah vápníku v hadci 0,61% (oproti mým 1,10%), hořčíku 22,46% (oproti mým 20,26%) a niklu 2662 ppm (oproti mým 1066 ppm). KYOUNGKEUN et al. (2009) naměřili ještě srovnatelnější hodnoty na hadci v Korei. Obsah hořčíku a niklu se takřka nelišil, pouze vápník byl obsažen v práci Kyoungkeuna a kol. dvakrát více.

ANGELONE et al. (1993) tvrdí, že akumulční poměr prvků mechorostu a horniny je důležitým nástrojem pro pochopení relativní dostupnosti prvků rostlinám. Ve svých výsledcích uvádím akumulaci prvků z horniny mechem a akumulční poměr prvků mechu a horniny. Zatímco vápník byl akumulován hadcovou a granulitovou rostlinkou téměř ve stejném poměru, hořčík byl akumulován hadcovou rostlinkou 13krát méně a nikl 7krát méně než kontrolní, granulitovou mechovou rostlinkou.

To koresponduje s výsledky SAMECKA-CYMERMAN et al. (2002), kteří se zabývali koncentrací Ca, Mg a těžkých kovů v mechách a jejich efektem na přidání živin do hadcové půdy. Akumulace vápníku v mechách byla vyšší než akumulace hořčíku. Poměry akumulace těchto prvků se oproti mé práci téměř nelišily.

Zdá se tedy, že mechy nějakým způsobem dokáží kontrolovat příjem vysokého množství jedovatého hořčíku a niklu. Ačkoliv jejich obsah v hadci je mnohem vyšší, mech do svého těla akumuluje výrazně nižší poměr těchto prvků při výskytu na hadci nežli na granulitu. Naopak příjmu vápníku se nebrání. Jde tedy o adaptaci zvanou

selekce? BROOKS (1998) tvrdí, že některé hadcové druhy akumulují více vápníku než ty nehadcové a dokážou tak kompenzovat nedostatek tohoto prvku v podloží. Je tedy možné, že by mechorost ovládal efektivní metabolické procesy? BRISCOE et al. (2009) ve své práci porovnávali poměr Ca: Mg sedmi druhů mechů. Pouze jediný druh, *Polytrichum juniperum*, byl schopný dosáhnout poměru vyššího než jedna. Vysvětluje to tím, že tento druh pravděpodobně dokáže efektivně přijímat vápník a vylučovat hořčík.

Mechy do jisté míry kopírovaly obsahy prvků v horninách. Je ale známo, že mechorosty mají velmi omezený příjem vody a iontů rhizoidy. Mechy dělíme na pleurokarpní a akrokarpní. Jak již bylo zmíněno v rešerši, pleurokarpní mechy získávají minerální výživu z atmosféry. Dalo by se tedy tvrdit, že mají selektivní výhodu v serpentinovém prostředí oproti akrokarpním mechům, které nějaké těžké kovy přijmou stoupající kapilární vodou (TYLER 1990). BRISCOE et al. (2009) s touto hypotézou souhlasí a ve svých výsledcích uvádí, že ze všech nalezených mechorostů v Maine bylo na hadci 58% druhů pleurokarpních, zatímco na žule pouze 20%. Výsledky mé bakalářské práce (PAŠTYKA 2014) se příliš neliší. Na Holubovských hadcích bylo 66% druhů pleurokarpních kdežto na žule pouze 41%. Druh *Hypnum cupressiforme* je mech pleurokarpní. Má téměř exkluzivní závislost na atmosférické depozici pro minerální výživu (RASSMUSSEN et JOHNSEN 1976). Z tohoto tvrzení by se dalo vyvodit, že nejde o akumulaci prvků přímo z podkladu, ale může jít o akumulaci prvků kontaminací humusem, nebo stokem ze svahu či rozstříkáním deště od matečné horniny.

Mechorosty ve vztahu k hadci zůstávají zahaleny spoustou otázek. Oproti cévnatým rostlinám je mezi nimi minimální procento endemitů, přesto jim růst na hadci nečiní problémy. Je to až fascinující a bylo by bezpochyby zajímavé věnovat tomuto tématu více úsilí (RAJAKARUNA et al. 2009). Co mechorostům dovoluje hadec obývat? BRISCOE et al. (2009) si myslí, že by mohlo jít o vhodnější prostředí pro kolonizaci pomalu rostoucích druhů. Mechanismus adaptace, který dovoluje rostlinám na hadci s nízkým množstvím vápníku a vysokým obsahem hořčíku a těžkých kovů přežít, není stále zcela pochopen (BRADY et al. 2005). S nedostatkem vápníku se patrně vyrovnávají v důsledku vysoké míry tolerance. SHAW et ALBRIGHT (1990) tvrdí, že se mechorosty díky nižší citlivosti na výskyt těžkých kovů nebyly nuceny přizpůsobit. Adaptace na stres pocházející z těžkých kovů by tak byla pro mechorosty zbytečná.

WILLIAMSON et BALKWILL (2006) upozorňují na ohrožení hadcových stanovišť. Díky odlesňování, těžbě, invazi exotických druhů nebo atmosférické depozici znečišťujících látek tak podstupují drastické změny. Takové změny mohou mít výrazný dopad na bioty těchto unikátních biotopů (BRISCOE et al. 2009).

BRADY et al. (2005) nabádají, že budoucí studie hadcových ekosystémů by měly vycházet společně z oborů ekologie, evoluce, fyziologie a genetiky. K odhalení cesty rostlin k jejich toleranci je třeba provést nezbytné studie, týkající se genetiky a adaptivní diferenciací hadec-tolerantních a netolerantních rostlin. KAZAKOU et al. (2008) doporučují, že by bylo vhodné provést globální studie hadcových lokalit, zvláště pak těch méně prozkoumaných. ANACKER (2014) si myslí, že by hadcové půdy mohly dokonce představovat modelový systém pro studii adaptace rostlin, speciace a interakce druhů. Tato problematika není stále objasněna a můžeme doufat, že se dočká větší pozornosti.

## 8. ZÁVĚR

Diplomová práce navazuje na předchozí bakalářskou práci. Jejím cílem bylo pokusit se odpovědět na otázky stanovené v cílech práce. V následujícím textu shrnuji postup a výsledky.

1. Vzorky byly odebrány ze čtyř lokalit jižních Čech.
2. Na mechu *Hypnum cupressiforme* byla provedena analýza prvků Ca, Mg, Ni, Cr, Co, Cu a Pb.
3. Na hornině hadce a granulitu byla provedena analýza obsahu prvků Ca, Mg a Ni.
4. Hadcové rostlinky obsahovaly signifikantně vyšší množství hořčíku.
5. Poměr Ca: Mg byl nižší u rostlinek z hadcových lokalit nežli na kontrolních lokalitách.
6. Vápník byl akumulován hadcovou a granulitovou rostlinkou téměř ve stejném poměru, hořčík byl akumulován hadcovou rostlinkou 13krát méně a nikl 7krát méně než kontrolní, granulitovou rostlinkou.
7. Hadcové rostlinky obsahovaly signifikantně vyšší množství niklu a chromu než granulitové.

Jak již bylo zmíněno, toto téma je obecně velmi málo prozkoumané. I BRISCOE et al. (2009) upozorňují na to, že je potřeba mechorostům na hadci věnovat celosvětově více úsilí. Konkrétnější závěry by pravděpodobně přinesly podrobnější chemické analýzy a větší počet vzorků odebraných v různých geografických polohách. S tím by byla bezpochyby spojena i vyšší finanční náročnost.

Vhodné by bylo udělat chemické analýzy jednotlivých částí mechorostu – rhizoidů, kauloidů a fylloidů, a zjistit, jak se obsahy prvků mění. Pod každým mechorostem by se dále odebral a rozložil vzorek jeho podloží. To by umožnilo zjistit přesnější akumulační poměry prvků mezi mechorostem a horninou. Zajímavé by také bylo provést rozbory vody, která může mechorost kontaminovat stokem ze svahu nebo rozstříkem deště od matečné horniny. Vhodné by bylo porovnat více druhů mechorostů a zahrnout jak pleurokarpní a akrokarpní druhy, tak i játrovky. Takto založená studie by mohla být předmětem dalších prací.

## 9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 9.1. LITERATURA

- ALBRECHT J. [eds], 2003: Chráněná území ČR VIII. – Českobudějovicko. *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha*.
- ALEXANDER, E. B., COLEMAN R. G., KELLER-WOLF T. et HARRISON S., 2007: Serpentine Geocology of Western North America. *Oxford University Press, New York*.
- ANACKER B. L., 2011: Phylogenetic Patterns of Endemism and Diversity. In: HARRISON S. P. et RAJAKARUNA N. [eds]: Serpentine: The evolution and ecology of a model system. *University of California Press, Berkeley, California, USA, 49–70*.
- ANACKER B. L., 2014: The nature of serpentine endemism. *American Journal of Botany, 101(2): 219–224*.
- ANGELONE M., VASELLI O., BINI C., CORADOSSI N., 1993: Pedogeochemical evolution and trace elements availability to plants in ophiolitic soils. *Science of the Total Environment 129: 291–309*.
- ATER M., LEFEBVRE C., GRUBER W. et MEERTS P., 2000: A phytogeochemical survey of the flora of ultramafic and adjacent normal soils in North Morocco. *Plant and Soil 218: 127–135*.
- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders strategies in response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition 3(1-4): 643–654*.
- BAKER A. J. M. et BROOKS R. R., 1989: Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements-A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery 1: 81–126*.
- BAKER A. J. M., PROCTOR J. et REEVES R. D., 1992: The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. *Intercept, Andover, Hampshire, U. K.*
- BARGAGLI F., MONACI F., BORGHINI F., BRAVI F. et AGNORELLI C., 2002: Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on *Hypnum cupressiforme* and *Parmelia caperata* in a former mining district in Italy. *Environmental Pollution 116: 279–287*.
- BATIANOFF G. N. et SINGH S., 2001: Central Queensland serpentine landforms, plant ecology and endemism. *South African Journal of Science 97: 495–500*.
- BERGLUND N. A.-B., 2005: Postglacial Colonization and Parallel Evolution of Metal Tolerance in the Polyploid *Cerastium alpinum*. *Swedish University of Agricultural Sciences 65: 1–51*.



- BERGLUND N. A.-B., DAHLGREN S. et WESTERBERGH A., 2003: Evidence for parallel evolution and site-specific selection of serpentine tolerance in *Cerastium alpinum* during the colonization of Scandinavia. *New Phytologist* 161: 199–209.
- BOYD R. S., 2007: The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: Status, challenges, and new directions. *Plant and Soil* 293: 153–176.
- BOYD R. S. et JAFFRÉ T., 2009: Elemental concentrations of eleven New Caledonian plant species from serpentine soils: Elemental correlations and leaf age effects. *Northeastern Naturalist* 16: 93–110.
- BRADY K. U., KRUCKEBERG A. R. et BRADSHAW H. D. Jr., 2005: Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36: 243–266.
- BRISCOE L. R. E., HARRIS T. B., BROUSSARD W., DANNENBERG E., OLDAY F. C et RAJAKARUNA N., 2009: Bryophytes of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, U. S. A. *Rhodora*, 111: 1–20.
- BROOKS R. R., 1987: Serpentine and its vegetation: A multidisciplinary approach. *Dioscorides Press, Portland, OR, USA*.
- BROOKS R. R., 1998: Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration, and Phytomining. *CAB International, Wallingford, U.K.*
- BUTT CH. R. M. et CLUZEL D., 2013: Nickel laterite ore deposits: Weathered serpentinites. *Elements* 9: 123–128.
- COOKE S. S., 1994: The edaphic ecology of two western North American composite species. *University of Washington, Seattle*.
- CULEK M., BUČEK A., GRULICH V., HARTL P., HRABICA A., KOCIÁN J., KYJOVSKÝ Š. et LACINA J., 2005: Biogeografické členění České republiky. II. díl. 1. vyd., *Praha, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR*.
- DEMEK J. et MACKOVČIN P., 2006: Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny 2. vyd. *Brno, AOPK ČR*.
- DVOŘÁK R., 1935: Nanismy (trpasličí formy rostlinné). *Archiv Svazu pro ochranu přírody a domoviny v zemi Moravskoslezské*.
- ENT A., BAKER A. J. M., REEVES R. D., POLLARD A. J. et SCHAT H., 2013: Hyperaccumulation of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. *Plant and Soil* 362: 319–334.
- FITTER A. H. et HAY R. K. M., 1981: Environmental physiology of plants. *Academic Press, New York*.

- GABRIELLI R., Mattioni C. et VERGNANO O., 1991: Accumulation mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator. *Journal of Plant Nutrition* 14:1067–1080.
- GRAM W. K., BORER E. T., COTTINGHAM K. L., SEABLOOM E. W. et BOUCHER V. L., 2004: Distribution of plants in a California serpentine grassland: are rocky hummocks spatial refuges for native species? *Plant Ecology* 172: 159–171.
- HARRIS T. B. et RAJAKARUNA N., 2009: *Adiantum viridimontanum*, *Aspidotis densa*, *Minuartia marcescens*, and *Symphytotrichum rhiannon*: additional serpentine endemics from Eastern North America. *Northeastern Naturalist* 16: 111–120.
- HEJTMAN B., 1962: Petrografie metamorfovaných hornin. *Československá akademie věd, Praha*.
- HRUŠKA B. et BAJER A., 2004: Geochemie Cr, Ni a Zn v Českých a slovenských hadcových horninách a jejich zvětralinách a půdách. *Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně*.
- HUGHES R., BACHMANN K., SMIRNOFF N. et MACNAIR M. R., 2001: The role of drought tolerance in serpentine tolerance in the *Mimulus guttatus* Fischer ex DC. Complex. *South African Journal of Science* 97(11): 581–586.
- CHIARUCCI A., 2004: Vegetation Ecology and Conservation on Tuscan Ultramafic Soils. *The Botanical Review* 69(3): 252–268.
- CHYTRÝ M. [eds], 2009: Vegetace České republiky 2: Ruderální, plevelová, skalní a suťová vegetace. *Academia, Praha*.
- JENNY, H. 1980: The Soil Resource: Origin and Behavior. *Springer-Verlag, New York*.
- KAZAKOU E., DIMITRAKOPOULOS P. G., BAKER A. J. M., REEVES R. D. et TROUMBIS A. Y., 2008: Hypotheses, mechanisms and trade-offs of tolerance and adaptation to serpentine soils: from species to ecosystem level. - *Biological Reviews* 83:495–508.
- KOLÁŘ F. et VÍP P., 2008: Endemické rostliny českých hadců: I. Zvláštnosti hadcových ostrovů. *Živa* 1: 14–17.
- KOMÁREK, J., 2000: Atomová absorpční spektrometrie. *Brno, Masarykova univerzita*.
- KOUŘIMSKÝ J., 1999: Užitékové nerosty a horniny. *Aventinum, Praha*.
- KRÁM P., OULEHLE O., ŠTĚDRÁ V., HRUŠKA J., SHANLEY J. B., MINOCHA R. et TRAISTER E., 2009: Geoecology of a Forest Watershed Underlain by Serpentine in Central Europe. *Northeastern Naturalist*: 16: 309–328.
- KRUCKEBERG A. R., 1985: California Serpentine: Flora, Vegetation, Geology, Soils, and Management Problems. *University California Press, Berkeley, CA*.

- KUČERA J., VÁŇA J. et HRADÍLEK Z., 2012: Bryoflóra České Republiky: aktualizace seznamu a červeného seznamu a stručná analýza. *Preslia* 84: 813–850.
- KUMARATHILAKA P., DISSANAYAKE C. B. et VITHANAGE M., 2014: Geochemistry of serpentine soils: A brief overview. *Journal of Geological Society of Sri Lanka* 16: 53–63.
- KYOUNGKEUN Y., BYUNG-SU K., MIN-SEUK K., JAE-CHUN L. et JINKI J., 2009: Dissolution of Magnesium from Serpentine Mineral in Sulfuric Acid Solution. *Materials Transactions* 50: 1225–1230.
- LEWIS G. J., INGRAM J. M. et BRADFIELD G. E., 2004: Diversity and habitat relationships of bryophytes at an ultramafic site in southern British Columbia, Canada. In: BOYD R. S., BAKER A. J. M., et PROCTOR J. [eds]: Ultramafic Rocks: Their Soils, Vegetation, and Fauna. *Proc. 4th International Conference on Serpentine Ecology. Science Reviews, St. Albans, Herts, U.K.*
- MADHOK O. P. et WALKER R. B., 1969: Magnesium Nutrition of Two Species of Sunflower. *Plant Physiology* 44: 1016–1022.
- MAIN J. L., 1981: Magnesium and calcium nutrition of serpentine endemic grass. *The American Midland Naturalist* 105:196–199.
- MARRS R. H. et PROCTOR J., 1976: The Response of Serpentine and Non-Serpentine *Agrostis Stolonifera* to Magnesium and Calcium. *Journal of Ecology* 64 (3): 953–964.
- MARÍN A. M., MUSTELIER K., POTRONY M. et VICARIO A., 2004: Caracterización de la brioflora de las áreas ultramáficas Cubanas. *La Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 19–23.
- MENGONI A., SCHAT H. et VANGRONSVELD J., 2010: Plants as extreme environments? Ni-resistant bacteria and Ni-hyperaccumulators of serpentine flora. *Plant and Soil* 331: 5–16.
- MINGUZZI C. et VERGNANO G. O., 1953: The inorganic element content of plants of the ultrabasic formation of Imprunea (Florence, Italy). *Nuovo giornale botanico italiano* 60:287–319.
- O'DELL R. E. et CLAASSEN V. P., 2006: Serpentine and nonserpentine *Achillea millefolium* accessions differ in serpentine substrate tolerance and response to organic and inorganic amendments. *Plant and Soil* 279: 253–269.
- OLINE D. K., 2006: Phylogenetic comparisons of bacterial communities from serpentine and nonserpentine soils. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 6965–6971.
- OZE CH., FENDORF S., BIRD D. K. et COLEMAN R. G., 2004: Chromium geochemistry in serpentinized ultramafic rocks and serpentine soils from the Franciscan complex of California, *American Journal of Science* 304: 67–101.

- PAŠTYKA D., 2014: Porovnání epilitické bryoflóry na třech horninových typech (hadec, ortorula a granulit) v Blanském lese. *Nepublikováno. Dep.: Česká zemědělská univerzita, Praha.*
- PAUKOV A. G. et TEPTINA A., 2015: Nickel accumulation by species of *Alyssum* and *Noccaea* (Brassicaceae) from ultramafic soils in the Urals, Russia, *Australian Journal of Botan* 63: 78–84.
- POLLARD A. J., POWELL K. D., HARPER F. A. et SMITH J. A. C., 2002: The genetic basis of metal hyperaccumulation in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21: 539–566.
- PROCTOR J., 1970: Magnesium as a toxic element. *Nature* 227: 742–743.
- PROCTOR J., 1999: Toxins, nutrient shortages and droughts: the serpentine challenge. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 334–335.
- PROCTOR J., ALEXEEVA-POPOVA N. V., KATAEVA M. N., KRAVKINA I. M., YURTSEV B. A. et DROZDOVA I. V., 2005: Arctic ultramafics: New investigation on Polar Ural vegetation, *Proceedings of the IV international congress on ultramafic serpentine ecology*: 121–136.
- PROCTOR J. et WOODDELL S. R. J., 1971: The Plant Ecology of Serpentine: I. Serpentine Vegetation of England and Scotland. *Journal of Ecology* 59: 375–395.
- QUITT E., 1971: Klimatické oblasti Československa. *Geografický ústav ČSAV, Studia Geographica, Brno.*
- RAJAKARUNA N. et BOHM B. A., 1999: The edaphic Factor and Patterns of Variation in *Lasthenia californica* (Asteraceae). *American Journal of Botany* 86: 1576–1596.
- RAJAKARUNA N. et BOYD R. S., 2014: Serpentine Soils. *Oxford Bibliographies in Ecology, Oxford University Press, New York.*
- RAJAKARUNA N., HARRIS T. B. et ALEXANDER E. B., 2009: Serpentine geology of eastern north America. *Rhodora* 111: 21–108.
- RAJAKARUNA N., KNUDSEN K. et FRYDAY A. M., 2012: Investigation of the importance of rock chemistry for saxicolous lichen communities of the New Idria serpentinite mass, San Benito County, California, USA. *Lichenologist* 44: 695–714.
- RASSMUSSEN L. et JOHNSEN I., 1976: Uptake of minerals, particularly metals, epiphytic *Hypnum cupressiforme*. *Oikos* 27: 483–487.
- REEVES R. D., 2003: Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoextraction. *Plant and Soil* 249: 57–65.

- REEVES R. D., BAKER A. J. M., BORHIDI A. et BERAZÁIN R., 1999: Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba. *Annals of Botany* 83: 29–38.
- REEVES R. D. et BAKER A. J. M., 2000: Metal-accumulating plants. In: RASKIN I. et ENSLEY B. D. [eds]: *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. New York, NY, USA: Wiley J. and Sons, 193–229.
- RUNE O., 1953: Plant life on serpentines and related rocks in the north of Sweden. *Acta Phytogeographica Suecica* 31: 1–139.
- RUNE O., 1954: Notes on the flora of the Gaspé Peninsula. *Svensk Botanisk Tidskrift*. 48: 117–138.
- SAMECKA-CYMERMAN A., KEMPERS A. J. et WINTER B., 2002: Metal and macroelement concentration and effect of nutrient addition in terrestrial bryophytes growing on serpentine massifs in Lower Silesia, Poland. *Environmental Geology* 43: 79–86.
- SARDANS J. et PENUELAS J., 2005: Trace element accumulation in the moss *Hypnum cupressiforme* Hedw. and the trees *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. in Catalonia. *Chemosphere* 60: 1293–1307.
- SARKAR B., 2002: *Heavy Metals in the Environment*. Marcel Dekker, New York.
- SEVERNE B. C. et BROOKS R. R., 1972: A nickel-accumulating plant from Western Australia. *Planta* 103: 91–94.
- SIGAL L. L., 1975: Lichens and mosses of California serpentines. *M. A. thesis, Univ. California, San Francisco, CA*.
- SHAW A. J., 1991: Ecological genetics of serpentine tolerance in the moss, *Funaria flavicans*: Variation within and among haploid sib families. *American Journal of Botany* 78: 1487–1493.
- SHAW A. J. et ALBRIGHT D. L., 1990: Potential for the evolution of heavy metal tolerance in *Bryum argenteum*, a moss. II. Generalized tolerances among diverse populations. *Bryologist* 93: 187–192.
- SHAW A. J., ANTONOVISC J. et ANDERSON L. E., 1987: Inter and Intraspecific variation of mosses in tolerance to copper and zinc. *Evolution* 41: 1312–1325.
- STEBBINS G. L., 1942: The Genetic Approach to Problems of Rare and Endemic Species. *Madrono* 6: 241–272.
- SUDA J. et KAPLAN Z., 2012: Rostlinný endemismus a endemity české květeny. *Živa* 4: 168–174.
- SUCHARA I. et SUCHAROVÁ J., 1998: Mechorosty a monitorování (I) a (II). *Živa* 46: 201–202, 246–248.

- SUSAYA J. P., KIM K.-H., ASIO V. B., CHEN Z.-S. et NAVARRETE I., 2010: Quantifying nickel in soils and plants in an ultramafic area in Philippines. *Environmental Monitoring and Assessment* 167: 505–514.
- TYLER G., 1990: Bryophytes and heavy metals: A literature review. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104: 231–253.
- TYNDALL R. W. et HULL J. C., 1999: Vegetation, flora, and plant physiological ecology of serpentine barrens of Eastern North America. In: ANDERSON R.C., FRALISH J.S. et BASKINS J.M. [eds]: Savannas, barrens and rock outcrop communities of North America. *Cambridge University Press, Cambridge, England*.
- VACH M., HEŘMANOVSKÝ M. et KUBÍNOVÁ P., 2010: Cvičení z environmentální chemie I. ČZU v Praze, *Fakulta životního prostředí*.
- VÁŇA J., 2006: Obecná bryologie. *Univerzita Karlova v Praze*.
- VICIC D. D., STOILJKOVIC M. M., BOJAT N. Č., SABOVLJEVIC M. S. et STEVANOVIC B. M., 2014: Physiological tolerance mechanisms of serpentine tolerant plants from Serbia. *Revue d'Ecologie* 69: 185–195.
- VLAMIS J., 1949: Growth of lettuce and barley as influenced by degree of calcium saturation of soil. *Science* 67: 453–466.
- VLAMIS J. et JENNY H., 1948: Calcium deficiency in serpentine soils as revealed by absorbent technique. *Science* 107: 549–551.
- WALKER R. B., 1948: A study of serpentine soil infertility with special reference to edaphic endemism. *University of California, Berkeley*.
- WALKER R. B., 1954: The ecology of serpentine soils: II. Factors affecting plant growth on serpentine soils. *Ecology* 35: 259–266.
- WALKER R. B., WALKER H. M. et Ashworth P. R., 1955: Calcium–Magnesium nutrition with special reference to serpentine soils. *Plant Physiology* 30: 214–222.
- WANG A. S., RUFUS L. CH., ANGLE J. S. et MCINTOSH M. S., 2005: Using Hyperaccumulator Plants to Phytoextract Soil Cd. *Naturforsch* 60: 190–198.
- WHITTAKER R. H., 1954: The Ecology of Serpentine Soils. *Ecology* 35: 258–288.
- WILLIAMSON S. D. et BALKWILL K., 2006: Factors determining levels of threat to serpentine endemics. *South African Journal of Botany* 72: 619–626.
- ZIMÁK J., 2005: Petrografie metamorfitů. *Katedra ekologie PřF UP, Olomouc*.

## 9.2. INTERNETOVÉ ZDROJE

AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY, 2012: MapoMat, *online: mapy.nature.cz, cit. 18.3.2017.*

BRANCO S. et REE R. H., 2010: Serpentine soils do not limit mycorrhizal fungal diversity. *PLoS ONE, online: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0011757, cit. 20.3.2017.*

DAGHINO S., MURAT C., SIZZANO E., GIRLANDA M. et PEROTTO S., 2012: Fungal diversity is not determined by mineral and chemical differences in serpentine substrates. *PLoS ONE, online: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0044233, cit. 20.3.2017.*

KUČERA J., VÁŇA J., HRADÍLEK Z. ET SOLDÁN Z., 2009: Mechorosty České republiky, *online: http://botanika.bf.jcu.cz/bryoweb/klic/, cit. 27.11.2016.*

ŠMILAUER, P., 2007: Moderní regresní metody. *Biologická fakulta JČU, České Budějovice, online: http://regent.jcu.cz/MRM.pdf, cit. 24.3.2017.*

## 10. PŘÍLOHY

Obrázek 1: Světové hadcové lokality.....	19
Obrázek 2: Mapa České Republiky zobrazující výskyt hadcových oblastí. ....	19
Obrázek 3: Oblast zájmových lokalit na mapě České republiky. ....	35
Obrázek 4: Mapka studovaných lokalit.....	35
Obrázek 5: Mapa území PR Holubovské hadce.....	37
Obrázek 6: Mapa území PR Bořinka. ....	40
Obrázek 7: Mapa území PP Šimečková stráň. ....	42
Obrázek 8: Mapa území PR Miletínky. ....	44
Obrázek 9: Koncentrace Ca v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ]. ....	47
Obrázek 10: Koncentrace Mg v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ]. ....	47
Obrázek 11: Poměr Ca: Mg v mechu <i>H. cupressiforme</i> . ....	48
Obrázek 12: Korelace Ca a Mg, serpentinit. ....	49
Obrázek 13: Korelace Ca a Mg, granulit. ....	49
Obrázek 14: Koncentrace Ca v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ] Holubovských hadců. .....	50
Obrázek 15: Koncentrace Mg v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ] Holubovských hadců. .....	50
Obrázek 16: Poměr Ca: Mg v mechu <i>H. cupressiforme</i> Holubovských hadců. ....	51
Obrázek 17: Koncentrace Cr v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ].....	52
Obrázek 18: Koncentrace Ni v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ].....	52
Obrázek 19: Koncentrace Cd v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ]. ....	53
Obrázek 20: Koncentrace Pb v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ]. ....	53
Obrázek 21: Koncentrace Cu v mechu <i>H. cupressiforme</i> [ $\mu\text{g/g}$ ]. ....	54
Obrázek 22: Obsah Ca v mechu <i>H. cupressiforme</i> versus v hornině.....	56
Obrázek 23: Obsah Mg v mechu <i>H. cupressiforme</i> versus v hornině.....	56



Obrázek 24: Obsah Ni v mechu <i>H. cupressiforme</i> versus v hornině. ....	57
Tabulka 1: Stručné shrnutí charakteristik studovaných oblastí.....	36
Tabulka 2: Průměrná koncentrace [ $\mu\text{g/g}$ ] prvků v mechách. ....	46
Tabulka 3: Koncentrace prvků v hornině. ....	46
Tabulka 4: Korelační matice prvků na serpentinitu. ....	55
Tabulka 5: Průkaznost (P) korelační matice-serpentinit. ....	55
Tabulka 6: Korelační matice prvků na granulitu.....	55
Tabulka 7: Průkaznost (P) korelační matice-granulit. ....	55
Tabulka 8: Akumulační poměr prvků mechu <i>H. cupressiforme</i> a horniny.....	57
Tabulka 9: Koncentrace [ $\mu\text{g/g}$ ] prvků v mechorostech.....	79
Tabulka 10: Koncentrace [ $\mu\text{g/g}$ ] těžkých kovů v mechorostech.....	80
Fotografie 1: PTFE tlaková nádoba. ....	74
Fotografie 2: Mikrovlnné zařízení značky Berghof. ....	74
Fotografie 3: Atomový absorpční spektrometr. ....	75
Fotografie 4: PR Holubovské hadce. ....	75
Fotografie 5: PR Bořinka. ....	76
Fotografie 6: PP Šimečkova stráň. ....	76
Fotografie 7: PR Miletínky. ....	77
Fotografie 8: Sleziník hadcový. ....	77
Fotografie 9: Hvozdík kartouzek hadcový. ....	78
Fotografie 10: Staré důlní místo v PR Bořinka. ....	78

**Fotografie 1: PTFE tlaková nádobka.**

Autor: David Paštyka.



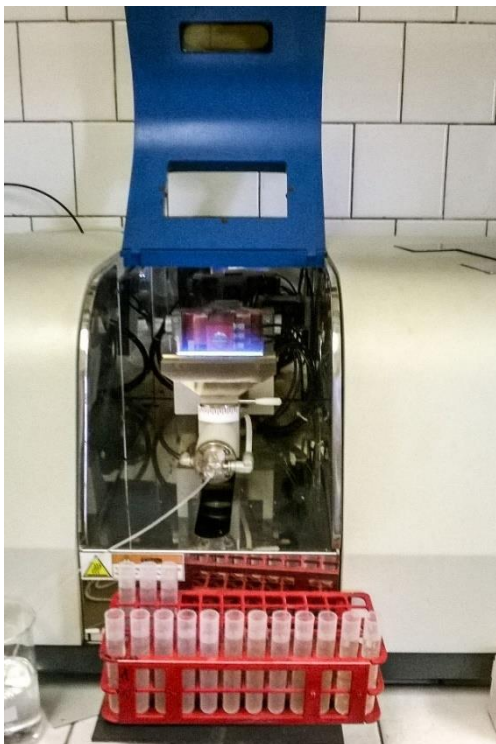
**Fotografie 2: Mikrovlnné zařízení značky Berghof.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 3: Atomový absorpční spektrometr.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 4: PR Holubovské hadce.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 5: PR Bořinka.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 6: PP Šimečkova stráň.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 7: PR Miletínky.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 8: Sleziník hadcový.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 9: Hvozdík kartouzek hadcový.**

Autor: David Paštyka.



**Fotografie 10: Staré důlní místo v PR Bořinka.**

Autor: David Paštyka.



**Tabulka 9: Koncentrace [µg/g] prvků v mechorostech.**

Lokality: 1 - Holubovské hadce, 2 - Miletínky, 3 - Šimečkova stráž, 4 – Bořinka.  
Hornina: S - serpentinit, G – granulit.

<u>Lokalita</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>Ca: Mg</u>
1 S	1940	5730	0,3
	9130	9330	1,0
	4120	8190	0,5
	2810	8780	0,3
	2180	2390	0,9
	2150	4450	0,5
1 G	1460	1780	0,8
	4790	1170	4,1
	4850	1530	3,2
	2290	1340	1,7
	980	700	1,4
	2020	1390	1,5
2 S	2640	12130	0,2
	2570	3120	0,8
	2740	2540	1,1
	3060	7820	0,4
2 G	3660	1330	2,8
	5300	1900	2,8
	3430	1340	2,6
	3250	1330	2,4
3 S	5170	5170	1,0
	2690	2880	0,9
	2540	3510	0,7
	3390	4080	0,8
3 G	3380	4900	0,7
	5050	3910	1,3
	5610	4160	1,3
	3740	5220	0,7
4 S	2720	4360	0,6
	2540	4160	0,6
	3680	7240	0,5
	3600	6570	0,5
4 G	4450	2840	1,6
	2620	2090	1,3
	3550	2830	1,3
	5170	3660	1,4

**Tabulka 10: Koncentrace [ $\mu\text{g/g}$ ] těžkých kovů v mechorostech.**

<u>Hornina</u>	<u>Cd</u>	<u>Pb</u>	<u>Cr</u>	<u>Cu</u>	<u>Ni</u>
serpentinit	0,27	5,18	6,42	8,62	54,13
	0,35	4,73	13,49	21,53	93,12
	0,29	3,38	2,51	11,58	18,91
	0,23	2,2	6,95	9,25	172,98
	0,1	1,68	0,88	7,28	3,33
	0,12	1,36	1,52	8,09	7,67
granulit	0,16	6,07	0,47	5,93	2,09
	0,22	0,75	1,28	12,25	0,78
	0,18	3,97	0,88	7,29	1,11
	0,17	1,37	0,88	4,19	0,88
	0,21	3,81	1,63	8,46	7,61
	0,5	2,53	0,41	15,3	8,29