

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Monitoring zatížení berylliem v oblasti severozápadních  
Čech**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Lucie Půtová**

**Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru**

**Vedoucí práce: Ing. Zuzana Čadková, Ph.D., DiS.**

© 2019 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Monitoring zatížení beryliem v oblasti severozápadních Čech" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí mé práce Ing. Zuzaně Čadkové, Ph.D., DiS., za odborné vedení mé práce. Děkuji za veškeré cenné rady, připomínky, trpělivý přístup, a především za čas věnovaný osobním i e-mailovým konzultacím.

# Monitoring zatížení beryliem v oblasti severozápadních Čech

## Souhrn

Tato diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení aktuálního stavu zatížení vybraných složek životního prostředí beryliem (Be) v oblasti severozápadních Čech. V literární rešerši je popsána problematika výskytu tohoto prvku ve spojitosti s těžbou uhlí, jeho zpracováním, a především následným spalováním, což je jeden z hlavních zdrojů emisí na lokalitě Mostecká a Sokolovska. Následně bylo pomocí vlastního výzkumu monitorováno a vyhodnoceno zatížení organismů zde žijících.

Jako modelový monitorovaný organismus byli v tomto výzkumu zvoleni dva zástupci drobných zemních savců, a to *Apodemus sp.* a *Microtus arvalis*. Jedinci byli odchyťováni dvakrát za letní sezónu pomocí živochytných pastí. Následnou pitvou došlo k získání jednotlivých potřebných orgánů, kdy v našem případě šlo především o játra a obsah žaludku. Poté byly v těchto tkáních stanoveny obsahy beryllia pomocí metody ICP-MS.

Veškerá naměřená data byla zpracována pomocí statistického softwaru STATISTICA. Pro zjištění statistických rozdílů v koncentracích Be v játrech a žaludcích mezi drobnými zemními savci, žijícími na Sokolovsku a Mostecku, byl použit neparametrický Mann-Whitneyův U test.

Při našem výzkumu bylo zjištěno, že ve tkáních žaludků jsou vyšší hodnoty u jedinců žijících na lokalitě Sokolovska, což koresponduje s faktem, že na této lokalitě jsou obecně vyšší koncentrace Be i v ostatních složkách životního prostředí jako je například půda a ovzduší.

V případě jater, kam se beryllium dostává nejen skrze potravu, ale také inhalačně - přes dýchací cesty a následným transportem krví, nám vyšly více zatížené tkáně z oblasti Mostecká. Tento výsledek byl poněkud překvapivý, ale můžeme z něj usuzovat, že organismy žijící v oblasti Sokolovska dokáží, oproti jedincům z regionu Mostecká, v důsledku dlouhodobé intenzivní expozice beryllium akumulovat v jiných tkáních, kde pro ně patrně představuje nižší zdravotní riziko. Pro ověření těchto předpokladů budou nutné analýzy dalších živočišných tkání, jako jsou kosti a plíce.

**Klíčová slova:** beryllium, biomonitoring, toxicita, expozice, organismus

# Monitoring of Beryllium Contamination in Northwestern Bohemia

## Summary

This thesis is focused on the current beryllium (Be) load regarding selected environmental elements in the Northwestern Bohemia. The theoretical part describes the problematics in association with coal mining, processing, and in particular subsequent incineration, which is one of the main sources of emissions in the location of Sokolovsko and Mostecko. Practical part of this thesis are results of Be monitoring and in organisms living in above mentioned areas and evaluation of current Be load in such animals.

Two small ground mammals, *Apodemus sp.* and *Microtus arvalis* have been monitored as a model organism in this study. Specimen were caught twice in the summer season 2017 and 2018. Samples of interest (liver and stomach content) were obtained by the autopsy. Subsequently, the set of these tissues was analyzed by the ICP MS methods regarding the content of beryllium.

The data were processed by software STATISTICA. A non-parametric Mann-Whitney U test was used for detection of the statistical differences in the concentrations of Be in livers and stomachs among the small mammals living on the locations of Sokolovsko and Mostecko.

In our research was found that in the stomachs are higher Be values in specimen living in the Sokolovsko location. This corresponds with the fact that in this area are higher concentrations of Be in other environmental components such as soil and air.

Concerning liver, where beryllium is delivered both by food and by inhalation through respiratory tract and blood transport - we found out that tissues from the location Mostecko showed significantly higher Be concentrations when compared to those of Sokolov area. This result was slightly surprising but we can suppose that, due to the long-term intensive exposure, organisms living in the area of Sokolovsko can accumulate Be in other parts of the body (e.g. bones and lungs), where it pose lower toxicological risk for them.

**Keywords:** beryllium, biomonitoring, toxicity, exposure, organism

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
3.1	Obecná charakteristika beryllia .....	10
3.2	Výskyt v prostředí .....	11
3.3	Toxikologie beryllia .....	11
3.3.1	Expozice lidského organismu berylliu .....	12
3.3.2	Expozice drobných zemních savců berylliu .....	13
<b>3.4</b>	<b>Lokalita severozápadní Čechy</b> .....	<b>16</b>
3.4.1	Severočeská hnědouhelná pánev (SHP) .....	17
3.4.1.1	Sokolovská pánev .....	17
3.4.1.2	Přehled koncentrace beryllia v uhlí ve světovém měřítku .....	18
<b>3.4.2</b>	<b>Mostecká pánev</b> .....	<b>20</b>
3.4.2.1	Počátky těžby .....	21
3.4.2.2	Vliv těžby hnědého uhlí na životní prostředí Mostecka .....	22
3.4.2.3	Aktuální stav zatížení toxickými prvky v severozápadních Čechách .....	24
<b>3.4.2.4</b>	<b>Aktuální stav zatížení ovzduší Be v severozápadních Čechách</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>29</b>
4.1	Popis lokality .....	29
4.1.1	Modelový monitorovaný organismus .....	30
4.1.2	Základní metodika odchytu .....	31
4.1.2.1	Získání biologického materiálu .....	31
4.1.2.2	Příprava vzorků pro chemické analýzy .....	32
<b>4.2.</b>	<b>Statistické zpracování</b> .....	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>34</b>

5.1	Žaludky - test normálního rozdělení.....	34
5.1.1	Žaludky - test homogenity rozptylu .....	36
5.1.2	Žaludky Mann-Whitneyův U Test .....	36
5.1.3	Žaludky - vyjádření středních hodnot a rozsahu hodnot .....	37
5.2	Játra - test normálního rozdělení .....	38
5.2.1	Játra - test homogenity rozptylu .....	40
5.2.2	Játra Mann-Whitneyův U Test .....	40
5.2.3	Játra - vyjádření středních hodnot a rozsahu hodnot .....	41
<b>5.3.</b>	<b>Identifikace míst s nejvyšším zatížením.....</b>	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>43</b>
6.1	Koncentrace Be v žaludcích a játrech .....	43
6.2.	Porovnání expozice člověka se zkoumanými druhy savců .....	46
6.3.	Vyhodnocení míst s nejvyšším zatížením Be.....	47
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>57</b>

# 1 Úvod

Beryllium je kov, který byl objeven již v roce 1798, ale až do nedávné doby neměl nijak zvláštní technickou důležitost, a ani toxikologicky nebyl pokládán za zajímavý. Do většího povědomí se tento prvek dostal až v souvislosti s mnohostranným využitím v moderní technice, a s tím spojenou průmyslovou výrobou. Společně s rozšířením využití se však objevilo i onemocnění zaviněné právě berylliem. První zmínky o otravě tímto prvkem byly popsány v roce 1935, a od té doby je toxicitě beryllia věnováno nespočet výzkumných prací.

V České republice je o uhlí možné mluvit jako o suverénním zdroji energie, přestože již jeho pozice není zdaleka tak dominantní, jako ve 20. století. I tak je ale stále černé, a zejména pak hnědé uhlí na našem území nejvýznamnější fosilní palivo, vzhledem ke svému rozsahu především v oblasti severozápadních Čech.

Právě ale těžba uhlí, jeho zpracování, a především následné spalování je jedním z hlavních zdrojů emisí Be v této oblasti. Tento typ kontaminace pak může způsobovat expozici organismů žijících na takto dotčeném území, ať už se jedná o drobné savce, či lidskou populaci, která nevyhnutelně výpary z těchto procesů vdechuje, či konzumuje v lokálně pěstovaných potravinách.

Jak již bylo zmíněno, zájem o studium koncentrací beryllia v prostředí neustále roste. Četnými metodami se tak stanovuje jeho množství v jednotlivých složkách životního prostředí, a to především v půdě, ovzduší, vodě, zejména v tzv. rizikových oblastech. Ke stanovení Be je možné využít řadu analytických metod s různou náročností na přípravu vzorků, postup a instrumentaci, důležité však je, aby tyto metody byly dostatečně přesné a citlivé, jelikož naměřené hodnoty jsou leckdy velmi nízké. V posledních letech, zejména v oblasti stopové a ultrastopové analýzy, se nejčastější analytickou metodou stává hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, uváděna pod zkratkou ICP-MS. Tato metoda se aplikuje především v případech, kdy je potřeba rychlá a spolehlivá prvková analýza, např. při kontrole kontaminace životního prostředí, při kontrole kvality surovin v potravinářských a průmyslových závodech, nebo právě pro stanovení koncentrace toxických prvků, jako je již zmíněné beryllium, ve vzorcích živočišných tkání.



## 2 Cíl práce

Tato diplomová práce si klade za cíl vyhodnotit aktuální stav zatížení vybraných složek životního prostředí berylliem v oblasti severozápadních Čech, kde od roku 1403 docházelo k masivní těžbě hnědého uhlí.

K dosažení tohoto cíle budou pomocí metody ICP-MS stanoveny obsahy beryllia v tkáních drobných zemních savců, žijících na území severočeské hnědouhelné pánve. Výsledná data z obou hlavních těžebních oblastí (Mostecko a Sokolovsko) budou statisticky vyhodnocena a porovnána mezi sebou.

Výsledkem této práce by pak mělo být vyhodnocení zatížení organismů žijících v lokalitách ovlivněných emisemi Be, jež vznikají právě v souvislosti s těžbou a zpracováním hnědého uhlí v oblasti Mostecké a Sokolovské pánve, a následná identifikace míst s nejvyšší úrovní znečištění.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Obecná charakteristika beryllia

Beryllium (Be), prvek, který byl objeven roku 1798 LouiSEM Vauguelinem jakožto součást minerálu berylu a smaragdu, jež mají stejné struktury. Při prvním objevení Be nebylo zpočátku jasné jeho oxidační číslo a relativní atomová hmotnost. Nejprve se uvažovalo o  $\text{Be}_{2+}$  a hmotnosti 9,4 nebo  $\text{Be}_{3+}$  hmotnosti 14,1. Tato nejasnost byla objasněna až o 70 let později, ruským chemikem a tvůrcem periodické tabulky prvků, Mendělejevem. Dle jeho výzkumu totiž nemá trojmocný prvek s relativní atomovou hmotností okolo 14 v blízkosti dusíku v periodické soustavě prvků místo, kdežto dvojmocný prvek s relativní atomovou hmotností okolo 9 dokonale zaplňuje mezeru mezi lithiem a borem (Bencko a kol., 1984).

Tento kov se v mnoha vlastnostech podobá hliníku, jen s rozdílem, že není schopný tvořit podvojně sloučeniny – tzv. kamence. Samotné kovové beryllium bylo poprvé připraveno roku 1828 dvěma vědci. Friedrich Wöhler a Antoine Bussy provedli nezávisle na sobě redukci chloridu berylnatého kovovým draslíkem. Příprava čistého beryllia se poté povedla až o 60 let později, kdy byla elektrolyzována tavenina fluoridu berylnatého s fluoridem sodným.

Vzhledem k jeho různým výhodným technickým vlastnostem se použití beryllia velmi rychle rozšířilo v různých odvětvích průmyslu. Velmi běžně se používá právě berylliový bronz (2-2,5% beryllia) především pro svou tvrdost, vysokou tepelnou a elektrickou vodivost a odolnost korozi. Jelikož nejiskří, využívá se tak například při výrobě hrotů do sbíječek pro práci v dolech, kde by v případě vzniku jisker mohlo dojít k výbuchu důlních plynů. Beryllium bez jakéhokoli porušení struktury a tuhosti snáší trvalé zahřívání až na 400-500°C, zatím co slitiny např. hliníku a hořčíku snáší maximálně 150°C. Z tohoto důvodu se využívá pro výrobu raket a nejvíce namáhaných součástí proudových motorů, spolu s titanem. Be má také schopnost propouštět rentgenové paprsky, proto se také využívá pro výrobu rentgenových lamp a vodičů (Kvasničková 1998).

Mezi další vlastnost rovněž patří jeho schopnost využití jakožto zdroj neutronu pro spuštění řetězové reakce uranu. Unikátní fyzikální vlastnosti beryllia především jeho možnost uvolňovat neutrony jsou proto využity při konstrukci neutronových nukleárních náložích ve formě dělostřeleckých granátů a bojových hlavic raketových střel. S rozvojem jaderné energetiky se tak Be používá ve stále větším množství (Castroa a kol., 2009).

## 3.2 Výskyt v prostředí

Beryllium, jakožto složka již zmíněného minerálu berylu ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), jež obsahuje okolo 14% oxidu berylnatého  $\text{BeO}$ , neboli 5% čistého beryllia, je součástí asi 50 minerálů, z nichž ve 30 je obsah Be vyšší než 1%. Matečnou horninou pak jsou granitové pegmatity. V přírodě se tedy elementární beryllium jako prvek nevyskytuje, nalézá se pouze v mnoha sloučeninách (Bencko a kol., 1984). Mezi nejznámější minerály Be pak patří kromě již zmíněného berylu také chrysoberyl ( $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ), a pro průmyslovou těžbu velmi důležitý fenakit ( $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ ), dále behoit -  $\text{Be}(\text{OH})_2$  a bromelit ( $\text{BeO}$ ) – v němž se nachází poměrně vysoké množství Be, a to až 36% (Reimann a Caritat, 1998).

V přírodě samotné nalezneme zastoupení beryllia samozřejmě také již v zemské kůře a to okolo 3-10 mg/kg. V mimořádně nízkém množství ho ale také nalezneme například v mořské vodě (0,6 Be/l), čímž se ve výskytu řadí na stejnou úroveň jako cín, nebo arsen. Ve vesmíru patří Be přes svoji velmi nízkou atomovou hmotnost mezi prvky spíše vzácnější – na jeden atom tohoto prvku připadá přibližně 4,5 miliardy atomů vodíku (Bencko a kol., 2011).

Lokality, ve kterých se beryl těží nejvíce, nalezneme především v Indii, Brazílii, dále pak v Zimbabwe a Jihoafrické republice. V České republice je výskyt Be znám pouze v menším množství v okolí Poběžovic, nedaleko Německých hranic, a v těžitelném množství pak také na Šumavě (Reiman a Caritat 1998). Jeho zásoby jsou odhadovány na 4,106 tun (Říha a kol., 2005).

## 3.3 Toxikologie beryllia

K expozici berylliem dochází především dvěma způsoby, které se týkají jak lidského organismu, tak organismu zvířat. V první řadě se jedná o prosté vdechování tohoto prvku a pouhý kontakt s kůží, či srstí (Anděra a Beneš, 2001).

Jako kritické oblasti jsou označovány okolí závodů vyrábějících beryllium, jeho slitiny, nebo soli. K nadměrnému uvolňování beryllia dochází také při spalování uhlí, jež v některých ložiscích obsahuje více než 100g Be v tuně. V tomto důsledku dochází v některých oblastech ke zvýšenému znečištění ovzduší právě zmíněným toxickým prvkem, a tak vlivem cyklu ovzduší k neprofesionální expozici obyvatelstva a živočichů.

Druhou nejrozšířenější formou expozice je bez pochyb konzumace potravin kontaminovaných berylnatými sloučeninami, jako jsou například fazole, kukuřice a mák,

obsahující až 2200\_μg/kg. Mezi další běžně konzumované potraviny s vyšším obsahem beryllia pak patří také chléb se 112\_μg/kg, brambory 59\_μg/kg a některé další druhy zeleniny (rajčata, papriky), které obsahují kolem 43\_μg/kg Be (Toužín, 2001).

### **3.3.1 Expozice lidského organismu berylliu**

Beryllium i jeho sloučeniny jsou vysoce toxické látky, a řadí se mezi karcinogeny 2. kategorie. Po orálním požití pak Be vytěsňuje z organismu důležité biogenní prvky, jako například hořčík a vápník.

Akutní otrava berylliem, postihující v první řadě dýchací cesty a kůži, byla poprvé popsána již ve 30. letech minulého století v extrakčních závodech v Evropě. Asi o deset let později byla tato onemocnění zaznamenána i u exponovaných pracovníků v USA. Akutní otrava berylliem tak může postihnout všechny části dýchacího ústrojí, přičemž vyvolává například - zánět nosohltanu, dolních dýchacích cest, nebo zánět plicní tkáně. Na kůži pak vyvolává kontaktní dermatitidu (Šram a kol., 2013).

Vlivem Be také dochází ke změně nebo poškození RNA a DNA. Beryllium působí velmi specificky na metabolismus DNA a změny mají vliv na vznik již zmíněných karcinogenních účinků. Dle četných výzkumů se prokázalo, že sloučeniny tohoto prvku nejčastěji způsobují především kostní nádory a nádory plic (Bencko a kol., 2011).

Nejčastějším kontaktem s touto látkou je ve většině případů vdechování vyšších koncentrací Be, především ve formě prachu či par. Tyto akutní otravy se ale v současné době vyskytují pouze v případě např. průmyslových havárií (Fuge, 2008).

Mezi nejznámější chorobu způsobenou expozicí tohoto prvku patří zejména beryllióza, jež byla poprvé zaznamenána již v roce 1940, a to během výroby fluorescenčních lamp. Později byla nalezena také u žen, jež byly zaměstnány v továrnách, kde probíhaly preparace katodových a zářivých trubíc, nebo byly přítomny u výroby neonových, či katodových vláken. Mnohá další onemocnění prokazatelně vznikala také po expozici při výrobě slitin beryllia, v keramickém průmyslu, nebo při práci s kovovým Be. Toto onemocnění má v mnoha případech velmi zrádný začátek, projevuje se totiž až několik let po ukončení expozice prvku. U pacientů, u nichž byla latence kratší než jeden rok, dochází až k 37% úmrtnosti, na rozdíl od nemocných s dlouhodobější latencí mezi 5-10 lety klesá až na 15 %. Toto onemocnění má velmi individuální charakter, ale mezi první symptomy patří katary dýchacích cest a také velmi rychlá

ztráta hmotnosti. U delší latence onemocnění spustí například chirurgický zákrok nebo gravidita. Po dýchacích cestách jsou postupně napadeny také plíce, na nichž se tvoří uzly, jež se skládají z jednojaderných buněk. V nich pak obvykle nalezneme nahromaděný oxid beryllia. U akutního onemocnění je léčba možná přerušáním expozice, či antibiotiky, nebo glukokortikoidy (přípravky na hormonální bázi, jež mají velmi silný protizánětlivý účinek – např. Prednison). Při chronickém onemocnění je ale léčba velmi obtížná a někdy i bezvýsledná (Bencko a kol., 1984).

U tohoto prvku je velmi těsný vztah mezi neškodným množstvím Be v tkáni a již rozvíjejícím se onemocněním.

Nejvýše přípustná koncentrace beryllia v ovzduší je stanovena takto:

- osm hodin expozice denně nesmí průměrná koncentrace přesáhnout  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- nárazové koncentrace nesmí přesáhnout  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- obyvatelé žijící v okolí závodu pak nesmí být exponováni výše než  $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (průměrná koncentrace na měsíc)

(Bencko a kol., 2011)

### **3.3.2 Expozice drobných zemních savců berylliu**

Nejrozšířenějším řádem savců jsou hlodavci. Na celém světě jich je popsáno více jak 2100 druhů, z čehož většina se vyskytuje ve volné přírodě (Anděra a Beneš, 2001). Z tohoto důvodu jsou i tyto živočichové ovlivňováni expozicí mnoha chemických prvků, stejně tak jako člověk.

Většina malých hlodavců váží od 20g do cca 200g a jejich tělo měří zhruba do 30cm. Hlodavci se velmi snadno adaptují na rozmanité životní podmínky, a proto se nachází ve většině biotopů, kde poté přijímají místní různorodou potravu. Většina druhů hlodavců se řadí mezi semenožravé až všežravé (Anděra a Beneš, 2001).

Trávicí ústrojí drobných savců se příliš neliší od lidského organismu. Stejně tak jako u člověka je jeho cílem rozklad přijatých živin ze zkonsumované potravy a následný transport přes střevní stěnu do těla. Jejich trávicí soustava se skládá z dutiny ústní, slinných žláz, jazyku, zubů, jícnu, hltanu, žaludku, tlustého a tenkého střeva, slinivky břišní a jater. Úkolem těchto trávicích orgánů je rozklad složitých látek na látky jednoduché, které pak slouží k výstavbě

samotného organismu. Tyto přijaté a zpracované živiny se následně přesouvají přes střevní epitel přímo do těla. Tyto procesy nazýváme jako mechanické, mikrobiální a chemické.

Ke vstupu beryllia do organismu dochází především inhalačně (přes dýchací cesty), nebo orálně (přes trávicí soustavu). Jelikož jsou při akutní otravě Be napadeny dýchací cesty a kůže, je také nutné zmínit méně rozšířený způsob příjmu tohoto prvku, a to kožní - neboli dermální (Policard, 1950).

Dle Beňové a kol., (2007), má na organismus savců největší vliv beryllium přijaté plicemi. Drobní savci jsou znevýhodněni přizemním životem, tedy pohybem po zemině, na níž se ve formě prachu, popela či par ze zemské kůry vyskytuje větší koncentrace právě tohoto prvku než v samotné možné potravě. Minerály obsahující beryl jsou totiž ve vodě nerozpustné a zůstávají tak v zemi miliony let (Pappas a kol., 1997). V tomto případě kontaminace jsou pak nejvíce zasaženy plíce, kde se Be akumuluje. Přes to, že absolutní hodnoty Be, jež vstupují do plic spolu s vdechovaným vzduchem, jsou až o 30% nižší než při příjmu orálním, výsledný vliv na organismus je však větší, vzhledem k lepší vstřebatelnosti sloučenin Be v plicích než v GITu (gastrointestinální trakt). Jedná se tedy o tzv. vstupní bránu beryllia do organismu. V první řadě jsou vstřebávány především menší části sloučenin Be, jež difundují v plicích přímo do krevního systému. Větší části jsou buď pohlcovány makrofágy, nebo zachyceny mukociliárním transportem, následně polykány, nebo vykašlávány, tudíž jsou zpřístupněny pro vstřebání GITem, čímž je jejich toxicita snížena (vzhledem k nižší vstřebatelnosti v gastrointestinálním traktu), (Beňová a kol., 2007).

Většina drobných hlodavců patří mezi zemědělské škůdce. Jedná se především o myši, hryzce a hraboše. Ledvina a Kolář (1997), uvádí, že v tomto případě dochází k jejich expozici zejména průmyslovými hnojivy, použitím herbicidů, insekticidů, či pesticidů, jelikož dle jejich výzkumu leckdy obsahují zvýšené množství stopových prvků. Dále jsou otravy beryliem známy z průmyslu, nebo z oblastí sprašovaných popílkem, v nichž dochází ke spalování vysoko berylnatého uhlí (London a Evensen, 2002). Tento prvek je po vdechnutí nebezpečný především tím, že se pevně naváže k bílkovinám, takže je téměř nemožné ho z těla zcela dostat. Be se z poničených buněk přesune do dalších, jež rozpadlé buňky fagocytují, a nakonec skončí v kostní dřeni a bílých krvinkách, kde napadá buňky imunitní. To může v konečném důsledku zahubit samotného nositele právě napadeného imunitního systému (Anděra a Beneš, 2001).

Při orálním vstupu je beryllium přijímáno především s potravou (zejména rostlinnou) a vodou. V tomto případě opět záleží, v jaké lokalitě se jedinci vyskytují, zda v oblastech

zemědělsky, či jinak antropogenně zatížených, nebo v oblastech s půdou příliš nezatíženou a nekontaminovanou. Vstřebatelnost Be v trávicím ústrojí je poměrně nízká, údaje o průměrné vstřebatelnosti se různě liší, nejčastěji jsou však uváděny hodnoty mezi 3-5 % (Taylor a kol. 2003). Jak velké množství Be bude v trávicím traktu vstřebáno, pak závisí na několika faktorech.

### **1. Množství přijaté potravy s obsahem Be**

- čím více potravy organismus najednou přijme, tím je vstřebatelnost Be menší

### **2. Typ sloučeniny**

- sloučeniny ve vodě rozpustné mají o mnoho lepší vstřebatelnost Be, než nerozpustné
- ve střevech se lépe štěpí sloučeniny organické, než anorganické (vstřebatelnost Be je tedy podstatně vyšší z organických sloučenin, než z anorganických)

### **3. Interakce si jinými minerálními látkami**

- Be z organismu vytěsňuje důležité biogenní prvky, jako jsou hořčík a vápník, záleží tedy také na jejich dosavadním přijatém množství a zásobách, jež ovlivní jejich následnou interakci s nově přijatým berylliem.

(Friberg a kol., 1986)

Největším biologickým faktorem z hlediska vstupu, a hlavně vstřebávání Be do organismu je v první řadě věk. Obecně můžeme říci, že nejvyšší vstřebatelnost probíhá především u embryí a mláďat. Tyto skupiny totiž mají oproti běžným vstřebávacím procesům ještě další vstřebávací mechanismus, a to pinocytózu, kdy u embryí může dojít k intoxikaci přes placentu z matčiny krve. Beňová a kol. (2007), uvádí, že vylučování Be je u těchto skupin oproti dospělým nedostatečné, vzhledem ke snížené tvorbě žluče, která se na vylučování toxických prvků také podílí. U výše zmíněných embryí a mláďat též dochází ke zvýšenému prostupu beryllia a dalších toxických prvků do mozku (Pappas a kol., 1997), což souvisí s ne úplně vyvinutou hematoencefalickou bariérou, která se dotváří postupně až v dospělosti. Do té doby propouští značnou část toxických kovů přímo do mozku.

Dalším faktorem ovlivňující vstřebávání Be je také nedostatečně vyvinutý vylučovací mechanismus především u mláďat, což společně se zvýšenou absorpcí Be významně podmiňuje vyšší hladiny tohoto prvku (Beňová a kol., 2007).

Mezi hlavní mechanismy vylučování beryllia z organismu patří zejména vyloučení žlučí a stolice, tedy cesta přes gastrointestinální soustavu. Primární cesta vylučovacího procesu je

tedy žluč, především díky významné kumulaci beryllia v játrech. Mezi vedlejší mechanismy pak patří vylučování potními žlázami, močí, nebo mateřským mlékem (Beňová a kol., 2007).

Organismy s dlouhodobě vysokou přijímanou dávkou beryllia obvykle mívají vyšší rychlost celotělového vylučování než organismy, jež mají nižší příjmy Be. Průměrná celotělová vylučovací schopnost se pohybuje okolo 30 dnů (Fiberg a kol., 1986). Jednotlivé tělesné orgány mají také různorodě vysokou hodnotu rychlosti vylučování. Nejvyšší rychlost vylučování Be byla pozorována u jater, plic a krve, nejnižší potom u ledvin, a zvláště pak mozku (právě nízká vylučovací schopnost z mozku pak způsobuje negativní projevy působení tohoto prvku na nervovou soustavu) (Anděra a Beneš, 2001).

### **3.4 Lokalita severozápadní Čechy**

Severozápadní Čechy jsou tvořeny čtyřmi tradičními regiony, jež svou polohou, kulturní historií a tradicemi, tvoří turisticky atraktivní oblast České republiky. V této lokalitě se nachází České Švýcarsko, známé jako krajina skalních roklí, České středohoří, jež se proslavilo svou vinařskou oblastí, Dolní Poohří, proslavené především díky Žateckému chlebu a výrobě piva a v neposlední řadě právě Krušné Hory a Podkrušnohoří, jež jsou známy tradicí hornictví, těžby rud a hnědého uhlí.

Severozápadní Čechy se nachází na území Karlovarského a Ústeckého kraje, jež dohromady tvoří tzv. region soudržnosti – Severozápad. Jedná se o velmi členité a různorodé území. V zemědělských oblastech můžeme nalézt úrodné nížiny Poohří a Polabí, národní parky, a další velkoplošná chráněná území. V této oblasti se také nachází uhelné pánve, či již zmíněné Krušné hory, jež se táhnou podél hranic se Saskem (Vráblíková, 2010).

Severozápadní Čechy jsou geologicky velmi pestrý kraj, a se všemi výše zmíněnými pohořími jsou výsledkem miliony let trvajících krajnotvorných procesů. Historie vzniku zdejšího uhlí počíná až v třetihorách, kdy vlivem tzv. saxonského vrásnění, jež mělo za důsledek zlom Českého masivu, byly vytvořeny Krušné hory, a následně vznikly podkrušnohorské propadliny. Oblast se postupně přeměnila na krajinu plnou močálů, mělkých jezer a mokřadů. Následně ukládající se sedimenty z tropické vegetace, společně s důsledky vulkánů, nedalekého Českého středohoří, vytvořily základ pro procesy vzniku uhlí (Jůzová a Ságl, 1984).

I přes svůj nezaměnitelný krajinný ráz je tato oblast spojena především s těžbou hnědého uhlí. Tato těžba je velkým zásahem do krajiny, v jehož důsledku vznikají recentní útvary jako



např. výsypky, jež jsou těsně po svém vzniku typickým příkladem extrémně suchých oblastí bez vyvinuté půdy a rostlin (Valášek a Chytka, 2009).

### **3.4.1 Severočeská hnědouhelná pánev (SHP)**

Počátky těžby hnědého uhlí v SHP sahají až do roku 1403, kdy bylo však vytěžené uhlí používáno především pro účely lékárníků a alchymistů, nikoliv jako zdroj paliva. K převratovému rozvoji těžby došlo až o několik set let později, v průběhu průmyslové revoluce. V tomto období těžba stoupla ze zhruba 546 tisíc tun uhlí na zhruba 5 milionů tun uhlí ročně (Obr. č. 1. – Dlouhodobý vývoj těžby uhlí v SHP, viz Přílohy). Již tehdejší generace si však plně uvědomovala, jak těžký dopad má těžba na krajinu a kvalitu životního prostředí. V roce 1892 tak došlo k prvnímu návrhu zákona o rekultivaci (Vráblíková, 2010).

V současné době se tzv. Severočeský hnědouhelný revír, který disponuje několika nalezišti hnědého uhlí (největšími na území České republiky), nachází v nížinné oblasti Krušných hor dlouhé asi 70 km. Tato oblast je ze severu ohraničena právě Krušnými horami, z jižní strany je pak Slavkovským lesem a oblastí Českého středohoří. Od východní části je oddělena Doupovskými horami, které také vymezují chebskou a sokolovskou pánev od východní části Severních Čech (Obr. č. 2 – Mapa severočeského hnědouhelného revíru, viz Přílohy).

V oblasti nejzápadnější části, nedaleko hranic s Bavorskem, se nachází již zmíněná chebská pánev, kde těžba probíhala několik desetiletí až do konce 2.světové války. I přes to se zde dnes nalézají relativně vysoká disponibilní zásoba, která už se ale netěží, z důvodu ochrany nedalekých termálních pramenů ve Františkových lázních. S obnovou těžby na tomto území se proto v budoucnu již ani nepočítá (Valášek a Chytka, 2009).

#### **3.4.1.1 Sokolovská pánev**

Sokolovská pánev, která skýtá tři hnědouhelné sloje nazývané jako Anežka, Josef a Antonín zaujímá okolo 200 km<sup>2</sup> z celkové plochy Karlovarského kraje. V dnešní době probíhá těžba jen na území jedné sloje – Antonín. Nejvyšší ložisko uhlí se však vyskytuje ve sloji Anežka, jež ale byla v minulosti téměř po celé své ploše vydobytá. Těžbě sloje Josef pak brání termální prameny Karlových Varů (Valášek a Chytka, 2009).

Sokolovská pánev má z geografického hlediska vrásově zlomovou vazbu. Jedná se o příčný asymetrický příkop, který je z obou stran tektonicky ohraničený. Na jižní straně je

omezen oherským a na severu krušnohorským zlomem. Její výplň tvoří kromě sedimentů také produkty alkalického vulkanismu, organická hmota a kaolinické zvětraliny. V této oblasti je nejvyšší výskyt arsenu a síry, jejichž zdrojem je především Slavkovský les. Arsen je nejvíce zastoupen ve sloji Josef, a to až 755,5 ppm, oproti tomu ve sloji Antonín se vyskytuje jen 45 ppm. Dále je zde zastoupena mineralizace cínu a wolframu (Štýs, 2013).

Beryllium má v této oblasti zdroj především v karlovarském plutonu a také v granitech Smrčinského masivu. Jeho nejvyšší koncentrace je naměřena v jižní a východní oblasti sloje Josef, a to až 100 ppm. Dále se vyskytuje i ve sloji Anežka a Antonín (v okolí Svatavy), zde už ale v menším množství, okolo 52 ppm (Štýs, 2013).

### **3.4.1.2 Přehled koncentrace beryllia v uhlí ve světovém měřítku**

V oblasti České republiky došlo v posledních desetiletích hned k několika měření koncentrace Be v uhlí, a to například v žitavské pánvi, jež je součástí tzv. oherské struktury. Tato pánev se nachází na území Německa a Polska a do ČR zasahuje jen výběžkem na jižní straně směřující k Hrádku nad Nisou. Zde se beryllium vyskytuje poměrně vzácně v koncentraci 2,1 ppm (Pešek a Sivek, 2012).

Na jihu Čech, okolo českobudějovické a třeboňské pánve, se hnědé uhlí vyskytuje především v mydlovarském a klikovském souvrství. V souvrství klikovském je však jen velmi tenká sloj nekvalitního uhlí. Souvrství mydlovarské, začínající jílovými písky, postupně přechází do sedimentů jílových, na něž nasedají 1-3 uhelné slojky. Zde však naměřené koncentrace beryllia, chromu, manganu a stroncia nepřesáhly 0,1 %. (Pešek a kol., 2010).

Hornoslezská pánev na našem území leží jen z menší části na jihozápadě, a to mezi městy Ostrava – Velké Meziříčí a Karviná. Zbytek této pánve se nachází na území Polska. Dle Peška a kol. (2010), se největší koncentrace beryllia nahází v tzv. Petřekovické vrstvě a to s 30,2 ppm. Další vrstva této pánve, Hroušovská už obsahuje Be pouze okolo 3,2 ppm. V nedalekém karvinském souvrství se pak hodnoty Be v uhlí opět zvyšují, a to na 14,2 ppm (Pešek a Sivek, 2012).

V neposlední řadě je nutné zmínit také středočeskou a západočeskou pánev, jejichž výplň je tvořena kontinentálními klastikami, s vulkanickými horninami a uhelnými slojemi (Pešek a Sivek, 2012). Tato pánev je tvořena kladenským, slánským, týneckým a línským souvrstvím. Ve všech čtyřech se nachází uhelné sloje a slojky, těžitelné jsou ale pouze v souvrství slánském a kladenském (Opluštil a kol., 2016). V tzv. kladensko-rakovnické pánvi

bylo beryllium naměřeno v největším rozpětí z celé oblasti České republiky, a to od 10 do 364 ppm. Při pozdějších analýzách těchto vzorků byla stanovena průměrná hodnota Be z této oblasti na 120 ppm. V opodál vzdálené nýřanské vrstvě plzeňské pánve ale koncentrace tohoto prvku opět klesá, a to na 41,2 – 64 ppm (Pešek a Sivek, 2012).

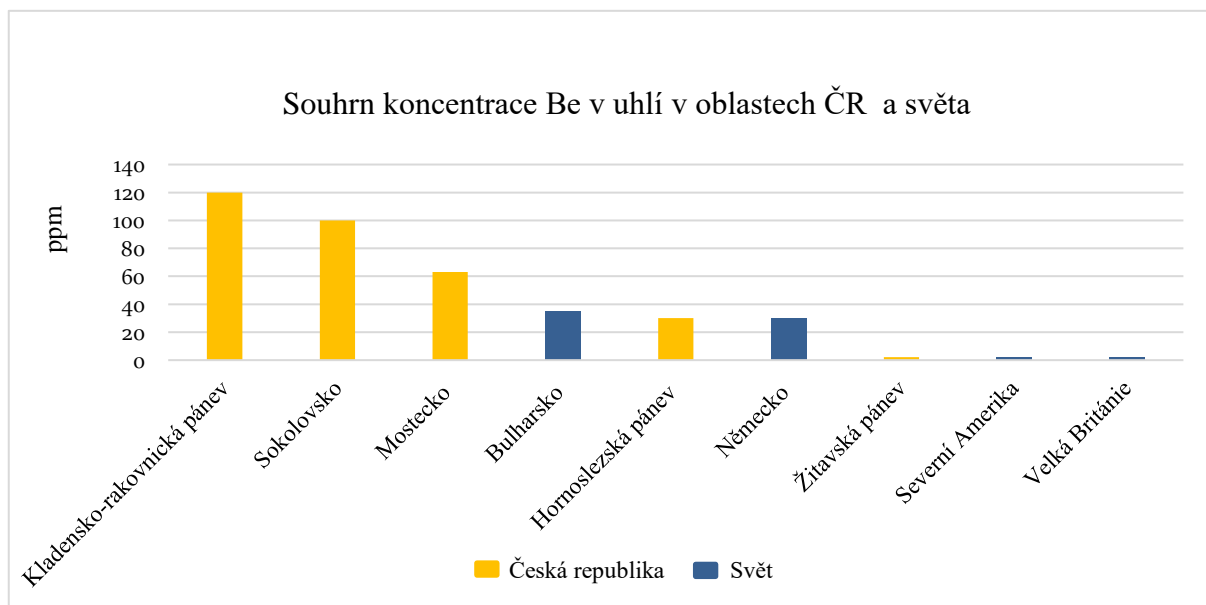
K masivní těžbě uhlí dochází nejen v České republice, nýbrž i v okolních státech Evropy. Například v Německu, a to zejména v oblasti Saska a Porúří (Dortmund, Essen, Duisburg), docházelo do konce minulého roku k těžbě až 2/5 z celkové produkce v EU. Zásoby uhlí v této zemi činí nad 40 000 milionů tun, i přes to, že se tato spolková republika snaží postupně přestat využívat energii právě z této nerostné suroviny. Z tohoto důvodu došlo v roce 2018 k ukončení provozu několika černouhelných dolů, a to právě v již zmíněném Porúří. I zde však byla v minulých letech zkoumána koncentrace Be, jež činí v průměru 30 ppm. Je tedy více než zřejmé, že nezáleží na velikosti produkce uhlí, nýbrž na prostředí, kde těžba probíhá (WHO, 2001).

Eskenazy (2006), se zabývala hodnocením koncentrace beryllia v dalších částech Evropy, a to konkrétně v Bulharsku, kde se těžba uhlí za rok pohybuje v řádech 20 milionů tun. Zkoumáno bylo okolo 3000 vzorků z 16-ti uhelných bulharských ložisek pomocí již výše zmíněné metody - atomové emisní spektrometrie. V tomto výzkumu koncentrace Be vykazovala poměrně velkou variabilitu, a to od 0,9 do 35 ppm.

Ve Velké Británii je v současné době 6 uhelných dolů, a to Daw Mill, Kellingley, Wellbeck, Hatfield, Maltby a Thoresby. Další menší doly pak nalezneme také například v oblasti Wales, kde je vzhledem k tamější úchvatné přírodě těžba omezena na minimum. I zde ale došlo k několika výzkumům ohledně koncentrace stopových prvků v uhlí. Nejvyšší koncentrace zde zastupuje především titanium, a to s průměrem 500 ppm. Koncentrace Be není nijak zvlášť vysoká ve srovnání s ostatními státy Evropy, činí pouze 1,5 – 1,8 ppm (Nalbandian, 2012).

Mezi největší světové producenty uhlí patří však země mimo evropský kontinent, a to Severní Amerika. Zde se za rok vytěží více než miliarda tun uhlí, což tvoří zhruba 12 % z celkové světové těžby. Ani zde však není koncentrace beryllia příliš vysoká. Pohybuje se v rozmezí od 1,6 do 2 ppm. Nejvyšší koncentraci zde zastupuje, podobně jako ve Velké Británii, především titanium, a to až s 800 ppm (Nalbandian, 2012).

Graf č. 1 - Souhrn koncentrace beryllia v uhlí ve světovém měřítku



Dle grafu č. 1 - Souhrn koncentrace beryllia v uhlí ve světovém měřítku, je tedy evidentní, že podstatně vyšší koncentrace beryllia v uhlí se vyskytují právě v České republice. Můžeme tedy konstatovat, že zkoumaná oblast Mostecka a Sokolovska, patří k poměrně problematickým oblastem zatížených zvýšeným výskytem tohoto prvku.

### 3.4.2 Mostecká pánev

Mostecká pánev se nachází na severozápadě Čech v nížinné proláclině mezi Krušnými horami a Českým středohořím. Jedná se o oblast dlouhou 70 km rozkládající se na ploše 1400 km<sup>2</sup>, z čehož severočeská uhelná pánev zaujímá okolo 850 km<sup>2</sup>. Díky své rozlehlosti je též členěna na několik oblastí nesoucích jména dle obcí nacházejících se v jejich blízkosti, např. oblast bílinská, teplicko-ústecká, chomutovská apod. (Selák, 2008).

Téměř celá část okresu Most se geobotanicky řadí do lesostepního pásma, ve kterém dominují především rostlinná společenstva dubohabrových hájů, jež v nížinách toků dřívějších mokřin a jezer přecházejí ve vegetaci lužní s převahou olšin. V současné době pak převládají především polní kultury. Široké obilné lány ve střední části nížinného pásma, nazývaného se Mostecká kotlina, jež se nachází mezi Ústím nad Labem a Karlovými Vary, se zde rozprostírají již od 18.století (Selák, 2008).

Teploty ovzduší zde jsou poměrně vysoké, což je zapříčiněno útlumem proudění vzduchu. Dochází zde tak k častému výskytu mlh a snížení propustnosti atmosféry pro sluneční záření (Vráblíková, 2010).

Vzhledem k nedostatku společenstev lesů a zejména z důvodu devastace krajiny těžbou je zde fauna poměrně omezena. Mostecké výsypky však ale v mnoha případech poskytují řadu ranně sukcesních stanovišť, jak uvádí Hodáčová a Prach (2003). Proto jsou zde vhodné podmínky pro ranně sukcesní specialisty, kteří byli z okolní krajiny vytlačeni. Jedná se například o u nás kriticky ohroženou kutilku (*Bembix tarsata*), jež má jedinou početnou kolonii právě na mosteckých výsypkách. Tomuto druhu se zde daří především proto, že po rekultivaci v půdě zůstal velmi kyselý substrát, díky němuž vyhynuly vysazené stromky, a obnažený substrát je pro kutilku ideální místo pro osídlení (Konvička a kol., 2005).

Kutilka však není jediný vzácný druh vyskytující se na nelesních biotopech mosteckých výsypek. Mezi další blanokřídlé patří například včela druhu *Systropha curvicornis*, z motýlů pak lišaj pupalkový a modrásek černolemý, a z vzácných druhů rostlin je nutné zmínit především lebedu růžovou (Řehounek a kol., 2010). Nově vzniklé výsypky pak obývají také strnadi luční či lindušky úhorní (Culek, 1996).

Jelikož je povrch mosteckých výsypek tvořen zejména jílem, jež nepropouští vodu, vznikají na výsypkách velká množství malých tůňek, či tzv. nebeských jezírek a také na ně navazující mokřady. Vzhledem k časté izolaci zemědělských ploch u těchto tůní nedochází k umělému obohacování fosforem a dusíkem a následné eutrofizaci. Tyto biotopy jsou tak v rámci celé střední Evropy unikátní, stejně tak jako na ně vázaná biota. Jedná se o stanoviště mnoha chráněných a mokřadních rostlin, jako je orobinec Laxmanův, či bahnička jednoplevá. V neposlední řadě jsou také osídlovány mnoha druhy vzácných obojživelníků, jako je ropucha krátkonohá, čolek horský, mlok skvrnitý, či skokan skřehotavý (Smolová a kol., 2010).

### **3.4.2.1 Počátky těžby**

Město Most je v dnešní době spojováno zejména s vysokou nezaměstnaností a relativní chudobou, v dřívějších dobách tomu tak však nebylo. Most vznikl v roce 1247 a jeho název je odvozen od soustavy mostů, přes které se překonávala bažinatá část jezera. Toto město již od svého prvopočátku disponovalo velkým množstvím nalezišť nerostů, zejména pak právě nejcennějšími zásobami hnědého uhlí. I přes několik přírodních katastrof, které Most v dřívějších dobách postihly, docházelo okolo roku 1870 k převratným milníkům. Byla zde zavedena železnice, s níž přišla průmyslová revoluce. Došlo k převratnému rozvoji hornictví, vznikly četné průmyslové podniky a uhelné společnosti. O několik let později však město postihla další přírodní katastrofa, tzv. kuřavka – došlo k průvalu tekutých písků, a pod zem se tak propadly nejen domy se svými obyvateli, ale dalších 2500 lidí přišlo o příbytky. Jediná

pozitivní věc na této skutečnosti tehdy byl fakt, že se tímto způsobem odkryla další bohatá zásoba velmi kvalitního a cenného uhlí (Němeček a kol., 1996a).

Největší mostecká katastrofa však přišla až v roce 1962, kdy nařízení komunistické vlády rozhodlo o likvidaci celého města. Důvod byl jediný, pod starým Mostem se nacházela naleziště uhlí, která měla přednost před historií starého města. Pro místní obyvatele byl vystaven nový Most – jakožto sídliště (Vráblíková, 2010).

### **3.4.2.2 Vliv těžby hnědého uhlí na životní prostředí Mostecka**

Krejčí (2008), uvádí, že po výstavbě nového Mostu došlo na místě starého k otevření mnoha dalších dolů, a tak se z ekologického hlediska ještě zhoršil škodlivý dopad na prostředí nedalekých Krušných hor.

Dle jeho studie v tomto období začínají na Mostecku převládat především továrny a chemické závody, jež jsou poháněny právě uhlím z místních dolů, které začaly velmi brzy po rozšíření těžby svými emisemi zatěžovat nejen blízké okolí, ale i hraniční sousedy. Samotné rozšíření důlní činnosti připravilo okolí Mostecka o několik set hektarů životního prostředí. Vzhledem k předchozím skutečnostem, jako je výstavba železnic a několika uhelných společností, je patrné, že i přes četné renovace této oblasti se jen velmi těžko podaří obnovit ekosystém na takovou úroveň, jaká byla před zmiňovanou průmyslovou revolucí. Říha a kol., (2005), v této souvislosti uvádí, že v 60. letech bylo na Mostecku až 91% zdevastované a neplodné půdy, půdy zemědělské pak zbylo pouhých 6 %. Ovzduší bylo otráveno zplodinami ze spalování uhlí a vodní režim byl také naprosto rozvrácen. Dle slov z monografie Ing. Krejčího (2008), v těchto letech nebylo na Mostecku možné nalézt téměř žádnou přirozenou vegetaci a živočišný svět skrýval jen několik málo ohrožených druhů.

Hnědé uhlí je však v České republice jedna z nejdůležitějších energetických surovin, z jehož výroby pochází přibližně 40 % energie. A jak již bylo zmíněno, těžba sebou nese mnoho environmentálních rizik, jakými jsou emise především oxidů síry, dusíku, uhlíku a stopových prvků. Emise pak mohou vstoupit do veškerých složek prostředí. Vzhledem k ochraně životního prostředí je tak důležité emise stopových prvků omezit na minimum. Proto je důležitý obsah těchto prvků, a také formy, ve kterých jsou právě tyto prvky v uhlí přítomny. Mezi nejrizikovější prvky podle stupně nebezpečnosti patří S, Be, Cd, As, Co, Hg, Se, Tl, Te, Sb, F, Cr, Sn, Cu, V, Pb a Zn (Selák, 2008; Říha a kol., 2005).

Jak již bylo uvedeno výše, největší koncentrace je zde především síry, a to zejména ve spodní části hlavní sloje. Koncentrace tohoto prvku pak klesá směrem k centrální části pánve. V místech zvýšené koncentrace síry díky vzájemným vztahům roste také obsah arsenu a germania, jejichž výskyt se váže na organickou hmotu, a proto jejich koncentrace postupně klesá s rostoucím obsahem minerálních hmot. Krušné hory jsou tak významným zdrojem právě zmíněného arsenu, vyskytující se v místních horninách.

Nejvyšší koncentrace beryllia byly zaznamenány v uhelné sloji nedaleko Libkovic. Dosahovaly zde hodnot až 63 ppm. Průměrné koncentrace tohoto prvku v mostecké pánvi jsou však jen 3,09 ppm (tabulka č.1 - Celkový přehled stopových prvků vzorků půdy mostecké pánve, viz Přílohy). Tato čísla vychází z předpokladu, že vyšší obsahy se vyskytují v uhlí s nižším obsahem popela a také se zvyšují s hloubkou sloje. Obecně se Be váže na jíly, křemen nebo organické sloučeniny. Stupeň prouhelnění jeho obsah nijak nemění (Bouška a Pešek, 1999).

V místech od nedalekých center vulkanických Doupovských hor a Českého středohoří se pak objevují zvýšené koncentrace především kobaltu, chromu, zirkonia, titanu, a niklu. Vzhledem k přítomnosti termálních pramenů se zde také vyskytuje znatelné množství fluouru s koncentrací až 940 ppm (Bouška a Pešek, 1999).

Dle studie Šafářové a Řehoře (2006), se postupem času kvalita životního prostředí v severozápadních Čechách začala velmi zlepšovat, což se ještě v 90. letech 20. století dalo jen málo očekávat. V této době totiž ještě bylo často přistupováno k mezním opatřením, jako je např. zákaz vycházení, a to z důvodu negativního vlivu ovzduší na zdravotní stav. Obvyklá byla i povinnost užívání respirátorů při pohybu venku. K razantním zlepšením ŽP došlo až s horním zákonem č. 44/1988 Sb. a také se zavedením účinnějších způsobů absorpce emisí na elektrárnách a teplárnách. Zlepšení bylo prokázáno hned na několika vývojových ukazatelích, mezi základní patří především SO<sub>2</sub> (oxid siřičitý), prашný aerosol PM10 a NO<sub>x</sub> (oxidy dusíku), (Šafářová a Řehoř, 2006). V této době totiž ještě bylo často přistupováno k mezním opatřením, jako je např. zákaz vycházení, a to z důvodu negativního vlivu ovzduší na zdravotní stav.

### 3.4.2.3 Aktuální stav zatížení toxickými prvky v severozápadních Čechách

Během 90. let se situace v oblasti životního prostředí na severozápadě Čech významně zlepšila, a to i přes stálé pokračování antropogenní kontaminace (Krejčí, 2008). Důvodem bylo především technologické přizpůsobení několika elektráren na uhlí. Dle údajů od ČEZ z roku 2012, došlo k obrovskému snížení emisí v období 1996-1999 zejména hodnota  $SO_x$  se snížila až o 92%,  $NO_x$  o -50% a  $CO_2$  o -77%. Vzhledem k probíhajícím modernizacím se ale očekává, že úrovně dosáhnou ještě nižších příznivějších úrovní (ČEZ Group, 2012).

Dnes se severní Čechy skládají z osmi regionů s celkovou rozlohou 6 500 km<sup>2</sup> a téměř 925 tisíci obyvateli. Současný prostor pro těžbu činí 870 km<sup>2</sup>. Lesy zde pokrývají asi 37,5 % z celkové plochy zemědělské půdy 38 %, z čehož vyplývá poměr 0,21 ha zemědělské půdy na jednoho obyvatele, kdy využití zemědělské půdy je následující: 47 % orné půdy, 46,7 % louky a 6,3 % vinice, chmelnice, zahrady a sady. Pěstuje se zde především řepa, brambory a oves (Vácha a kol., 2015).

V letech 2000-2010 provedl Vácha a kol., (2015) v oblasti severozápadních (SZ) Čech monitoring na základě analýzy vzorků půdy z míst, kde v minulosti docházelo k intenzivní těžbě. Kromě výše zmíněné oblasti SZ Čech se vzorky odebíraly také na severní Moravě, kde docházelo k masivní těžební činnosti především okolo roku 1980, a to s výnosem až 20 000 000 tun/rok.

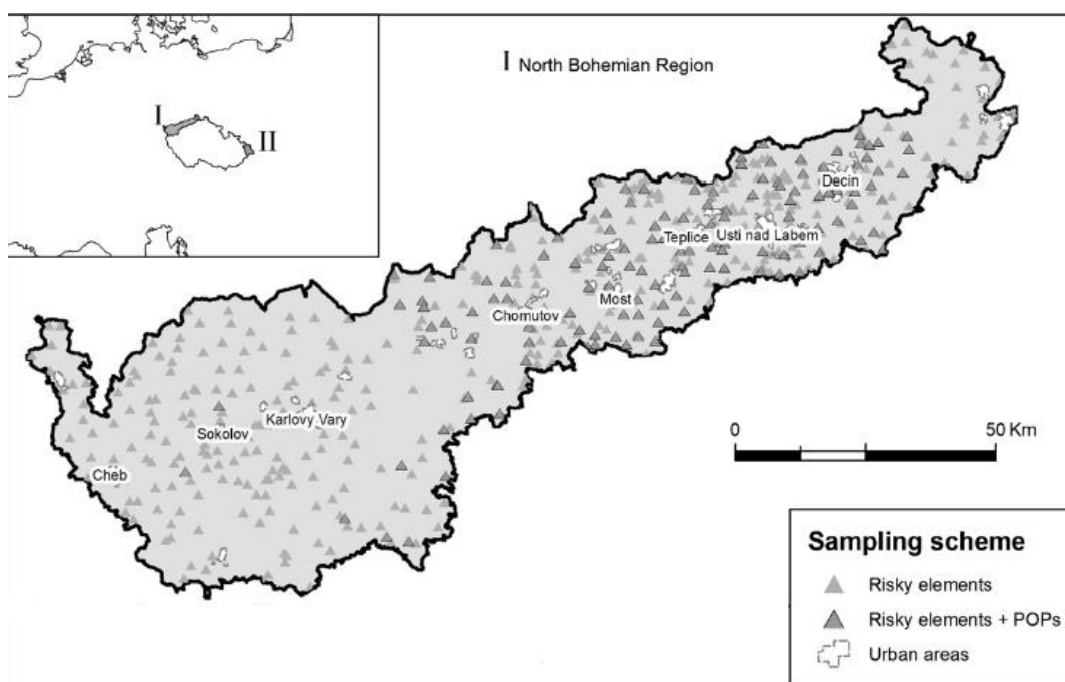
Tento program byl proveden za podpory Ministerstva zemědělství, a tak se důraz kladl především na zemědělské půdy a následnou kvalitu potravinového řetězce. Vzorky půdy byly odebrány z huminových horizontů orných půd, pastvin, luk (tzn. zemědělsky relevantních oblastí) z hloubky 5-15 cm za použití půdních sond. Tato hloubka zahrnuje hlavní huminové horizonty (s orbou asi 20 cm). Při odběru bylo vynecháno horních 5 cm z důvodu předejití sekundární kontaminace agrochemikáliemi či ovlivnění zemědělským provozem. Odběr se vždy prováděl minimálně 50 metrů od jakýchkoliv veřejných komunikací, aby se zabránilo vlivu provozu a nežádoucí kontaminaci. Ve výše zmiňované studii bylo sestaveno 12 vzorků ze severních Čech a 11 vzorků ze severní Moravy. Obsahy stopových prvků (As, Be, Cd, Cu, Ni, Pb, V a Zn) byly analyzovány pomocí atomové absorpční spektrometrie, což je metoda sloužící právě ke stanovení obsahu stopových prvků v analyzovaném roztoku pomocí stejnojmenného přístroje, který funguje na základě zmlžení analytického vzorku roztoku, kdy se vzniklý aerosol zavede do plamene nebo grafitového atomizátoru, kde se roztok odpaří, a



tím se rozruší chemické vazby molekul přítomných sloučenin (Vácha a kol., 2015; Šram a kol., 2013).

Následně byly vytvořeny mapy s pravděpodobností pro As, Be a koncentrace Cd, překračující regulační limity v půdách, viz Obr. č. 3. - lokality odběrů vzorků severní Čechy. Vyhodnocení těchto map bylo založeno na prahových hodnotách pro znečišťující látky odvozené z české legislativy, jež byly pro beryllium stanoveny na 2 mg/kg a arsen 20 mg/kg a kadmium 0,5 mg/kg (Podlešáková a kol., 1994b; Vácha a kol., 2014)

Obrázek č. 3 - Lokality odběru vzorků severní Čechy



(Vácha a kol., 2015)

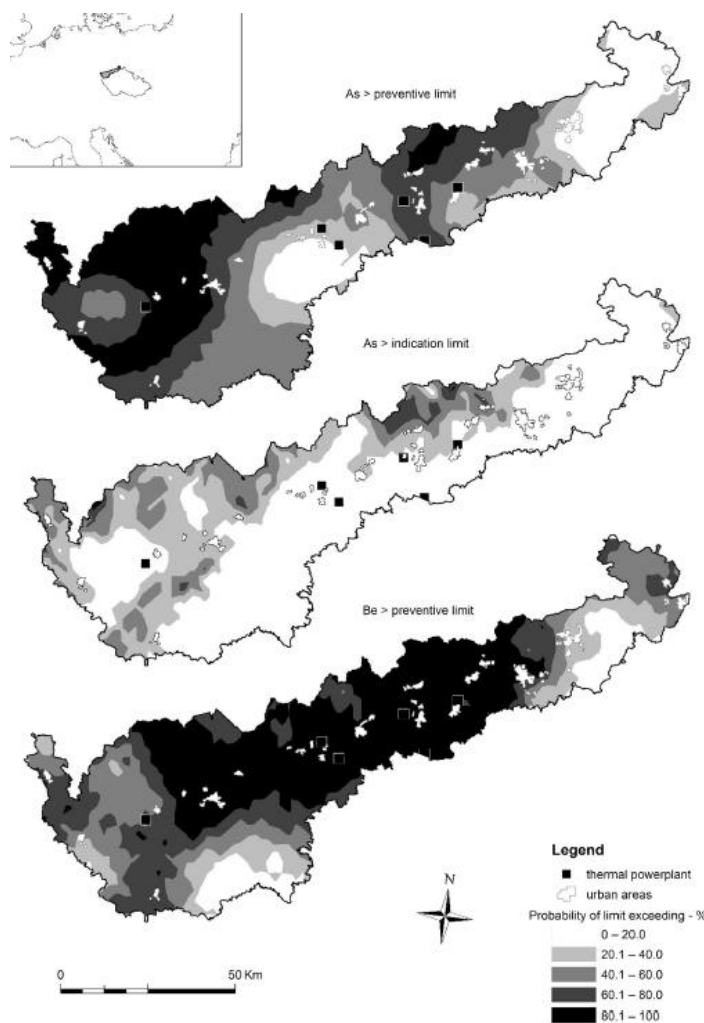
Na základě výše uvedených mezních hodnot byly porovnány naměřené výsledky a pouze dva toxické prvky tyto hodnoty překročily – beryllium a arsen. Ze 620 odebraných půdních vzorků byl průměrný obsah Be 33,7 mg/kg. U arsenu se pak jednalo o průměrnou hodnotu 3,11 mg/kg. Všechny ostatní stopové prvky byly nižší, a dokonce se jejich naměřené hodnoty příliš nelišily od ostatních českých zemědělských půd vzdálených od míst těžby. (Vácha a kol., 2015)

Celkový přehled pravděpodobnosti překročení mezních hodnot jednotlivých oblastí je vyobrazen na Obr. č. 4. – mezní hodnoty Be a As v severočeském kraji. Černé čtverečky zaznamenávají pozice tepelných elektráren v regionu, a je patrné, že právě vlivem jejich emisí v některých oblastech dochází až k několikanásobnému překročení prahových hodnot. Úrovně

překračující mezní hodnoty pro lidské zdraví byly dříve zjištěny především v zemědělských půdách u Krušných hor a blízko průmyslové oblasti Sokolov.

I přes to, že na základě výše zmiňovaného výzkumu byly v některých oblastech jako je Chomutovsko, Mostecko a Teplicko prahové hodnoty Be a As překročeny, nepředstavují tyto závěry v současné době dle Váchy a kol., (2015) pro obyvatele severních Čech žádná závažná rizika.

Obrázek č. 4 - Mezní hodnoty Be a As v severočeském kraji



(Vácha a kol., 2015)

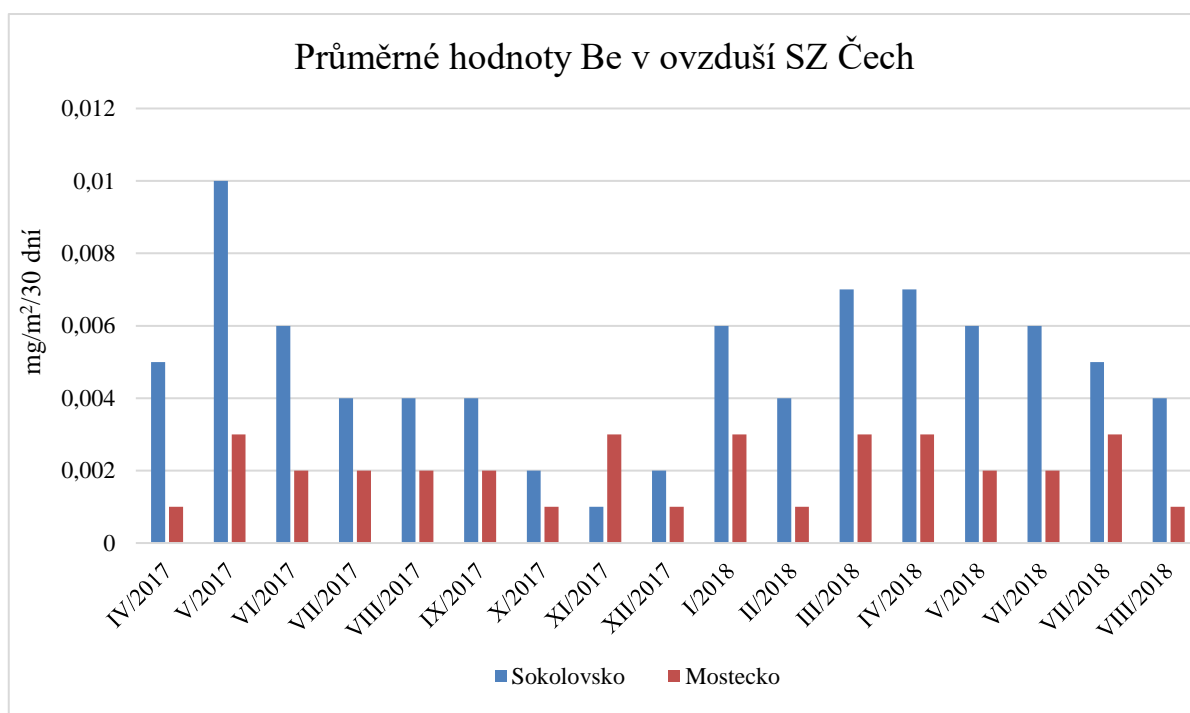
Dokud je tedy dodržována legislativa a jsou každoročně hlídány prahové hodnoty jednotlivých toxických prvků, není důvod, aby byly zemědělské činnosti v těchto oblastech jakkoli omezovány. Přes to by ale především v těsném okolí elektráren a aktivních dolů měla být omezena produkce plodin, které jsou v neustálém kontaktu s půdním prostředím (např.

brambory a další kořenová zelenina). Dle Váchy a kol., (2015) by bylo jedno z vhodných řešení zatravnění výše zmiňované orné půdy, jež se nachází v těsné blízkosti rizikových oblastí, jelikož by se tak mohlo zabránit větrným erozím, tedy přenášení kontaminované půdy do dalších lokalit.

### 3.4.2.4 Aktuální stav zatížení ovzduší Be v severozápadních Čechách

Na základě dat získaných v rámci aktuálně řešeného výzkumného projektu GAČR 17-00859S s názvem: Hodnocení dopadu rizikových prvků na životní prostředí, jejich pohyb a transformace v kontaminované oblasti, zpracovaných v grafu č. 2 - Průměrné hodnoty Be v ovzduší SZ Čech, můžeme pozorovat vývoj koncentrace beryllia, naměřeném v prašném spádu o velikosti částic PM10. Tato data byla naměřena v roce 2017 a 2018 na 5 stanicích oblasti Sokolovska (Sokolov, Královské Poříčí, Vintířov a Vřesová) a Mostecku (Lom u Mostu, Litvínov, Janov a Horní Jiřetín).

Graf č. 2 - Průměrné hodnoty Be v ovzduší SZ Čech



Z výše uvedeného grafu je patrné, že výrazně vyšší hodnoty koncentrace beryllia se vyskytují v oblasti Sokolovska, konkrétně tedy v rozmezí od 0,001 – 0,01 mg/m<sup>2</sup>.

Naopak na Mostecku je koncentrace Be v prašném spádu podstatně nižší než na Sokolovsku, a to v rozmezí od 0,001 do 0,003 mg/m<sup>2</sup>. Tyto hodnoty tak korespondují s výše uvedenými hodnotami beryllia naměřených ve slojích těchto oblastí, kdy na Sokolovsku

nejvyšší koncentrace dosahují ve sloji Josef až 100 ppm, kdežto na Mostecku jsou koncentrace téměř o 40 % nižší, a to i v oblasti Libkovic, s koncentrací 63 ppm (jež je v této oblasti nevyšší). Při porovnání těchto dvou oblastí tedy můžeme konstatovat, že na Sokolovsku existuje vyšší riziko kontaminace ekosystémů tímto prvkem.

V porovnání s dalšími státy Evropy ale není koncentrace beryllia v ovzduší České republiky nejvyšší. V německém Berlíně byly naměřeny průměrné hodnoty Be okolo 0,02 – 0,033 mg/m<sup>2</sup>. Ve venkovské oblasti Frankfurtu pak byla naměřena obdobná koncentrace tohoto prvku jako v ČR, a to 0,002 mg/m<sup>2</sup>, v průmyslové střední části tohoto města pak hodnoty dosahovaly 0,006 mg/m<sup>3</sup> (Bhat a Pillai, 1996).

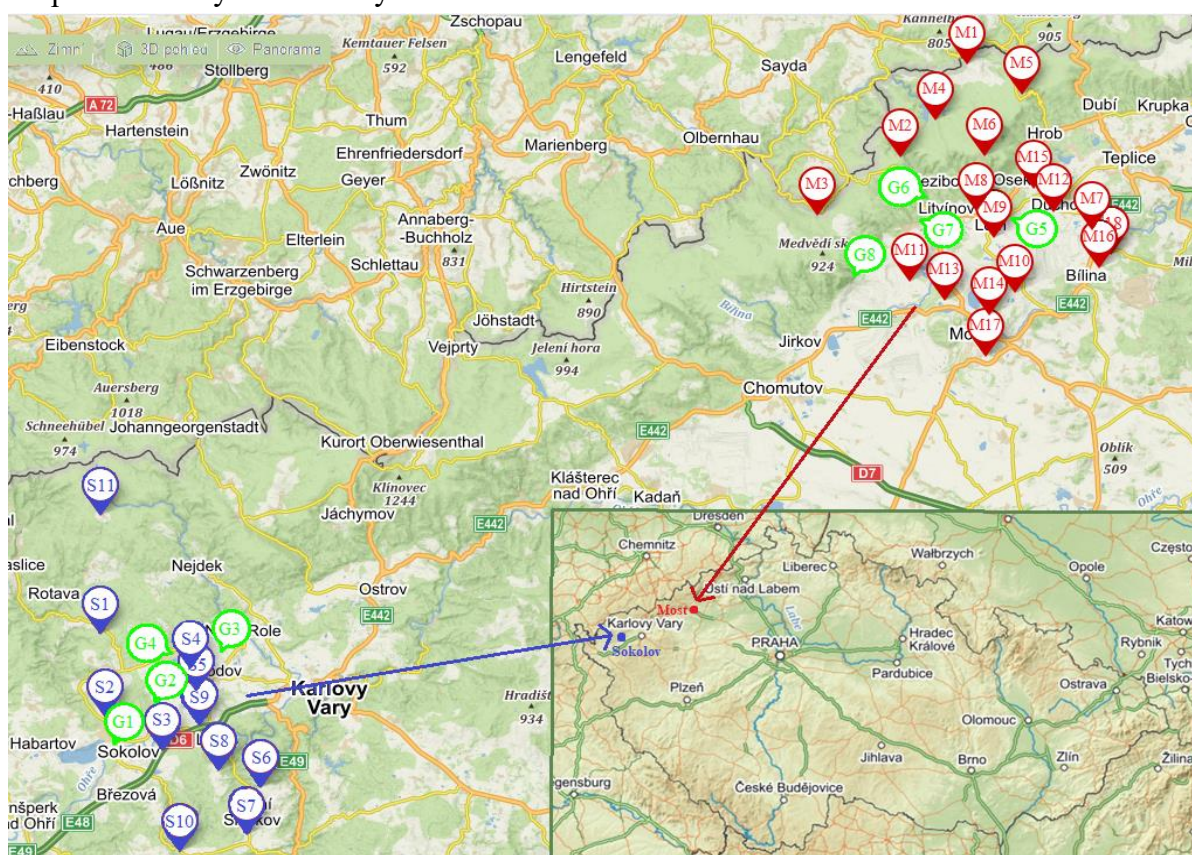
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4.1.2 - Přehled koncentrace beryllia v uhlí ve světovém měřítku, k masivní světové produkci uhlí dochází především v USA, a i zde byly měřeny hodnoty koncentrace beryllia v ovzduší, které se pohybují v rozmezí 0,03 – 0,06 ng/m<sup>3</sup> ve venkovských lokalitách, a v příměstských až 0,07 ng/m<sup>3</sup> (WHO, 2001).

## 4 Metodika

### 4.1 Popis lokality

Pro tento výzkum byla zvolena lokalita Mostecká a Sokolovská, nacházející se v severozápadních Čechách. Tyto oblasti byly vybrány z důvodu předpokládaného vlivu vznikajících emisí z těžby a zpracování hnědého uhlí na organismy zde žijící. Na mapě č. 1 – Odchytové lokality, jsou zaznamenány veškeré oblasti, na kterých byl odběr vzorků proveden, včetně stanic, kde probíhalo měření prašnosti v rámci projektu GAČR 17-00859S. Podrobný popis názvů a vysvětlivek je poté vyobrazen v tabulce č. 2 - Názvy monitorovaných lokalit.

Mapa č. 1 Odchytové lokality

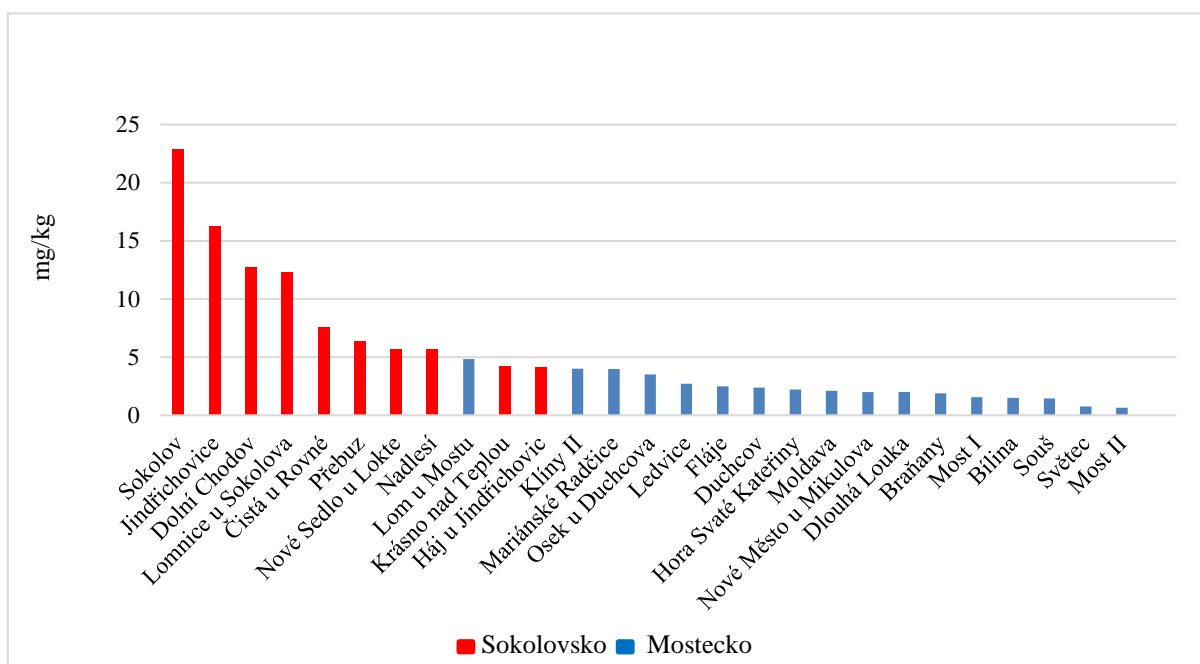


Tabulka č. 2 Názvy monitorovaných lokalit

<b>M1</b>	Moldava	<b>M10</b>	Braňany	<b>M19</b>	Radoves.výsypka	<b>S7</b>	Krásno nad Teplou	<b>G3</b>	Vintířov
<b>M2</b>	Klíny II	<b>M11</b>	Dolní Jiřetín	<b>M20</b>	Velebudice	<b>S8</b>	Nadlesí	<b>G4</b>	Vřesová
<b>M3</b>	Hora sv. Kateřiny	<b>M12</b>	Duchcov	<b>M21</b>	Janov	<b>S9</b>	Nové Sedlo	<b>G5</b>	Lom u Mostu
<b>M4</b>	Fláje	<b>M13</b>	Souš	<b>S1</b>	Jindřichovice	<b>S10</b>	Čistá u Rovné	<b>G6</b>	Litvínov
<b>M5</b>	Nové město	<b>M14</b>	Most I	<b>S2</b>	Lomnice	<b>S11</b>	Přebuz	<b>G7</b>	Janov
<b>M6</b>	Dlouhá Louka	<b>M15</b>	Osek	<b>S3</b>	Sokolov	<b>S12</b>	Dolína u Krajkové	<b>G8</b>	Horní Jiřetín
<b>M7</b>	Ledvice	<b>M16</b>	Bílina	<b>S4</b>	Dolní Chodov	<b>S13</b>	Lomnice VPV		
<b>M8</b>	Lom u Mostu	<b>M17</b>	Most II	<b>S5</b>	Chranišov	<b>G1</b>	Sokolov		
<b>M9</b>	Marián. Radčice	<b>M18</b>	Světec	<b>S6</b>	Bošířany	<b>G2</b>	Královské Poříčí		
<b>M - oblast Mostecko</b>			<b>S - oblast Sokolovsko</b>			<b>G - Stanice měření prašnosti</b>			

V rámci právě probíhajícího, již zmíněného, výzkumného projektu GAČR 17-00859S nazývaného se - Hodnocení dopadu rizikových prvků na životní prostředí, jejich pohyb a transformace v kontaminované oblasti, došlo ve sledovaných lokalitách k odběru a následné analýze vzorků půdy. V tomto případě se jedná o celkové obsahy beryllia v půdě výše zmíněných lokalit. Z grafu č. 3 - Celkový obsah beryllia v půdě na lokalitách Sokolovské a Mostecké pánve, je evidentní, že vyšší obsahy Be byly jednoznačně naměřeny v oblasti Sokolovska. Výsledné hodnoty se pohybují v poměrně velkém rozpětí, a to od 0,643 mg/kg v oblasti Mostu, až po dvacetinásobně vyšší hodnoty 22,836 mg/kg v oblasti Sokolovska.

Graf č. 3 - Celkový obsah beryllia v půdě na lokalitách Sokolovské a Mostecké pánve



#### 4.1.1 Modelový monitorovaný organismus

Jako modelový monitorovaný organismus byli v tomto výzkumu zvoleni dva zástupci drobných zemních savců, a to rody *Apodemus sp.* a *Microtus arvalis*.

Rod *Apodemus* (myšice) – patřící do čeledi myšovitých hlodavců, pochází z Evropy a Asie. Žijí nočním životem, v otevřené krajině, s oblibou vyhledávají především vlhčí stanoviště (rákosiny), ale nalezneme je také na polích, mezích a někdy i v horských oblastech. Jako jeden z mála druhů osídluje také člověkem zdevastované, či rekultivované plochy, jako jsou opuštěné lomy, výsypky dolů, smetiště a další ruderní území. Co se týká potravy, preferují převážně pšenici a ječmen, dále se ale živí i nejrůznějšími semeny, ořechy, dužnatými plody, pupeny, ale

také houbami. V případě, že si jim nepodaří sehnat dostatek rostlinné potravy, požívají také různé plže, hmyz, nebo dešťovky (Anděra a Gaisler, 2012).

*Microtus arvalis* (hraboš polní) – je jedním z našich nejhojnějších savců. S výjimkou Skandinávie a středomoří obývá téměř celé území Evropy a Asie. V České republice je jeho výskyt doložen na 90 % území. Tento druh preferuje především otevřené travnaté porosty, a pouze v dobách přemnožení proniká také do lesů. V letních měsících jako svou potravu upřednostňují zelené trávy, bohaté na bílkoviny, tedy zejména mladé osení, vojtěšku a jetel. Později se pak živí jejich kořeny, semeny a oddenky. Ve výjimečných případech chytají také drobný hmyz. Aktivní jsou ve dne i v noci a jejich denní spotřeba je poměrně vysoká, činí až 125 % hmotnosti těla (Anděra a Beneš, 2001).

#### **4.1.2 Základní metodika odchyty**

Drobní zemní savci vynikají svou různorodostí, proto je nutné k odchyty jednotlivých ekologických skupin použít odlišnou metodiku a různé typy pastí. V tomto případě byli jedinci odchytáváni pomocí modifikovaných živochytných pastí, ve kterých byla použita návnada tvořena ze směsi obilí, pečiva, ovoce, arašídových křupek a arašídového másla. Na každé výše zmíněné lokalitě bylo rozmístěno 25 pastí se sponem 5 metrů past-past. Odchyty probíhaly dvakrát za sezónu, a to v červenci a září. Pasti byly exponovány 3 po sobě jdoucí noci a kontrolovány vždy den následující. U odchycených jedinců byly následně stanoveny druh, věk, pohlaví, a dále byly jednotlivé druhy zpracovány klasickými mamaliologickými metodami (Anděra a Horáček, 2005).

##### **4.1.2.1 Získání biologického materiálu**

Po identifikaci jednotlivých druhů došlo k označení evidenčním číslem, pod kterým byli jedinci přiřazeni k dané lokalitě, a následně v laboratoři podrobeni pitvě. U každého jedince byly změřeny tělesné rozměry, jako je například hmotnost, celková délka těla, zadní tlapky a délka ocasu (tyto tělesné rozměry také mimo jiné slouží k přesnější determinaci).

U samců se v rámci pitvy zjišťuje také vývin varlat a semenných váčků, jež konkretizuje, zda je jedinec subadultní, adultní, či v regresi (Anděra a Gaisler, 2012).

U samic se zjišťuje stav dělohy, dle kterého se určuje pohlavní aktivita. U adultních samic je děloha větší a jsou na ní patrné tmavší skvrny, jež jsou tzv. jizvy po placentě, dle nichž

se dá usuzovat, že samice byla v minulosti gravidní. U březích samic se zaznamenává počet a velikost zárodků (Anděra a Beneš, 2001).

Rozsáhlou pitvou došlo k získání jednotlivých potřebných orgánů nezbytných pro následné kroky výzkumu. V našem případě šlo především o játra a obsah žaludku. Veškeré vyjmuté orgány byly následně důkladně omyty redestilovanou vodou, zamrazeny, a tudíž připraveny pro následnou mineralizaci pro jednotlivé metody měření koncentrace stopových prvků.

#### **4.1.2.2 Příprava vzorků pro chemické analýzy**

V první řadě byla použita metoda mineralizace tzv. „mokrou cestou“, kdy se z lyofilizované tkáně (obsah žaludku) oddělí cca 0,2 g vzorku, s přesností na 0,1 mg. Poté se tato tkáň mineralizuje metodou acid digestion, kdy se pomocí pipety přidá 5 mL HNO<sub>3</sub> (kyselina dusičná) a následně se v mikrovlnném rozkladném zařízení (Discover SP-D, CEM Corp., USA), zahřeje na cílovou teplotu 180 °C po dobu 7 minut.

Výsledný mineralizát byl poté naředěn ultra čistou vodou ( $\geq 18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$ ; Milli-Q systém; Millipore, SAS, France) do objemu 45 mL. Takto upravený vzorek v další fázi podstoupil měření koncentrace vybraných prvků technikou hmotností spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS, Agilent 7700x, Agilent Technologies Inc., USA). V této metodě dochází ke kvantifikaci pomocí multiprvkové externí kalibrace 0,01 – 10 000 µg/L. Při použití této techniky dochází také ke korekci signálu na odezvu vnitřních standardů.

Následně byly stanovené koncentrace přepočteny na navážku sušiny vzorku a ředění z µg/L na µg/g. Naměřené hodnoty byly verifikovány analýzou certifikovaných referenčních materiálů Peach leaves (NIST, SRM-1547), Bovine liver (BCR-185R), Fish muscle (ERM-BB422).

Druhým způsobem přípravy vzorků pro chemické analýzy byla metoda rozkladu tzv. „suchou cestou“, která byla použita v případě jaterních tkání. Tato metoda, popsána detailně v práci Madera a Čurdové (1997), spočívá v rozkladu na vzduchu v otevřeném systému při atmosférickém tlaku. Postup této analýzy zahrnuje 4 fáze, a to sušení, zuhelnění, zpopelnění a loužení popela.

V prvním kroku sušení jsme využili lyofilizátor, je ale také možné využít horkovzdušnou sušárnu, či topné desky (především pro vzorky s vysokým obsahem H<sub>2</sub>O). Ve



fázi druhé – zuhelnění, jsme vzorek vystavili teplotě 200–400 °C, tato část rozkladu je považována za nejkritičtější, proto je velmi důležité vhodně zvolit teplotně-časový režim pro konkrétní soubor vzorků.

Krok třetí, neboli zpopelnění, probíhal přes noc, cca 10 – 16 hodin. Při zpopelnění biologických vzorků (pro stanovení stopových prvků) se nejnižší teplota pohybuje okolo 450 °C, nejvyšší pak činí 550 °C.

V poslední fázi, loužení popela, jsme použili zředěnou minerální kyselinu HNO<sub>3</sub> (kyselina dusičná). Toto pomocné činidlo se v praxi používá velmi často, a má za účel zvýšit účinnosti rozkladu a také převedení analyt do méně těkavé formy. Tuto část jsme také podpořili ponořením nádoby s popelem a činidlem do ultrazvukové lázně, poté je totiž možné využít nižší koncentraci kyseliny (Mader a Čudrová, 1997).

## 4.2. Statistické zpracování

Veškerá naměřená data byla zpracována pomocí počítačového softwaru STATISTICA verze 13. Cílem tohoto vyhodnocení bylo především zjištění statistických rozdílů v koncentraci Be v játrech a žaludcích, mezi drobnými zemními savci žijícími na lokalitách Sokolovska a Mostecka.

- 1) Bylo testováno normální rozdělení souboru veličin, pomocí histogramů a Kolomogorov-Smirnovova testu.
- 2) Byla testována homogenita rozptylů.
  - Předpoklady pro parametrické testy nebyly splněny.
- 3) Rozdíly mezi skupinami (Region Most a region Sokolovsko) byly testovány neparametrickým Mann-Whitneyův U testem.
- 4) Rozdíly mezi skupinami byly považovány za signifikantní při  $p < 0,05$ .

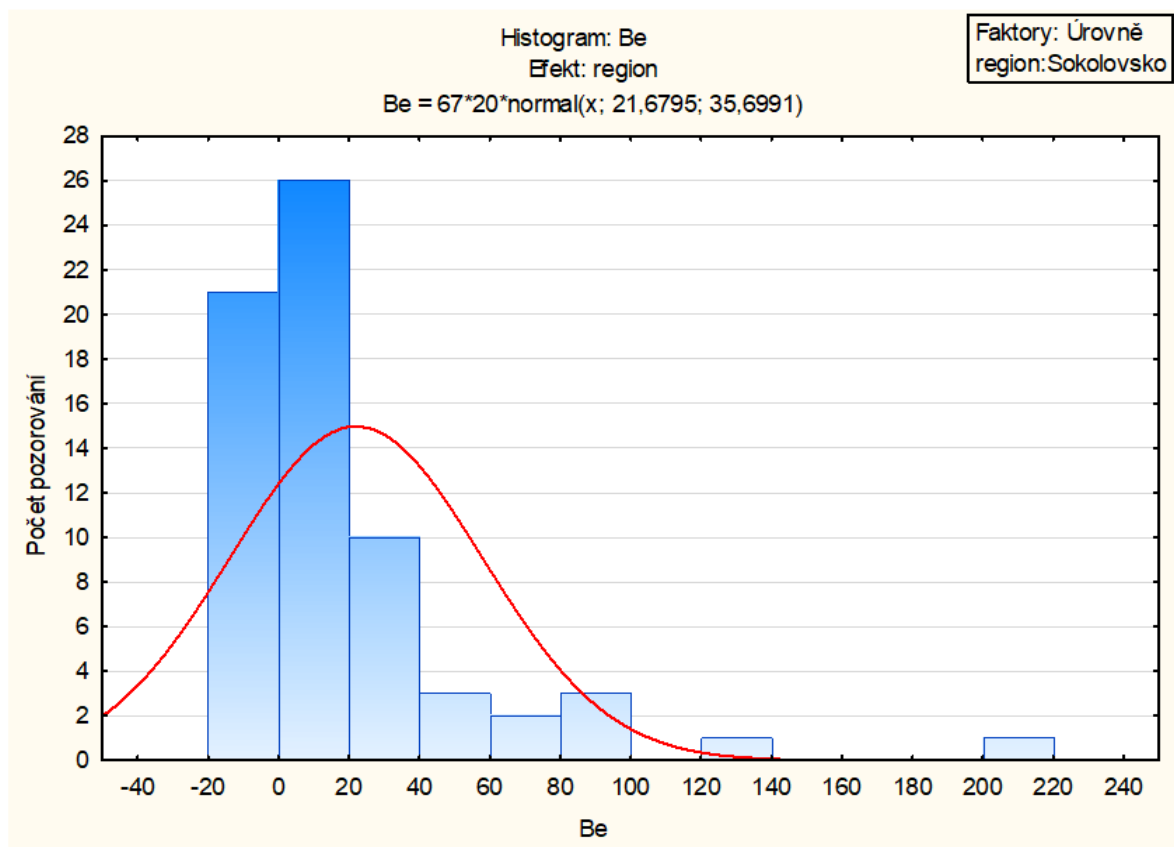
## 5 Výsledky

### 5.1 Žaludky – test normálního rozdělení

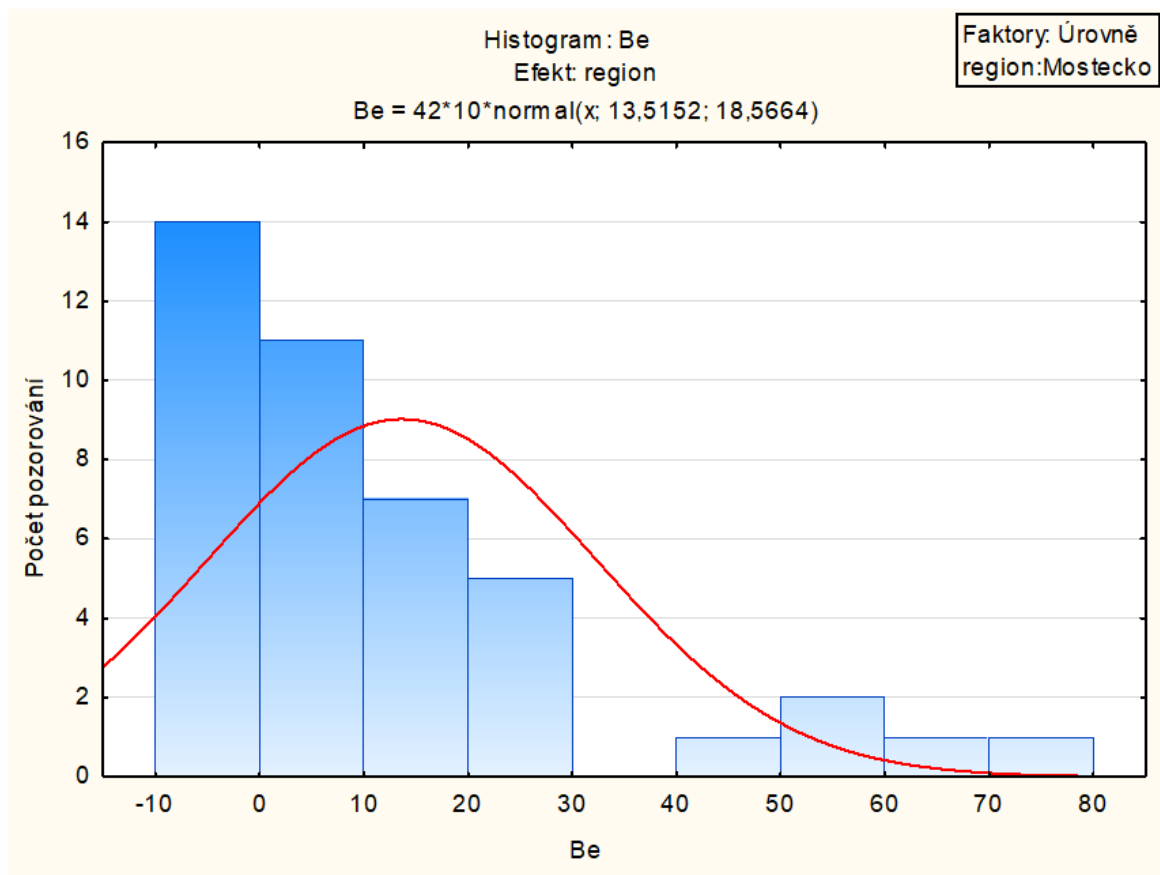
Na lokalitách výzkumu bylo odchyceno celkem 108 jedinců drobných zemních savců – následně bylo zpracováno 42 tkání z regionu Mostecka a 67 z regionu Sokolovska.

Pro prvotní zhodnocení normálního rozdělení byl sestrojen graf č. 4 - Histogram koncentrace Be v žaludcích (region Sokolovsko), a graf č. 5 - Histogram koncentrace Be v žaludcích (region Mostecko), z nichž je patrné, že ani jeden ideálně nekopíruje Gaussovu křivku – tedy normální rozdělení.

Graf č. 4 - Histogram koncentrace Be v žaludcích (region Sokolovsko)



Graf č. 5 - Histogram koncentrace Be v žaludcích (region Mostecko)



V dalším kroku byla proto testována normalita rozdělení dat s použitím Kolmogorov-Smirnova testu (při signifikantní hodnotě  $p < 0,05$ ).

- Byla stanovena nulová hypotéza
- $H_0$  = data mají normální rozdělení
- $p > 0,1$  (viz tabulka č. 3 - Žaludky Kolmogorov-Smirnovův test)
- $H_0$  nelze zamítnout  $\rightarrow$  data splňují normální rozdělení

Tabulka č. 3 - Žaludky Kolmogorov-Smirnovův test

Proměnná	Kolmogorov-Smirnovův test dle proměn. regionu významné na hladině $p < 0,05000$						
	p-hodn.	Průměr Mostecko	Průměr Sokolovsko	Sm.odch. Sokolovsko	Sm.odch. Mostecko	N platn. Mostecko	N platn. Sokolovsko
<b>Be- žaludek</b>	$p > 0,10$	13,5152	21,67954	18,56639	35,69915	42	67

### 5.1.1 Žaludky-test homogenity rozptylu

Pomocí testu homogenity bylo zjištěno, že se rozptyly obou souborů liší, viz tabulka č. 4 - test homogenity rozptylu (žaludky), a tabulka č. 5 - Leveneův test homogenity rozptylů (žaludky), a tudíž je zapotřebí použít neparametrický test.

- Byla stanovena nulová hypotéza
- $H_0$  = rozptyly obou souborů jsou homogenní
- $p < 0,05 \rightarrow$  zamítáme  $H_0$
- rozptyly se liší  $\rightarrow$  v dalším kroku použijeme neparametrický test

Tabulka č. 4 - Test homogenity rozptylu (žaludky)

	<b>Test homogenity rozptylu</b>				
	<b>Efekt: region</b>				
	Hartley. F-max	Cochran. C	Bartl. Chí-kv.	SV	P
<b>Be</b>	3,697096	0,787102	18,344	1	0,000018

Tabulka č. 5 - Leveneův test homogenity rozptylů (žaludky)

	<b>Leveneův test homogenity rozptylů</b>			
	<b>Efekt: region</b>			
	<b>Stupně volnosti pro všechny F: 1, 107</b>			
	PČ Efekt	PČ Chyba	F	P
<b>Be</b>	2150,774	526,4486	4,08544	0,0458

### 5.1.2 Žaludky Mann-Whitneyův U Test

Finální porovnání jsme testovali pomocí neparametrického Mann-Whitneyova U Testu.

- stanovili jsme  $H_0$  = obsahy Be u drobných zemních savců ze Sokolovska a Mostecka se statisticky významně neliší
- $p > 0,05$  (viz tabulka č. 6 - Mann-Whitneyův U Test žaludky)
- nulovou hypotézu nelze zamítnout  $\rightarrow$  koncentrace Be v žaludcích z lokalit Mostecka a Sokolovska se statisticky významně neliší

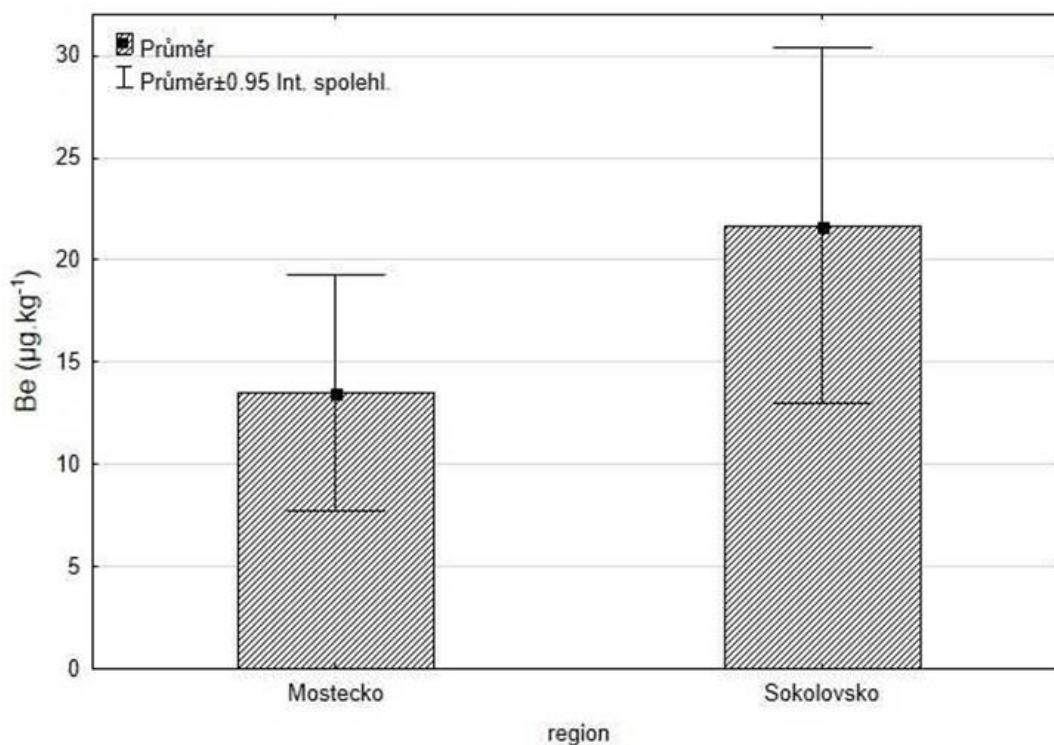
Tabulka č. 6 - Mann-Whitneyův U Test (žaludky)

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test Dle proměn. regionu Označen testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$				
	U	Z	p-hodn.	N platn. Mostecko	N platn. Sokolovsko
<b>Be-žaludek</b>	1273,000	-0,831215	0,405853	42	67

### 5.1.3 Žaludky-vyjádření středních hodnot a rozsahu hodnot

Z grafu č. 6 - Průměrné koncentrace Be v žaludcích jedinců ze sledovaných regionů, je patrné, že zde nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Region Mostecka vykazuje průměrnou hodnotu koncentrace beryllia  $13,51 \mu\text{g.kg}^{-1}$  a region Sokolovsko  $21,67 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Graf č. 6 - Průměrné koncentrace Be v žaludcích jedinců ze sledovaných regionů

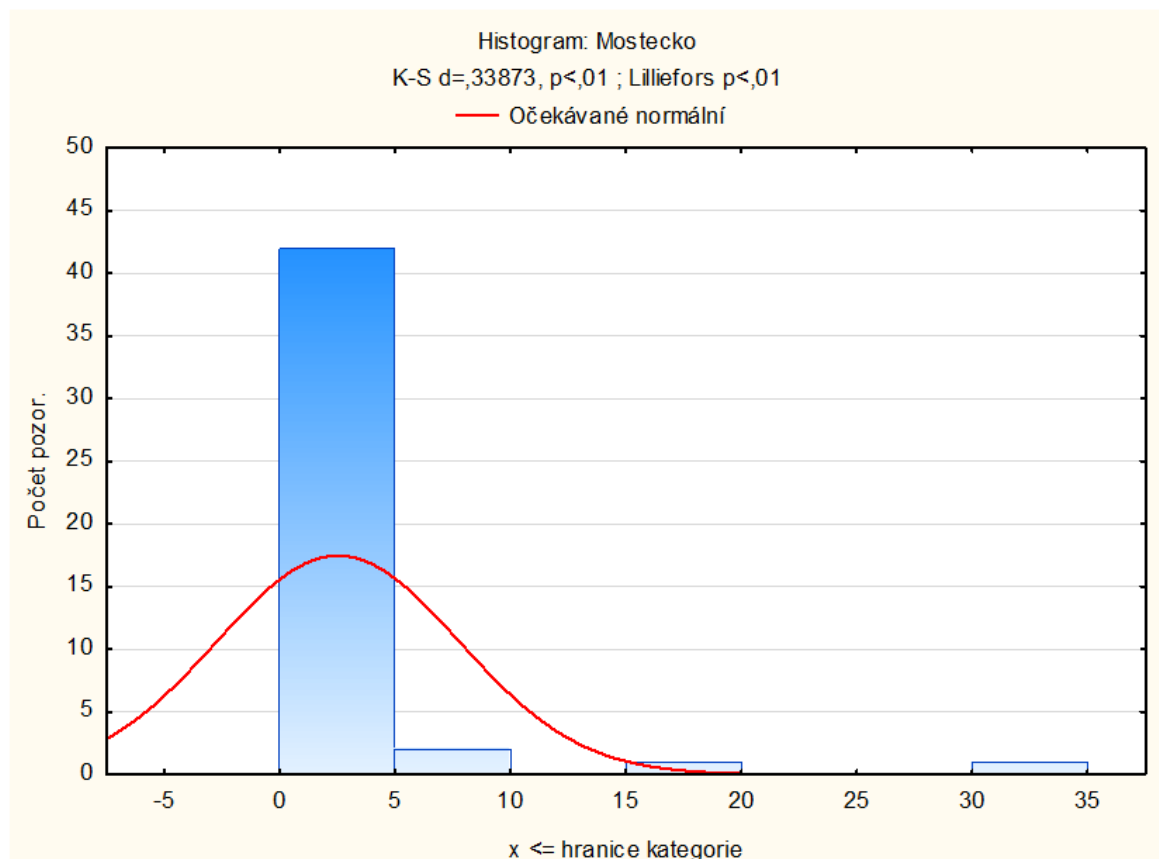


## 5.2 Játra – test normálního rozdělení

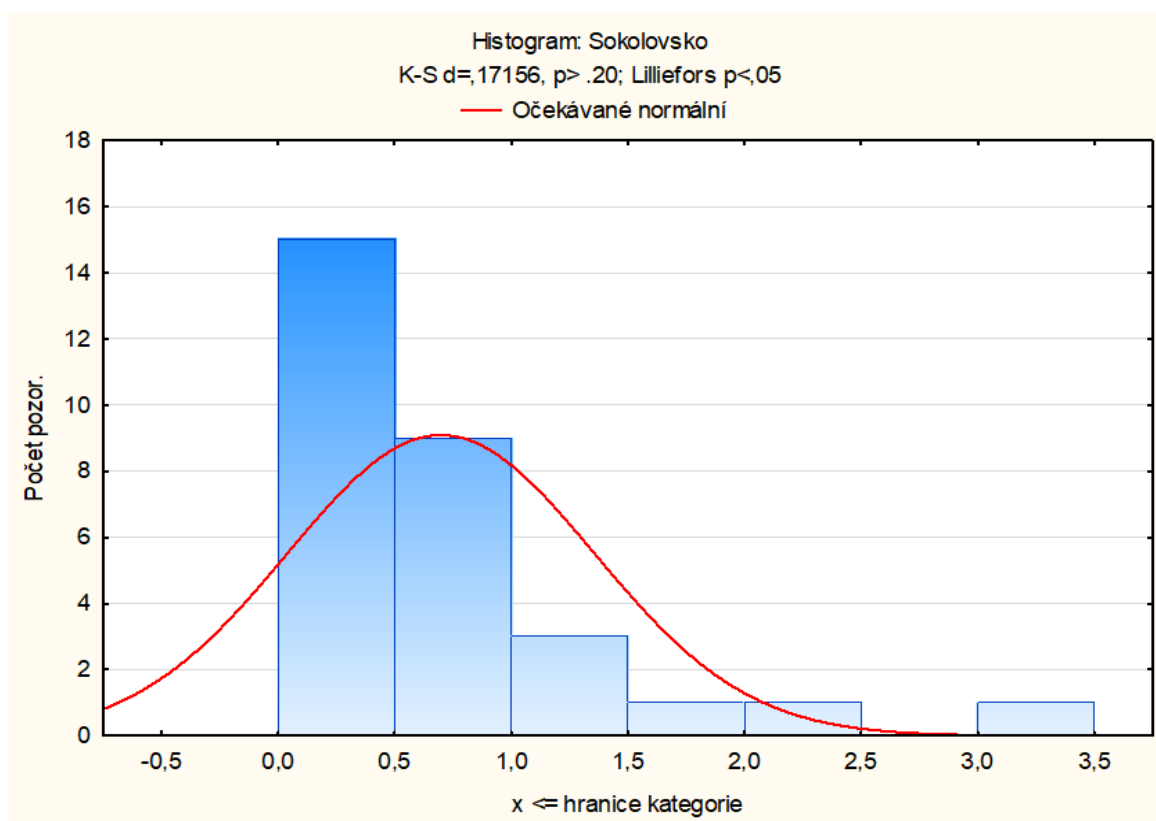
V tomto případě bylo z odchylených jedinců analyzováno celkem 76 vzorků jaterních tkání, 30 z lokality Mostecka a 46 ze Sokolovska.

Pro test normálního rozdělení byl sestaven graf č. 7 - Histogram koncentrace Be v játrech - region Mostecko, a graf č. 8 - Histogram koncentrace Be v játrech - region Sokolovsko. V tomto případě neodpovídají hodnoty normálnímu rozdělení a potvrzuje se nutnost použití neparametrických variant testů.

Graf č. 7 - Histogram koncentrace Be v játrech – region Mostecko



Graf č. 8 - Histogram koncentrace Be v játrech – region Sokolovsko



Pro test normality byl i v případě jater použit Kolmogorov-Smirnovův Test (při signifikantní hodnotě  $p < 0,05$ ).

- Stanovena  $H_0$  = všechna data jsou normálně rozdělena
- p hodnota v obou případech  $< 0,05$  (viz tabulka č. 7 -Játra Kolmogorov-Smirnovův test)
- zamítáme  $H_0$
- přijímáme  $H_A$  → neparametrické testování

Tabulka č. 7 - Játra Kolmogorov-Smirnovův test

		Kolmogorov-Smirnovův test dle proměn. regionu významné na hladině $p < 0,05000$					
Proměnná	p-hodn.	Průměr Mostecko	Průměr Sokolovsko	Sm.odch. Sokolovsko	Sm.odch. Mostecko	N platn. Mostecko	N platn. Sokolovsko
<b>Be-játra</b>	$p < 0,025$	0,698516	2,529093	0,658212	5,257181	30	46

### 5.2.1 Játra-test homogenity rozptylu

Prostřednictvím testu homogenity bylo i v tomto případě zjištěno, že se rozptyly obou souborů liší, viz tabulka č. 8 - test homogenity rozptylu (játra), a tabulka č. 9 - Leveneův test homogenity rozptylů (játra), a tudíž je v dalším kroku potřeba použít neparametrický test.

- Stanovili jsme nulovou hypotézu
- $H_0$  = rozptyly obou souborů jsou homogenní
- $p < 0,05 \rightarrow$  zamítáme  $H_0$
- rozptyly se liší  $\rightarrow$  proto v dalším kroku použijeme neparametrický test

Tabulka č. 8 - Test homogenity rozptylu (játra)

	Test homogenity rozptylu, Efekt: region				
	Hartley. F-max	Cochran.C	Bartl. Chí-kv.	SV	P
<b>Be - játra</b>	<b>63,79319</b>	<b>0,984566</b>	<b>83,25118</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

Tabulka č. 9 - Leveneův test homogenity rozptylu (játra)

	Leveneův test homogenity rozptylů; Efekt: region; Stupně volnosti pro všechny F: 1, 107			
	PČ Efekt	PČ Chyba	F	P
<b>Be - játra</b>	<b>75,19335</b>	<b>13,01415</b>	<b>5,777816</b>	<b>0,018735</b>

### 5.2.2 Játra Mann-Whitneyův U Test

Pro konečné porovnání koncentrace beryllia v játrech z regionu Mostecka a Sokolovska byl opět použit Mann-Whitneyův U Test.

- Stanovena  $H_0$  = střední hodnoty obou souborů jsou shodné
- $p < 0,05 \rightarrow$  zamítáme  $H_0$  (viz tabulka č. 10 – Játra Mann-Whitneyův U Test)
- přijímáme  $H_A \rightarrow$  existuje statisticky významný rozdíl koncentrace Be v játrech mezi regiony Mostecka a Sokolovska



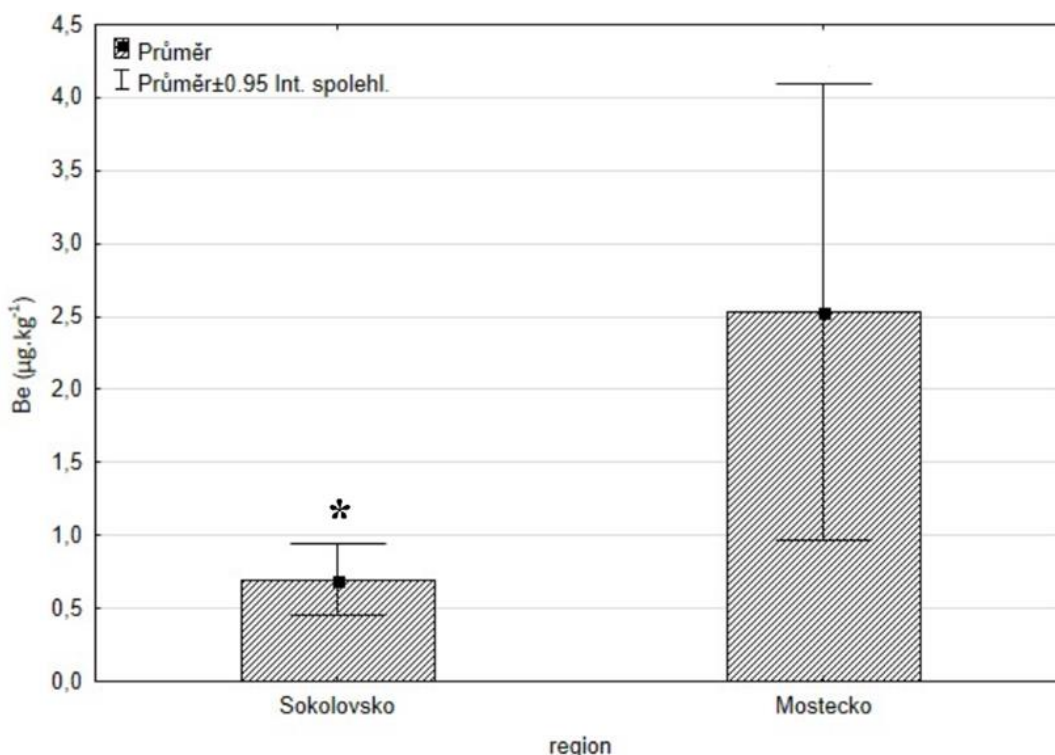
Tabulka č. 10 - Játra Mann-Whitneyův U Test

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test Dle proměn. regionu Označen testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$				
	U	Z	p-hodn.	N platn. Mostecko	N platn. Sokolovsko
<b>Be-játra</b>	470,0000	-2,33260	0,019670	30	46

### 5.2.3 Játra - vyjádření středních hodnot a rozsahu hodnot

Průměrné koncentrace beryllia můžeme sledovat v grafu č. 9 - Průměrné koncentrace Be v játrech jedinců ze sledovaných regionů. Průměr z oblasti Mostecka vykazuje hodnotu  $2,52 \mu\text{g.kg}^{-1}$  a ze Sokolovska  $0,69 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Zde je tedy na první pohled patrný rozdíl koncentrace beryllia v játrech mezi regionem Mostecka a Sokolovska, což koresponduje s výsledkem Mann-Whitneyova U Testu, že existuje statisticky významný rozdíl mezi těmito regiony.

Graf č. 9 - Průměrné koncentrace Be v játrech jedinců ze sledovaných regionů

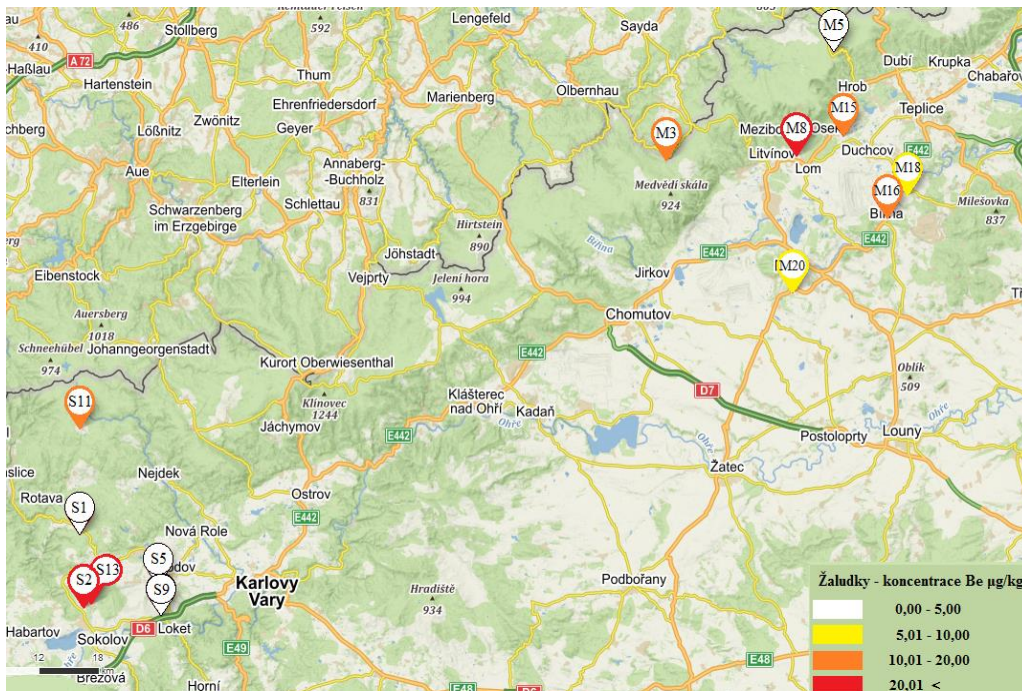


\* = průkazný rozdíl na hladině  $p < 0,05$

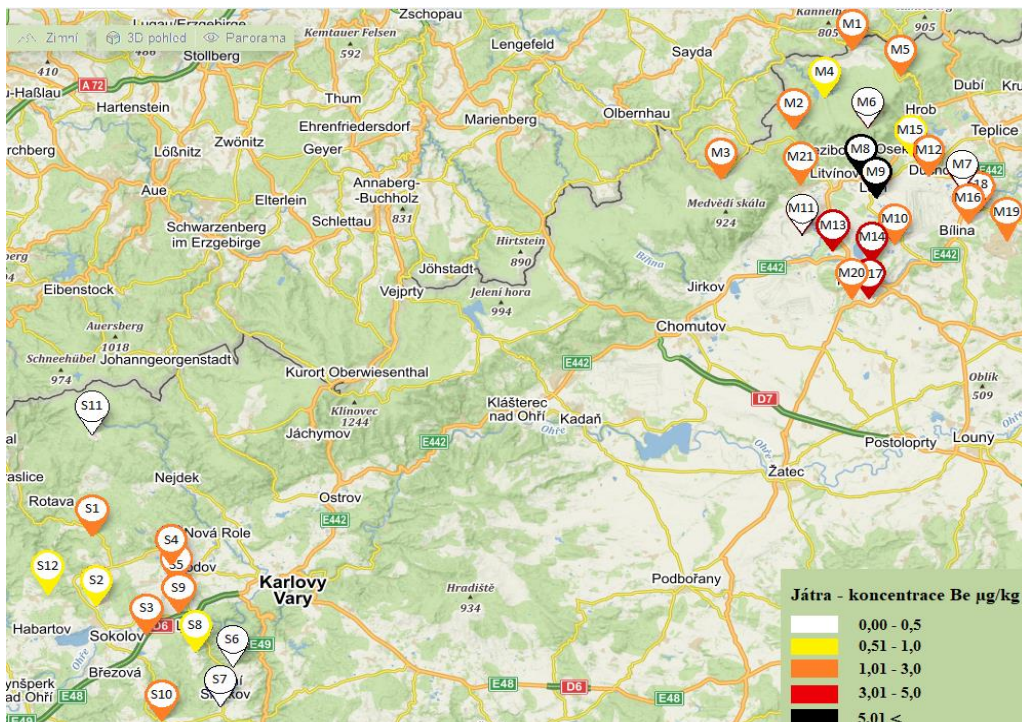
### 5.3. Identifikace míst s nejvyšším zatížením

Pro výsledné porovnání zatížení žaludků a jater drobných zemních savců z lokalit Mostecka a Sokolovska byla vytvořena mapa č. 2 - Stupeň zatížení v žaludcích živočichů a mapa č. 3 - Stupeň zatížení v játrech živočichů. Značení lokalit je uvedeno výše v kapitole 4.1 - Popis lokalit (tabulka č. 2 - Názvy monitorovaných lokalit).

Mapa č. 2 - Stupeň zatížení v žaludcích živočichů



Mapa č. 3 - Stupeň zatížení v játrech živočichů



## 6 Diskuze

Pro tento výzkum byla zvolena zájmová lokalita Mostecká a Sokolovská, jež se nachází v severozápadních Čechách. Tyto oblasti byly vybrány z důvodu předpokládaného vlivu vznikajících emisí Be z těžby a zpracování hnědého uhlí na organismy zde žijící. Monitorovanými organismy pro tento výzkum byli zvoleni dva zástupci drobných zemních savců (*Microtus arvalis* a *Apodemus sp.*). Tyto druhy byly vybrány zejména pro jejich velmi hojný počet, jedná se totiž o jeden z nejrozšířenějších druhů savců v celé Evropě. Oba rody jsou vhodné pro monitoring kvality životního prostředí také proto, že jako jedni z mála osídlují i člověkem zdevastované, či rekultivované plochy, jako jsou opuštěné lomy, výsypky dolů, a další ruderalní území (Anděra a Gaisler, 2012).

Jako modelové tkáně byly v tomto případě použity játra a žaludky, a to z toho důvodu, že perorální příjem je jednou z hlavních možností vstupu beryllia do organismu, jak uvádí Beňová a kol., (2007). Pro potřeby naší analýzy tak byly brány rovnocenně veškeré hodnoty výše zmíněných rodů, bez ohledu na konkrétní datum odchyty, pohlaví, věk, nebo způsob výživy.

### 6.1 Koncentrace Be v žaludcích a játrech volně žijících živočichů

V přirozené formě se beryllium nalézá především jako složka minerálu berylu v zemské kůře či mořské vodě a pochopitelně také v uhlí, jehož těžbou a spalováním se poté právě dostává do ovzduší a půdy. Na Sokolovsku proto existuje dle Štýse (2013), vyšší riziko kontaminace ekosystémů berylliem, neboť koncentrace Be v uhlí jsou zde až o 40 % vyšší než na Mostecku. Tento předpoklad byl potvrzen nedávnými analýzami vzorků půd v obou regionech, kdy vyšší celkové obsahy Be byly jednoznačně naměřeny v oblasti Sokolovska, a to v rozpětí od 0,643 mg/kg v oblasti Mostecká, až po dvacetinásobně vyšší hodnoty 22,836 mg/kg v oblasti Sokolovska (viz graf č. 3 - Celkový obsah beryllia v půdě na lokalitách Sokolovské a Mostecké pánve). Na základě našeho šetření byla zjištěna průměrná koncentrace beryllia v žaludcích jedinců ze sledovaných regionů, kdy hodnoty na Mostecku činily 13,51  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  a na Sokolovsku 21,67  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Přesto, že tyto rozdíly nebyly statisticky významné, zjištěný trend velmi dobře koreluje s výše uvedenými fakty.

Do žaludku se přitom beryllium dostává především společně s potravou. Tou jsou v případě monitorovaných organismů zejména zelené trávy, pšenice, ječmen, semena a kořeny,

kteře mohou být již z půdy kontaminované nežádoucími prvky, jak uvádí Anděra a Beneš, (2001).

Potenciální transport kovů z půdy do živočišného organismu je ovlivněn několika faktory. Mezi základní patří jejich biodostupnost pro rostlinu, jež závisí na koncentraci kovu v půdě, velikosti pórů v sedimentech, půdní vlhkosti a fyzikálně chemických podmínkách stanoviště (Filipi a kol., 2007).

Beryllium se v půdě silně váže na kyselinu fulvovou, a jeho vazba se zvyšuje s rostoucím pH. Ve vysoce alkalických půdách se tedy mobilita tohoto prvku snižuje. Koncentrace Be v rostlinách je proto obecně velmi nízká, protože v mnoha případech nejsou v půdě přítomny rozpustné formy beryllia pro následný příjem rostlinami (Taylor a kol., 2003). Důležité je také zmínit fakt, že absorpce Be u rostlin byla prokázána pouze kořenovým systémem, do výše položených částí rostlin nebyla pozorována žádná významná translokace tohoto prvku (London a Evensen, 2002). Také Anonymus (2002) uvádí, že beryllium, jež se dostane do půdy (ze spalovacích procesů a zpracování rudy), zůstává v nerozpustné formě v sedimentu a půdě pevně navázané, tudíž pak dochází k omezené mobilitě do rostlin, jež jsou následně konzumovány živočichy či přímo člověkem. Na základě uvedených faktů je tedy velmi pravděpodobné, že se beryllium do trávicího traktu nedostává přímo z rostlinného materiálu (v důsledku nízké mobility), ale právě pak spíše potravou kontaminovanou půdními a prachovými částicemi.

Do žaludku, jak již bylo zmíněno, se Be dostává především potravou, z níž se do střev a krevního oběhu absorbuje méně než 1 %, a většina takto přijatého beryllia je tak vyloučena skrz moč a výkaly během pár dní (Day a kol., 2005). Vstřebatelnost Be z trávicího traktu je však nepřímou úměrná věku, jak uvádí Beňová a kol., (2007).

V tomto ohledu je také důležité zmínit, že čím více potravy organismus najednou přijme, tím je vstřebatelnost Be menší. Výzkum Peijnenburga a Jagera, (2003), pojednává o pokusu, kdy byly dvě skupiny potkanů vystaveny po dobu 2 let stejným koncentracím síranu berylnatého v potravě. Jedna skupina však měla přístup ke stravě pouze 1 hodinu denně, na rozdíl od druhé skupiny, s neomezenou denní dobou přístupu. Bezprostředně po jídle pak měli vyšší koncentraci v žaludcích a střevech právě potkani, jež potravu konzumovali pouze 1 hodinu denně, oproti skupině druhé, jež měla na stejné množství potravy celý den.

Tento mechanismus tak může být důvodem až desetinásobně vyšších koncentrací Be v žaludcích naměřených u jedinců žijících na Sokolovsku, jež mohly být způsobeny nedávným nahodilým příjmem potravy daných jedinců a nemusí relevantně odrážet úroveň dlouhodobého zatížení oblasti výskytu berylliem.

Dle Peijnenburga a Jagera, (2003), vstřebávání beryllia závisí nejen na přijatém množství, ale především na pH v trávicím ústrojí, biotransformaci střevní mikroflórou a fyziologickém stavu organismu. Tito autoři dále také uvádí, že slabé báze přijatého Be jsou v kyselém prostředí z větší části v ionizovatelné formě, a proto se sliznicí žaludku příliš nevstřebávají do organismu. Daleko lépe je pak Be vstřebáváno například v tenkém střevě, především díky jeho velkému povrchu.

V druhé části výsledků byly měřeny koncentrace Be v játrech, které na rozdíl od žaludečního obsahu vypovídají o dlouhodobé expozici organismu. Do jater se beryllium dostává nejen skrze potravu, ale také inhalačně - přes dýchací cesty, což je dle Beňové a kol., (2007) jeden z nevýznamnějších způsobů expozice. Vdechnuté Be se ukládá zejména v plicích a dále přechází do krevního oběhu, z něhož je poté neseno krví do jater a kostí, kde může zůstat měsíce až roky (Anonymus, 2002). Toto tvrzení také podkládá literatura od Beňové a kol., (2007), která uvádí, že na organismus savců má největší vliv Be přijaté právě plicemi. Drobní savci jsou tak svým přízemním životem velmi znevýhodněni, a to především tím, že se v / na zemině nachází vyšší koncentrace právě tohoto prvku (ve formě prachu, popela nebo par ze zemské kůry), než v samotné potravě.

Při statistickém vyhodnocení výsledků bylo prokázáno, že koncentrace Be v játrech jedinců žijících na Mostecku ( $2,52 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) jsou dokonce signifikantně vyšší než u těch ze Sokolovska ( $0,69 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Tento fakt byl poměrně překvapivý, jelikož na základě dat získaných v rámci výše uvedeného výzkumného projektu GAČR, v rámci kterého byla na několika stanicích ze Sokolovska a Mostecka měřena míra zatížení ovzduší, vyšly výrazně vyšší hodnoty koncentrace beryllia na Sokolovsku. V tomto případě si tedy dovoluji tvrdit, že by bylo vhodné další šetření ohledně koncentrace a biodostupnosti Be v prachu, popelu a párách na mosteckých oblastech, jež by výsledky tohoto výstupu více konkretizovaly.

Co se tedy týká rozporu našich výsledků, ohledně vyšších hodnot v půdě i ovzduší na Sokolovsku, avšak nižších hodnot ve tkáních jater z tohoto regionu, mohla by být také jedna z příčin adaptace místních živočichů na prostředí se zvýšeným obsahem beryllia. Day a kol.,

(2005) totiž uvádí, že při dlouhodobé expozici organismu dokáže tělo přijaté Be zpracovat až třikrát rychleji než organismy, jež jsou expozici vystaveny nově.

Peijnenburg a Jager, (2003) navíc uvádí, že v čím větší koncentraci a intenzitě je prvek přijímán, tím lépe ho organismus dokáže kumulovat v částech těla, kde nedochází k akutní toxicitě (např. v kostech, nebo svalech).

Dle mého názoru by také bylo vhodné analyzovat i jiné živočišné tkáně, jako například plíce, jež by více vypovídaly o intenzitě inhalační expozice.

Další příčinou, proč vyšel statisticky významný rozdíl mezi těmito lokalitami, by také mohla být již zmíněná mobilita Be v půdě. Je pravděpodobné, že v půdě na Sokolovsku je beryllium velmi silně navázané, což by mohlo být důvodem, proč u našich sledovaných druhů byly naměřeny koncentrace Be v játrech nižší, i přes to, že hodnoty koncentrace Be v půdě v tomto regionu vyšly naopak. Majoritní potravou našeho monitorovaného organismu jsou totiž převážně zelené trávy, obilí a plody a u těchto částí rostlin byla popsána jen velmi nízká absorpce právě tohoto prvku, jak již bylo uvedeno výše. Z tohoto důvodu si myslím, že bylo vhodné se mobilitě prvku na našich sledovaných lokalitách v budoucnu věnovat.

## **6.2. Porovnání expozice člověka se zkoumanými druhy savců**

Cílem našeho výzkumu bylo vyhodnocení zatížení organismů žijících v lokalitách ovlivněných emisemi, jež vznikají právě v souvislosti s těžbou a zpracováním hnědého uhlí v oblasti Mostecké a Sokolovské pánve. Pro zjištění konkrétní situace u obyvatel těchto regionů by bylo v ideálním případě nutné provádět výzkum přímo s lidskými tkáněmi. To však ale pochopitelně není možné, protože u člověka se nejčastěji provádí jen odběry vzorku krve z loketní žíly, dále pak moči, vzácněji také vlasů, podkožní tkáně nebo jiné tělní tekutiny. Jako modelové organismy bylo tedy potřeba vybrat jiné savce, jež se v oblasti běžně vyskytují, inhalují místní ovzduší a konzumují lokální potraviny. Jak již bylo zmíněno, především pro své rozšíření byli zvoleni zástupci rodu *Apodemus* a *Microtus arvalis*. Po dokončení výzkumu je ale důležité zvážit také fakt, zda právě tyto druhy, a především zvolené tkáně, byly ideální pro tuto studii.

Po prostudování mnohé literatury je možné konstatovat, že expozice lidského organismu se od zvířecího příliš neliší. Bencko a kol., (2011) ve své studii shrnul nejvýše přípustné koncentrace beryllia v ovzduší, kdy za osm hodin expozice denně nesmí průměrná koncentrace přesáhnout  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a nárazové koncentrace nesmí přesáhnout  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tyto

hodnoty jsou samozřejmě poměrově závislé na hmotnosti, fyzickém stavu a stáří daného živočišného organismu.

Inhalační expozicí Be se již zabývalo několik studií, Nordberg a kol., (2007), uvádí, že tento druh expozice má za následek dlouhodobé ukládání beryllia v plicní tkáni, v plicních lymfatických uzlinách a také v kostře, jež je konečným místem pro akumulaci právě tohoto prvku. V této studii je také popisován výzkum, kdy byly laboratorní krysy vystaveny aerosolu obsahující 1mg Be/ml. Po třech hodinách expozice byly zvýšené hodnoty koncentrace Be zaznamenány z 60 % v plicích, 13,5 % v kostře, 9,5 % ve svalech, 5 % v krvi 1,5 % ledvinách a 0,9 % v játrech. Tento výzkum tak podkládá mou domněnku, že by bylo v budoucnu vhodné analyzovat jiné živočišné tkáně než játra a žaludky, především tedy právě plíce nebo kosti.

Co se týká orálního požití, což je druhá zmíněná nejrozšířenější forma expozice, ani v tomto případě není významný rozdíl mezi lidským a zvířecím organismem. Vysoká koncentrace Be se nachází především v potravinách, jako jsou fazole, mák, kukuřice, jež obsahují až 2200 µg/kg. Tyto potraviny jsou běžně dostupné pro člověka, ale jak uvádí Toužín (2001), právě také pro zemní savce. K akutní otravě u drobných zemních savců může dle Nordberga a kol., (2007), dojít při požití 20-40 mg/kg, u člověka pak při 100 mg/kg.

Ve spojitosti s orálním požitím Be je také důležité zmínit, že v poslední době se v České republice stále více objevují zprávy o zvýšeném obsahu Be v pitné vodě. Dle Taylora a kol., (2003), může být důvodem jak atmosférická depozice a spalování paliv s vysokým obsahem Be, ale také jeho uvolňování z podloží, jež se nachází v blízkosti vodních zdrojů, nebo také kyselá dešť. Jako nejvíce pravděpodobná varianta uvolňování beryllia do podzemních a povrchových vod se jeví hydrologický rozklad minerálů granitických hornin. Beryllium je totiž součástí více než 50 minerálů, z čehož zhruba ve 30 je obsah Be vyšší než 1 %. Dle ČSN 75 7111 o pitné vodě by měla být hodnota Be v maximální výši 200 ng/l.

### **6.3. Vyhodnocení míst s nejvyšším zatížením Be**

Jak již bylo zmíněno, při konečném vyhodnocení bylo zjištěno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi koncentrací Be v játrech mezi regiony Mostecko a Sokolovsko. Toto tvrzení je evidentní z mapy č. 2 - Stupně zatížení v játrech živočichů uvedené v kapitole 5.3. Identifikace míst s nejvyšším zatížením. Z mapy je patrné, že na Sokolovsku jsou tkáně jater více koncentračně srovnatelné. Rozptyl hodnot se pohybuje od 0 do 3 µg/kg a z 12 odchytových lokalit se tak žádná extrémně nevychyluje. V centru Sokolova a jeho těsném okolí

byly naměřené hodnoty nejvyšší, což by mohlo odpovídat tomu, že se zde nalézají tři již zmiňované hnědouhelné sloje Anežka, Josef a Antonín (jež zaujímají okolo 200 km<sup>2</sup> z celkové plochy). Oblasti vzdalující se těmito slojím, jako například lokalita Přebuz již vykazují koncentrace pouze okolo několika desetin µg/kg.

Oproti tomu na území Mostecká je ale na první pohled vidět, že zde jsou koncentrace Be více variabilní a můžeme dokonce pozorovat hodnoty přesahující 10 µg/kg, a to na lokalitách Lom u Mostu a Mariánské Radčice. Jelikož se jedná o lokality pouze 3 km od sebe vzdálené, je možné konstatovat, že dle našeho výzkumu právě tato oblast vykazuje nejvyšší hodnoty expozice, a to pravděpodobně z důvodu těsného sousedství s prostorem dolu Bílina, kde stále probíhá aktivní těžba. Se vzdáleností od centra regionu koncentrace Be ve tkáních našich odchycených savců opět klesají a je tedy patrné, že zde je životní prostředí méně zdevastované. Nejnižší hodnoty se vyskytují na severní části této pánve směrem k německým hranicím.

Koncentracemi stopových prvků v oblasti Mostecká se zabýval již Vácha a kol., (2015), při jehož výzkumu bylo zjištěno, že prahové hodnoty Be a As zde překročeny byly, ale nebyly natolik vysoké, aby v současné době představovaly pro obyvatele severních Čech závažná rizika.

Na mapě č. 3 - Stupeň zatížení v žaludcích živočichů, naopak můžeme na první pohled vidět, že opravdu není významný rozdíl mezi koncentrací Be v žaludcích vzorků z oblasti Mostecká a Sokolovska. Na obou lokalitách můžeme pozorovat místa s velmi nízkou až nulovou koncentrací Be, na Sokolovsku se jedná především o lokalitu Jindřichovic a Dolního Chodova, blíže k samotnému centru tohoto regionu, už ale opět koncentrace Be stoupají, přesně tak, jak tomu bylo i u tkání jater. V oblasti Mostecká byla nejvyšší koncentrace i v tomto případě zaznamenána mezi Lomem u Mostu a Litvínovem. Celkově jsou ale rozptýly těchto hodnot nižší a nedochází zde k výskytu výjimečných extrémních hodnot.

Osobně mne tato skutečnost poněkud překvapila, protože pro prostudování mnohé literatury jsem očekávala, že vyšší koncentrace budou v obou případech celkově naměřeny v oblasti Sokolovska, a to hned z několika důvodů.

- 1) Na Sokolovsku již od středověku probíhá masivní těžba hnědého uhlí
- 2) Nachází se zde nejrozsáhlejší ložiska vzácných a užitkových rud, z celé ČR
- 3) Místní sloje obsahují až 100 ppm beryllia



- 4) V extrémních hodnotách se zde vyskytují i koncentrace jiných stopových prvků, jako například arsenu (755,5 ppm)
- 5) I přes to, že již byla ukončena hlubinná těžba, stále je zde aktivní těžba lomovým způsobem
- 6) V současnosti zde probíhá nejrozšířenější těžba na území České republiky
- 7) Celková výměra ploch zasažených těžbou nerostných surovin činí 9 300,39 ha. Rekultivace byla ukončena na méně než polovině a zhruba na 2 177 je teprve rozpracována
- 8) Kromě lomů se zde nachází také elektrárna v Tisové a Vřesové a chemický závod v Sokolově  
(Frouz a kol., 2007; Štýs a Větvička, 2008)

Vzhledem k tomu, že v mnohé literatuře vychází vyšší zatížení berylliem spíše v oblasti Sokolovska, je tedy opravdu nutné zvážit, zda výsledky z našich zkoumaných tkání jater a žaludků lze brát jako směrodatné a usuzovat z nich patřičné závěry. Námi zvolené tkáně se totiž nejvíce jeví jako ideální pro tento druh výzkumu, jak již bylo zmíněno výše.

Dalším faktorem by také mohlo být to, že většina studií týkajících se koncentrací beryllia byla prováděna především na potkanech, je tedy možné, že tento všežravec svým způsobem života akumuluje větší množství tohoto prvku, než právě myšice a hraboš polní.

Ve srovnání s ostatními studii na území České republiky ale můžeme konstatovat, že celkově Mostecko a Sokolovsko patří mezi nejvíce zatížené, spolu s Kladensko-rakovnickou pánví, kde se také nachází mnoho uhelných slojí a koncentrace Be zde vykazují hodnoty až 120 ppm. Vůbec nejzatíženější ovzduší se ale nachází v oblasti Ostrava/Frýdek-Místek/Karviná. Zde ale nebylo prokázáno znečištění konkrétním prvkem, nýbrž obecně vysokého obsahu prachových částic PM10, a to především v důsledku vysoké koncentrace místního průmyslu v hustě obydleném území. Mezi další zdroje pak v této oblasti patří také doprava a vytápění domácností. Dle údajů z ČHMÚ (2017), je ale patrné, že hned po oblasti Ostravska je nejvyšší stupeň znečištění těmito prachovými částicemi také na Mostecku, Chomutovsku a Teplicku, kde pochopitelně souvisí právě s místní těžbou.

Ve srovnání s jinými oblastmi Evropy jsou pak hodnoty znečištění emisemi, a právě pak především beryllia, překračovány zejména v Polsku, severní Itálii, balkánské oblasti, a České republice. Naopak mezi oblasti, které se jeví jako nejméně znečištěné, patří například Velká Británie, což odpovídá tvrzení od Nalbandiana, (2012), jež ve své studii publikoval jen velmi

nízké koncentrace beryllia, a to 1,5 – 1,8 ppm, i přes to, že se zde nachází 6 uhelných dolů. Lépe než Česká republika jsou na tom také státy jako Španělsko a Dánsko, a to patrně z důvodu, že se nevyznačují těžbou ani nijak významným průmyslovým odvětvím. Celkově ale můžeme říci, že přímořské státy vykazují obecně nižší emisní hodnoty beryllia než státy ve vnitrozemí.

## 7 Závěr

V dnešní době je monitoring výskytu toxických látek nepostradatelným faktorem pro udržování zdravotně nezávadného a čistého životního prostředí. Za účelem vyhodnocení zatížení organismů žijících v lokalitách ovlivněných emisemi se zvýšenými koncentracemi beryllia, jež vznikají v souvislosti s těžbou a zpracováním hnědého uhlí v oblasti Mostecké a Sokolovské pánve, byla vytvořena i tato diplomová práce.

Po odchytnu monitorovaného organismu, a následném zpracování biologického materiálu, byly pomocí metody ICP-MS stanoveny obsahy beryllia v tkáních drobných zemních savců, žijících na zájmovém území severočeské hnědouhelné pánve. V našem výzkumu byly zvoleny tkáň jater a žaludků. Nyní už ale můžeme konstatovat, že tato volba nebyla příliš vhodná, protože jedním z nejrozšířenějších způsobů expozice Be je inhalace, a z tohoto důvodu by pro závěrečné vyhodnocení bylo efektivnější analyzovat především tkáň plic, jež by více vypovídaly o intenzitě inhalační expozice.

Přesto byly v rámci provedeného výzkumu získány unikátní a velmi zajímavé poznatky o reálných koncentracích Be v organismu volně žijících zvířat, kterými se před námi příliš mnoho autorů nezabývalo. Tudíž byla tato práce v každém případě velmi přínosná. Během našeho výzkumu bylo zjištěno, že na lokalitě Sokolovska jsou obecně vyšší koncentrace beryllia v půdě, ovzduší, i v obsahu trávicí soustavy živočichů, kam se Be dostává především společně s potravou.

Oproti tomu pozoruhodné výsledky byly získány z oblasti Mostecka, kde byly naměřeny signifikantně vyšší koncentrace Be v tkáních jater, což by mohlo indikovat, že místní zemní savci zde přijímají Be především inhalačně a k dlouhodobému ukládání tohoto prvku dochází pak právě v játrech.

Tato práce tak společně s literární rešerší vytváří komplexní přehled o rizicích expozice toxickým prvkem beryllia, jeho výskytem a koncentrací nejen v České republice, ale i ve světě. Alarmující však je, že bylo zjištěno, že Mostecko a Sokolovsko patří mezi jedny z nejvíce emisemi zatížených oblastí, a z tohoto důvodu je nutné se tomuto tématu i nadále věnovat, a pokud je to jen trochu možné, snažit se eliminovat příčiny kontaminace životního prostředí tímto prvkem.

## 8 Seznam literatury

Anděra M., Beneš B. 2001. Atlas rozšíření savců v České republice. Praha. 156 s. ISBN: 80-7036-124-7.

Anděra M., Gaisler J. 2012. Savci České republiky: popis, rozšíření, ekologie, ochrana–Academia, Praha, 2012, 285 s.

Anděra, M., Horáček I., 2005. Poznáváme naše savce 2. vydání, Praha: Sobotáles. 327 s. ISBN: 80-86817-08-3.

Anonymus. 2002. Toxicological profile for beryllium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of health and human services. Public Health Service. 290 p.

Bencko V., Cikrt M., Lener J. 1984. Toxické kovy v životním prostředí člověka, Avicenum, 282 s.

Bencko V., Novák J., Suk M. 2011. Zdraví a přírodní podmínky: (medicína a geologie). Praha: Dolin, 398 s. ISBN 978-809-0504-707.

Beňová K., Strišková, K., Dvořák P. 2007. Postirradiational changes in hematologic parameters and in intestinal microflora in rats. Acta Facult. Ecol., vol. 16, Suppl. no. 1, 33-36.

Bhat E.N., Pillai K.C. 1996. Beryllium in environmental air, water and soil. Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Bombay- 400 085. 136-146.

Bouška V., Pešek J. 1999. Distribution of elements in the world lignite average and its comparison with lignite seams of the North Bohemian and Sokolov basins. Folia Musei Rerum Naturalium Bohemiae Occidentalis. International Journal of Coal Geology 40. 211-235.

Castroa M., Robles L., Lumbreras M., de Celis B., Aller A.J., Littlejohn D. 2009 Determination of beryllium by electrothermal atomic absorption spectrometry using tungsten surfaces and zirconium modifier. 158-162.

Culek M., Grulich V., Povolný D. 1996. Biogeografické členění České republiky. Praha. Enigma. 347 s.

ČEZ Group. 2012. Coal-fired power plants in CR [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/en/power-plants-and-environment/chvaletice.html>

Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2017 [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>

ČSN 75 7111 Jakost vod. Pitná voda [online]. 1993. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.vodnifiltrycz.cz>

Day G.A., Hoover M. D., Stefaniak A. B., Dickerson R.M., Peterson E.J., Esmen N.A. 2005. Bioavailability of beryllium oxide particles: An in vitro study in the murine J774A.1 macrophage cell line model. *Experimental lung research*. 31.

Ekologické centrum Most. 2009. Vývoj znečištění ovzduší na Mostecku [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/ovzdusi.php>

Eskenazy G. M. 2006. Geochemistry of beryllium in Bulgarian Coals. *International Journal of Coal Geology*. Volume 66, Issue 4. 305-315.

Filipi R., Nesměrák K., Rucki M., Roth Z., Hanzlíková I., Tichý M. 2007 Akutní toxicita prvků vzácných zemin a jejich sloučenin. *Chemické listy* 101, 793-798.

Friberg L., Nordberg G.F., Vouk V.B. 1986. *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier. 354 – 378.

Frouz J., Popperl J., Příkryl I., Štrudl J., 2007. Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov, 26 s.

Fuge Ron. 2008. A review of the toxicity of beryllium in air. Environment Agency, Science Report – SC020104/SR1, 43 s. ISBN: 978-1-84432-909-0.

Hodačová D., Prach K. 2003. Spoil heaps from brown coal mining: technical reclamation vs. spontaneous re-vegetation. *Restoration Ecology*. 385–391.

Jůzová E., Ságl J. 1984. Severozápadní Čechy. *Panorama Praha*. 404 s.

Krejčí V. 2008. Most: Zánik historického města, výstavba nového města 1945 – 2000. Ústí nad Labem: AA 2000. 263 s.

Konvička M., Beneš J., Čížek L. 2005. Ohrožený hmyz nelesních stanovišť: ochrana a management. *Sagittaria, Olomouc*. 136 s.

- Kvasničková, A. 1998. Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě. 1. vyd. Praha: ÚZPI-Ústav zemědělských a potravinářských informací. 127 s. ISBN: 80-85120-94-1.
- Ledvina R., Kolář L. 1997. Beryllium in soils and plants in imission – loaded regions. Rostlinná výroba 43. 353-356.
- London D., Evensen J.M. 2002. Beryllium in silicic magmas and the origin of beryll-bearing pegmatities. Grew E.S., Beryllium in mineralogy, petrology and geochemistry. 445-486.
- Mader, P., Čurdová, E. 1997. Decomposition methods of biological materials for the determination of trace elements. Chemické listy. 91 (4). 227-236.
- Nalbandian Herminé. 2012. Trace element emissions from coal. CCC/203. 89 p. ISBN 978-92-9029-523-5.
- Němeček J., Podlešáková E., Pastuszková M. 1996a. Proposal of soil contamination limits for persistent organic xenobiotic substances in the Czech Republic. Rostlinná Výroba 42. 49-53.
- Nordberg G., Fowler B., Nodberg M., Friberg L. 2007. Handbook on the toxicology of metals. Third edition. Elsevier Inc. 1024 p. ISBN: 978-0-12-369413-3.
- Opluštil S., Jirásek J., Schmitz M., Matýsek D. 2016. A review of the Middle-Late Pennsylvanian west European regional substages and floral biozones, and their correlation to the Geological Time Scale based on new U-Pb ages. Earth-Science Reviews. 154 p. 301-335.
- Pappas B.A, Zhang D., Davidson C.M., Crowder T., Park G.A.S., Fortin T. 1997. Perinatal beryllium exposure: Behavioral, Neurochemical, and Histopathological Effects in the rat, Neurotoxicology and teratology. 17-25.
- Peijnenburg W., Jager T. 2003. Monitoring Approaches to Assess Bioaccessibility and Bioavailability of Metals: Matrix Issues. Ecotoxicology and Environmental Safety 56(1). 63-77.
- Pešek J., Sivek M. 2012. Uhlonosné pánve a ložiska černého a hnědého uhlí ČR. Česká geologická služba. 200 s. ISBN: 978-80-7075-800-7.
- Pešek J., Adámek J., Brzobohatý R., Bubík M., Cicha I., Dašková J., Doláková N., Elznic A., Fejfar O., Franců J., Hladilová Š., Holcová K., Honěk J., Hoňková K., Jurková Z., Krásný J.,

Krejčí O., Kvaček J., Kvaček Z., Macůrek V., Opluštil S., Mikuláš R., Pálenský P., Rojík P., Skupien P., Spudil J., Sýkorová I., Šikula J., Švábenická L., Teodoridis V., Titl F., Tomanová-Petrová T., Ulrych J. 2010. Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. 1. vydání Praha. Česká geologická služba. 420 s.

Podlešáková E., Němeček J., Vácha R. 1994 b. Contamination of soils in North-Bohemian region by hazardous elements. *Rostlinná Výroba* 40.123-130.

Policard A. 1950. Histological studies of the effect of beryllium oxide (glucine) on animal tissues. *Faculté de médecine de Lyon. British J. industr. Med.* 7, 117 p.

Reimann C., Caritat P. 1998. *Chemical elements in the environment*, Springer Verlag, Berlin Germany, 398 p.

Řehounek J., Řehounková K., Prach K. 2010. *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. České Budějovice. 172 s. ISBN: 978-80-87267-0.

Říha M., Stoklasa J., Lafarová M., Dejmal I., Marek J., Pakosta P. 2005. *Územní ekologické limity těžby v SHP*. Praha: Společnost pro krajinu. 54 s. ISBN: 80-903663-0-9.

Selák, J. 2008. Analýza disparit v pokryvu modelového území Podkrušnohoří v porovnání s Českou republikou. *Studia Oecologica*. č. 1, 46-53.

Smolová D., Doležalová J., Vojar J., Solský M., Kopecký O., Gučík J. 2010. Faunistický přehled a zhodnocení výskytu obojživelníků na severočeských výsypkách. *Sborník Severočeského Muzea, Přírodní Vědy, Liberec*, 28: 155-163. ISBN: 978-80-87266-04-5.

Šafářová, M., Řehoř, M., 2006. Stopové prvky v uhelných a neuhelných sedimentech severočeské pánve a zeminách rekultivovaných lokalit. *Chemické listy*, 100(6), 462 - 466.

Šram R.J., Binková B., Dostál M., Merkerová-Dostálová M., Líbalová H., Milcová A., Rössner P., Rössnerová A., Schmuczerová J., Švecová V., Topinka J., Votavová H. 2013. Health impact of air pollution to children. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 26. 533–540.

Štýs S. 2013. *Proměny Mostecka*. Most: Statutární město Most, 67 s. ISBN: 978-80-260-5411-5.

Štýs S., Větvička V. 2008. Most v zeleném. Most: Nakladatelství Hněvín. 255 s. ISBN: 978-80-86654-22-5.

Taylor T., Ding M., Ehler D. 2003. Beryllium in the environment. Journal of environmental science and health 38. 439-469.

Toužín, J. 2001. Stručný přehled chemie prvků. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita. 225 s. ISBN: 80-210-2635-9.

Vácha R., Sáňka M., Hauptman I., Zimová M., Čechmánková J. 2014. Assessment of limit values of risk elements and persistent organic pollutants in soil for Czech legislation. Plant Soil Environment 60. 191-197.

Vácha R., Skála J., Čechmánková J., Horváthová V., Hladík J. 2015. Toxic elements and persistent organic pollutants derived from industrial emissions in agricultural soils of the Northern Czech Republic. Springer-verlag Berlin Heidelberg. Soils Sediments. 1813-1824.

Valášek V., Chytka L. 2009. Velká kronika o hnědém uhlí: minulost, současnost a budoucnost těžby hnědého uhlí v severozápadních Čechách. 1. vyd. Plzeň: G2 studio, 379 s. ISBN 978-80-903893-4-2.

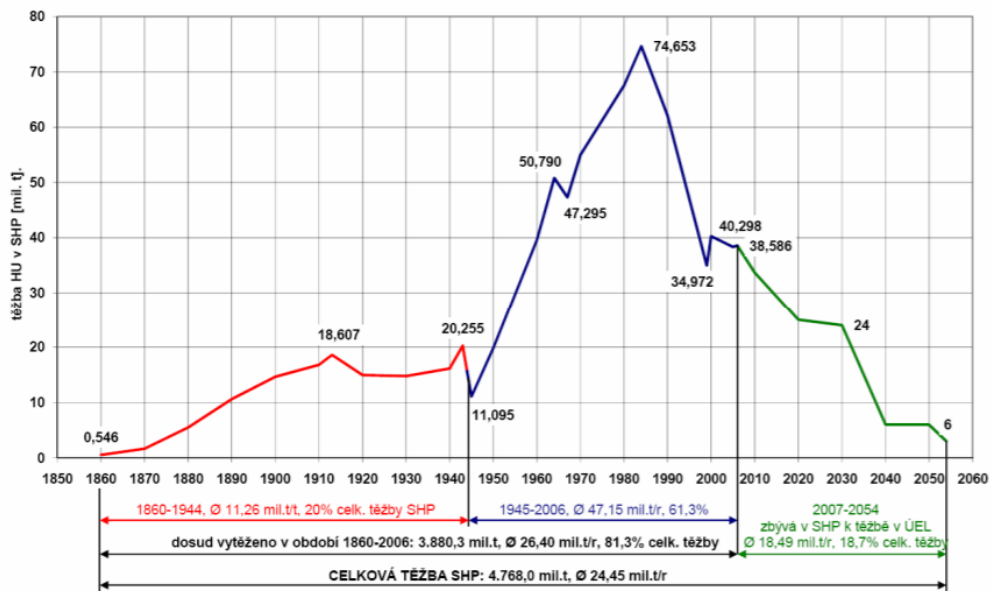
Vráblíková J. 2010. Recultivation of Area after Coal Mining on Example of North Bohemia. Životní Prostředí, Vol. 44, No. 1. 24-29.

World Health Organization. 2001. Beryllium and beryllium compounds. Geneva. United Nations Environment Programme. 76 p. ISBN 92 4 153032 4.



## 9 Samostatné přílohy

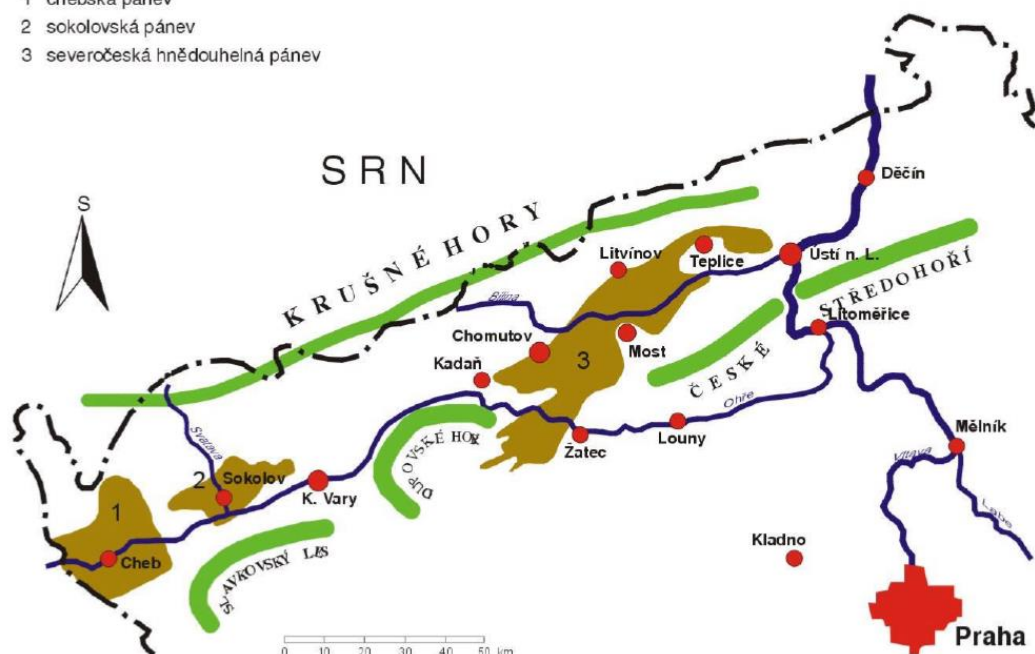
Obrázek č. 1 - Dlouhodobý vývoj těžby uhlí v SHP



(Valášek a kol., 2005)

Obrázek č. 2 - Mapa severočeského hnědouhelného revíru

- 1 chebská pánev
- 2 sokolovská pánev
- 3 severočeská hnědouhelná pánev



Dostupné z: [www.15miliard.cz](http://www.15miliard.cz)

Tabulka č. 1 - Celkový přehled stopových prvků vzorků půdy mostecké pánve

Prvek (ppm)	Mostecká pánev	
	průměr	maximum
<b>S</b> (hm.%)	2,02	19,93
<b>Ag</b>	0,17	0,5
<b>As</b>	39,94	757
<b>Au</b>	0,01	
<b>B</b>	32,98	1000
<b>Ba</b>	103,54	315
<b>Be</b>	3,09	63
<b>Cd</b>	0,34	
<b>Ce</b>	36,11	123
<b>Co</b>	8,28	61
<b>Cr</b>	57,43	110
<b>Cs</b>	3,98	34
<b>Cu</b>	88,08	577
<b>F</b>	205,14	940
<b>Ga</b>	10,03	42
<b>Ge</b>	2,47	31
<b>Mn</b>	49,26	
<b>Mo</b>	2,66	7
<b>Nb</b>	21,38	59
<b>Ni</b>	94,07	115,64
<b>P</b>	944,51	1760
<b>Pb</b>	9,44	16
<b>Sb</b>	1,33	7
<b>Se</b>	0,69	
<b>U</b>	2,46	10
<b>V</b>	51,66	
<b>W</b>	4,75	13
<b>Zn</b>	67,43	387
<b>Zr</b>	98,81	251

(Bouška a Pešek, 1999)