

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra aplikované chemie a učitelství chemie

Vedoucí katedry: prof. Ing. Martin Křížek, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výskyt rtuti v půdách jižních Čech

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Švehla, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Milan Kobes, Ph.D.

Autor: Bc. Zdeňka Machová rozená Matějková

České Budějovice, Duben 2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeňka MATĚJKOVÁ**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie**

Název tématu: **Výskyt rtuti v půdách jižních Čech.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude jednak aktualizace a doplnění literární rešerše na téma výskytu rtuti v půdách a získání vlastních vzorků a dat obsahu Hg v půdách z jižních Čech. Bude testována pracovní hypotéza (viz.dále) zaměřená na vliv způsobu obhospodařování půdy v jihočeském regionu.

Metodika:

A/ Aktualizace literární rešerše o výskytu rtuti v lesních a zemědělských půdách.

B/ Získání a zpracování vlastních vzorků půd z vybraných lokalit (pokusné plochy ZF u Lenory, Kaplice-V.Chuchelec2- dále plochy v okolí Břehova a Lužice u Netolic, eventuálně další dle možností). Statistická analýza získaných dat a zhodnocení výsledků.

B/ Zhodnocení míry kontaminace lesních a zemědělských půd na základě získaných dat.

Pracovní hypotéza:

"Způsob obhospodařování půdy (pole, louka, pastvina, les) má zásadní vliv na množství celkové rtuti a její distribuci v půdě - orba půdy a pěstování klasických plodin způsobuje významné snížení obsahu celkové rtuti v půdě ve srovnání s půdou ponechanou ladem."

Rozsah grafických prací: podle potřeby výsledků
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Merian E., et al., 1991: Metals and Their Compounds in the Environment., VCH Weinheim, 1438 s.
- Steinnes E., Friedland A.J., 2006: Metal contamination of natural surface soils from long-range atmospheric transport: Existing and missing knowledge. ENVIRONMENTAL REVIEWS 14 (3): 169-186
- Ericksen J.A., Gustin M.S., Xin M., et al., 2006: Air-soil exchange of mercury from background soils in the United States, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 366 (2-3): 851-863
- Gabriel M.C., Williamson D.G., 2004: Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment. ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH 26 (4): 421-434 Plant Soil and Environment, od r. 2001,
- Hojdová M., Rohovec J., Navrátil T., 2006: Speciace rtuti v lesních půdách. Sborník přednášek semináře "MIKROELEMENTY - 2006", 133-137
- Suchara I., a kol., 2007: Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Visegrad Space., VUKOZ Průhonice, 96-98
- Hojdová M., Navrátil T., Rohovec J., 2008: Distribution and speciation of Mercury in mine waste dumps., Bull.of Environm. Contamin. And Toxicol., (www.springerlink.com)
- Hojdová M., Huang J.H., Kalbitz K., Matzner E., 2007: Effects of throughfall and litterfall manipulation on concentrations of methylmercury and Mercury in forest-floor percolates., J. Plant Nutr. Soil Sci., 170, 373-377

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Švehla, CSc.**
Katedra aplikované chemie a učitelství chemie

Konzultant diplomové práce: **Ing. Milan Kobes, Ph.D.**
Katedra travních ekosystémů a horského zemědělství

Datum zadání diplomové práce: **18. února 2009**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. dubna 2010**


prof. Ing. Miroslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Martin Křížek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 18. února 2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

10. dubna 2010

.....

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce panu Ing. Jaroslavu Švehlovi, CSc. za odbornou pomoc a odbornou konzultaci při zpracování práce a konzultantovi panu Ing. Milanovi Kobesovi, Ph.D. za pomoc při výběru lokalit a za odbornou pomoc při zpracování výsledků.

Touto cestou bych chtěla také poděkovat své rodině za podporu při studiu na Jihočeské univerzitě.

Tato práce byla součástí výzkumného záměru ZF JU: MSM 6007665806 – „Trvale udržitelné způsoby hospodaření v podhorských a horských oblastech zaměřené na vytváření souladu mezi jejich produkčním a mimoprodukčním uplatněním“ a mohla být uskutečněna též díky předchozímu výzkumnému záměru ZF JU: MSM 122200003 „Interakce chemických složek v ekosystému povrchových vod“.

SOUHRN

Práce se zabývá výskytem rtuti v lesních a zemědělsky obhospodařovaných půdách, získáním a zpracováním vlastních vzorků půd z vybraných lokalit v jižních Čechách. Mezi studované lokality patří Lenora na Prachaticku, Břehov na Českobudějovicku, Lužice nedaleko Netolic na Prachaticku a Velký Chuchelec na Kaplicku. Byly zde odebrány vzorky lesních půd, orné půdy, louky a pastviny.

Celkový obsah rtuti v půdě byl stanoven pomocí atomové absorpční spektrometrie (CV-AAS) s technikou generování studených par. Výsledky byly porovnávány mezi sebou v rámci způsobu hospodaření, lokalit a porostu. Výsledky byly zpracované pomocí statistické metody ANOVA v programu STATISTICA CZ6.

V lesních půdách bylo nejvíce celkové rtuti zjištěno v humusovém horizontu v lokalitě Lenora na odběrném místě vrchu Chlustov – východ $0,574 \pm 0,042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti v lesních půdách bylo naměřeno v druhém minerálním A_2 horizontu v lokalitě Břehov $0,017 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Ze zemědělsky obhospodařovaných půd bylo nalezeno nejvíce celkové rtuti na lokalitě Lužice v půdě z louky v hloubce odběru do 15 cm $0,088 \pm 0,007 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Naopak nejméně celkové rtuti bylo naměřeno na lokalitě Lužice v orné půdě v hloubce odběru do 40 cm a to $0,012 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

Zadaná pracovní hypotéza o vlivu obhospodařování (pole, louka, pastvina, les) byla statisticky významně prokázána, nejlépe na lokalitách Lužice a Velký Chuchelec. Z výsledků je patrné, že způsob obhospodařování má vliv na obsah celkové rtuti v půdě, ale jsou zde i jiné faktory, které mají vliv na obsah celkové rtuti. U lesních půd byl prokázán statisticky významný vliv druhu a stáří porostu na obsah celkové rtuti v půdě.

Klíčová slova: celková rtuť, půda, sklárna, druhy obhospodařování, lokality Lenora, Břehov, Lužice, Velký Chuchelec

ABSTRACT

The work is concerned with mercury appearance in forest and agricultural soils. There is description of process of specimens collection and treatment. The soil specimens were picked up in the selected habitats in South Bohemia. Among studied areas belongs: Lenora near Prachatic, Břehov near České Budějovice, Lužice near Netolice and Velký Chuchelec near Kaplice. There were collected specimens of forest soils, arable land soils, meadows and pastures.

Total content of mercury in soils was determined out by the help of atomic absorption spectrometric method (CV-AAS) with technique generating cold vapor and gold trap preconcentration. Outcomes were compared with each other in terms of the farming way, locality and vegetation. The data were treated with statistical method ANOVA in programme STATISTICA CZ6.

In forest soils there was found the most total content of mercury in the humic horizons in Lenora area on the Chlustov hill - east $0,574 \pm 0,042 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. The least of all of the total content of mercury in forest soils was measured in the second mineral A₂ horizon in Břehov area $0,017 \pm 0,001 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. In the agricultural soils there was found the most total quantity of mercury in Lužice area in meadow soil in taking depth into 15 cm $0,088 \pm 0,007 \text{ mg.kg}^{-1}$ dry matter. On the contrary for at least of total content of mercury was measured out in locality Lužice in arable land in taking depth into 40 cm $0,012 \pm 0,0001 \text{ mg.kg}^{-1}$ of dry matter.

Submission working hypothesis about the influence of land management have the best statistically significantly proved in locality Lužice and Velky Chuchelec. From the results is evident that the way of the use has affect on content of the total content mercury in soil. But there are some other factors which have influence on the mercury content. In the forest soils there was proved statistically relevant effect of sort and age vegetation on the mercury total content in soils.

Keywords: total mercury content, soil, glass factory, the ways of land management, the locality Lenora, Břehov, Lužice, Velký Chuchelec

OBSAH:

strana	
1. ÚVOD	9
2. LITEÁRNÍ PŘEHLED	10
2.1 Rtuť v půdě	10
2.1.1 Horizonty nadložního humusu	12
2.2 Mobilita rtuti	13
2.3 Rtuť v atmosféře a její depozice	15
2.4 Vliv CO ₂ na rtuť	16
2.5 Rtuť a půdy amazonských pralesů	17
2.6 Kationty v půdě	18
2.7 Akumulace rtuti v půdách a živočiších	20
2.8 Důlní oblasti	21
2.9 Rtuť v lesních půdách	23
2.10 Rtuť v rostlinách	27
2.11 Sanace kontaminovaných půd	30
3. METODIKA	32
3.1 Popis lokalit	32
3.1.1 Popis lokality u Lenory	32
3.1.1.1 Sklárna v Lenoře	33
3.1.2 Popis lokalit v Břehově a Lužici	36
3.1.3 Popis lokalit u obce Velký Chuchelec	38
3.2 Materiál	39
3.3 Metodika	39
3.3.1 Příprava vzorku pro analýzu	39
3.3.2 Stanovení celkového obsahu rtuti	39
4. VÝSLEDKY A DISKUZE	41
4.1 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Lenory	41
4.1.1 Diskuze k výsledkům z Lenory	50
4.2 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Velkého Chuchelce	51
4.2.1 Diskuze k výsledkům z lokalit Velký Chuchelec	53
4.3 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Břehova a Lužice	54
4.3.1 Diskuze k výsledkům z Břehova a Lužice	57

4.4 Statistické vyhodnocení lesních půd všech lokalit	59
4.5 Statistické vyhodnocení zemědělsky obhospodařovaných půd všech lokalit	64
5. DISKUZE	67
6. ZÁVĚR	72
7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	75
8. SEZNAM PŘÍLOH	78

1. ÚVOD

Obsah rtuti v půdách se zjišťuje z důvodů jejích toxických vlastností a zařazení mezi těžké kovy. Rtuť se z půdy může dostávat do rostlin, ze kterých se následně může dostávat do potravního řetězce a tím ohrozit zdraví živočichů i lidí.

Rtuť se v půdě vyskytuje ve více než 20 různých minerálech, ovšem hlavními přírodními formami jsou rumělka (HgS) a elementární rtuť (Hg^0). Tyto formy se naházejí v půdě i ve vodním prostředí. Hlavní frakce je buď vázaná na půdní minerály nebo adsorbovaná na pevných anorganických a organických povrchích. Vzhledem k vysoké afinitě rtuti pro organické hmoty a nerosty je rychlost vyluhování rtuti z půdy velmi nízká a je většinou spojená s rozpouštěnými organickými látkami.

Rtuť litogenní nebo atmosférická uložena v půdě je primárně přítomna ve dvojmocné formě (Hg^{2+}). Tato rtuť může být mobilizována jen z malé části transformací na elementární rtuť (Hg^0), která z půdy vyprchá.

Obsahy rtuti se běžně pohybují v rozmezí 20 až 150 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ Hg, přičemž rtuť se akumuluje především ve svrchních horizontech půd.

O obsahu, mobilitě a distribuci rtuti v nekontaminovaných orných půdách bylo doposud napsáno poměrně málo článků.

Cílem práce bylo získání vlastních vzorků a dat o obsahu rtuti v půdách z jižních Čech a potvrzení či vyvrácení pracovní hypotézy zaměřené na vliv způsobu obhospodařování půdy v jihočeském regionu.

Pro zjištění obsahu celkové rtuti v půdách jižních Čech byly vybrány čtyři pokusné lokality – Lenora, Velký Chuchelec, Břehov a Lužice. Lokalita Lenora byla vybrána z důvodu dřívějšího provozu sklárny, která mohla být zdrojem znečištění okolí.

V pracovní hypotéze bylo řečeno, že způsob obhospodařování půdy (pole, louka, pastvina, les) má zásadní vliv na množství celkové rtuti a její distribuci v půdě – orba půdy a pěstování klasických plodin způsobuje významné snížení obsahu celkové rtuti v půdě ve srovnání s půdou ponechanou ladem.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Rtuť v půdě

Rtuť je prvkem 12. skupiny, patří sem společně se zinkem a kadmii, ale oproti zinku a kadmiu, se jedná o ušlechtilý kov. V běžném stavu je kapalná, stříbrolesklé barvy, její páry jsou prudce jedovaté a je odolná vzdušnému kyslíku. V přírodě se rtuť vyskytuje jen výjimečně ryzí nebo jako rumělka (cinabarit) HgS (Merian, et al., 1991).

Rtuť je na Zemi relativně vzácný prvek. Skládá se ze sedmi přirozeně se vyskytujících izotopů, z nichž následující tři jsou nejhojnější: ^{202}Hg (29,9%), ^{200}Hg (23,1%) a ^{199}Hg (16,7%). Je známo téměř čtyřicet umělých radioizotopů rtuti, jeden z nich ^{194}Hg má poločas rozpadu 520 let. Nejhojnější minerály rtuti jsou rumělka (HgS), corderoit ($\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$), kolymit (Cu_7Hg_6) a další (Suchara, et al., 2007).

Rtuť se sice vyskytuje v zemské kůře ve více než 20 dalších minerálech, avšak rumělka (HgS) a elementární rtuť (Hg^0) jsou hlavními přírodními formami rtuti nacházejícími se v půdě a vodním prostředí. Rozpustnost rumělky HgS (10^{-54} mol·dm $^{-3}$) je extrémně nízká, což má zásadní význam při imobilizaci rtuti za nízkého oxysličení a při mírných oxidačně-redukčních podmínkách životního prostředí. Nicméně, i za změněných podmínek se může stát rozpustnou. pH a koncentrace Cl^- jsou rovněž klíčové parametry při určování speciace a chemických transformací rtuti v půdním roztoku. Vzhledem k velké ochotě Hg^{2+} tvořit komplexy, se pouze nepatrná část tohoto iontu vyskytuje v půdním roztoku. Hlavní frakce je buď vázaná na půdní minerály nebo adsorbovaná na pevných anorganických a organických povrchích. Vzhledem k vysoké afinitě rtuti pro organické hmoty a nerosty je rychlost vyluhování rtuti z půdy velmi nízká a je většinou spojená s rozpuštěnými organickými látkami (Palmieri, et al., 2006).

V přítomnosti rozpuštěných minerálních a organických látek mohou existovat Hg_2^{2+} a Hg^{2+} v mnoha různých komplexních formách. Většina výzkumu adsorpce rtuti se zaměřuje na Hg^{2+} formu. Kvůli vysoké reaktivitě s rozpuštěnými ligandy a vysoké rozpustnosti ve vodě. Hg^{2+} má vysokou afinitu pro velké, příznivě polarizované ligandy, jako jsou Lewisovy kyseliny (např. sulfidy) a dost slabou k Lewisovým zásadám (např. –COOH). Rtuť má silnou tendenci pro tvorbu

komplexů s Cl^- , OH^- , S^{2-} a síra obsažená ve funkčních skupinách organických ligandů (Gabriel, Williamson, 2004).

Znečištění rtutí je považováno za významný problém vzhledem k jeho možným dopadům na životní prostředí a veřejné zdraví. Půdy jsou velmi důležitou zásobárnou v globálním biochemickém cyklu rtuti, působí jako zdroj a úložiště. I když se tento kov může v půdě vyskytovat přirozeně (v množství obvykle nepřesahujícím $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), přispívá lidská činnost velmi výrazně k zvýšení koncentrace rtuti v některých oblastech (Rodrigues, et al., 2006).

Současný stav znalostí o obsahu rtuti v půdách se především týká oblastí znečištěných tímto kovem. Doposud bylo napsáno poměrně málo článků o obsahu, mobilitě a distribuci rtuti v nekontaminované orných půdách (Róžański, 2009).

Rtuť v půdě pochází ze dvou přirozených zdrojů. Litogenní frakce ($\text{Hg}_{\text{litogenní}}$) se hromadí v půdě v důsledku uvolnění více mobilních prvků v průběhu zvětrávání zdrojových hornin. Ostatní frakce, označené jako $\text{Hg}_{\text{atmosférická}}$, jsou výsledkem odplynění zemské kůry prostřednictvím oceánů a sopek a jsou uloženy na zemském povrchu v půdě. Během posledních několika století se zvýšily antropogenní vstupy pocházející z těžební a průmyslové činnosti, a tím se zvýšil také difúzní vstup $\text{Hg}_{\text{atmosférické}}$. Rtuť litogenní nebo atmosférická uložená v půdě je primárně přítomna ve dvojmocné formě (Hg^{2+}). Tato rtuť může být mobilizována jen z malé části transformací Hg^{2+} na elementární rtuť (Hg^0), která je vysoce těkavá a snadno vyprchá (Grimaldi, et al., 2008).

Pro pevnou vazbu rtuti v biosféře jsou významné thiolové skupiny ($-\text{SH}$) přítomné často v molekulách tvořících rozpuštěný organický uhlík (Houserová, a kol., 2006).

V půdách rtuť běžně tvoří komplexy a sloučeniny s obsahem síry. Ty jsou vysoce rozpustné a tudíž ovlivňují mobilitu rtuti v profilu. Sloučeniny rtuti s nízkou mobilitou jsou sulfidy a komplexy s humínovými kyselinami. Mobilní jsou naopak komplexy rtuti s fulvokyselinami (Róžański, 2009).

Tyto skupiny jsou obsaženy především v hydrofobní frakci rozpuštěné organické hmoty v podobě huminových a fulvových kyselin (Houserová, a kol. 2006).

Rtuť je v půdě vázána na ve vodě rozpustné fulvokyseliny a velké humínovými kyselinami o vysoké molekulové hmotnosti. Úloha fulvokyselin při vázání rtuti je mnohem menší v porovnání s humínovými kyselinami. Komplexy rtuti

s humínovými kyselinami patří k nejvíce stabilním komplexům, které když jsou vázané s jílovými minerály mohou transformovat do ještě stabilnějších rtuť-humózních jílokomplexů. Koncentrace rtuti také závisí na obsahu jílu. Byly zjištěny statisticky významné pozitivní korelace ($r = 0,55$) mezi těmito složkami v půdě. Tento vztah je mnohem důležitější v mírném podnebí s běžnými procesy přesunu jílu dešťovou vodou do hlubších horizontů půdního profilu. Vysoká koncentrace jílu v těchto horizontech a zároveň snižující se obsah organické hmoty s rostoucí hloubkou může vést k adsorpci iontově výměnné rtuti, dostupné pro rostliny, těmito jílovými materiály (Róžański, 2009).

Termická analýza půd potvrdila, že většina rtuti je v lesních půdách vázaná na organickou hmotu, menší část pak zřejmě na oxihydroxidy Fe (Hojdová, a kol. 2006).

Sorpce rtuti také výrazně ovlivňují volné a amorfní oxidy železa. Tyto komponenty váží rtuť jak v minerální tak i organické formě. Hlavním rysem těchto minerálních komplexů je jejich rychlá aktivace se snížením pH. V analyzovaných půdách byla zaznamenána účast volných oxidů železa vázajících rtuť, které byly zaznamenány v horizontech s nízkým obsahem jílové frakce a organického uhlíku. Oxidy železa by mohly působit jako součást základního sorbentu rtuti. V případě akumulace jílu a organických látek v půdě mohou oxidy železa vytvářet komplexy se rtutí. Všechny výše uvedené půdní složky tvoří součást sorpčního půdního komplexu, který je především odpovědný za vázání rtuti v půdách (Róžański, 2009).

Koncentrace rtuti v půdních zdrojích je ve většině případů velmi nízká, většinou několik $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (Steinnes, Friedland, 2006).

2.1.1 Horizonty nadložního humusu lesních půd

V roce 2000 byl Českou pedologickou společností schválen nový Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (TKSP). Tento systém zahrnuje jak půdy zemědělské, tak půdy lesní a jeho další předností je maximální kompatibilita se zahraničními klasifikačními systémy. Systém TKSP je tedy jediným současným platným systémem klasifikace půd v České republice (Šimek, 2005).

Anhydrogení horizonty nadložního humusu lesních půd vznikají na propustných půdách, které nejsou zamokřené (pro soubor těchto horizontů L+F+H je možno použít sumární označení O).

Horizont opadanky L je tvořen relativně čerstvým rostlinným opadem (jehličím, listím, větvičkami, kůrou, odumřelými částmi rostlin) bez známek zjevného rozkladu, takže je jeho původ snadno rozeznatelný. Dále se může dělit na horizont nové opadanky (Ln) nebo na horizont změněné opadanky (Lv).

Horizont drti (fermentační) F tvoří částečně rozložené organické zbytky, jejichž původ je však většinou ještě rozeznatelný. Rozpoznatelné části převažují nad humifikovaným materiálem, jehož původ již nelze určit. Lze dělit na mykogenní horizont drti (Fm), zoogenní horizont drti (Fz) a amfigenní horizont drti (Fa).

Horizont měli (humifikační) H je tvořen rostlinnými zbytky v silném stupni rozkladu, takže jejich struktura není většinou rozeznatelná. Podíl humifikovaného materiálu zřetelně převládá nad méně rozloženými zbytky. Rozpoznatelné částice tvoří převážně zbytky kořenů. Může být dělen na humusový horizont měli (Hh), zoogenní horizont měli (Hz) a reziduální horizont měli (Hr) (Němeček, a kol., 2001).

Dále bývají minerální horizonty (A) označovány až k podloží značně rozmanitě.

2.2 Mobilita rtuti

Obsahy rtuti se běžně pohybují v rozmezí 20 až 150 ng·g⁻¹ Hg, přičemž rtuť se akumuluje především ve svrchních horizontech půd. Rtuť se v půdách vyskytuje převážně jako Hg²⁺, silně sorbovaná na organickou hmotu. Její chování v půdním profilu je zároveň ovlivněno obsahem jílových minerálů, oxihydroxidů Fe a Mn a vlastnostmi půdního prostředí. Zastoupení chemických forem rtuti v půdách hraje významnou roli z hlediska transportu, mobility, přeměn (jako např. methylace) a celkově chování rtuti v životním prostředí (Hojdová, a kol., 2006).

Právě volná Hg²⁺ nebo její anorganické komplexy se sulfidy, chloridy nebo hydroxidy, mohou přispět k mobilitě rtuti v minerální půdě, komplexace rtuti s organickými látkami je pravděpodobně převládající proces rozhodující o mobilitě rtuti v půdě (Åkerblom, et al., 2008).

Další podmínkou, která může ovlivnit pohyb rtuti v půdách je světlo. Bylo prokázáno, že pohyb rtuti v nepříznivých světelných podmínkách – stín, tma (< 1W·m⁻²) byl významně nižší než v příznivých podmínkách – den (> 1W·m⁻²). Nejnižší pohyb rtuti v temnu byl naměřený 1,5 ng· m⁻²·h⁻¹ a nejvyšší hodnoty v příznivých světelných podmínkách byly 9,7 ng· m⁻²·h⁻¹ (Ericksen, et al., 2006).

Uložená atmosférická a litogenní rtuť v půdě má původ v ložiscích rtuti. K remobilizaci rtuti dochází během dobývání nebo rozpouštění těchto složek, které jsou vysoce zvýhodněné procesy v ultisolech (Grimaldi, et al., 2008). Ultisoly jsou silně kyselé a silně zvětralé půdy v tropických a subtropických oblastech. Jíl se akumuluje v podpovrchových diagnostických horizontech (Šimek, 2005). Remobilizace rtuti by mohla vysvětlit menší zátěž rtutí v horních horizontech ultisolu. V ultisolech je silný vertikální spád hydraulické vodivosti, který způsobuje během prudkých dešťů povrchový a příčný odtok podzemní vody. Na stejném místě tyto toky vedou k erozi a tím i k ztenčení horních horizontů. Rtuť vázaná na tyto organicko-minerální nosiče je pak vyplavována. Ve stejné době se rtuť stále hromadí v oxisolu, který je méně náchylný k erozním procesům a je tudíž tlustší (Grimaldi, et al., 2008). Oxisoly jsou málo úrodné, kyselé, často přes 3 metry hluboké, obsahující silně zvětralý (oxický) horizont v němž převládají oxidy železa a hliníku (Šimek, 2005). Za předpokladu konstantního přírodního vstupu $72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ rok v deštném pralese, by trvalo téměř 218 století než by se vytvořila zátěž atmosférické rtuti v oxisolu. Pokles koncentrace rtuti směrem k povrchu ve všech profilech lze vysvětlit dočasným snížením podmínek zahrnujících buď rozpouštění nosné fáze nebo tvorbu plynné Hg^0 (Grimaldi, et al., 2008).

Procesy zvětrávání stejně jako tok materiálu a vody ovládající osud rtuti v půdě, úzce souvisejí se složením půdy. Je proto obtížné zjistit zda-li jsou skutečnými ovlivňujícími faktory obsahu rtuti půdní procesy samotné nebo četnost výskytu nosných fází. Vysoký obsah rtuti a její vertikální distribuci v oxisolu lze vysvětlit stupněm zvětrávání půd, stejně jako působením vody a nosičů, které upřednostňují pronikání atmosférické rtuti a snižují její remobilizaci. Vysoký obsah celkového železa a jílu, které jsou také určovány stupněm zvětrávání a hydratačního působení půdy mohou přímo napomáhat ukládání rtuti v půdě (Grimaldi, et al., 2008).

Pozorovaný čistý pokles C a N na pastvině, zdá se znamenat, že rtuť migruje s organickou hmotou, se kterou je spojena. Protože pozemky ve studované oblasti (v Ekvádoru, údolí řeky Napo) nevznikly kácením a vypalováním, které způsobuje vytěkání rtuti z povrchových vrstev půdy. Migrace rtuti mimo půdní systém lze dosáhnout dvěma způsoby: erozí a následným vyluhováním nebo vytěkáním v důsledku zvýšení povrchové teploty půdy. I když kombinace těchto dvou faktorů je pravděpodobná, migrace rtuti je zde především důsledkem s půdní eroze zejména

kvůli častým deštům. Účinky odlesňování jsou méně znatelné na podpovrchových koncentracích rtuti. Rtuť v lesních půdách se nachází především na povrchu, protože je zde spojena s organickou hmotou, která sama zpomaluje vertikální migraci rtuti. Malé rozdíly koncentrace rtuti mezi lesem a pastvinou v hloubkách 20 – 25 cm a 45 – 50 cm ukazují, že okolní prostředí mělo vliv především na povrchu. Selektivní eroze vedoucí k migraci malých částic s navázanou rtutí do hlubších vrstev nebyla pozorována. Koncentrace rtuti byly stejné na horní, střední i dolní části svahu ve studované oblasti (Mainville, et al., 2006).

2.3 Rtuť v atmosféře a její depozice

O distribuci sloučenin rtuti ve složkách životního prostředí (v atmosféře, vodě, půdě, sedimentu nebo biotě) rozhoduje především podobnost vlastní příslušné chemické formy rtuti s vlastnostmi složky životního prostředí. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující zastoupení chemických forem rtuti patří především chemické a mikrobiologické složení prostředí (koncentrace kyslíku, pH, redoxní podmínky, množství rozpuštěného uhlíku a sírných sloučenin, mikroorganismů atd.), ale také teplota a přítomnost volných radikálů (Houserová, a kol., 2006).

Rtuť je přetrvávající kontaminující látka v zemských a sladkovodních systémech, kde může proniknout do tkání a potravin, které ovlivňují přírodní a lidské zdraví. Od počátku průmyslové revoluce se antropogenní depozice rtuti zvýšila 3 – 5-krát. Částice (prach, saze) a plynné emise rtuti ze spalování uhlí a jiné průmyslové činnosti (např. spalování odpadu, průmyslová výroba a hutnictví) mohou být uloženy lokálně nebo zůstat v atmosféře rok nebo i déle, což činí rtuť důležitou jako místní, lokální i globální kontaminující látku. Vegetace hraje rozhodující roli v přenosu atmosférické rtuti do biosféry – rtuť se ukládá z atmosféry na povrchu listů nebo je přijímána průduchy a následně je přenesena do půd v hrabance a opadu. Depozice rtuti na zalesněných pozemcích může být 3 – 4-krát větší než ukládání na holé půdě bez porostu. Téměř všechna rtuť v lese je nepůvodní a pochází z atmosféry (Natali, et al., 2008).

Přes uvedené škodlivé účinky rtuti na mikrobiální aktivitu lesních půd a alarmující zprávy o nevyváženosti zásob rtuti v horní organické vrstvě lesních půd (označována jako vrstva surového humusu), znalosti toků a obratu rtuti uvnitř lesních půd jsou vzácné. Arktické lesní ekosystémy jsou zvláště citlivé na znečištění

ovzduší, protože znečišťující látky se snadno ukládají v korunách stromů právě v zimě a jsou transportovány do lesního porostu (Åkerblom, et al., 2008).

2.4 Vliv CO₂ na rtuť

Koncentrace CO₂ se zvyšují nevídaným tempem, a to především v důsledku spalování fosilních paliv. Vzhledem k silnému vlivu biologické složky, která řídí cyklus rtuti, mohou změny vyvolané CO₂ v rostlinných a půdních vlastnostech ovlivnit toky a uložení rtuti v půdních systémech. I když některé z účinků zvýšeného obsahu CO₂ na rostliny a půdy byly náležitě studovány, dopady na cyklus rtuti jsou méně známy. I když je známo, že obohacování atmosféry CO₂ může mít vliv na kyselost půdy a organické látky v půdě, a že tyto vlastnosti mohou mít vliv na adsorpci rtuti, je stále nejasné, jak zvýšení obsahu atmosférického CO₂ může ovlivnit rtuť v půdách. Zvýšené CO₂ může také ovlivnit vstupy rtuti do půdy prostřednictvím změny v biomase hrabanky. Nárůst biomasy opadu s obohacováním CO₂ může zvýšit příjem a ukládání rtuti do vrchní vrstvy lesní půdy (Natali, et al., 2008).

Významně vyšší koncentrace rtuti v půdě byly nalezeny tam, kde byla atmosféra obohacována o CO₂ jak ve smíšených stále zelených listnatých lesích tak v listnatých lesích po 7 a 9 let. Koncentrace rtuti byly o 20% vyšší ve smíšených stále zelených lesích a o 34% vyšší v listnatých lesích v horních 20 cm půdy v místech se zvýšeným obsahem CO₂ v ovzduší ve srovnání s okolními pozemky. Byly zde nalezeny snížené koncentrace rtuti v listí i v opadu z ploch se zvýšeným obsahem CO₂ v ovzduší jak v družích stromů, tak i v lokalitách. Tento pokles může být způsoben efektem zředění při větším růstu, tj. zvýšená akumulace sacharidů/hustota listů. Lesní klenba korun stromů dává podmínky k zachycení atmosférické rtuti a jejímu uložení do půdy a to především prostřednictvím opadu. Zatímco došlo k nárůstu biomasy v opadu vlivem zvýšeného CO₂, nedocházelo k žádným změnám v celkové depozici rtuti v opadu, protože vlivem obohacení atmosféry o CO₂ se koncentrace rtuti v opadu snížila. Zatímco depozice rtuti z opadu může představovat největší tok rtuti na lesních půdách, podkorunová depozice rtuti srážkami je také důležitým zdrojem rtuti v půdě (Natali, et al., 2008).

2.5 Rtut' a půdy amazonských pralesů

Amazonské půdy mají často vysokou koncentraci rtuti, včetně oblastí daleko od antropogenních zdrojů a jejich eroze v důsledku odlesňování nebo jiného využití půdy tak představuje významné riziko pro ekosystémy a veřejné zdraví. Obsah rtuti je vysoce proměnlivý v půdách nalézajících se v blízkém sousedství, ačkoli se vyvíjely na stejné zdrojové hornině a přijímaly stejný atmosférický vstup. Typ půdy se zdá být určujícím faktorem (Grimaldi, et al., 2008).

Ví se, že Amazonské půdy jsou významným zásobníkem rtuti kvůli její dlouhodobé akumulaci. Dřívější výzkum vyhodnotil dopady eroze na různých půdních typech, včetně změn v úrovních rtuti v nich. Výsledky výzkumu ukazují, že zvýšená eroze půdy a odlesňování působí i jako zdroj rtuti pro vodní ekosystémy, což je další příčina kontaminace ryb (Mainville, et al., 2006).

V nedávné době byla ztráta rtuti z amazonských půd dána do souvislosti s odlesňováním. Rtut' adsorbovaná na jemné částice je pak vyloužena z půdy, která byla ovlivněna odlesňováním. Mimo to, značný nárůst obsahu rtuti v sedimentech se objeví synchronně s drastickými změnami vstupů organických látek do půdy souvisejících s odlesňováním. Toto vymývání rtuti z půd je velmi škodlivé, protože rtut' působí na lidskou populaci poté, co vstoupí do vodního potravního řetězce (Farella, et al., 2006).

Dynamiku transportu rtuti v andské Amazonii velmi ovlivnila vulkanická činnost v oblasti Andské Cordillery. Tato oblast je považována za jeden z neaktivnějších „pásů rtuti“ na Zemi v důsledku jeho neustálé sopečné a tektonické činnosti, uvolňující více než 29 tun rtuti za rok. Tyto emise se mohou pohybovat na velké vzdálenosti nebo se ukládat v blízkosti sopečného popela a sopečných vyvělin. Půdy se sopečným popelem jsou náchylné k obsahu významného množství rtuti v důsledku jejich původu a jejich vysoké absorpční kapacity (Mainville, et al., 2006).

Ve srovnání s povrchem je exportován stejný podíl rtuti (- 18%) ze systému v hloubce 5 až 25 cm, avšak tento pokles vzhledem k objemu znamená uvolnění čtyřikrát více rtuti ($2,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$) z půdy. Porovnáme-li všechny zóny společně, ukazuje se, že na odběrném místě u řeky Rio Napo v oblasti And v Amazonii v Ekvádoru je nejvíce radikální uvolňování rtuti ($3,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ z hloubky 5 až 25 cm), což je pravděpodobně způsobeno stářím pastviny a rychlým zhoršováním stavu životního prostředí. Protože pastviny v Andách jsou nejmladší ze všech a jejich sklon

je většinou velký, došlo k významnému uvolnění rtuti z těchto půd. Andské půdy jsou zřejmě nejcitlivější na odlesnění (Mainville, et al., 2006).

2.6 Kationty v půdě

Poměr “odlesněné půdy / zalesněné půdy“ je dobrým ukazatelem dopadů zemědělské činnosti na půdní vlastnosti. Většina rozdílů se nachází ve skupině kationtů. Odlesněné půdy jsou velmi obohacené třemi bazickými kationty, Ca, Mg a K a také o stopový prvek Mn, který se zvyšuje 2 – 9-krát. Obohacení o kationty je výraznější v odlesněných jílovitých půdách než v odlesněných hlinito-písčítých půdách. Efektivní kationtová výměnná kapacita jílovitých půd se zvyšuje dvojnásobně. Přesněji řečeno, součet bazických kationtů (K, Ca, Mg) se zvyšuje pět a půl-krát na odlesněných lokalitách jílovitých půd, zatímco u hlinito-písčítých půd se kapacita zvyšuje čtyřikrát. Zvýšení obsahu bazických kationtů má následný vliv na pH, které nabývá hodnot od 4,2-4,3 do 5,2. Další významný rozdíl ve vlastnostech odlesněných půd je vidět v obsahu rtuti na odlesněných místech, což ukazuje jasnou tendenci vyčerpání půdy ve srovnání se zalesněnými lokalitami. Ztráta rtuti po odlesňování je výraznější v jílovitých půdách s 20% poklesem v porovnání s 10% poklesem v hlinito - písčítých půdách. To znamená, že hospodaření na jílovitých půdách naznačuje větší obohacení bazickými kationty a větší ztrátu rtuti. Navíc bylo zjištěno, že u jílovitých půd se rtuť uvolňuje z velkých částic ve větším rozsahu než z jemných částic, zatímco v hlinito – písčítých půdách dochází z větší části k odloučení z jemných částic (Farella, et al., 2006).

Protiklad mezi bazickými půdními kationty a rtuť je velmi důležitý dopad spojený s rozmanitým zemědělským využitím půdy. Ve dvou horizontech pod půdním povrchem, na kterých byla půda ponechána ladem, došlo k tendenci přivést půdu zpět k situaci, která je podobná původnímu nenarušenému lesem s nízkým obsahem K, Ca a Mg. Toto půdní využití vede k vyčerpání bazických kationtů a udržování obsahu rtuti v půdě. Čas využití půdy pro banánové plantáže, pastviny a ovocné sady je zpravidla spojen s vyšším obsahem kationtů a nižší úrovní obsahu rtuti v podpovrchové vrstvě. Tyto tři způsoby využití půdy mají společnou přítomnost vegetačního krytu na rozdíl od expozice půd prvkům spojeným s pěstováním jiných plodin. Tyto systémy se ve srovnání s úhorem a lesem vyznačují nižším počtem druhů rostlin a zjednodušenou strukturou zemědělství. Tato jednoduchost zřejmě hraje roli v méně efektivním cyklu živin, který byl pozorován.

Krmná tráva by mohla hrát podobnou roli u půdního využití pastvou, díky svému hustému zemskému krytu. Kromě toho časté požáry na pastvinách rovněž přispívají k pravidelnému doplnění bazických kationtů ze spálené biomasy trávy, a to způsobuje pozdější výměnu mezi bazickými kationty a rtutí (Farella, et al., 2006).

Na jedné straně je známo, že půdy získávají zpět živiny po spálení biomasy, a že tyto živiny jsou částečně využity při obdělávání půdy, ale nakonec časem stejně vyluhované. Na druhou stranu je podezření, že odlesňování způsobuje vyluhování rtuti z půdy a následnou kontaminaci celého vodního ekosystému. Propojení cyklu rtuti s cyklem živin je velmi významné pro pochopení odlesňování a zemědělských dopadů (Farella, et al., 2006).

Množství rtuti uvolněné z půdního systému lze posoudit porovnáním zátěže rtuti v zalesněných a odlesněných lokalitách. Tento přístup nám umožňuje určit úlohu půd jako zdroje rtuti. Povrchové snížení zátěže rtutí na pastvinách je z 18 do 50%, což představuje pro celý kraj v průměru $0,95 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ rtuti vystupující povrchem půdy. Tato hodnota je poměrně nízká vzhledem k nízké hutnosti ornice, výpočet však neobsahuje migraci rtuti spojené se ztrátou humusu. Čistá ztráta ve výši přibližně 5 cm ornice po odlesnění a vzhledem k tomu, že je ze systému odstraněn všechen humus a také organický horizont, je výpočet exportované rtuti $0,25$ až $4,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$. Nicméně, povrchová eroze má škodlivé účinky. Minerální horizonty půdy jsou rtutí zatíženy tři až pětkrát více než povrch, vzhledem k jejich vyšší hustotě. Následná přeměna na pastvinu vyvolá kaskádu reakcí uvolňujících rtuť z půdního systému, toto malé množství z horní vrstvy pak exponuje minerální horizont s vyšší zátěží rtuti. I když pozorujeme menší podíl vystupující rtuti ze systému mezi 5 až 25 cm (~10%) než na povrchu (~34%), absolutní množství rtuti vystupující je vyšší v hloubce ($1,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$) než na povrchu ($0,95 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$). Při hodnocení rozdílů mezi zátěží rtuti v lese a na pastvinách v hloubce 25 – 50 cm není žádný významný pokles (Mainville, et al., 2006).

Půdy tvořené zmineralizovanými serpentinity (hadci), které se vyskytují od západního po východní Davis Creek v Kalifornii vykazují lineární trend západ – východ a mají velmi vysoké proměnlivé koncentrace rtuti (34 – $290 \text{ mg Hg}\cdot\text{kg}^{-1}$), pravděpodobně v důsledku nerovnoměrného rozdělení rumělky a metacinnabaru (HgS) v mateční hornině. Povrchové hadce a naplavené půdy mají mnohem nižší koncentrace rtuti ($0,1$ – $3,8 \text{ mg Hg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ale jsou zvýšené ve srovnání s průměrnou půdní koncentrací rtuti v kontinentálních USA ($0,06 \text{ mg Hg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Zvýšená

koncentrace rtuti ve většině povrchových půd naplavených nebo se serpentinitovým původem naznačují vstup prostřednictvím odpařování rtuti spojené s rudnými ložisky. Odpařené emise rtuti mohou být značné, průměrný tok v dole Andalucia byl v rozmezí 51 – 790 ng Hg·m⁻²h⁻¹. Emise rtuti z mineralizované půdy v hadcovité půdě v důlní oblasti Knoxville byly v rozmezí 0 – 14,5 ng Hg·m⁻²h⁻¹. Z půdy z Franciscan skal bylo uvolněno 0 – 150 ng Hg·m⁻²h⁻¹, což převyšuje rozsah pro půdy považované za nekontaminované (0 – 15 ng Hg·m⁻²h⁻¹). Je pravděpodobné, že těžká rtuť může vytvářet komplexy s ligandy síry spojené s organickou hmotou v půdách od Millsholmu, tudíž zadržování rtuti je v nich efektivnější než u hadcovitých půd. Zvýšené koncentrace v povrchu půdy mohou pravděpodobně pocházet z nahromaděného prachu z nedaleké těžební oblasti. Tam je nárůst koncentrace rtuti v B – horizontu (8 – 25 cm) v profilu Climara ze 78 na 110 mg Hg·kg⁻¹, asi vlivem akumulace rtuti s jílovitými minerály v půdě. Koncentrace rtuti převyšují 3 mg Hg·kg⁻¹ v B1 – horizontu u půdy z Millsholmu poblíž Knoxville (5 – 26 cm), v prachovci a B – horizontu v profilu (15 – 35 cm) od Climara. Koncentrace rtuti v těchto dvou půdních profilech je anomální, možná v důsledku kontaminace vzorku nebo přesunem rtuti pocházející z mineralizovaného serpentinitu (Holloway, et al., 2009).

2.7 Akumulace rtuti v půdách a živočiších

Podle původu rtuti budou různé procesy určovat akumulaci tohoto prvku v půdě. Atmosférická rtuť je výsledkem obohacení atmosférickou depozicí na zemský povrch a infiltrací atmosférické rtuti do půdního profilu závisí především na procesech přenosu vody. Je pravděpodobné, že atmosférická rtuť migruje jako Hg²⁺ v komplexu s ostatními látkami přepravovanými vodou, například jako rozpuštěné organické látky, se kterými Hg²⁺ vykazuje silnou afinitu. V ultisolu je velmi nízká propustnost jílového horizontu a toto silně omezuje pronikání vody do těchto materiálů, což vysvětluje nízké koncentrace atmosférické rtuti v ultisolu. Naopak, silná hydraulická vodivost silných horizontů z mikroagregátů v oxisolu umožňuje rychlý vertikální odtok vody, což způsobuje přítomnost atmosférické rtuti až do hloubky téměř 3 metrů. Procesy bioturbace, které jsou intenzivnější v oxisolu mohou také přispět k vysvětlení akumulace rtuti v dané hloubce. Strukturální přemístění půdních částic většími bezobratlými (termiti, červy a mravenci) podporuje tvorbu mikroagregátů a tím zvyšuje hydraulickou vodivost půdy

ve stejnou dobu jako klesající přestup rtuti spojené s částicemi (Grimaldi, et al., 2008).

Koncentrace rtuti v tkáních žížal byly mezi 0,01 a 4,79 mg Hg·kg⁻¹ sušiny, s nejnižší akumulací u druhu žížaly načervenalé (*Lumbricus rubellus*) (medián 0,18 mg Hg·kg⁻¹ sušiny) a s nejvyšší akumulací u druhu žížaly *Octolasion cyaneum* (medián 1,85 mg Hg·kg⁻¹ sušiny). Koncentrační faktory těžkých kovů (půda – žížala) prokázaly vysokou variabilitu mezi různými druhy žížal. Analýzy ukázaly, že 34% z celkového rozdílu koncentrace rtuti v tkáních žížal lze vysvětlit chemickými parametry půdy, nadzemního humusu a kořenů. Z diagramů bylo zjištěno, že koncentrace rtuti v epigeických (povrchových) žížalách pozitivně korelovaly s koncentracemi rtuti v opadu a koncentrace rtuti v endogeických (hlubinných) žížalách ukázaly pozitivní vztah k hodnotám pH (Ernst, et al., 2008).

2.8 Důlní oblasti

Ekosystémy v okolí oblastí dobývání rtuti jsou obvykle vysoce kontaminované. Historické důlní činnosti zanechávají dědictví kontaminovaných důlních skládek, které mohou sloužit jako trvalý zdroj rtuti pro kontaminaci životního prostředí. Proto jsou přesné znalosti obsahu rtuti a jejích forem v odpadním materiálu nezbytné pro hodnocení rizik na životní prostředí a pro posouzení potenciálu budoucí migrace rtuti. V centrální části České republiky se těžily rudy rtuti na dvou místech, v Jedové Hoře a ve Svaté (cca 50 km JZ od Prahy). Tyto doly produkovaly podstatně méně rtuťové rudy ve srovnání se známými doly v Evropě, jako např. Almaden (Španělsko) a Idrija (Slovinsko). Těžební odpad na těchto místech byl nahromaděný na důlní haldy bez jakéhokoliv opatření, aby se zabránilo jeho šíření a bývalé důlní haldy různého stáří a složení stále zůstávají v původních lokalitách. Podle předchozích studií (např. Loreda et al. 2005) může dojít v budoucnosti k chemickému a fyzikálnímu šíření rtuti do prostředí v okolí důlních hald a může způsobit lokální problémy znečištění (Hojdová, et al., 2008).

Ve světě je mnoho velkých dolů na těžbu rtuti, které byly nedávno opuštěny, protože se snížily ceny rtuti a poptávka o ní. Přítomnost těchto opuštěných dolů pro těžbu rtuti má i nadále vliv na místní prostředí prostřednictvím důlních odpadů, kanalizací a emisí elementární rtuti. Vzhledem k tomu, že ekologické a toxikologické účinky rtuti jsou silně závislé na vyskytujících se chemických formách, hlavní zájem je o tu rtuť, jež se biologicky hromadí jako např. methylrtuť (Qiu, et al., 2006).

Obsah rtuti ve vzorcích důlních odpadů byl velmi variabilní, na Svaté byl relativně nízký ($0,7 - 1,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Obsah rtuti nepřekročil hranice stanovené podle české legislativy pro půdy ($0,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, nařízení vlády č. 13/1994). Nejvyšší koncentrace rtuti byly nalezeny na Jedové Hoře ve vzorcích ze dna prohlubeniny hluboké 1 metr (až $120 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Tak vysoké koncentrace mohou být přičítány vertikální migraci rtuti z horní vrstvy skládky. Obecně platí, že důlní odpadní materiály jsou hlášeny jako velmi heterogenní, protože mohou obsahovat rtuť ve formě HgS , kovovou Hg^0 nebo jako Hg^{2+} vázanou na minerální nebo organické složky (Hojdová, et al., 2008).

Ačkoliv byla ve studiích z oblastí jihozápadní Číny věnována malá pozornost rtuti, data hlášená z nedávných výzkumných prací prokázala závažné kontaminace životního prostředí rtutí v oblasti Lanmuchang, v jihozápadní Číně. Výzkum v oblasti geochemie životního prostředí prokázal souvislost výskytu rtuti s historickou těžbou a zpracováním rudy a to zejména s methylrtutí (Qiu, et al., 2006).

V tropických půdách Amazonie, které jsou daleko od oblastí dolování zlata, se zjistilo, že převládají buď litogenní nebo atmosférické zdroje rtuti podle typů půdy a horizontů. Distribuce rtuti v těchto půdách závisí na pedologických procesech, které mají odlišný vliv na hromadění nebo pohyb rtuti v závislosti na jejím zdroji. Akumulace litogenní rtuti odvozené od matečné horniny je funkcí zvětrávání půdy, kdežto akumulace atmosférické rtuti dopadající na povrch je funkcí jejího dálkového přenosu. Vyčerpání litogenní a atmosférické rtuti je funkcí chemické nebo částicové eroze fází vázajících rtuť, nebo vzniká vlivem vypařování Hg^0 z povrchu. Korelace mezi obsahem rtuti a množstvím nosných částic může být způsobena přímou afinitou rtuti pro tyto nosné fáze, ale může také nepřímou vyjadřovat procesy spojené s pedogenezí a půdním fungováním (Grimaldi, et al., 2008).

Vzorky orné půdy odebrané v blízkosti nebo v historických důlních místech vykazují velké zvýšení koncentrací celkové rtuti v rozmezí $8,4 - 610 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Maximální koncentrace $610 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ celkové rtuti v obdělávané půdě byla získána na orné půdě v oblasti Lanmuchang v jihozápadní Číně. Jednotlivé malé doly na těžbu rtuti, které byly zavřené na začátku roku 1990, pracovaly v této oblasti po dlouhou dobu. Proto antropologické činnosti související s doly mohou odpovídat vysokému obsahu celkové rtuti na orné půdě. Nenarušené přírodní půdy v dobývacím prostoru vykazují obecně nižší obsah celkové rtuti, v rozmezí $0,41 - 25$

mg·kg⁻¹. Hodnoty obsahu celkové rtuti v těchto vzorcích jsou mnohem vyšší v porovnání s nekontaminovanými půdami z celého světa, které se pohybují v rozmezí 0,01 – 0,5 mg·kg⁻¹ celkové rtuti (Qiu, et al., 2006).

2.9 Rtuť v lesních půdách

V České republice jsou hlášeny obsahy rtuti v humusových horizontech jehličnatých lesů v lokalitách Jedová Hora a Svatá (cca 50 km JZ od Prahy) v rozmezí 0,9 – 1,25 μg·g⁻¹. Další studie v centrální oblasti České republiky (Příbramsko) udávaly obsahy rtuti až 6,5 μg·g⁻¹ v půdách přímo ovlivněných tavením olova (Hojdová, et al., 2008).

Zalesněná povodí jsou důležitou součástí terestrického cyklu rtuti a spojením mezi atmosférou a vodním prostředím. Studie v odlehlých oblastech zdůraznila roli zalesněných povodí jako filtru pro transport rtuti mezi atmosférou a hydrosférou. Lesní hrabanka je účinným úkrytem pro deponovanou atmosférickou methylrtuť, ale je méně účinná pro celkovou rtuť. Rozsáhlé zásoby anorganické rtuti v minerálních půdách jsou pravděpodobně z mobilizace rtuti z lesní hrabanky, jak se nedávno ukázalo u olova. Uvolnění rtuti z lesní hrabanky lze považovat za prvotní krok mobilizace rtuti v zalesněných povodích a zdá se být velmi důležité pro tok rtuti do vodních systémů (Hojdová, et al., 2007).

Stromy a opad jsou hlavními vstupními cestami pro celkovou rtuť a methylrtuť do lesní půdy. Ony jsou také hlavními ovládacími prvky dynamiky transportu rozpuštěných organických látek v hrabance. Manipulace se stromy a opadem poskytuje jedinečnou příležitost prozkoumat účinky změn koncentrace rozpuštěného organického uhlíku na mobilizaci methylrtuti a celkové rtuti v hrabance v terénních podmínkách (Hojdová, et al., 2007).

Průměrné koncentrace methylrtuti v podkorunových srážkách se pohybovaly v rozmezí od 0,09 do 0,14 ng Hg·L⁻¹ pod stromy a také v perkolátu Oi horizontem a snižovaly se s hloubkou hrabanky na 0,02 – 0,03 ng Hg·L⁻¹ v Oa perkolátu. Průměrné koncentrace celkové rtuti byly v podkorunových srážkách většinou v podobném rozsahu pod stromy, i vodě prosakující horizonty Oi a Oe (9,27 – 25,5 ng Hg·L⁻¹), ale vzrostly v prosakujícím horizontu Oa (20,8 – 42,2 ng Hg·L⁻¹). Dvojitý opad vedl ke zvýšení koncentrací celkové rtuti ve srovnání s kontrolou. Tento účinek byl statisticky významný pro perkolát Oi horizontu (Hojdová, et al., 2007).

Jak je tomu v případě horizontů pod povrchem, lesní půdy vykazují korelaci s proměnnou koncentrací rtuť, což ukazuje na větší množství rtuť, které se nachází v nenarušených půdách. Časově proměnné veličiny jsou charakterizovány různorodým zemědělským využitím půdy, které souvisí s protikladem mezi bazickými kationty a rtuť. Vzhledem k rozporu mezi rtuť a bazickými kationty zjistíme, že všechny způsoby zemědělského využití půd jsou úzce spojeny s bazickými kationty, zatímco lesy a půda ponechána na čas ladem souvisejí s rtuť. Tento posledně jmenovaný způsob využití půdy je možný pouze na jílovitých půdách. Rozdíl mezi lesní půdou a půdou zemědělsky využívanou je shodný v rozdílu mezi bazickými kationty a rtuť. V návaznosti na tento trend bylo konstatováno, že obě formy dostupného dusíku, NO_3^- s NH_4^+ v půdě, jsou ve vzájemném vztahu s rtuť. Obecně platí, že všechny zemědělské činnosti mají tendenci způsobovat úbytek rtuť, NO_3^- a NH_4^+ a obohacení bazickými kationty v povrchových půdách (Farella, et al. 2006).

Nejvyšší koncentrace rtuť byla pozorována v Polsku v povrchových horizontech s nejvyšším obsahem organické hmoty a nejnižší v nejhlubších horizontech profilů. Taková situace je pravděpodobně také důsledkem vypouštění průmyslových a komunálních odpadních vod v minulém století přímo do řek největších evropských zemí. Vzhledem ke specifickému složení, vysokému obsahu organických látek a vysoké úrovni spodní vody, naplavené lužní půdy trvale váží rtuť. Tato vlastnost je známa jako “paměť kontaminace“. I několik let po odstranění zdroje kontaminace úroveň rtuť v lužních půdách zůstává stabilní (Róžański, 2009).

Pro posouzení úrovně znečištění v povrchových půdních horizontech je nutné najít přirozený obsah rtuť, takzvané geochemické pozadí. Z uvedeného vyplývá, že přirozený obsah rtuť v půdách analyzovaného území by neměl překročit $20 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($17,1 - 19,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). V půdách tvořených fluvio-glaciálním pískem byla hodnota mnohem nižší a pohybovala se mezi $5,6$ a $7,0 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Přírodní obsah rtuť byl mnohem vyšší v naplaveném materiálu a dosáhl dokonce $384,7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Podobné hodnoty geochemického pozadí byly indikovány v naplavených půdách ve Francii a pohybovaly se mezi 27 a $406 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, zatímco geochemické pozadí nekontaminovaných půd v Belgii byly zjištěny hodnoty na úrovni $30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Róžański, 2009).

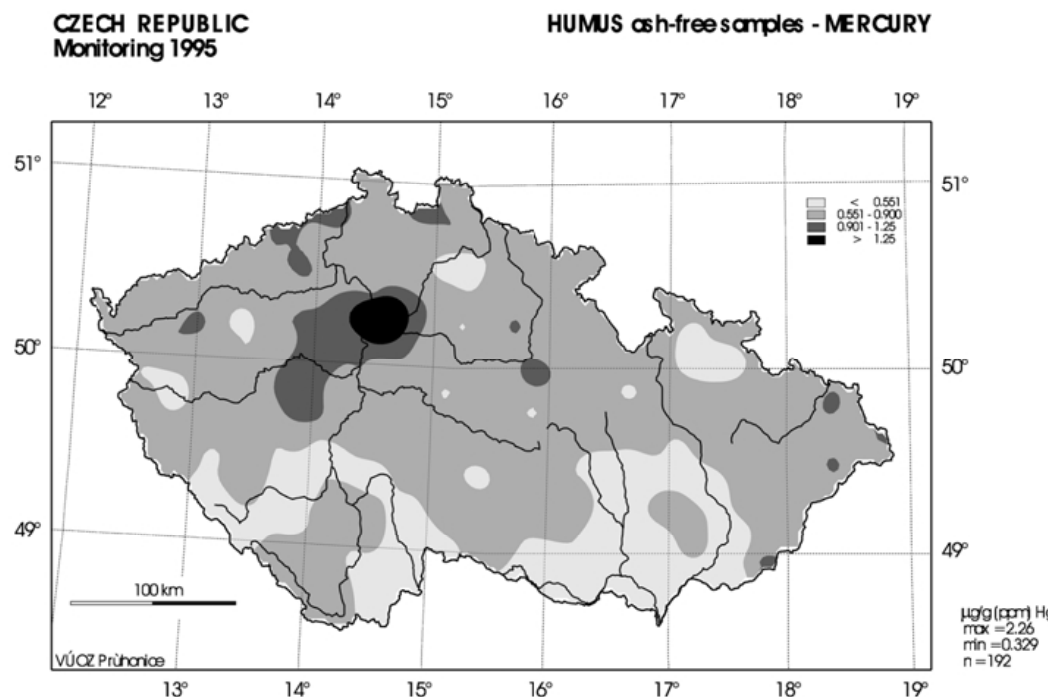
Feng (2006) zjistil, že u pěti zkoumaných půdních profilů z oblasti Hezhang County, Guizhou v Číně, jsou koncentrace rtuti ve vrchních půdách (0-5 cm) výrazně zvýšené ve srovnání s půdou v hloubce 10 cm a níže (Feng, et al., 2006).

Obsah rtuti v minerálních horizontech další zkoumané oblasti Haplic Podsol byl typický pro nekontaminované půdy Tucholského lesa a Bydgoského lesa v Polsku. Co je však zajímavé, je vysoký obsah celkové rtuti v organickém horizontu půdy. Taková koncentrace rtuti v lesních organických horizontech může být způsobena záchytem znečištění korunami stromů. Pád listů a jehličí s vysokým obsahem rtuti zapříčinily zvýšení obsahu rtuti v povrchových horizontech a později i v hlubších částech profilu. Proces vede k vyšší koncentraci rtuti v lesních půdách ve srovnání s bezlesými částmi téže oblasti. Stejný jev lze pozorovat jak v kopcovitých oblastech, tak i v rovinách (Rózański, 2009).

Koncentrace rtuti v půdách ze studijních oblastí severního Švýcarska byly obecně vyšší než v hrabance nebo kořenech, v rozsahu od 0,046 do 0,553 mg·kg⁻¹ půdy s mediánem 0,169 mg·kg⁻¹ půdy. Koncentrace rtuti extrahovatelné Lakanenovým roztokem pro určení biopřístupných forem z půd byly obvykle nižší než mez detekce použitím metody (< 0,001 mg Hg·kg⁻¹ půdy). Koncentrace rtuti mají tendenci být vyšší u kořínků než v nadzemním humusu (Ernst, et al., 2008).

Nejvyšší obsah rtuti v humusu hrabanky se nachází v průmyslové části středních Čech (spalovny odpadu, spalování hnědého uhlí /lignitu/, výroby cementu, chemický průmysl), v okolí Příbrami (zpracování polymetalických slitin a amalgamy), v části České republiky v oblasti Černého trojúhelníku I (hraniční oblast mezi Německem, Polskem a Českou republikou) (průmyslové spalování hnědého uhlí (lignitu) a provoz chemického průmyslu, včetně chlor-alkalické výroby) v průmyslové části severovýchodních Čech (chemický a strojírenský průmysl) a v oblasti těžby černého uhlí u Trutnova a v části České republiky v oblasti trojúhelníku II (hraniční oblast mezi Polskem, Slovenskou republikou a Českou republikou) (Suchara, Sucharová, 2002). V západní části středních Čech, se nachází další kritická oblast (hot spot) - viz. obr.č.1, která pokrývá přibližně 5 170 km² (6,5% z ČR). Je ohraničena Plzní, Rokycany, Příbramí, Průhonicemi, Starou Boleslaví, Mělníkem a Kladnem. Tato oblast byla ovlivněna průmyslovou činností jako jsou hutě, tavení a zpracování barevných kovů, těžba a zpracování rud a vápence pro výrobu cementu, provoz elektrárny atd. přijímá nejvyšší zatížení Cd, Co, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, V a Zn. Místní zdroje emisí jsou především elektrárny, stejně jako některé

depozice znečišťujících látek přepravené z přilehlých hot spot ze severozápadních Čech kontaminovaly tuto oblast (Suchara, Sucharová, 2002).



Obr. č. 1: Distribuce současné a pozměněné koncentrace rtuti v humusovém horizontu jehličnatých lesů v České republice (Suchara, Sucharová, 2002).

Organické horizonty odebrané na lokalitách s bukovým porostem vykazovaly výrazně nižší obsahy rtuti ($336 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) v porovnání se smrkovým porostem ($558 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$). S rostoucí hloubkou a klesajícím obsahem humusu se koncentrace rtuti v půdním profilu snižovaly, přičemž obsah rtuti v minerálních horizontech půd Lesního potoka (okolí Prahy) byl nižší než v povodí Na Lizu (okolí Prachatic, NP Šumava). Vyšší koncentrace rtuti na povodí Na Lizu jsou pravděpodobně způsobeny vyšším obsahem organického uhlíku v minerálních horizontech než na Lesním potoku (Hojdová, a kol, 2006).

HNO_3 - extrahovatelné koncentrace rtuti v orné půdě Švýcarska byly hlášeny ve stejném rozsahu jako z nekontaminovaných lesních lokalit, ale šest z 27 půd se pohybovalo v rozmezí hlášených z povrchu organických horizontů půd ($0,3$ a $0,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ve střední Evropě. U většiny lesních půd (více než 80%) byla koncentrace Hg vyšší než přírodní pozadí rtuti pro tuto oblast ($0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suché půdy), jak dokládá Grigal (2003). Uvádí možné obohacení rtutí v důsledku atmosférického znečištění (Ernst, et al., 2008).

Koncentrace celkové rtuti se značně zvýšily v dvojnásobném opadu ve srovnání s kontrolou. Podobně se zvýšily koncentrace rozpuštěného organického uhlíku. Vstup rozpuštěného organického uhlíku do lesní hrabanky byl podstatně zvýšen při zdvojnásobení opadu, ale nezvýšil se vstup celkové rtuti, protože hlavním zdrojem celkové rtuti byly podkorunové srážky. Zjištěný obsah celkové rtuti v perkolátu Oi horizontu je tedy pravděpodobně způsoben uvolněním adsorbované celkové rtuti do komplexu s rozpuštěným organickým uhlíkem. Mobilizace rtuti z humusu a z lesní hrabanky zvýšením rozpuštěným organického uhlíku se zdá být mnohem důležitější než přísun rtuti z humusu jak naznačuje silný vzájemný vztah mezi celkovou rtutí a rozpuštěným organickým uhlíkem v prosakující vodě z lesní půdy. Tento závěr je podpořen velkou afinitou rtuti na organické látky v půdě a velkou stabilitou organických komplexů rtuti. Rozdíly ve sklonu regresí mezi rozpuštěným organickým uhlíkem a koncentracemi celkové rtuti ukazují různou vazebnou kapacitu rozpuštěných organických látek mobilizovaných z různých hloubek lesní hrabanky. Sklon Oi horizontu je menší než ve větší části rozložená lesní hrabanka a představuje menší vazební kapacitu a nižší vazebnou sílu sekundárně rozpuštěných organických látek humusu. Slabě rostoucí koncentrace rozpuštěného organického uhlíku v horizontu Oa po zdvojnásobení opadu vedlo k poměrně velkému zvýšení koncentrace celkové rtuti. Opačný vztah mezi koncentracemi celkové rtuti a pH řady ke konkurenci mezi H^+ a rtutí vede ke zvýšené desorpci rtuti (Hojdová, et al., 2007).

Pro určení přijatelného uložení rtuti do půdy jako podpora pro regulační rámce zaměřené na mezinárodní omezování znečištění, pochopení toku rtuti v půdách a odpovědi ke snížení nebo zvýšení rtuťové depozice je zásadní. V roce 1998 byl dohodnut dle úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejícím hranice států (UN/ECECLRTAP) mezinárodní protokol o snižování antropogenních emisí rtuti, olova a kadmia do ovzduší (Aarhus, Protokol o těžkých kovech) (Åkerblom, et al., 2008).

2.10 Rtuť v rostlinách

Některé rostliny jsou schopny absorbovat rtuť, která je přítomna v dostupné formě v půdě. Kořen působí jako bariéra proti vstupu rtuti do metabolismu. To je zásluhou tvorby ligandů mezi kovem a karboxylovými skupinami. Přesun rtuti do nadzemních částí rostlin je velmi běžný u druhů, které jsou schopné hromadit rtuť.

Dopravní cesta je prostřednictvím xylému (dřevní část cévních svazků rostlin) a prostřednictvím regulovaného průtoku pro transpiraci jako floém (lýková část cévních svazků rostlin). Tento způsob umožňuje kovu dosáhnout všechny části rostlin, včetně ovoce a semen (Millán, et al., 2006).

Koncentrace celkové rtuti jsou obvykle přítomné v široké škále různých druhů vegetace v rozmezí 0,02 – 55 mg·kg⁻¹. Ve všech vzorkovaných druzích v zájmové oblasti (Lanmuchang v jihozápadní Číně) jak lišejníky tak zelené zeli vždy vykazují vysokou schopnost akumulace rtuti. Koncentrace celkové rtuti ve všech jedlých rostlinách nasbíraných v oblasti Lanmuchang byly obvykle vyšší než 0,01 mg·kg⁻¹, maximální koncentrace doporučené Čínskou národní standardní agenturou (1988) s toleranční mezí rtuti v lidských potravinách. Zároveň koncentrace methylrtuti ve vegetaci jsou také vysoké, v rozmezí 0,65 – 5,5 µg·kg⁻¹. Většina jedlých plodin má vždy vysoký podíl methylrtuti z celkové rtuti. Obsah celkové rtuti může dosáhnout až 6%. Jedlé rostliny v této oblasti také vykazují vysokou schopnost akumulace methylrtuti. Abnormálně vysoký podíl methylrtuti v těchto jedlých rostlinách představuje velmi závažné zdravotní problémy z expozice methylrtuti na místní obyvatele (Qiu, et al., 2006).

Rostliny s vysokým obsahem rtuti se nacházejí v oblastech se zvýšenou koncentrací celkové rtuti v půdě, v důsledku antropogenní činnosti jako je těžba. I když dostupnost rtuti je nízká, těkavost rtuti vede k příjmu jejích par přes průduchy, což musí být vzato v úvahu. Údaje ukazují, že jednoleté a sezónní rostliny mají nižší obsah rtuti ve srovnání s víceletými rostlinami, jako např. zakrnělé keře a křoviska, která prezentují vyšší obsah (Př.: tamaryšek africký – *Tamarix africana*). Koncentrace celkové rtuti v půdě není rozhodující údaj při určování přenosu do vegetace, protože tento proces závisí na dostupné frakci kontaminantu v půdě. Proto rozdíly v koncentracích rtuti v půdách pozemků, stejně jako v rostlinách, naznačují, že musí být brány v úvahu další rozhodující faktory v půdních procesech a rostlinném přenosu (Millán, et al., 2006).

Nízký poměr celkové rtuti a methylrtuti ve vzorcích mezi vegetací a orné půdy odebraných ze zájmové oblasti může naznačovat, že primární cesta akumulace rtuti ve vegetaci je nevhodně odvozena z orných půd na kterých rostly. Obecně lišejníky a mechy postrádají aktivní příjem z půdního roztoku. Přijímaná výživa je primárně odvozena z atmosférických zdrojů. Lišejníky a mechy byly velmi používané při sledování koncentrací a depozice rtuti nesené vzduchem. Jelikož

všechny lišejníky získané ze zájmové oblasti rostou na skále, hlavním zdrojem výživy by měl být pravděpodobně příjem z místních dešťových srážek. Proto vysoké zatížení koncentrací celkovou rtutí v lišejnících naznačují zdroje atmosférické rtuti, které se shodují se silnou rtuťovou kontaminací atmosféry v Lanmuchangské důlní oblasti (Qiu, et al., 2006).

Na základě některých výsledků je nejvhodnější rostlinou pro příjem všech rizikových prvků (Cd, Hg, Cu a Zn) topol. Pouze na půdách kontaminovaných rtutí by se dosáhlo lepšího výsledku pěstováním kukuřice. Vrba není vhodná pro komplexní využívání pozorovaných rizikových prvků (Kacálková, et al., 2009).

Významná korelace mezi koncentracemi rtuti v tkáni listu a v tkáni kořene je na druhé straně odrazem kombinace významné korelace mezi koncentrací celkové rtuti v okolním vzduchu a v půdě a významné korelace mezi koncentrací rtuti v půdě a v tkáni kořene. Celková koncentrace v tkáni kukuřičného zrna byla nejnižší ze všech tkání rostlin kukuřice, ale průměrná koncentrace dosáhla $0,011 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, což se blíží k čínské směrnici limitu pro potraviny, který je jiný než pro ryby, který je $0,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Feng, et al., 2006).

Absorpce rtuti se zdá být ovlivněna různými vlastnostmi a mírou zatížení na zvoleném místě pěstování. Na místě s nízkým obsahem rtuti v půdě byl nalezen nejvyšší příjem tohoto prvku u vrby. Na místě odběru je obsah rtuti v půdě dvacetičtyřnásobně vyšší a vyšší příjem rtuti z půdy byl pozorován i u nadzemní biomasy kukuřice. Tato rostlina také produkovala největší množství biomasy v obou rocích pěstování. Příjem rtuti byl vyšší v půdě s nižší koncentrací rtuti ve všech rostlinách v průběhu dvou let (Kacálková, et al., 2009).

Rostliny z ploch, kde je obsah rtuti v půdě vyšší, vykazují vysokou schopnost akumulovat rtuť v nadzemní části. Všechny vybrané druhy, jablečník obecný (*Marrubium vulgare*), *Cynoglossum cheirifolium*, šťovík (*Rumex induratus*) a tamaryšek africký (*Tamarix africana*), jsou trvalé rostliny (byliny a křoviny), které by mohly zvýšit dobu pro akumulaci rtuti ve stoncích a listech. Všechny by mohly být považovány za fytoextraktory použité ve fytotechnologii (Millán, et al., 2006).

Obecné obsahy rtuti v zemědělských plodinách jsou $0,02 - 0,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, sláma a zrno obilovin obsahují $0,001 - 0,06 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a víceleté trávy $0,013 - 0,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Obsahy rtuti ve smrkovém jehličí v lesích ovlivněných průmyslovým znečištěním jsou uvedeny v rozmezí $0,004 - 0,060 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, v průmyslové oblasti $1,92 - 5,23 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Průměrné obsahy rtuti v listech jednotlivých druhů lesních dřevin na

Slovensku byly zjištěny v tomto pořadí: buk (*Fagus sylvatica*) $0,112 \pm 0,110$; dub (*Quercus robur*) $0,083 \pm 0,090$; smrk (*Picea abies*) $0,100 \pm 0,102$; borovice (*Pinus sylvestris*) $0,145 \pm 0,396$ a jedle (*Abies alba*) $0,133 \pm 0,100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Některé druhy rostlin např.: kuřička štěinkatá (*Minuartia setacea*) a bříza papírová (*Betula papyrifera*), mohou hromadit rtuť ve vyšších částech. Celkový obsah rtuti v biomase rostlin ve světě se odhaduje na $1,841 \cdot 10^5 \text{ t}$ (Suchara, et al., 2007).

Nejvyšší koncentrace rtuti byly zjištěny v kořenech kukuřice ($1,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $7,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a v listech vrby ($0,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $0,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Vrba Smithova (*Salix smithiana*) použita v experimentu nahromadila vyšší koncentrace rtuti v nadzemní biomase ve srovnání s vrbou košíkářskou (*Salix viminalis*). Celková koncentrace rtuti v nadzemní biomase vrby košíkářské (*Salix viminalis*) se dostala na maximální hodnotu $0,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Kacálková, et al., 2009).

Koncentrace rtuti v tkáních rostlin kukuřice (*Zea mays*) se zvyšovala v pořadí zrna < stonky < kořeny < listů. Z nejvyšší koncentrace rtuti v listové tkáni vyplývá, že absorpce plyné rtuti do listů je převládající cesta, kterou se rtuť hromadí v obilovinách. Lindberg et al. (1979) navrhl dvojí mechanismus kontrolované absorpce rtuti v rostlinách s částečnou absorpcí z půdy kořeny a převažující absorpcí z atmosférických zdrojů listy (Feng, et al., 2006).

2.11 Sanace kontaminovaných půd

Bylo použito mnoho sanačních technik pro odstranění rtuti z kontaminované půdy, např. promývání půdy s halogenovanými látkami a ohřívání půdy nad $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Nicméně, tyto techniky jsou poměrně drahé a mohou být použity pouze v malém měřítku. Fytoextrakce, tj. použití rostlin hromadících kov pro odstranění znečišťujících látek z půdy podle jejich zaměření v sklizených částech je považovaná za šetrnou metodu k životnímu prostředí pro odstranění kovů z kontaminovaných půd v původním místě. Nízká biologická dostupnost rtuti v kontaminované půdě je limitujícím faktorem ve fytoextrakci rtuti. Protože většina rtuti v půdě je pevně vázaná na organickou hmotu nebo sulfidy, obvykle jen stopové koncentrace rtuti se nacházejí v půdním roztoku. Metody jsou potřebné k zvýšení biologické dostupnosti rtuti v půdě jestliže probíhá fytoextrakce. V případě rtuti je jodid účinnější pro mobilizaci rtuti v půdě než kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA), neboť tvoří především rozpustný komplex HgI_4^{2-} s konstantou stability 29,79. Jodid draselný (0,1 M) byl použit pro mobilizaci rtuti v elektro-kinetické sanaci rtuti

kontaminované půdy. Avšak toxicita jodidu v rostlinách musí být brána v úvahu při použití fytoextrakce, protože jodid může inhibovat procesy fotosyntézy intracelulární oxidace jodidu na jód. Správné množství přidaného jodidu by mělo být zjištěno před použitím jodidu ke zvýšení fytoextrakce rtuti. Rtuť je považována za jeden z nejvíce toxických kovů pro rostliny. Mnoho fyziologických a biochemických reakcí (např. světlé a tmavé reakce fotosyntézy, absorpce minerálních živin a transpirace) jsou ovlivněny rtutí. Proto musí být rostliny dostatečně tolerantní k rtuti, jestliže je plánováno jejich využití pro fytoextrakci. V letitých rtutí kontaminovaných půdách není toxicita rtuti tak zřejmá z důvodu její nízké biologické dostupnosti v těchto půdách (Wang, Grager, 2006).

Tradiční sanační metody u kontaminovaných půd (např. výkop půdy, vyklápění, vitrifikace, stabilizace a půdní promývání/ vyplachování) jsou obecně drahé a škodlivé pro půdní vlastnosti. Fytoextrakce, použití rostlin pro extrakci kontaminantů z půd, v současné době představuje alternativu pro půdy znečištěné kovy. Nízká mobilita a biologická dostupnost některých kovových prvků (např. Pb a Cr) může omezit efektivitu fytoextrakce (Kacálková, et al., 2009).

3. METODIKA

3.1 Popis lokalit

3.1.1 Popis lokalit u Lenory

V okolí obce Lenora na Prachaticku, v nadmořské výšce 786 m. n. m., se nachází 8 odběrových míst (viz obr. č. 2), kde byly 15. 7. 2009 odebrány převážně vzorky lesních půd podle vyvinutých horizontů. Z vrchu Chlustov nacházejícího se na západní straně od Lenory v nadmořské výšce 1094 metrů, byly vzorky odebrány z bukového porostu ze západní strany vrchu a také z východní strany z buko-jedlového porostu. Z vrchu Ptáčník ležícího východně od obce v nadmořské výšce 868 metrů byly vzorky odebrané ze smrkového porostu, dále z okolí pokusné plochy ZF JU přímo nad obcí Lenora východním směrem a z lokality rezervace Velká niva taktéž se smrkovým porostem. Další odběrné místo se nachází na Zátoňské hoře (1028 m. n. m.), kde se porost mění na smrko-bukový, kterou můžeme najít severovýchodně od obce. Z jižní strany obce byly vzorky odebrány z lokality Radvanovické sedlo z nadmořské výšky 905 m. n. m. Zde byly odebrány vzorky ze dvou míst, kde byl odlišný porost smrkový a bukový porost. Odběrná místa se nacházela zhruba 100 metrů od sebe. Tato lokalita se již nachází na území NP Šumava, proto bylo nutné mít povolení ke vstupu od příslušného polesného ze Zátoně.

Největší geologické zastoupení v širokém okolí lokality mají přeměněné horniny (svorové ruly, pararuly až migmatity). Vrch Ptáčník a vzorkovaná část Zátoňské hory jsou tvořeny migmatity až anatexity, které tvoří mineralogické složení cordierit biotit.

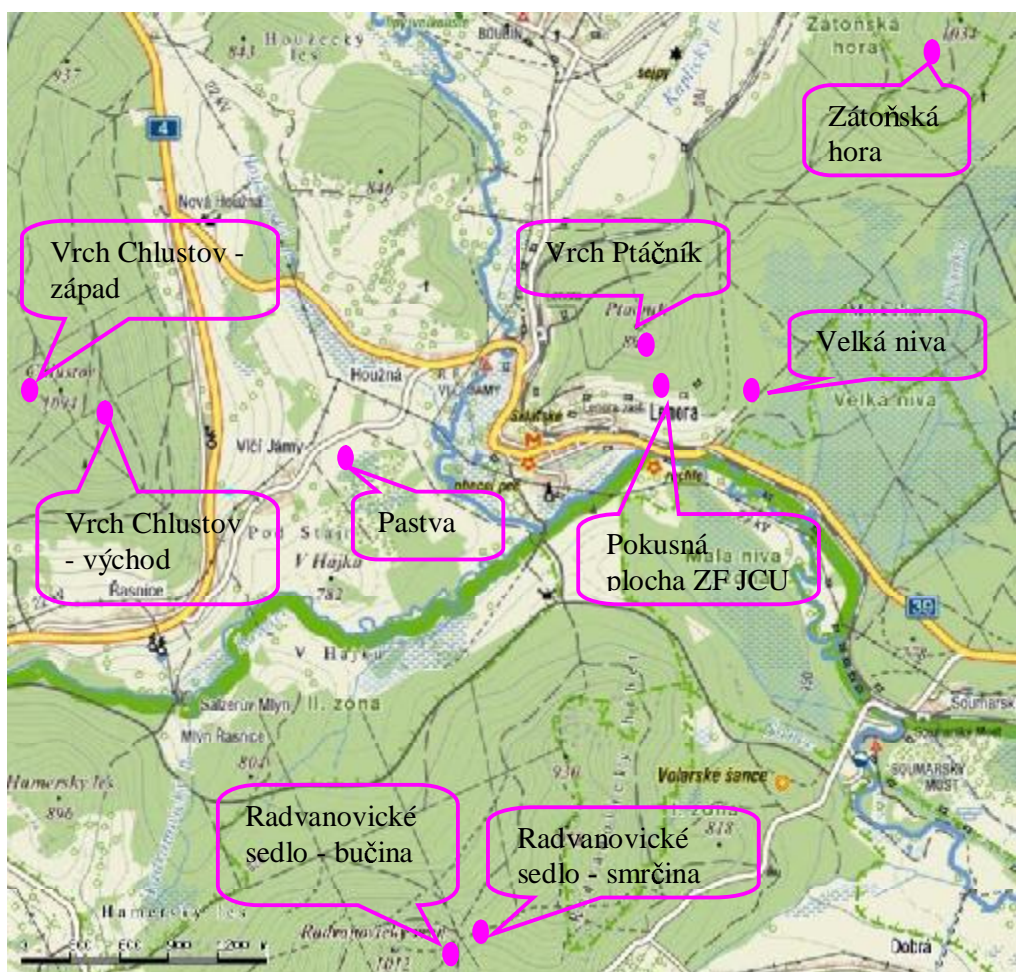
Odběrné místo na Velké nivě se nachází na písčito-hlinitém až hlinito-písčitém sedimentu. Zde se také vyskytují slatiny, rašeliny a hnilokaly, které jsou na odběrném místě (pastviny) u obce Vlčí Jámy. Tyto horniny patří do typu hornin nezpevněného sedimentu.

Na Radvanovickém sedle a nevzorkované části Zátoňské hory se nachází migmatit (1303), který má mineralogické složení: biotit, cordierit biotit, ± sillimanit, granát a muskovit, což jsou metamorfity. Na vrchu Chlustov se vyskytují také migmatity (1302), ale jiného mineralogického složení. Od migmatitu na Radvanovickém sedle se liší absencí samotného biotitu (viz obr. č. 3) (Bokr, 2008).

Také byla vzorkována pastvina u obce Vlčí Jámy nedaleko od Lenory. Z této lokality byly odebrány vzorky ze čtyř různých míst na obvodu pastviny. Ještě zde byly odebrány vzorky z pokusné plochy ZF JU, z míst která byla hnojena NPK hnojivy v dávkách $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ve formě ledku amonného, který obsahuje 27,5% N. Hnojení N je rozděleno do dvou dávek, 75 kg na jaře a 25kg po první seči. Pro hnojení fosforem se používá 46% superfosfát trojitý v dávce $30 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. K hnojení draslíkem se používá 60% draselná sůl v dávce $50 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Dále byly odebrány vzorky půd okolo pokusné plochy, kde je porost ponechán ladem a z prostoru nad pokusnou plochou, kde je porost 2x ročně sečen.

3.1.1.1 Sklárna v Lenoře

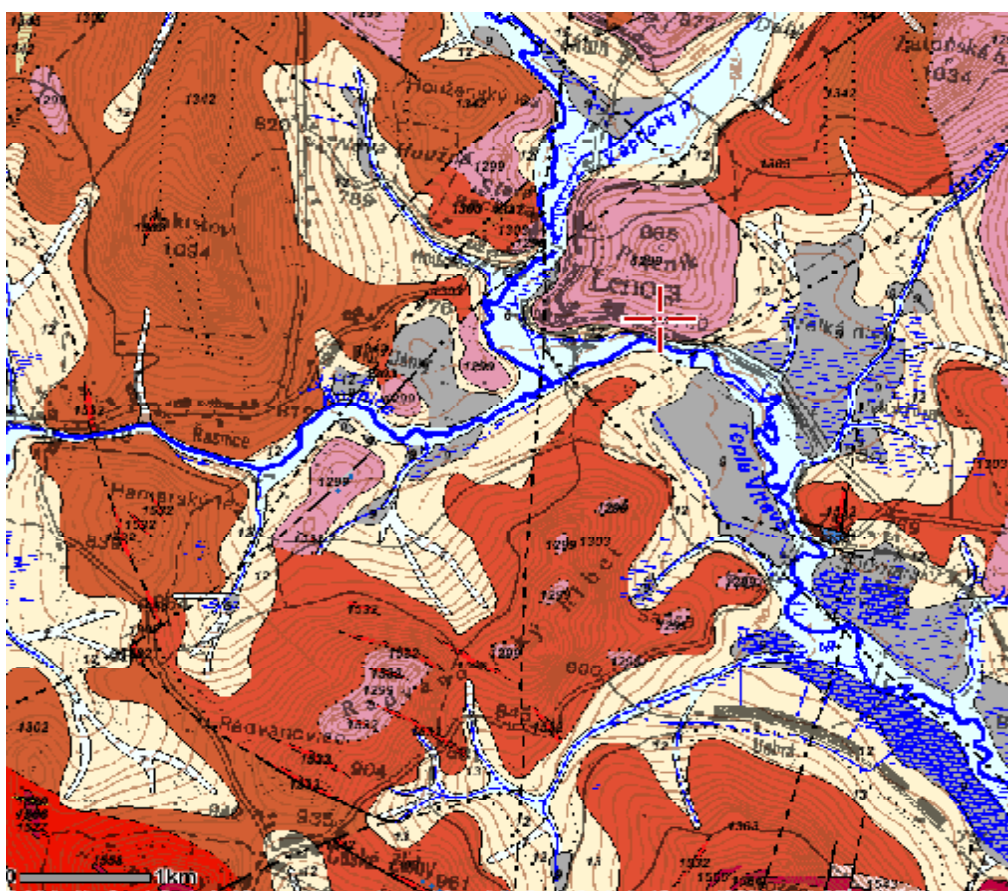
První pec sklárny v Lenoře byla zapálena v roce 1834 a jméno dostala podle manželky tehdejšího majitele panství Eleonory ze Schwarzenbergu. Tím začala slavná sklářská výroba v Lenoře (Eleonorenhain). Kromě tabulového skla a sklíček do hodin se zde v třicátých letech vyrábělo zejména olovnaté křišťálové sklo, které se vyznačovalo neobyčejnou krásou, čistotou a trvanlivostí proti působení světla v takové míře, které prý nebylo u nás až do té doby dosaženo. Z historických pramenů též vyplývá, že se ve sklárně též vyráběly zrcadla starou amalgámovou technologií, při které se používá rtuť v podobě amalgámu stříbra, který se nanáší na tabulové sklo. Od poloviny 80. let 19. století se tak v Lenoře stále více vyrábělo hutně zdobené sklo. Sklárna tak vyšla vstříc zájmu evropských zákazníků o tento typ skla a lenorské výrobky měly zaručený odbyt v mnoha evropských zemích. Od roku 1995 je sklárna mimo provoz (Maříková, 2008).



Obr. č. 2: Určení lokalit v okolí Lenory pomocí turistické mapy. (Zdroj: www.mapy.cz)

Tab. č. 1: GPS souřadnice míst v okolí Lenory

Název lokality	GPS souřadnice
Vrch Chlustov – západní strana (VCH-Z)	N 48° 55,612'; EO 13° 45,167'
Vrch Chlustov – východní strana (VCH – V)	N 48° 55,734'; EO 13° 45,649'
Zátoňská hora (ZH)	N 48° 56,664'; EO 13° 50,108'
Vrch Ptáčník (VP)	N 48° 55,572; EO 13° 48,481'
Pokusná plocha ZF JCU	N 48° 55,535'; EO 13° 48,418'
Velká niva (VN)	N 48° 55,505'; EO 13° 48,709'
Radvanovické sedlo (RS)	N 48° 53,706'; EO 13° 47,460'
Pastvina Vlčí Jámy	N 48° 55,158'; EO 13° 46,309'



Obr.č. 3: Geologická mapa lokality Lenora a okolí. (Zdroj: Bokr, 2008; dostupné z www.geology.cz)

Vysvětlivky:

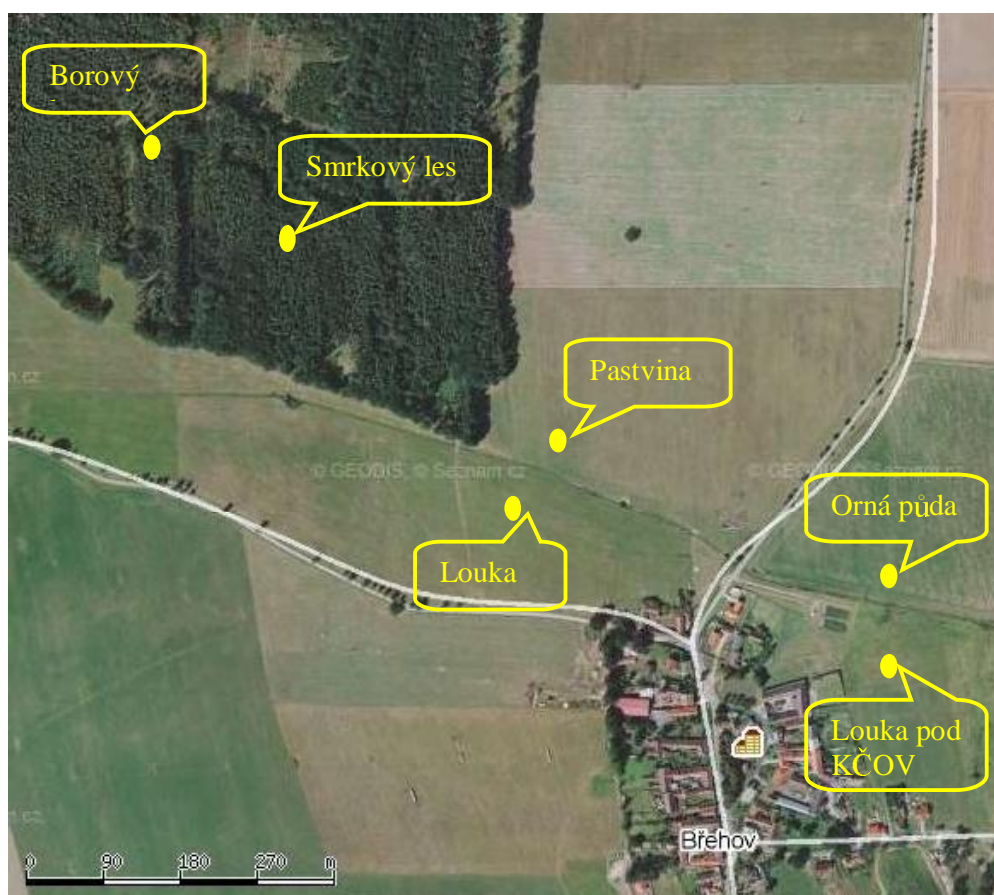
- Slatina, rašelina, hnílokal [ID: 9]**
Eratém: kenozoikum; Útvar: kvartér; Oddělení: holocén; Horniny: slatina, rašelina, hnílokal; Typ hornin: sediment nezpevněný
- Písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment [ID: 12]**
Eratém: kenozoikum; Útvar: kvartér; Horniny: písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment; Typ hornin: sediment nezpevněný
- Migmatit až anatexit [ID: 1299]**
Eratém: paleozoikum až proterozoikum; Horniny: migmatit, anatexit;
Typ hornin: metamorfit; Mineralogické složení: cordierit biotit
- Migmatit [ID: 1302]**
Eratém: paleozoikum až proterozoikum; Horniny: migmatit; Typ hornin: metamorfit; Mineralogické složení: cordierit biotit, +- sillimanit, granát, muskovit
- Migmatit [ID: 1303]**
Eratém: paleozoikum až proterozoikum; Horniny: migmatit; Typ hornin: metamorfit; Mineralogické složení: biotit, cordierit biotit, +- sillimanit, granát, muskovit

3.1.2 Popis lokalit v Břehově a Lužici

Odběrná místa v okolí obce Břehov (nadmořská výška 403 metrů) na Českobudějovicku se nacházela na severní straně obce viz obr. č. 4, kde byly odebrány vzorky orné půdy, pastviny a luk. Jedna ze vzorkovaných luk se rozprostírá v okolí místní kořenové čistírny odpadních vod (KČOV). Vzorkované lesní půdy v této lokalitě mají smrkový a borový porost. Zde se půda vytvářela na horninách: pískovce, slepence, jílovce a prachovce (Bokr, 2008).

Z odběrných míst v okolí obce Lužice nedaleko Netolic na Prachaticku (nadmořská výška 516 metrů), byla odebrána orná půda, půda z louky, lesní půda z dubového a dubo-borového lesa a půda z louky, která byla dříve využívána pro pastvu ovcí (viz obr. č. 5). Zde jsou přítomny horniny: granit, křemenný monzonit a syenit (Bokr, 2008).

Vzorky z těchto lokalit byly odebrány 30. dubna 2009.



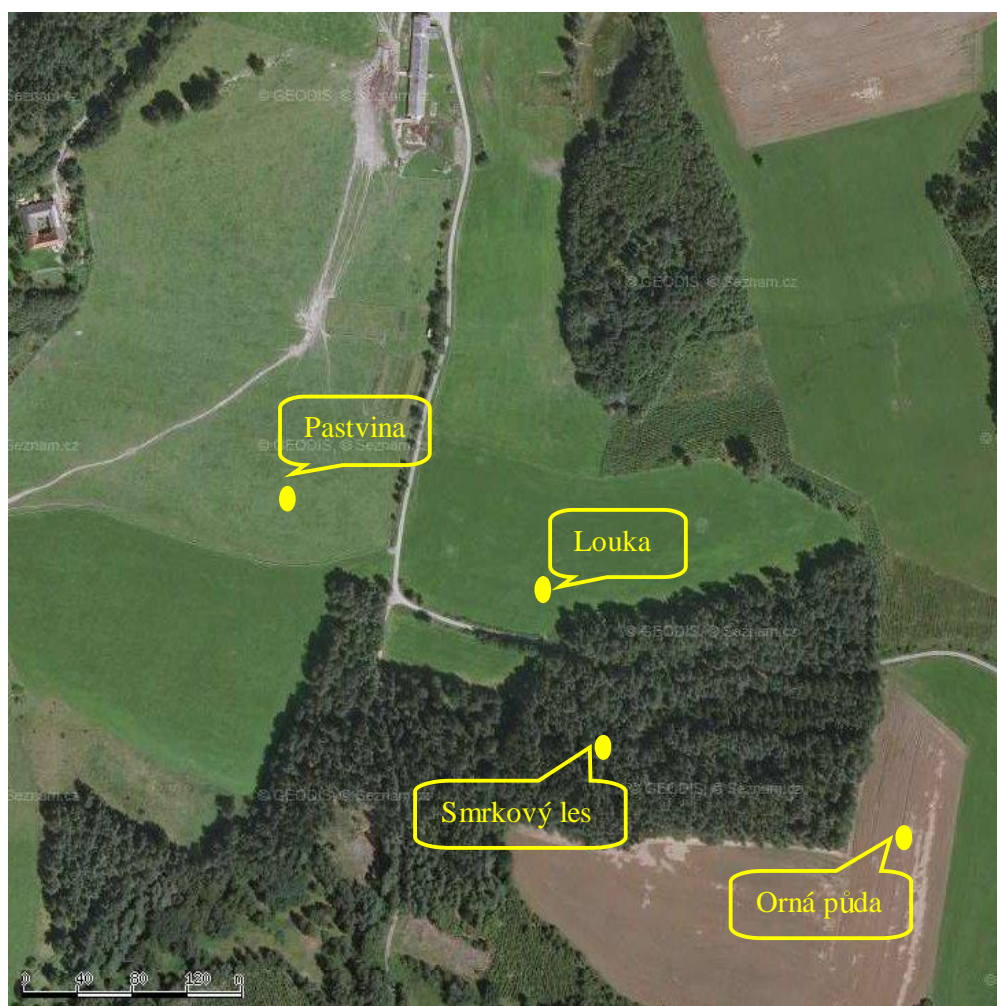
Obr. č. 4: Letecký snímek lokalit v okolí obce Břehov. (Zdroj: www.mapy.cz)



Obr. č. 5: Letecký snímek lokality u obce Lužice nedaleko Netolic. (Zdroj: www.mapy.cz)

3.1.3 Popis lokalit u obce Velký Chuchelec

Obec Velký Chuchelec se nachází jihozápadně od obce Kaplice – nádraží na Českokrumlovsku (viz. obr. č. 6). Zde byly odebrány vzorky orné půdy, louky, pastvy a lesní půdy ze smrkového porostu. Vzorky půd smrkového porostu byly odebrány na dvou místech, poprvé v nedalekém lese od ostatních odběrových míst a podruhé v úbočí vrchu Poluška s nadmořskou výškou 919 metrů, který se nachází v přírodním parku Poluška. Půdním typem zde jsou metamorfity kam patří i svor, který je na této lokalitě nejběžnější (Bokr, 2008). Vzorky byly odebírány 7. července 2009.



Obr. č. 6: Letecký snímek lokality u obce Velký Chuchelec. (Zdroj: www.mapy.cz)

3.2 Materiál

Půdní vzorky z lesních lokalit byly rozděleny podle půdních horizontů, které se v půdě vytvářejí. Děly se na opad (L), fermentační horizont (F), humifikační horizont (H), první minerální horizont (A_1) a druhý minerální horizont (A_2). Síla horizontů byla různá, podle druhu porostu, rychlosti rozkladu látek v daných horizontech a stáří porostu. Ostatní vzorky zemědělských půd se dělily podle hloubky odběru do 15 cm, do 30 cm a do 40 cm. Horizonty L, F, H lesních půd byly odebírány pomocí lopatky, minerální horizonty a ostatní vzorky půd byly odebírány pomocí půdní vzorkovací sondy. Všechny odebrané vzorky byly uloženy do sáčků s přesným popisem lokality a s datem odběru. Následně byly ponechány volně uschnout na vzduchu (do rovnovážné vlhkosti), aby byly připraveny k dalšímu zpracování.

3.3 Metodika

3.3.1 Příprava vzorku pro analýzu

Dobře vysušený vzorek se nejprve pomocí třecí misky s tloučkem nebo laboratorním mixérem (u horizontů L a F) rozmělnil na jemné části a poté se prošel přes plastové síto o velikosti ok 2 MESH. V tomto procesu se vzorek zbavil hrubých součástí (kameny, větvičky, kořeny atd.). Takto upravený vzorek se znovu podřtil v třecí misce a poté se prošel přes síto s velikostí ok 0,5 MESH. Takto upravený vzorek byl již připraven pro další zpracování, tudíž změření celkového obsahu rtuti na atomovém absorpčním spektrometru.

3.3.2 Stanovení celkového obsahu rtuti

Pro stanovení rtuti byl použit jednočelový atomový absorpční spektrometr AMA typ 254 od firmy Altec s. r. o. Praha, který pracuje technikou generování studených par rtuti s následným záchytem a nabohacením na zlatém amalgamátoru. Tento přístroj umožňuje stanovení obsahu rtuti v pevných vzorcích, aniž bychom je museli předem rozkládat.

Navážka vzorku byla cca 50 mg půdy. Navážený vzorek se uložil do přístroje a nastavily se doby sušení, spalování a načítání vzorku. V případech půdy to byly hodnoty 10, 120 a 45 vteřin.

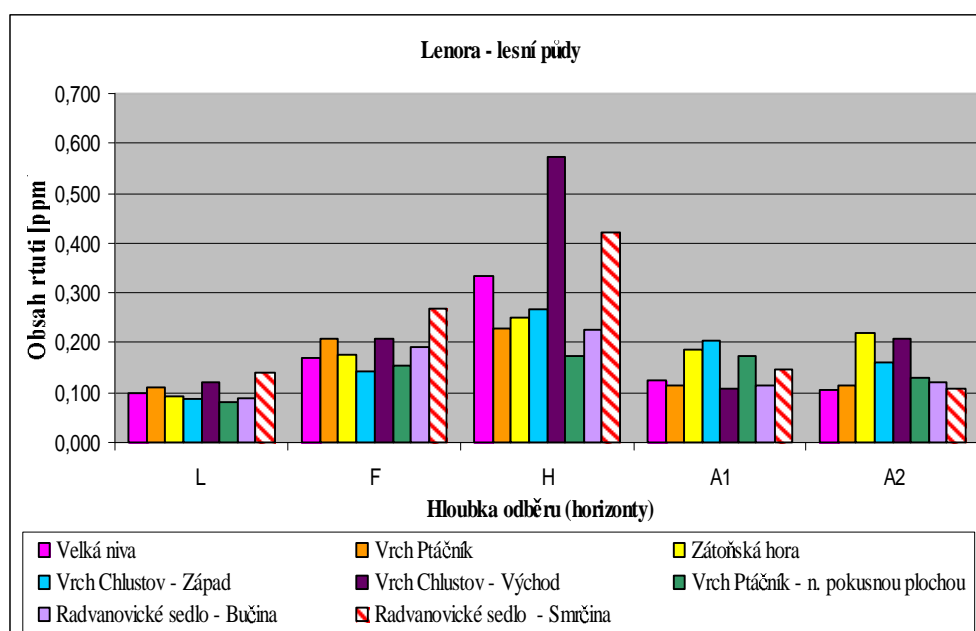
Ověřování správnosti měření přístroje bylo prováděno referenčním vzorkem, který pochází ze sady českých referenčních materiálů. Sada certifikovaných

referenčních materiálů je určena pro ověřování správnosti analytických metod, pro stanovení celkových prvků v půdách a materiálech s podobnou matricí a pro stanovení obsahů podílů prvků vyluhovatelných z těchto materiálů uvedenými konvenčními postupy. Referenční vzorek je označen CRM 7002 Light Sandy Soil (ANALYTIKA s.r.o., Praha). Je to lehká písčité půda se zvýšenými obsahy analytů. Certifikované a informační hodnoty celkového obsahu pro rtuť je $0,090 \pm 0,012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4. VÝSLEDKY A DÍLČÍ DISKUZE

4.1 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Lenory

Tabulka č. 1 z lokality Lenora udává obsahy celkové rtuti v lesních půdách, kde nejvíce celkové rtuti bylo obsaženo v horizontu H, naopak nejméně celkové rtuti bylo naměřeno v horizontu L. Což je znázorněno v grafu č. 1. Nejvyšší hodnota obsahu celkové rtuti v této lokalitě byla naměřeno v horizontu H z odběrného místa na vrchu Chlustov z východní strany. Naměřená hodnota byla $0,574 \pm 0,042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Tato strana je vzhledem k převládajícím větrům závětrná. Naopak nejméně celkové rtuti bylo naměřeno v L horizont na odběrném místě na vrchu Ptáčník nad pokusnou plochou ZF JU. Naměřená hodnota je $0,082 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.



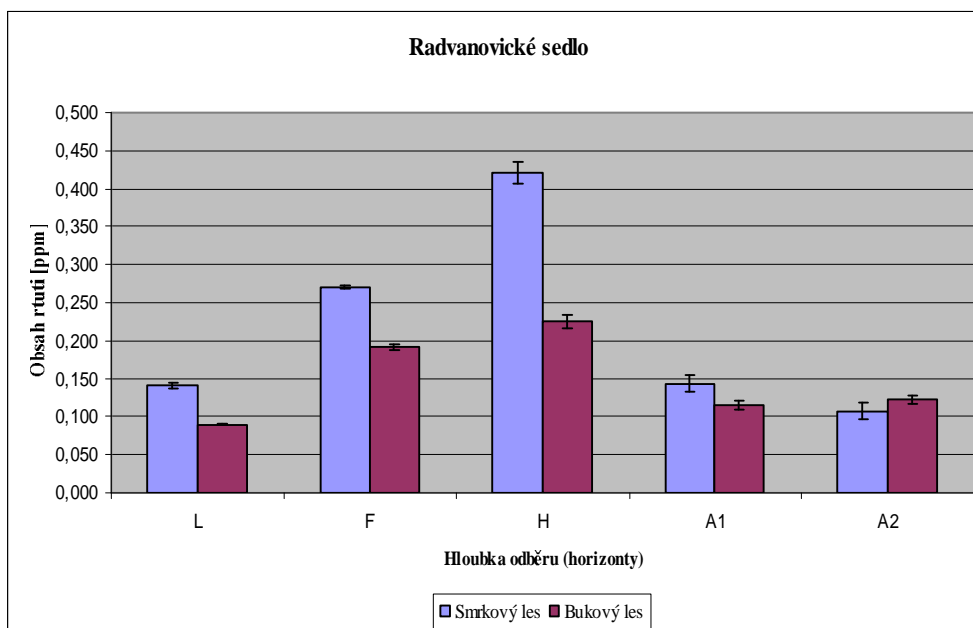
Graf č. 1: Obsah celkové rtuti v lesních půdách z lokalit u Lenory ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1} = \text{ppm}$).

Porovnáme-li obsahy rtuti ve všech lokalitách a horizontech, vyjma vrchu Chlustov – východ, s literárními údaji z Prachaticka, které uvádí $558 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny (Hojdová, a kol., 2006) jsou tyto moje hodnoty výrazně nižší. To dokládá, že stupeň znečištění širšího okolí (do 3 km) této lokality sklárnou a dalšími možnými zdroji (kotelny a domácí topeniště) není tak závažné.

Tab. č. 2: Naměřený celkový obsah rtuti v lokalitě Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny = ppm).

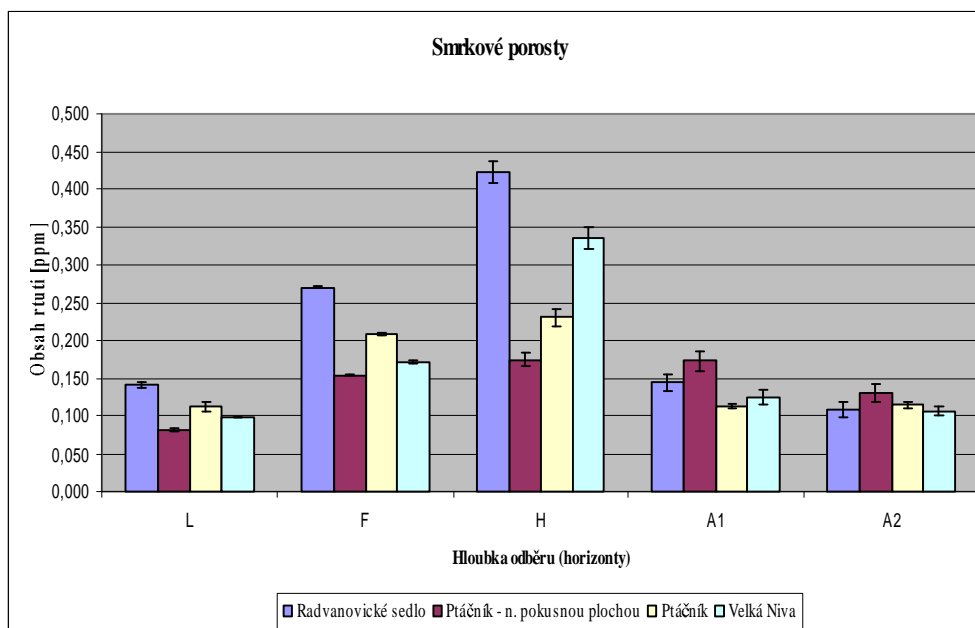
Popis vzorku a lokality	Obsah rtuti [ppm]	Sd	Rsd [%]
VN; Les smrkový; L	0,098	0,001	0,86
VN; Les smrkový; F	0,171	0,002	1,23
VN; Les smrkový; H	0,334	0,014	4,27
VN; Les smrkový; A1	0,125	0,010	8,00
VN; Les smrkový; A2	0,106	0,006	5,66
VP; Les smrkový; L	0,113	0,007	6,01
VP; Les smrkový; F	0,208	0,002	1,02
VP; Les smrkový; H	0,230	0,011	4,83
VP; Les smrkový; A1	0,113	0,003	2,60
VP; Les smrkový; A2	0,114	0,004	3,91
VP; Les smrkový; A3	0,065	0,002	2,40
ZH; Les smrko-bukový; L	0,094	0,001	1,43
ZH; Les smrko-bukový; F	0,177	0,001	0,80
ZH; Les smrko-bukový; H	0,250	0,012	4,74
ZH; Les smrko-bukový; A1	0,187	0,010	5,48
ZH; Les smrko-bukový; A2	0,219	0,005	2,37
VCH - Z; Les bukový; L	0,088	0,003	3,69
VCH - Z; Les bukový; F	0,142	0,002	1,10
VCH - Z; Les bukový; H	0,267	0,009	3,54
VCH - Z; Les bukový; A1	0,203	0,020	9,86
VCH - Z; Les bukový; A2	0,161	0,005	2,94
VCH - V; Les buko-jedlový; L	0,122	0,004	3,39
VCH - V; Les buko-jedlový; F	0,209	0,001	0,56
VCH - V; Les buko-jedlový; H	0,574	0,042	7,24
VCH - V; Les buko-jedlový; A1	0,110	0,003	2,64
VCH - V; Les buko-jedlový; A2	0,206	0,008	3,67
VP n. pokusnou plochou; Les smrkový; L	0,082	0,002	2,20
VP n. pokusnou plochou; Les smrkový; F	0,154	0,001	0,68
VP n. pokusnou plochou; Les smrkový; H	0,174	0,009	5,17
VP n. pokusnou plochou; Les smrkový; A1	0,173	0,013	7,51
VP n. pokusnou plochou; Les smrkový; A2	0,130	0,012	9,25
RS; Les bukový; L	0,089	0,001	1,13
RS; Les bukový; F	0,191	0,003	1,82
RS; Les bukový; H	0,226	0,009	3,97
RS; Les bukový; A1	0,115	0,005	4,65
RS; Les bukový; A2	0,122	0,006	4,57
RS; Les smrkový; L	0,140	0,004	2,65
RS; Les smrkový; F	0,270	0,002	0,66
RS; Les smrkový; H	0,422	0,014	3,33
RS; Les smrkový; A1	0,144	0,012	8,23
RS; Les smrkový; A2	0,108	0,011	9,77
Aritmet. průměr	0,176	0,007	3,90
Medián	0,154	-	-
D kvartil (1/4)	0,113	-	-
H kvartil (3/4)	0,208	-	-
Maximum	0,574	-	-
Minimum	0,065	-	-

Zkratky: VN–Velká niva; VP–vrch Ptáčník; ZH–Zátoňská hora; VCH–vrch Chlustov;
RS–Radvanovické sedlo



Graf č. 2: Obsah celkové rtuti v lesních půdách v Radvanovickém sedle v lokalitě Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

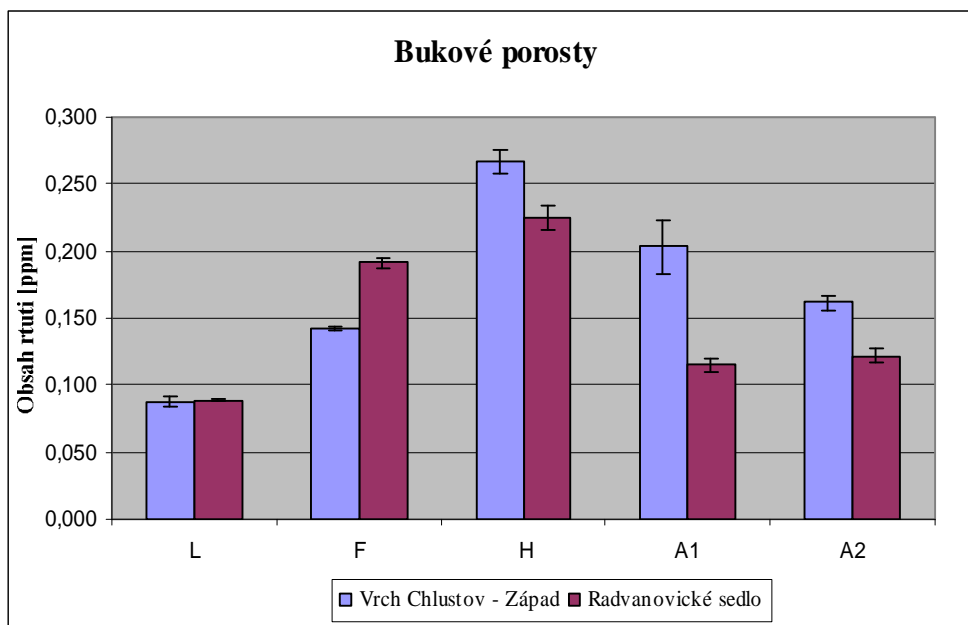
Z výsledků obsahu celkové rtuti na ploše Radvanovického sedla je patrný vliv porostu na obsah celkové rtuti v půdě (viz. graf č. 2). Nejvyšší hodnota v H horizontu činila $0,422 \pm 0,014 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ v jehličnatém (smrkovém) porostu, kdežto v listnatém (bučině) jen $0,226 \pm 0,009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tento rozdíl je zřejmě dán tím, že jehličnaté porosty mají velkou listovou plochu, která neopadá a tím způsobuje mnohem účinnější čištění atmosféry od imisí rtuti (zvláště v zimě) oproti listnatým porostům. Toto potvrzují i literární údaje Hojdové (2006).



Graf č. 3: Obsah celkové rtuti v půdách se smrkovým porostem z lokality Lenora (mg·kg⁻¹ sušiny).

Nejvíce celkové rtuti ve smrkovém porostu z odběrných míst v lokalitě Lenory bylo naměřeno v H horizontu Radvanovického sedla $0,422 \pm 0,014$ mg·kg⁻¹ sušiny, druhé maximum v H horizontu bylo zjištěno na stanovišti Velká niva. Naopak nejméně celkové rtuti bylo zjištěno v L horizontu vrchu Ptáčník nad pokusnou plochou $0,082 \pm 0,002$ mg·kg⁻¹ sušiny (viz. graf č. 3).

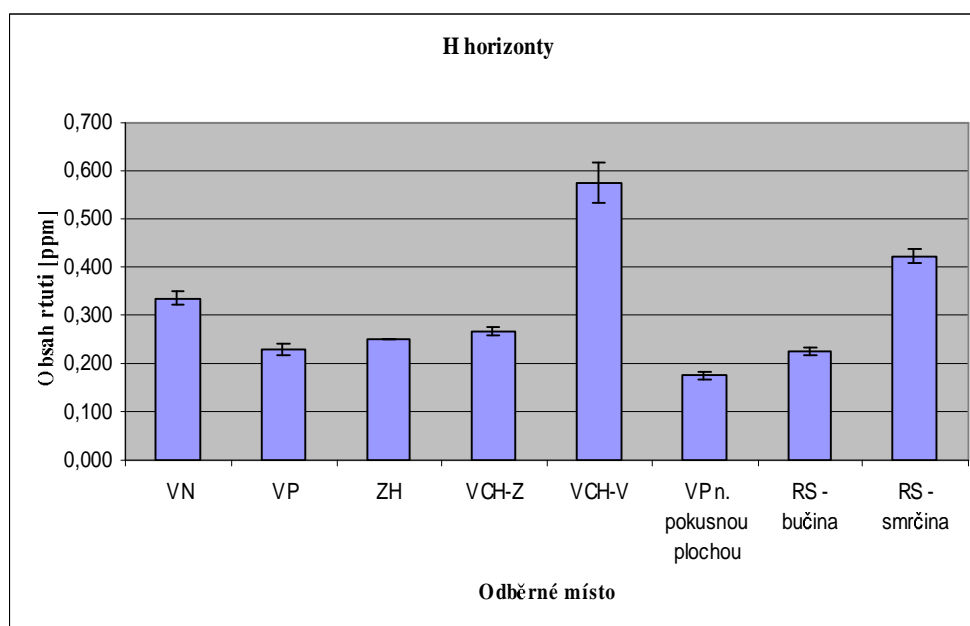
Vysoká naměřená hodnota na Radvanovickém sedle má několik možností vysvětlení. Roli zde může hrát vyšší nadmořská výška (905 m. n.) oproti ostatním odběrným místům, např. vrch Ptáčník je cca o 50 metrů níže. Druhým důvodem může být, že tato smrčina je vzhledem k převládajícím větrům na prvním místě oproti ostatním (zde uvedeným) porostům, může zde docházet k intenzivnějšímu “vyčesávání“ rtuti z atmosféry. Posledním důvodem zde může být geologická situace, která je v okolí Lenory velmi komplikovaná a diferencovaná. Plocha Radvanovického sedla se nachází na odlišném podloží než všechny ostatní srovnávané plochy smrčin, tudíž zřejmě nelze vyloučit i vliv geologického složení podloží.



Graf č. 4: Obsah celkové rtuti v půdách s bukovým porostem z lokality Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

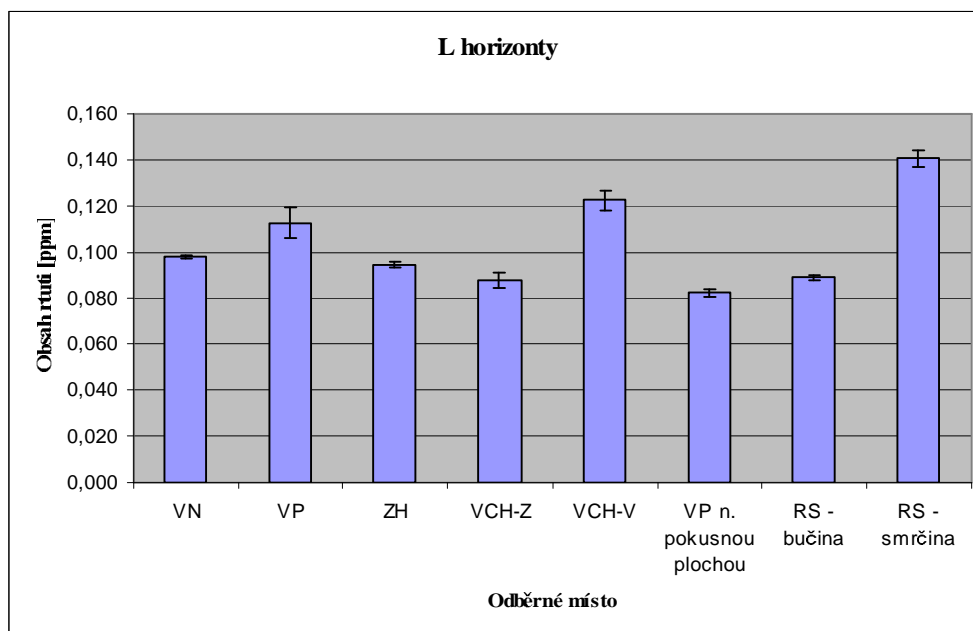
Porovnáním bukových porostů v grafu č. 4 bylo zjištěno nejvíce celkové rtuti v H horizontu na vrchu Chlustov – Západ $0,267 \pm 0,009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny a nejméně také na vrchu Chlustov – Západ v horizontu $0,088 \pm 0,003 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

Vzhledem ke srovnatelným obsahům celkové rtuti v organických vrstvách půdy pod buky na vrchu Chlustov – Západ, kde lze vyloučit vliv sklárny, a Radvanovickém sedle je zřejmé, že ani rtuť na Radvanovickém sedle se smrkovým porostem zřejmě nespojuje s činností sklárny, ale má pravděpodobně původ z dálkového přenosu atmosférou, protože se nachází ve vyšší nadmořské výšce.



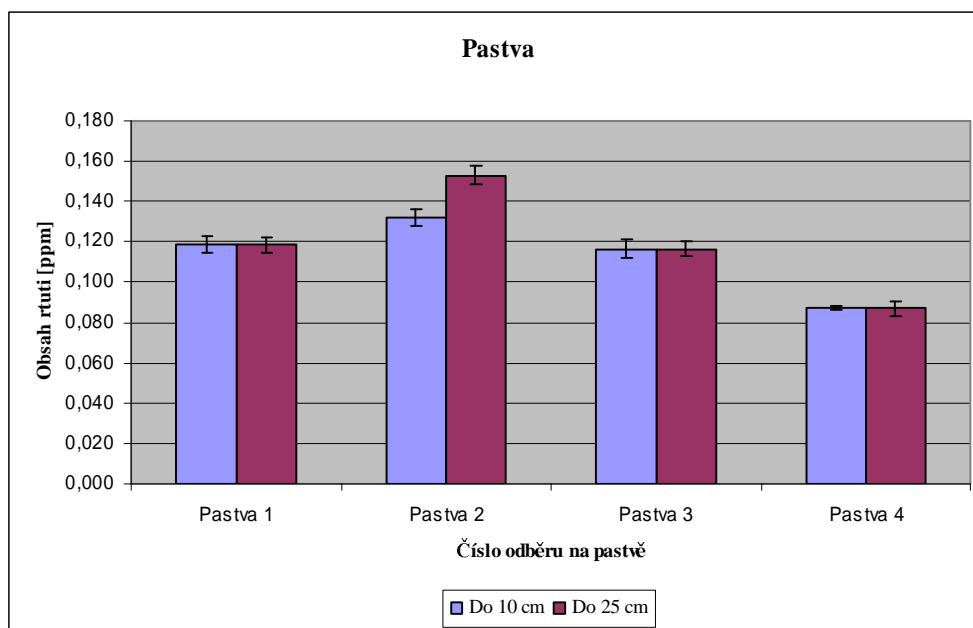
Graf č. 5: Obsah celkové rtuti v H horizontech v lokalitě Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Nejvyšší obsahy celkové rtuti byly zjištěny v H horizontech u všech odebraných vzorků. V grafu č. 5 je znázorněno, že nejvíce celkové rtuti v H horizontu bylo na vrchu Chlustov – Východ $0,574 \pm 0,042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, kdežto na západní straně vrchu Chlustov byla zjištěna poloviční hodnota ve srovnání s vrchem Chlustov – východ $0,267 \pm 0,009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, ale porosty na těchto lokalitách nejsou stejné (Západní strana vrchu – bučina; Východní strana vrchu – buko-jedlový porost). Tento nárůst na vrchu Chlustov – Východ by mohl být důsledkem jednak porostu s vyšší listovou (absorpční) plochou převažujících jedlí a pravděpodobně i dalšího zdroje znečištění, nelze vyloučit ani sklárnu. Nejméně celkové rtuti v H horizontu bylo obsaženo na vrchu Ptáčník nad pokusnou plochou $0,174 \pm 0,009 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Rostoucí trend obsahu celkové rtuti je obecně platný směrem k H horizontu, protože dochází vlivem mineralizace opadu k zakoncentrování minerálních složek až na H horizont, kde se tyto látky kumulují. V dalších hlubších horizontech pak následuje mírný klesající trend obsahu celkové rtuti až na pozadřovou úroveň.



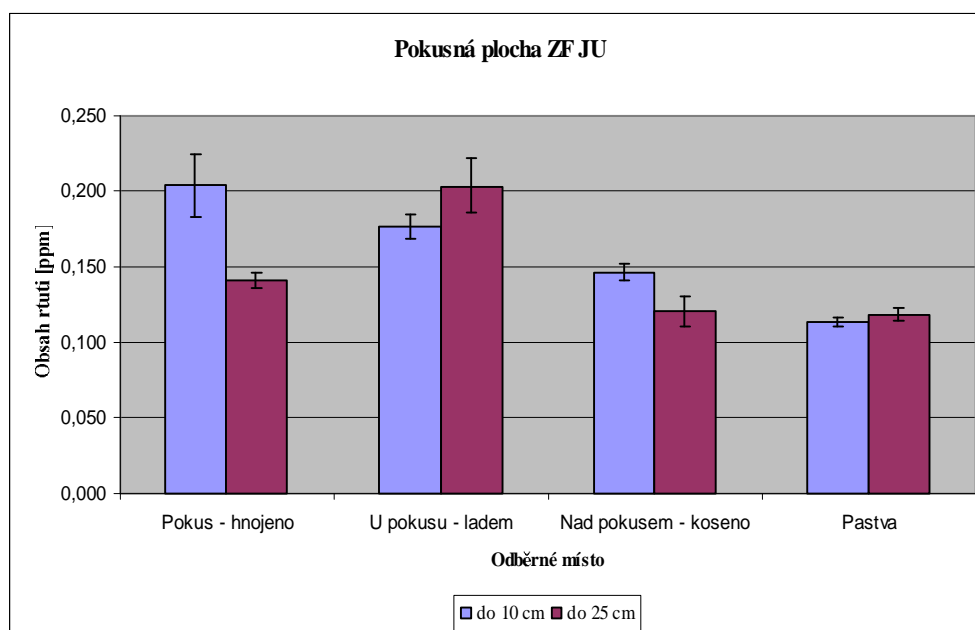
Graf č. 6: Obsahy celkové rtuti v L horizontech v lokalitě Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Celkově nejméně obsahu celkové rtuti bylo naměřeno v L horizontech všech odebraných vzorků. Graf č. 6 znázorňuje nejvyšší obsah celkové rtuti v lokalitě Radvanovického sedla – smrčíně $0,140 \pm 0,004 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno na vrchu Ptáčník n. pokusnou plochou $0,082 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, kde byl také smrkový porost. Z grafu je patrné, že obsah rtuti v opadu je poměrně vyrovnaný a pohybuje se kolem $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, a to svědčí o minimálních rozdílech v zatížení rtutí na jednotlivých plochách v okolí Lenory. Mírně vyšší obsah rtuti v L horizontu na Radvanovickém sedle se smrčínou zřejmě souvisí opět s nadmořskou výškou. Opadový půdní horizont se vytváří v průběhu několika posledních let a tudíž asi nemůže odrazet možné znečištění sklárnou, která ukončila činnost před 15 lety.



Graf č.7: Obsah celkové rtuti na ploše pastva u Vlčích Jam v lokalitě Lenora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Vzorky z pastviny byly odebrány po obvodu pastvy, která se nachází nedaleko obce Vlčí Jámy u Lenory. Nejvíce celkové rtuti bylo zjištěno na odběrném místě č. 2 v hloubce do 25 cm. Hodnota obsahu celkové rtuti byla $0,153 \pm 0,005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno ve vzorku z odběrného místa č. 4 v hloubce do 10 cm $0,089 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny (viz. graf č. 7).



Graf č. 8: Obsah celkové rtuti v okolí pokusné plochy ZF JU a pastviny v lokalitě Lenora (mg·kg⁻¹ sušiny).

Vzorky půd byly odebrány i z pokusné plochy ZF JU, z místa které je hnojeno NPK, dále z okolí pokusné plochy, které je ponecháno ladem a z části, která se 2x ročně kosí. Vzorky byly odebrány z hloubek do 10 cm a do 25 cm. V grafu č. 8 je srovnání obsahů celkové rtuti z pokusné plochy a jejího okolí s průměrným obsahem celkové rtuti z pastviny. Nejvíce celkové rtuti bylo naměřeno ve vzorku z pokusné plochy hnojené NPK do hloubky 10 cm $0,204 \pm 0,021$ mg·kg⁻¹ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno nad pokusnou plochou na kosené louce $0,120 \pm 0,010$ mg·kg⁻¹ sušiny. Z grafu č. 8 je též patrný klesající trend u horní vrstvy půdy (do 10 cm) u lokalit v okolí a na pokusné ploše. Zajímavé je zjištění, že u vzorcích z louky, která byla ponechána ladem je vyšší obsah celkové rtuti v hlubší vrstvě (do 25 cm) než ve svrchní vrstvě horizontu. To lze přičítat malému odnosu biomasy z této plochy způsobené druhem hospodaření a tím větší návratnosti celkové rtuti absorbované rostlinami zpět do půdy.

Průměrný obsah celkové rtuti na pastvině je skoro stejný v obou hloubkách odběru. Ovšem porovnáním hlouběji odebraných vzorků z pastviny a z louky ponechané ladem je vidět skoro dvojnásobný nárůst u louky ponechané ladem. Zřejmě to je dáno ponecháním biomasy na místě a může to být i ovlivněno rozdílnou geologií v této lokalitě (viz. obr. č. 3).

4.1.1 Diskuze k výsledkům z Lenory

Nejvyšší obsahy celkové rtuti byly zaznamenány v H horizontu, což naznačuje kumulaci kontaminantu v tomto horizontu a nedochází k vysokému ukládání celkové rtuti do nižších minerálních horizontů A₁ a A₂. Porovnáním západní a východní strany vrchu Chlustov bylo zjištěno více celkové rtuti na východní straně vrchu, kde je buko-jedlový porost. Oproti tomu na západní straně – návětrné, bylo zjištěno poloviční množství celkové rtuti, ale zde je bukový porost, tudíž nelze plnohodnotně srovnávat tyto obsahy. Statistické vyhodnocení (na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$) prokázalo rozdílnost mezi odběrovými místy, lze tedy usuzovat, že kontaminace na obou místech pochází z různých zdrojů, avšak neprokazuje, že kontaminace souvisí s vlivem sklárny, která působila v Lenoře.

V porovnání smrkových porostů bylo zjištěno nejvíce celkové rtuti na odběrném místě Radvanovické sedlo a druhý nejvyšší obsah byl zjištěn na odběrném místě Velká niva, což zřejmě souvisí s polohou tohoto odběrného místa – po směru převládajících větrů a vlhčí stanoviště v blízkosti rašelinišť (u hranice rezervace “Velká niva“). Na tomto odběrném místě docházelo, podle informací lesního správce z polesí v Zátóni, k masivnímu odumírání smrků a výskytu kůrovce. Jelikož H horizont je staršího původu, můžeme předpokládat, že v tomto horizontu je ještě uložena rtuť pocházející ze sklárny. To naznačují také výsledky izotopových analýz olova, které jsou podobné jako olovo v sedimentech Vltavy pod Lenorou (Maříková, 2008; Novotná, 2010).

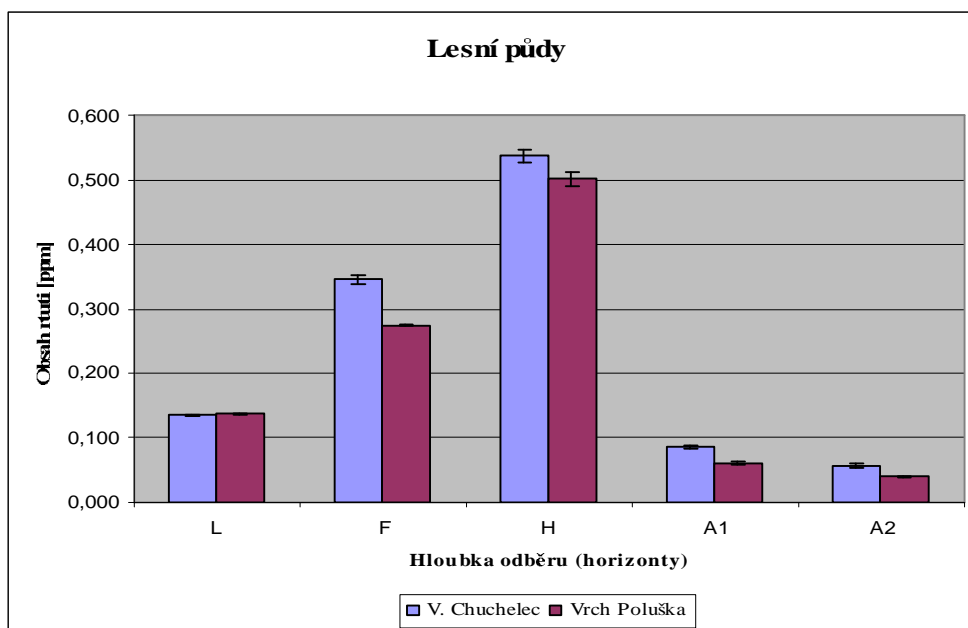
4.2 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Velkého Chuchelce

Tabulka č. 3 se vztahuje k lokalitě Velký Chuchelec. Zde byly odebrány vzorky ze dvou lokalit lesní půdy se smrkovým porostem, dále orné půdy, pastvy a louky. Již z tabulky vyplývá, že celkové rtuti bylo naměřeno více v lesních půdách, hlavně ve svrchních horizontech než na půdách obhospodařovaných jako pastva, louka nebo orná půda.

Tab. č. 3: Naměřený celkový obsah rtuti na lokalitě Velký Chuchelec ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

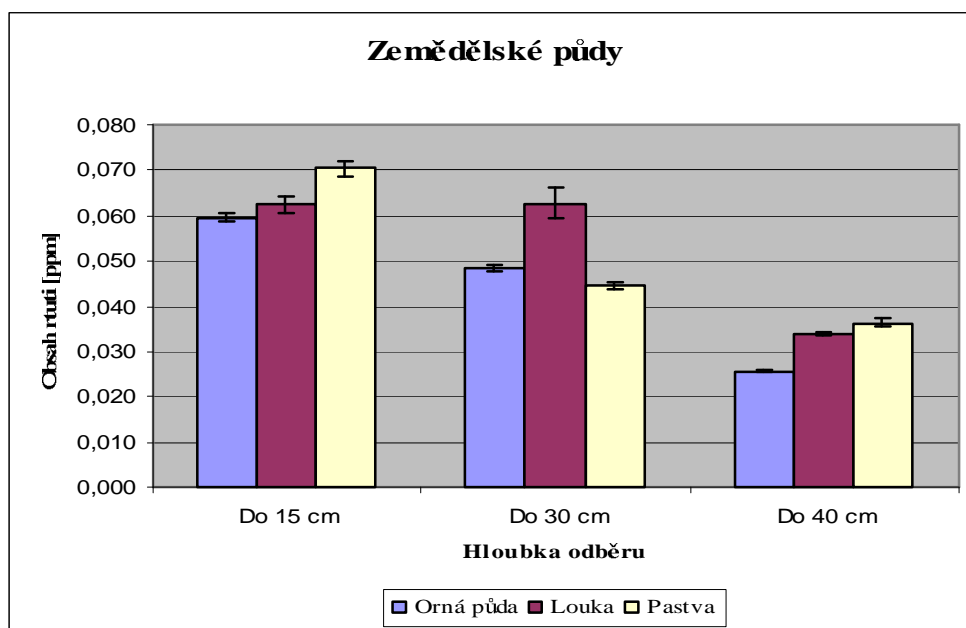
Popis vzorku a lokality	Obsah rtuti [ppm]	Sd	Rsd [%]
V. Chuchelec; Les smrkový; L	0,135	0,001	0,68
V. Chuchelec; Les smrkový; F	0,345	0,007	2,08
V. Chuchelec; Les smrkový; H	0,537	0,011	2,04
V. Chuchelec; Les smrkový; A1	0,085	0,002	2,90
V. Chuchelec; Les smrkový; A2	0,056	0,003	5,67
V. Chuchelec; Les smrkový; A3	0,028	0,002	7,12
V. Chuchelec; Orná půda (oves); do 15 cm	0,060	0,001	1,57
V. Chuchelec; Orná půda (oves); do 30 cm	0,049	0,001	1,41
V. Chuchelec; Orná půda (oves); do 40 cm	0,026	0,0001	0,41
V. Chuchelec; Louka; do 15 cm	0,063	0,002	2,71
V. Chuchelec; Louka; do 30 cm	0,063	0,003	5,26
V. Chuchelec; Louka; do 40 cm	0,034	0,001	1,61
V. Chuchelec; Pastva; do 15 cm	0,070	0,002	2,57
V. Chuchelec; Pastva; do 30 cm	0,045	0,001	1,64
V. Chuchelec; Pastva; do 40 cm	0,036	0,001	2,73
V. Chuchelec; Vrch Poluška; Les smrkový; L	0,137	0,002	1,35
V. Chuchelec; Vrch Poluška; Les smrkový; F	0,275	0,001	0,32
V. Chuchelec; Vrch Poluška; Les smrkový; H	0,501	0,011	2,21
V. Chuchelec; Vrch Poluška; Les smrkový; A1	0,060	0,004	5,88
V. Chuchelec; Vrch Poluška; Les smrkový; A2	0,039	0,002	3,95
Aritmet. průměr	0,132	0,003	2,70
Medián	0,061	-	-
D kvartil (1/4)	0,042	-	-
H kvartil (3/4)	0,136	-	-
Maximum	0,537	-	-
Minimum	0,026	-	-

Velký rozdíl mezi aritmetickým průměrem obsahu celkové rtuti a mediánem napovídá, že soubor dat nemá normální rozdělení hodnot v Gaussově křivce.



Graf č. 9: Obsah celkové rtuti v lesních půdách v lokalitě V. Chuchelec ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Z grafu č. 9 je patrné, že na této lokalitě se nejvíce celkové rtuti v lesních půdách nacházelo v horizontu H na odběrném místě V. Chuchelec. Naměřená hodnota byla $0,537 \pm 0,011 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Naopak nejméně celkové rtuti v lesních půdách této lokality bylo naměřeno v horizontu A₂ vrchu Poluška. Hodnota celkové rtuti dosahovala $0,039 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.



Graf č. 10: Obsah celkové rtuti v zemědělských půdách v lokalitě V. Chuchelec ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Graf č. 10 znázorňuje obsah celkové rtuti v zemědělských půdách, které byly obhospodařovány jako pastva, louka nebo orná půda – v tomto případě oseta ovsem. Odebrané vzorky byly děleny podle hloubky odběru. Nejvíce rtuti bylo zaznamenáno ve vzorku z pastvy do hloubky 15 cm a to $0,070 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejmenší množství celkové rtuti bylo naměřeno na orné půdě u vzorku, který byl odebíráán do hloubky 40 cm. Hodnota obsahu celkové rtuti byla $0,026 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

4.2.1 Diskuze k výsledkům z lokality Velký Chuchelec

Obsahy celkové rtuti v lesních půdách v této lokalitě je velmi podobný, což může být způsobeno zhruba stejným stářím porostu a stejným typem porostu (smrkový les) a z toho plyne i stejné zatížení rtutí na obou plochách.

Na zemědělsky obhospodařovaných půdách je rozdíl v obsahu celkové rtuti v půdách v závislosti na hloubce odběru výraznější. Kromě půdy z louky je vždy patrný klesající trend s hloubkou. Nejvyšší obsah celkové rtuti na pastvě byl zaznamenán do hloubky 15 cm, což může naznačovat, že rtuť se díky adsorpci v rostlinách může dostávat do potravinového řetězce skotu přítomného na vzorkované pastvě, který porost spásá a tudíž přítomná rtuť nemá možnost dostat se hlouběji do půdy.

Pokles obsahu celkové rtuti ve větších odběrových hloubkách je zřejmě způsoben druhem obhospodařování daných odběrových míst, jelikož se všechna odběrová místa nacházejí na stejném půdním podloží. Lze předpokládat, že na obsah celkové rtuti v hlubších půdních vzorcích mohou mít vliv i půdní živočichové jako jsou např. žížaly, které mohou také akumulovat rtuť ve své tkáni, jak je zmíněno v literatuře (Ernst, et al., 2008).

Statistické vyhodnocení prokázalo podobnost všech zemědělsky obhospodařovaných ploch na této lokalitě, což může poukazovat na stejný zdroj znečištění.

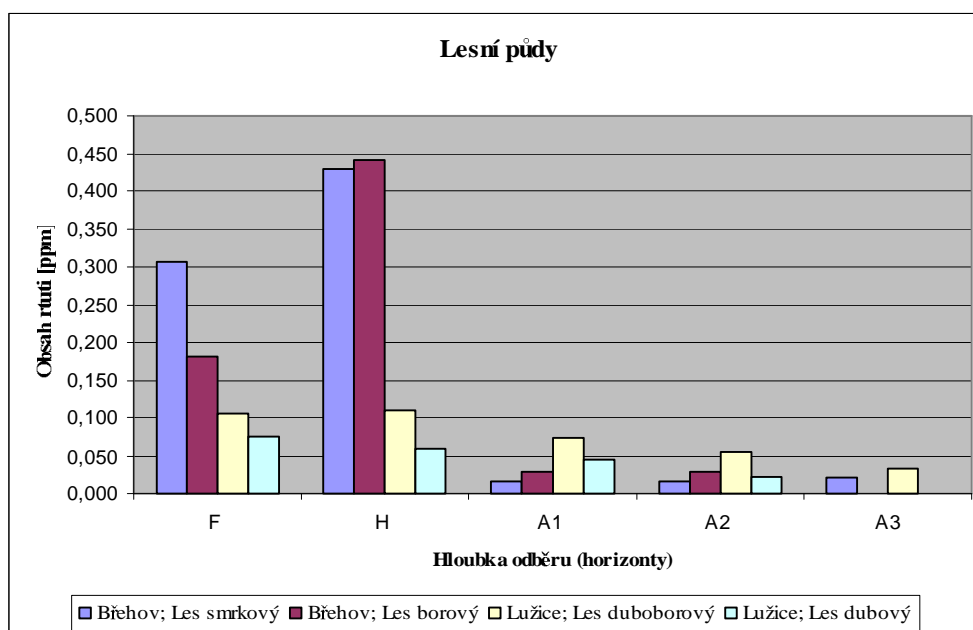
4.3 Výsledky měření obsahu celkové rtuti z lokalit u Břehova a u Lužice

Obsah celkové rtuti z lokalit Břehov a Lužice je uveden v tabulce č. 4. Zde byly odbírány vzorky orné půdy, louky, pastvy, lesních půd s různým porostem a z louky, která byla dříve využívána jako pastva ovcí.

Tab. č. 4: Naměřené hodnoty celkové rtuti v lokalitách Břehov a Lužice ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

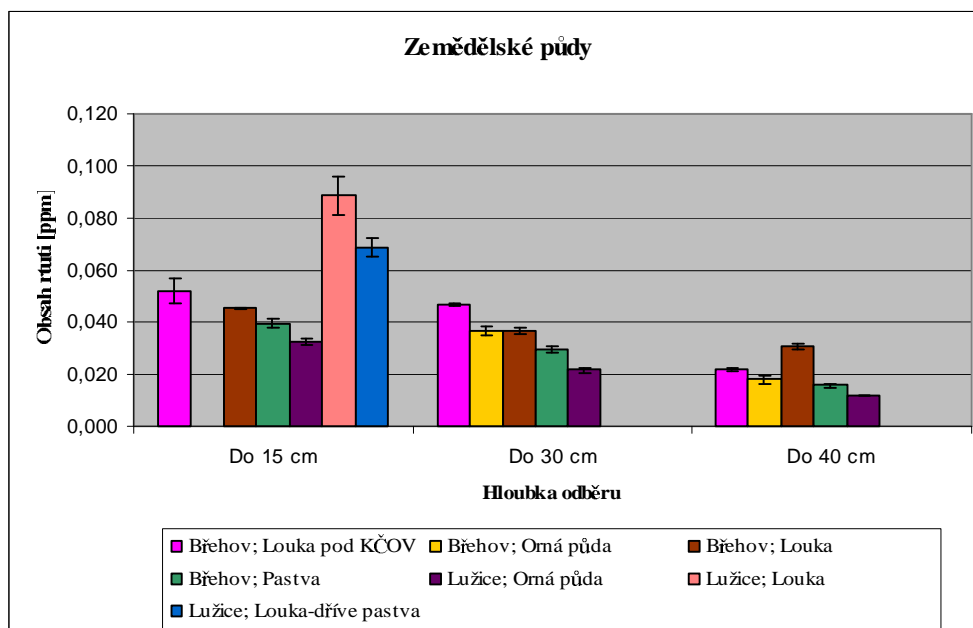
Popis vzorku a lokality	Obsah rtuti [ppm]	Sd	Rsd [%]
Břehov; Louka pod KČOV; do 15 cm	0,052	0,005	8,76
Břehov; Louka pod KČOV; do 30 cm	0,047	0,001	1,87
Břehov; Louka pod KČOV; do 40 cm	0,022	0,0001	1,80
Břehov; Orná půda; do 30 cm	0,037	0,002	4,73
Břehov; Orná půda; do 40 cm	0,018	0,002	8,89
Břehov; Louka; do 15 cm	0,045	0,0001	1,09
Břehov; Louka; do 30 cm	0,037	0,001	2,96
Břehov; Louka; do 40 cm	0,031	0,001	3,69
Břehov; Pastva; do 15 cm	0,040	0,002	4,01
Břehov; Pastva; do 30 cm	0,029	0,001	4,70
Břehov; Pastva; do 40 cm	0,016	0,001	5,75
Břehov; Les smrkový; L	0,283	0,003	0,90
Břehov; Les smrkový; F	0,306	0,003	1,04
Břehov; Les smrkový; H	0,428	0,005	1,22
Břehov; Les smrkový; A1	0,017	0,001	5,66
Břehov; Les smrkový; A2	0,017	0,001	5,64
Břehov; Les smrkový; A3	0,019	0,002	11,92
Břehov; Les borový; F	0,181	0,005	2,86
Břehov; Les borový; H	0,441	0,010	2,34
Břehov; Les borový; A1	0,029	0,001	5,02
Břehov; Les borový; A2	0,029	0,000	0,87
Lužice; Orná půda; do 15 cm	0,033	0,001	4,13
Lužice; Orná půda; do 30 cm	0,022	0,001	4,31
Lužice; Orná půda; do 40 cm	0,012	0,0001	1,30
Lužice; Les dubo-borový; F	0,106	0,001	0,71
Lužice; Les dubo-borový; H	0,111	0,008	7,56
Lužice; Les dubo-borový; A1	0,073	0,001	1,73
Lužice; Les dubo-borový; A2	0,056	0,004	8,00
Lužice; Les dubo-borový; A3	0,032	0,003	8,00
Lužice; Les dubový; F	0,075	0,004	5,41
Lužice; Les dubový; H	0,060	0,003	5,83
Lužice; Les dubový; A1	0,044	0,001	2,15
Lužice; Les dubový; A2	0,022	0,001	3,46
Lužice; Louka; do 15 cm	0,088	0,007	8,27
Lužice; Louka-dříve pastva; do 15 cm	0,069	0,003	5,10
Aritmet. průměr	0,084	0,003	4,33
Medián	0,040	-	-
D kvartil (1/4)	0,022	-	-
H kvartil (3/4)	0,075	-	-
Maximum	0,441	-	-
Minimum	0,012	-	-

Z tabulky č. 4 je opět patrné nenormální rozdělení dat v Gaussově křivce. Aritmetický průměr je dvakrát větší než medián.



Graf č. 11: Obsah celkové rtuti v lesních půdách v lokalitách Břehov a Lužice ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

V grafu č. 11 je znázorněn obsah celkové rtuti v lesních půdách těchto lokalit. Z tohoto grafu vyplývá, že nejvíce celkové rtuti bylo naměřeno v H horizontech. Největší množství bylo na odběrném místě v Břehově v borovém lese $0,441 \pm 0,010 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo zaznamenáno v A₂ horizontu v Břehově ve smrkovém porostu $0,017 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. U vzorků z těchto lokalit chybí L horizont z důvodu výskytu borůvčí, proto nebylo možné L horizont odebrat, ale u dvou vzorků se povedlo odebrat minerální horizont do takové hloubky, že je označen jako A₃ (třetí minerální horizont).



Graf č. 12: Obsah celkové rtuti v zemědělských půdách v lokalitách Břehov a Lužice ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Graf č. 12 znázorňuje celkový obsah rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách. Tyto vzorky byly opět děleny podle hloubky odběru. Zde bylo nejméně celkové rtuti ve vzorcích z hloubky do 40 cm. Nejmenší obsah byl zjištěn ve vzorku orné půdy z lokality Lužice o hodnotě $0,012 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejvíce celkové rtuti bylo detekováno také ve vzorku z lokality Lužice, ale z louky v hloubce do 15 cm $0,088 \pm 0,007 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

4.3.1 Diskuze k výsledkům z Břehova a Lenory

Vyšší obsahy celkové rtuti v lesních půdách z lokality Břehov je zřejmě dán druhem porostu na odběrném místě. Zde byl vzrostlý smrkový a borový les, který má větší listovou plochu než les listnatý, který se nachází na lokalitě Lužice. Na lokalitě Lužice je nižší obsah celkové rtuti již v F a H horizontu a je velmi podobný naměřeným hodnotám v horizontech A₁ a A₂. Na této lokalitě je porost dubový, který má nižší obsah celkové rtuti než porost dubo-borový. Je tedy možné předpokládat, že přítomnost borovic v porostu má také vliv na obsah celkové rtuti.

V zemědělsky obhospodařovaných půdách těchto lokalit je velmi výrazný vysoký obsah celkové rtuti na odběrových místech luk u Lužice. Zde byly odebrány vzorky pouze z hloubky do 15 cm, jelikož hlouběji se již nacházelo příliš mnoho kamenů, kvůli kterým nebylo možno odebrat vzorek z větší hloubky, lze tedy

předpokládat, že zvýšený obsah celkové rtuti v povrchovém horizontu může pocházet z podložních hornin (vyvřelé horniny – granit, křemenný monzonit a syenit) jak dokládá geologická mapa (Příloha – obr. č. 8; str. 80). To by ovšem vyžadovalo hlubší zkoumání podloží.

4.4 Statistické vyhodnocení lesních půd všech lokalit

Statistické zpracování bylo provedeno pomocí statistického testu ANOVA (analýza variací) a Fischerova LSD testu. Bylo prováděno hodnocení všech lokalit s lesním porostem a následně hodnocení všech lokalit zemědělsky obhospodařovaných. Pro vyhodnocení byly použity grafy průměru s vyznačením statistických měř polohy.

Tab. č. 5: Analýza variací obsahů celkové rtuti v lesních půdách na jednotlivých lokalitách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

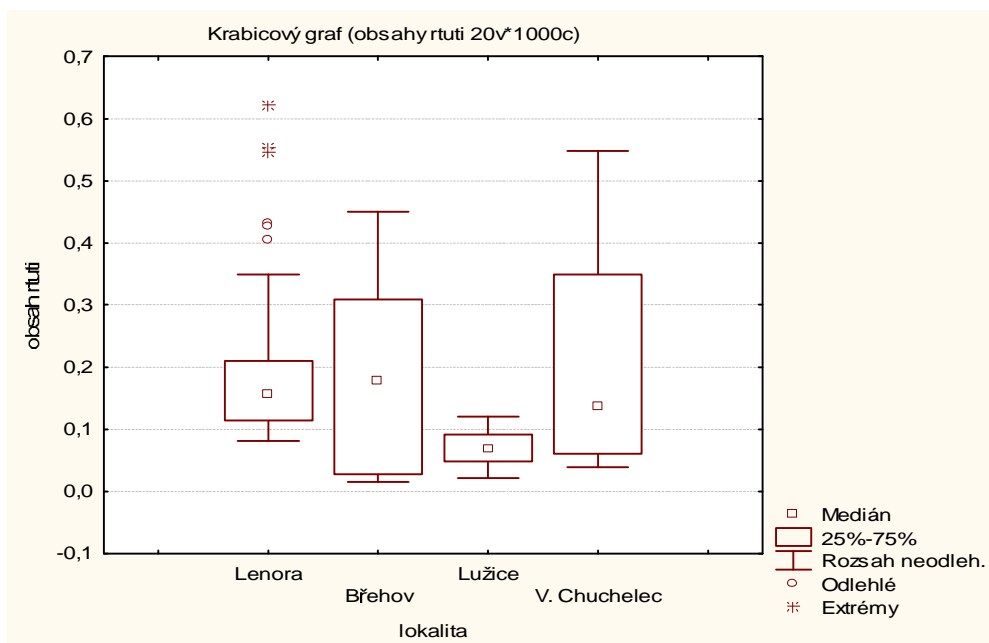
Zdroj proměnlivosti	Rozptyl (MS)	Počet stupňů volnosti	F	p – hladina ¹⁾
Lokalita	0,0034	1	0,579	0,4476
Porost	0,0166	10	2,810	0,0029**
Horizont	0,3944	4	66,930	0,0000**
Opakování	0,0001	2	0,0052	0,9948
Chyba	0,0059	183	-	-

- 1) p-hodnota je hladina pravděpodobnosti, pro kterou platí nulová hypotéza (H_0), že dvě varianty sledování (úrovně znaku, obsahy rtuti) se od sebe statisticky významně neliší. Je-li p-hodnota $< 0,05$ popř. $< 0,01$, zamítáme H_0 a mezi variantami sledování (úrovněmi znaku) je statisticky významný (*) popř. velmi významný rozdíl (**).

Tab. č. 6: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na sledovaných lokalitách s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

Lokalita	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
Lužice	0,068	****		
Lenora	0,179		****	
Břehov	0,192		****	****
V. Chuchelec	0,217			****

Tabulka uvádí, které lokality jsou si statisticky podobné. Tabulka byla vytvořena pomocí Fischerova LSD testu. Tento test je citlivý a méně přísný. Podle přísnosti a druhu testu se utvoří daný počet homogenních skupin. Čím více skupin, tím přesnější a citlivější test.



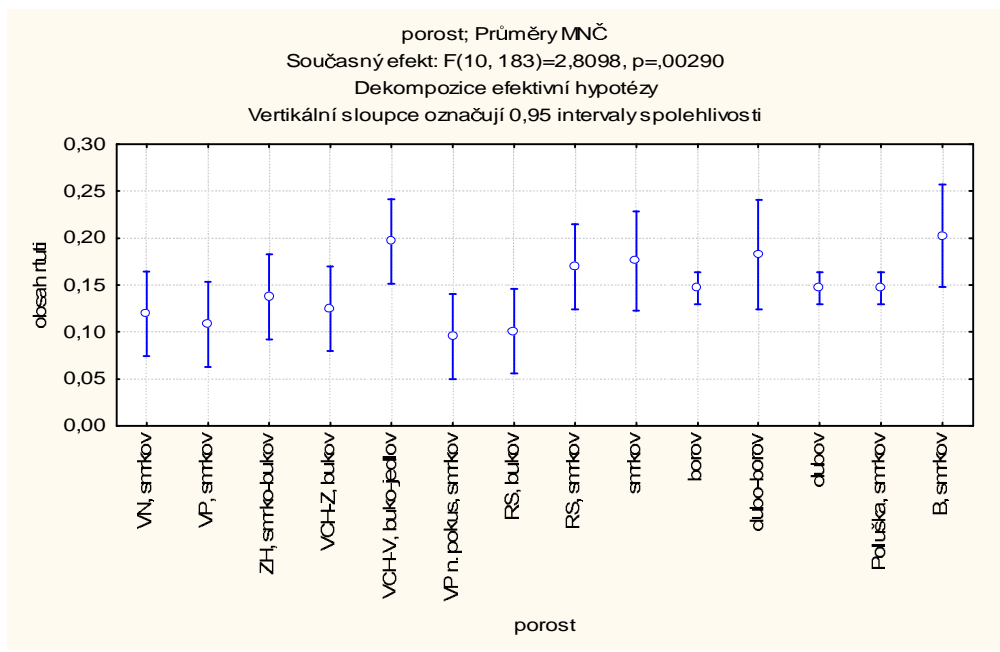
Graf č. 13: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách na všech lokalitách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Tab. č. 7: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na sledovaných odběrných místech s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

Porost (odběrné místo)	Lokalita	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Dubový	Lužice	0,050	****							
Dubo-borový	Lužice	0,086	****	****						
VP n. pokus, smrkový	Lenora	0,143		****	****					
RS, bukový	Lenora	0,149			****	****				
VP, smrkový	Lenora	0,156			****	****	****			
VN, smrkový	Lenora	0,167			****	****	****	****		
Borový	Břehov	0,170			****	****	****	****		
VCH-Z, bukový	Lenora	0,172			****	****	****	****		
ZH, smrko- bukový	Lenora	0,185			****	****	****	****	****	
Poluška, smrkový	V. Chuchelec	0,203				****	****	****	****	****
Smrkový	Břehov	0,210					****	****	****	****
RS, smrkový	Lenora	0,217						****	****	****
Smrkový	V. Chuchelec	0,232							****	****
VCH-V, buko-jedlový	Lenora	0,244								****

Zkratky: VP – vrch Ptáčník; RS – Radvanovické sedlo; VN – Velká niva; ZH – Zátoňská hora; VCH-Z – vrch Chlustov – západ; VCH-V- vrch Chlustov – východ

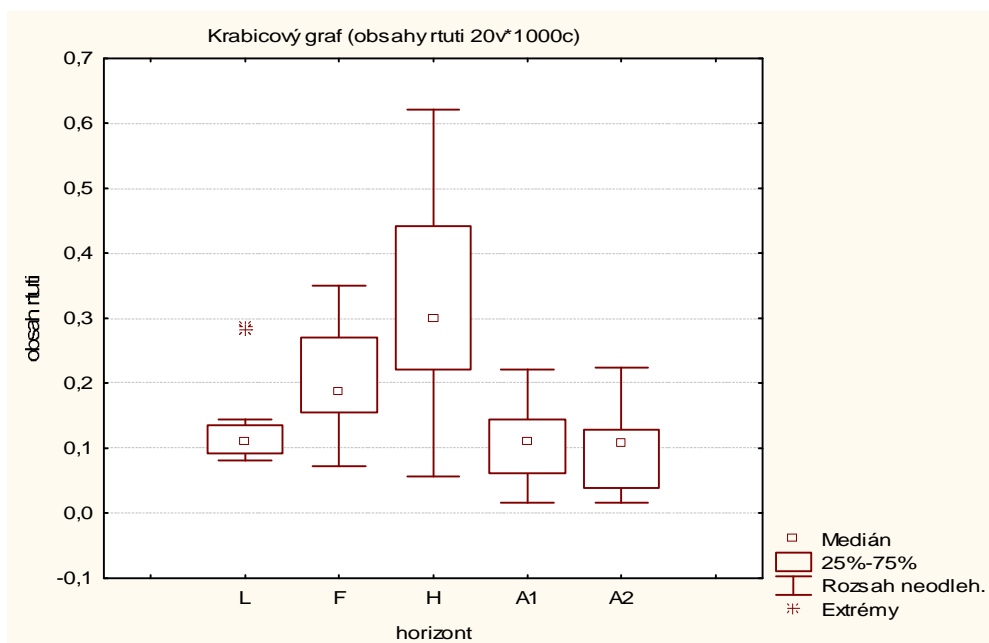
Odběrná místa, která jsou pomocí hvězdiček uspořádané do skupiny se v rámci této skupiny statisticky neliší. Ale odběrná místa zařazené do skupiny 1 se již statisticky významně liší od odběrných míst zařazených do ostatních skupin (2-8). Pouze odběrová místa u kterých se označení hvězdičkami překrývá v rámci skupin se mezi sebou také statisticky neliší.



Graf č. 14: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách na odběrových místech (mg·kg⁻¹ sušiny).

Tab. č. 8: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) v sledovaných horizontech s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

Horizont	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
A ₂	0,099	****		
A ₁	0,106	****		
L	0,126	****		
F	0,201		****	
H	0,325			****



Graf č. 15: Průměrné obsahy celkové rtuti v lesních půdách ve sledovaných horizontech na všech lokalitách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Z tabulky č. 8 vyplývá, že statisticky významné rozdíly jsou mezi horizonty F a H. Naopak statisticky významně podobné jsou horizonty A₂, A₁ a L.

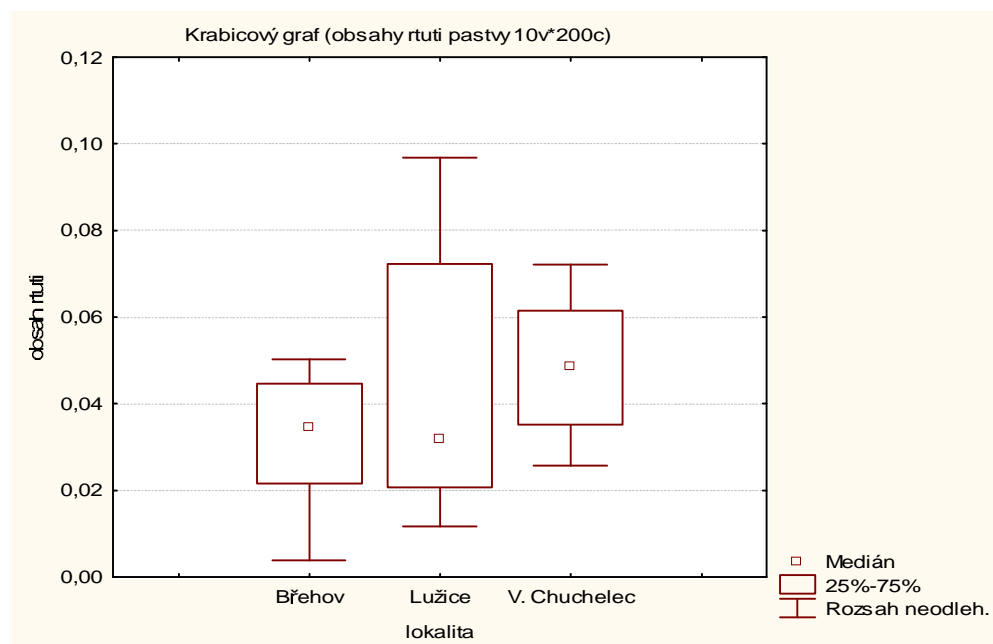
4.5 Statistické vyhodnocení zemědělsky obhospodařovaných půd všech lokalit

Tab. č. 9: Analýza variací obsahů celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách na jednotlivých lokalitách

Zdroj proměnlivosti	Rozptyl (MS)	Počet stupňů volnosti	F	p – hladina ¹⁾
Lokalita	0,0022	2	20,387	0,0000**
Porost	0,0011	4	10,022	0,0000**
Hloubka půdy	0,0043	2	39,889	0,0000**
Opakování	0,0000	2	0,025	0,975
Chyba	0,0001	66	-	-

Tab. č. 10: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na sledovaných lokalitách s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

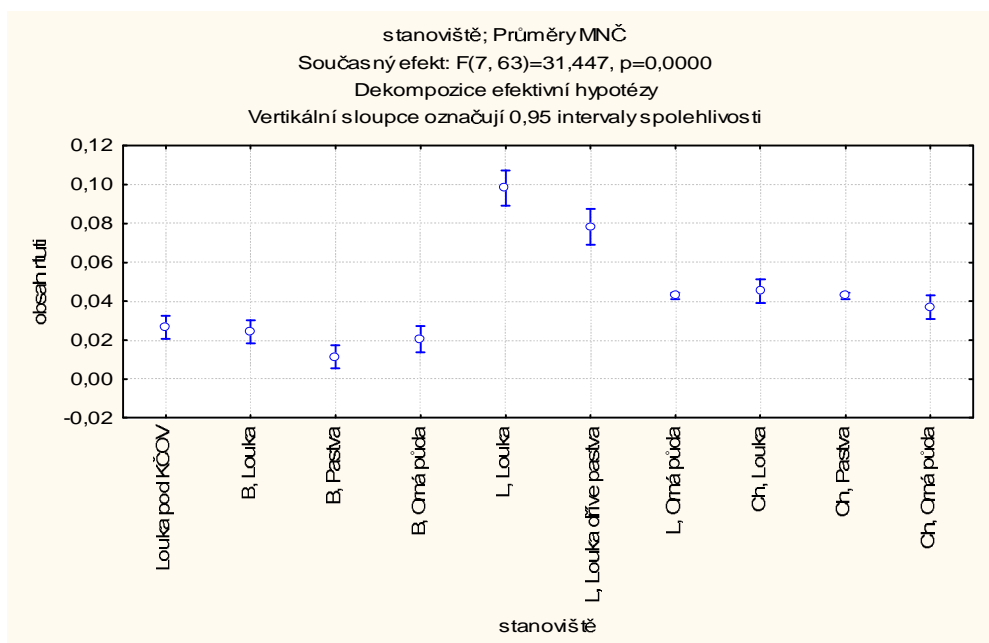
Lokalita	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$	
		1	2
Břehov	0,033	****	
Lužice	0,045		****
V. Chuchelec	0,049		****



Graf č. 16: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách na všech lokalitách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Tab. č. 11: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) na sledovaných odběrných místech s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

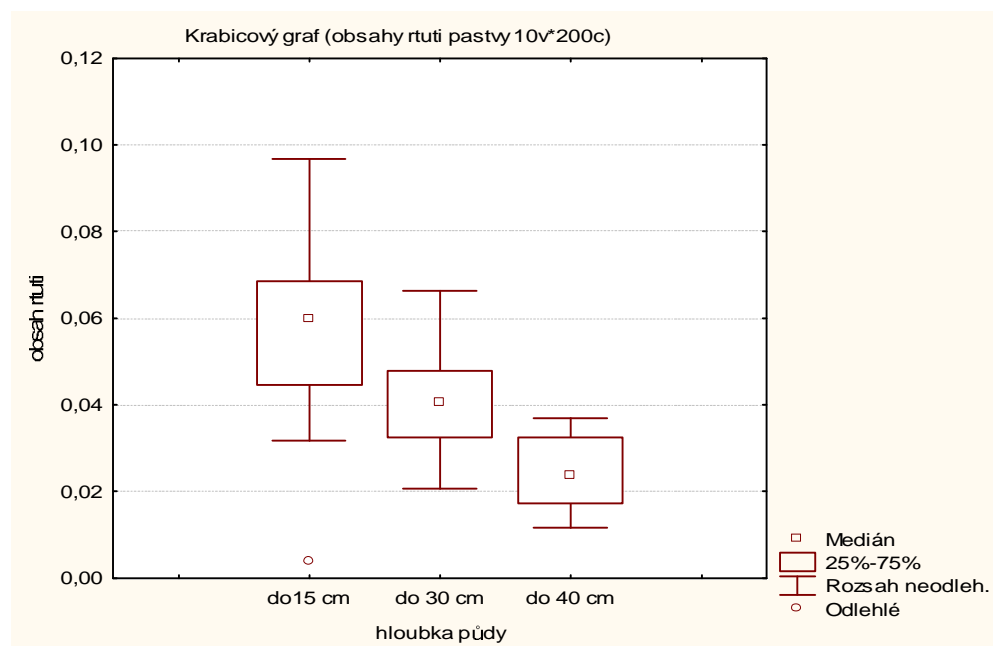
Porost	Lokalita	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$							
			1	2	3	4	5	6	7	
Orná půda	Lužice	0,022	****							
Pastva	Břehov	0,024	****							
Orná půda	Břehov	0,028	****							
Louka	Břehov	0,037		****						
Louka pod KČOV	Břehov	0,040		****	****					
Orná půda	V. Chuchelec	0,045			****	****				
Pastva	V. Chuchelec	0,050				****	****			
Louka	V. Chuchelec	0,053					****			
Louka dřívě pastva	Lužice	0,069						****		
Louka	Lužice	0,088								****



Graf č. 17: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách z odběrových míst na všech lokalitách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Tab. č. 12: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny) v hloubkách odběru s vyznačením homogenních skupin na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 0,05$

Hloubka půdy	Průměrný obsah rtuti	Homogenní skupiny na hladině stat. významnosti $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
Do 40 cm	0,024	****		
Do 30 cm	0,041		****	
Do 15 cm	0,056			****

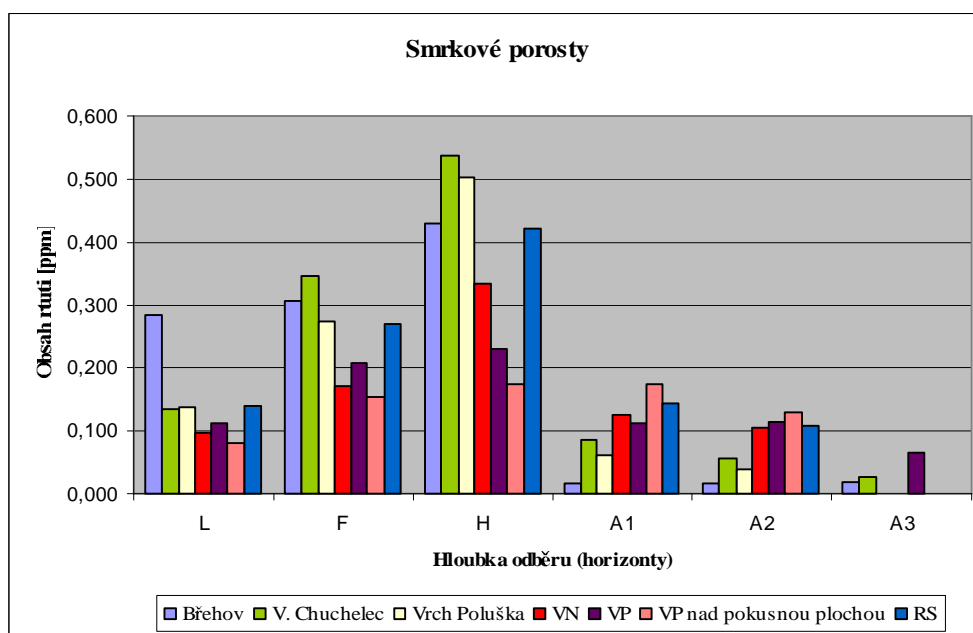


Graf č. 18: Průměrné obsahy celkové rtuti v zemědělsky obhospodařovaných půdách v hloubkách odběru na všech lokalitách kromě Lenory ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Z grafu č. 18 je patrné, že obsah celkové rtuti se zvyšující se hloubkou klesá. To potvrzuje známou skutečnost, že rtuť ve vrchních vrstvách půd většinou pochází z atmosférického spadu.

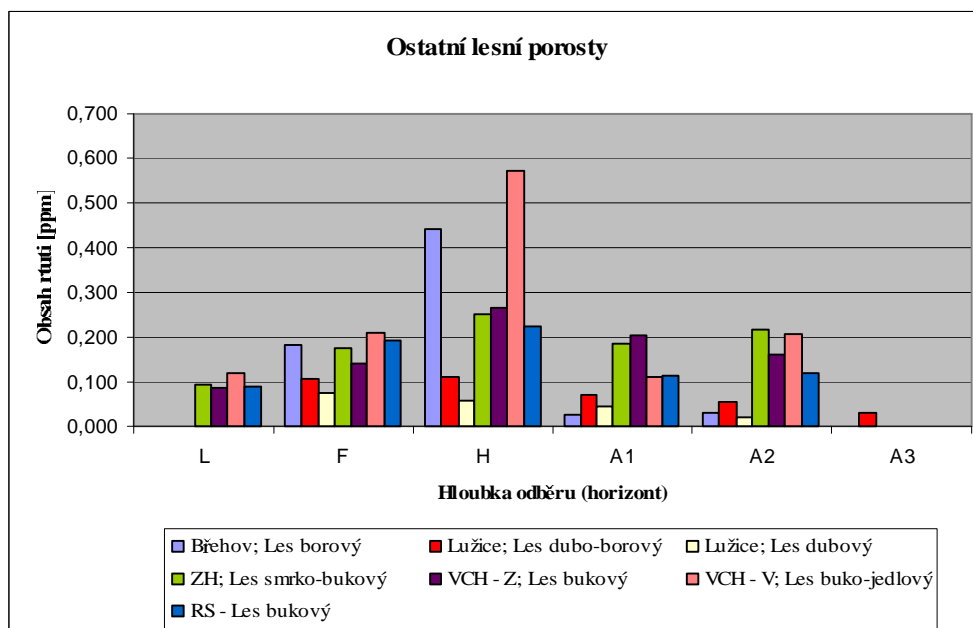
5. DISKUZE

Z grafu č. 19 porovnávajícího všechny vzorkované půdy ze smrkových porostů vyplývá, že nejvíce celkové rtuti bylo naměřeno v H horizontech, a to v lokalitě Velký Chuchelec $0,537 \pm 0,011 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Tato hodnota je velmi podobná hodnotě udávané v literatuře (Hojdová, a kol., 2006), která je ze smrkového porostu vzorkovaného v CHKO Šumava v lokalitě Na Lizu cca 30 km východně od Prachatic. Hodnota obsahu celkové rtuti byla $0,558 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo nalezeno na lokalitě Břehov v horizontu A₂ $0,017 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Průměrně nejméně celkové rtuti bylo nalezeno v lokalitě vrch Ptáčník nad pokusnou plochu zřejmě z důvodu nejmladšího a nejméně vzrostlého porostu ze všech lokalit. Obsah celkové rtuti zde byl poměrně vyrovnaný ve všech sledovaných horizontech.



Graf č. 19: Obsah celkové rtuti v půdách smrkových porostů ze všech lokalit ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

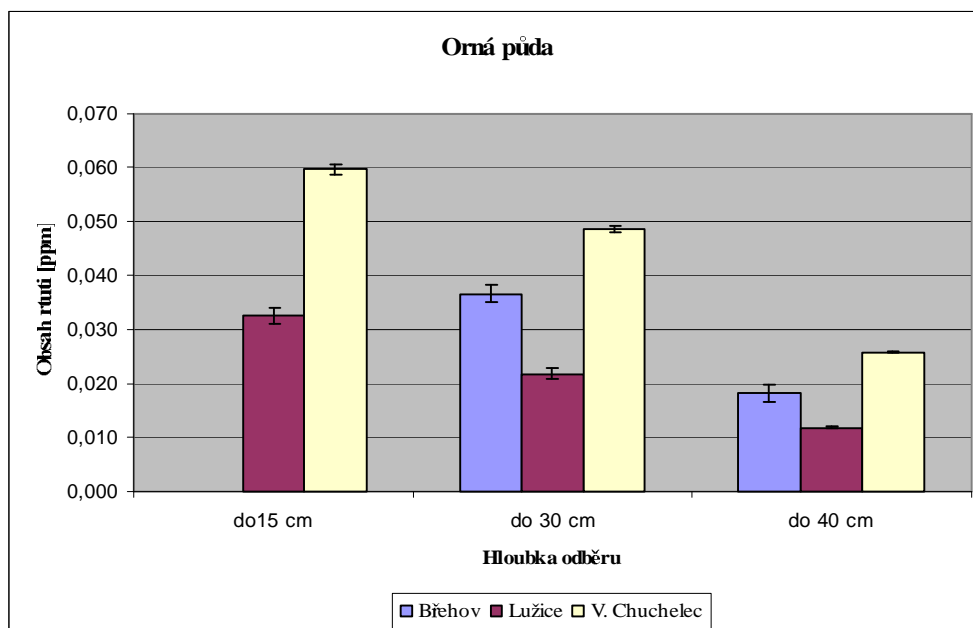
Zkratky: VN – Velká niva; VP – vrch Ptáčník; RS – Radvanovické sedlo



Graf č. 20: Obsah celkové rtuti v ostatních lesních porostech ze všech lokalit ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

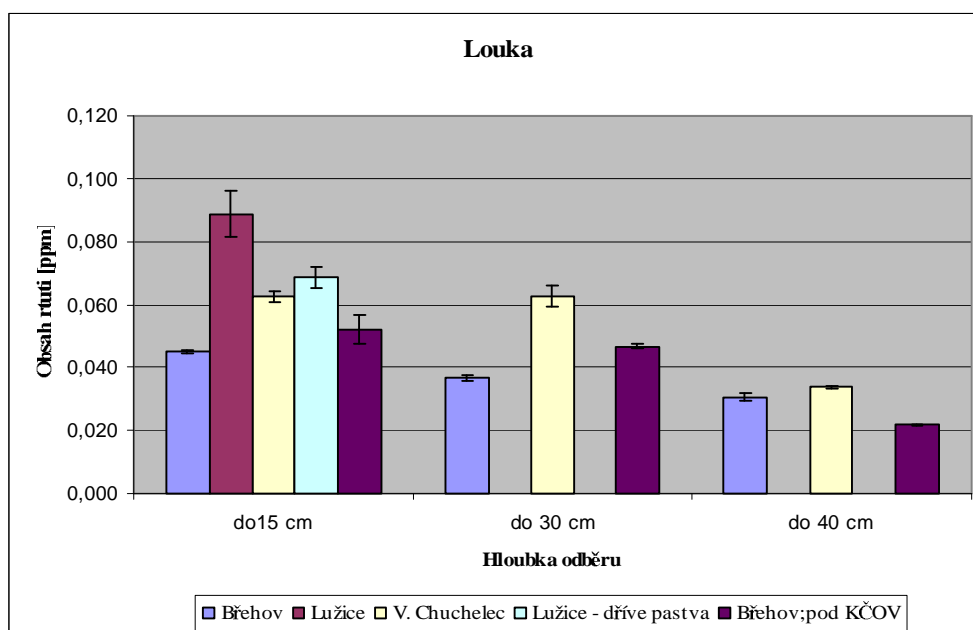
Zkratky: ZH – Zátoňská hora; VCH-Z – vrch Chlustov – západ; VCH-V – vrch Chlustov – východ; RS – Radvanovické sedlo

Porovnání ostatních lesních porostů v grafu č. 20 ukazuje, že nejvyšší obsah celkové rtuti byl v H horizontu lokality vrch Chlustov – východ, kde byl vzrostlý buko-jedlový les ($0,574 \pm 0,042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny). Tento nárůst na východní straně vrchu Chlustov by mohl být důsledkem porostu s vyšší listovou plochou a pravděpodobně i dalšího zdroje znečištění, možná i v důsledku dřívějšího provozu sklárny. Nejméně celkové rtuti bylo zjištěno v horizontu A₂ v lokalitě Lužice $0,022 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, kde byl vzrostlý dubový les. Průměrně nejméně celkové rtuti bylo zaznamenáno v lokalitě Lužice, dubový les, kde to může být způsobeno druhem porostu (listnatý les), kde je menší listová plocha, která je opadavá a tím má méně možnosti absorbovat imise z atmosféry, zde ovšem chybí L horizont, jelikož půda byla porostlá trávou.



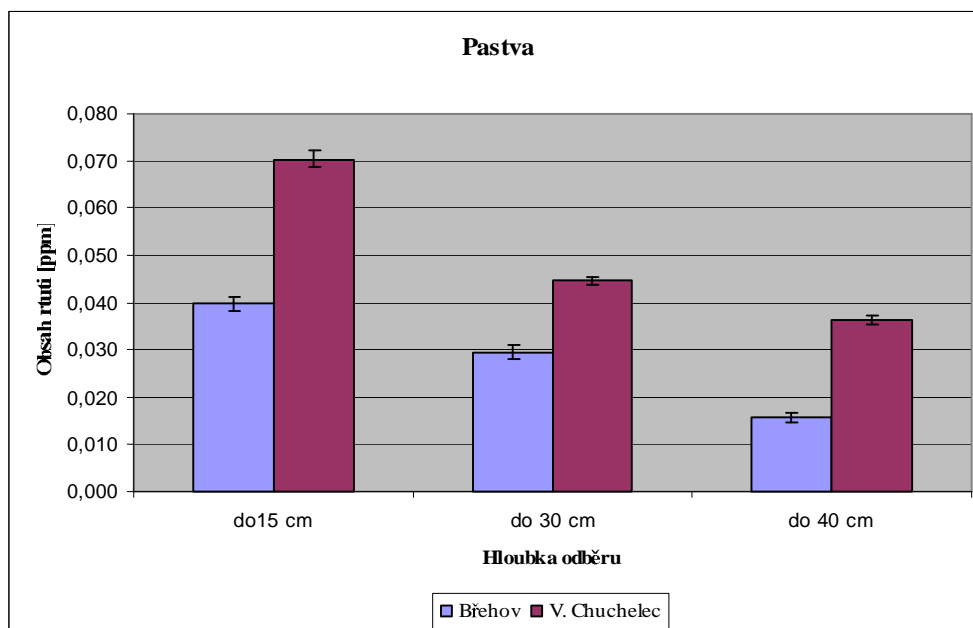
Graf č. 21: Obsah celkové rtuti v orné půdě ze všech lokalit ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Porovnání orné půdy z lokalit je znázorněno v grafu č. 21. Nejvíce celkové rtuti bylo naměřeno v lokalitě Velký Chuchelec do 15 cm $0,060 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejvyšší obsah celkové rtuti na lokalitě Velký Chuchelec může být způsoben dlouhodobým (65 let) využíváním půdy jako orné a v dřívější době využíváním mořeného osiva, kde v mořidlu byla přítomna rtuť. Nejméně celkové rtuti bylo nalezeno na lokalitě Lužice v hloubce do 40 cm $0,012 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Lokalita ve Velkém Chuchelci byla oseta ovsem, zatímco lokality v Břehově a v Lužici byly osety pšenicí. Lze předpokládat, že obsah celkové rtuti také i zde ovlivňuje druh půdního podloží. Zatímco ve Velkém Chuchelci je půdní typ svor, což je velmi málo propustný typ, v lokalitě Břehov jsou půdy spíše písčité a tím více propustné.



Graf č. 22: Obsah celkové rtuti v lučňí půdě ze všech lokalit ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

V grafu č. 22 je porovnání luk z daných lokalit. Nejvíce celkové rtuti bylo naměřeno v lokalitě Lužice v hloubce do 15 cm $0,088 \pm 0,007 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo zjištěno v lokalitě Břehov pod KČOV v hloubce do 40 cm $0,022 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Vzorky z lokality Lužice jsou odebrány pouze do hloubky 15 cm jelikož hlouběji nebylo možno vzorek odebrat z důvodu přítomnosti kamenů, které brány proniknutí půdní sondy.



Graf č. 23: Obsah celkové rtuti v půdě z pastvin ze všech lokalit ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Znázornění v grafu č. 23 vypovídá o obsahu celkové rtuti v půdních vzorcích z pastvy. V obou lokalitách je patrný klesající trend s rostoucí hloubkou. Nejvíce celkové rtuti bylo změřeno v lokalitě Velký Chuchelec do hloubky 15 cm $0,070 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno v lokalitě v Břehově v hloubce do 40 cm $0,016 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo získání vlastních vzorků a dat obsahu celkové rtuti v půdách jižních Čech a potvrdit či vyvrátit pracovní hypotézu zaměřenou na vliv způsobů obhospodařování půdy v jihočeském regionu.

Pro tento účel byly vybrány lokality Lenora, Velký Chuchelec, Břehov a Lužice. Byly zde porovnávány obsahy celkové rtuti v horizontech lesních půd a v různých hloubkách odběru u zemědělsky obhospodařovaných půd.

Nejvíce celkové rtuti bylo nalezeno v H horizontu lesních půd. Nejvyšší obsah v tomto horizontu byl zaznamenán na lokalitě Lenora na odběrném místě vrchu Chlustov – východ, kde je jedlo-bukový porost. Naměřená hodnota byla $0,574 \pm 0,042 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo v lokalitě Lužice v horizontu A₂ v dubovém porostu. Hodnota byla $0,022 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Ve smrkových porostech bylo nejvíce celkové rtuti nalezeno v lokalitě Velký Chuchelec v horizontu H. Naměřená hodnota byla $0,537 \pm 0,011 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, což je v dobré shodě v porovnání s literárními zdroji (Hojdová, a kol., 2006). Naopak nejméně celkové rtuti ve smrkových porostech bylo zaznamenáno v lokalitě Břehov v horizontu A₂ $0,017 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny.

V případě lokality Lenora, byla domněnka, že na obsah celkové rtuti v půdách této lokality mohla mít vliv přítomnost sklárny, která zde byla v provozu do roku 1995. Jelikož nejsou na všech světových stranách stejné druhy lesních porostů a tudíž je nelze srovnávat a považovat za objektivní, není možné s jistotou tvrdit, že obsah celkové rtuti v hlubších horizontech je původem ze sklárny.

V případě orné půdy bylo nejvíce celkové rtuti naměřeno v lokalitě Velký Chuchelec do hloubky odběru 15 cm $0,060 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno na lokalitě Lužice do hloubky odběru 40 cm $0,012 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Na všech lokalitách byl patrný klesající trend obsahu celkové rtuti s hloubkou odběru. Porovnáním orné půdy z lokality Lužice a Velký Chuchelec je patrné, že ve Velkém Chuchelci je zhruba dvojnásobek obsahu celkové rtuti ve všech hloubkách odběru oproti Lužici. Může to být způsobeno jednak druhem rostlin, které byly pěstovány na orné půdě a také vlivem vnosu rtuti z dřívě používaného mořidla osiva (AGRONAL). Ve Velkém Chuchelci byl při odběru vzrostlý oves, zatím co v Lužici byla orná půda oseta jarní obilninou. Toto by mohlo mít vliv na obsah celkové rtuti, ale důležitějším faktorem ovlivňující obsah celkové

rtuti je zřejmě druh půdy, jelikož ve Velkém Chuchelci je svor, který je málo propustný oproti půdám v Lužici, kde jsou spíše granity, křemenné monzonity a syenity, které jsou více propustné. Lze tedy říci, že obsah celkové rtuti v půdách je závislý na mateční hornině a od ní odvozené sorpční kapacitě půdy.

Na lučních půdách bylo nejvíce celkové rtuti naměřeno v lokalitě Lužice do hloubky odběru 15 cm $0,088 \pm 0,007 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Naopak nejméně celkové rtuti bylo zaznamenáno v lokalitě Břehov nedaleko KČOV v hloubce odběru do 40 cm $0,022 \pm 0,0001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. V těchto půdách již nebyl tak výrazný klesající trend s hloubkou. Lze to přičíst různému počtu sklizní nadzemní biomasy a různému druhovému složení daných lučních porostů.

Porovnání lučních porostů z Lenory, kde byly vzorky půd odebrány z místa, kde byl porost hnojen NPK hnojivou, ponechán ladem, dvakrát ročně kosen prokázalo, že obsahy celkové rtuti se výrazně neliší. Zajímavé jištění bylo u půd, kde byl porost ponechán ladem. Je to jediné odběrné místo kde byl vyšší obsah celkové rtuti v hlouběji odebraném vzorku než ve vzorku pod povrchem. Může to být způsobeno ponecháním nadzemní biomasy na stanovišti a tudíž případná akumulovaná rtuť v rostlinách se po rozkladu rostlin dostává zpět do půdy na stejném místě. Nebo zde nejsou přítomny druhy rostlin schopné akumulace rtuti a rtuť tak má větší možnost ukládat se hlouběji.

V půdách odebraných na pastvinách skotu bylo nejvíce rtuti nalezeno v lokalitě Velký Chuchelec do hloubky odběru 15 cm $0,070 \pm 0,002 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Nejméně celkové rtuti bylo naměřeno v lokalitě Břehov v hloubce odběru do 40 cm $0,016 \pm 0,001 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Zde je opět patrný klesající trend obsahu celkové rtuti s hloubkou odběru. Vyšší obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec je opět nejspíš dán druhem půdy a také druhovou rozmanitostí porostu. Bylo zde také početnější stádo skotu, což má vliv na větší spásání porostu. Schopnost některých druhů rostlin akumulovat rtuť a tím se dostat do potravního řetězce skotu a následné vyloučení s výkaly zpět na plochu odkud byla rtuť přijata a tedy "uzavřeným" koloběhem na dané pastvině může být také faktorem, který ovlivňuje obsah celkové rtuti půdě.

Zadaná pracovní hypotéza o vlivu obhospodařování půdy (pole, louka, pastvina, les), byla statisticky významně prokázána ($p < 0,05$; vícefaktorová ANOVA – viz tab. č. 11) nejlépe na lokalitách Lužice a Velký Chuchelec. Z výsledků je patrné, že způsob obhospodařování má vliv na obsah celkové rtuti

v půdě, ale jsou zde i jiné faktory, které mají na obsah celkové rtuti vliv. Mezi ně patří např. druh půdy, způsob orby, dlouhodobé využívání stejným druhem obhospodařování (orná půda, louka, pastvina), druhy rostlin a dřevin nacházející se na dané lokalitě. Lze tedy říci, že nejen způsob obhospodařování má vliv na obsah celkové rtuti v půdě. U lesních půd byl prokázán statisticky významný vliv druhu a stáří porostu na obsah celkové rtuti v půdě.

7. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- Åkerblom S., et al., 2008: Partitioning of Hg Between Solid and Dissolved Organic Matter in the Humus Layer of Boreal Forests., *Water Air Soil Pollut* (2008) 189: 239-252
- Bokr P., 2008: Česká geologická služba [online]; cit. 2010-04-15, Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/>
- Ericksen J. A., et al., 2006: Air-soil exchange of mercury from background soils in the United States, *Science of the Total Environment*, 366 (2-3): 851-863
- Ernst G., et al., 2008: Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soils., *Environmental Pollution* 156 (2008) 1304-1313
- Farella N., et al., 2006: Mercury release from deforested soils triggered by base cation enrichment., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 19-29
- Feng X., et al., 2006: A preliminary study on mercury contamination to the environment from artisanal zinc smelting using indigenous methods in Hezhang County, Guizhou, China: Part 2. Mercury contaminations to soil and crop., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 47-55
- Gabriel M. C., Williamson D. G., 2004: Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment. *Environmental geochemistry and health* 26 (4): 421-434 *Plant Soil and Environment*, od r. 2001
- Grimaldi C., et al., 2008: Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes., *Science of the Total Environment* 401(2008) 121-129
- Hojdová M., a kol., 2006: Speciace rtuti v lesních půdách. Sborník přednášek semináře "MIKROELEMENTY – 2006", 133-137
- Hojdová M., et al., 2007: Effects of throughfall and litterfall manipulation on concentrations of methylmercury and Mercury in forest-floor percolates., *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 373-377
- Hojdová M., et al., 2008. Distribution and speciation of Mercury in mine waste dumps., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, (www.springerlink.com)

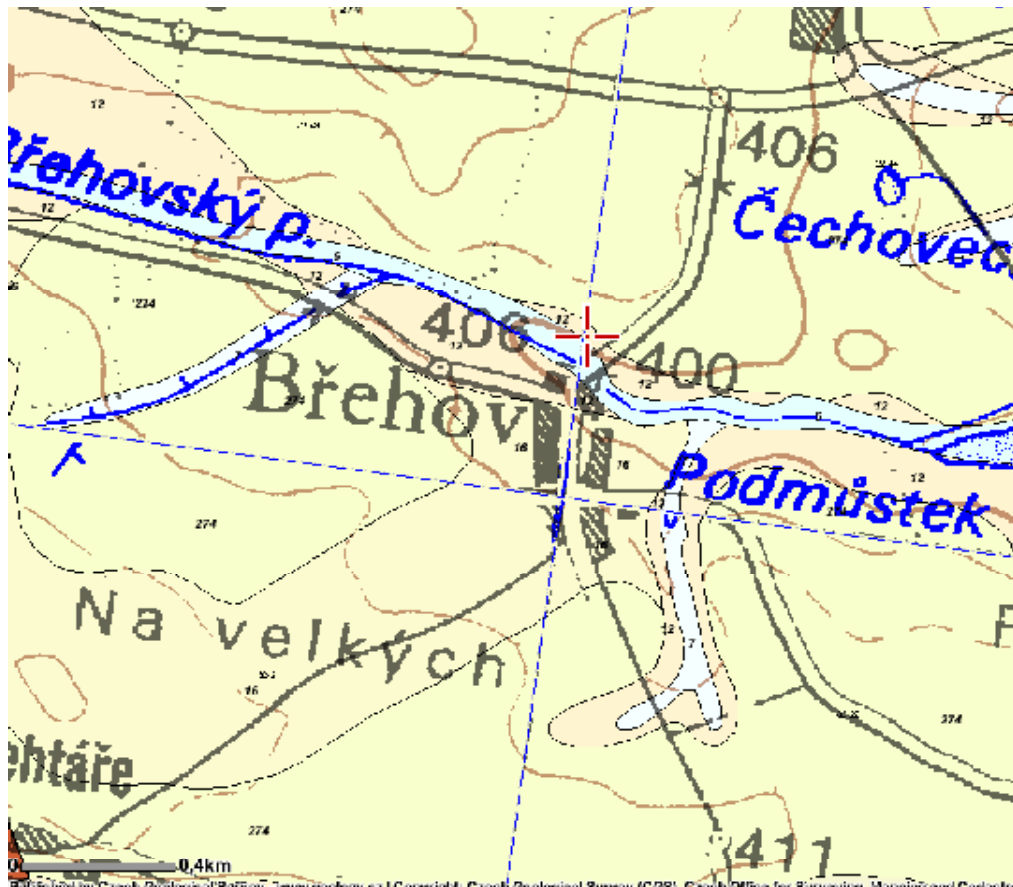
- Holloway J. M., et al., 2009: Geomorphic controls on mercury accumulation in soils from a historically mined watershed, Central California Coast Range, USA., *Applied Geochemistry* 24, 1538-1548
- Houserová P., a kol., 2006: chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech – vlastnosti, úrovně, koloběh a stanovení, *Chemické listy* 100: 862-876
- Kacálková L., et al., 2009: Phytoextraction of cadmium, copper, zinc and mercury by selected plants., *Plan, Soil and Environment* 55, 2009 (7): 295-304
- Mainville N., et al., 2006: Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 88-98
- Maříková H., 2008: Výskyt rtuti a olova v sedimentech horního toku Vltavy a nádrže Lipno. [Diplomová práce] České Budějovice, katedra chemie ZF JU, 111 s.
- Merian E., et al., 1991: *Metals and Their Compounds in the Environment.*, VCH Weinheim, 1438 s.
- Millán R., et al., 2006: Mercury content in vegetation and soils of the Almadén mining area (Spain)., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 79-87
- Natali S. M., et al., 2008: Increased mercury in forest soils under elevated carbon dioxide., *Oecologia* (2008) 158: 343-354
- Němeček J., a kol., 2001: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, ČZU Praha, 78 s.
- Novotná M., 2010: Charakter antropogenní kontaminace půd olovem. [Bakalářská práce] České Budějovice, katedra aplikované chemie a učitelství chemie ZF JU, 43 s.
- Palmieri H. E. L., et al., 2006: Quantification and speciation of mercury in soils from the Tripuí Ecological Station, Minas Gerais, Brazil., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 69-78
- Qiu G., et al., 2006: Mercury contaminations from historic mining to water, soil and vegetation in Lanmuchang, Guizhou, southwestern China., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 56-68

- Rodrigues S., et al., 2006: Spatial distribution of total Hg in urban soils from an Atlantic coastal city (Aveiro, Portugal)., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 40-46
- Rózański S., 2009: The content of mercury in arable soils considering pedogenic, lithogenic and anthropogenic factors., *Fresenius Environmental Bulletin*, volume 18 – No 6. 2009
- Steinnes E., Friedland A. J., 2006: Metal contamination of natural surface soils from long-range atmospheric transport: Existing and missing knowledge. *Environmental reviews* 14 (3): 169-186
- Suchara I., Sucharová J., 2002: Distribution of sulphur and heavy metals in forest floor humus of the Czech Republic., *Water, Air, and Soil Pollution* 136: 289-316, 2002
- Suchara I., et al., 2007: Mapping of main sources of pollutants and their transport in the Visegrad Space., *VUKOZ Půhonice*, 96-98
- Šimek M., 2005: *Základy nauky o půdě 1. Neživé složky půd*, JCU České Budějovice, 158 s.
- Wang Y., Grager M., 2006: Use of iodide to enhance the phytoextraction of mercury-contaminated soil., *Science of the Total Environment* 368 (2006) 30– 39

8. SEZNAM PŘÍLOH

8.1 Geologické mapy lokalit	79
8. 2 Odběrná místa lesních půd z lokality Lenora (grafická část).....	82
8. 3 Odběrná místa zemědělských půd z lokality Lenora (grafická část).....	86
8. 4 Odběrná místa lesních půd z lokality Břehov a Lužice (grafická část).....	87
8. 5 Odběrná místa zemědělských půd z lokalit Břehov a Lužice(grafická část)....	89
8. 6 Odběrná místa lesních půd z lokality Velký Chuchelec (grafická část).....	92
8. 7 Odběrná místa zemědělských půd z lokality Velký Chuchelec (grafická část).....	93

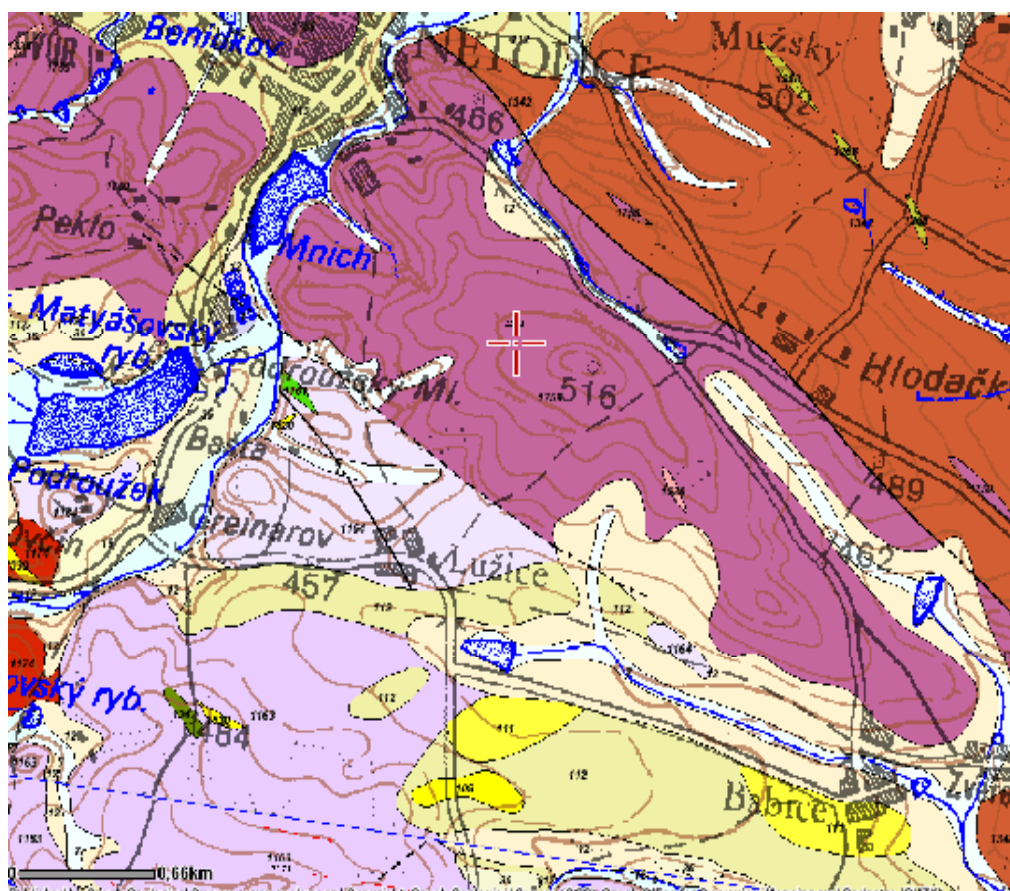
8.1 Geologické mapy lokalit



Obr. č. 7: Geologická mapa lokality Břehov. (Zdroj: Bork, 2008; dostupné z www.geology.cz)

Vysvětlivky:

- Nivní sediment [ID: 6]**
Eratém: kenozoikum; Útvar: kvartér; Oddělení: holocén; Horniny: hlína, písek, štěrk; Typ hornin: sediment nezpevněný
- Písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment [ID: 12]**
Eratém: kenozoikum; Útvar: kvartér; Horniny: písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment; Typ hornin: sediment nezpevněný
- Spraš a sprašová hlína [ID: 16]**
Eratém: kenozoikum; Útvar: kvartér; Oddělení: pleistocén; Horniny: spraš, sprašová hlína; Typ hornin: sediment nezpevněný; Mineralogické složení: křemen + příměsi + CaCO₃
- Pískovce, slepence, jílovce a prachovce [ID: 274]**
Eratém: mezozoikum; Útvar: křída; Oddělení: křída svrchní; Horniny: pískovce, slepence, jílovce, prachovce; Typ hornin: sediment nezpevněný; Mineralogické složení: kaolinit, arkózovité



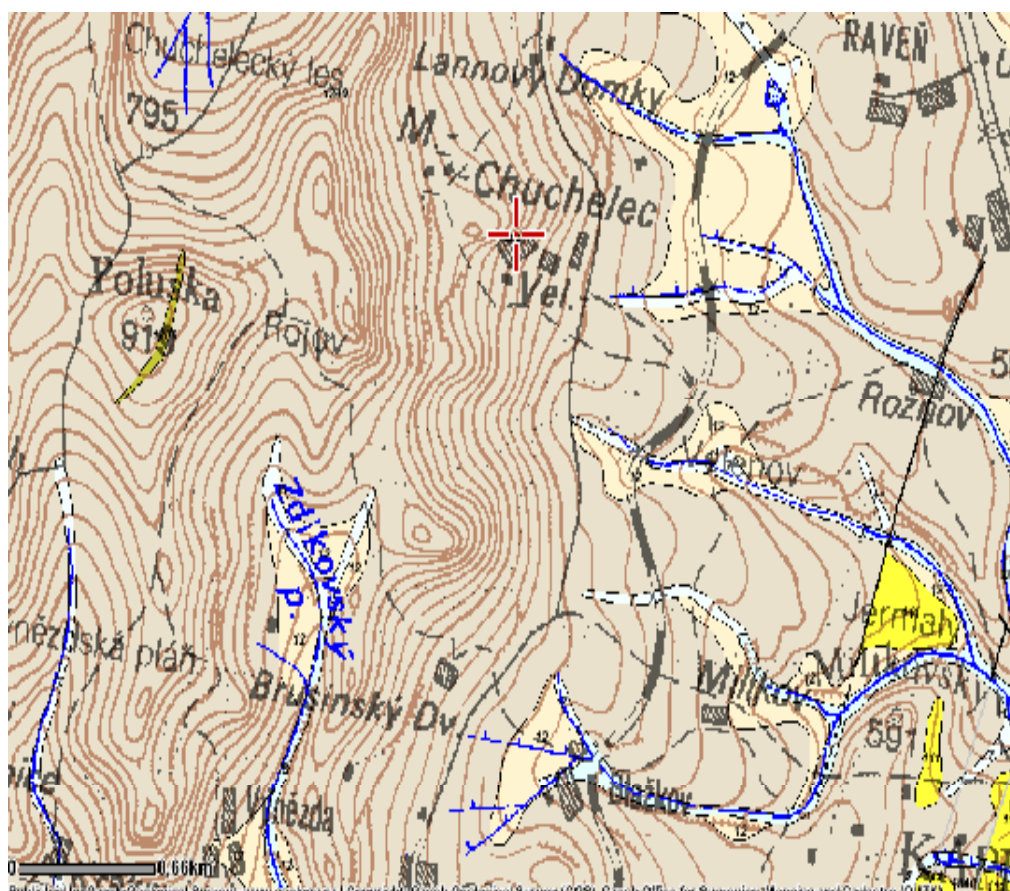
Obr. č. 8: Geologická mapa lokality Lužice. (Zdroj: Bork, 2008; dostupné z www.geology.cz)

Vysvětlivky:



Granit, křemenný monzonit a syenit (varieta typu Čertovo břemeno) [ID:1759]

Eratém: paleozoikum; Útvar: karbon, perm; Horniny: granit, monzonit křemenný, syenit; Typ hornin: magmatit hlubinný; Mineralogické složení: amfibol biotit



Obr. č. 9: Geologická mapa lokality Velký Chuchelec. (Zdroj: Bokr, 2008; dostupné z www.geology.cz)

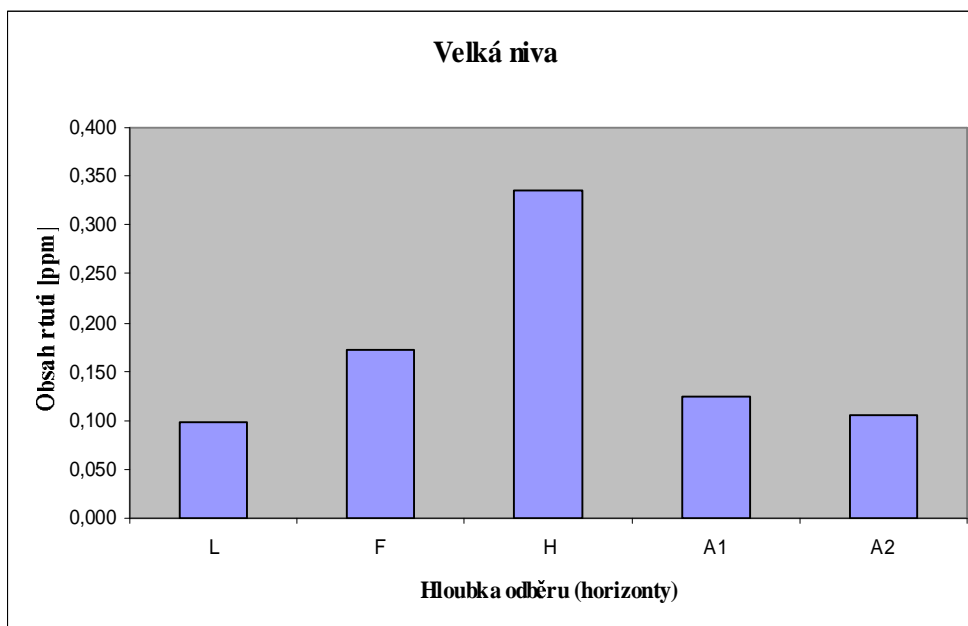
Vysvětlivky:



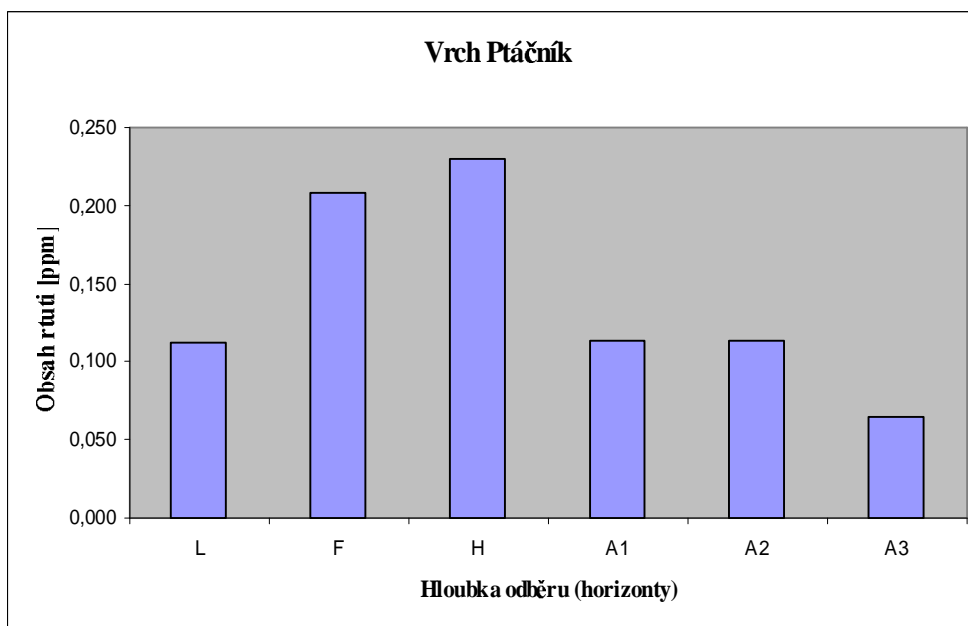
Pararula [ID:1340]

Eratém: paleozoikum až proterozoikum; Horniny: pararula; Typ hornin: matamorfit; Mineralogické složení: dvojslídny

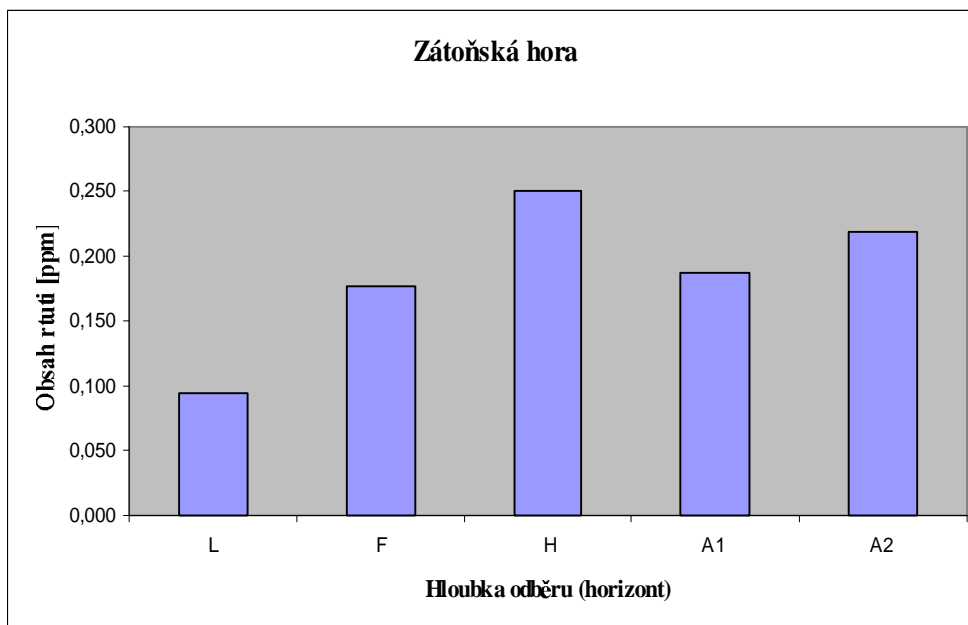
8. 2 Odběrná místa lesních půd z lokality Lenora



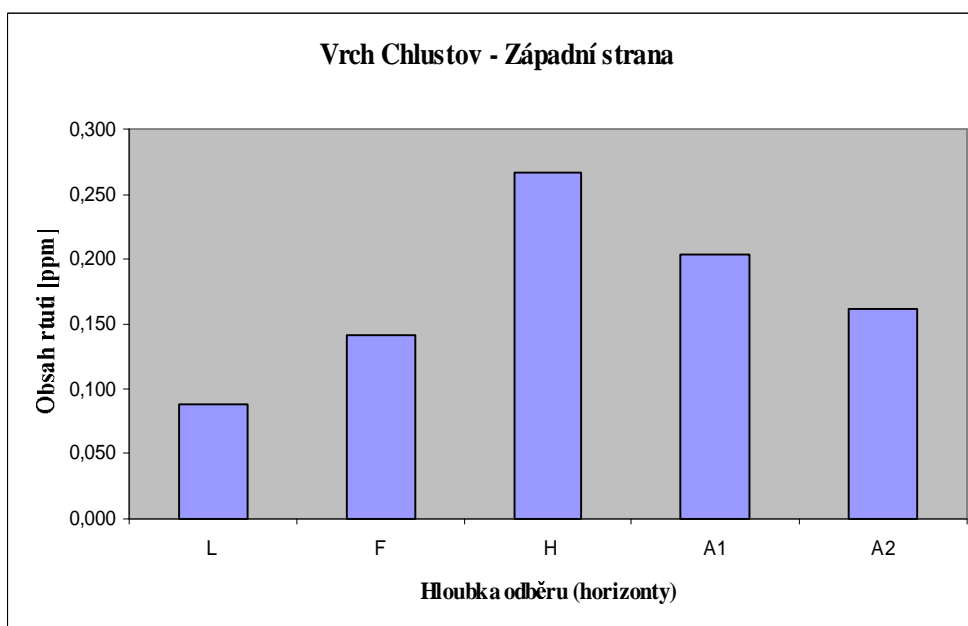
Graf č. 24: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lenora, odběrné místo Velká niva ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



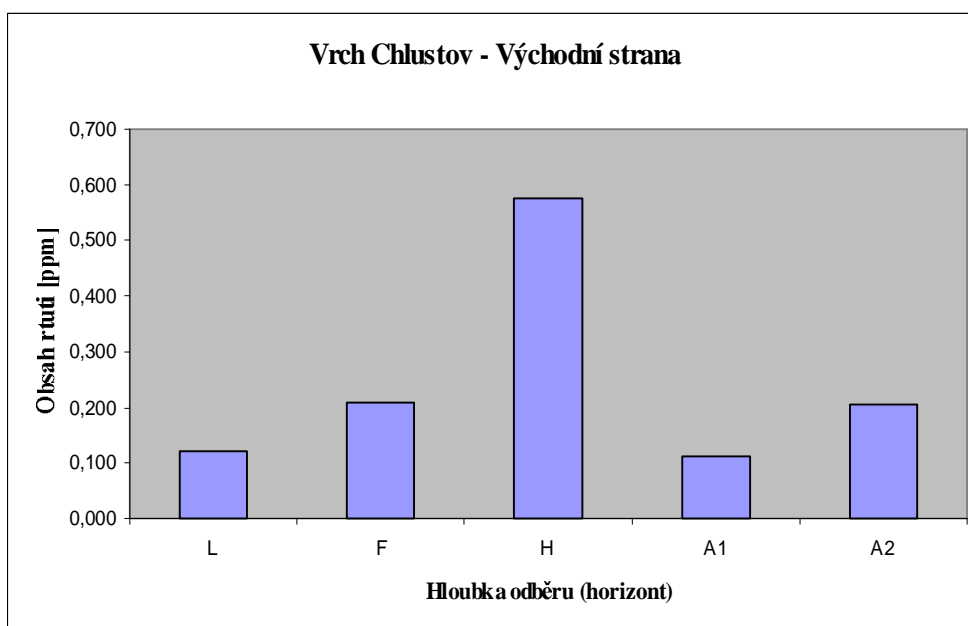
Graf č. 25: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lenora, odběrné místo vrch Ptáčník ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



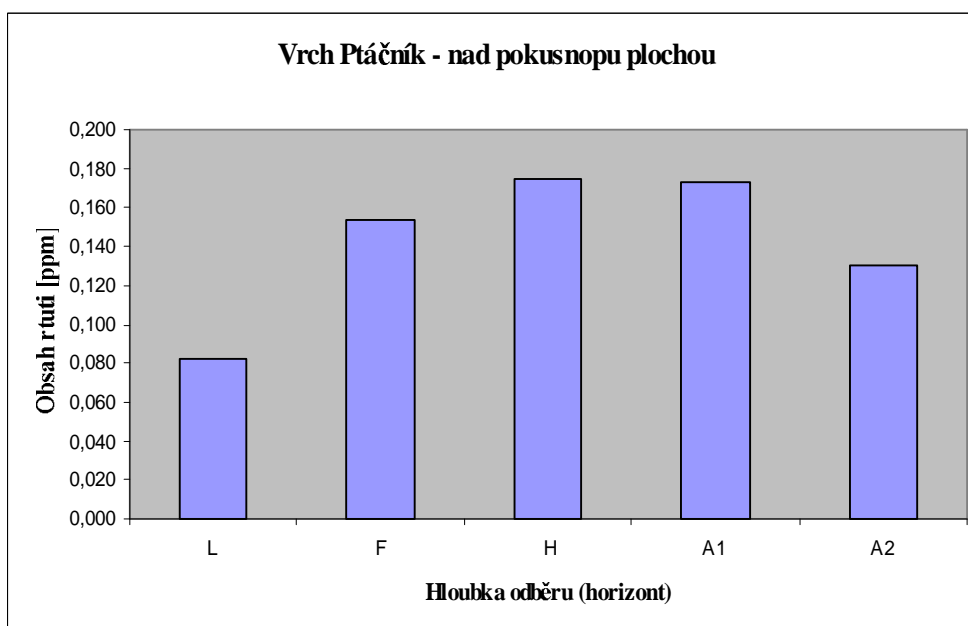
Graf č. 26: Obsah celkové rtuťi v lokalitě Lenora, odběrné místo Zátoňská hora ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



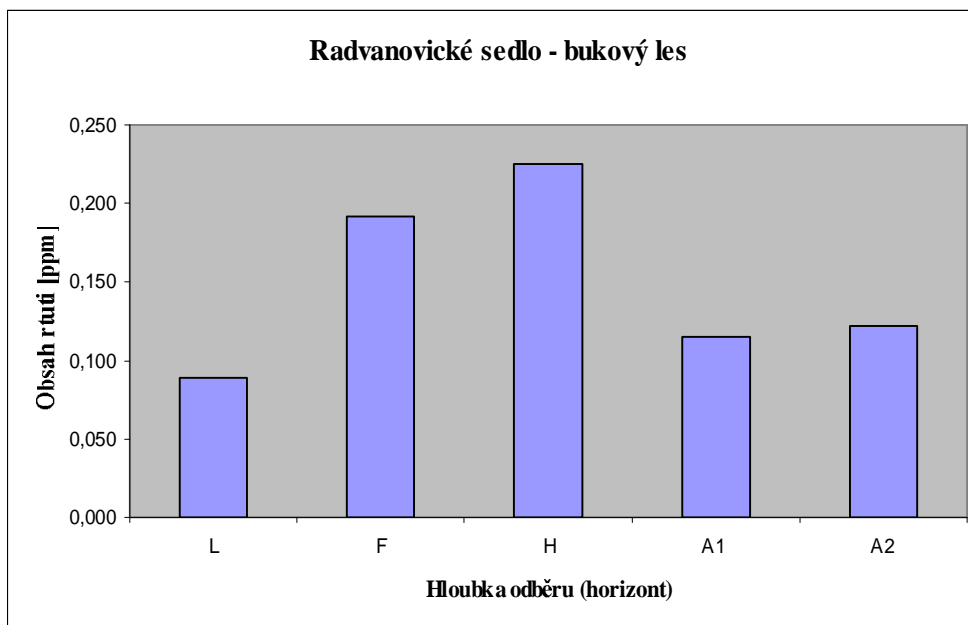
Graf č. 27: Obsah celkové rtuťi v lokalitě Lenora, odběrné místo vrch Chlustov – Západní strana ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



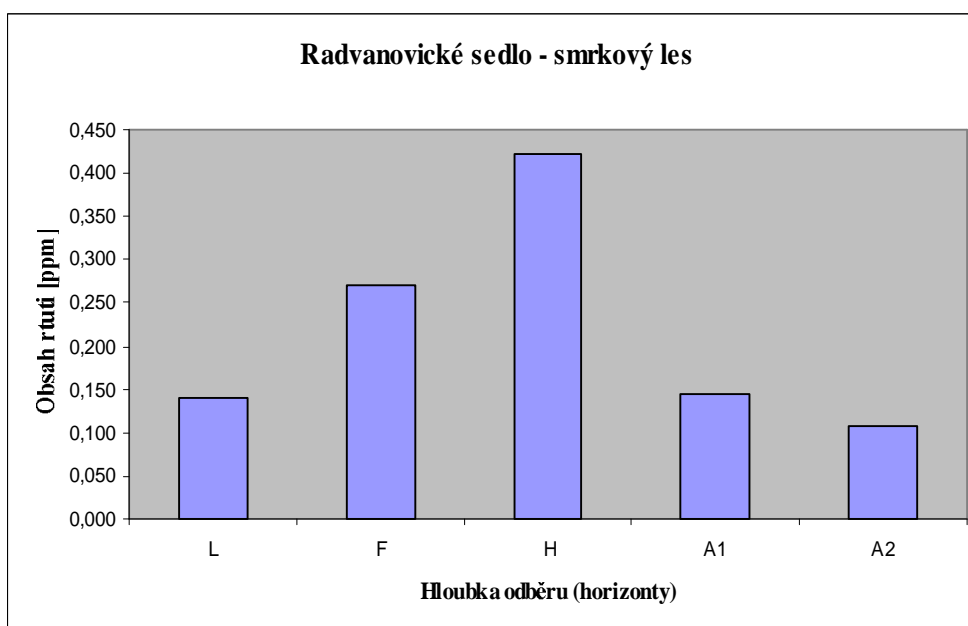
Graf č. 28: Obsah celkové rtuť v lokalitě Lenora, odběrné místo vrch Chlustov – Východní strana ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 29: Obsah celkové rtuť v lokalitě Lenora, odběrné místo vrch Ptáčník – nad pokusnou plochou ZF JU ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 30: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lenora, odběrné místo Radvanovické sedlo – bukový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

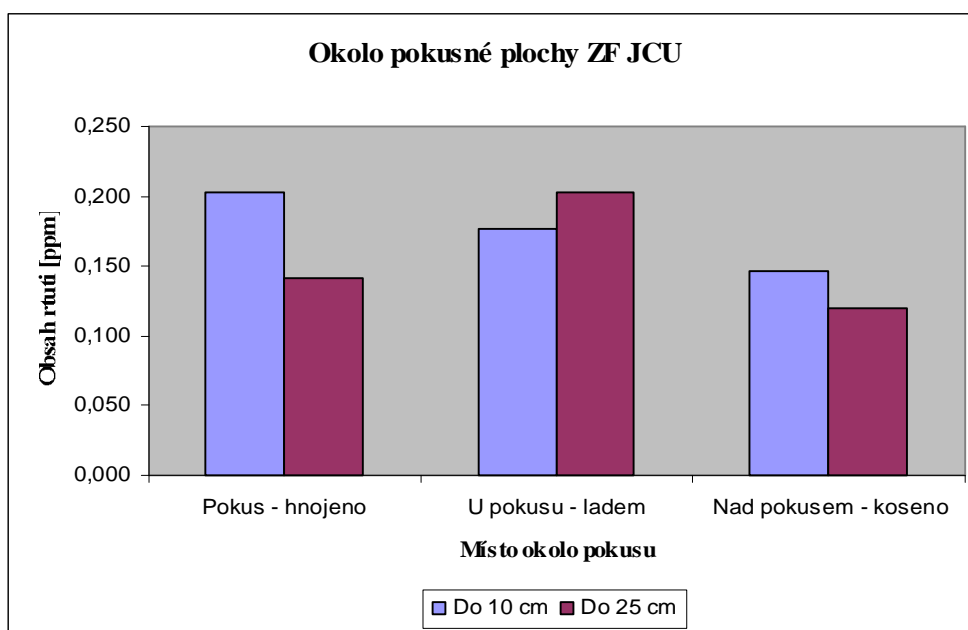


Graf č. 31: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lenora, odběrné místo Radvanovické sedlo – smrkový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

8. 3 Odběrná místa zemědělských půd z lokality Lenora

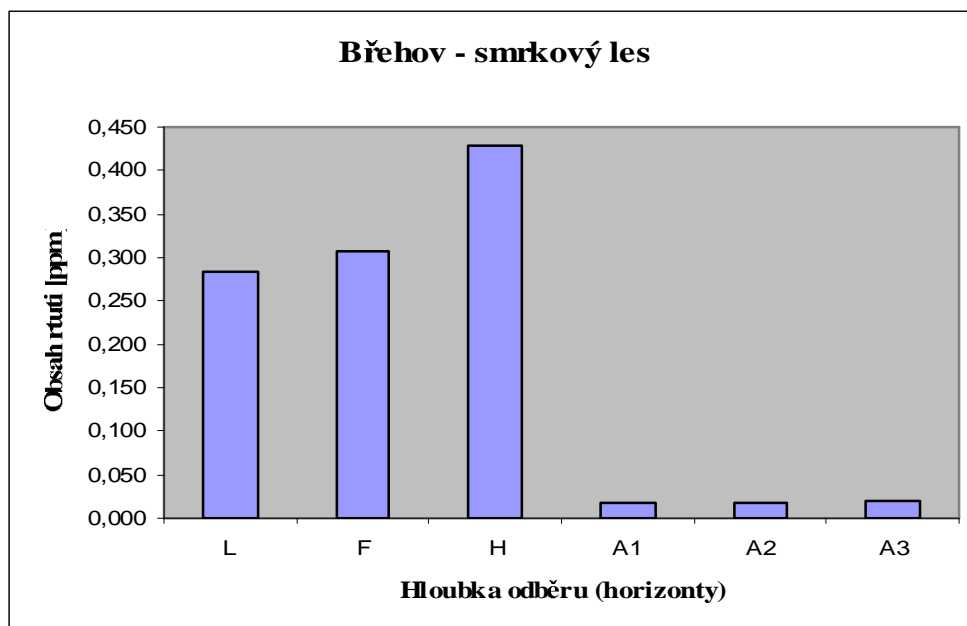
Tab. č. 13: Naměřený celkový obsah rtuti v lokalitě Lenora ze zemědělsky obhospodařovaných půd ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

Popis vzorku	Obsah rtuti [ppm]	Sd	Rsd [%]
Pokus - hnojeno do 10 cm	0,20387	0,02108	10,34
Pokus - hnojeno do 25 cm	0,14109	0,00508	3,60
U pokusu - ladem do 10 cm	0,17661	0,00786	4,45
U pokusu - ladem do 25 cm	0,20332	0,01772	8,72
Nad pokusem do 10 cm	0,14642	0,00593	4,05
Nad pokusem do 25cm	0,12004	0,01025	8,54

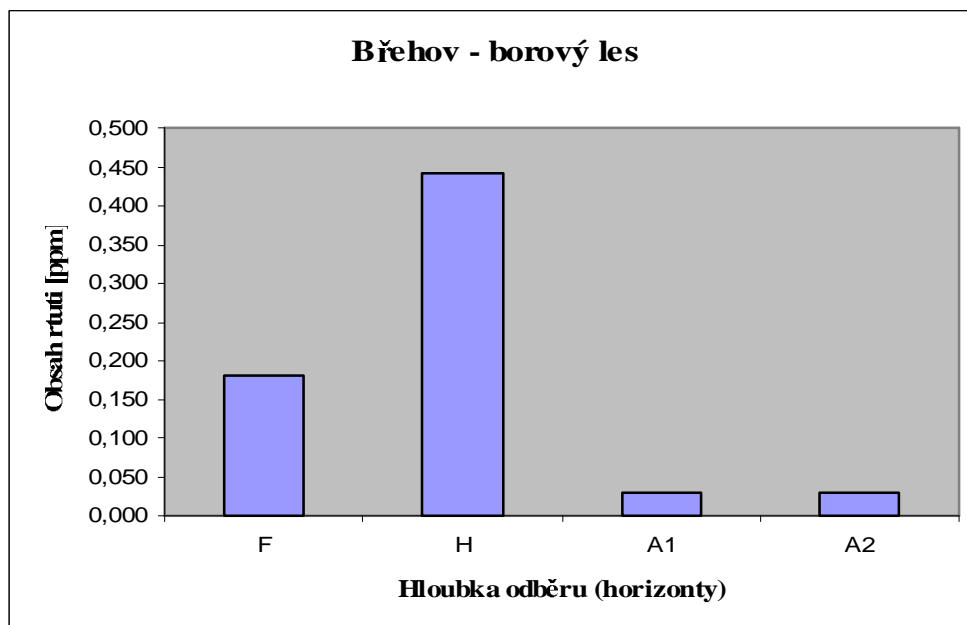


Graf č. 31: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lenora, ze zemědělsky obhospodařovaných půd ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

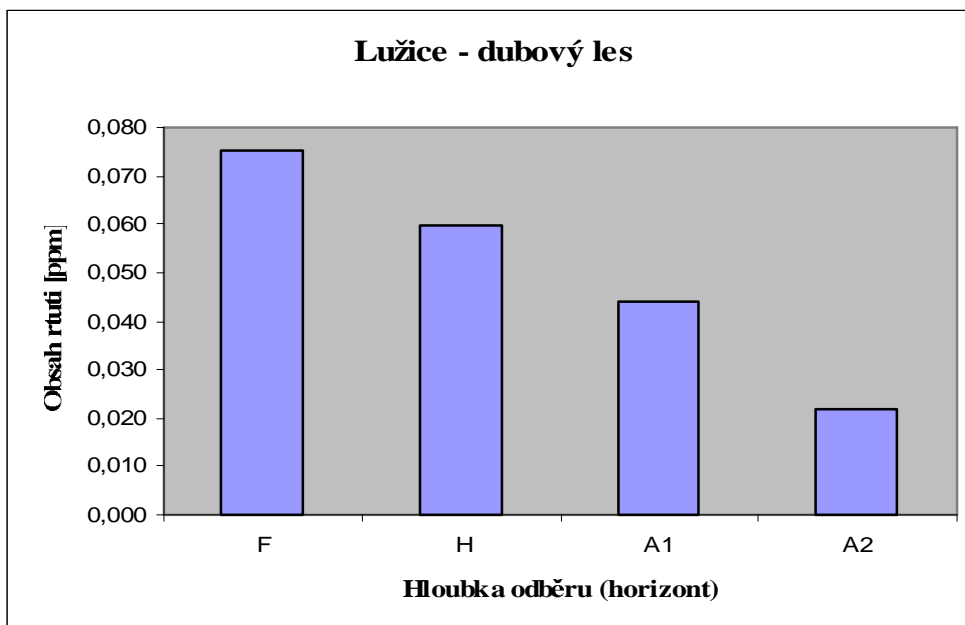
8. 4 Odběrná místa lesních půd z lokality Břehov a Lužice



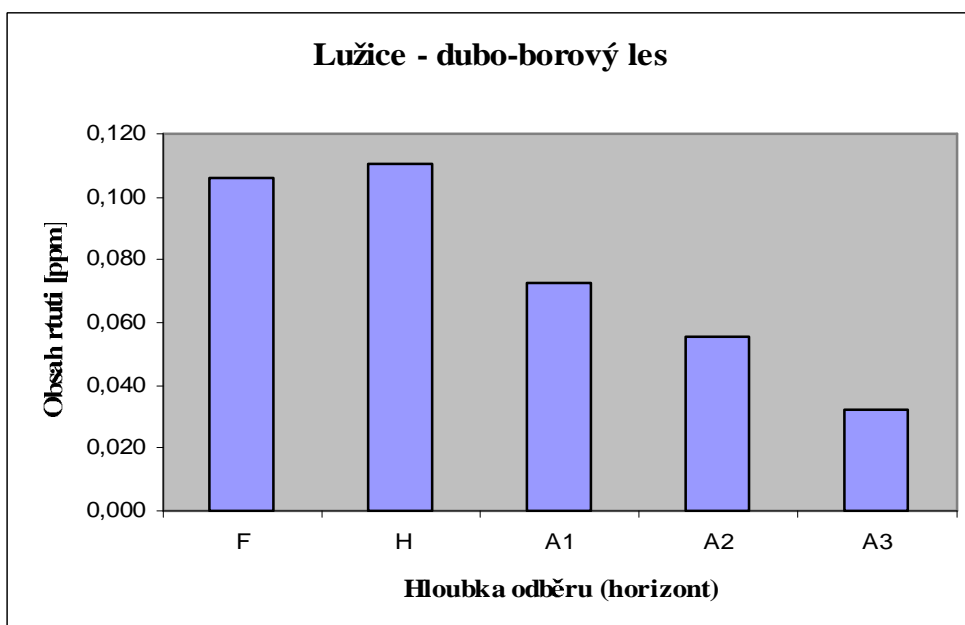
Graf č. 32: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov – smrkový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 33: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov – borový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

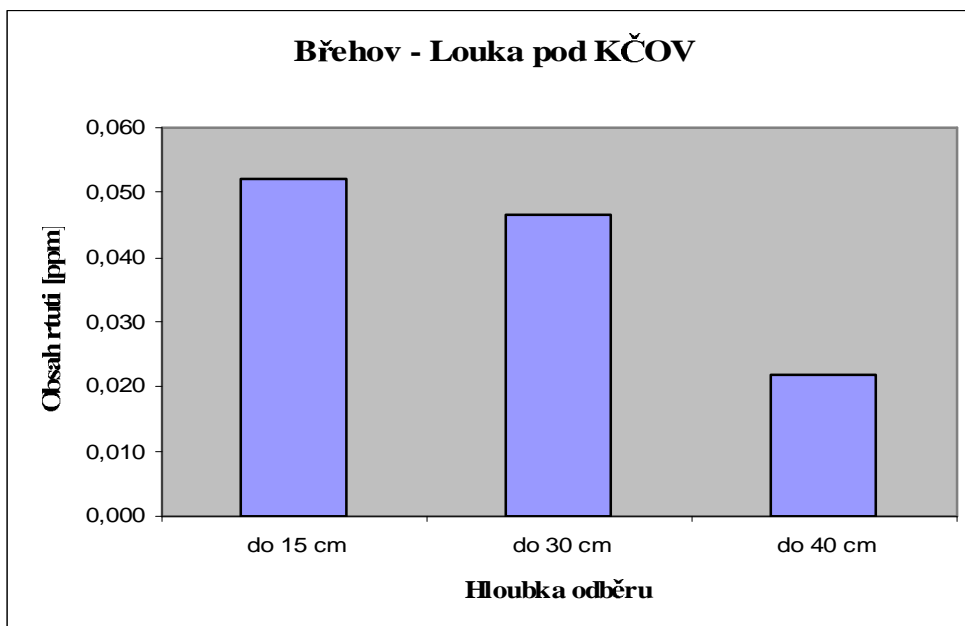


Graf č. 34: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lužice – dubový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

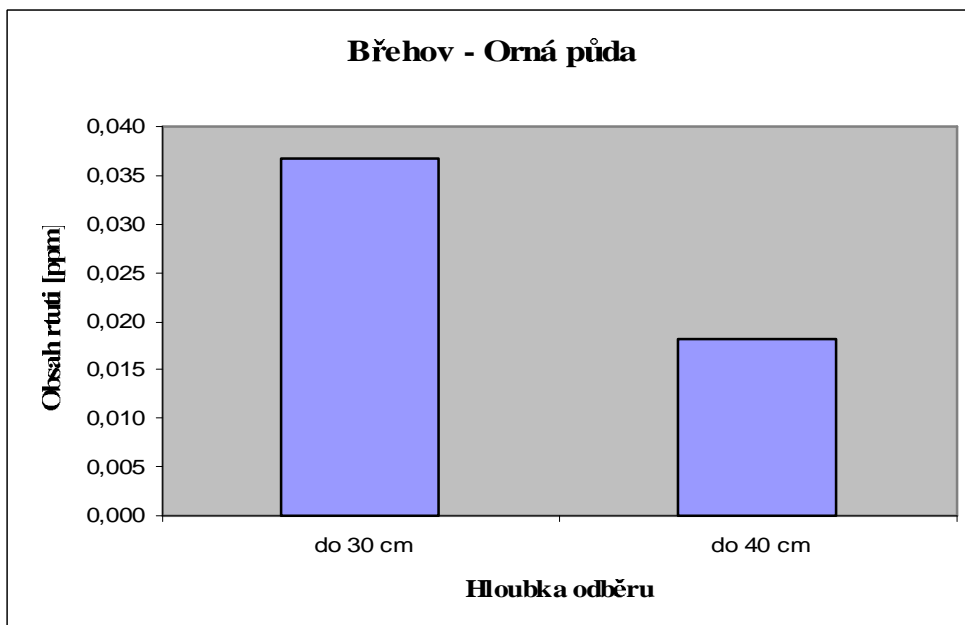


Graf č. 35: Obsah celkové rtuti v lokalitě Lužice – dubo-borový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

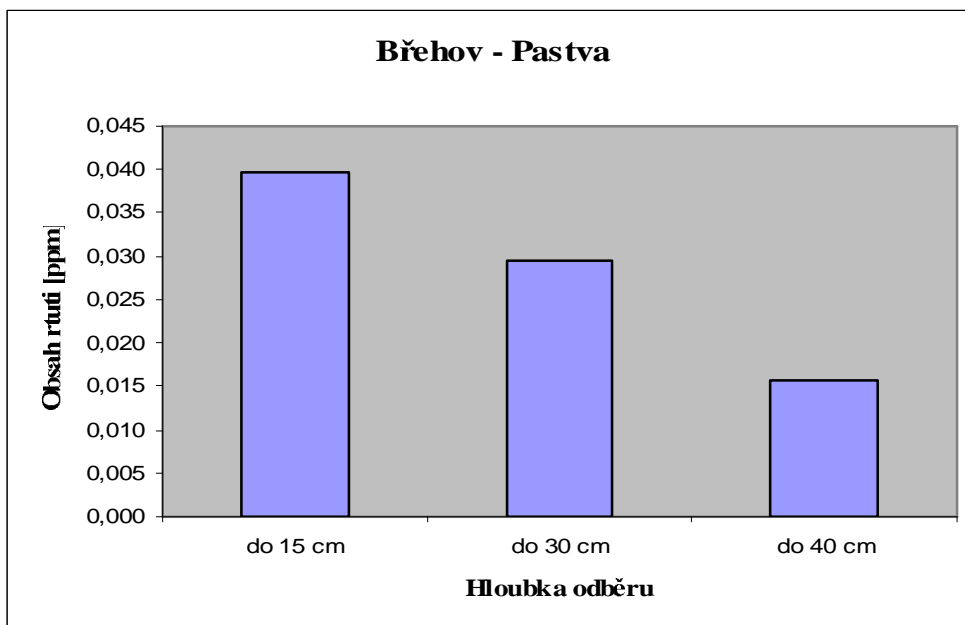
8.5 Odběrná místa zemědělských půd z lokalit Břehov a Lužice



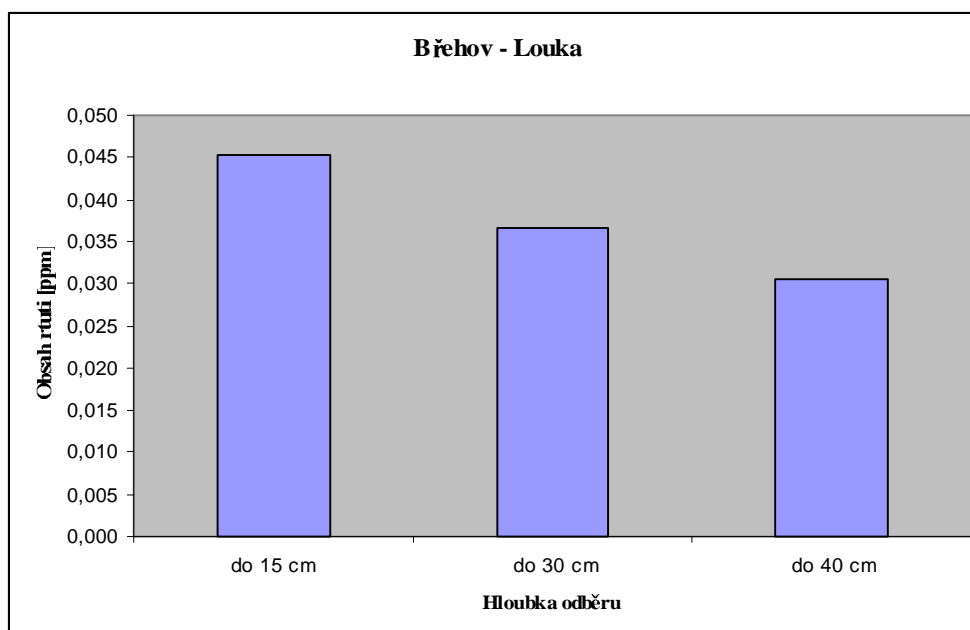
Graf č. 36: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov – louka pod KČOV ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



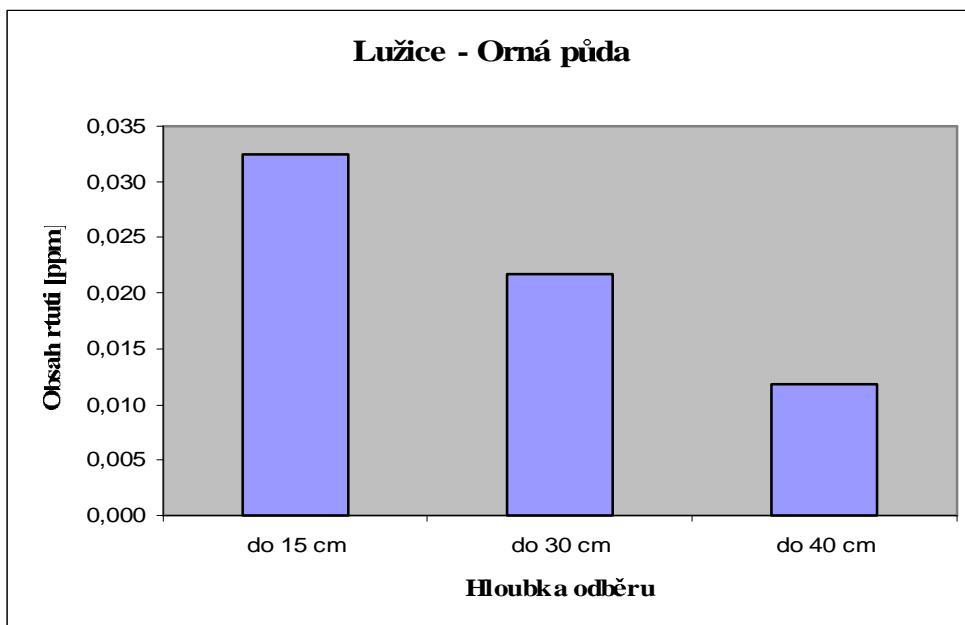
Graf č. 37: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov – orná půda ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



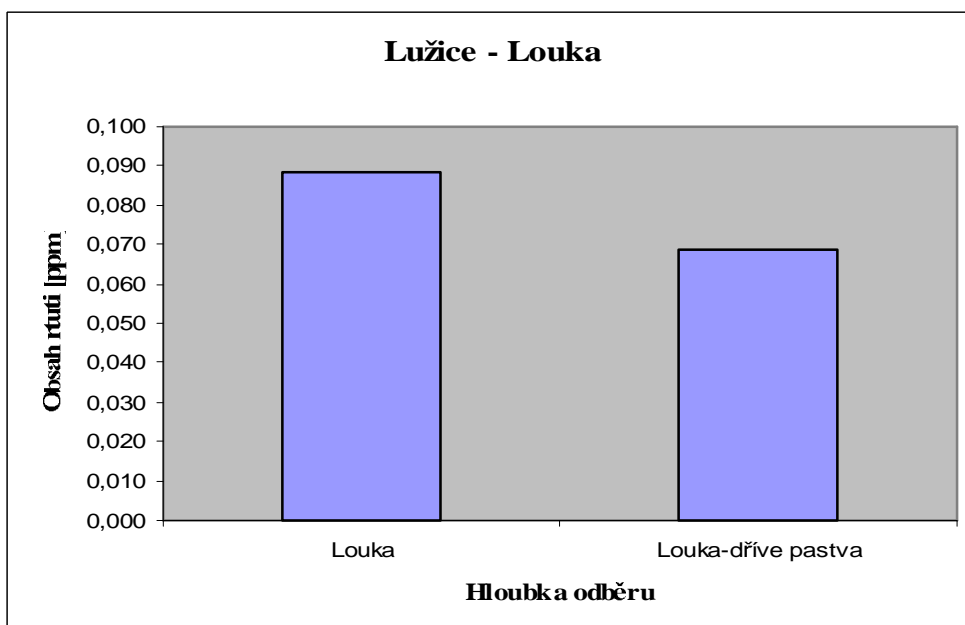
Graf č. 38: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov - pastva ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 39: Obsah celkové rtuti v lokalitě Břehov - louka ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

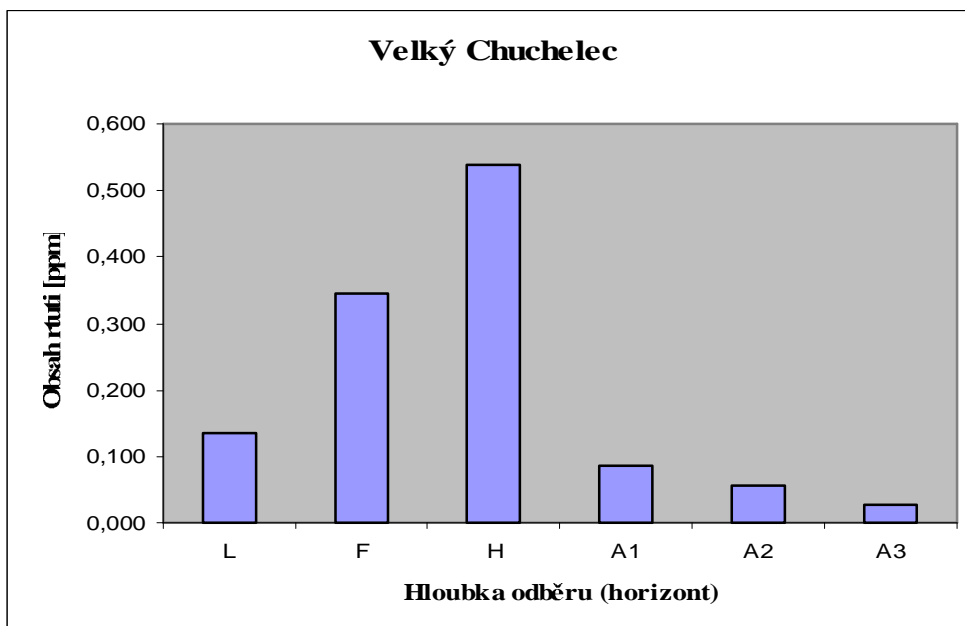


Graf č. 40: Obsah celkové rtuťi v lokalitě Lužice – orná půda ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

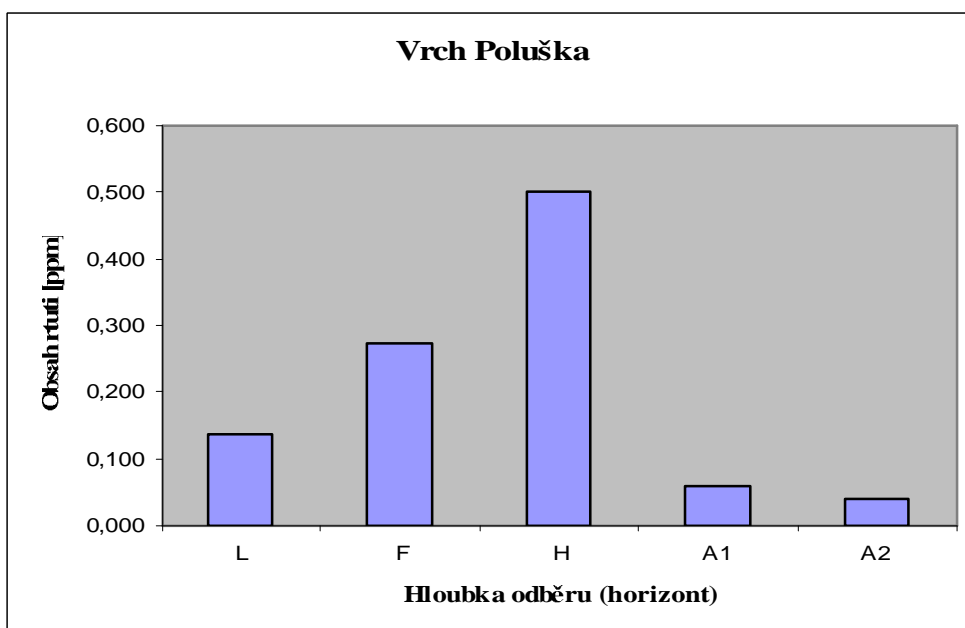


Graf č. 41: Obsah celkové rtuťi v lokalitě Lužice- louka ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

8.6 Odběrná místa lesních půd z lokality Velký Chuchelec

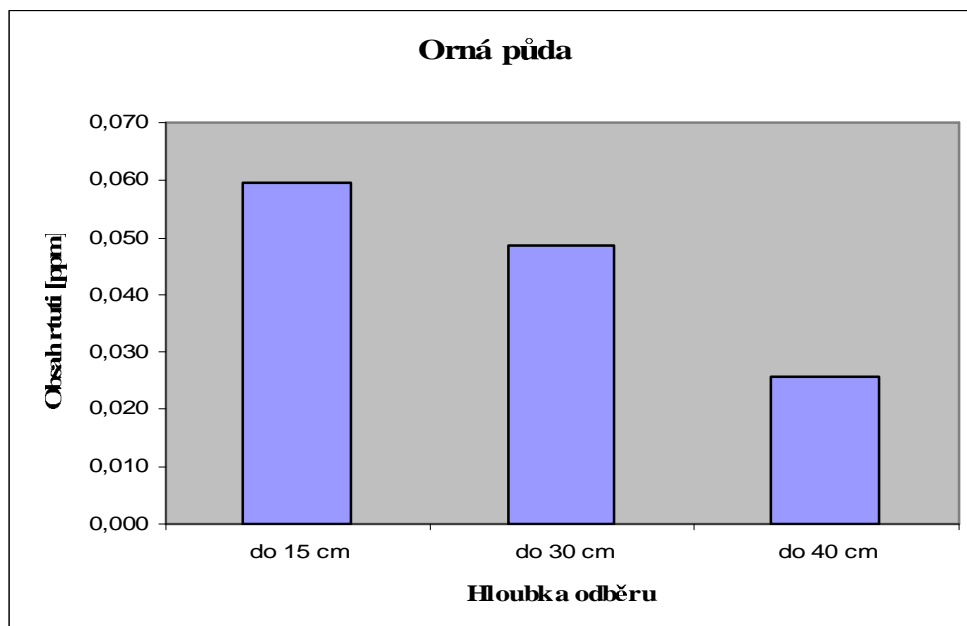


Graf č. 42: Obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec – smrkový les ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

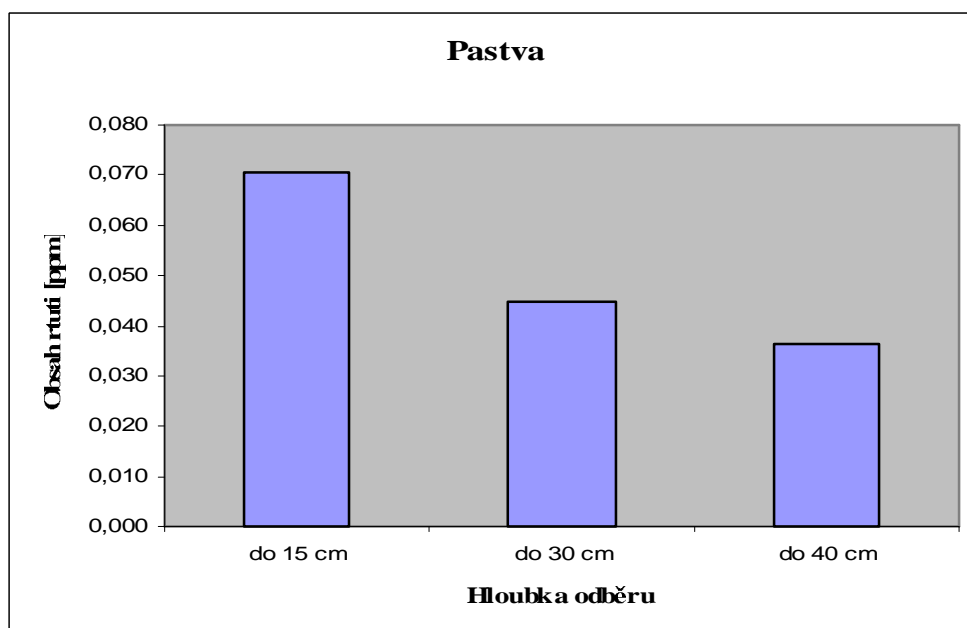


Graf č. 43: Obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec – vrch Poluška ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).

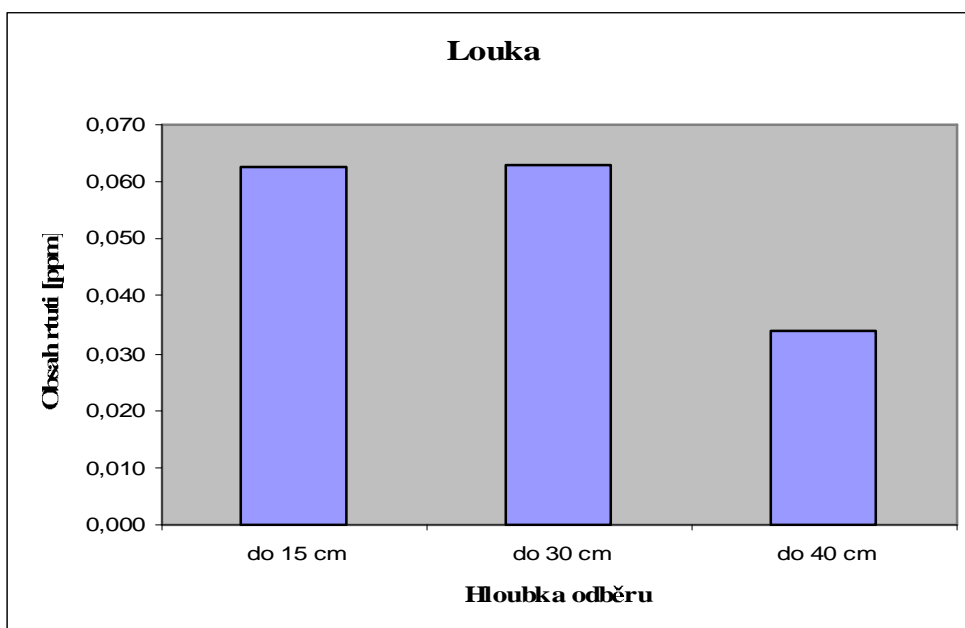
8. 7 Odběrná místa zemědělských půd z lokality Velký Chuchelec



Graf č. 44: Obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec – orná půda ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 45: Obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec – pastva ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).



Graf č. 46: Obsah celkové rtuti v lokalitě Velký Chuchelec - louka ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny).