



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Studies

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta  
Katedra laboratorních metod a informačních systémů

Bakalářská práce

# Stanovení rtuti ve vybraných potravinách

Vypracovala: Michaela Havlová  
Vedoucí práce: RNDr. Jan Šíma, Ph.D.  
České Budějovice 2015

## Abstrakt

Práce se zabývá problematikou stanovení rtuti ve vybraných potravinách.

Rtuť, *hydrargyrum*, je těžký kov, který je významným polutantem životního prostředí.

Pro srovnání byla stanovována rtuť celkem u 9 běžných potravin. U rýže, hub, ryb, pšeničné mouky, čočky, máku, sóji, sójových kostek a ovesných vloček. Houby byly sbírány ve 4 různých krajích České republiky. Na Vysočině, ve Středočeském, Jihočeském a Libereckém kraji. Pro srovnání byly analyzovány žampiony, *Agaricus bisporus*, z obchodní sítě. Z ryb byly podrobeny analýze lyofilizované vzorky sumců velkých, *Silurus glanis*. Ostatní potraviny byly zakoupeny v obchodní síti.

Na atomovém absorpčním spektrometru AMA 254 (Altec, Praha, ČR), byla provedena validace analytické metody. S následujícími výsledky: správnost (97 %), přesnost (3,33 %), citlivost (0,00251 l/kg), mez detekce (LOD = 0,31 µg/l), mez stanovitelnosti (LOQ = 1,04 µg/l), lineární dynamický rozsah (LDR = 1,04 až 100 µg/l) a korelační koeficient lineární části kalibrace (0,9979).

Měření všech vzorků bylo provedeno na spektrometru AMA 254. Analýzou materiálů bylo zjištěno, že zvýšená koncentrace celkové rtuti se vyskytuje zejména u hub. Nejvyšší naměřená hodnota, 5,7 mg/kg, byla zjištěna u hříbu žlutomasého, *Xerocomellus chrysenteron*, z Jihočeského kraje. Naměřené koncentrace u lyofilizovaných ryb nebyly nijak závažné, pouze 0,04 mg/kg. U dalších potravin také nebyly zjištěny nadlimitní hodnoty.

Ze získaných výsledků plyne, že nejvíce rtuti je v našich podmínkách obsaženo v houbách. Podle světové zdravotnické organizace (WHO) je stanoveno, že nejvyšší přípustná koncentrace pro potraviny činí 0,05 mg/kg hmotnosti rtuti. V houbách se po přepočtení vyskytlo nejvíce 0,57 mg/kg rtuti v sušině. Tyto výsledky jsou tedy nadlimitní.

### Klíčová slova:

Rtuť, potraviny, atomová absorpční spektrometrie.

## Abstract

The thesis resolves problems about the contain of mercury in chosen articles of food.

Mercury, *hydrargyrum*, is a heavy metal, which is an important pollutant of environment.

Mercury was determined for comparision in all in nine common articles of food. In rice, mushrooms, fish, lentils, poppy seeds, soya, soya dehydrated slice and oat flakes. Mushrooms were collected in four different provinces of Czech republic. In Highlands, Central province, South Bohemia and in province of Liberec. For comparings were analyzed cultivated mushrooms, *Agaricus bisporus*, from supermarket. As a fish were analyzed lyofilized samples of catfish, *Silurus glanis*. The other articles of food were bought in supermarkets.

On an atomic absorption spectrometer AMA 254 (Altec, Prague, CR), was made validation of analytic method. Results: accuracy (97%), precision (3,33%), sensitivity (0,00251 l/kg), limit of detection ((LOD= 0,31  $\mu\text{g/l}$ ), limit of quantification (LOQ= 1,04  $\mu\text{g/l}$ ), linear dynamic range (LDR= 1,04 až 100  $\mu\text{g/l}$ ) and correlation coefficient of linear part of calibration (0,9979).

Measurement of all samples was done with spectrometer AMA 254. By analysis of all materials was detected that increased concentration of total mercury in all occures especially in mushrooms. The highest measured value, 5,7 mg/kg, was found in a mushroom *Xerocomellus chrysenteron* from South Bohemia. Measured concentrations at lyofilized fish weren't important, it was only 0,04 mg/kg. In other articles of food weren't detected overlimited values.

We obtained from acquired results, that the highest amount of mercury is contained in our conditions in mushrooms. According to World Health Organisation is determined that the highest tolerable concentration for articles of food is 0,5 mg/kg of mercury. In mushrooms was found after recalculation as a top limit 0,57 mg/kg of mercury. So, this result is overlimited.

Key words:

Mercury, food, atomic absorption spectrometry.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou 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 bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 30.4.2015

.....  
Michaela Havlová

## **Poděkování**

Mé poděkování patří RNDr. Janu Šimovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za ochotu, odborné vedení a trpělivost při zpracování bakalářské práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

## Obsah

ÚVOD.....	9
1 Teoretická část .....	11
1.1 Charakteristika rtuti.....	11
1.2 Vlastnosti Hg.....	12
1.3 Antropogenní a přirozené zdroje rtuti .....	13
1.4 Vyžití rtuti .....	14
1.5 Nejznámější případy otravy rtutí.....	14
1.5.1 Japonsko .....	15
1.5.2 USA .....	15
1.5.3 Irák.....	16
1.5.4 Pokus v Íránu .....	16
1.6 Znečištění půd rtutí .....	17
1.7 Methylace rtuti .....	18
1.7.1 Methylace ve vodních ekosystémech .....	18
1.7.2 Charakteristika bakterií schopné methylace .....	19
1.8 Rtuť v potravinách .....	20
1.8.1 Rtuť v rýži .....	22
1.8.2 Rtuť v houbách .....	23
1.8.3 Rtuť ve výživě pro kojence .....	24
1.8.4 Rtuť v rybách.....	25
1.9 Transport rtuti v atmosféře.....	26
1.10 Účinky na savce .....	26

1.10.1 Účinky na člověka.....	27
2 Cíle práce a předpokládané hypotézy .....	28
3 Experimentální část.....	29
3.1 Materiál .....	29
3.1.1 Popis lokalit, naleziště hub .....	29
3.1.2 Popis ostatních potravin .....	30
3.1.3 Popis půdních vzorků .....	31
3.2 Vlastní měření .....	31
4 Výsledky .....	33
4.1 Validace analytické metody .....	33
4.2 Výsledky stanovení rtuti v potravinách.....	35
5 Diskuse.....	42
6 Závěr .....	45
7 Seznam použité literatury .....	46



## ÚVOD

Rtuť (*hydrargyrum*) je toxický těžký kov. V rámci periodické soustavy prvků ji zařazujeme do skupiny II. B, společně se zinkem a kadmíem. Rtuť se nachází ve všech potravinách v různých koncentracích. Nejvíce však v rybách, houbách a z posledních studií i v rýži. Rtuť se vyskytuje v různých formách. Jako elementární, anorganická a organická rtuť. Jedinou významnou rudou rtuti je rumělka, cinabarit, HgS.

V posledních letech roste zájem o studium rtuti, protože negativně působí na všechny složky životního prostředí. Nejvíce toxická forma rtuti je organická methylrtuť ( $\text{CH}_3\text{Hg}$ ). Ta je schopna rozpouštět se ve vodě i v tucích, odkud snáze přechází do tukové tkáně rybiho masa, kde je rizikem pro konečného spotřebitele, člověka. V jednotlivých částech potravního řetězce se rtuť koncentruje, bioakumuluje. Rtuť byla stanovena u samce a samice sumce velkého (*Silurus glanis*).

Některé druhy bakterií jsou schopny methylovat anorganickou rtuť, především ve vodních sedimentech.

Houby jsou schopné díky svým rozsáhlým podhoubím akumulovat rtuť ve svých plodnicích i ze vzdálenějších míst. Nejvíce rtuti se pak vyskytuje ve výtrusorodé vrstvě, hymenoforu. V rámci této bakalářské práce byly stanovovány houby z různých krajů. Z Vysočiny, Středočeského, Libereckého a Jihočeského kraje. V místě, kde byla naměřena zvýšená koncentrace rtuti v houbách, se následně stanovovala hladina rtuti ve vzorcích půd. V lesní a orné půdě a na louce.

V rýžových zrnech se rtuť vyskytuje ve zvýšených koncentracích, protože je pěstována většinou ve stojatých vodách, kde je také možnost metylace pomocí bakterií. V ostatních stanovovaných potravinách (mouka, rýže, čočka, sója, mák a ovesné vločky) se rtuť vyskytuje v nižších koncentracích.

Cílem předkládané bakalářské práce je podat přehled informací o hladinách rtuti v různých potravinách a o vlivech rtuti na lidský organismus. Dalším cílem je seznámení se s jednoúčelovým atomovým absorpčním spektrometrem AMA 254. Jde o přístroj speciální konstrukce pro stanovení stopových množství rtuti umožňující její změření až do obsahů desetin či setin jednotek ppb.

Dalším cílem byla validace analytické metody, která pomohla odhalit, že metoda splňuje požadavky na ni kladené. Byl prověřen spektrometr AMA 254, u kterého byly sledovány následující parametry: správnost, přesnost, citlivost, mez detekce, mez stanovitelnosti, lineární dynamický rozsah a korelační koeficient lineární části kalibrace.

V závěru bylo vyhodnoceno, v jakých potravinách se naměřilo nejvyšší množství rtuti.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Charakteristika rtuti

Symbol Hg je odvozen od latinského slova hydrargyrum = kapalné stříbro. V římské mytologii byla rtuť vzhledem ke své pohyblivosti pojmenována podle Merkura - posla bohů <sup>[10]</sup>. Rtuť zařazujeme v rámci periodické soustavy prvků do skupiny II. B. Rtuť je jedním z nejvíce toxických těžkých kovů. I malé množství je toxické pro všechny živé organismy <sup>[22]</sup>.

Rtuť se vyskytuje ve třech oxidačních stavech:

- Kovová rtuť ( $\text{Hg}^0$ )
- Rtuťné ionty ( $\text{Hg}^+$ )
- Rtuťnaté ionty ( $\text{Hg}^{2+}$ ) - anorganické sloučeniny:  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  a  $\text{HgS}$   
- organokovové sloučeniny: methylrtuť

<sup>[31]</sup>.

## Ruda rtuti

Jedinou významnou rudou rtuti je rumělka (cinabarit)  $\text{HgS}$ . Je to vysoce nerozpustná látka, na kterou působí pouze koncentrovaná  $\text{HI}$ ,  $\text{HBr}$  nebo lučavka královská (3 díly  $\text{HNO}_3$  na 1 díl  $\text{HCl}$ ). Rtuť se z rumělky získává při teplotě okolo  $500^\circ\text{C}$ , dojde k přeměně na oxid a rtuť se vydestiluje <sup>[7]</sup>. Cinabarit tvoří  $5 \cdot 10^{-5}\%$  litosféry <sup>[12]</sup>. Tato ruda se nachází podél pásem dávné vulkanické aktivity. Nejznámější a nejrozsáhlejší naleziště jsou ve Španělsku (Almadén). Dále se rtuť nachází v býv. SSSR, Alžírsku, Mexiku, Jugoslávii a Itálii. Rtuť je jediný kov, který je při normální teplotě kapalný <sup>[10]</sup>.

Za normální teploty je rtuť kovově lesklá kapalina. Je mimořádně těkává. Protože je velmi jedovatá a těkává, musí se s ní zacházet v dobře větraných prostorách a uchovávat ji v uzavřených nádobách <sup>[7]</sup>.

Ročně se vyprodukuje přibližně 8 tisíc tun Hg. Používá se především ve rtuťových lampách a ve vědeckých zařízeních (teploměrech, manometrech, difúzních čerpadlech,

atd.)<sup>[12]</sup>. Rtuť se používá také v lékařství. Přidává se zejména do mastí, jako chrom-rtuť, na léčení infekcí otevřených ran<sup>[29]</sup>.

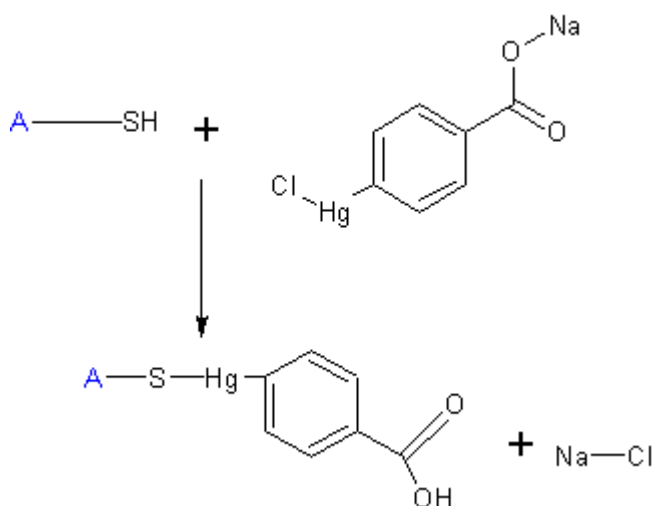
Rtuť tvoří amalgamy při slučování s mnoha dalšími kovy. S některými se slučuje nesnadno, a některými bouřlivě (se sodíkem a draslíkem). Příkladem amalgamu je sloučenina  $\text{Hg}_2\text{Na}$ . Sodné amalgamy a amalgamovaný zinek se používají jako redukční činidla<sup>[7]</sup>.

Rtuť se využívala pro extrakci kovů amalgamací již 500 let př.Kr., možná ještě dříve v oblasti středozeší. Dříve považovali alchymisté rtuť za možnost přeměny obyčejných kovů na zlato a amalgámy se využívaly ke zlacení i přípravě napodobenin zlata a stříbra<sup>[10]</sup>.

## 1.2 Vlastnosti Hg

Atomové číslo rtuti je 80, nabývá tedy elektronové konfigurace  $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^2$ . Její elektronegativita je 1,9; bod tání  $-38,87\text{ }^\circ\text{C}$ ; bod varu  $357\text{ }^\circ\text{C}$ , relativní atomová hmotnost 200,59, hustota při  $25\text{ }^\circ\text{C}$   $13,534\text{ g.cm}^{-3}$ .

Těžké kovy obecně mají tu vlastnost, že reagují s thiolovými skupinami v proteinech. Volné thiolové skupiny v proteinu lze stanovit reakcí se sloučeninami rtuti.



Obr. 1: Stanovení thiolových skupin v proteinu chlormerkuribenzoátem  
(Pozn.: A = protein)<sup>[8]</sup>

### **Rozdíly mezi prvky téže skupiny**

Do skupiny II. B patří také zinek a kadmium. Odlišností rtuti od ostatních prvků téže skupiny je schopnost tvořit sloučeniny v oxidačním stupni +I jako ion  $\text{Hg}_2^{2+}$ . Prvky skupiny II.B, patří mezi přechodné kovy, svými vlastnostmi se ale podobají spíše nepřechodným prvkům <sup>[12]</sup>. Kromě rtuti se zinek a kadmium dobře rozpouštějí v neoxidujících kyselinách. Všechny 3 kovy tvoří slitiny.

### **Rozdíly mezi prvky sousedící skupiny**

Mezi sousední prvky I. B skupiny patří měď, stříbro a zlato. Od prvků skupiny II.B se liší hlavně tím, že nevytvářejí kationty, které by měly neúplně obsazené orbitály d. Podobají se však tím, že tvoří komplexy s dusíkem, sírou, kyslíkem a halogeny. Schopnost zinku, kadmia i rtuti vázat se vazbou  $d\pi$  je velmi malá a proto tyto prvky nevytvářejí s CO, NO a olefiny komplexy <sup>[12]</sup>. Dalším rozdílem je, že tyto prvky netvoří nejtěsněji uspořádané krystalové mřížky typické pro pravé kovy. Proto tyto kovy mají menší hustotu než kovy skupiny I.B, nižší bod tání a velmi nízký bod varu. Kromě toho se Zn, Cd a Hg (v tuhé fázi), srovnáváme-li je s kovy skupiny d, vyznačují malou pevností v tahu. Rtuť se rozpouští pouze v oxidujících kyselinách, čímž se podobá Cu a Ag <sup>[12]</sup>.

## **1.3 Antropogenní a přirozené zdroje rtuti**

Podle Cibulky <sup>[6]</sup> je přirozená emise rtuti 2x vyšší, než emise z antropogenních zdrojů.

Nejčastější příčina znečištění atmosféry přirozeným zdrojem je

- prach unášený větrem
- lesní požáry
- vulkanická činnost
- mořský aerosol
- a vegetace.

Naopak antropogenní zdroje znečištění rtutí jsou následující:

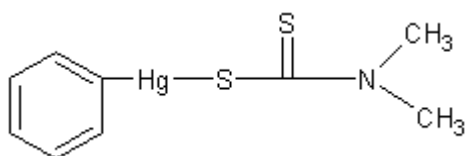
- těžba rud
- spalování odpadu
- spalování uhlí
- spalování ropy
- a průmyslové využití

[6].

## 1.4 Vyžití rtuti

Kovová rtuť se běžně používá jako elektroda při elektrolytické výrobě plynného chloru a v laboratořích pro výrobu vakuových zařízení. V posledních letech se kvůli obavám z toxicity rtuti její spotřeba snížila [19].

Organická rtuť byla v dřívějších dobách používána jako přídavek do různých pesticidů, zejména fungicidů. Jako příklady lze uvést fosforečnan amonný a superfosfát práškový. Z nich nejznámější je fenylrtuť dimethyldithiokarbamát, který se dříve používal jako přísada v papírnách.



Obr. 2 fenylrtuť dimethyldithiokarbamát

Dalším dříve používaným fungicidem je ethylrtuť chlorid,  $C_2H_5HgCl$ , který se používal na ošetření semen rostlin [19].

## 1.5 Nejznámější případy otravy rtutí

Rtuť si získala značnou pozornost kvůli otravám, k nimž došlo v Japonsku, ostrov Kjúšú, na konci r. 1953 (nemoc Minemata) a po otravě monomethylrtutí v Iráku na začátku roku 1970 [16].

### 1.5.1 Japonsko

Zdrojem rtuti v Japonsku byla továrna vyrábějící vinylchlorid za použití chloridu rtuťnatého jako katalyzátoru. Tvrdí se, že byla vypuštěna anorganická rtuť, která byla poté methylována mikroorganismy žijícími v zálivu. Nicméně, methylace je obvykle tak pomalá, že je to nepravděpodobné. Je tedy mnohem pravděpodobnější, že rtuť byla vypuštěna v organické formě, protože v tu dobu neexistovaly v Japonsku žádné předpisy zakazující vypouštění rtuti do životního prostředí <sup>[11]</sup>. Mnoho lidí zemřelo na následky požití ryb ze zálivu <sup>[19]</sup>. Bylo zde rovněž zaznamenáno několik případů intoxikace prenatálního typu. U matek se intoxikace klinicky většinou neprojevovala, zatímco u plodu byla zjištěna značná poškození mozku, neboť jsou na methylnrtuť až pětikrát citlivější než dospělí <sup>[4]</sup>. Přesný počet obětí této ekologické havárie uváděný v různých zdrojích se značně liší.

### 1.5.2 USA

Z intoxikovaných ryb se otrávil i rybami se živící ptáci <sup>[23]</sup>.

#### Pokus provedený v USA

V USA byla provedena studie na poštolkách pestrých (*Falco sparverius*), kterým byla podávána chlormethylrtuť v mase v koncentracích 0, 3, 6 a 12 ppm. Ptáci krmění koncentrací 12 ppm začali vykazovat známky neurotoxicity po 26 dnech a zemřeli v rozmezí 39-49 dní. Ptáci krmění koncentrací 6 ppm vykazovali známky neurotoxicity po 45 dnech a uhynuli do 75 dní. Ptáci krmění koncentrací 3 ppm nezemřeli, ani nevykazovali známky neurotoxicity <sup>[5]</sup>.

Další studie z města Carolina, USA, potvrzuje, že dospělí ptáci mají ve svých tkáních variabilnější obsah sloučenin rtuti a vyšší průměrné koncentrace celkové rtuti než kuřata či středně dospělí ptáci. Vliv věku je značný. Rtuť se bioakumuluje a koncentruje ve tkáních <sup>[13]</sup>.

### 1.5.3 Irák

Událost v Iráku se stala mezi lety 1971-1972. Irácká vláda importovala velkou zásilku semen obilí negramotné části venkovského obyvatelstva. Tato semena byla ošetřena organortuťnatými sloučeninami sloužícími jako fungicid. Distribuce byla doprovázena varováním, že semeno je určeno k setí a nikoliv ke konzumaci, pytle byly označeny výstražnými nápisy v anglickém a španělském jazyce. Osivo bylo nabarveno červeným barvivem k odlišení od jedlého obilí, ale tamější farmáři zjistili, že mohou odstranit barvivo promytím a konzumovali ho. Zrna byla poprvé použita na výrobu chleba v listopadu 1971 a první případy otravy se objevily v prosinci. Do konce března 1972 bylo hospitalizováno 6530 osob, z nichž 459 (7 %) zemřelo <sup>[11]</sup>.

### 1.5.4 Pokus v Íránu

V Íránu byly sledovány tři druhy bakterií. PG01, PG02 a PG03. Byly izolovány z pobřežních sedimentů Bushehr (Írán), jako rtuť-rezistentní bakterie. Podle ribozomální DNA sekvence genu byly kmeny identifikovány jako *Vibrio natriegens* (PG01), *Vibrio parahaemolyticus* (PG02), a *Oceanimonas baumannii* (PG03). Zkouška minimální inhibiční koncentrace v přítomnosti  $\text{HgCl}_2$  ukázala, že kmen PG02 byl nejodolnější. Toleroval až 45 mg/l  $\text{Hg}^{2+}$ . Růstová křivka pro PG02 ukázala, že když je nejdříve aplikováno 5 mg/l  $\text{Hg}^{2+}$ , tak se snižuje pouze 10 % jeho přirozeného růstu, zatímco se současně odstraní 90 % rtuti. Při podání 10 mg/l  $\text{Hg}^{2+}$  se snížil růst na 30 % a 80 % rtuti se odstranilo. Podle lineárního vztahu mezi inhibicí růstu v procentech a počáteční koncentrací rtuti, byla pro PG02 vypočtena střední účinná koncentrace na 21,84 mg/l. Podle modelu bylo vypočteno maximální odstranění rtuti na 89,47 %, což platí v případě optimálního pH 7,2, teploty 37,5 °C a počáteční koncentrace rtuti v 5 mg/l <sup>[14]</sup>.

Ionty  $\text{Hg}^{2+}$  mají jedinečnou vlastnost, že mohou být snadno přeměněny na  $\text{Hg}^0$ . Mikroorganismy jsou schopné redukovat  $\text{Hg}^{2+}$  to  $\text{Hg}^0$ , za použití redukujících enzymů, přičemž se uvolní  $\text{Hg}^0$  z buňky do okolního prostředí. Tento jev byl u bakterií objeven asi před 30 lety jako mechanismus přežití v toxickém prostředí <sup>[14]</sup>.



## 1.6 Znečištění půd rtutí

Hlavním zdrojem rtuti v půdách jsou zřejmě imise způsobené spalováním uhlí <sup>[6]</sup>. Dle Penka <sup>[24]</sup>, jsou nejvýznamnějším zdrojem rtuti v půdě kaly z čistíren odpadních vod a z nich vyráběné průmyslové komposty, a dále pak moření osiv rtutí.

V půdách se vyskytují 3 formy Hg s těmito charakteristikami:

- elementární Hg<sup>0</sup> (těkavost a nízká rozpustnost ve vodě)
- dvojmocná forma Hg<sup>2+</sup> (vysoká afinita k organickým i anorganickým ligandům, zvláště obsahují-li sirmé funkční skupiny)
- methylrtuť CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> (vysoká perzistence v prostředí)

Poměr těchto forem závisí na půdním pH a redoxním potenciálu. Rtuť z atmosféry může být transportována zpět do půd pomocí srážek. Po aplikaci čistírenských kalů se zvyšuje mobilita rtuti, protože dochází ke komplexaci s rozpustnými organickými sloučeninami a půda tak má vysokou koncentraci a iontovou sílu půdního roztoku. Rtuť je přednostně vázána na humusové sloučeniny. V čistírenských kalech dochází k mikrobiální metylaci a anorganické formy rtuti se mění na více toxické organické formy rtuti. V silně redukčních podmínkách se mohou organické i anorganické formy rtuti přeměňovat na methyl-, nebo ethylrtuť <sup>[6]</sup>.

Rtuť v půdách není transportována tak hluboko jako organické pesticidy. 75% rtuti se vyskytuje v prvních vrstvách půdy, většinou do 1 metru, zatímco 50% pesticidů se nachází v hloubce vyšší než 1 metr <sup>[3]</sup>.

Rtuť se z půdy do biomasy rostlin dostává pomocí kořenů, kde se tento prvek akumuluje <sup>[24]</sup>.

Tab. 1 Obsah rtuti v některých průmyslových hnojivech <sup>[24]</sup>.

Prvek (mg/kg)	Fosforečnan amonný	Superfosfát práškový	Kombinované hnojivo
Rtuť	22	9,9	9

Pro průmyslové komposty byl stanoven limit do 1 ppm rtuti <sup>[24]</sup>.

## 1.7 Methylace rtuti

Methylace anorganické rtuti je klíčovým krokem při pohybu rtuti ve vodních potravních řetězcích. Probíhá v sedimentech jezer, řekách a jiných vodních tocích, stejně dobře jako v oceánech.

Při metylaci je nejčastějším produktem monomethylrtuť (v blízkosti neutrálního pH).

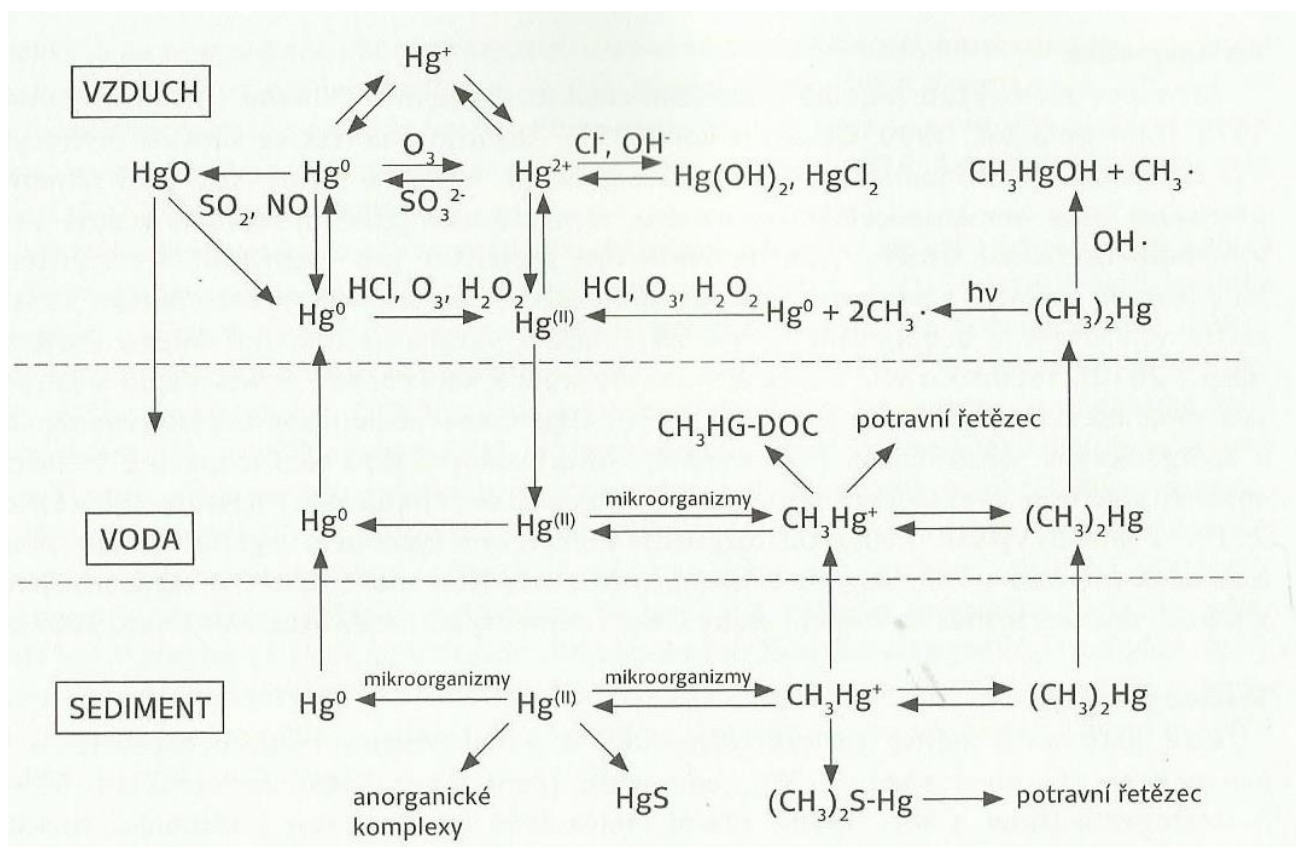
Methylace je intenzivnější za aerobních podmínek než za anaerobních podmínek. Se zvyšující se teplotou je metylace vyšší, neboť teplota působí na celkovou mikrobiální aktivitu. Míra methylace je potlačována přidáním sulfidu <sup>[23]</sup>.

### 1.7.1 Methylace ve vodních ekosystémech

V České republice je nejvíce zatíženou oblastí vodní nádrž Skalka. Konzumace ryb z této nádrže může představovat riziko otravy rtutí <sup>[20]</sup>.

Methylrtuť je rozpustná ve vodě i v tucích, zůstává tedy ve vodním prostředí, odkud se snadno dostává do rybího masa a po požití následně do lidského těla. V jednotlivých člancích potravního řetězce se methylrtuť zakoncentrovává <sup>[32]</sup>.

K methylaci elementární rtuti a rtuťnatých iontů dochází v horních sedimentačních vrstvách jezerního, či mořského dna. Vznikající methylrtuť zachycují drobní vodní živočichové, kteří jsou potravou pro ryby. V těle ryb se methylrtuť následně koncentruje. Z uhynulých ryb a drobných vodních živočichů se do atmosféry dostává těkává dimethylrtuť. Následně může v atmosféře dojít k rozložení dimethylrtuti na methylrtuť a k opětovnému vstupu rtuti do vodního řetězce <sup>[4]</sup>.

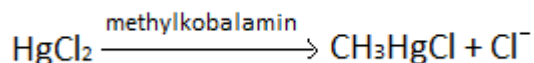


Obr. 4 Koloběh rtuti na rozhraní vzduch, voda, sediment.

Převzato od <sup>[31]</sup>

### 1.7.2 Charakteristika bakterií schopné methylace

Mnoho bakterií má specifické genetické mechanismy zajišťující odolnost vůči toxickým kovům <sup>[28]</sup>. Vzhledem k tomu, že existuje několik významných přírodních zdrojů rtuti, a protože většina anorganických sloučenin tohoto prvku je relativně nerozpustná, předpokládalo se, že rtuť nijak významně neznečišťuje vodu. V roce 1970 se však objevila rtuť ve tkáních ryb v jezeře Saint Clair mezi Michiganem a Ontariem v Kanadě. Byla zde nalezena rozpustná monomethylrtuť ( $CH_3Hg^+$ ) a těkavá dimethylrtuť [ $(CH_3)_2Hg$ ] jako důsledek činnosti anaerobních bakterií v sedimentech. Anorganická rtuť se převede na sloučeniny methylrtuti pomocí methylkobalaminu dle rovnice:



Bakterie, které syntetizují methan, zřejmě produkují methylkobalamin jako meziprodukt. Ve vodách a sedimentech je ideální prostředí, kde dochází k tvorbě methylrtuti. V neutrálním nebo zásaditém prostředí vod, se tvoří především dimethylrtuť. Tato těkavá sloučenina může unikat do atmosféry <sup>[19]</sup>.

V řece Kor, blízko Pole Khan, Irán, byla provedena studie založená na zjišťování odolnosti gram negativních bakterií vůči různým antibiotikům, které následně vyvinuly i speciální mechanismy odolnosti vůči rtuti. Zde byl zkoumán vztah mezi zvýšením hladin rtuti v životním prostředí a výskytem rezistence vůči antibiotikům. Jednalo se o tyto bakterie *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.* a *Serratia marcescens*. Bakterie byly nejvíce rezistentní vůči ampicilinu, tetracyklinu a streptomycinu. Výsledky ukázaly, že rezistence vůči antibiotikům byla vyšší než rezistence vůči rtuti. Souvislost se zde prokázala, protože většina genů pro rezistenci rtuti se nachází v těsné blízkosti genů pro rezistenci k antibiotikům. Tyto geny se nacházejí v plazmínech a transpozonech, které mohou být vyměňovány mezi bakteriálními kmeny a druhy <sup>[22]</sup>.

Bakterie, odolné vůči rtuti jsou převážně gram negativní <sup>[28]</sup>. V Brazílii byly provedeny pokusy potvrzující, že některé mikroorganismy jsou schopné přežít a tolerovat prostředí, kde se nachází rtuť. Nicméně interakce těchto bakterií se rtutí může vést k jejich metabolickým nebo fyzickým změnám <sup>[28]</sup>.

## 1.8 Rtuť v potravinách

Všechny potraviny obsahují malé množství rtuti, její koncentrace závisí na kontaminaci životního prostředí. Některé potraviny obsahují nadlimitní hodnoty rtuti. Rtuť obsahují některé fungicidy. Rtuť se tak postupně dostává dále do potravního řetězce. Lidé jsou nejvíce vystaveni rtuti ve formě methylrtuti z ryb, která představuje velký problém moderního veřejného zdraví <sup>[2]</sup>.

V rybách se pohybuje obsah rtuti okolo 0,1 mg/kg. V ostatních potravinách bylo zjištěno nižší množství okolo 0,01 mg/kg. Příjem Hg z ostatních potravin, jako jsou obiloviny a maso, je téměř stejný jako z příjmu rybiho masa, protože ostatních potravin konzumujeme mnohem více. Nebyl proto zatím potvrzen názor, že hlavním zdrojem přívodu rtuti v potravě jsou ryby <sup>[24]</sup>.

Obsah rtuti v potravinách je malý a velmi proměnlivý. U většiny potravin se pohybuje v desetínách až setínách mg/kg. Vyšší koncentrace se nacházejí v houbách, rybách, měkkýších a koryších <sup>[30]</sup>.

Tab. 2 Koncentrace rtuti ve významných potravinách.

	<b>Přehled obsahu rtuti ve významných potravinách</b>
<b>Potravina</b>	<b>Obsah v mg/kg</b>
maso vepřové	0,002 - 0,006
maso hovězí	0,001 - 0,003
maso kuřecí	0,001 - 0,002
játra vepřová	0,007 - 0,014
játra hovězí	0,001 - 0,005
ledviny vepřové	0,011 - 0,015
ledviny hovězí	0,003 - 0,014
ryby mořské	0,03 - 0,85
<b>ryby sladkovodní</b>	<b>0,07 - 1,01</b>
mléko plnotučné	< 0,001
tvářoh	< 0,001
sýry	< 0,002
jogurt	< 0,001
vejce slepičí	0,005 - 0,008
pšenice	0,0001 - 0,006
<b>mouka pšeničná</b>	<b>0,002 - 0,004</b>
chléb celozrnný	0,001 - 0,006
<b>rýže loupaná</b>	<b>0,002 - 0,008</b>

<b><u>Pokračování Tab.2</u></b> <b><u>z předchozí strany</u></b>	
žito	0,002 - 0,007
ječmen	0,001 - 0,006
<b>oves</b>	<b>0,0001 - 0,008</b>
hrách	0,002 - 0,02
fazole	0,004 - 0,02
<b>sója</b>	<b>&lt; 0,004</b>
zelí	0,0003 - 0,001
květák	0,0004 - 0,002
špenát	< 0,001 - 0,008
hlávkový salát	0,0005 - 0,01
rajčata	0,0001 - 0,008
mrkev	0,0006 - 0,005
hrášek	0,0005 - 0,002
cibule	< 0,001
brambory	0,0001 - 0,017
<b>houby</b>	<b>0,07 - 0,22</b>
jablka	0,0003 - 0,002
pomeranče	< 0,001
banány	0,001 - 0,002
jahody	0,0002 - 0,001
hrozny	0,0004 - 0,002
arašídy	< 0,004
čaj černý	0,007 - 0,025
káva pražená	< 0,004
kakao	< 0,004
čokoláda mléčná	0,002 - 0,004

Převzato od <sup>[31]</sup>.

### 1.8.1 Rtuť v rýži

Rýže (*Oryza sativa L.*) je důležitou základní potravinou v mnoha částech světa, zejména v Asii. Z 90% se ve světě pěstuje ve stojatých vodách, zde se výše zmíněnou mikrobiální činností, přeměňuje anorganická rtuť na toxickou methylrtuť. Následuje bioakumulace v rýžových zrnech. Přestože se polovina světové populace živí rýží, je jen málo studií zabývajících se stanovením rtuti v rýžových zrnech <sup>[26]</sup>.

Nedávné studie v Guizhou, Čína, ukázaly, že koncentrace celkové Hg (THg) v rýžových zrnech, pěstovaných v oblasti kontaminované Hg, překročily maximální legislativně povolené limity. V Číně jsou maximální limity pro obsah Hg v potravinách doporučené Chinese National Standards Agency, 20 ng/g. Překročení bylo značné. Naměřené hladiny se pohybovaly až do 1120 ng/g THg a do 174 ng/g methylHg. Po porovnání koncentrací MeHg v rýži s jinými plodinami (např. kukuřice, řepka, tabák) pěstovanými ve stejné oblasti v Guizhou, se jasně ukazuje, že pouze rýže je schopna akumulovat vysoké koncentrace MeHg. Je tudíž nutné zabránit tomu, aby se do zrn rýže dostalo zvýšené množství Hg. K tomuto účelu byly vyšlechtěny rýžové kultivary, které představují efektivní způsob, jak snížit koncentraci methylrtuti a celkové rtuti v zrnech rýže, pěstované v oblastech kontaminovaných rtutí <sup>[18]</sup>. V této studii bylo rovněž zjištěno, že ve slámě z rýže byla mnohem vyšší koncentrace rtuti než v zrnech hnědé rýže. U jiných odrůd takovéto rozdíly v koncentracích nebyly pozorovány <sup>[18]</sup>.

V Madagaskaru byla provedena studie, která se zabývala stanovením rtuti v rýži. Zde byly naměřeny velmi nízké hodnoty. Nepotvrdily se ani významné rozdíly v koncentracích Hg mezi různými druhy rýží <sup>[26]</sup>.

U matek v Guizhou, Čína, kde je, jako jediný zdroj rtuti rýže, byly zjišťovány nejvhodnější markery na odhalení prenatální intoxikace rtutí. Těhotné ženy se živily 2x až 3x denně rýží. Jako biomarkery, poukazující na prenatální intoxikaci rtutí, je nejvhodnější použít vlasy a krev. Ve vlasech matky lze zjistit zpětné údaje o intoxikaci v průběhu 3 trimestrů. Následně se pak mohou vyhodnotit neurotoxická rizika pro plod. Koncentrace rtuti v krvi nejvíce korelovala s obsahem rtuti v rýži <sup>[25]</sup>.

### **1.8.2 Rtut' v houbách**

Houby se staly pochoutkou ve spoustě zemí. Bohužel mají tu vlastnost, že jsou schopné akumulovat těžké kovy. Rtut' proniká do hub prostřednictvím mycelia ze zdrojů v humusu. Nejvíce se rtut' kumuluje v čirůvkovitých a žampionovitých houbách <sup>[6]</sup>. Koncentrace rtuti v houbách klesá v tomto pořadí: výtrusorodé vrstvy > zbývající část klobouku > třeň. Po tepelném zpracování hub se vlivem tepla ztrácí až 70% Hg. Koncentrace rtuti v houbách se nemění ani po víceletém skladování <sup>[6]</sup>.

Limity pro obsah Hg v čerstvé hmotě jedlých hub jsou do 0,05 mg/kg. Obecně je lze přepočítat na sušinu (cca 10%) desetinásobkem <sup>[6]</sup>. Nejvíce tedy může být 0,5 mg/kg Hg v sušině.

V pěstovaných houbách je mnohem nižší koncentrace Hg než u hub volně rostoucích. Je to dáno tím, že pěstované houby mají nízké koncentrace kovů v substrátu a vykultivované mycelium má krátkou životnost <sup>[15]</sup>.

Houby nejsou vhodným bioindikátorem míry znečištění životního prostředí, pokud se nejedná přímo o znečištění životního prostředí rtutí <sup>[1]</sup>.

Koncentrace rtuti je různá u hymenoforu a u zbytku plodnice celé houby. V hymenoforu je koncentrace rtuti vyšší. Je to dáno zřejmě tím, že v hymenoforu je vyšší enzymová aktivita, rtuť se více váže na proteiny než ve zbytku plodnice. Největší rozdíl byl nalezen u *M. procera* <sup>[1]</sup>. Abychom zamezili intoxikaci Hg, je dobré odstranit hymenofor a raději se vyhnout konzumaci těchto druhů hub: *Boletus pinicola*, *Macrolepiota procera* a možná *Agaricus campestris* <sup>[1]</sup>.

V saprofytických houbách je vyšší koncentrace Hg, než v mykorhizních druzích. Je to způsobeno tím, že saprofytické houby mají vyšší rozkládající schopnost a vyšší katalázovou aktivitu <sup>[1]</sup>.

### 1.8.3 Rtut' ve výživě pro kojence

V Portugalsku bylo analyzováno celkem 87 vzorků potravin pro kojence. Rtut' byla stanovována u komerční kojenecké výživy označené, jako produkt ekologického zemědělství a u běžných potravin určených pro kojence. Výsledky získané pro obilné příkrmy se pohybovaly kolem 0,40 až 0,50 ng/kg, a výsledky pro dětskou výživu obsahující ryby dosahovaly maximálně hodnoty 19,56 µg/kg. U vzorků obilných potravin se ukázaly statisticky významné rozdíly mezi ekologickými a konvenčními produkty. Spotřeba komerční dětské výživy nepředstavovala riziko pro kojence. Toto tvrzení platí pro potraviny jiné než z ryb a koryšů. Riziko otravy po požití ryb a koryšů nebylo vyloučeno <sup>[21]</sup>.



#### 1.8.4 Rtut' v rybách

V České republice, podél řeky Bíliny, byla provedena studie, jejímž cílem bylo posoudit zatížení znečištění rtutí. Hlavní důvod zjišťování koncentrace rtuti spočíval v tom, že tato řeka protéká oblastí s intenzivní průmyslovou činností (zejména petrochemie, agrochemie, výroba sorbentů, změkčovadel a textilních pomůcek). Řeka Bílina je jedna z nejvýznamnějších přítoků Labe. Rtut' byla stanovována u těchto ryb: jelec tloušť (*Leuciscus cephalus L.*), plotice obecná (*Rutilus rutilus L.*) a pstruh obecný (*Salmo trutta m. Fario L.*). Vzorky byly měřeny metodou generování studených par v atomové absorpční spektrometrii na AMA 254 analyzátoru. Nejvyšší obsah rtuti ( $0,12 \pm 0,027$  mg/kg) byl nalezen ve svalu plotice a nejnižší obsah rtuti ( $0,04 \pm 0,008$  mg/kg) byl nalezen ve svalu pstruha. Navzdory tomu, že Bílina je značně znečištěná řeka, získané výsledky rtuti byly velmi nízké a nepřekročily limit  $0,5$  mg/kg<sup>[17]</sup>.

Tab. 3 Průměrné koncentrace rtuti zjištěné v některých rybách odlovených v celé ČR

druh ryby	koncentrace Hg v mg/kg
kapr	0,01
plotice	0,08 - 0,23
lín	0,14 - 0,64
okoun	0,14 - 2,43
štika	0,16 - 2,87
candát	0,34 - 1,90
úhoř	0,13 - 2,40

Převzato od<sup>[30]</sup>.

Podle světové zdravotnické organizace je doporučené množství pro člověka vážícího 60-70 kg maximálně 0,3 mg za týden. V České a Slovenské republice je doporučená hranice do 0,5 mg na týden<sup>[1]</sup>.

## 1.9 Transport rtuti v atmosféře

Atmosféra obsahuje hlavně plynné složky (99,6%), ale i malé množství stopových prvků (okolo  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Mezi stopové prvky patří plynné, kapalně a pevně látky, které jsou vnášeny do ovzduší a ovlivňují ho. Prvky se mohou transportovat lokálně, regionálně i globálně, jako je tomu v případě rtuti, která může být transportována na velké vzdálenosti bez chemických přeměn <sup>[6]</sup>.

### 1.10 Účinky na savce

Organické i anorganické formy rtuti jsou toxické pro člověka, protože mají vysokou afinitu k thiolovým skupinám v enzymech a bílkovinách. Toxicita je u stejných savců různá, záleží na formě příjmu rtuti a na orgánové distribuci. Anorganická rtuť má hlavně nefrotoxické účinky. Předpokládá se, že se do proximálního tubulu dostává pomocí endocytózy Hg albuminem v plazmě. Důsledkem nefrotoxicity anorganické rtuti je zejména rozrušení enzymů odpovědných za ochranu buněk proti peroxidaci. To vede k tvorbě oxidačního stresu v mitochondriích a v renální tubulární poškození <sup>[16]</sup>.

Plynná elementární rtuť může být rychle oxidována na anorganickou formu. V krvi se z ní stává nefrotoxin. Páry rtuti mohou difundovat přes hematoencefalickou bariéru a působit jako neurotoxin po oxidaci v mozku.

Nejvíce neurotoxická forma Hg u zvířat i lidí je organická forma Hg, methylrtuť. Ta může procházet hematoencefalickou bariérou pomocí L-typu neutrálních aminokyselin a způsobovat poruchy v různých buněčných procesech, včetně iontové homeostázy, synaptické funkce, vzniku oxidačního stresu a poruchy syntézy proteinů. Methylrtuť má schopnost překonávat placentární bariéru <sup>[16]</sup>.

#### 1.10.1 Toxicita pro člověka

Lidská populace je nejvíce vystavena expozici rtutí z konzumace ryb a dalších vodních živočichů a z uvolňování elementární rtuti z amalgámových zubních výplní <sup>[27]</sup>.

Akutní expozice vysokým koncentracím par elementární rtuti, může být provázena bolestí na hrudi, dušností, kašlem a intersticiální pneumonií vedoucí až ke smrti <sup>[9]</sup>.

Mezi příznaky poškození dýchacího ústrojí patří postižení centrálního nervového systému s tremorem a zvýšenou excitabilitou.

Požítí sloučenin rtuti, zejména chloridu rtuťnatého způsobuje ulcerativní onemocnění žaludku a střev (pacient zvrací a trpí choleriformními průjmy) a akutní tubulární nekrózu. Mezi další příznaky po požití patří těžká stomatitida provázena silným sliněním, kovovou chutí v ústech, otoky dásní, vypadáváním zubů a v pozdějších stádiích i vředovatěním dásní <sup>[4]</sup>.

Při chronické expozici parám kovové rtuti je postizen centrální nervový systém. Zpočátku pacient trpí nespecifickými příznaky, typu neurastenického syndromu, konkrétně se tento syndrom nazývá mikromerkurialismus. Je doprovázen slabostí, únavou, závratěmi, bolestmi hlavy, poklesem hmotnosti, nechutenstvím, poruchami trávení. Později se vyvíjí třes z počátku v prstech, rtech, jazyku a očních víčkách <sup>[9]</sup>, <sup>[4]</sup>. Dále je charakterizovaný svalovým chvěním přerušovaným silnějším třese. Proto je při podezření na intoxikaci doporučováno provést zkoušku písma. Společně s vývojem tremoru se vyvíjí i eretismus (poruchy chování). V těžkých případech se projevují psychotické stavy charakterizované deliriem, halucinacemi a sebevražednými sklony. <sup>[9]</sup>, <sup>[4]</sup>.

## 2 Cíle práce a předpokládané hypotézy

Hlavním cílem této práce bylo podat dostupné informace o výskytu rtuti v potravinách.

Další cíle jsou:

- Vybrat několik běžných potravin pro stanovení Hg.
- Připravit potraviny pro vlastní chemickou analýzu.
- Seznámit se s metodou atomové absorpční spektrometrie a prostřednictvím této metody stanovit obsah rtuti v připravených vzorcích potravin.
- Prostřednictvím statistiky ohodnotit, která potravina byla rtutí nejvíce zatížena.
- Zhodnotit vlivy způsobující zvýšení rtuti v potravinách.
- Porovnat koncentraci rtuti ve volně rostoucích a pěstovaných houbách.
- Zjistit množství rtuti v plodnicích hub odebraných v různých oblastech, znečištěných a čistých.
- Zjistit koncentraci rtuti v různých půdách.
- Na základě obdržných výsledků preferovat o možném působení rtuti na lidský organismus.

Existuje předpoklad, že zvýšená koncentrace rtuti je v rybách, houbách a rýži. Dále předpokládáme, že v dalších analyzovaných potravinách nebude nadlimitně zvýšená koncentrace rtuti.

### 3 Experimentální část

Praktická část bakalářské práce byla provedena na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, na katedře aplikované chemie.

Měření předcházela příprava vzorků, která zahrnovala usušení hub, homogenizaci a následné navážení jednotlivých vzorků na navažovací lodičku spektrometru AMA-254 pomocí analytických vah. Snahou bylo navážit okolo 20 mg. Poté byla navažovací lodička zavedena do atomového absorpčního spektrometru.

#### 3.1 Materiál

Jako vzorky ke stanovení rtuti byly vybrány již zmíněné potraviny a dodatečně vzorky půd odebrané v místě, kde byla naměřena zvýšená koncentrace rtuti v houbách.

##### 3.1.1 Popis lokalit, naleziště hub

Celkem byly stanovovány houby ze 4 krajů: Liberecký kraj, Jihočeský kraj, Středočeský kraj, kraj Vysočina.

**Liberecký kraj**, Nové Město pod Smrkem, okres Liberec (50.9345244N, 15.2085114E):

- hřib kovář (*Boletus luridiformis*)

**Jihočeský kraj**, Velmovice, okres Tábor v lokalitě charakterizované souřadnicí (49.4295378N, 14.7969533E):

- hřib smrkový (*Boletus edulis*)
- bedla vysoká (*Macrolepiota procera*)
- hřib hnědý (*Boletus badius*)
- muchomůrka růžovka (*Amanita rubescens*)
- kozák březový (*Leccinum scabrum*)
- hřib žlutomasý (*Xerocomellus chrysenteron*)
- ryzec smrkový (*Lactarius deterrinus*)
- klouzek sličný (*Suillus grevillei*)

- hřib kovář (*Boletus luridiformis*)
- křemenáč březový (*Leccinum versipelle*)

**Středočeský kraj**, Kamberk, okres Benešov, v okolí souřadnice (49.6025197N, 14.8298692E):

- bedla vysoká (*Macrolepiota procera*)
- hřib žlutomasý (*Xerocomellus chrysenteron*)
- klouzek sličný (*Suillus grevillei*)
- hřib hnědý (*Boletus badius*)
- václavka obecná (*Artimillaria mellea*)

**Kraj Vysočina**, Černovice, okres Pelhřimov, oblast kolem souřadnice (49.3980158N, 14.9535942E)

- hřib hnědý (*Boletus badius*)
- václavka obecná (*Artimillaria mellea*)
- ryzec smrkový (*Lactarius deterrinus*)
- hřib žlutomasý (*Xerocomellus chrysenteron*)

Dále byla rtuť stanovena v pěstovaných houbách, kvůli porovnání koncentrace s houbami volně rostoucími:

- **Pečárka dvouvýtrusá** (*Agaricus bisporus*), Žampiony, balírna Borkovice, ČR

Vždy byly sbírány celé plodnice hub (klobouk i třeň). Poté se nakrájely na tenké plátky, a následně vložily do závěsné sítě, kde se volně sušily bez působení přímých slunečních paprsků.

### 3.1.2 Popis ostatních potravin

**Mouka polohrubá pšeničná**, Coop Klasik, Mlýn Havlíčkův Brod spol, s.r.o., ČR

**Rýže dlouhozrná**, Navary, Investice Strategie, Management a.s., Brno, ČR

**Sójové kostky**, Bona vita, Pragojoja spol. s r.o., Vidovice, ČR

**Mák modrý**, IBK trade, Praha, ČR

**Čočka velkozrná**, Navary, LA Food s.r.o., Napajedla, ČR

**Ovesné vločky**, Emco, Emco spol. s.r.o., Praha, ČR

**Sója**, Albert bio, vyrobeno pro AHOLD Czech republic, a.s., Brno, ČR

### 3.1.3 Popis půdních vzorků

Dále byla analyzována **půda** odebraná v oblasti, kde byla naměřena zvýšená koncentrace rtuti v houbách, tedy v Jihočeském kraji, okolí Velmovic, okres Tábor

- orná půda (49.4277794N, 14.7926617E)
- lesní půda (49.4286167N, 14.7932194E)
- louka (49.4281700N, 14.7929192E)

Vzorky půd byly odebrány z hloubky 5-10 cm. Poté byly usušeny při laboratorní teplotě. Následně byly rozmělněny pomocí třecí misky a tloučku, prosety skrz síto, díky kterému se oddělily kameny, kořínky a větvičky od analyzovaných vzorků půd.

### Ryby

Jihočeskou univerzitou v Č. Budějovicích, Fakultou rybářství a ochrany vod, byl poskytnut lyofilizovaný vorek **Sumce velkého**, *Silurus glanis*, samec a samice, Vodňany, r. 2012.

### 3.2 Vlastní měření

K vlastnímu měření byl použit jednoúčelový atomový absorpční spektrometr - analyzátor stopových množství rtuti - AMA 254 (Altec, Praha, ČR) připojený k řídicímu počítači. Je určen k přímému stanovení celkové Hg v pevných i kapalných vzorcích bez nutnosti chemické předúpravy. Do počítače se zadala hmotnost vzorku v navažovací lodičce, následně se spustil chod přístroje. V první fázi měření docházelo k sušení vzorku. Tato část trvala 60 s. V druhé fázi je vzorek spálen v proudu kyslíku při teplotě 850-900°C (120 s). Rozložený vzorek je unášen kyslíkem do další části spalovací trubice, kde se nachází katalyzátor. V této části dochází ke konečné oxidaci a zachycení oxidů síry a dusíku. Rozložené vzorky jsou dále vedeny do amalgamátoru, na němž se zachycuje rtuť. V třetí, konečné fázi, je změřena rtuť na spektrometru, která

byla zachycena na amalgamátoru (45 s). Hodnoty se převedly do řídicího počítače, kde byla znázorněna závislost měřené absorbance na čase a přesná koncentrace rtuti ve vzorku.



## 4 Výsledky

### 4.1 Validace analytické metody

Validace nám pomáhá prověřit, že metoda splňuje nároky na ni kladené. Validována byla analytická metoda stanovení Hg pomocí spektrometru AMA 254, Určovány byly následující charakteristiky: správnost, přesnost, citlivost, mez detekce (LOD), mez stanovitelnosti (LOQ), lineární dynamický rozsah (LDR), a korelační koeficient lineární části kalibrace.

#### Výsledky validace

Správnost byla určena pomocí certifikovaného referenčního materiálu (CRM 7001 Light Sandy soil, Analytika Praha, Česká republika)

- 97,0%

Přesnost byla vyjádřena jako opakovatelnost stanovení Hg v uvedeném CRM

- 3,33%

Citlivost byla vyjádřena jako směrnice kalibrace

- 0.00251 l/ $\mu\text{g}$

LOD a LOQ byly vyjádřeny na základě  $3\sigma$  a  $10\sigma$  kritéria

LOQ = 1,04  $\mu\text{g/l}$

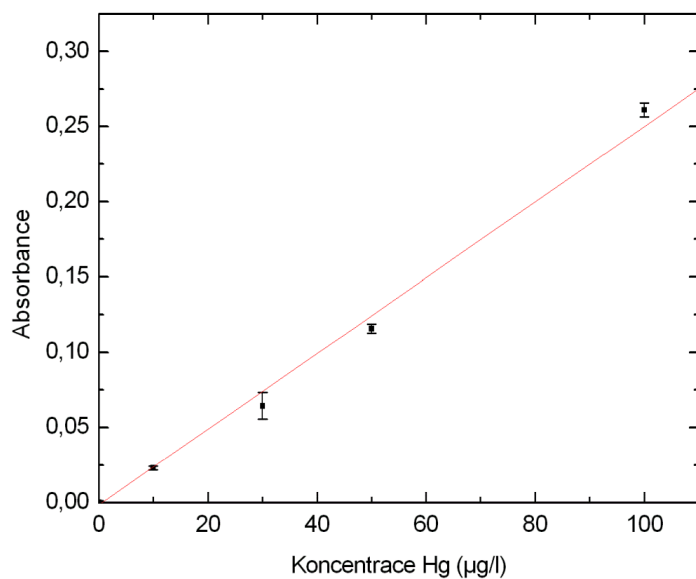
LOD = 0,31  $\mu\text{g/l}$

Z LOQ zjistíme lineární dynamický rozsah = LDR

- 1,04 až 100 $\mu\text{g/l}$

Korelační koeficient R

- 0,9979



Obr.5 Kalibrační závislost pro stanovení Hg pomocí spektrometru AMA-254

Tab. 4 Základní charakteristiky analytické metody

<b>Validace analytické metody</b>	
Správnost	97,0 %
Přesnost	3,33 %
Citlivost	0,00251 l/µg
LOD	0,31 µg/l
LOQ	1,04 µg/l
LDR	1,04 až 100 µg/l
korelační koeficient	0,9979

## 4.2 Výsledky stanovení rtuti v potravinách

Tab. 5 Výsledky stanovení rtuti ve vybraných potravinách

Potravina	průměrné koncentrace rtuti v mg/kg	Směrodatná odchylka
Mouka polohrubá pšeničná	<b>0,0008</b>	0,0001
Ovesné vločky	<b>0,001</b>	0,0002
Rýže	<b>0,004</b>	0,0004
Sumec F*	<b>0,04</b>	0,003
Sumec M*	<b>0,04</b>	0,0009
Sója	<b>0,0007</b>	0,0001
Sójové kostky	<b>0,0002</b>	0,0001
Čočka	<b>0,0001</b>	0,00002
Mák	<b>0,006</b>	0,0007

\*F- female = samice

\*M- male = samec

Tab. 6 Výsledky měření rtuti u hub

Druh houby	Datum sběru	Název Kraje	Průměrná koncentrace rtuti v mg/kg	Směrodatná odchylka
Hřib žlutomasý <i>Xerocomellus chrysenteron</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>5,67</b>	0,12
Hřib smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>4,55</b>	0,14
Bedla vysoká <i>Macrolepiota procera</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>3,47</b>	0,15
Hřib smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>3,23</b>	0,01
Muchomůrka růžovka <i>Amanita rubescens</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>2,26</b>	0,04
Bedla vysoká <i>Macrolepiota procera</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>2,07</b>	0,05

<b><u>Pokračování Tab. 6</u></b> <b><u>z předchozí strany</u></b>				
Bedla vysoká <i>Macrolepiota procera</i>	18. 9. 2014	Středočeský	<b>1,79</b>	0,17
Hřib kovář <i>Boletus luridiformis</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,93</b>	0,04
Hřib kovář <i>Boletus luridiformis</i>	6. 9. 2014	Liberecký	<b>0,64</b>	0,02
Hřib žlutomasý <i>Xerocomellus chrysenteron</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,55</b>	0,01
Muchomůrka růžovka <i>Amanita rubescens</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>0,49</b>	0,01
Kozák březový <i>Leccinum scabrum</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>0,48</b>	0,04
Ryzec smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>0,47</b>	0,01
Klouzek sličný <i>Suillus grevillei</i>	26. 10. 2014	Středočeský	<b>0,44</b>	0,08
Kozák březový <i>Leccinum scabrum</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,42</b>	0,03
Hřib hnědý <i>Boletus badius</i>	26. 10. 2014	Středočeský	<b>0,34</b>	0,01
Hřib hnědý <i>Boletus badius</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,28</b>	0,02
Klouzek sličný <i>Suillus grevillei</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,27</b>	0,01
Hřib hnědý <i>Boletus badius</i>	3. 10. 2014	Jihočeský	<b>0,23</b>	0,002
Hřib žlutomasý <i>Xerocomellus chrysenteron</i>	5. 10. 2014	Vysočina	<b>0,19</b>	0,004
Hřib žlutomasý <i>Xerocomellus chrysenteron</i>	18. 9. 2014	Středočeský	<b>0,17</b>	0,01
Ryzec smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	26. 8. 2014	Jihočeský	<b>0,16</b>	0,01

<b><u>Pokračování Tab. 6</u></b> <b><u>z předchozí strany</u></b>				
Hřib hnědý <i>Boletus badius</i>	5. 10. 2014	Vysočina	<b>0,16</b>	0,002
Hřib hnědý <i>Boletus badius</i>	10. 9. 2014	Vysočina	<b>0,14</b>	0,004
Ryzec smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	10. 9. 2014	Vysočina	<b>0,13</b>	0,004
Václavka obecná <i>Artimillaria mellea</i>	10. 9. 2014	Vysočina	<b>0,06</b>	0,002
Václavka obecná <i>Artimillaria mellea</i>	26. 10. 2014	Středočeský	<b>0,06</b>	0,01
Pečárka dvouvýtrusá <i>Agaricus bisporus</i>			<b>0,04</b>	0,003

Pokračování Tab. 6 ze str. 35

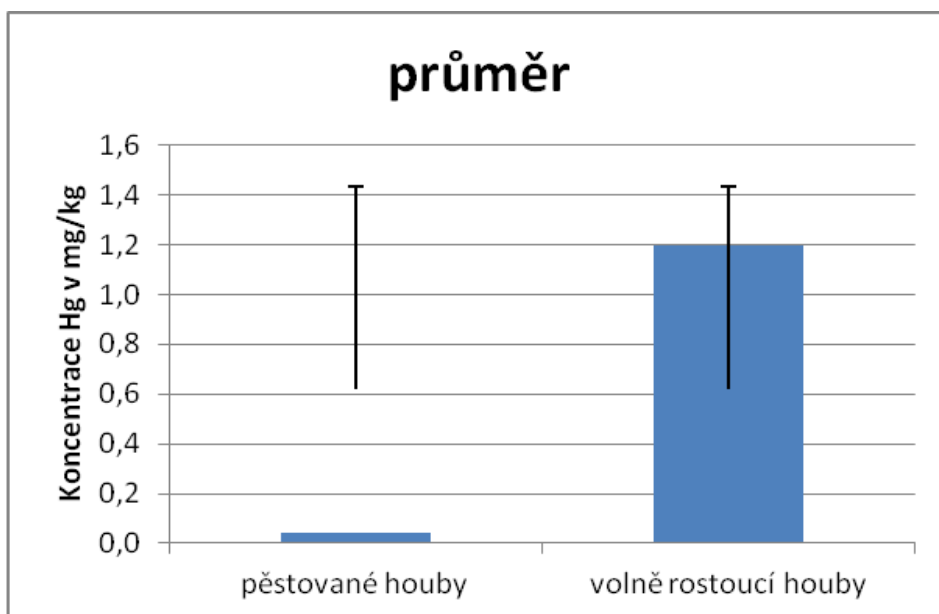
Tab. 7 Výsledky stanovení rtuti v půdách

<b>Druh půdy</b>	<b>Průměrné koncentrace rtuti v mg/kg</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
Louka	<b>0,06</b>	0,001
Orná půda	<b>0,07</b>	0,0006
Lesní půda	<b>0,2</b>	0,006

Tab. 8 Koncentrace rtuti u vypěstovaných a volně rostoucích hub

<b>houby</b>	<b>Průměr</b>	<b>Sm. odchylka</b>
pěstované houby	0,04	0,003
volně rostoucí houby	1,19	1,504

Hladina významnosti 19,2 %.

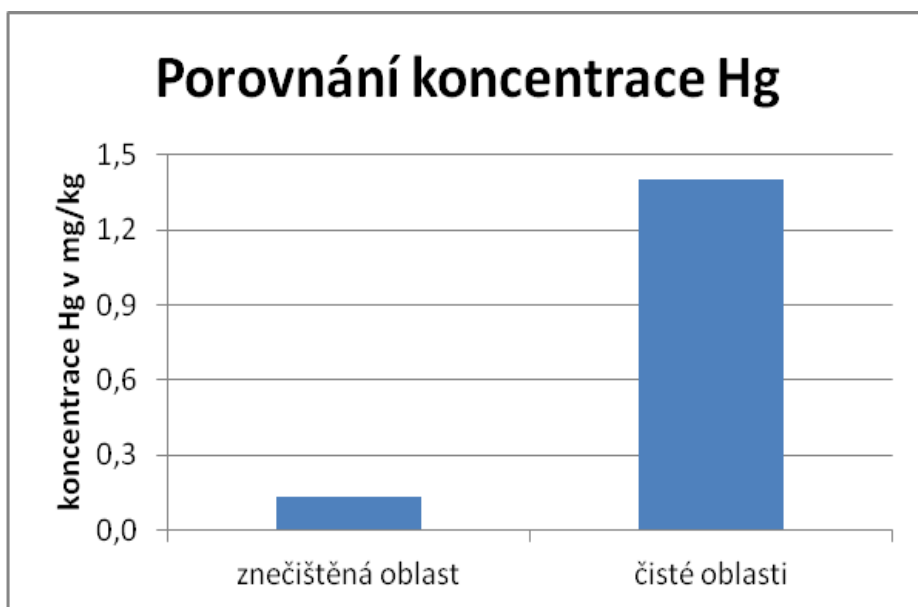


**Obr. 6 Rozdíly v koncentraci Hg u volně rostoucích a vypěstovaných hub**

**Tab. 9 Rozdíly v koncentracích rtuti u hub rostoucích ve znečištěném prostředí a v čistém prostředí**

<b>oblast</b>	<b>Průměr</b>	<b>Sm. odchylka</b>
znečištěná oblast	0,13	0,04
čisté oblasti	1,4	1,57

Hladina významnosti 0,25 %

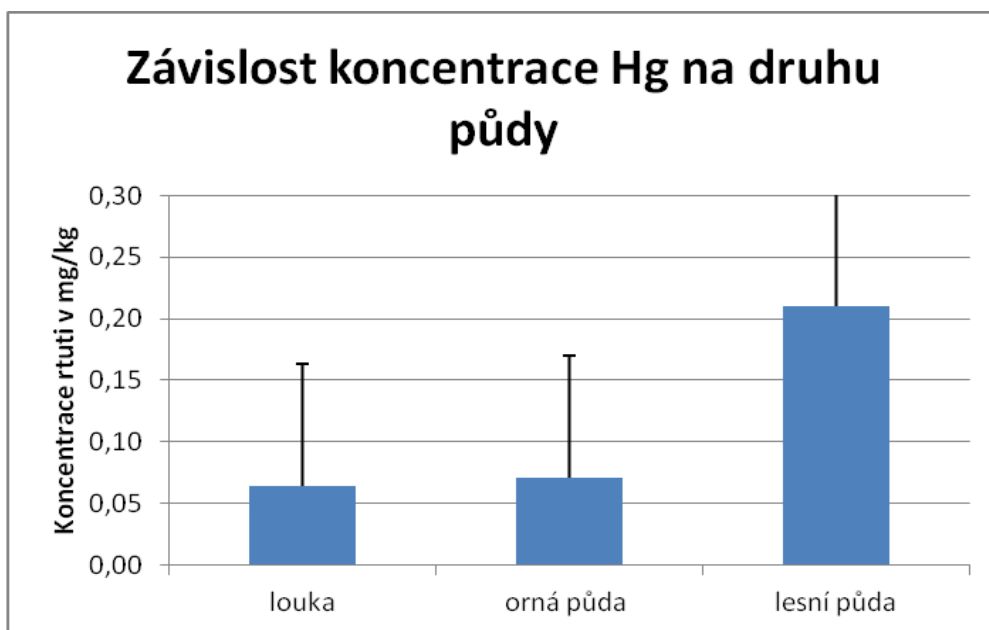


Obr. 7 Rozdíly v koncentracích rtuti u hub rostoucích ve znečištěném prostředí a v čistém prostředí

\*znečištěná oblast = výfukové plyny, odpadky v místě naleziště hub, okolí silnic  
Hladina významnosti je 0,25 %.

Tab. 10 Závislost koncentrace Hg na druhu půdy

druh půdy	Průměr	Sm.odchylka
louka	0,06	0,001
orná půda	0,07	0,0007
lesní půda	0,21	0,006



Obr. 8 Porovnání koncentrace rtuti v různých půdách

Tab. 11 Nejnížší naměřené hodnoty v potravinách seřazené vzestupně

Pořadí	Potravina	průměrné koncentrace rtuti v mg/kg	Směrodatná odchylka
1	Čočka	<b>0,0001</b>	0,00002
2	Sójové kostky	<b>0,0002</b>	0,0001
3	Sója	<b>0,0007</b>	0,0001



**Tab. 12** Nejvyšší naměřené hodnoty rtuti v potravinách seřazené sestupně

Pořadí	Potravina	Datum sběru	Název Kraje	Průměrná koncentrace rtuti v mg/kg	Směrodatná odchylka
1	Hřib žlutomasý <i>Xerocomellus chrysenteron</i>	3.10.2014	Jihočeský	<b>5,67</b>	0,12
2	Hřib smrkový <i>Lactarius deterrinus</i>	26.8.2014	Jihočeský	<b>4,55</b>	0,14
3	Bedla vysoká <i>Macrolepiota procera</i>	3.10.2014	Jihočeský	<b>3,47</b>	0,15

## 5 Diskuse

Tato práce měla zjistit, jaké koncentrace celkové rtuti jsou detekovány pro vzorky různých potravin.

Několik studií provedených v České republice se již zabývalo obsahem rtuti v potravinách, vždy ale pouze obecně. V mé studii lze přesně dohledat, o jakou potravinu jde. Je udán název výrobku, výrobce a země původu.

Výsledky prokázaly, že rtuť se vyskytuje ve všech potravinách. V některých potravinách ve větších koncentracích, v řádech jednotek  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , v některých jen ve stopových koncentracích, v řádech desetitisícin  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Nejvíce celkové rtuti (5,67 mg/kg) bylo naměřeno v hříbu žlutomasém (*Xerocomellus chrysenteron*) z Jihočeského kraje. Druhá nejvyšší koncentrace rtuti byla naměřena ve hříbu smrkovém (*Lactarius deterrinus*) z Jihočeského kraje - 4,55 mg/kg. Dále byla poměrně vysoká koncentrace v bedle vysoké (*Macrolepiota procera*) z Jihočeského kraje. Zde byla naměřena koncentrace rtuti 3,47 mg/kg.

Z volně rostoucích hub byla naměřena nejnižší koncentrace rtuti u václavky obecné (*Antimillaria melta*) ze Středočeského kraje (0,06 mg/kg).

V pěstovaných houbách je koncentrace rtuti mnohem nižší než v houbách volně rostoucích. Závisí to na kratší životnosti pěstovaných hub <sup>[1]</sup>. Dále pak na délce vláken podhoubí, které může být u volně rostoucích hub opravdu značné, a houby mohou přijímat rtuť z celé plochy, kam toto podhoubí zasahuje. Na stáří podhoubí. Volně v přírodě, má životnost roky, v kultivovaných plochách jen měsíce, a na intervalu mezi růstem houby a jejím vysemeněním, čím delší je tento interval, tím více rtuti se do hub absorbuje <sup>[15]</sup>.

Z pěstovaných hub jsem v mé studii měřila koncentraci rtuti u pečárek dvouvýtrusných (*Agaricus bisporus*), kde se tato teorie potvrdila, neboť zde byla naměřena nejnižší koncentrace ze všech hub.

Dle Kalače a Svobody <sup>[15]</sup> se nejvíce rtuti vyskytuje (10 až 20 mg/kg rtuti v sušině) ve volně rostoucích pečárkách ovčích (*Agaricus bisporus*), v čirůvkách fialových

(*Lepista nuda*) a v čirůvkách májovkách (*Calocybe gambosa*). V porovnání s jejich studií se ve hříbu žlutomasém (*Xerocomus chrysenteron*), běžně vyskytuje <0,5 až 1 mg/kg rtuti. V mé studii se v této houbě vyskytovalo až 5 x více rtuti, zřejmě v daném místě působil znečišťující kontaminant. Bedla vysoká (*Macrolepiota procera*), běžně obsahuje 1 až 10 mg/kg rtuti, což koreluje s mými výsledky. Muchomůrka růžovka (*Amanita rubescens*), běžně obsahuje 0,5 až 2 mg/kg rtuti. V mé studii byla zaznamenána vyšší koncentrace rtuti u této houby (2,26 mg/kg). Koncentrace <0,5 pro kozáka březového (*Leccinum labrum*), také odpovídá s mými výsledky.

Ze statistických výsledků vyplývá, že koncentrace rtuti v houbách ve znečištěné oblasti je dokonce nižší, než v čistých oblastech. Houby nejsou vhodným bioindikátorem míry znečištění životního prostředí <sup>[1]</sup>. Pokud ovšem nejde o znečištění životního prostředí rtutí. Za znečištěnou oblast byla považována oblast v kraji Vysočina, protože se nacházela v blízkosti silnic a v místě naleziště hub byly poházeny různé odpadky. Oproti tomu, čisté oblasti představovaly Jihočeský, Středočeský a Liberecký kraj.

U hub, kde byla naměřena zvýšená koncentrace rtuti, se v dané oblasti pro srovnání stanovovala rtuť v půdách. Šlo o oblast v Jihočeském kraji. Byly odebrány 3 vzorky půd. Orná půda, lesní půda a louka. Předpokládalo se, že v lesní půdě bude vyšší koncentrace rtuti, což se potvrdilo. Je to dáno tím, že jehlice na jehličnatých stromech, jsou schopny absorbovat rtuť z atmosféry a po opadání těchto jehlic kontaminovat půdu. V lesní půdě byla naměřena koncentrace celkové rtuti v řádech desetin µg/kg. V orné půdě a louce byla naměřena koncentrace celkové rtuti v řádech setin µg/kg.

Ze všech měřených potravin byla nejnižší koncentrace rtuti v čočce (*lens*). Pouze 0,0001 mg/kg. Druhá nejnižší naměřená hodnota byla u sójových kostek v koncentraci 0,0002 mg/kg a následně v sóje (*glycine*) o koncentraci rtuti 0,0007 mg/kg. Velíšek (1999, s. 103) uvedení, že koncentrace rtuti v sóje, se pohybuje v hodnotách nižších než 0,004 mg/kg, což s mou studií souhlasí.

Mouka polohrubá pšeničná obsahovala 0,0008 mg/kg rtuti. V literatuře se udává koncentrace v pšeničné mouce v rozmezí 0,002 – 0,004. Mé hodnoty jsou tedy ještě nižší.

Ovesné vločky obsahovaly 0,001 mg/kg rtuti. V ovsu (*Avena*) se obecně pohybuje koncentrace rtuti v rozmezí 0,0001 – 0,008 mg/kg. I toto se s literaturou shoduje <sup>[30]</sup>. V máku byla naměřena koncentrace 0,006 mg/kg rtuti. Bohužel nebyla nalezena literatura pro porovnání.

Ve výše uvedených potravinách (čočka, sója, polohrubá mouka, ovesné vločky a mák) by bylo riziko zvýšené koncentrace rtuti pouze v případě, pokud by se používala průmyslová hnojiva s obsahem rtuti. V dnešní době jsou tato hnojiva zakázána. Koncentrace rtuti v těchto potravinách nepředstavují riziko pro zdraví člověka.

Rýže obsahovala 0,004 mg/kg rtuti. Literatura udává rozmezí 0,002 – 0,008 mg/kg. Tyto koncentrace jsou podlimitní. Pokud bychom ale vzali v úvahu, že rýže představuje zejména v asijských zemích hlavní zdroj obživy, může být i rýže rizikovou potravinou z hlediska otravy rtutí.

V obou vzorcích sumců velkých (*Silurus glanis*) byla naměřena koncentrace rtuti 0,04 mg/kg. Velíšek (1999) udává, že koncentrace rtuti ve sladkovodních rybách je v rozmezí 0,07 – 1,01 mg/kg. Rtuť v rybách je v současné době pro obyvatelstvo největším rizikem. Týká se to hlavně přímořských států a obyvatel žijících podél významných vodních toků, kde jsou ryby konzumovány v nezanedbatelné míře.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo sestavit literární rešerši o výskytu rtuti v potravinách. Práce kladla důraz na experimentální část. Celková rtuť ve vybraných potravinách byla stanovována na jednoúčelovém atomovém absorpčním spektrometru AMA 254.

Bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace rtuti se nachází v houbách. V hříbu žlutomasém (*Xerocomellus chrysenteron*) byla změřena koncentrace 5,67 mg/kg. Tato hodnota byla stanovena pro sušinu. V čerstvých houbách je koncentrace rtuti zhruba desetkrát nižší. Nejvyšší přípustná koncentrace rtuti pro potraviny činí 0,05 mg/kg. V houbách se po přepočtení naměřilo nejvíce 0,57 mg/kg rtuti. Tyto výsledky jsou tedy nadlimitní. Vzhledem k tomu, že někteří lidé nekonzumují houby vůbec, někteří jen sezóně, nelze vyvodit zdravotní důsledky pro konzumaci hub.

Dále byly nejvyšší koncentrace naměřeny v rybách, ale tyto hodnoty nebyly nadlimitní.

Poměrně zajímavá je koncentrace rtuti v rýži. V zemích, kde rýže představuje hlavní zdroj obživy, může být zvýšené riziko otravy rtutí. Riziko platí zejména pro těhotné ženy, protože plod je pro rtuť mnohem citlivější. Stanovení rtuti v rýži by si rozhodně zasloužilo rozsáhlejší a podrobnější zkoumání.

Ryby a houby jsou v současné době prozkoumány poměrně detailně, zatímco ostatní potraviny, jako obiloviny, luštěniny a další, nikoli. V dostupné literatuře obvykle nelze zjistit přesné informace (název, výrobce a země původu) o potravinách.

## 7 Seznam použité literatury

1. ALONSO, J. et al. Accumulation of Mercury in Edible Macrofungi: Influence of Some Factors. In *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* . 2000. Vol. 38, no. 2, p. 158–162. [žiūrėta 2015-03-29].
2. AMIN-ZAKI, L. Mercury in Food. In JELLIFFE, E.F.P. - JELLIFFE, D.B. *Adverse Effects of Foods* [interaktyvus]. [s.l.]: Springer US, 1982. p. 149–159. [žiūrėta 2015-04-19]. ISBN 978-1-4613-3361-6, 978-1-4613-3359-3 Prieiga per internetą: <[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-3359-3\\_14](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-3359-3_14)>.
3. ARENDT, F. et al. *Contaminated Soil '93: Fourth International KFK/TNO Conference on Contaminated Soil ' 3-7 May 1993, Berlin, Germany 3-7 May 1993, Berlin, Germany*. . [s.l.]: Springer Science & Business Media, 1993. 1102 p. ISBN 9780792323266.
4. BENCKO, V. et al. *Toxické kovy v pracovním a životním prostředí člověka*. . [s.l.]: Avicenum, 1984. 263 p.
5. BENNETT, R.S. et al. Dietary Toxicity and Tissue Accumulation of Methylmercury in American Kestrels. In *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* . 2008. Vol. 56, no. 1, p. 149–156. [žiūrėta 2015-04-12].
6. CIBULKA, J. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře ; Překl. Jiří Cibulka*. . [s.l.]: Academia, 1991. 427 p. ISBN 9788020004017.
7. COTTON - WILKINSON *Anorganická chemie* [interaktyvus].
8. DAVÍDEK A KOL., J. *Chemie potravin: učebnice pro vys. školy chemickotechnologické*. . [s.l.]: SNTL, 1983. 629 p.
9. FRIBERG, L. *Inorganic Mercury*. . [s.l.]: World Health Organization, 1991. 180 p. ISBN 9789241571180.
10. GREENWOOD, N.N. - EARNSHAW, A. *Chemie prvků: Svazek II*. . [s.l.]: Informatorium, 1993. 842 p. ISBN 9788085427387.
11. HARRISON, R.M. *Pollution: Causes, Effects and Control*. . [s.l.]: Royal Society of Chemistry, 2001. 608 p. ISBN 9780854046218.
12. HESLOP, R.B. - JONES, K. *Anorganická chemie: Průvodce pro pokročilé studium*. . [s.l.]: SNTL, 1982. 836 p.

13. HOPKINS, W.A. et al. Mercury Concentrations in Tissues of Osprey From the Carolinas, USA. In *Journal of Wildlife Management* . 2007. Vol. 71, no. 6, p. 1819–1829. [žiūrėta 2015-04-13].
14. JAFARI, S.A. et al. Employing Response Surface Methodology for Optimization of Mercury Bioremediation by *Vibrio parahaemolyticus* PG02 in Coastal Sediments of Bushehr, Iran. In *Clean-Soil Air Water* . 2015. Vol. 43, no. 1, p. 118–126.
15. KALAČ, P. - SVOBODA, L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. In *Food Chemistry* . 2000. Vol. 69, no. 3, p. 273–281.
16. KHAN, M.A.K. - WANG, F. Mercury-Selenium Compounds and Their Toxicological Significance: Toward a Molecular Understanding of the Mercury-Selenium Antagonism. In *Environmental Toxicology and Chemistry* . 2009. Vol. 28, no. 8, p. 1567–77. [žiūrėta 2015-03-29].
17. KRUŽIKOVÁ, K. - SVOBODOVÁ, Z. Assessment of mercury contamination in the Bilina River (Czech Republic) using indicator fish. In *Acta Veterinaria Brno*. 2012. Vol. 81, no. 1, p. 63–68.
18. LI, B. et al. Variations and constancy of mercury and methylmercury accumulation in rice grown at contaminated paddy field sites in three Provinces of China. In *Environmental Pollution* . 2013. Vol. 181, p. 91–97. [žiūrėta 2015-04-16].
19. MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry, Ninth Edition*. . 9 edition. Ed. [s.l.]: CRC Press, 2009. 783 p.
20. MARŠALEK, P. et al. Mercury and methylmercury contamination of fish from the Skalka reservoir: A case study. In *Acta Veterinaria Brno*. 2005. Vol. 74, no. 3, p. 427–434.
21. MARTINS, C. et al. Total mercury in infant food, occurrence and exposure assessment in Portugal. In *Food Additives & Contaminants: Part B*. 2013. Vol. 6, no. 3, p. 151–157. [žiūrėta 2015-04-19].
22. MIRZAEI, N. et al. Antibiotic Resistance Pattern Among Gram Negative Mercury Resistant Bacteria Isolated From Contaminated Environments. In *Jundishapur Journal of Microbiology* [interaktyvus]. 2013. Vol. 6, no. 10. [žiūrėta 2015-04-13]. Prieiga per internetą: <[http://www.jjmicrobiol.com/?page=article&article\\_id=8085](http://www.jjmicrobiol.com/?page=article&article_id=8085)>.
23. ORGANIZATION, W.H. et al. Mercury : environmental aspects. In [interaktyvus]. 1989. [žiūrėta 2015-04-12]. Prieiga per internetą: <<http://apps.who.int/iris/handle/10665/40021>>.

24. PENK A KOL. *Zdravotní nezávadnost potravin*. . [s.l.]: Brázda, 1991. 143 p. ISBN 9788085368154.
25. ROTHENBERG, S.E. et al. Prenatal methylmercury exposure through maternal rice ingestion: Insights from a feasibility pilot in Guizhou Province, China. In *Environmental Pollution* . 2013. Vol. 180, p. 291–298.
26. ROTHENBERG, S.E. et al. Retrospective study of methylmercury and other metal(loid)s in Madagascar unpolished rice (*Oryza sativa* L.). In *Environmental Pollution* . 2015. Vol. 196, p. 125–133. [žiūrėta 2015-04-16].
27. SALLSTEN, G. et al. Long-term use of nicotine chewing gum and mercury exposure from dental amalgam fillings. In *Journal of Dental Research* . 1996. Vol. 75, no. 1, p. 594–598.
28. SILVA, L. E et al. Heavy metal tolerance (Cr, Ag and Hg) in bacteria isolated from sewage. In *Brazilian Journal of Microbiology* . 2012. Vol. 43, no. 4, p. 1620–1631. [žiūrėta 2015-04-15].
29. TAN, K.H. *Environmental Soil Science*. . [s.l.]: CRC Press 545 p. ISBN 9781439895016.
30. VELÍŠEK, J. *Chemie potravin: 2*. . [s.l.]: OSSIS 303 p. ISBN 9788086659015.
31. VELÍŠEK, J. *Vodní toxikologie pro rybáře*. Vyd. 1. Ed. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 9788087437896 8087437896.
32. KAFKA, Z., PUNČOCHÁŘOVÁ, J. *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita*. Chemické listy 96, 2002, s. 616