



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

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

**Stanovení obsahu rtuti ve vybraných vzorcích  
významných pro zdravotní stav obyvatelstva**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Studijní program:  
**ZDRAVOTNÍ LABORANT**

**Autor:** Romana Velíšková

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Miroslav Šíp, DrSc.

České Budějovice 2017

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „*Stanovení obsahu rtuti ve vybraných vzorcích významných pro zdravotní stav obyvatelstva*“ 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 26. 4. 2017

.....

(jméno a příjmení)

## **Poděkování**

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu práce doc. RNDr. Miroslavu Šípovi DrSc. za cenné rady a věnovaný čas při tvorbě této bakalářské práce. Ráda bych také poděkovala konzultantovi Ing. Petrovi Vodrážkovi za aktivní přístup a cenné rady. A v neposlední řadě bych ráda poděkovala paní Ing. Libuši Pražákové vedoucí laboratoře analytické chemie, za to, že mi umožnila pracovat na mé bakalářské práci a vytvoření dobrých pracovních podmínek v této laboratoři.

## **Stanovení obsahu rtuti ve vybraných vzorcích významných pro zdravotní stav obyvatelstva**

### **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením obsahu rtuti ve vybraných vzorcích významných pro zdravotní stav obyvatelstva. Rtuť a její sloučeniny patří k nejtoxičtějším složkám kolem nás. Vyskytuje se v půdě, ovzduší, ale také v potravě. Její toxicita se odvíjí od toho, v jaké formě se vyskytuje. Teoretická část práce se proto zabývá obecnými informacemi o rtuti dále jejími chemickými formami a jejich výskytem v životním prostředí. Koloběhem rtuti různými systémy v přírodě, ale i v průmyslu. Jsou zde popsány účinky a vliv na zdraví člověka. Cílem práce bylo stanovení obsahu rtuti a vyhodnocení míry kontaminace vybraných vzorků touto látkou. V praktické části bylo vybráno a stanoveno 14 vzorků různých materiálů. Vzorky zastupující potravinový řetězec a to vzorky rybího masa a výrobků z ryb. Dále jako zástupce životního prostředí kolem nás byly vybrány vzorky půdy z okolí vlakového nádraží, teplárny a krematoria. A vzorky paliva a ekopaliva. Jako zástupce farmaceutického a medicínského průmyslu byly vybrány amalgámové plomby, jejichž používání je stále diskutovaným tématem. Analýza byla provedena pomocí jednoúčelového absorpčního spektrometru AMA 254. Byl popsán způsob odběru, zpracování a uchování vzorku. Princip metody a popis přímého stanovení rtuti a provedení analýzy, uvádí opět praktická část této bakalářské práce. Výsledky byly statisticky zpracovány, zapsány a vyhodnoceny dle platné legislativy.

### **Klíčová slova:**

Rtuť; sloučeniny rtuti; životní prostředí; půda; potraviny; palivo; amalgám; absorpční spektrometr;

# **Determination of mercury content in selected samples important for health condition of population**

## **Abstract**

The subject of this bachelor work is the determination of content of mercury in selected samples, which are important for population's health. Mercury and its compounds are among the most toxic materials in our environment. They occur in soil, air and also in food. Their toxicity depends on the form they are found in. Theoretical part of this work deals with basic information about mercury and its presence in the environment and also in different natural cycles and in industry and its effects on human health. The aim of this work is to assess the level of mercury contamination in selected samples. In the practical section of this work 14 samples of different materials are chosen and evaluated. The samples were taken from fish and related fish food products. Another samples are from soil around the train station, heat plant and crematory. Remaining set of samples are from various kinds of fuel and ecofuel and the last sample is from represented by the controversial dental amalgam. The analysis was performed by specialized absorption spectrometer AMA 254. Description of the samples extraction, elaboration and samples preservation are also added. The practical section of this work also includes analysis, principles of methods used and description of process of the mercury content. The results were statistically processed, noted and evaluated according to the currently valid legislation.

## **Key words:**

Mercury; compounds of mercury; environment; soil; food; fuel; amalgam; absorption spectrometer;

## Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Teoretická část .....	10
2.1.	Základní charakteristika rtuti .....	10
2.1.1.	Chemické formy .....	10
2.2.	Historie využívání rtuti .....	11
2.3.	Rtuť v životním prostředí.....	11
2.3.1.	Zdroje rtuti .....	11
2.3.1.1.	Přírodní zdroje .....	11
2.3.1.2	Antropogenní zdroje .....	12
2.3.2.	Geochemický cyklus rtuti.....	14
2.3.2.1.	Rtuť v atmosféře.....	14
2.3.2.2	Rtuť v půdě .....	14
2.3.2.3	Rtuť ve vodě .....	15
2.3.3.	Biologický cyklus rtuti .....	15
2.4.	Účinky rtuti na zdraví člověka. ....	17
2.4.1.	Toxicita.....	17
2.4.1.1.	Toxikologie anorganických sloučenin rtuti .....	18
2.4.1.2.	Toxikologie organických sloučenin rtuti.....	18
2.4.2.	Účinky na zdraví člověka .....	18
2.4.3.	Hromadné otravy rtutí v historii .....	19
2.5.	Rtuť v materiálech významných pro člověka. ....	20
2.5.1.	Rtuť v chemickém průmyslu .....	20
2.5.2.	Rtuť v elektronických přístrojích .....	20
2.5.3.	Rtuť v odpadu .....	21
2.5.4.	Rtuť v palivech .....	21
2.5.5.	Rtuť ve zdravotnictví.....	22
2.5.6.	Rtuť v potravinách.....	23
2.6.	Legislativa .....	24
2.7.	Obsah rtuti v krvi a v moči dětí a dospělých.....	27
2.8.	Vědecké stanovisko o riziku a ochraně veřejného zdraví v souvislosti se rtutí a methylrtutí v potravinách .....	30
2.9.	Vědecké stanovisko SCENIHR bezpečnosti zubního amalgámu a alternativních materiálů pro pacienty a uživatele.....	31
2.10.	Metody stanovení rtuti .....	32
2.10.1.	Principy jednotlivých metod.....	33
2.10.1.1.	Atomová absorpční spektrometrie (AAS).....	33
2.10.1.2.	Atomová fluorescenční spektrometrie (AFS).....	34
2.10.1.3.	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) .....	34
2.10.1.4.	AMA 254 Advanced Mercury Analyzer .....	34
3.	Praktická část .....	36
3.1.	Analyzovaný materiál .....	36
3.1.1.	Vzorky ryb a rybích produktů .....	36
3.1.2.	Vzorky půd .....	39
3.1.3.	Vzorky zubních amalgámů.....	41
3.1.4.	Vzorky paliva .....	42
3.2.	Přístroje a zařízení.....	43
3.3.	Chemikálie a pomůcky.....	43
3.4.	Software .....	44

3.5.	Příprava standardů pro analýzu a kalibraci přístroje.....	44
3.6.	Příprava simulantu slin.....	44
3.7.	Příprava vzorků .....	44
3.7.1.	Zpracování ryb a rybích produktů .....	44
3.7.2.	Zpracování půd .....	45
3.7.3.	Zpracování zubních amalgámů.....	45
3.7.4.	Zpracování paliva .....	45
3.8.	Stanovení celkového obsahu rtuti pomocí AMA 254 .....	45
3.8.1.	Pracovní postup stanovení rtuti .....	45
3.9.	Výsledky a diskuze .....	47
3.9.1.	Stanovení rtuti v rybách.....	47
3.10.	Stanovení rtuti v půdním sedimentu .....	48
3.10.1.	Uvolňování rtuti ze zubních výplní .....	50
3.10.2.	Obsah rtuti v palivech.....	51
4.	Závěr .....	53
5.	Seznam literatury .....	55
6.	Přílohy.....	61

## 1. Úvod

Rtuť kolem nás je a byla již od nepaměti. Zdroje rtuti můžeme rozdělit na přírodní a antropogenní. Mezi přírodní zdroje patří například vulkanická činnost a eroze. Rtuť v přírodě podléhá transportním procesům a to je například hydrologický cyklus vody, příjem rostlinami a živočichy. A tím se toxická rtuť může dostávat do potravinového řetězce.

Mezi antropogenní zdroje rtuti patří průmysl. A to zejména chemický, výroba různých chemikálií, pesticidů, rtuťových výbojek a jiných výrobků. Hojně je využívána i v lékařství a to ve formě zubních amalgámů, teploměrů a tlakoměrů. Patří sem těžba a zpracování rud a jiných surovin spojených se rtutí. Mezi důležité zdroje patří spalování fosilních paliv. Rtuť se dostává do odpadních vod právě těžbou a odpady z chemického průmyslu. Tento kov je prostoupen celým spektrem výrobků kolem nás a nechává po sobě řadu stop kontaminace. Rtuť má velký vliv na zdraví člověka. Je tedy nutné regulovat používání rtuti a to v celosvětovém měřítku.

Rtuť patří mezi prvky, které jsou jedny z nejtoxičtějších. Nejnebezpečnější forma rtuti je organická forma methylrtuť. Ta narušuje a inhibuje funkci enzymů. Proniká přes biologické membrány a poškozuje krevní buňky hlavně erytrocyty. Při vysoké koncentraci v organismu dochází k neurologickým potížím. Pro její schopnost akumulace v mase a tuku je pro nás důležité kontrolovat to, co jíme.

Zvláště nebezpečná je pro malé děti a těhotné ženy. Může se dostat placentou k plodu a tím narušit jeho správný vývoj. A u malých dětí dochází ke ztrátám zraku, sluchu, čichu a může docházet k nervovým poruchám.

V dnešní době se lidé více vrací ke zdravému způsobu života. Dochází ke konzumaci ryb a rybích produktů. A to proto, že rybí maso obsahuje životu prospěšné omega 3 polynenasycené mastné kyseliny. Proto je nutná kontrola rtuti v těchto potravinách a to z výše uvedeného důvodu, kterým je schopnost rtuti kumulovat se v mase a tuku ryb. Jedním z velkých témat je ekologie i přes velké snahy omezit užívání fosilních paliv jsou stále hojně používány. Těžba rud je stále největším kontaminantem rtuti u nás. Rtuť se akumuluje v půdě, ekosystémech jako jsou lesy a tím pak dochází ke kontaminaci vodních sedimentů, a jak bylo zmíněno tak poté ryb či přímo člověka.



V zájmu snížení rizika pro lidské zdraví, probíhají dnes již biologické monitoriny rtuti v lidské populaci. Je velká snaha omezit používání rtuti a to nejen v České republice, ale celosvětově.

Cílem této práce je zjistit míru kontaminace rtutí ve vzorcích zastupujících širokou škálu materiálů. Vyhodnotit získané výsledky a porovnat je s dostupnými legislativami.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Základní charakteristika rtuti

Rtuť (Hg) je stříbrobílý lesklý kov s Latinským názvem *Hydrargyrum*. Tento název byl odvozen z řeckého slova *hydros* voda a *argyros* stříbro. V periodické tabulce prvků se nachází v II. B skupině a šesté periodě. Má protonové číslo 80 a relativní atomovou hmotnost 200,59. Řadí se mezi přechodné kovy. Ve své původní podobě za laboratorních podmínek se jako jediný kov vyskytuje v kapalně podobě. Ve vodě je rtuť téměř nerozpustná. Má nízký bod tání (-39°C) a vysoký bod varu (356,7°C) také velkou tenzi par. Rtuť je dobrým elektrickým vodičem a slévá se s různými kovy za vzniku amalgámů. Ty se nacházejí v pevné nebo kapalně formě podle hmotnostního zastoupení druhého kovu (IOMC, UNEP chemicals., 2008).

#### 2.1.1. Chemické formy

Existuje sedm stabilních izotopů Hg a čtyři nestabilní. Rtuť se obvykle vyskytuje ve třech oxidačních stavech a to 0, +1 a +2. A to stav +1 se vyskytuje méně často (Navrátil, T., Rohovec, J., 2014). Rtuť a sloučeniny rtuti jsou označovány jako vysoce toxické a nebezpečné pro člověka.

Mezi nejdůležitější chemické formy rtuti patří elementární (kovová) rtuť, rtuťnaté ( $\text{Hg}^{2+}$ ), rtuťné ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ) anorganické formy rtuti a organokovové sloučeniny rtuti. Nejběžnější sloučeniny jednomocné rtuti jsou halogenidy. Dále je to dvojmocná rtuť, která vytváří mnohem více sloučenin než jednomocná rtuť. Patří sem oxidy, sulfidy, halogenidy, soli silných oxokyselin (dusičnany, chloristany, sírany). Mezi anorganické formy rtuti patří oxid rtuťnatý ( $\text{HgO}$ ), sulfid rtuťnatý ( $\text{HgS}$ ) a chlorid rtuťnatý ( $\text{HgCl}_2$ ). Většinou jsou to soli a tvoří krystalické prášky bílé barvy, kromě  $\text{HgS}$ , ten je červený a na světle černá. Také Kalomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) je poměrně málo rozpustný ve vodě a proto je méně toxický. Další anorganické formy rtuti jsou komplexní sloučeniny hydroxo a chlorokomplexy. Ty se mohou vyskytovat ve vodních ekosystémech (IOMC, UNEP chemicals 2008).

Organokovové sloučeniny obsahují jeden nebo dva uhlovodíkové zbytky navázané na atom kovu. Tyto sloučeniny rtuti jsou často vytvářeny v životním prostředí z anorganických forem rtuti mechanismem neenzymatického přenosu methylové skupiny methylobalaminu ( $\text{CH}_3\text{B}_{12}$ ) na  $\text{Hg}^{2+}$ . (Houserová et. al., 2006).

Anorganické formy rtuti mohou být v přírodě přeměněny na jinou formu rtuti a to na velmi toxickou methylrtuť. Jedná se o methylrtuťnatý kationt ( $\text{MeHg}^+$ ). V životním prostředí tvoří nejzávažnější riziko. (Houserová et.al.,2006).

## **2.2. Historie využívání rtuti**

Rtuť je známá již tisíciletí. Ve starověku ji používali Řekové, Egypťané, Římané, ale také Féničané nebo Kartaginci. Je známo, že rtuť v podobě rumělky znali již 2000 let př. n. l. Číňané. Ve starém Řecku byla rtuť podle učenců považována za podstatu všech kovů. Ve středověku alchymisté rtuť hojně využívali a věděli, že rozpouští zlato na kapalný amalgám. V arabském světě byla známá jo léčebný přípravek, například rtuťová (šedá) mast. Je také známo, že se využívala k léčbě pohlavní nemoci syfilis (Návrátil T., Rohovec J., 2014).

## **2.3. Rtuť v životním prostředí**

### **2.3.1. Zdroje rtuti**

Rtuť (Hg) je kov, který je přirozenou součástí zemské kůry, odkud se přirozeně uvolňuje do životního prostředí. Do tohoto přirozeného koloběhu zasáhla i lidská činnost, kterou pokládáme za zdroj antropogenní.

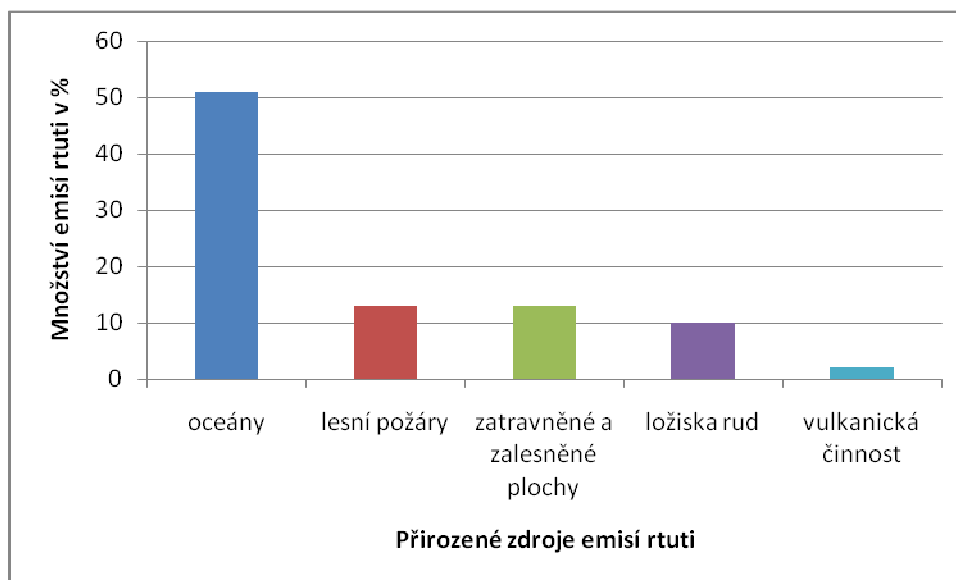
#### **2.3.1.1. Přírodní zdroje**

Po uvolnění do životního prostředí podstupuje rtuť složité transformace a přechody mezi atmosférou, půdou a vodními systémy. Lidé, zvířata i rostliny mohou být vystaveny účinkům rtuti ve všech částech tohoto biogeochemického cyklu, což může vést k různým zdravotním dopadům (EFSA journal., 2008).

Mezi hlavní přirozené emise rtuti patří emise z oceánů, hoření biomasy, emise z nezalesněných ploch, emise ze zatravněných ploch z lesních ekosystémů a jezer, zemědělské plochy a geotermální a vulkanické emise (Pirrone et.al., 2010).

Zdrojem emisí rtuti je také mořský aerosol a právě rtuť obsažená v oceánech a mořských a jezerních sedimentech je schopna prostupovat do ovzduší přes velkou vzdálenost. Z vodních zdrojů je schopna se v sedimentech a živých organismech dobře bioakumulovat (Selin,N.E., 2009).

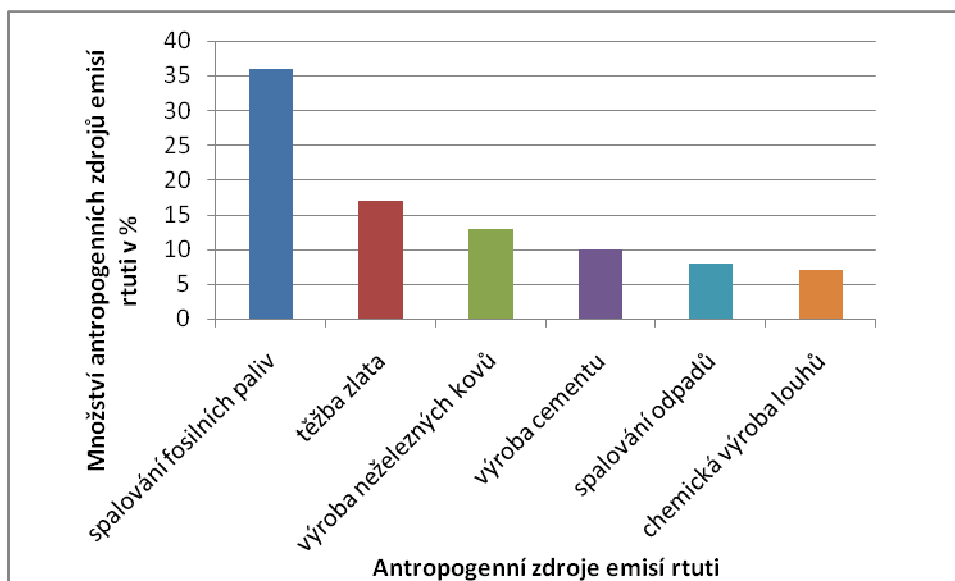
Podle současných informací dosahují přirozené globální zdroje emisí rtuti do atmosféry přibližně 5200 tun za rok. V největší míře jsou to oceány z 51 %, lesní požáry 13 % a stejně tak zatravněné a zalesněné území 13 %, emise z ložisek rud 10 % a vulkanická činnost 2 % (Návrátil T., Rohovec J., 2014).



Obr.1 Pět nejvýznamějších přírodních zdrojů emisí rtuti (Návrátil T., Rohovec J., 2014).

### 2.3.1.2 Antropogenní zdroje

V důsledku lidského přičinění se rtuť uvolňuje především spalováním fosilních paliv, uhlí a ropy, 35 %, těžbou zlata 17 % a zpracováním neželezných kovů 13 %. Dále je to produkce cementu, louhu, nakládání s odpady, výroba surové oceli a vlastní nakládání se rtutí. Tyto produkce se pohybují v rozmezí 2 až 10 %. Můžeme sem zahrnout i požáry uhelných slojí 1 % (Návrátil T., Rohovec J., 2014). Nynější celkové antropogenní emise jsou přibližně 2000 tun/rok (UNEP, 2008).



Obr. 2 Šest nejvýznamnějších antropogenních zdrojů rtuti v % (Návrátil T., Rohovec J., 2014).

Co se týče chemického průmyslu a zdravotnictví, je rtuť stále používaná ve velké míře. Již nějakou dobu se ale různé světové organizace, především WHO (World health organization), snaží používání omezit či nahradit. Evropská komise v roce 2005 zahájila Strategii pro emise rtuti. Jedná se o komplexní plán, který zahrnuje 20 opatření pro snížení emisí rtuti. Jedná se o snížení poptávky a nabídky rtuti a ochrana před její expozicí. V roce 2010 evropská komise přezkoumala tuto strategii a došla k závěru, že vše je v pokročilém stádiu pro snížení emisí rtuti (EFSA journal., 2012).

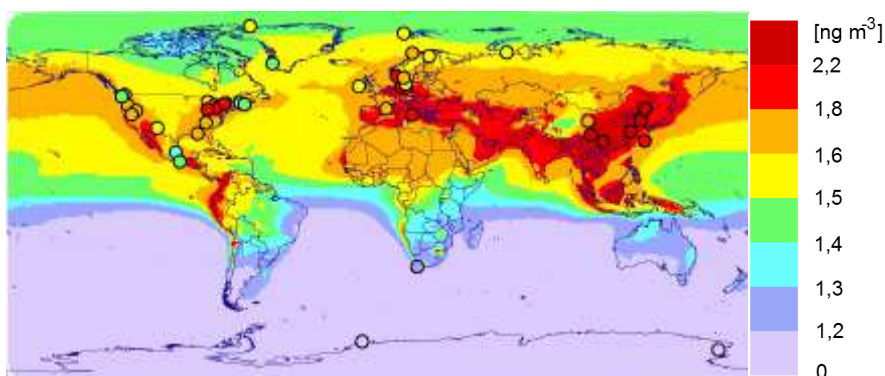
Rtuť je obsažena v mnoha průmyslových výrobcích, které jsou po skončení životnosti ukládány jako odpad na skládky, a tím může rtuť přecházet do půdy a vody. Mezi největší znečišťovatele se řadí Asijské státy a to přibližně 1200 t/rok. Evropa a Severní Amerika se řadí na stejnou úroveň s 200 t/rok. Jsou to právě emise z uhelných elektráren. Řadí se sem i Africké státy a Jižní Amerika se 100 až 200 t/rok, ale zde převládá domorodá produkce zlata a kovů (Pacyna et.al., 2010). I v České republice jsou zdroje emisí rtuti nezanedbatelné. Podle studií a údajů EMEP (Evropský monitorovací a hodnotící program) z roku 2012 se snížily na 3,3 tuny oproti roku 1990, kdy to bylo 7,5 tuny. Nejvýznamnějšími zdroji jsou spalovací procesy pro vytápění a elektrickou energii, dále spalovací procesy v průmyslových zařízeních a spalování odpadu (Návrátil T., Rohovec J., 2014).

### 2.3.2. Geochemický cyklus rtuti

Geochemický cyklus rtuti v atmosféře je neustálý a rtuť je zde přenášena na velké vzdálenosti po celé zeměkouli. Do atmosféry vstupuje rtuť ve formě par. Celkové množství je odhadováno na  $38 \cdot 10^9$  g ročně. Během těžby a zpracování vytěká přibližně 1/3 roční světové produkce rtuti do vzduchu (Cibulka, J., 1991).

#### 2.3.2.1. Rtuť v atmosféře

Rtuť se vyskytuje v atmosféře v několika formách. Nejvíce zastoupená je elementární rtuť. Z celkové koncentrace je to přibližně 90 %. Rtuť se v atmosféře po jisté době usazuje, mluvíme tak o depozici rtuti. Deponuje mokrou nebo suchou cestou a to buď do půdy či vody (Štefanidesová, V., Trefilová, T., 2003). Plynná reaktivní forma jako je např.  $\text{HgCl}_2$  (g), tvoří 3 % celkové plynné rtuti v atmosféře. Rtuť, která je vázaná na částice aerosolu, je v atmosféře nejméně zastoupena, protože sedimentuje a s pevnými částicemi opouští atmosféru (Navrátil, T., Rohovec, J., 2014).



Obr. 3 Koncentrace  $\text{Hg}^0$  v atmosféře (indikující ložiska rtuti) 2005 model GLEMOS (msceast.org).

Z atmosféry se plynná rtuť zachycuje například na listech a jehlicích stromů, ty jsou přirozeným způsobem deponovány na půdní povrch, po sléze i do půdy samotné. (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

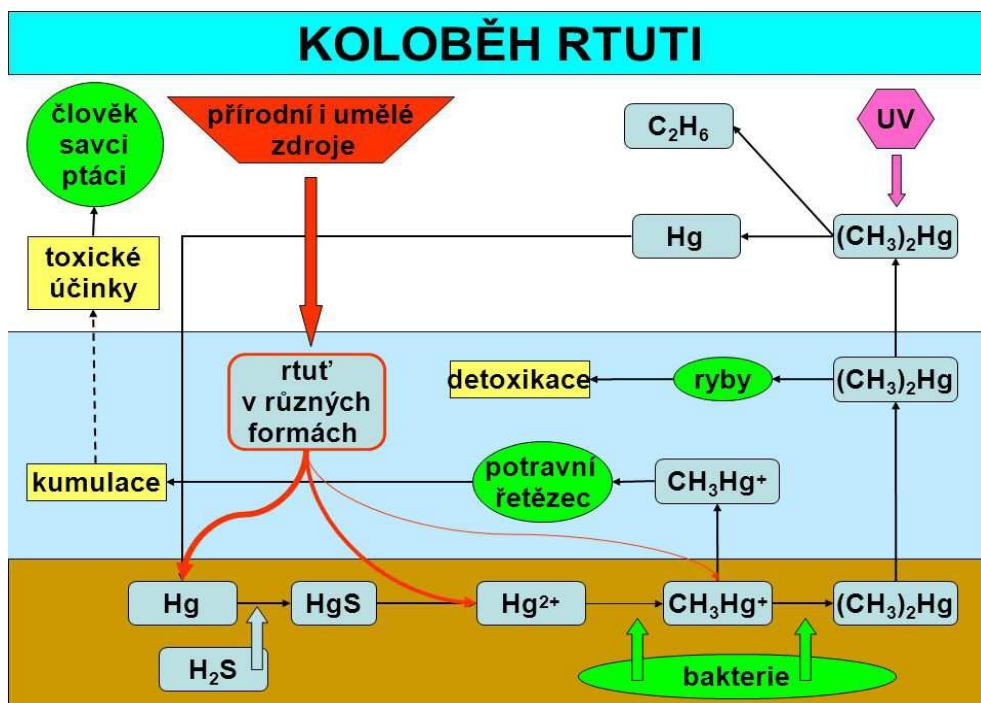
#### 2.3.2.2 Rtuť v půdě

Rtuť se dobře váže na organické látky, které jsou obsažené nejen v půdním humusu, ale i ve svrchních horizontech lesních půd. Rtuť spolu s huminovými sloučeninami vytváří stabilní komplexy, které ji udržují v půdě. V místech, kde může být vyšší obsah rtuti, může být nalezena i v plodnicích hub, protože houby ji mohou dobře akumulovat. V půdách zemědělsky obdělávaných se rtuť vyskytuje minimálně, z důvodu každoročního obhospodařování orbou. Při tomto procesu je půda provzdušňována a

organická hmota se oxidativně rozpadá. (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014). Půda a její chemické vlastnosti určují tvorbu organických a anorganických sloučenin, které posléze tvoří komplexy s anorganickými ionty a to nadále řídí i mobilitu rtuti v půdě (Selin 2009).

### 2.3.2.3 Rtuť ve vodě

Rtuť se díky koloběhu vody dostává z půdy do vodního ekosystému. Ve vodním prostředí se velmi dobře váže na organickou hmotu. Ve sladké povrchové vodě se vyskytuje výhradně vázaná na rozpuštěné, koloidně rozptýlené organické látky. Ve vodě mořské se vykytuje ve formě chlorokomplexů, a to díky přítomnosti velkého množství chloridů (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

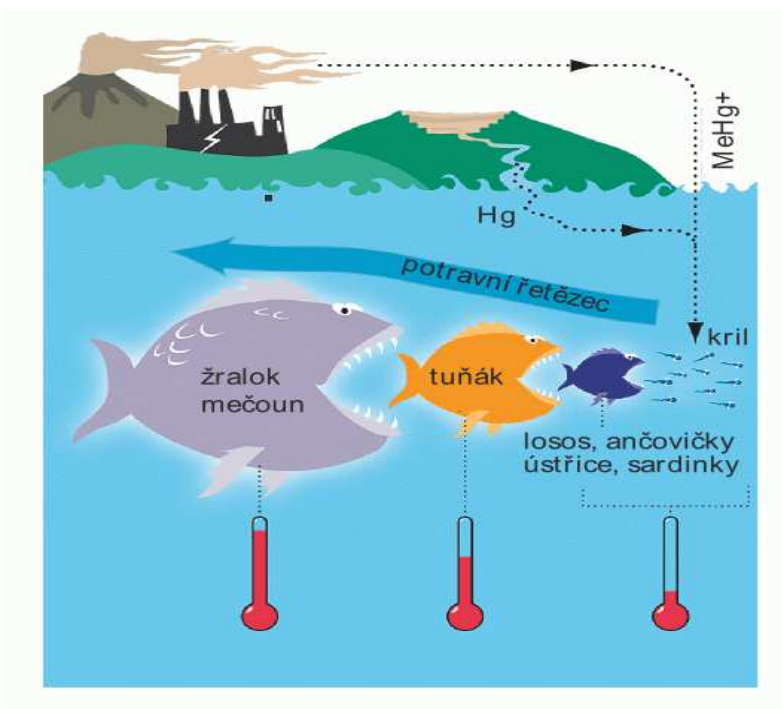


Obr. 4. Cyklus přeměny rtuti mezi atmosférou, půdou (sedimentem) a vodou. Převzato z prezentace RNDr. Petr Anděl CSc. Ekotoxikologie terestrického ekosystému

### 2.3.3. Biologický cyklus rtuti

Ve vodním prostředí, jako jsou moře, jezera nebo řeky, je rtuť vázaná na koloidní suspendované částice a postupně sedimentuje s těmito mikročástičkami na dno. Zde dochází s působením redukčních bakterií a bez přístupu kyslíku k zavedení methylové skupiny na rtuť. Vzniká methylrtuťnatý kationt CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>, procesem nazvaným metylace (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

Přímá metylační reakce může probíhat za aerobních i anaerobních podmínek a je řízena aktivitou mikroorganismů. Důležité pro tuto reakci jsou také fyzikálně- chemické vlastnosti vodního ekosystému (Houserová, P. et.al. 2006).

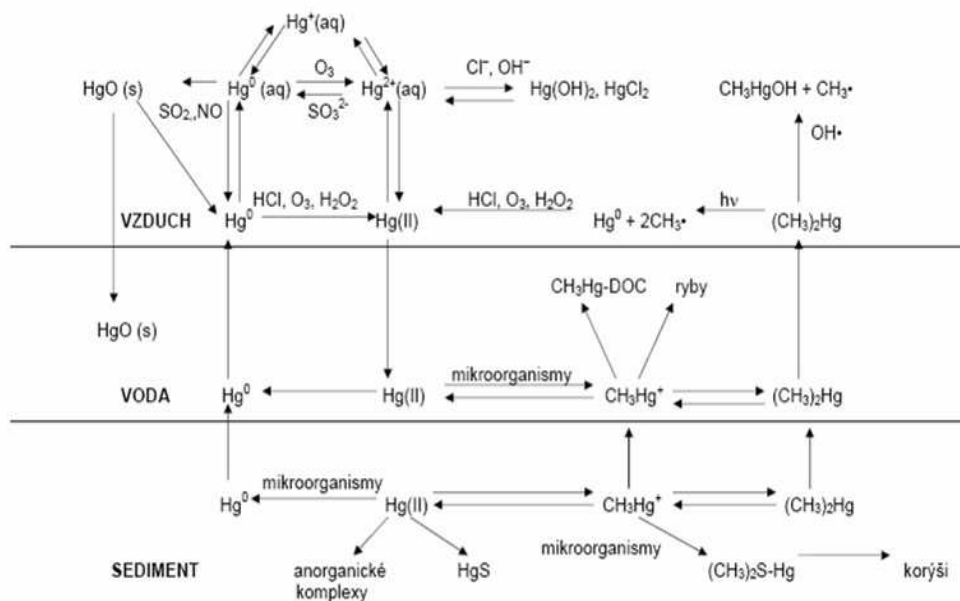


Obr. 5. Schéma cesty rtuti od emisních zdrojů do vodního prostředí (Navrátil T., Rohovec J., 2014).

Na obrázku č. 5 je popsána cesta rtuti od zdrojů, kterými jsou (sopka, elektrárna spalující uhlí) do vodního ekosystému. Velká část rtuti se váže na mikroorganismy nebo částičky organické hmoty, kterými se dále živí větší ryby. Ty jsou pak potravou pro predátory jako žralok, mečoun atd. Proces hromadění a koncentrace rtuti v těle ryb se nazývá bioakumulace, tedy shromažďování škodlivin v živém organismu. V tomto řetězci dochází k tzv. biomagnifikaci, která označuje násobné zvětšení koncentrace škodlivých látek v živých organismech po průchodu potravním řetězcem. Teploměr na obrázku znázorňuje zvyšování koncentrace rtuti potravním řetězcem v důsledku bioakumulace (Navrátil, T., Rohovec, J., 2014).

Největší zastoupení rtuti ve vodních ekosystémech má právě methylrtuť. V tkáních ryb tvoří methylrtuť až 95% celkového obsahu (Gothberg, A. Greger, M., 2006).





Obr. 6. Přeměna sloučenin rtuti v jednotlivých složkách prostředí (Houserová, P. et.al. 2006).

aq=kapalná fáze, DOC= rozpuštěné organické látky, s= pevná fáze

## 2.4. Účinky rtuti na zdraví člověka.

Rtuť patří k nejděle známým toxickým kovům. Pro člověka je toxická ve všech jejích formách, ale toxicitější jsou organické sloučeniny rtuti než anorganické.

### 2.4.1. Toxicita

Rtuť je přítomna ve všech složkách životního prostředí, proto je riziko kontaminace rtuťí vysoké. Toxicita jednotlivých chemických forem je dána jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Zejména závisí na způsobu intoxikace, na době expozice a jejím množství. K poškození organismu může dojít expozicí malými dávkami, ale po dlouhou dobu, jako jsou měsíce a roky. Tento proces se nazývá chronická intoxikace rtuťí. Pokud dojde k masivní expozici, to znamená k bezprostřední otravě, jedná se o akutní intoxikaci rtuťí (Tichý, M., 2003). Rtuť má neurologické, imunologické, reprodukční, vývojové a karcinogenní účinky. To vše může vést až k smrti (Bardoděj, Z., 1999).

#### ***2.4.1.1. Toxikologie anorganických sloučenin rtuti***

Anorganické sloučeniny a elementární rtuť jsou méně toxické než organické formy. I přesto k otravám těmito sloučeninami může dojít, především v provozech chemického průmyslu a v laboratořích. Sloučeniny jednomocné rtuti jsou méně toxické než sloučeniny dvojmocné rtuti a to proto, že jsou méně rozpustné ve vodě a v kyselém prostředí. Elementární rtuť ( $\text{Hg}^0$ ) je nebezpečná zejména ve formě par. Tyto páry se velmi dobře vstřebávají kůží, ale i plícemi. Skrze plíce se velmi snadno dostává přes hematoencefalitickou bariéru do mozku (Kafka, Z., Punčochářová, J., 2002).

Nejčastějším vstupem rtuti do organismu jsou cesty inhalační, dermální a orální. Svou vazbou na thiolové skupiny bílkovin ovlivňuje funkci enzymů. Váže se na sérový albumin a hemoglobin čímž poškozuje krevní buňky. Svou vazbou na buněčné membrány inhibuje aktivní transport živin a to zejména cukrů (Houserová, P., et.al.,2006).

#### ***2.4.1.2. Toxikologie organických sloučenin rtuti***

Organické sloučeniny rtuti jsou rozpustné ve vodě a velmi dobře v tucích. Patří sem methylртуť a také například ethylртуť. Trávicím traktem jsou snadno vstřebány, ale z těla jsou vylučovány pomaleji než jiné formy rtuti.

Toxicita těchto sloučenin spočívá zejména ve schopnosti prostupovat zkrze hematoencefalitickou bariéru mezi krví a mozkiem a hlavně přes placentu, proto jsou velmi nebezpečné pro těhotné ženy (Kafka, Z., Punčochářová, J., 2002).

#### ***2.4.2. Účinky na zdraví člověka***

Podle chemické formy, v jaké se rtuť vyskytuje, se odvíjí její toxicita. Nebezpečná ve formě par je zejména elementární rtuť. Další formou a tou nejtoxičtější je methylртуť. Ta se do organismu dostává převážně potravou a je absorbována trávicím traktem. Methylртуť poškozuje nervovou soustavu, ovlivňuje schopnost koordinace, hmat, chuť a zrak (Houserová, P., et.al.,2006).

Rtuť patří mezi kumulativní jedy a z organismu se vylučuje velmi pomalu. Usazuje se a koncentruje v ledvinách a méně v játrech a slezině. Právě při chronické otravě jsou nejvíce ohroženy ledviny, kde může setrvat i desítky let. Při chronických otravách mohou být nespecifické příznaky, jako je vypadávání vlasů, nechutenství a jiné zažívací potíže, dále neurologické a psychické potíže. Toto vše může vést až k závažnému

poškození ledvin, revmatickým chorobám a chudokrevnosti. Při akutní expozici dochází k bolestem břicha, zvracení a průjmů. Při akutních otravách organickými sloučeninami rtuti dochází k poruchám řeči, sluchu, vidění a chůze. A celkově to vede k poškození mozku a nervové soustavy (Irz., 2012).

Nejčastěji se rtuť do těla dostává potravou a to zejména rybími produkty. Rizikové mohou být i plodiny pěstované na zemědělské půdě, která mohla být kontaminovaná rtutí z průmyslových zdrojů, nebo nevhodně používanými přípravky na hubení škůdců (Irz., 2012).

Těžké otravy rtutí končí smrtelně. Neexistuje látka, která by v těle rtuť navázala a urychlila tak její odbourávání (Houserová, P., et.al.,2006).

#### **2.4.3. Hromadné otravy rtutí v historii**

Používání rtuti je v minulosti velmi významné. Ve velkém se využívala jako katalyzátor pro výrobu alkalických chloridů. A právě při výrobě, kdy byla rtuť používána jako katalyzátor, se v Japonských rybářských oblastech Minamata a Niigata v šedesátých letech staly tragické události. Bylo odtud hlášeno na tisíc úmrtí spojených s otravou rtutí. Rtuť zde byla vypouštěna i s jiným odpadem přímo do mořského zálivu, kde místní rybáři loví ryby jako obživu. Díky akumulaci rtuti v tělech mořských živočichů se dostávala do těla místních obyvatel (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

Lidé měli vážné zdravotní potíže, jako jsou svalové křeče, ztráty paměti, zraku, sluchu a nervové potíže. U narozených dětí se objevila zvláštní forma rakoviny mozku. Toto akutní onemocnění se od té doby označuje jako „minamatská nemoc“ a dodnes jsou lidé v této oblasti postiženi (Pitter, P., 1999).

Stejná otrava se vyskytla i v prefektuře Niigata na dolním toku řeky Agano. Postižení se projevovalo stejně jako minamatská nemoc. Po těchto událostech se zvýšil zájem o prozkoumání rtuti a jejích sloučenin v celosvětovém měřítku.

Mezi další tragédie spojené se rtutí, patří otrava rtutí v Iraku v padesátých a sedmdesátých letech 20. století. Mezi lid se dostala pšenice, která byla ošetřena fungicidy s obsahem sloučenin rtuti. Tato otrava si vyžádala stovky mrtvých (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

V České Republice se rtuť a její sloučeniny používají také především v chemickém průmyslu. Je to zejména elektrolytická výroba chlóru a alkalických hydroxidů. Jsou to Spolana Neratovice a Spolchemie Ústí nad Labem. Oba tyto podniky produkují značné množství odpadů jak pevných tak kapalných, ale i plyných. V historii byly hlášeny nejvyšší úniky rtuti do prostředí ze společností Spolany a.s. Neratovice ([Arnika.org/mercury](http://Arnika.org/mercury)).

### **2.5. *Rtuť v materiálech významných pro člověka.***

Primární je těžba rtuti (extrahovaná z rud ze zemské kůry). Je produktem hornické činnosti a při těžbě nebo rafinaci jiných kovů jako například zinek, zlato, stříbro. Ruda, ze které se získává rtuť je rumělka (cinabaryt HgS) neboli sulfid rtuťnatý, která má červenou až rudou barvu. Rumělka je od nepaměti využívána právě pro svou červenou barvu. Lidé ji používali v malířství jako červený pigment. A neodmyslitelně patřila díky své barvě k pečatnímu vosku (Navrátil, T. Rohovec, J., 2014).

#### **2.5.1. *Rtuť v chemickém průmyslu***

Důležité je také sekundární využití rtuti, např. v chemickém průmyslu. Zde se uplatňuje hlavně při výrobě alkalických chloridů a chlóru. Právě amalgámová výroba chlóru je velkou zátěží pro životní prostředí. A to znečištěním parami rtuti a možnému úniku rtuti do ovzduší, vody a půdy v okolí výroben. V České republice by měla již být od roku 2016 nahrazena membránovou technologií bez použití rtuti (Prášilová, J., Kameníček, J., 2013).

Ve velké míře se objevovala v pesticidech k moření osiva či hnojivech. Používání rtuti k tomuto účelu je dnes již značně omezeno, přesto není přítomnost rtuti vyloučena u dovážených osiv a hnojiv. Je přítomna i v nejrůznějších nátěrech jako ochranná složka ([edu.nasli.net](http://edu.nasli.net)) a v papírenském průmyslu ve formě biocidů. V minulosti se využívala v pigmentech, barvivech, detergentech a výbušninách.

#### **2.5.2. *Rtuť v elektronických přístrojích***

Rtuť se nalézá také v různých měřících a analytických přístrojích v bateriích, zářivkách a výbojkách. Trojný bod rtuti jako jeden z kalibračních bodů využívá mezinárodní teplotní stupnice ITS90. Kyvety trojného bodu rtuti jako kalibrace Pt teploměrů. Dle směrnice evropského parlamentu a Rady 2007/51/ES je od června 2009 používání rtuťových teploměrů na určování tělesné hmotnosti a jiných měřících přístrojů

obsahující rtuť zakázáno. Byla udělena výjimka v nařízení 847/2012/EU pro využití v polarografii a voltametii jako rtuťové elektrody. Do této skupiny výjimek lze ještě zařadit měřiče krevního tlaku tzv. sfygmomanometry (Arnika.org.), (edu.nasli.net).

### **2.5.3. *Rtuť v odpadu***

Rtuť se ukládá i ve formě komunálního odpadu, protože se používá k výrobě autobaterií, nízkotlakých rtuťových výbojek, elektrických spínačů a relé zařízení, úsporných zářivek (Pacyna et.al.,2002). Průmyslový odpad obsahující rtuť vzniká hlavně z produkce chemických továren. Dále lze zařadit medicínský odpad. Spalováním průmyslového, komunálního a medicínského odpadu je produkováno velké množství emisí rtuti, které se ukládají do půdy, vody, ale jsou obsaženy ve vzduchu (Pirrone, N., et.al.,2010).

### **2.5.4. *Rtuť v palivech***

Spalováním fosilních paliv na výrobu elektrické a tepelné energie je vyprodukováno také velké množství rtuti, které deponuje do půdy a vody. Je to spalování zejména černého a hnědého uhlí a také ropy a uhlovodíků. Spalováním uhlí a ropy jsou odhadovány emise rtuti 810 tun/rok. Spalování odpadu 187 tun/rok (Pirrone, N., et.al.,2010).

Výpočet emisí rtuti ze spalování uhlí je obtížný, díky tomu, že uhlí ze světových ložisek obsahuje různé koncentrace rtuti. Uhlí je po ropě druhým nejpoužívanějším palivem na světě a odhaduje se, že celosvětová spotřeba je 5,3 miliardy tun. Největší producenti a spotřebitelé jsou Čína se spotřebou přibližně 1,5 miliardy t/rok, Indie 0,45 miliardy t/rok, Rusko 0,29 miliardy t/rok a USA 1,07 miliardy t/rok (Enviweb.,2012).

Pro Českou Republiku byly odhady ročních emisí Hg 6-11 tun. Obsah rtuti v palivu se pohybuje v širokém rozmezí, které je dané aktuální těžebnou lokalitou (Ritz, O., et. al.,1996).

V České republice byly v rámci projektu MŽP VaV 520/1/97 obsahy těžkých kovů v palivu měřeny v okolí elektráren a obsah rtuti se pohyboval v rozmezí 0,0053 – 0,76 mg/kg sušiny (MŽP., 1997).

V dnešní době se přiklání k výrobě paliv z přírodních materiálů tzv. biopaliva. Jejich energetická a emisní bilance je mnohem výhodnější než u jiných paliv. A začíná se

v Evropském měřítku investovat do technologií měření a odstranění emisí rtuti. V současné době není nijak regulováno vypouštění emisí rtuti, pouze se monitoruje. EU by do roku 2021 chtěla stanovit limity pro tyto emise.

V českých teplárnách se plánují investice do těchto technologií. Technicky by to vypadalo tak, že by se dávkoval určitý sorbent do spalin, v místech před zařízením pro zachyt tuhých částic ve spalinách (Enviweb., 2012).

#### **2.5.5. *Rtuť ve zdravotnictví***

Rtuť byla zastoupena v různých kosmetických výrobcích (zesvětľující produkty kůže) a v podobě thiomersalu byla obsažena i v řasenkách. V dnešní době je toto použití nelegální.

Rtuť se využívá ve zdravotnictví. Je složkou diuretik, antiseptik a léků v kožním lékařství. Použití rtuti je ve formě thiomersalu ve vakcínách. Thiomersal je organická sloučenina rtuti (thimerosal, merthiolát, ethylmercury-thiosalicylát sodný), derivát ethylrtuti, který se využívá jako konzervační látka do více dávkových balení vakcín (Urban, P., 2006).

Toto používání je velmi diskutovaným tématem. Použití thiomersalu bylo zavedeno ve 30. letech 20. Století. Byl obsažen i ve vakcínách pro děti, kterými se očkovalo v prvním půlroce života. Byly vysloveny obavy, že za poruchami nervového systému u dětí stojí právě thiomersal. Podle American Academy of Pediatrics a US Public Health Service způsobuje očkování vakcínou, kde je jako konzervační činidlo použit thiomersal, zdravotní potíže, jako jsou poruchy vývoje řeči, špatné soustředění, tikové poruchy a zejména autismus. Odhaduje se, že jedna dávka vakcíny obsahuje až 60 $\mu$ g rtuti. A to v očkovacím kalendáři dítěte do půl roka znamená značné překročení tzv. referenční dávky pro methylrtuť, která je podle US EPA 0,1 $\mu$ g/kg a den. Díky tomuto zjištění byly tyto vakcíny staženy z trhu a nahrazeny baleními jednodávkovými (Urban P., 2006).

Mezi nejvýznamnější použití rtuti patří už přes 150 let použití v zubním lékařství. Je obsažena v zubním amalgámu a to v 50 % společně s mědí, cínem a stříbrem. Od prvního použití je původní složení amalgámu značně vylepšeno, ale základní složení je v podstatě stále stejné. Ve stomatologii hraje amalgám významnou roli. Používá se zejména jako výplň zadních zubů (stoliček). Tzv. dózovaný nongamma 2 amalgám je

po kvalitním opracování velmi odolný a trvanlivý, má antibakteriální účinky. V otvoru po vyvrtaném zubním kazu se při tuhnutí mírně rozpíná a tím dobře utěsňuje okraje proti průniku bakterií zubního kazu a nepoškodí vnitřním pnutí zub. Mezi nevýhody zubního amalgámu patří jeho kovový vzhled a schopnost obarvit zub do tmavošeda. Ale především je to jeho bezpečnost. Existují obavy, a to od počátku používání těchto zubních výplní, z toxických účinků rtuti. Hlavní argument proti amalgámům je uvolňovaná rtuť v průběhu expozice. Podle WHO se denní příjem rtuti ze zubních výplní pohybuje mezi 1,2 - 27 $\mu$ g. Z jedné výplně přibližně 0,4 cm<sup>2</sup> se uvolní za den kolem 15  $\mu$ g. Tolerovaný denní příjem podle WHO je 40  $\mu$ g rtuti (Urban P.,2006), (Tuček, M., et. al. 2007).

Je uvedeno, že práce zubního lékaře s touto zubní výplní je nebezpečná, kvůli vdechování par rtuti. A pro člověka, který má amalgámem vyspravený zub se uvolňování rtuti může zvýšit pravidelným čištěním zubů nebo žvýkáním žvýkaček. V současné době existují i jiné druhy výplňových materiálů jsou to kompozitní pryskyřice, skloionomerní cementy, inlay/onlay zhotovené z keramiky (Urban, P., 2006).

Norsko od roku 2008 používání dentálních amalgánů zakázalo, kromě výjimečných případů. V Německu, Dánsku, Švédsku je používání omezeno. Česká stomatologická komora zveřejnila v roce 2008 stanovisko k používání zubního amalgámu a to takové, že největším rizikem pro životní prostředí a zdraví pacienta je výplň z nedózovaného amalgámu, který je hrazený z veřejného pojištění. A to právě zpracování a výměna těchto výplní přímo v ordinaci lékaře. Alternativním řešením je používání nadstandardního, dózovaného, kapslovaného amalgámu, který minimalizuje manipulaci se rtuť a garantuje výrobcem přesně stanovený poměr prášku a kovu pro vznik kvalitní slitiny. Problematika bezpečnosti užívání dentálního amalgámu se řeší i na Evropské úrovni. Ale i přes veškerá podezření, že rtuť uvolňovaná ze zubního amalgámu může mít toxické účinky a vliv na zdraví člověka a uvolňovaná ve formě odpadů ze zubních ordinací a kremací zemřelých může mít vliv na životní prostředí, není a zatím nebude používání zubního amalgámu zakázáno. Jak již bylo řečeno výše používání je pouze omezeno (ČSK, dent.cz., 2008), (Urban, P., 2006).

#### ***2.5.6. Rtut' v potravinách***

V potravinách jsou z hlediska obsahu rtuti rizikové zejména vnitřnosti a to játra a ledviny. Dále jsou to zejména ryby, které jsou kontaminovány rtuť během svého růstu.

Ryby obsahující více methylrtuti jsou většinou dravci, tudíž ryby které jsou větší a žijí déle. Tedy ryby na vrcholu potravního řetězce. Z ryb, které žijí v moři, jsou to především žralok, platýz, mečoun nebo tuňák. Ze sladkovodních ryb se sem řadí štiky a okouni. Dále ji můžeme najít i v zemědělských plodinách, které byly pěstovány na půdě zamořené sloučeninami rtuti z průmyslu nebo nevhodně použitými přípravky k hubení zemědělských škůdců (irz., 2012).

Protože dnešní doba je velmi rychlá a uspěchaná, lidé se nestravují a nepohybují tak jak mají. Stále více lidí se obrací na výživové poradce a specialisty na stravování, kteří do jídelníčku zařazují konzumaci ryb ve velké míře. Ryby jsou bohatým zdrojem bílkovin, minerálních látek, stopových prvků a vitamínů jako jsou A, D, E a některých vitamínů skupiny B. Ryby jsou také významným zdrojem omega 3 mastných kyselin EPA (kyselina eikosapentaenová) a DHA (kyselina dokosahexaenová), které jsou důležité pro vývoj a funkci sítnice, mozku a nervového systému. A zejména pak jsou prevencí před kardiovaskulárními chorobami. Ale bohužel jsou ryby také díky bioakumulaci zdrojem nebezpečné methylrtuti. Podle doporučení ANSES (Francouzský úřad pro potraviny, životní prostředí, ochranu zdraví při práci a bezpečnost) z roku 2010 se doporučuje konzumovat ryby, dospělý a děti nad 10 let dvakrát týdně. A děti od 3 do 10 let nahradit omaga-3 mastné kyseliny z tučných ryb například ančovičkami, parmicemi nebo sardinkami. A to po studiích zda nadměrná konzumace ryb není z hlediska příjmu methylrtuti nebezpečná (EU Food Law., 2010). Je tedy otázkou, zda přínosy konzumace ryb a výrobků z nich převáží nad možnými riziky příjmu nebezpečných sloučenin rtuti.

## **2.6. *Legislativa***

Rtuť je přirozenou součástí životního prostředí kolem nás. Její koloběh přírodou, byl ale zasažen člověkem a to těžbou jí samotné nebo spojené s používáním rtuti v různých průmyslových, zemědělských a zdravotnických odvětvích. V současné době se nesetkáváme s přímou expozicí vysokých koncentrací rtuti, ale velké riziko představují dlouhodobé expozice rtuti nízkých koncentrací z životního prostředí. Tím jsou zejména emise ze spalování fosilních paliv, různé průmyslové emise, každodenní setkání se rtutí ve formě potravy, především z ryb a mořských živočichů. K dalším velmi důležitým zdrojům patří používání rtuti ve zdravotnictví a to zejména ve formě zubních amalgámových plomb, kde dochází k uvolňování rtuti. V lékařství se rtuť využívá také jako konzervační činidlo vakcín Thiomersal (Urban, P., 2006).



Emise rtuti jsou celosvětovou hrozbou, a proto byly přijaty mezinárodní úmluvy o rtuti, úmluvy o omezení používání či ukončení užívání rtuti. Byly zavedeny národní a světové legislativní předpisy a opatření o využívání rtuti (Petrlík, J., Válek, P., 2014).

V roce 2005 byla (EU) Evropskou unií přijata strategie „Mercury Strategy“, která má za cíl omezit emise rtuti do prostředí. Na základě událostí v Minimatě v roce 1950 byla EU přijata tzv. Minamatská úmluva o rtuti. V roce 2010 byly tyto strategie revidovány. Tato úmluva se zabývá emisemi rtuti do ovzduší o zákazu vývozu rtuti a některých jejích sloučenin, omezením výroby produktů obsahující rtuť a průmyslovou výrobu spojenou se rtuť (ec.europa.eu, 2016).

Dále existuje nařízení o E-PRTR (European Pollutant Releases and Transfer register) - Evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek. Veřejně přístupná databáze o znečišťujících látkách, jejich únicích a přenosech. Cílem je zlepšit přístup veřejnosti k informacím týkajícím se znečišťování životního prostředí. E-PRTR nahradil předešlý Evropský registr emisí znečišťujících látek EPER (prtr.ec.europa, 2006).

Úmluva Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN/UNECE) tzv. CLRTAP – o dálkovém znečišťování ovzduší překračující hranice států. Cílem je ochrana člověka a životního prostředí před znečišťováním ovzduší, omezování a postupné snižování či předcházení znečišťování ovzduší, přesahující hranice státu (mžp, CLRTAP., 2008,2015).

V České republice platí předpisy a zákony o používání chemických látek a jejich klasifikace. Vyhlášky o zjišťování emisí, zákony o nakládání s nebezpečnými odpady a zákony o ochraně ovzduší, vody a potravin.

Vyhláška č. 205/2009 Sb., (příloha č. 1) o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Příloha č. 1 obecné emisní limity pro vybrané znečišťující látky a jejich stanovené skupiny. Skupina 2.1 rtuť, thalium, kadmium, beryllium, kde je pro rtuť stanoveno takto, při hmotnostním toku v gramech za hodinu větším než 1 je emisní limit hmotnostní koncentrace 0,2 mg/m<sup>3</sup>.

Vyhláška č. 221/2004 Sb., (příloha č. 2) a změna této vyhlášky č. 284/2006 Sb., kterou se mění vyhláška č. 221/2004 Sb., kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je

zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 232/2004 Sb., (příloha č. 1) vyhláška, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků. Změny vyhlášky č. 389/2008 Sb.,

Vyhláška č. 83/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů. Pro rtuť je stanoveno takto, nejvyšší mezní hodnota pro pitnou vodu 1,0 ug/l.

Nařízení vlády 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech uvedených zvlášť nebezpečných látek. Kde jsou uvedeny limity pro povrchové vody, podzemní a odpadní zvlášť.

zákon č. 254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ČR (Věstník MŽP ročník XIV-leden2014-částka 1). Kde jsou hodnoty indikátorů znečištění zeminy uvedeny takto. Pro průmyslové plochy je hodnota rtuti 43 mg/kg sušiny a pro ostatní plochy je to hodnota rtuti 10 mg/kg sušiny. Indikátory znečištění, ale nenahrazují stanovené limitní koncentrace ostatních legislativních předpisů. Smyslem indikátorů znečištění je indikace míst s přítomností chemických látek vyžadující další zkoumání a hodnocení.

Vyhláška č.153/2016 Sb., vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Uvádí limity pro běžnou a lehkou půdu 0,3 mg/kg sušiny (extrakce lučavkou královskou). Hodnota, která udává možné ohrožení zdravotní nezávadnosti potravin nebo krmiv je 1,5 mg/kg sušiny a hodnota při jejímž překročení může být ohroženo zdraví lidí a zvířat je 20 mg/kg sušiny (extrakce lučavkou královskou).

Vyhláška č. 305/2004 Sb., které je nadřazená evropská č. 420/2011 evropské komise. Vyhláška, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách.

ES 1881/2006 se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách, včetně olova, kadmia, rtuti a anorganického cínu. Kde se uvádí maximální limit rtuti pro produkty rybolovu a svalovinu ryb (svalovina z koncových částí) 0,50 mg/kg čerstvé hmotnosti. A maximální limit rtuti ve svalovině ryb neuvedené v první skupině 1,0 mg/kg čerstvé hmotnosti. A maximální limit rtuti pro doplňky stravy 0,10 mg/kg.

Nařízení ES 333/2007 pokrývá metody odběru vzorků a analýzy pro úřední kontrolu maximálního množství těchto kovů (EFSA, 2008).

Kontrolou bezpečnosti potravin se zabývá EFSA (European Food Safety Authority), Evropský úřad pro bezpečnost potravin. Který se také zabývá rozsáhlými studii kontaminace rtutí, zejména methylrtutí v rybách.

Pro práci se zubním amalgámem jsou stanovena nařízení ve vyhláškách a směrnicích. A to obecně o rtuti a to směrnice EU č. 76/464 EEC. Zákon č. 125/1997 Sb., definuje původce nebezpečného odpadu – amalgám je nejbliže v katalogu odpadů kódů 060404 a 060405. Vyhláška ministerstva životního prostředí č. 337/1997 Sb., kterou se vydává katalog odpadů a stanovy další seznamy odpadů. příloha č. 5. Zákon č. 267/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví.

### **2.7. Obsah rtuti v krvi a v moči dětí a dospělých**

V roce 2009 Státní zdravotní ústav vypracoval studii, zaměřenou na biologický monitoring rtuti ve vnějším prostředí. Biologické monitorování proběhlo v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí. Byly sbírány data z let 1996 až 2008 u dospělých (18-59) let a dětí (8-10) let ve vybraných městech České republiky. Koncentrace rtuti byla vyjádřena jako střední hodnota v mikrogramech na litr plné krve, mikrogramech na gram kreatininu v moči (SZU., 2009).

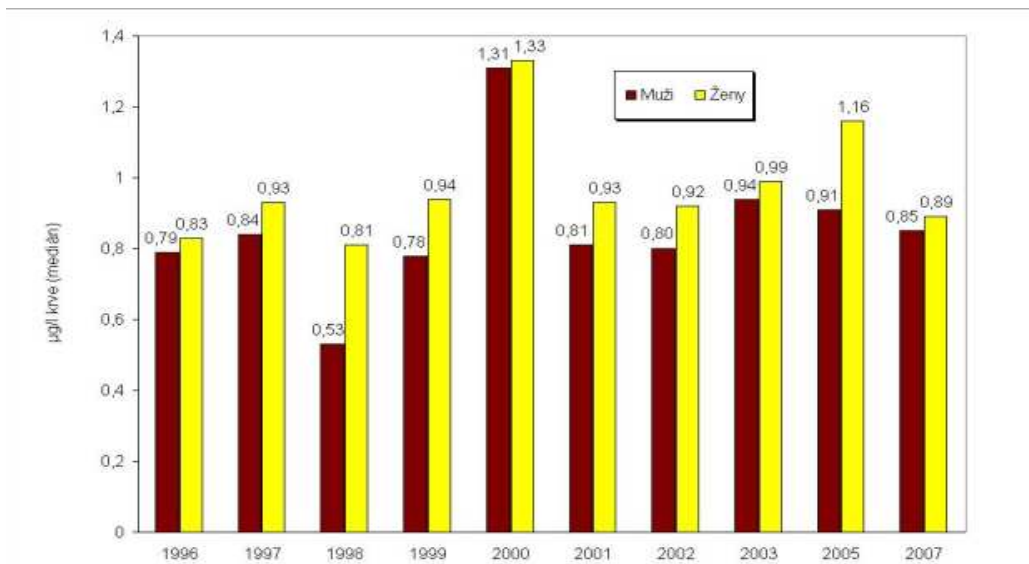
Zdravotně významná mezní hodnota obsahu rtuti v krvi podle německé Komise pro biologický monitoring, I. stupeň pro obsah rtuti v krvi dospělých osob 5µg/l. Tato hodnota byla překročena u dvou osob tedy necelého jednoho procenta sledovaných osob.

Bylo zjištěno, že vyšší koncentrace rtuti byly nalezeny v krvi dospělých žen. Mezní hodnota 3,4 µg/l byla stanovena pro ženy v reprodukčním věku s ohledem na riziko neurotoxicity u plodu National Research Council – NRC, USA. V tomto souboru sledovaných osob byla překročena tato hodnota u šesti žen. Zvýšená hodnota u těchto skupin je přisuzována vyšší konzumaci ryb.

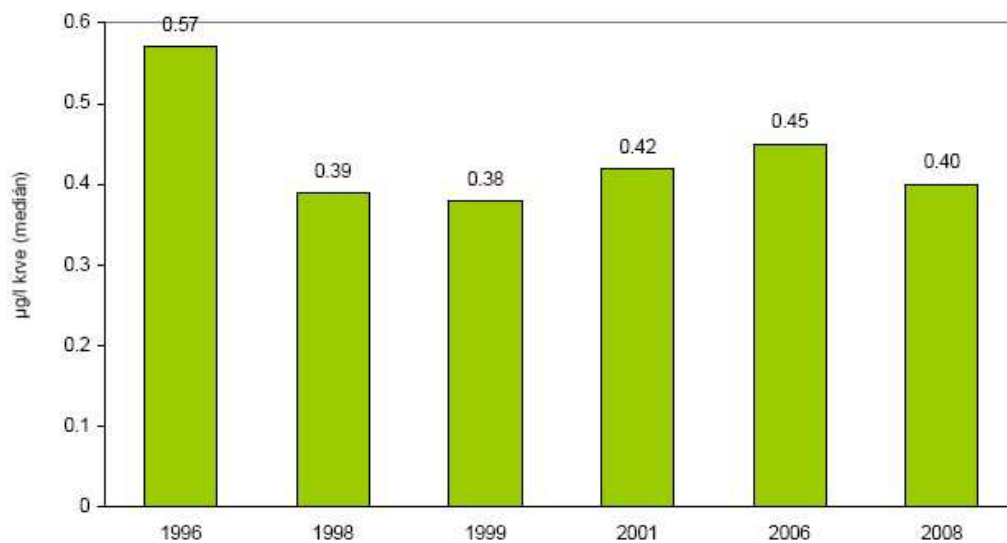
Hladina rtuti v moči dospělých byla zvýšena u 7 % sledované populace. Mezní hodnota obsahu rtuti je stanovena na 5µg/g kreatininu. Hladina rtuti v moči může být ovlivněna přítomností amalgámových výplní u sledovaných osob.

U dětí se hodnoty pohybovaly v podobném rozmezí jako u dospělých. U dětí však ve srovnání s dospělými jsou hodnoty koncentrace rtuti v krvi poloviční. Nebyla překročena zdravotně významná hodnota, která je 5 µg/l. V moči byla překročena zdravotně významná hodnota u 1 % dětí.

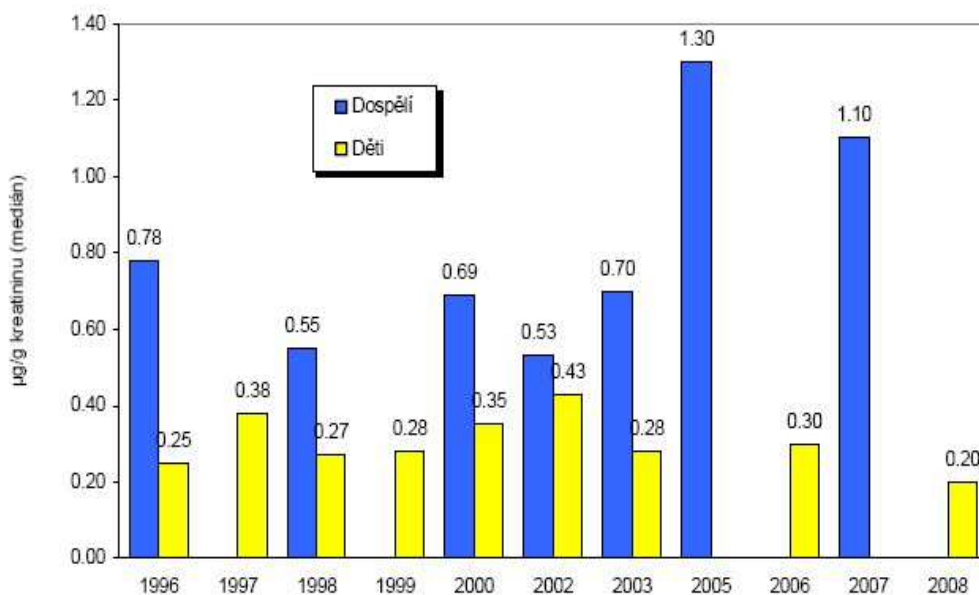
Zvýšený příjem rtuti je pravděpodobně způsoben konzumací ryb. V rámci spotřebního koše je ale příjem celkové rtuti v ČR nízký. Dle WHO je tolerovaný příjem rtuti mezi 1-2 %. Ze studie vyplynulo, že v souladu s hodnotami ostatních evropských států nepředstavuje koncentrace rtuti v krvi a v moči dětí a dospělých v české populaci zvýšenou zátěž (SZU., 2009).



Graf 1: Obsah rtuti  $\mu\text{g/l}$  v krvi dospělých v letech 1996-2007 zdroj: Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí



Graf 2: Obsah rtuti  $\mu\text{g/l}$  v krvi dětí v letech 1996-2008. zdroj: Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí



Graf 3: Obsah rtuti v  $\mu\text{g/g}$  kreatininu v moči dětí a dospělých v letech 1996 -2008 zdroj: Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí

## 2.8. Vědecké stanovisko o riziku a ochraně veřejného zdraví v souvislosti se rtutí a methylrtutí v potravinách

Vědecký výbor EFSA pro kontaminující látky v potravinovém řetězci (CONTAM) vydal vědecké stanovisko k obsahu rtuti a methylrtuti. Komise byla požádána, aby zvažila nový vývoj týkající se toxicity anorganické rtuti a methylrtuti od posledního stanoviska Evropského úřadu pro bezpečnost potravin EFSA z roku 2004. Týdenní příjem methylrtuti dle expertního výboru WHO pro potravinářské přídatné látky (JECFA) je  $1,6 \mu\text{g/kg}$  tělesné hmotnosti (BW) a  $4 \mu\text{g/kg}$  tělesné hmotnosti pro anorganickou rtuť.

Stanovisko se zaměřuje na rizika spojená s konzumací potravin s možnou intoxikací anorganickou rtutí a methylrtutí, ale neposuzuje nutriční výhody spojené s určitými potravinami. Byly vybrány různé skupiny potravin celkem 59 820 vzorků (výsledků) a statisticky zpracovány. 98,2 % vzorků pro celkový obsah rtuti. 1,8 % methylrtuť a 3 vzorky pro anorganickou rtuť. Bylo sem zařazeno 20 skupin potravin (Foodex). Ryby a jiné mořské plody, skupiny potravin a masa a masných výrobků, obilí a produkty z obilí, zelenina a rostlinné produkty (včetně hub).

Více než 60 % údajů byly pod limitem meze detekce (LOD) a mezí kvantifikace (LOQ). 12 % výsledků u ryb a mořských plodů měly nejvyšší hodnoty celkového obsahu rtuti

ve srovnání s ostatními kategoriemi potravin. Obsah rtuti značně kolísal mezi druhy ryb a byl nejvyšší u dravých ryb. Ryby a rybí produkty jsou tedy největšími přispěvateli k expozici methylrtuti ve všech věkových kategoriích. Jsou to například tuňák, mečoun, tresky, štika. Závěrem vědeckého výboru bylo stanovisko, že v některých zemích je expozice vyplývající z průměrného příjmu ryb a mořských produktů vyšší a blíží se k tolerovanému týdenímu příjmu. Bylo také zhodnoceno, že některé skupiny obyvatel konzumující často velké dravé ryby mohou mít výrazně vyšší příjem methylrtuti. Z hlediska konzumace jsou rtutí více ohroženy těhotné a kojící ženy a malé děti, proto by měla dle EFSA být konzumace větších, dravých ryb u těchto skupin omezena na 170 g ryb za týden. (EFSA Journal., 2012).

### ***2.9. Vědecké stanovisko SCENIHR bezpečnosti zubního amalgámu a alternativních materiálů pro pacienty a uživatele***

Mezinárodní vědecký výbor při Evropské komisi Scientific Committee on Health and Environmental Risk (SCHER) se zabývá zdravotními účinky rtuti z dentálních amalgámů a problematikou ohrožení životního prostředí touto látkou. Ve svých závěrech z roku 2007 výbor konstatoval, že 27 států Evropské unie vyprodukuje ročně přibližně 109 tun odpadu se rtutí a při kremaci zemřelých se zubními výplněmi se uvolní přibližně 14 tun výparů rtuti. Mezi dalšími body stojí, že zatížení vodních organismů odpadem ze zubních ordinací je nízké. Riziko kontaminace půdy anorganickou rtutí z amalgámu je nezávažné, že expozice párám rtuti z dentálního amalgámu je zanedbatelným zdravotním rizikem a že větší riziko jako neurotoxicita a nefrotoxicita rtutí se projevuje při příjímání vyšších dávek a to organické rtuti hlavně z ryb.

Dále v roce 2008 se komise (SCENIHR) Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risk, se zabývala bezpečností dentálního amalgámu pro pacienty a uživatele. A v roce 2014 byla tato komise pověřena přezkoumáním studie z roku 2008 o bezpečnosti a výkonnosti zubních amalgámů a nahrazením možnými alternativními výplněmi jako například praskyřice, skloionomerní cement, keramika a slitiny zlata. Hodnotili vědecké důkazy o možné souvislosti nepříznivých účinků na zdraví, jako je alergie a neurologické poruchy. Komise SCENIHR uznává amalgám jako účinný výplňový materiál, ale v současné době se v EU začíná od používání dentálních amalgámů ustupovat a nahrazovat je alternativními materiály. Obecným cílem EU je omezit používání rtuti z bezpečnostních hledisek. Studiemi alternativních materiálů, ale

bylo zjištěno, že dlouhodobé používání těchto materiálů má také své negativní účinky na lidské zdraví. Bylo zjištěno, že tyto materiály, zvláště některé z používaných monomerů mohou být toxické pro kostní dřeň a buňky v dutině ústní. A právě dlouhodobé užívání může mít mutagení účinky.

Stanovisko z roku 2008 bylo takové, že zubní amalgám je bezpečný materiál pro použití ve stomatologii pro pacienty i pracovníky. Studie odhadují různé denní příjmy rtuti. Páry rtuti se uvolní z malgámové výplně při žvýkání, čištění zubů a například při neustálém skřípání zubů tzv. burxismus. Parametry tohoto uvolňování rtuti závysí na počtu výplní a umístění. A také na dalších okolnostech jako, žvýkací návyky, textura jídla, čištění zubů, dýchání nosem nebo ústy a zejména složením, stářím a povrchu výplně.

WHO také v roce 1991 uvedla, že u osob s velkým počtem výplní může zubní amalgám odpovídat až 87% absorbované anorganické rtuti. A u lidí s menším počtem asi 50 % absorbované anorganické rtuti. Předpokládaná absorpce anorganické rtuti ze zubních amalgámů je **3-17µg/den**. U zubních lékařů a personálu připravující a pracující s výplněmi byly hlášeny hladiny rtuti v moči v rozmezí **3 -22 µg/l**.

Závěrem tohoto vědeckého výboru, který byl složen z nezávislých odborníků, bylo uznání amalgámu jako funkční zubní výplňový materiál. Důkazy pro negativní účinky rtuti jsou slabé a studie uvádí, že větším přispěvatelem než amalgám je methylerť z ryb a mořských plodů. Uvádí, že vyšší hladiny rtuti jsou u jedinců u kterých je nutné odstranit starý amalgám a u personálu zubní ordinace. Tomuto lze předcházet hygienou práce a správným pracovním postupem.

Bylo zjištěno, že i alternativní výplňové materiály nejsou zcela bez rizika. V závěru tedy SCENIHR nevyklučuje použití amalgámu nebo alternativních materiálů. A výběr materiálu by měl být založen na individuální potřebě pacienta. Je nutný další výzkum v souvislosti neurotoxického působení rtuti ze zubních amalgámů, ale i další studie alternativních materiálů (ec.europa.eu.SCENIHR., 2014).

### ***2.10. Metody stanovení rtuti***

Pro stanovení rtuti se využívají metody na principu atomové a molekulové spektrometrie. Metody lze rozdělit podle toho, zda chceme stanovit pouze rtuť nebo ty



metody kterými lze stanovit většinu ostatních kovů včetně rtuti. Jsou to (AAS) atomová absorpční spektrometrie, (AFS) atomová fluorescenční spektrometrie, (ICP-OES) optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Stanovení těmito metodami je třeba důkladná úprava vzorku před vlastním měřením, zejména biologického materiálu. Například ryby je nutné uchovávat zmrazené nebo lyofilizované v temnu. Lyofilizace je sušící metoda. Sušení za nízkého tlaku. Ostatní nebiologické materiály je nutné homogenizovat a rozložit přidáním zahřátých silných kyselin (Mader, P., Čurdová, E., 1997).

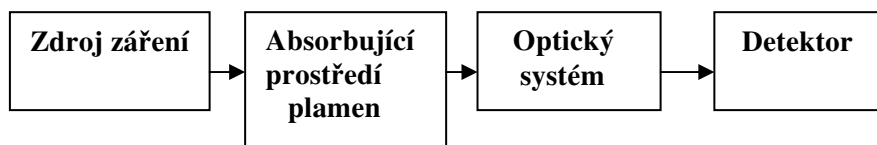
Pro stanovení celkového obsahu rtuti bez nutnosti předchozí chemické úpravy vzorku se využívá analyzátor AMA 254, který pracuje na principu termooxidačního rozkladu vzorku a následného zkoncentrování rtuti na zlatém amalgamátoru (Komárek, J., 2000).

### **2.10.1. Principy jednotlivých metod**

#### **2.10.1.1. Atomová absorpční spektrometrie (AAS)**

Principem této metody je absorpce elektromagnetického záření volnými atomy v plynném stavu. Záření je absorbováno v úzkém intervalu vlnových délek. Měřenou veličinou je zde absorbance. Hodnota absorbance je zde míra koncentrace sledovaného prvku. Vyhodnocení výsledků se provádí metodou kalibrační křivky sestavené proměřením absorbancí kalibračních roztoků o známé koncentraci nebo metodou standardních přídavek. Atomový absorpční spektrometr se skládá ze tří základních částí a to zdroj atomizace, optický systém, řídicí a vyhodnocovací jednotka.

Plamenová varianta AAS je vhodná pro stanovení velkého počtu prvků s různou citlivostí, po převedení vzorku do roztoku, s použitím různých typů plamenů.



Obr. č. 7 Základní schéma atomového absorpčního spektrometru

#### **2.10.1.2. Atomová fluorescenční spektrometrie (AFS)**

Při absorpci kvanta elektromagnetického záření o vhodné energii dochází k excitaci elektronů ze základní na vyšší energetické hladiny. Absorpcí vzniklý excitovaný atom je nestabilní a deaktivuje se jednak nezářivými přechody, především srážkami s ostatními atomy a v mnohem menší míře složitějším mechanismem vyzáření energie ve formě fotonu. Tento jev je popsán jako atomová fluorescence a je využívána atomovou fluorescenční spektrometrií (AFS). AFS ve spojení s metodou studených par lze využít pro stanovení rtuti v biologických materiálech (Komárek, J., 2000).

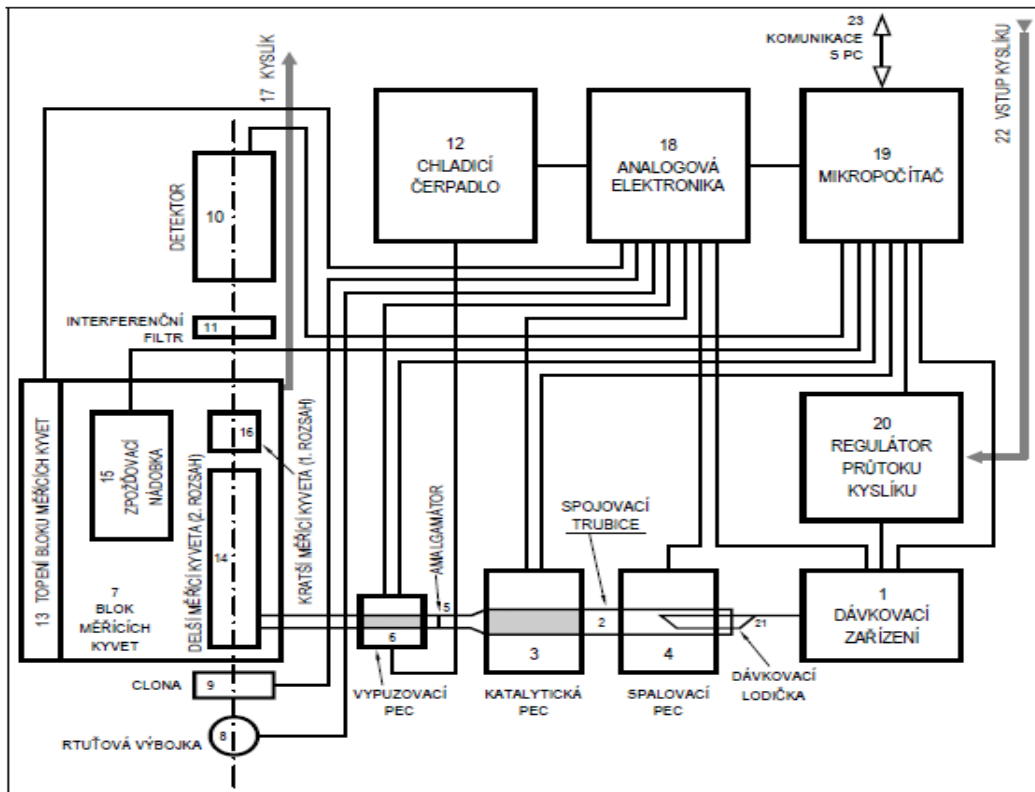
#### **2.10.1.3. Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)**

Základní součástí přístroje je plazmový zdroj. Je zde nutné dodávat vnější energii ve formě elektrického pole, aby docházelo k ionizaci plynu a udržení plazmatu. Následně je část energie z plazmatu přenesena na vzorek a dojde k excitaci a ionizaci. Vzorek je čerpadlem nasáván do zmlžovače, který jej rozpráší a vzniklý aerosol je unášen nosným plynem do indukčně vázaného plazmatu. Nosným plynem je zde většinou argon. Metoda má velmi nízkou mez detekce pro velké množství prvků. Lze pomocí ní stanovit i nekovové prvky (S, P, N, Cl, I, Br). Má pouze ekonomickou nevýhodu a to značnou spotřebou argonu. Hodí se spíše pro větší série vzorků (Černohorský, T., Jandera, P., 1997).

#### **2.10.1.4. AMA 254 Advanced Mercury Analyzer**

Tento jednoúčelový atomový absorpční spektrofotometr je určen pro stanovení celkového obsahu rtuti v pevných a kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorku. Dochází zde ke generaci par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru. Dosahuje vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku. Mez detekce je 0,01 ng Hg (Altec, Ltd., 2000).

Pro stanovení rtuti byla použita v této bakalářské práci právě tato metoda pomocí AMA 254.



Obr. č. 8 Funkční schéma přístroje AMA 254 zdroj: Altec Ltd. 2000)

### 3. Praktická část

Měření celkového obsahu rtuti v odebraných vzorcích bylo provedeno v laboratoři analytické chemie ve Zkušebním ústavu lehkého průmyslu v Českých Budějovicích.

#### 3.1. Analyzovaný materiál

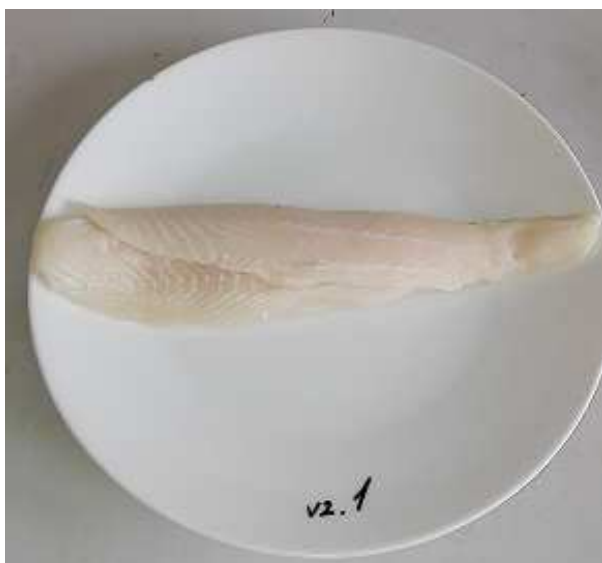
##### 3.1.1. Vzorky ryb a rybích produktů

Ryby byly zakoupeny v hypermarketu obchodní sítě Kaufland. Byly vybrány dvě ryby sladkovodní, dvě mořské a jeden vzorek zastupující výrobek z ryb a to konzerva Tuňáka.

**Vzorek 1:** *Pangasius (Pangasius hypophthalmus)*

Sladkovodní ryba, dravec, všežravec, žíví se i menšími rybami

Krajina původu aquakultura Vietnam



Obr. č. 9 vzorek 1 *Pangasius*

**Vzorek 2:** Candát obecný (*Stizostedion lucioperca*)

Sladkovodní ryba, dravec, živí se menšími rybami

Krajina původu vnitřní vody Asie



Obr. č. 10 vzorek 2 Candát obecný

**Vzorek 3:** Treska tmavá (*Pollachius virens*)

Mořská ryba, dravec, živí se menšími rybami

Krajina původu Severovýchodní Atlantik



Obr. č. 11 vzorek 3 Treska tmavá

**Vzorek 4:** Platýz černý (*Reinhardtius hippoglossoides*)

Mořská ryba, živí se rybami

Krajina původu severozápadní, severovýchodní Atlantický oceán



Obr. č. 12 vzorek 4 Platýz černý

**Vzorek 5:** Tuňák – kousky v rostlinném oleji

Tuňák pruhovaný (*Katsuwonus pelamis*)

Mořská ryba, dravec, živí se rybami

Krajina původu Indický oceán



Obr. č. 13 vzorek 5 Tuňák kousky v rostlinném oleji

### 3.1.2. Vzorky půd

Vzorky půd byly odebrány z vybraných lokalit Českých Budějovic nejvíce zatížené průmyslovou infrastrukturou. Byl vybrán i kontrolní vzorek z lokality mimo dosah průmyslu, který simuluje přirozené zatížení půdy Hg bez lokálního antropogenního vlivu. Odběr vzorků probíhal paralelně ve dvou časech, v srpnu 2016 a v lednu 2017.

#### **Vzorek 6:** Půda Hlavní vlakové nádraží České Budějovice

Vzorky odebrány z lokality hlavního vlakového nádraží, které se nachází ve středu průmyslové části Českých Budějovic. Vzorky byly odebrány v těsné blízkosti podél celé délky hlavního nádraží ze zatravněné a polozatravněné části.



Obr. č. 14 vzorek 6 půda vlakové hlavní nádraží zdroj: (severniceskobudejovicko.cz., 2017).

#### **Vzorek 7:** půda Krematorium České Budějovice

Vzorky odebrány z lokality Krematoria, pohřební ústav města České Budějovice, příspěvková organizace, Pražská 2275/108. Krematorium funguje od roku 1925 a uvádí, že v roce 1970 byl počet žehů 1500 za rok. Od roku 1970 bylo vystaveno nové krematorium s třemi kremačními pecemi. Počet žehů od té doby stoupl na současných 2500 žehů za rok. V okolí krematoria je travnatý a mírně zalesněný porost (Krematoriumcb., 2011).



Obr. č. 15 vzorek 7 půda Krematorium České Budějovice zdroj: (Krematoriumcb., 2011)

### **Vzorek 8: Teplárna České Budějovice**

Vzorky odebrány z lokality Teplárna České Budějovice, a.s. Novohradská 32. Zajišťuje energii pro město České Budějovice. Zajišťuje tzv. kombinovanou technologii, vyrábí teplo a současně i elektřinu. Teplo je vyráběno spalováním hnědého uhlí a zemního plynu ( Teplarna Čb., 2016). V okolí teplárny je zatravněný a polozatravněný povrch.



Obr. č. 16 vzorek 8 půda Teplárna České Budějovice zdroj: ( Teplarna Čb., 2016).

### **Kontrolní vzorek (blank)**

Pro porovnání antropogenního vlivu byl vybrán kontrolní vzorek z průmyslem nezatížené oblasti Hluboká nad Vltavou.



### **3.1.3. Vzorky zubních amalgámů**

Vzorky čerstvých nepoužitých zubních výplní byly získány ze zubní ordinace jako odpadní materiál. Jedná se o nejčastěji používané nedózané amalgámy, které obsahují spolu se rtutí i měď, cín a stříbro.

**Vzorek 9:** amalgámová zubní výplň o hmotnosti 0,0197g



Obr. č. 17 vzorek 9 zubní amalgám

**Vzorek 10:** amalgámová zubní výplň o hmotnosti 0,3805g



Obr. č. 18 vzorek 10 zubní amalgám

**Vzorek 11:** amalgámová zubní výplň o hmotnosti 0,1017g



Obr. č. 19 vzorek 11 zubní amalgám

### 3.1.4. Vzorky paliva

Pro testování byly vybrány tři typy vzorků paliva, ekologické a konvenční. U vzorků 12 a 13 výrobce deklaruje použití ekologických surovin. Vzorek 14 konvenční palivo uhlí kostka

#### **Vzorek 12:** palivo Ekover S1

Palivo EKOVER je tvořeno ze 100 % rostlinnými pletivy. A to odpad z čištění semen zemědělských plodin zařazen dle zákona č. 185/2001 Sb., MŽP ČR. EKOVER S1 rostlinný materiál tvořen senem, slámou obilnin a olejnin. Dle zákona č. 381/2001 Sb., zařazen pod číslo 02 01 03 jako Odpad rostlinných pletiv. Tvar pelet a granulí o průměru 8-12 mm (Ekover., 2017).



Obr. č. 20 vzorek 12 palivo Ekover zdroj: (Ekover., 2017).

#### **Vzorek 13:** dřevěné brikety

Dřevěné brikety, vyráběné z dřevního odpadu v dřevozpracujícím průmyslu. Brikety ve tvaru válce



Obr. č. 21 vzorek 13 dřevěné brikety zdroj: (podpalovac.zhoric.cz., 2010).

### **Vzorek 14:** uhlí kostka

Hnědé uhlí je tříděné, nízkosírnaté uhlí, frakce kostka.



Obr. 22. Vzorek 14 uhlí kostka zdroj: (infuel.cz., 2013)

### **3.2. Přístroje a zařízení**

- Analytické váhy
- Zařízení pro výrobu demineralizované vody: IWA 20 is (Watek, ČR)
- Termostat
- Automatické pipety 100 $\mu$ l, 1 – 10 ml

Zařízení pro analýzu celkového obsahu rtuti

- Analyzátor rtuti Advanced Mercury Analyser AMA 254 (Altec Praha)

### **3.3. Chemikálie a pomůcky**

- Laboratorní sklo
- Síto velikost ok 2 mm
- Navažovací lodička
- pinzeta
- Kyslík čistoty 2.5, Linde technoplyn
- Kyselina dusičná (HNO<sub>3</sub>)
- Demineralizovaná voda
- Standardní certifikovaný roztok rtuti o koncentraci 1000 mg/l
- Dichroman draselný (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)
- L-Histidin monohydrochlorid 1- hydrát (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>2</sub>N<sub>3</sub>.HCl.H<sub>2</sub>O),
- Chlorid sodný (NaCl)
- Hydrogenfosforečnan disodný 12- hydrát (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O)
- Hydroxid sodný (NaOH)

### **3.4. Software**

- MS excel
- Ovládací software AMA

### **3.5. Příprava standardů pro analýzu a kalibraci přístroje**

Kalibrace analyzátoru AMA 254 je velmi stabilní. Platí po týdny až měsíce a pro rutinní měření stačí platnost kalibrace pouze ověřovat. Nová kalibrace je nutná pouze, byly-li vyměněny některé části přístroje jako rtuťová výbojka, blok měřících kyvet nebo detektor. Analyzátor pracuje pro větší přesnost stanovení ve dvou rozsazích, tím je spolehlivě změřen velký rozptyl koncentrací (přibližně od 0,05 – 40 ng Hg první rozsah a 40-600 ng Hg druhý rozsah). Správnost se kontroluje před vlastním měřením stanovení rtuti, pouze pro první kalibrační rozsah přístroje (Altec Ltd., 2000).

Ze základního roztoku 1000 ppm Hg zakoupeného od certifikované firmy, byly připraveny pracovní kalibrační roztoky postupným ředěním do odměrných baněk o objemu 100ml. Do každé baňky se přidá 1 ml koncentrované kyseliny dusičné čistoty p.a., 0,1 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a 0,1 ml stabilizačního roztoku. Jako stabilizační roztok se zde připravuje  $K_2Cr_2O_7$  10 g se rozpustí ve 100 ml destilované vody (prakticky nasycený roztok). V této práci byl pro kontrolu kalibrace použit standard o koncentraci 0,2mg/l Hg.

### **3.6. Příprava simulantu slin**

Roztok byl připraven čerstvý, do litru destilované vody bylo naváženo 0,5 g L-Histidin monohydrochlorid 1-hydrát ( $C_6H_9O_2N_3.HCl.H_2O$ ), 5 g chlorid sodný (NaCl), 5 g hydrogenfosforečnan disodný 12- hydrát ( $Na_2HPO_4.2H_2O$ ). Roztok byl upraven na pH 8,0 roztokem hydroxidu sodného 0,1 mol/l. Byl připraven dle ČSN EN ISO 105-E04.

### **3.7. Příprava vzorků**

#### **3.7.1. Zpracování ryb a rybích produktů**

Z rozmrazené, vykuchané ryby byl použit rybí filet chlazený. Byla odělena svalová tkáň od kůže. Následně svalová tkáň rozřezána na kousky a rozmělněna. Z rybí konzervy byl slit olej a obsah masa byl rozmělněn.

### **3.7.2. Zpracování půd**

Vzorky byly odebrány z vrchního sedimentu z hloubky cca. 5cm z pěti míst kolem dané lokality a poté byly smíchány v plastovém sáčku a po převozu uchovány v chladu. Dále byly vzorky půd homogenizovány v hmoždíři a prosety přes síto o velikosti ok 2 mm.

### **3.7.3. Zpracování zubních amalgámů**

Vybrané kousky zubních výplní byly zváženy a naloženy do 5 ml simulantu modelující sliny. Takto připravené vzorky byly uloženy do termostatu na sedm dní při 37°C. Následně byl změřen obsah rtuti v roztocích.

### **3.7.4. Zpracování paliva**

Vzorky paliva byly rozdrnceny na jemný prášek v hmoždíři a dobře homogenizovány.

## **3.8. Stanovení celkového obsahu rtuti pomocí AMA 254**

Pro stanovení celkového obsahu rtuti byla u všech vzorků použita atomová absorpční spektrometrie, jednoúčelový rtuťový analyzátor AMA 254, pro přímé stanovení rtuti v kapalných a pevných vzorcích bez potřeby předešlé chemické úpravy vzorku. Funkční schéma přístroje popsáno v kapitole 2.8.1.4.

### **3.8.1. Pracovní postup stanovení rtuti**

Navážený pevný vzorek o hmotnosti 0,01g a kapalný o objemu 0,1 ml na spalovací lodiče, byl zaveden povelom z řídicího počítače přístroje do spalovací trubice. Ohřevem spalovací pece byl vzorek vysušen a následně spálen. Rozkladné produkty byly vedeny přes katalyzátor zde byla dokončena jejich oxidace a zachyceny látky kyselé povahy (halogeny, oxidy síry aj.) Rozkladné produkty byly převedeny přes amalgamátor a zde se selektivně zachytila rtuť. Kondenzaci vody v kyvetách, bylo během cesty zabráněno vyhříváním celého bloku na 120°C. Po rozkladu vzorku bylo změřeno zachycené množství rtuti. Poté byla rtuť krátkodobým ohřevem uvolněna z amalgamátoru a oblak rtuťových par unášen nosným plynem přes měřící kyvetu (měřeno jako 1. pík). Ve zpoždovací nádobce se veškerá rtuť nashromáždí (minimum mezi píky) a postupuje do kratší měřící kyvety (2. pík). Tato měření se odlišují svou citlivostí (poměr citlivosti první a druhé kyvety je přibližně 15:1), tím je dán celkový dynamický rozsah 0,05 až 600 ng Hg v jednom měření. Všechna data byla zpracována řídicím počítačem.

Tabulka č. 1 Technické údaje Analyzátoru AMA 254

<b>Zdroj záření</b>	<b>Nízkotlaká rtuťová výbojka</b>
<b>Vlnová délka</b>	<b>253,65 nm</b>
<b>Detektor</b>	<b>Křemíková UV dioda</b>
<b>Nosný plyn</b>	<b>Kyslík</b>

Při hodnocení výsledků byly použity matematicko - statistické metody. Software AMA 254 automaticky vyhodnotil naměřené hodnoty koncentrace rtuti, ty byly dále zpracovány v programu MS excel.

Tabulka č. 2 Podmínky měření

$\lambda$ (nm) vlnová délka	Vzorek (mg)hmotnost vzorku	Kalibrace přístroje:( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	MD st.( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) mez detekce	RSD % relativní směrodatná odchylka
Hg 253,65	100	0-4000	0,1	5
Kapalné vzorky 100 $\mu\text{l}$				

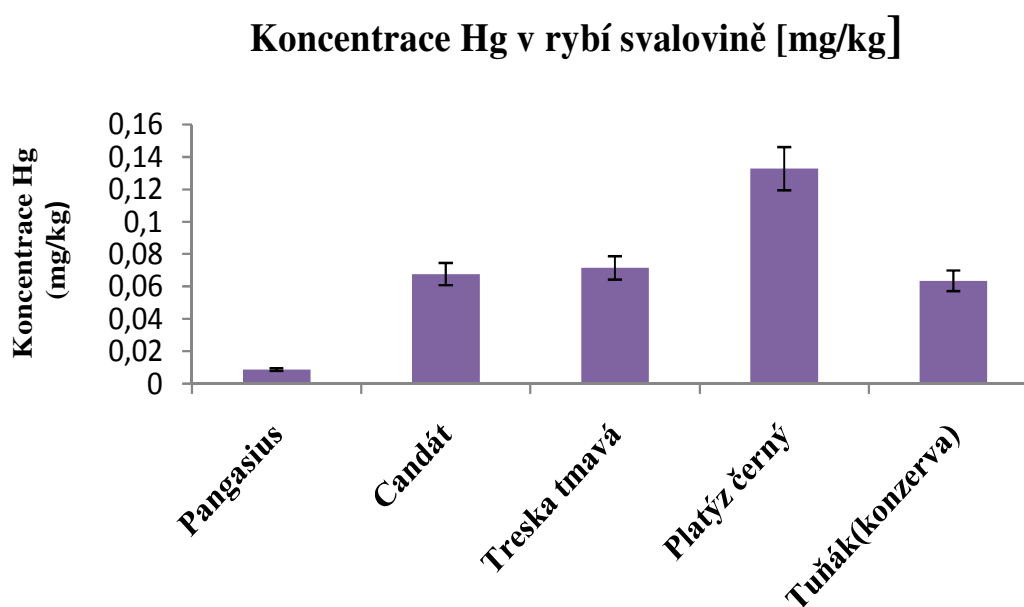
Nejistota měření byla zjištěna pomocí hodnoty standardu měřeného v deseti samostatných analýzách. Nejistota 10 % u všech měření je rozšířená nejistota vypočtená s použitím koeficientu rozšíření rovnému 2 a odpovídá tedy hladině významnosti přibližně 95 %.

### 3.9. Výsledky a diskuze

Dle určitého množství rtuti vyskytujícího se v prostředí kolem nás, byly vybrány vzorky významné pro zdravotní stav obyvatelstva a dle celkového obsahu rtuti v jednotlivých vzorcích byla dle legislativy stanovena míra kontaminace touto látkou.

#### 3.9.1. Stanovení rtuti v rybách

Byly vybrány vzorky ryb a rybích produktů a hodnoceno zda celkový obsah rtuti překračuje limity dané legislativou a zda jsou koncentrace rtuti odlišné v mase ryb žijících v oceánech a mořích nebo sladkovodních rybách.



Obr. č. 23 Porovnání celkového obsahu rtuti v rybí svalovině v mg/kg

U vzorků 1-5 byly naměřeny koncentrace od 8,85  $\mu\text{g}/\text{kg}$  do 132,98  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v rybí svalovině. Nejmenší hodnota byla naměřena u vzorku číslo 1 (Pangasius) 8,85  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Nízkou koncentraci lze vysvětlit tak, že tato ryba pochází z kontrolovaného farmového chovu a nebyla lovena v systému přírodních vod.

U vzorku 5 (Tuňák – kousky v rostlinném oleji) byla naměřena koncentrace rtuti 63,61  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Protože tuňák je velká dravá ryba dal se předpokládat vyšší obsah rtuti. V tomto vzorku je, ale hodnota koncentrace rtuti relativně nízká. Na obalu konzervy byl uveden tuňák pruhovaný, což je menší druh tuňáka, který se loví speciálně pro konzervování. Větších rozměrů a delšího věku se dožívají druhy tuňáka žlutoploutvého nebo

modroploutvého. Tím lze zdůvodnit nižší koncentraci v tomto vzorku. Je také pravděpodobné, že část methylrtuti přešla do oleje, v níž jsou kousky tuňáku naloženy, a tím se snížil i celkový obsah rtuti v mase. Organortuťové sloučeniny jsou dobře rozpustné v nepolárních látkách.

Vzorek 4 (Platýz černý) obsahoval největší množství rtuti a to 132,98  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Vyšší koncentraci lze odůvodnit postavením této ryby v potravním řetězci a to, že je dravá ryba. Tato ryba byla odlovena v moři.

Podle výzkumu se podíl methylrtuti na celkovém obsahu rtuti v rybách v české tržní síti pohybuje v rozmezí 75 až 90 % (33 až 365  $\text{mg}/\text{kg}$ ). Vztáhneme-li průměrnou hodnotu 82 % methylrtuti na výsledný obsah celkové rtuti ve vzorku 4, dostaneme pravděpodobnou hodnotu obsahu methylrtuti v tomto vzorku ryby, a to 109  $\mu\text{g}$  methylrtuti na 1  $\text{kg}$  vzorku. 200 g porce tohoto platýze černého by obsahovala 21,8  $\mu\text{g}$  methylrtuti. Podle studie EFSA je tolerovaný týdenní příjem (TWI) 1,6  $\mu\text{g}$  methylrtuti na 1  $\text{kg}$  hmotnosti za týden. U člověka s hmotností 60  $\text{kg}$  je TWI methylrtuti 78  $\mu\text{g}/\text{týden}$ . Při požití čtyř 200 g porcí platýze za týden by mohlo dojít k překročení TWI. Je nutné si uvědomit, že člověk je vystaven i jiným zdrojům methylrtuti, proto i dvě porce ryby zvyšují riziko překročení TWI (Kružíková et.al., 2008).

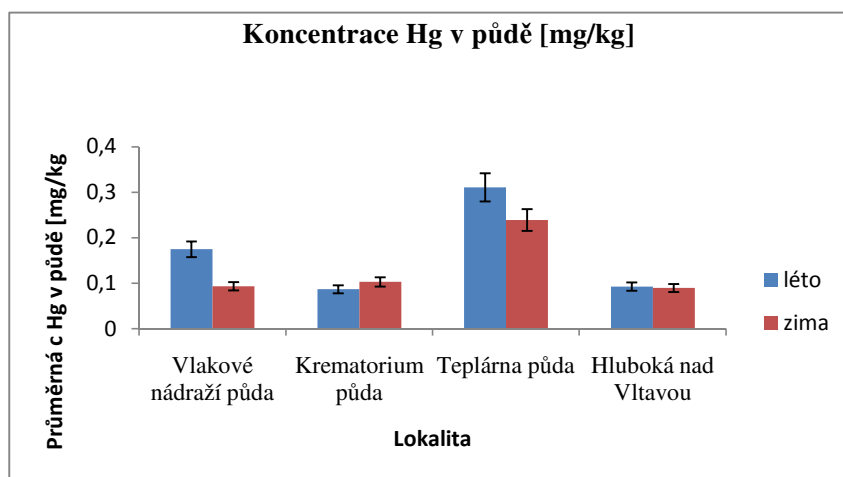
Dle nařízení komise (EU) č. 420/2011 ze dne 29. dubna 2011, kterým se mění nařízení ES č.1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. Je maximální limit rtuti pro produkty rybolovu a svalovinu ryb stanoven **1,0  $\text{mg}/\text{kg}$**  čerstvé hmotnosti. Naměřené hodnoty v této bakalářské práci se pohybují pod maximálním limitem daným legislativou. Hodnoty rtuti sladkovodních ryb byly nižší oproti hodnotám u ryb mořských. Je to dáno kontrolovaným farmovým chovem sladkovodních ryb. Ze zdravotního hlediska, ale není obsah rtuti v rybách zanedbatelný. I přes výborný zdroj omega 3 mastných kyselin, kterým ryby jsou, je třeba konzumaci ryb díky přítomnosti rtuti omezit na určitý týdenní příjem. Zvláště těhotné a kojící ženy a malé děti. Dle EFSA je maximální spotřeba velkých, dravých ryb 170  $\text{g}$  za týden.

### **3.10. Stanovení rtuti v půdním sedimentu**

Další skupinu vzorků, které mohou ovlivnit zdravotní stav obyvatelstva, jsou půdní sedimenty. Byly vybrány tři vzorky půdních sedimentů, kam rtuť deponuje, a to z lokality Českých Budějovic zatížené průmyslem - okolí teplárny, vlakového nádraží a



krematoria. Vzorky byly odebrány v letním období a zimním období. Byl hodnocen vliv sezónního topení na obsah rtuti v půdě. Pro porovnání antropogenního vlivu na obsah rtuti v půdě, byl vybrán kontrolní vzorek z lokality nezatížené průmyslem. Byla vybrána lokalita Hluboké nad Vltavou za předpokladu stejného půdního podloží jako České Budějovice a méně zatížené průmyslem, kde se v blízkém okolí nevyskytují zdroje znečištění.



Obr. č. 24 Porovnání koncentrace v půdním sedimentu v letním a zimním období.

Celkový obsah rtuti dle výsledků měření se nijak výrazně neliší v letním a zimním období. Lze tedy vyhodnotit, že obsah Hg v půdě nezávisí na aktuální topné sezóně, ale na dlouhodobém uvolňování rtuti do ovzduší. Obsah rtuti v kontrolním vzorku, byl 92,5  $\mu\text{g/kg}$  rtuti (letní období), 89,2  $\mu\text{g/kg}$  rtuti (zimní období). Hodnoty koncentrace rtuti byly srovnatelné s hodnotami v půdách odebraných v okolí krematoria a vlakového nádraží. Lze tedy říci, že zdroje rtuti působí ve velké oblasti přesahující průmyslovou oblast Českých Budějovic.

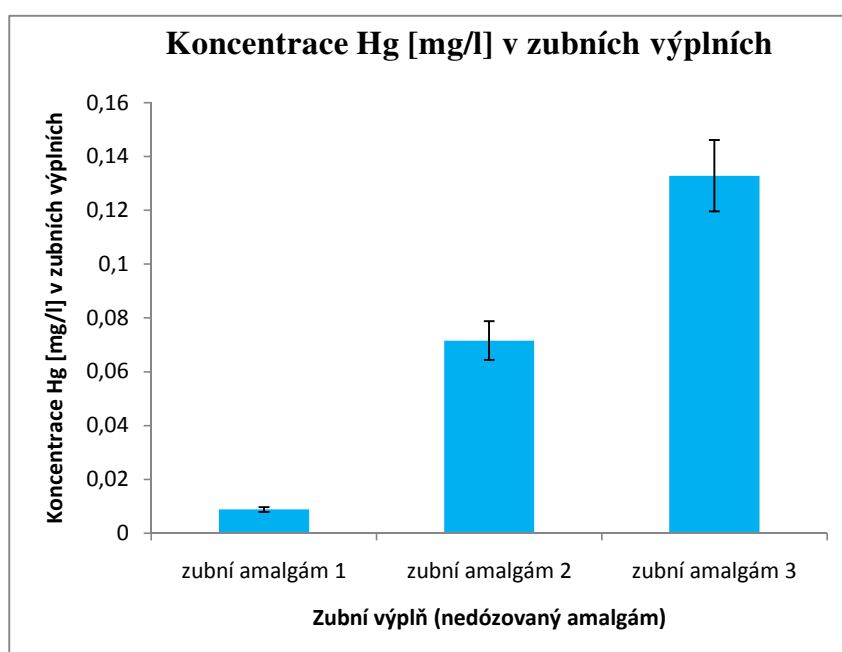
Dle Metodického pokynu Ministerstva životního prostředí ČR (Věstník MŽP ročník XIV-leden2014-částka 1). Kde jsou hodnoty indikátorů znečištění zeminy uvedeny takto. Pro průmyslové plochy je hodnota rtuti 43 mg/kg sušiny a pro ostatní plochy je to hodnota rtuti 10 mg/kg sušiny.

Celosvětově je průměrná koncentrace Hg v půdě 60,0  $\mu\text{g/kg}$ . A průměrně (medián) je koncentrace v Evropě v povrchové vrstvě půdy 20,0  $\mu\text{g/kg}$  (Salminen et.al.,2005). Dle této studie tedy půda v Českých Budějovicích obsahuje více rtuti než je celosvětová

průměrná koncentrace, lze vyhodnotit vyšší expozici rtuť v oblasti Budějovicka. Pravděpodobně je to dáno spalováním fosilních paliv v Budějovické teplárně, kde byly naměřené nejvyšší hodnoty rtuťi 310,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v letním období a 238,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v zimním období.

### 3.10.1. Uvolňování rtuťi ze zubních výplní

Byly vybrány vzorky zubních amalgámových výplní. S těmito výplněmi je v dnešní době většina lidí denně ve styku. Bylo zjištěno, že se rtuť v malém množství z těchto výplní uvolňuje. Byly vybrány tři různě velké výplně a za předpokladu uvolňování rtuťi do slinného roztoku byl v tomto roztoku změřen celkový obsah rtuťi a vypočteno za jaký čas a podle velikosti výplně se rtuť uvolňuje.



Obr. č. 25 Koncentrace rtuťi (mg/l) uvolněná do slinného roztoku

V tabulce číslo 3 jsou uvedeny hodnoty obsahu rtuti, která se z jednotlivých zubních výplní uvolnila za jeden den/rok v mikrogramech.

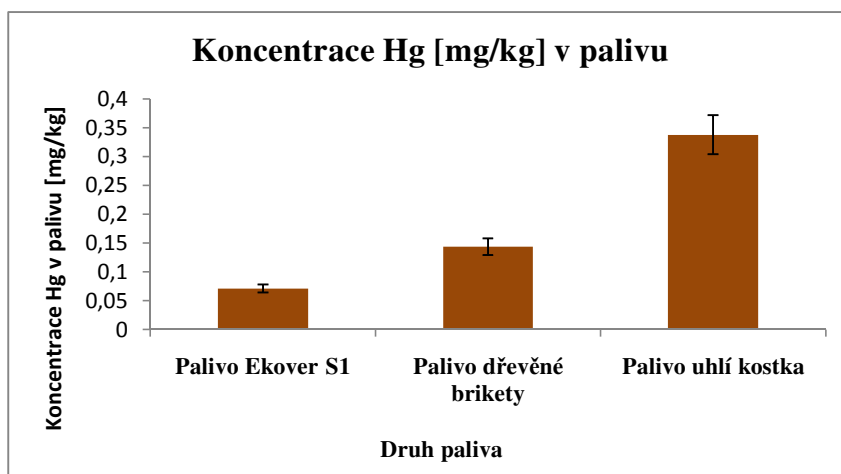
Tabulka č. 3 Uvolněná rtuť ze zubního amalgámu za 1 den/rok

Číslo vzorku	Název vzorku	Uvolněná Hg za 1 den [ug/den]	Uvolněná Hg za 1 rok [ug/rok]
9	Zubní amalgám	0,0063	2,2943
10	Zubní amalgám	0,0511	18,6671
111	Zubní amalgám	0,0949	34,6489

Naměřené koncentrace zubních amalgámů se pohybovaly v rozmezí od 0,009 do 0,13 mg/l. Při přepočtu na uvolněnou rtuť za jeden den se hodnoty pohybovaly od 0,006 do 0,094 ug/den. Evropská komise SCENIHR a WHO uvádí denní příjem rtuti z výplně v rozsahu 3 – 17 ug/den. Uvádí také, že uvolňování rtuti je ovlivněno stářím, složením a povrhu výplně a také nadměrným žvýkáním a čištěním zubů a také neustálým skřípáním zubů podrobně uvedeno v kapitole 2.9. Díky tomu existují velké rozdíly v odhadech denního příjmu rtuti z výplně. V této bakalářské práci se řešilo pouze samovolné uvolňování rtuti bez mechanického působení na povrch výplně. Uvolněná množství rtuti z výplní za jeden den se pohybovalo pod dolní hranicí stanovenou Evropskou komisí.

### **3.10.2. Obsah rtuti v palivech**

Dalšími vzorky, které mohou ovlivňovat zdravotní stav obyvatelstva, jsou paliva, protože při spalení dochází k uvolnění většiny obsažené rtuti do ovzduší, které pak dýcháme, a zároveň se může usazovat v půdě. Byly vybrány vzorky uhlí, ekologického paliva Ekover vyráběného ze zbytků zemědělských plodin a pícnin. A dále dřevěné brikety. Byl hodnocen celkový obsah rtuti, a porovnáno jaké množství rtuti se uvolní z konvenčního paliva a kolik z ekologického paliva.



Obr. č. 26 Koncentrace rtuti v mg/kg v jednotlivých druzích paliva

Při měření vzorku 14 konvenčního paliva hnědé uhlí kostka byla naměřena koncentrace rtuti 0,34 mg/kg. U vzorku 13 dřevěné brikety byla hodnota rtuti 0,14 mg/kg. A hodnota rtuti u vzorku 12 ekologického paliva Ekover byla 0,07 mg/kg.

Nejvyšší hodnota byla u uhlí, což je dáno tím, že rtuť je kov, který je přirozenou součástí zemské kůry. Jak bylo řečeno v předešlých kapitolách, těžbou a zpracováním rud se rtuť uvolňuje do vzduchu a spalováním právě fosilních paliv se uvolní nejvíce rtuti.

V ekologickém palivu byla hodnota nižší a to je dáno použitím ekologických produktů na výrobu. A přesto, že dřevo obsahuje menší množství rtuti než zemská kůra, byl obsah rtuti vyšší, což může být dáno prostupem emisí rtuti do ovzduší a následným zachycováním do dřeva stromů.

Ve srovnání s projektem MŽP VaV 520/1/97, který byl zaměřen na měření těžkých kovů v palivu, kde se obsah rtuti pohyboval v rozmezí 0,0053 – 0,76 mg/kg sušiny, se hodnoty naměřené v této bakalářské práci pohybují v tomto rozmezí.

## 4. Závěr

V této bakalářské práci byla řešena otázka vlivu rtuti na zdravotní stav obyvatelstva. Zadáním bylo zmapovat významné zdroje, které by mohly obsahovat rtuť. Při daných omezených možnostech počtu vzorků jsem dala přednost celkovému přehledu před detailním studiem jednoho zdroje. Mezi vzorky byly zařazeny druhy materiálu, se kterými se člověk může denně setkávat. Jako první zde byly vybrány vzorky potravního řetězce a to ryby, které jsou největším zdrojem methylrtuti. Byly sem zařazeny ryby prezentující běžný spotřební koš. Byly zakoupeny v síti hypermarketů v Českých Budějovicích. Vybrány byly dvě ryby sladkovodní Pangasius, Candát obecný a dvě ryby mořské Platýz černý a Treska tmavá. Koncentrace rtuti se pohybovala v rozmezí 8,85 μg/kg – 132,98 μg/kg. Naměřené koncentrace odpovídají druhu ryby a jejím postavením v potravním řetězci. Koncentrace byla vyšší u mořských ryb, což je dáno tím, že sladkovodní ryby byly z farmových chovů a ryby mořské byly odloveny přímo z oceánů. Koncentrace nepřesáhly legislativní limity. Nejvyšší obsah rtuti v přepočtu na methylrtuť byl naměřen u Platýze černého 109 μg/kg tohoto vzorku. Při konzumaci této ryby v množství 200g čtyřikrát za týden u člověka s průměrnou váhou 60 kg, by mohlo dojít k překročení (TWI) tolerovaného týdenního příjmu, který byl dle EFSA stanoven 1,6 μg methylrtuti na 1 kg hmotnosti za týden. Díky časté konzumaci těchto ryb, můžeme být vystaveni nízkým dávkám rtuti.

Výsledky z měření celkového obsahu rtuti v půdních sedimentech ukazují, že v oblasti zatížené průmyslem, odkud byly vzorky odebrány (České Budějovice) se rtuť v malém množství vyskytuje. Rozmezí koncentrací od 86,60 μg/kg do 310,92 μg/kg rtuti na kilogram půdy. Vzorky byly odebrány v zimním a letním období a výsledky ukazují, že obsah Hg v půdě nezávisí na topné sezóně, ale na dlouhodobém uvolňování rtuti. V Budějovické oblasti je tento výskyt koncentrací rtuti v půdě dán především teplárnou na výrobu tepelné energie, kde je spalováno značné množství hnědého uhlí. Vzorky z okolí vlakového nádraží a krematoria nevykazovaly přítomnost velkého množství rtuti, ale protože jsou v blízkosti teplárny, rtuť se zde objevuje.

V této bakalářské práci bylo také zjištěno, že se v malém množství rtuť uvolňuje i ze zubních amalgámových výplní. Výsledky ukazují, že se může z jedné výplně uvolnit až 34,6 μg Hg za rok. Evropská komise SCENIHR a WHO uvádí denní příjem rtuti z výplně v rozsahu 3-17 μg Hg za den. Uvolňování rtuti je dáno stářím, složením a

povrchem výplně. A také zejména způsobem čištění zubů a žvýkáním. Díky těmto parametrům existují velké rozdíly v odhadech denního příjmu rtuti. Výsledky koncentrací a uvolňovaných množství rtuti v této práci, která zkoumá působení samotných slin a nikoliv ostatních výše zmíněných faktorů, se pohybují pod stanoveným limitem, avšak nejedná se o zanedbatelná množství.

V této práci byly měřeny vzorky konvenčního paliva a ekologicky vyráběného paliva ze zbytků zemědělských plodin a pícnin. A také dřevěné brikety. U ekopaliva a dřevěných briket se koncentrace Hg pohybovala v rozmezí 0,07 – 0,14 mg/kg. U konvenčního paliva v této práci konkrétně hnědé uhlí byla hodnota 0,34 mg/kg. Je zde patrné, že z hlediska přítomnosti rtuti by bylo do budoucna lepší se zaměřit na ekologicky vyráběná paliva.

Všechny měřené vzorky v této bakalářské práci byly ve shodě s legislativou a s daty jiných státních a mezinárodních institucí a kontrolními úřady. Dnes už víme, že působení rtuti na lidský organismus je velmi nebezpečné a proto jsou ve světě a Česká republika je součástí, řešeny otázky monitoringu a eliminace rtuti. V některých státech je již rtuť k určité výrobě zakázána.

Konzumace ryb dle výsledků nepředstavuje z hlediska obsahu rtuti značné riziko pro zdravotní stav obyvatelstva. Výsledky však potvrdily, že by konzumace měla být množstevně omezena, zvláště u některých skupin a to u dětí a těhotných a kojících žen. Z výsledků měření amalgámových výplní je patrné, že se rtuť uvolňuje, ale s porovnáním mezinárodních institucí ne v míře ohrožující zdraví obyvatelstva. Bylo doporučeno používat takovou zubní výplň, která je vhodná pro konkrétního pacienta a jeho potřeby (amalgám, alternativní výplň). Zdraví ohrožující mohou být emise rtuti ze spalování fosilních paliv, což potvrdily výsledky měření. Hnědé uhlí obsahovalo srovnatelné množství rtuti, které bylo naměřeno v půdě v okolí teplárny. Proto by bylo vhodné zamyslet se nad materiálem používaným k výrobě tepelné a elektrické energie. A v celosvětovém měřítku používání omezit tak, abychom se nemuseli setkávat ani s minimálním množstvím rtuti.

## 5. Seznam literatury

1. ALTEC Ltd., 2000. *AMA 254 Advanced Mercury Analyser, Návod na obsluhu*. Praha: Altec s.r.o.
2. ANDĚL, P., ©2017. *Ekotoxikologie terestrického ekosystému*. [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: [slideplayer.cz/slide/4208566/](http://slideplayer.cz/slide/4208566/)
3. BARDODĚJ, Z., 1999. *Úvod do chemické toxikologie*. Praha: Karolinum. ISBN 80-7184-978-2
4. CIBULKA, J., 1991. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře*. Praha: Academia. 427s. ISBN 120.00
5. ČERNOHORSKÝ, T., JANDERA, P., *Atomová spektroskopie*. 1997. Skripta. Upa.
6. ČESKÁ STOMATOLOGICKÁ KOMORA., 2008. *Stanovisko České stomatologické komory k používání amalgámu*. LKS číslo 5, 2008. s 145. ISSN 1210-3381
7. EC.EUROPA.EU., 2016. *Mercury strategy*. [online]. [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/infoRequest.pdf>18
8. EDU našli net., ©2017. *Rtuť, využití, těžba*. [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://edu.nasli.net/rtut/>
9. EKOVER., ©2017. *Typy paliv Ekover*. [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://ekover.cz>
10. ENVIWEB., ©2017. *České teplárny čekají investice do technologie odstraňování rtuti z emisí a měření*. [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: [enviweb.cz/clanek/archiv/107969](http://enviweb.cz/clanek/archiv/107969). ISSN 1803-6686

11. EUROPEAN POLLUTANT REGISTER PRTR., 2006. *Příručka pro provádění evropského PRTR*. [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: [prtr.ec.europa.eu/downloadguidancecz\\_prtr.pdf](http://prtr.ec.europa.eu/downloadguidancecz_prtr.pdf)
12. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY., 2008. *Mercury as undesirable substance in animal feed<sup>1</sup> Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain*. [online]. EFSA journal. [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2008.654/epdf>
13. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY., 2012. *Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food*. [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: [europa.eu/en/efsajournal/doc/10\(12\):2985.pdf](http://europa.eu/en/efsajournal/doc/10(12):2985.pdf)
14. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY., 2015. *Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood*. [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: [europa.eu/en/efsajournal/doc/efsajournal2015;13\(1\):3982](http://europa.eu/en/efsajournal/doc/efsajournal2015;13(1):3982)
15. FARA, M., MITERA, J., VRUBEL, J., SZOMOLANYIOVÁ, J., Michálek, P., Bureš, P., Kurfürst, V., Tichý, J., Svoboda, M., Holoubek, K., 1997. *Výzkum a vývoj vědeckých podkladů kvantifikace znečištění ovzduší v ČR*. [online]. Projekty a vývoje a studie. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: [mzp.cz/ris/vis MŽP VaV520/1/97](http://mzp.cz/ris/vis/MŽP_VaV520/1/97)
16. GOTBERG, A., GREGER, M., 2006. *Formation of methyl mercury in an aquatic macrophyte*. Chemosphere. vol.65.pp.2096-2105
17. GLOBAL MERCURY ASSESMENT., 2010. *Overview of MSC-E activity in Hg pollution*. [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://msceast.org/documents/mercury.pdf>



18. HOUSEROVÁ, P., JANÁK, K., KUBÁŇ, P., PAVLÍČKOVÁ, J., KUBÁŇ, V., 2006. *Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech - vlastnosti, úrovně, koloběh a stanovení*. Chemické listy. 100.862-876
19. INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ., ©2012 *Rtuť a sloučeniny (jako Hg)*. [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://IRZ.cz/node/88>
20. IOMC, UNEP chemicals., 2008. *Guidance for indentifying Populations at risk from Mercury exposure*. [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: [IdentifyingPopnatRiskExposuretoMercury\\_2008web.pdf](#)
21. KAFKA, Z., PUNČOCHÁŘOVÁ, J., 2002. *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita*. Chemické listy 96, 611-617
22. KOMÁREK, J., 2000. *Atomová absorpční spektrometrie*. 1. vydání. Brno. Masarykova univerzita, 85. s
23. KREMATORIUM ČB. © 2011. *Historie krematoria v Čb*. [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://krematoriumcb.cz>
24. KRŠKOVÁ – BATÁRIOVÁ, A., ČERNÁ, M., PUKLOVÁ, V., 2009. *Obsah rtuti v krvi a v moči dětí a dospělých*. [online]. Státní zdravotní ústav, Praha, Centrum odborných činností. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: [szu.cz/publikace/monitoring-zdravi-a-zivotniho-prostredi\\_obsah-v-krvi-a-v-moci-deti-a-dospelych.pdf](http://szu.cz/publikace/monitoring-zdravi-a-zivotniho-prostredi_obsah-v-krvi-a-v-moci-deti-a-dospelych.pdf)
25. KRUŽÍKOVÁ, K., RANDÁK, T1., KENŠOVÁ, R., KROUPOVÁ, H., LEONTOVYČOVÁ, D., SVOBODOVÁ, Z., 2008. *Mercury and Methylmercury Concentrations in Muscle Tissue of Fish Caught in Major Revirs of the Czech Republic*. [online]. ACTA.VET. BRNO. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://avb.77:637-643;doi:10.2754/avb200877040637.pdf>
26. MADER, P., ČURDOVÁ, E., 1997. *Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků*. Chemické listy 91. s. 227-236. ISSN 1213-7103

27. MŽP., ©2008-2015. *Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států CLRTAP*. [online]. [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: [http://mzp.cz/cz/umluva\\_o\\_dalkovem\\_znecistovani\\_ovzdusi](http://mzp.cz/cz/umluva_o_dalkovem_znecistovani_ovzdusi)
28. NAVRÁTIL, T., ROHOVEC, J., 2014. *Rtuť minulost a současnost tekutého kovu*. Vesmír 93, [online]. [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: [http://vesmir.V201407\\_430-437\(2\).pdf](http://vesmir.V201407_430-437(2).pdf)
29. PACYNA, E.G., PACYNAa, J.M., SUNDSETH, K., MUNTHER, J., WILSON, S., STEENHUISEN, F., MAXON, P., 2010. *Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020*. Atmospheric Environment, 40(20): 2487-2499.
30. PETRLÍK, J., VÁLEK, P., © 2014. *Rtuť* [online]. Arnika [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://arnika.org/mercury>
31. PITTER, P., 1999. *Hydrochemie*. Praha. VŠCHT. ISBN 80-03-00525-62
32. PIRRONE, N., CINNIRELLA, S., FENG, X., FINKELMAN, RB., FRIEDLI, HR., LEANER, J., 2010. *Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources*. Atmospheric Chemistry and Physics. [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://atmos-chem-phys.net/10/5951-5964>
33. PRÁŠILOVÁ, J., KAMENÍČEK, J., (eds). 2013. *Vybrané kapitoly z průmyslové chemie*. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN. 978-80-224-3976-1.
34. RITZ, M., BARTOŇOVÁ, L., KLIKA, Z., 2003. *Emise těžkých kovů a polyaromatických uhlovodíků při spalování uhlí v průmyslových a malých topeništích*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské- Technické univerzity Ostrava, Řada hornicko-geologická. Volume XLIX (2003), No. 1, p. 69-82, ISSN 0474-8476

35. SALMINEN, R., 2005. *Geochemical Atlas of Europe – part 1 Background Information, Methodology and Maps*. [online]. [cit. 2017-04-14]. ISBN 951-690-913-2. Dostupné z: <http://gsf.fi/publ/foregsatlas/>.
36. SELIN, N. E., 2009. *Global Biogeochemical Cycling of Mercury: Annual Review*. 43-63. DOI. 10.1146/annurev.environ.051308.084314
37. SCIENTIFIC COMMITTEES SCENIHR., © 2015. *The safety of dental amalgam and alternative dental restoration materials for patients and users*. [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: [ec.europa.eu/scenihp/amalgam.pdf](http://ec.europa.eu/scenihp/amalgam.pdf). ISSN 1831-4783 doi: 10.2772/42641
38. ŠTEFANIDESOVÁ, V., TREFILOVÁ, T., 2003. *Formy výskytu rtuti v kontaminovaných půdách a říčním sedimentu*. Sborník VŠB. Technická univerzita Ostrava. Řada hornicko-geologická. 105-116
39. TICHÝ, M., 2004. *Toxikologie pro chemiky*. Praha. Karolinum. ISBN 80-246-0566-X
40. TEPLÁRNA ČESKÉ BUDĚJOVICE., 2016. *Výroba a distribuce tepla*. [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://teplarna-cb.cz>
41. TUČEK, M., 2006. *Současná zdravotní rizika expozice rtuti a jejím sloučeninám*. Praha. 1. Lékařská fakulta UK.
42. TUČEK, M., BENCKO, V., KRÝSL, S., 2006. *Zdravotní rizika rtuti ze zubních amalgámů*. Chemické listy 101, 1038-1044
43. URBAN, P., 2006. *Aktuální problémy neurotoxicity rtuti*. Praha. Centrum pracovního lékařství, Státní zdravotní ústav. Neurol.pro.praxi, 5:251-253
44. WHO, Environmental Health Criteria 2003 : ELEMENTAL MERCURY AND INORGANIC MERCURY COMPOUNDS:HUMAN HEALTH ASPECTS.

1211 Geneva27. [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z:  
[http://www.who.int/pcs/pubs/pub\\_cicad.html](http://www.who.int/pcs/pubs/pub_cicad.html)

## 6. Přílohy

Příloha č. 1 tabulky výsledů měření

Tabulka č. 4 Výsledky koncentrace rtuti v rybách a rybích produktech.

Číslo vzorku	Název vzorku	Koncentrace Hg [mg/kg] v rybí svalovině
1	Pangasius	0,0088
2	Candát	0,0677
3	Treska tmavá	0,0716
4	Platýz černý	0,1329
5	Tuňák v rostlinném oleji (konzerva)	0,0636

Tabulka č. 5 Výsledky koncentrace rtuti v půdě v jednotlivých lokalitách odebrané v zimním a letním období.

Číslo vzorku	Název vzorku	Koncentrace Hg [mg/kg] v půdě (letní sběr)	Koncentrace Hg [mg/kg] v půdě (zimní sběr)
6	Půda lokalita vlakové nádraží	0,1745	0,0933
7	Půda lokalita krematorium	0,0866	0,1025
8	Půda lokalita teplárna	0,3109	0,2387
Blank	Půda lokalita Hluboká nad Vltavou	0,0925	0,0892

Tabulka č. 6 Výsledky koncentrace rtuti v zubních výplních

<b>Číslo vzorku</b>	<b>Název vzorku</b>	<b>Navážka vzorku [g]</b>	<b>Objem slinného roztoku [l]</b>	<b>Koncentrace Hg [mg/l] v zubních výplních</b>
<b>9</b>	<b>Zubní amalgám</b>	<b>0,0197</b>	<b>0,005</b>	<b>0,0088</b>
<b>10</b>	<b>Zubní amalgám</b>	<b>0,3805</b>	<b>0,005</b>	<b>0,0716</b>
<b>11</b>	<b>Zubní amalgám</b>	<b>0,1017</b>	<b>0,005</b>	<b>0,1329</b>

Tabulka č. 7 výsledky koncentrace rtuti v palivu

<b>Číslo vzorku</b>	<b>Název vzorku</b>	<b>Koncentrace Hg [mg/kg]</b>
<b>12</b>	<b>Palivo Ekover S1</b>	<b>0,0711</b>
<b>13</b>	<b>Palivo dřevěné brikety</b>	<b>0,1437</b>
<b>14</b>	<b>Palivo uhlí kostka</b>	<b>0,338</b>

## Seznam použitých zkratk

AAS	atomová absorpční spektrometrie
AFS	atomová fluorescenční spektrometrie
AMA	jednouúčelový atomový absorpční spektrometr
ANSES	Francouzský úřad pro potraviny, životní prostředí, ochranu zdraví při práci A bezpečnost
BW	body weight (tělesná hmotnost)
CLRTAP	úmluva Evropské hospodářské komise o dálkovém znečišťování ovzduší překračující hranice států (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
CONTAM	Vědecký výbor pro kontaminující látky v potravinovém řetězci (Panel on Contaminants in the Food)
ČR	Česká Republika
DHA	kyselina dokosahexanová
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority)
EMEP	Evropský monitorovací a hodnotící program (European Monitoring and Evaluation Programme)
EPER	Registr emisí znečišťujících látek (European Pollutant Emission Register)
E-PRTR	Evropský registr úniků a přenosů znečišťujících látek (European Pollutant Releases and Transfer register)
EPA	kyselina eikosapentaenová
EU	Evropská Unie (European Union)
ICP-OES	optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
IOMC	Program pro nakládání s chemickými látkami (The Inter-Organization Programme For The Sound Management of Chemicals)
IRZ	Integrovaný registr znečištění
JECFA	Expertní výbor pro kontaminující látky v potravinovém řetězci (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)
LOD	mez detekce

	(Limit of detection)
LOQ	mez kvantifikace (Limit of quantification)
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OSN	Organizace spojených národů (United nations)
SCENIHR	Vědecký výbor pro vznikající a nově zjištěná zdravotní rizika (Scientific Committee on Emerging and newly Identified Health Risk)
SCHER	Mezinárodní vědecký výbor při Evropské komisi (Health and Environmental Risk)
UNEP	Program OSN pro životní prostředí (United Nations Environment Programme)
USA	Spojené státy Americké
USEPA	Agentura pro ochranu životního prostředí USA (United States Environmental Protection Agency)
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)