

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

HANA BAČINOVÁ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

KOLOBĚH RTUTI V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petra Kubínová Ph.D.

Bakalant: Hana Bačínová

2011

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením Ing. Petry Kubínové Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 29.4. 2011

.....

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce shrnuje základní informace o vlastnostech rtuti a jejích sloučenin. Rtuť se jakožto jedna z nejdůležitějších škodlivin podílí na kontaminaci životního prostředí. Vyskytuje se ve formě elementární, anorganické a organické. Nalezneme ji v mnoha výrobcích, materiálech a tudíž i v odpadech. Její pohyb v prostředí ovlivňují přírodní procesy, v současné době je ale koloběh rtuti výrazně ovlivněn lidskou činností. Předmětem práce je tedy popis hlavních vstupů rtuti do jednotlivých složek životního prostředí, zejména do vodního a terestrického ekosystému. Vzhledem k toxickým účinkům rtuti je pozornost dále věnována způsobům, jakým se rtuť může dostat do organismu (požitím, inhalací nebo difuzí pokožkou), a chemickým formám, ve kterých je organismem přijímána. Závěrem je pozornost věnována možnostem omezení úniků tohoto toxického těžkého kovu a jeho sloučenin do prostředí, vyplývajícím z jeho antropogenního využívání.

## **Klíčová slova**

rtuť, životní prostředí, formy výskytu, antropogenní zdroje, přírodní zdroje, intoxikace, epidemie

## **Abstract**

This bachelor thesis summarizes basic information about the character of mercury and its compounds. Mercury is one of the most considerable pollutants, which contaminates the environment. It occurs in elementary, inorganic and organic forms. We find it in a lot of products, materials and therefore, in wastes. Its movement in the environment is influenced by natural processes, but nowadays the mercury cycle is affected by human activities. So the main theme is to show how mercury joins in the individual compounds of the environment, especially in the water ecosystem and terrestrial ecosystem. In regard of toxic effects of mercury attention is paid also to ways mercury could get to the organism (ingestion, inhalation or diffusion through the skin), and chemical forms, in which is attained by the organism. In conclusion attention is paid to the possibility of limitation of the escape of this toxic heavy metal and its compounds into the environmental, resulting in its anthropogenic use.

## **Keywords**

mercury, environment, forms of occurrence, anthropogenic sources, natural sources, intoxication, epidemic

# Obsah

<b>Abstrakt</b> .....	<b>4</b>
<b>Klíčová slova</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Keywords</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>10</b>
1.1. Cíle.....	10
1.2. Metodika.....	11
<b>2. Těžké kovy a jejich vliv na životní prostředí</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Rtuť</b> .....	<b>15</b>
3.1. Fyzikálně – chemické vlastnosti.....	15
3.2. Izolace .....	16
3.3. Reakce s kyselinami .....	17
3.4. Halogenidy .....	17
3.5. Oxidy .....	18
3.6. Methylace .....	18
3.7. Využití rtuti.....	19
<b>4. Formy výskytu</b> .....	<b>20</b>
4.1. Elementární rtuť.....	20
4.1.1. Kovová rtuť.....	20
4.1.2. Páry rtuti.....	21
4.2. Anorganické sloučeniny rtuti .....	21
4.2.1. Kalomel .....	21
4.2.2. Cinabarit .....	22
4.3. Organické sloučeniny rtuti .....	22
4.3.1. Methylrtuť .....	22
<b>5. Koloběh rtuti</b> .....	<b>23</b>

5.1.	Zdroje Hg v prostředí .....	24
5.2.	Pohyb rtuti ve vodním ekosystému .....	25
5.3.	Pohyb rtuti v terestrickém ekosystému .....	27
<b>6.</b>	<b>Vliv rtuti .....</b>	<b>33</b>
6.1.	Na organismy .....	33
6.2.	Zdravotní rizika rtuti .....	34
6.2.1.	Expozice methylrtuti z ryb .....	35
6.2.2.	Expozice parám elementární rtuti uvolňované z amalgámových zubních výplní.....	36
6.2.3.	Expozice thiomersalu z vícedávkových balení vakcín .....	38
6.2.4.	Ostatní zdravotní rizika .....	38
6.3.	Epidemie otrav methylrtutí .....	39
6.3.1.	Minamata.....	39
6.3.2.	Irák .....	40
<b>7.</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>41</b>
	<b>Závěr.....</b>	<b>43</b>
	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>44</b>

# 1. Úvod

Rtuť a její sloučeniny provázejí člověka již velice dlouho. Sloučeniny rtuti patří mezi jedny z nejtoxičtějších látek vyskytujících se v životním prostředí. Nachází se ve všech složkách životního prostředí, včetně potravního řetězce. Můžeme je nalézt třeba v půdě, horninách, ve vodním ekosystému, atmosféře, ale také v organismech. Několik forem rtuti se vyskytují v životním prostředí. Elementární rtuť je lesklá kapalina, která se běžně používá v teploměrech. Elementární rtuť a její sloučeniny se uvolňují do vzduchu především při dolování, při získávání zlata a při spalování uhlí. Přirozeně se rtuť vyskytuje především jako rumělka (cinabarit, HgS). Rtuť, která se ocitne v životním prostředí, v něm zůstává již natrvalo. Časem dochází pouze k přeměnám její formy. Rtuť se používá v různých průmyslových odvětvích, v zemědělství, v laboratorní technice i v lékařství. V dnešní době se ustupuje od užívání rtuti při výrobě zářivek, teploměrů a ostatních zařízení. Postupně se sice nahrazuje jinými prvky podobných vlastností, ale stále jí významné množství uniká do životního prostředí. Celá řada organizací podporuje výzkumy zaměřené na sledování koncentrace jednotlivých sloučenin rtuti, jejich zdrojů a především vlivů na lidský organismus. V České republice existuje zvýšené riziko výskytu rtuti v životním prostředí.

## 1.1. Cíle

Základním cílem předkládané bakalářské práce je charakteristika koloběhu rtuti v přírodě. Dílčím cílem práce je popis fyzikálně-chemických vlastností rtuti a charakteristika chemických forem výskytu rtuti v přírodě, důležitých k pochopení geochemického koloběhu tohoto prvku. Mým úmyslem je zabývat se především koloběhem rtuti v životním prostředí, což je základní otázka této práce, a dále vlivem rtuti na zdraví člověka. S ohledem na značnou toxicitu sledovaného prvku je pozornost věnována rovněž popisu vlivu rtuti na živé organismy. Ty jsou ostatně součástí potravního řetězce končícího u člověka. Konkrétně je pak práce zaměřena na zdroje expozice Hg a na popis hlavních epidemií otrav rtuťí ve světě.



## 1.2. Metodika

Při výběru tématu pro mou bakalářskou práci jsem zvolila téma z oboru environmentální chemie, konkrétně z oblasti těžkých kovů. V současné době se totiž právě tato problematika, a to zejména ovlivnění životního prostředí těžkými kovy, často řeší v nejrůznějších médiích. Vybrala jsem si téma koloběhu rtuti. Zpočátku jsem o rtuti měla pouze poznatky na úrovni středoškolské chemie. Původně jsem vyšla z učebnice chemie pro gymnázia a postupně jsem začala navštěvovat knihovny - univerzitní knihovnu ČZU, Národní knihovnu, Technickou knihovnu a Městskou knihovnu v Praze. V nich jsem vyhledávala knihy, jednotlivé práce a studie související s mým zadáním. Některé informace jsem získala vyhledáním a studiem odborných vědeckých článků na internetu. Posléze jsem nashromáždila všechny potřebné podklady a prostudovala jsem je. Vytvořila jsem si osnovu, podle které jsem začala sepsávat vlastní práci. Některé zdroje byly v angličtině, a tak jsem si příslušné články přeložila do češtiny. Pracovala jsem s texty, tabulkami, grafy a obrázky. Průběžně jsem text a postup konzultovala se svou odbornou konzultantkou.

## 2. Těžké kovy a jejich vliv na životní prostředí

Těžké kovy jsou v životním prostředí všudypřítomné (*Kafka a Punčochářová, 2002*). Valná část povrchu planety Země je kontaminována těžkými kovy v důsledku lidské činnosti (*Krabbenhoft a Richter, 1995*). Člověk kovy ani nestvořil, ani je nemůže zničit. Může ale významně přispět k jejich zvýšené mobilitě v životním prostředí, tak k jejich lokální akumulaci v některých částech zemského ekosystému. V současné době je stále významnější sledování a hodnocení jejich obsahu v jednotlivých složkách životního prostředí (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Ke kovům bychom mohli zařadit asi osmdesát prvků periodické soustavy, z nichž je přibližně třicet označováno jako kovy toxické, případně těžké. Toxické kovy při určitých koncentracích působí škodlivě na člověka a ostatní biotické složky ekosystému. V případě kovů nebezpečných pro biotu je užíván pojem těžké kovy, jedná se především o měď, zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, nikl, mangan a železo, a navíc také polokovy selen a arsen. Stopovými prvky jsou ty, které jsou přítomny v organismu nebo v životním prostředí ve velmi nízkých koncentracích, odpovídajících několika částicím v milionu částic okolního prostředí (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Těžké kovy nás provázejí celou dobu naší existence. Předpokládá se, že kovy patří k nejdéle známým toxickým látkám. První záznamy o použití olova jsou již z doby okolo 2000 let př. n. l. Tento kov byl hodně používán i ve starověku. Ve starém Egyptě byl využíván arsen jako aditivum do barev. Velmi dlouho je známé i škodlivé působení některých kovů na člověka a ostatní organismy. Jeden z nejstarších dochovaných lékařských záznamů je Ebersův papyrus z roku 1500 let př. n. l., který označuje některé sloučeniny olova, antimonu a mědi jako jedy. Ale řada kovů byla objevena mnohem později. Kadmium bylo poprvé získáno až v roce 1817 ze zinkové rudy, ve které se nachází jako doprovodný prvek (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Toxicita souvisí hlavně s koncentrací daného kovu v organismu. Pro některé organismy je dokonce nezbytná stopová koncentrace některých kovů. Příkladem mohou být esenciální prvky jako měď, zinek, chrom a železo, které jsou třeba součástí některých enzymů, jejichž nedostatek se může projevit závažným onemocněním (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

V životním prostředí jsou těžké kovy vázané v tuhé fázi a do koloběhu jsou přirozeně uvolňovány zvětrávacími procesy. Ovšem vlivem činnosti člověka může docházet k urychlení mobilizace těžkých kovů z půd či sedimentů vodních toků. Tento přechod kovů do rozpustné formy nastává především při nadměrně vysoké kyselosti mokré atmosférické depozice, rozpustné formy těžkých kovů jsou pak snáze přijatelné rostlinami a ohrožují zdroje pitné vody.

Vzhledem k mnohostrannému využití nejrůznějších sloučenin těžkých kovů existuje mnoho zdrojů a možností úniku těchto nebezpečných látek do všech složek životního prostředí. Jedná se o různá odvětví průmyslu i zemědělství, která mohou být jak lokálními, tak i celoplošnými zdroji těžkých kovů. Z toho vyplývá neúměrné zatěžování životního prostředí stále se zvyšujícím množstvím produkovaných odpadů, které často obsahují tento typ znečišťujících látek v nadlimitním množství (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Jedním z procesů, který ovlivňuje životní prostředí je spalování fosilních paliv, kdy může do atmosféry unikat pevná směs látek obsahujících sloučeniny olova, selenu a kadmia, rtuti a chromu často v nadlimitních koncentracích. V zemědělství jde o využití průmyslových hnojiv, zejména fosfátových, při jejichž aplikaci se do půd dostává především kadmium nebo olovo, a dále využití pesticidů (herbicidů, insekticidů a fungicidů), nezbytných pro zamezení poklesu zemědělské produkce, které se vyznačují rovněž nadměrným obsahem olova, arsenu, mědi, kadmia a rtuti (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Nejzávadnějším sociálně ekonomickým důsledkem znečištěného životního prostředí je poškozování zdraví obyvatelstva (*Cibulka, 1991*). Mnohostrannost těžkých kovů lze ukázat na toxicitě. Těžké kovy mohou být příčinou zažívacích potíží, různých dermatitid, nepříznivých změn v krevním obraze, poškození důležitých orgánů (mozku, jater, ledvin), rakovinných procesů atd. Určující veličinou pro metabolické chování a toxické působení kovu je jeho biologický poločas. Ionty kovů působí škodlivě uvnitř buněk a jejich negativní působení se vyjadřuje dávkou kovu, která do jednotlivých buněk pronikne. Jsou poškozována cílová místa, zejména buněčné membrány a orgány (*Kafka a Punčochářová, 2002*).

Zvýšenou činností člověka v posledních letech dochází k rychlým změnám a zásahům do řady přirozených procesů. Příklad je zmenšující se tepelné znečištění, počet kondenzačních jader, urychlují se toky látek a energií, dochází ke změnám ve složení plyných složek atmosféry, k mechanickému narušování vertikálních i horizontálních vzdušných mas, zanášení cizorodých látek a mnohé další.

V budoucnosti bude mít významné postavení dokonale fungující informační a vyhodnocovací systém. V dnešní době se vyznačuje nejednotnou metodologií a organizací. Chybí centrální řízení sledování základní soustavy ukazatelů. Nezbytnou součástí jednotného monitorovacího systému by mělo být i jednotné získávání a reprodukovatelné analytické výsledky. Statistika týkající se kvality životního prostředí vychází z velké části z hodnocení výsledků laboratorních analýz (Cibulka, 1991).

Na obr.č.1 můžeme vidět nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy jako je olovo, arsen, selen, měď, zinek, kadmium, rtuť, chrom a nikl. Z tohoto obrázku vyplývá obrovské množství kontaminace životního prostředí způsobené lidskou činností.

Těžký kov	Zdroje kontaminace
Olovo	úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přídavky do glazur, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv, automobilový provoz (používání olovnatého benzínu)
Arsen	zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství (hnojiva, insekticidy), kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo
Selen	zpracování rud, komunální odpady, spalování fosilních paliv, povrchové úpravy kovů, polovodiče
Měď	elektrotechnický materiál, slitiny (mosazi, bronzy), komunální odpad, chemický průmysl, zemědělství (fungicidy), měděné dráty a plechy
Zinek	galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny (mosazi, bronzy), zemědělství, komunální odpad, kouření
Kadmium	doprovodný kov v zinkových a olovených rudách, zemědělství (fosfátová hnojiva), pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, kouření
Rtuť	zpracování rud, zemědělství (herbicidy, fungicidy), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv
Chrom	chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, slitiny, spalování fosilních paliv
Nikl	úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy), kouření

Obrázek č.1: Nejdůležitější zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy (Kafka a Punčochářová, 2002).

### 3. Rtuť

Rtuť byla známa již ve středověku. Theophrastos ji nazýval „tekuté stříbro“ a Dioskorides „stříbrná voda“ (Pavelka a Schutz, 1974). Svůj název získala díky Merkurovi, poslovi bohů v římské mytologii. Z latinského názvu hydrargyrum, což znamená kapalné stříbro, je odvozen symbol Hg (Greenwood a Earshaw, 1993).

#### 3.1. Fyzikálně – chemické vlastnosti

Za obvyčejné teploty je rtuť stříbřitě lesklá, těžká kapalina. Vodí dobře elektrický proud a teplo. Teplem se pravidelně roztahuje a zvětšuje svůj objem. Již za obvyčejné teploty a tlaku se vypařuje. Při teplotě  $> 700^{\circ}\text{C}$  se vypařuje hlavně jako elementární rtuť. Její páry jsou prudce jedovaté. Páry rtuti v elektronickém výboji září oslnivým modrým světlem a vysílají i ultrafialové paprsky, díky tomu se používají do trubic horského slunce. Je to také velice těkavý prvek, který těká velmi rychle při  $100\text{--}600^{\circ}\text{C}$  jako chlorid rtuťnatý  $\text{HgCl}_2(\text{g})$  (Pelclová, 2009; Hartman a Trnka, 2008; Risher, 2003; Fabini a Vořechová, 1966).

V tab.č.1 můžeme vidět základní fyzikálně-chemické vlastnosti rtuti, které můžeme nalézt také v Mendělejevově tabulce prvků.

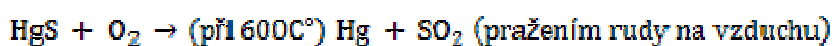
Atomové číslo:	80
Elektronová konfigurace:	(Xe) $4f^{14}5d^{10}6s^2$
Relativní atomová hmotnost:	200,59
Hustota:	$13,546 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Teplota tání:	$-38,89^{\circ}\text{C}$
Teplota varu:	$356,9^{\circ}\text{C}$

Tabulka č. 1. : Fyzikálně - chemické vlastnosti (McAullife, 1977; Pavelka a Schutz, 1974).

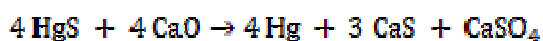
Rtuť vytváří širokou škálu sloučenin, které se liší jak svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, tak i svou toxicitou. Mezi nejdůležitější chemické formy rtuti náleží elementární (kovová) rtuť, rtuťné  $\text{Hg}_2^{2+}$ , rtuťnaté  $\text{Hg}^{2+}$  anorganické formy rtuti a organokovové sloučeniny rtuti. Dvojmocná rtuť vytváří mnohem větší množství chemických sloučenin než rtuť jednomocná. Patří mezi ně oxidy, sulfidy, halogenidy, soli silných oxokyselin (dusičnany, chloristany a sírany) a řada koordinačních sloučenin obsahujících především velmi stálé sulfidické vazby ( $\text{Hg}^{\text{II}}-\text{S}$ ) a dále vazby  $\text{Hg}^{\text{II}}-\text{X}$  a  $\text{Hg}^{\text{II}}-\text{N}$  (Houserová a kol., 2006). Rtuť se vyznačuje velmi silnou afinitou k síře. Proto se pevně váže na thiolové skupiny bílkovin včetně enzymů a negativně tak ovlivňuje jejich funkčnost (Kafka a Punčochářová, 2002).

### 3.2. Izolace

Nejjednodušší izolace rtuti probíhá tak, že zahříváme rumělku v ohni s chrastím. Kovová rtuť se poté nalézá v popelu. V dnešní době je vše daleko modernější, ale princip zůstává stejný. Ruda se rozdrťí a zkoncentruje se flotací, dále se praží v proudu vzduchu a pára se ochlazením zkondenzuje (Toužín, 2003; Greenwood a Earshaw, 1993; Klikorka a kol., 1985; Pavelka a Schutz, 1974).



Bohaté rudy se zpracovávají pražením se železným šrotem (Greenwood a Earshaw, 1993). Ruda se může také rozkládat za nepřístupu vzduchu pálením s oxidem vápenatým nebo tzv. srážením železem (Klikorka a kol., 1985).



Snadno oxidovatelné kovy (Fe, Cu, Zn) se odstraňují vháněním vzduchu do horké rtuti (jejich oxidy vytvoří strusku), nejčistší rtuť se získává vakuovou destilací (Toužín, 2003).

### 3.3. Reakce s kyselinami

Jakožto ušlechtilý kov reaguje jen s kyselinami, které mají oxidační účinky. Záleží na tom, zdali je kyselina přítomna v přebytku či není a na oxidačních schopnostech kyseliny (Klikorka a kol., 1985). Po reakci dochází k tvorbě rtuťných, nebo rtuťnatých solí. Například při rozpouštění rtuti v nepříliš koncentrované kyselině dusičné, nepoužije-li se tento roztok v přebytku, nastává reakce:



Koncentrovanější a v přebytku použitá kyselina dusičná, vede posléze k uskutečnění děje:



### 3.4. Halogenidy

Rtuť tvoří také halogenidy  $\text{HgF}_2$ ,  $\text{Hg}_2\text{F}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{HgBr}_2$ ,  $\text{Hg}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{HgI}_2$ ,  $\text{Hg}_2\text{I}_2$  (Greenwood a Earsahaw, 1993). Florid rtuťnatý  $\text{HgF}_2$  je bílá krystalická sloučenina, která ztmavne na vzduchu, díky hydrolyze. Dá se získat zahříváním  $\text{Hg}_2\text{F}_2$ . (McAullife, 1977). Florid rtuťný  $\text{Hg}_2\text{F}_2$  vzniká působením kyseliny fluorovodíkové na uhličitan rtuťný a ve vodě se rozpouští za současné hydrolyzy na černý oxid, což je směs oxidu rtuťnatého a rtuti (Toužín, 2003).

Vysoce toxický chlorid rtuťnatý  $\text{HgCl}_2$  je tvořen lineárními molekulami a lze ho získat reakcí oxidu rtuťnatého s kyselinou chlorovodíkovou nebo zahříváním chloridu sodného se síranem rtuťnatým



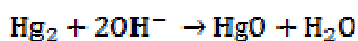
Ve vodě i v mnoha organických rozpouštědlech se chlorid rtuťnatý rozpouští, ale v roztoku je jen nepatrně ionizován. S vodným roztokem amoniaku poskytuje amid-

chlorid rtuťnatý  $\text{Hg}(\text{NH}_3)\text{Cl}$ , chlorid diamminrtuťnatý  $[\text{Hg}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$  a chlorid Millonovy baze  $\text{Hg}_2\text{NCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$  (Toužín, 2003).



### 3.5. Oxidy

Oxid rtuťnatý  $\text{HgO}$  je jediným oxidem rtuti. Lze ho připravit buď přímou syntézou, srážením rozpustných rtuťných i rtuťnatých solí hydroxidy alkalických kovů a nebo se získává tepelným rozkladem z  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .



Ve vodě se slabě bazický oxid rtuťnatý nerozpouští. Je z něj možno vytvořit Millonovu zásadu  $\text{Hg}_2\text{NOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , a to reakcí s vodným roztokem amoniaku s vlastnostmi měniče aniontů



Je tvořena trojrozměrnou sítí jednotek  $\text{Hg}_2\text{N}$ , stejně jako její soli  $\text{Hg}_2\text{NX}\cdot\text{H}_2\text{O}$  (Toužín, 2003).

### 3.6. Methylace

Mezi nejdůležitější transformační procesy rtuti ve vodních ekosystémech z toxikologického hlediska patří methylace (Winter, 2010; Houserová a kol., 2006).



Existují dvě základní cesty biochemické methylace rtuti – anaerobní (enzymatická) a aerobní (chemická). K methylaci dochází ve vrchních sedimentačních vrstvách dna moří, řek a jezer. Vytvořenou methylrtuť využívají živé organismy ve vodním prostředí, mění ji na plynnou dimethylrtuť, a ta je poté uvolňována do atmosféry. Dimethylrtuť může být v atmosféře přeměněna kyselými srážkami na sloučeniny methylrtuti, které se vracejí poté zpět do vodního prostředí. Methylrtuť může být rovněž demethylována, čímž je celý cyklus uzavřen (Tuček, 2006).

Methylrtuť tvořená v sedimentu dna oceánu a sladkých vod se potravním řetězcem dostává postupně až do organismu dravých ryb. Ten začíná fytoplanktonem, zooplanktonem, nedravými rybami a končí dravými rybami. Methylrtuť se akumuluje v rybách a má na ně poté toxické účinky (Winter, 2010; Houserová a kol., 2006; Tuček, 2006).

### 3.7. Využití rtuti

Přes tisíc let, až do roku 1500 po Kr. používali alchymisté rtuť na přeměnu obyčejného kovu na zlato. Almgám se používal ke zlacení i přípravě imitací zlata a stříbra (Heyrovský, 2000; Greenwood a Earshaw, 1993).

Chlorid rtuťnatý  $\text{HgCl}_2$  byl znám pod názvem „sublimát“ již ve středověku jako prudký jed. Váže se na bílkoviny a jeho smrtelná dávka je 0,2 až 0,4 g (Janků, 1980). Dříve se také používaly soli rtuti při výrobě plsti na klobouky. Přidávalo se  $\text{Hg}^{\text{II}}$  ke zředěné  $\text{HNO}_3$  k usnadnění zdrsnění zvířecí srsti. Prach vznikající ve špatně větraných dílnách při sušení plsti vede k nervové poruše známé jako „kloboučnický třes“ a je možné, že se z tohoto označení vyvinulo anglické rčení „bláznivý jako kloboučník“ (Heyrovský, 2000; Cibulka, 1996; Greenwood a Earshaw, 1993). Chlorid rtuťný  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  se dříve používal v lékařství jako projímadlo, ale jeho vážným nedostatkem bylo velké nebezpečí kontaminace rozpustnějším, silně jedovatým  $\text{HgCl}_2$  (Houserová a kol., 2006; Toužín, 2003).

Rtuť se také používá v měřících a kontrolních přístrojích jako jsou teploměry, manometry nebo jako flotující elektroda při elektrolýze kaustické sody a chloru a jako katalyzátor při výrobě plastů. Rtuť se také používala jako mořidlo obilí či ve fungicidech v zemědělství (Duriš, 2005).

## 4. Formy výskytu

V atmosféře jsou přítomny především těkavé formy rtuti (elementární rtuť a dimethylrtuť). Ve vodním prostředí jsou zastoupeny reaktivní anorganické formy ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{HgX}_2$ ,  $\text{HgX}_3^-$ ,  $\text{HgX}_4^-$ ), které jsou vázány na částice sedimentu a suspenze; nereaktivní komplexy organometalových ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ,  $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{HgOH}$ ) a anorganických forem ( $\text{HgCN}$ ,  $\text{HgS}$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$ ) jsou vázány na síru v huminových látkách (Houserová a kol., 2006; Maršálek, 2006).

V organokovových sloučeninách typu  $\text{RHg}^+$  a  $\text{RHgR}^-$  (R, R- je organický radikál) je rtuť kovalentně vázána na atom uhlíku, vazba uhlík-rtuť je chemicky stálá vzhledem k malé afinitě rtuti ke kyslíku. Také se odlišují různou toxicitou (Tuček, 2006; Kafka a kol., 2002).

### 4.1. Elementární rtuť

Elementární rtuť je také známá jako koloidní rtuť nebo kapalné stříbro. Je to nejvíce nestálá rtuť (Risher, 2003), jediný kov, který je při normální teplotě kapalný s poměrně vysokou tenzí par. Po použití je často vyloučena bez dopadu na organismus. Je to nejméně toxická forma rtuti. Nejběžnější sloučeniny jednomocné rtuti jsou halogenidy, které obsahují ion  $\text{Hg}_2^{2+}$  (Houserová a kol., 2006; Černá, 2004; Kafka a Punčochářová, 2002).

#### 4.1.1. Kovová rtuť

Kovová rtuť se při pokojové teplotě vyskytuje v kapalném stavu. Ve sloninách je mono- nebo di-valentní. Nebezpečí spočívá v možnosti převedení kovové rtuti methanogenními bakteriemi na velmi toxickou methylrtuť. Navíc se kovová rtuť kontinuálně odpařuje do ovzduší (Černá, 2004; Kafka a Punčochářová, 2002).

### 4.1.2. Páry rtuti

Skoro 90% atmosférické rtuti je ve formě par (*Risher, 2003*), které jsou téměř výhradně jednoatomové. Obecně platí, že nejnebezpečnější formou Hg pro lidský organismus jsou rtuťové páry a alkylртуťové sloučeniny s krátkými řetězci (*Houserová a kol., 2006; Černá, 2004*).

## 4.2. Anorganické sloučeniny rtuti

Anorganické sloučeniny rtuti jsou mírně toxické, přičemž sloučeniny jednomocné rtuti (rtuťné) jsou obecně méně škodlivé než sloučeniny rtuti dvojmocné (rtuťnaté). Je to především z důvodu jejich menší rozpustnosti ve vodě i v kyselém prostředí. Zvláště náchylné jsou vůči účinkům rtuti děti (*Kafka a Punčochářová, 2002*). Analýzy anorganických sloučenin jsou velmi těžce proveditelné zejména díky její těkavosti, což může způsobit ztrátu během separace kovu z její matrice (*McAullife, 1977*).

Hutnická rtuť je vždy více či méně znečištěna. Nejprve se musí vyčistit filtrací přes kůži, a tím se zbaví mechanických nečistot. Pak se odstraní různé rozpuštěné kovy tím, že se rtuť necháme v tekutém pramínku protékat vysokou vrstvou zředěné kyseliny dusičné nebo okyseleného roztoku dusičnanu rtuťného (*Pavelka a Schutz, 1974*).

### 4.2.1. Kalomel

Kalomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) je příkladem důležité rtuťné sloučeniny. Chlorid rtuťný je poměrně málo rozpustný ve vodě ( $2 \text{ mg l}^{-1}$  při  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), díky tomu je méně nebezpečný než ostatní ve vodě lépe rozpustné sloučeniny rtuti (*Houserová a kol., 2006*).

## 4.2.2. Cinabarit

Cinabarit (HgS) je významná ruda, která se nachází podél bývalé vulkanické činnosti, další známé minerály jsou vzácné. Velice známá naleziště jsou ve Španělsku (Almadém) a v bývalém SSSR, Alžírsku, Mexiku, USA, bývalé Jugoslávii a Itáli (Geenwood a Earshaw, 1993; Klikorka a kol., 1985; Pavelka a Schutz, 1974; Toužín, 2003). Rtuť se ze své rudy cinabaritu získává daleko snadněji než zinek a v oblasti Středozeří byla používána pro extrakci kovů amalgamací již 500 let př. n. l., možná ještě dříve. Cinabarit se ve středověku hojně používal jako pigment (rumělka) (Heyrovský, 2000).

## 4.3. Organické sloučeniny rtuti

Organokovové sloučeniny rtuti obsahují jeden nebo dva uhlovodíkové zbytky navázané na atom kovu a vytváří tak sloučeniny typu  $\text{RHgX}$  nebo  $\text{RHgR}'$ , kde R a R' představují uhlovodíkové zbytky (nejčastěji  $\text{CH}_3^-$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5^-$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5^-$ ) a X anion nejčastěji halogenid, dusičnan a sulfid nebo síran. Tyto sloučeniny rtuti jsou poměrně často vytvářeny v životním prostředí z anorganických forem rtuti. Dochází k nim mechanismem neenzymatického přenosu, methylové skupiny z methylkobalaminu ( $\text{CH}_3\text{B}_{12}$ ) na  $\text{Hg}^{2+}$  (Houserová a kol., 2006).

### 4.3.1. Methylrtuť

Methylrtuť ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) je nejtoxičtější forma rtuti. Forma rtuti, která je nejvíce snadno bioakumulována v organismech. Je toxická a hromadí se v potravním řetězci. Methylrtuť se skládá z methyl skupiny vázané na jeden atom rtuti. Ta je tvořena v prostředí především procesem zvaným biomethylace (USGS, 2010).

## 5. Koloběh rtuti

Rtuť jakožto globální polutant se vyskytuje ve všech složkách životního prostředí. Je součástí celé řady komplexních biogeochemických cyklů v životním prostředí. Cykly sloučenin rtuti se neustále opakují. Jen část rtuti se váže na nerozpustné sloučeniny nebo se akumuluje do vodního potravního řetězce (*Houserová a kol., 2006*).

Vědecké kruhy projevují obavu, že změny globálního klimatu povedou i ke změnám koloběhu rtuti v prostředí. Očekává se také rozptyl a snížení původně již uložené rtuti v podobě chemické časované bomby. Zaplavovaná pobřežní území mohou být zdrojem rizika kontaminace ryb rtutí v důsledku zvýšené methylace rtuti, také v jezerech lze očekávat obrovské změny v procesech methylace a demethylace rtuti a její bioakumulaci. V tropických a arktických ekosystémech může globální oteplování způsobit expozici nejcitlivějších organismů rtuti. Významným zdrojem znečištění prostředí rtutí je její výměna mezi ovzduším a povrchem v globálním biogeochemickém koloběhu a při důsledcích používání rtuti při získávání zlata v deštných pralesech (*Tuček, 2006*).

V atmosféře je přes 95% rtuti přítomno ve formě elementární rtuti  $\text{Hg}^0$ . Dochází nejčastěji k oxidaci elementární rtuti ozonem, kdy spolu působí hydroxylové radikály a vzniká oxid rtuťnatý. Přibližně jen 5% atmosférické rtuti je navázáno na částičky, které v atmosféře přetrvávají kratší dobu než volná rtuť a ukládají se na zemi v podobě suchého nebo mokrého spadu. Rtuť, která je přítomna v atmosféře, vlivem cirkulace vzdušných mas může být deponována ve značné vzdálenosti od zdroje. Oxidové formy rtuti jsou z atmosféry vymývány dešťovými srážkami (*Houserová a kol., 2006*). Vzdálenost je skoro 100 až 1000 km od zdroje znečištění. Následně jsou deponovány do půdy nebo do vody. Díky působení mikroorganismů obsažených v půdě nebo v bahně pod vodní hladinou se velmi snadno transformuje elementární rtuť (i v solích vázaná) na organokovové sloučeniny s monomethyl-, dimethyl-, ethyl-, fenyl- nebo s obdobným radikálem. Rtuť, která je chemicky vázaná, má schopnost bioakumulace (*Černá, 2004*).

## 5.1. Zdroje Hg v prostředí

Přírodní zdroje zahrnují vulkanickou činnost nebo zvětrávání hornin, uvolňování rtuti z vodního prostředí a vegetace. Lidské aktivity naproti tomu způsobují dvojnásobnou až trojnásobnou množství rtuti vstupující do atmosféry a každým rokem tato zátěž stoupá (ČHMÚ, 2008; Černá, 2004; Krabbenhoft a Richert, 1995.).

V zemské kůře se rtuť vyskytuje především ve formě různých siřníků i jako kovová rtuť. Vzhledem k vysoké toxicitě rtuti a jejích sloučenin je trvale věnována značná pozornost sledování tohoto prvku v ovzduší, ve vodách a v potravinách. Značná část rtuti v potravě, nejvíce v živočišných produktech a v rybách, je ve formě methylrtuti (Tuček, 2006).

Antropogenní působení je zdrojem rtuti např. při spalování fosilních paliv nebo při prosté manipulaci s kovovou rtuťí či jejími sloučeninami v technologických procesech směřujících k výrobě produktů nebo jejich likvidaci. Dále mezi ně patří vznik při průmyslové výrobě chlóru a hydroxidu sodného, v metalurgii, výrobě cementu a spalování odpadu (ČHMÚ, 2008; Černá, 2004).

Houserová a kol., (2006) uvádí, že mezi ně patří zejména vyluhování z hlušiny v lokalitách s aktivní i ukončenou těžbou rtuti, spalování uhlí a jiných fosilních paliv, výroba chlóru, vyluhování z odpadů obsahujících sloučeniny rtuti na skládkách, spalování odpadů ve spalovnách, kremace, vypouštění kontaminovaných komunálních vod, výroba cementu, tavení kovů, odpady z chemického průmyslu, používání fungicidně upravených semen a těžba vzácných kovů amalgamací. V dnešní době se těžba rtuti omezuje, ale i tak uniká do životního prostředí dvojnásobnou až trojnásobnou množství rtuti než tomu bylo v 18. století.

Tuček (2006) uvádí, že rtuť přirozeně cirkuluje v atmosféře. 30 000 až 150 000 tun rtuti je ročně uvolňováno do atmosféry ze zemské kůry a oceánů. 20 000 tun rtuti ročně se dostává do prostředí v důsledku lidské činnosti – spalováním fosilních paliv, odpadními vodami a průmyslovým užitím rtuti a jejích sloučenin. Sloučeniny rtuti se mohou kumulovat a transformovat v řadě vodních organismů, takže z anorganické rtuti vznikají zejména sloučeniny organické rtuti.

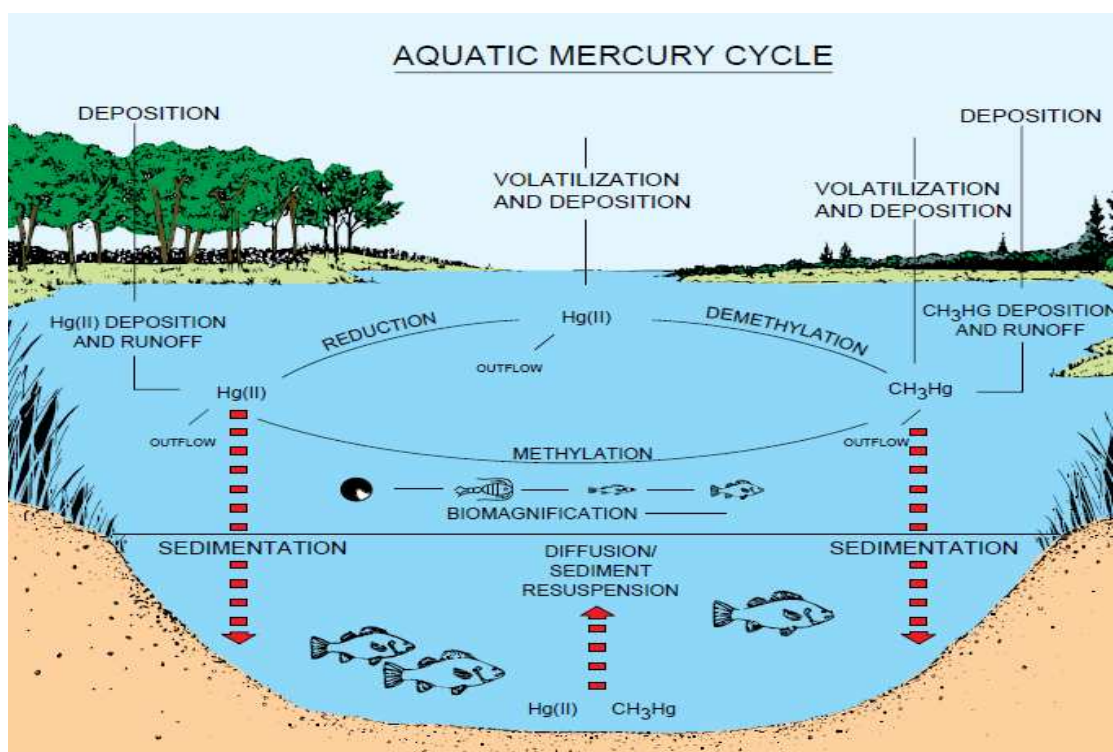
## 5.2. Pohyb rtuti ve vodním ekosystému

Výskyt a transport rtuti a jejích sloučenin ve vodních ekosystémech je poněkud odlišný od jiných těžkých kovů v důsledku vysoké reaktivity iontů rtuti se sloučeninami obsahující koncové –SH a alkylové skupiny. Rtuť se ve vodních ekosystémech vyskytuje ve velkém množství chemických forem, které se liší chemickými, fyzikálními i toxikologickými vlastnostmi. Z organokovových sloučenin rtuti se v biologických materiálech nejčastěji setkáváme s halogenidy methylrtuti, které mají významnou tendenci se akumulovat v potravních řetězcích, zvláště pak právě ve vodních ekosystémech (*Houserová a kol., 2006*).

Problém kontaminace vodních ekosystémů rtutí a jejími sloučeninami je všeobecně znám. Výzkum zaměřený jen na sledování koncentrace jednotlivých sloučenin rtuti, jejích zdrojů a vlivů na lidský organismus je podporován celou řadou organizací (*Houserová a kol., 2006*).

Ve vodě je v malém množství přítomna také rozpuštěná plynná rtuť, z níž více než 97% je elementární rtuť. Elementární rtuť a dimethylrtuť, těkavé formy rtuti, se z vodního prostředí snadno uvolňují do atmosféry. Naproti tomu iontové nebo komplexní sloučeniny rtuti jsou navázané na pevné částice, které klesají vodním sloupcem ke dnu a ukládají se v sedimentech. Methylrtuť, organické formy rtuti, snadno vstupují do potravních řetězců (*Houserová a kol., 2006*).

Schéma koloběhu rtuti ve vodním ekosystému je zobrazeno na obr.č.2 s výjimkami izolovaných případů bodových zdrojů. Atmosférická rtuť se dostává do vodního ekosystému srážkami. V povrchových půdách rtuť vstupuje do komplexního cyklu. Může se usazovat do sedimentů a později může být uvolňována. Poté vstupuje do potravního řetězce nebo se může vrátit zpět do atmosféry díky vulkanizaci. Koncentrace rozpuštěného organického uhlíku a pH může mít větší efekt na konečný osud rtuti v ekosystému. Mnoho vědců si myslí, že zvýšení kyselosti zlepšuje mobilitu rtuti v životním prostředí, čímž může snadněji vstupovat do potravního řetězce. Mnoho detailů z vodního cyklu rtuti zatím ale známo není. Přesný mechanismus, kterým vstupuje rtuť do potravního řetězce, z velké části neznáme a pravděpodobně je různý v odlišných ekosystémech. Ale víme, že ve všem mají velkou roli bakterie. Bakterie přijímají rtuť v její anorganické formě a díky metabolickému procesu ji přeměňují v methylrtuť.



Obrázek č.2.: Pohyb rtuti ve vodním ekosystému (Krabbenhoft a Richert, 1995).

Kontaminace vodních ekosystémů rtutí nejvýznamněji ovlivňuje organismy na nejvyšších trofických úrovních potravní pyramidy. Vysoké koncentrace rtuti v rybách, které mají celosvětově velký nutriční význam, mohou významně ovlivňovat jak zdraví člověka, tak i piscivorních ptáků. Např. bezobratlé organismy obsahují pouze kolem 50% celkové rtuti přítomné v podobě methylrtuti, na rozdíl od piscivorních ptáků, kteří mají ve svalovině až 95% obsahu celkové rtuti v podobě MeHg. Vysvětlením rozlišné koncentrace může být to, že piscivorní ptáci jsou v potravním řetězci výše než bezobratlé organismy, tím pádem se rtuť kumuluje více. Druhým vysvětlením může být to, že koncentrace rtuti stoupá s věkem jedince a piscivorní ptáci žijí déle než bezobratlý (Houserová a kol., 2006).



### 5.3. Pohyb rtuti v terestrickém ekosystému

Lesní ekosystém je z biologického hlediska společenství nižších organismů, rostlin a živočichů. Jeho vývoj je ovlivňován vnějšími vlivy jak po stránce klimatické, tak i chemické. Člověk ovlivňuje ekosystém díky zvýšenému přínosu různých chemických látek z jeho činnosti. Antropogenně ovlivňuje zdravotní stav lesů. Cizorodé látky se do lesů dostávají ve formě plyných sloučenin nebo aerosolů. Mohou padat rozpuštěné v dešťových a sněhových srážkách nebo v tuhé formě jako prachové částice. Mezi toxické prvky vstupující do lesního prostředí patří těžké kovy, které pocházejí jak z přírodních zdrojů tak i antropogenních (*Uhlířová a kol., 2002*).

Depozice těžkých kovů se sledují ve srážkové vodě pomocí vhodných bioindikátorů. Pro těžké kovy se ukázaly nejvhodnějšími bioindikátory například epifytické mechy nebo některé lišejníky a plodnice hub. Těžké kovy byly nalezeny také ve vnitřních orgánech i ve svalovině volně žijící zvěře, které ale nepatří mezi bioindikátory – bažanti, prase divoké, daněk, jelen, liška, kuna, srnec, zajíc a další (*Uhlířová a kol., 2002*).

#### 5.3.1. Kontaminace půdy rtutí

Obsah rtuti v půdě je dán především pedogenetickými procesy. Hlavním zdrojem obohacení půd rtutí jsou imise způsobné spalováním uhlí. Vlivem emisí při spalování fosilních paliv, vstupují do půdy imise různých látek, včetně Hg. Dalšími zdroji jsou čistírenské a městské kaly, použité k přípravě kompostů nebo přímému hnojení (*Cibulka, 1991; Ďuriš, 2005*).

V půdě se nachází elementární rtuť, která je charakterizována těkavostí a nízkou vodorozpustností, dále dvojmocná anorganická forma, která má vysokou afinitu k mnohým organickým a anorganickým ligandům. Rozdělení forem rtuti v půdách je závislá na půdním pH a redox potenciálu. Kationtová forma Hg může být snadno pohlcována půdou. Rtuť se uvolňuje z půdy těkáním. V případě mikrobiální methylace Hg v půdách mají methylované sloučeniny vyšší tenzi par a tím jsou

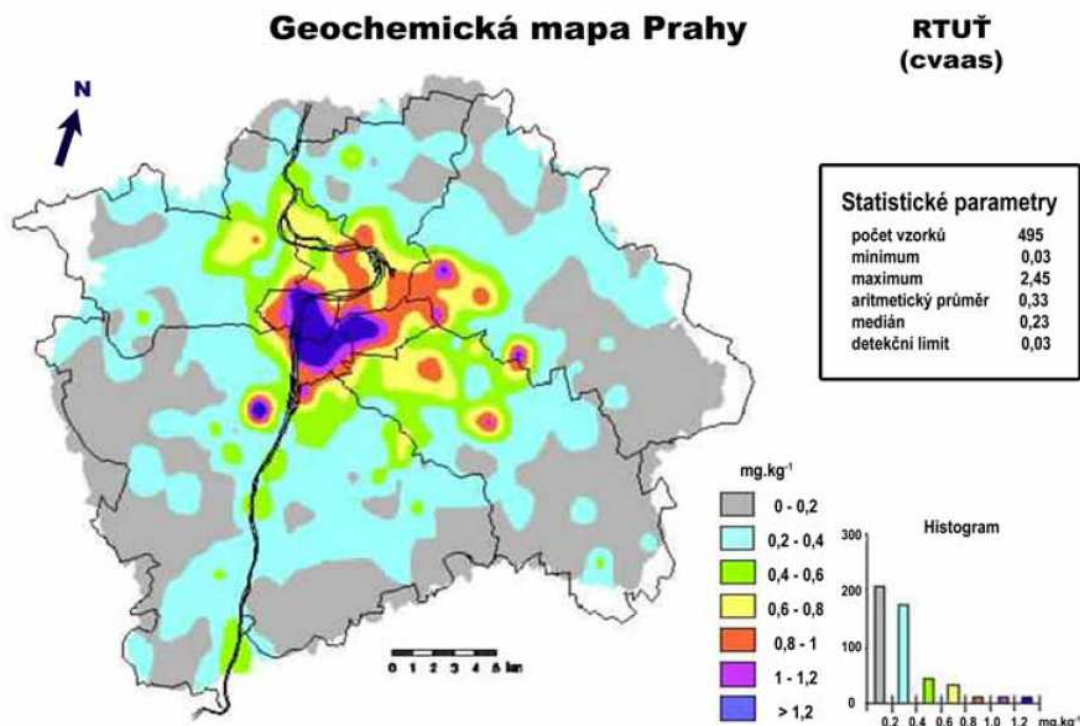
i více těkavé. Z atmosféry jsou transportovány zpět do půdy srážkami (*Cibulka, 1991*).

Alkylové sloučeniny rtuti jsou nejnebezpečnější, protože v důsledku jejich snadné rozpustnosti v lipidech a jejich vysoké stability velice snadno pronikají a akumulují se v lidských a živočišných tkáních, kde blokují vstup kyslíku. Rtuť má mnoho různých transformačních procesů, kdy je velice těžké předvídat jejich chování. Kationty rtuti mohou být snadno absorbovány ve složkách půdy. Může dojít ke vzniku nerozpustné HgS z kovové rtuti, což je podmíněno přítomností mikroorganismů (*Ďuriš, 2005*).

Vyšší obsah rtuti v půdách je vázán především na městské či průmyslové oblasti. V Praze, jakož to jedno z nejvíce průmyslově zatížených měst v České republice, bylo odebráno 495 vzorků pro vytvoření statistických parametrů (*tab.č.2*), dle nichž byla vytvořena geochemická mapa Prahy (*obr.č.3*). Vysoké koncentrace rtuti byly zjištěny především v centrální oblasti, dále v průmyslových čtvrtích (v Holešovicích, v Libni a Vysočanech). Směrem od centra aglomerace koncentrace rtuti v půdě klesá (*Ďuriš, 2005*).

Prvek	Prům. obsah		Obsah v pražských půdách				metoda stanovení	mez detekce
	zem. kůra	půdy ČR	min.	max.	ar. prům.	medián		
Hg	0,08	0,02-0,2	0,03	2,45	0,33	0,23	CVAAS	0,03

Tabulka č.2: Průměrný obsah Hg ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v půdě a srovnání s koncentracemi Hg v Praze (*Ďuriš, 2005*).



Obrázek č. 3: Geochemická mapa Prahy (Ďuriš, 2005).

### 5.3.2. Kontaminace rostlin rtuť

Těžké kovy patří mezi abiogenní prvky. Ty se mohou v rostlinách hromadit často i ve velkém množství. Rtuť nemá v metabolismu rostlin funkční postavení a řadu fyziologických i biochemických procesů ovlivňuje velice negativně. Proces bioakumulace závisí na faktorech vnějšího prostředí, jednak na:

- koncentraci kumulovaného iontu v prostředí a jeho formě,
- hodnotě pH prostředí,
- interakci s dalšími prvky,
- obsahu organických a dalších komplexotvorných látek,
- teplotě,
- šířce humusové vrstvy,
- na aktivitě mikroorganismů aj.

K posouzení množství škodlivých kovů v životním prostředí se používá biologický materiál, ten se používá pro účely přímé nebo nepřímé bioindikace. K přímé bioindikaci kovů se využívají některé druhy hub, lišejníků, mechorostů, suchozemských bylin, stromů nebo keřů. Nejlepším bioindikátorem jsou zřejmě mechorosty a lišejníky. Vzhledem k tomu, že nemají kutikulu, tak přijímají prvky přímo z atmosféry. Ve stélkách lišejníků byly vysoké koncentrace kovů nalezeny zejména v buněčných stěnách houbové složky. Nevýhodou je jen příliš velká citlivost, která jim v oblastech silnějšího znečištění nedovoluje přežít. V poslední době se začaly využívat tzv. mechové sáčky. Používá se rod *Sphagnum* (rašeliník), u něhož se na fyzikální retenci kovů podílejí zejména mrtvé hyalinní buňky. Po dokonalém očištění výchozího materiálu se vyjmají výměnné kationty roztokem slabé kyseliny. Rašeliník se vkládá do nylonových sáčků, které umožňují rovnoměrný příjem toxických látek z ovzduší (Houserová a kol., 2006; Cibulka, 1991).

Také mechorosty mají vysokou schopnost bioakumulace kovů. Příkladem je přirozený výskyt v substrátu rostlin, i přítomnost látek antropogenního původu, které pocházejí ze znečištěného prostředí. Akumulace kovů probíhá velice rychle (řádově v měsících) a ionty kovů jsou rychle vázány extrabuněčně v proteinu buněčné stěny (Liška, 2003).

Rostliny přijímají rtuť, nejčastěji přes kořenový systém, ve kterém ji také nejvíce akumulují. Schopnost rostliny akumulovat rtuť je omezená, protože ji nedokáží uvolnit z velmi pevných komplexů s huminovými kyselinami. S rostoucí povrchovou plochou vzrůstá u rostlin schopnost přijímat sloučeniny rtuti (Houserová a kol., 2006).

U rostlin kvůli působení rtuti dochází k redukci fotosyntézy v důsledku snížené syntézy chlorofylu, sníženého dýchání, příjmu vody a k omezení růstu kořenového systému. Způsobuje poruchy vnitřního uspořádání chloroplastů – thylakoidy nabývají vláknitého tvaru a paralelně probíhají celým vnitřním prostorem organely. Nápadné je též zvětšení endoplazmatického retikula a mitochondrií. Anorganické formy rtuti ovlivňují plasmovou membránu rostlin. Sloučeniny methylrtuti ovlivňují především metabolismus organel v cytoplasmě (Houserová a kol., 2006; Cibulka, 1991).

### 5.3.3. Kontaminace hub rtutí

Jsou rozlišovány dvě fáze vstupu cizorodých látek do hub (*Cibulka, 1996*):

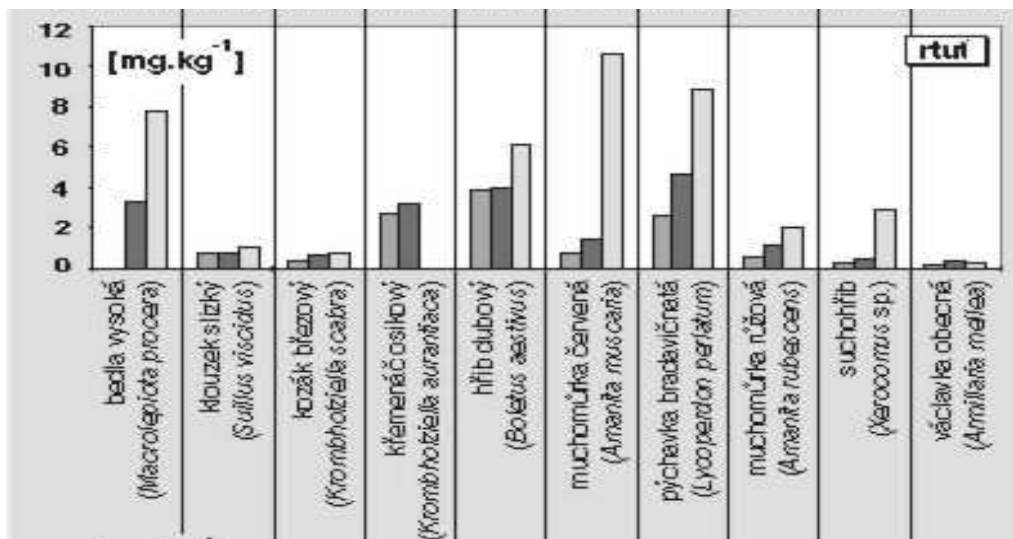
- v 1. fázi přes vnější stěnu myceliového vlákna
- v 2. fázi se dostávají do nitra buňky.

Značný výskyt těžkých kovů v houbách umožňuje rovněž využití hub pro potřeby biomonitoringu prostředí. Nejvíce rtuti obsahuje výtrusová vrstva a zbývající část klobouku, nejméně pak třeň. Saprophytické houby získávají organické látky z tlejících částí těl organismů či plodin, popřípadě jejich metabolitů za živa. Mají vyšší akumulační schopnost než houby mykorhizní, čerpající živiny z kořenů vyšších rostlin (*Cibulka, 1991*).

V roce 1995 byla provedena studie (*Cibulka, 1996*) na třech různých lokalitách v okolí silnic (E55 v úseku Dubí-Cínovec, Chocně a Zbirohu). Byla zjišťována koncentrace kadmia, rtuti a olova v houbách. Na obr.č.4 můžeme vidět grafické znázornění kontaminace hub rtutí. Nejvíce stanoveného obsahu rtuti v houbách bylo naměřeno v okolí Zbirohu, a to zejména v muchomůrce červené, v pýchavce a v bedle. Nejvíce rtuti bylo kumulováno na všech lokalitách v pýchavce a v hříbu dubovém. Obsah rtuti překračoval hygienickou normu většina hub s výjimkou suchohřibů z Dubí a Chocně a václavek ze všech lokalit. Z této studie vyplývá, že akumulace rtuti v houbách se liší podle druhové specifikace. Lze tedy říci, že některé druhy jsou více náchylné k akumulaci rtuti než jiné (*Cibulka, 1996*).

Nebezpečí intoxikace lidskému organismu rtutí po požití hub v současné době nehrozí. Houby by se měly ale do našeho jídelníčku zařazovat jen ojediněle (*Cibulka, 1996*).

U rtuti je velice zajímavé, že tepelnou úpravou se až 70% škodlivého prvku ztrácí. Pomalým sušením hub se však obsah Hg v houbách podstatně nemění. Za hygienicky vyhovující houby jsou s průměrným obsahem 0,02 mg Hg.kg<sup>-1</sup>. U nás jsou nejvíce kontaminovány houby nasbírané v okolí hutě na Příbramsku, ale i houby v okolí Prahy, především v blízkosti letiště, mají oproti ostatním dvojnásobný obsah kadmia a také rtutí (*Cibulka, 1996*).



Obrázek č.4 : Kontaminace hub rtutí (Cibulka, 1996).

## 6. Vliv rtuti

### 6.1. Na organismy

Toxicita rtuti pro bezobratlé organismy je závislá na faktorech ovlivňujících rozpustnost a na vývoji vyspělosti organismu. Dalším faktorem je vstřebatelnost chemických forem rtuti, teplota vody, koncentrace iontů (toxicita vzrůstá s teplotou a klesá s tvrdostí vody), koncentrace rozpuštěné organické hmoty, průtok vody a koncentrace jednotlivých chemických forem rtuti (*Houserová a kol., 2006*).

U ryb se akumulují sloučeniny rtuti z potravy i z vodního prostředí. Více než 90% rtuti se vyskytuje ve svalovině dravých ryb ve formě methylrtuti. Anorganická forma rtuti přijímaná potravou může být také methylována střevními bakteriemi. Koncentrace rtuti v rybí svalovině roste s věkem jedince. Sezónní variace korelují s teplotou vody. Akumulace methylrtuti je v létě vyšší, protože ryby přijímají více potravy (*Houserová a kol., 2006*).

Jeden z výzkumů, který zkoumal špatný vliv na lidské zdraví, byl zahájen koncem roku 1980 v USA a v Kanadě. Bylo zjištěno, že ryby, hlavně z výživově chudých jezer a často i v nepřístupných částech, obsahují velmi vysokou hladinu rtuti. Odběry vzorků z ryb v regionech v USA ukázaly rozšířenou rtuťnou kontaminaci v tocích, mokřadech, nádržích a jezerech (*Krabbenhoft, a Richert, 1995*).

Obsah celkové rtuti ve svalovině ryb se pravidelně kontroluje ve všech vyspělých zemích. V České republice je vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č.305/2004 Sb (*Houserová a kol., 2006*).

Vodní ptáci a savci (např. kormorán, norek, vydra) přijímají nejčastěji methylrtuť v potravě. Množství zkonsumované potravy ovlivňuje toxické účinky rtuti. Také záleží na umístění v potravinovém řetězci konzumovaných ryb, obsahu rtuti v potravě a tělesné hmotnosti zvířat přijímaných kontaminovanou potravu. Otrava rtuť u savců žijících se rybami se projevuje neurologickými účinky. U některých druhů se otrava projevuje reprodukčními problémy, změnou chování a vyšší embryonální úmrtností. Mají nekoordinované pohyby, zčeřené peří. Mohou si stavět hnízda menší velikosti. Při pitvě uhynulého jedince mohou být patrná drobná poranění ledvin a jater. Největší koncentrace methylrtuti je v bílku, ale anorganické formy rtuti se kumulují ve žloutku vejce. Mořští ptáci jsou odolnější než ptáci žijící a lovcí na souši. Ke stanovení koncentrace rtuti u ptáků se používá peří (*Houserová a kol., 2006*).

## 6.2. Zdravotní rizika rtuti

Toxikologické účinky rtuti na člověka shrnuje tab.č.3, která uvádí základní rizika způsobené vlivem rtuti a jejích sloučenin.

PARAMETR	Hg <sup>0</sup>	Hg <sup>2+</sup>	METYLRTUŤ (CH <sub>3</sub> Hg)	ETYLRTUŤ (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Hg)
Cesta expozice	Inhalační	Orální	Orální (konzumace ryb)	Parenterální (vakcíny)
Cílový orgán	CNS, periferní NS, ledviny	Ledviny	CNS	CNS, ledviny
<b>Místní klinické příznaky</b>				
PLÍCE	Bronchiální iritace, pneumonitis (>1000 µg.m <sub>3</sub> v ovzduší)			
GIT	Kovová chuť, stomatitis, gingivitis, zvýšená salivace (>1000 µg.m <sup>-3</sup> v ovzduší)	Kovová chuť, stomatitis, gastroenteritis		
KŮŽE		Urtika, tvorba vehikul		
<b>Systémové klinické příznaky</b>				
LEDVINY	Proteinurie (>500 µg.m <sup>-3</sup> v ovzduší)	Proteinurie, tubulární nekróza		Tubulární nekróza
PERIFERNÍ NS	Periferní neuropatie (>500 µg.m <sup>-3</sup> v ovzduší)	Akrodynie		Akrodynie
CNS	Erethismus (>500 µg.m <sup>-3</sup> v ovzduší), tremor		Parestézie, ataxie, ztráta zraku a sluchu (>200 µg.l <sup>-1</sup> krve).	Parestézie, ataxie, ztráta visu a sluchu
Průměrný poločas (celotělový)	60 dnů	40 dnů	70 dnů	20 dnů
Léčba	Meso-2,3-dimerkaptojantarová kyselina	Meso-2,3-dimerkaptojantarová kyselina	Cheláty nejsou efektivní	Cheláty nejsou efektivní

Tabulka č.3: Toxikologické účinky rtuti (Tuček, 2006).

Ohniskem současného zájmu veřejnosti jsou především tři chemické formy rtuti jako zdroje expozice:

- konzumace ryb a dalších potravin pocházejících z vodních ekosystémů představuje hlavní cestu otravy lidí methylrtutí,
- dýchání par rtuti, vypařovaných z různých zdrojů nejvíce jako kovová rtuť nebo z dentálních amalgámů a okolního vzduchu.
- antiseptikum ve vakcínách – ethylrtuť (Maršálek, 2006; Tuček, 2006; Krabbenhoft a Richert, 1995) .



### 6.2.1. Expozice methylrtuti z ryb

Methylrtuť má stejně tak jako ostatní těžké kovy vysokou afinitu k funkčním skupinám obsahujícím síru. Díky tomu jsou hlavním cílem síru obsahující proteiny. Nicméně symptomy otrav methylrtutí ukazují, že nejvíce zasaženou tkání je centrální nervový systém, speciálně potom mozková tkáň. Byly pozorovány následující neurologické symptomy: třes, rozdvojené vidění, zmatenost, náladovost, deprese. U dospělých lidí je poškození mozku zaměřeno na specifické části mozku jako je zrakové centrum a malý mozek. Prenatální expozice narušuje vývoj mozkové tkáně plodu a může vést u dětí k mentální zaostalosti, poruchám řeči, slepotě, záchvatům. Dále může methylrtuť způsobit snížení tvorby spermií a obecné poruchy plodnosti u lidí (*Maršálek, 2006*).

Organokovové sloučeniny rtuti, na rozdíl od anorganických sloučenin rtuti, pronikají snadno bariérami krev-mozek a placentou a ukládají se v ledvinách a vlasech (*Houserová a kol., 2006*).

Ještě nebezpečnější než kovová rtuť nebo anorganické sloučeniny rtuti jsou organokovové sloučeniny rtuti, z nichž je nejrozšířenější iont methylhydrargyrium. Tento iont a další organokovové sloučeniny rtuti se v gastrointestinálním traktu absorbují snadněji než  $Hg^{II}$ , protože mají větší propustnost biomembránami. Koncentrují se v krvi a mají, nepochybně v důsledku vázání skupiny-SH bílkovin, bezprostřednější a trvalejší účinek na mozek a centrální nervový systém. Anaerobní bakterie vyskytující se v přírodě v sedimentech mořského dna nebo dna jezer mají schopnost methylovat anorganické sloučeniny rtuti (skupiny Co-Me ve vitaminu  $B_{12}$  mohou přenášet Me na  $Hg^{II}$ ) a rtuť se pak koncentruje v planktonu a takto vstupuje do potravního řetězce ryb (*Greenwood a Earshaw, 1993*).

U populací, u kterých tvoří konzumace ryb hlavní složku potravy, je methylrtuť u ryb potencionálním zdravotním problémem. Je to u obyvatel ostrovních států, domorodých kmenů indiánů v oblasti severoamerických Velkých jezer a v povodí Amazonky. Tento problém se také vyskytuje v oblastech, kde ryby mohou obsahovat zvýšenou koncentraci methylrtuti v důsledku kontaminace životního prostředí rtutí (*Urban, 2006*).

V nedávné době byly provedeny dvě rozsáhlé epidemiologické studie, jejichž cílem bylo zjistit, zda methylrtuť v rybách konzumovaných těhotnými matkami má negativní zdravotní účinky na postnatální vývoj jejich dětí. Jedna ze studií probíhala

na Faerských ostrovech. Zde vědci zkoumali vliv rtuti v potravě těhotných žen na mentální zdraví jejich dětí. Při výzkumu se zjistilo, že u dětí došlo ke zhoršení některých neurofyziologických a neurobehaviorálních parametrů. Negativně je ovlivněn vývoj řeči, ve škole se hůře učí, jsou méně schopné se soustředit a mají horší paměť. Rtuť se dostává do organismů matek z Faerských ostrovů z masa ryb (Urban, 2006; Budil, 1998).

Druhá studie se uskutečnila na Seychelských ostrovech. Při opakovaném vyšetření dětí ve věku 6-24-66 měsíců a 9 let nebyly zjištěny žádné nepříznivé změny, které by byly významně sdruženy s prenatální či postnatální expozicí rtuti (Urban, 2006).“

„Jedním z mnohých vysvětlení, proč výsledky z Faerských ostrovů byly závažnější než výsledky zjištěné na Seychelách, jsou rozdíly v typu expozice. Expozice methylrtuti na Faerských ostrovech měla charakter nárazové expozice relativně vyšším koncentracím, zatímco na Seychelách šlo spíše o rovnoměrnou dlouhodobou expozicí relativně nižším koncentracím methylrtuti (Urban, 2006).“

„Zatímco příznivé zdravotní účinky konzumace ryb jsou nesporné, riziko expozice rtuti z ryb je diskutabilní. Omezovat konzumaci ryb se proto radí pouze nejrizikovějším skupinám – těhotným ženám, resp. ženám v reprodukčním věku a malým dětem. Omezení se vztahuje hlavně na ty druhy ryb a jiných živočichů, v jejichž mase dosahuje koncentrace rtuti nejvyšších hodnot. Nejdůležitější je vyvarovat se konzumaci masa ze žraloka, mečouna, makrely a platýze (Urban, 2006).“

Při otravě alkylsloučeninami rtuti – methylrtuť se zkouší podávání DMSA (2,3 – dimerkaptojantarová kyselina), další léčba je symptomatická (Pelclová, 2009).

### **6.2.2. Expozice parám elementární rtuti uvolňované z amalgámových zubních výplní**

Elementární rtuť napadá ledviny a centrální nervový systém. Elementární rtuť (oproti  $Hg^{2+}$ ) proniká placentární bariérou a způsobuje kumulaci rtuti ve fétu, jestliže je matka exponována parám kovové rtuti. Rtuť má speciální afinitu k epitelovým buňkám ektodermu i entodermu a ke žlázám. Vylučování rtuti je velmi pomalá záležitost, nepravidelná a trvá řadu měsíců až let po skončení expozice. Eliminace

rtuti se projevuje extrakcí pomocí močí, stolicí, slinnými, slznými nebo potními žlázami. Rtuť v krvi může být vyloučena také přímo do moče glomerulární filtrací. Může se nevratně ukládat ve vlasech a nehtech (Tuček, 2006; Houserová a kol., 2006).

Význam u kovové rtuti má pouze vstřebávání par plícemi, protože ve vodě nerozpustná kovová rtuť se z trávicího traktu prakticky nevstřebává. Absorpce rtuťových par při průměrných hodnotách ventilace může být kolem 80% z obvykle se vyskytujících koncentrací v ovzduší. Páry kovové rtuti jsou dobře rozpustné v tucích, pronikají membránami těl a jsou snadno absorbovány (Tuček, 2006).

Při dlouhodobé expozici parám kovové rtuti dochází k neurologickému postižení. Označuje se jako nespecifický psychastenický a vegetativní syndrom nazývaný mikromerkuralismus. Při delší expozici se objevuje třes spojený s poruchami chování či změnami osobnosti, zvýšenou excitabilitou, ztrátou paměti a nespavostí (Tuček, 2006).

Zubní amalgám se vyrábí ze slitiny stříbra, cínu a mědi míchané těsně před aplikací s rtuťí v poměru přibližně 1:1. V lidské populaci se využívá zubní amalgám více než 150 let a otázka jeho vlivu je stále diskutována. Pravidelné žvýkání a obrušování zubů stimuluje uvolnění rtuti ve formě jejich par z povrchu zubního amalgámu, je uváděno rozpouštění zubního amalgámu ve slinách a jeho přítomnost ve vzduchu v dutině ústní (Tuček a kol., 2007).

Jemným částicím amalgámu jsou vystaveni stomatologové především při odvrtávání a broušení amalgámových výplní. Odstraňování starého amalgámu vede k vzniku velmi jemného vodného aerosolu obsahujícího elementární i dvojjaznou rtuť, ale jen velmi malých částic zubního amalgámu. K minimalizaci profesionální expozice rtuti ve stomatologii lze doporučit používání ochranných štítů v kombinaci s rouškou především při odvrtávání a broušení amalgámové výplně, častou výměnou ochranné roušky, resp. pracovního oděvu, používání amalgamátorů, používání účinných čističů vzduchu se speciální vložkou pro záchyt rtuti a důsledné uchovávání odstraněných výplní pod vodní hladinou v uzavřených nádobách (Tuček a kol., 2007).

Uvolňování rtuti z amalgámových výplní se ve srovnání s bazální úrovní zvyšuje při čištění zubů a při žvýkání. U jedinců, kteří mají ve zvyku nadměrně používat žvýkací gumu, se koncentrace rtuti v moči může blížit hladinám, jaká se nacházejí při profesionální expozici. Účinkům rtuti uvolňované z amalgámu se někdy připisuje povšechně nepříznivý vliv na zdravotní stav, který se označuje jako „amalgam

illness syndrome“. Pacienti si při něm stěžují na četné nespecifické obtíže, např. únavnost, podrážděnost, kolísání nálady, poruchy koncentrace, bolest hlavy, nespavost (*Urban, 2006*).

Při požití elementární rtuti není třeba žádného opatření. Ale po akutním inhalačním traumatu, který je vyvolán vysokou koncentrací rtuťných par, je nejdůležitější klid na lůžku. Problém se léčí symptomaticky, například se léčí edém plic standardním postupem (*Pelclová, 2009*).

### **6.2.3. Expozice thiomersalu z vícedávkových balení vakcín**

Jedna z organických sloučenin rtuti – thiomersal se od 30.let minulého století používá jako konzervační činidlo do vícedávkových balení vakcín. Thiomersal způsobuje poškození vyvíjejícího se nervového systému dětí. Riziko je především při očkování v prvním půlroce života. Jedna dávka vakcíny obsahuje až 60 µg rtuti. Odhaduje se, že typické očkování schéma zahrnující *TBC*, *polio*, záškrť, tetanus, černý kašel, *Haemophilus influenzae b*, virovou *hepatitidu B* a spalničky, znamená během prvních dvou let až 237 60 µg rtuti. To znamená překročení tzv. referenční dávky pro metylrtuť. Může způsobit opožděný vývoj řeči, oslabení schopnosti soustředění, tikové poruchy a zejména autismus (*Urban, 2006*). Toto riziko rtuti z thiomersalu není třeba přeceňovat. Thiomersal je derivátem ethylrtuti, nikoliv metylrtuti. Expozice rtuti z vakcín je krátkodobá a trvá řádově měsíce. Po expozici ethylrtuti je poločas rtuti v krvi relativně krátký (7-10 dní). Nebezpečí jejího hromadění v organismu je tedy malé (*Urban, 2006*).“

### **6.2.4. Ostatní zdravotní rizika**

Staré doly na zlato představují potenciální nebezpečí pro lidské zdraví a životní prostředí. Zlatokopové používali rtuť k vyčištění zlata v západní Americe a v povodí Amazonky (*Alpers a kol., 2000*). Rtuť se za účelem získání zlata z amalgámu

odstraňuje odpařováním za použití přímého ohřevu nebo stlačeného vzduchu. Páry rtuti ohrožují nejen dělníky samotné, ale také jejich rodiny (Tuček, 2006). V povodí Amazonky se odhaduje se, že 90 tun rtuti je vázáno v organických látkách, které se uvolňují do atmosféry, a díky tomu se dostává rtuť do vodního koloběhu. Při destilace amalgamu na jejich otevřených pánvích dochází ke ztrátám až 40%, z toho jde až 80% přímo do atmosféry a zbytek do vodních toků. Vdechování toxických výparů se projevuje u zlatokopů zvýšenou koncentrací rtuti v jejich moči (Boháček, 1994).

Některé státy v Americe mají určité zákazy a nařízení na ochranu proti rtuti. Například v Kalifornii existuje od roku 1999 13 vodních ploch, kde se ryby nemají konzumovat, příkladem je záliv v San Francisku (Alpers a kol., 2000).

### 6.3. Epidemie otrav methylrtutí

Zvýšená pozornost výskytu organických sloučenin rtuti v povrchových vodách byla věnována až po tragických událostech v Japonsku, v Minamatě ve stejnojmenném mořském zálivu a v Niiagatě na řece Agano. Do minamatského zálivu vypouštěly závody na výrobu vinylchloridu a acetaldehydu značné množství rtuti odpadními vodami. Také Irák byl jedno z míst, kde propukla epidemie otavy rtutí, ale ta zde byla způsobena fungicidy použité v zemědělské výrobě (Tuček, 2006; Makir a kol., 1973).

#### 6.3.1. Minamata

Při neštěstí, které se stalo v roce 1952 v Minamatě zemřelo 52 lidí. Bylo to způsobeno konzumací ryb v malé rybářské obci. V mase ryb byl zjištěn mimořádně velký obsah rtuti ve formě MeHgSMe. Původcem byla místní chemická továrna, kde se rtuťnaté soli používaly ke katalýze při výrobě acetyleny z acetaldehydu a kapalné odpady byly vypouštěny do mělkého moře. Důkazy obdobné bakteriální produkce organosloučenin rtuti pocházejí ze Švédska, kde byla zjištěna metylace Hg<sup>II</sup> v odpadních vodách z papíren. Také používání organokovových sloučenin rtuti pro fungicidní ochranu obilí způsobilo v řadě zemí smrtelné otravy, když takto ošetřené obilí bylo náhodně zkonsumováno. Typickými symptomy nemoci byli ataxie, porucha řeči, zúžení zorného pole, poruchy sluchu a třes (Maršálek, 2006; Tuček, 2006; Greenwood a Earshaw, 1993).

K podobné hromadné otravě došlo v Niigatě na řece Agano. U 120 osob byly popisovány příznaky jako znecitlivění okrajových partií končetin, znecitlivění kolem úst a zúžení zorného pole. V roce 1971 byl celkový počet 269 otrav methylrtutí v Minamatě a v Niigatě, z nichž 55 bylo smrtelných. Do roku 1974 bylo již zaznamenáno 700 případů otravy methylrtutí v Minamatě a více než 500 v Niigatě (Tuček, 2006).

### **6.3.2. Irák**

Rovněž v Iráku nastala koncem 50. let min stol. epidemie otrav rtutí. Prvním znamením otravy methylrtutí bylo poškození nervového systému. Charakterizovala ho ztráta pocitů v konečcích prstů rukou a nohou a v oblasti okolo úst, ztráta koordinace chůze, nezřetelná řeč, úbytek zraku (zúžení zorného pole) a ztráta sluchu. Tato hrozná otrava způsobovala slepotu, kóma a smrt. Byla zde latentní perioda v týdnech a měsících mezi intoxikací methylrtutí a vývojem symptomů otravy. Prenatální intoxikace methylrtutí měla za následek u později narozených dětí mentální retardaci s celkovým ochrnutím (Makir a kol., 1973).

## 7. Diskuse

Mezinárodní environmentální organizace se v posledních letech zabývají otázkou, jak zvrátit nebo alespoň zpomalit dynamiku pozvolna vzrůstající koncentrace rtuti nebo rtuťných sloučenin v ovzduší, vodě a půdě. Kontaminace rtutí se týká v podstatě všech kontinentů, i když některé části Asie a Afriky jsou na tom nejhůře. V průmyslově vyspělých oblastech hraje stále významnější roli remobilizace dříve deponované rtuti v půdě, sedimentech a vodních tocích. V okolí opuštěných dolů nebo v okolí chemických provozů dochází při erozi půdy či při záplavách k uvolňování rtuti a jejích sloučenin.

Začalo se diskutovat o tom, jak se dají využít velké zásoby rtuti, kumulující se z postupně odstavovaných zařízení na výrobu chlóru. Mezinárodní organizace se v posledních letech snaží vyřešit otázku, jak lze zvrátit nebo alespoň zpomalit vzrůstající koncentraci rtuti v prostředí. Příkladem může být Evropská komise, která připravila dokument „EU Mercury Strategy“, v němž byla navržena opatření zajišťující bezpečné uložení rtuti z elektrolyz. Dále vytvořila některá doporučení, která vedou ke snížení rizika znečišťování složek životního prostředí.

Jedna ze z dalších studií je UNEP (United Nations Environmental Programme – Program OSN pro životní prostředí) Chemicals. Byla vydána v prosinci 2002 a obsahovala studii s názvem „Global Mercury Assessment“. Podrobně analyzuje současné zdroje a formy znečišťování i rizika, která tento kov v lidském organismu znamená. Tato studie byla připravena pro 22. zasedání Řídící rady UNEP v únoru 2003 a vedla k vydání rozhodnutí Rady č. 22/4 ze 7. 2. 2003 – „Mercury Programme“. Cílem toho programu je přehodnocení všech průmyslových i ostatních aktivit, jejichž důsledkem vznikají emise rtuti a jejích sloučenin.

Díky legislativním tlakům na omezování zdrojů znečišťování se koncentrace rtuti v ovzduší snížila, ale v důsledku časového zpoždění se dostává postupně do potravního řetězce z nevyčerpaných depozitů ve vodě a půdě (Černá, 2004).

Česká republika také přispívá k omezování používání rtuti. Zavedl se monitoring pro kontrolu dodržování limitů přípustných koncentrací rizikových chemických látek v ovzduší, vodě, půdě, potravinách apod. Pro monitorování je důležité znát fyzikálně-chemické vlastnosti, aby se dala rtuť odlišit od ostatních monitorovaných prvků. Dodržování limitů se kontroluje například na 5-ti stanicích, které měří rtuť v ovzduší. Uvádí se roční průměrná a maximální 24hodinová koncentrace rtuti. Čtyři

stanice se nacházejí v okolí Ostravy v Porubě, v Bartovicích, v Mariánských Horách, v Přívozu a ta poslední je v okrese Karviná. Koncentrace plynné rtuti v ovzduší se měří v Ústí nad Labem a v Košeticích (ČHMÚ, 2008; Černá, 2004).

Omezil se dovoz i výroba chemických prostředků s obsahem rtuti. Pesticidy, které byly na bázi rtuti, se přestaly používat v letech 1992-1993. Ukončila se výroba výbojek s obsahem rtuti v podniku Tesla. V České republice se kovová rtuť částečně recykluje a znovu uvádí na trh, zbytek se ukládá na bezpečné skládky.

Ohledně expozice parám elementární rtuti uvolňované z amalgámových zubních výplní existuje dobrovolná dohoda mezi ministerstvem životního prostředí a českou stomatologickou komorou. Jedná se o zavádění účinných odlučovačů rtuti. Představitelé výrobců chlóru amalgamovou elektrolyzou podepsali v roce 2002 dobrovolnou dohodu s organizací EUROCHLOR, čímž respektují evropskou strategii týkající se nakládání s rtutí. Česká republika v posledních letech rtuť nedováží, ale využívá specializované firmy přepracovávající vlastní recyklované zdroje (Černá, 2004).

Problematika negativity vlivu rtuti na životní prostředí, a to především na organismy, by se dala řešit snížením emisí rtuti ze spalování uhlí a to zejména u zemí s velkou mírou využitelnosti fosilních paliv. Měly by se vyřazovat výrobky obsahující rtuť a následně nahrazovat jinými. Především tam, kde rtuť a její sloučeniny ohrožují lidské životy nejvíce, tedy v nemocnicích a domácnostech. Další možností je také zpřísnit legislativu ohledně používání rtuti a jejích sloučenin.



## Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na stručný přehled vlastností rtuti a jejích sloučenin, na její výskyt a koloběh v životním prostředí. Rtuť vstupuje do životního prostředí a představuje vážné riziko pro přírodu i zdraví lidí. Je schopna v atmosféře putovat na velké vzdálenosti a může kontaminovat vodu a půdu i tisíce kilometrů od zdroje znečištění. Bylo zjištěno, že v atmosféře převažují výpary elementární rtuti, ale také i methylrtuti. WHO uvádí zastoupení jednotlivých forem rtuti v atmosféře: 75% elementární rtuť, 20% methylrtuti a 5% dvojmocné anorganické sloučeniny rtuti. Obsah rtuti se liší podle druhů vodního ekosystému. Různých hodnot dosahuje v otevřeném oceánu či v pobřežních vodách, v řekách a jezerech. Dále práce popisuje vliv rtuti na organismy, především na člověka. Zmínila jsem se také o epidemiích, které způsobila otrava rtuť, zejména její sloučeninou methylrtuť.

Proces vzniku druhu rtuti ve vodách závisí na typu vodního ekosystému, nicméně v oceánech převažuje dvojmocná rtuť ve formě chloridu. Také koncentrace závisí na typu vodního ekosystému. Metodiky stanovení methylrtuti v rybách, ale i dalších environmentálních matricích, jako jsou sedimenty, plankton a, voda, atd., jsou poměrně dobře rozpracované a na toto téma byla publikována řada prací. Metody stanovení methylrtuti spadají do oblasti tzv. speciálních analýz, které se zabývají stanovením jednotlivých forem daných prvků.

Tato práce je psána formou rešerše. Pro prohloubení zkoumané otázky se nabízí možnost zjišťovat koncentrace rtuti např. ve vodách nebo v atmosféře. Nedílnou součástí studie by pak byla část pojednávající o metodice zjišťování koncentrace rtuti v různých složkách prostředí. Údaje o koncentracích rtuti v atmosféře jsou dostupné na monitorovacích stanicích v České republice. Zajímavé by bylo zjistit, zda a jak se liší koncentrace rtuti v extravilánu a intavilánu nebo ve stojatých a tekoucích vodách. Dalším zajímavým námětem je koncentrace rtuti v půdě v okolí průmyslových měst. Nabízí se diskuse porovnávající například dvě konkrétní lokality.

## Použitá literatura

1. ALPERS C.N., HUNERLACH M.P., MAY T.S., HOTHEM R.L., 2000: Mercury Contamination from Historic Gold Mining in California. USGS. 6 s.
2. BUDIL I., 1998: *Listopad ve vědě. Vesmír 77:50-52*
3. CIBULKA J., 1996: *Cizorodé prvky v houbách. Vesmír 75: 389*
4. CIBULKA J., 1991: *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Academia. Praha, 427 s.*
5. ČERNÁ M., 2004: *Opatření mezinárodních institucí a České republiky k omezování rizika znečištění životního prostředí rtutí. Chem. Listy 98: 916-921*
6. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2008: *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2007. online:*  
*<http://old.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr07cz/kap241.html>, cit. 10.3.2011*
7. ĎURIŠ M., 2005: *Stopové prvky v půdách hlavního města Prahy. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha, 35 s.*
8. FABINI J., VOŘECHOVÁ D., 1966: *Organická chemie pro střední odborné školy nechemické. Praha 232-235*
9. GREENWOOD N.N., EARSHAW A., 1993: *Chemie prvků, svazek II., 1635 s.*
10. HARTMAN M. a TRNKA O., 2008: *Těžké kovy v čistírenském kalu a jejich chování při spalování. Chem. Listy 102: 131-138*
11. HEYROVSKÝ M., 2000: *Evropou obchází strašidlo rtuti. Vesmír 79: 135-136*
12. HOUSEROVÁ P., JANÁK K., KUBÁŇ P., PAVLÍČKOVÁ J., KUBÁŇ V., 2006: *Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech – vlastnosti úrovně, koloběh a stanovení. Chem.listy 100: 862-876*
13. JANKŮ M., 1980: *Anorganická chemie pro 1.ročník SPŠ chemických a škol s chemickým zaměřením.Praha.229-230*
14. KAFKA Z., PUNČOCHÁŘOVÁ J., 2002: *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. Chem.listy 996: 611-617*
15. KLIKORKA J., HÁJEK B., VOTINSKÝ J., 1985: *Obecná a anorganická chemie. Praha.480,571-57216.* KRABBENHOFT D.P., RICHERT D.A., 1995: *Mercury Contamination of Aquatic Ecosystems. USFS. Geological Survey.4 s.*

17. LIŠKA J., 2003: *Odpověď na každou otázku. Vesmír* 82: 209
18. MAKIR F., DAMLUJI S.F., AMIN-ZAKI L., MURTADHA M., KHALIDI A., AL-RAWI N.Y., TIKRITI S., DHAHIR H.I., CLARKSON T.W., SMITH J.C., DOHERTY R.A., 1973: *Methylmercury poisoning in Iraq. Science* Vol.181.no 4096: 230-241
19. MARŠÁLEK P., 2006: *Methyrtuť ve vodních ekosystémech. Bulletin VÚRH Vodňany* 42(3): 117-124
20. MCAULLIFE C.A., 1977: *The Chemistry of Mercury. Macmillan London.* 288s.
21. PAVELKA V., SCHUTZ A., 1974: *Anorganická chemie pro pedagogické fakulty.* 130-131, 142-145
22. PELCLOVÁ D. et. al., 2009: *Nejčastější otravy a jejich terapie.* Praha, 163 s.
23. RISHER J.F., 2003: *Elemental mercury and inorganic mercury compounds.* WHO Geneva. 61 s.
24. TOUŽÍN J., 2003: *Stručný přehled chemie prvků.* Brno. 212-217
25. TUČEK M., 2006: *Současná zdravotní rizika expozice rtuti a jejím sloučeninám. České pracovní lékařství číslo 1:*26-37
26. TUČEK M., BENCKO V., KRÝSL S., 2007: *Zdravotní rizika rtuti ze zubních amalgámů. Chem.listy* 101: 1038-1044
27. UHLÍŘOVÁ H., FADRHOŇSOVÁ V., BÍBA M., LOCHMAN V., 2002: *Depozice a pohyb vybraných látek v lesních ekosystémech s vazbou na potravní řetězec. Chem. Listy* 96: 598-606
28. URBAN P., 2006: *Aktuální problémy neurotoxicky rtuti. Neurol. Prax* 5: 251-253
29. USGS, 2010: Methylmercury. online:  
<http://toxics.usgs.gov/definitions/methylmercury.html>, cit. 13.4.2011
30. CHERIE WINNER, 2010: *How Does Mercury Get into Fish? Oceanus* magazine Vol. 48, No. 2., 3 s.