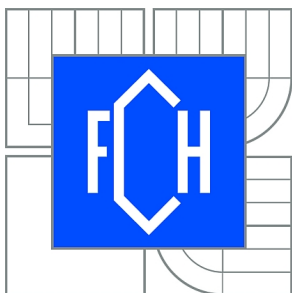


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

# ŠKODLIVÉ LÁTKY V ODPADNÍCH VODÁCH LABORATOŘÍ

POLLUTANTS IN LABORATORY WASTE WATERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ ČERVENKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN SPONAR, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

|                         |                                                       |                                  |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Číslo bakalářské práce: | <b>FCH-BAK0392/2009</b>                               | Akademický rok: <b>2009/2010</b> |
| Ústav:                  | Ústav chemie materiálů                                |                                  |
| Student(ka):            | <b>Jiří Červenka</b>                                  |                                  |
| Studijní program:       | Chemie a chemické technologie (B2801)                 |                                  |
| Studijní obor:          | Chemie, technologie a vlastnosti materiálů (2808R016) |                                  |
| Vedoucí práce           | <b>Ing. Jan Sponar, Ph.D.</b>                         |                                  |
| Konzultanti:            |                                                       |                                  |

### Název bakalářské práce:

Škodlivé látky v odpadních vodách laboratoří

### Zadání bakalářské práce:

Literární rešerše  
Souhrn metod stanovení Hg  
Praktické příklady vzorkování odpadní vody z laboratoří  
Shrnutí shromážděných poznatků

### Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2010

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Jiří Červenka  
Student(ka)

-----  
Ing. Jan Sponar, Ph.D.  
Vedoucí práce

-----  
prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Rtuť je velmi závažným polutantem. Je obsažena ve všech složkách životního prostředí. Pro její analýzu je vynaloženo mnoho úsilí. Jelikož rtuť patří mezi nebezpečné látky, její množství je limitováno nejen pro životní prostředí.

Cílem této práce bylo stanovit koncentraci rtuti ve vodách z posluchačských laboratoří a u přítoku a odtoku z neutralizační stanice Vysokého učení technického v Brně, Fakulty chemické. Voda z neutralizační stanice se dále mísí se splaškovými vodami. Pro analýzu vzorků byl použit jednoúčelový absorpční spektrometr AMA 254.

Výsledky potvrdily, že z laboratoří odtéká na neutralizační stanici voda s relativně vysokou koncentrací rtuti, vysoce překračující limity kanalizačního řádu. Voda z neutralizační stanice už tolik rtuti neobsahuje, protože je zde smíšena s odpadními vodami z laboratoří a navíc je upravováno její pH. V laboratořích jsou k dispozici speciální odpadní láhve na kapalné odpady s rizikovými prvky a nebezpečnými látkami; z výsledků lze usoudit, že ne každý dodržuje pravidla a vylévá odpad přímo do výlevky.

Řešením by mohlo být bezpečnější opatření v laboratořích. Studenti, kteří pracují s nebezpečnými chemikáliemi, by si měli být vědomi rizika, které hrozí při jejich vylévání do výlevky, kontaminací a nebezpečím pro všechny složky životního prostředí.

## **ABSTRACT**

Mercury is a very consequential pollutant. It's contained in all components of environment. Analysis of mercury is very demanding. Since mercury is ranked among dangerous chemicals, its quantity is limited and checked not only in environment.

The aim of this thesis was to determine concentration of mercury in water from labs and in influent and effluent water from neutralization station of Brno university of Technology, Faculty of Chemistry. Water from neutralization is also mixed with sewage. Advanced mercury spectrometer AMA 254 was used for analysis.

Results confirmed, that water flows out from lab to neutralization with relatively high concentration of mercury, highly exceeding limits of drainline. Water from neutralizing station also doesn't show so high concentration of mercury, because it is mixed with waters from other labs and pH of water is amended. Special waste bottles for liquid waste with risk elements and dangerous compounds are available; from results can be decided, that not everybody follows the rules and some people might pour the waste right in to the sink.

Resolution could have been safer acquisitions in labs. Students, who manipulate with dangerous chemicals should be alive to risk, which threatens with pouring into the sink, contamination and dangerous for all components of environment.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Rtuť, polutant, životní prostředí, odpadní vody, jednoúčelový absorpční spektrometr, kanalizační řád, kontaminace

## **KEYWORDS:**

Mercury, pollutant, environment, waste-water, advanced mercury analyser, drainline, contamination

ČERVENKA, J. *Škodlivé látky v odpadních vodách laboratoří*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Sponar, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Sponarovi, Ph.D. za věnovaný čas a cenné rady a náměty týkající se nejen této práce.

Dále bych rád poděkoval čistírně odpadních vod Modřice za poskytnuté prostory k provedení experimentální části práce.

Mé poslední, neméně důležité děkování, patří škole za poskytnutí vzorků pro analýzu a některým pracovníkům školy za spolupráci.

## OBSAH:

|                                                                   |        |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| Abstrakt .....                                                    | - 3 -  |
| Abstract.....                                                     | - 3 -  |
| Přehled zkratk a symbolů.....                                     | - 7 -  |
| Zkratky: .....                                                    | - 7 -  |
| Symboly:.....                                                     | - 7 -  |
| Seznam obrázků.....                                               | - 8 -  |
| Seznam tabulek.....                                               | - 8 -  |
| 1. Úvod.....                                                      | - 9 -  |
| 2. Teoretická část.....                                           | - 10 - |
| 2.1. Rtuť .....                                                   | - 10 - |
| 2.1.1. Vlastnosti rtuti .....                                     | - 10 - |
| 2.1.2. Sloučeniny rtuti.....                                      | - 10 - |
| 2.1.2.1. Sloučeniny Hg(I).....                                    | - 11 - |
| 2.1.2.2. Sloučeniny Hg(II) .....                                  | - 11 - |
| 2.1.3. Vliv rtuti na živý organismus .....                        | - 11 - |
| 2.1.4. Zdroje znečištění životního prostředí rtutí.....           | - 12 - |
| 2.1.5. Použití rtuti .....                                        | - 12 - |
| 2.1.6. Legislativa ČR a EU ve vztahu ke rtuti .....               | - 13 - |
| 2.1.6.1. Legislativa ČR .....                                     | - 13 - |
| 2.1.6.2. Legislativa EU .....                                     | - 14 - |
| 2.2. Analytické metody pro stanovení rtuti .....                  | - 14 - |
| 2.2.1. Atomová absorpční spektrometrie.....                       | - 14 - |
| 2.2.1.1. Princip AAS .....                                        | - 14 - |
| 2.2.1.2. Spektrální čáry .....                                    | - 15 - |
| 2.2.1.3. Výpočet absorpce pomocí Lambertova – Beerova zákona..... | - 15 - |
| 2.2.1.4. Atomový absorpční spektrometr.....                       | - 15 - |
| 2.2.1.5. Zdroje světla u AAS .....                                | - 16 - |
| 2.2.2. AMA 254.....                                               | - 17 - |
| 2.2.3. Stanovení rtuti s dithizonem .....                         | - 19 - |
| 2.2.4. Stanovení diethyldithiokarbamidem měďnatým.....            | - 20 - |
| 2.2.5. Instrumentální neutronová aktivační analýza (INAA) .....   | - 20 - |
| 2.2.6. Normativní předpisy pro stanovení rtuti.....               | - 20 - |
| 2.2.6.1. Norma ČSN EN 12338 .....                                 | - 21 - |
| 2.2.6.2. Norma ČSN EN 17852 .....                                 | - 21 - |
| 2.2.6.3. Norma ČSN 75 7440.....                                   | - 21 - |
| 2.2.6.4. Norma ČSN EN 13211 .....                                 | - 22 - |
| 2.3. Odpadní vody .....                                           | - 22 - |
| 2.3.1. Splaškové odpadní vody .....                               | - 22 - |
| 2.3.2. Průmyslové odpadní vody .....                              | - 22 - |
| 2.3.3. Dešťové odpadní vody.....                                  | - 22 - |
| 2.3.4. Podzemní vody .....                                        | - 23 - |
| 2.4. Cesta odpadní vody čistírnou odpadních vod .....             | - 23 - |
| 2.4.1. Mechanické čištění .....                                   | - 24 - |
| 2.4.2. Vznik bioplynu a jeho využití .....                        | - 24 - |
| 2.4.3. Využití čistírenského kalu v zemědělství .....             | - 24 - |
|                                                                   | - 5 -  |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| 2.4.4. Biotechnologické čištění.....      | - 25 - |
| 3. Cíle práce.....                        | - 27 - |
| 4. Praktická část.....                    | - 28 - |
| 4.1. Odběry vzorků.....                   | - 28 - |
| 4.2. Průběh analýzy .....                 | - 28 - |
| 5. Diskuze výsledků .....                 | - 30 - |
| 5.1. Úprava vzorků před stanovením .....  | - 30 - |
| 5.2. Hodnocení výsledků .....             | - 30 - |
| 5.3. Vzorky z laboratoří.....             | - 31 - |
| 5.4. Vzorky z neutralizační stanice ..... | - 32 - |
| 5.5. Modelový výpočet znečištění.....     | - 34 - |
| 6. Závěr.....                             | - 36 - |
| 7. Použité informační zdroje .....        | - 37 - |
| 8. Přílohy .....                          | - 39 - |

## PŘEHLED ZKRATEK A SYMBOLŮ

### Zkratky:

|                  |                                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AMA 254          | Advanced Mercury Analyser (atomový absorpční spektrometr)                                          |
| ASS 254          | Automatic Solid Sampler<br>(automatický dávkovač pevných vzorků)                                   |
| ALS 254          | Automatic Liquid Sampler<br>(automatický dávkovač kapalných vzorků)                                |
| pH               | záporný dekadický logaritmus koncentrace iontů $H^+$                                               |
| Hg               | značka rtuti (lat. hydrargyrum)                                                                    |
| FCH VUT          | Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně                                                    |
| LD <sub>50</sub> | letální dávka<br>(množství, při kterém uhynie 50 % testovaných zvířat)                             |
| IUPAC            | International Union of Pure and Applied Chemistry<br>(mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) |
| AAS              | atomová absorpční spektrometrie                                                                    |
| HCL              | Hollow Catode Lamp (výbojka s dutou katodou)                                                       |
| EDL              | Electrodeless Discharge Lamp (bezelektrodová výbojka)                                              |
| INAA             | Instrumental Neutrons Activate Analysis<br>(instrumentální neutronová aktivační analýza)           |
| ČOV              | čistírna odpadních vod                                                                             |
| NS               | neutralizační stanice                                                                              |
| NPK              | nejvyšší povolená koncentrace                                                                      |
| PEL              | povolený expoziční limit                                                                           |
| NPM              | nejvyšší povolené množství                                                                         |
| PM               | povolené množství                                                                                  |
| SM               | speciální množství                                                                                 |
| ŽP               | životní prostředí                                                                                  |
| KŘ               | kanalizační řád                                                                                    |

### Symboly:

|               |                                                |
|---------------|------------------------------------------------|
| T             | toxický                                        |
| N             | nebezpečný pro životní prostředí               |
| $\Delta E$    | přírůstek energie atomu                        |
| E             | energie atomu v dané energetické hladině       |
| h             | Planckova konstanta                            |
| $\nu$         | frekvence vyzářeného nebo absorbovaného záření |
| c             | rychlost záření                                |
| $\lambda$     | vlnová délka                                   |
| $\tilde{\nu}$ | vlnčet                                         |
| $\Phi$        | tok záření                                     |
| $\kappa$      | atomový absorpční koeficient záření            |
| l             | délka absorpční vrstvy                         |
| N             | počet atomů v jednotce objemu                  |
| A             | absorbance                                     |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                         |         |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| Obr. 1: Rumělka (cinabarit)                                             | str. 10 |
| Obr. 2: Porovnání zubní výplně z amalgámu (nahore) a kompozitu (dole)   | str. 13 |
| Obr. 3: Schéma přechodu atomů mezi jednotlivými energetickými hladinami | str. 14 |
| Obr. 4: Výbojka s dutou katodou HCL                                     | str. 16 |
| Obr. 5: Přístroj AMA 254                                                | str. 18 |
| Obr. 6: Schéma AMA 254                                                  | str. 19 |
| Obr. 7: Odpadní voda v nádrži, kde probíhá biotechnologické čištění     | str. 23 |
| Obr. 8: Letecký pohled na ČOV Modřice                                   | str. 25 |
| Obr. 9: Mapa kanalizační sítě města Brna                                | str. 26 |

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                                                                            |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| tab. 1: Fyzikální vlastnosti rtuti                                                                                                         | str. 12 |
| tab. 2: Naměřené hodnoty koncentrací [ppm] na přístroji AMA 254                                                                            | str. 28 |
| tab. 3: Skutečné koncentrace [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ], směrodatné odchylky                                                     | str. 28 |
| tab. 4: Limitní hodnoty rtuti v různých odvětvích dle Kanalizačního řádu města Brna platného od 1. 4. 2005 do 31. 12. 2010                 | str. 31 |
| tab. 5: Naměřené koncentrace rtuti na NS v dubnu a září 2009                                                                               | str. 33 |
| tab. 6: Modelový výpočet koncentrace a hmotnosti                                                                                           | str. 34 |
| tab. 7: Limity Hg pro ČR                                                                                                                   | str. 38 |
| tab. 8: Limity Hg pro EU                                                                                                                   | str. 41 |
| tab. 9: Seznam látek a směsí, ve kterých nesmí být používána rtuť a její sloučeniny (od 26. 6. 2009), podle Nařízení Komise č. 552/2009/ES | str. 45 |



## 1. ÚVOD

Rtuť je velmi toxická látka a její dopady na všechny sféry životního prostředí jsou jednoznačně negativní. Do životního prostředí se dostává rtuť především vulkanickou činností, spalováním uhlí a manipulací s odpady. Nachází se ve všech složkách životního prostředí, včetně potravního řetězce. Rtuť se používá v různých odvětvích průmyslu, v zemědělství, lékařství apod. Informace o jejím obsahu v životním prostředí je proto velmi důležitá. Většina rtuti v prostředí se vyskytuje v kovové formě, nebo ve formě anorganických sloučenin. Kovová rtuť je za normálních podmínek kapalná, dochází však k částečnému odpařování. Ve vzduchu dochází k přeměnám na jiné formy a rtuť je pak transportována na velké vzdálenosti. Některé mikroorganismy (bakterie, fytoplankton, plísňe) mohou přeměňovat anorganickou rtuť na organické sloučeniny. Rtuť setrvává v prostředí po dlouhou dobu, zvláště pokud je navázána na malé půdní částice. Tyto částice obvykle zůstávají na povrchu sedimentů a půd a nepřecházejí do podzemních vod. Ve vodním prostředí se usazují na dně. Organická rtuť se může hromadit v potravních řetězcích, zatímco anorganická rtuť do potravních řetězců nevstupuje. Popsaná vlastnost se nazývá bioakumulace. Nejvyšší obsahy organické rtuti v tkáních (svaly, tuk) se nacházejí u mořských ryb, vysoké koncentrace rtuti mohou obsahovat i houby. Naopak, akumulace v rostlinách není příliš vysoká.

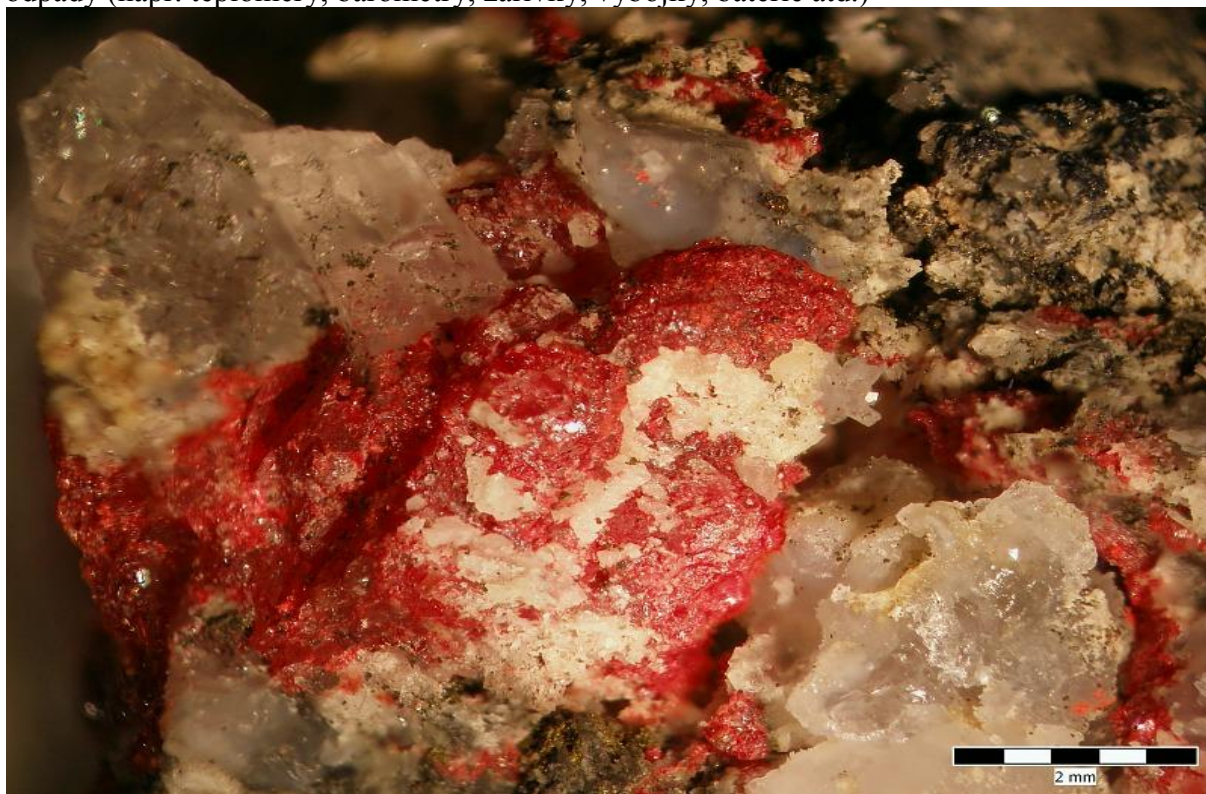
Pro stanovení rtuti se v praxi používají jak speciální analyzátory rtuti, např. AMA 254 s dávkovači, tak klasické spektrofotometrické metody, kterými lze stanovit větší škálu prvků. Cílem této práce bylo stanovit obsah rtuti ve vodě odebrané na FCH VUT v Brně v posluchačských laboratořích anorganické chemie. Pracovalo se zde se rtutí v rámci úlohy přípravy tetrajodortuťnatanu měďnatého  $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$ . Výchozí látkou byl chlorid rtuťnatý  $\text{HgCl}_2$ . Stanovení probíhalo na přístroji AMA 254.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. Rtuť

#### 2.1.1. Vlastnosti rtuti

Rtuť se řadí mezi kovové prvky a je jako jediná z kovů kapalná. Patří do II. skupiny periodické soustavy. Je zařazena do skupiny přechodných prvků, mající valenční elektrony v d-sféře. Vykytuje se pouze v omezeném počtu oxidačních čísel a to 0, +I, +II. Jedná se o těžký a v zemské kůře poměrně vzácný kov. Hlavním minerálem a zdrojem pro výrobu je sulfid rtuťnatý (obr. 1),  $\text{HgS}$ , zvaný nejčastěji rumělka (cinabarit). Zásadním uplatněním v praxi je rtuť ve formě svých slitin s jinými kovy – amalgámy. Dalšími zdroji rtuti jsou odpady (např. teploměry, barometry, zářivky, výbojky, baterie atd.)



Obr. 1: Rumělka (Cinabarit),  $\text{HgS}$

OZDÍN, Daniel. Ozdinminerals [online]. 2009, 3. 2. 2009 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.ozdinminerals.com/MineralySlovenska.htm>>.

Rtuť se vyskytuje v pestré škále chemických forem, lišících se chemickými, fyzikálními i toxikologickými vlastnostmi. Mezi nejdůležitější chemické formy patří elementární rtuť ( $\text{Hg}^0$ ), anorganická rtuť ( $\text{Hg(II)}$ ), z organických sloučenin monomethylrtuť ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) a dimethylrtuť ( $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ), z nichž methylrtuť je považována za nejvíce nebezpečnou. Organické formy rtuti se váží na funkční skupiny proteinů a tukových tkání živých organismů. Kumulují se převážně v tělech vodních živočichů - ryb, měkkýšů, koryšů. [1]

#### 2.1.2. Sloučeniny rtuti

Rtuť se ve sloučeninách vyskytuje v oxidačních číslech +1 a +2. Sloučeniny se liší svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Mezi jedovaté sloučeniny rtuti se řadí mimo jiné arseničnan rtuťnatý, dusičnan rtuťnatý, dusičnan rtuťný a fluorooctan nebo fulminan rtuťnatý.

Hodnoty LD<sub>50</sub> pro některé chemické sloučeniny testovaných na potkanech jsou HgCl<sub>2</sub> 37 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 210 mg·kg<sup>-1</sup>, HgSO<sub>4</sub> 57 mg·kg<sup>-1</sup>, HgO 18 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg(CN)<sub>2</sub> 25 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 297 mg·kg<sup>-1</sup>.

Níže jsou vyjmenovány nejznámější sloučeniny rtuti rozdělené podle mocností.

#### **2.1.2.1. Sloučeniny Hg(I)**

Sloučeniny rtuti v oxidačním stavu Hg(I) se chovají obdobně, jako soli Ag(I). Vazba ve sloučenině je však typu (–Hg–Hg–).

Chlorid rtuťný Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, zvaný nejčastěji kalomel, je bílá krystalická látka velmi špatně rozpustná ve vodě, což ovlivňuje i toxicitu samotné sloučeniny. Je sice toxický jako všechny soli rtuti, ale vzhledem k nízké rozpustnosti se jen velmi obtížně může dostat z trávicího traktu do krevního řečiště. Dříve se chlorid rtuťný používal jako projímadlo.

Mezi další sloučeniny patří například síran rtuťný a jodid rtuťný, obě sloučeniny jsou toxické a škodlivé pro životní prostředí.

#### **2.1.2.2. Sloučeniny Hg(II)**

V oxidačním čísle +II se rtuť vyskytuje ve více sloučeninách, po chemické stránce jsou podobné měďnatým solím.

Chlorid rtuťnatý HgCl<sub>2</sub>, zvaný též sublimát, je velice dobře rozpustný ve vodě, ale nedisociuje na ionty, ve vodě je ve formě solvatovaných molekul. Je mimořádně toxický. Byl přidáván do rhodenticidů a sloužil k moření obilí. Obilí na seti bylo napuštěno a tím mělo být chráněno před hlodavci. Nejednou došlo k osudným omylům, že se obilí namlelo a bylo použito do pečiva.

Sulfid rtuťnatý HgS je hlavním zdrojem rtuti, známý spíše pod názvem rumělka nebo odborněji cinabarit. Slouží také jako pigment a ve Starém Egyptě byl přidáván do kosmetických líčidel.

Fulminát rtuťnatý (Hg(ONC)<sub>2</sub>) je znám jako třaskavá rtuť. Tato sloučenina slouží k výrobě velmi často používaných pyrotechnických rozbušek. Za normálních podmínek je zcela stabilní, ale je citlivá vůči zvýšení teploty (např. třením, úderem).

Dimethylртуť (Hg(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) je kapalná látka, která vzniká ze sloučenin rtuti za anaerobních podmínek působením mikroorganismů. Má podobný bod varu jako voda, je ve vodě rozpustná, ale také je lipofilní. Asi nejznámější otrava dimethylrtutí se stala v japonské zátocce Minamata s tisíci postižených. Odštěpením jedné methylskupiny vzniká kation monomethylrtuti.

#### **2.1.3. Vliv rtuti na živý organismus**

Rtuť je velmi toxická látka, jejímž vlivem dochází ke zničení či porušení struktury bílkovin v buňkách. Organické sloučeniny rtuti mají mimořádně velkou schopnost kumulovat se v organismech a přenášet se dále potravním řetězcem. V databázi IUPAC je rtuť označena číslem (CAS – No) 7439-97-6. Je zařazena do skupiny T, N s R-věťami R23-33-50/53 a S-věťami S(1/2)-7-45-60-61, T – toxický, N – nebezpečný pro životní prostředí.

Do lidského organismu se rtuť dostává nejčastěji vdechováním, zažívacím traktem a pokožkou (transdermálně). Rtuť patří mezi prvky, jejichž vliv na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Jedná se o kumulativní jed. Z organismu se vylučuje jen velmi pozvolna a obtížně, její většina se přitom koncentruje především v ledvinách a v menší

míře i v játrech a slezině. Bylo prokázáno, že rtuť může v ledvinách setrvat až desítky let. Právě ty jsou při chronické otravě rtutí nejvíce ohroženy.

Tkáně dýchacího ústrojí jsou velmi citlivé na působení par rtuti, která v nich vyvolává těžké záněty. Při chronické expozici nižšími dávkami se rtuť s krevním oběhem dostává k mozku a dalším nervovým tkáním, které jsou vysoce citlivé na toxické účinky rtuti. Toxicita jednotlivých sloučenin je závislá především na jejich rozpustnosti ve vodě. Z tohoto pohledu jsou nejvíce rizikové sloučeniny dvojmocné rtuti  $\text{Hg}^{2+}$  (viz odstavec Sloučeniny  $\text{Hg(II)}$ ).

Těžké otravy rtutí končívaly smrtelně, protože doposud není známa účinná protilátka, která by rtuť v organismu navázala a urychlila její vylučování.

#### 2.1.4. Zdroje znečištění životního prostředí rtutí

Rtuť vypuštěná do životního prostředí představuje vážné riziko. Je schopna putovat na velké vzdálenosti a kontaminovat vodu a půdu i tisíce kilometrů daleko od zdroje znečištění. V Evropě se daří snižovat znečištění rtutí, ale její vypouštěné množství stále zůstává příliš velké. Vážná ohrožení životního prostředí v současnosti představuje zejména používání kovové rtuti pro těžbu zlata, např. v Mongolsku, v jižní Americe nebo v Africe.

Patří mezi kovy přirozeně se vyskytující ve všech složkách životního prostředí. Do všech složek životního prostředí je rtuť uvolňována jak z přírodních zdrojů, tak v důsledku činnosti člověka.

Mezi antropogenní zdroje patří vyluhování z hlušiny v lokalitách s aktivní těžbou rtuti, spalování uhlí a jiných fosilních paliv, výroba chloru, vypouštění kontaminovaných vod, výroba cementu apod. I když je těžba rtuti omezena, do ovzduší se stále uvolňuje mnohem více rtuti, než tomu bylo v minulosti.

#### 2.1.5. Použití rtuti

Anorganické a organické formy rtuti jsou používány v různých průmyslových odvětvích, např. ve farmaceutickém průmyslu, papírenském a elektrochemickém průmyslu, průmyslu polymerů a plastů, při výrobě měřicích (teploměry) a kontrolních zařízení, plstěných materiálů, zemědělských mořidel a v lékařství jako aktivní složka různých diuretik, antiseptik, kožních léčiv a zubních amalgámů.

tab. 1: Fyzikální vlastnosti rtuti

| Vlastnosti                      | Hodnota               | Jednotky                                        |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| Hustota                         | 13,55                 | $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$                   |
| Teplota tání                    | -38,9                 | $^{\circ}\text{C}$                              |
| Teplota varu                    | 356,7                 | $^{\circ}\text{C}$                              |
| Měrné teplo                     | 139,4                 | $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ |
| Tepelná vodivost                | 8,2                   | $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  |
| Měrné skupenské teplo tání      | 11,8                  | $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$                    |
| Měrné skupenské teplo varu      | 292                   | $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$                    |
| Stlačitelnost při 0,1 MPa       | 0,39                  | Pa                                              |
| Kinematická viskozita           | $10^{-6}$             | $\text{Pa}\cdot\text{s}$                        |
| Dynamická viskozita             | $10^{-3}$             | $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$                  |
| Měrný elektrický proud          | $94,1\cdot 10^{-8}$   | $\Omega\cdot\text{m}$                           |
| Magnetická susceptibilita       | $-2,14\cdot 10^{-14}$ | $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$                 |
| Standardní elektrický potenciál | +0,8                  | V                                               |
| Účinný průřez pro neutrony      | 15,5                  | $\text{cm}^{-1}$                                |



*Obr. 2: Porovnání zubní výplně z amalgámu (nahore) a kompozitu (dole)*

Amish Sheth DMD [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW:

#### **2.1.6. Legislativa ČR a EU ve vztahu ke rtuťi**

Existuje několik zákonů upravujících zacházení se rtuťí a jejími sloučeninami. Obecně je řazena mezi nejnebezpečnější látky, které jsou obsaženy ve všech složkách životního prostředí.

##### **2.1.6.1. Legislativa ČR**

Limity pro zacházení se rtuťí v České republice jsou uvedeny v tabulce č. 6 umístěné na konci textu v přílohách.



### 2.1.6.2. Legislativa EU

Legislativa Evropské unie spravuje zacházení se rtutí většinou přísnějšími limity v oblastech týkajících se životního prostředí a lidského zdraví. Tabulka č. 7 s některými zákony a omezeními je uvedena v přílohách na konci textu. V další příloze je omezení použití rtuti v biocidních přípravcích pro některé okruhy použití.

## 2.2. Analytické metody pro stanovení rtuti

Metody pro stanovení rtuti lze rozdělit na postupy použitelné jen pro stanovení tohoto kovu a na postupy, kterými lze stanovit většinu ostatních kovů včetně rtuti.

### 2.2.1. Atomová absorpční spektrometrie

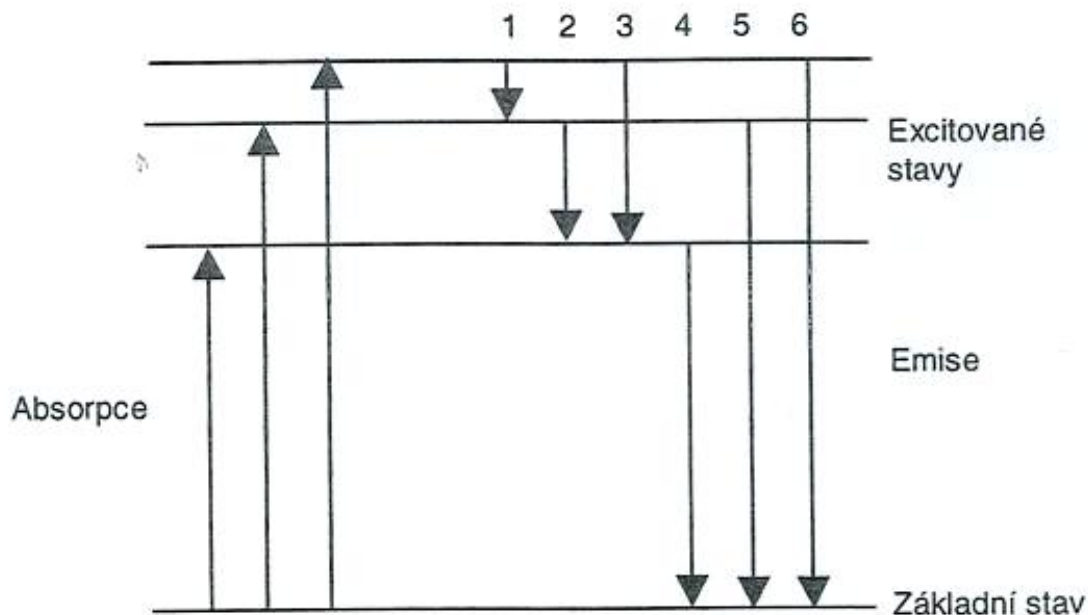
Atomová absorpční spektrometrie (AAS) patří mezi nejrozšířenější analytické metody. Principem této metody je absorpce záření volnými atomy v plynném stavu, které vznikají v tzv. atomizátorech. Volné atomy v plynném stavu absorbují fotony určité energie, čímž rozumíme záření o určité vlnové délce. Energetická hodnota fotonů je charakteristická pro určitý druh atomů a počet absorbovaných fotonů je mírou množství stanovovaných atomů.

Metoda umožňuje stanovení více než 60 prvků. Největší rozmach zaznamenala technika v 60. – 80. letech 20. století, kdy patřila k nejcitlivějším a nejvíce užívaným instrumentálním analytickým technikám.

#### 2.2.1.1. Princip AAS

Principem atomové absorpční spektrometrie je absorpce elektromagnetického záření volnými atomy v plynném stavu. Tyto atomy absorbují záření o určité vlnové délce.

Atomy mohou elektromagnetické záření o určité energii absorbovat nebo emitovat. Při těchto dějích dochází k přechodu elektronů mezi energetickými hladinami (obr. 2).



Obr. 3: Schéma přechodu atomů mezi jednotlivými energetickými hladinami;

Atomová absorpční spektrometrie [online]. 1 2006 [cit. 2009-11-09]. Dostupný z WWW: <fzp.ujep.cz/KTV/uc\_texty/inan/inan\_3.doc>.

Jednotlivé stavy atomů se liší energií. Při přechodu mezi jednotlivými stavy může atom absorbovat nebo emitovat foton. Jeho energie je rovna úbytku nebo přírůstku energie atomu  $\Delta E$  podle Planckova vztahu:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot \nu,$$

kde  $E_1$ ,  $E_2$  jsou energie atomu v nižším a vyšším energetickém stavu,  $h$  je Planckova konstanta ( $6,626 \cdot 10^{-34}$  J·s) a  $\nu$  frekvence vyzářeného nebo absorbovaného záření.

Záření můžeme také charakterizovat pomocí vlnové délky nebo vlnočtu:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = c \cdot \tilde{\nu},$$

kde  $\nu$  je frekvence záření,  $c$  rychlost záření,  $\lambda$  vlnová délka a  $\tilde{\nu}$  vlnčet.

Excitaci atomu může vyvolat absorpce elektromagnetického záření nebo předání energie elektrickým výbojem, zahřáním na vysokou teplotu apod. Ve vybuzeném stavu vydrží atom jen krátce a to  $10^{-8}$  s. energii ztrácí srážkami s jinými částicemi.

#### 2.2.1.2. *Spektrální čáry*

V absorpci se nejčastěji uplatňují čáry, které odpovídají přechodu ze základního stavu atomu a tyto čáry jsou nazvány jako rezonanční. Z těchto čar se využívají nejčastěji ty, které odpovídají přechodu s největší pravděpodobností a tedy s nejvyšší citlivostí. Nejintenzivnější a nejsnáze excitovatelná čára odpovídá přechodu ze základního stavu do prvního excitovaného stavu a vymizí ze spektra jako poslední. Protože vlnová délka rezonanční čáry je nepřímo úměrná energii excitace atomu, počet excitovaných atomů se zvyšuje exponenciálně se zvyšující se vlnovou délkou. Poměr počtu atomů v excitovaném stavu a v základním stavu se zvyšuje s rostoucí teplotou.

#### 2.2.1.3. *Výpočet absorpce pomocí Lambertova – Beerova zákona*

Mezi původním tokem  $\Phi_0$  a tokem záření zmenšeného absorpcí atomů  $\Phi$  platí Lambertův - Beerův zákon:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\kappa \cdot N \cdot l},$$

kde  $\kappa$  je atomový absorpční koeficient,  $l$  délka absorpční vrstvy a  $N$  počet atomů v jednotce objemu.

A po úpravě:

$$A = \log \frac{\Phi_0}{\Phi} = 0,434 \cdot \kappa \cdot N \cdot l,$$

kde  $A$  je absorbance.

#### 2.2.1.4. *Atomový absorpční spektrometr*

Spektrometr obsahuje 5 základních komponent:

- světelný zdroj
- absorpční celu, ve které jsou produkovány atomy prvku (plamen, grafitová pec, ...)
- monochromátor pro výběr rezonanční čáry
- detektor, který měří intenzitu světla a zesiluje signál
- vyhodnocovací zařízení

Existují dva základní typy spektrometrů:

a) *Jednopaprskové systémy*

Světelný zdroj emituje specifické spektrum prvku, které je soustředěno přes atomizátor do monochromátoru. Záření o specifické vlnové délce vchází do detektoru, kterým je většinou fotonásobič.

Mají větší optickou propustnost a tím nižší poměr šum/signál a lepší meze detekce. Naopak však mají nižší stabilitu systému a nelze eliminovat kolísání intenzity zdroje záření.

b) *Dvoupaprskové systémy*

Světlo ze zdroje je rozděleno na měrný a referenční paprsek. Měrný paprsek je soustředěný do absorpční cely se vzorkem a paprsek referenční je veden mimo celu. Oba paprsky se pak sjednotí polopropustným zrcadlem.

Má vysokou stabilitu, ale dochází k větší ztrátě záření. Propustnost systému je zde nižší, čímž se zvyšuje úroveň šumu. Zlepšení lze dosáhnout změnou rozložení podílu zářivé energie mezi měrný a referenční paprsek ve prospěch měrného.

#### 2.2.1.5. *Zdroje světla u AAS*

Hlavními zdroji pro AAS jsou výbojky s dutou katodou (HCL) a bezelektrodové výbojky (EDL). HCL jsou vynikající, zářivé a stabilní zdroje pro většinu prvků. Nicméně pro některé nestabilní prvky, kde je nízká intenzita a krátká životnost lamp problém, jsou EDL výhodnější. EDL dosahují vyšší intenzity záření, a proto mohou pro některé prvky nabídnout lepší přesnost a nižší detekční limit.



Obr. 4: Výbojka s dutou katodou HCL;

ZELINKOVÁ, Hana. Stanovení rtuti ETAAS s dávkováním pevných vzorků. [online]. 1, Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav Chemie, 2007, 27. 6. 2007 [cit. 2009-11-17]. Dostupný z WWW: <[is.muni.cz/th/150832/prif\\_b/Bakalarska\\_prace.pdf](http://is.muni.cz/th/150832/prif_b/Bakalarska_prace.pdf)>.



#### a) HCL (Hollow Cathode Lamp)

Katoda je dutý válec zkonstruovaný zcela nebo jen z části z kovu, jehož spektrum je emitováno. Anoda i katoda jsou zataveny ve skleněném válci, který je naplněn neonem nebo argonem. Válec má skleněné nebo křemenné okénko podle propustnosti emitovaného záření (obr. 3).

HCL mají omezenou životnost. S prodlužujícím se použitím, rozprašovací proces odstraňuje kovové atomy z katody. Lampy pro nestálé prvky stárnou rychleji díky rychlejšímu rozprašování katody.

Výbojky jsou konstruovány pro velmi čisté kovy. Katodu je možné konstruovat ze směsi nebo slitiny několika kovů. Výsledná „víceprvková“ lampa může být použita jako zdroj pro všechny kovy obsažené v katodě. Intenzita u těchto lamp není tak velká jako u jednorvkové výbojky a to má za následek horší poměr signál/šum, který může ovlivňovat přesnost analýzy a detekční limit.

#### b) EDL (Electrodelles Discharge Lamp)

EDL jsou využívány proto, že poskytují stabilnější a intenzivnější záření. Malé množství kovu nebo sůl prvku, pro který je zdroj použit, je zataven do křemenné baničky. EDL jsou v mnoha případech citlivější než HCL. Nabízejí lepší přesnost a menší detekční limit. Poskytují také větší výkon a mají delší životnost.

### 2.2.2. AMA 254

Přístroj AMA 254 (ADVANCED MERCURY ANALYSER) je jednoúčelový atomový absorpční spektrometr pro stanovení rtuti (obr. 4). Slouží pro přímé stanovení obsahu rtuti v kapalném i pevném skupenství bez jakékoliv předúpravy. Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádně vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku.

Na schématu (obr. 5) je vidět, jak přístroj pracuje. Dávkovací zařízení (1) a dávkovací lodička (21) slouží k zavedení vzorku do přístroje. Vstupní část spalovací trubice (2) slouží pro termický rozklad vzorku pomocí spalovací pece (4). Druhá část spalovací trubice je vyplněna katalyzátorem, vyhřívaným na konstantní teplotu (550°C) pomocí katalytické pece (3). Amalgamátor (5) slouží pro zachycení rtuti z proudu plynných produktů rozkladu vzorku. Zachycená rtuť je pak následně uvolněna ohřevem pomocí vypuzovací pece (6). Blok měřících kyvet, vyhřívaný na 120°C pomocí topného elementu (13) obsahuje dvě sériově uspořádané kyvety. Délky první (14) a druhé kyvety (16) jsou v poměru 10 : 1. Zpoždovací nádobka (15), zapojená mezi těmito dvěma kyvetami, je umístěna mimo optickou osu přístroje. Objem zpoždovací nádobky je větší, než měřící kyvety (14). Nízkotlaká rtuťová výbojka (8) slouží jako zdroj záření. Může být zastíněna clonkou (9). Interferenční filtr (11), který izoluje spektrální čáru rtuti 253,65 nm, je součástí detektoru (10). Vzduchové čerpadlo (12) slouží k urychlení chladnutí amalgamátoru po vypuzení rtuti. Analogová elektronika (18) obsahuje zdroj pro rtuťovou výbojku, napájecí zdroje pro digitální část a výkonové spínače pro pece a ostatní akční členy. Digitální část s mikroprocesorem (19) obsahuje kromě číslicových obvodů A/D převodník a měřící zesilovače detektoru a čidel. Sériová komunikace (23) zajišťuje komunikaci s PC. Celým přístrojem trvale proudí kyslík (od vstupu (22) až po výstup (17)), jehož průtok je udržován na konstantní hodnotě pomocí regulátoru průtoku (20).

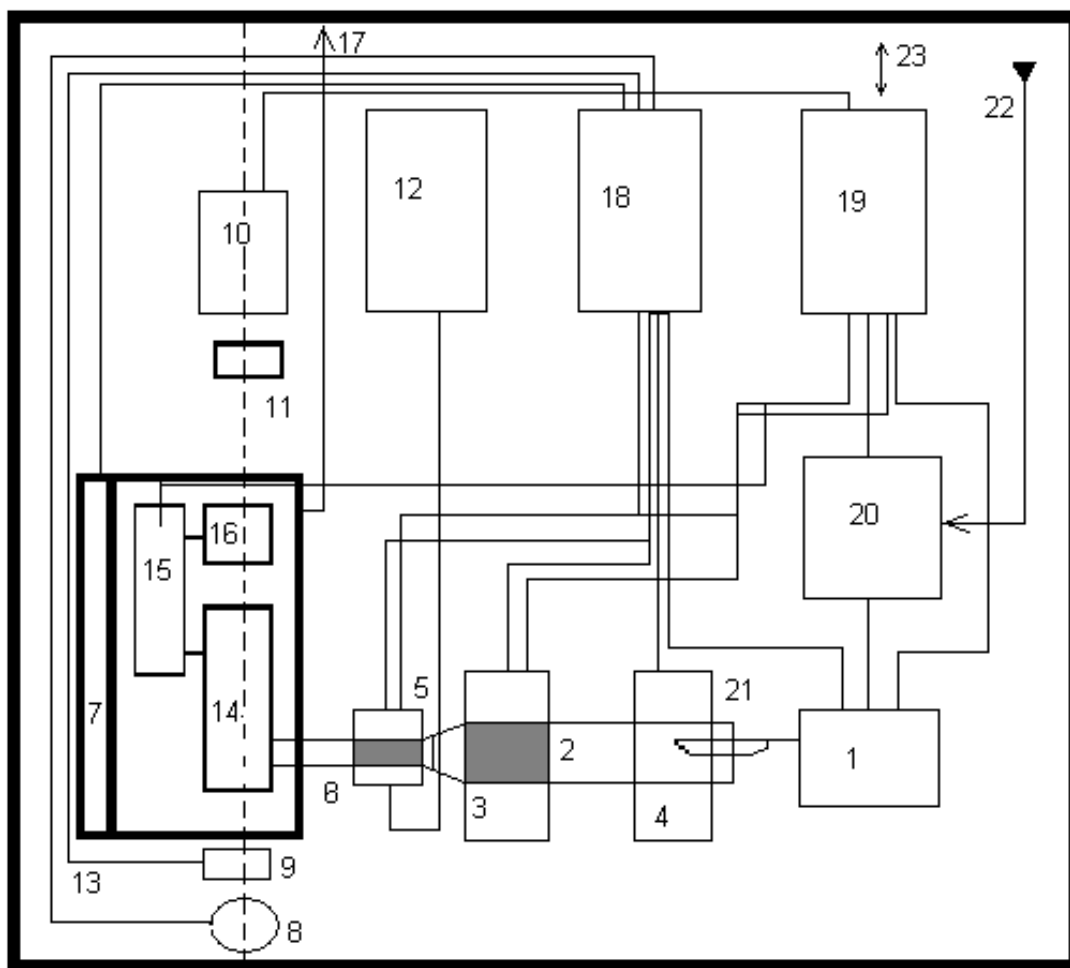
Určitá hmotnost či určitý objem vzorku je umístěn na lodičku a na povel systému vnesen do spalovací trubice. Řízeným ohřevem spalovací pece je vzorek vysušen a poté v proud

kyslíku spálen při teplotě cca 900°C. Pokud je vzorek nehořlavý, tak je vysokou teplotou rtuť ze vzorku uvolněna. Rozkladné látky jsou dále za pomoci katalyzátoru oxidovány a v absorberu, umístěném hned vedle katalyzátoru, jsou zachyceny látky s kyselým charakterem. Proudem kyslíku jsou látky unášeny dále do amalgamátoru, kde je selektivně zachycena rtuť. Celá rozkladná cesta je vyhřívána na 120°C, aby bylo zabráněno kondenzaci vody. Ta by nepříznivě ovlivnila výsledek měření. Zde je rozložený vzorek připraven pro analýzu. Nejprve je automaticky nastaveno zesílení signálového zesilovače a je provedena korekce na temný proud detektoru a automatické nulování pro měření absorbance. Následně dojde k uvolnění rtuti z amalgamátoru automatickým ohřevem. Rtuťové páry jsou nosným plynem (kyslíkem) unášeny přes delší kyvetu (na monitoru PC se objeví první pík), poté se rtuť shromáždí ve zpožďovací nádobce (minimum mezi píky) a z ní vstupuje do kratší měřicí kyvety. Množství je tedy měřeno dvakrát s ohledem na citlivost; delší kyveta je cca 15krát citlivější, než kyveta krátká. Amalgamátor je poté pomocí chladicího zařízení rychle vychlazen. Chladicí zařízení opatřené čerpadlem se po ukončení měření automaticky zapne, aby nedocházelo ke zbytečné prodlevě mezi jednotlivými měřeními. Množství rtuti je zobrazeno na monitoru řídicího PC v jednotkách ppm (parts per milion). Vzorek se rtuť nanášíme na lodičku manuálně pomocí mikropipety, nebo se dodává automatický dávkovač vzorků, a to buď kapalných (ALS 254), pevných (ASS 254).



*Obr. 5: Přístroj AMA 254;*

[Http://www.leco.cz](http://www.leco.cz) [online]. 1 Plzeň : LECO Instrumente Plzeň s.r.o., 2007 , 2007 [cit. 2009-09-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.leco.cz/cz/index4.htm/>>.



Obr. 6: Schéma AMA 254

- |                                          |                                      |
|------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) dávkovací zařízení                    | 13) topení bloku měřících kyvet      |
| 2) spalovací trubice                     | 14) delší měřící kyveta              |
| 3) katalytická pec                       | 15) zpožďovací nádobka               |
| 4) spalovací pec                         | 16) kratší měřící kyveta (2. rozsah) |
| 5) amalgamátor                           | 17) vstupní kyslík                   |
| 6) vypuzovací pec                        | 18) analogová technika               |
| 7) blok měřících kyvet                   | 19) mikropočítač 8051                |
| 8) rtuťová výbojka                       | 20) regulátor průtoku kyslíku        |
| 9) clonka                                | 21) dávkovací lodička                |
| 10) detektor                             | 22) vstup kyslíku                    |
| 11) interferenční filtr                  | 23) komunikace s PC                  |
| 12) chladicí zařízení opatřené čerpadlem |                                      |

### 2.2.3. Stanovení rtuti s dithizonem

Ionty  $\text{Hg}^{2+}$  se extrahují např. chloroformovým roztokem dithizonu za tvorby oranžově červeně zabarveného dithizonátu rtuti, který je vysoce citlivý na sluneční světlo. Extrakce probíhá ve značně kyselém prostředí ( $\text{pH}=1$ ) a není specifická; současně se také extrahují Cu, Ag, Au, Pd, Pt, Bi, Fe(III). Pro zdokonalení metody bylo navrženo provádět extrakci Hg z prostředí obsahujícího současně i Chelaton 3, kterým se s výjimkou Ag vázaly ionty v pevné komplexy. Chelatonem 3 se odstranil také vliv pH na specifičnost činidla. Bylo tedy možno

provádět extrakci i při vyšší hodnotě pH v acetátovém tlumivém roztoku. Proto je dithizonová metoda stále nejvíce užívaným postupem fotometrického stanovení Hg. Metoda je dost komplexní, protože je možná kombinace činidel, např. Chelaton 3 je možno kombinovat ještě s kys. citronovou, s rhodanidem, kterým se maskuje chelatonem nevázané Ag, nebo se nahrazuje kys. 1, 2-diaminocyklohexan-N,N,N',N'-tetraoctovou.

Nejčastěji se používá chloroformového roztoku dithizonu nebo roztoku v tetrachlormetanu (chloridu uhličitým); bylo však také použito kombinace např. s xylenem nebo s toluenem.

Maximum absorpce žlutooranžového komplexu, resp. vlnová délka, při které má být prováděno měření, se udává při 490 nm, jsou však uváděny i sousední hodnoty, jako 487 nm, 502 nm i 510 nm. Převážně jsou metody stanovení prováděny v prostředí acetátového činidla nebo acetátů. V roztoku nesmí být přítomna žádná oxidační činidla, která se používají k rozrušení organických látek obsahujících Hg (např. kombinace  $\text{KMnO}_4$  s  $\text{HNO}_3$  apod). V těchto případech se přidává k reakčnímu prostředí ještě roztok hydroxylaminu. Metodou je možné stanovit až 2,5 ppm Hg v organickém rozpouštědle, je udávána i nižší mez detekce, např. jen 0,8 ppm. Za přítomnosti Chelatonu 3 ruší tedy pouze Ag, které lze maskovat přísadou KSCN, pak je stanovení zcela selektivní. Dithizonové metody vyžadují úzkostlivé čistoty používaných chemikálií, jakož i pracovního postupu vůbec. Stopy těžkých kovů v chemikáliích jsou pečlivě oddělovány předběžným protřepáváním s roztokem dithizonového činidla. Přítomností Chelatonu 3 jsou všechny tyto nepříznivé podmínky eliminovány, takže bylo možno pracovat i s běžnými chemikáliemi, dokonce i použít normální pitnou vodu jako rozpouštědlo. [19]

#### **2.2.4. Stanovení diethyldithiokarbamidem měďnatým**

Komplexy mědi jednoho nebo i druhého činidla se odbarvují, protřepávají-li se s roztokem obsahujícím ionty  $\text{Hg}^{2+}$ . Komplexy Hg jsou pevnější, a proto jsou vytěšňovány ionty  $\text{Cu}^{2+}$  do vodné fáze. Vzájemná výměna Hg za Cu probíhá zcela stechiometricky, a tak úbytek barevné intenzity roztoků obou komplexů Cu může být podkladem pro nepřímé fotometrické stanovení Hg.

První metoda byla popsána již v roce 1951. Postup je velmi jednoduchý, ruší zde Ag a dále ještě Pd a Au. Malá množství Ag lze odstranit vysrážením jako AgCl. Stanovení není rušeno běžnými anionty mimo  $\text{CN}^-$  a  $\text{I}^-$ , které tvoří velmi pevné komplexy s ionty  $\text{Hg}^{2+}$ .  $\text{Cl}^-$  ani ve vyšší koncentraci nevadí.

Merkupralová metoda se provádí prakticky stejně tak, jak bylo popsáno u Ag, také rušivé vlivy jsou stejné s tím rozdílem, že zde ruší Ag. [19]

#### **2.2.5. Instrumentální neutronová aktivační analýza (INAA)**

Jde o moderní, přístrojově nejnáročnější metodu. Upravený vzorek se ozáří tokem neutronů, pomocí kterých se vytvoří ve vzorku radioaktivní izotopy. Obsah jednotlivých prvků se určí rozbořem radioaktivního záření, které vzorek vysílá a které je pro příslušné izotopy charakteristické. Mez detekce je  $10^{-9}$  až  $10^{-10}$  g. Je to velmi citlivá metoda, stanovení není ovlivněno chemickou formou prvku.

#### **2.2.6. Normativní předpisy pro stanovení rtuti**

Existuje řada norem, které určují postupy stanovení rtuti v různých typech vzorků, např. v pitné, povrchové, podzemní a dešťové vodě.

#### **2.2.6.1. Norma ČSN EN 12338**

Metoda po zkoncentrování amalgamací popisuje postupy stanovení rtuti, ve kterých se jako redukční činidlo používá buď chlorid cínatý, nebo tetrahydridoboritan sodný. Celkový obsah rtuti ve vodě se stanovuje po mineralizaci vzorku. Mají-li být stanoveny jen rozpustné sloučeniny rtuti, předchází mineralizaci filtrace membránovým filtrem 0,45 µm. Jednomocná nebo dvojmocná rtuť se redukuje v kyselém prostředí na elementární formu redukčním činidlem chloridem cínatým, nebo tetrahydroboritanem sodným. Elementární rtuť je pak z roztoku vytěsněna proudem inertního plynu a převedena přes velký povrch ušlechtilého kovu, např. jemnou zlatou nebo platinovou síťku, na niž je rtuť adsorbována. Rtuť je následně rychlým ohřevem absorbentu a proudem nosného plynu převedena do vhodné kyvety. Absorbance se měří při vlnové délce 253,7 nm na atomovém absorpčním spektrometru. Koncentrace se vypočítají z kalibrační křivky. K úplnému rozložení všech sloučenin rtuti je třeba mineralizace. Tento postup lze vynechat pouze tehdy, je-li zaručeno, že koncentraci rtuti je možno stanovit bez této předběžné úpravy.

#### **2.2.6.2. Norma ČSN EN 17852**

Stanovení rtuti atomovou fluorescenční spektrometrií je doporučeno pro stanovení rtuti v průmyslových nebo městských odpadních vodách, po dodatečném rozkladu provedeném za náležitých podmínek. Lineární rozsah stanovení je přibližně 1 ng·l<sup>-1</sup> až 100 µg·l<sup>-1</sup>. V praxi se pracovní rozsah často pohybuje od 10 ng·l<sup>-1</sup> do 10 µg·l<sup>-1</sup>. Vzorky s obsahem rtuti, který je vyšší než pracovní rozsah stanovení, je možno analyzovat po náležitém zředění vzorku. Mez detekce metody závisí na zvolených pracovních podmínkách a na rozsahu kalibrace. S vysoce čistými činidly lze dosáhnout meze detekce metody menší než 1 ng·l<sup>-1</sup>. Variační koeficient bývá obvykle menší než 5 % u koncentrací větších, než dvacetinásobek meze detekce metody. Odebrané množství vzorku je rozloženo za přítomnosti chemicky generovaného bromu a chloridu bromného, které rozkládají všechny běžně se vyskytující formy organicky vázané rtuti za vzniku rtuťnatých iontů. Bezprostředně před analýzou se přebytek bromu odstraní kyselinou askorbovou. Redukci chloridem cínatým vznikají v rozloženém vzorku páry elementární rtuti a jsou proudem nosného plynu argonu vytěsňovány z roztoku. Z proudu plynu se nepřetržitě odstraňuje vlhkost a páry rtuti jsou detekovány atomovou fluorescenční spektrometrií. Postup je obvykle automatizován pomocí podavače vzorků a ovládacího softwaru.

#### **2.2.6.3. Norma ČSN 75 7440**

Jde o stanovení celkové rtuti termickým rozkladem, amalgamací a atomovou absorpční spektrometrií. K uvolnění rtuti ze vzorku dochází řízeným ohřevem ve spalovací trubici přístroje. Nejprve se vzorek vysuší a potom proběhne termický rozklad v proudu kyslíku při teplotě od 850 °C do 900 °C. Produkty rozkladu jsou proudem kyslíku unášeny do druhé části spalovací trubice vyplněné katalyzátorem, jehož teplota je udržována na 750 °C. Zde dochází k dokončení oxidace, zachycení halogenů, oxidů dusíku a oxidů síry. Rozkladné produkty jsou dále vedeny do amalgamátoru, který je temperován na 120 °C, stejně jako měřicí kyvety. V amalgamátoru se selektivně zachytí páry rtuti, které jsou potom krátkodobým intenzivním ohřevem vytěsněny do dvou měřících kyvet (dva měřící rozsahy). Absorbance (zpravidla plocha píku) se měří při 253,7 nm jako funkce koncentrace rtuti.

#### **2.2.6.4. Norma ČSN EN 13211**

Metoda stanovuje v odpadních plynech (hlavně ze spaloven odpadů) celkovou hmotnostní koncentraci rtuti v rozsahu  $0,001 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  až  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Z proudu odpadního plynu proudícího potrubím je řízeným způsobem odebrán v určitém časovém intervalu reprezentativní vzorek plynu známého objemu. Pevné částice unášené proudícím plynem se zachycují na filtru. Vzorek plynu za tímto filtrem prochází sérií absorbérů, které obsahují vhodný absorpční roztok pro zachyt plyných sloučenin rtuti. Filtr a absorpční roztoky jsou po ukončeném vzorkování předány do laboratoře k analýze. Prach zachycený na filtru je mineralizován a veškerá rtuť obsažená v pevných částicích je převedena do roztoku, který je následně analyzován. Absorpční roztoky z absorbérů jsou upraveny pro analýzu a analyzovány. Z údajů naměřených v průběhu vzorkování a z výsledků analýz je vypočtena celková hmotnostní koncentrace rtuti ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ve spalinách. [24]

### **2.3. Odpadní vody**

Odpadní voda je voda, která je změněna použitím, a všechna voda odvedená do kanalizace. Může to být splašková odpadní voda, odpadní voda z komerčních provozů, kondenzát a dešťová voda odváděná vnitřní kanalizací. Stupeň znečištění odpadní vody závisí na způsobu užití vody. Za odpadní vodu se považuje i voda, která se „znečistí“ pouze zvýšením teploty.

#### **2.3.1. Splaškové odpadní vody**

Splašková odpadní voda je odpadní voda, která odtéká z kuchyní, hygienických místností, prádelny apod. Splašková odpadní voda obsahuje rozpuštěné a nerozpuštěné organické i neorganické látky. Ve splaškové vodě se vyskytují různé mikroorganismy. Evropská norma uvádí podrobnější dělení splaškové odpadní vody na šedou a černou vodu. Toto rozdělení se zavádí proto, aby se v budoucnu mohly použít speciální metody pro čištění odpadní vody. Bohužel je třeba počítat s tím, že některé šedé odpadní vody (např. voda z praní potřísněného prádla nebo při nepatřičném chování uživatelů zařizovacích předmětů) nelze tak jednoznačně vymezit. V šedých vodách nejsou obsaženy produkty lidského trávení (moč, stolice). Černá voda je splašková voda, která stolicí a moč obsahuje.

#### **2.3.2. Průmyslové odpadní vody**

Průmyslová odpadní voda je odpadní voda změněná a znečištěná použitím v průmyslu, zemědělství nebo v drobných provozech. Průmyslová odpadní voda obsahuje širokou škálu různých látek a jejich rozdílných koncentrací. Zneškodňování těchto látek a předčištění průmyslových odpadních vod je velmi rozsáhlý obor, který vyžaduje speciální znalosti o jednotlivých škodlivinách a neřeší se v rámci zdravotně-technických instalací.

#### **2.3.3. Dešťové odpadní vody**

Dešťová voda je přirozená srážková voda, která nebyla znečištěna použitím. Těsně před dopadem na povrch obsahuje dešťová voda řadu látek. Jsou to zejména rozpuštěné plyny a látky zachycené průchodem atmosférou, a to jak organické, tak neorganické. Po dopadu na povrch se dešťová voda obohacuje o další látky, které unáší nebo rozpouští na své cestě do recipientu. Kvalita vody závisí na druhu povrchu, ze kterého voda stéká. Dešťová voda odtékající ze střechy objektu obsahuje jednak vysoký podíl rozpuštěných oxidů ( $\text{CO}_2$  a  $\text{SO}_2$ , pH může klesnout až pod hodnotu 6) a proměnný podíl organických a anorganických látek

(pyl, ptačí trus, prach). Dešťová voda, která odtéká z parkovacích stání a dopravních komunikací, může být znečištěna ropnými produkty. Nejvíce znečištěná dešťová voda odtéká z pěších komunikací a zelených ploch městské zástavby. To je způsobeno velkou koncentrací obyvatel, z čehož vyplývá i vyšší intenzita znečištění.

#### **2.3.4. Podzemní vody**

Podzemní voda je voda prosakující z povrchu pevniny a podle hloubky, ve které se nachází, obsahuje různé rozpuštěné látky; odpadní voda se z ní stává v případě, že vnikne nebo je vypouštěna do kanalizace.



*Obr. 7: Odpadní voda v nádrži, kde probíhá biotechnologické čištění;*

Inovace.cz [online]. 1 Brno : JIC, zájmové sdružení právnických osob, 2007 [cit. 2009-11-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.inovace.cz/for-life/zivotni-prostredi/priroda/clanek/biotechnologicke-postupy-pri-cisteni-odpadnich-vod/>>. ISSN 1802-6606.

#### **2.4. Cesta odpadní vody čistírnou odpadních vod**

Odpadní vody vznikající při lidské činnosti je nutno před jejich opětovným navrácením do přírody přechistit. Čističky odpadních vod jsou technologické linky pracující na principu mechanicko-biologického čištění.

#### **2.4.1. Mechanické čištění**

Čistící proces je započat hrubým předčištěním prostřednictvím lapáků šterku a česlí. Zde je linka, kde jsou odchyťovány částice větší než 2 cm. Jsou zde zachytávány jakékoliv mechanické nečistoty (hadry, pytle a vše, co lidé vyhodí do kanálů), občas i takové kuriozity, jako peněženky, doklady nebo šperky. Je znám asi 12 let starý případ, kdy tato česla vytáhla tělo mrtvého muže. Dále voda prochází přes podélné lapáky písku, kde se sedimentačními procesy odstraňuje písek, šterk a jiné drobnější mechanické nečistoty. Následně je voda přečerpána do usazovacích nádrží. Usazovací nádrže tvoří poslední mechanický stupeň, sedimentuje zde primární kal, který je odčerpáván na gravitační zahuštění v kruhové nádrži. Nádrže mají cylindrický tvar, dno je zúžené a částice, které klesnou, jsou odchyťovány na dně, plovoucí kaly jsou shrabovány na hladině. Takto je zahušťován i sekundární biologický kal, vzniklý v biotechnologické části čištění. Kaly jsou čerpány do vyhnívacích komor.

#### **2.4.2. Vznik bioplynu a jeho využití**

Směsný kal je ve vyhnívacích komorách zdržen zhruba po dobu 3 týdnů a je zde udržována teplota okolo 35-36 °C, která je nutná z hlediska rozvoje a množení mezofilní mikroflóry. Kromě teploty jsou v komorách sledovány hodnoty pH, výška hladiny a především tlak. Při vyhnívacích procesech se v horní části komor hromadí bioplyn, který je jímán plynojemy. Bioplyn lze zpracovávat procesem kogenerace, který zahrnuje kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Teplo není vypouštěno do okolí, ale využívá se k vytápění a šetří tak finanční prostředky. Při zaplnění plynojemu je možno nadbytečný bioplyn spalovat na hořácích přebytečného plynu. Vyhnílý kal je přečerpán do uskladňovacích nádrží, dále odvodněn a vysušen.

#### **2.4.3. Využití čistírenského kalu v zemědělství**

Kaly z čistíren představují organickou hmotu, tvořenou těly živých a mrtvých bakterií, které absorbovaly znečištění do svých těl. Za optimální situace by tato hmota mohla představovat ideální hnojivo. Při současném rozsahu industriálního znečištění to však není možné, zejména v důsledku kumulace těžkých kovů těly mikroorganismů. Kaly z ČOV Brno jsou zpracovávány několika způsoby. Jsou vyváženy na skládky, nebo do kompostáren, eventuelně lze spalovat suché kaly, což se provádí např. v cementárně Mokrá – Horákov. Jinou možností je využití kalů při rekultivaci půd. Rekultivace je jednou z forem krajinného plánování, kdy dochází k navrácení poškozené nebo zcela zničené krajiny do původního stavu. Při tom se snaží odstranit či zmírnit nepříznivé dopady na životní prostředí změnou fyzických, chemických nebo biologických vlastností.

Odpadní kaly lze spalovat, pokud obsahují alespoň zčásti spalitelné složky. Spalitelné složky mohou být přítomny v tuhé i v kapalně fázi. Při spalování odpadních kalů jsou důležité parametry: teplota, obsah sušiny a organické složky, výživná hodnota. Ekonomicky závisí spalování na míře požadavků na přídavné palivo, přičemž uvedené parametry jsou podstatou záruky vlastního spalování. Hlavní tuhou spalitelnou složkou běžných typů odpadních kalů z ČOV je organická hmota. Energetická bilance procesu spalování je závislá na složení kalu a na použité technologii spalování. Pokud jsou v kalu zastoupeny v dostatečné míře složky s vyšší výhřevností, může být kal spalován samostatně a lze získat využitelnou tepelnou energii. Při vyšším obsahu nespalitelných složek v kalu nelze mnohdy proces spalování vůbec realizovat, neboť teplo vzniklé spálením spalitelných složek nestačí na úhradu tepelných ztrát při procesu. V těchto případech je nutné použít přídavné palivo s dostatečnou výhřevností. Jako přídavného paliva lze použít některých tuhých odpadů (papír, hadry, dřevo) nebo



hodnotných paliv (topné oleje, plynná paliva). Odpadní kaly lze spalovat teprve po jejich co možno nejdokonalejším odvodnění resp. vysušení. Voda obsažená v kalu se totiž při spalování odpařuje a spotřebovává tak značné množství vznikající tepelné energie. Tím se snižuje energetický přínos procesu spalování, případně je tento proces znemožněn.

#### **2.4.4. Biotechnologické čištění**

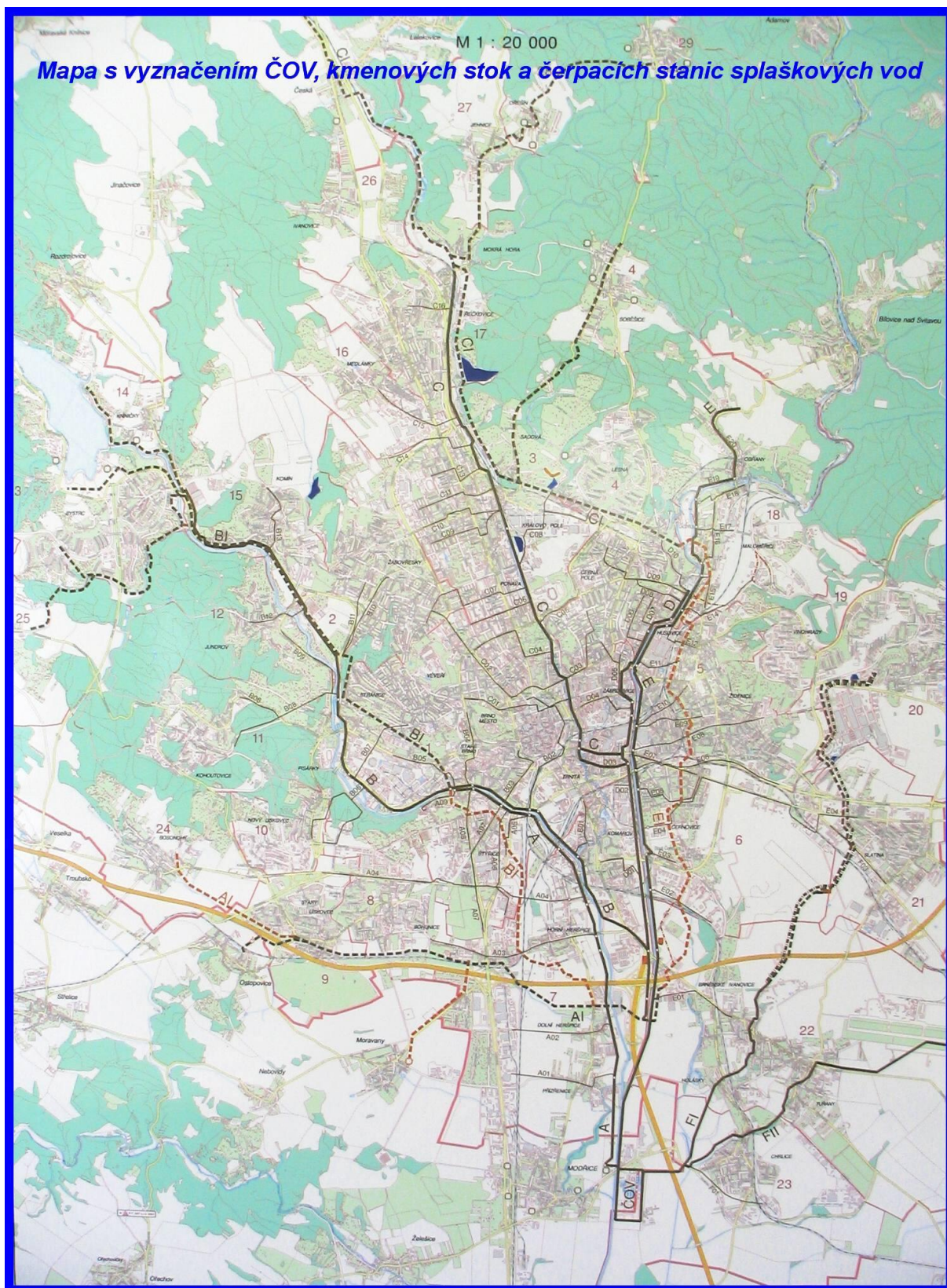
Mechanicky přečištěná odpadní voda je čerpána do aktivace, kde dochází k odstranění dusíkového, fosforečného a uhlíkového znečištění biologickou cestou. Aktivace je rozdělena do dvou linek, každá se dvěma samostatnými drahami. Bakterie na sebe v tomto technologickém úseku váží organické nečistoty a následně je likvidují; organické látky jsou zdrojem výživy bakterií. Jedná se o kontinuální kultivaci v nesterilních podmínkách. Voda je přiváděna nejprve do anaerobní nádrže s funkcí defosfatace, následně do oběhové anoxické nádrže s funkcí předřazené denitrifikace. Posledním stupněm aktivace je aerobní část. Odbourávání fosforu je anaerobní proces a je přednostně zajištěn biologicky. Avšak v důsledku rozpuštění kyslíku, nebo ve vodě při procesu čerpání vody, není odstraňování dostatečné, proto je aplikován síran železitý. Z aktivačních nádrží postupuje aktivační směs do dosazovacích nádrží, kde dochází k usazení a oddělení aktivovaného kalu, který je vrácen do preanoxické zóny aktivace. [22]



*Obr. 8: Letecký pohled na ČOV Modřice;*

Inovace.cz [online]. 1 Brno : JIC, zájmové sdružení právnických osob, 2007 [cit. 2009-11-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.inovace.cz/for-life/zivotni-prostredi/priroda/clanek/biotechnologicke-postupy-pri-cistení-odpadnich-vod/>>. ISSN 1802-6606.





Obr. 9: Mapa kanalizační sítě města Brna

iPublisher. Brněnské vodárny a kanalizace [online]. 1. Brno : 2005, 26. 4. 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.bvk.cz/podminky-dodavky-vody-a-odvadeni-vod-odpadnich/kanalizacni-rad-vcetne-mapovych-podkladu/>>.

### **3. CÍLE PRÁCE**

Cílem práce bylo podrobit analýze vzorky odpadní vody z posluchačských laboratoří anorganické chemie a na neutralizační stanici (NS) FCH VUT v Brně a porovnat s průběžnými výsledky odběrů z neutralizační stanice prováděnými na fakultě a s limity Kanalizačního řádu města Brna. Na základě výsledků této analýzy je diskutováno opatření a změny v pracovních postupech tak, aby bylo dosaženo požadované koncentrace rtuti v odpadní vodě vypouštěné do veřejné kanalizace.

## 4. PRAKTICKÁ ČÁST

### 4.1. Odběry vzorků

Vzorky byly odebírány na Vysokém učení technickém v Brně, Chemické fakultě v pravidelných intervalech. Odběr probíhal v posluchačských laboratořích anorganické chemie a na neutralizační stanici.

V laboratořích je v letním semestru laboratorně připravován tetrajodortuťnatán měďnatý  $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$ , a vždy po dokončení této úlohy byly odebrány vzorky z odpadu pod výlevkou. V letním semestru 2009 bylo dohromady odebráno 11 vzorků z laboratoří; odběry probíhaly v pondělí 3krát, úterý 3krát a středu 5krát.

Další čtyři vzorky byly odebrány z neutralizační stanice, kam vtéká veškerá odpadní voda z laboratoří, kde je podle potřeby regulováno její pH. Byly odebrány dva vzorky u přítoku a dva po neutralizaci.

Všechny vzorky byly bezprostředně po odběru zakyseleny pár kapkami  $\text{HCl}$ . Kyselina chlorovodíková byla přidána kvůli stabilizaci vzorků, protože se s nimi pracovalo až cca 4 měsíce po odběru. Po zakyselení byly vzorky uchovány v tmavých lahvičkách v lednici do doby, než došlo ke stanovení. Tmavé lahvičky byly použity proto, aby nedošlo k rozložení vzorku působením světla, navíc vzorek je v tmavší láhvi stálejší. Analýza rtuti probíhala v čistírně odpadních vod Modřice v laboratoři pro analýzu odpadních vod.

### 4.2. Průběh analýzy

Stanovování vzorků bylo provedeno na jednoúčelovém analyzátoru rtuti AMA 254 (ADVANCED MERCURY ANALYSER) s manuálním dávkováním. Přístroj je citlivý na velmi malá množství rtuti v řádech nanogramů (ng), a proto bylo nutné vzorky z laboratoře zředit. Vzorek byl vyhodnocen vizuálně, a jestliže byly vidět nečistoty pouhým okem, ředění bylo vyšší. Mikropipetou bylo určené množství odpipetováno do odměrné baňky 100 ml a doplněno vodou po rysku. Po řádném promíchání baňky byl dávkován vzorek na lodičku přístroje a během pěti minut byl vzorek vyhodnocen. Pro analýzu bylo odebíráno mikropipetou 10  $\mu\text{l}$ . Úplně první vzorek byl zředěn 500krát, abychom věděli orientačně, jaké množství rtuti ve vzorku je a tím pádem jaké zředění lze provést. Přístroj ukázal velice nízké hodnoty, tak byl ten stejný vzorek dávkován s ředěním 1 : 100 (voda : vzorek). Tato hodnota je již uvedena v tabulce. Tentýž vzorek jsme zkusili zředit 50krát a změřit. Hodnoty byly podobné. Přístroj ukazoval množství rtuti v ppm, které následně bylo přepočteno na  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Tímto způsobem byly změřeny všechny vzorky. Každý byl ředěn jinak, dle vizuálního posouzení. Většinou stačilo vzorek zředit 1 : 50. Je zřejmé, že výsledek analýzy je kvůli vysokému ředění zatížen chybou. Dva vzorky z neutralizační stanice nebylo nutné vůbec ředit

tab. 2: Naměřené hodnoty koncentrací [ppm] na přístroji AMA 254

| označení vzorku | 1) [ppm] | 2) [ppm] | 3) [ppm] | průměr [ppm] | ředění   |
|-----------------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| Po C3013        | 0,00442  | 0,00394  | 0,00431  | 0,00422      | 100x     |
| Po C3013        | 0,00734  | 0,00720  | 0,00691  | 0,00715      | 50x      |
| Po C3015        | 0,00339  | 0,00682  | 0,00677  | 0,00679      | 50x      |
| Po C3017        | 0,00213  | 0,00412  | 0,00413  | 0,00417      | 50x      |
| Út C3013        | 0,00529  | 0,00519  | 0,00547  | 0,00532      | 100x     |
| Út C3015        | 0,00796  | 0,00799  | 0,00794  | 0,00796      | 50x      |
| Út C3017        | 0,01233  | 0,01194  | 0,01233  | 0,01220      | 50x      |
| St C3013 13:00  | 0,02531  | 0,02307  | 0,02539  | 0,02459      | 100x     |
| St C3015 13:00  | 0,00218  | 0,00229  | 0,00231  | 0,00226      | 50x      |
| St C3017 13:00  | 0,01726  | 0,01700  | 0,01728  | 0,01718      | 50x      |
| St C3013 15:30  | 0,00617  | 0,00553  | 0,00584  | 0,00585      | 50x      |
| St C3017 15:30  | 0,01861  | 0,01823  | 0,01839  | 0,01841      | 50x      |
| přítok 28.4.09  | 0,01190  | 0,00900  | 0,00990  | 0,01027      | 10x      |
| odtok 28.4.09   | 0,03280  | 0,02910  | 0,03280  | 0,03157      | 10x      |
| přítok 8.9.09   | 0,00050  | 0,00045  | 0,00048  | 0,00048      | neředěno |
| odtok 8.9.09    | 0,00198  | 0,00199  | 0,00199  | 0,00199      | neředěno |

Pozn: Po – pondělí, Út- úterý, St- středa, C30XX – číslo laboratoře, NS – neutralizační stanice, čas odběru ve středu je pouze orientační

tab. 3: Skutečné koncentrace [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ], směrodatné odchylky

| 1) [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] | 2) [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] | 3) [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] | průměr [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ] | směrodatná odchylka $\sigma$ |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
| 442                                     | 394                                     | 431                                     | 422,3                                       | 25,15                        |
| 367                                     | 360                                     | 345,5                                   | 357,5                                       | 10,97                        |
| 339                                     | 341                                     | 338,5                                   | 339,5                                       | 1,323                        |
| 213                                     | 206                                     | 206,5                                   | 208,5                                       | 3,905                        |
| 529                                     | 519                                     | 547                                     | 531,7                                       | 14,19                        |
| 398                                     | 399,5                                   | 397                                     | 398,2                                       | 1,258                        |
| 616,5                                   | 597                                     | 616,5                                   | 610,0                                       | 11,26                        |
| 2531                                    | 2307                                    | 2539                                    | 2459,0                                      | 131,7                        |
| 109                                     | 114,5                                   | 115,5                                   | 113,0                                       | 3,500                        |
| 863                                     | 850                                     | 864                                     | 859,0                                       | 7,810                        |
| 308,5                                   | 276,5                                   | 292                                     | 292,3                                       | 16,00                        |
| 930,5                                   | 911,5                                   | 919,5                                   | 920,5                                       | 9,539                        |
| 119                                     | 90                                      | 99                                      | 102,7                                       | 14,84                        |
| 328                                     | 291                                     | 328                                     | 315,7                                       | 21,36                        |
| 0,5                                     | 0,45                                    | 0,48                                    | 0,5                                         | 0,025                        |
| 1,98                                    | 1,99                                    | 1,99                                    | 2,0                                         | 0,006                        |

## **5. DISKUZE VÝSLEDKŮ**

### **5.1. Úprava vzorků před stanovením**

Měření probíhalo na přístroji AMA 254. Detekční limit přístroje je 0,01 ng. Jeho pracovní rozsah se pohybuje v mezích od 0,05 ng do 40 ng pro stopová množství rtuti a od 40 ng do 600 ng pro koncentrovanější vzorky. Podle předběžných stanovení lze nastavit citlivost přístroje. Spolehlivost systému je  $\pm 1,5 \%$ . Z těchto údajů lze usoudit, že obsluha přístroje musí mít informace o vzorku, který zrovna analyzuje. Vzorky s vyšším obsahem rtuti musí být před měřením upraveny, aby bylo možné je analyzovat na tomto přístroji. Jednouúčelový analyzátor rtuti je používán k analýze vzorků vod z různých nejen brněnských firem (např. Zetor), je na něm měřeno denně až několik desítek vzorků a jeho znečištění by znamenalo velké nepříjemnosti. Jelikož nejpřesnější stanovení probíhá právě na přístroji AMA 254, tak musí samotné analýze předcházet orientační stanovení buď titracemi, nebo na přístroji s nižší citlivostí. V našem případě byl vzorek několikanásobně zředěn. Poté jsou vzorky rozděleny dle koncentrací. Vzorky s nižšími koncentracemi jsou dále stanovovány na citlivějších zařízeních pro zjištění přesnější hodnoty. U vyšších koncentrací vzorků jsou sledovány příčiny zvýšené koncentrace škodlivých látek a podléhají dalším rozborům. Výsledky měření jsou zapisovány a následně posílány firmám, ze kterých byly vzorky odebrány. Např. když je stanovován vzorek, u kterého bylo zjištěno vysoké množství rtuti, tak už není dále stanovován na zařízeních s vysokou mezí detekce, protože by mohlo dojít k jejich poškození. Vzorky jsou po analýze předepsaným způsobem zlikvidovány.

### **5.2. Hodnocení výsledků**

Každý vzorek rtuti byl měřen třikrát, protože nebyla známa skutečná koncentrace vzorku. Hodnoty pro jeden vzorek byly dosti podobné, takže lze říci, že bylo měřeno relativně přesně. Pokud se v jednom ze tří měření výsledek lišil od ostatních, tak bylo měřeno po čtvrté. Tyto rozdíly mezi jednotlivými hodnotami koncentrací v jednom vzorku mohly být způsobeny nehomogenitou vzorku. Pro dosažení vyšší přesnosti ale bylo měřeno vícekrát, aby bylo dosaženo tří přibližně stejných hodnot. Většina výsledků překračovala limit Kanalizačního řádu, možné příčiny jsou uvedeny v dalších kapitolách. Tímto způsobem ale nelze výsledky hodnotit, protože odpadní voda s naměřenou koncentrací rtuti ve vzorku z laboratoře neodtéká rovnou do kanalizace. Navíc je vzorek zatížen chybou, která byla způsobena ředěním. Ředění muselo proběhnout bezpodmínečně, aby nedošlo k výše zmíněné kontaminaci přístroje. Vzorky z neutralizační stanice touto chybou byly zatíženy mnohem méně. Dva vzorky nebyly ředěny vůbec (odebrané v září) a dva 10krát (odebrané v dubnu). Dubnové vzorky překročily limit KŘ téměř o dva řády. V tabulkách s výsledky je uvedena i směrodatná odchylka. S rostoucími hodnotami koncentrací roste samozřejmě i směrodatná odchylka, protože je zde větší pravděpodobnost rozdílu mezi jednotlivými hodnotami.



### 5.3. Vzorky z laboratoří

Na VUT je laboratorně připravován tetrajodortuťnatan měďnatý. Určité množství rtuti je obsaženo v odpadní vodě tekoucí z výlevky u pracovního stolu, kde je prováděna tato úloha. Cílem práce bylo odebrat vzorky a stanovit v nich koncentraci rtuti. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 2. Obecně měly vzorky z laboratoří řádově vyšší koncentrace rtuti.

Hodnoty měření se velice lišily v závislosti na čistotě vzorku. Většinou byly vzorky zakalené a obsahovaly menší množství pevných nečistot. Nejvyšší koncentraci rtuti měl vzorek s označením St 3013 (13:00) a to průměrně ze tří měření  $2459 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3} \approx 2,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Z výsledku lze usoudit, že daná osoba pracující na úloze ve středu v odpoledním praktiku vylila odpad se rtutí do výlevky a ne do určené láhve na kapalný odpad obsahující Hg. Do výlevky patrně uniklo určité množství červené sraženiny. To mohlo být způsobeno protrhnutím filtračního papíru, čímž byl kontaminován filtrát, který byl následně vylit. Vzorek s tímto obsahem rtuti byl ředěn 100krát. Pokud by byl tento vzorek stanovován neředěný, je dosti pravděpodobné, že by mohlo dojít k poškození přístroje, protože není na takto vysoké koncentrace stavěný. Reálné (neředěné) hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3. Jiný vzorek, odebraný ve stejný čas, pouze ve vedlejší laboratoři obsahoval mnohem nižší koncentraci rtuti, a to  $113 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Z tohoto porovnání je vidět, že se výsledky lišily i řádově. Většina analyzovaných vzorků měla koncentraci ve stovkách mikrogramů na litr vzorku, pouze výše zmíněný vzorek vybočoval. Přesnost měření záleží na požadavcích firem, na laboratorním vybavení a na použité metodě.

Existuje několik faktorů, které mohly analýzu vzorků z laboratoří ovlivnit. Jedním z nich je výše uvedené ředění, které mohlo způsobit odchylku od výsledku. V našem případě jde však pouze o orientační měření, ze kterého lze vyčíst pouze relativní množství rtuti a možná preventivní opatření pro přípravu tetrajodortuťnatanu měďnatého.

Mezi další příčiny ovlivňující výsledky lze zařadit časovou prodlevu mezi ukončením úlohy a odběrem vzorku. Tato skutečnost nebyla předem zjišťována, takže se mohlo stát, že u vzorku, který má nejnižší koncentraci, probíhal odběr již delší čas po ukončení úlohy. Mezitím byl použit vodovodní kohoutek, nebo byla do výlevky vylita voda a výsledek byl okamžitě ovlivněn. Kdyby probíhal odběr například o 5 minut dříve, koncentrace mohla být mnohonásobně vyšší. Tímto způsobem lze uvažovat i při opačném postupu; u vzorku s nejvyšší koncentrací rtuti mohl proběhnout odběr o pár minut později a koncentrace by se rapidně snížila z výše uvedeného důvodu.

Ve vzorcích byly obsaženy nečistoty, které mohly ovlivnit výsledek. Je dost možné, že ne veškeré množství rtuti pocházelo z onoho určitého dne. Jistý podíl mohl být zapříčiněn usazením kousků sraženin již z minulých prací. Koncentrace rtuti ve vzorku byla jistě ovlivněna již před odběrem vzorku. Osoba provádějící úlohu přípravy tetrajodortuťnatanu měďnatého nevědomě ovlivnila výsledky měření. Odebraný vzorek nemusel vůbec obsahovat rtuť z dne odběru. Koncentraci rtuti hodně ovlivnil objem vody vypuštěné při práci z kohoutku do výlevky, která určité množství rtuti odplavila. Tato záležitost by byla příčinou nízké koncentrace rtuti ve vzorku.

Jistý podíl koncentrace rtuti byl způsobený oplachováním pomůcek (např. tyčinka na míchání, kádinka), ze kterých se do odpadu dostala rtuť nejen ve formě komplexu, ale i z původní výchozí látky chloridu rtuťnatého  $\text{HgCl}_2$ . Při přípravě produktu jsou slévány dohromady roztoky právě chloridu rtuťnatého a jodidu draselného. Produktem byl jodid rtuťnatý, který s dalším reagováním s jodidem draselným vytvořil komplex

tetrajodortuťnatanu draselného. I tyto dvě látky mohly být zdrojem kontaminace odpadní vody. Tato skutečnost by posunula koncentraci ve vzorku směrem nahoru. V některých vzorcích byly viditelné stopy červené sraženiny, což je důkazem, že rtuť zde obsažená byla ve formě komplexu. Lze uvažovat možnost, že by veškeré nádoby a pomůcky použité při této úloze byly oplachovány ve speciální nádobě, která by pak byla vylita do odpadní láhve, nebo na určené místo. Laboratoř ale nemá takovou kapacitu nádob na kapalný odpad obsahující rtuť, proto je možné, že menší množství rtuti (hlavně rtuti ve formě komplexu) bylo oplachováno ve výlevce.

Voda je pak upravena na neutralizační stanici. Navíc komplexní forma není natolik škodlivá, jako dvojmocná rtuť v  $\text{HgCl}_2$  (viz kapitola 2.1.2.). Každý vzorek teoreticky mohl obsahovat jiný druh nečistot, záleží na tom, z jaké úlohy byla voda vylita do výlevky.

#### 5.4. Vzorky z neutralizační stanice

Ve škole je neutralizační stanice, kam odtékají veškeré vody z laboratoří. Cestou probíhá míšení odpadní vody z dané úlohy s vodami z jiných úloh, poté s vodami z jiných laboratoří, až vše steče právě do neutralizační stanice. Koncentrace rtuti je cestou značně eliminována, ale stále ne natolik, aby mohla být vypuštěna rovnou do kanalizace bez jakýchkoliv úprav. Neutralizační stanice se skládá z přítokové (havarijní) jímky, na kterou přepadem navazuje jímka klidová, kde dochází k případnému usazování kalů. Tyto kaly jsou dvakrát ročně vyváženy a zpracovány. Systém čerpadel přečerpává vodu z klidové jímky do nádrže, kde v případě nedodržení limitu pH dojde k neutralizaci a následnému vypuštění do kanalizace. Neutralizační stanicí proteče přibližně  $300 \text{ m}^3$  vody za měsíc (měřeno u výtoku do kanalizace). Vody vypouštěné do kanalizace mohou mít pH v rozmezí 6–9. Pokud je hodnota mimo rozsah tohoto limitu, tak dojde k jeho regulaci. Hodnota pH odpadních vod je regulována roztoky kyseliny sírové a hydroxidu sodného. Rtuť je zde vysrážena ve formě  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ . Součin rozpustnosti  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  je  $1,0 \cdot 10^{-26}$ . Kanalizační řád stanovuje limity pro vypouštění rtuti do veřejné kanalizace (tab. 4). Pro potřebu porovnání byla použita hodnota pro zdroj těžkých kovů.

tab. 4: Limitní hodnoty rtuti v různých odvětvích dle Kanalizačního řádu města Brna platného od 1. 4. 2005 do 31. 12. 2010

| Původ               | limit              | jednotky                         |
|---------------------|--------------------|----------------------------------|
| veškerí producenti  | 0,002              | $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ |
| zdroj těžkých kovů  | 0,01 <sup>*)</sup> | $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ |
| zbytkové znečištění | 0,001              | $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ |

<sup>\*)</sup> Pro stomatologická pracoviště platí limit  $0,05 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , pokud platí podmínky uvedené v kanalizačním řádu (tab. 7.0.5.)

iPublisher. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. 1. Brno : 2005, 26. 4. 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.bvk.cz/podminky-dodavky-vody-a-odvadeni-vod-odpadnich/kanalizacni-rad-vcetne-mapovych-podkladu/>>.

Vzorky z neutralizační stanice byly odebírány vždy u přítoku a následně po neutralizaci, a to dvakrát; dohromady tedy byly čtyři vzorky. Koncentrace rtuti ve dvou vzorcích nepřekročila povolené množství rtuti určené kanalizačním řádem pro kategorii zdroje těžkých kovů. Jednalo se o vzorky s označením NS přítok 8. 9. 2009 ( $0,5 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) a NS odtok 8. 9. 2009 ( $2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Tyto dva vzorky byly analyzovány nejdříve s ředěním 10x a poté bez



ředění. Výsledky, které systém vyhodnotil při analýze bez ředění, jsou objektivnější. Vyšší koncentrace rtuti u odtoku, než u přítoku může mít několik příčin. Záleží zde na času odběru; kdyby byl vzorek odebírán v jiný čas, koncentrace by mohla být jiná, pravděpodobně menší. Je třeba si uvědomit, že rtuť není ve vodě rozptýlena rovnoměrně. Oba vzorky splňují i limity pro znečištění průmyslových odpadních vod pro všechny producenty. Další dva vzorky odebrané 28. 4. 2009 překračovaly limit kanalizačního řádu ve všech oblastech. Vzorky měly označení NS přítok 28. 4. 2009 a NS odtok 28. 4. 2009. U přítoku měl vzorek koncentraci  $102,7 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . U vzorku odebraného po neutralizaci byla stanovena více jak 3krát vyšší koncentrace a to  $315,7 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Při uvedeném množství ale nemusí nutně dojít ke kontaminaci. Vzorek byl odebírán z tekoucí vody a zrovna ve chvíli odběru mohla protékat voda s vysokým množstvím rtuti. Následně se ale mísí s mnohonásobně větším množstvím, takže výsledky jsou pouze relativní. Kdyby byl vzorek odebrán jen o pár sekund později, koncentrace rtuti by byla odlišná. Na NS probíhají odběry vody náhodně; v tabulce č. 5 jsou uvedeny výsledky stanovení pro školu za duben 2009 a září 2009. V tyto měsíce byly odebírány i vzorky pro naši analýzu, je tedy možné množství porovnat. Stanovení proběhlo vždy dvakrát u vzorku sedimentovaného a následně u protřepaného. Je totiž možné, že se rtuť váže na pevné nečistoty, čímž se zvýší celková koncentrace. Hodnoty jsou uvedeny pouze pro přítok do NS. Zvýrazněné hodnoty překračují limit kanalizačního řádu pro odpadní vody vypouštěné do kanalizační sítě.

Z výsledků vidíme, že v promíchaném vzorku byla naměřena vyšší koncentrace Hg. Ve vzorku odebíraném 20. 4. 09 byla hodnota rtuti pod limitem v sedimentovaném stavu, ale po protřepání hodnota vzrostla téměř čtyřnásobně. Prudký vzrůst koncentrace po promíchání byl zaznamenán převážně u vzorků s nižšími koncentracemi, až na některé výjimky. Pokud by se vzorek nechal řádně sedimentovat, tak by mohlo dojít k odstranění sedlého kalu a odstranění nejen rtuti, proto jsou pro náš případ objektivnější vzorky protřepané. Výsledky byly uspokojivější v září. Tato skutečnost je způsobena tím, že v první polovině září a první výukový týden ještě neprobíhají laboratorní cvičení. Navíc úloha přípravy tetrajodortuťnatanu měďnatého probíhá až v letním semestru. Lze ale pozorovat velmi vysoké množství rtuti v posledním zářijovém stanovení; zde byl limit překročen. Tato vysoká koncentrace mohla být zapříčiněna právě pevnými nečistotami, na kterých mohla být navázána rtuť. 18. 9. 09 byla naměřena u přítoku velice podobná koncentrace rtuti, jako v našem případě u vzorku s označením NS přítok 8. 9. 2009. Výsledky v září byly celkově velice podobné stanovení množství rtuti u vzorku NS odtok 8. 9. 2009. U dubnových vzorků byly obecně naměřeny vyšší koncentrace Hg, což mohlo být způsobeno tím, že byla v provozu většina laboratoří, takže do odpadů bylo vyléváno více nečistot. Zajímavé je, že ani jeden z dubnových vzorků, které překročily limit, nedosáhly takové hodnoty, jako jediný nadlimitní zářijový vzorek.

Z naměřených hodnot pro protřepané vzorky rtuti lze vypočítat průměrnou koncentraci rtuti, což je, pokud bychom brali vyšší hodnotu,  $43,3 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  pro duben a  $45,4 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  pro září. Měsíčně proteče neutralizační stanicí přibližně  $300 \text{ m}^3$  vody, denně tedy  $10 \text{ m}^3$ . Pokud by v každém litru vzorku byla naše vypočítaná koncentrace, tak by denně neutralizační stanicí proteklo  $433000 \mu\text{g} = 433 \text{ mg} = 0,433 \text{ g}$  (vztaženo na dubnovou hodnotu) a  $454000 \mu\text{g} = 454 \text{ mg} = 0,454 \text{ g}$  (vztaženo na zářijovou hodnotu). Pokud bychom tyto hodnoty zprůměrovali a vztáhli bychom je na celý rok, tak denní koncentrace rtuti v  $10 \text{ m}^3$  je  $0,444 \text{ g}$ . Tuto hodnotu lze uvažovat, pokud by proteklo denně stejné množství vody se stejnou koncentrací rtuti v každém litru. Týdenní průtok by byl  $70 \text{ m}^3$ , ve kterém by bylo  $3,108 \text{ g}$  rtuti

při konstantním průtoku. Měsíčně tedy obsahuje 300 m<sup>3</sup> odpadních vod dle našeho „ideálního“ výpočtu 13,32 g rtuti, což už je relativně velmi vysoké číslo.

Semestr má 12 výukových týdnů, což odpovídá 37,30 g rtuti za jeden semestr.

tab. 5: Naměřené koncentrace rtuti na NS v dubnu a září 2009  
(odběr probíhal v přítokové jímce)

| den odběru   | c [μg·dm <sup>-3</sup> ]<br>sedimentovaná | c [μg·dm <sup>-3</sup> ]<br>protřepaná |
|--------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Pá 3. 4. 09  | 1,5; 1,4                                  | 1,9; 2,8                               |
| Po 6. 4. 09  | 6,0; 2,3                                  | <b>25,0; 34,0</b>                      |
| Čt 9. 4. 09  | <b>84,1; 83,1</b>                         | <b>86,7; 87,0</b>                      |
| Po 13. 4. 09 | 9,2; 7,7                                  | <b>15,8; 17,8</b>                      |
| Pá 17. 4. 09 | 1,3; 1,6                                  | 5,0; 4,8                               |
| Po 20. 4. 09 | <b>23,0; 23,0</b>                         | <b>82,5; 110,6</b>                     |
| Pá 24. 4. 09 | <b>15,7; 16,4</b>                         | <b>39,9; 41,2</b>                      |
| Po 27. 4. 09 | <b>68,0; 61,5</b>                         | <b>69,4; 70,1</b>                      |
| Čt 30. 4. 09 | <b>14,6; 14,0</b>                         | <b>19,1; 21,1</b>                      |
| Pá 4. 9. 09  | 1,2; 1,1                                  | 2,6; 2,7                               |
| Po 7. 9. 09  | 3,4; 3,5                                  | 6,8; 8,0                               |
| Pá 11. 9. 09 | 2,2; 5,2                                  | 6,5; 8,5                               |
| Po 14. 9. 09 | 2,3; 1,6                                  | 4,2; 6,3                               |
| Pá 18. 9. 09 | 2,2; 0,5                                  | 2,6; 2,2                               |
| Út 22. 9. 09 | 1,6; 2,4                                  | 6,3; 4,6                               |
| Út 29. 9. 09 | <b>75,5; 58,1</b>                         | <b>219,6; 285,32</b>                   |

### 5.5. Modelový výpočet znečištění

Zde je uveden orientační výpočet pro znečištění odpadní vody rtutí z laboratoře, kde je připravován tetrajodortuťnatan měďnatý. V úloze je navažováno 3,2 g HgCl<sub>2</sub>; toto množství je rozpuštěno v 70 ml vody. Po reakci s KI následně vzniká HgI<sub>2</sub>, ale už ve vyšším množství vody (120 ml).

Výpočet množství rtuti na jednoho studenta:

M<sub>r</sub>(HgCl<sub>2</sub>).....M<sub>r</sub>(Hg)  
269,50 g·mol<sup>-1</sup>.....200,59 g·mol<sup>-1</sup>  
3,2 g.....x g

$$x = \frac{m(\text{HgCl}_2) \cdot M_r(\text{Hg})}{M_r(\text{HgCl}_2)} = \frac{3,2 \cdot 200,59}{269,5} = 2,382 \text{ g Hg}$$

2,382 g rtuti je množství na jednoho studenta v případě, že veškerá rtuť proteče do výlevky. Praktikum z anorganické chemie je vyučováno tři dny v týdnu. Úloha je ovšem dělána ve třech laboratořích naráz v pondělí a v úterý, ve středu probíhá pět praktických cvičení, tři dopoledne a dvě odpoledne. Týdně je tedy úloha prováděna 11krát. Při stoprocentním úniku rtuti do výlevky a pro případ, kdy je úloha prováděna v každém cvičení bylo vypočteno, že se do odpadu dostane 26,2 g rtuti za týden.

Praktikum z anorganické chemie zahrnuje 12 úloh v 12 výukových týdnech. V případě nulové absence studentů v úloze přípravy tetrajodortuťnatanu měďnatého by bylo vypuštěno do odpadu 314,4 g rtuti za celý semestr při provádění této úlohy. V bodě 5.4. bylo vypočteno 37,30 g rtuti za semestr. Zde vypočtená hodnota je cca 10x vyšší, což odpovídá přibližně 88 % účinnosti doposud používaných opatření, tj. slévání vody do láhví na odpady s Hg.

Do odpadu odeče za semestr přibližně 360 m<sup>3</sup> odpadních vod z posluchačských laboratoří, ve kterých jsou prováděny úlohy se rtutí. Lze tedy vypočítat orientační koncentraci rtuti v 1 litru.

$$c = \frac{m}{V} = \frac{314,4}{360 \cdot 1000} = 8,73 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3} = 0,873 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} = 873 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}.$$

Byla vypočtena koncentrace pro stoprocentní únik rtuti z původní navážky 3,2 g HgCl<sub>2</sub>.

Stejným způsobem byly vypočteny koncentrace i pro únik 80, 60, 50, 40 a 20 % rtuti do odpadu. Stejnou metodou byly provedeny i výpočty pro množství rtuti ve vzorcích z NS. Výsledky uvádí tabulka č. 6.

tab. 6: Modelový výpočet koncentrace a hmotnosti Hg

| procento úniku Hg<br>[%] | Vzorky z laboratoří  |                                          | Vzorky z NS          |                                          |
|--------------------------|----------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|
|                          | m(Hg)/semestr<br>[g] | c (Hg)/semestr<br>[μg·dm <sup>-3</sup> ] | m(Hg)/semestr<br>[g] | c (Hg)/semestr<br>[μg·dm <sup>-3</sup> ] |
| 100                      | 314,4                | 873                                      | 37,30                | 103,6                                    |
| 80                       | 251,5                | 699                                      | 29,84                | 82,88                                    |
| 60                       | 188,7                | 524                                      | 22,38                | 62,16                                    |
| 50                       | 157,2                | 437                                      | 18,65                | 51,80                                    |
| 40                       | 125,8                | 349                                      | 14,92                | 41,44                                    |
| 20                       | 62,90                | 175                                      | 7,460                | 20,72                                    |

Tímto modelovým výpočtem bylo orientačně určeno množství a koncentrace rtuti, která unikla do odpadu za určitý časový úsek, pro různé procento úniku rtuti z původní navážky.

Pokud bychom porovnávali modelový výpočet s hodnotami koncentrací vzorků z laboratoří, které byly naměřeny v ČOV, lze usoudit, že pouze dva vzorky překročily koncentraci rtuti vypočtené ilustrativním výpočtem pro stoprocentní znečištění (St C3013 13:00, St C3017 15:30). Ve třech případech bylo překročeno 80 % znečištění odpadu (viz výše + St C3017 13:00). Jediný vzorek (St C3015 13:00) nedosáhl ani 20 % znečištění.

Je téměř nemožné dosáhnout nulové kontaminace odpadních vod rtutí, ale vzorky s označením Út C3013, Út C3017, St C3013 13:00, St C3017 13:00 a St C3017 15:30 dokazují, že ne vždy je se rtutí zacházeno jako s nebezpečnou látkou. Koncentrace jsou velice vysoké, což mohla způsobit neopatrnost studenta při práci se sloučeninami (oplachování nádobí, likvidace odpadu obsahujícího Hg, atp.)

Pokud bychom porovnali z hlediska účinnosti dosavadních opatření výsledky z laboratoří a NS, tak přibližná účinnost současně používaných opatření je 88 %.

## 6. ZÁVĚR

Byla stanovena koncentrace v odpadní vodě přímo pod výlevkou a na neutralizační stanici. V letním semestru unikne do kanalizace největší množství rtuti, protože je prováděna zmíněná příprava  $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$ , ale lze říci, že v ostatní období výuky není znečištění tak vysoké, takže se jisté množství kompenzuje. Zde je ale potřeba brát na zřetel, že voda vytékající z laboratoře je cestou do ČOV několikanásobně zředěna, a to až v takovém poměru, že lze množství rtuti považovat za stopové a Kanalizační řád ve chvíli přítoku do ČOV není překročen.

Z pozorování plyne, že pravidla nakládání s odpady zajistí zachycení v průměru 88 % v úloze použité rtuti, ale nejsou dodržována do takové míry, aby nehrozilo nebezpečí překročení Kanalizačního řádu, eventuálně kontaminace životního prostředí.

Jako vhodné opatření je navrženo zpřísnění dozoru při práci s látkami nebezpečnými pro lidské zdraví a pro životní prostředí.

Alternativně by bylo možné pořídit velkoobjemovou nádobu 50 – 100 l na shromažďování nebezpečných kapalných odpadů obsahujících rtuť. Ta by mohla být po fyzikálně – chemické úpravě zpětně získávána, nebo by došlo k jejímu odstranění jako nebezpečného odpadu.

## 7. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- 1) ZELINKOVÁ, Hana. *Stanovení rtuti ETAAS s dávkováním pevných vzorků*. [online]. 1 Brno : Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav Chemie, 2007 , 27. 6. 2007 [cit. 2009-11-17]. Dostupný z WWW: <is.muni.cz/th/150832/prif\_b/Bakalarska\_prace.pdf>. v Brně, Fakulta chemická. 1. vyd. Brno : [s.n.], 2007.
- 2) SPONAR, Jan. *Možnosti využití odpadů z úpraven a čistíren vod v silikátových technologiích*. Brno, 2002. 103 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Vedoucí disertační práce Jaromír Havlica.
- 3) RUBEŠKA, Ivan; MOLDAN, Bedřich. *Atomová absorpční spektrometrie*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1967. 153 s.
- 4) ECKSCHLAGER, Karel; HORSÁK, Ivan; KODEJŠ, Zdeněk. *Vyhodnocování analytických výsledků a metod*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 223 s.
- 5) ZÝKA, Jaroslav, et al. *Analytická příručka Díl I. čtvrté, upravené vydání*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988. 678 s.
- 6) *Budoucnost bez jedů* [online]. 1. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.bezjedu.arnika.org/>>.
- 7) JAMES, Hughes. *Velká obrazová všeobecná encyklopedie*. 1. vyd. Praha : Václav Svojtka&Co., 1999. 792 s.
- 8) ČÍŽEK, Pavel. *Čištění odpadních vod*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1957. 127 s.
- 9) SLAVÍK, František, NOVÁK, Jiří, KOKTA, Jaroslav. *Mineralogie*. 5. vyd. Praha : Academia, 1974. 486 s.
- 10) BABČAN, Jan, et al. *Geochemie*. 1. vyd. Praha : Academia, 1980. 555 s.
- 11) LANGOVÁ, Lenka. *Hodnocení analytických postupů využívaných pro stanovení tenzidů obsažených v odpadních vodách*. Vysoké učení technické
- 12) LÍZAL, Pavel. *Is.muni.cz* [online]. první. Ústav experimentální biologie : Masarykova univerzita, 2008 , 20.9.2009 [cit. 2009-09-21]. Dostupný z WWW: <is.muni.cz>.
- 13) *Http://www.leco.cz* [online]. 1 Plzeň : LECO Instrumente Plzeň s.r.o., 2007 , 2007 [cit. 2009-09-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.leco.cz/cz/index4.htm/>>.
- 14) STRNAD, Ladislav. [online]. 1 Praha : Laboratoře geologických ústavů, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2007 , 2007 [cit. 2009-09-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.natur.cuni.cz/lgu/hlavni.html>>.
- 15) SZÁKOVÁ, J. *Single-Purpose Atomic Absorption Spectrometer AMA-254 for Mercury Determination and its Performance in Analysis of Agricultural and Environmental Materials*. Chemical Papers [online]. 2004, vol. 5, no. 58 [cit. 2009-09-22], s. 311-315. Dostupný z WWW: <<http://www.chempap.org/papers/585a311.pdf>>.
- 16) KAIRIES, Candace L., SCHROEDER , Karl T. , CARDONE, Carol R. . *Mercury in gypsum produced from flue gas desulfurization*. Fuel [online]. 2006, vol. 1, no. 85 [cit. 2009-09-22], s. 2530-2536. Dostupný z WWW: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>.

- 17) COSTLEY, Claire T. , et al. *Determination of mercury in environmental and biological samples using pyrolysis atomic absorption spectrometry with gold amalgamation*. Analytica Chimica Acta [online]. 2000, vol. 1-2, no. 408 [cit. 2009-09-22], s. 179-183. Dostupný z WWW: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TF4-3Y6Y3GW-S&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=1019720928&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=f17a497716879c82ff21183158cb3b71](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TF4-3Y6Y3GW-S&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1019720928&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=f17a497716879c82ff21183158cb3b71)
- 18) SPĚVÁČKOVÁ, Věra, et al. *Sampling procedure and a radio-indicator study of mercury determination in whole blood by using an AMA 254 atomic absorption spectrometer*. Analytical and Bioanalytical Chemistry [online]. 2004, vol. 2, no. 380 [cit. 2009-09-22], s. 346-350. Dostupný z WWW: <http://www.springerlink.com/content/xpyhaejy65wr7tv5/>.
- 19) TOMIYASU, Takashi, et al. *Speciation of mercury in water at the bottom of Minamata Bay, Japan*. Marine Chemistry [online]. 2008, vol. 1, no. 108 [cit. 2009-09-22], s. 102-106. Dostupný z WWW: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- 20) HASHEMI, Payman, RAHIMI, Akram . *A highly sensitive method for the determination of mercury using vapor generation gold wire microextraction and electrothermal atomic absorption spectrometry*. Spectrochimica Acta Part B [online]. 2007, vol. 1, no. 62 [cit. 2009-09-22], s. 423-428. Dostupný z WWW: [www.elsevier.com/locate/sab](http://www.elsevier.com/locate/sab).
- 21) ALVES, Larissa C., et al. *Potential treatment alternative for laboratory effluents*. Bioresource Technology [online]. 2005, vol. 1, no. 96 [cit. 2009-09-22], s. 1650-1657. Dostupný z WWW: [www.sciencedirect.cz](http://www.sciencedirect.cz).
- 22) Eurochem [online]. 1 EuroChem Group Portals, 2002 , 3.10.2009 [cit. 2009-10-08]. Dostupný z WWW: [Http://www.eurochem.cz/polavolt/anorg/systemat/hg/ost/fotometr/metody\\_st\\_hg.htm](http://www.eurochem.cz/polavolt/anorg/systemat/hg/ost/fotometr/metody_st_hg.htm)
- 23) LYČKOVÁ, Barbora, FEČKO, Peter, KUČEROVÁ, Radmila. *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů : Zpracování kalů* [online]. 1 Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2009-11-17]. Dostupný z WWW: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy2005/Bara/index.html>.
- 24) FREMROVÁ, L., et al. *Rtut' - metody použitelné jen pro stanovení rtuti* [online]. 2007 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni\\_voda/rtut.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni_voda/rtut.pdf).
- 25) iPublisher. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. 1. Brno : 2005, 26. 4. 2010 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <http://www.bvk.cz/podminky-dodavky-vody-a-odvadeni-vod-odpadnich/kanalizacni-rad-vcetne-mapovych-podkladu/>.
- 26) EUR-lex : Přístup k právu evropské unie [online]. 1998, 13. 8. 2009 [cit. 2010-04-28]. Dostupné z WWW: <http://eur-lex.europa.eu/>.
- 27) Portál veřejné správy České republiky [online]. 2003 [cit. 2010-04-28]. Dostupné z WWW: <http://portal.gov.cz/>.

## 8. PŘÍLOHY

tab. 7: Limity Hg pro ČR

| složka ŽP | předpis      | ustanovení    | limit Hg | jednotky            | oblast                                                                                 |
|-----------|--------------|---------------|----------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ovzduší   | 356/2002 Sb. | příloha č. 1  | 0,2      | mg·m <sup>-3</sup>  | odpadní plyny                                                                          |
|           | 356/2002 Sb. | příloha č. 1  | 0,1      | mg·m <sup>-3</sup>  | spalovny nebezpečných odpadů                                                           |
|           | 356/2002 Sb. | příloha č. 1  | 0,08     | mg·m <sup>-3</sup>  | spalovny komunálních odpadů                                                            |
|           | 356/2002 Sb. | příloha č. 1  | 0,05     | mg·m <sup>-3</sup>  | spoluspalování odpadů                                                                  |
|           | 356/2002 Sb. | příloha č. 1  | 0,05     | mg·m <sup>-3</sup>  | ovzduší v pracovním prostředí                                                          |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,05     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší expoziční limit pro stanovení Hg (PEL)                                        |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,15     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší přípustná koncentrace pro stanovení Hg (NPK - P)                              |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,01     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší expoziční limit pro stanovení alkylsloučenin Hg (PEL)                         |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,03     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší přípustná koncentrace pro stanovení alkylsloučenin Hg (NPK - P)               |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,05     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší expoziční limit pro stanovení anorg. a arylsloučenin Hg (PEL)                 |
|           | 361/2007 Sb. | příloha č. 2A | 0,15     | mg·m <sup>-3</sup>  | nejvyšší přípustná koncentrace pro stanovení anorg. a arylsloučenin Hg (NPK - P)       |
|           | 354/2002 Sb. | příloha č. 4  | 0,03     | mg·l <sup>-1</sup>  | limitní koncentrace znečišťujících látek pro vody používané na čištění odpadních plynů |
|           | 354/2002 Sb. | příloha č. 5  | 0,05     | mg·m <sup>-3</sup>  | mezí hodnoty emisí do ovzduší pro zařízení na spalování odpadu                         |
|           | 354/2002 Sb. | příloha č. 5  | 0,1      | mg·m <sup>-3</sup>  | mezí hodnoty emisí do ovzduší pro zařízení na spalování odpadu                         |
|           | 353/2002 Sb. | odst. 4.2.1.  | 2        | mg·kg <sup>-1</sup> | měrná výrobní emise při výrobě chloru (stávající zdroje)                               |
|           | 353/2002 Sb. | odst. 4.2.1.  | 0,01     | mg·kg <sup>-1</sup> | měrná výrobní emise při výrobě chloru (nové zdroje)                                    |
| voda      | 376/2000 Sb. | příloha č. 1B | 0,001    | mg·l <sup>-1</sup>  | fyzikální a chemické ukazatele (zdravotně významné - anorganické)                      |
|           | 252/2004 Sb. | příloha č. 1  | 0,001    | mg·l <sup>-1</sup>  | pitná voda                                                                             |
|           | 275/2004 Sb. | příloha č. 2  | 0,0005   | mg·l <sup>-1</sup>  | balené a kojenecké minerální vody                                                      |

|          |              |              |              |                     |                                                                                   |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|          | 275/2004 Sb. | příloha č. 1 | 0,001        | mg·l <sup>-1</sup>  | balené přírodní minerální vody                                                    |
|          | 61/2003 Sb.  | příloha č. 3 | 0,0001       | mg·l <sup>-1</sup>  | imisní standardy ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod                 |
|          | 171/1992 Sb. | příloha č. 4 | 0,0005       | mg·l <sup>-1</sup>  | vodárenské toky                                                                   |
|          | 171/1992 Sb. | příloha č. 4 | 0,2          | mg·l <sup>-1</sup>  | povrchové úpravy kovů                                                             |
|          |              |              |              |                     |                                                                                   |
| půda     | 382/2001 Sb. | příloha č. 2 | 0,3          | mg                  | písky, hlinité písky, štěrkopísky (platí pro celkové množství)                    |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 2 | 0,3          | mg                  | běžné půdy (platí pro celkové množství)                                           |
| odpady   | 338/1997 Sb. | příloha č. 1 | 0,001 - 0,05 | mg·l <sup>-1</sup>  | max. vyluhovatelnost rtuti ve skládce                                             |
|          | 383/2001 Sb. | příloha č. 1 | 0,002 - 0,05 | mg·l <sup>-1</sup>  | max. vyluhovatelnost rtuti ve skládce                                             |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 3 | 4            | mg·kg <sup>-1</sup> | obsah kalu pro přímé využití v zemědělství                                        |
|          | 185/2001 Sb. | příloha č. 9 | 0,8          | mg·kg <sup>-1</sup> | koncentrace škodlivin ve vytěžených zeminách a hlušinách                          |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 5 | 2            | -                   | minimální četnost analýz kalů pro Hg (produkce kalů ČOV je menší, než 250 t/rok)  |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 5 | 4            | -                   | minimální četnost analýz kalů pro Hg (produkce kalů ČOV je 250 - 1000 t/rok)      |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 5 | 4            | -                   | minimální četnost analýz kalů pro Hg (produkce kalů ČOV je 1000 - 2500 t/rok)     |
|          | 382/2001 Sb. | příloha č. 5 | 12           | -                   | minimální četnost analýz kalů pro Hg (produkce kalů ČOV je větší, než 2500 t/rok) |
| potravin | 298/1997 Sb. | příloha č. 2 | 1            | mg·kg <sup>-1</sup> | maximální množství v aromátech a aromatizovaných potravinách                      |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 9 | 1            | mg·kg <sup>-1</sup> | čistota a identita veškerých potravinových barviv                                 |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01         | mg·kg <sup>-1</sup> | mléko (NPM)                                                                       |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02         | mg·kg <sup>-1</sup> | mléčné výrobky (PM)                                                               |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02         | mg·kg <sup>-1</sup> | sýry (PM)                                                                         |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01         | mg·kg <sup>-1</sup> | smetana (PM)                                                                      |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,003        | mg·kg <sup>-1</sup> | dětská a kojenecká výživa na bázi mléka (SM)                                      |
|          | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03         | mg·kg <sup>-1</sup> | vejce (NPM)                                                                       |



|              |              |      |                     |                                                |
|--------------|--------------|------|---------------------|------------------------------------------------|
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | sádlo (PM)                                     |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01 | mg·kg <sup>-1</sup> | tuky (PM)                                      |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | maso (NPM)                                     |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,1  | mg·kg <sup>-1</sup> | játra (NPM)                                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,1  | mg·kg <sup>-1</sup> | ledviny (NPM)                                  |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | masné výrobky a drůbeží<br>masné výrobky (NPM) |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | konzervy (PM)                                  |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | drůbež (NPM)                                   |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | zvěřina (NPM)                                  |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,5  | mg·kg <sup>-1</sup> | ryby mořské (NPM)                              |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 1    | mg·kg <sup>-1</sup> | ryby mořské dravé (NPM)                        |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,1  | mg·kg <sup>-1</sup> | ryby sladkovodní (PM)                          |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,5  | mg·kg <sup>-1</sup> | ryby sladkovodní dravé (PM)                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,5  | mg·kg <sup>-1</sup> | rybí výrobky ze<br>sladkovodních ryb (PM)      |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 1    | mg·kg <sup>-1</sup> | rybí výrobky z mořských ryb<br>(PM)            |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 2    | mg·kg <sup>-1</sup> | kaviár, tresčí játra (PM)                      |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 2    | mg·kg <sup>-1</sup> | měkkýši a hlavonožci (PM)                      |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,5  | mg·kg <sup>-1</sup> | korýši (PM)                                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05 | mg·kg <sup>-1</sup> | obiloviny (PM)                                 |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01 | mg·kg <sup>-1</sup> | mouka (SM)                                     |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03 | mg·kg <sup>-1</sup> | mouka (NPM)                                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01 | mg·kg <sup>-1</sup> | mouka celozrnná (SM)                           |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03 | mg·kg <sup>-1</sup> | otruby (SM)                                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | krupice (SM)                                   |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03 | mg·kg <sup>-1</sup> | ovesné vločky (SM)                             |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | kroupy (SM)                                    |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | jáhly (SM)                                     |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | triticale (SM)                                 |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | kukuřice (PM)                                  |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03 | mg·kg <sup>-1</sup> | kukuřice (NPM)                                 |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02 | mg·kg <sup>-1</sup> | rýže (NPM)                                     |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03 | mg·kg <sup>-1</sup> | sója a výrobky ze sóji (NPM)                   |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01 | mg·kg <sup>-1</sup> | zelenina (NPM)                                 |
| 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,2  | mg·kg <sup>-1</sup> | zelenina sušená (PM)                           |

|  |              |              |       |                     |                                                                         |
|--|--------------|--------------|-------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|  |              |              |       |                     |                                                                         |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03  | mg·kg <sup>-1</sup> | luštěniny (NPM)                                                         |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05  | mg·kg <sup>-1</sup> | želatina (PM)                                                           |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,02  | mg·kg <sup>-1</sup> | brambory (NPM)                                                          |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | cukr (NPM)                                                              |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | cukrovinky nečokoládové (NPM)                                           |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | ovoce (NPM)                                                             |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03  | mg·kg <sup>-1</sup> | marmelády, džemy (NPM)                                                  |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | kompoty (NPM)                                                           |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | ovocné šťávy (PM)                                                       |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,1   | mg·kg <sup>-1</sup> | houby (NPM)                                                             |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 1     | mg·kg <sup>-1</sup> | houby sušené (NPM)                                                      |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | kakao (PM)                                                              |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | čokoláda a čokoládové cukrovinky (PM)                                   |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,05  | mg·kg <sup>-1</sup> | rozinky (PM)                                                            |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | dětská a kojenecká výživa na bázi zeleniny nebo s obsahem obilovin (SM) |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,01  | mg·kg <sup>-1</sup> | dětská a kojenecká výživa na bázi ovoce (SM)                            |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,07  | mg·kg <sup>-1</sup> | olejnatá semena (PM)                                                    |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,003 | mg·kg <sup>-1</sup> | nápoje (PM)                                                             |
|  | 298/1997 Sb. | příloha č. 4 | 0,03  | mg·kg <sup>-1</sup> | sirupy (PM)                                                             |

tab. 8: Limity Hg pro EU

| složka  | předpis     | ustanovení          | limit Hg | jednotky            | oblast                                                                                              |
|---------|-------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ovzduší | 107/2010/EC | příloha č. 6 (1.3.) | 0,05     | mg·Nm <sup>-3</sup> | mezní hodnoty emisí do ovzduší pro zařízení na spalování odpadu (intervaly odběru nejméně 30 minut) |
|         | 107/2010/EC | příloha č. 6 (1.3.) | 0,05     | mg·Nm <sup>-3</sup> | mezní hodnoty emisí do ovzduší pro zařízení na spalování odpadu (intervaly odběru nejvíce 8 hodin)  |
|         | 107/2010/EC | příloha č. 6 (2.2.) | 0,05     | mg·Nm <sup>-3</sup> | celkový emisní limit                                                                                |
|         | 107/2010/EC | příloha č. 6 (3.3.) | 0,05     | mg·Nm <sup>-3</sup> | spoluspalování odpadů                                                                               |
|         | 107/2010/EC | příloha č. 6 (4.2.) | 0,05     | mg·Nm <sup>-3</sup> | spoluspalování odpadů (pro odvětví neuvedená v kap. 3)                                              |

|           |             |                  |        |                     |                                                                                      |
|-----------|-------------|------------------|--------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| voda      | 107/2010/EC | příloha č. 6 (5) | 0,03   | mg·l <sup>-1</sup>  | mezní hodnoty emisí pro vypouštění odpadních vod z procesů čištění odpadních plynů   |
|           | 75/440/EHS  | příloha č. 2     | 0,0005 | mg·l <sup>-1</sup>  | vlastnosti surové vody určené pro odběr pitné vody                                   |
| domácnost | 2002/747/ES | příloha č. 1     | 4      | mg/1 ks             | žárovky s jednou patičí a s integrovaným předřadníkem (kompaktní zářivky)            |
|           | 2002/747/ES | příloha č. 1     | 4      | mg/1 ks             | žárovky s jednou patičí a s integrovaným předřadníkem (lampy s kolíkovou patičí)     |
|           | 2002/747/ES | příloha č. 1     | 5      | mg/1 ks             | žárovky s dvojitou patičí (běžná životnost)                                          |
|           | 2002/747/ES | příloha č. 1     | 8      | mg/1 ks             | žárovky s dvojitou patičí (dlouhá životnost)                                         |
| krmiva    | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,1    | mg·kg <sup>-1</sup> | krmné suroviny obecně                                                                |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,5    | mg·kg <sup>-1</sup> | krmné suroviny kromě krmiv zpracovaných z ryb                                        |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,3    | mg·kg <sup>-1</sup> | krmiva bez uhličitanu vápenatého                                                     |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,1    | mg·kg <sup>-1</sup> | krmné (doplňkové a kompletní) směsi                                                  |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,2    | mg·kg <sup>-1</sup> | směsi s výjimkou minerálních krmiv                                                   |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,2    | mg·kg <sup>-1</sup> | směsi s výjimkou krmiv pro ryby                                                      |
|           | 2002/32/ES  | příloha č. 1     | 0,3    | mg·kg <sup>-1</sup> | směsi s výjimkou krmiv pro psy, kočky a kožešinová zvířata                           |
| potravin  | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,05   | mg·kg <sup>-1</sup> | drůbež                                                                               |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,05   | mg·kg <sup>-1</sup> | obiloviny                                                                            |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,03   | mg·kg <sup>-1</sup> | mouka                                                                                |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,03   | mg·kg <sup>-1</sup> | rýže                                                                                 |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,03   | mg·kg <sup>-1</sup> | zelenina                                                                             |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,02   | mg·kg <sup>-1</sup> | brambory                                                                             |
|           | 684/2004/ES | příloha č. 1     | 0,02   | mg·kg <sup>-1</sup> | dětská a kojenecká                                                                   |
| průmysl   | 85/613/EHS  | příloha č. 1     | 0,05   | mg·l <sup>-1</sup>  | chemický průmysl používající Hg katalyzátory pro výrobu vinylchloridu (odpadní vody) |
|           | 85/613/EHS  | příloha č. 1     | 0,1    | g·t <sup>-1</sup>   | chemický průmysl používající Hg katalyzátory pro výrobu vinylchloridu (produkt)      |
|           | 85/613/EHS  | příloha č. 1     | 0,05   | mg·l <sup>-1</sup>  | jiné procesy (odpadní vody)                                                          |
|           | 85/613/EHS  | příloha č. 1     | 5      | g·kg <sup>-1</sup>  | jiné procesy (zpracovaná rtuť)                                                       |

|  |            |              |      |                    |                                                                |
|--|------------|--------------|------|--------------------|----------------------------------------------------------------|
|  |            |              |      |                    |                                                                |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,05 | mg·l <sup>-1</sup> | rtuťové katalyzátory pro výrobu Hg (odpadní vody)              |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,7  | g·kg <sup>-1</sup> | rtuťové katalyzátory pro výrobu Hg (zpracovaná rtuť)           |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,05 | mg·l <sup>-1</sup> | výroba galvanických článků obsahujících rtuť (odpadní vody)    |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,03 | g·kg <sup>-1</sup> | výroba galvanických článků obsahujících rtuť (zpracovaná rtuť) |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,05 | mg·l <sup>-1</sup> | závody na regeneraci rtuti                                     |
|  | 85/613/EHS | příloha č. 1 | 0,05 | mg·l <sup>-1</sup> | úpravy toxických odpadů s obsahem rtuti                        |
|  | 82/176/EHS | příloha č. 1 | 0,05 | mg·l <sup>-1</sup> | maximální koncentrace rtuti při hydrolýze alkalických chloridů |

tab. 9: Seznam látek a směsí, ve kterých nesmí být používána rtuť (od 26. 6. 2009), podle Nařízení Komise (ES) č. 552/2009/ES

| Název látky, skupiny látek nebo směsí       | Omezující podmínky                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sloučeniny rtuti                            | <p>Nesmí být uváděny na trh nebo používány jako látky nebo ve směších, pokud je látka nebo směs určena pro použití:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) jako ochrana před znečišťováním mikroorganismy u: <ul style="list-style-type: none"> <li>- trupů lodí</li> <li>- košů, plováků, sítí a jiného zařízení nebo vybavení používaného k chovu ryb a měkkýšů,</li> <li>- jakýchkoli zařízení nebo vybavení, která jsou zcela nebo částečně ponořena;</li> </ul> </li> <li>b) konzervaci dřeva;</li> <li>c) impregnaci silně namáhaných průmyslových textilií a přízí určených pro jejich výrobu;</li> <li>d) úpravě průmyslových vod, bez ohledu na jejich používání</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Rtuť<br>č. CAS 7439-97-6<br>č. ES 231-106-7 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nesmí se uvádět na trh: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) v teploměrech na určování tělesné teploty;</li> <li>b) v dalších měřicích zařízeních určených k prodeji široké veřejnosti (např. tlakoměry, barometry, sfygmomanometry, teploměry jiné než teploměry na určování tělesné teploty).</li> </ul> </li> <li>2. Omezení v odstavci 1 se nevztahuje na měřicí zařízení používaná ve Společenství již před 3. dubnem 2009. Členské státy však mohou uvádění těchto měřicích zařízení na trh omezit nebo zakázat.</li> <li>3. Omezení v odst. 1 písm. b) se nevztahuje na: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) měřicí zařízení, jejichž stáří dne 3. října 2007 překračuje 50 let;</li> <li>b) barometry (s výjimkou barometrů podle písmene a)) do 3. října 2009.</li> </ul> </li> <li>4. Do 3. října 2009 Komise provede přezkum týkající se dostupnosti spolehlivých bezpečnějších alternativ, jež jsou technicky a ekonomicky proveditelné, pro sfygmomanometry obsahující rtuť a jiná měřicí zařízení v oblasti zdravotní péče a v ostatních odborných a průmyslových použití. Na základě tohoto přezkoumání nebo jakmile budou k dispozici nové informace týkající se spolehlivých bezpečnějších alternativ pro sfygmomanometry a další měřicí zařízení obsahující rtuť, Komise případně předloží legislativní návrh na rozšíření omezení uvedených v odstavci 1 na sfygmomanometry a jiná měřicí zařízení v oblasti zdravotní péče a na další profesionální a průmyslová použití, aby bylo používání rtuti v měřicích zařízeních postupně ukončeno, jakmile to bude technicky a ekonomicky proveditelné.</li> </ol> |