

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VÝSKYT RTUTI V NÁDRŽI SKALKA A JEJÍ VLIV NA ŽIVOTNÍ  
PROSTŘEDÍ

**Autor práce:** Vydrová Silvie

**Vedoucí práce:** doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

**Garantující pracoviště:** Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Rok:** 2016/2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Silvie Vydrová

Územní technická a správní služba

### Název práce

Výskyt rtuti v nádrži Skalka a její vliv na životní prostředí

### Název anglicky

Incidence of mercury in reservoir Skalka and its enviromental impact

---

### Cíle práce

Célem práce je poukázat na vznik rtuti v nádrži Skalka, jak je rtuť nebezpečná pro životní prostředí a své okolí, jaké kroky byly podniknuty pro odstranění a jaký je současný stav nádrže Skalka.

### Metodika

použití odborné literatury, odborných článků, informace od povodí Ohře

Doporučený rozsah práce

35 stran textu

Klíčová slova

rtuť, mercury, qucksilver, Hg, nádrž Skalka, Karlovarský kraj, Cheb, těžké kovy, znečištění, toxicita, životní prostředí

---

Doporučené zdroje informací

BENCKO, V. – CIKRT, M. – LENER, J. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-.

CIBULKA, J. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře*. Praha: Academia, 1991. ISBN 80-200-0401-7.

PRUŽINA, I. *Sledování obsahu olova, rtuti a kadmia v tkáních ryb*. Disertační práce. Praha: 1987.

---

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 7. 9. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 04. 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny publikace a literaturu, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 15.4.2017.

Podpis:

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především panu doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problémem kontaminace nádrže Skalka v Chebu rtutí. Popisuje výskyt rtuti v životním prostředí, formy rtuti a její sloučeniny. Dále popisuje toxicitu rtuti a její vliv v případě intoxikace organismu, kumulaci rtuti v metabolismu a v potravním řetězci a tím způsobené histologicko-patologické změny na vnitřních orgánech nejen organismů vodního ekosystému, ale i jako dopad na lidské zdraví. Lidské zdraví je hlavní prioritou studií pro stanovení limitů a legislativních norem. Bakalářská práce uvádí především způsoby kontaminace povrchových vod, jelikož je práce zaměřena na vodní dílo Skalka.

Dále se práce zabývá dopadem rtuti na životní prostředí v nádrži Skalka a jejím okolí, historickým původem a vývojem kontaminace rtutí a možnostmi dekontaminace nádrže.

## **Klíčová slova**

rtuť, mercury, quicksilver, Hg, nádrž Skalka, Karlovarský kraj, Cheb, těžké kovy, znečištění, toxicita, životní prostředí

## **Abstract**

This thesis deals with the problem of contamination of mercury in reservoir Skalka Cheb. Describes the occurrence of mercury in the environment, forms of mercury and its compounds. It also describes the toxicity of mercury and its influence in case of intoxication of the organism, accumulation of mercury in metabolism and in the food chain and thereby caused histological-pathological changes of internal organs only organisms of aquatic ecosystems, as well as the impact on human health. Human health is a major priority studies for determination of limits and legislative standards. Bachelor thesis presents mainly surface water contamination routes, since the work is focused on the waterworks Skalka.

The thesis examines the impact of mercury on the environment in the reservoir Skalka and its surroundings, historical origin and development of mercury contamination and decontamination capabilities reservoir.

## **Key words**

mercury, West of Bohemia, heavy metals, contamination, environment, qucksilver, Hg, reservoir Skalka, region of Karlovy Vary, Cheb, toxicity

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Obecné pojmy .....	1
2.1. Voda .....	1
2.2. Vodní dílo.....	1
2.3. Rtuť obecně.....	3
3. Zdroje rtuti a způsoby znečištění životního prostředí.....	4
3.1. Toxické vlastnosti a hodnoty rtuti v rámci znečištění .....	5
4. Znečišťování povrchových vod .....	7
4.1. Užitková a provozní voda .....	8
4.2. Dnové sedimenty .....	8
5. Kontaminace vody rtuťí .....	10
5.1. Rtuť ve vodním ekosystému .....	10
5.2. Kontaminace sedimentů dna .....	11
6. Toxicita rtuti.....	12
6.1. Toxicita rtuti pro sladkovodní ryby a další vodní živočichy .....	12
6.2. Histologicko-patologické změny v orgánech a tkáních ryb po expozici rtuťí ..	13
6.2.1. Zbytková rtuť v rybách při intoxikaci.....	14
7. Zdravotní nezávadnost a hygienická kvalita ryb z hlediska obsahu rtuti .....	15
7.1. Metody pro stanovení rtuti.....	16
7.2. Metabolismus a experimentální toxikologie.....	17
8. Toxicita pro člověka.....	17
8.1. Formy rtuti v životním prostředí.....	17
8.2. Elementární rtuť.....	18
8.3. Anorganické sloučeniny.....	19



8.4. Organické sloučeniny rtuti.....	19
9. Rtuť na přítoku vodního díla Skalka.....	20
9.1. Charakteristika nádrže Skalka.....	20
9.1.2. Fauna a flora dotčeného území .....	21
9.2. Zdroje znečištění nádrže Skalka.....	22
10. Monitoring a nápravná opatření .....	23
10.1. Monitoring kvality vody .....	23
10.2. Monitoring rtuti.....	23
10.3. Monitoring plavitelných sedimentů .....	24
10.3.1. Odběry a rozborů vzorků sedimentu .....	26
10.4. Odběry a rozborů vzorků ryb .....	27
11. Vyhodnocení.....	27
11.1. Určení objemu a kontaminace sedimentů .....	27
11.2. Výsledky z rozborů ryb .....	28
12. Cíle nápravných opatření .....	29
12.1. Možnosti dekontaminace sedimentu.....	29
12.2. Možnosti těžby sedimentu .....	30
12.3. Možnosti uložení sedimentu .....	30
13. Závěr, diskuse .....	31
Seznam literatury a použitých zdrojů: .....	33
Seznam tabulek:.....	35

## **1. Úvod**

Tato bakalářská práce je zaměřena na konkrétní území Karlovarského kraje na území Cheb, městskou část Skalka, kde se nachází nádrž Skalka, která je dlouhodobě kontaminovaná rtutí. V bakalářské práci je zpracována studie o způsobu kontaminace nádrže a detekci rtuti v nádrži Skalka.

V této práci budou uvedeny způsoby expozice rtutí, toxicita rtuti a dopad rtuti na životní prostředí a na lidské zdraví. Dále bude uveden koloběh rtuti, především detekce rtuti rozbořem ryb, kumulace rtuti, šíření rtuti v rámci potravního řetězce a následná toxicita rtuti s dopadem především na lidské zdraví.

Tento problém kontaminace nádrže Skalka a celého povodí vznikl před 200 lety. Povodí Ohře tuto situaci monitoruje zhruba 15 let. V práci budou zpracované informace o použitých metodách pro zjištění a odstranění rtuti z nádrže Skalka od společnosti Aquatest a.s.. A jaký je současný stav této nádrže po schválení příslušného projektu ve spolupráci s Německem.

## **2. Obecné pojmy**

### **2.1. Voda**

Jůva, Hrabal, & Pustějovský (1980) uvádí, že voda je nanejvýš cenným a nenahraditelným přírodním zdrojem, neboť její potřeba zasahuje do všech odvětví života a práce.

Voda je tudíž nedílnou součástí životního prostředí – celé fauny a flory. Proto je kontaminace povrchových i podzemních vod velmi zásadní problém, jelikož způsobuje negativní dopad na své okolí.

Dle zákona č. 254/2001 Sb., zákon o vodách, dělíme vody na povrchové a podzemní. Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, což platí pro vodní dílo Skalka.

### **2.2. Vodní dílo**

Dle legislativy jsou vodní díla stavby uměle vytvořené. Slouží k zadržování a vzdouvání vod, k usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně před

škodlivými účinky vod a podobně. Jsou to např. vodní nádrže, studny, hráze, jezy, stavby odkališť, stavby vodovodních řádů, a další.

Přírozených vodních nádrží je velmi málo. Menší, ale přírodovědně zajímavá jezera vznikla v krasových oblastech (v propasti Macošce), v rašeliništích a ze starých říčních ramen (rezervace Křivé jezero). (Kestřánek, Kříž, Novotný, Píše, & Vlček, 1984)

Vodní dílo Skalka je součástí vodohospodářské soustavy Skalka – Jesenice. Hlavním účelem vodního díla Skalka je v součinnosti vodního díla Jesenice kompenzační nadlepšování průtoků v Ohři pro profil Kadaň pro tepelné elektrárny, průmyslové podniky, pro zajištění minimálního průtoku v toku a v profilu Karlovy Vary a Kadaň, zajištění minimálního průtoku v profilu limnigrafu Cheb, částečná ochrana území pod hrází před povodněmi a likvidace následků havarijního zhoršení jakosti vody v toku Ohře. Uvedení nádrže Skalka do provozu bylo v roce 1964. (Povodí Ohře, 2016)

Hospodářské nádrže zajišťují vodu pro různé místní speciální potřeby v sídlištích, především venkovských. Plní funkci zásobní při dodávce vody pro vodárenské, zemědělské, průmyslové i jiné účely, nebo funkci požární. (Jůva, Hrabal, & Pustějovský, 1980)

*Obrázek 1*



VD Skalka, zdroj: (Povodí Ohře, 2016), online: <http://www.poh.cz/vd/skalka.htm>

### 2.3. Rtuť obecně

Rtuť má označení v periodické tabulce Hg. Latinský název pro rtuť je *Hydrargyrum*, anglický název je *Mercury*. Rtuť má zbarvení stříbrné, lesklé. Je to kapalný kov, v tuhém stavu krystalizuje. V suchém vzduchu je rtuť stála, při vlhkosti se oxiduje na HgO. Rtuť je velmi toxický těžký kov. Výpary rtuti jsou i v malých dávkách velmi jedovaté.

Obsah rtuti v zemské kůře je zhruba 0,067ppm. Celkem je známo 95 nerostů s obsahem rtuti, např. v minerálech *cinabarit (rumělka)* nebo jako vzácný nerost *hanawaltit*. V České republice se nenalézají žádné ověřené zásoby rtuti pro těžbu.

Celková roční produkce rtuti se hlavně dříve zpracovávala na výrobu elektrod pro průmyslovou elektrochemii, na výrobu elektrických zařízení, na výrobu barviv, na výrobu měřících a kontrolních zařízení, v zemědělství, v zubním lékařství, v laboratořích, v papírenském průmyslu, pro vojenské účely (pro explozivní vlastnosti některých sloučenin k výrobě rozbušek), ve farmaceutickém průmyslu. Jiné sloučeniny se používaly v kožním lékařství, jako desinfekční prostředky, jako fungicidní prostředky. V historii byla používána například pro léčbu kožních projevů syfilis.

Obrázek 2



Rtuť, zdroj: [http://relax.lidovky.cz/jedy-v-tele-cechy-ohrozuje-rtut-z-ryb-a-plomb-fms-/zdravi.aspx?c=A130827\\_103001\\_In-zdravi\\_mc](http://relax.lidovky.cz/jedy-v-tele-cechy-ohrozuje-rtut-z-ryb-a-plomb-fms-/zdravi.aspx?c=A130827_103001_In-zdravi_mc)

### 3. Zdroje rtuti a způsoby znečištění životního prostředí

V přírodě se s rtutí můžeme setkat v horninách především ve formě sulfidů. Dále v rudách bohatých na rtuť, kterými jsou *rumělka* nebo *cinabarit* a tvoří až 70% obsahu rtuti HgS. K výrobě rtuti se používá nejčastěji známá *rumělka*.

Do životního prostředí a do vod pocházejících z atmosféry se rtuť dostává při spalování fosilních paliv, při zpracovávání rud a tím vzniklými emisemi. Dále se sloučeniny rtuti dostávají do životního prostředí a vod během své výroby a zpracování, z průmyslu, zemědělství a odpady, vypařováním z povrchu zemského a oceánů. S rozvojem moderní techniky roste velmi rychle produkce klasických barevných kovů, jako je hliník, olovo, měď, nikl, chrom, antimon, rtuť.

Máme dva druhy transformace sloučenin rtuti a to chemickou a biochemickou transformaci. *Methylderiváty* (biochemická transformace) se velmi silně kumulují v sedimentech a ve vodních organismech. Tyto *methylderiváty* jsou z toxikologického hlediska pro teplokrevné živočichy nejnebezpečnější. *Dimethylrtuť* (biochemická transformace) je velmi těžká a jedovatá, její páry se takto mohou uvolňovat do atmosféry. (Pitter, 1990)

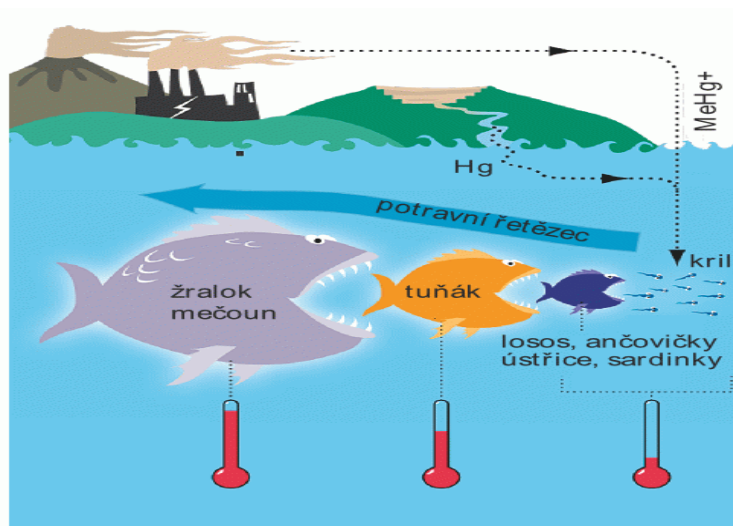
Zvyšování koncentrace výše uvedených kovů v životním prostředí člověka, v ovzduší, vodě, půdě i potravinách je vážný vzrůstající hygienický problém. Kovy nepodléhají chemické degradaci a hromadí se v povrchových vrstvách půdy. Při zvyšování obsahu toxických kovů v půdě se většinou zvyšuje jejich obsah v poživatinách rostlinného původu i v živočišných produktech, což většinou má pro člověka negativní následky. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

V přírodních vodách se rtuť vyskytuje řádově pouze v setinách  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (mikrogramů na litr). Větší koncentraci můžeme nalézt v podzemních vodách v okolí nalezišť minerálů *rumělky*. Zvýšená koncentrace v přírodních vodách je převážně důsledkem antropogenního znečištění. U průmyslových odpadních vod je koncentrace rtuti v  $\text{mg.l}^{-1}$ . U mořských vod se zas uvádí koncentrace výskytu rtuti kolem  $0,03 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Rozpustné organické sloučeniny se v přírodních vodách rozkládají chemickou, biochemickou a fotochemickou cestou, a proto jsou jejich koncentrace v přírodních vodách velmi malé. (Pitter, 1990)

V povrchových vodách se rtuť kumuluje v sedimentech dna nádrží, jezer a dalších vodních dílech. V horních sedimentačních vrstvách dna dochází k *methylaci* elementární rtuti a rtuťnatých iontů za vzniku *methylrtuti*. Vznikající *methylrtuť* je

zachycována drobnými vodními organismy, které jsou potravou ryb. V těle ryb se *methylrtuť* koncentruje. Při úhynu a rozpadu drobných vodních živočichů a ryb vznikají plyny *dimethylrtuti* unikající do vzduchu. V atmosféře může dojít opět k rozložení *dimethylrtuti* na *methylrtuť* a ta může opět vstoupit do potravního řetězce vodních živočichů. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

Obrázek 3



Biokumulace rtuti, zdroj: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/rtut-minulost-a-soucasnost-tekuteho-kovu>

### 3.1. Toxické vlastnosti a hodnoty rtuti v rámci znečištění

Toxické účinky rtuti jsou velmi jasné a známé. Toxicita rtuti se využívá při přípravě různých baktericidních a fungicidních preparátů. V analytice vody se někdy používá  $\text{HgCl}_2$  jako konzervační prostředek proti mikrobiálním pochodům ve vzorcích vod a kalů. Koncentrace rtuti v pitné vodě dle vyhlášky je limitovaná hodnotou  $0,001 \text{ mg.l}^{-1}$ . (Pitter, 1990)

V důsledku kumulace rtuti v sedimentech a vodních organismech nemá koncentrace rtuti překročit ve vodárenských tocích hodnotu maximálně  $0,0001 \text{ mg.l}^{-1}$ . V ostatních tocích nemá překročit hodnotu maximálně  $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ . (Pitter, 1990)

Specifická problematika intoxikace je v oblasti hygienicko-toxikologické. Jedná se o hromadné používání alkylovaných sloučenin olova a rtuti. S problémem sloučeniny *alkylrtuť* jsou spojené havarijní stavy, jež se vyskytly v Japonsku. Tam požívali ryby obsahující *methylrtuť*. Důsledkem byla úmrtí či trvalé následky na zdraví exponovaných lidí, příkladem je slepota. Dalším příkladem je tragédie související s vypouštěním odpadních vod papírenského průmyslu, které způsobily riziko spočívající v biotransformaci anorganické rtuti na mono a *dimethylrtuťnaté sloučeniny*, které jsou obzvláště jedovaté. Tragédie vedly ke snaze nahradit při moření obilí alkylovanou rtuť jiným preparátem. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

V tabulce níže jsou uvedeny všechny ukazatelé přístupného množství látek v povrchových vodách.

Tabulka 1

Tabulka 67. Ukazatele přípustného množství látek obsažených v povrchových vodách podle nařízení vlády ČR č. 25/1975 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Vodárenské toky	Ostatní toky
1. kyslík (nasyčen <sup>1)</sup> )	%	min. 70	min. 50
2. BSK <sub>5</sub>	mg l <sup>-1</sup>	max. 4	max. 8
3. CHSK <sub>520</sub> <sup>2)</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 8	max. 20
4. H <sub>2</sub> S (volný)	mg l <sup>-1</sup>	max. 0	max. 0,1
5. rozpuštěné látky	mg l <sup>-1</sup>	max. 500	max. 1 000
6. Cl <sup>-</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 200	max. 400
7. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 200	max. 300
8. Ca	mg l <sup>-1</sup>	max. 250	max. 300
9. Mg	mg l <sup>-1</sup>	max. 125	max. 200
10. Ca + Mg	mmol l <sup>-1</sup>	max. 3,57	max. 8,21
11. F <sup>-</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 1,5	max. 2,4
12. N(NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>3)</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,39	max. 2,33
13. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> jako NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,5	max. 3,0
14. N(NO <sub>3</sub> )	mg l <sup>-1</sup>	max. 15,0	max. 50,0
15. Fe	mg l <sup>-1</sup>	max. 3,38	max. 11,3
16. Mn	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,5	max. 1,5
17. fenoly <sup>4)</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,2	max. 0,2
18. tenzidy aniontové	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 3,0
19. ostatní tenzidy <sup>5)</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,1	max. 3,0
20. Zn	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,2 <sup>6)</sup>
21. Ni	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
22. Pb	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
23. Cr <sup>III</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,1	max. 0,5
24. Cr <sup>VI</sup>	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
25. As	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
26. Cu	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
27. Se	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
28. Hg	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,000 1	max. 0,005
29. Cd	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,01	max. 0,3
30. Ag	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,01	max. 0,05
31. V	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,005	max. 0,05
32. U	mg l <sup>-1</sup>	max. 0,05	max. 0,1
33. ropa a ropné látky <sup>8)</sup>	—	max. 0,01	max. 0,2
34. pH <sup>9)</sup>	—	6,0 až 8,5	5,0 až 9,0
35. index Coli <sup>10)</sup>	—	max. 8 · 10 <sup>4</sup>	max. 6 · 10 <sup>5</sup>

1) vylučují se rozbory nočních a ranních vzorků  
2) s vyloučením vlivu huminových látek  
3) volný NH<sub>3</sub> nesmí být ve vodárenských tocích přítomen [je nutno dodat, že takto formulovaný požadavek není splnitelný, protože se vždy ustavuje rovnováha mezi NH<sub>3</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (str. 254), bylo by zapotřebí udat konkrétní nejvyšší přípustnou koncentraci nedisociovaného amoniaku] (viz str. 484)  
4) jde o fenoly těkající s vodní párou  
5) s výjimkou kationtových, jde tedy převážně o aniontové tenzidy  
6) veškeré kyanidy  
7) toxické kyanidy (těkající za daných pokusných podmínek)  
8) stanovené jako nepolární extrahovatelné látky  
9) s výjimkou přirozeně kyselých a zásaditých vod  
10) v místech pásma hygienické ochrany I. stupně nejvyšší 10<sup>4</sup>. Coli index udává počet koliformních bakterií v 1 litru vody

429

Ukazatelé přístupného množství látek v povrchových vodách, zdroj: Hydrochemie (Pitter, 1990)

Z hlediska žádoucích a přípustných hodnot ukazatelů jakosti tekoucí vody pro chov ryb je výskyt rtuti zcela nežádoucí. Avšak je přípustná určitá hodnota a to do 1  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . (Pitter, 1990)

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že problémy s toxickými kovy z ekologického hlediska nesporně narůstají a jsou mimořádně složité a dosud velmi málo probádané. Tento problém kontaminace životního prostředí toxickými kovy ukazuje na nezbytnost mezinárodní spolupráce včetně racionálního, mezinárodně koordinovaného řešení dohodnutých výzkumných programů. Řešení problémů životního prostředí předpokládá ekologický přístup. Tento přístup zahrnuje půdoznalecké, agronomicko-botanické, fytopatologické, veterinární a hygienicko-toxikologické aspekty. Vždy se dbá především na lidské zdraví při posuzování znečištění životního prostředí. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

#### **4. Znečišťování povrchových vod**

Povrchové vody jsou především zdrojem pitných vod nebo užitkových vod. Nečistoty, které se dostanou do těchto vod, porušují biologickou rovnováhu. Odpadní vody mají vliv na jakost povrchových vod a posuzují se z hlediska chemického, biologického a estetického, které poškozují veřejné zájmy. Nejnápadnějším jevem je především úhyn ryb. Tento jev byl typickým i pro znečištění vodní nádrže Skalka. Dále se znečištění projeví změnami fyzikálních vlastností vody.

Znečišťující látky lze rozdělit do tří skupin dle ovlivnění kvality povrchových vod:

1. Látky působící přímo toxicky nebo způsobující organoleptické závady
2. Látky, které ovlivňují kyslíkovou bilanci toku
3. „interní“ látky – anorganické nerozpuštěné a rozpuštěné netoxické látky

Látky mohou působit současně několika způsoby. Každá látka však má příslušnou přípustnou hodnotu koncentrace. A každá látka má i svou maximální přípustnou koncentraci, která nesmí být překročena. Maximální přípustnou koncentraci (NPK) dělíme na: NPK toxického působení, NPK organoleptického poškození, NPK nepřímě škodlivého působení. (Pitter, 1990)

Častým zdrojem znečišťování povrchových toků je znečišťování odpadními vodami (důlní vody, ze strojírenských závodů a další). Při čištění těchto vod vzniká



problém v likvidaci kalů. Při nevhodném nebo nadměrném používání například hnojiva mohou zvýšit riziko penetrace toxických kovů do potravinového řetězce člověka. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

#### **4.1. Užitková a provozní voda**

Vodní dílo Skalka slouží pro tepelné elektrárny a průmyslové podniky, ve kterých se využívá voda z nádrže jako užitková a provozní voda.

Na užitkovou vodu se kladou obdobné nároky na jakost jako na vodu pitnou. Méně přísné nároky jsou v oblasti chemických a fyzikálních vlastností vody. Tato voda je tedy hygienicky nezávadná, ale není určena k požívání (pití a vaření). (Pitter, 1990)

Provozní voda je voda určená pro výrobní a nevýrobní účely, např. chlazení, mytí zařízení, hydraulickou dopravu, rozpouštění surovin a další. Jakost vody odpovídá příslušnému způsobu použití. V podnicích musí být taková opatření, aby nedošlo k záměně s pitnou či užitkovou vodou. (Pitter, 1990)

Nevhodná jakost vody se může projevit korozí zařízení, zhoršením kvality výrobků, snížením kapacity výroby. Nejpřísnější požadavky jsou v potravinářském, textilním a papírenském průmyslu. Voda musí být bezbarvá, bez zákalu, bez sedimentujících látek, malý obsah železa, manganu, nesmí být agresivní ke kovům a stavebninám, malá koncentrace vápníku a hořčíku, málo organických látek a další. (Pitter, 1990)

#### **4.2. Dnové sedimenty**

Je to kal, který se usadil na dně nádrže, rybníku, toku. Jsou tvořeny organickými i anorganickými látkami a organismy. Organismy žijící na dně se nazývají bentos. V oligotrofních jezerech a nádržích se tvoří ročně vrstva sedimentu asi 1 mm. V eutrofních jezerech a nádržích (což je i nádrž Skalka) je většinou tento roční přírůstek větší.

##### Složení dnových sedimentů:

- Tuhé látky ze splachů z okolní půdy (jílové materiály, erodované horniny, další)

- Tuhé látky z antropogenních činností (suspendované látky z odpadních vod, tuhé odpady ze zemědělství, další)
- Tuhé látky ze sekundárně chemických reakcí (hydratované oxidy Fe, Mn, Al, další, fosforečnany, uhličitany, sulfidy různých kovů)
- Organický detrit (zbytky odumřelých organismů, živočišných a rostlinných, jako jemný kal)

Eutrofní nádrže mají pH 6,4 až 7,5, dále obsahují dusík, kyslík, fosfor.

Dnové sedimenty ovlivňují i vody splaškové. Ve splaškových vodách dříve kolísala koncentrace anorganického fosforu v rozmezích asi od 3 do 10 mg.l<sup>-1</sup>. Většinou pocházel z fekálií. Poměrná část je přítomna ve formě *polyfosforečnanů*, které podléhají čistírenskou úpravou na *orthofosforečnany*. V karlovarských minerálních vodách je průměrně asi 0,1mg fosforu na 1 litr. Zvláště významně se *fosforečnany* uplatňují při růstu zelených organismů ve vodě. Větší koncentrace v povrchových vodách je nežádoucí, protože podporují intenzivní rozvoj řas a sinic, které jsou dalším velkým problémem nádrže Skalka. Na syntézu 100mg biomasy se spotřebuje zhruba 1 mg fosforu. (Pitter, 1990)

Eutrofizace vyskytující se v nádrži Skalka je způsobena přítomností dusíku a fosforu pocházející z půdy a dnových sedimentů, civilizačního procesu, odumřelých vodních organismů. Dalšími způsoby eutrofizace vod je negativně ovlivněn splachem dusíkatých a fosforečných hnojiv ze zemědělsky obdělávané půdy, používáním *polyfosforečnanů*, zvětšujícím se množství splaškových vod obsahujících sloučeniny fosforu a dusíku z fekálií.

Při hromadění fytoplanktonu při eutrofizaci vod dochází ke zhoršení organoleptických vlastností vody a někdy i k tvorbě toxických látek, které mají nepříznivý vliv na lidské zdraví, například při rekreačním koupání se mohou tvořit vyrážky nebo docházet k zánětu očních spojivek. Z tohoto důvodu vodní nádrž Skalka není vhodná pro rekreační koupání.

Kromě toxického působení na lidské zdraví a zvířata, působí také nevhodně při procesech úpravy vody. Mezi řasové toxiny patří *anatoxiny*, *saxitoxiny* a další. Toxiny sinice mohou způsobovat jaterní otravu při napájení dobytka, u lidí se mohou projevovat bolesti hlavy, zvracení, žaludeční potíže. (Pitter, 1990)

## 5. Kontaminace vody rtuť

### 5.1. Rtuť ve vodním ekosystému

Rtuť se do vodního ekosystému dostává především odpadními vodami z těžby a zpracování rud, z hutí, válcoven, z povrchové úpravy kovů, z fotografického, textilního, kožedělného a chemického průmyslu, ze zemědělství. Dalšími zdroji jsou atmosférické srážky znečištěné exhalacemi, které vznikají při spalování fosilních paliv, výfukové plyny motorových vozidel.

Ve vodách se vyskytuje spousta látek a sloučenin, jsou buď v jednoduché formě jako kationty či anionty nebo jako organické a anorganické sloučeniny. Mezi toxické kovy vyskytující se ve vodě řadíme hlavně olovo, kadmium, rtuť. Značně negativní vlastnost těchto kovů je schopnost akumulace v sedimentech a hlavně ve vodních organismech. Proto je velmi důležité věnovat pozornost obsahu těchto kovů v sedimentech a ve vodních organismech. (Cibulka & kol., 1991)

Tyto kovy mají své platné hodnoty kontaminace, ve kterých se mohou vyskytovat v povrchových vodách a jsou ještě tolerované. Ve vodárenských tocích jsou maximálně přípustné hodnoty olova  $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ , rtuti  $0,0001 \text{ mg.l}^{-1}$ , kadmia  $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ . Hodnoty pro ostatní povrchové vody jsou maximálně přípustné pro olovo  $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ , rtuť  $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ , kadmium  $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ . (Cibulka & kol., 1991) Což jsou hodnoty, ve kterých se Cibulka a kol. (1991) ztotožňují s Pitterem (1990).

Koncentrace rtuti v nekontaminovaných povrchových vodách se pohybuje v rozmezí setin až desetin  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Na území tehdejší „ČSFR“ byly kontaminovanými povrchovými vodami zejména řeka Reslava a údolní nádrž Skalka. (Cibulka & kol., 1991) Tento zásadní problém kontaminace rtuť se zde vyskytoval již zhruba před více jak 200 lety a trvá do současnosti.

## Tabulka 2

Lokalita	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	Autor, rok
Vitava		
Český Krumlov	0,09	SVOBODOVÁ et al. (1982, 1988)
Rájov	0,20	
Podolí	0,18	
Dol	0,10-0,49	
Vraňany	0,09	
Jihlava	0,01	PEŇÁZ et al. (1980)
řeky povodí Berounky		
Plzeň	0,03-0,16	SVOBODOVÁ (1988)
Podhora	0,02-0,09	SVOBODOVÁ et al. (1987)
Skalka	0,20-0,70	VONDRÁK et al. (1984)
Reslava	0,44-1,32	
Malachovský potok	0,30	KOKORĎÁK (1985)
Želivka	0,03-0,10	SVOBODOVÁ et al. (1988)
rybníky		
Třeboňsko	0,03-0,12	SVOBODOVÁ et al. (1982)
Pardubicko	0,02-0,11	
jihozápadní Čechy	$\bar{x}$ 0,24	DRBAL a BASTL (1984)
	0,04-1,00	

Tab.: Hodnoty koncentrace rtuti v povrchových vodách na území tehdejší ČSFR (Cibulka & kol., 1991)

## 5.2. Kontaminace sedimentů dna

Sedimenty dna jsou velmi významným ukazatelem znečištění povrchových vod toxickými kovy. Rtuť se v sedimentech převážně hromadí ve formě sulfidu. Cibulka a kol. (1991) uvádějí, že akumulací koeficient celkové rtuti přecházející z vody do sedimentu je zhruba  $10^4$ . Obsah rtuti v sedimentu je ovlivněn stupněm zatížení dané lokality a charakterem sedimentu.

Vyšší obsah rtuti mají sedimenty s převahou bahna a organických součástí ve srovnání se vzorky písčitého charakteru. Sediment je tedy výborným indikátorem výskytu rtuti zejména ve stojatých vodách (jezerech, údolních nádrží). Nepříliš vhodným ukazatelem jsou pro tekoucí vody, jelikož je obtížné odebrání vhodného vzorku sedimentu v dané lokalitě toku.

Dříve bylo problematické se shodnout ve výsledcích odebraných vzorků, jelikož různé literatury uváděly dosti nejednotné údaje. Bylo to dáno především nejednotným způsobem odběru vzorků a jejich vyhodnocení, a dále nestejným vyjadřováním hodnot. Někteří autoři uvádějí hodnoty rtuti na 1 kg čerstvé hmotnosti vzorku, jiní na 1 kg sušiny vzorku, jiní zase uvádějí hodnoty na 1 kg organické hmoty sedimentu. Proto bylo v posledním období přistoupeno k jednotnějšímu vyjadřování hodnoty obsahu rtuti a to na 1kg organické hmoty sedimentu. (Cibulka & kol., 1991)

Jak již bylo uvedeno enormně zatížené oblasti jsou především řeka Reslava, údolní nádrž Skalka a Malachovský potok. Ostatní lokality lze považovat za nevýrazně zatížené rtutí.

## 6. Toxicita rtuti

### 6.1. Toxicita rtuti pro sladkovodní ryby a další vodní živočichy

Toxické působení na ryby a ostatní druhy vodních živočichů závisí hlavně na vazbě těžkých kovů na aminokyseliny a SH-skupiny bílkovin. Rtuť působí jako enzymový jed. Zpravidla anorganické a organické nerozpustné nebo méně rozpustné sloučeniny jsou méně toxické než jednoduché ionty. Distribuce různých chemických forem kovů ve vodě závisí na chemickém složení vody a to na pH, obsahu aniontů, které mohou tvořit stabilnější komplexní sloučeniny. Negativní účinky kovů se projevují především u raných vývojových stadií ryb.

Sloučeniny rtuti poškozují některé důležité orgány a tkáně ryb (hlavně *parenchymatózní*) a mohou mít i velmi negativní a destruktivní vliv na jejich reprodukci. Způsobují již v malých koncentracích snížení životaschopnosti spermií, sníženou produkci jiker, sníženou životnost oplozených jiker a plůdku.

Akutní letální koncentrace anorganických sloučenin rtuti se pohybuje v rozmezí 0,3 – 1,0 mg.l<sup>-1</sup> pro lososovité ryby, dále v rozmezí 0,2 – 4,0 mg.l<sup>-1</sup> pro kaprovité ryby a to vše v závislosti na fyzikálně chemických vlastnostech vody. Nejvyšší přípustná hodnota koncentrace rtuti ve formě anorganických sloučenin z hlediska požadavků lososovitých ryb je zhruba 0,001 mg.l<sup>-1</sup> a pro kaprovité ryby je to zhruba 0,002 mg.l<sup>-1</sup>. (Cibulka & kol., 1991)

Akutní letální koncentrace organických sloučenin rtuti se pohybuje v rozmezí 0,025 – 0,125 mg.l<sup>-1</sup> pro lososovité ryby, dále v rozmezí 0,2 – 0,7 mg.l<sup>-1</sup> pro kaprovité ryby a to vše v závislosti na fyzikálně chemických vlastnostech vody. Nejvyšší přípustná hodnota koncentrace rtuti ve formě organických sloučenin je pro ryby celkově udávaná hodnota 0,0003 mg.l<sup>-1</sup>. (Cibulka & kol., 1991)

Silně toxické jsou sloučeniny rtuti také pro zooplankton a zoobentos. Smrtící dávka pro zooplankton je koncentrace rtuti 0,03 – 0,08 mg.l<sup>-1</sup>, zcela neškodná je koncentrace 0,0004 mg.l<sup>-1</sup>. Pro perloočky je rtuť toxická při koncentraci

0,02 – 0,095 mg.l<sup>-1</sup>. Druhové složení zooplanktonu značně ovlivňuje hodnota 0,002 mg.l<sup>-1</sup>. (Cibulka & kol., 1991)

Rtuť a další kovy, jako jsou olovo a kadmium, se vyskytují ve vodách ve slabých koncentracích. Přecházejí do sedimentu a zde prostřednictvím mikroorganismů se tvoří organické deriváty. Tyto deriváty přecházejí do potravního řetězce a do konečného článku, neboli do ryb. Z hlediska chovatelského je zřejmý negativní dopad těchto kovů, jelikož negativně ovlivňují potravní základnu ryb, reprodukci, embryonální a larvální vývoj ryb, složení rybích osádek, růst a zdravotní stav ryb.

## 6.2. Histologicko-patologické změny v orgánech a tkáních ryb po expozici rtuť

Rtuť působí vážné *cytoplasmatické a nukleární degradace* smyslových buněk. Dávka 0,125 mg.l<sup>-1</sup> během 24 hodin zablokuje resorpci sodíku ve tkáni žáber ryb. Histologicko-patologický experiment u kaprů, který byl prováděn po dobu 2 let ukázal, že u všech kaprů se projevíly značné regresivní pochody v *hepatopankreatu* a v ledvinách. Tento jev spočívá ve *vakuolizaci hepytocyťů* a buněk epitelové výstelky ledvin a v tvorbě nekrobiotických až nekrotických ložisek v jaterní tkáni kaprů. Výzkumníci se domnívají, že výskyt žlutohnědého pigmentu v ledvinách a *hepatipankreatu* u kaprů je důsledek intoxikace. Co se týká svalovin, nebyly experimentem zjištěny žádné histologicko-patologické změny. Tento pokus byl prováděn látkou *chloridu fenylrtuťnatého*.

Při jiném pokusu, kdy byl intoxikován karas obecný organickým *methoxyethylmerkurychloridem* a anorganickými sloučeninami rtuti, byla prokázána až 10krát vyšší toxicita organicky vázané rtuti. Během asi 28 dnů byly zjištěny progresivní změny hlavně v ledvinách karase.

Další pokus probíhal na pstruzích druhových, kteří byli intoxikováni organicky vázanou rtuť (*methylrtuť*). Zhruba po sedmi týdenní intoxikaci se největší koncentrace naměřila ve slezině, játrech, ledvinách. Tímto experimentem se zjistilo, že anorganicky vázaná rtuť se kumuluje především v ledvinových buňkách, zatímco organicky vázaná rtuť byla nalezena v sekrečních vakuolách a žlučových kapilárách jater.

Histologicko-patologické změny jater a ledvin způsobené rtuťí vážným způsobem narušuje metabolické procesy v organismu sladkovodních ryb.

### 6.2.1. Zbytková rtuť v rybách při intoxikaci

Největší pozornost v ekosystémech povrchových vod je věnována rybám, jelikož jsou brány jako konečný článek potravního řetězce. Především je to bráno z hlediska indikace znečištění povrchových vod a hlavně z hlediska ovlivnění hygienické kvality masa ryb. Rtuť byla věnována velká pozornost u nás i ve světě. Ryby jako konečný článek obsahují nejvyšší hladinu rtuťi. Rtuť se do organismu dostává potravou přes trávicí ústrojí, žábrami a kůží.

Pořadí jednotlivých složek podle obsahu rtuťi: voda, zooplankton, zoobentos, ryby, člověk. Množství hromadění rtuťi v tkáních ryb je závislé na různých faktorech především na koncentraci rtuťi v sedimentech, na fyzikálně chemických vlastnostech vody, druhu ryb, věku a stáří ryb.

Už i Cibulka a kol. (1991) píšou o problému výskytu rtuťi v nádrži Skalka v rámci porovnání výskytu rtuťi v jiných oblastech. Uvádí, že u ryb z řeky Reslavy (přítok Ohře) a u ryb odlovených v nádrži Skalka na Ohři byly zjištěny enormně vysoké hodnoty obsahu celkové rtuťi ve svalovině ryb. Cibulka a kol. (1991) uvádí, že nádrž Skalka byla po mnoho let znečišťována vodami ze SRN, kde se zabývali výrobou technických chemikálií a přípravků na bázi rtuťi. V letech 1980 – 1983 se provedla analýza svaloviny ryb v této lokalitě. Byly naměřené vysoké hodnoty v celkové svalovině ryb a to u štiky obecné  $7,42 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u candáta obecného  $7,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u okouna říčního  $8,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u kapra obecného  $2,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u tolstolobika bílého  $1,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u plotice obecné  $1,17 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u cejna velkého  $1,94 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u jelce tlouště  $2,51 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u lína obecného  $1,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ , u cejnka malého  $3,12 \text{ mg.kg}^{-1}$ . (Cibulka & kol., 1991)

Při vyšší teplotě vody se rtuť v rybách značně hromadí. Poukazují na to pokusy a sledování. Jak již bylo uvedeno, ryby z větších a hlubších stojatých vod mají vyšší obsah rtuťi než ryby z vod tekoucích. Je to způsobeno vyšší *methylocí* rtuťi na dně stojatých vod v anaerobních podmínkách povrchové vrstvy sedimentů, která se poté dále akumuluje v rybách. Dobrým příkladem pro představu rozdílu jsou nejvyšší zaznamenané hodnoty u dravých ryb ve svalovině z údolních nádrží do  $2,87 \text{ mg.kg}^{-1}$  a z tekoucích vod do  $0,83 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Nejvyšší hodnoty rtuti jsou zaznamenány především u dravých ryb jako je štika obecná, bolen dravý, candát obecný, okoun říční, jelikož představují konečný článek potravního řetězce. Nejvhodnější ukazatelem znečištění daného biotopu rtutí je ryba vyššího věku a hmotnosti (nejideálnější věk 6 – 12 let).

Nižší hodnoty rtuti jsou zjišťovány především u ryb bentofágních, kterými jsou parma obecná, jelec proudník, cejn velký, protože jsou vázané na dno toku.

Nejnižší obsahy rtuti bývají nejčastěji u druhu ryb omnivorních, které preferují volnou vodu. Jsou jimi plotice obecná, lipan podhorní, pstruh obecný, hořavka duhová.

## **7. Zdravotní nezávadnost a hygienická kvalita ryb z hlediska obsahu rtuti**

Je udávána nejvyšší přípustná koncentrace celkové rtuti ve svalovině ryb a to hodnota  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  u nedravých sladkovodních ryb a hodnota  $0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  u sladkovodních ryb dravých. Další nejvyšší přípustné hodnoty koncentrace kovů ve svalovině ryb je olovo  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  a kadmium  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ . (Cibulka & kol., 1991)

Tyto toxické kovy se v orgánech a tkáních ryb nacházejí ve formě anorganických i organických sloučenin. Především ve svalovině ryb se nachází rtuť ve formě organické sloučeniny – *methylrtuti*.

Důležitost sledování obsahu toxických kovů v rybách je hlavně z hlediska hygieny potravin. Toxicita se sleduje ve svalovině, jedlých částech ryb, *gonádách*, *parenchymatózních* orgánech. Rtuť napadá především játra, žábry, mozek, ledviny. Rtuť je zafixovaná v orgánech a tkáních ryb tak, že se z těla nevyučuje.

Klade se velký důraz na pravidelné kontroly a monitoring situace. V našich podmínkách je pravidelná roční kontrola obsahu celkové rtuti prováděna u tržních ryb z rybníků. Nejvíce rtutí zatížené lokality jsou již uvedené řeka Reslava a údolní nádrž Skalka u Chebu. Jsou to lokality silně kontaminované odpadními vodami s přítomností rtuti. Obsah rtuti ve svalovině ryb několikrát převyšuje hygienický limit (u dravých i nedravých ryb). Ryby z těchto lokalit jsou nepoživatelné.



## 7.1. Metody pro stanovení rtuti

Rtuť v životním prostředí najdeme v chemických a fyzikálních formách. Jednou z nejtoxičtějších sloučenin je *methylrtuť*. Těžké hromadné otravy u lidí způsobovala, když lidé konzumovali kontaminované rybí maso nebo potraviny připravené z mořného obilí.

Kovová rtuť je těkavá. Afinita rtuti k síře a SH-skupinám je hlavním faktorem určujícím biochemické vlastnosti rtuti a jejích sloučenin. Rtuť se může vázat na SH-skupiny bílkovin, biologických membrán, enzymů a tím narušovat funkci membrán nebo aktivitu enzymů. Alkylsloučeniny rtuti s krátkým řetězcem tvoří s halogeny soli, které jsou za pokojové teploty velmi těkavé. Z toxikologického hlediska je tento fakt velmi závažný. *Methylrtuť* a *fenylrtuť* jsou velmi dobře rozpustné v tucích. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

Hlavní metodou pro stanovení rtuti jsou spektrofotometrická stanovení, dále technika atomové absorpční spektrofotometrie a neutronová aktivační analýza.

### Spektrofotometrická stanovení:

- Nevýhodou metody je časová náročnost
- Mez detekce se udává  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  v 0,01 kg vzorku

### Atomová absorpční spektrofotometrie:

- Mez detekce je 1 – 5 ng rtuti
- Variační koeficient je většinou nižší než 20%
- redukce cínato-kademnatým činidlem pro stanovení celkové rtuti
- Redukce alkalickým cínatanem se užívá pro stanovení anorganické soli

### Neutronová aktivační analýza:

- Mez detekce je 0,01 – 0,3  $\mu$  rtuti v 0,3 g vzorku
- Variační koeficient je zhruba 10%

(Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

Chyby, ke kterým dochází při stanovení rtuti, vznikají převážně při odběru vzorků, jejich skladování, transportu a zpracování. Snadno dochází ke ztrátě rtuti v důsledku jejich těkavé vlastnosti. Rtuť se snadno sorbuje na povrchu různých druhů materiálů, například sklo, plast, pryž.

## 7.2. Metabolismus a experimentální toxikologie

Elementární rtuť je ve vodě nerozpustná kovová rtuť, která se v trávicím ústrojí téměř nevstřebává. Kůží se elementární rtuť může vstřebávat pouze tehdy, je-li dispergována do vhodného masťového základu. Páry elementární rtuti se vstřebávají plicemi.

Nejvyšší koncentraci rtuti nalezneme v ledvinách, játrech. V mozku se hromadí rtuť především v šedé kůře mozkové. Bylo zjištěno, že rychlost vylučování rtuti u zvířat je zhruba stejná jak po inhalaci par, tak po injekčním podání. V mozku zůstává koncentrace rtuti vyšší než v ledvinách. U člověka při chronické expozici se rtuť zpočátku kumuluje, ale později dojde k vytvoření rovnováhy mezi vstřebáváním a vylučováním. Vylučování rtuti je pomalé a nepravidelné, může trvat několik měsíců i celé roky po skončení expozice. Rtuť se ukládá i do vlasů, nehtů a vylučuje se potem.

Anorganické sloučeniny rtuti poškozují sliznici trávicího ústrojí, tím dochází ke změně průniku rtuti do organismu přes poškozenou střevní bariéru. Méně rozpustné sloučeniny rtuti se hůře vstřebávají, a proto byly užívány například k léčbě syfilis v dávkách odpovídajících smrtelným dávkám  $\text{HgCl}_2$ . Další užití bylo k léčbě kožních onemocnění. Další výzkumy ukázaly, že placenta je významnou bariérou pro průnik rtuti do plodu. Rtuť je vylučována hlavně močí a stolicí, dále potem, vlasy, výdechy vzduchu, sliny, nehty, mateřským mlékem.

Velmi podobně jsou na tom sloučeniny organické rtuti, kterými jsou *fenylrtuťnaté soli* a *metylrtuťnaté sloučeniny*.

## 8. Toxicita pro člověka

### 8.1. Formy rtuti v životním prostředí

Do životního prostředí může vstupovat rtuť ve formě par kovové (elementární) rtuti, po transformaci par ve formách těkavých organických sloučenin rtuti nebo v rozpustné formě anorganických sloučenin rtuti.

Základním článkem celého řetězce přeměny rtuti v přírodě je tvorba alkylsloučenin rtuti z elementární rtuti a anorganických sloučenin rtuti ve vodách. Ve vodách se nachází v sedimentačních vrstvách dna, kde vzniklá *metylrtuť* je zachycována drobnými vodními živočichy, kteří se stávají potravou dravých ryb nebo umírají. V této fázi degradace se uvolňují páry *dimethylrtuti* do vzduchu a tím může

v atmosféře vznikat kyselý déšť a tak docházet k *demethylaci dimethylrtuti* při současném vzniku *methylrtuti*, která může opět znovu vstoupit do vodního řetězce.

*Methylrtuť* obsažená v rybím mase vstupuje do suchozemského potravního řetězce. V České republice je stanovena všeobecná hranice koncentrace rtuti pro potraviny maximálně  $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$  a pro nápoje maximálně  $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$ . Nejvyšší přípustná hodnota ve volném ovzduší pro ČR je  $0,3 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ . Nejvyšší přípustná koncentrace rtuti v ovzduší pro pracovní prostředí je v České republice průměrná celosměnová hodnota  $0,05 \text{ mg.m}^{-3}$ . (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

V posledních letech se u veřejnosti projevila rostoucí obava z expozice rtuti uvolňující se z amalgámových výplní zubů. V průběhu posledního desetiletí byla tato obava potvrzená. Byl podán důkaz o uvolňování rtuti z amalgámových výplní zubů průkazem par kovové rtuti v ústech. Bylo prokázáno, že žvýkání podporuje uvolňování rtuti z výplní zubů.

## 8.2. Elementární rtuť

Při akutní expozici vysokou koncentrací par elementární rtuti jsou kritickým orgánem především plíce. Vzniká erozivní *bronchitida* a *bronchiolitida* s *intersticiální pneumonií*. Důsledkem je podlehnutí v *respirační insuficienci*. Příznakem při expozici koncentrací par elementární rtuť může být postižení centrálního nervového systému. Akutní otrava se projevuje též příznaky akutní *gastroenteritidy* se zvracením a *cholericformními* průjmy, *stomatitida*.

Při chronické expozici koncentrací par elementární rtuti je kritickým orgánem mozek. Příznaky nejsou ihned znatelné. Projev je nenápadný. Příznaky jsou slabost, únava, bolest hlavy, závratě, nechutenství, poruchy trávení a podobně. Tento syndrom se nazývá *mikromerkuralismus*. Později se začnou objevovat další příznaky jako třes, svalové chvění. Až to přejde v *eretismus* (změna chování), deprese, ztrátu paměti, případně i halucinace.

*Stomatitida* se projevuje silným sliněním, kovovou chutí v ústech, otoky dásní, vypadáváním zubů.

### 8.3. Anorganické sloučeniny

Z hlediska toxikologie jsou nejznámější *chlorid rtuťnatý*  $\text{HgCl}_2$ , *dusičnan rtuťnatý*  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , *kyanid*  $\text{Hg}(\text{CN})_2$ , *oxykyanid rtuťnatý*  $\text{Hg}(\text{CN})_2 \cdot \text{HgO}$ . (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

Při akutní intoxikaci jsou kritickým orgánem hlavně ledviny a trávicí ústrojí. Při perorálním příjmu mají *chlorid* a *kyanid rtuťnatý* korozivní účinek na sliznici trávicího ústrojí. Po několika minutách po požití toxické dávky udávaná od 0,2 g rtuti dochází ke zvracení s příměsí krve (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995). Brzy po požití se dostávají silné kolikové bolesti břicha ve spojitosti s krvavými průjmy. Dochází k dehydrataci a tím ke kolapsovému stavu s *tachykardií* a poklesem krevního tlaku. A dále k selhání ledvin s nekrózou epitelových buněk *proximálního tubulu*.

Chronická otrava anorganickými sloučeninami je málo pravděpodobná. Většinou k ní dochází v kombinaci s expozicí parami kovové rtuti. Při této smíšené expozici většinou dochází ke zvýšené sekreci slin a zánětům dásní. Projevuje se kožními problémy, podrážděností, nespavostí, světloplachostí, zvýšeným pocením. Dochází k dehydrataci. Po přerušení expozice rtuti příznaky postupně mizí.

Anorganická forma rtuti by neměla vyvolávat karcinogenní účinek.

### 8.4. Organické sloučeniny rtuti

Mezi akutní a chronickou formou expozice alkylsloučeninami rtuti nejsou žádné značné rozdíly. Toxická dávka *methylrtuti* způsobuje poškození organismu. V případě jednorázové expozice se příznaky intoxikace projevují po určité době latence, může to být až několik týdnů. Při prenatální intoxikaci dochází k mozkové lézi s ataktickými, motorickými a mentálními poruchami.

Dalším způsobem intoxikace je postnatální způsob. Projevuje se poruchami sluchu, zúžením zorného pole, záchvaty klonických křečí, *paresteziemi* v dolních končetinách, na jazyku a kolem úst. Důvodem je postižení periferního neuronu. Dochází k degradaci neuronů v kůře mozkové.

Sloučeniny *arylrtuti* (PhHg) a *metoxyethylrtuti* mohou způsobit poškození v místě styku s kůží nebo sliznicí. Při inhalaci dochází k poškození plicní tkáně. V jiných případech intoxikace převládá postižení ledvin a trávicího ústrojí.

*Methylrtuť* je podle expertů IARC možný lidský karcinogen zařazený do skupiny 2B. Jiné důkazy o karcinogenním působení organických sloučenin rtuti zatím nebyly prokázány. (Bencko, Cikrt, & Lener, 1995)

## 9. Rtuť na přítoku vodního díla Skalka

### 9.1. Charakteristika nádrže Skalka

Nádrž Skalka se nachází v Karlovarském kraji na území Cheb v sídlištní části Skalka. Vodní dílo spadá do správy Povodí Ohře. Plocha povodí nádrže je 672,52 km<sup>2</sup>. Z této celkové plochy se zhruba 90% plochy povodí nachází na území Spolkové republiky Německo ve státu Bavorsko.

Hlavními přítoky do vodního díla jsou řeky Ohře a Reslava. Jedním z hlavních přítoků řeky Reslavy je říčka Kössein, která protéká městem Marktredwitz. V tomto městě se nacházel primární zdroj znečištění, továrna na výrobu rtuti a jejích sloučenin. Fabrika měla název Chemical Fabrik Marktredwitz.

V okolí nádrže Skalka se nachází kulturní krajina města Chebu, zemědělské pozemky a lesy, rekreační chatová oblast a sídlištní zástavba obce.

Tabulka 3

poř. č.	č. VÚ	Název útvaru povrchových vod stojatých	Hlavní povodí	Typ VÚ	Hloubka nádrže (m)	Doba zdržení (dny)	Vodní tok
138	113010120001	Nádrž Skalka	Labe	421222	3-15	10-365	Ohře

poř. č.	č. VÚ	Název útvaru povrchových vod tekoucích	Plocha VÚ (km <sup>2</sup> )	Plocha VÚ v ČR (km <sup>2</sup> )	Hlavní povodí	V péči státu
6	13972000	Reslava/Röslau po ústí do toku Ohře	316,162	13,179	Labe	D (Bavorsko)
7	13979000	Ohře po soutok s tokem Slatinský potok	28,018	28,018	Labe	CZ

VD Skalka z hlediska začlenění do útvarů povrchových vod, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

Tabulka 4

Hydrologické údaje	
Plocha povodí /A/	671,92 km <sup>2</sup>
Průměrná dlouhodobá roční hodnota srážek /P <sub>a</sub> /	760 mm
Průměrná dlouhodobá roční hodnota průtoku /Q <sub>a</sub> /	6220 l/s
Průměrný 355denní průtok** /Q <sub>355d</sub> /	950 l/s
Stoletý průtok /Q <sub>100</sub> /	277 m <sup>3</sup> /s
Kapacitní průtoky	
Minimální průtok pod hrází /MQ/ v profilu limnigrafu Cheb	1 m <sup>3</sup> /s
Neškodný průtok pod vodním dílem /O <sub>neš</sub> /	45 m <sup>3</sup> /s

Základní parametry VD Skalka, zdroj: (Povodí Ohře, 2016), online: <http://www.poh.cz/vd/skalka.htm>

Vodní dílo Skalka se nachází v mírně teplé oblasti se středoevropským klimatem (mírné léto, mírná zima). Průměrná roční teplota se v dané oblasti pohybuje kolem 8°C. Průměrné roční srážky jsou kolem 700 mm. Právě v letním období je zde značný problém s tvořením sinic a řas, na který je již také zpracován projekt pro minimalizaci a případné úplné odstranění tohoto problému.

### 9.1.2. Fauna a flora dotčeného území

V blízkosti lokality vodního díla Skalka se nachází přírodní rezervace Rathsam, která byla za rezervaci vyhlášena v roce 1998. Tato rezervace chrání meandrující soutok Ohře a Reslavy a přilehlé mokřady. Tato rezervace leží na hranici s Německem. Původní osada Rathsam se proměnila v louku, kde již neexistují původní přístupové cesty. Je tam velmi malá narušenost přírodních stanovišť. Rezervace je velmi cenným systémem biotopů, ve kterých se nachází široké spektrum živočichů a rostlin.

Živočichové, kteří se nacházejí v přírodní rezervaci jsou bobr evropský, vydra říční, velevrub, několik druhů rákosníků, několik druhů vzácnějších ryb (bolen dravý), ledňáček říční, žluva hajní, užovka obojková a mnoho dalších rozmanitých druhů živočichů.

Dalším biotopem je bývalá písčovina v Pomezí, která se nachází v rezervaci jako významný krajinný prvek. Nachází se zde přes 20 druhů vážek, zhruba 10 druhů obojživelníků (ropucha krátkonohá, blatnice skvrnitá, čolek velký).

Rezervace je tvořena významnou florou vhodnou pro život živočichů. Floru tvoří třtina rákosovitá, plicník tmavý, pižmovka mošusová, ptačinec velkokvětý, bukvice lékařská, kosatec žlutý a mnoho dalších.

## 9.2. Zdroje znečištění nádrže Skalka

Primárním zdrojem antropogenního znečištění nádrže Skalka byl chemický závod Chemical Fabrik Marktredwitz, ve kterém se v letech 1788 – 1985 vyráběly anorganické a organické sloučeniny rtuti. Během výroby docházelo k úniku sloučenin rtuti a postupné kontaminaci podloží pod areálem závodu. Rtuť znečišťovala i říčku Kössein, do které byla zaústěná dešťová kanalizace z areálu chemického závodu. Kössein je hlavním přítokem řeky Reslavy. Po dobu 200 let byly řeky Reslava a Ohře ústící do nádrže Skalka zatěžovány znečištěním rtutí.

Po vyústění rtuti do recipientu se sloučeniny rtuti vážaly na částice sedimentu a vznikaly různé chemické vazby. Takto vznikl sekundární zdroj znečištění. Sekundárním zdrojem je tedy kontaminovaný říční sediment. Splaveniny byly a budou při vyšších průtocích erodovány a uvedeny do pohybu. Při nižších průtocích se splaveniny usazovaly a usazují v nivě podél toku, v konvexních obloucích a ve zdržích nad vzdouvacími objekty na toku.

Došlo k postupnému znečištění sedimentu a zemin v nivě toků Kössein, Reslava a Ohře. Vodní nádrž Skalka je umístěno pod primárním zdrojem znečištění a tak zde docházelo a stále dochází ke konečné sedimentaci většiny splavenin z kontaminovaného povodí.

V roce 1985 byla výroba v chemickém závodě zastavena. Teprve v roce 1996 byl realizován první projekt na sanaci kontaminovaných zemin pod areálem. Po sanaci byly vytěženy i kontaminované sedimenty z říčky Kössein a začalo se i s odtěhováním kontaminovaných zdrží na řece Reslava.

Na zvýšeném transportu kontaminovaných splavenin v minulosti se značnou mírou podílel i proces likvidace a rekultivace objektu bývalé tepelné elektrárny Arzberg na řece Reslavě. Při tomto procesu došlo k rozsáhlému přesunu hmot

z bývalých nádrží na provozní vodu, těžbě sedimentů v těchto nádržích a k likvidaci a rekultivaci popelové skládky.

Sedimenty se zvýšeným obsahem rtuti lze nalézt v záplavovém území vodních toků:

- Říčky Kössein z Marktedwitz až po soutok s Reslavou
- Řeky Reslavy od soutoku říčky Kössein až po soutok s Ohří
- Řeky Ohře od soutoku s Reslavou až do vtoku vodního díla Skalka
- V záplavě vodního díla Skalka
- V sedimentech v záplavovém území řeky Ohře pod nádrží Skalka

## **10. Monitoring a nápravná opatření**

### **10.1. Monitoring kvality vody**

Údaje o kvalitě vody jsou vedeny v databázi Povodí Ohře od roku 1990. Kvalita vody je sledována 1x měsíčně v celé řadě ukazatelů na přítocích do nádrže a na odtoku vody z nádrže. Je zavedeno monitorování vody přímo v nádrži. Pravidelně je monitorován vstup řeky Ohře do nádrže Skalka, vstup řeky Reslavy do nádrže Skalka a profil Skalka (odtok). V letních měsících je prováděna zonace v nádrži Skalka. Zonace je od roku 2004 prováděna na 3 místech – u hráze, uprostřed nádrže, na začátku vzduť nádrže (směsná zóna). Od roku 2002 se začala měřit průhlednost vody. Údaje o teplotě vody a vzduchu jsou zaznamenávány dlouhodobě.

### **10.2. Monitoring rtuti**

Povodí Ohře v roce 2010 - 2011 provedlo sledování rtuti ve vodě, v sedimentu a ve svalovině ryb.

Ze sledování rtuti ve vodě byly naměřené hodnoty pod  $0,05 \mu\text{g.l}^{-1}$  v roce 2010. Z výsledků vyplývá, že zatížení kontaminací rtutí řeky Ohře v profilu nad soutokem s řekou Reslavou zůstává zcela zanedbatelné. Avšak výsledky ze sledování profilu na řece Reslava ukazovaly na zvýšený obsah rtuti ve vodě. Nejvyšší hodnoty v roce 2010 byly naměřené v březnu  $0,43 \mu\text{g.l}^{-1}$  a v září  $1,22 \mu\text{g.l}^{-1}$ . V časovém období od roku 1977 do roku 2010 dochází spíše ke snižování koncentrace rtuti ve vodě. Avšak v roce 2010 byl zaznamenán nejvyšší roční průměr od roku 1998 a to hodnota  $0,20 \mu\text{g.l}^{-1}$ . (AQUATEST a.s., 2011)



Sedimenty jsou z lokality odebírány od roku 1983 z odběrných zařízení instalovaných nad dnem toku Reslavy. V roce 2010 byla zaznamenaná nejvyšší průměrná hodnota koncentrace rtuti  $435 \text{ mg.l}^{-1}$  organické sušiny od počátku sledování uvádí Aquatest a.s. (2011).

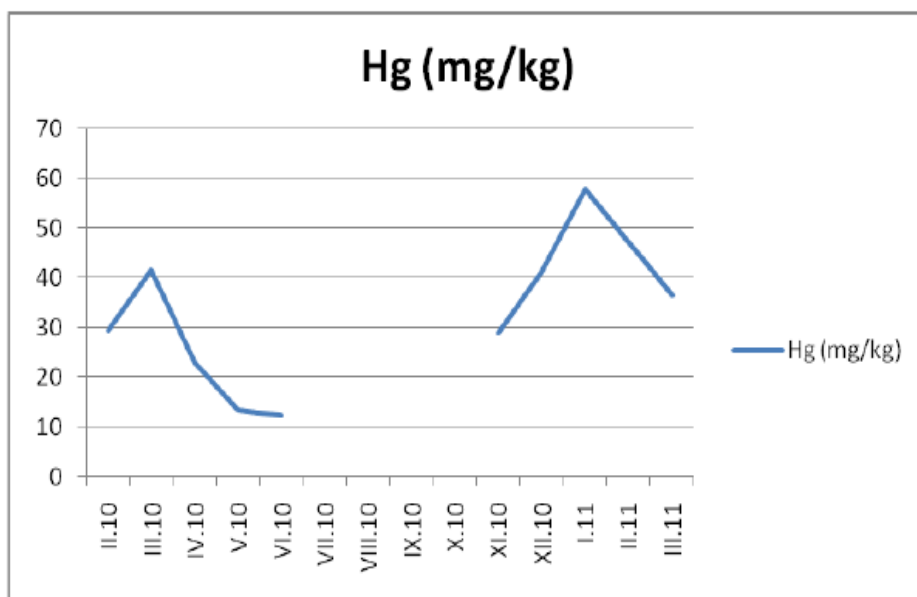
Stanovení koncentrace rtuti v rybách bylo provedeno v roce 2011. Především dravé ryby obsahují nejvyšší koncentraci ve svalovině, protože jsou na konci potravního řetězce. Požadovaný limit  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  byl překročen u dravých ryb více než dvojnásobkem limitu.

Výsledky monitoringu v roce 2011 ukazují, že se obsah rtuti v řece Reslavě nesnižuje. Nalezené hodnoty v roce 2010 – 2011 patří k nejvyšším hodnotám od počátku sledování.

### **10.3. Monitoring plavitelných sedimentů**

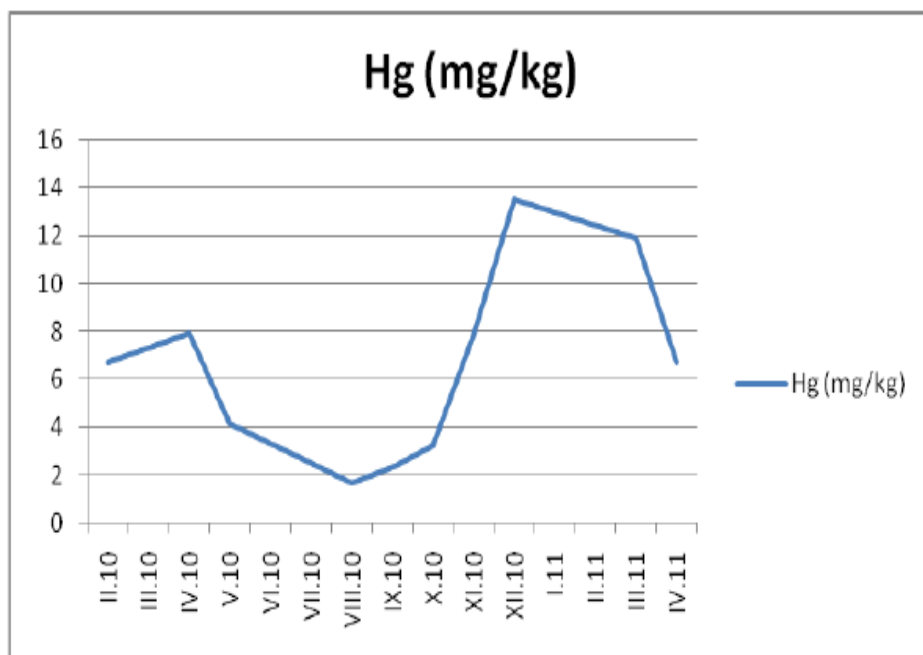
Tento monitoring je prováděn průběžně již několik let. V roce 2010 byly instalovány plovoucí vzorkovače. Rozbory ukazují na to, že obsah rtuti v plaveninách se pravidelně zvyšuje v průběhu zimních měsíců za zvýšených přítoků. Z rozborů vyplývá, že obsah rtuti v řádu jednotek  $\text{mg.kg}^{-1}$  v plavitelných sedimentech lze sledovat i pod hrází nádrže Skalka.

Obrázek 5



Obsah Hg v plaveninách – Reslava horní bantam, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

Obrázek 6



Obsah Hg v plaveninách – Ohře Skalka odtok, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

### 10.3.1. Odběry a rozborů vzorků sedimentu

Odběry sedimentu proběhly v dubnu 2011. Bylo odebráno celkem 50 vzorků z 25 míst v zátopě vodního díla Skalka. Stanovení metodiky odběru vzorků bylo složité. Proto byly vyzkoušeny tři metodiky odběru – pístový vzorkovník, rašelinová sonda, Edelmannův ruční vrták.

*Pístový vzorkovník* se neosvědčil z důvodu vysoké viskozity sedimentu. *Rašelinová sonda* se neosvědčila z důvodu vysokého podílu písku a štěrku v sedimentu. Nejvhodnějším způsobem pro odebrání vzorků z nádrže Skalka bylo použití *Edelmannova ručního vrtáku*.

Později byl odebrán ještě jeden vzorek pro srovnání. Vzorek byl odebrán pod hrází nádrže Skalka. Vzorek obsahoval podíl jílu a i podíl organického detritu, což bylo rozhodující pro srovnání koncentrace rtuti. Rozbor tohoto vzorku ukázal hodnotu koncentrace rtuti  $0,329 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Tato hodnota může představovat mírné zvýšení obsahu rtuti vlivem přínosu splavenin nebo mírně zvýšenou hodnotu přirozeného pozadí v oblasti krystalinika (tvořeného metamorfovanými horninami typu svoru a fylitu). V této otázce není schopna společnost Aquatest a.s. (2011) zaujmout jednoznačné stanovisko. (AQUATEST a.s., 2011)

Celkový obsah rtuti v odebraných vzorcích je označen za velmi zvýšený. Zvýšený obsah rtuti vykazují nerovnoměrně všechny zjištěné sedimenty (od písků, prachu až po jíly). Rozhodujícím se může zdát být obsah organické příměsi ve formě detritu.

Tabulka 5

Parametr	Hg
Počet vzorků	51
Minimum	0,1
Maximum	14,5
Rozsah	14,4
Průměr	2,489
Standardní odchylka	3,692
Koeficient variace	1,48315
Šikmost	1,95
Kolmogorov-Smirnov test	0,261

*Statistická charakteristika souboru stanovení rtuti v sedimentech, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)*

Aquatest a.s. (2011) se domnívá, že vnos rtuti do nádrže Skalka je spojen s fyzikálně – chemickou vazbou rtuti na jílové minerály a na organický detrit. Vzorkování bylo prováděno v horní části přítoku do nádrže Skalka, protože se ve spodní části nádrže Skalka neočekávají sedimenty s vysokým obsahem rtuti kvůli písčitému charakteru sedimentace.

#### 10.4. Odběry a rozborů vzorků ryb

Vzorky byly odebrány koncem dubna 2011. Byl proveden odlov ryb a odebrání vzorků tkání (svalovina, játra, ledviny) z 11 druhů ryb z nádrže Skalka. Vzorky byly analyzovány na celkový obsah rtuti. Z požadovaných druhů se nepodařilo odlovit tolstolobika bílého a parmu obecnou. Tyto druhy byly nahrazeny odlovem úhoře říčního a perlína ostrobřichého. (AQUATEST a.s., 2011)

### 11. Vyhodnocení

#### 11.1. Určení objemu a kontaminace sedimentů

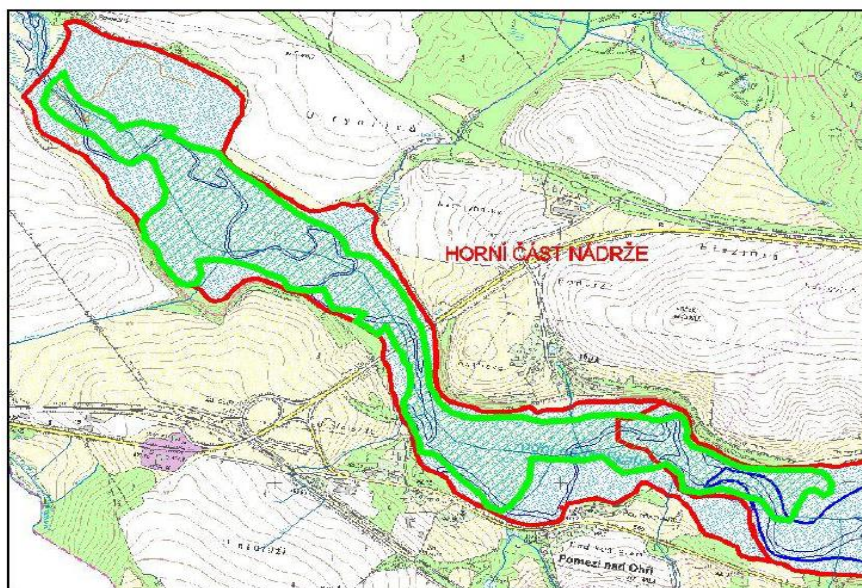
Po provedených rozbořech a podle odhadu byla stanovena plocha rizikového sedimentu. Plocha určuje sediment, u kterého je možné překročení limitu koncentrace rtuti o  $0,8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  sušiny.

Tabulka 6

Oblast	Plocha		Objem sedimentu		Objem
	$\text{m}^2$	ha	$\text{m}^3$	tis. $\text{m}^3$	%
Horní část nádrže celkem	1 285 700	129	844 288	844	100
Z toho rizikový sediment	672 175	67	455 626	456	54

Množství rizikového sedimentu, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

Obrázek 4



Oblast rizikového sedimentu – zelený polygon, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

## 11.2. Výsledky z rozboru ryb

Výsledky, které pořídila společnost Aquatest a.s. (2011), ukazují, že v tkáních ryb (především dravých ryb) byla koncentrace celkové rtuti velmi vysoká. Tato hodnota často převyšovala několikanásobně hygienický limit. Hygienický limit byl několikanásobně převýšen i u nedravých ryb. U většiny ryb byly tyto hodnoty intoxikace ve svalovině ryb, u cejna v játrech a u bolena v ledvinách.

Rtuť se kumuluje v organismech během jejich života. Proto nejvyšší koncentrace rtuti jsou přítomny v tkáních starých dravých ryb.

Na základě porovnání obsahu rtuti ve svalovině ryb v letech 2003, 2007 a 2011 není téměř žádná odchylka. Docházelo pouze ke změnám koncentrace rtuti v rozmezí zhruba  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben věkovým rozdílem analyzovaných ryb.

## 12. Cíle nápravných opatření

Cílem nápravného opatření je především odstranění ekologického zatížení rtutí (dekontaminace a celková revitalizace) v dané lokalitě. Dále odstranění sedimentu z důvodu značného rozvoje sinic v nádrži.

Obecným cílem nápravného opatření je:

- Zlepšení vodohospodářské funkce vodního díla Skalka (zvýšení retenčního objemu)
- Zlepšení rekreačního potenciálu nádrže zlepšením jakosti vody (rekreace, rybaření, agroturistika)
- Zamezení vnosu rtuti do potravinového řetězce živočichů vyskytujících se v dané lokalitě včetně obyvatel, odstranění zdravotního rizika
- Zajištění dobrého stavu i v budoucnu

### 12.1. Možnosti dekontaminace sedimentu

Dekontaminace pevné fáze v lokalitách zasažených rtutí se nejčastěji provádí *solidifikací/stabilizací*, termální desorpcí, *vitřifikací*.

Samotný projekt sanace dnových sedimentů vodního díla Skalka by měl být v souladu s výsledky analýzy rizik a předpokládaným budoucím využitím nádrže Skalka. Odstranění sedimentu těžbou bude funkcí sanační (přímé odstranění rtuti z prostředí) a dále funkcí podpůrnou k odstranění zátěže nádrže výskytem sinic.

Sanační metoda může být doprovázena podpůrnou metodou *fytořemediace* a metodou *air stripping* uvádí Aquatest a.s. (2011).

*Fytořemediace* přímo odstraňuje rtuť z povrchových vod a sedimentů pomocí biologických transformací v rostlinných tkáních. Některé vodní rostliny umí vázat velké množství rtuti ve formě  $Hg^{2+}$  a to až  $578 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  v sušině. Některé vodní druhy rostlin dokáží přeměnit iontovou formu rtuti na elementární rtuť. Rozpuštěnou a sorbovanou elementární rtuť lze také uvolnit provzdušňováním. Tento způsob se využívá v anoxických a anaerobních podmínkách, protože elementární rtuť za přítomnosti kyslíku snadno oxiduje.

Pro zvolení vhodné technologie dekontaminace se musí provést analýza. V profilech umístěných po celé délce nádrže se odebere zhruba 120 ks vzorků sedimentů, 30 ks vzorků vod, 15 ks vzorků rostlinných tkání. Z provedených analýz

Ize usoudit, že v nádrži Skalka je většina rtuti vázaná na hnílokal ve formě elementární sloučeniny rtuti. Rtuť je vázaná na částičky organického detritu působením fyzikálně – chemických vazeb na huminové molekuly a fulvokyseliny. (AQUATEST a.s., 2011)

## 12.2. Možnosti těžby sedimentu

Existuje několik forem pro těžbu sedimentu (mokrou cestou nebo suchou cestou).

Odstranění sedimentu suchou cestou probíhá na vypuštěné nádrži s použitím strojů kolové nebo pásové techniky. Po vypuštění nádrže dojde převážně k vysušení sedimentů za pomoci odvodňovacího zařízení. Volba technologického postupu závisí na mocnosti vrstvy nánosů, na únosnosti dna pro těžkou techniku, na stupni propustnosti dna. Sediment je odebírán rypadlem, nakladačem nebo hrnut buldozerem. Poté je sediment dna nádrže nakládán a odvážen.

Odstranění sedimentu mokrou cestou je prováděno pomocí sacích bagrů, které plavou na hladině nádrže. Sedimenty jsou odsávány spolu s vodou a čerpány na plochu určenou nebo do lagun k dalšímu odvodnění.

Předběžně je pro odstranění sedimentu z nádrže Skalka navržen způsob suchou cestou. Tento způsob minimalizuje rozvíření kontaminovaného sedimentu rtutí. Mokrou cestou může být odtěžena dolní část nádrže, prostory pod nevypuštěnou hladinou. (AQUATEST a.s., 2011)

## 12.3. Možnosti uložení sedimentu

Nakládání s vytěženými sedimenty podléhá zákonu o odpadech. V souladu se zákonem lze sediment využít pro účely v zemědělství, na povrchu terénu a k zavážení podzemních prostor, jako stavební materiál, apod. Před uložením sedimentů musí být provedeny rozborů, které budou v souladu se zákonem a až poté se rozhodne, kam a jak sedimenty uložit. Vždy záleží na kvalitě sedimentu.

Možnost využití sedimentu z nádrže Skalka by mohlo být pro zahlazení důlních prostor a složišť v okrese Sokolov. Tato možnost se musí projednat a posoudit v rámci hydrologického posouzení podzemních vod, koordinace s plány rekultivace, koordinace těžby a odpadové politiky Karlovarského kraje.

### 13. Závěr, diskuse

Tuto bakalářskou práci jsem zpracovala rešeršním způsobem. V první části práce jsem zpracovala základní údaje a obecné znalosti, které slouží k postupnému, hlubšímu zpracování tématu této práce.

Zpracovala jsem informace o tom, jaké máme druhy vod, abych mohla vodní dílo Skalka zařadit do určité kategorie, zda se jedná o vodu povrchovou nebo podzemní. Dále jsem uvedla charakteristiku vodního díla, typy vodních děl a jejich využití dle zákona. Z těchto informací jsem mohla charakterizovat i konkrétní vodní dílo Skalka, které vzhledem ke zjištěným skutečnostem kontaminace rtuť není určeno k rekreaci, koupání a je zákaz konzumace ryb. Poté jsem popsala rtuť základními pojmy, abych se mohla postupně zabývat jejími celkovými vlastnostmi, sloučeninami a dopady na životní prostředí a organismy.

V další části práce jsem se zabývala zdroji rtuť, využitím rtuť a jejími vlastnostmi, které se ukázaly být velmi toxické. Dříve se rtuť využívala ve všech možných oblastech od průmyslu, zemědělství, přes výroby do domácností, až po zdravotnictví. Člověk s rtuť mohl snadno přijít do styku a tím mohlo dojít i k velmi snadné intoxikaci. V dnešní době se společnost snaží eliminovat potřebu rtuť pro výrobu a tím i přicházení s tímto kovem do styku.

V práci jsem se zaměřila na zdroj rtuť v povrchových vodách. Rtuť se kumuluje v sedimentech dna, kde se snadno kumuluje dál v organismech vodního ekosystému. Ryby, které žijí u dna a živí se například bentosem se snadno intoxikují těžkými kovy. Intoxikované ryby se stanou potravou pro ryby dravé, tak se rtuť šíří dál až se dostane případně ke konečnému spotřebiteli – člověku. Tady nastává opravdu velký problém v ohrožení lidského zdraví, které je prioritou ve všech oblastech studií pro stanovení limitů a zákonů.

Rtuť je velmi silně toxický kov. Při intoxikaci má značné degenerační účinky především na játra, ledviny. Při styku s elementární sloučeninou rtuť je především zasažen mozek, plíce. Koncentrace rtuť při intoxikaci organismu nikdy zcela nevymizí. Z organismu se rtuť vylučuje močí, fekáliemi, potem, vlasy, ústními výdechy, apod. Avšak se jí nelze zcela zbavit. Rtuť má zcela degenerativní dopad i na rozmnožovací funkce – spermie a plod.

V závěrečné části práce jsem se již mohla dostat ke konkrétní projektové dokumentaci od Povodí Ohře, kterou zpracovala společnost Aquatest a.s. ve



spolupráci s německou stranou. Tento problém kontaminace rtutí je zde již řadu let a stále zcela nevymizel. Ke kontaminaci došlo z důvodu úniku rtuti ze závodu Chemical Fabrik Marktredwitz před 200 lety. Nyní na tomto místě bývalého závodu se nachází obchodní prostory, kino a budova parkoviště. Tato situace se velmi podcenila.

Projekt je zaměřen především na odstranění sedimentu, především na německé straně Bavorska. Projekt bude zařazen do procesu posuzování vlivů na životní prostředí EIA dle zákona č. 100/2001 Sb. Dále je doporučen geobotanický průzkum nivy řek Reslava a Ohře na českém území a provést laboratorní stanovení rtuti v rostlinné tkáni a vytipovat v lokalitě přirozeně rostoucí rostliny vhodné pro fytoremediaci. Po postupné aplikaci projektu bude možné udělat kompletní inventuru ohnisek sekundárního znečištění a stanovit tak možný rozsah a intenzitu budoucího vnosu kontaminované vody, splavenin a plavenin do nádrže Skalka.

V rámci diskuse je toto téma velmi otevřené. Myslím si, že celý problém je značně podceněný a veřejnost nebyla vůbec dostatečně informovaná. V blízkosti zasažené oblasti se nacházejí léčivé prameny ve Františkových Lázních, Karlových Varech, vyvěreliny v rezervaci SOOS. Všichni bychom se měli poučit z chyb a havárií v minulosti a zaměřit se na značné destruktivní dopady. Po této studii mohu usoudit a dospět k závěru, že každý z nás by se měl zabývat historií okolí, ve kterém žije, jelikož není vše takové, jak se na první pohled může zdát a každý den je naše lidské zdraví vystaveno nějakému nebezpečí.

## Seznam literatury a použitých zdrojů:

1. **AQUATEST a.s., 2011:** Rtuť na přítoku do VD Skalka vyhodnocení a návrhy opatření. Praha, Středočeský kraj, Česká republika. Zdroj (online): [http://www.poh.cz/dotacni\\_tituly/170.htm](http://www.poh.cz/dotacni_tituly/170.htm)
2. **Bencko V., Cikrt M., Lener J., 1995:** Toxické kovy v životním prostředí a pracovním prostředí člověka, Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., ISBN: 80-7169-150-X
3. **Cibluha J., & kol., 1991:** Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Praha: Academia. ISBN: 80-200-0401-7
4. **Jůva K., Hrabal A., Pustějovský R., 1980:** Malé vodní nádrže. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
5. **Kestřánek J., Kříž H., Novotný S., Píše J., Vlček V., 1984:** Vodní toky a nádrže. Praha: Academia.
6. **Pitter P., 1990:** Hydrochemie. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p.
7. **Povodí Ohře, 2016:** VD Skalka. Zdroj (online): <http://www.poh.cz/vd/skalka.htm>
8. **Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).** Zdroj (online): [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_zakon-2001-254-viceoblasti.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2001-254-viceoblasti.html)
9. **Zákon č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě.** Zdroj (online): [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_Vyhlaska-2009-257-rostlinnekomodity.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-2009-257-rostlinnekomodity.html)
10. **Houserová M., Janák K., Kubáň P., Pavlíčková J., Kubáň V., 2006:** Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech. Ústav chemie a biochemie Brno. Chemické Listy 100, 862-876 (2006)
11. **Kenšová R., Kružíková K., Svobodová Z., 2012:** Mercury speciation and safety of fish from important fishing locations in the Czech republic. University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno.

Zdroj (online): <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/63476.pdf>

12. **Saniewska D., Beldowska M., 2017:** Mercury fractionation in soil and sediment samples using thermo-desorption method. Talanta. Volume 168. Pages 152-161

13. **Shanti Menon, 2016:** Mercury Guide. NRDC.

Zdroj (online): <https://www.nrdc.org/stories/mercury-guide>

14. **Jukka T. S. & kol., 1995:** Intake of Mercury From Fish, Lipid Peroxidation, and the Risk of Myocardial Infarction and Coronary, Cardiovascular, and Any Death in Eastern Finnish Men. USA.

Zdroj (online): <http://circ.ahajournals.org/content/91/3/645.full>

15. **Cocoros G., & kol., 1973:** Mercury concentrations in fish, plankton and water from three Western Atlantic estuaries. USA.

Zdroj (online): <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04500.x/abstract;jsessionid=228A61AC9DB459368A5ACDB2EB13E2E9.d01t04>

16. **CENIA, 2015:** Rtuť a sloučeniny jako Hg. Ministerstvo ŽP. Praha. Zdroj (online): <https://www.irz.cz/node/7>

17. **RNDr. Petrlík J., ing. Válek P., 2014:** Rtuť. Arnika. Praha. Zdroj (online): <http://arnika.org/mercury>

18. **MUDr. Mičoch Z., 2008:** Otrava rtuťí – příznaky, projevy, prevence, amalgám. Olomouc. Zdroj (online): <http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/kontakt/kontakt>

19. **Navrátil T., Rohovec J., 2014:** Rtuť minulost a současnost tekutého kovu. Vesmír 93, 430, 2014/7. ISSN: 1214-4029. Zdroj (online): <http://casopis.vesmir.cz/clanek/rtut-minulost-a-soucasnost-tekuteho-kovu>

20. **Otoupalíková H., 2005:** Ohrozí rtuť naše zdraví?. Odpady. Brno. Zdroj (online): <http://odpady-online.cz/ohrozi-rtut-nase-zdravi/>

## Seznam obrázků:

**Obrázek 1:** VD Skalka, zdroj: (Povodí Ohře, 2016),

online: <http://www.poh.cz/vd/skalka.htm>

**Obrázek 2:** Rtuť, zdroj: [http://relax.lidovky.cz/jedy-v-tele-cechy-ohrozuje-rtut-z-ryb-a-plomb-fms-/zdravi.aspx?c=A130827\\_103001\\_in-zdravi\\_mc](http://relax.lidovky.cz/jedy-v-tele-cechy-ohrozuje-rtut-z-ryb-a-plomb-fms-/zdravi.aspx?c=A130827_103001_in-zdravi_mc)

**Obrázek 3:** Biokumulace rtuti, zdroj: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/rtut-minulost-a-soucasnost-tekuteho-kovu>

**Obrázek 4:** Oblast rizikového sedimentu – zelený polygon, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

**Obrázek 5:** Obsah Hg v plaveninách – Reslava horní bantam, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

**Obrázek 6:** Obsah Hg v plaveninách – Ohře Skalka odtok, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

### **Seznam tabulek:**

**Tabulka 1:** Ukazatelé přístupného množství látek v povrchových vodách, zdroj: Hydrochemie (Pitter, 1990)

**Tabulka 2:** Hodnoty koncentrace rtuti v povrchových vodách na území tehdejší ČSFR (Cibulka & kol., 1991)

**Tabulka 3:** VD Skalka z hlediska začlenění do útvarů povrchových vod, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

**Tabulka 4:** Základní parametry VD Skalka, zdroj: (Povodí Ohře, 2016), online: <http://www.poh.cz/vd/skalka.htm>

**Tabulka 5:** Statistická charakteristika souboru stanovení rtuti v sedimentech, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

**Tabulka 6:** Množství rizikového sedimentu, zdroj: (AQUATEST a.s., 2011)

