

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta rybářství a ochrany vod
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Bakalářská práce

Obsah rtuti ve svalovině jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*) z dolních úseků řek povodí Labe

Autor:	Bohuslav Kolek
Vedoucí práce:	Ing. Jan Turek, Ph.D.
Studijní program / obor:	Zootechnika / Rybářství
Forma studia:	Prezenční
Ročník studia:	3.

České Budějovice, 2013

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, případně v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 27. 4. 2013

Podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval těm, kteří přispěli ke vzniku této práce. Mé díky patří především vedoucímu bakalářské práce. Ing. Janu Turkovi, Ph.D. za metodické vedení, odbornou pomoc, poskytnuté rady a cenné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat konzultantce Ing. Olze Valentové a pracovníkům Fakulty rybářství a ochrany vod ve Vodňanech, kteří se podíleli na odlovech ryb a přípravě vzorků svaloviny. Tato práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru VÚRH JU č. MSM6007665809 a národního dotačního programu MZe č.2A.e.1a. Závěrem bych chtěl poděkovat svým rodičům za vytvoření výborného rodinného zázemí po celou dobu mých studií na této vysoké škole.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybářství a ochrany vod

Akademičtý rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bobuslav KOLEK**
Osobní číslo: **V10B030P**
Studijní program: **B4103 Zootecnika**
Studijní obor: **Rybářství**
Název tématu: **Obsah rtuti ve svalovině jelce tlouště z dolních úseků řek povodí Labe**
Zadávací katedra: **Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Cílem práce je stanovit a porovnat míru kontaminace vodního prostředí závěrových profilů významných řek v povodí Labe rtutí, na základě jejího stanovení ve vzorcích svaloviny jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*).

V rámci bakalářské práce bude sledováno 8 lokalit nacházejících se v povodí Labe (Labe Obžství, Labe Děčín, Ohře Terezin, Vltava Zelčín, Sázava Nespeky, Berounka Beroun, Lužnice Bechyně a Otava Topálec). Obsah rtuti bude stanoven ve svalovině jelce tlouště (8 - 14 ryb z každé lokality), odloveného v rámci monitoringu prováděného v roce 2012. Vlastní stanovení bude probíhat v laboratoři Vodní toxikologie a ichthyopatologie pod vedením Ing. Valentové. Obsah rtuti ve vzorcích z jednotlivých lokalit bude porovnán mezi sebou (rozdíly mezi jednotlivými lokalitami) a zároveň s daty ze stejných lokalit, získanými v předchozích letech. Bude tedy možno porovnat zatížení jednotlivých lokalit, tak posoudit vývoj jejich kontaminace v průběhu času.

Získaná data budou hodnocena statistickými metodami odpovídajícími jejich povaze. Při porovnávání dat bude s největší pravděpodobností využívána zejména analýza rozptylu.

Rozsah grafických prací: 7 - 10 tabulek a grafů

Rozsah pracovní zprávy: 25 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Baruš, V., Oliva, O., et al., 1995. Měluovci *Petromyzontes* a ryby *Osteichthyes* (1). Academia, Praha, 623 s.

Svobodová, Z., Máchová, J., Vykusová B., Piačka V., 1996. Kovy v ekosystémech povrchových vod. Edice Metodik, č. 49, VÚRH Vodňany, 18 s.

Svobodová, Z. et al., 1987. Toxikologie vodních živočichů. SZN, Praha, 231 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Turek, Ph.D.

Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Konzultant bakalářské práce: Ing. Olga Valentová


Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Datum zadání bakalářské práce: 2. prosince 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2013

U.2. 
prof. Ing. Otomar Lánhár, DrSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Pavol Kusík, Ph.D.
ředitel

1. Úvod.....	8
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
2.1. Rtuť.....	9
2.1.1. Formy rtuti	9
2.1.2. Přírodní výskyt rtuti.....	11
2.1.3. Toxický účinek rtuti.....	12
2.1.4. Koloběh rtuti v životním prostředí.....	13
2.1.5. Koloběh rtuti ve vodním prostředí.....	14
2.1.6. Koloběh rtuti v sedimentech.....	15
2.1.7. Methylace rtuti	16
2.1.8. Bioakumulace rtuti v živých organismech.....	16
2.1.9. Faktory ovlivňující kumulaci rtuti	17
2.1.10. Lipofilní charakter jednotlivých forem rtutí	17
2.1.11. Havárie rtuti ve světě	18
2.1.12. Havárie v ČR	19
2.1.13. Limity rtuti v potravinách	19
2.1.14. Hodnoty rtuti ve vodách	20
2.2. Jelec tloušť (Leuciscus cephalus)	20
2.2.1. Popis a poznávací znaky	20
2.2.2. Ekologické nároky	21
2.2.3. Biologie.....	21
2.2.4. Výskyt v ČR.....	21
2.2.5. Početnost a biomasa.....	22
3. Metodika	23
3.1 Popis sledovaných lokalit, velikostní a věková charakteristika odlovených ryb..	23
3.2. Způsob odlovu ryb a odběru vzorků	32
3.3. Atomový absorpční spektrofotometr AMA 254.....	32
3.4 Popis zpracování vzorků svaloviny ryb	35
3.5. Pracovní postup.....	35
3.6. Posouzení zdravotního rizika.....	36
3.7. Výpočet hazard indexu	37
5. Výsledky	38
5.1. Celkové porovnání všech lokalit v letech 2010 a 2011	38
5.2. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Labe - Děčín	40
5.3. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Ohře - Terezín.....	41
5.4. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Vltava - Zelčín	42
5.5. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Labe - Obříství.....	43
5.6. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Berounka - Beroun	44
5.7. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Sázava - Nespeky	45
5.8. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Otava - Topělec	46
5.9. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Lužnice - Bechyně.....	47
6. Diskuze	48
7. Závěr	52
8. Seznam použité literatury	53
9. Přílohy.....	60
10. Abstrakt.....	64
11. Abstract.....	64

1. Úvod

Vlivem lidské činnosti, se do vodního prostředí každoročně dostane miliony tun organických a anorganických toxických látek. I přesto, že v posledních letech bylo vybudováno mnoho čistících mechanismů, se do vodního prostředí dostává neustále mnoho polutantů. Velká část toxických látek se váže do sedimentů, kde dochází vlivem různých fyzikálně chemických pochodů, k uvolňování a přeměně na jiné formy, které mohou ovlivňovat životní pochody různých živočichů nebo hygienickou kvalitu masa ryb. V případě rtuti, která má jeden z nejvyšších kumulačních koeficientů, dochází k významné kumulaci v tělech živočichů a její obsah se s rostoucím věkem, a s vyššími články potravního řetězce zvyšuje. V případě ryb jsou nejvýrazněji postiženy starší věkové kategorie karnivorů, kteří představují vrcholové predátory v potravním řetězci vod.

Průměrná spotřeba sladkovodních ryb, standardního konzumenta, v České republice je 1,4 kg. V případě sportovních rybářů je tato spotřeba desetinásobná. Proto je nutné z hlediska bezpečnosti potravin věnovat pozornost rybám, žijících ve volných vodách. Cílem této práce bylo zjistit aktuální obsah THg (celkové rtuti) u omnivorního druhu ryb jako je jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*), žijících ve volných vodách ČR a zhodnotit případná hygienická rizika pro jejich konzumenty.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Rtuť

Rtuť se přirozeně vyskytuje v životním prostředí a je to kov, který patří do třídy přechodných kovů. Značka rtuti (Hg), je odvozena z latinského názvu hydrargyrum, což znamená kapalné stříbro, (Greenwood a Ernshaw, 1993). Rtuť se ve vodním ekosystému vyskytuje v několika chemických formách, které lze rozdělit do tří skupin, a to na elementární (Hg^0), anorganickou (Hg^0 přidán k Hg^{2+} a Hg^{2+}) a organickou formu rtuti, především monomethylrtuť (CH_3Hg^+) a dimethyl rtuť [$(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$].

Typ rtuti, převážně se vyskytující v tkáních (až 100%) u většiny druhů ryb je methylrtuť (Mehg), (Mason a kol., 1995; Kannan a kol., 1998; Porcella, 1994), jehož neurotoxicita (Igata, 1986) z něj činí nejtoxičtější formu rtuti (WHO, 1990). V posledních desetiletích způsobila těžké hromadné otravy u lidí, kteří konzumovali kontaminované rybí maso nebo potraviny z mořeného obilí.

2.1.1. Formy rtuti

Elementární rtuť

Elementární neboli kovová rtuť je lesklá, stříbrně-bílá kapalina bez zápachu, která je za pokojové teploty těkavá. Její páry jsou bez barvy a bez zápachu. Jedná se o jediný kov, který se při normální pokojové teplotě vyskytuje v kapalném skupenství a jediný prvek, s výjimkou vzácných plynů, jehož páry jsou téměř výhradně jednoatomové (Greenwood a Ernshaw, 1993; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Wright a Welbourn, 2001). Vzhledem k těkavosti elementární rtuti může docházet k jejím ztrátám z prostředí provzdušňováním vody. Tyto ztráty pouhým odvětráváním jsou významné především a anoxických nebo anaerobních podmínkách, protože elementární rtuť se za přítomnosti kyslíku snadno oxiduje na rozpustnější HgO (Pitter, 1999).

Anorganické formy rtuti

V případě anorganických sloučenin, se rtuť vyskytuje v oxidačním stavu +I a +II. V rtuťných sloučeninách je přítomen dvoujaderný ion Hg_2^{2+} (Greenwood a Ernshaw,

1993). Halogenidy, jsou nejčastějšími jednomocnými sloučeninami rtuti. Kalomel neboli chlorid rtuťnatý je ve vodě méně toxický než ostatní ve vodě rozpustné sloučeniny rtuti, a to z důvodu své malé rozpustnosti. Tento minerál byl ve velké míře využíván především v lékařství (Houserová, 2006). Dvojmocných sloučenin rtuti se vyskytuje nemalé množství. Následující dvojmocné sloučeniny rtuti jsou halogenidy. U těchto rtuťnatých halogenidů je typický charakter vazeb, který je kovalentní. Jde o nízkotající těkavé pevné látky, rozpustné v organických rozpouštědlech. Jejich rozpustnost ve vodě se snižuje s molekulovou hmotností. HgCl_2 je využíván jako antiseptikum, ale jedná se zároveň o prudký jed. Rtuťnatými sloučeninami jsou soli silných oxokyselin (např. dusičnany, chloristany a sírany) a koordinační sloučeniny (Greenwood a Ernshaw, 1993).

Organické formy rtuti

Základní formy organické rtuti jsou především alkylmerkurislučeniny, a to methylderiváty, např. methylmerkurichlorid (CH_3HgCl) a dimethylrtuť [$(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$]. Transformace rtuti z formy anorganické na organickou a naopak probíhá biochemickou i chemickou cestou. Kation CH_3Hg^+ se vyskytuje ve vodném roztoku jako aquakomplex CH_3HgOH_2 s kovalentní vazbou mezi atomy Hg a O. Ve vodě se chová jako slabá kyselina a má významné kompletační schopnosti. V závislosti na složení vody a hodnotě pH se tvoří rovnováha mezi uvedenými formami výskytu. Za určitých podmínek může ve vodě převažovat CH_3HgOH , ale při vyšších koncentracích chloridů naopak CH_3HgCl (Mason a kol., 1996; Stumm a Morgan, 1996).

Nejdůležitější a zároveň nejlépe studovaná organickou sloučeninou rtuti je methylrtuť (Wright a Welbourn, 2001). Díky své lipofilní povaze mají organické sloučeniny rtuti značnou schopnost bioakumulace, což jim umožňuje snadný průnik přes biologické membrány. Proto se v životním prostředí akumulují všude tam, kde se mohou rozpouštět v tucích (Houserová, 2006). Organické sloučeniny rtuti, jako jsou methylrtuť, ethylrtuť a fenylrtuť, byly široce využívány pro své fungicidní vlastnosti a používaly se k moření obilí a jiných osiv. Využívání těchto látek bylo v mnoha zemích zakázáno (Greenwood a Ernshaw 1993; Tuček 2006).

Alkylderiváty rtuti

- Methylrtuť

Pojem methylrtuť je používán v souvislosti s monomethylrtutí (CH_3Hg^+). V biologických materiálech jsou nejčastěji lokalizovány halogenidy methylrtuti, a to chlorid rtuťnatý, který se nachází zejména v mořské vodě. Ve sladkých vodách je nejvíce zastoupený hydroxid methylrtuti (Houserová, 2006; Koplík a kol., 1997).

- Dimethylrtuť

Je to bezbarvá, hořlavá kapalina, která patří mezi nejsilnější neurotoxiny. Pro dospělého člověka je tato látka smrtelná již od 0,1 ml. Dimethylrtuť oproti monomethylrtuti je méně stabilní sloučeninou, která je snadno rozpustná v alkoholu nebo etheru. Používá se ke kalibraci laboratorního zařízení nebo při výrobě chemikálií. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Wrihgt a Welbourn, 2001).

- Ethylrtuť

Ethylrtuť, díky svým fungicidním účinkům, byla používána ve 20. století v zemědělství a v lékařství ke stabilizaci vakcín až do třicátých let 20. století (Tuček, 2006).

- Diethylrtuť

Koncem osmdesátých let 20. století byla diethylrtuť využívána k léčbě syfilis, ale použití kvůli její toxicitě bylo zastaveno (Tuček, 2006).

2.1.2. Přírodní výskyt rtuti

V přírodě se rtuť vyskytuje v horninách hlavně ve formě sulfidů. Z dvaceti minerálů, které obsahují rtuť je nejvíce zastoupena rumělka či cinabarit (HgS), která je hlavním průmyslovým zdrojem rtuti (Holoubek, 2004). Rumělka se získává především žárovou cestou, kdy se rtuť uvolňuje v podobě par a kondenzuje v jímadle (Bencko a kol., 1995). Přírodní obsah rtuti ve vodách je dán jejím kontaktem s horninami, půdou a sedimenty. Záleží také na geologických podmínkách a množství obsažené rtuti v zemském plášti (Pitter, 1999).

Hlavní přírodní zdroje:

- Zvětrávání minerálů (cinabarit, metacinabirit, livingstonit)
- Sopečná činnost
- Lesní požáry
- Vypařování z moří a mokřadů

Hlavní antropogenní zdroje:

- spalování fosilních paliv
- průmyslové odpadní vody (např. elektrolýza NaCl amalgámovým způsobem, rudné úpravy, odpadní vody z nemocnic)
- vyluhování z hlušiny v lokalitách, kde dochází k aktivní těžbě rtuti, ale také v lokalitách již ukončené těžby
- výroba železných a neželezných kovů, popřípadě slitin
- rtuťnaté pesticidy (především fungicidy)
- krematoria
- konzervační prostředky (např. ke konzervaci řezných emulzí) prostředky k moření osiva
- vypouštění kontaminovaných komunálních a průmyslových odpadních vod
- výroba cementu
- tavení kovů (Cu, Zn)
- používání fungicidů s obsahem rtuti
- těžba vzácných kovů amalgamací
- vlastní těžba a zpracování rtuti
- výroba a užívání zubních amalgámových výplní (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Wright a Welbourn, 2001; Houserová, 2006; Perone a kol., 2010; Pitter, 1999).

2.1.3. Toxický účinek rtuti

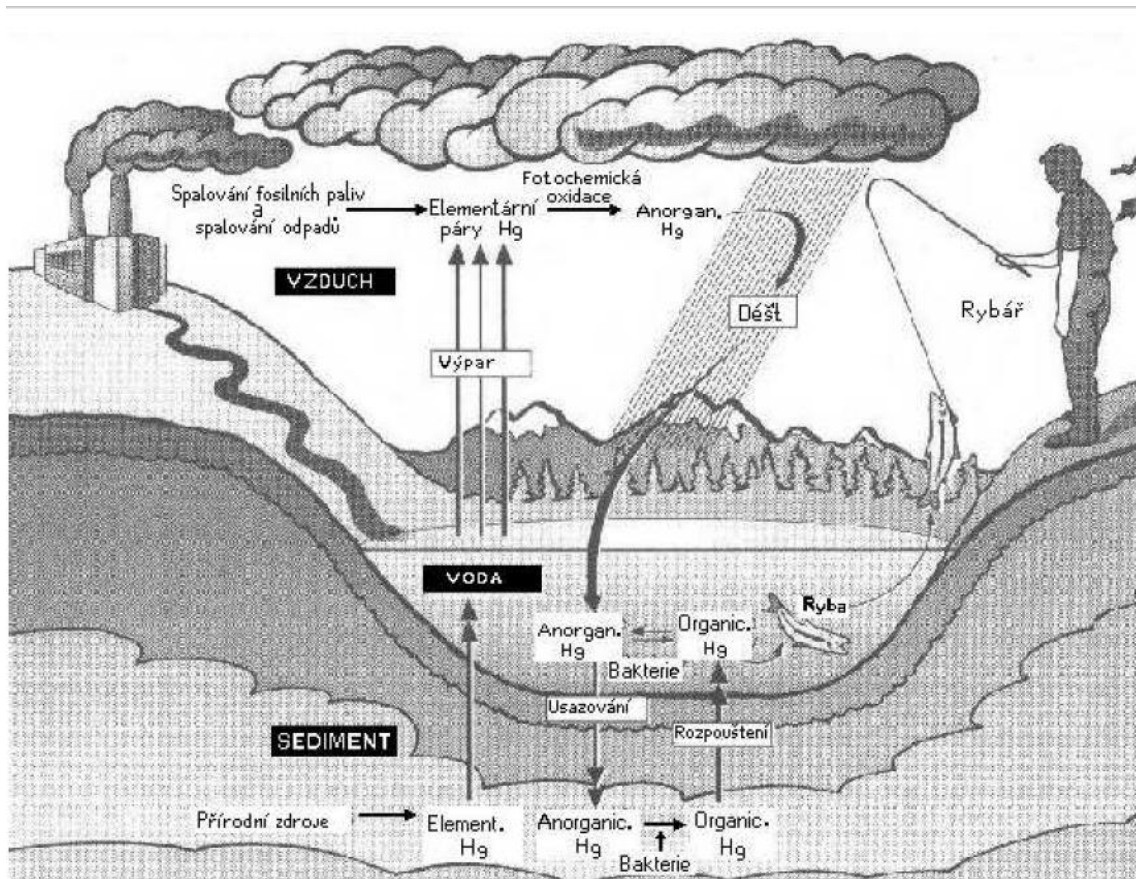
Rtuti je z toxikologického hlediska věnována velká pozornost. Její toxicita závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech jednotlivých forem rtuti a to na rozpustnosti, době expozice, intoxikační cestě, na jejím množství a mobilitě různých chemických

forem. Platí pravidlo, že čím je forma rtuti mobilnější, tím je toxičtější. Tyto vlastnosti určuje struktura molekuly (chování v organismu, v biosystémech, stabilita, míra vylučování organismem atd.), (Tichý, 2003; Paleček a kol., 1999).

Z dostupných biochemických údajů je zřejmé, že toxický účinek rtuti a jejích sloučenin je převážně dán reakcí rtuťnatého iontu s SH-skupinami biomolekul, s následnou změnou permeability buněčných membrán a poškozením nitrobuněčných enzymů (Passow a kol., 1961). Kationty rtuti inhibují v malých koncentracích některé enzymové reakce in vitro (Berlin, 1963). Otravy vyvolané rtutí a jejích sloučeninami jsou velice závažné a často končí poškozením organismu až smrtí. Otravy rtutí se projevují silnými bolestmi břicha a selháním ledvin. Osoby, které byly exponovány účinku rtuti, se stávají často agresivními, dochází u nich k neovladatelnému třesu končetin, poruchám vidění, řeči a nekoordinovaným pohybům (Kaplan a Pesce, 1996).

2.1.4. Koloběh rtuti v životním prostředí

Rtuť je uvolňována do životního prostředí ze zdrojů přírodních a antropogenních, které činí asi 60 – 80 %. Z antropogenních zdrojů je rtuť uvolňována především do atmosféry v podobě elementární rtuti. Dalších 15 % je uvolňováno do půdy v důsledku přímého používání hnojiv, fungicidů a ukládání tuhého komunálního odpadu s obsahem rtuti (např. baterie a teploměry). Zbýlých 5 % pak připadá na vypouštění průmyslových odpadních vod do vodních útvarů (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999; Houserová a kol., 2006).



Obrázek 1: Koloběh rtuti v životním prostředí, převzato od (Schettler a kol., 2000).

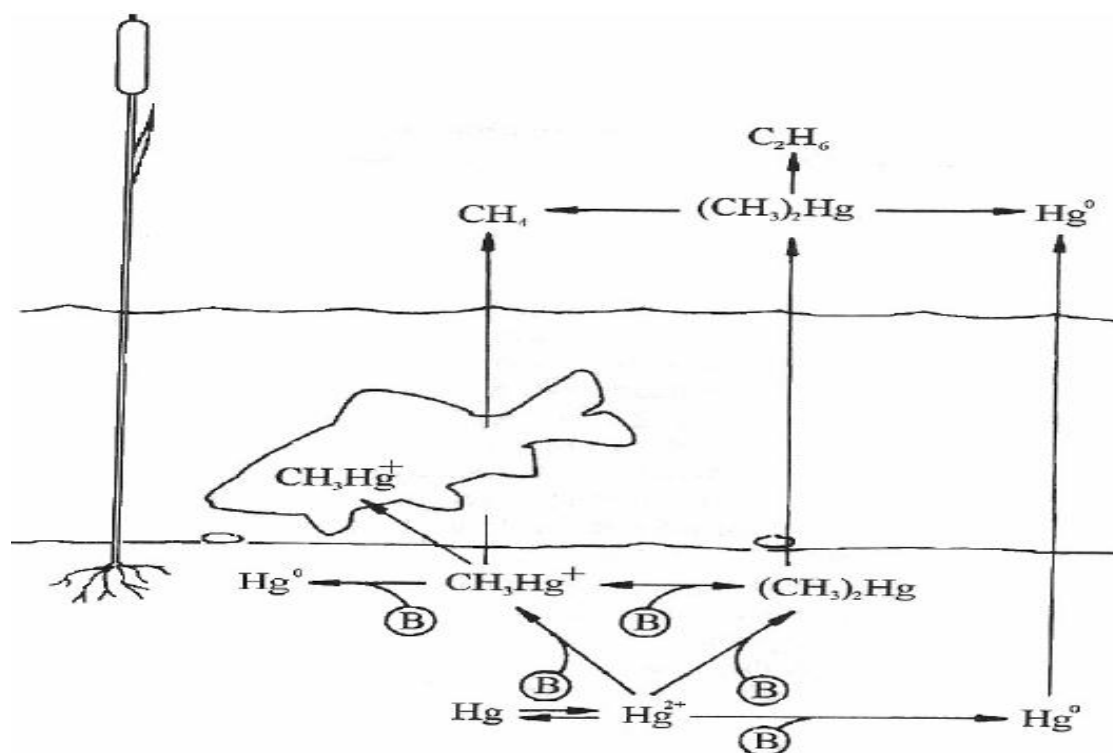
2.1.5. Koloběh rtuti ve vodním prostředí

Cyklu rtuti ve vodních prostředích je již dlouho věnována velká pozornost, vzhledem k vysoké toxicitě jejich sloučenin a to zejména methylrtuti (MeHg). Zastoupení jednotlivých forem methylrtuti ve vodním prostředí je závislé na složení vody a hodnotě pH. Ve sladkých vodách nejčastěji převažuje CH_3HgOH , naopak ve vodách s vyšší koncentrací chloridů, jako je tomu v mořské vodě, je hlavní organickou formou rtuti CH_3HgCl (Koplík a kol., 1997; Pitter, 1999). Iontové nebo komplexní sloučeniny rtuti bývají navázány na pevné částice přítomné ve vodě, přičemž až 70 % rtuti je navázáno na organickou matici. Sloučeniny nasorbované na pevné částice klesají spolu s částicemi vodním sloupcem na dno, kde se ukládají v sedimentech. Největší koncentrace rtuti bývají tedy ve vodě detekovány blízko rozhraní voda-sediment. Naproti tomu těkavé sloučeniny rtuti, jakými jsou dimethyl rtuť nebo elementární rtuť, jsou z vodního prostředí uvolňovány těkáním do atmosféry (Houserová, 2006). Znečištění rtutí je všudypřítomný problém znečišťující povodí

v oblastech daleko od antropogenních nebo přírodních atmosférických zdrojů (Swain a kol., 1992). Vodní prostředí je znečišťováno různými formami průmyslových a zemědělských odpadů. V odpadní vodě se vyskytuje mnoho chemických látek, farmaceutických výrobků a kovů. Koncentrace rtuti v podzemních vodách se pohybují od 10 do 50 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Povrchové vody nekontaminovaných oblastí obsahují do 200 $\text{ng Hg}\cdot\text{l}^{-1}$, říční vody z průmyslových oblastí potom kolem 1 $\mu\text{g Hg}\cdot\text{l}^{-1}$.

2.1.6. koloběh rtuti v sedimentech

V sedimentech se rtuť vyskytuje nejčastěji v oxidačním stavu +II, a to především vázaná na ligandy obsahující thiolové skupiny, případně je zde ukládána ve formě nerozpustného HgS . Velmi malá rozpustnost HgS je příčinou imobilizace rtuti v anaerobních podmínkách hypolimnia a sedimentů (Pitter, 1999). Sloučeniny rtuti vyskytující se v sedimentech podléhají stejným chemickým a biochemickým transformacím jako ve vodním ekosystému. V sedimentech se vytvářejí rtuťnaté iontové komplexy s hydroxidovými a chloridovými ionty. Organokovové sloučeniny rtuti jsou formovány a degradovány abiotickým nebo mikrobiálním procesem (Houserová, 2006).



Obrázek 2: Alkylace a biotransformace rtuti v důsledku metabolické činnosti bakterií (B), převzato z knihy Bencko a kol., (1995).

2.1.7. Methylace rtuti

Rtuť ve vodním prostředí je závislá na imobilizačních a remobilizačních procesech (srážení při zvýšeném pH, výměně iontů, adsorpci na nerozpuštěných látkách a sedimentech) s remobilizačních procesů to jsou (snižování hodnoty pH, redukční podmínky, desorpce aj.). Anorganické formy rtuti, které vstupují do vodních ekosystémů se snadno přeměňují na methylrtuť (Houserová, 2006). V horních sedimentačních vrstvách jezerního nebo mořského dna dochází k methylaci elementární rtuti a rtuťnatých iontů za vzniku metylrtuti (Jarnelov a Fatten, 1968). Vznikající metylrtuť je zachycována drobnými vodními organismy, které jsou potravou ryb. V těle ryb se rtuť koncentruje.

Ke snižování rychlosti methylace rtuťnatých iontů v sedimentech je dáno především úhynem mikroorganismů. Methylace se zvyšuje přísunem rozpuštěných organických látek ve spodních vrstvách sedimentu s odvodem methylrtuti do okolní vody a také přísunem iontů síry (Houserová, 2006; Eisler, 2006; United States Environmental Protection Agency, 1994).

Methylace rtuti je mikrobiální proces probíhající za aerobních a anaerobních podmínek. Patří sem i neenzymatická methylace rtuťnatých iontů (Hg^{2+}) methylkobalaminovými sloučeninami v přítomnosti různých typů mikroorganismů a to bakterií rodu (*Bifidobacterium*, *Chromobacterium*, *Escherichia*, *Pseudomonas*), které se vyskytují v sedimentu. Rychlost tvorby methylrtuti je závislá na koncentraci rtuťnatých iontů, přítomnosti organických a anorganických komplexotvorných látek, koncentraci kyslíku ve vodě, teplotě, pH a množství organismů. Zvýšením koncentrace rozpuštěného organického uhlíku dochází ke snižování methylace rtuti a k rychlé sorpci rtuťnatých iontů pro mikrobiální proces metylace. Ve vodách převládá biotická methylace nad abiotickou (Houserová, 2006; United States Environmental Protection Agency, 1994).

2.1.8. Bioakumulace rtuti v živých organismech

Ve většině sladkovodních biotopů je iontová rtuť ve dvojmocném stavu (Hg^{II}) v převládající formě, zatímco ve většině rybích druhů je více než 95% rtuti ve formě methylrtuti (MeHg). To znamená, že přeměna iontové rtuti na MeHg je důležitým článkem v bioakumulaci rtuti v rybách a nakonec v její toxicitě pro člověka a volně žijící zvířata (Eisler, 2006). Methylrtuť je nejtoxičtější forma a její bioakumulace

v rybách probíhá především prostřednictvím příjmu potravy (WHO, 1990). Úroveň bioakumulace je závislá na věku, druhu a trofické úrovni. Expozice methylrtutí může mít vliv na růst, reprodukci, vývoj a přežití ryb (Weiner a Spry, 1996).

2.1.9. Faktory ovlivňující kumulaci rtuti

Z fyzikálně chemických vlastností vody působí na stupeň kumulace rtuti zejména teplota vody a koncentrace kyslíku rozpuštěného ve vodě. Při vyšší teplotě vody dochází k vyšší akumulaci rtuti v rybách. Dále můžeme říct, že ryby z větších stojatých vod (jezera, udolní nádrže) mívají větší obsah rtuti než ryby z tekoucích vod. Souvisí to s vyšší intenzitou methylace rtuti na dně stojatých vod v anaerobních podmínkách povrchové vrstvy sedimentů. Toxické produkty této methylace vstupují do potravních řetězců a ve zvýšené míře se akumulují v rybách (Svobodová a Hejtmánek 1982).

Obsah rtuti u různých druhů ryb ve stejném prostředí je odlišný. Je to způsobeno jednak různým charakterem přijímané potravy a jednak metabolickými pochody vlastními pro každý druh. Nejvyšší celkové hodnoty obsahu rtuti jsou zjišťovány u dravých ryb (štika obecná, bolen dravý, candát obecný, okoun říční), které představují konečný článek potravního řetězce. Tyto ryby, zejména jedinci vyššího věku (6-12let) a hmotnosti jsou vhodným indikátorem znečištění daného biotopu rtutí. Nejnižší obsahy rtuti bývají zjišťovány u ryb omnivorních, které preferují spíše volnou vodu (plotice obecná, lipan podhorní, pstruh obecný, hořavka duhová atd). Pokud jde o závislost obsahu rtuti na věku a hmotnosti ryb, je zejména u dravých ryb, ale i u ostatních druhů ryb zjišťována vysoká korelace (Svobodová a Hejtmánek., 1982).

2.1.10. Lipofilní charakter jednotlivých forem rtutí

Při porovnání hodnot rozdělovacího koeficientu oktanol-voda (K_{ow}) některých anorganických a organických forem rtuti lze kvantifikovat jejich lipofilní charakter, a tím i jejich schopnost akumulovat se v biomase (tabulka 1).

Tabulka 1: Rozdělovací koeficient oktanol-voda K_{ow} některých elektroneutrálních molekul sloučenin rtuti (Mason a kol., 1996).

Sloučenina	K_{ow}
HgCl ₂ (aq)	3,33
HgOH ₂ (aq)	0,05
Hg ⁰ (aq)	4,15
CH ₃ HgCl	1,7
CH ₃ HgOH	0,07
(CH ₃) ₂ Hg	182

Dichlortuťnatan HgCl₂ je vzhledem ke kovalentní vazbě mezi Hg a Cl (na rozdíl mezi Zn a Cd) jen nepatrně disociován a vstupuje v roztoku jako elektroneutrální molekula. Má dokonce lipofilnější charakter než např. CH₃HgCl. Z tohoto hlediska je nutné zhodnotit jeho adsorpční a akumulaci schopnost (Pitter, 1999). Zdá se však, že lipofilita není jediným faktorem ovlivňujícím akumulaci, neboť anorganické komplexy rtuti (např. HgCl₂) nepodléhají na rozdíl od methylrtuti výrazné akumulaci v rybách. Bylo prokázáno, že dalším faktorem je reaktivita sloučenin rtuti s vnitrobuněčnými ligandy (Gilmour a kol., 1992).

2.1.11. Havárie rtuti ve světě

K nejznámější otravě obyvatelstva došlo v Japonsku roku 1953 v zálivu Minimata. Je to onemocnění lidí, vzniklé po požití vylovených ryb v zátocce Minimata, do které byly vypuštěny průmyslové odpadní vody obsahující rtuť. Výzkumy potvrdily, že příčinou otrav byl chlorid methylrtuťnatý, který se nahromadil v rybách a mořských korýších. Rtuť z odpadních vod se hromadila v sedimentech zátoky, byla zde mikroorganismy methylována a resorbována rostlinným a živočišným planktonem, který konzumovaly ryby a korýši. O hodnotách rtuti v těchto rybách neexistují žádné přesné, konkrétní údaje, protože sloučeniny rtuti jako původci onemocnění byly poznány později. Odhaduje se 20-40 mg.kg⁻¹ Hg ve svalovině. Nemoc Minimata se projevuje poruchami funkce centrálního nervstva, které vedou v těžších případech k částečnému nebo celkovému oslepnutí, ke ztrátě sluchu i řeči, k trvalým ochrnutím končetin i k těžkým psychickým poruchám. Nebezpečí spočívá také v tom, že toxické látky procházejí placentou a děti se rodí tělesně i duševně nevyvinuté. Mezi roky 1951

až 1973 zemřelo na otravu rtuť 71 rybářů, dalších pět desítek onemocnělo vážným poškozením nervové soustavy. Dodnes jsou lidé v této oblasti postiženi (Pitter, 1999; Vučka, 1984).

2.1.12. Havárie v ČR

Řeka Reslava a následně řeka Ohře a vodárenská nádrž Skalka byly po mnoho let znečišťovány odpadními vodami z továrny na území NSR, zabývající se výrobou chemikálií a přípravků na bázi rtuti. Analýzy svaloviny ryb odlovených v letech 1980-83 na těchto lokalitách ukázaly následující výsledky. Nejvyšší naměřená hodnota rtuti byla 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 $3,12 \text{ mg.kg}^{-1}$. Proto vydalo ministerstvo zemědělství a výživy ČSR oprávněný zákaz lovu a konzumování dravých ryb z vodárenské nádrže Skalka (Vučka, 1984).

V dnešní době je jedním z největších zdrojů kontaminace rtuť v ČR Spolana Neratovice. Podnik vypustí do životního prostředí ročně několik kilogramů rtuti, ta se následovně hromadí v sedimentech řeky a tělech ryb (Vučka, 1984). V květnu roku 2002 Greenpeace prokázala v povrchové vrstvě půdy nedaleko břehu Labe až 37 miligramů rtuti na kilogram. Podle expertní studie zpracované pro Spolanu se ještě dnes na břehu Labe nachází přes 250 tun toxické rtuti představující vážné nebezpečí pro ekosystém Labe a zdraví lidí (Šuta, 2002). Biogeochemickými přeměnami akumulovaných sloučenin rtuti, vznikají jednak těkavé sloučeniny rtuti, které pak unikají do atmosféry, a dále dochází k vymývání rtuti dešťovými vodami (Pitter, 1999).

1.1.13. Limity rtuť v potravinách

Pokud jde o rtuť, Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) přijal dne 24. února 2004 stanovisko k obsahu rtuť a methylrtuť v potravinách a schválil prozatímní tolerovatelný týdenní příjem $1,6 \text{ ug.kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti. Methylrtuť je chemická forma, jež působí z hlediska zdraví největší obavy a může tvořit více než 90% celkového množství rtuť v rybách a rybích produktech (Efsa EU). Evropská komise (ES) č.420/2011 ze dne 29.dubna 2011 uvádí povolené maximum celkové rtuť $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ pro rybí

výrobky s výjimkou vybraných druhů ryb, kde se akceptuje $1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (úhoř říční, štika obecná a jeseteři).

2.1.14. Hodnoty rtuti ve vodách

Za přirozené pozadí rtuti v podzemních vodách se považuje koncentrace $0,1\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Nejvyšší mezní hodnota rtuti v pitné vodě v ČR je $1\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ liter. (Zýka, 1982). Podzemní vody obsahují 10-50 ng Hg na liter (Dall'Aglio, 1968), povrchové vody v neznečištěných oblastech až $200\ \text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$ (WHO, 1976). V řekách protékající průmyslovými oblastmi se koncentrace pohybují okolo $1\ \mu\text{g}$ na liter (Reichert, 1973). Koncentrace rtuti v oceánech stoupá od hladiny směrem ke dnu. (Hosohora, 1968), našel v hloubce 3000 metrů třikrát vyšší koncentrace rtuti než u hladiny.

2.2. Jelec tloušť' (*Leuciscus cephalus*)

Jako referenční druh byl právě zvolen jelec tloušť' (*Leuciscus cephalus*), jakožto představitel bentopelagických potamodromních ryb, který je jedním z našich nejrozšířenějších rybích druhů. Vyskytuje se takřka ve všech typech našich vod od nižších pstruhových úseků až po pásmo cejnové (Hanel a Lusk, 2005). Z těchto důvodů je jelec tloušť' (*Leuciscus cephalus*), vhodným bioindikátorem pro sledování rtuti a dalších kontaminantů ve vodním prostředí.

2.2.1. Popis a poznávací znaky

Jeho tělo je válcovité, robustní, kryté středně velkými šupinami. Hlava je nižší a široce zaoblená. Velká koncová ústa mají masité pysky. Šupiny jsou výrazné, na zadním okraji jemně pigmentované. Řitní ploutev je vypoukle zaoblená, méně často skoro rovná. V postraní čáře mívá obvykle 43-47 šupin. Zbarvení tlouště je dosti proměnlivé. Základní barvou je žlutavá hněd', někdy stříbřitá žluť. Hřbet je tmavý, černozeleň, břicho bělavé nebo u větších kusů nažloutlé. Prsní ploutve jsou žluté nebo lehce červené. Břišní a řitní ploutve jsou výrazně červené. Hřbetní a ocasní ploutev jsou tmavé (Hanel a Lusk, 2005).

2.2.2. Ekologické nároky

Bentopelagický, potamodromní druh sladkých, případně brakických vod. Jako eurytopní druh patří mezi naše nejrozšířenější ryby. Vyskytuje se takřka ve všech typech našich vod od nižších pstruhových úseků až po pásmo cejnové (Hanel a Lusk, 2005).

2.2.3. Biologie

to plachá a opatrná ryba. V tekoucích vodách bývá část jeho populace věrná stanovišti po delší dobu. Většinu dne tráví v úkrytech a z velké části neopouští úsek toku, ve kterém žije. Hojný je tam, kde jsou početné úkryty, kameny a balvany, podemleté, zarostlé břehy či kořeny břehových porostů. V regulovaných tocích žije ve vývařistích pod stupni, v korytě se spokojí i s menšími úkryty, za kamenem či u trsu vodních rostlin. Místy ho také najdeme pod vyústěním kanálů nebo znečištěných přítoků. Do znečištěných vod vniká, pokud je tam příznivá hladina rozpuštěného kyslíku. Tloušť je všežravec. V mládí uchvacuje drobnou zvířenu a také semena rostlin přinášena vodou. Později loví larvy, hmyz, menší ryby, raky, žáby i drobné savce. Přijímá potravu také v chladném ročním období. Nepohrdne ani odpadky z kanálů a sbírá rostlinou potravu a ovoce. Podniká jen krátké tahy na tření. V našich tocích se obvykle tře v květnu a červnu v peřejnatých úsecích. Výtěr probíhá v několika dávkách v menších hejnech. Jsou známí kříženci tlouště s řadou kaprovitých ryb (ploticí obecnou, ouklejí obecnou, jelcem proudníkem, jelcem jesenem, cejnkem malým, podouství říční, ostroretkou stěhovavou, perlínem osrobřichým i kaprem obecným) (Hanel a Lusk, 2005).

2.2.4. Výskyt v ČR

Vyskytuje se takřka všude ve vhodných tekoucích i stojatých vodách (rybníky, tůně, odstavná a slepá ramena řek, zatopené šterkopískovny a lomy, závlahové a retenční nádrže, údolní nádrže) povodí Labe, Odry i Moravy. Jelec tloušť je naší nejrozšířenější rybou. Četnost výskytu v řekách závisí především na členitosti dna a břehů (Hanel a Lusk, 2005).

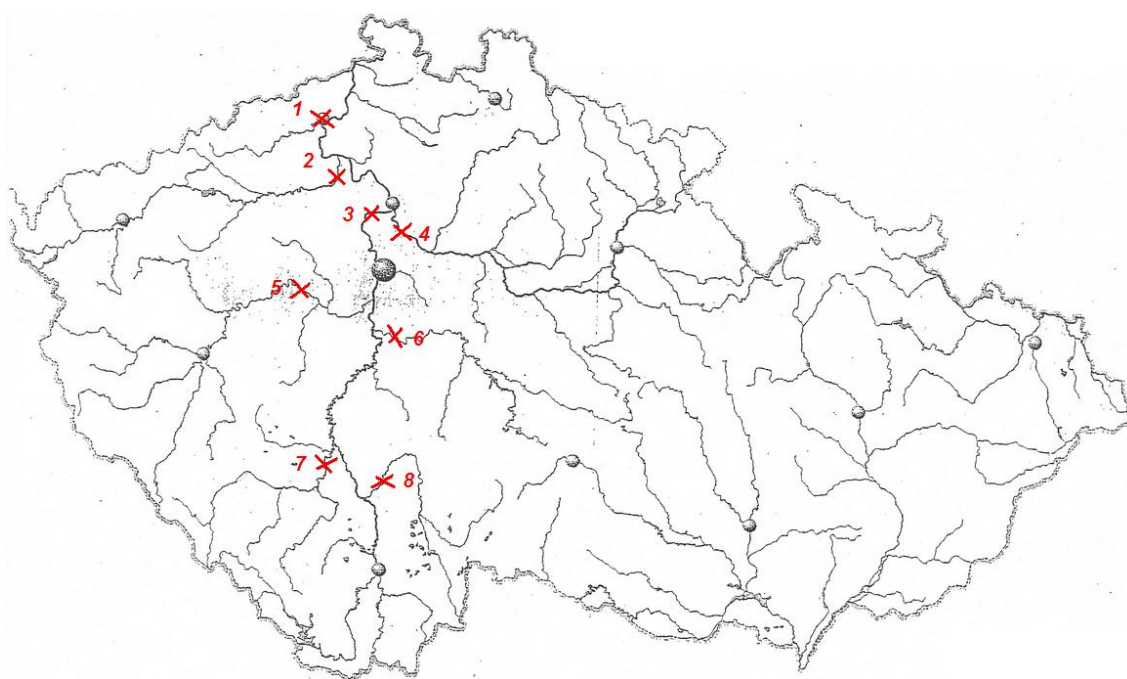
2.2.5. Početnost a biomasa

Populační hustota bývá největší ve vysočinných řekách. V tekoucích vodách početnost dosahovala až 14 312 ks/ha, relativní početnost 94,8% (n = 150), biomasa 600,3 kg/ha (n = 150), (Hanel a Lusk, 2005).

3. Metodika

3.1 Popis sledovaných lokalit, velikostní a věková charakteristika odlovených ryb

V letech 2010 a 2011 bylo odloveno z 8 různých lokalit (Labe Děčín, Ohře Terezín, Vltava Zelčín, Labe Obříství, Berounka Beroun, Sázava Nespeky, Otava Topělec, Lužnice Bechyně – viz. obrázek 3) 141 kusů ryb jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*), pro stanovení obsahu rtuti v jejich svalovině.



Obrázek 3: znázorňuje lokality odběru vzorků: 1 – Labe Děčín, 2 – Ohře Terezín, 3 – Vltava Zelčín, 4 – Labe Obříství (Neratovice), 5 – Berounka Beroun, 6 – Sázava Nespeky, 7 – Otava Topělec, 8 – Lužnice Bechyně.

Labe Děčín

Profil se nachází v rybářském revíru Labe 2 – 441020. Konkrétní místo odlovu je označeno v příloze na obrázku 5. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka 3.

Tabulka 2: Základní údaje odběrného profilu

Nadmořská výška	135 m.n.m.
Říční km	13,6 km
Plocha povodí	51103,9 km ²
Qa	309 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	50°46'14.102"N, 14°12'40.495"E
Okres	Děčín
Kraj	Ústecký
Potencionální zdroje rtuti	Strojírny Rumburk s.r.o. (výroba a obrábění strojních součástí), Chemotex Děčín a.s. (výroba chemických přípravků pro strojírenství, stavebnictví, papírnictví, textil a kosmetických i drogistických prostředků)

Tabulka 3: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Labe Děčín v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	270	190	♂	4	395	580	♂	5
2	335	300	♂	4	395	650	♂	5
3	350	465	♂	5	375	640	♂	5
4	350	435	♂	5	380	550	♂	5
5	285	210	♂	4	370	590	♂	5
6	360	490	♂	5	325	340	♂	5
7	385	555	♂	5	315	310	♂	4
8	290	250	♂	4				
9	280	200	♂	3				

Tlouští odlovení v tomto profilu v roce 2011 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odlovené v roce 2010 ($t=-2,515$, s.v.=14, $p=0,025$).

Ohře Terezín

Profil se nachází v rybářském revíru Ohře 1 – 441038, Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 6. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 5

Tabulka 4: Základní údaje odběrného profilu

Nadmožská výška	145,8 m.n.m.
Říční km	2,7 km
Plocha povodí	5600 km ²
Qa	38m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	50°30'46.677"N, 14°9'18.380"E
Okres	Litoměřice
Kraj	Ústecký
Potencionální zdroje rtuti	Odpady z chemického závodu Dyntec s.r.o.

Tabulka 5: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Ohře Terezín v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	215	85	♂	2	160	45	♂	3
2	240	125	♂	3	160	40	♂	3
3	245	135	♂	3	145	30	♂	3
4	240	115	♂	3	150	35	♂	3
5	255	140	♂	3	150	35	♂	3
6	200	65	♂	2				
7	215	80	♂	2				
8	190	55	♂	2				

Tloušťi odlovení v tomto profilu v roce 2010 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odlovené v roce 2011 ($t=4,182$, $s.v.=11$, $p=0,002$).

Vltava Zelčín

Profil se nachází v rybářském revíru Vltava 1 – 411093. Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 7. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 7

Tabulka 6: Základní údaje odběrného profilu

Nadmořská výška	164 m
Říční km	11,3 km
Plocha povodí	28057,4 km ²
Qa	151 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	50°19'10.479"N, 14°23'50.058"E
Okres	Mělník
Kraj	Středočeský
Potencionální zdroje rtuti	Mnoho

Tabulka 7: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Vltava Zelčín v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	320	315	♂	3	360	530	♂	6
2	390	680	♂	5	375	550	♂	6
3	320	310	♂	4	360	495	♂	6
4	269	180	♂	3	365	510	♂	6
5	360	490	♂	4	295	265	♂	5
6	215	85	♂	3	335	380	♂	6
7	210	75	♂	2	330	430	♂	6
8	225	90	♂	3	325	385	♂	5
9	355	405	♂	5	330	390	♂	6

Hmotnost ryb odlovených v tomto profilu se v obou letech signifikantně nelišila.

Labe Obříství (Neratovice)

Profil se nachází v rybářském revíru Labe 16 – 441048. Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 8. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 9

Tabulka 8: Základní údaje odběrného profilu

Nadmožská výška	165 m.n.m.
Říční km	130,2
Plocha povodí	13186,3 km ²
Qa	99,4 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	50°15'34.986"N, 14°31'36.543"E
Okres	Mělník
Kraj	Středočeský
Potencionální zdroje rtuti	Spolana a.s. (největší chemická společnost v rámci českého průmyslu), Lach-ner, s.r.o. (výrobce a dodavatel farmaceutických chemikálií pro laboratoře a průmysl)

Tabulka 9: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Labe Obříství v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	320	300	♂	4	300	190	♂	5
2	285	205	♂	3	290	150	♂	5
3	270	180	♂	3	255	180	♂	4
4	245	160	♂	3	280	90	♂	4
5	215	95	♂	2	280	80	♂	4
6	160	45	♂	2	240	85	♂	4
7	254	135	♂	3	225	75	♂	4
8	220	100	♂	2				
9	220	115	♂	2				
10	255	160	♀	3				
11	205	85	♀	3				

Hmotnost ryb odlovených v tomto profilu se v obou letech signifikantně nelišila.

Berounka Beroun

Profil se nachází v rybářském revíru Berounka 3 – 411001. Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 9. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 11

Tabulka 10: Základní údaje odběrného profilu

Nadmořská výška	325 m.n.m.
Říční km	34,2 km
Plocha povodí	8284,7 km ²
Qa	35,6 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	49°57'9.042"N, 14°6'46.002"E
Okres	Beroun
kraj	Středočeský
Potencionální zdroj rtuti	Cemex Czech Republic, s.r.o. (výrobce a dodavatel betonu a směsí, litých podlah, anhydritových potěrů, výplňových pěn, samozhustitelných betonů atd.), UCB Technometal s.r.o. (výroba a prodej profilů ze šedých, tvárných litin a neželezných kovů)

Tabulka 11: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Berounka Beroun v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	240	130	♂	3	260	250	♂	4
2	270	180	♂	3	295	235	♂	5
3	215	90	♂	2	255	190	♂	4
4	270	175	♂	3	265	190	♂	4
5	250	135	♂	3	265	200	♂	4
6	220	85	♂	2	250	150	♂	4
7	255	145	♂	3	260	170	♂	4
8	190	60	♂	2	260	175	♂	4
9	185	50	♂	2	240	160	♂	4

Tloušti odlovení v tomto profilu v roce 2011 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odložené v roce 2010 ($t=-3,849$, s.v.=16, $p=0,001$).

Sázava Nespeky

Profil se nachází v rybářském revíru Sázava 1 – 401009. Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 10. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 13

Tabulka 12: Základní údaje odběrného profilu

Nadmořská výška	267 m.n.m.
Říční km	27,1
Plocha povodí	4038,2 km ²
Qa	23,4 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	49°51'27.219"N, 14°39'25.329"E
Okres	Benešov
Kraj	Středočeský
Potencionální zdroje rtuti	

Tabulka 13: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Sázava Nespeky v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	175	45	♂	2	210	95	♂	3
2	195	60	♂	2	215	105	♂	3
3	165	35	♂	2	230	130	♂	4
4	185	50	♂	2	205	85	♂	3
5	200	60	♂	2	210	95	♂	3
6	175	40	♂	2	215	95	♂	3
7	165	35	♂	2	215	105	♂	3
8	185	50	♂	2	215	95	♂	3
9	205	65	♂	2	200	85	♂	3

Tlouští odlovení v tomto profilu v roce 2011 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odlovené v roce 2010 ($t=-8,523$, s.v.=16, $p<0,001$).

Otava Topělec

Profil se nachází v rybářském revíru Otava 1 - 421053. Konkrétní místo odlovu je označeno na příloze obrázku č. 11. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 15

Tabulka 14: Základní údaje odběrného profilu

Nadmožská výška	353,9 m.n.m.
Říční km	24,7 km
Plocha povodí	2913,9 km ²
Qa	23,4 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	49°21'3.737"N 14°8'40.902"E
Okres	Písek
Kraj	Jihočeský
Potencionální zdroj rtuti	Václav Chmela - Galvalovna

Tabulka 15: Celková délka (CD), hmotnost (Hm), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Otava Topělec v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	380	575	♂	5	265	190	♂	4
2	330	370	♂	4	245	150	♂	4
3	320	340	♂	4	265	180	♂	4
4	340	420	♂	4	205	90	♂	3
5	435	900	♂	6	205	80	♂	3
6	265	180	♂	3	200	85	♂	3
7	160	45	♂	2	195	75	♂	3
8	250	155	♂	3	210	95	♂	3
9	435	865	♂	6	200	80	♂	3
10	395	535	♀	6	425	800	♀	7
11	450	1065	♀	6	335	410	♀	5

Tloušti odlovení v tomto profilu v roce 2010 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odložené v roce 2011 ($t=2,436$, s.v.=20, $p=0,024$).

Lužnice Bechyně

Profil se nachází v rybářském revíru Lužnice 2 – 421033). Konkrétní místo odlovu je označeno příloze na obrázku č. 12. Informace o délce, počtu, hmotnosti, věku a pohlaví shrnuje tabulka č. 17

Tabulka 16: Základní údaje odběrného profilu

Nadmožská výška	354 m.n.m.
Říční km	10,5 km
Plocha povodí	4055,1 km ²
Qa	23,6 m ³ /s ⁻¹
GPS souřadnice	49°17'44.468"N, 14°28'38.290"E
Okres	Tábor
Kraj	Jihočeský
Potencionální zdroj rtuti	Rudolf De Fant – Rondo (broušení a leštění kovů, galvanických a povrchových úprav)

Tabulka 17: Celková délka (CD), hmotnost (HM), pohlaví a věk tloušťů použitých pro analýzy lokality Lužnice Bechyně v letech 2010 a 2011

Číslo ryby	2010				2011			
	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)	CD (mm)	Hm (g)	Pohlaví	Věk (roky)
1	220	95	♂	3	295	265	♂	5
2	295	225	♂	4	185	75	♂	3
3	235	120	♂	3	205	105	♂	3
4	205	65	♂	2	265	195	♂	3
5	220	100	♂	2	195	90	♂	3
6	205	75	♂	2	185	80	♂	3
7	225	110	♂	3	180	60	♂	3
8	185	60	♂	2	155	40	♂	3
9	155	35	♂	2	180	60	♂	3

Hmotnost ryb odlovených v tomto profilu se v obou letech signifikantně nelišila.

3.2. Způsob odlovu ryb a odběru vzorků

Ryby použité k analýzám byly ve všech lokalitách odlovovány pomocí elektrického agregátu v období okolo poloviny května. Vlastní odlov probíhal v místech, kde bylo předpokládáno soustředění tloušťů (pod jezy, v mělčinách a poblíž šterkových lavic či přítoku) vzhledem k probíhající reprodukční sezóně. Lokalizace a charakteristiky jednotlivých profilů, stejně jako velikosti a počty odlovených ryb v obou letech jsou uvedeny výše. V profilech kde nebylo možné odlovovat ryby brozením (Vltava – Zelčín, Labe – Obříství a Labe – Děčín) byl pro odlov použit tzv. hlubinný elektrický agregát (typ EL 65, výrobce AGK- Kronawitter GmbH, Německo) umístěný v lodi poháněné spalovacím motorem. V ostatních profilech byl odlov prováděn brozením s použitím zádového motorového agregátu (typ FEG 1500, výrobce EFKO-Elektrofischfanggeräte GmbH, Německo).

Po odlovu byly ryby umístěny v přepravní bedně vybavené oxygenací a přepraveny do Vodňan, kde byly umístěny do odběru vzorků v průtočných žlabech na experimentálním rybochovném pracovišti a pokusnictví VÚRH, napájených z náhonu řeky Blanice Vodňanská. V případě současného převozu ryb z více lokalit byly jednotlivé skupiny označeny zastřížením ploutví.

Vlastní odběr vzorků probíhal vždy druhý den po odlovu ryb v prostorách laboratoře environmentální chemie a biochemie FROV JU ve Vodňanech. Z každé ryby byl po jejím usmrcení odebrán vzorek svaloviny bez kůže o hmotnosti cca 5 g. Vzorky byly následně jednotlivě zabaleny do mikroténového sáčku, označeny kódem a umístěny do mrazicího boxu s teplotou -18°C, kde byly přechovávány až do analýzy obsahu rtuti.

3.3. Atomový absorpční spektrofotometr AMA 254

Advanced mercury analyser AMA 254 je absorpční spektrofotometr pro stanovení rtuti. Je určen pro přímé stanovení obsahu rtuti v pevných a kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorku. Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádné vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku.

Popis základních částí AMA 254

Dávkovací zařízení 1 a dávkovací lodička 21 slouží ke vložení vzorku do přístroje.

Vstupní část spalovací trubice 2 slouží k termickému rozkladu vzorku za pomoci spalovací pece 4. Výstupní část spalovací trubice je vyplněna katalyzátorem, jehož teplota je udržována na stálé teplotě (cca 750°C) pomocí katalytické pece 3.

Amalgamátor 5, který obsahuje zlato, slouží k zachycení rtuti z proudu produktů rozkladu a rtuť zachycenou na amalgamátoru je možné vypudit pomocí vypuzovací pece 6.

Blok měřících kyvet 7, který je vyhříván na stálou teplotu pomocí topení bloku měřících kyvet 13, obsahuje dvě sériově zapojené kyvety. Mocnost první kyvety 14 a druhé 16 je v poměru 1 : 10. Mezi kyvety je zapojena zpoždovací nádobka 15, která leží mimo optickou osu měřících kyvet. Velikost zpoždovací nádobky je větší než velikost další měřící kyvety 14.

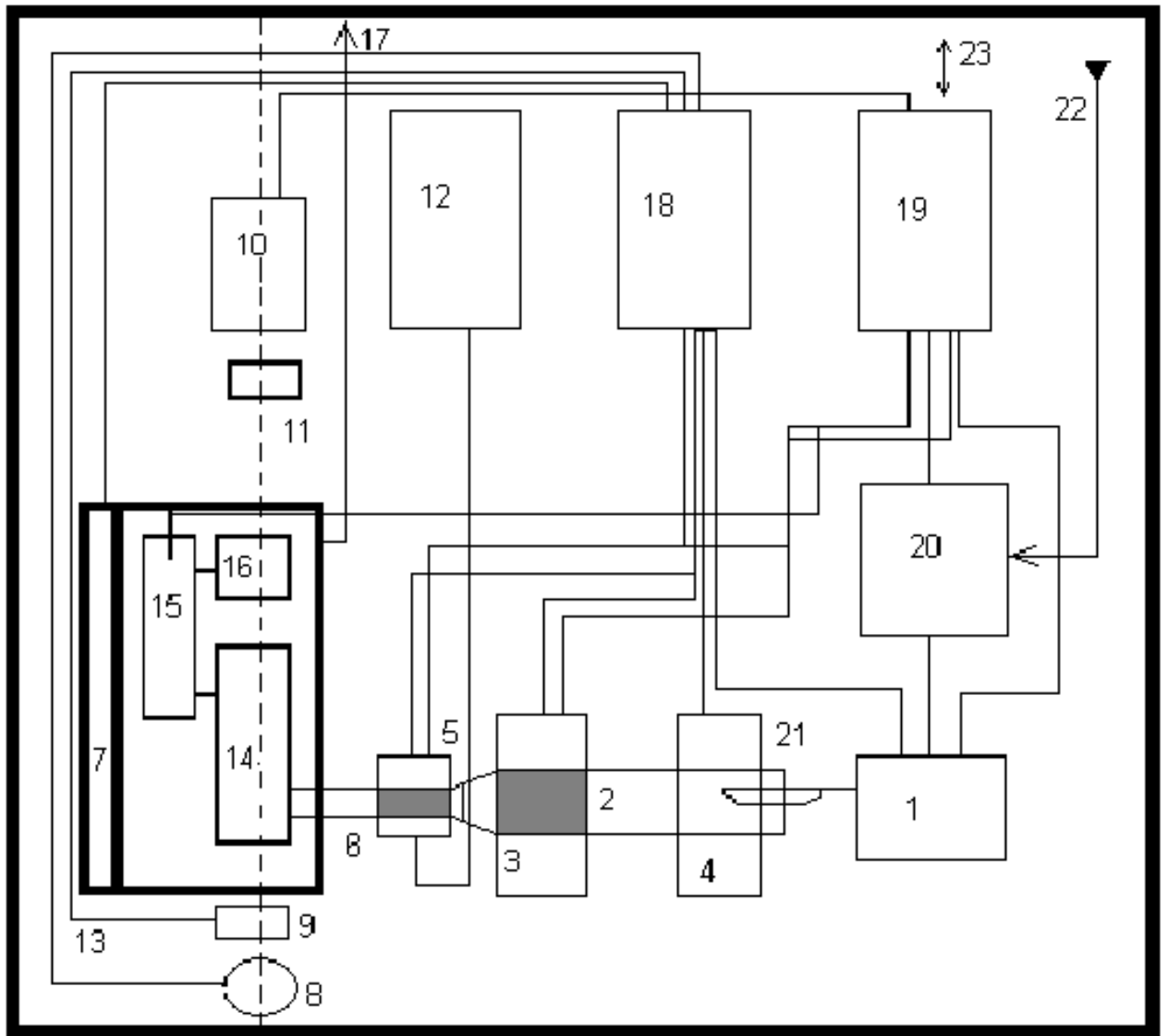
Zdrojem záření je nízkotlaká rtuťová výbojka 8. Zdroj záření je možné na pokyn z řídicího počítače úplně zclonit pomocí clonky 9. Před detektorem 10 se nachází interferenční filtr 11, který slouží k izolaci spektrální čáry 253,65 nm.

Chladicí čerpadlo 12 umožňuje rychlé ochlazení amalgamátoru po tom co dojde k vypuzení rtuti.

Analogová elektronika 18 obsahuje zdroj pro napájení rtuťové výbojky a detektoru, napájecí zdroje pro mikropočítač 8051 a potřebné výkonné spínače pecí a ostatních ovládacích prvků.

Mikropočítač 8051 19 obsahuje mimo číslicových obvodů ještě 12-ti bitový A/D převodník a měřící zesilovače signálů z detektoru. Sériová linka 23 zabezpečuje komunikaci mikropočítače s PC.

Celou analytickou částí přístroje stále prochází kyslík, od vstupu 22 přes regulátor 20 udržující průtok na stálé hodnotě, až k výstupu 17.



Obrázek 4: Funkční schéma přístroje AMA: 1 – dávkovací zařízení, 2 – spalovací trubice, 3 – katalytická pec, 4 – spalovací pec, 5 – amalgamátor, 6 – vypuzovací pec, 7 – blok měřících kyvet, 8 – rtuťová výbojka, 9 – clonka, 10 – detektor, 11 – interferenční filtr, 12 – chladičí čerpadlo, 13 – topení bloku měřících kyvet, 14 – další měřící kometa, 15 – zpožďovací nádoba, 16 – kratší měřící kyveta, 17 – výstup kyslíku, 18 – analogová elektronika, 19 – mikropočítač 8051, 20 – regulátor průtoku kyslíku, 21 – dávkovací lodička, 22 – vstup kyslíku, 23 komunikace s PC.

3.4 Popis zpracování vzorků svaloviny ryb

Vzorek o známé hmotnosti nebo objemu je umístěn na dávkovací lodičku, která je na povel z řídicího počítače pomocí dávkovacího zařízení zasunuta do spalovací trubice. Kontrolovaným ohřevem spalovací pece nastane nejprve vysušení, potom termický rozklad eventuálně spálení vzorku. Rozkladné produkty vzorku jsou proudem kyslíku unášeny do druhé části spalovací trubice vyplněné katalyzátorem. Zde dochází k dokončení oxidace a k zachycení halogenů a oxidů dusíku a síry. Rozkladné produkty vzorku jsou ze spalovací trubice vedeny do amalgamátoru, kde je selektivně zachycena rtuť a zbytek prochází přes blok měřících kyvet na výstup kyslíku z přístroje. Amalgamátor i blok měřících kyvet jsou ohřívány na 120°C aby nedošlo ke kondenzaci vody.

Po dokončení rozkladu vzorku dochází k měření množství rtuti zachycené na amalgamátoru. Na začátku nastává cyklus automatického nulování, což je automatické nastavení zisku zesilovače signálu z detektoru, automatická korekce temného proudu detektoru a offsetu zesilovače a odečtení základního světelného toku pro výpočet absorbancí během vlastního měření. Po ukončení automatického nulování je rtuť z amalgamátoru vypuzena krátkodobým intenzivním ohřevem. Páry uvolněné rtuti se nosným plynem se převedou přes další měřící kyvetu, poté se prakticky veškerá rtuť shromáždí ve zpoždovací nádobce a z ní prochází přes kratší měřící kyvetu ven z přístroje. Stejně množství rtuti je měřeno dvakrát s různou citlivostí, výsledkem je dynamický rozsah analyzátoru 0,05 – 600 ng Hg při jednom měření. Po ukončení ohřevu amalgamátoru je zapojeno chladicí čerpadlo, které ochlazuje amalgamátor tak, aby mohl být použit bez zbytečného zdržení v další analýze.

Veškerá data naměřená mikropočítačem 8051 jsou předána počítači, který je zpracovává do přístupné formy pro uživatele. (manuál k přístroji AMA 254,2002,Praha)

3.5. Pracovní postup

Po spuštění spektrofotometru AMA 254, následovalo postupné rozmrazování vzorků svaloviny a kontrola analytické váhy. Odstřihnutím části svaloviny, byly vzorky zváženy a přichystány pro vložení do spalovacího zařízení. Parametry teplotního programu byly nastaveny na hodnoty 70/150/45, to znamená: sušení 70 s, termický rozklad 150 s a doba čekání 45 s. U každého vzorku byla provedena dvě nezávislá měření, z nichž se sestavila průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

Průměrná navážka vzorku činila 100 až 200 mg. Celkem bylo analyzováno 141 kusů ryb jelce tlouště z osmi různých lokalit.

3.6. Posouzení zdravotního rizika

Potencionální zdravotní riziko způsobené rtuť v rybách bylo vypočteno podle metody (Kannan a kol., 1998), který popsal výpočet „hazard indexu“ v souvislosti s konzumací ryb. Hazard index vypočten pro Hg je uveden v tabulce 18.

Tabulka 18: „Hazard index“ dle (Kannan a kol., 1998), spočtený pro jednotlivé lokality, při spotřebě 10 kg/rok rybí svaloviny druhu (*Leuciscus cephalus*).

Lokality	"Hazard index" pro členy rybářských rodin	
	2010	2011
Labe Děčín	0,19	0,23
Ohře Terezín	0,14	0,12
Vltava Zelčín	0,23	0,28
Labe Obříství	0,22	0,29
Berounka Beroun	0,07	0,08
Sázava Nespeky	0,28	0,19
Otava Topělec	0,31	0,18
Lužnice Bechyně	0,20	0,12

Hazard index pod hodnotu 1 nenaznačuje žádné riziko pro konzumenta. Čím víc se hazard index přibližuje hodnotě 1 tím víc se zvyšuje zdravotní riziko pro konzumenta. Pro výpočet Hazard indexu bylo počítáno s průměrnou spotřebou sladkovodních ryb v České republice a to 1,4 kila na osobu za rok Ministerstvo Zemědělství, (2008) a deseti kg na jednoho člena rybářské rodiny (Berka, 1998).

3.7. Výpočet hazard indexu

Pro výpočet zdravotního rizika (hazard index) jsem použil vzorec dle (Kannan a kol., 1998).

$$D = c \cdot I / W \cdot 100$$

D...maximální denní tolerovatelné množství Hg v g/kg konzumenta

c...obsah polutantů ve svalovině ryb z dané lokality (mg/kg č.hm.)

I...průměrná spotřeba ryb (g/den) ...normální konzument: 1000g/rok → 2,74 g/den

...rybářská rodina: 10 000g/rok → 27,4 g/den

W...průměrná hmotnost konzumenta: 70 kg

„Hazard index“ $H = D / RfD$

RfD...expoziční limit: 3×10^{-4} mg/kg/den (0,0003)

3.8. Statistické hodnocení

Vzhledem k opakovaným měřením všech vzorků byla přesnost měření vzorků z každé lokality v obou letech ověřena pomocí neparametrického Wilcoxonova párového testu.

Porovnání meziročních rozdílů naměřených hodnot obsahu rtuti v jednotlivých lokalitách bylo provedeno pomocí párového t-testu. Stejným testem byla porovnávána hmotnost tloušťů odlovených v dané lokalitě v obou letech. Při hodnocení obsahu rtuti byly pro zvýšení vypovídací hodnoty testu byly porovnány obě naměřené hodnoty každého vzorku. Vzhledem k tomu, že uvedený test pracuje s průměrnou hodnotou v každé skupině, nelze předpokládat zkreslení dat oproti druhé možné variantě – testování průměrných hodnot každého vzorku.

Pro porovnání rozdílů v obsahu rtuti mezi lokalitami v každém roce byla použita jednofaktorová ANOVA, respektive post-hoc Tukey HSD test. Testovány byly opět obě naměřené hodnoty každého vzorku.

Za signifikantní byla při všech měřeních pokládána hodnota $p < 0,05$. Všechny testy byly prováděny v programu STATISTICA (data analysis software system), verze 9.1. (StatSoft, Inc., 2010).

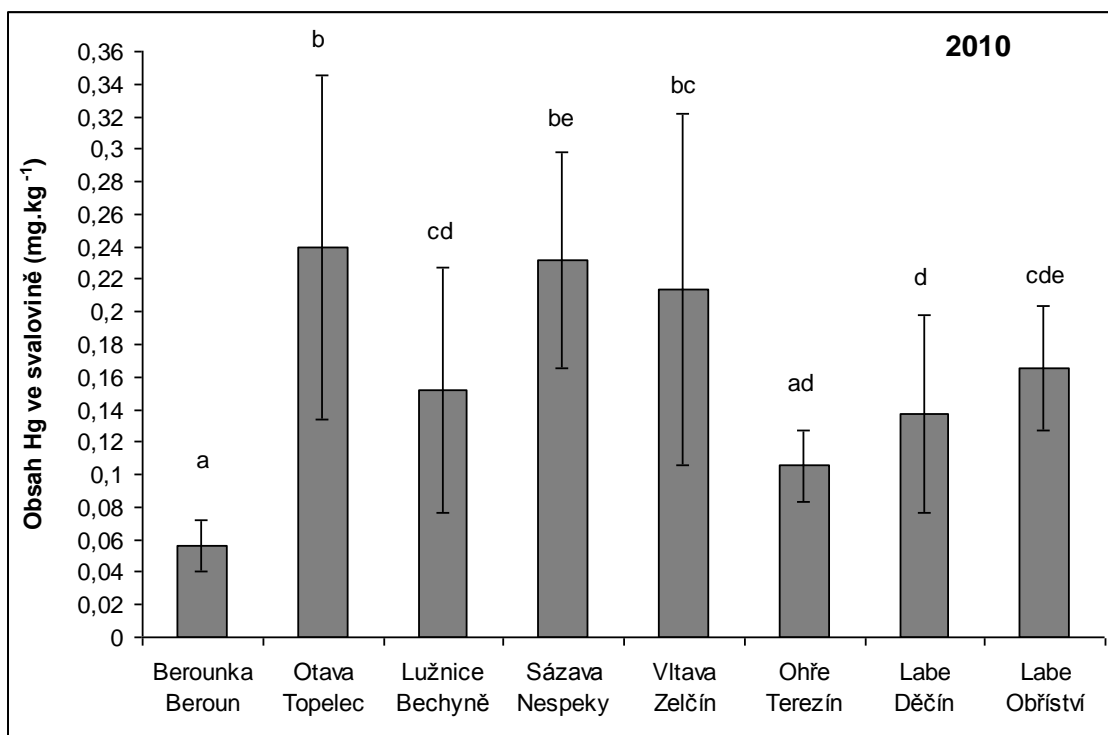
5. Výsledky

5.1. Celkové porovnání všech lokalit v letech 2010 a 2011

Rozdíly mezi hodnotami obsahu celkové rtuti (THg) naměřenými ve vzorcích svaloviny ryb odlovených v jednotlivých lokalitách byly v obou sledovaných letech statisticky významně odlišné (2010: $F=15,421$, s.v.=7, $p<0,001$; 2011: $F=12,039$, s.v.=7, $p<0,001$).

Jak je patrné z grafu 3, nejvyšší obsah rtuti byl ve vzorcích svaloviny jelce tluště odebraných v roce 2010 zjištěn v profilech Otava Topělec, Sázava Nespeky a Vltava Zelčín. Poněkud nižší v obou profilech řeky Labe, Lužnice Bechyně a Ohře Terežín. Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny v profilu Berounka Beroun, kde naměřené hodnoty byly statisticky průkazně nižší než ve všech ostatních profilech s výjimkou Ohře Terežín.

Graf 3: Hodnoty obsahu celkové rtuti (THg) ($\bar{x}\pm SD$) naměřené ve vzorcích odebraných v roce 2010

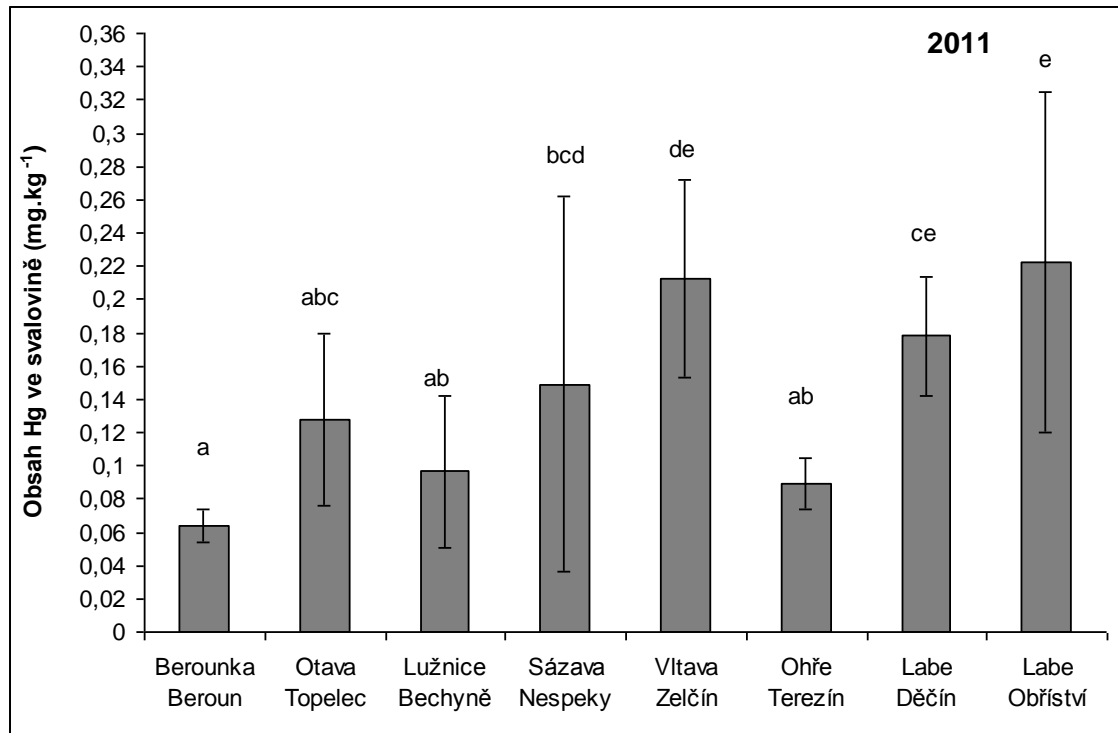


Odlišný index nad sloupci indikuje statisticky průkazný rozdíl mezi lokalitami ($p<0,05$)

Graf 4, znázorňuje hodnoty obsahu rtuti naměřené ve vzorcích svaloviny jelce tluště odebraných v roce 2011. V tomto roce byly nejvyšší hodnoty zjištěny v profilu Vltava Zelčín a obou Labských profilech, poněkud nižší pak v profilech Otava Topělec a

Sázava Nespeky. Nejnižší hodnoty obsahu rtuti ve svalovině odlovených tlušťů vykazovaly v tomto roce profily Lužnice Bechyně, Ohře Terezín a Berounka Beroun, kde byly naměřeny opět nejnižší hodnoty ze všech sledovaných lokalit.

Graf 4: Hodnoty obsahu celkové rtuti (THg) ($\bar{x} \pm SD$) naměřené ve vzorcích odebraných v roce 2011



Odlišný index nad sloupci indikuje statisticky průkazný rozdíl mezi lokalitami ($p < 0,05$)

5.2. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Labe - Děčín

Na této lokalitě (Labe - Děčín) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 16 ks jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 19. Statisticky signifikantně vyšší ($t=2,178$, $s.v.=30$, $p=0,037$) hodnoty byly naměřeny ve vzorcích odebraných v roce 2011. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku č. 7 ($0,266 \text{ mg.kg}^{-1}$) z roku 2010, který představuje pětiletého samce jelce tlouště o hmotnosti 555 g a celkové délce 385 mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,03) a pro člena rybářské rodiny (0,32).

Tabulka 19: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg^{-1}) ve svalovině tloušťů odlovených v lokalitě Labe Děčín v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,112	0,118	0,225	0,218
2	0,098	0,099	0,224	0,214
3	0,100	0,099	0,152	0,146
4	0,172	0,177	0,167	0,155
5	0,109	0,101	0,215	0,201
6	0,204	0,203	0,120	0,126
7	0,266	0,264	0,160	0,169
8	0,058	0,064		
9	0,110	0,108		
Průměr ± SD	0,145 ± 0,066		0,178 ± 0,036*	

* indikuje statisticky významný rozdíl (vyšší hodnota) mezi roky 2010 a 2011 ($p<0,05$)

5.3. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Ohře - Terezín

Na této lokalitě (Ohře - Louny) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 13 ks jelce tluuště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 20. Rozdíl mezi hodnotami naměřenými v obou letech nebyl statisticky významný. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku č. 5 (0,153 mg.kg⁻¹) z roku 2010, který představuje tříletého samce jelce tluuště o hmotnosti 140g a celkové délce 255mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,01) a pro člena rybářské rodiny (0,18).

Tabulka 20: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg⁻¹) ve svalovině tluušťů odlovených v lokalitě Ohře Terezín v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,100	0,092	0,092	0,086
2	0,092	0,093	0,095	0,097
3	0,073	0,077	0,110	0,113
4	0,122	0,121	0,061	0,070
5	0,153	0,148	0,083	0,084
6	0,116	0,116		
7	0,101	0,108		
8	0,086	0,091		
Průměr ± SD	0,106 ± 0,022		0,090 ± 0,015	

5.4. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Vltava - Zelčín

Na této lokalitě (Vltava - Zelčín) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 18 ks jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 21. Rozdíl mezi hodnotami naměřenými v obou letech nebyly statisticky významný. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku č. 9 (0,316 mg.kg⁻¹) z roku 2010, který představuje pětiletého samce jelce tlouště o hmotnosti 1405g a celkové délce 355mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,03) a pro člena rybářské rodiny (0,38).

Tabulka 21: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg⁻¹) ve svalovině tloušťů odlovených v lokalitě Vltava Zelčín v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,237	0,233	0,238	0,235
2	0,240	0,236	0,284	0,282
3	0,058	0,059	0,256	0,260
4	0,196	0,196	0,256	0,256
5	0,159	0,165	0,123	0,128
6	0,086	0,083	0,240	0,237
7	0,161	0,167	0,247	0,250
8	0,127	0,129	0,149	0,154
9	0,316	0,311	0,116	0,119
Průměr ± SD	0,176 ± 0,076		0,213 ± 0,060	

5.5. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Labe - Obříství

Na této lokalitě (Labe - Obříství) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 18 ks jelce tluuště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 22. Statisticky signifikantně vyšší ($t=2,301$, $s.v.=34$, $p=0,028$) hodnoty byly naměřeny ve vzorcích odebraných v roce 2011. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku č. 3 ($0,480 \text{ mg.kg}^{-1}$) z roku 2011, který představuje čtyřletého samce jelce tluuště o hmotnosti 180g a celkové délce 255mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,04) a pro člena rybářské rodiny (0,44).

Tabulka 22: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg^{-1}) ve svalovině tluušťů odlovených v lokalitě Labe Obříství v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,108	0,111	0,219	0,233
2	0,211	0,210	0,126	0,131
3	0,139	0,130	0,480	0,441
4	0,205	0,208	0,198	0,195
5	0,188	0,189	0,153	0,168
6	0,205	0,211	0,166	0,177
7	0,110	0,119	0,203	0,112
8	0,148	0,153		
9	0,192	0,188		
10	0,124	0,121		
11	0,180	0,186		
Průměr ± SD	0,165 ± 0,038		0,222 ± 0,102*	

* indikuje statisticky významný rozdíl (vyšší hodnota) mezi roky 2010 a 2011 ($p<0,05$)

5.6. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Berounka - Beroun

V této lokalitě (Berounka – Beroun) bylo v průběhu let 2010 a 2011 odloveno 18 ks ryb jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 23. Rozdíl mezi hodnotami naměřenými v obou letech nebyl statisticky významný. Nejvyšší naměřenou hodnotu z této oblasti vykazuje vzorek č. 8 z roku 2011, který představuje čtyřletého samce jelce tlouště o hmotnosti 175g a celkové délce 250 mm.

Hazard indexu 1 se nepřiblížil žádný z analyzovaných vzorků ryb ani v případě člena rybářské rodiny.

Tabulka 23: Naměřené hodnoty obsahu rtuti ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ve svalovině tloušťů odlovených v lokalitě Berounka Beroun v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,061	0,068	0,068	0,065
2	0,044	0,041	0,060	0,066
3	0,040	0,037	0,071	0,073
4	0,039	0,042	0,045	0,049
5	0,063	0,063	0,055	0,051
6	0,056	0,052	0,066	0,068
7	0,070	0,078	0,074	0,073
8	0,038	0,033	0,078	0,078
9	0,066	0,070	0,058	0,052
Průměr ± SD	0,053 ± 0,013		0,064 ± 0,010	

5.7. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Sázava - Nespeky

Na této lokalitě (Sázava – Nespeky) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 18 ks jelce tluuště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 24. Statisticky signifikantně vyšší ($t=-2,726$, s.v.=36, $p=0,010$) hodnoty byly naměřeny ve vzorcích odebraných v roce 2010. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u vzorku č. 6 ($0,442 \text{ mg.kg}^{-1}$) z roku 2011, který představuje tříletého samce jelce tluuště o hmotnosti 95g a celkové délce 215 mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,02) a pro člena rybářské rodiny (0,27).

Tabulka 24: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg^{-1}) ve svalovině tluušťů odlovených v lokalitě Sázava Nespeky v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,192	0,194	0,214	0,216
2	0,227	0,223	0,130	0,134
3	0,174	0,174	0,122	0,134
4	0,191	0,196	0,069	0,068
5	0,235	0,233	0,038	0,042
6	0,201	0,207	0,442	0,436
7	0,273	0,274	0,125	0,135
8	0,163	0,166	0,096	0,098
9	0,252	0,254	0,087	0,097
Průměr ± SD	0,213 ± 0,034		0,149 ± 0,113	

* indikuje statisticky významný rozdíl (vyšší hodnota) mezi roky 2010 a 2011 ($p<0,05$)

5.8. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Otava - Topělec

V roce 2010 a 2011 bylo dohromady odloveno na lokalitě Otava - Topělec 22 kusů jelce tluuště (*Leuciscus cephalus*) v rámci sledování kontaminace ryb rtutí. Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 25. Statisticky signifikantně vyšší ($t=-4,374$, $s.v.=42$, $p<0,001$) hodnoty byly naměřeny ve vzorcích odebraných v roce 2010. Nejvyšší zjištěná hodnota rtuti ($0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$) v této lokalitě pro rok 2010 byla zjištěna u vzorku č. 5, který představuje šestiletého samce jelce tluuště o váze 900g.

Platný hygienický limit $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ svaloviny pro rtuť překračoval pouze vzorek č. 5 ($0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$) z roku 2010. Pro standardního konzumenta, který by konzumoval tento druh ryb, kdy bylo počítáno s průměrnou hodnotou THg pro tuto lokalitu, se „hazard indexu“ 1 nepřiblížil. Ovšem pro člena rybářské rodiny se hodnotě 1 nejvíc přiblížil konkrétní vzorek č. 5 ($0,93$).

Tabulka 25: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg^{-1}) ve svalovině tluušťů odlovených v lokalitě Otava Topělec v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,320	0,324	0,098	0,108
2	0,224	0,218	0,098	0,100
3	0,191	0,192	0,098	0,104
4	0,265	0,259	0,136	0,144
5	0,509	0,503	0,116	0,116
6	0,182	0,190	0,097	0,104
7	0,088	0,088	0,106	0,102
8	0,128	0,132	0,074	0,084
9	0,230	0,296	0,186	0,179
10	0,197	0,201	0,268	0,271
11	0,277	0,267	0,109	0,107
Průměr ± SD	0,240 ± 0,106*		0,128 ± 0,052	

* indikuje statisticky významný rozdíl (vyšší hodnota) mezi roky 2010 a 2011 ($p<0,05$)

5.9. Obsah celkové rtuti (THg) z lokality Lužnice - Bechyně

Na této lokalitě (Lužnice – Bechyně) bylo během let 2010 a 2011 odloveno celkem 18 ks jelce tlouště (*Leuciscus cephalus*). Naměřené hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z této lokality v letech 2010 a 2011 jsou shrnuty v tabulce 26. Statisticky signifikantně vyšší ($t=-2,635$, s.v.=36, $p=0,012$) hodnoty byly naměřeny ve vzorcích odebraných v roce 2010. Nejvyšší naměřená hodnota rtuti byla zjištěna u vzorku č. 4 z roku 2010 (0,322 mg.kg⁻¹w.w.), který představuje dvouletého samce jelce tlouště o hmotnosti 65g a celkové délce 205 mm.

„Hazard index“ pro rok 2011 je u standardního konzumenta (0,01) a pro člena rybářské rodiny (0,16).

Tabulka 26: Naměřené hodnoty obsahu rtuti (mg.kg⁻¹) ve svalovině tloušťů odlovených v lokalitě Lužnice Bechyně v letech 2010 a 2011

Číslo vzorku (ryby)	2010		2011	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
1	0,133	0,124	0,217	0,208
2	0,088	0,084	0,102	0,106
3	0,257	0,255	0,114	0,118
4	0,314	0,322	0,097	0,105
5	0,179	0,178	0,063	0,062
6	0,116	0,112	0,066	0,063
7	0,107	0,110	0,089	0,086
8	0,085	0,086	0,055	0,067
9	0,081	0,088	0,059	0,067
Průměr ± SD	0,155 ± 0,080*		0,090 ± 0,038	

* indikuje statisticky významný rozdíl (vyšší hodnota) mezi roky 2010 a 2011 ($p<0,05$)

6. Diskuze

Jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*) byl vybrán pro sledování bioakumulace celkové rtuti (THg) v říčních ekosystémech. Jelec tloušť je všežravá ryba s nejširší potravní základnou (řasy, vodní rostliny a semena terestriálních rostlin, larvy, malé ryby a měkčiji). Proto je vhodný pro sledování vodních ekosystémů (Číhař a Malý., 1998).

Bioakumulace rtuti byla vyhodnocována ze svalové tkáně ryb, kde je rtuť vázána na cystein (Boening., 2000; Anonymous, 2002).

Na profilu Labe – Děčín, byly zjištěny následující hodnoty. Průměrný obsah THg u vzorků svaloviny odebraných z tloušťů roku 2010 byl ($0,145 \pm 0,066 \text{ mg.kg}^{-1}$). Pro rok 2011 byla zjištěna průměrná hodnota ($0,178 \pm 0,036 \text{ mg.kg}^{-1}$). Jak je patrné z tabulky 3, tloušti odlovení v tomto profilu v roce 2011 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odlovené v roce 2010. Toto může být důvodem, lehce zvýšeného obsahu rtuti oproti roku 2011. V roce 2003 byl proveden monitoring cizorodých látek v úseku od Ústí nad Labem až po Hřensko (Svobodová a kol. (1993b). Z analyzovaných 150 ks ryb, které připadaly 22 druhům, tak přibližně jedna třetina vzorků dravých ryb překračovala dřívější platný limit $0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ celkové rtuti ve svalovině (Svobodová a kol. 1993b). V naší studii, byl referenčním druhem jelec tloušť, u kterého byla zjištěna průměrná hodnota THg ve svalovině ($0,178 \pm 0,036 \text{ mg.kg}^{-1}$) pro rok 2011.

Studovaná lokalita Ohře – Terezín, vykazovala následující hodnoty. Průměrný obsah THg u vzorků svaloviny odebraných z tloušťů roku 2010 byl ($0,106 \pm 0,022 \text{ mg.kg}^{-1}$). Pro rok 2011 byly analyzovány hodnoty ($0,090 \pm 0,015 \text{ mg.kg}^{-1}$). Rozdíl mezi hodnotami naměřenými v obou letech nebyl statisticky významný. Vzorky svaloviny jelce tlouště z profilu Ohře-Terezín odebrané v obou letech vykazovaly jedny z nejnižších hodnot ve sledovaných lokalitách. Avšak dřívější studie (Svobodová a Hejtmánek, 1976) poukazují na vyšší koncentrace rtuti u různých druhů ryb z řeky Ohře. Vodní nádrž Skalka, která je se nachází na horním toku Ohře je významným zdrojem znečištění této řeky rtutí. Při analýze různých druhů ryb odlovených v roce 2003 v nádrži Skalka (Maršálek a kol., 2005) byla zjištěna nejvyšší koncentrace rtuti ($3,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) ve svalové tkáni bolen dravého (*Aspius aspius*). Přítok nádrže Skalka, byl po několik desetiletí znečišťován odpadní vodou obsahující rtuť, pocházející z chemického závodu v městě Marktredwitz (Německo).

Na odběrném profilu Vltava – Zelčín, byly analyzovány tyto hodnoty. Průměrný obsah THg u vzorků svaloviny odebraných z tloušťů roku 2010 byl ($0,176 \pm 0,076 \text{ mg.kg}^{-1}$). V roce 2011 byly naměřeny hodnoty ($0,213 \pm 0,060 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tabulka 21). Hmotnost ryb odlovených v tomto profilu se v obou letech signifikantně nelišila. V rámci námi sledovaných lokalit patřil tento profil k nejzatíženějším. V roce 2011 vykazoval nejvyšší hodnoty ze všech studovaných lokalit. Je to zřejmě způsobeno Prahou, která se nachází cca 20 km proti proudu odběrového profilu, kde lze očekávat vyšší koncentraci polutantů včetně rtuti. Na této lokalitě probíhaly šetření v roce 2004, kdy byly zjištěny hodnoty THg ve svalovině jelců tloušťů ($0,09 - 1,46 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Maršálek a kol., 2006).

Na lokalitě Labe – Obříství, byly zjištěny následující hodnoty. Průměrný obsah THg u vzorků svaloviny odebraných z tloušťů roku 2010 byl ($0,165 \pm 0,038 \text{ mg.kg}^{-1}$). Pro rok 2011 byla zjištěna průměrná hodnota ($0,222 \pm 0,102 \text{ mg.kg}^{-1}$). Z tabulky 22, můžeme vyčíst, že ryby odlovené v roce 2011 byly vyšší věkové kategorie a to zhruba o jeden rok, jejich hmotnost se však meziročně signifikantně nelišila. Vyšší věk ryb, odlovených v roce 2011 je možným důvodem, proč byly v tomto roce naměřeny vyšší hodnoty. Dalším důvodem může být vnos nového znečištění z podniku Spolana Neratovice. Dalšími faktory ovlivňujícími zvýšení obsahu rtuti ve vzorcích z roku 2011 mohou být kyslíkové deficity popř. kolísání hodnot pH, které jako důvody zvýšené methylace rtuti a její větší mobility ve vodním prostředí uvádí řada autorů (Friedmann a kol., 1996; Boening, 2000; Greenfield a kol., 2001; Boszke a kol., 2002).

Lokalita Berounka – Beroun, vykazuje nejnižší naměřené hodnoty THg ze svalových tkání odlovených tloušťů, ze všech studovaných lokalit, jak v roce 2010 tak v roce 2011. Průměrné hodnoty obsahu THg ve svalovině ryb z řeky Berounky v Berouně z roku 2010 jsou ($0,053 \pm 0,013 \text{ mg.kg}^{-1}$) a pro rok 2011 ($0,064 \pm 0,010 \text{ mg.kg}^{-1}$), (Tabulka 23). Z tabulky 11, ale zjistíme, že v roce 2011 byly odloveni jedinci v průměru o rok starší a jejich hmotnost byla signifikantně vyšší než v roce 2010. Ani tento rozdíl však nezpůsobil statisticky významné zvýšení obsahu rtuti v analyzovaných vzorcích svaloviny jelce tlouště. V práci Svobodové a kol., (1987) byl u omnivorních ryb z různých lokalit Berounky zjištěn rozsah THg $0,1 - 0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$. Výsledky zjištěné v rámci této práce tedy naznačují snížení zatížení řeky Berounky rtutí. To může být způsobeno častými záplavami, které překrývají či odnáší kontaminované sedimenty a průtokovou variabilitou (Guhr a kol., 1994), stejně jako postupným budováním

čistíren odpadních vod u hlavních zdrojů znečištění (Adams a kol., 2001). Pro posun či překrytí kontaminovaných sedimentů hovoří v případě tohoto profilu i známá každoroční velká průtoková fluktuace, způsobená absencí větších přehradních nádrží na toku Berounky.

Průměrná naměřená hodnota THg ve svalovině ryb z řeky Sázava Nespeky z roku 2010 ($0,213 \pm 0,034 \text{ mg.kg}^{-1}$) byla statisticky významně vyšší než u ryb odlovených roku 2011 ($0,149 \pm 0,113 \text{ mg.kg}^{-1}$). Tloušti odlovení v tomto profilu v roce 2011 měli signifikantně vyšší hmotnost než ryby odlovené v roce 2010. Tyto zjištěné informace nám značí, zlepšující se kvalitu vody na tomto úseku řeky. Důvodem, může být výstavba kanalizací a čistíren odpadních vod, které přispěly k tomuto stavu, popřípadě již zmíněné fyzikálně-chemické vlivy ovlivňující mobilitu rtuti ve vodním prostředí.

Průměrná naměřená hodnota THg ve svalovině ryb z řeky Otavy v Topělci z roku 2010 ($0,240 \pm 0,106 \text{ mg.kg}^{-1}$) byla statisticky významně vyšší než u ryb odlovených roku 2011 ($0,128 \pm 0,052 \text{ mg.kg}^{-1}$). Domnívám se, že tato skutečnost je způsobena signifikantně vyšší průměrnou hmotností ryb odlovených v roce 2010 oproti rybám analyzovaným v roce 2011. Pozitivní korelace mezi obsahem rtutí a váhou nebo věkem ryb bylo potvrzeno v mnoha studiích (Jackson., 1990; Jewett a kol., 2003; Peňáz a kol., 1979). Je však třeba zmínit, že v jiných studiích byla zjištěna negativní korelace mezi obsahem rtuti a délkou ryb (Dixon a Jones., 1994; Leah a kol., 1991; Svobodová a kol., 1999). Stejně jako v případě profilu Labe Obříství, i zde mohly sehrát roli sezónní výkyvy v chemismu vody (dočasný kyslíkový deficit a změny pH).

Na lokalitě Lužnice – Bechyně, byly zjištěny průměrné hodnoty THg ($0,155 \pm 0,080 \text{ mg.kg}^{-1}$ pro rok 2010 a ($0,090 \pm 0,038 \text{ mg.kg}^{-1}$) pro rok 2011 (tabula 25). Při vzájemném porovnání analyzovaných ryb z let 2010 a 2011 nebyl zjištěn signifikantní rozdíl mezi jednotlivými lety v hmotnosti ryb a rovněž jejich věk byl v obou letech stejný. Lze se tedy domnívat, že signifikantně nižší hodnoty obsahu rtuti naměřené ve vzorcích odebraných v roce 2011 oproti roku předcházejícímu mohou signalizovat postupné snižování zatížení této lokality rtutí. Ten může být způsoben jak výše uvedenými faktory chemismu vody, tak i rozkolísaností průtoků řeky Lužnice, která není významněji regulována. Bartoň J., (2011) analyzoval vzorky jelce tlouště z lokality Lužnice 6 – Soběslav, kde zjistil hodnoty obsahu rtuti ve svalovině, pohybující se kolem hodnot $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$. V jeho práci dále zjistil, že jen jediný vzorek přesahoval maximální

povolený hygienický limit $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ a to v případě bolena dravého (*Aspius aspius*), u kterého bylo zjištěna hodnota $0,768 \text{ mg.kg}^{-1}$.

7. Závěr

V této studii, bylo během let 2010 – 2011, odloveno 141 ks ryb jelce tloušťě (*Leuciscus cephalus*), z osmi různých lokalit (Labe – Děčín, Ohře – Terezín, Vltava – Zelčín, Labe – Obříství, Berounka – Beroun, Sázava – Nespeky, Otava – Topělec, Lužnice – Bechyně), pro zhodnocení hygienické kvality ryb z uvedených revírů. Sledovaným polutantem byla celková rtuť (THg) obsažena ve svalovině indikátorových druhů ryb (jelců tloušťů), která byla stanovena atomovým absorpčním spektrofotometrem AMA 254.

Ve vzorcích, odebraných v obou letech byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu rtuti mezi lokalitami. To vypovídá o různé míře kontaminace našich řek rtutí. Nejvyšší zjištěná hodnota, která překročila platný hygienický limit ($0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) rtuti, byla zjištěna u vzorku jelce tloušťě, odloveného v lokalitě Otava – Topělec v roce 2010. Tento vzorek svaloviny vykazoval hodnotu ($0,59 \text{ mg.kg}^{-1}$), který představuje šestiletého samce jelce tloušťě o váze 900g. „Hazard index“ tohoto vzorku, pro rybářskou rodinu je (0,93), což už představuje určité zdravotní riziko. Nicméně z výsledků lze konstatovat, že většin sledovaných lokalit je poměrně málo zatížená rtutí, a proto ryby odlovené z těchto lokalit mohou být bez obav konzumovány. Větší pozornost konzumaci ryb by měli věnovat členové rybářských rodin, především při konzumaci starších jedinců dravých druhů ryb z lokalit s nejvyšší zjištěnou kontaminací. Nejvyšší hodnoty THg, ve vzorcích svaloviny jelce tloušťě, v roce 2010, vykazovaly lokality Otava Topělec ($0,240 \pm 0,106 \text{ mg.kg}^{-1}$), Sázava Nespeky ($0,213 \pm 0,034 \text{ mg.kg}^{-1}$) a Vltava Zelčín ($0,176 \pm 0,076 \text{ mg.kg}^{-1}$). V roce 2011 to byly lokality: Vltava Zelčín ($0,213 \pm 0,060 \text{ mg.kg}^{-1}$), Labe Obříství ($0,222 \pm 0,102 \text{ mg.kg}^{-1}$) a Labe Děčín ($0,178 \pm 0,036 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Při srovnání dřívějších studií s touto prací, lze říci, že obsah rtuti v rybách, v profilech studovaných lokalit, se postupně snižuje. Přesto je rtuť, jedním z nejzávažnějších polutantů, který je rozhodujícím faktorem pro bezpečnou konzumaci ryb. Sledování rtuti a to zejména methylrtuti v rybách je potřeba stále věnovat pozornost. V následujících letech, by bylo vhodné se věnovat monitoringu dalších lokalit, zejména těch, které byly v minulosti výrazně zasaženy rtutí.

8. Seznam použité literatury

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [online]. 1999. [cit. 2011-0220]. Toxic Substances Portal - Mercury. Dostupné z WWW:
<<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/TP.asp?id=115&tid=24>>.
- Adams, M.S., Ballin, U., Gaunery, T., Hale, B.W., Kausch, H., Kruse, R., 2001. Monitoring selected indicators of ecological change in the Elbe River since the fall of the Iron Curtain. *Environ. Conserv.* 28, 333–344.
- Anonymous, 2002. Ecosystem Health – Science Based Solution. Canadian Tissue Residue Guidelines for the Protection of Consumers of Aquatic Life: Methylmercury. National Guidelines and Standard Office Environmental Quality Branch Environment Canada, Ottawa.
- Bartoň, J., 2011. Bakalářská práce. Hygienická kvalita ryb ve významných rybářských revírech Lužnice 6, Berounka 1, Otava 4, Otava 7 (P). České Budějovice, 25 s.
- Boening, D.W., 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40, 1335–1351 s.
- Boszke, L., Glosinska, G., Siepak, J., 2002. Some aspects of speciation of mercury in a water environment. *Pol. J. Environ. Stud.* 11, 285–298 s.
- Berlin, M., 1963. *Acta med. scand. Suppl.* 396, 7-29 s.
- Bencko, V., Cikrt, M., Lener J., 1995. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Praha, Grada Publications, 288 s.
- Berka, R., 1998. Sladkovodní ryby – co s nimi dál (Freshwater fish – chat next). *Výživa a potraviny* 53: 106-107s.
- Boening, D.W. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*, 40, 1335–1351 s.

- Cihar, J., Maly, J., 1978. Fresh Water Fish (in Czech). SZN, Prague, 98 s.
- Dall'Aglio, M., 1968. In: Agens, L. H. (Ed.): Origin and distribution of elements. New York, Pergamon Press, 1065 s.
- Dixon, R., Jones, B. 1994. Mercury concentration in stomach contents and muscle of five species from the North East Coast of England. *Mar Pollut Bull* 28, 741-745 s.
- European Food Safety Authority. Committed to ensuring that Europe's food is safe. Dostupné z WWW:
http://www.efsa.eu.int/science/contam/contam_opinions/259/opinion_contam_01_en1.pdf
- Eisler, R., 2006. Mercury. Hazards to living organisms. Taylor & Francis group, New York, 312 s.
- FARA, M., 2004. Dílčí zpráva k DP1 : Specifika emisí rtuti ze zdrojů znečištění ovzduší vzhledem k potřebám modelů rozptylu znečištění v ovzduší a posuzování potenciálních rizik v životním prostředí. In Projekt Ministerstva životního prostředí VaV 740/4/03 : Dílčí projekt DP1: Vstupní emisní data pro modely posuzování potenciálních rizik a vlivů zdrojů znečištění ovzduší na životní prostředí. EGÚ Praha Engineering. 1-136 s.
- Friedmann, A.S., Watzin, M.C., Brinck-Johnsen, T., Leiter, J.C., 1996. Low levels of dietary methylmercury inhibit growth and gonadal development in juvenile walleye (*Stizostedion vitreum*). *Aquat. Toxicol.* 35, 265–278 s.
- Gilmour, C.C., Henry E.A., Mitchell R. 1992: *Environ. Sci. Technol.* 26, 2281 s.
- Greenfield, B.K., Hrabik, T.R., Harvey, C.J., Carpenter, S.R., 2001. Predicting mercury levels in yellow perch: use of water chemistry, trophic ecology, and spatial traits. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58, 1419–1429.
- Greenwood, N.N., Earnshaw, A., 1993. *Chemie prvků*. Praha. Informatorium, 1635 s.
- Guhr, H., Prange, A., Punčochář, P., Wilken, R.D., Büttner, B. (Eds.), 1994. Die Elbe im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. 6. Magdeburger Gewässerschutzseminar. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, pp. 499–502.

- Hanel, L., Lusk, S., 2005. Ryby a mihule České republiky. 64-66 s.
- Holoubek, I., 2004. Chemie životního prostředí IV. Polutanty s dlouhou dobou životav prostředí. Těžké kovy (HMs) – rtuť. Brno, *Recetox – Tocoen and Associates*, 234 s.
- Hosohora, K., 1961. J. chem. Soc. Jap, 82, 1107 s.
- Houserová, P., a kol., 2006. Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech – vlastnosti, úrovně, koloběh a stanovení. *Chemické Listy*. 2006, vol. 100, issue 10, 862-876 s.
- Igata, A., 1986. Clinical aspects of Minimata disease. In: Tsubaki, T., Takahashi, H., (eds) *Recent advances in Minimata disease studies: methylmercury poisoning in Minimata and Nigata, Japan*. Kodansha, Tokyo, 41-56 s.
- Jackson, T.A, 1990. Biological and environmental control of mercury accumulation by fish in lakes and reservoirs of northern Manitoba, Canada. *Can J Fisheries Aquat Sci* 44, 3-13 s.
- Jernelov, A., 1973. A new biochemical pathway for the methylation of mercury and some ecological consideration. *Environ Sci Technol* 7, 702-718 s.
- Jackson, T.A, 1990. Biological and environmental control of mercury accumulation by fish in lakes and reservoirs of northern Manitoba, Canada. *Can J Fisheries Aquat Sci* 44, 3-13 s.
- Jewett, S.C., Zhang, X, Sathy Naidu A., Kelley, J.J., Dasher, D., Duffy, L.K. 2003. Comparison of mercury and methylmercury in northern pike and Arctic grayling from western Alaska rivers. *Chemosphere* 50, 383-392 s.
- Koplík, R.; Čurdová, E.; Mestek, O., 1997. Speciace stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. *Chemické listy*. vol. 91, issue 1, 38 – 47 s.
- Kannan, K., Smith, R.G., Lee, R.F., Windom, H.L., Heitmuller, P.T., Macauley, J.M., Summers, J.K., 1998. Distribution of total mercury and methylmercury in water, sediment, and fish South Florida estuaries. *Environ Contam Toxicol* 34, 109-118 s.

- Kaplan, L.A., Pesce A.J. 1996. Clinical chemistry – theory, analysis, correlations. 3rd edition, 746-759 s.
- Kotinga, P., Hagel, P., 1974. In: Proceedings of the International Symposium on the problems of contamination of Man and his Environment by mercury and cadmium, Luxemburg, 3 -5 July, Luxemburg, 279 s.
- Leah, R., Evans, S., Johnson, M., 1991. Mercury in muscle tissue of lesser-spotted dog fish (*Scyliorhinus caniculus L.*) from the north-east Irish sea. *Sci Total Envir* 108, 215-224 s.
- Maršálek, P., Svobodová, Z., Randák, T., Švehla, J. 2005. mercury and methylmercury contamination of fish from The Skalka reservoir: A case study. *Acta Veterinaria Brno*, 74, 427-434 s.
- Maršálek, P., Svobodová, Z., Randák, T. 2006. Total mercury and methylmercury contamination in fish from variol sites along the Elbe river. *Acta Veterinaria Brno*, 75, 579-585 s.
- Maršálek, P., 2006. Methylrtuť ve vodních ekosystémech. *Bulletin VÚRH Vodňany*. roč. 42, 117-121 s.
- Mercury, Environmental Health Criteria 1. Geneva, WHO, 1976.
- Morel, F.M.M., Kraepiel, A.M.L., Amyl, M., 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu Rev Ecol Syst.* 29, 543-566 s.
- Ministerstvo Zemědělství (Ministry of Agriculture) 2008. Situační a výhledová zpráva. Ryby (Situation and Outlook Report. Fish). October 2008. 1-43 s.
- Mason, R.P., Reinfeld, J.R., Morel, F.M.N., 1995. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. *Water Air Soil Poll.* 80, 915-921 s.
- Mason, R.P., Reinfeld, J.R., Morel, F.M.M. 1996. *Environ. Sci. Technol.* 30, 1835 s.

- Norstrom, J.R., Mckinnon, A.E., De Freitas, A.S.W. 1976. A bioenergetic-based model for pollutant accumulation by fish: simulation of PCB and methylmercury residue levels in Ottawa river yellow perch (*Perca avelscens*). J Fish Res Board Canada 33, 248-276 s.
- Pirone, N., et al., 2010. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. Atmospheric Chemistry and Physics. vol. 10, 5951–5964 s.
- Pitter, P., 1999. Hydrochemie. 3. přepracované vyd. Praha, VŠCHT, 568 s.
- Paleček, J., Linhart, I., Horák, J., 1999. Toxikologie a bezpečnost práce v chemii. vyd. Praha, VŠCHT, 66-67 s.
- Passow, H., Rothstein, A., Clarkson, T. W., 1961. Pharmacol. Rev. 13, 185 s.
- Peňáz, M., Svobodová, Z., Hejtmánek, M., Trnková, J. 1979. Mercury contents in muscle of fishes from the Jihlava river. Folia Zool 28 (2), 171-176 s.
- Porcella, D., 1994. Biogeochemistry. In: Watras, C.J., Huckabee, J.W., (eds) Mercury pollution: integration and synthesis. CRC, Boca Raton, 3-19 s.
- Reichert, J. K., 1973. Gewässerschutz Wasser Abwasser, 10, 377-388 s.
- Stellman, J. M., 1998. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety : Volume III. Geneva, International Labour Office, 1253 s.
- Svobodová, Z., Hejtmánek, M., Vostradovský, J., 1982. Total mercury content in the basic components of the ecosystem of the Vltava river below Český Krumlov (in Czech). Buletin VÚRH Vodňany, 18 (3), 28-33 s.
- Svobodová, Z., Hejtmánek M. 1976. Total mercury content in the musculature of fishes from the river Ohře and its tributaries. Acta Veterinaria Brno, 45, 45-49 s.
- Svobodová, Z., Máchová, J., Vykusová, B., Piačka, V., 1996. Metals in ecosystems of surface waters. Method VÚRH Vodňany 49, 18 s.

- Svobodová, Z., Vykusová, B., Máchová, J., Bastl, J., Hrbková, M., Svobodník, J., 1993b. Monitoring of foreign substances in fishes from the Elbe River in the sector between Usti over Elbe and Hřensko. Bulletin VURH Vodňany, 29, 79-99 s.
- Svobodová, Z., Randák, T., Vykusová, B. 1999. Results of monitoring the contents of metals and of selected organic pollutants in muscle of common carp from ponds of south and western Bohemia. Bulletin VURH Vodňany 35(4), 194-213 s.
- Swain, E.B., Engstrom, D.R., Brigám, M.E., Henning, T.A., Brezonik, P.L., 1992. Increasing rates of atmospheric mercury deposition in midcontinental North America. Science. 257, 784-787 s.
- Stumm, W., Morgan, J.J. 1996. Aquatic Chemistry. 3. vyd. Eley, New York
- Šuta, M. 2002. Spolana – Časovaná bomba na břehu Labe, Sedmá generace, 10/2002 Dostupné z WWW: <http://www.sedmagerace.cz/text/detail/121>
- Tichý, M., 2003. Toxikologie pro chemiky. Toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa. 2003 vyd. Karolinum Praha, 119 s.
- Tuček, M., 2006. Současná zdravotní rizika expozice rtuti a jejím sloučeninám. České pracovní lékařství. č. 1, 26-37 s.
- United States Environmental Protection Agency: Background Information on Mercury Sources and Regulations [online]. 1994, 5. května 2009 [cit. 2009-05-07]. Dostupné z WWW: <http://www.epa.gov/grtlakes/bnsdocs/mercsrce/>
- Vučka, V., 1984. Havarijní stavy v čistotě vod. SZN, Praha, 208 s.
- Weiner, J.G., Spry, D.P., 1996: Toxicological significance of mercury in freshwater fish. In: Beyer, W.M., Heinz, G.H. Redmon-Norwood AW (Eds): Environmental contaminants in wildlife. Interpreting tissue concentrations. Ewis, Boca Raton f.l. USA, 297-339 s.
- Wright, D. A., Welbourn, P., 2001. Environmental toxicology. Cambridge (United Kingdom) : Press Syndicate of the University of Cambridge, 630 s.

WHO (World Health Organization) 1990. Methylmercury. In: Environmental Health Criteria. World Health Organisation (WHO). Geneva. 145 s. Dostupné z WWW: <http://www.who.org/mercury>. Cited 30 Jan 2009

WHO, 1990. Methylmercury. In: Enviromental health criteria. Word Health Organization, Geneva

Zýka, V. 1982. Geochemie Pitných vod ČSR. Sborník geologických věd. Sv. 18. ÚÚG, Praha

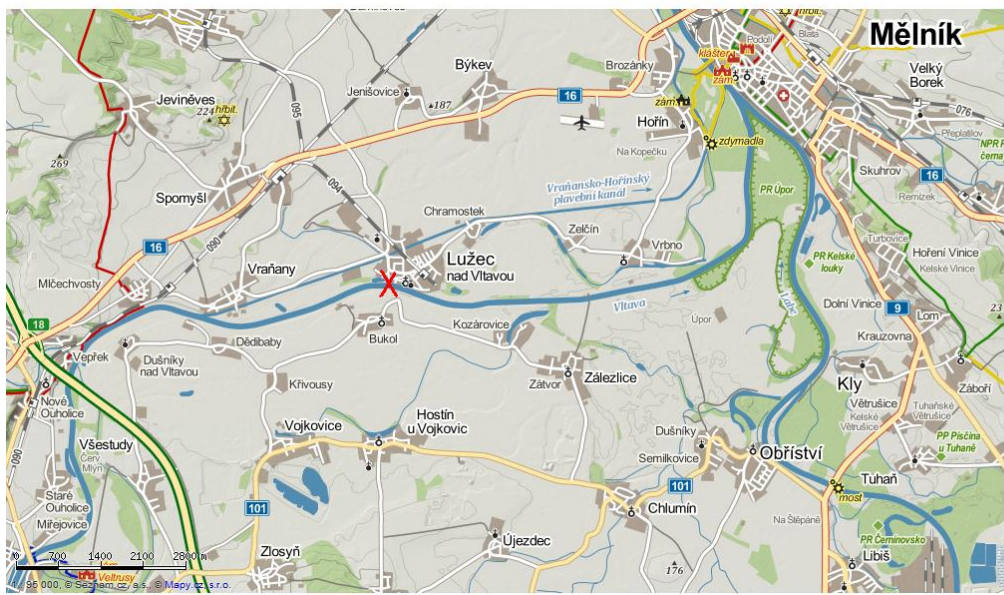
9. Přílohy



Obrázek 5: Lokalizace odběrného profilu Labe - Děčín



Obrázek 6: Lokalizace odběrného profilu Ohře – Terežín



Obrázek 7: Lokalizace Odběrného profilu Vltava - Zelčín



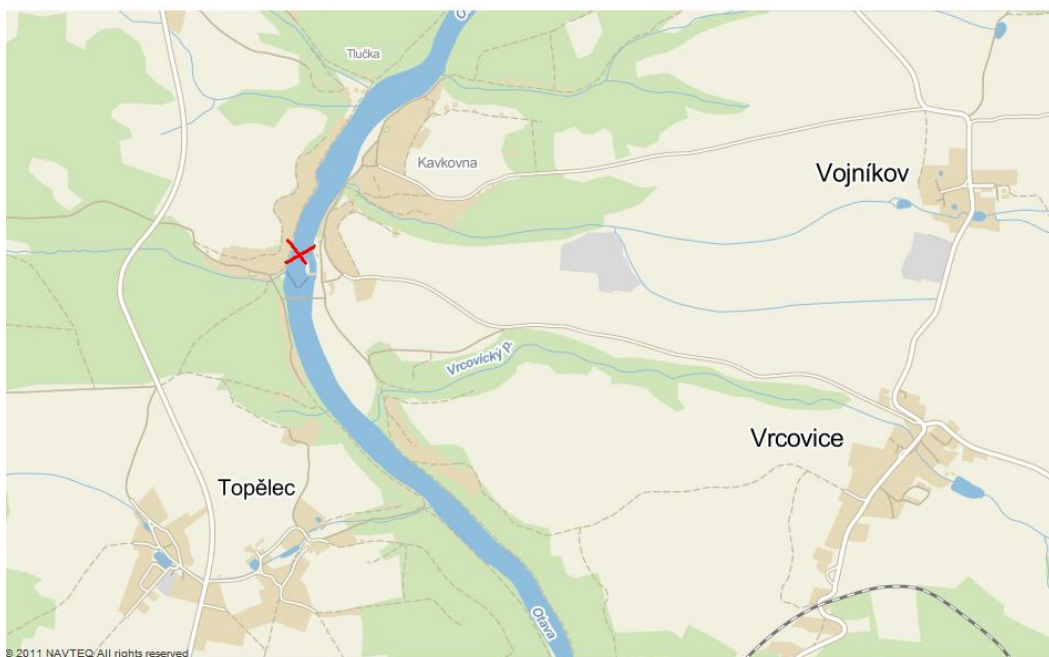
Obrázek 8: Lokalizace Odběrného profilu Labe - Obříství (Neratovice)



Obrázek 9: Lokalizace Odběrného profilu Berounka - Beroun



Obrázek 10: Lokalizace Odběrného profilu Sázava - Nespeky



Obrázek 11: Lokalizace Odběrného profilu Otava - Topělec



Obrázek 12: Lokalizace Odběrného profilu Lužnice - Bechyně

10. Abstrakt

Cílem práce bylo zhodnotit obsah celkové rtuti ve vzorcích svaloviny 141 jeliců tlušťů (*Leuciscus cephalus*) odlovených v sedmi českých řekách (Vltava, Berounka, Sázava, Ohře, Otava, Lužnice, Labe) a posoudit potencionální rizika konzumace ryb z těchto řek. Hodnoty zjištěné ve vzorcích, odebraných v roce 2011 byly porovnány s hodnotami z vzorků z roku 2010. Obsah rtuti byl stanovován atomovým absorpčním spektrofotometrem AMA 254. Nejvyšší průměrné koncentrace rtuti byly v roce 2010 zjištěny v profilu Otava Topělec ($0,240 \pm 0,106$ mg/kg) a v profilu Labe-Obříství ($0,222 \pm 0,102$ mg/kg) v roce 2011. Nejnižší koncentrace byly v obou letech zjištěny v profilu Berounka-Beroun (2010: $0,053 \pm 0,013$ mg/kg a 2011: $0,064 \pm 0,010$ mg/kg). Zdravotní riziko konzumace ryb vyjádřené „hazard indexem“ se v jednotlivých lokalitách pohybovalo mezi hodnotami 0,1 a 0,4. Výsledky rovněž prokázaly překročení hygienického limitu obsahu rtuti pro rybí produkty ($0,5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) u vzorku svaloviny jednoho kusu tluště z profilu Otava-Topělec ($0,59\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

11. Abstract

Mercury content in muscle of chub (*Leuciscus cephalus*) from the downstream tributaries of the Elbe river.

The aim of the present study was to investigate the concentration of total mercury in muscle of 141 chub (*Leuciscus cephalus*) from seven Czech rivers (Vltava, Berounka, Sázava, Ohře, Otava, Lužnice, Labe) and to evaluate the potential risk of eating fish from the rivers. Total mercury values results from 2011 were compared with 2010. Mercury was determined by means of cold vapour atomic absorption spectrometry using AMA – 254. The highest mean concentrations of total mercury were found in the Otava-Topělec ($0,240 \pm 0,106$ mg/kg) for year 2010 and Labe-Obříství ($0,222 \pm 0,102$ mg/kg) for year 2011. The lowest mean concentrations of total mercury were found in the chub from the Berounka-Beroun for both years ($0,053 \pm 0,013$ mg/kg and $0,064 \pm 0,010$, respectively). The fish intake hazard index calculated were between 0,1 and 0,4 for the individual tributaries monitored. The results of this study show that hygienic limit for fish product ($0,5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was exceeded in Otava-Topělec ($0,59\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

