

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Jelena CVETKOVIĆ

**VSEBNOSTI ANORGANSKEGA IN METILIRANEGA
ŽIVEGA SREBRA V NEKATERIH ORGANIH
IZBRANIH VRST RIB OBREMENJENEGA OKOLJA
REK IDRIJCE IN SOČE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Jelena CVETKOVIĆ

**VSEBNOSTI ANORGANSKEGA IN METILIRANEGA ŽIVEGA
SREBRA V NEKATERIH ORGANIH IZBRANIH VRST RIB
OBREMENJENEGA OKOLJA REK IDRIJCE IN SOČE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**CONTENTS OF INORGANIC AND METHYLATED MERCURY IN
CERTAIN ORGANS OF SELECTED FISH SPECIES FROM
CONTAMINATED HABITATS OF IDRIJCA AND SOČA RIVERS**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Institutu Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Mihaela J. Tomana in za somentorico dr. Mileno Horvat.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:	prof. dr. Boris BULOG Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Mentor:	prof. dr. Mihael J. TOMAN Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Somentor:	prof. dr. Milena HORVAT Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju
Recenzent:	prof. dr. Damjana DROBNE Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jelena Cvetković

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	504:597:546.49(043.2)=163.6
KG	bioakumulacija/živo srebro/rečni ekosistemi/ribe/organi
AV	CVETKOVIĆ, Jelena
SA	TOMAN, Mihael Jožef (mentor)/HORVAT, Milena (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2010
IN	VSEBNOSTI ANORGANSKEGA IN METILIRANEGA ŽIVEGA SREBRA V NEKATERIH ORGANIH IZBRANIH VRST RIB OBREMENJENEGA OKOLJA REK IDRIJCE IN SOČE
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XII, 97 str., 31 pregl., 50 sl., 12 pril., 55 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Živo srebro je zelo strupena težka kovina, ki se bioakumulira v organizmih in biomagnificira po prehranski verigi. Zaradi več kot 500 letnega delovanja rudnika v Idriji se je mnogo živega srebra sprostilo v okolico in tudi v reko Idrijco. O vsebnosti živega srebra (Hg) v možganih rib, ki so različnim oblikam živega srebra izpostavljene v naravnem okolju, je malo podatkov. Namen raziskave je bil ugotoviti koncentracije Hg v možganih izbranih vrst rib iz reke Idrijce ter koncentracije Hg v možganih in drugih organih (mišicah, jetrih in škrgah) rib iz jezera pri Mostu na Soči. Spomladi in jeseni 2003 smo vzorčili ribe na štirih vzorčnih mestih vzdolž Idrijce ter enem v akumulacijskem jezeru pri Mostu na Soči in izmerili koncentracijo celokupnega živega srebra (T-Hg) in metilirane oblike živega srebra (MeHg) v možganih rib z vseh vzorčnih mestih ter koncentracijo T-Hg in MeHg v mišicah, jetrih in škrgah rib z zadnjega vzorčnega mesta. Najnižje koncentracije Hg v možganih smo izmerili pri ribah z vzorčnega mesta nad Idrijo, najvišje koncentracije Hg in najnižji delež MeHg pa v ribah z vzorčnega mesta v Idriji, ki je bilo s Hg tudi najbolj obremenjeno. Delež MeHg je bil pričakovano nižji pri ribah, ki so nižje v prehranjevalni verigi (lipanu in mreniču). Pri večini preučevanih vrst smo ugotovili korelacijo med koncentracijo Hg v možganih in koncentracijo Hg v drugih organih rib ter korelacijo med koncentracijo Hg v možganih in velikostjo (težo) ribe. Delež MeHg v mišicah, jetrih in škrgah rib iz jezera pri Mostu na Soči je bil zelo visok. Na podlagi naše raziskave lahko zaključimo, da so koncentracije Hg v možganih lahko zelo različne in odvisne od velikosti in starosti ribe, načina življenja ribe in obremenjenosti okolja s Hg.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
DC 504:597:546.49(043.2)=163.6
CX bioaccumulation/mercury/river ecosystems/fish/organs
AU CVETKOVIĆ, Jelena
AA TOMAN, Mihael Jožef (supervisor)/HORVAT, Milena (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2010
TI CONTENTS OF INORGANIC AND METHYLATED MERCURY IN CERTAIN ORGANS OF SELECTED FISH SPECIES FROM CONTAMINATED HABITATS OF IDRIJCA AND SOČA RIVERS
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XII, 97 p., 31 tab., 50 fig., 12 ann., 55 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Mercury is a very toxic heavy metal, that can bioaccumulate in organisms and biomagnify through the food chain. The mercury mine in Idrija operated for 500 years, during which time a lot of mercury was released in the surrounding environment and the river Idrija. Little is known about the content of mercury in brains of fish that are exposed to mercury in the environment. The aim of our research was to determine mercury concentration in brains of fish species from river Idrija and mercury concentrations in brain, muscle, liver and gills of fish from the lake near Most na Soči. We sampled fish from river Idrija and the accumulation lake in spring and autumn of 2003 and measured the concentration of total mercury (T-Hg) and methylmercury (MeHg) in fish brain and also concentrations of T-Hg and MeHg in muscle, liver and gills in fish from the lake. The lowest concentrations of mercury in fish brain were measured at the sampling site above Idrija, whereas the highest Hg concentration and the lowest proportion of MeHg were measured at the sampling site in Idrija, which was the most contaminated site. As expected, the proportion of MeHg was lower in fish that are lower in the food chain (*Thymallus thymallus*, *Barbus meridionalis caninus*). Correlation between Hg concentration in the brain and Hg concentration in other organs, and correlation between Hg concentration in the brain and size (weight) of the fish was observed in majority of the studied species. Fish from the lake in Most na Soči had a very high proportion of MeHg in muscles, liver and gills. We can conclude that Hg concentrations in brain can vary widely, depending on the fish's size, age, life style, and the level of contamination of its environment with Hg.

KAZALO VSEBINE

	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
	KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
	KAZALO VSEBINE	V
	KAZALO PREGLEDNIC	VIII
	KAZALO SLIK	IX
	OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
	SLOVARČEK	XII
1	UVOD	1
1.1	SPLOŠNE ZNAČILNOSTI ŽIVEGA SREBRA	1
1.2	ŽIVO SREBRO V OKOLJU	2
1.2.1	Viri živega srebra v okolju	2
1.2.2	Kroženje živega srebra v okolju	4
1.2.3	Živo srebro v atmosferi	5
1.2.4	Živo srebro v vodnem okolju	5
1.2.5	Živo srebro v tleh	7
1.3	ŽIVO SREBRO V ORGANIZMIH	8
1.3.1	Vpliv živega srebra na rastline	8
1.3.2	Privzem živega srebra in vpliv na ribe	8
1.3.3	Vpliv živega srebra na ptice	10
1.3.4	Vpliv živega srebra na sesalce	11
1.3.5	Vpliv živega srebra na človeka	11
1.4	IDRIJSKI RUDNIK IN ONESNAŽENJE OKOLICE	12
1.5	RAZISKOVANE VRSTE RIB	13
1.5.1	Družina krapovcev (Cyprinidae)	14
1.5.1.1	Mrenič (<i>Barbus meridionalis caninus</i> Valenciennes, 1842)	14
1.5.1.2	Grba (<i>Barbus plebejus</i> Valenciennes, 1842)	15
1.5.1.3	Štrkavec (<i>Leuciscus cephalus cabeda</i> Risso, 1826)	15
1.5.2	Družina postrvi (Salmonidae)	15
1.5.2.1	Šarenka (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Richardson, 1836)	16
1.5.2.2	Potočna postrv (<i>Salmo trutta fario</i> Linnaeus, 1758)	17
1.5.2.3	Soška postrv (<i>Salmo marmoratus</i> Cuvier, 1817)	18
1.5.2.4	Križanec (<i>Salmo</i> sp.)	19
1.5.3	Družina lipanov (Thymallidae)	19
1.5.3.1	Lipan (<i>Thymallus thymallus</i> Linnaeus, 1758)	20
1.6	DELOVNE HIPOTEZE IN NAMEN DIPLOMSKE NALOGE	21
2.1	VZORČNA MESTA	22
2.1.1	Vzorčno mesto 1: Idrijca nad pritokom Belce	23
2.1.2	Vzorčno mesto 2: Idrija pri Kolektorju	24
2.1.3	Vzorčno mesto 3: Kozarska Grapa	25
2.1.4	Vzorčno mesto 4: Bača pri Modreju	27
2.1.5	Vzorčno mesto 5: Most na Soči	28
2.2	VZORČENJE	29
2.3	ANALIZA VSEBNOSTI ŽIVEGA SREBRA	29
2.3.1	Priprava vzorcev	30

2.3.2	Atomska absorpcijska spektrofotometrija hladnih par – AAS HP	31
2.3.3	Atomska fluorescenčna spektrofotometrija hladnih par – AFS HP	33
2.3.4	Uporaba certificiranega referenčnega materiala	35
3	REZULTATI	38
3.1	KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V MOŽGANIH RIB NA RAZLIČNIH VZORČNIH MESTIH	39
3.1.1	Vzorčno mesto 1: Idrijca nad pritokom Bele	39
3.1.2	Vzorčno mesto 2: Idrija pri Kolektorju	41
3.1.3	Vzorčno mesto 3: Kozarska Grapa	42
3.1.4	Vzorčno mesto 4: Bača pri Modreju	44
3.1.5	Vzorčno mesto 5: Most na Soči	45
3.2	KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V MOŽGANIH RAZLIČNIH VRST RIB	47
3.2.1	Šarenka (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	47
3.2.2	Soška postrv (<i>Salmo marmoratus</i>)	49
3.2.3	Križanec (<i>Salmo sp.</i>)	51
3.2.4	Potočna postrv (<i>Salmo trutta fario</i>)	53
3.2.5	Lipan (<i>Thymallus thymallus</i>)	55
3.2.6	Mrenič (<i>Barbus meridionalis caninus</i>)	57
3.3	KORELACIJE	59
3.3.1	Šarenka (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	60
3.3.2	Soška postrv (<i>Salmo marmoratus</i>)	63
3.3.3	Križanec (<i>Salmo sp.</i>)	66
3.3.4	Potočna postrv (<i>Salmo trutta fario</i>)	69
3.3.5	Lipan (<i>Thymallus thymallus</i>)	72
3.3.6	Mrenič (<i>Barbus meridionalis caninus</i>)	75
3.4	KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V RAZLIČNIH ORGANIH IZBRANIH VRST RIB NA MOSTU NA SOČI	76
4	DISKUSIJA IN SKLEPI	77
4.1	DISKUSIJA	77
4.1.1	Primerjava med različnimi vzorčnimi mesti	77
4.1.1.1	Vzorčno mesto 1 – Idrijca nad pritokom Belce	77
4.1.1.2	Vzorčno mesto 2 – Idrija pri Kolektorju	78
4.1.1.3	Vzorčno mesto 3 – Kozarska Grapa	78
4.1.1.4	Vzorčno mesto 4 – Bača pri Modreju	79
4.1.1.5	Vzorčno mesto 5 – Most na Soči	79
4.1.2	Primerjava koncentracij živega srebra v možganih različnih vrst rib	79
4.1.2.1	Koncentracije živega srebra pri ribah z nižjega trofičnega nivoja (lipan, mrenič)	80
4.1.2.1	Koncentracije živega srebra pri ribah z višjega trofičnega nivoja (postrvi)	80
4.1.2.3	Koncentracije živega srebra v možganih grbe in štrkavca	81
4.1.3	Primerjava koncentracij živega srebra v različnih organih rib	82
4.1.3.1	Šarenka (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	82
4.1.3.2	Soška postrv (<i>Salmo marmoratus</i>)	82
4.1.3.3	Križanec (<i>Salmo sp.</i>)	83
4.1.3.4	Potočna postrv (<i>Salmo trutta fario</i>)	83
4.1.3.5	Lipan (<i>Thymallus thymallus</i>)	84

4.1.3.6	Mrenič (<i>Barbus meridionalis caninus</i>)	85
4.1.4	Primerjava koncentracij živega srebra v možganih rib in teže	85
4.1.5	Primerjava koncentracij živega srebra v drugih organih rib z VM5 s podatki o koncentracijah živega srebra v drugih organih rib z drugih vzorčnih mest	86
4.2	SKLEPI	88
5	POVZETEK	89
6	VIRI	91
6.1	CITIRANI VIRI	91
6.2	DRUGI VIRI	97
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Pregl. 1: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg ^o v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)	23
Pregl. 2: Vsebnost T-Hg in MeHg ter %MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)	24
Pregl. 3: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg ^o v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)	25
Pregl. 4: Vsebnost T-Hg in MeHg ter %MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)	25
Pregl. 5: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg ^o v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)	26
Pregl. 6: Vsebnost T-Hg in MeHg ter %MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)	26
Pregl. 7: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg ^o v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)	27
Pregl. 8: Vsebnost T-Hg in MeHg ter % MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)	28
Pregl. 9: Seznam vrst in število osebkov	29
Pregl. 10: Certificiran referenčni material	35
Pregl. 11: Vse korelacije pri šarenki	60
Pregl. 12: Izbrane korelacije pri šarenki z vsemi podatki	61
Pregl. 13: Izbrane korelacije pri šarenki brez podatkov z VM2	61
Pregl. 14: Izbrane korelacije pri šarenki samo s podatki z VM2.	61
Pregl. 15: Vse korelacije pri soški postrvi z vsemi podatki	63
Pregl. 16: Izbrane korelacije pri soški postrvi z vsemi podatki	64
Pregl. 17: Izbrane korelacije pri soški postrvi brez podatkov z VM2	64
Pregl. 18: Vse korelacije pri križancu	66
Pregl. 19: Izbrane korelacije pri križancu z vsemi podatki	67
Pregl. 20: Izbrane korelacije pri križancu brez podatkov z VM2	67
Pregl. 21: Izbrane korelacije pri križancu samo s podatki z VM2	68
Pregl. 22: Vse korelacije pri potočni postrvi	69
Pregl. 23: Izbrane korelacije pri potočni postrvi z vsemi podatki	70
Pregl. 24: Izbrane korelacije pri potočni postrvi brez podatkov z VM2	70
Pregl. 25: Izbrane korelacije pri potočni postrvi samo s podatki z VM2	70
Pregl. 26: Vse korelacije pri lipanu	72
Pregl. 27: Izbrane korelacije pri lipanu z vsemi podatki	73
Pregl. 28: Izbrane korelacije pri lipanu brez podatkov z VM2	73
Pregl. 29: Izbrane korelacije pri lipanu samo s podatki z VM2	74
Pregl. 30: Vse korelacije pri mreniču	75
Pregl. 31: Izbrane korelacije pri mreniču z vsemi podatki	76

KAZALO SLIK

Sl. 1: Viri Hg (Technical background ..., 2008: 4)	2
Sl. 2: Globalno kroženje Hg (Technical background..., 2008: 96)	4
Sl. 3: Transformacije in cikel Hg v rečnem ekosistemu (Žižek, 2009)	7
Sl. 4: Mrenič (Povž in Sket, 1999)	14
Sl. 5: Šarenka (Povž in Sket, 1999)	16
Sl. 6: Potočna postrv (Povž in Sket, 1999)	17
Sl. 7: Soška postrv (Povž in Sket, 1999)	18
Sl. 8: Križanec (Ribe, 2010)	19
Sl. 9: Lipan (Povž in Sket, 1999)	20
Sl. 10: Vzorčna mesta na reki Idrijci	22
Sl. 11: Vzorčno mesto 1	23
Sl. 12: Vzorčno mesto 2	24
Sl. 13: Vzorčno mesto 3	26
Sl. 14: Vzorčno mesto 4	27
Sl. 15: Vzorčno mesto 5	28
Sl. 16: Postopek priprave vzorcev	31
Sl. 17: Kontrolni diagram določanja MeHg v TORT – 2 s standardno deviacijo	36
Sl. 18: Kontrolni diagram določanja THg v TORT – 2 s standardno deviacijo	36
Sl. 19: Kontrolni diagram določanja MeHg v DORM – 2 s standardno deviacijo	37
Sl. 20: Kontrolni diagram določanja THg v DORM – 2 s standardno deviacijo	37
Sl. 21: Razlaga grafa »box and whiskers«.	38
Sl. 22: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih vseh rib z vseh vzorčnih mest	39
Sl. 23: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM1	40
Sl. 24: Delež MeHg v možganih rib z VM1	40
Sl. 25: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM2	41
Sl. 26: Delež MeHg v možganih rib z VM2	42
Sl. 27: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM3	43
Sl. 28: Delež MeHg v možganih rib z VM3	43
Sl. 29: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM4	44
Sl. 30: Delež MeHg v možganih rib z VM4	45
Sl. 31: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM5	46
Sl. 32: Delež MeHg v možganih rib z VM5	46
Sl. 33: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih šarenk	47
Sl. 34: Delež MeHg v možganih šarenk	48
Sl. 35: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih soških postrvi	49
Sl. 36: Delež MeHg v možganih soških postrvi	50
Sl. 37: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih križancev	51
Sl. 38: Delež MeHg v možganih križancev	52
Sl. 39: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih potočnih postrvi	53
Sl. 40: Delež MeHg v možganih potočnih postrvi	54
Sl. 41: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih lipanov	55
Sl. 42: Delež MeHg v možganih lipanov	56
Sl. 43: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih mreničev	57
Sl. 44: Delež MeHg v možganih mreničev	58
Sl. 45: Korelacija med dolžino in težo ribe pri šarenkah	62

Sl. 46: Korelacija med dolžino in težo ribe pri soških postrvih	65
Sl. 47: Korelacija med dolžino in težo ribe pri križancih	68
Sl. 49: Korelacija med dolžino in težo ribe pri lipanih	74
Sl. 50: Korelacija med dolžino in težo ribe pri mreničih	76

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AAS HP – atomska absorpcijska spektrofotometrija hladnih par

AFS HP – atomska fluorescenčna spektrofotometrija hladnih par

CRM – certificiran referenčni material

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

r – korelacijski koeficient

VM – vzorčno mesto

SLOVARČEK

Bioakumulacija je postopno povečanje količine snovi (npr. težkih kovin, pesticidov) v organizmu oziroma delu organizma, do katere pride zato, ker je stopnja privzema večja od stopnje izločanja snovi iz organizma.

Biomagnifikacija je proces povečevanja koncentracije snovi v tkivih organizmov navzgor po prehranski verigi.

1 UVOD

Idrijski rudnik je več kot 500 let deloval brez prekinitve in mesto ter okolico močno onesnažil z živim srebrom. V preteklosti se je mnogo raziskav ukvarjalo z vsebnostjo Hg v različnih delih rečnega ekosistema (vodi, sedimentih, perifitonu, makroinvertebratih ter ribah) in kljub temu, da rudnik ne deluje več, so koncentracije še vedno močno povišane. Raziskave na možganih pri ribah so do sedaj večinoma potekale v kontroliranih laboratorijskih pogojih, ribe pa so bile izpostavljene večjim koncentracijam in drugačnim pogojem kot v naravnem okolju.

1.1 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI ŽIVEGA SREBRA

Živo srebro je edina kovina, ki je tekoča pri sobni temperaturi. Ima atomsko število 80, atomsko maso 200,59, gostoto $13,55 \text{ g/cm}^3$, tališče pri $-39,8^\circ\text{C}$ in vrelišče pri $357,3^\circ\text{C}$. Obstaja v treh oksidacijskih stanjih (Hg^0 , Hg^{+1} in Hg^{+2}). Nekateri kovine kot npr. zlato, srebro, baker in cink so topne v živem srebru in z njim tvorijo tekoče, plastične ali trdne amalgame (Drasch in sod., 2004).

Je eno izmed najbolj strupenih neesencialnih težkih kovin. Najpomembnejše vrste živega srebra, ki smo jim izpostavljeni, lahko razdelimo v tri skupine. Med seboj se razlikujejo glede absorpcije, porazdelitve po telesu, akumulacije in tveganja kot tudi glede pomembnosti in vloge v samem kroženju živega srebra v okolju:

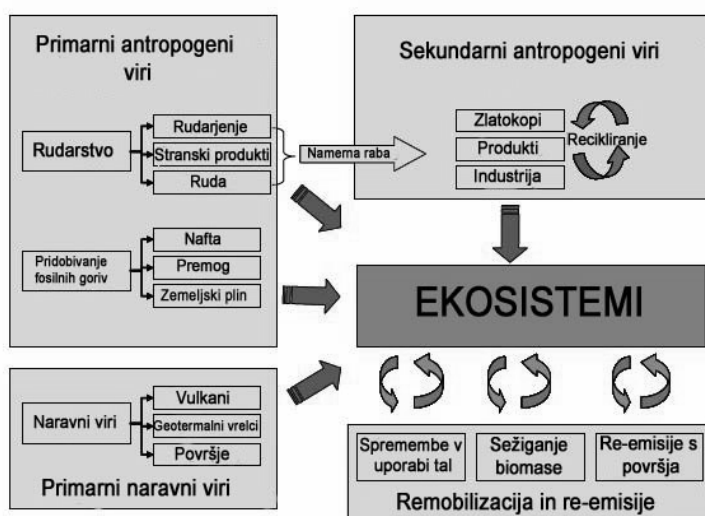
- Elementarno živo srebro (Hg^0) je pomembno tako s toksikološkega kot tudi okoljskega vidika, saj ima relativno visok parni tlak in je topno v vodi. Zaradi visoke lipofilnosti je topno v maščobnih delcih. Kot plin je v monoatomskem stanju (Drasch in sod., 2004).
- Anorgansko živo srebro: večina soli dvovalentnega živega srebra Hg^{2+} je topna v vodi in zelo strupena. Hg^{2+} kaže izjemno afiniteto do sulfhidrilnih skupin aminokislin, kot sta cistein in metionin, in je zato tudi tako strupen. Afiniteta do SeH-skupin pa je mnogo večja in morda selen zaradi tega deluje zaščitno (Drasch in sod., 2004).

- Oblika, ki povzroča največjo skrb, je metilživosrebrov kation (CH_3Hg^+). Bakterije pretvorijo anorgansko živo srebro v organsko obliko, ki je veliko bolj strupena. International Chemical Safety Program of the United Nations je organsko živo srebro uvrstil med prvih 6 najbolj resnih onesnaževalskih groženj na planetu (Smol, 2002). Organsko živo srebro brez težav absorbirajo organizmi in tako se učinkovito biomagnificira v prehranski verigi. Na ta način se lahko na primer za vsako stopnjo v prehranjevalni verigi živo srebro magnificira za 100x. Tudi relativno kratka prehranjevalna veriga lahko vodi do 10^6 -kratne magnifikacije koncentracij Hg (Smol, 2002; Baeyens in sod., 2003).

1.2 ŽIVO SREBRO V OKOLJU

1.2.1 Viri živega srebra v okolju

Virov živega srebra je več, tako antropogenih kot naravnih (Slika 1). Med pomembnejše naravne vire spadajo lokalne geološke usedline, vulkanske erupcije in izhlapevanje iz oceanov, izparevanje iz zemlje in vodne površine, degradacija mineralov in gozdni požari. Ocenjujejo, da približno polovica emisij živega srebra izvira iz naravnih virov. Naravnih emisij ne moremo nadzorovati, pomembno pa je, da lahko izparevanje iz zemlje vključuje tudi ponovno emisijo živega srebra iz predhodno kontaminiranih predelov (Drasch in sod., 2004).



Slika 1: Viri Hg (Technical background ..., 2008: 4)

Nedavne ocene kažejo, da je približno 50-75 % vložka Hg v atmosfero antropogenega izvora (Drasch in sod., 2004).

Živo srebro, ki se je v 20. stoletju sprostilo zaradi človeškega delovanja, je za skoraj magnitudo večje kot količina, ki se je sprostila zaradi preperevanja. Pomembnejši viri antropogenega Hg so termoelektrarne, produkcije energije z uporabo fosilnih goriv, produkcija cementa, rudarstvo in druge metalurške aktivnosti (direktno z izkopavanjem živosrebrove rude in indirektno z uporabo živega srebra pri izkopavanju oziroma procesiranju, železa, jekla, cinka, zlata in drugih kovin), kloralkalna industrija, izdelava stvari, ki vsebujejo živo srebro, odpadki iz bolnic oziroma zdravstvenih ustanov, nevarni odpadki, smetišča, tudi pokopališča (sproščanje v zemljo). Vsebnost živega srebra v Zemljini skorji je približno 50 mg/kg z lokalnimi odstopanji. Ruda vsebuje približno 1 % živega srebra (do 14 % v Almadenu v Španiji). Večinoma gre za cinober, v nekaterih rudnikih pa je prisoten tudi tekoč Hg (Hg^{+1}) (Drasch in sod., 2004).

V zadnjih desetletjih je produkcija živega srebra padla s 6000 ton na leto v zgodnjih 80. letih na 1800 ton letno leta 2000 (Drasch in sod., 2004).

Pomemben vir živega srebra v okolju je tudi namerna uporaba Hg v različnih procesih in izdelkih. Večina teh izdelkov namreč konča na odpadu ali je sežgana, Hg pa se sprosti v okolje (Drasch in sod., 2004).

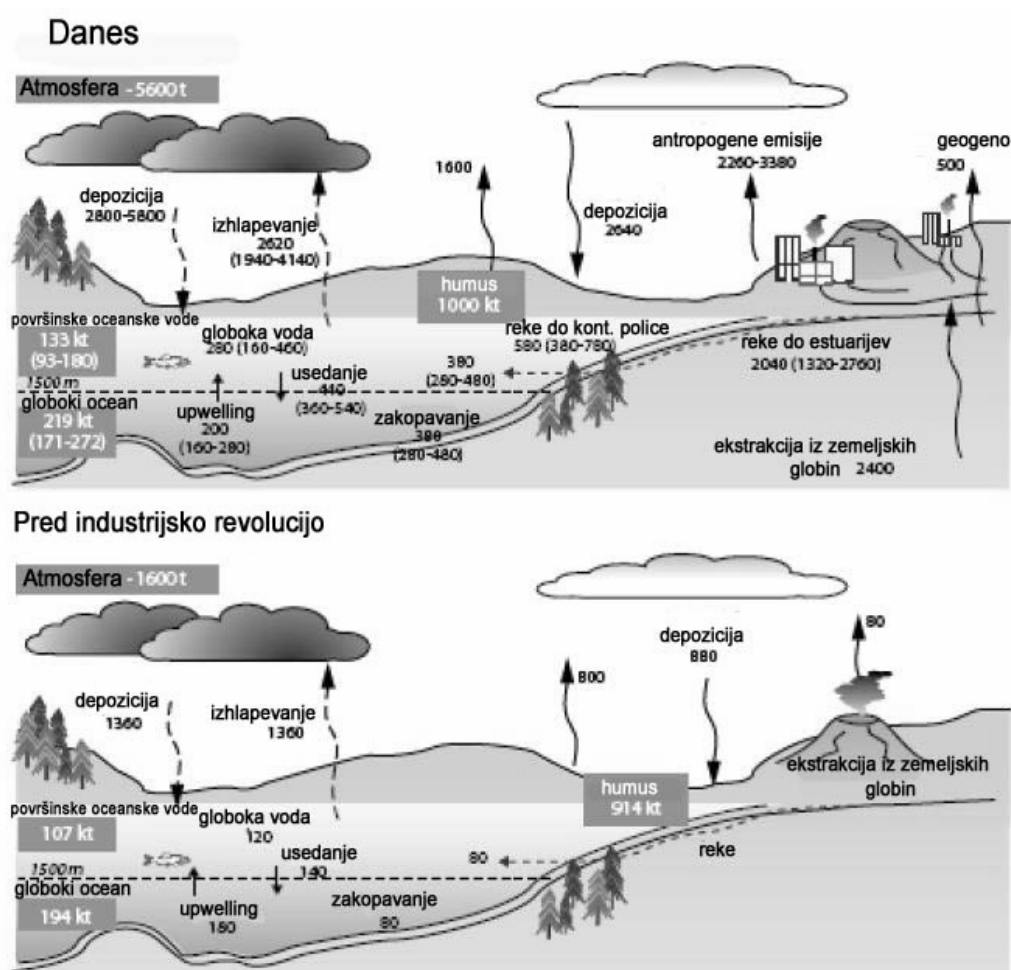
Spremembe v namembnosti oziroma uporabi zemlje prav tako bistveno pripomorejo k remobilizaciji živega srebra v okolju, še posebej v območjih, kjer je koncentracija živega srebra povečana bodisi naravno bodisi zaradi polucije. Spremembe vključujejo spreminjanje zemlje v obdelovalne površine, izsekavanja oziroma poseke in zaježitve oziroma nastanek vodnih rezervoarjev (gradnja hidroelektrarn, akvakultura, namakanje). Taki posegi lahko znatno povečajo sproščanje živega srebra v vodne sisteme in bioakumulacijo v organizmih.

Število dokazov, ki potrjujejo, da je prst v gozdnatih rečnih področjih zaloga MeHg in Hg^{2+} , narašča. Tako v severni Ameriki kot v severni Evropi dokazi kažejo, da so motnje

terena pomemben faktor pri mobilizaciji in transportu tako anorganske kot organske oblike živega srebra, ki sta shranjeni v rečnih področjih, in tudi faktor pri produkciji MeHg (Drasch in sod., 2004).

1.2.2 Kroženje živega srebra v okolju

Globalni cikel kroženja Hg sestavljajo štirje glavni med seboj povezani deli: atmosfera, vodno okolje, kopensko okolje ter biota (Wiener in sod., 2002).



Slika 2: Globalno kroženje Hg (Technical background..., 2008: 96)

1.2.3 Živo srebro v atmosferi

Koncentracije celokupnega Hg v atmosferi so večinoma nizke, na podeželju približno 1-4 ng/m³, v urbanem okolju pa 10-170 ng/m³ (Mercury Study Report to Congress, 1997). Prevladujoča oblika živega srebra v atmosferi je večinoma (>95%) Hg⁰ (g), blizu virov emisij pa lahko predstavlja Hg²⁺ do 25 % vsega Hg v zraku. Delež MeHg v zraku je v splošnem nizek. Transformacije v atmosferi vključujejo oksidacijo Hg⁰ do Hg(II) in redukcijo Hg(II) do Hg⁰ (Drasch in sod., 2004).

Na severni polobli so zaradi močnejših virov in večje industrializacije ter naseljenosti koncentracije Hg⁰ okrog 1,3-1,5 ng/m, na južni pa 0,9-1,2 ng/m (Wiener in sod., 2002).

Zadrževalni čas Hg⁰ v atmosferi je med 6 meseci in 2 letoma, zaradi česar je njegova razporeditev v trofosferi relativno enakomerna. Posledica tega je, da so lahko tudi v okoljih, ki so od vira onesnaževanja precej oddaljena, koncentracije živega srebra povišane (Mercury Study Report to Congress, 1997; Smol, 2002).

Oksidirana oblika Hg(II) se lahko z mokrimi in suhimi odlagalnimi procesi relativno hitro odloži, s čemer se tudi zadrževalni čas skrajša na nekaj ur do nekaj mesecev. Zadrževalni čas Hg(II), vezanega na drobne delce, je primerljiv z zadrževalnim časom Hg⁰ (Drasch in sod., 2004).

1.2.4 Živo srebro v vodnem okolju

Hg lahko v vodne sisteme vstopa na različne načine:

- z odlaganjem iz atmosfere (Hg(II)),
- z izpiranjem prsti in erozijo,
- z dotokom talne vode v vodno telo,
- z antropogenimi viri (izpusti odpadnih voda iz tovarn in rudnikov in odlaganjem ostankov rude v reke).

V vodnem okolju prevladuje Hg(II) v vodi in sedimentu (Wiener in sod., 2002). Večina organskega in anorganskega Hg v vodnem okolju je vezana na delce, koloide in organski material, le manjši del živega srebra je prisoten v raztopljeni obliki (Mercury Study Report to Congress, 1997; Drasch in sod., 2004).

Naravne koncentracije Hg v vodah so zelo nizke, v oceanih $<0,2-1$ ng/L, v površinskih sladkih vodah pod 20 ng/L, v sedimentih, ki so naravni rezervoar Hg, pa so višje.

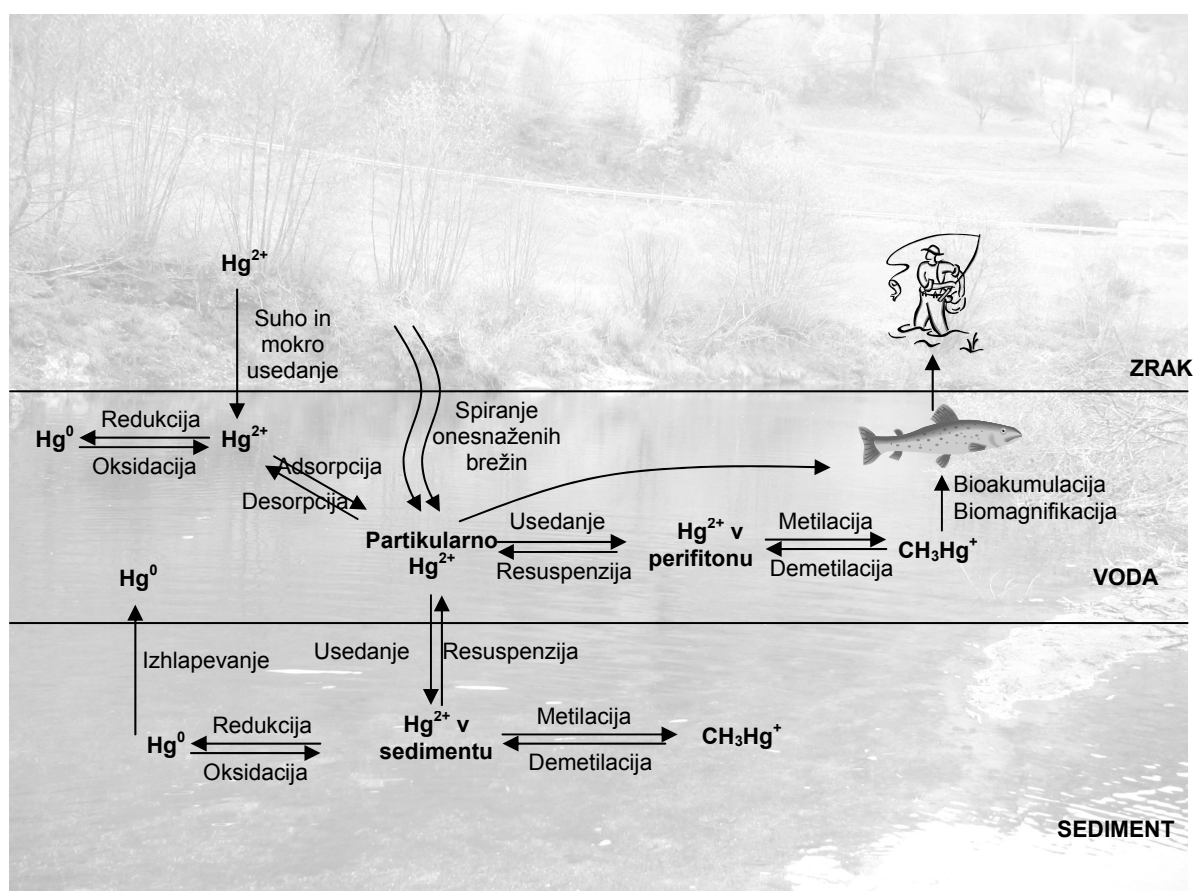
Povprečne koncentracije Hg v nekontaminiranih sedimentih kopenskih voda in oceanov so v rangi 0,01 do 0,3 mg/kg. Koncentracije v kontaminiranih sedimentih pa so lahko zelo visoke, kot na primer v zalivu Minamata, kjer znašajo 900 mg/kg (Mercury Study Report to Congress, 1997; Drasch in sod., 2004).

Najpomembnejše transformacije Hg v vodnem okolju:

- redukcija Hg(II) $\rightarrow$ Hg⁰; (fotoredukcija, delovanje bakterij),
- bakterijska metilacija Hg(II) in demetilacija MeHg v sedimentu.

Biotransformacija anorganskih oblik Hg v organske poteka v zgornjih plasteh sedimenta in v vodnem stolpcu. Primarna skupina bakterij, ki metilirajo Hg(II), so sulfat-reducirajoče bakterije, metilacija pa je povišana v anaerobnih pogojih, pri visoki temperaturi in nizkem pH (Drasch in sod., 2004; Hines in sod., 2006). Pak in Bartha (1998) sta ugotovila, da demetilacija poteka tudi v oksičnem okolju. Opažen delež MeHg v vodnem stolpcu na splošno ne predstavlja več kot 25 % vsega Hg, večinoma pa je celo manjši od 10 %. V pornih vodah je delež MeHg lahko precej povišan in doseže tudi 85 % (Hines in sod., 2000; Mercury Study Report to Congress, 1997).

Raziskave kažejo, da tudi abiotski procesi (huminske in fulvokislone v raztopini) metilirajo Hg⁺² ion (Drasch in sod., 2004).



Slika 3: Transformacije in cikel Hg v rečnem ekosistemu (Žižek, 2009)

1.2.5 Živo srebro v tleh

V kopenskem okolju prevladuje Hg (II), ki se veže z organsko snovjo in prstjo. (Wiener in sod., 2002) Na nastanek spojin Hg(II) (HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$, kompleksov Hg(II) z organskimi in mineralnimi koloidi) v zemlji vplivajo razmere v prsti (pH, temperatura, vsebnost humusa). Tvorba kompleksov močno omeji mobilnost živega srebra v zemlji. Večina Hg je namreč vezana na obsežen organski material in se lahko spira le ob vezavi na suspendirane delce zemlje in humus (Mercury Study Report to Congress, 1997; Drasch in sod., 2004).

Zadrževalni čas Hg v atmosferi in vodi je veliko krajši od tistega v zemlji, zato je prst dolgoročno tako ponor kot tudi vir Hg (erozija, izpiranje v vodna telesa, pretvorba Hg(II) v Hg^0 in izhlapevanje v ozračje, požari) (Drasch in sod., 2004).

1.3 ŽIVO SREBRO V ORGANIZMIH

1.3.1 Vpliv živega srebra na rastline

Strupenost Hg pri vodnih rastlinah se kaže kot senescenca, zaviranje rasti, nižja vsebnost klorofila, proteinov in RNA, inhibicija katalaze in proteaze, inhibirana in abnormalna mitotska aktivnost, povišana vsebnost prostih aminokislin, razbarvanje plavajočih listov, nekroza listov in korenin ter odmrtnost rastline. Subletalni učinki na kopenskih rastlinah se kažejo kot zmanjšana rast rastline, poškodbe listov in korenin, zmanjšana rast in delovanje korenin, zmanjšan privzem hranil, zmanjšana vsebnost klorofila in redukcija fotosinteze.

MeHg je bolj strupen kot Hg^{2+} (v sladki vodi je strupena koncentracija Hg^{2+} za rastline 50-3400 $\mu\text{g/L}$, MeHg pa 0.8-6 $\mu\text{g/L}$) (Drasch in sod., 2004).

1.3.2 Privzem živega srebra in vpliv na ribe

Bioakumuliran Hg v vodnih organizmih je posledica direktne izpostavljenosti in privzema iz vode ter trofične izpostavljenosti in privzema Hg preko hrane (Boudou, 1985; Amlund in sod., 2007; Chasar in sod. (2009)). Hall in sod. (1997) so v raziskavi ugotovili, da je glavna pot privzema MeHg iz okolja preko hrane, privzem iz vode pa je največ 15 %. Glavni faktorji, ki vplivajo na obremenjenost rib z MeHg, so starost, velikost, tip prehranjevanja in položaj v prehranjevalni verigi. Bioakumulacija in biomagnifikacija se povečujeta z velikostjo oziroma starostjo rib in sta povišani tudi pri tistih, ki so v prehranjevalni verigi višje (Wiener in sod., 2002; Piraino in Taylor, 2009; Burger in sod. 2001).

Rouleau in sod. (1999) so ugotovili, da je možganska krvna bariera pri ribah neprepustna za Hg(II), in predlagali, da bi bila lahko specifična distribucija Hg(II) v centralnem živčnem sistemu rib, ki so izpostavljene živemu srebru v vodi, tudi posledica privzema preko živčnih terminalnih končičev različnih senzoričnih in motoričnih sistemov. Preko aksonskega transporta naj bi Hg(II) zaobšel možgansko krvno bariero, se transportiral do možgan oziroma hrbtenjače in se nato selektivno akumuliral v olfaktornem sistemu, meduli

cerebeluma, optičnem živcu in tektumu ter rombencefalonu in ventralnem roglju hrbtenjače.

Rezultati raziskav kažejo močno specifičnost bioloških barier glede fiksacije in absorpcije živega srebra ter povezave s kemijsko obliko Hg in virom (voda, sediment ali hrana). Interakcije med različnimi oblikami Hg in membranami so močno odvisne tudi od speciacije živega srebra ter okoljskih dejavnikov (temperatura, pH, prisotnost anorganskih ali organskih ligandov) (Boudou, 1991). Na distribucijo Hg v organih rib vplivajo izpostavljenost Hg (voda, hrana) in kemijske oblike živega srebra (anorgansko, organsko Hg), fizikalno-kemijske značilnosti okolja, ki vplivajo na kemijsko speciacijo ter biodostopnost Hg (pH, temperatura vode, tip substrata), ter fiziološke, biokemijske in strukturne značilnosti posameznih vrst rib, kot je na primer tip prehranjevanja (Jackson, 1998; Oliveira Ribeiro in sod., 2000).

Regine (2006) je opazil tudi razlike v vsebnosti Hg v posameznih organih pri raznih vrstah rib z različnimi tipi prehranjevanja. Najnižje koncentracije so bile pri herbivorih vrstah, najvišje pa pri piscivorih. Kot razlog za razlike je navedel fiziološke razlike med posameznimi vrstami ter vsebnost MeHg v hrani. Pri ominvorih, karnivorih in piscivorih vrstah je plen bolj obremenjen z organsko obliko; delež MeHg je med 35 in 52 % v bentičnih nevretenčarjih in blizu 80 % v mišicah različnih vrst rib. Absorpcija MeHg preko črevesne stene je v nekaterih primerih skoraj 100 %. Prav tako je opazil precejšnje razlike med organi znotraj vrste. Razlike v vsebnosti Hg glede na položaj v prehranjevalni verigi so opazili tudi Barbosa in sod. (2003) in Power in sod. (2002). Stepanova in Komov (2000) v raziskavi poročata, da na bioakumulacijo vplivajo tudi stopnja rasti, starost in velikost ribe.

Pri ribah se strupenost Hg kaže kot zmanjšana reprodukcija, zavirana rast in razvoj, vedenjske abnormalnosti, slabša sposobnost osmoregulacije, zmanjšana sposobnost hranjenja (uspešnost lova). V primeru akutne zastrupitve pride do povečane sekrecije sluzi, odpiranja škrgnega poklopca, povečane stopnje respiracije. Kronična izpostavljenost ima za posledico splošno oslabelost organizma, poškodbe možgan, slepoto, katarakte, nezmožnost ujeti plen oziroma hrano, neobičajno motorično koordinacijo. Subletalna koncentracija je povezana s spremembami ovarijev. Strupenost Hg je odvisna od ribe

(vrsta, starost in velikost), okoljskih dejavnikov (temperatura, slanost, vsebnost kisika, trdota) in zvrsti Hg v vodi, pri čemer je organska oblika bolj strupena kot Hg^{2+} (Drasch in sod., 2004). Grippo in Heath (2002) sta ugotovila, da Hg v možganih rib zmanjša učinkovitost pri iskanju hrane.

Ikre, ki so bile izpostavljene anorganskim oblikam Hg v vodi, so imele koncentracijo T-Hg 0,07-0,10 mg/kg, povečana pa je bila tudi smrtnost embrijev (Scheuhammer, 2007).

Southworth in sod. (2000) v raziskavi predpostavljajo, da bi lahko selen v vodi zmanjšal stopnjo bioakumulacije Hg v ribah. Podobno ugotavljajo Bjerregaard in sod. (1999) glede selena v hrani.

Raziskave kažejo, da MeHg koncentracije v ribah odražajo spremembe v obremenjenosti okolja s Hg. Magnituda in časovni okvir odziva variirata in sta odvisna od dejavnikov kot so trajanje obremenjenosti, količina Hg izpuščenega v okolje, kemijske oblike Hg, značilnosti ekosistema (metilacija, dostopnost MeHg v prehranskih verigah, trofični prenos MeHg) ter vloga terestričnega dela (sprejemanje Hg iz atmosfere, spiranje Hg v vodna telesa), ki se od primera do primera razlikujejo (Munthe in sod., 2007; Paller in Littrell, 2007).

1.3.3 Vpliv živega srebra na ptice

Zastrupitev z Hg pri pticah se kaže kot nekoordinacija mišic, padanje, počasnost, nasršenost perja, mirnost, povešene veke, lahko pa tudi kot hiperaktivnost. Glavni problem so vedenjske motnje in motnje v razmnoževanju. Tudi tu velja, da je MeHg bolj strupen od Hg^{2+} (Drasch in sod., 2004).

Hg pri pticah je povezan tudi z zmanjšano uspešnostjo izleganja, smrtnostjo embrijev, zmanjšano teritorialnostjo pri odraslih pticah, zmanjšanim imunskim odzivom in histološkimi spremembami (demielinacija centralnega živčnega sistema), opaženo pa je bilo tudi zmanjšano valjenje (Scheuhammer, 2007).

Rothschild in Duffy (2005) ugotavljata, da so tudi pri pticah opazne razlike v vsebnosti Hg glede na trofični nivo.

1.3.4 Vpliv živega srebra na sesalce

MeHg je primarna in najbolj strupena oblika Hg, ki so ji preko prehrane najbolj izpostavljeni ribojedi sesalci in tisti, ki so vključeni v vodno prehranjevalno verigo. Pri nekaterih sesalcih so opazili sposobnost demetilacije, posledica pa je precej variabilna frakcija celokupnega živega srebra v jetrih, ledvicah in možganih teh vrst (Wiener in sod., 2002).

Manjše živali (kuna, opica) so bolj občutljive kot večje (morski lev, srna). MeHg vpliva predvsem na živčni sistem, zmanjšana je sposobnost razmnoževanja, lova, premikanje je otežkočeno (Drasch in sod., 2004). Pri prostoživečih vidrah in kunah poročajo tudi o nevrokemijskih spremembah v možganih (Scheuhammer, 2007).

Nekatere vrste morskih sesalcev, na primer morski tjulenj in beluga, lahko akumulirajo zelo visoke koncentracije Hg v tkivih (tjulnji: 257-326 mg/kg mokre teže; beluga z območja Arktike: 2,2-2,6 mg/kg, s kontaminiranega območja pa 33,6-43,0 mg/kg) (Hoffman in sod. 2001).

1.3.5 Vpliv živega srebra na človeka

Pri ljudeh se zastrupitev kaže kot težave z dihalo (bronhitis, pljučnica, pljučni edem in zadušitev), okus po kovinah v ustih, slabost, driska, glavoboli, motnje v centralnem živčnem sistemu (tresavica), povečana razdražljivost, depresija (Drasch in sod., 2004).

V večini primerov izpostavljenost živemu srebru ni smrtna, lahko pa vključuje poškodbe centralnega živčnega sistema, kar vodi k redukciji motoričnih sposobnosti in drugim senzornim problemom, spremembe v genetskem in encimskem sistemu, posebej pa so ranljivi razvijajoči se embriji (Smol, 2002).

Najbolj znan primer zastrupitve z živim srebrom je zaliv Minamata na Japonskem. Lokalna industrija je izpustila MeHg v zaliv, posledica pa je bila stalno zastrupljanje prebivalcev bližnjih ribiških vasi zaradi uživanja kontaminiranih rib in morske hrane. Umrlo je na stotine ljudi, še več pa je bilo prizadetih (Smol, 2002).

Leta 1971 je v Iraku zaradi uživanja kruha, narejenega iz pšenice, ki so jo obdelovali s fungicidom, ki je vseboval živo srebro, umrlo 400 ljudi. Ta pšenica je bila namenjena sejanju (Smol, 2002).

1.4 IDRIJSKI RUDNIK IN ONESNAŽENJE OKOLICE

Leta 1490 so na območju Idrije odkrili eno največjih nahajališč živega srebra. To je vodilo k nastanku rudnika, ki je deloval 500 let. V teh letih so generacije rudarjev izkopal preko 100.000 ton živega srebra; če upoštevamo še izgube, ki so bile na začetku precejšnje, pa ocenjujejo, da je bilo izkopanih več kot 147.000 ton. Rudnik je uspešno deloval do krize svetovnega živosrebrovega trga v 70. letih prejšnjega stoletja, ko so na dan prišle informacije o škodljivosti in masovna zastrupljanja (Minamata 1956, Irak 1965). Živo srebro so postopno pričele nadomeščati okolju in človeku manj škodljive snovi, cena na svetovnem trgu je padla in leta 1977 so začasno ustavili delovanje rudnika, leto kasneje pa sprejeli odločitev o postopnem zapiranju. Leta 1983 so ga ponovno odprli in z minimalno kapaciteto je deloval do leta 1994, ko so delo dokončno ustavili. Po 500 letih delovanja je rudnik danes v zadnji fazi zapiranja (Miklavčič, 1999).

Rudarjenje, sežiganje/taljenje/obdelava rude in uporaba ostankov rude ter naravno povišane vsebnosti Hg v tleh so močno onesnažili Idrijo in okolico. Izpusti plinov iz topilnice so kontinuirano kontaminirali zrak nad Idrijo in okolico z živim srebrom. Koncentracije Hg v zraku v 70. letih so bile med 0,1 in 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, najvišja koncentracija pa je bila v bližini topilnice, in sicer 8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka. V centru mesta je bila koncentracija 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je bilo 600-krat več kot na referenčnem mestu (Kranj, Ljubljana), medtem ko koncentracije Hg na nekontaminiranih območjih niso presegle 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Miklavčič, 1999). V zadnjem desetletju so se koncentracije Hg v zraku v Idriji znižale z več kot 1000 ng/m^3 na manj kot 10 ng/m^3 . Med monitoringom so opazili tudi sezonske spremembe

koncentracij. Na določenih lokacijah okrog prezračevalnih jaškov in v bližini topilnice koncentracije ostajajo visoke (Kotnik, 2005). Horvat in sod. (2002) ugotavljajo, da prst in sedimenti v okolici idrijskega rudnika še vedno predstavljajo pomemben vir Hg za porečje Idrije.

Posledice onesnaževanja so povečana vsebnosti živega srebra v rastlinah in živalih v okolici Idrije. Korenje z vrtov pod topilnico je vsebovalo veliko več živega srebra (od 400 do 800 ng/g mokre teže) kot tisto, ki je raslo na Prontu (50 do 100 ng/g), kjer je prisoten karbonski skrilavec s samorodnim živim srebrom. Vsebnosti živega srebra v živalih so bile prav tako povišane, predvsem v zajcih in piščancih. Nenehna izpostavljenost živemu srebru se je kazala tudi pri delavcih v rudniku in topilnici, pa tudi pri prebivalcih območja (Miklavčič, 1999) ter divjih živalih, konkretnije pri srnah (Gnamuš in Horvat, 1999) in ribah (Horvat in sod., 2004).

Cinabaritna rudna telesa izvirajo iz obdobja do srednjega triasa, samorodno živo srebro pa najdemo predvsem v karbonskih plasteh v zahodnem delu nahajališča rude, tako imenovanem Prontu (Miklavčič, 1999).

Vse pa kaže na to, da si bo po več kot 500 letih rudarjenja tudi Idrija z okolico počasi opomogla.

1.5 RAZISKOVANE VRSTE RIB

Velikost rib je odvisna od:

- velikostnega reda vodotoka,
- količine in vrste hrane,
- velikosti tolmunov,
- mikrohabitata.

V splošnem velja, da ni korelacije med starostjo in velikostjo rib v izvirnih delih vodotoka (Toman, 2010).

1.5.1 Družina krapovcev (Cyprinidae)

So zelo številčna skupina in predstavljajo skoraj polovico naših sladkovodnih vrst rib. V tej družini je okrog 1200 vrst, večina je vsejedih. Pri nas živi 38 domorodnih in 6 tujerodnih vrst (Veenvliet, 2006).

Imajo eno samo hrbtno plavut, goltne zobe, tisti, ki živijo pri dnu, pa tudi brke, običajno dva para, na katerih so okuševalni organi. Telo pokrivajo cikloidne luske. Številnim samcem vseh vrst se ob drsti po telesu pojavijo drsne bradavice. Evropske vrste pogosto živijo v jatah. So majhne do srednjevelike. Povprečna dolžina telesa je 25-35 cm, največja pa 60 cm. Drst poteka večinoma v plitvih vodah, med rastlinjem ali na prodiščih. Le redki, npr. belica in pezdirk, skrbijo za potomstvo (Povž in Sket, 1990).

1.5.1.1 Mrenič (*Barbus meridionalis caninus* Valenciennes, 1842)

Mrenič je jatna riba, ki živi pri dnu vodotokov, kjer med kamni išče hrano. Hrani se z ličinkami žuželk, črvi maloščetinci, nekoliko večjimi rakci in drugimi vodnimi živalmi.

Povprečna dolžina telesa je 20-30 cm, največja pa 40 cm. Drsti se na prodnatem dnu v maju in juniju. Naseljuje Sočo in vse njene pritoke, najdemo ga tudi v drugih rekah jadranskega porečja in v vodotokih severne Italije (Povž in Sket, 1990). V Idrijco te vrste ne vlagajo (Rejec, 2010).



Slika 4: Mrenič (Povž in Sket, 1999)

1.5.1.2 Grba (*Barbus plebejus* Valenciennes, 1842)

Gre za vsejedo ribo, ki daje prednost živalski hrani (drobnim rakcem, ličinkam žuželk, maloščetincem itd.). Do 6. leta starosti živi v jatah, starejši primerki so samotarski. Zadržuje se v zmerni globini srednjega toka večjih rek jadranskega porečja, ki so bogate s kisikom. Drsti se v velikih jatah maja in junija. Samica odloži 6000-7000 iker, ki se prilepijo na kamenje. Splošno je razširjena v porečju reke Soče, v Rižani, Dragonji, Notranjski Reki in pritokih itd. V italijanski ihtiofavni je ena izmed najbolj znanih rib (Povž in Sket, 1990). Pri nas je vrsta avtohtona, v Idrijco je ne vlagajo (Rejec, 2010).

1.5.1.3 Štrkavec (*Leuciscus cephalus cabeda* Risso, 1826)

Naseljuje reke, ki se izlivajo v Jadransko morje in jezera severne Italije. Pri nas je razširjen v porečju Soče (v Idrijco ga ne vlagajo (Rejec, 2010)), pa tudi v Dragonji so našli podvrsto rodu *Leuciscus*. Živi v tekočih vodah, pozimi pa se preseli v globlje predele. Prehranjuje se z vodnimi nevretenčarji in rastlinami, pobira pa tudi semena in žuželke, ki padejo v vodo. Odrasli osebki so ribojedi in samotarski. Povprečna dolžina telesa je 40 cm, največja pa 60 cm.

V času drsti od maja do junija samice odlagajo ikre na prodnatih drstiščih, kjer se prilepijo na dno in izvalijo v enem tednu. Spolno zrelost dosežejo v 3. letu starosti (Povž in Sket, 1990).

1.5.2 Družina postrvi (Salmonidae)

Ribe iz družine postrvi naseljujejo vse vodotoke severne poloble do povratnikov, na južno poloblo pa so jih naselili. So izredno spremenljive tako glede videza kot tudi razmnoževanja in vedenja. Nekatere vrste se lahko uspešno križajo, kar še pripomore k veliki spremenljivosti. Za vse je značilna tolščenska, ki leži med hrbtno in repno plavutjo. Telo je pokrito z drobnimi luskami, imajo velik gobec in močne, dobro razvite koničaste zobe. Na črevesju imajo pilorične izrastke, po številu katerih jih tudi ločimo med seboj.

Ker se pogosto hranijo s hrano, ki vsebuje veliko karotidov, je njihovo meso rožnato obarvano. Vse vrste so plenilske in izjemno zanimive za športni ribolov (Povž in Sket, 1990).

1.5.2.1 Šarenka (*Oncorhynchus mykiss* Richardson, 1836)

Prvotna domovina šarenke je Severna Amerika, in sicer naseljuje reke, ki se izlivajo v Tihi ocean. V Evropo so jo naselili leta 1880, nato pa se je razširila po vseh evropskih vodotokih. Pri nas naseljuje iste vodotoke kot potočna postrv, prenese pa višje temperature. V domovini naseljuje večje tolmane in globlje predele vodotokov. Je jatna riba. V času drsti od februarja do aprila se seli iz morja v sladke vode oziroma preživi celo življenje v sladki vodi. Pri nas se ne seli, temveč celo življenje ostane tam, kjer se naravno razmnožuje. Spolno dozori v starosti 2-3 let. Povprečna dolžina telesa je 25-45 cm, največja pa 70 cm.

Tako kot ostale vrste postrvi se hrani z žuželkami, z drobnimi vodnimi nevretenčarji in večjimi ter manjšimi ribami (Povž in Sket, 1990).

Populacijo pri nas umetno vzdržujejo z naseljevanjem v vodotoke zaradi potreb športnega ribolova. V Idrijco jo vlagajo dopolnilno vsakih 14 dni (Rejec, 2010). V večini voda, kamor jo vlagajo, se tudi samostojno razmnožuje, vendar zaenkrat ne predstavlja nevarnosti oziroma konkurence drugim vrstam (Povž in Sket, 1990).



Slika 5: Šarenka (Povž in Sket, 1999)

1.5.2.2 Potočna postrv (*Salmo trutta fario* Linnaeus, 1758)

Je najštevilčnejša in najbolj razširjena avtohtona vrsta postrvi v Evropi. Naseljuje tudi vodotoke Severne Amerike in drugih dežel severne poloble, pa tudi centralno Afriko. Najdemo jo v rekah in jezerih do nadmorske višine 2500 m, le izjemoma tudi višje. V porečje Soče so jo umetno naselili v 20. stoletju (1906), sicer pa naseljuje vodotoke donavskega porečja.

Za svoj obstoj potrebuje življenjski prostor, ki je primeren za vse stopnje razvoja – tolmini, skrivališča ob brežinah in čisti pritoki za drstišča, kjer se drsti od oktobra do februarja. Spolno zrelost doseže v 2. ali 3. letu starosti. Posegi, pri katerih se spreminja vodostaj v rekah, kjer se voda poleti preveč segreje in pozimi celo presahne, negativno vplivajo na populacijo. Umetna vzreja je najučinkovitejša, tudi sedanje stanje je posledica intenzivnega naseljevanja (Povž in Sket, 1990). Zaradi križanja s soško postrvjo je vlaganje v Idrijco prepovedano (Rejec, 2010).

Prehranjuje se z z nevretenčarji in zračno hrano, delno tudi z ribami. Živi v raznolikih vodotokih, od gorskih potokov do širokih nižinskih rek. Povprečna dolžina telesa je 25-50, največja pa 70 cm.

Tudi potočna postrv je zelo priljubljena kot športnoribolovna riba (Povž in Sket, 1990).



Slika 6: Potočna postrv (Povž in Sket, 1999)

1.5.2.3 Soška postrv (*Salmo marmoratus* Cuvier, 1817)

Naseljuje samo vode jadranskega porečja, najštevilčnejše je zastopana v reki Soči, njenih pritokih in v severnoitalijanskih rekah, ki se izlivajo v Jadransko morje. Naseljuje srednje in spodnje dele rečnih strug, tudi jezera, v potokih pa se ne zadržuje. Gre za redko vrsto, ki jo najbolj ogroža potočna postrv, s katero se tudi uspešno križa (Povž in Sket, 1990). V Idrijco vzdrževalno vlagajo zgodnje mladice in ikre (v pesek) (Rejec, 2010).

Spolno dozori v 4. letu starosti in se drsti le kratek čas, od decembra do januarja, v izjemnih primerih se lahko drst prične prej in konča kasneje, v sredini januarja. Drsti se ponoči oziroma zvečer (Povž in Sket, 1990). Ikre samice odlagajo na prodnate plitvine (Veenvliet, 2006).

Kot odrasla žival se prehranjuje z ribami, mlade postrvi pa uživajo talno favno. Vodne žuželke predstavljajo precejšen del prehrane. Povprečna dolžina telesa je 50-70 cm, največja pa 140 cm (Povž in Sket, 1990).



Slika 7: Soška postrv (Povž in Sket, 1999)

1.5.2.4 Križanec (*Salmo* sp.)

Gre za križanca med soško in potočno postrvjo. Telesno je podoben soški ali potočni postrvi, le da je od druge precej večji (Povž in Sket, 1990). Križanci so plodni in raznoliko obarvani. Nekaterih brez genetske analize ne moremo ločiti od čistih vrst (Veenvliet, 2006).



Slika 8: Križanec (Ribe, 2010)

1.5.3 Družina lipanov (*Thymallidae*)

Za vrste iz te družine je značilna dolga in visoka, živo obravana hrbtna plavut. Telo je prekrito z velikimi luskami, ki so nameščene v ravnih vrstah. V majhnih, rahlo podstojnih ustih je veliko zobcev. Piloričnih izrastkov na črevesu je manj kot pri postrvih, 11-24, imajo velik zračni mehur. Povprečna dolžina telesa je 25-35 cm, največja pa 63 cm.

Lipane najdemo v vodah zmerne in severne Evrope, Azije in severne Amerike. Živijo le v hitro tekočih in čistih vodah, ki so bogate s kisikom in kjer je temperatura relativno nizka. Lipanski pas, ki sledi pasu postrvi, je poimenovan prav po njih, saj so v takih vodah vodilna vrsta.

Po svetu so zanimivi za športni ribolov, danes pa jih ogroža predvsem onesnaževanje (Povž in Sket, 1990).

1.5.3.1 Lipan (*Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758)

Naseljuje reke Velike Britanije razen Irske in Škotske, reke južne Skandinavije, ki tečejo v Severno morje, zgornje pritoke reke Volge, nekatere reke v Franciji, Švici, Nemčiji, severni Italiji in v porečju Donave.

Pri nas ga najdemo v čistih, hladnih in hitro tekočih zgornjih in srednjih tokovih rek jadranskega in donavskega porečja z izjemo reke Mure. Pojavi se tudi v hladnejših jezerih s poletno temperaturo do 20°C in dovolj kisika (Povž in Sket, 1990). V porečje Soče so ga naselili in prišlo je do križanj s soškim lipanom *Thymallus aeliani* (Veenvliet, 2006). V Idrijco vlagajo ribe, gojene v Tolminu (Rejec, 2010).

Poleg talnih nevretenčarjev se prehranjuje tudi z ikrami in zarodom drugih rib ter žuželkami, ki letajo nad vodno gladino (Povž in Sket, 1990). Ni teritorialen, občasno se združuje v majhne skupine (Veenvliet, 2006).

Drstitev poteka marca in aprila, v hladnejših vodah tudi maja. Na prodnatem dnu samec izkoplje jamico, kamor samica izleže malo iker, ki jih nato zasuje s peskom. V 3.-4. letu starosti doseže spolno zrelost (Povž in Sket, 1990).



Slika 9: Lipan (Povž in Sket, 1999)

1.6 DELOVNE HIPOTEZE IN NAMEN DIPLOMSKE NALOGE

Na podlagi podatkov iz literature in predhodnih raziskav smo oblikovali naslednje delovne hipoteze:

- koncentracije Hg v možganih rib bodo v korelaciji s koncentracijami Hg v drugih organih,
- koncentracija Hg v možganih rib bo naraščala z velikostjo (težo) ribe,
- kjer je okolje (voda, sedimenti, perifiton, makroinvertebrati) bolj obremenjeno z živim srebrom, bodo koncentracije T-Hg v možganih rib višje, delež MeHg pa nižji kot v možganih rib iz okolja, kjer je obremenjenost z živim srebrom nižja,
- koncentracija Hg in delež MeHg v možganih rib bosta naraščala z naraščanjem položaja vrste ribe v prehranjevalni verigi.

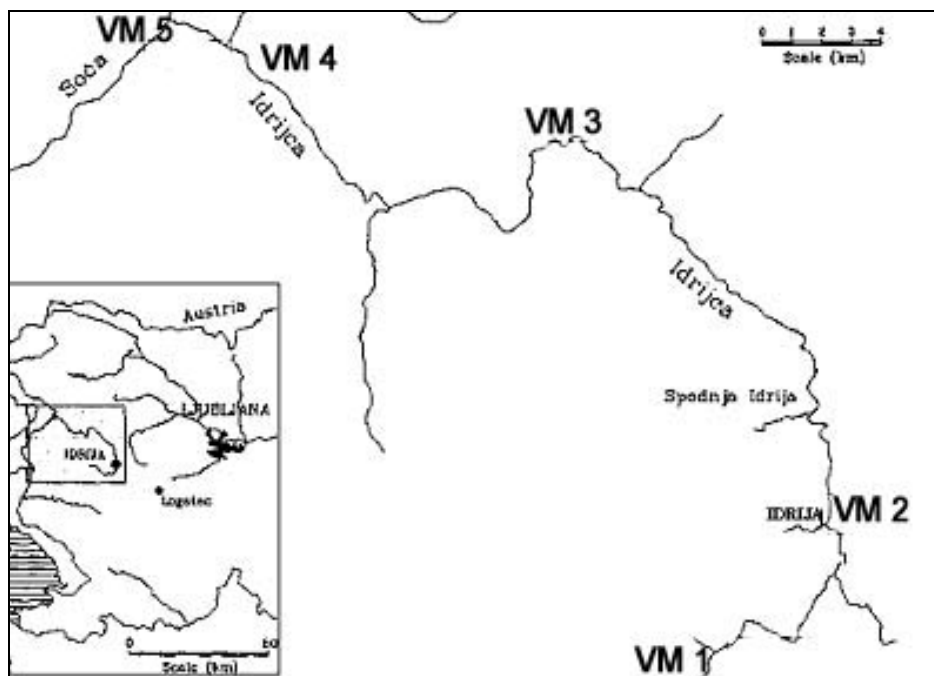
Namen diplomske naloge je bil:

- izmeriti koncentracije živega srebra (T-Hg in MeHg) v možganih osmih vrst rib odlovljenih na štirih vzorčnih mestih vzdolž Idrijce in enega na Mostu na Soči,
- izmeriti koncentracije živega srebra (T-Hg in MeHg) v mišicah, jetrih in škrgah rib odlovljenih na vzorčnem mestu pri Mostu na Soči,
- primerjati dobljene podatke o koncentraciji T-Hg in MeHg v možganih glede na vrsto ribe in mesto odlova,
- primerjati koncentracijo Hg v možganih s koncentracijami Hg v drugih organih (mišice, jetra in škrge) iz predhodnih raziskav in s težo ribe,
- primerjati dobljene podatke o koncentraciji Hg mišicah, jetrih in škrgah rib z vzorčnega mesta pri Mostu na Soči s podatki o koncentraciji Hg v mišicah, jetrih in škrgah rib z drugih vzorčnih mest dobljenih v predhodnih raziskavah.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 VZORČNA MESTA

Vzorčenje rib je potekalo spomladi (vzorčna mesta 1, 2, 3 in 4) in jeseni 2003 (vzorčno mesto 5). Sočasno z odlovom rib je potekal tudi odvzem vzorcev makroinvertebratov in perifitona (razen na vzorčnem mestu 5) (Žižek in sod., 2007). Pri opisu vzorčnih mest sem povzela podatke o koncentracijah T-Hg in MeHg v vodi, sedimentih, suspendiranih delcih, perifitonu, mladoletnicah in enodnevnih iz predhodnih raziskav.



Slika 10: Vzorčna mesta na reki Idrijci

2.1.1 Vzorčno mesto 1: Idrijca nad pritokom Belce

VM1 se nahaja v zgornjem toku reke Idrijce. V tem delu je tok hitrejši, obrasti in hranil je malo, dno je kamnito. Ozko strugo obrašča grmovje in gozd (Žižek in sod., 2007).



Slika 11: Vzorčno mesto 1

Koncentracije živega srebra v vodi so bile na tem vzorčnem mestu najnižje. Tudi koncentracije živega srebra v suspendiranih delcih, sedimentu in perifitonu so bile tu najnižje.

Preglednica 1: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg⁰ v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)

	T-Hg	MeHg	%MeHg
sedimenti	5,00 µg/g	0,003 µg/g	0,060
suspendirani delci	5,45 ng/l	0,017 ng/l	0,312
voda	7,27 ng/l	0,032 ng/l	0,433

Temu sledijo tudi koncentracije T-Hg in MeHg v mladoletnicah in enodnevnih, ki so prav tako na tem vzorčnem mestu med najnižjimi.

Preglednica 2: Vsebnost T-Hg in MeHg ter %MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevniceh (Žižek in sod., 2007)

VM 1	Pomlad (26.3.2003)			Poletje (17.6.2003)			Jesen (17.10.2003)		
	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg
perifiton				992,0	26,10	2,62	145, 137 (n=2)	2,48	1,75
nitaste alge	1380	7,30	0,53						
mladoletnice	2100	8,03	0,38	423,0	5,79	1,37	331	13,60	4,10
enodnevnice	2410	11,90	0,49	86,3	59,60	69,10	<0,01*	51,50	

* pod mejo detekcije

2.1.2 Vzorčno mesto 2: Idrija pri Kolektorju

VM2 se nahaja v samem središču Idrije ob Kolektorju. Na tem delu se v reko iztekajo odpadne vode iz rudnika. Pri mostu so včasih odlagali žlindro. Tok je tu počasnejši, struga je širša, več je hranil in obrasti (Žižek in sod., 2007).



Slika 12: Vzorčno mesto 2

Koncentracije živega srebra v vodi so bile na tem vzorčnem mestu v primerjavi z VM1 močno povišane. Prav tako so močno povišane koncentracije T-Hg in MeHg v suspendiranih delcih, sedimentu in perifitonu.

Preglednica 3: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg° v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)

VM 2	T-Hg	MeHg	% MeHg
sedimenti	727,0 µg/g	0,007 µg/g	0,001
suspendirani delci	17,5 ng/l	0,034 ng/l	0,194
voda	63,1 ng/l	0,104 ng/l	0,165

Povišanju sledijo tudi koncentracije T-Hg in MeHg v mladoletnicah in enodnevnih.

Preglednica 4: Vsebnost T-Hg in MeHg ter % MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)

VM 2	Pomlad (26.3.2003)			Poletje (17.6.2003)			Jesen (17.10.2003)		
	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg
perifiton				44,8	416,0 448,0 (n=2)	1,03	86,100, 84,200 (n=2)	458	0,54
nitaste alge	34,300, 32,700 (n=2)	159,0	0,48						
mladoletnice	3430	70,6	2,06	11300,0	40,8	0,36	8250	4940	60,00
enodnevnice	141000	1917,0	1,36	29800,0	687,0	2,30	63100	737	1,17

2.1.3 Vzorčno mesto 3: Kozarska Grapa

Struga je na tem delu širša in globlja kot na vzorčnem mestu 2, tok je nekoliko hitrejši, obrasti je veliko v času vzorčenja predvsem nitastih alg, kar kaže na obremenjenost vode. Tu se v Idrijco izliva tudi potok. Vzorčno mesto je obdano z grmovjem in drevesi.



Slika 13: Vzorčno mesto 3

Koncentracije živega srebra v vodi se približajo vrednostim z VM1 (Preglednica 1).

Vrednostim s prvega vzorčnega mesta se približajo tudi koncentracije T-Hg in MeHg v suspendiranih delcih, sedimentu in perifitonu.

Preglednica 5: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg^0 v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)

VM 3	T-Hg	MeHg	%MeHg
sedimenti	6,00 $\mu g/g$	0,004 $\mu g/g$	0,067
suspendirani delci	4,23 ng/l	0,008 ng/l	0,312
voda	6,45 ng/l	0,041 ng/l	0,636

Nasprotno pa ostajajo vrednosti živega srebra v mladoletnicah in enodnevnih še naprej povišane.

Preglednica 6: Vsebnost T-Hg in MeHg ter % MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnicah (Žižek in sod., 2007)

VM 3	Pomlad (26.3.2003)			Poletje (17.6.2003)			Jesen (17.10.2003)		
	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg
perifiton				1210, 1460 (n=2)	12,7	0,95	1700	149	8,76
nitaste alge	6800	102, 84 (n=2)	1,36						
mladoletnice	32400	885	2,73	50500	45,0	0,09	2360	697	29,60
enodnevnice	82300	2210	2,69	2640	1910,0	72,20			

2.1.4 Vzorčno mesto 4: Bača pri Modreju

Struga je široka, dno je kamnito in rdečkasto, voda je kalna, globina pa manjša kot na vzorčnem mestu 3. Obrasti je manj, obrežno vegetacijo tudi tu sestavlja predvsem grmovje.



Slika 14: Vzorčno mesto 4

Koncentracije T-Hg v vodi so višje kot na VM3, predvsem je močno povišan MeHg. Povišane so koncentracije v suspendiranih delcih, sedimentu in perifitonu.

Preglednica 7: Vsebnost T-Hg, MeHg in Hg^0 v vodi, suspendiranih delcih, sedimentu (Žižek in sod., 2007)

VM 4	T-Hg	MeHg	%MeHg
sedimenti	25,0 $\mu g/g$	0,010 $\mu g/g$	0,040
suspendirani delci	27,3 ng/l	0,055 ng/l	0,201
voda	11,4 ng/l	0,099 ng/l	0,873

Koncentracije T-Hg v mladoletnicah so v primerjavi z VM3 nižje, koncentracije MeHg pa višje, medtem ko so koncentracije T-Hg v enodnevnih primerljive z VM2 in VM3, koncentracije MeHg pa precej nižje.

Preglednica 8: Vsebnost T-Hg in MeHg ter % MeHg v perifitonu, nitastih algah, mladoletnicah in enodnevnih (Žižek in sod., 2007)

VM 4	Pomlad (26.3.2003)			Poletje (17.6.2003)			Jesen (17.10.2003)		
	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg	T-Hg (ng/g)	MeHg (ng/g)	% MeHg
perifiton				6990, 6370 (n=2)	11,7, 13,2 (n=2)	0,18	3140, 3070 (n=2)	50,6	1,63
nitaste alge	5170, 5210 (n=2)	33,3	0,64						
mladoletnice	3010	1050	34,90	6690	221	3,31	1860	1820,0	97,80
enodnevnice	19800	130	0,66	4430	126	2,85			

2.1.5 Vzorčno mesto 5: Most na Soči

Na tem vzorčnem mestu so bile ribe odlovljene v akumulacijskem jezeru. Nastalo je l. 1938 za potrebe hidroelektrarne Doblar. Dolgo je 7 km, na najširšem delu meri 600 m, največja globina pa je 32 m (O jezeru, 2008).



Slika 15: Vzorčno mesto 5

2.2 VZORČENJE

Vzorčenje je potekalo poleti in jeseni v letu 2003. Ribe se je omrtvilo z agregatom in ujelo z mrežo.

Seznam ulovljenih vrst in število ulovljenih osebkov posamezne vrste na posameznem vzorčnem mestu sta v preglednici 13.

Ulovljeni so bili osebkki naslednjih vrst: mrenič (*Barbus meridionalis caninus*), šarenka (*Onchorhynchus mykiss*), soška postrv (*Salmo marmoratus*), potočna postrv (*Salmo trutta fario*), lipan (*Thymallus thymallus*), grba (*Barbus plebejus*), štrkavec (*Leuciscus cephalus cabeda*) ter križanec med soško in potočno postrvjo (*Salmo sp.*).

Preglednica 9: Seznam vrst in število osebkov

Vrsta	Vzorčno mesto										Skupaj	
	VM1		VM2		VM3		VM4		VM5			
	Odlovljenih	Uporabljenih	Odlovljenih	Uporabljenih	Odlovljenih	Uporabljenih	Odlovljenih	Uporabljenih	Odlovljenih	Uporabljenih	Odlovljenih	Uporabljenih
<i>Barbus meridionalis caninus</i>	5	5	0	0	6	3	5	3	0	0	16	11
<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3	3	3	3	6	6	0	0	4	4	16	16
<i>Salmo marmoratus</i>	1	1	2	2	3	2	0	0	4	4	10	9
<i>Salmo sp.</i>	5	5	9	8	5	4	7	5	5	5	31	27
<i>Salmo trutta fario</i>	6	6	4	3	2	1	0	0	0	0	12	10
<i>Thymallus thymallus</i>	0	0	5	4	3	3	4	4	0	0	12	11
<i>Barbus plebejus</i>	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	2	1
<i>Leuciscus cephalus cabeda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Skupaj:	20	20	23	20	25	19	18	13	14	14	100	86

2.3 ANALIZA VSEBNOSTI ŽIVEGA SREBRA

Analiza vsebnosti živega srebra je bila narejena na možganih, mišicah, jetrih in škrgah, ki so bili shranjeni v teflonskih posodah v zmrzovalniku na -20°C. V okviru diplomske naloge je bilo izmerjeno celokupno (T-Hg) ter metilirano (MeHg) živo srebro v možganih rib z vseh vzorčnih mest ter v škrgah, mišicah in jetrih rib z vzorčnega mesta 5 Most na Soči.

Pri delu je preprečevanje kontaminacije ključnega pomena, še posebej če gre za vzorce z majhno vsebnostjo Hg. Vso opremo, ki je prišla v stik z vzorcem, je treba primerno in redno čistiti, obdelava vzorcev pa mora potekati v čisti sobi ter v primernem laboratoriju (Leermakers in sod., 2005; Ubillus in sod., 2000; Horvat, 1999).

Metode, ki smo jih uporabili pri delu, so bile validirane na Odseku za znanosti o okolju Instituta Jožef Stefan. Podrobnosti so navedene v objavah (Liang in sod., 1994 in 1996; Quevauviller, 1997; Logar in sod., 2001).

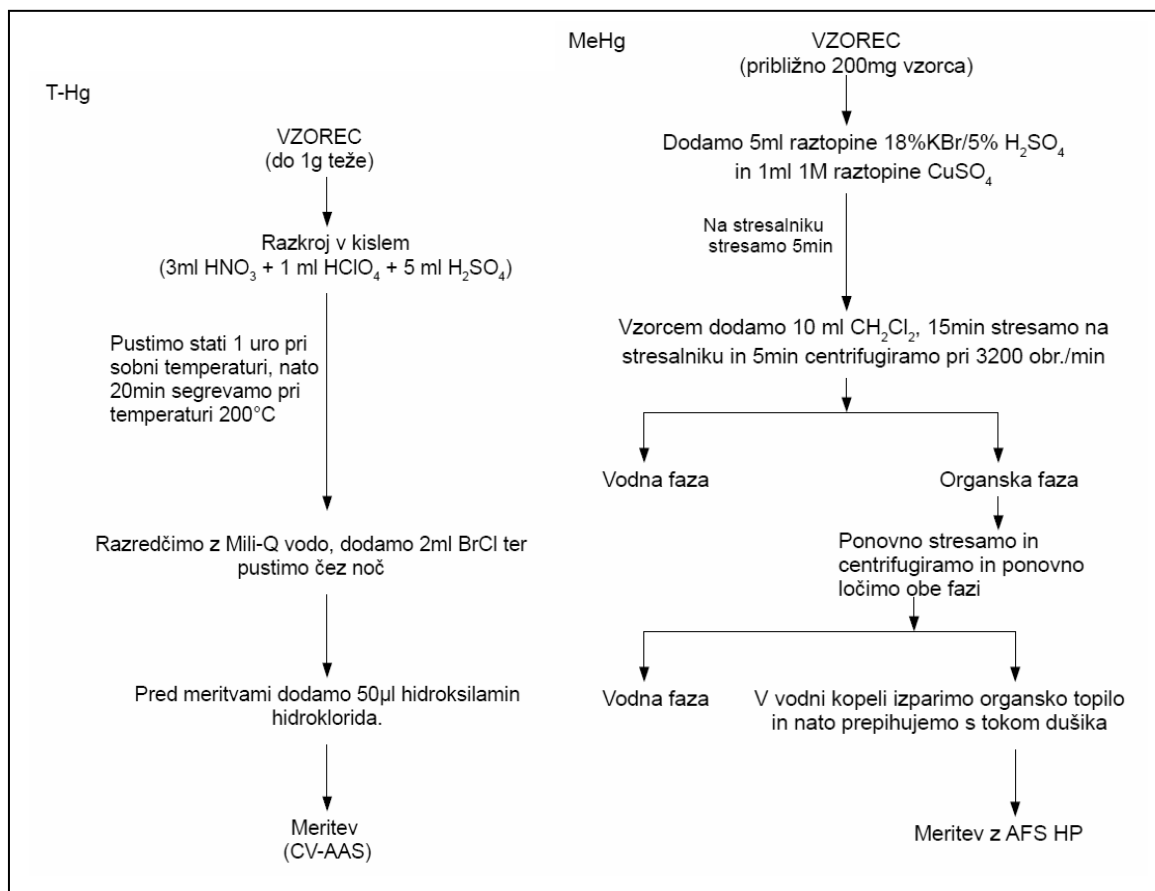
2.3.1 Priprava vzorcev

Postopek začetne priprave vzorcev je potekal v čisti sobi na Institutu Jožef Stefan v Podgorici. Mišice, jetra in škrge smo homogenizirali z mešalnikom, možgane pa s plastično pipeto.

Za določanje Hg-T smo uporabili atomsko absorpcijsko spektrofotometrijo hladnih par – AAS HP (aparatura LDC/Milton Roy, ZDA, Mercury Monitor TM), za določanje MeHg pa atomsko fluorescenčno spektrofotometrijo hladnih par – AFS HP (aparatura Brooks Rand, Ltd, ZDA, Model 2).

Če je bilo vzorca dovolj, smo raztopine vzorcev pripravili v dveh paralelkah in s tem preverjali ponovljivost meritev ter homogenost vzorcev. Pri vsaki seriji analiz smo poleg raztopin vzorcev pripravili tudi dve slepi raztopini, s katerima smo preverjali čistost reagentov in laboratorijske posode ter morebitno kontaminacijo. Za ugotavljanje pravilnosti analiz smo uporabljali certificirane referenčne materiale (CRM).

Pri analizi MeHg v organih smo tri vzorce pripravili v dveh oziroma treh paralelkah, eni paralelki posameznega vzorca smo dodali standardni dodatek 10 ng MeHg in s tem preverjali izkoristek. Če je bilo vzorca premalo, smo v treh paralelkah pripravili CRM in eni izmed treh dodali standardni dodatek.



Slika 16: Postopek priprave vzorcev

2.3.2 Atomska absorpcijska spektrofotometrija hladnih par – AAS HP

Občutljivost meritev z atomsko absorpcijsko spektrofotometrijo hladnih par je 0,01-1 µg/kg (Drasch in sod., 2004).

V 100mL steklene bučke smo zatehtali približno 1 g vzorca škrig, jeter ali mišic, v primeru možgan pa le toliko, kolikor smo ga imeli na voljo.

Dodali smo 5 ml HNO₃, 2 ml HClO₄ in 10 ml H₂SO₄ ter pustili stati na sobni temperaturi 1 uro. Nato smo v vsako bučko dodali 5 steklenih kroglic, ki smo jih pred tem oprali z raztopino KMnO₄/H₂SO₄ in sprali z Mili-Q. Vzorce smo nato 20 minut segrevali na 200°C. Po končanem segrevanju smo počakali nekaj minut, da so se bučke nekoliko ohladile, in jih nato pokrili s pokrovčki. Ohlajene vzorce smo s puhalko z vodo Mili-Q razredčili do

oznake 100 ml, dodali 2 ml BrCl in vzorce pustili čez noč v hladilniku.. Naloga BrCl je, da razkroji MeHg.

Pred meritvami smo vzorcem dodali 50 µl hidroksilamin hidroklorida (oziroma toliko, da se je vzorec, ki je bil rumeno obarvan zaradi BrCl, razbarval) in po potrebi z Mili-Q razredčili do oznake 100 mL. Hidroksilamin hidroklorid namreč odstrani odvečen klor in bromin, ki lahko vplivata na delovanje zlate pasti pri meritvah.

V redukcijsko celico, ki je bila napolnjena s kislno raztopino SnCl₂, smo dali merilni volumen vzorca, jo dobro zaprli in skozi njeno usmerili tok dušika. V celici se je Hg²⁺ reduciralo v Hg⁰, ki je s tokom dušika potoval najprej skozi nevtralizacijske raztopine NaOH, kjer so se absorbirale kislinske pare, nato pa še skozi sušilno sredstvo, s katerim smo preprečili kondenzacijo pare na optičnem delu instrumenta in s tem nespecifično absorpcijo. Amalgamiranje živega srebra je potekalo na zlati pasti, deamalgamirali pa smo ga pri 500-600°C ter ga nato z dušikom vodili v merilno celico in detektirali z AAS HP. Za zapis signalov smo uporabili rekorder proizvajalca Houston Instrument, ZDA, model Omniscrite, serija D5000, z obsegom skale 10 mV.

Koncentracijo MeHg v vzorcu smo izračunali po naslednji enačbi:

$$c \text{ (ngHg/g)} = \frac{(h_v - h_n) \times V_v \times \text{Ing}}{(h_s - h_0) \times V_l \times m} \quad \dots (1)$$

h_v – višina signala za Hg v dodanem alikvotu vzorca (mm)

h_s – višina signala, ki ustreza 1 ng Hg (mm)

h_0 – višina signala ozadja merilnega sistema (mm)

h_n – višina signala za slepo raztopino (mm)

V_v – volumen razkrojenega in razredčenega vzorca (mL)

V_l – volumen dodanega alikvota vzorca (mL)

m – masa vzorca (g)

2.3.3 Atomska fluorescenčna spektrofotometrija hladnih par – AFS HP

Občutljivost meritev z atomsko fluorescenčno spektrofotometrijo hladnih par je 0,001-0,01 µg/kg (Drasch in sod., 2004).

V 30 ml teflonske posodice smo zatehtali približno 0,2 g vzorca škrj, jeter ali mišic, v primeru možgan pa le toliko, kolikor smo ga imeli na voljo.

Vzorcem smo dodali 5 mL predhodno pripravljene sveže raztopine 18KBr/5% H_2SO_4 in 1 mL 1M raztopine CuSO_4 . Posodice smo dobro zaprli in jih na stresalniku stresali 5 minut. Nato smo vzorcem dodali 10 mL CH_2Cl_2 in jih ponovno 15 minut stresali na stresalniku ter nato centrifugirali 5 minut pri 3200 obr/min.

Posamezen vzorec smo prenesli v lij ločnik in počakali, da sta se fazi ločili, nato pa spodnjo organsko fazo lovili v stehtane 60 mL teflonske posodice. Po ločevanju smo vzorec ponovno prelili v 30 mL teflonsko posodico, dodali 5 mL CH_2Cl_2 , stresali v roki in zopet centrifugirali pri 3200 obr/min 5 minut. Ponovno smo z lijem ločnikom ločili obe fazi in v iste 60 mL teflonske posodice lovili organsko fazo. Združenemu ekstraktu smo dodali približno 20 mL vode Mili-Q. 60 mL teflonske posodice smo dali v čaše z vodo in jih v digistoriju na grelni plošči segrevali pri 90°C, dokler ni izparelo vso organsko topilo.

Nato smo 60 mL teflonske posodice z vzorcem še 5 minut prepihovali z dušikom, in sicer tako, da smo v vsako teflonsko posodico dali novo Pasteurjevo pipeto in nanjo napeljali cev z dušikom. S tem smo popolnoma odstranili morebitni preostali CH_2Cl_2 , ki bi motil pri nadaljnjem analiznem postopku.

60 mL teflonke smo ponovno stehtali; iz razlike v masi prazne teflonke in teflonke z vzorcem po izparevanju smo dobili volumen razkrojenega in razredčenega vzorca, ki smo ga kasneje uporabili pri izračunu koncentracij MeHg.

Pri tej metodi temelji določanje živega srebra na vzbujanju atomov Hg z osnovnega na višje elektronsko stanje s pomočjo nizkotlačne žarnice, ki oddaja energijo valovne dolžine

253,7 nm. Ob vrnitvi v osnovno stanje atomi oddajo prejeto energijo v obliki fotonov pri enaki valovni dolžini, kot so jo prejeli. Na ta način lahko določimo le Hg^0 , zato je merjenje drugih oblik možno le s predhodno pretvorbo v Hg^0 .

MeHg smo pretvorili v etilirane derivate s pomočje etilacijskega reagenta (natrijev tetraetilborat; $\text{NaB}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ali NaBEt_4), in sicer smo v 60 ml teflonske prepihovalne posodice, ki smo jih predhodno splaknili in napolnili z vodo Mili-Q, dali merjeni volumen vzorca, dodali ustrezno količino acetatnega pufra in 50 μl etilacijskega reagenta, jih dobro zaprli in premešali. Počakali smo 15 minut, da je potekla reakcija, in nato na teflonske posodice pritrdili pasti, napolnjene z adsorpcijskim materialom (Tenax pasti), jih 15 minut prepihovali s tokom dušika (300 ml/min) ter nanje lovili etilirane zvrsti Hg. Potem smo pasti namestili neposredno na tok dušika in jih še 5 minut prepihovali, da smo odstranili morebitno vlago, ki bi lahko motila pri nadaljnjem postopku.

Pasti smo nato namestili v grelni spiralo in s segrevanjem na 200°C sprostili etilirane zvrsti Hg ter jih s tokom argona vodili v stekleno kolono, kjer je potekala ločitev posameznih zvrsti. V pirolitski celici smo pri temperaturi 600°C posamezne zvrsti pretvorili v Hg^0 , ki je nato s tokom argona potoval najprej skozi sušilno past, potem pa v merilno celico detektorja AFS HP. Za zapis signalov smo uporabili rekorder proizvajalca Houston Instrument, ZDA, model Omniscrite, serija D5000, z obsegom skale 100 mV.

Koncentracijo MeHg v vzorcu smo izračunali po naslednji enačbi:

$$c \text{ (pgMeHg/g)} = \frac{(h_v - h_n) \times V_v \times 100\text{pg}}{(h_s - h_0) \times V_l \times m} \quad \dots (2)$$

h_v – višina signala za MeHg v dodanem alikvotu vzorca (mm)

h_s – višina signala, ki ustreza 100pg MeHg (mm)

h_0 – višina signala ozadja merilnega sistema (mm)

h_n – višina signala za slepo raztopino (mm)

V_v – volumen razkrojenega in razredčenega vzorca (mL)

V_l – volumen dodanega alikvota vzorca (mL)

m – masa vzorca (g)

Koncentracijo Hg (II) v vzorcu smo izračunali tako, da smo od koncentracije T-Hg v vzorcu odšteli koncentracijo MeHg v vzorcu.

2.3.4 Uporaba certificiranega referenčnega materiala

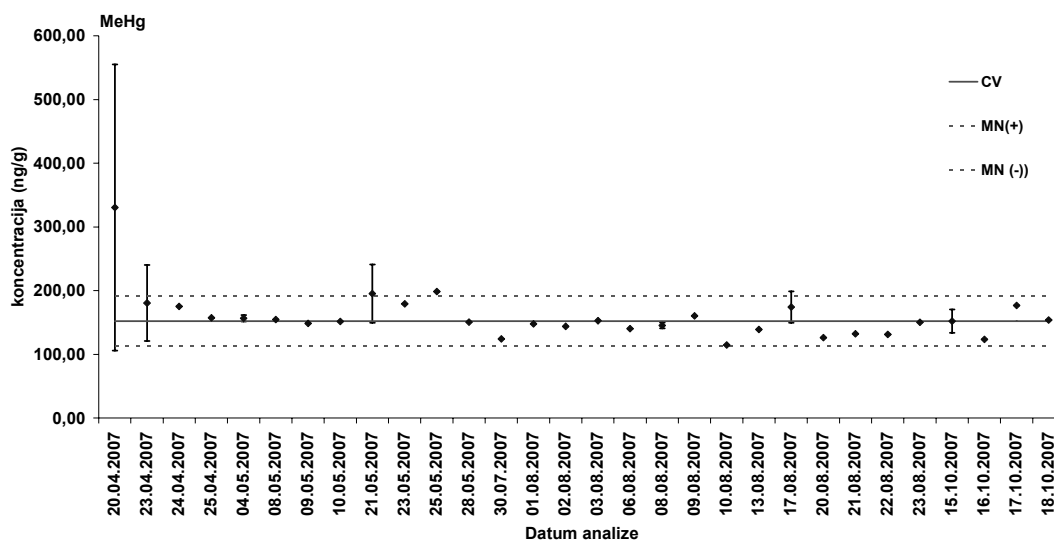
Pri delu smo uporabljali certificirane referenčne materiale (CRM), s katerimi smo ugotavljali pravilnost analiznega postopka. Certificiran referenčni material je referenčni material, ki ima certifikat oziroma izdano listino, ki jo je izdal certifikacijski organ. V listini so podane certificirane vrednosti, njihove negotovosti ter interval zaupanja z navedbo stopnje negotovosti. Ena ali več lastnosti certificiranega materiala je certificirana s tehnično veljavnim postopkom. Po priporočilih ISO Guide 33 morata biti sestava in koncentracijski nivo uporabljenega CRM za zagotavljanje pravilnosti rezultatov podobna analiziranemu vzorcu. Večina obstoječih CRM izvira iz morskih okolij, ustreznih CRM za raziskavo kopenskih in sladkovodnih ekosistemov pa ni (Quevauviller, 1997; Horvat, 1999; Emons in sod., 2006). CRM smo pripravili pri vsaki seriji vzorcev po enakem postopku kot vzorce. Seznam uporabljenih CRM je v preglednici 10.

Poleg uporabe CRM so še drugi načini ugotavljanja pravilnosti analiznega postopka, na primer izdelava in uporaba laboratorijskih referenčnih materialov (RM) ter medlaboratorijske raziskave (Horvat, 1999).

Preglednica 10: Certificiran referenčni material

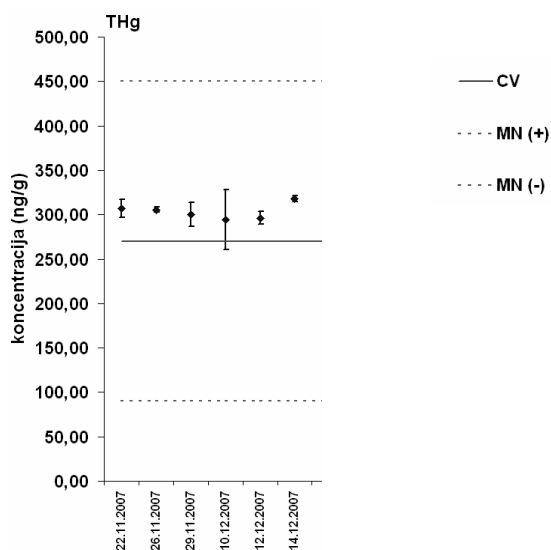
CRM	OSNOVA	Certificirana vrednost (mg/kg)	
		T-Hg	MeHg
DORM 2 ⁽¹⁾	Dogfish muscle	4,64 ± 0,26 mg/kg	4,47 ± 0,32 mg/kg
TORT 2 ⁽¹⁾	Lobster hepatopancreas	0,27 ± 0,06 mg/kg	0,152 ± 0,013 mg/kg

(1) NRCC – National Research Council Canada



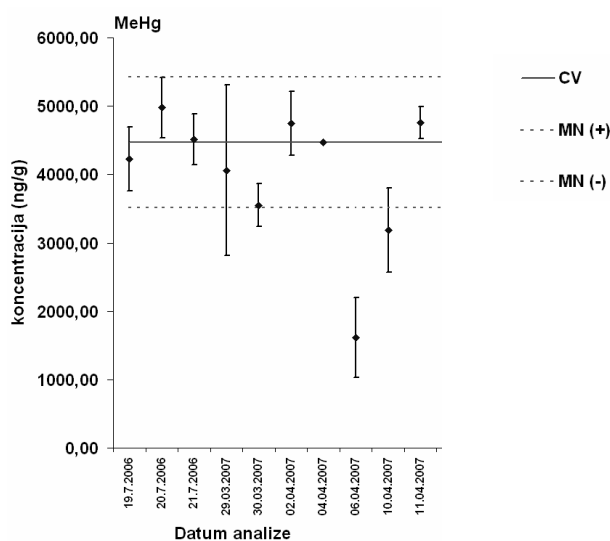
Slika 17: Kontrolni diagram določanja MeHg v TORT – 2 s standardno deviacijo

- CV – certificirana vrednost (152 ± 13 ng/g)
- MN (+) – zgornja meja 95 % zanesljivosti
- MN (-) – spodnja meja 95 % zanesljivosti



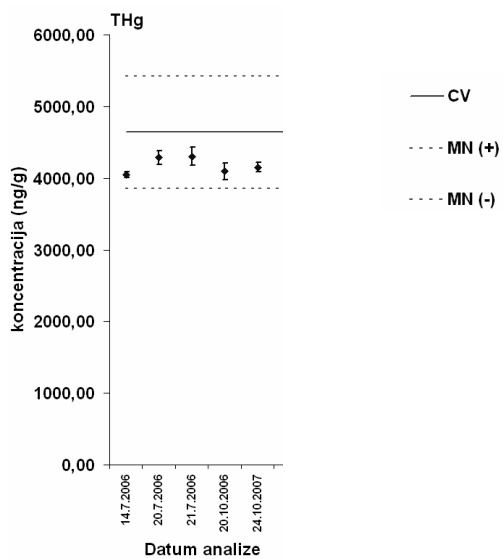
Slika 18: Kontrolni diagram določanja THg v TORT – 2 s standardno deviacijo

- CV – certificirana vrednost (270 ± 60 ng/g)
- MN (+) – zgornja meja 95 % zanesljivosti
- MN (-) – spodnja meja 95 % zanesljivosti



Slika 19: Kontrolni diagram določanja MeHg v DORM – 2 s standardno deviacijo

- CV – certificirana vrednost (4470 ± 320 ng/g)
- MN (+) – zgornja meja 95 % zanesljivosti
- MN (-) – spodnja meja 95 % zanesljivosti

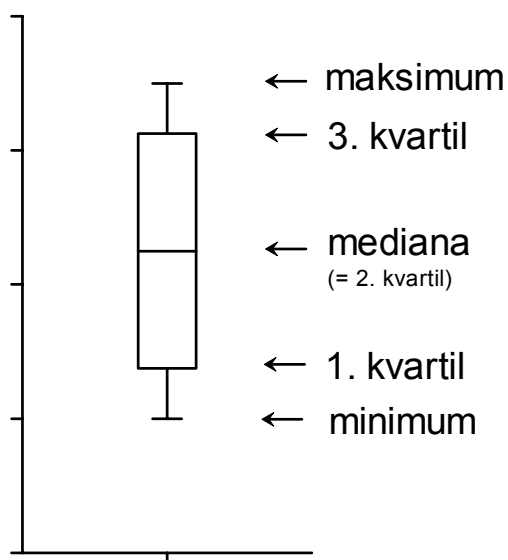


Slika 20: Kontrolni diagram določanja THg v DORM – 2 s standardno deviacijo

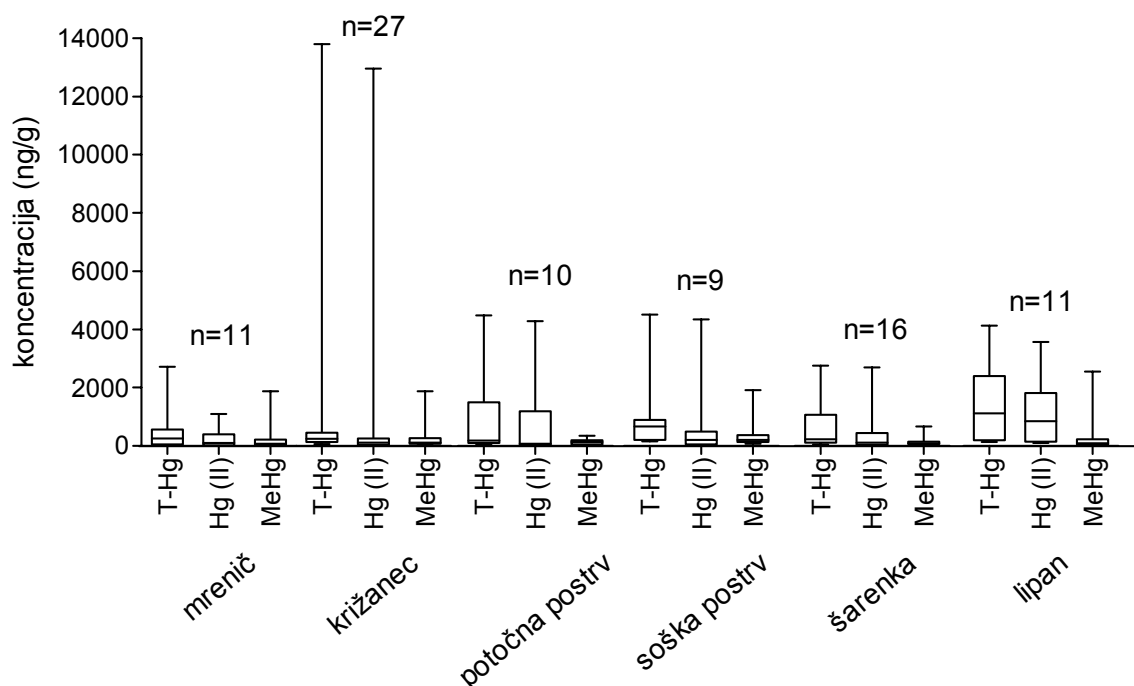
- CV – certificirana vrednost (4640 ± 260 ng/g)
- MN (+) – zgornja meja 95 % zanesljivosti
- MN (-) – spodnja meja 95 % zanesljivosti

3 REZULTATI

Rezultati smo razdelili na tri dele. V prvem delu smo prikazali koncentracije živega srebra v možganih rib z različnih vzorčnih mest, v drugem delu smo prikazali spreminjanje koncentracij živega srebra v možganih rib po vzorčnih mestih znotraj vsake vrste, v tretjem delu pa smo prikazali korelacije med koncentracijo Hg (T-Hg, Hg (II) in MeHg) v možganih in koncentracijami Hg v drugih organih rib. Pri tem smo uporabili podatke iz predhodne raziskave (Naglič, 2005). V omenjeni raziskavi je bilo nekaj rib napačno določenih, kar smo za našo analizo popravili in upoštevali pri nadaljnjem računanju.



Slika 21: Razlaga grafa »box and whiskers«.



Slika 22: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih vseh rib z vseh vzorčnih mest

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

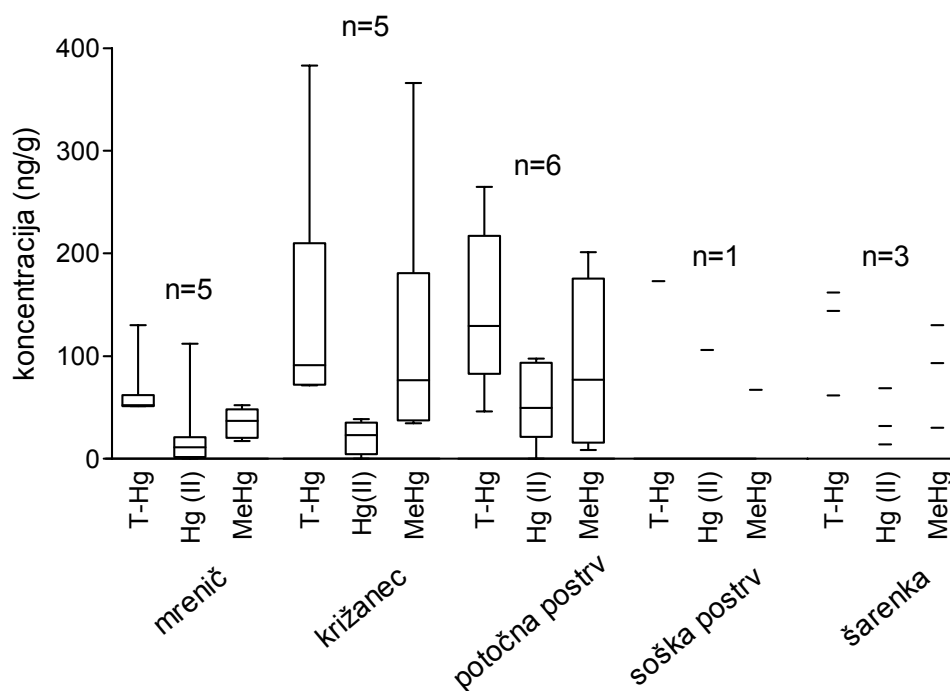
MeHg – metil živo srebro

3.1 KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V MOŽGANIH RIB NA RAZLIČNIH VZORČNIH MESTIH

3.1.1 Vzorčno mesto 1: Idrijca nad pritokom Bele

Na prvem vzorčnem mestu je bilo odlovljenih pet predstavnikov vrste mrenič, tri šarenke, ena soška postrv, pet križancev in šest potočnih postrvi. Predstavnik soške postrvi je bil samo eden, zato so podatki samo zanj. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri vseh odlovljenih ribah.

Najvišjo koncentracijo celokupnega živega srebra (T-Hg) sem izmerila pri križancu (383 ng/g), najnižjo pa pri potočni postrvi (46,2 ng/g). Koncentracije živega srebra v metilirani obliki (MeHg) so sledile koncentracijam T-Hg; najnižjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri potočni postrvi (8,6 ng/g), najvišjo pa pri križancu (366 ng/g).



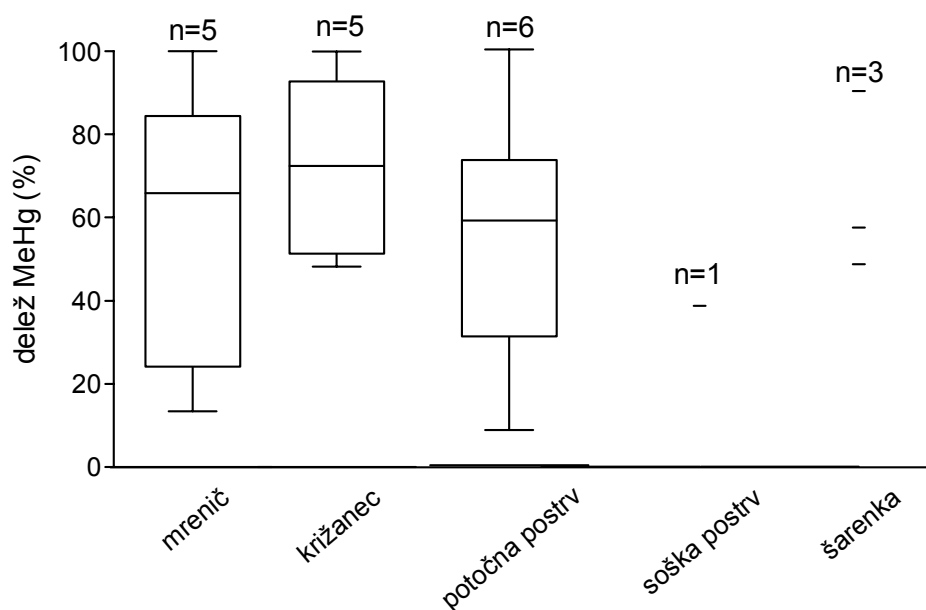
Slika 23: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM1

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Delež MeHg je bil najvišji pri enem od križancev in enem od mreničev (100 %), najnižji pa pri osebku potočne postrvi (8,5 %).



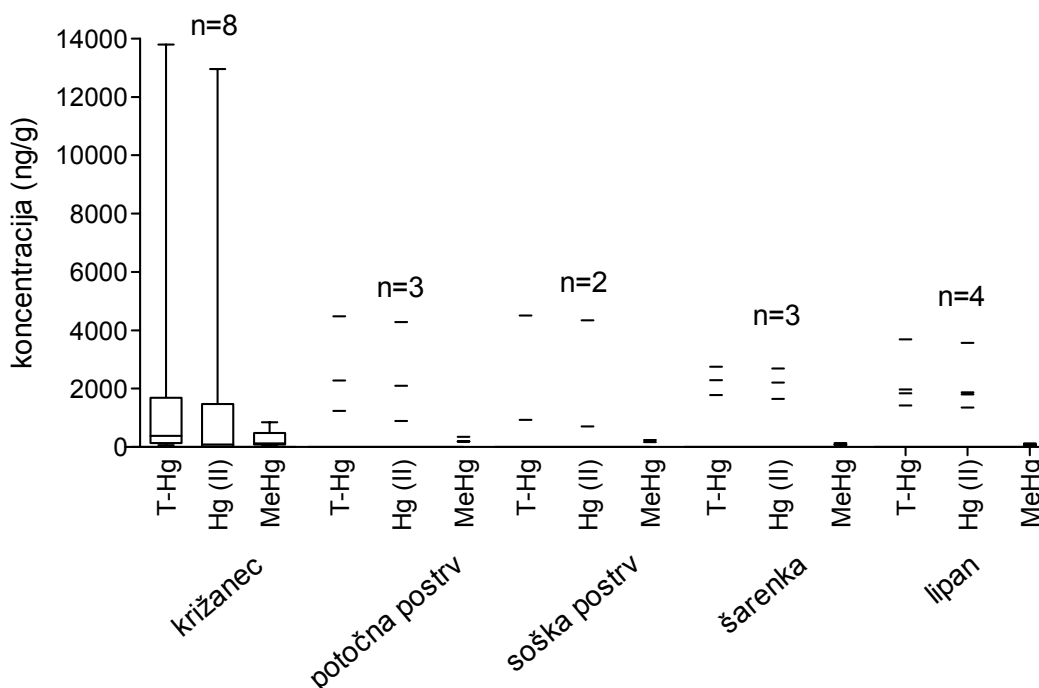
Slika 24: Delež MeHg v možganih rib z VM1

3.1.2 Vzorčno mesto 2: Idrija pri Kolektorju

Na drugem vzorčnem mestu so bili odvzeti predstavniki naslednjih vrst: tri šarenke, devet križancev, dve soški postrvi, štiri potočne postrvi in pet lipanov. Pri pregledu terenske beležke sem ugotovila, da je bilo pet šarenk napačno določenih in da gre dejansko za križance, kar sem popravila in upoštevala pri izračunu. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri vseh šarenkah, osmih križancih, obeh soških postrvih, treh potočnih postrvih in štirih lipanih.

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri križancu (13800 ng/g), najnižjo pa prav tako pri križancu (53,7 ng/g). Koncentracije T-Hgna tem vzorčnem mestu so bile precej višje kot na prvem, večje so bile tudi razlike znotraj vrste (križanec 53,7 ng/g-13800 ng/g) in med vrstami.

Koncentracije MeHg so bile precej nižje od koncentracij T-Hg. Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri križancu (845 ng/g), najnižjo pa pri lipanu (40,3 ng/g).

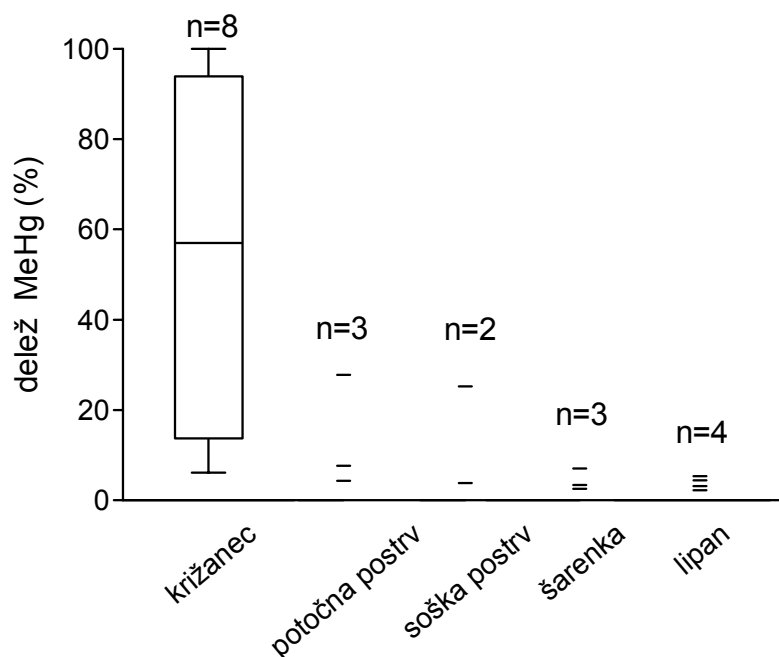


Slika 25: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM2

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – divalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro



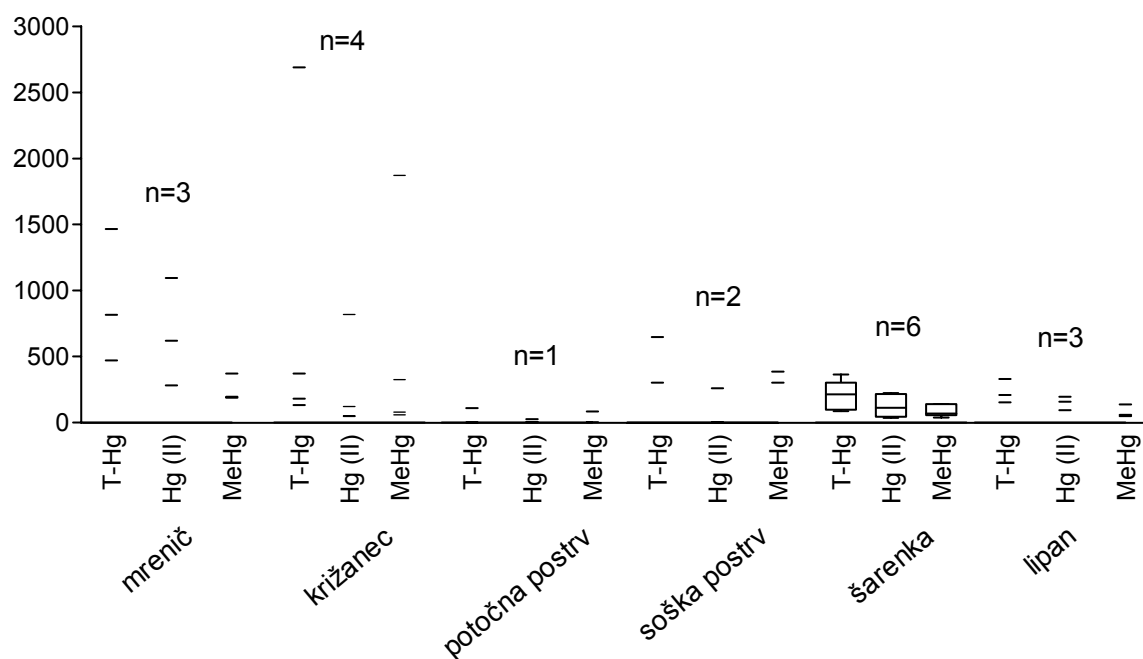
Slika 26: Delež MeHg v možganih rib z VM2

Delež MeHg v možganih je bil na tem vzorčnem mestu najnižji, izstopal je le križanec.

3.1.3 Vzorčno mesto 3: Kozarska Grapa

Na tretjem vzorčnem mestu so bili odvzeti predstavniki naslednjih vrst: šest predstavnikov vrste mrenič, šest šarenk, tri soške postrvi, pet križancev, dve potočni postrvi in trije lipani. Pri določenih posameznikih ni bilo vzorcev možgan, zato tam seveda nisem mogla izmeriti vsebnosti živega srebra. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri treh mreničih, vseh šarenkah, štirih križancih, dveh soških postrvih, eni potočni postrvi in treh lipanih.

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri križancu (2689 ng/g), najnižjo pa pri šarenki (85,4 ng/g). Najvišjo koncentracijo MeHg sem prav tako izmerila pri križancu (1872 ng/g), najnižjo pa pri šarenki (39,3 ng/g).

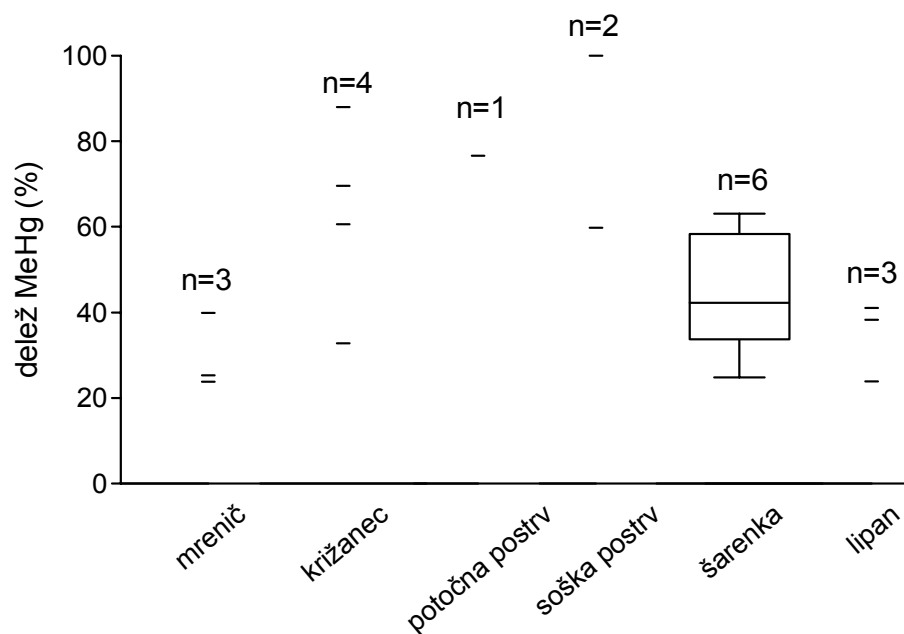


Slika 27: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM3

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro



Slika 28: Delež MeHg v možganih rib z VM3

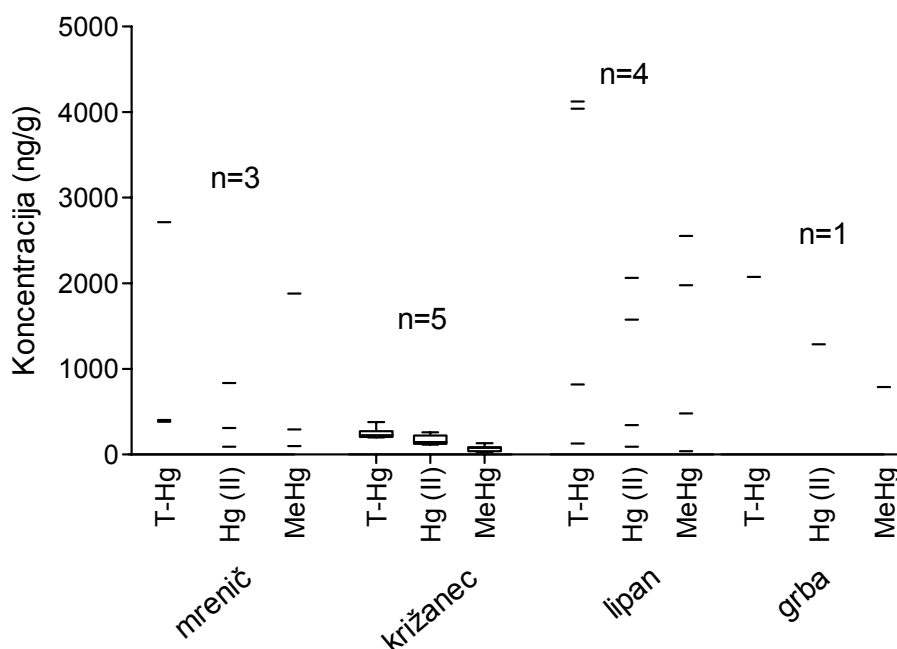
Vsebnost MeHg je bila visoka, precej višja kot na vzorčnem mestu 2. Najvišji delež MeHg je imela potočna postrv (100 %), najnižjega pa mrenič (23,8 %).

3.1.4 Vzorčno mesto 4: Bača pri Modreju

Na četrtem vzorčnem mestu je bilo odlovljenih pet predstavnikov vrste mrenič, dve grbi, sedem križancev in štirje lipani. Ob pregledu terenske beležke sem ugotovila, da je bilo nekaj osebkov napačno določenih. Napačno določene šarenke so bile namreč križanci, zato predstavnikov vrste šarenka na tem vzorčnem mestu ni. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri treh mreničih, petih križancih, štirih lipanih in eni grbi. Zaradi možne kontaminacije vzorca po merjenju MeHg pri križancu 4K1 T-Hg nisem izmerila in podatka o koncentraciji MeHg pri nadaljnjem računanju nisem upoštevala.

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri lipanu (4124 ng/g), najnižjo pa prav tako pri lipanu (126 ng/g), pri katerem je bil tudi največji razpon koncentracij T-Hg (126 ng/g-4124 ng/g).

Tudi najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri lipanu (2551 ng/g), najnižjo pa pri križancu (26,3 ng/g). Pri lipanu je bil tudi največji razpon koncentracije MeHg (477 ng/g-2551 ng/g).

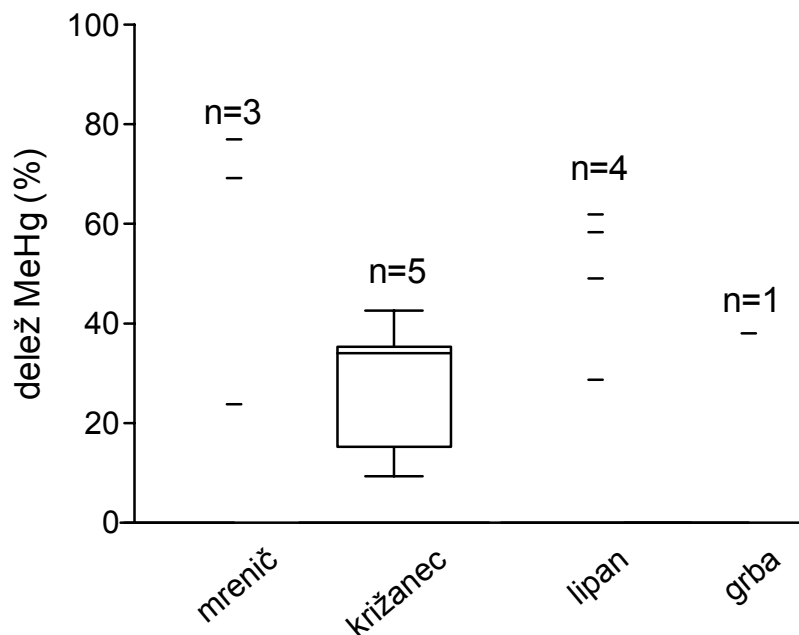


Slika 29: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM4

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – divalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro



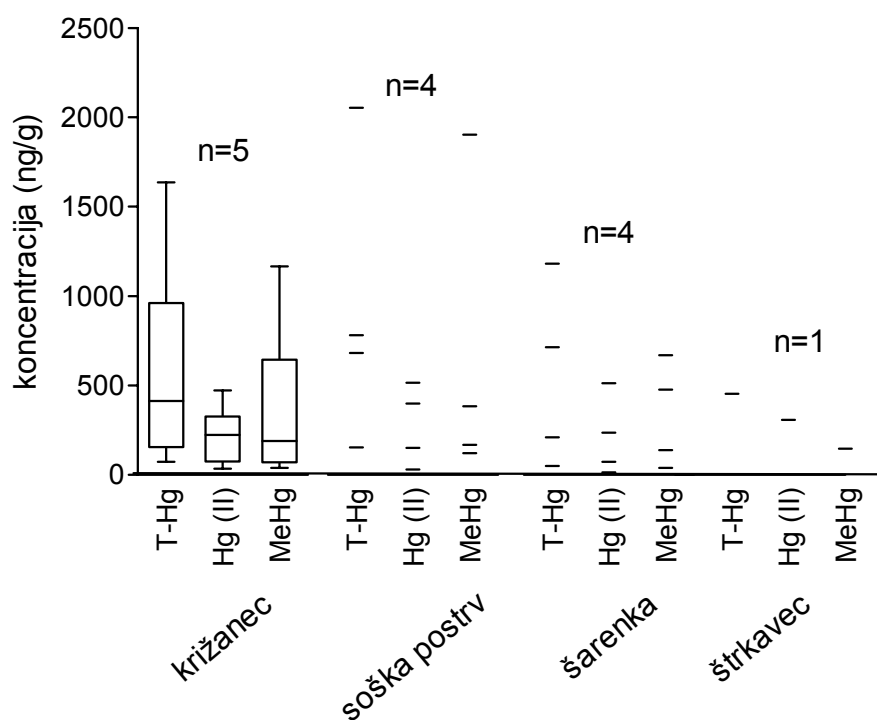
Slika 30: Delež MeHg v možganih rib z VM4

Delež MeHg je bil največji pri mreniču (77 %), najnižji pa pri križancu (9,3 %).

3.1.5 Vzorčno mesto 5: Most na Soči

Na petem vzorčnem mestu so bile odlovljene štiri šarenke, štrkavec, štiri soške postrvi in pet križancev. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri vseh odlovljenih ribah.

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri soški postrvi (2054 ng/g), najnižjo pa pri šarenki (49,2 ng/g).



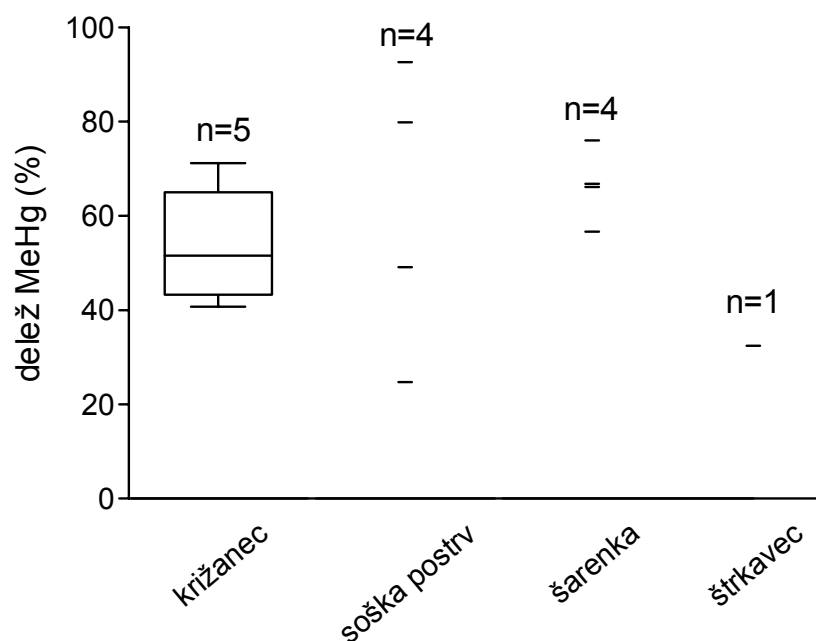
Slika 31: Koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih rib z VM5

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri soški postrvi (1903 ng/g), najnižjo pri križancu (37,2 ng/g).



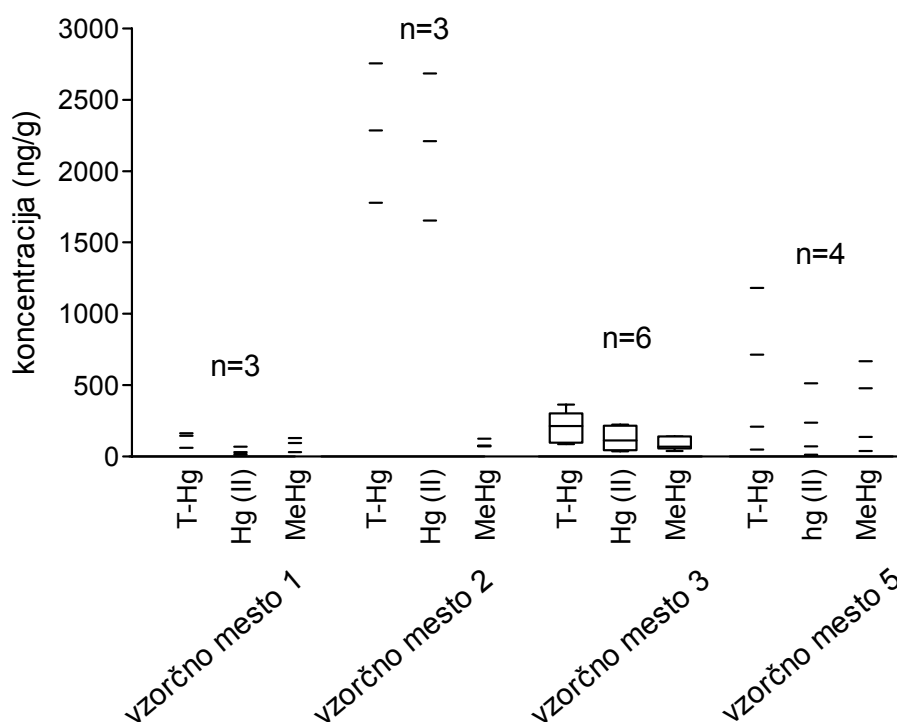
Slika 32: Delež MeHg v možganih rib z VM5

Najvišji delež MeHg sem izmerila pri soški postrvi (92,6 %), najnižjega pa prav tako pri soški postrvi (24,7 %).

3.2 KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V MOŽGANIH RAZLIČNIH VRST RIB

3.2.1 Šarenka (*Onchorhynchus mykiss*)

Odlovljenih je bilo 16 šarenk na štirih vzorčnih mestih. Ob pregledu terenske beležke sem ugotovila, da so bile nekatere šarenke z drugega in vse s četrtega vzorčnega mesta napačno določene in da gre za križance, zato podatkov s četrtega vzorčnega mesta ni. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri vseh odlovljenih šarenkah.



Slika 33: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih šarenk

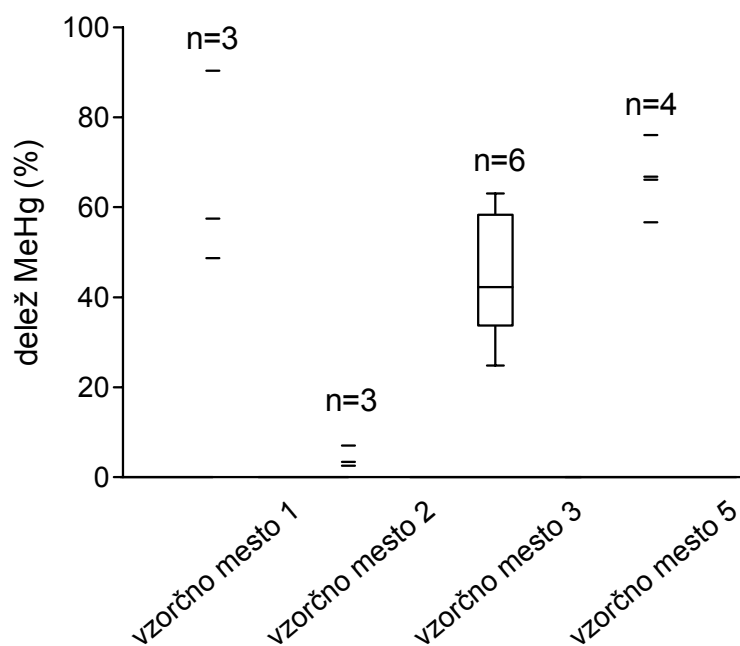
T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišja izmerjena koncentracija T-Hg je bila na drugem vzorčnem mestu, in sicer 2755 ng/g, najnižja pa na petem, 49,2 ng/g.

Koncentracije MeHg so bile na prvih treh vzorčnih mestih podobne in nizke, na petem vzorčnem mestu pa precej višje. Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri osebk s petega (669 ng/g), najnižjo pa pri osebk s prvega vzorčnega mesta (30,1 ng/g).

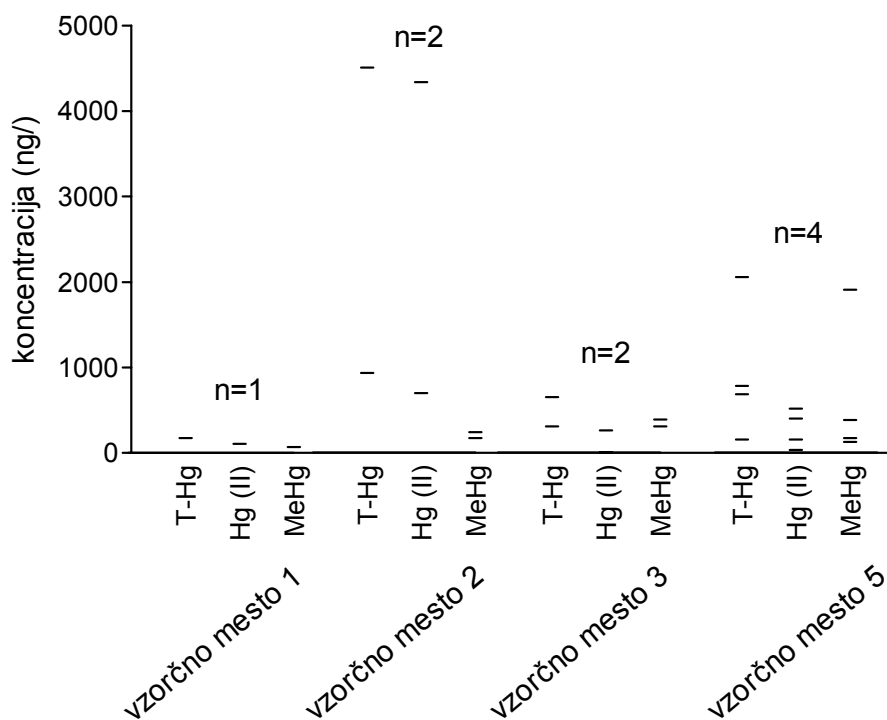


Slika 34: Delež MeHg v možganih šarenk

Delež MeHg je bil najnižji na drugem vzorčnem mestu (~4 %). Najvišji delež MeHg je bil pri šarenki s prvega vzorčnega mesta (90 %), najnižji pa pri šarenki na drugem vzorčnem mestu (2,5 %).

3.2.2 Soška postrv (*Salmo marmoratus*)

Odlovljenih je bilo 10 soških postrvi na štirih vzorčnih mestih. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri devetih osebkih..



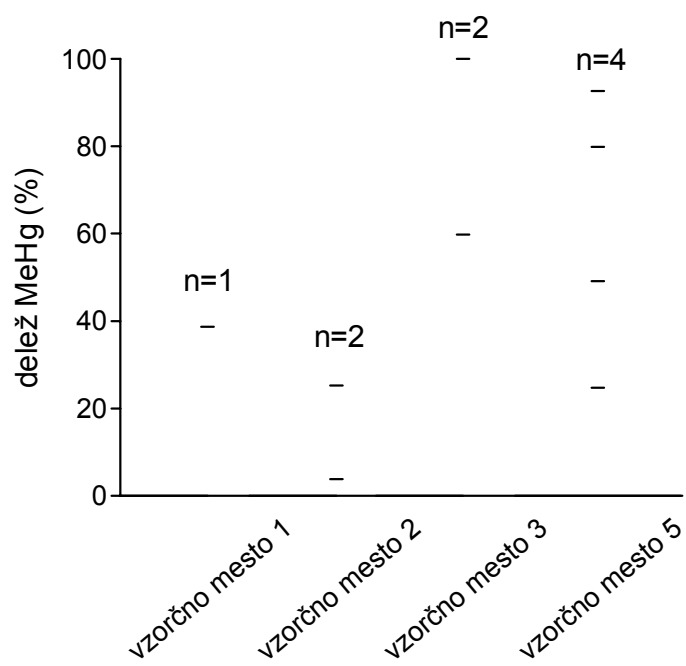
Slika 35: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih soških postrvi

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri osebkju z drugega vzorčnega mesta (4505 ng/g), najnižjo pa pri osebkju s petega vzorčnega mesta (152 ng/g). Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri osebkju s tretjega vzorčnega mesta (387 ng/g), najnižjo pa pri osebkju s prvega vzorčnega mesta (67,1 ng/g).

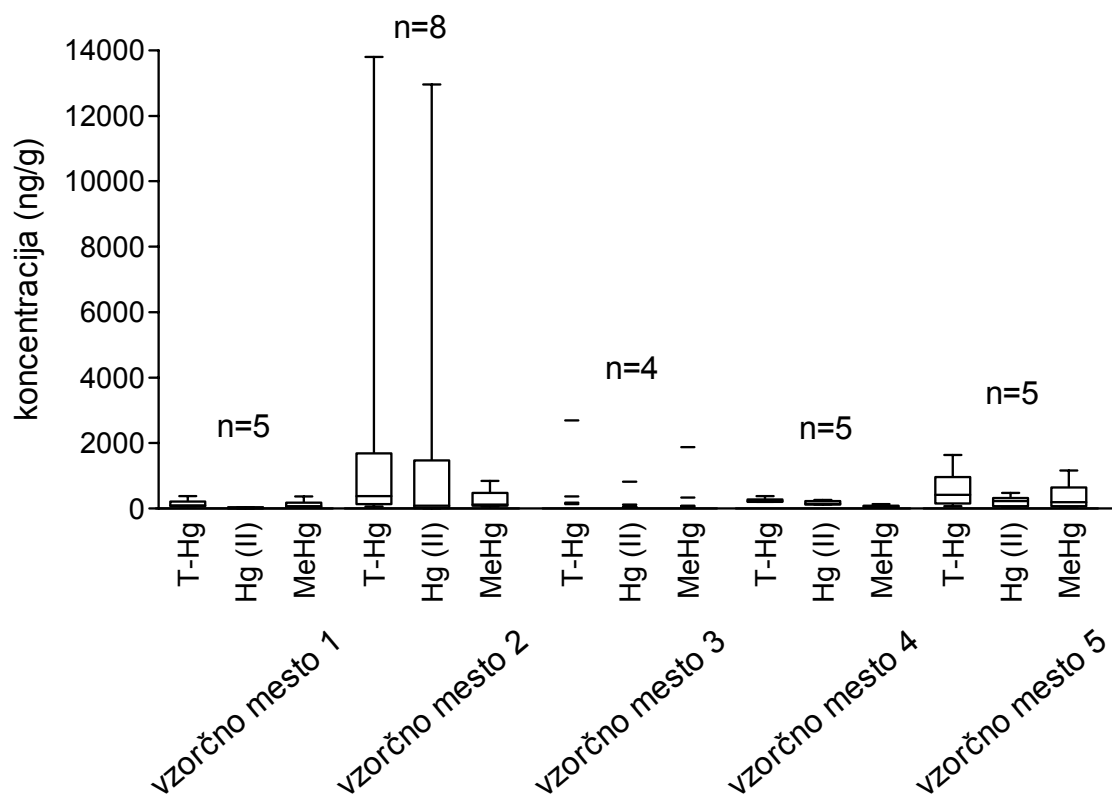


Slika 36: Delež MeHg v možganih soških postrvi

Najvišji delež MeHg je bil pri soški postrvi s petega vzorčnega mesta (79,8 %), najnižji pri soški postrvi z drugega vzorčnega mesta (3,8 %).

3.2.3 Križanec (*Salmo sp.*)

Na petih vzorčnih mestih je bilo odlovljenih skupno 31 križancev. Na drugem in četrtem vzorčnem mestu je bilo nekaj križancev pomotoma določenih kot šarenke. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri 27 osebkih.



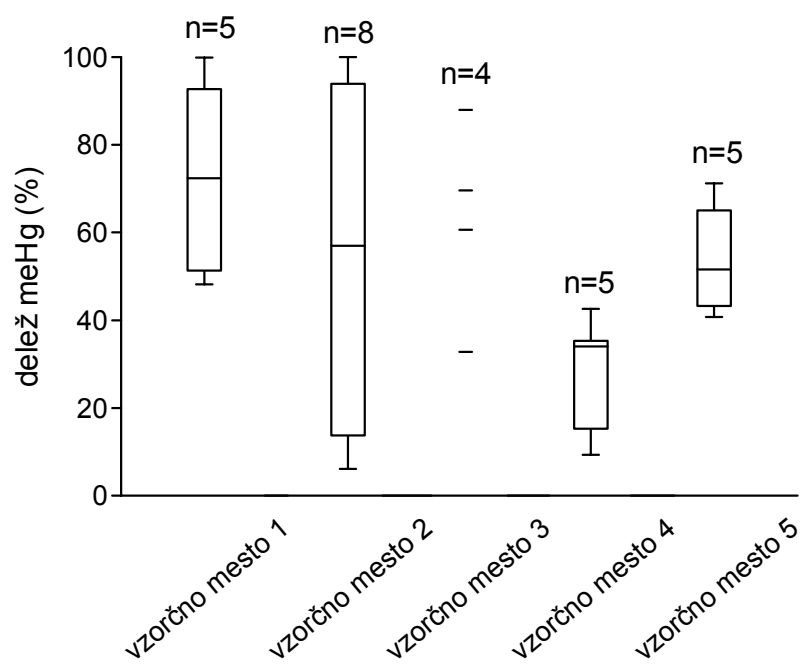
Slika 37: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih križancev

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri osebkem z drugega vzorčnega mesta (13800 ng/g), najnižjo pa prav tako pri osebkem z drugega vzorčnega mesta (53,7 ng/g). Najnižjo izmerjeno koncentracijo MeHg je imel osebek s četrtega vzorčnega mesta (26,3 ng/g), najvišjo pa osebek s petega (1872 ng/g).

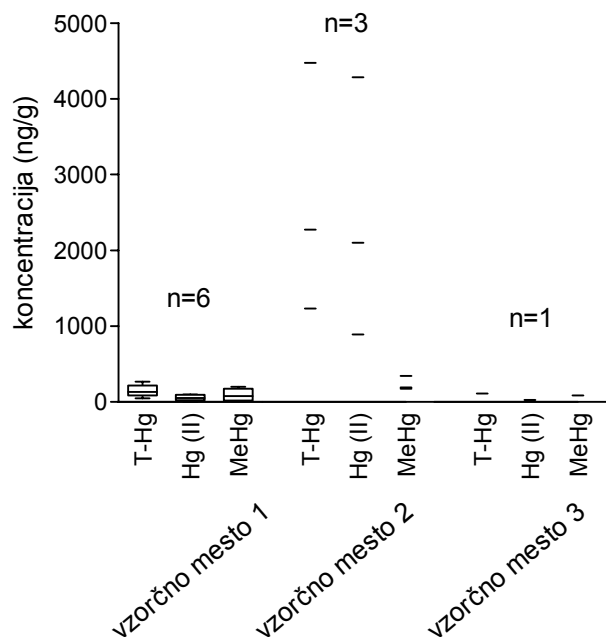


Slika 38: Delež MeHg v možganih križancev

Najvišji delež MeHg je imel osebek na prvem vzorčnem mestu (99 %), najnižjega pa osebek s četrtega vzorčnega mesta (9,3 %).

3.2.4 Potočna postrv (*Salmo trutta fario*)

Na prvem, drugem in tretjem vzorčnem mestu je bilo skupno odlovljenih 12 potočnih postrvi. Podatkov s četrtega in petega vzorčnega mesta ni, saj tam ni bil odlovljen noben osebek. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri 10 osebkih.



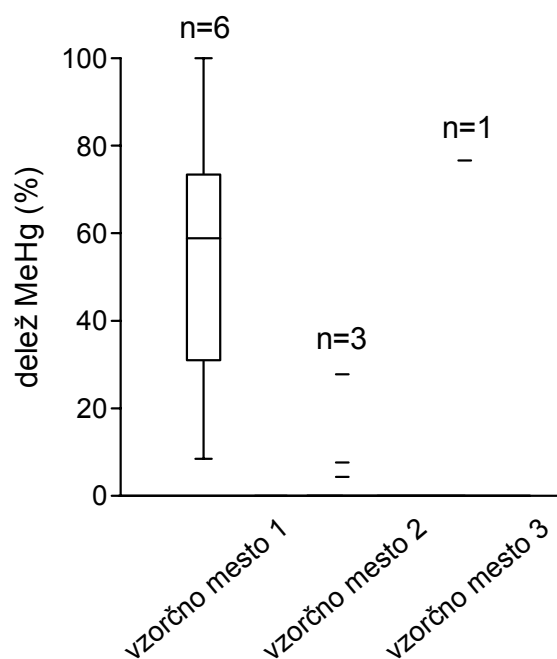
Slika 39: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih potočnih postrvi

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – divalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri osebku z drugega vzorčnega mesta (4475 ng/g), najnižjo pri osebku s prvega (46,2 ng/g). Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri osebku na drugem vzorčnem mestu (342 ng/g), najnižjo pa pri osebku na tretjem (17,8 ng/g).

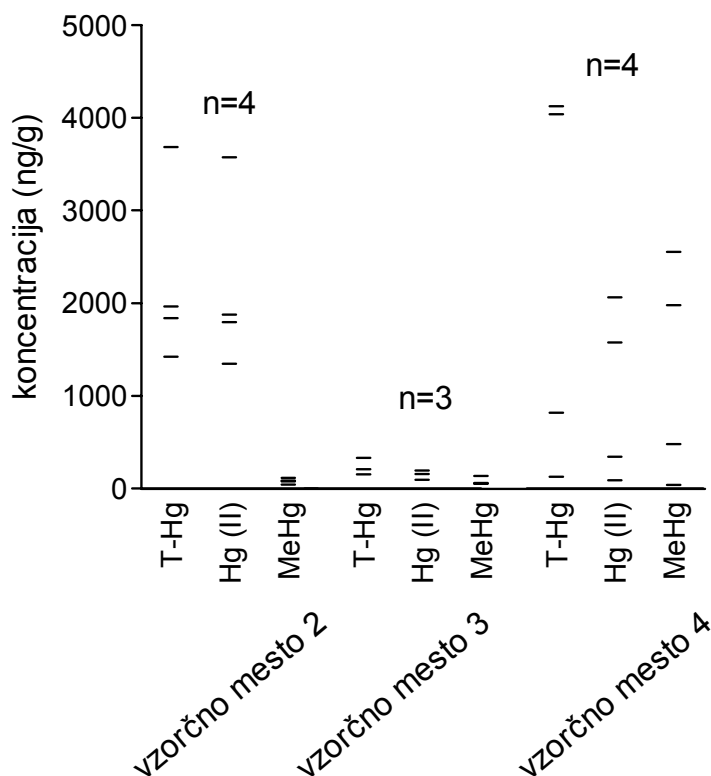


Slika 40: Delež MeHg v možganih potočnih postrvi

Delež MeHg je bil najvišji pri osebkcu na prvem vzorčnem mestu (100 %), najnižji pa pri osebkcu na drugem (4,3 %).

3.2.5 Lipan (*Thymallus thymallus*)

Na treh vzorčnih mestih je bilo odvzetih dvanajst lipanov. Na četrtem in petem vzorčnem mestu ni bil odvzet noben lipan, zato podatkov ni. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri 11 osebkih.



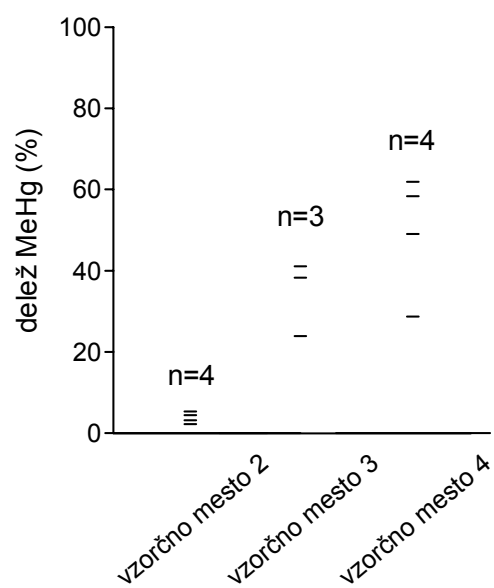
Slika 41: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih lipanov

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri osebkju s četrtega vzorčnega mesta (4124 ng/g), najnižjo prav tako pri osebkju s četrtega (126 ng/g). Tudi najvišja izmerjena koncentracija MeHg (2551 ng/g) in najnižja (36,1 ng/g) sta se pojavili na četrtem vzorčnem mestu.

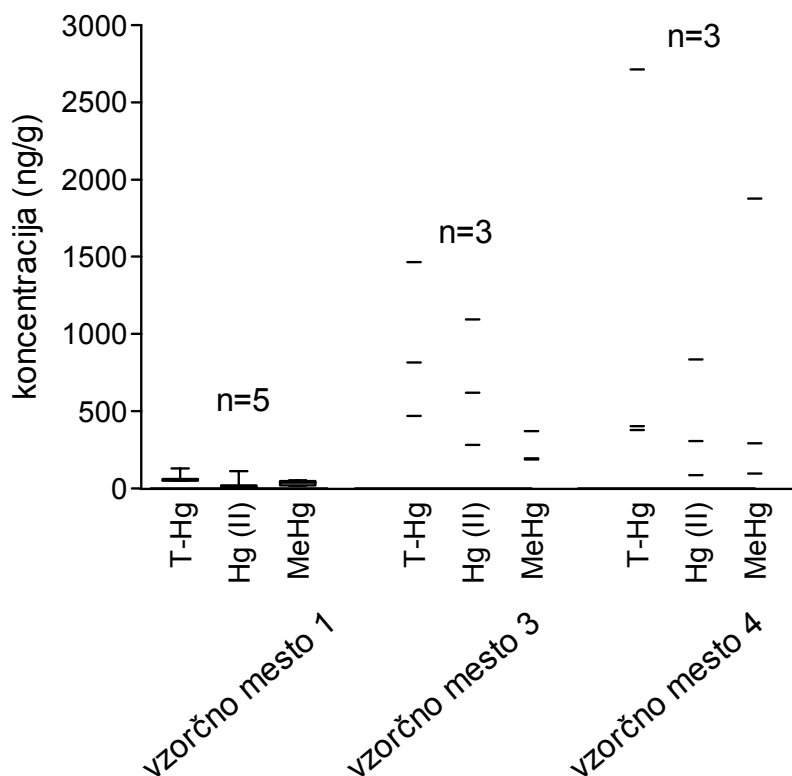


Slika 42: Delež MeHg v možganih lipanov

Delež MeHg je bil najvišji pri osebkcu s četrtega vzorčnega mesta (61,9 %), najnižji pa pri osebkcu z drugega vzorčnega mesta (2,2 %).

3.2.6 Mrenič (*Barbus meridionalis caninus*)

Na treh vzorčnih mestih je bilo odvzetih 16 predstavnikov vrste mrenič. Analize koncentracij Hg v možganih smo opravili pri 11 osebkih. Na drugem in petem vzorčnem mestu ni bil odvzet noben predstavnik vrste.



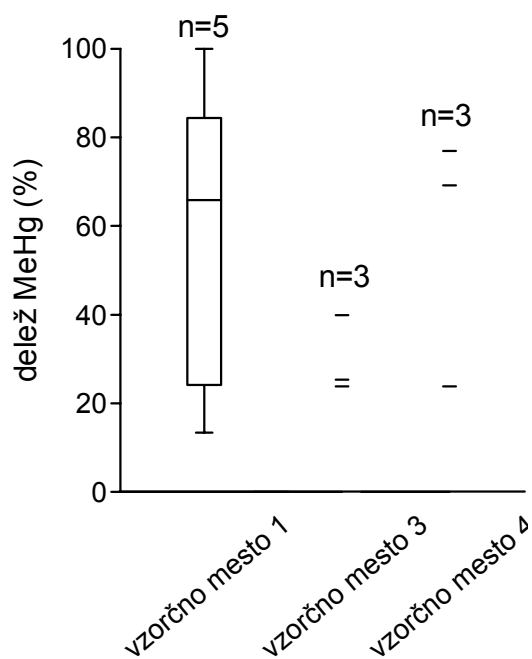
Slika 43: Koncentracija T-Hg, Hg (II) in MeHg v možganih mreničev

T-Hg – celokupno živo srebro

Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro

MeHg – metil živo srebro

Najvišjo koncentracijo T-Hg sem izmerila pri osebkju s četrtega vzorčnega mesta (2713 ng), najnižjo pa pri osebkju s prvega vzorčnega mesta (51 ng/g). Najvišjo koncentracijo MeHg sem izmerila pri osebkju s četrtega vzorčnega mesta (1878 ng/g), najnižjo pri osebkju s prvega (17,4 ng/g).



Slika 44: Delež MeHg v možganih mreničev

Najvišji in najnižji delež MeHg je bil pri osebkih s prvega vzorčnega mesta (100 % in 13,4 %).

3.3 KORELACIJE

Primerjali smo težo rib, koncentracije T-Hg, Hg (II) in MeHg v različnih organih rib ter težo in dolžino osebkov znotraj posamezne vrste rib. Pri računanju koeficienta korelacije po Pearsonu smo uporabili program XLS Statistics (Carr, 2009). Rezultate smo predstavili v preglednicah, pri čemer zgornja vrednost predstavlja koeficient korelacije (r), spodnja pa stopnjo tveganja (p). Koeficient korelacije po Pearsonu ima lahko vse vrednosti med -1 (maksimalna negativna korelacija) in +1 (maksimalna pozitivna korelacija). Če je vrednost koeficienta 0, to pomeni, da med spremenljivkama ni povezanosti. Za šibko je označena korelacija s korelacijskim koeficientom $r < 0,5$, kot srednje močna s koeficientom $0,5 < r < 0,8$, kot močna pa s koeficientom $r > 0,8$ (Hunt in sod., 2002). Vrednost p pomeni stopnjo tveganja. Če je stopnja tveganja manjša od 0,05, lahko rečemo, da je korelacija statistično značilna s 5-odstotnim tveganjem. Pri računanju smo upoštevali vse rezultate, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Izbrane korelacije so v našem primeru korelacije med koncentracijo različnih oblik Hg v možganih in mišicah, koncentracijo različnih oblik Hg v možganih in jetrih, koncentracijo različnih oblik Hg v možganih in škrgah rib ter korelacije med težo ribe in koncentracijami različnih oblik Hg.

Pri analizi podatkov se je izkazalo, da podatki o koncentraciji Hg (predvsem T-Hg in Hg (II)) v možganih rib z vzorčnega mesta 2 močno izstopajo. Zato smo korelacije med koncentracijami Hg v možganih in drugih organih rib izračunali trikrat:

- z upoštevanjem podatkov z vseh vzorčnih mest,
- z upoštevanjem podatkov z vseh vzorčnih mest razen z drugega,
- z upoštevanjem podatkov samo z drugega vzorčnega mesta.

S tem smo želeli ugotoviti kolikšen je vpliv podatkov o koncentraciji Hg (predvsem T-Hg in Hg (II)) v možganih rib z drugega vzorčnega mesta na korelacije.

3.3.1 Šarenka (*Onchorhynchus mykiss*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Preglednica 11: Vse korelacije pri šarenki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	-0,0884 0,6276											
Hg (II) Mo	-0,2220 0,7956	0,9798* <0,001										
MeHg Mo	0,6551* 0,0029	0,1542 0,2843	-0,0465 0,5679									
T-Hg M	0,4131 0,0629	0,4619* 0,0415	0,2858 0,1509	0,8861* <0,001								
Hg II M	-0,4511 0,9543	0,8554* <0,001	0,9039* <0,001	-0,2197 0,7843	0,1821 0,2580							
MeHg M	0,5861* 0,0108	0,1278 0,3250	-0,0663 0,5928	0,9670* <0,001	0,9244* <0,001	-0,2067 0,7701						
T-Hg J	-0,1324 0,6875	0,9861* <0,001	0,9707* <0,001	0,1301 0,3156	0,4751* 0,0368	0,8922* <0,001	0,1266 0,3265					
Hg (II) J	-0,4223 0,9337	0,9275* <0,001	0,9758* <0,001	-0,2295 0,7850	0,1477 0,3071	0,9480* <0,001	-0,2160 0,7708	0,9413* <0,001				
MeHg J	0,4953* 0,0359	0,2265 0,2180	0,0420 0,4433	0,9126* <0,001	0,9441* <0,001	-0,1159 0,6534	0,9782* 0,0000	0,2298 0,2147	-0,1121 0,6486			
T-Hg Š	-0,2266 0,8006	0,9664* <0,001	0,9875* 0,0000	-0,0516 0,5752	0,2827 0,1536	0,9109* <0,001	-0,0721 0,6007	0,9736* <0,001	0,9828* <0,001	0,0295 0,4601		
Hg (II) Š	-0,4056 0,9249	0,9252* <0,001	0,9730* 0,0000	-0,2272 0,7826	0,1334 0,3247	0,9104* <0,001	-0,2157 0,7706	0,9314* <0,001	0,9885* <0,001	-0,1078 0,6431	0,9897* <0,001	
MeHg Š	0,4598* 0,0491	0,2348 0,2095	0,0569 0,4234	0,8800* <0,001	0,9335 <0,001	-0,0537 0,5723	0,9439* <0,001	0,2460 0,1983	-0,0812 0,6087	0,9594* <0,001	0,0298 0,4597	-0,1133 0,6501

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 16 osebkov (n=16),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 15 osebkov (n=15),
- T-Hg v jetrih in možganih 16, Hg (II) in MeHg pa 14 osebkov (n=14),
- T-Hg v škrgah in možganih 16, Hg (II) in MeHg pa 14 osebkov (n=13).

Korelacije med koncentracijami Hg v možganih in drugih organih so se izkazale za statistično značilne, pri primerjavi teže in koncentracije Hg v možganih pa je bila statistično značilna korelacija le pri koncentraciji MeHg.

Preglednica 12: Izbrane korelacije pri šarenki z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	-0,0884 0,6276	0,4619* 0,0415			0,9861* <0,001			0,9664* <0,001		
možgani Hg (II)	-0,2220 0,7956		0,9039* <0,001			0,9758* <0,001			0,9730* <0,001	
možgani MeHg	0,6551* 0,0029			0,9670* <0,001			0,9126* <0,001			0,8800* <0,001

Pri izbranih korelacijah, kjer smo izpustili podatke o teži in koncentraciji Hg v ribah z VM2, smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 13 osebkov (n=13),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 12 osebkov (n=12),
- T-Hg v jetrih in možganih 13, Hg (II) in MeHg pa 11 osebkov (n=11),
- T-Hg v škrgah in možganih 13, Hg (II) in MeHg pa 11 osebkov (n=11).

Preglednica 13: Izbrane korelacije pri šarenki brez podatkov z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

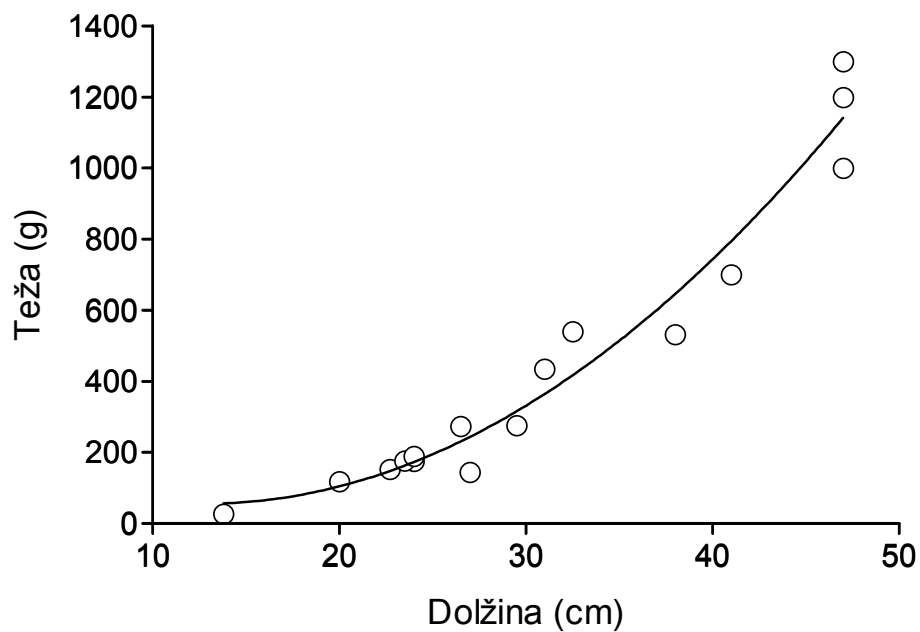
	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,5999* 0,0151	0,9732* <0,001			0,9469* <0,001			0,8968* <0,001		
možgani Hg (II)	0,4830* 0,0473		0,1310 0,3424			0,1055 0,3788			-0,0259 0,5301	
možgani MeHg	0,6499* 0,0081			0,9658* <0,001			0,9214* <0,001			0,9198* <0,001

Pri izbranih korelacijah, kjer smo upoštevali samo podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali podatke treh osebkov.

Preglednica 14: Izbrane korelacije pri šarenki samo s podatki z VM2.

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,9305 0,1193	-0,9437 0,8927			0,9678 0,0810			0,7530 0,2286		
možgani Hg (II)	0,9226 0,1260		-0,7419 0,7661			0,9353 0,1151			0,6777 0,2630	
možgani MeHg	-0,7302 0,7606			0,9736 0,0732			-0,9994 0,9892			-0,0781 0,5249

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki ($n=16$). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2 = 0,9563$).



Slika 45: Korelacija med dolžino in težo ribe pri šarenkah

3.3.2 Soška postrv (*Salmo marmoratus*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Preglednica 15: Vse korelacije pri soški postrvi z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	-0,2264 0,7210											
Hg (II) Mo	-0,2347 0,7284	0,9152* 0,0003										
MeHg Mo	0,0152 0,4845	0,2264 0,2790	-0,1853 0,6834									
T-Hg M	0,6857* 0,0143	0,1240 0,3753	-0,1302 0,6308	0,6171* 0,0383								
Hg II M	-0,2636 0,7359	0,4570 0,1275	0,5542 0,0770	-0,2511 0,7257	0,0332 0,4689							
MeHg M	0,6857* 0,0302	-0,1337 0,6239	-0,3959 0,8342	0,6458* 0,0418	0,9478* <0,001	-0,2872 0,7548						
T-Hg J	-0,0576 0,5628	0,8460* 0,0020	0,8675* 0,0012	-0,0338 0,5344	0,2498 0,2432	0,7884* 0,0100	-0,1774 0,6628					
Hg (II) J	-0,1826 0,6524	0,0288 0,4784	0,6963 0,0622	-0,2230 0,6645	0,1424 0,3803	0,9215* 0,0045	-0,2619 0,6920	0,8719 0,0053				
MeHg J	0,6444 0,0591	0,6862 0,0661	0,3092 0,2755	0,5295 0,1400	0,9307* 0,0012	-0,1486 0,6106	0,9744* <0,001	0,4722 0,1423	-0,0198 0,5168			
T-Hg Š	0,1093 0,3898	0,4111 0,1558	0,6785* 0,0322	0,1402 0,3703	0,4967 0,0869	0,7531* 0,0253	0,1435 0,3795	0,9579* 0,0000	0,9147* 0,0019	0,3701 0,2069		
Hg (II) Š	-0,2079 0,6894	0,3473 0,2226	0,4796 0,1381	0,1457 0,3777	0,3005 0,2348	0,7295* 0,0314	0,0023 0,4980	0,8753* 0,0022	0,9243* 0,0015	0,2191 0,3184	0,9670* 0,0000	
MeHg Š	0,8964* 0,0013	-0,0474 0,5402	0,6103 0,0728	-0,2975 0,7415	0,5510 0,0785	0,0245 0,4792	0,5360 0,1075	0,2747 0,2551	-0,0696 0,5590	0,5935 0,0800	0,0888 0,4172	-0,1679 0,6545

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 9 osebkov (n=9),
- T-Hg mišicah in možganih 9, Hg (II), MeHg pa 8 osebkov (n=8),
- T-Hg v jetrih in možganih 9, Hg (II) in MeHg pa 6 osebkov (n=6),
- T-Hg v škrgah in možganih 8, Hg (II) in MeHg pa 7 osebkov (n=7).

Korelacije pri soški postrvi niso bile statistično značilne, razen pri koncentraciji MeHg v mišicah in koncentraciji T-Hg v jetrih.

Preglednica 16: Izbrane korelacije pri soški postrvi z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	-0,2264 0,7210	0,1240 0,3753			0,8460* 0,0020			0,4111 0,1558		
možgani Hg (II)	-0,2347 0,7284		0,5542 0,0770			0,6963 0,0622			0,4796 0,1381	
možgani MeHg	0,0152 0,4845			0,6458* 0,0418			0,5295 0,1400			-0,2975 0,7415

Pri primerjavi, kjer smo izpustili podatke o teži in koncentraciji Hg v ribah z VM2, smo primerjali naslednje:

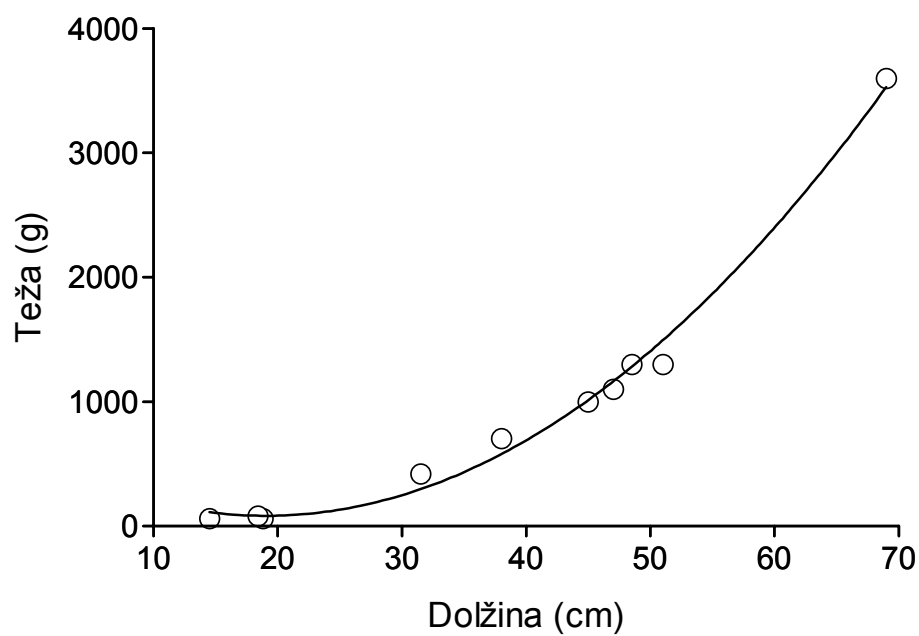
- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 7 osebkov (n=7),
- T-Hg mišicah in možganih 7, Hg (II), MeHg pa 6 osebkov (n=6),
- T-Hg v jetrih in možganih 7, Hg (II) in MeHg pa 5 osebkov (n=5),
- T-Hg v škrgah in možganih 7, Hg (II) in MeHg pa 6 osebkov (n=6).

Preglednica 17: Izbrane korelacije pri soški postrvi brez podatkov z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,1802 0,3495	0,8177* 0,0123			0,7779* 0,0197			0,7105* 0,0368		
možgani Hg (II)	0,7752* 0,0203		0,3785 0,2297			-0,1395 0,5885			-0,5118 0,8503	
možgani MeHg	-0,0475 0,5402			0,6268 0,0915			0,5341 0,1769			-0,3103 0,7252

Korelacije pri soški postrvi samo s podatki o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2 zaradi premajhnega števila podatkov ni bilo mogoče izračunati.

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki (n=10). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2 = 0,9919$).



Slika 46: Korelacija med dolžino in težo ribe pri soških postrvih

3.3.3 Križanec (*Salmo sp.*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Preglednica 18: Vse korelacije pri križancu (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	0,2014 0,1569											
Hg (II) Mo	0,0988 0,3119	0,9883* <0,001										
MeHg Mo	0,6757* <0,001	0,4512* 0,0091	0,3095 0,0581									
T-Hg M	0,4651* 0,0042	0,9405* <0,001	0,8854* <0,001	0,6814* <0,001								
Hg II M	0,1311 0,2489	0,9768* <0,001	0,9719* <0,001	0,4004* 0,0237	0,8799* <0,001							
MeHg M	0,7245* <0,001	0,4181* 0,0188	0,2877 0,0815	0,9240* <0,001	0,6642* <0,001	0,2294 0,1157						
T-Hg J	0,0743 0,3456	0,9808* <0,001	0,9923* 0,0000	0,3085 0,0587	0,8512* <0,001	0,9577* <0,001	0,2382 0,1067					
Hg (II) J	-0,0551 0,5961	0,9688* <0,001	0,9908* <0,001	0,2109 0,2004	0,8162* <0,001	0,9641* <0,001	0,1131 0,3127	0,9958* 0,0000				
MeHg J	0,6524* <0,001	0,5497* 0,0091	0,4399* 0,0339	0,8625* <0,001	0,7401* <0,001	0,3735* 0,0477	0,9452* <0,001	0,3959* 0,0341	0,3098 0,0803			
T-Hg Š	-0,0436 0,5922	0,7778* <0,001	0,8005* <0,001	0,1646 0,2060	0,6386* <0,001	0,7579* <0,001	0,1077 0,2891	0,8588* <0,001	0,8590* <0,001	0,2579 0,1232		
Hg (II) Š	-0,0412 0,5758	0,7784* <0,001	0,7876* <0,001	0,2961 0,0963	0,6818* <0,001	0,7863* <0,001	0,0939 0,3388	0,8426* <0,001	0,8434* <0,001	0,2760 0,1263	0,9981* <0,001	
MeHg Š	0,1542 0,2466	0,8121* <0,001	0,7998* <0,001	0,5064* 0,0135	0,8275* <0,001	0,7208* <0,001	0,5564* 0,0054	0,7283* <0,001	0,6985* <0,001	0,5491* 0,0091	0,6213* 0,0010	0,5743* 0,0026

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 27 osebkov (n=27),
- T-Hg mišicah in možganih 27, Hg (II), MeHg pa 25 osebkov (n=25),
- T-Hg v jetrih in možganih 27, Hg (II) in MeHg pa 18 osebkov (n=18),
- T-Hg v škrgah in možganih 27, Hg (II) in MeHg pa 20 osebkov (n=20).

Pri križancu so bile korelacije med koncentracijami Hg v možganih in drugih organih statistično značilne, pri primerjavi teže in koncentracije Hg v možganih pa sem dobila statistično značilno korelacijo le pri MeHg.

Preglednica 19: Izbrane korelacije pri križancu z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,2014 0,1569	0,9405* <0,001			0,9808* <0,001			0,7778* <0,001		
možgani Hg (II)	0,0988 0,3119		0,9719* <0,001			0,9908* <0,001			0,7876* <0,001	
možgani MeHg	0,6757* <0,001			0,9240* <0,001			0,8625* <0,001			0,5064* 0,0135

Pri primerjavi, kjer smo izpustili podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 19 osebkov (n=19),
- T-Hg mišicah in možganih 19, Hg (II), MeHg pa 17 osebkov (n=17),
- T-Hg v jetrih in možganih 19, Hg (II) in MeHg pa 13 osebkov (n=13),
- T-Hg v škrgah in možganih 19, Hg (II) in MeHg pa 14 osebkov (n=14).

Preglednica 20: Izbrane korelacije pri križancu brez podatkov z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,7191* <0,001	0,9622* <0,001			0,8507* <0,001			0,2064 0,1983		
možgani Hg (II)	0,7469* <0,001		0,7641* <0,001			-0,3153 0,8530			0,4576 0,0579	
možgani MeHg	0,6816* <0,001			0,9203* <0,001			0,8618* <0,001			0,2164 0,2287

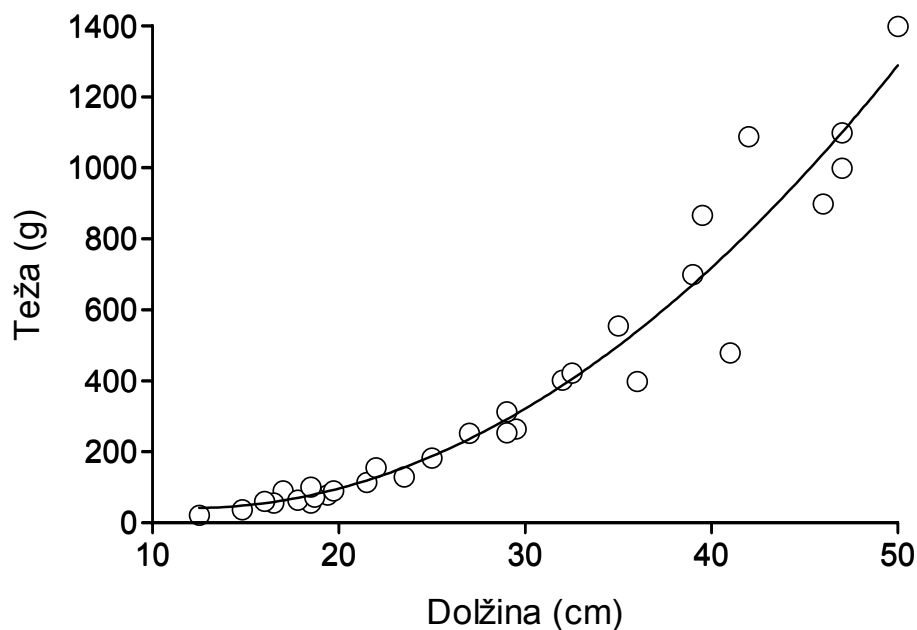
Pri primerjavi, kjer smo upoštevali le podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 8 osebkov (n=8),
- T-Hg, Hg (II) in MeHg mišicah in možganih 8 osebkov (n=8),
- T-Hg v jetrih in možganih 8, Hg (II) in MeHg pa 5 osebkov (n=5),
- T-Hg v škrgah in možganih 8, Hg (II) 7 osebkov, MeHg pa 5 osebkov (n=5).

Preglednica 21: Izbrane korelacije pri križancu samo s podatki z VM2

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,6159 0,0520	0,9840* <0,001			0,9948* <0,001			0,7788* 0,0114		
možgani Hg (II)	0,5992 0,0582		0,9882* <0,001			0,9956* <0,001			0,7667* 0,0222	
možgani MeHg	0,7746* 0,0120			0,9627* <0,001			0,9317* 0,0106			0,9786* 0,0019

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki (n=31). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2 = 0,9418$).



Slika 47: Korelacija med dolžino in težo ribe pri križancih

3.3.4 Potočna postrv (*Salmo trutta fario*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Preglednica 22: Vse korelacije pri potočni postrvi (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	0,2659 0,2288											
Hg (II) Mo	0,2126 0,2777	0,9979* <0,001										
MeHg Mo	0,8472* 0,0010	0,4458 0,0983	0,3868 0,1347									
T-Hg M	0,5139* 0,0437	0,8219* 0,0018	0,7847* 0,0036	0,8560* <0,001								
Hg II M	0,4636 0,0645	0,9487* <0,001	0,9321* <0,001	0,6247* 0,0267	0,9973* <0,001							
MeHg M	0,7172* 0,0043	0,6494* 0,0211	0,5995* 0,0335	0,9587* <0,001	0,9365* <0,001	0,9085* <0,001						
T-Hg J	0,4796 0,0573	0,9786* <0,001	0,9737* <0,001	0,4749 0,0827	0,9656* <0,001	0,9555* <0,001	0,9407* <0,001					
Hg (II) J	0,4162 0,1526	0,9923* <0,001	0,9961* <0,001	0,1833 0,3641	0,9741* <0,001	0,9700* <0,001	0,9415* <0,001	0,9994* <0,001				
MeHg J	0,8453* 0,0041	0,5006 0,1559	0,4556 0,1820	0,9572* 0,0014	0,7858* 0,0104	0,7517* 0,0157	0,9214* <0,001	0,7976* 0,0089	0,7759* 0,0118			
T-Hg Š	0,5151* 0,0433	0,9641* <0,001	0,9550* <0,001	0,5275 0,0585	0,8967* <0,001	0,8758* <0,001	0,9288* <0,001	0,9775* <0,001	0,9784* <0,001	0,8429* 0,0043		
Hg (II) Š	0,3778 0,1781	0,9605* 0,0012	0,9566* 0,0014	0,2095 0,3452	0,8885* 0,0016	0,8745* 0,0022	0,9134* <0,001	0,9767* <0,001	0,9801* <0,001	0,8259* 0,0110	0,9998* <0,001	
MeHg Š	0,6610* 0,0372	0,5738 0,1169	0,5369 0,1360	0,8246* 0,0217	0,8360* 0,0049	0,8051* 0,0080	0,9540* <0,001	0,8768* 0,0021	0,8644* 0,0060	0,9825* <0,001	0,9115* <0,001	0,9025* 0,0011

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 10 osebkov (n=10),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 10 osebkov (n=10),
- T-Hg v jetrih in možganih 10, Hg (II) in MeHg pa 6 osebkov (n=6),
- T-Hg v škrgah in možganih 10, Hg (II) in MeHg pa 6 osebkov (n=6).

Tudi pri potočni postrvi so bile korelacije med koncentracijami Hg v možganih in drugih organih statistično značilne. Pri primerjavi teže in koncentracije Hg v možganih pa je bila statistično značilna le korelacija z MeHg.

Preglednica 23: Izbrane korelacije pri potočni postrvi z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,2659 0,2288	0,8219* 0,0018			0,9786* <0,001			0,9641* <0,001		
možgani Hg (II)	0,2126 0,2777		0,9321* <0,001			0,9961* <0,001			0,9566* 0,0014	
možgani MeHg	0,8472* 0,0010			0,9587* <0,001			0,9572* 0,0014			0,8246* 0,0217

Pri primerjavi, kjer smo izpustili podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 7 osebkov (n=7),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 7 osebkov (n=7),
- T-Hg v jetrih in možganih 7, Hg (II) in MeHg pa 4 osebkov (n=4),
- T-Hg v škrgah in možganih 7, Hg (II) in MeHg pa 3 osebkov (n=3).

Preglednica 24: Izbrane korelacije pri potočni postrvi brez podatkov z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

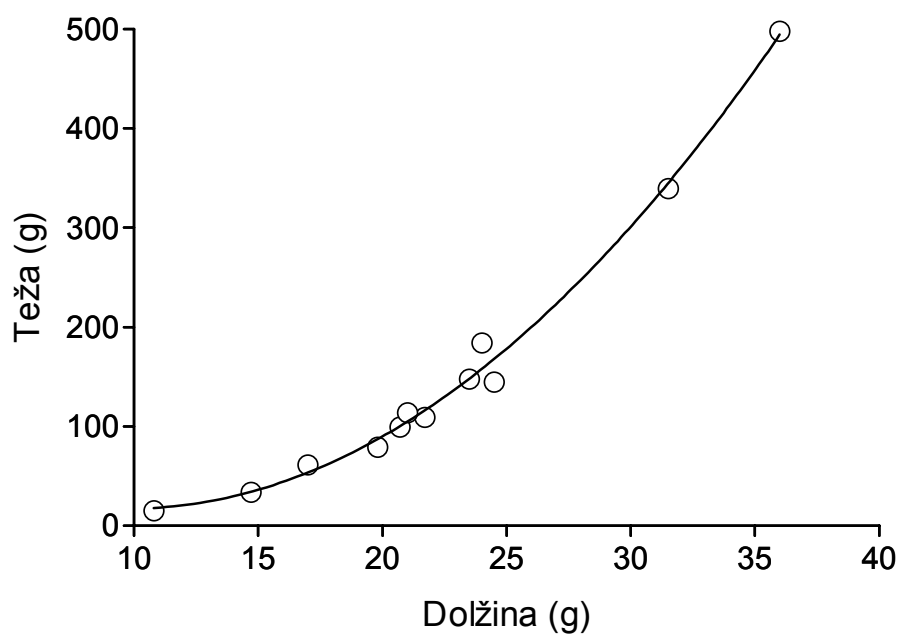
	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,7664* 0,0222	0,9555* <0,001			0,5731 0,0893			0,6429 0,0597		
možgani Hg (II)	-0,0220 0,5187		0,3493 0,2213			-0,2886 0,6443			-0,2652 0,5854	
možgani MeHg	0,7917* 0,0169			0,9712* <0,001			0,9241* 0,0379			0,9951* 0,0315

Pri primerjavi, kjer smo upoštevali le podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali 3 osebkove (n=3). Zaradi premajhnega števila podatkov primerjava s koncentracijo Hg (II) in MeHg v jetrih ni bila možna.

Preglednica 25: Izbrane korelacije pri potočni postrvi samo s podatki z VM2

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	-0,5373 0,6805	0,2548 0,4180			0,9420 0,1089			0,9332 0,1170		
možgani Hg (II)	-0,5702 0,6932		0,8785 0,1586						0,9450 0,1061	
možgani MeHg	0,9846 0,0559			0,9701 0,0780						0,9470 0,1041

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki ($n=12$). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2=0,9927$).



Slika 48: Korelacija med dolžino in težo ribe pri potočnih postrvih

3.3.5 Lipan (*Thymallus thymallus*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Preglednica 26: Vse korelacije pri lipanu (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	0,4469 0,0841											
Hg (II) Mo	0,0217 0,4748	0,8402* <0,001										
MeHg Mo	0,7731* 0,0026	0,7259* 0,0057	0,2370 0,2415									
T-Hg M	0,8509* <0,001	0,6924* 0,0091	0,2254 0,2526	0,9546* <0,001								
Hg II M	0,6515* 0,0109	0,7340* 0,0051	0,3064 0,1797	0,9264* <0,001	0,8886* <0,001							
MeHg M	0,8808* <0,001	0,6131* 0,0224	0,1649 0,3140	0,8892* <0,001	0,9701* <0,001	0,7508* 0,0024						
T-Hg J	0,5842* 0,0296	0,8185* 0,0019	0,5254 0,0594	0,9339* <0,001	0,8491* <0,001	0,8477* <0,001	0,7911* 0,0019					
Hg (II) J	0,5748 0,0885	0,8000* 0,0280	0,4664 0,1755	0,9581* 0,0013	0,8285* 0,0106	0,7903* 0,0172	0,7759* 0,0201	0,9974* <0,001				
MeHg J	0,3677 0,1851	0,1747 0,3539	0,1583 0,3673	0,1108 0,4065	0,2541 0,2718	0,0779 0,4272	0,3211 0,2190	0,6092 0,0732	0,5509 0,1000			
T-Hg Š	-0,0151 0,5186	0,4562 0,0792	0,8572* <0,001	-0,2699 0,7889	-0,0449 0,5551	0,1178 0,3577	-0,1271 0,6530	0,2741 0,2073	0,1221 0,3971	0,6236* 0,0492		
Hg (II) Š	-0,0332 0,5407	0,4178 0,1005	0,8354* <0,001	-0,3109 0,8240	-0,0696 0,5850	0,0955 0,3839	-0,1507 0,6800	0,2553 0,2243	0,1022 0,4137	0,6194 0,0507	0,9996 <0,001	
MeHg Š	0,5923* 0,0212	0,9489* <0,001	0,7097* 0,0072	0,7998* 0,0016	0,8009* <0,001	0,7769* 0,0015	0,7424* 0,0028	0,8578* <0,001	0,8349* 0,0097	0,2959 0,2384	0,3149 0,1594	0,3417 0,1385

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 11 osebkov (n=11),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 11 osebkov (n=11),
- T-Hg v jetrih in možganih 10, Hg (II) 6 in MeHg pa 7 osebkov (n=7),
- T-Hg, Hg (II) in MeHg v škrgah in možganih 11 osebkov (n=11).

Pri lipanu je bilo statistično značilnih korelacij manj kot pri prejšnjih dveh vrstah.

Statistično značilne korelacije sem dobila pri primerjavi koncentracije T-Hg v mišicah in možganih, v jetrih in možganih, pri primerjavi koncentracije Hg (II) v škrgah in možganih

ter pri primerjavi koncentracije MeHg v škrgah in možganih, mišicah in možganih ter možganih in teži.

Preglednica 27: Izbrane korelacije pri lipanu z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,4469 0,0841	0,6924* 0,0091			0,8185* 0,0019			0,4562 0,0792		
možgani Hg (II)	0,0217 0,4748		0,3064 0,1797			0,4664 0,1755			0,8354* 0,0017	
možgani MeHg	0,7731* 0,0026			0,8892* 0,0011			0,1108 0,4065			0,7998* 0,0016

Pri primerjavi, kjer smo izpustili podatke o teži in koncentraciji Hg v ribah z VM2, smo primerjali naslednje:

- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 7 osebkov (n=7),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 7 osebkov (n=7),
- T-Hg v jetrih in možganih 6, Hg (II) 4 in MeHg pa 5 osebkov (n=5),
- T-Hg, Hg (II) in MeHg v škrgah in možganih 7 osebkov (n=7).

Preglednica 28: Izbrane korelacije pri lipanu brez podatkov z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

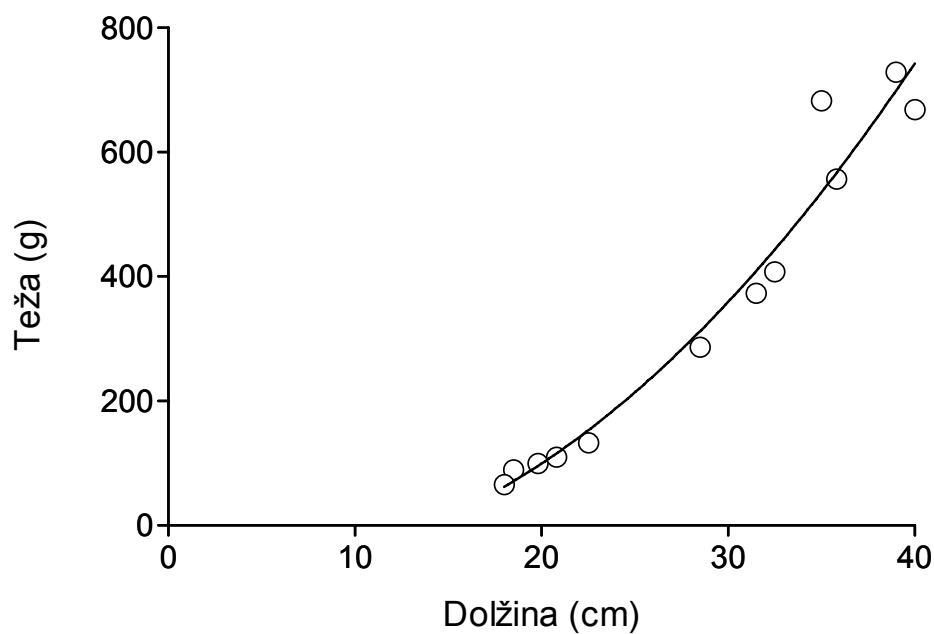
	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,7685* 0,0218	0,9390* <0,001			0,9988* <0,001			0,6571 0,0544		
možgani Hg (II)	0,7581* 0,0241		0,8007* 0,0153			0,9996* <0,001			0,3584 0,2149	
možgani MeHg	0,7578* 0,0242			0,8686* 0,0056			0,1057 0,4328			0,9710* <0,001

Pri primerjavi, kjer smo upoštevali le podatke o teži in koncentracijah Hg v ribah z VM2, smo primerjali 4 osebkove (n=4). Zaradi premajhnega števila podatkov primerjava s Hg (II) in MeHg v jetrih ni bila možna.

Preglednica 29: Izbrane korelacije pri lipanu samo s podatki z VM2 (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,9351* 0,0325	0,1200 0,4400			0,6370 0,1815			0,9982* <0,001		
možgani Hg (II)	0,9339* 0,0330		-0,6174 0,8087						0,9989* <0,001	
možgani MeHg	0,7088 0,1456			0,9185* 0,0408						0,4811 0,2594

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki (n=12). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2 = 0,9555$).



Slika 49: Korelacija med dolžino in težo ribe pri lipanih

3.3.6 Mrenič (*Barbus meridionalis caninus*)

Pri primerjanju koncentracij vseh oblik Hg v organih (možganih, mišicah, jetrih in škrgah) med seboj in s težo smo upoštevali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki.

Zaradi pomanjkanja podatkov primerjava Hg (II) in MeHg v jetrih ni bila mogoča.

Preglednica 30: Vse korelacije pri mreniču (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	T-Hg Mo	Hg (II) Mo	MeHg Mo	T-Hg M	Hg (II) M	MeHg M	T-Hg J	Hg (II) J	MeHg J	T-Hg Š	Hg (II) Š
T-Hg Mo	0,1728 0,3057											
Hg (II) Mo	0,4127 0,1036	0,8510* <0,001										
MeHg Mo	-0,0263 0,5306	0,9292* <0,001	0,5968* 0,0263									
T-Hg M	0,7963* <0,001	0,6372* 0,0175	0,7966* 0,0017	0,4131 0,1033								
Hg II M	0,8667* <0,001	0,7536* 0,0059	0,6854* 0,0144	0,8149* 0,0020	0,9655* <0,001							
MeHg M	0,7549* <0,001	0,8482* <0,001	0,7853* 0,0036	0,8771* 0,0004	0,9858* <0,001	0,9082* <0,001						
T-Hg J	0,8341* 0,0014	0,5997 0,1041	0,5328 0,1382	0,6841 0,0670	0,9581* <0,001	0,9498* <0,001	0,9517* <0,001					
Hg (II) J												
MeHg J												
T-Hg Š	0,3308 0,1143	0,7684* 0,0047	0,6177* 0,0285	0,7545* 0,0094	0,7130* 0,0021	0,7459* 0,0017	0,8303* <0,001	0,7981* 0,0028				
Hg (II) Š	-0,0833 0,5905	0,1014 0,4355	0,1011 0,4358	0,0813 0,4483	0,3006 0,2159	0,2832 0,2484	0,3347 0,2089	0,5534 0,0987			0,6003* 0,0333	
MeHg Š	0,0734 0,4202	0,5744 0,1555	0,0434 0,4724	0,7632 0,0666	0,1627 0,3379	0,2888 0,2439	0,3589 0,1913	0,3635 0,2114			0,6791* 0,0154	-0,1663 0,6769

Pri izbranih korelacijah smo primerjali naslednje:

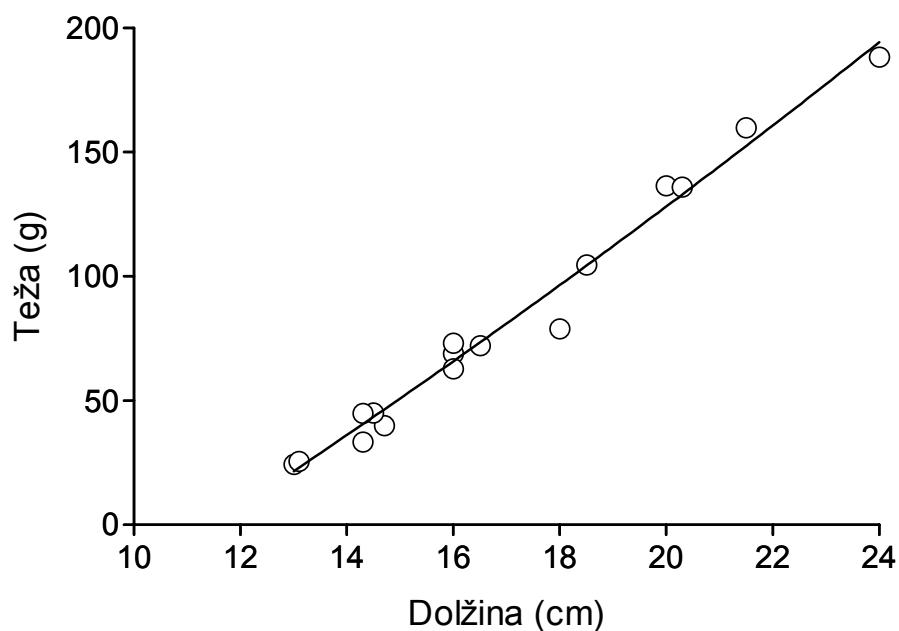
- teža in T-Hg, Hg (II), MeHg v možganih 11 osebkov (n=11),
- T-Hg, Hg (II), MeHg v mišicah in možganih 11 osebkov (n=11),
- T-Hg v jetrih in možganih 16, Hg (II) in MeHg pa 14 osebkov (n=14),
- T-Hg v škrgah in možganih 16, Hg (II) in MeHg pa 14 osebkov (n=14).

Statistično značilne korelacije smo dobili pri primerjavi koncentracij Hg v mišicah z koncentracijami Hg v možganih ter pri primerjavi koncentracij T-Hg v škrgah in možganih. Na drugem vzorčnem mestu vrsta mrenič ni bila odvzeta.

Preglednica 31: Izbrane korelacije pri mreniču z vsemi podatki (z * označene statistično značilne korelacije)

	teža	mišice T-Hg	mišice Hg (II)	mišice MeHg	jetra T-Hg	jetra Hg (II)	jetra MeHg	škrge T-Hg	škrge Hg (II)	škrge MeHg
možgani T-Hg	0,1728 0,3057	0,6372* 0,0175			0,5997 0,1041			0,7684* 0,0047		
možgani Hg (II)	0,4127 0,1036		0,6854* 0,0144						0,1011 0,4358	
možgani MeHg	-0,0263 0,5306			0,8771* 0,0014						0,7632 0,0666

Pri izračunu korelacije med težo in dolžino smo primerjali vse podatke, kjer sta bili prisotni obe spremenljivki (n=16). Po pričakovanjih se regresijska krivulja dobro ujema s podatki ($R^2 = 0,9820$).



Slika 50: Korelacija med dolžino in težo ribe pri mreničih

3.4 KONCENTRACIJE ŽIVEGA SREBRA V RAZLIČNIH ORGANIH IZBRANIH VRST RIB NA MOSTU NA SOČI

Rezultati so zbrani v Prilogah A-F in L.

4 DISKUSIJA IN SKLEPI

4.1 DISKUSIJA

Diskusija je, tako kot Rezultati, razdeljena na tri glavne dele. V prvem delu primerjamo podatke o koncentracijah Hg v možganih rib glede na različna vzorčna mesta, v drugem delu primerjamo koncentracije Hg v možganih osebkov posamezne vrste rib med seboj, pri čemer je ta del razdeljen na nadaljnja podpoglavja glede na tip prehranjevanja (ribojede postrvi in mesojeda mrenič ter lipan). Dodano je tudi podpoglavje o koncentracijah Hg v možganih grbe in štrkavca, ki zaradi majhnega vzorca nista bila vključena k ostalim.

4.1.1 Primerjava med različnimi vzorčnimi mesti

4.1.1.1 Vzorčno mesto 1 – Idrijca nad pritokom Belce

Na prvem vzorčnem mestu, ki je bilo z živim srebrom najmanj obremenjeno, kar se je odražalo tudi v vrednostih Hg v vodi, sedimentih, suspendiranih delcih, perifitonu in nevretenčarjih (Preglednica 1 in 2) (Žižek in sod., 2007), so bile koncentracije T-Hg v možganih pričakovano najnižje, delež MeHg v možganih pa je bil tu pričakovano precej visok (~70 %). Pri mreniču, ki je v prehranjevalni verigi izmed vseh odlovljenih vrst na prvem vzorčnem mestu najnižje, je bila tako koncentracija T-Hg kot tudi koncentracija MeHg v možganih pričakovano najnižja (Sliki 23 in 24). Razlog za visok delež MeHg v možganih mreniča je bila poleg manjše obremenjenosti okolja s Hg lahko tudi višja starost rib, čeprav so bili osebki manjši od tistih z drugih vzorčnih mest. V izvirnih delih vodotokov namreč praviloma ni korelacije med velikostjo in starostjo rib, tako da to, da so bili osebki mreniča na tem vzorčnem mestu najmanjši, ne pomeni, da so bili tudi najmlajši.

4.1.1.2 Vzorčno mesto 2 – Idrija pri Kolektorju

Drugo vzorčno mesto je bilo precej bolj obremenjeno z živim srebrom kot VM1 (Preglednici 3 in 4), kar se je odražalo tudi pri ribah, koncentracije Hg v možganih so bile na tem vzorčnem mestu namreč najvišje (Slika 25). Delež MeHg v možganih je bil tu najnižji, izstopal je le pri križancu (Slika 26), in ni sledil povišanim koncentracijam anorganskih oblik živega srebra v vodi. Majhen delež MeHg v možganih je bil verjetno posledica privzema anorganskih oblik živega srebra, ki so na tem vzorčnem mestu močno povišane, preko škrg. Posebej je izstopal osebek križanca s kar 13800 ng/g T-Hg v možganih, kar je bil tudi razlog za tako velik maksimum pri tej vrsti (Slika 25). Poleg tega je bila najvišja variabilnost koncentracij Hg v možganih med posameznimi osebki križanca posledica tega, da so bili po velikosti precej različni. Pri dveh osebkih je bil delež MeHg v možganih kar 100 %.

4.1.1.3 Vzorčno mesto 3 – Kozarska Grapa

Voda, sediment in suspendirani delci so bili na tretjem vzorčnem mestu manj obremenjeni z živim srebrom kot na drugem, medtem ko so koncentracije Hg v mladoletnicah in enodnevnih ostajale povišane (Preglednica 5 in 6) (Žižek in sod. 2007). Koncentracije Hg v možganih so bile najvišje pri križancu, najnižje pa pri postrvih in lipanu (Slika 27), kar je nekoliko presenetljivo, saj so v nasprotju z lipanom postrvi tudi ribojede in smo zaradi tega pričakovali višje vrednosti. Druge najvišje koncentracije Hg v možganih so bile pri mreniču, kar je prav tako presenetljivo, saj se prehranjuje z organizmi z nižjih trofičnih nivojev in smo pričakovali nižje vrednosti v primerjavi s postrvmi. Delež MeHg v možganih je bil v primerjavi z vrednostmi na drugem vzorčnem mestu precej višji pri vseh vrstah razen pri križancu (Slika 28). Višji delež MeHg v možganih je verjetno posledica manjše obremenjenosti vode, suspendiranih delcev in sedimenta z anorganskim živim srebrom (Preglednica 5). Najnižji je bil pri mreniču in lipanu, precej višji pa pri križancu (Slika 28, kar je posledica tipa prehranjevanja).

4.1.1.4 Vzorčno mesto 4 – Bača pri Modreju

Obremenjenost okolja z živim srebrom je bila na četrtem vzorčnem mestu v primerjavi s tretjim povišana (Preglednica 7 in 8), kar se je odražalo tudi pri nekaterih vrstah rib. Koncentracija Hg v možganih je bila pri mreniču nekoliko višja (Slika 29), precej višji pa je bil delež MeHg v možganih (Slika 24), kljub temu da osebki niso bili večji od tistih s tretjega vzorčnega mesta. Najvišje koncentracije Hg so bile nekoliko presenetljivo pri lipanu, kar lahko razložimo s tem, da so tudi osebki na tem vzorčnem mestu precej veliki in verjetno starejši ter tako že dlje časa izpostavljeni živemu srebru. Posledica tega je bil tudi višji delež MeHg (Slika 30). Koncentracije Hg v možganih križanca so bile na tem vzorčnem mestu nižje kot na tretjem (Slika 29), vzrok je verjetno manjša velikost osebkov. Še najbolj so se približale koncentracijam Hg v možganih križancev s prvega vzorčnega mesta nad izlivom Belce, delež MeHg v možganih pa je bil na tem mestu najnižji.

4.1.1.5 Vzorčno mesto 5 – Most na Soči

Koncentracije Hg v možganih rib so bile na zadnjem vzorčnem mestu pri Mostu na Soči visoke (Slika 31), predvsem pa je bil visok delež MeHg (Slika 32), kar je verjetno posledica večje velikosti in verjetno tudi starosti rib. Poleg tega so kar 3 od 4 odvzetih vrst na tem vzorčnem mestu ribojede, kar je bil tudi vzrok za visok delež MeHg v možganih.

4.1.2 Primerjava koncentracij živega srebra v možganih različnih vrst rib

Najvišje koncentracije Hg v možganih smo pričakovali pri družini postrvi, saj so predstavniki tudi ribojedi, med njimi pa predvsem pri križancu, ki ga ne vlagajo. Najnižje koncentracije Hg v možganih smo pričakovali pri lipanu in mreniču, ki se prehranjujeta z organizmi z nižjih trofičnih nivojev in sta nižje na prehranjevalni verigi kot postrvi. Pri lipanu smo pričakovali nižje koncentracije Hg tudi zaradi vlaganja. Pri vseh smo pričakovali povečanje koncentracij Hg in deleža MeHg z velikostjo živali.

4.1.2.1 Koncentracije živega srebra pri ribah z nižjega trofičnega nivoja (lipan, mrenič)

Pri lipanu in mreniču, ki se prehranjujeta z organizmi z nižjih trofičnih nivojev, smo pričakovali nižje koncentracije Hg v možganih in predvsem nižji delež MeHg kot pri postrvih, ki so tudi ribojede. Rezultati so to potrdili, z izjemo:

- VM4 pri lipanu, kjer so bile koncentracije Hg v možganih večje kot pri postrvih (Sliki 29 in 41), kar pa je verjetno posledica večje velikosti in s tem starosti osebkov. Na VM4 je bil tudi delež MeHg v možganih pri mreniču višji kot pri postrvih (Sliki 30 in 44), kar je prav tako verjetno posledica večjih in starejših osebkov.
- VM3 pri mreniču, kjer so bile koncentracije Hg v možganih višje kot pri družini postrvi (Sliki 27 in 47), vendar pa je bil delež MeHg v možganih nekoliko nižji (Sliki 28 in 44). Možna razlaga je način življenja mreniča. Zadržuje se namreč pri dnu vodotokov in med kamenjem brska za hrano (Sket, 1990). Zato je verjetno bolj izpostavljen Hg v sedimentih kot postrvi, ki se zadržujejo bolj pri gladini, in koncentracije Hg (predvsem anorganska oblika) so zaradi tega povišane.

4.1.2.1 Koncentracije živega srebra pri ribah z višjega trofičnega nivoja (postrvi)

Pri postrvih smo pričakovali višje koncentracije Hg v možganih, še posebej pri vrstah, ki jih ne vlagajo (križanec, potočna postrv) (Rejec, 2010).

Na prvem vzorčnem mestu je bil najmanjši delež MeHg v možganih pri potočni postrvi (Slika 23), koncentracije Hg v možganih pri ostalih vrstah iz družine postrvi pa so bile med seboj podobne.

Na drugem vzorčnem mestu smo opazili močno povišanje koncentracij Hg ter majhen delež MeHg v možganih vseh vrst razen križanca (Slike 30, 26 in 37). Odstopanja ne moremo razložiti z velikostjo osebkov, saj korelacije med težo in koncentracijo T-Hg in težo ter koncentracijo Hg (II) v možganih križancev s tega vzorčnega mesta ni (Preglednica 21). Verjetno je nižja vrednost tudi posledica večjega vzorca (n=9) in s tem večje raznolikosti, zakaj pa imajo nekateri osebki tako nizke koncentracije Hg v možganih,

s podatki, ki so na voljo, ne moremo razložiti. Morda so pred kratkim priplavali na to območje in se zato vpliv močnejše obremenjenega okolja še ni tako izrazil.

Na tretjem vzorčnem mestu so bile koncentracije Hg v možganih pri postrvih presenetljivo nižje kot pri mreniču (Slika 31), vendar pa je bil delež MeHg v možganih večji (Slika 32). Kot že povedano, je možna razlaga različen način življenja postrvi in mreniča in s tem manjša (postrvi) oziroma večja (mrenič) izpostavljenost Hg v sedimentu.

Na četrtem vzorčnem mestu so bili odvzeti le predstavniki križanca. Koncentracije Hg in delež MeHg v možganih so bili pri križancu nekoliko presenetljivo najnižji (Slike 29, 30, 37 in 38), kar pa je verjetno posledica manjše velikosti osebkov.

Koncentracije Hg v možganih pri postrvih na zadnjem vzorčnem mestu so si bile med seboj podobne, nekoliko višje so bile le pri soški postrvi (Slike 31 in 35), vendar so bili tudi osebki pri tej vrsti največji. Delež MeHg v možganih je bil visok pri vseh, precej višji pa pri soški postrvi (Slike 32 in 36), vzrok pa je verjetno prav tako velikost osebkov.

4.1.2.3 Koncentracije živega srebra v možganih grbe in štrkavca

Odlovljena sta bila samo po en predstavnik vrst grba in štrkavec. Štrkavec je kot odrasla riba ribojed (Sket, 1990), odlovljen osebek na VM5 je bil nadpovprečno velik (povprečna velikost je 40 cm, odlovljeni osebek je meril 51 cm). Koncentracija T-Hg v možganih je bila primerljiva s koncentracijami Hg v možganih pri postrvih (Slika 31), kar je verjetno posledica velikosti in tudi starosti. Delež MeHg v možganih je bil precej nižji (Slika 32), kar je presenetljivo, saj bi zaradi ribojedega značaja pričakovali vsaj tako visok delež kot pri postrvih. Ker pa je bil odlovljen samo ta osebek, zaključkov ne moremo potegniti.

Grba je vsejeda, na VM4 odlovljen osebek je bil večji od povprečne velikosti (Sket, 1990), koncentracija je bila verjetno prav zato tako visoka (Slika 29), vendar pa je bil delež MeHg nizek (Slika 30), kar je verjetno posledica tipa prehranjevanja

4.1.3 Primerjava koncentracij živega srebra v različnih organih rib

4.1.3.1 Šarenka (*Onchorhynchus mykiss*)

Pri šarenki je bila korelacija med koncentracijami Hg v možganih in mišicah pri naslednjih oblikah Hg: T-Hg, Hg (II) in MeHg (upoštevani vsi podatki) (Preglednica 12) oziroma med T-Hg in MeHg (izpustimo podatke z VM2) (Slika 22). Korelacij med koncentracijami Hg v možganih in mišicah, jetrih ter škrgah s podatki z VM2 ni (Preglednica 14). Če upoštevamo vse podatke, je korelacija med koncentracijami Hg v možganih in mišicah pri T-Hg slaba ($r=0,4619$), pri ostalih oblikah pa močna (Preglednica 12). Povezava pri T-Hg je močnejša, če izpustimo podatke z VM2 (Preglednica 13). Razlog je verjetno močan vpliv VM2 zaradi visoke obremenjenosti z anorganskimi oblikami Hg. Odsotnost korelacij na VM2 je verjetno tudi posledica majhnega obravnavanega vzorca ($n=3$). Tudi pri korelacijah med koncentracijami Hg v možganih in jetrih ter možganih in škrgah je podobno kot pri mišicah. Ob upoštevanju vseh podatkov so močne korelacije prisotne pri vseh treh oblikah (Preglednica 12). Ko smo izpustili podatke z VM2, korelacij med koncentracijo Hg (II) v možganih in koncentracijo Hg (II) v jetrih ter koncentracijo Hg (II) v možganih in koncentracijo Hg (II) v škrgah ni bilo več (Preglednica 13), ob upoštevanju le podatkov z VM2 pa korelacij ni bilo (Preglednica 14). Korelacije med koncentracijami Hg v možganih in mišicah, možganih in jetrih ter možganih in škrgah so si presenetljivo podobne, izjema je le korelacija med koncentracijo T-Hg v možganih in mišicah ob upoštevanju vseh podatkov, čeprav smo pričakovali, da bodo izstopale predvsem korelacije med koncentracijami Hg v mišicah in možganih.

4.1.3.2 Soška postrv (*Salmo marmoratus*)

Pri soški postrvi je bila statistično značilna korelacija med koncentracijami Hg v možganih in mišicah le pri primerjavi koncentracije MeHg (srednje močna; upoštevani vsi podatki) (Preglednica 16) oziroma pri primerjavi koncentracije T-Hg (močna; izpuščeni podatki z VM2) (Preglednica 17). Korelacija je bila med koncentracijami Hg v možganih in jetrih ob upoštevanju vseh podatkov le pri T-Hg, korelacije med koncentracijo Hg v mišicah in škrgah v tem primeru ni bilo (Preglednica 16). Ko smo izpustili podatke z VM2, so bile srednje močne korelacije tako pri primerjavi koncentracije T-Hg v možganih in škrgah kot

pri primerjavi koncentracije T-Hg v možganih in jetrih (Preglednica 17). Odsotnost korelacij je pri tej vrsti verjetno tudi posledica manjšega vzorca (n=8).

4.1.3.3 Križanec (*Salmo sp.*)

Pri križancu obstajajo statistično značilne korelacije med koncentracijami Hg v možganih in mišicah pri T-Hg, Hg(II) in MeHg pri upoštevanju podatkov z vseh vzorčnih mest (Preglednica 19), pri upoštevanju podatkov samo z drugega vzorčnega mesta (Preglednica 21) kot tudi pri upoštevanju vseh podatkov razen tistih z drugega vzorčnega mesta (Preglednica 20). Pri upoštevanju podatkov z vseh VM razen drugega (Preglednica 20) je korelacija med koncentracijo Hg (II) v možganih in drugimi organi prisotna samo pri mišicah, kar lahko zopet razložimo z očitno močnim vplivom anorganske oblike Hg z drugega vzorčnega mesta.

Tudi med koncentracijami Hg v jetrih in škrgah so statistično značilne korelacije T-Hg, Hg (II) in MeHg, ko smo upoštevali vse podatke (Preglednica 19). Ko smo izključili podatke z VM2, pri škrgah nismo dobili statistično značilnih korelacij, pri jetrih pa le pri T-Hg in MeHg (Preglednica 20). Ko smo upoštevali le podatke z VM2, smo dobili tako pri primerjavi koncentracij Hg v možganih in jetrih kot pri primerjavi koncentracij Hg v možganih in škrgah korelacije pri vseh treh oblikah (T-Hg, Hg (II) in MeHg), pri čemer sta bili korelaciji T-Hg in Hg (II) pri škrgah srednje močni (0,7788 oziroma 0,7667), pri MeHg in vseh treh oblikah pri jetrih pa so bile korelacije močne (Preglednica 21). Možna razlaga za šibkejšo korelacijo med koncentracijami Hg v možganih in škrgah pri križancu je ta, da so škrge veliko bolj izpostavljene živemu srebru v vodi kot možgani. Na VM2 je bila koncentracija živega srebra v vodi močno povečana, kar je morda bolj vplivalo na koncentracijo Hg v škrgah kot v možganih, zato je bila tudi korelacija slabša.

4.1.3.4 Potočna postrv (*Salmo trutta fario*)

Med koncentracijami Hg v možganih in mišicah so bile statično značilne in močne korelacije pri potočni postrvi ob upoštevanju vseh podatkov pri T-Hg, Hg (II) in MeHg (Preglednica 21), če smo izpustili podatke z VM2, pa samo pri T-Hg in MeHg (Preglednica

24). Pri upoštevanju samo podatkov z VM2 korelacij med koncentracijami Hg v možganih in mišicah ni bilo (Preglednica 25). Korelacije med koncentracijami Hg v možganih in mišicah so bile močne in primerljive z ostalimi (jetra, škrge). Nekoliko izstopa le T-Hg ($r=0,8219$). Odsotnost korelacije med koncentracijo Hg (II) v možganih in mišicah ob upoštevanju vseh podatkov razen tistih z VM2 (Preglednica 24) kaže na vpliv anorganskega Hg, kar smo opazili tudi pri drugih vrstah. Korelacije med koncentracijami Hg v možganih, jetrih ter škrgah potočne postrvi so bile statistično značilne pri vseh treh oblikah (T-Hg, Hg (II) in MeHg), če smo uporabili vse podatke (Preglednica 23). Ko smo izpustili podatke z VM2, sta bili statistično značilni le korelaciji med koncentracijo MeHg v možganih in jetrih ter možganih in škrgah (Preglednica 24). Pri upoštevanju samo podatkov z VM2 korelacij tudi pri jetrih in škrgah ni bilo (Preglednica 25), kar pa je verjetno tudi posledica majhnega vzorca ($n=3$).

4.1.3.5 Lipan (*Thymallus thymallus*)

Pri lipanu so bile ob upoštevanju vseh podatkov statistično značilne korelacije med koncentracijami Hg v možganih in mišicah pri T-Hg (srednje močna) in MeHg (močna) (Preglednica 27). Ko smo podatke z VM2 izpustili, pa so bile korelacije prisotne pri vseh treh oblikah (T-Hg, Hg (II) in MeHg), pri čemer so bile pri T-Hg in MeHg močne, pri Hg (II) pa na meji med srednjo in močno povezanostjo (Preglednica 28). Ko smo upoštevali le podatke z VM2, se je korelacija pokazala samo pri primerjavi koncentracije MeHg v možganih in mišicah (Preglednica 29). Pri lipanu pa se je pokazalo ravno nasprotno kot pri šarenki, kajti ob upoštevanju vseh podatkov, korelacije pri primerjanju koncentracije Hg (II) v možganih in mišicah ter jetrih ni bilo, ko pa smo izpustili podatke z VM2, je bila močna korelacija tudi pri Hg(II). Morda je to posledica vpliva anorganskega živega srebra z obremenjenega okolja VM2.

Korelacije pri primerjavi koncentracij Hg v možganih, jetrih in škrgah so bile ob upoštevanju vseh podatkov pri jetrih T-Hg in pri škrgah Hg (II) in MeHg (Preglednica 27). Ko smo izpustili podatke z VM2, so bile pri jetrih korelacije tako med koncentracijami T-Hg v možganih in jetrih kot pri primerjavi koncentracij Hg(II) v možganih in jetrih, pri škrgah pa samo pri MeHg (Preglednica 28). Ob upoštevanju podatkov samo z VM2 pri

primerjavi koncentracij Hg v možganih in jetrih korelacij ni bilo, pri škrgah pa so bile pri T-Hg in Hg(II) (Preglednica 29).

4.1.3.6 Mrenič (*Barbus meridionalis caninus*)

Pri vrsti mrenič je bila korelacija med koncentracijo T-Hg v možganih in mišicah srednje močna, pri Hg (II) je bila močna, vendar šibkejša kot pri MeHg. Poleg mišic je bila edina statistično značilna korelacija pri mreniču korelacij med koncentracijo T-Hg v možganih in škrgah (Preglednica 31).

4.1.4 Primerjava koncentracij živega srebra v možganih rib in teže

Odsotnost korelacije med težo in koncentracijo Hg (T-Hg, Hg(II) in MeHg) v možganih na VM2 (Preglednica 12) ter srednje močne korelacije pri teži ter koncentraciji T-Hg v možganih in teži ter koncentraciji MeHg v možganih (Preglednica 13) pri šarenki kažejo na velik vpliv drugega vzorčnega mesta in predvsem anorganske oblike Hg.

Pri soški postrvi je bila edina statistično značilna korelacija med težo in koncentracija Hg(II) v možganih, če smo izločili podatke z VM2 (Preglednica 17), kar je presenetljivo, saj smo v tem primeru pričakovali korelacijo z MeHg, ki bi nakazala, da se z večanjem velikosti in s tem starosti rib večja tudi količina MeHg v možganih (se akumulira).

Pri križancu smo dobili statistično značilne korelacije med težo in koncentracijami vseh treh oblik Hg v možganih le v primeru, ko smo izključili podatke z VM2 (Preglednica 20). Kljub velikemu vzorcu je bila ob upoštevanju vseh podatkov ($n=27$) srednje močna korelacija le pri teži in koncentraciji MeHg v možganih, kar se je zgodilo tudi, ko smo upoštevali samo podatke z VM2 (Preglednica 19).

Pri potočni postrvi smo dobili statistično značilne korelacije ob upoštevanju vseh podatkov pri koncentraciji MeHg v možganih (močna korelacija $r>0,8$) (Preglednica 21), ko smo izločili podatke z VM2, pa tako pri koncentraciji MeHg v možganih kot tudi pri

koncentraciji T-Hg v možganih (Preglednica 24), vendar sta bili ti korelaciji srednje močni ($r < 0,8$). Samo s podatki z VM2 korelacij ni bilo (Preglednica 25).

Dejstvo, da smo pri ribah iz družine postrvi večinoma dobili več korelacij med koncentracijami Hg v možganih in težo, če smo izločili podatke z VM2, kaže na to, da se specifičnost drugega vzorčnega mesta odraža tudi pri vsebnosti Hg v ribah

Pri lipanu smo dobili močne korelacije med težo in koncentracijo Hg v možganih ob upoštevanju samo podatkov z VM2 pri koncentraciji T-Hg in Hg(II) (Preglednica 29). Ob upoštevanju vseh podatkov smo dobili le korelacijo med težo in koncentracijo MeHg v možganih (Preglednica 25). Ko smo podatke z VM2 izpustili (Preglednica 28), pa smo dobili srednje močno korelacijo teže s koncentracijo MeHg v možganih pri vseh treh oblikah Hg. Ob predpostavki, da so večje ribe tudi starejše, lahko sklepamo, da je vzrok predvsem način življenja (ni ribojed, hrano išče tudi po dnu) in je s tem bolj izpostavljen anorganskim oblikam Hg, zato je tudi vpliv VM2 večji.

Pri mreniču korelacij med težo in koncentracijami Hg v možganih ni bilo (Preglednica 31).

4.1.5 Primerjava koncentracij živega srebra v drugih organih rib z VM5 s podatki o koncentracijah živega srebra v drugih organih rib z drugih vzorčnih mest

Pri šarenki, križancu in soški postrvi je delež MeHg v mišicah ($>95\%$) v primerjavi z ostalimi vzorčnimi mesti na zadnjem vzorčnem mestu najvišji (Priloga B), koncentracije T-Hg pa so primerljive s tistimi s tretjega vzorčnega mesta (Priloga A). Odlovljen je bil tudi predstavnik vrste štrkavec, ki je imel v mišicah prav tako visok delež MeHg (100 %). V jetrih je bilo podobno kot v mišicah. Delež MeHg je bil visok, blizu 100 % pri vseh treh vrstah postrvi, pri štrkavcu pa nekoliko nižji (82,9 %) (Priloga D). Višji delež MeHg v mišicah in jetrih je verjetno posledica večje velikosti rib in tipa prehranjevanja (piscivornost). Koncentracije T-Hg v jetrih (Priloga C) na so bile primerljive s tistimi z vzorčnih mest 3 in 4 ter precej nižje od koncentracij, izmerjenih na drugem vzorčnem mestu.

Koncentracije T-Hg v škrgah so bile pri križancu in šarenki primerljive s tistimi z ostalih vzorčnih mest z izjemo VM2, pri soški postrvi pa malenkost višje (Priloga E).

Presenetljivo visok pa je bil delež MeHg v škrgah, ki je bil pri vseh vrstah razen pri štrkavcu 100 % (Priloga F) .

Glede na rezultate lahko sklepamo, da je obremenjenost z živim srebrom v akumulacijskem jezeru pri Mostu na Soči nižja kot na VM2, zaskrbljujoče pa je dejstvo, da je velik del živega srebra v ribah v organski obliki, ki je tudi za človeka najbolj strupena.

4.2 SKLEPI

- Koncentracije Hg v možganih so bile večinoma v korelaciji s koncentracijami Hg v drugih organih rib, kar najbolje dokazujejo korelacije pri šarenki, križancu in potočni postrvi.
- Koncentracije Hg (predvsem MeHg) v možganih so naraščale z velikostjo (težo) ribe, izjema sta bili vrsti mrenič, pri kateri korelacij med koncentracijami Hg in težo ni bilo, in soška postrv, kjer je bila korelacija le med težo in koncentracijo Hg (II) v možganih.
- V s Hg bolj obremenjenem okolju so bile koncentracije Hg v možganih rib pričakovano višje kot koncentracije Hg v možganih rib z s Hg manj obremenjenega okolja, kar najbolje dokazuje primerjava koncentracij Hg v možganih rib z VM1, ki je z živim srebrom najmanj obremenjeno, in VM2, ki je z živim srebrom najbolj obremenjeno.
- Delež MeHg v možganih rib z VM2, ki je s Hg najbolj obremenjeno, je bil v primerjavi z deležem MeHg v možganih rib z drugih vzorčnih mest najnižji, kar je verjetno posledica povečanega privzema anorganskih oblik preko škrg. Deleži MeHg v možganih rib s preostalimi vzorčnimi mest se kljub različni obremenjenosti okolja s Hg niso tako močno razlikovali.
- Koncentracije Hg in delež MeHg v možganih rib vrste lipan in mrenič so bile pričakovano nižje kot pri postrvih, saj se omenjeni vrsti prehranjujeta z organizmi z nižjih trofičnih nivojev, medtem ko so postrvi tudi ribojede. Izjema so bile pri lipanu le koncentracije Hg v možganih osebkov z VM4, kar pa je verjetno posledica večje velikosti in s tem starosti rib. Pri mreniču so bile koncentracije Hg v možganih osebkov z VM3 višje kot pri postrvih, kar lahko razložimo z načinom življenja mreniča, zaradi katerega je bolj izpostavljen anorganskim oblikam živega srebra. Delež MeHg v možganih mreničev z VM1 je bil nekoliko višji kot smo pričakovali, kar je verjetno posledica višje starosti osebkov.
- V mišicah, jetrih in škrgah rib z VM5 je bil delež MeHg visok, koncentracije Hg pa primerljive s koncentracijami Hg v mišicah, jetrih in škrgah rib s 3 in 4 vzorčnega mesta, zaradi česar sklepamo, da je obremenjenost s Hg na VM5 podobna obremenjenosti s Hg na VM3 in VM4.

5 POVZETEK

Živo srebro je eno izmed najbolj strupenih težkih kovin. Njegovo kroženje je globalno. Se bioakumulira v organizmih in biomagnificira preko prehranjevalne verige. Virov živega srebra je več, med pomembnejše antropogene vire pa spadajo rudniki živega srebra, kot je na primer idrijski. V Idriji in okolici so koncentracije živega srebra kljub zaprtju rudnika še vedno visoke.

Glavna pot privzema MeHg iz okolja je preko hrane, glavni faktorji, ki vplivajo na obremenjenost rib z živim srebrom, pa so starost, velikost, tipa prehranjevanja in položaj v prehranski verigi. Privzem Hg iz vode je največ 15%.

Povod za to raziskavo je bilo pomanjkanje podatkov o vsebnosti Hg v možganih rib, ki so različnim oblikam živega srebra izpostavljene v okolju in ne v laboratorijih.

Vzorčenje rib je potekalo spomladi in jeseni 2003 na petih vzorčnih mestih (1., 2., 3. in 4. so na Idrijci, 5. je na Mostu na Soči). Meritve vsebnosti živega srebra v možganih, mišicah, jetrih in škrgah rib smo opravili na Odseku za znanost o okolju Instituta Jožef Stefan. Koncentracijo T-Hg smo določali z metodo atomske absorpcijske spektrofotometrije hladnih par – AAS HP, MeHg pa z metodo atomske fluorescentne spektrofotometrije hladnih par – AFS HP.

Na prvem vzorčnem mestu smo izmerili najnižje koncentracije živega srebra v možganih rib, kar smo pričakovali, saj je obremenjenost okolja z živim srebrom na tem vzorčnem mestu najnižja. Na drugem vzorčnem mestu, ki je z živim srebrom precej bolj obremenjeno kot prvo, smo izmerili višje koncentracije Hg v možganih, delež MeHg pa je bil majhen kar je verjetno posledica povečanega privzema anorganskih oblik preko škrg.

Koncentracije Hg v možganih rib s tretjega in četrtega vzorčnega mesta so bile nižje kot na VM2, delež MeHg pa je bil višji, kar je verjetno posledica manjše obremenjenosti vode, suspendiranih delcev in sedimenta z anorganskim živim srebrom v primerjavi z obremenjenostjo okolja s Hg na drugem vzorčnem mestu. Koncentracije Hg in delež

MeHg v možganih rib z zadnjega vzorčnega mesta so bile visoke, kar je verjetno posledica večje velikosti in s tem starosti rib.

Koncentracije Hg in delež MeHg v možganih lipana in mreniča so bile, z izjemo VM4 pri lipanu in VM3 pri mreniču, pričakovano nižje kot pri postrvih, kar je posledica prehranjevanja z organizmi z nižjih trofičnih nivojev. Višje koncentracije Hg in višji delež MeHg v osebkih lipana z VM4 lahko razložimo z večjo velikostjo in s tem tudi starostjo osebkov. Višje koncentracije T-Hg v možganih mreničev z VM3 pa so posledica talnega načina življenja in s tem večje izpostavljenosti anorganskim oblikam Hg. Delež MeHg v možganih je bil pri postrvih višji kot pri mreniču in lipanu, kar je posledica ribojedosti teh vrst. Izjema je le VM1, kjer je bil delež MeHg v možganih mreničev z VM1 je bil nekoliko višji kot smo pričakovali, kar je verjetno posledica višje starosti osebkov.

Na podlagi izračunov korelacij lahko rečemo, da obstajajo korelacije med koncentracijami Hg v možganih in koncentracijami Hg v drugih organih rib, kar najbolj dokazujejo korelacije med koncentracijami Hg v možganih in drugih organih pri križancu, šarenki in potočni postrvi. Pri primerjanju koncentracij Hg v možganih s koncentracijami v drugih organih smo predvsem pri šarenki opazili vpliv vzorčnega mesta 2, kar je verjetno posledica večje obremenjenosti okolja s Hg na tem mestu. Koncentracije Hg (predvsem pa MeHg) v možganih so naraščale z velikostjo ribe pri vseh vrstah razen pri mreniču in soški postrvi. Pri slednji je s težo naraščala le koncentracija Hg (II).

V primerjavi z deležem MeHg v mišicah, jetrih in škrgah rib z VM1, 2, 3 in 4, so imele ribe z VM5 v mišicah, jetrih in škrgah višji delež MeHg.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo priporočljivo izmeriti koncentracije Hg še v nekaterih drugih organih rib (na primer v ledvicah) ter se osredotočiti predvsem na nelovne vrste, ki niso podvržene vlaganju umetno vzgojenih osebkov.

6 VIRI

6.1 CITIRANI VIRI

- Amlund H., Lundebye A., Berntssen M. 2007. Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology*, 83: 323-330
- Baeyens W., Leermakers M., Papina T., Saprykin A., Brion N., Noyen J., De Gieter M., Elskens M., Goeyens L. 2003. Bioconcentration and Biomagnification of Mercury and Methylmercury in North Sea and Scheldt Estuary Fish. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 45: 459-508
- Barbosa A.C., de Souza J., Dorea J.G., Jardim W.F., Fadini P. S. 2003. Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 45: 235-246
- Bjerregaard P., Andersen B.W., Rankin J.C. 1999. Retention of methyl mercury and inorganic mercury in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (W): effect of dietary selenium. *Aquatic Toxicology*, 45: 171-180
- Boudou A., Ribeyre F. 1985. Experimental study of trophic contamination of *Salmo gairdneri* by two mercury compounds - HgCl_2 and CH_3HgCl -analysis at the organism and organ levels. *Water, Air & Soil Pollution*, 26, 2: 137-148.
- Boudou A., Delnomdedieu M., Georgescauld D., Ribeyre F., Saouter E. 1991. Fundamental roles of biological barriers in mercury accumulation and transfer in freshwater ecosystems analysis at organism, organ, cell and molecular levels. *Water, Air & Soil Pollution*, 56, 1: 807-821

- Burger J., Gaines K.F., Boring C.S., Stephens W.L.Jr., Snodgrass J., Gochfeld M. 2001. Mercury and Selenium in Fish from the Savannah River: Species, Trophic Level, and Locational Differences. *Environmental Research Section A*, 87: 108-118
- Chasar L.C., Scudder B.C., Stewart A.R., Bell A.H., Aiken G.R. 2009. Mercury Cycling in Stream Ecosystems. 3. Trophic Dynamics and Methylmercury Bioaccumulation. *Environmental Science & Technology*, 49: 2733–2739
- Drasch G., Horvat M., Stoeppler M. 2004. Mercury. V: Elements and their compounds in the environment. Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoeppler M. (ur.). Weinheim, Wiley-VCH Verlag: 931-1005
- Emons H., Fajgelj A., van der Veen A.M.H., Watters R. 2006. New definitions on reference materials. *Accreditation and Quality Assurance*, 10: 576–578
- Gnamuš A., Horvat M. 1999. Mercury in the terrestrial food webs of the idrija mining area. V: Mercury contaminated sites. Ebinghaus R., Turner R.R., de Lacerda L.D., Vasiliev O., Salomons W. (ur.). Berlin, Springer-Verlag: 285-321
- Grippo M.A., Heath A.G. 2002. The effect of mercury on the feeding behavior of fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 55: 187-198
- Hall, B.D., Bodaly R.R., Fudge R.J.P., Rudd J.W.M., Rosenberg D.M. 1997. Food as the dominant pathway of methymercury uptake by fish. *Water, Air & Soil Pollution*, 100, 1-2: 13-24
- Hines M.E., Horvat M., Faganeli J., Bonzongo J.J., Barkay T., Major E.B., Scott K.J., Bailey E. A., Warwick J. J., Berry Lyons W. B. 2000. Mercury biogeochemistry in the idrija river, slovenia, from above the mine into the gulf of trieste. *Environmental Research Section A*, 83: 129-139

- Hines M.E., Faganeli J., Adatto I., Horvat M. 2006. Microbial mercury transformations in marine, estuarine and freshwater sediment downstream of the idrija mercury mine, Slovenia. *Applied Geochemistry*, 21: 1924–1939
- Hoffman D.J., Rattner B.A., Scheunert I., Korte F. 2001, Environmental contaminants, V: Ecotoxicology of wild mammals. Shore R.F., Rattner B.A. (ur.). Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.: 1-48
- Horvat M. 1999. Current status and future needs for biological and environmental reference materials certified for methylmercury compounds. *Chemosphere*, 39, 7: 1167-1179
- Horvat M., Jereb V., Fajon V., Logar M., Kotnik J., Faganeli J., Hines M.E., Bonzongo J.C. 2002. Mercury distribution in water, sediment and soil in the Idrijca and Soča river systems. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2: 287–296
- Horvat M., Toman M.J., Stergaršek J., Kotnik J., Fajon V., Gibičar D. 2004. Mercury and selenium in fish species in the Idrijca river polluted due to past mercury mining. 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant. Ljubljana, 28. junij-2. julij. 2004. Horvat M., Ogrinc N., Faganeli J., Kotnik J. (ur.). Ljubljana. Naravoslovnotehniška fakulteta: Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje: 1073-1077
- Jackson T.A. 1998. Mercury in aquatic ecosystems. V: Metal metabolism in aquatic environments. Langston W.J., Bebianno M.J. (ur.). London, Chapman & Hall: 77-138
- Kotnik J., Horvat M., Dizdarevič T. 2005.: Current and past mercury distribution in air over the Idrija Hg mine region, Slovenia. *Atmospheric Environment*, 39: 7570–7579
- Leermakers M., Baeyens W., Quevauviller P., Horvat M. 2005. Mercury in environmental samples: Speciation, artifacts and validation. *Trends in Analytical Chemistry*, 24, 5: 383-393

Liang L., Horvat M., Bloom N.S. 1994. An improved speciation method for mercury by GC/CVAFS after aqueous phase ethylation and room temperature precollection. *Talanta*, 41, 3: 371-379

Liang L., Horvat M., Cernichiari E., Gelein B., Balogh S. 1996. Simple solvent extraction technique for elimination of matrix interferences in the determination of methylmercury in environmental and biological samples by ethylation-gas chromatography-cold vapor atomic fluorescence spectrometry. *Talanta*, 43, 11: 1883-1888

Logar M., Horvat M., Akagi H., Ando T., Tomiyasu T., Fajon V. 2001. Determination of total mercury and monomethylmercury compounds in water samples from Minamata Bay, Japan: an interlaboratory comparative study of different analytical techniques. *Applied Organometallic Chemistry*, 15: 515-526

Mercury Study Report to Congress. Volume III: Fate and Transport of Mercury in the Environment. 1997. Washington, DC. United States Environmental Protection Agency: 367 str.

Miklavčič V. 1999. Mercury in the town of Idrija (Slovenia) after 500 years of mining and smelting. Mercury contaminated sites. Ebinghaus R., Turner R.R., de Lacerda L.D., Vasiliev O., Salomons W. (ur.). Berlin, Springer-Verlag: 259-269

Munthe J., Bodaly R.A., Branfireun B.A., Driscoll C.T., Gilmour C.C., Harris R., Horvat M., Lucotte M., Malm O. 2007. Recovery of mercury-contaminated fisheries. *Ambio*, 36, 1:33-44

Naglič M. 2005. Kopičenje živega srebra v tkivih izbranih ribjih vrst v reki Idrijci. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani

- Oliveira Ribeiro C. A., Pelletier E., Pfeiffer W.C., Rouleau C. 2000. Comparative Uptake, Bioaccumulation, and Gill Damages of Inorganic Mercury in Tropical and Nordic Freshwater Fish. *Environmental Research Section*, 83: 286-292
- Pak K., Bartha R. 1998. Products of Mercury Demethylation by Sulfidogens and Methanogens. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 5: 690-694
- Paller M.H., Littrell J.W. 2007. Long-term changes in mercury concentrations in fish from the middle Savannah River. *Science of the Total Environment*, 382: 375–382
- Piraino M.N., Taylor D.L. 2009. Bioaccumulation and trophic transfer of mercury in striped bass (*Morone saxatilis*) and tautog (*Tautoga onitis*) from Narragansett Bay (Rhode Island, USA). *Marine environmental research*, 67, 3: 117-128
- Povž M., Sket B. 1990. Naše sladkovodne ribe. Ljubljana. Mladinska knjiga: 370 str.
- Power M., Klein G. M., Guiguer K. R. R. A., Kwan M. K. H. 2002. Mercury accumulation in the fish community of a sub-arctic lake in relation to trophic position and carbon sources. *Journal of Applied Ecology*, 39, 5: 819-830
- Quevauviller P. 1997. Overview of SM&T (BCR) activities for the quality control of mercury determination in the environment. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 358: 419–423
- Regine M.B., Gilles D., Yannick D., Boudou A. 2006. Mercury distribution in fish organs and food regimes: significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science of the Total Environment*, 368: 262– 270
- Rothschild R.F.N., Duffy L.K. 2005. Mercury concentrations in muscle, brain and bone of Western Alaskan waterfowl. *Science of the Total Environment*, 349: 277– 283

- Rouleau C., Borg-Neczak K., Gottofrey J., Tjalve H. 1999. Accumulation of waterborne mercury (II) in specific areas of fish brain. *Environmental Science & Technology*, 33: 3384-3389
- Scheuhammer A.M., Meyer M.W., Sandheinrich M.B., Murray M.W. 2007. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish. *Ambio*, 36: 12-8.
- Southworth G.R., Peterson M.J., Ryon M.G. 2000. Long-term increased bioaccumulation of mercury in largemouth bass follows reduction of waterborne selenium. *Chemosphere*, 41, 7:1101-1105
- Smol J.P. 2002. *Pollution of lakes and rivers, a paleoenvironmental perspective*. 2. izdaja. Malden, Blackwell Publishing Ltd.: 396 str.
- Stepanova I.K., Komov V.T. 2000. Biocenotic regularities of mercury accumulation in fish from inland water bodies, *Russian journal of ecology*, 33, 4: 299-300
- Technical background report to the global atmospheric mercury assessment. 2008. Arctic monitoring and assessment programme/UNEP chemical brand
- Ubillus F., Alegria A., Barbera R., Farre R., Lagarda M.J. 2000. Methylmercury and inorganic mercury determination in fish by cold vapour generation atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 71: 529-533
- Veenvliet, P., Kus Veenvliet J. 2006. Ribe slovenskih celiskih voda: priročnik za določanje. Grahovo. Zavod Symbiosis: 168
- Wiener J.G., Krabbenhof P., Heinz G.H., Scheuhammer A.M. 2002. Ecotoxicology of mercury. V: *Handbook of ecotoxicology*. Hoffman D.J., Rattner B.A., Burton G.A.Jr. Cairns J. Jr. (ur.). Boca Raton, CRC Press: 409-464

Žižek S., Horvat M., Toman M.J. 2007. Bioaccumulation of mercury in benthic communities of a river ecosystem affected by mercury mining. *RMZ-Materials and geoenvironment*, 52, 1: 165-168

Žižek, 2009. Vloga organizmov v perifitonu in sedimentih rečnih ekosistemov pri pretvorbah živega srebra. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani

O jezeru. 2008. Jezero d.o.o. Most na Soči
http://www.jezero-doo.si/o_jezeru.php (14. april 2010)

Ribe. 2010. Ribiška družina Tolmin
<http://www.ribiska-druzina-tolmin.si/ribe.php> (7. julij 2010)

6.2 DRUGI VIRI

Carr R. 2009. XLStatistics, XLent Works, Australia

Hunt N., Tyrrell S., Nicholson J. 2002. Correlation coefficient – r.
<http://www.coventry.ac.uk/ec/~nhunt/regress/good4.html> (10. avgust 2010)

Rejec L. 2010. »Vlaganje rib«. Tolmin. Ribiška družina Tolmin (osebni vir, marec 2010)

Toman M.J. 2010. »Velikost in starost rib«. Ljubljana, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta (osebni vir, julij 2010)

ZAHVALA

Hvala financministrici za podporo med študijem, čeprav ji včasih ni bilo lahko.

Hvala Jerneju za vzpodbudo pri pisanju in prenašanje mojih vsakodnevnih muh.

Hvala mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu in somentorici prof. dr. Mileni Horvat za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplome.

Hvala recenzentki dr. Damjani Drobne za nasvete in hiter pregled diplome.

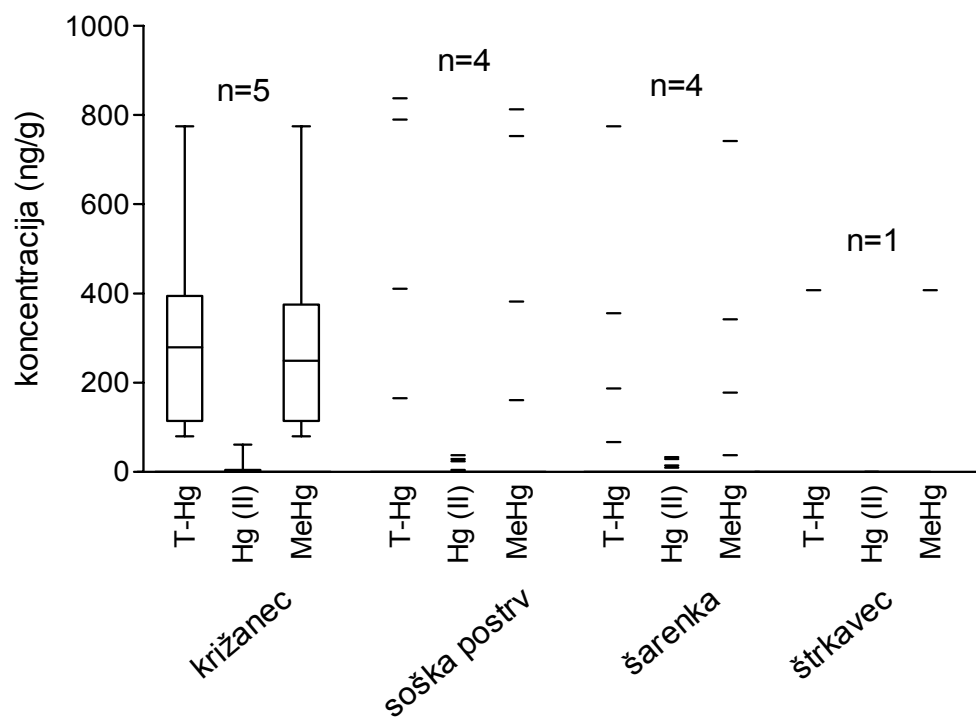
Hvala prim. dr. Alfredu B. Kobalu, ki mi je prvi dal idejo glede diplomske naloge.

Hvala Suzani, Nuši, Dariji, Vesni in Janji za nasvete in pomoč v laboratoriju.

Hvala mojim pesjanom Tariju, Šenzi in Momo, ker so ves ta čas potrpežljivo prenašali včasih nekoliko krajše sprehode in pomanjkanje treningov.

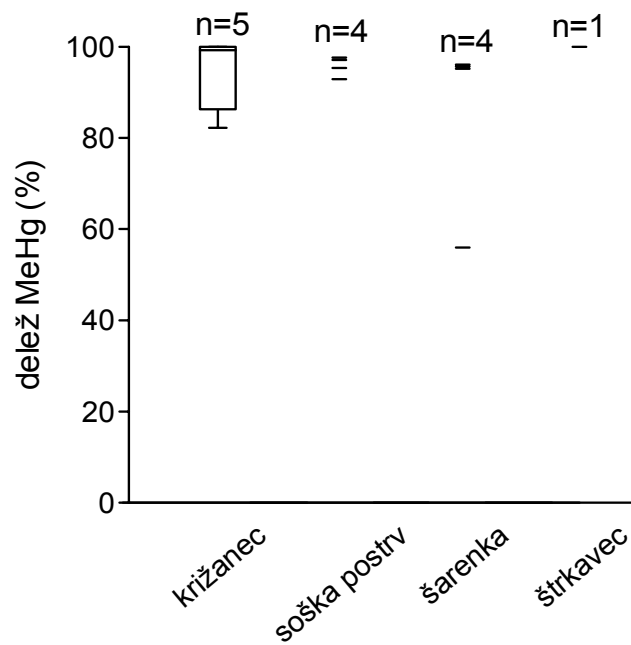
PRILOGA A

Koncentracija Hg mišicah rib z VM5
 T-Hg – celokupno živo srebro
 Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro
 MeHg – metil živo srebro



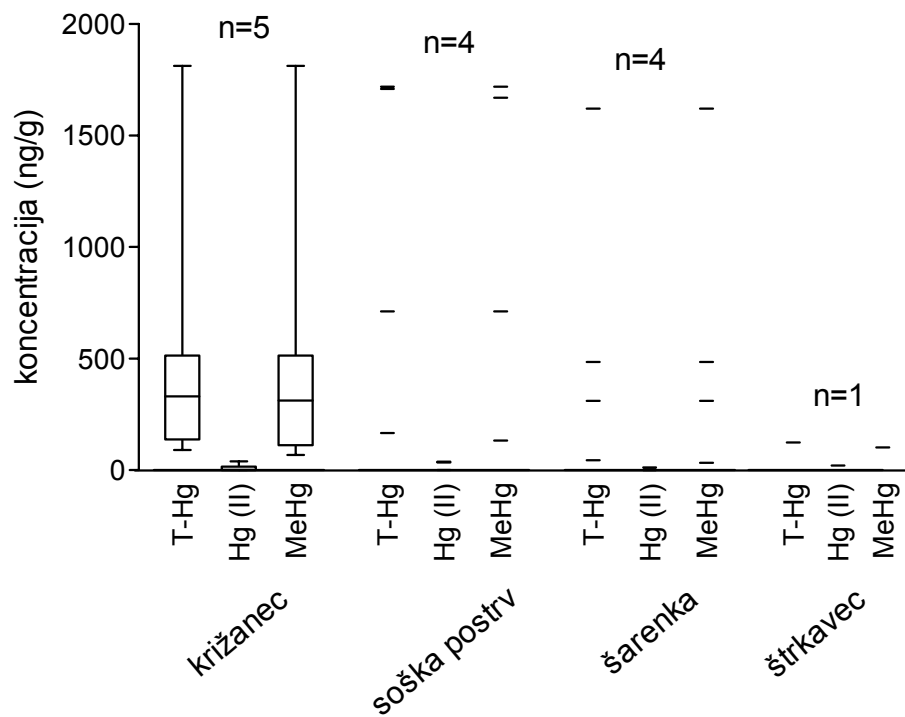
PRILOGA B

Delež MeHg v mišicah rib z VM5



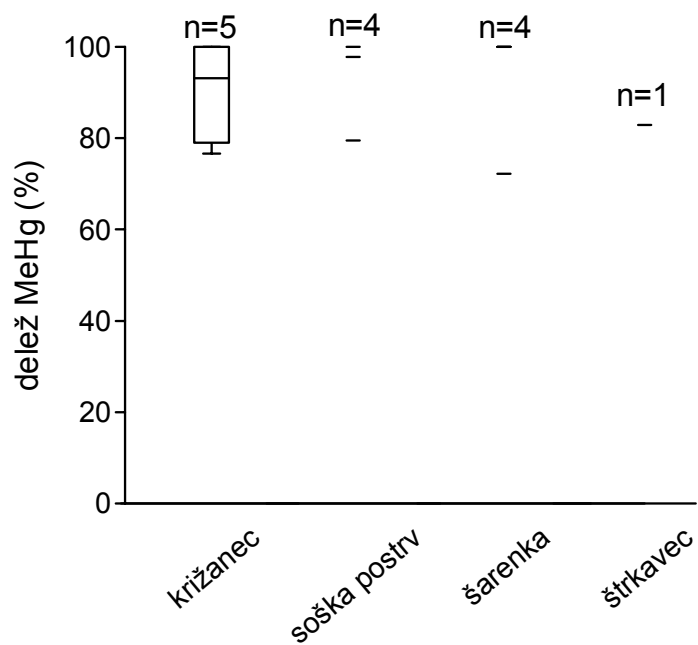
PRILOGA C

Koncentracija Hg v jetrih rib z VM5
 T-Hg – celokupno živo srebro
 Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro
 MeHg – metil živo srebro



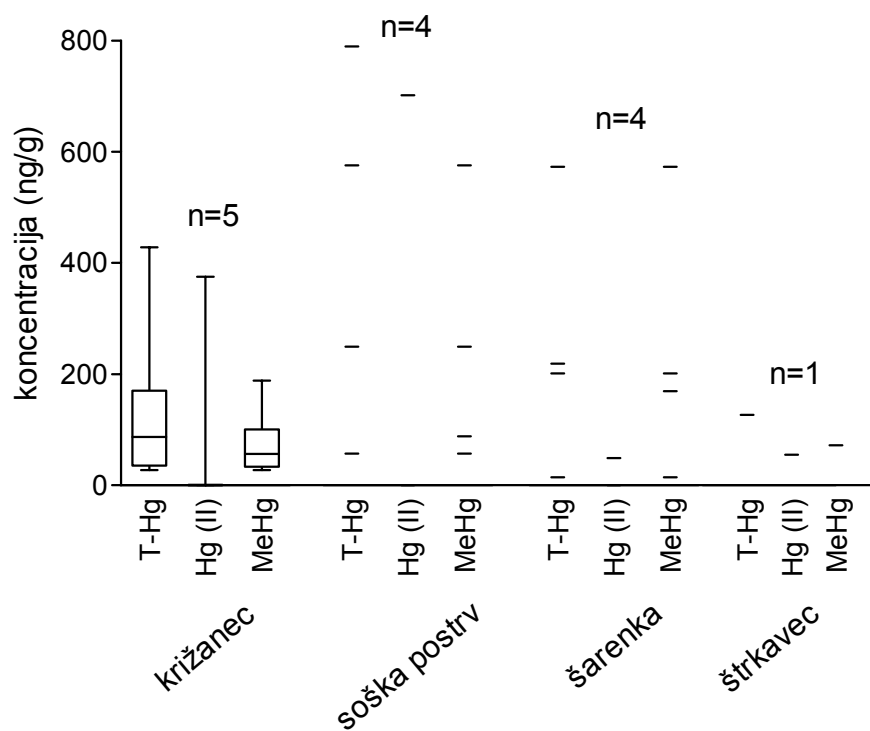
PRILOGA D

Delež MeHg v jetrih rib z VM5



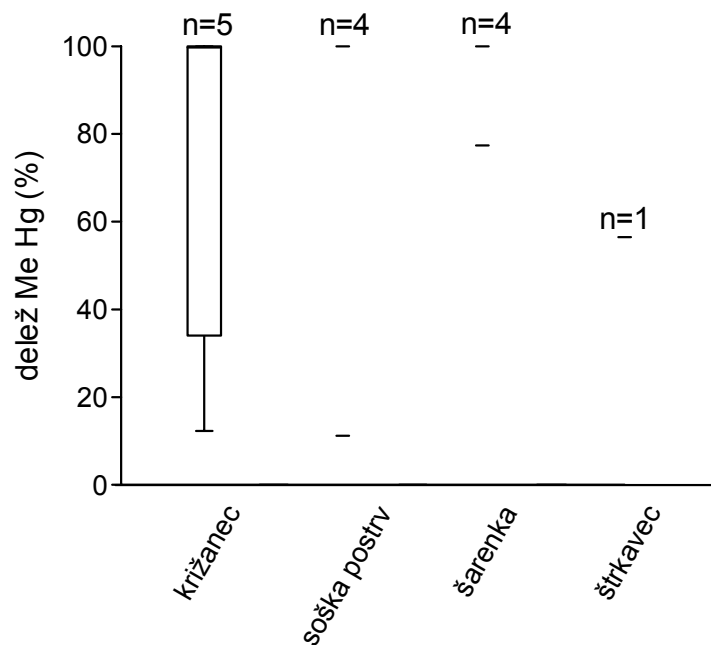
PRILOGA E

Koncentracija Hg v škrgah rib z VM5
 T-Hg – celokupno živo srebro
 Hg (II) – dvovalentno anorgansko živo srebro
 MeHg – metil živo srebro



PRILOGA F

Delež MeHg v škrgah rib z VM5



PRILOGA G

Porazdelitev podatkov v primerih, ko je $n > 4$

VM	Vrsta	Št. rib	Teža (g)			Dolžina (cm)			T-Hg (ng/g)			Hg II (ng/g)			Me-Hg (ng/g)			% Me-Hg		
			min	mediana	max	min	mediana	max	min	mediana	max	min	mediana	max	min	mediana	max	min	mediana	max
1	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	5	24,3	69,0	73,2	13,0	16,0	16,5	51,0	52,3	130	0,0	16,0	112	17,4	44,6	52,2	13,4	75,4	100
1	<i>Salmo sp.</i>	5	23,0	115	266	12,5	21,5	29,5	71,5	108	383	0,1	29,3	38,7	34,5	108	366	48,2	84,1	99,9
1	<i>Salmo trutta fario</i>	6	15,1	89,3	145	10,8	20,3	24,5	46,2	129	265	0,0	49,5	97,7	8,6	76,9	201	8,5	58,9	100
2	<i>Salmo sp.</i>	8	56,9	170	481	16,5	23,5	41,0	53,7	374	13800	0	79,8	12956	53,7	118	845	6,1	57,0	100
3	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	6	118	312	541	20,0	27,5	38,0	85,4	215	364	36,4	111	224	39,3	69,0	140	24,8	42,2	63,1
4	<i>Salmo sp.</i>	5	61,1	73,2	556	16,0	18,7	35,0	200	229	377	115	148	257	26,3	81,2	132	9,3	34,9	42,6
5	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	5	700	1100	1300	41,0	47,0	47,0	49,2	461	1182	11,8	154	513	37,4	307	669	56,6	66,4	76,0

PRILOGA H

Hg v vseh organih vseh rib z vzorčnega mesta 1 (povzeto in popravljeno po Naglič, 2005)

	Vrsta	Koda	Teža (g)	Dolžina (cm)	Mišica				Jetra				Škrge				Možgani			
					T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg
Idrijca nad pritokom Belce (Vzorčno mesto 1)	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	1M1	24,3	13	98,9	11	87,6	88,6					35,8				130	112	17,4	13,4
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	1M2	25,6	13,1	119	5	114	95,8					12,1				52,2	0,0	52	100,0
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	1M3	69	16	87,8	0	87,7	99,9	45,3				20,1				65,1	16,0	49,1	75,4
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	1M4	72,1	16,5	65,5	0	68,6	100,0	43,1				18,9				51,0	6,4	44,6	87,4
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	1M5	73,2	16	77,6	18	59,7	76,9	35,2				21,8				52,3	22,8	29,5	56,4
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š1	27,1	13,8					45,7				24,8				61,8	31,7	30,1	48,7
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š2	144,5	27	147	17	130	88,4	235				48,4				162	68,7	93,0	57,5
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š3	276,3	29,5	157	23	134	85,4	229	62	167	72,9	95,7	7	88,4	92,4	144	14,0	130	90,3
	<i>Salmo marmoratus</i>	1SP1	62,5	18,8	101				355				99				173	106	67,1	38,7
	<i>Salmo sp.</i>	1K1	265,9	29,5	104				511	51	460	90,0	337	133	204	60,5	383	17,0	366	95,6
	<i>Salmo sp.</i>	1K2	130,2	23,5	224	21	203	90,6	461	120	341	74,0	214	25	189	88,3	244	38,7	205	84,1
	<i>Salmo sp.</i>	1K3	23	12,5	43,8	0	44	100,0	103				25,5				71,5	37,0	34,5	48,2
	<i>Salmo sp.</i>	1K4	79,1	19,4	94,5				104				50,5	0	67,6	100,0	74,4	29,3	45,1	60,6
	<i>Salmo sp.</i>	1K5	115,2	21,5	118	5	113	95,8	200	11	189	94,5	72,4	28	44,4	61,3	108	0	108	99,9
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP1	15,1	10,8	38,7	0	40	100,0	134				32,2				101	92,0	8,6	8,5
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP2	34	14,7	26,2	1	25,6	97,7	78,8				27,1				46,2	28,4	17,8	38,5
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP3	79,2	19,8	70,3	11	58,9	83,8	120			0,0	48,6				95,0	43,1	51,9	54,6
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP4	99,3	20,7	153	0	157	100,0	287	23	264	92,0	122	0	130	100,0	201	0	201	100,0
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP5	109,4	21,7	117	0	126	100,0	295	154	141	47,8	66,5				158	56,0	102	64,5
	<i>Salmo trutta fario</i>	1PP6	144,7	24,5	193	39	154	79,8	294	0	297	100,0	110	0	124	100,0	265	97,7	167	63,1

PRILOGA I

Hg v vseh organih vseh rib z vzorčnega mesta 2 (povzeto in popravljeno po Naglič, 2005)

	Vrsta	Koda	Teža (g)	Dolžina (cm)	Mišica				Jetra				Škrge				Možgani			
					T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg
Idrijca Kolektor (Vzorčno mesto 2)	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	2Š1	273,4	26,5	231	156	75,3	32,6	3255	3001	254	7,8	2900	2848	51,8	1,8	2755	2685	70,1	2,5
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	2Š2	175,3	24	302	211	91,3	30,2	2900	2657	243	8,4	2070	1851	219	10,6	2287	2210	77,3	3,4
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	2Š3	153,3	22,7	322	201	121	37,6	2750	2562	188	6,8	2220	2114	106	4,8	1777	1653	125	7,0
	<i>Salmo marmoratus</i>	2SP1	999,2	45	564	228	336	59,6	3964	3115	849	21,4	2070	1887	183	8,8	930	696	235	25,2
	<i>Salmo marmoratus</i>	2SP2	80,1	18,4	250	174	75,8	30,3	5843								4505	4335	169	3,8
	<i>Salmo sp.</i>	2Š4	402,5	32	540	157	383	70,9	1140	612	528	46,3	413	57	356	86,2	558	0	558	100,0
	<i>Salmo sp.</i>	2Š5	314,5	29	122	57	65,5	53,7	191	71	120	62,8	342	271	71,5	20,9	53,5	0	53,7	100,0
	<i>Salmo sp.</i>	2Š6	183,7	25	200	82	118	59,0	350	125	225	64,3	180	180			191	92,0	99,0	51,8
	<i>Salmo sp.</i>	2Š7	57,2	18,5	110	20	90,1	81,9	300				226	142	83,9	37,1	178	67,6	111	62,1
	<i>Salmo sp.</i>	2Š9	90,9	17	92,5	32	60,6	65,5	242				133	133			110	26,7	83,0	75,6
	<i>Salmo sp.</i>	2K1	480,6	41	2356	1922	434	18,4	24370	23139	1231	5,1	7710	7123	587	7,6	13800	12956	845	6,1
	<i>Salmo sp.</i>	2K2	254,1	27	246	112	134	54,5	2896	2638	258	8,9	2070	1969	101	4,9				
	<i>Salmo sp.</i>	2K3	156,6	22	260	135	125	48,1	3642	3228	414	11,4	5890	5693	197	3,3	654	530	124	19,0
	<i>Salmo sp.</i>	2K4	56,9	16,5	307	63	244	79,5	4125				2620		NI		2024	1782	241	11,9
	<i>Salmo trutta fario</i>	2PP1	498	36	461	131	330	71,6	1318	707	611	46,4	1390	1124	266	19,1	1231	889	342	27,8
	<i>Salmo trutta fario</i>	2PP2	339,5	31,5	4013	3282	731	18,2	11930	11166	764	6,4	6460	6060	400	6,2				
	<i>Salmo trutta fario</i>	2PP3	184	24	470	222	248	52,8	3768	3355	413	11,0	3070	2872	198	6,5	4475	4283	192	4,3
	<i>Salmo trutta fario</i>	2PP4	61,3	17	320	115	205	64,1	2838				2470	2256	214	8,7	2272	2098	174	7,6
	<i>Thymallus thymallus</i>	2L1	556,5	35,8	974	441	533	54,7	6568	5254	1314	20,0	10600	10351	249	2,4				
	<i>Thymallus thymallus</i>	2L2	286,6	28,5	278	119	159	57,2	3505	3112	393	11,2	7140	6863	277	3,9	3685	3572	113	3,1
	<i>Thymallus thymallus</i>	2L3	99,6	19,8	300	208	91,9	30,6	2228	1820	408	18,3	2460	2357	103	4,2	1422	1347	75,5	5,3
	<i>Thymallus thymallus</i>	2L4	89,5	18,5	210	128	81,6	38,9	3316				3470	3276	194	5,6	1837	1797	40,3	2,2
	<i>Thymallus thymallus</i>	2L5	65,4	18	259	125	134	51,7	3389				3430	3240	190	5,5	1963	1877	86,0	4,4

PRILOGA J

Hg v vseh organih vseh rib z vzorčnega mesta 3 (povzeto in popravljeno po Naglič, 2005)

	Vrsta	Koda	Teža (g)	Dolžina (cm)	Mišica				Jetra				Škrge				Možgani			
					T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg
Idrija - Kozarska grapa (Vzorčno mesto 3)	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M1	188,3	24	1460	568	892	61,1	1440				431	202	229	53,1				
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M2	159,9	21,5	682	233	449	65,8	262				202	68	134	66,3	1466	1095	370	25,3
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M3	136,4	20	870	264	606	69,7	738				128	17	111	86,7				
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M4	62,8	16	330	92	238	72,1	128				174	116	58	33,3				
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M5	33,4	14,3	450	64	386	85,8					338	209	129	38,2	470	283	187	39,9
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	3M6	40	14,7	452	30	422	93,4									816	621	195	23,8
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š1	532	38	80,8	31	50	61,9	170	76	93,9	55,2	110	66	44,1	40,1	85,4	46,1	39,3	46,0
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š2	541,1	32,5	163	14	149	91,4	468	248	220	47,0	235	89	146	62,1	364	224	140	38,5
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š3	434,8	31	177	66	111	62,7	405	250	155	38,3	230	163	67,3	29,3	281	212	69,7	24,8
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š4	118,1	20	115	56	59	51,3	124	0	124	100,0	139	68	70,8	50,9	186	118	68,3	36,7
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š5	176,1	23,5	92,2	25	67,4	73,1	71,5	0	100	100,0	117	32	84,6	72,3	98,6	36,4	62,2	63,1
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	3Š6	189,4	24	158	43	115	72,8	300	110	190	63,3	201	86	115	57,2	243	105	138	56,8
	<i>Salmo marmoratus</i>	3SP1	421,1	31,5	100				353	0	402	100,0	155	46	109	70,3				
	<i>Salmo marmoratus</i>	3SP2	703,6	38	417	123	294	70,5	685	360	325	47,5	188	43	145	77,1	647	260	387	59,8
	<i>Salmo marmoratus</i>	3SP3	60,6	14,5	185	0	205	100,0	430				585	495	89,8	15,4	303	0	303	100,0
	<i>Salmo sp.</i>	3K1	867,9	39,5	438	50	388	88,6	716	-91	807	100,0	522							
	<i>Salmo sp.</i>	3K2	255,2	29	95,9	21	75	78,2	171				94,2	17	77,2	82,0	132	51,9	79,7	60,6
	<i>Salmo sp.</i>	3K3	1400	50	1124	443	681	60,6	1260	10	1250	99,2	132			0,0	2689	817	1872	69,6
	<i>Salmo sp.</i>	3K4	38,2	14,8	344	28	316	91,9	400				260				371	44,6	326	88,0
	<i>Salmo sp.</i>	3K5	91,8	19,7	68,3	0	74,7	100,0	285	184	101	35,4	210	173	37	17,6	180	121	58,9	32,8
	<i>Salmo trutta fario</i>	3PP1	147,7	23,5	257	160	97,3	37,9	317	51	266	83,9	136	42	93,7	68,9				
	<i>Salmo trutta fario</i>	3PP2	113,8	21	106	27	79	74,5	401	286	115	28,7	134	74	60,3	45,0	109	25,6	83,9	76,6
	<i>Thymallus thymallus</i>	3L1	373,3	31,5	131	49	82,4	62,9	432	317	115	26,6	261	195	65,8	25,2	208	158	49,5	23,9
	<i>Thymallus thymallus</i>	3L2	132,8	22,5	85,9	18	68	79,2	288				251	177	74,5	29,7	153	95	58,7	38,3
	<i>Thymallus thymallus</i>	3L3	407,5	32,5	139	10	129	92,8	394	140	254	64,5	220	121	99,5	45,2	330	195	136	41,1

PRILOGA K

Hg v vseh organih vseh rib z vzorčnega mesta 4 (povzeto in popravljeno po Naglič, 2005)

	Vrsta	Koda	Teža (g)	Dolžina (cm)	Mišica				Jetra				Škrge				Možgani			
					T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg
Idrija - Bača pri Modreju (Vzorčno mesto 4)	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	4M1	136	20,3	666	175	491	73,7	631				247	0	301	100,0				
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	4M2	104,6	18,5	500	155	345	69,0	286				281	0	287	100,0	379	87,2	292	77,0
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	4M3	78,9	18	470	160	310	66,0	332				105	16	89	84,8	404	308	96,1	23,8
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	4M4	45	14,5									263	52	211	80,2				
	<i>Barbus meridionalis caninus</i>	4M5	44,9	14,3	470								428	91	337	78,7	2713	836	1878	69,2
	<i>Barbus plebejus</i>	4G1	540,3	40	276	0	296	100,0	301	256	45,1	15,0	60	0	71,2	100,0				
	<i>Barbus plebejus</i>	4G2	829,4	40	1980	700	1280	64,7	4940	4172	768	15,6	264				2076	1287	789	38,0
	<i>Salmo sp.</i>	4K1	1089	42	955	21	934	97,8	1950	432	1518	77,9	685	242	443	64,7			602	
	<i>Salmo sp.</i>	4K2	65,4	17,8	210	86	124	59,1	247				210	83	127	60,5	216	144	71,3	33,1
	<i>Salmo sp.</i>	4K3	73,2	18,7	132	17	115	87,1	294	195	98,6	33,5	129				200	115	85,2	42,6
	<i>Salmo sp.</i>	4Š1	423	32,5	164	62	102	62,2	265	67	198	74,7	215	119	96,4	44,8	283	257	26,3	9,3
	<i>Salmo sp.</i>	4Š2	556,1	35	378	170	208	55,0	538	207	331	61,5	637	516	121	19,0	377	246	132	34,9
	<i>Salmo sp.</i>	4Š3	61,1	16	170	59	111	65,3	145				126				229	148	81,2	35,4
	<i>Salmo sp.</i>	4Š4	101,8	18,5	103	32	71,1	69,0	220	10	210	95,5	161	15	146	90,7				
	<i>Thymallus thymallus</i>	4L1	682,6	35	2179	956	1223	56,1			115		460	109	351	76,3	4124	1573	2551	61,9
	<i>Thymallus thymallus</i>	4L2	668,5	40	1243	204	1039	83,6	2270	1479	791	34,9	732	554	178	24,3	818	341	477	58,3
	<i>Thymallus thymallus</i>	4L3	728,5	39	1882	419	1463	77,7	14120	13281	839	5,9	818	481	337	41,2	4040	2060	1979	49,0
	<i>Thymallus thymallus</i>	4L4	110	20,8	90	0	91	100,0	385				162	34	128	79,0	126	89,7	36,1	28,7

PRILOGA L

Hg v vseh organih vseh rib z vzorčnega mesta 5 (povzeto in popravljeno po Naglič, 2005)

	Vrsta	Koda	Teža (g)	Dolžina (cm)	Mišica				Jetra				Škrge				Možgani			
					T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/)	MeHg (ng/g)	%MeHg	T-Hg (ng/g)	Hg (II) (ng/g)	MeHg (ng/g)	%MeHg
Idrijca - Most na Soči (Vzorčno mesto 5)	<i>Salmo sp.</i>	1K1	1000	47	80	0	80	100,0	89,3	21	68,4	76,6	27	0	27	100	71,4	34,2	37,2	52,1
	<i>Salmo sp.</i>	1K2	1100	47	775	0	775	100,0	1812	0	1812	100,0	428	375	52,8	12,3	1637	471	1166	71,2
	<i>Salmo sp.</i>	1K3	700	39	342	61	281	82,2	380	0	380	100,0	114	0	114	100	421	249	171	40,7
	<i>Salmo sp.</i>	1K4	900	46	217	0	217	100,0	282	39	243	86,2	60	0	60	100	403	197	205	51,0
	<i>Salmo sp.</i>	1K5	400	36	412	6	406	98,5	558	0	558	100,0	189	1	188	99,4	1140	351	790	69,3
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š1	1000	47	775	33	742	95,7	1620	0	1620	100,0	573	0	573	100	1182	513	669	56,6
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š2	1300	47	356	14	342	96,1	485	0	485	100,0	201	0	201	100	713	236	477	66,8
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š3	700	41	66,6	29	37,3	56,0	43,6	12	31,5	72,2	14	0	14	100	49,2	11,8	37,4	76,0
	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	1Š4	1200	47	187	9	178	95,2	310	0	310	100,0	219	49	169	77,4	209	71,0	138	66,1
	<i>Salmo marmoratus</i>	2SP1	1300	48,5	165	4	161	97,6	166	34	132	79,5	57	0	57	100	152	30,6	121	79,8
	<i>Salmo marmoratus</i>	1SP1	3600	69	790	37	753	95,3	1719	0	1719	100,0	576	0	576	100	682	514	168	24,7
	<i>Salmo marmoratus</i>	1SP2	1300	51	411	29	382	92,9	711	0	711	100,0	249	0	249	100	780	397	383	49,1
	<i>Salmo marmoratus</i>	1SP3	1100	47	837	24	813	97,1	1708	38	1670	97,8	790	702	88,5	11,2	2054	151	1903	92,6
	<i>Leuciscus cephalus cabeda</i>	1ŠT1	1600	51	407	0	407	100,0	123	21	102	82,9	127	55	71,8	56,5	453	306	147	32,4