

UNIVERZITET U BEOGRADU

BIOLOŠKI FAKULTET

Željka V. Višnjić-Jeftić

**Ekološka i toksikološka istraživanja
crnomorske haringe (*Alosa immaculata*
Bennett, 1835) u Dunavu u Srbiji**

doktorska disertacija



Beograd, 2012.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF BIOLOGY

Željka V. Višnjić-Jeftić

**Ecological and toxicological study of
the Pontic shad (*Alosa immaculata*
Bennett, 1835) in the Danube River in
Serbia**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

MENTORI:

Dr Jasmina Krpo-Četković, docent,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

Dr Aleksandar Hegediš, docent,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet,
i viši naučni saradnik
Instituta za multidisciplinarna istraživanja
Univerziteta u Beogradu

ČLANOVI KOMISIJE ZA PREGLED, OCENU I ODBRANU:

Dr Jasmina Krpo-Četković, docent,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

Dr Aleksandar Hegediš, docent,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet,
i viši naučni saradnik Instituta za multidisciplinarna istraživanja
Univerziteta u Beogradu

Dr Mirjana Lenhardt, naučni savetnik
Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković"
Univerziteta u Beogradu

Dr Ivan Jarić, naučni saradnik
Instituta za multidisciplinarna istraživanja
Univerziteta u Beogradu

Dr Tanja Vukov, naučni saradnik
Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković"
Univerziteta u Beogradu

Datum odbrane: _____

PREDGOVOR

Prošlo je mnogo vremena od samog početka, tj. osmišljavanja teme ove doktorske disertacije pa do njene izrade, te je sasvim logično da osećam dužnu zahvalnost prema velikom broju ljudi koji su bili uz mene.

Veliko hvala mojoj mentorki, dr Jasmini Krpo-Ćetković koja je doprinela uobličavanju teze i svojim preciznim sugestijama dala joj na kvalitetu.

Za sve što sam naučila radeći uz Vas, za pozitivan stav prema kolegama, poslu, i na kraju prema životu uopšte, dugujem Vama, Mirijana Lenhardt i Aleksandre Hegedišu.

Ivane Jariću, hvala ti na pomoći pri izradi rezultata za teške metale i statističkim analizama, uvek naučno ispravnim savetima i tvojim čvrstim etičkim stavovima. Stefane Skoriću, hvala ti na pomoći pri terenskim istraživanjima tokom ovih par godina i podršci koja mi je pomogla da prevaziđem krize koje je donosilo svako hvatanje uzoraka. Drage moje kolege Ivane i Stefane, bez vas bi rad na ovom doktoratu bio sasvim sigurno drugačiji i teži.

Zahvalnost dugujem dr Tanji Vukov koja je svojim velikim zalaganjem pomogla pri izradi analize geometrijske morfometrije i nesebično podelila sa mnom znanje iz ove oblasti.

Ostalima takođe, dragim kolegama Zoranu Gačiću, Mariji Smederevac-Lalić, Gorčinu Cvijanoviću, Miroslavu Nikčeviću, Branislavu Mićkoviću i Milici Pucar dugujem zahvalnost za indirektnu i savetodavnu podršku i dobru radnu atmosferu.

Takođe se zahvaljujem na pruženoj stručnoj i savetodavnoj pomoći dr Miroslavu Nikoliću u pripremi uzoraka i pri analizi na ICP-OES-u, dr Mirjani Mihajlović pri liofilizaciji uzoraka, kao i dr Miri Aničić za svesrdnu savetodavnu pomoć oko analize teških metala.

Zahvaljujem se ribarima Ivanu i Dragiši Stanišiću koji su pomogli pri ulovu uzoraka i bez kojih ne bi bila izvodljiva dalja analiza jedinki crnomorske haringe.

Na kraju se zahvaljujem mojoj porodici, Sale i Lenka, mama, tata i Anđelija, hvala vam na strpljenju, podršci i pre svega velikoj ljubavi koju ste mi uvek nesebično davali.

Istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji rađena su u okviru nacionalnih projekata OI 173045 i TR 37009, finansiranih od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

Ekološka i toksikološka istraživanja crnomorske haringe (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) u Dunavu u Srbiji

REZIME

Crnomorska haringa (*Alosa immaculata*, Bennett 1835) je anadromna vrsta koja veći deo života provodi u jako zagađenom severoistočnom delu Crnog mora, a radi mresta migrira u Dunav. Populacije crnomorske haringe imaju opadajući trend brojnosti, tako da se prema IUCN Crvenoj listi ugroženih vrsta tretira kao ranjiva vrsta (VU). Njen migratorni put radi mresta skraćen je izgarnjom brane Đerdap II do 863 rkm Dunava. Iako je komercijalno značajna, istraživanja na crnomorskoj haringi sprovode se povremeno.

Za izradu ovog rada, migranti crnomorske haringe prikupljeni su tokom aprila i maja 2004., 2006., 2007. i 2008. godine na 863 rkm Dunava, neposredno ispod brane Đerdap II.

Struktura populacije u odnosu na dužinske klase i dužinsko-težinski odnosi analizirani su na osnovu merenja totalne dužine (TL) i ukupne težine tela (W) jedinki koje su sakupljene u 2004. i 2006. godini. Opseg variranja totalnih dužina tela ulovljenih jedinki iznosio je od 24,2 do 38,7 cm, sa dominacijom klase od 32-32,5 cm. Dobijeni faktori alometrije dužinsko-težinskog odnosa manji su od tri ($b < 3$) za oba pola i za obe sezone uzoraka.

Ova studija je imala za cilj da obezbedi i prve podatke o geometrijsko-morfometrijskim karakteristikama crnomorske haringe, vrednostima gonadosomatskog (GSI) i hepatosomatskog indeksa (HSI) kao i Fultonovog faktora kondicije (K) u Dunavu u Srbiji. Zabeležena je statistički značajna razlika između GSI, HSI i K između oba pola i u obe sezone uzorkovanja. Razlike nisu pronađene samo za vrednosti K između mužjaka i ženki u 2004. godini i za vrednosti GSI i K između ženki uzorkovanih u 2004. i 2006. godini. Vrednosti Fultonovog faktora kondicije u ovom istraživanju bile su najniže u poređenju sa vrednostima koje su do sada zabeležene za crnomorsku haringu.

Uzrasna struktura populacije određena je na osnovu očitavanja 28 krljušti i 30 kičmenih pršljenova nasumično izabranih jedinki. Starost analiziranih primeraka kretala se od 2+ do 6+, sa dominacijom jedinki starosti 3+ i 4+. Očitavanje starosti sprovedla su dva interpretatora sa iskustvom u određivanju starosti kod različitih vrsta riba i tri interpretatora sa iskustvom za određivanje starosti korišćenjem krljušti i pršljenova kod crnomorske haringe. Interpretatori sa iskustvom čitanja starosti kod haringe imali su manje vrednosti indeksa prosečne procentualne greške (IAPE) i indeksa koeficijenta varijacije (ICV). Nisu nađene statistički značajne razlike za ponovljivost očitavanja kod svakog pojedinačnog interpretatora u određivanju starosti na osnovu krljušti i pršljenova. Prema tome, iskustvo interpretatora ima veći uticaj na preciznost nego što to ima izbor koštane strukture pomoću koje bi se determinisala starost. Determinacija starosti kod riba zahteva usvajanje standardnih protokola koji moraju uključiti i interakcije između interpretatora.

Geometrijsko-morfometrijska analiza pokazala je da postoje statistički značajne razlike u obliku tela jedinki na oba nivoa: sezone tj. godine uzorkovanja (nested ANOVA: $F=13,84$; $P<0,001$) i pola (nested ANOVA: pol u okviru jedne sezone tj. godine uzorkovanja, $F=1,71$; $P<0,01$). Najznačajniji parametri za razdvajanje uzoraka iz 2004. i 2006. godine bile su razlike u obliku glave i u poziciji peraja. Ženke su u odnosu na mužjake imale veći intenzitet dorzo-ventralne izduženosti srednjeg dela tela, i istureniji gornji dorzalni deo tela. UPGMA fenogram izveden na osnovu matrice Prokrustovih distanci za oblik tela pokazuje da je grupa koja obuhvata mužjake iz 2004. godine razdvojena u odnosu na ostale tri grupe. Polni dimorfizam crnomorske haringe, utvrđen u ovom istraživanju, u skladu je sa literaturnim nalazima kod drugih vrsta iz istog roda.

Određivanja nivoa kontaminacije teškim metalima i mikroelemenata sprovedeno je na tkivima crnomorske haringe uzorkovanim tokom aprila i maja 2007. i 2008. Mišić, jetra i škrge su pripremljeni korišćenjem mikrotalasne digestije, dok je analiza Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr i Zn urađena pomoću indukovanog spregnute plazme – optičko emisijne spektrometrije (ICP-OES). Statistički značajne razlike u koncentracijama teških metala i mikroelemenata utvrđene su među različitim tkivima, kao i među polovima. Koncentracije Al, Sr, Ba, Mg i Li su bile najveće u škragama, dok su koncentracije Cd, Cu, Zn, Fe i B bile najveće u jetri.

Koncentracija većine analiziranih elemenata bila je najniža u mišićnom tkivu, osim za As čija je koncentracija najveća upravo u ovom tkivu. Ova studija je pokazala da su koncentracije Cd i As u mišićnom tkivu crnomorske haringe bile iznad maksimalne dozvoljene koncentracije propisane zakonskom regulativom koja je prihvatljiva za ljudsku ishranu.

Ključne reči: crnomorska haringa, Dunav, hepatosomatski indeks, gonadosomatski indeks, kondicioni faktor, određivanje starosti kod riba, geometrijska morfometrija, teški metali i mikroelementi.

Naučna oblast: Ekologija

Uža naučna oblast: Ekologija riba

UDK: 591.541:[615.916+57.087]

Ecological and toxicological study of the Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) in the Danube River in Serbia

ABSTRACT

The Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennett 1835) is an anadromous species that spends most of its life cycle in the heavily polluted northwestern part of the Black Sea and migrates into the Danube River to spawn. Populations of the Pontic shad have a declining trend, and according to the IUCN Red List of Threatened Species the species is classified as vulnerable (VU). Although its migratory way upstream the Danube is shortened to 863 rkm after the construction of the Iron Gate II dam and even though it represents a commercially important fish species in the lower section of the Danube, the research on the Pontic shad was performed only sporadically in this area.

For the purpose of this study, Pontic shad migrants were collected during April and May 2004, 2006, 2007, and 2008, immediately downstream from the Iron Gate II dam.

The length frequency distribution and length-weight relationship were determined according to the measured total body length (TL) and body weight (W) of individuals sampled in 2004 and 2006. The length-weight allometric factor (b) was lower than 3 ($b < 3$) for both sexes and both sampling seasons. The length frequency ranged from 24.2 to 38.7 cm, with the domination of the length class of 32-32.5 cm.

This study was also aimed at providing the very first data on geometric morphometrics, gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), and Fulton's condition factor (K) of Pontic shad migrants from the Danube in Serbia. There were statistical differences in GSI, HSI, and K between males and females in both sampling seasons, except for K between males and females in 2004, and for GSI and K between females in 2004 and 2006. The Fulton's condition factor estimated in this study was the lowest recorded for the Pontic shad ever.

The age frequency distribution was estimated from 28 scales and 30 vertebrae of randomly chosen individuals. Age of analysed fish ranged from 2+ to 6+, with the domination of age classes 3+ and 4+. Reading of scales and vertebrae was done by two

interpreters experienced in fish aging and by three more interpreters experienced in shad aging. Interpreters experienced in shad age determination had lower values of the index of average percent error (IAPE) and index of coefficient of variation (ICV). In regard to within-interpreter repeatability, no significant differences were found between scale and vertebrae as structures for age determination. The results of this study indicate that the experience in age determination has more impact on precision of age determination than the choice of specific structure, scale or vertebra. More work is needed on adopting standard protocols that must include some sort of common interaction between age interpreters.

Geometric morphometry revealed differences in shape that were statistically significant for both levels: seasons/years (nested ANOVA: $F = 13.84$; $P < 0.001$) and sex (nested ANOVA: sex nested into season/year, $F = 1.71$; $P < 0.01$). The major differences between seasons/years were in the shape of the head and the position of the fins. The most significant difference of females compared to males was the dorso-lateral expansion of the mid-body section, with emphasis on the higher dorsal part of the body. The UPGMA phenogram derived from the matrix of Procrustes distances for body shape showed that group "males 2004" were separated from the other three groups. The sexual dimorphism determined in this study was in accordance with findings on other shad species.

To assess the heavy metal and trace elements contamination level, individuals of the Pontic shad were sampled during April and May 2007 and 2008. Muscle, liver and gill tissue samples were prepared using the microwave digestion, and the analysis of Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, and Zn was carried out using the inductively coupled plasma – optical emission spectrometry (ICP-OES). Significant differences in concentrations of analysed elements were observed between different tissues, as well as between sexes. The concentration of Al, Sr, Ba, Mg, and Li was highest in gills, and of Cd, Cu, Zn, Fe and B in the liver. Although muscle had the lowest concentration of most of the analysed elements, it had the highest concentration of As. This study has shown that the concentrations of Cd and As in the muscle tissue of the Pontic shad exceeded the maximum acceptable concentration for human consumption.

Key words: Pontic shad, Danube River, hepatosomatic index, gonadosomatic index, Fulton's condition factor, fish age determination, geometric morphometry, heavy metals and trace elements.

Scientific field: Ecology

Specific scientific field: Fish ecology

UDK: 591.541:[615.916+57.087]

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Objekat istraživanja	1
1.1.1. Biološke odlike i rasprostranjenost crnomorske haringe (<i>Alosa immaculata</i>) u regionu	6
1.1.2. Mere zaštite crnomorske haringe u Srbiji i regionu	11
1.2. Karakteristike područja istraživanja	13
1.2.1. Karakteristike i kvalitet vode Dunava u Srbiji	13
1.2.2. Karakteristike zajednice riba u Dunavu nizvodno od HE Đerdap II	27
2. Ciljevi rada	29
3. Materijal i metode	30
3.1. Materijal korišćen u analizi	30
3.2. Metode obrade materijala	33
3.2.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase i dužinsko-težinski odnosi	33
3.2.2. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije	34
3.2.3. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture	36
3.2.4. Geometrijsko-morfometrijska analiza	41
3.2.5. Određivanje koncentracije teških metala i mikroelemenata u tkivima metodom induktivno spregnute plazme (ICP-OES)	45
4. Rezultati	50
4.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase	50
4.2. Dužinsko-težinski odnosi u zavisnosti od pola i godine uzorkovanja.....	52
4.3. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije	58
4.4. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture	64
4.5. Geometrijsko-morfometrijska analiza	68
4.6. Koncentracija teških metala i mikroelemenata u tkivima	72
5. Diskusija	88
5.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase i dužinsko-težinski odnosi	88
5.2. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije	90
5.3. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture	91
5.4. Geometrijsko-morfometrijska analiza	94
5.5. Koncentracija teških metala i mikroelemenata u tkivima	95
6. Zaključak	99
7. Literatura	101

1. UVOD

1.1. Objekat istraživanja

Regnum: **Animalia**

Phylum: **Chordata**

Subphylum: **Vertebrata**

Infraphylum: **Gnathostomata**

Classis: **Osteichthyes**

Subclassis: **Actinopterygii**

Ordo: **Clupeiformes**

Familia: **Clupeidae**

Genus: *Alosa*

Species: *Alosa immaculata*

Clupeidae (haringe) su jedna od komercijalno najznačajnijih familija riba na svetskom nivou. Mnogi članovi ove familije predstavljaju značajan ribarstveni resurs širom sveta. Predstavnici familije Clupeidae su dominantno marinske vrste, mada ima i anadromnih i slatkovodnih vrsta (Bowen *et al.*, 2008). Naučna istraživanja su u poslednje vreme fokusirana na ekologiju, životne istorije i zaštitu vrsta unutar familije Clupeidae i roda *Alosa* (Bagliniere, 2000) zbog primećenog pada brojnosti populacija većine vrsta ovog roda (Waldman, 2003).

Vrste familije Clupeidae rasprostranjene su po umerenim, subtropskim i tropskim morima, a manji broj živi u arktičkim morima, kao i u slatkim vodama. Familija ima 66 rodova i više od 200 vrsta (Whitehead, 1985).

Predstavnici familije **Clupeidae** imaju telo pokriveno cikloidnim krljuštima. Glava je gola, nemaju izraženu bočnu liniju ili, ako postoji, izražena je samo u prednjem delu tela, iza glave (od 2-5 krljušti). Kanali sistema bočne linije na glavi dobro su razvijeni. Leđno peraje se nalazi na sredini tela, nekada i iznad podrepnog peraja (Vuković & Ivanović, 1971). To su manje pelaške morsko- i fakultativno morsko-slatkovodne, kao i anadromne jatne ribe. Vilice su iste dužine ili je donja duža. Hrane se planktonom i u tu svrhu imaju brojne branhiospine. Oviparne su. Svi predstavnici ove familije imaju veliki komercijalni značaj. Preduzimaju sezonske migracije iz mora u reke (anadromne migracije) ili iz plićih u dublje vode (Simonović, 2001).

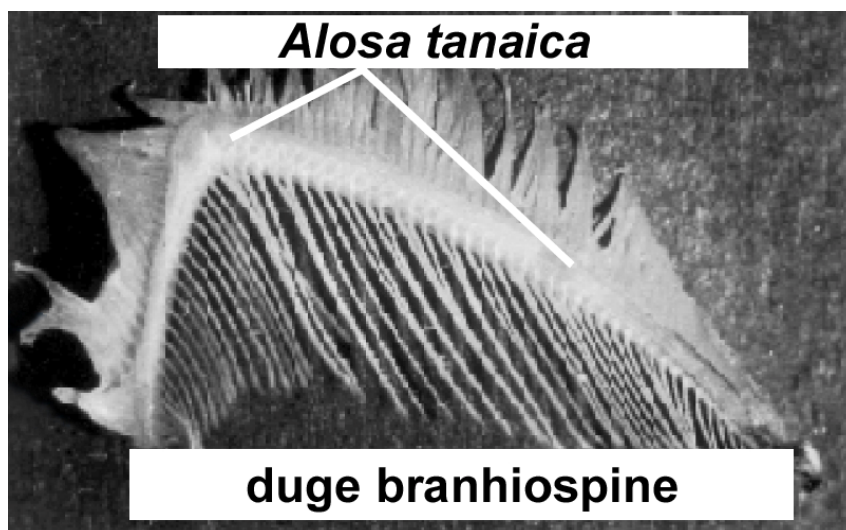
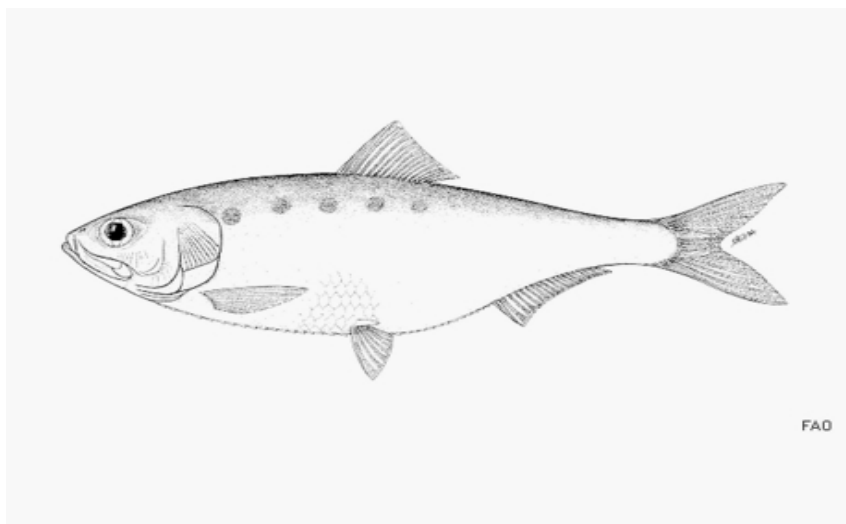
U okviru roda *Alosa* nalazi se 16 vrsta koje su autohtone na severnoj hemisferi, a rasprostranjene su duž zapadne i istočne obale Atlantskog okeana, u Mediteranu, Crnom i Kaspijskom moru i u jezeru Volvi (Grčka). Iako je većina ovih vrsta anadromno, postoje i dve vrste koje su amfidromne, s tim što je jedna od njih marinska vrsta, a druga striktno slatkovodna vrsta. S druge strane, kod vrsta iz ovog roda koje su anadromne postoje i populacije koje svoj celokupan životni ciklus provode u slatkovodnim životnim sredinama (Faria *et al.* 2006).

Rod *Alosa* (Linck, 1790) obuhvata vrste malih do srednjih dimenzija, delimično spljoštene s boka sa izraženim trbušnim grebenom krljušti. Na oku postoje vertikalni prozirni očni kapci sa obe strane zenice. Gornja vilica nije na prednjem kraju (simfizi) zaobljena već je usečena ka dorzalnoj strani. Na sredini krova usne duplje, na vomeru, nema zuba. Na bokovima tela imaju krupne tamne tačke u nizu (Vuković & Ivanović, 1971).

U rekama crnomorskog sliva u Srbiji, beleži se prisustvo jednog roda sa dve vrste: *Alosa tanaica* (Grimm, 1901) i *Alosa immaculata* Bennett, 1835:

- ***Alosa tanaica*** (azovska haringa) je poznata, između ostalog, i pod nazivom *Alosa caspia nordmanni* Antipa, 1904 (slika 1). Telo je visoko i bočno spljošteno, sa crnom tačkom iza škržnog poklopca i ponekad nizom manjih tačaka iza nje. Zubi su vrlo slabo razvijeni, ponekad jedva vidljivi. Branhiospine su duge, tanke i na prvom škržnom luku ih ima 66-96, i obično su duže od škržnih filamenata (Whitehead, 1985; Kottelat & Freyhoff, 2007). Naraste do 20 cm. Živi u Crnom i Azovskom moru, anadromna je i migrira u donje tokove

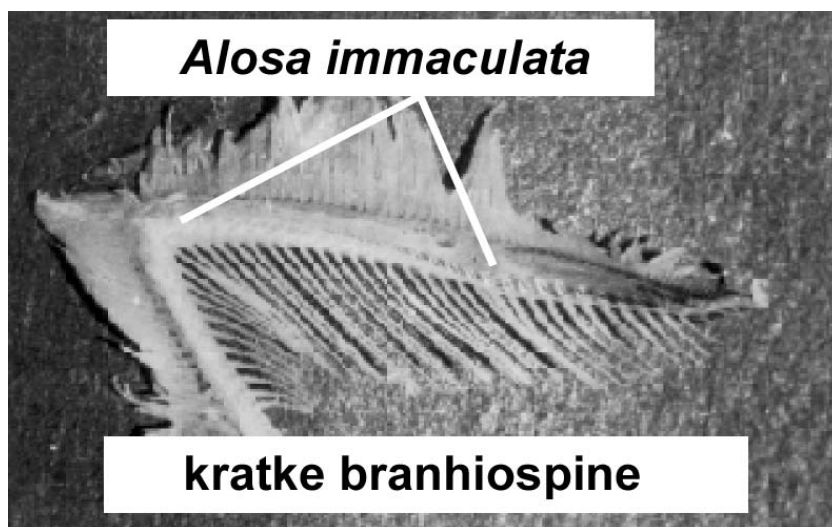
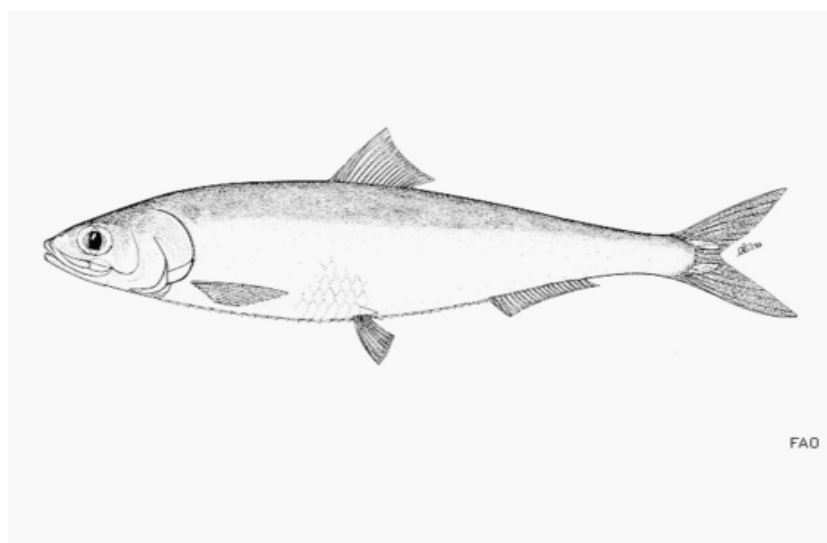
reka, obično blizu obale mora, zbog mresta. Hrani se zooplanktonom, a ređe fitoplanktonom. *Alosa tanaica* se prema IUCN Crvenoj listi ugroženih vrsta nalazi u kategoriji najmanje brige (LC).



Slika 1. Adultna azovska haringa (http://content8.eol.org/content/2009/05/19/13/91624_large.jpg) i škržni luk (foto I. Navodaru).

- *Alosa immaculata* (crnomorska haringa) je poznata i pod sinonimom *Caspialosa pontica* (Eichwald, 1838) (slika 2). Telo joj je izduženo. Zubi su dobro razvijeni u obe vilice. Branhiospine su tanke i ima ih do 47-69 u prvom

škržnom luku, i obično su jednake dužine ili nešto kraće od škržnih filamenata (Whitehead, 1985). Naraste do 30 cm i živi u jatima na pučini. Živi u Crnom i Azovskom moru, migratorna je i zalazi duboko u reke. Migracije su anadromnog tipa. Hrani se sitnim ribama i račićima. *Alosa immaculata* se prema IUCN Crvenoj listi ugroženih vrsta nalazi u kategoriji ranjivih vrsta (VU). U Srbiji se ranije lovila mrežarskim alatima u Dunavu nizvodno od brane Đerdap II (Simonović, 2001), dok je sada uspostavljen trajni lovostaj ("Službeni glasnik RS" br. 125/2009).



Slika 2. Adultna crnomorska haringa (http://content8.eol.org/content/2009/05/19/13/91624_large.jpg) i škržni luk (foto I. Navodaru).

Uprkos značaju problematike, malo se zna o filogenetskim odnosima unutar roda *Alosa*, što doprinosi taksonomskim nedoumicama, a samim tim i otežanoj zaštiti vrsta ovog roda (Faria *et al.*, 2006).

Crnomorska haringa je kao vrsta opisana od strane Eichwalda 1838. godine, i to kao *Clupea pontica*. Antipa (1905, 1909, prema Navodaru & Waldman, 2003) je klasifikuje kao *Alosa pontica* sa tri podvrste (*Alosa pontica danubii*, *A. p. nigrescens* i *A. p. rusac*), a kasnije opisuje još jednu podvrstu *Alosa pontica moriac*. Svetovidov (1943, prema Navodaru & Waldman, 2003) klasifikuje istočnoevropske haringe u rod *Caspialosa*, zajedno sa *Alosa immaculata* kao podvrstom (*Caspialosa kessleri pontica*), da bi kasnije (1952, 1964, prema Navodaru & Waldman, 2003) rod *Caspialosa* sinonimizirao sa rodom *Alosa*. Po poslednjoj reviziji, ispravno ime za crnomorsku haringu jeste *Alosa immaculata* Bennett, 1835, pošto ovo ime ima hronološki prioritet u odnosu na *Alosa pontica* (Kottelat, 1997; Navodaru & Waldman, 2003).

1.1.1. Biološke odlike i rasprostranjenost crnomorske haringe (*Alosa immaculata*) u regionu

U severozapadnom delu Crnog mora prisutne su tri vrste iz roda *Alosa*:

- *Alosa tanaica* Grimm, 1901,
- *Alosa immaculata* Bennett, 1835, i
- *Alosa maeotica* Grimm, 1901.

Samo dve od tri pomenute vrste migriraju u Dunav:

- azovska haringa (*A. tanaica*), koja se povremeno registruje u Dunavu i koja može migrirati do 931 rkm (Navodaru & Waldman, 2003)
- crnomorska haringa (*A. immaculata*), koja je ujedno i najdominantnija po broju migranata (Navodaru, 2001).

Sve tri vrste haringe autohtone su u istočnoj Evropi, veoma su lovljene, i imaju komercijalni i kulturološki značaj u okviru svog areala rasprostranjenja. Sve se mogu naći u regionu Crnog mora, oblasti čija je životna sredina izložena značajnom stresu. S druge strane, poznavanje biologije ovih vrsta je veoma skromno, a status očuvanja nedovoljno potkrepljen činjenicama (Navodaru & Waldman, 2003).

Ove tri vrste je teško razlikovati. Broj branhiospina na škržnom luku jeste korisna karakteristika za determinaciju među odraslim jedinkama, ali ne i za mlade jedinke, pošto se broj branhiospina ontogenetski povećava. Među odraslim jedinkama, *A. maeotica* ima najmanji broj branhiospina, od 33-36, zatim *A. immaculata*, od 47 do 69, dok *Alosa tanaica* ima najviše branhiospina, i to od 66 do 96 (Whitehead, 1985; Kottelat & Freyhoff, 2007). Takođe, kod crnomorske haringe branhiospine su kraće od škržnih filamenata, dok je kod azovske haringe situacija obrnuta (Navodaru & Waldman, 2003).

Sve tri pomenute vrste razlikuju se i po dužini tela koju mogu da dostignu kao adultne jedinke. *A. tanaica* ima prosečnu totalnu dužinu tela od 14-16 cm, *A. maeotica* dostiže 31 cm, dok je prosek za *A. immaculata* 27-37 cm (Navodaru & Waldman, 2003).

Crnomorska haringa je, osim u Crnom moru, rasprostranjena i u Azovskom i Mramornom moru (Erguden *et al.* 2007). Migrira radi mresta u Dunav, Don, Dnjepar i druge velike pritoke crnomorskog basena (slika 3). U prošlosti, pojedini primerci migrirali su radi mresta u Dunav i do Budimpešte (1650 rkm) (Banarescu, 1964). Populacija crnomorskih haringi nastanjena u severozapadnom delu Crnog mora uglavnom migrira u Dunav radi mresta (Navodaru & Waldman, 2003; Schmutz, 2006).



Slika 3. Karta rasprostranjenja populacija crnomorske haringe u jugoistočnoj Evropi (I. Navodaru, 2001).

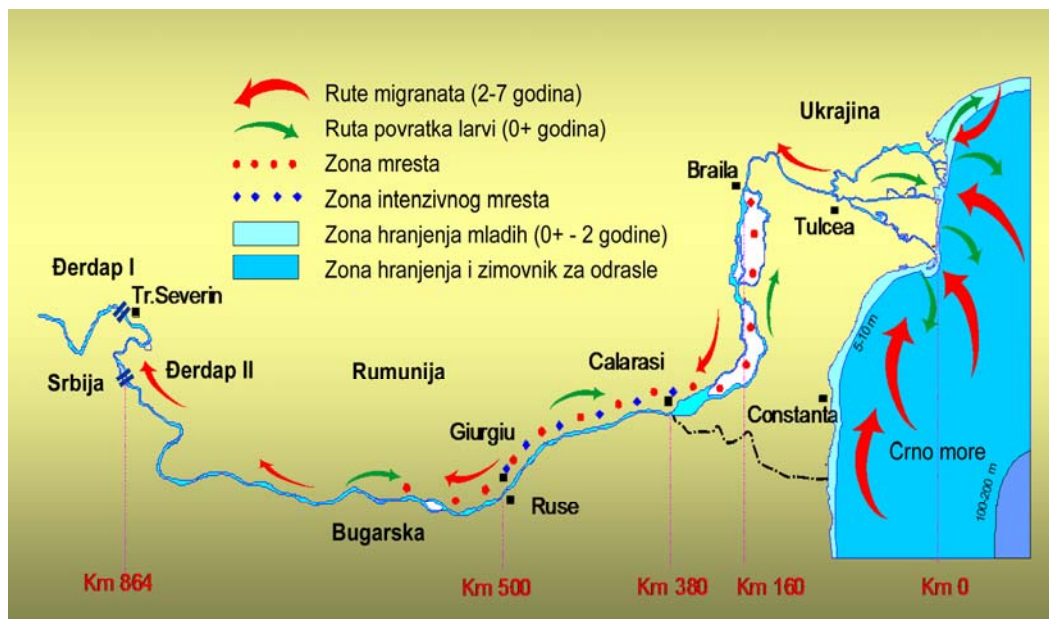
Migracija u Dunav započinje u rano proleće kada temperatura vode dostigne 3.0-7.5°C, najintenzivniji period je u aprilu i maju kada je temperatura vode između 9 i 17°C, i završava se u junu i julu kada temperatura vode dostigne 22-26°C (Navodaru 1996).

Jedinke koje ranije započinju migraciju imaju u svom organizmu manje masti nego jedinke iz kasnijih faza migracije. Ovaj odnos između temperature vode i količine

telesnih masnoća za jedinke crnomorske haringe koje ulaze u Dunav pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju ($r^2=0,9164$), što verovatno predstavlja kompenzaciju za gubitak biomase usled većeg utroška energije pri migraciji i reprodukciji na višim temperaturama (Navodaru & Waldman 2003).

Izgradnjom hidroelektrana Đerdap I, na 934 rkm (1970), i Đerdap II, na 863 rkm (1984), crnomorska haringa je sprečena da migrira dalje uzvodno. Prema podacima dobijenim od ribara i sportskih ribolovaca, ponekad se godišnje ulovi oko 100 jedinki crnomorske haringe na 1319 rkm Dunava i na 14 rkm reke Save, što implicira da ipak određeni broj jedinki dospeva uzvodno prolaskom kroz prevodnice za brodove hidroelektrana Đerdap I i II .

Crnomorska haringa se u procesu mresta nalazi samo jednom ili dva puta u svom životnom veku (Ciolac, 2004), pošto se suočava sa izazovom preživljavanja tokom migracije i pronalaženja puta nazad u more. Mrest se uglavnom odvija između 180 rkm i 500 rkm i između 496 rkm i 743 rkm (Kolarov, 1985), a odrasle jedinke koje migriraju u Dunav uglavnom su stare od 2 do 7 godina. Najzastupljenije jedinke su stare oko 3 godine i čine više od 50% populacije koja migrira (Navodaru, 1996). Jedinke stare 6 ili 7 godina čine samo oko 1% od ukupne populacije, dok su maksimumi po pitanju starosti odraslih jedinki crnomorskih haringi koje migriraju oko 7 godina (Navodaru & Waldman, 2003) (slika 4).



Slika 4. Ruta anadromne migracije crnomorske haringe iz Crnog mora u Dunav, sa ključnim kilometrima toka (I. Navodaru, 2001).

Jaja crnomorske haringe ostaju pelagična do izleganja. Larve i mlađ pasivno migriraju nizvodno iz reke nazad u more. U rekama, mlađ se uglavnom hrani zooplanktonom. Istorijski gledano, ranije je mlađ dospevala i do plavnih područja i plavnih jezera u delti reke Dunav, ali danas zbog izgradnje zaštitnih bedema, mlađ dospeva direktno u more (Navodaru, 2001).

Crnomorska haringa se uglavnom hrani manjim ribama, kao što su incuni (*Engraulis* spp.) i papaline (*Clupeonella* spp. i *Sprattus* spp.), ali takođe konzumiraju i određene vrste ljuskara kao što su *Crangon* spp, *Upogebia* spp., *Idothea* spp. i *Gammarus* spp. (Navodaru i Waldman, 2003).

Crnomorska haringa je komercijalno značajna riblja vrsta u delti Dunava. U zemljama donjeg podunavlja (Rumunija, Ukrajina i Bugarska) visoko je cenjena od strane određenog broja stanovnika koji tokom hrišćanskih praznika ovu vrstu obilato konzumiraju, naročito za vreme Velikog posta (Ciolac & Patriche, 2004).

Analizom dugogodišnjih podataka o visini ulova crnomorske haringe i solarne aktivnosti, Ivanov & Kolarov (1979) su ustanovili negativnu korelaciju između ulova i solarne aktivnosti sa ciklusom od 11 godina. Oni su došli do zaključka da solarna

aktivnost, kroz klimatske i hidrološke cikluse, najbolje objašnjava dinamiku populacije crnomorske haringe. Poslednji minimum je bio 1999, i izgleda da se veličina populacije koja migrira povećava iz godine u godinu.

Komercijalni ulov crnomorske haringe, u okviru ribarstva kao privredne grane, ima godišnju ekonomsku vrednost od oko 2 miliona USD. Godišnji ulov je oko 1.000 metričkih tona, s tim što 70% ulova ostvaruju rumunski ribari (Navodaru & Waldman, 2003).

Zvanični podaci o veličini populacije u migraciji crnomorske haringe kroz Srbiju ne postoje kao ni podaci poreklom iz statističkog zavoda o njenom otkupu u periodu kada je bio dozvoljen lov na području Srbije.

1.1.2. Mere zaštite crnomorske haringe u Srbiji i regionu

Migratorne vrste su najviše pogođene izgradnjom brana i drugih prepreka koje blokiraju njihove rute do oblasti za mrešćenje. Prisustvo brana i prepreka u kombinaciji sa zagađenjem i prekomernim izlovom neizostavno dovodi do znatnog smanjenja broja pojedinih vrsta. Ova kombinacija faktora uzrok je opadanja brojnosti jesetri, haringi i ostalih migratornih vrsta (Maitland, 1986; Navodaru, 1998; Limburg, 2001).

Populacije različitih vrsta haringi značajno su ugrožene u mnogim zemljama (de Groot, 1990; Maitland & Lyle, 1991).

Crnomorska haringa je prema IUCN klasifikaciji (<http://www.iucnredlist.org>) klasifikovana kao ranjiva vrsta (VU) sa trendom stagniranja do smanjivanja populacije (Freyhof & Kottelat, 2008). Takođe se nalazi na listama Bernske konvencije (Appendix III) (Lassalle *et al.*, 2008), Natura 2000 (http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm) i Direktivi o zaštiti staništa EU (92/43/1992).

U Bugarskoj je ova vrsta uključena u novu Crvenu knjigu kao ranjiva (VU) zato što ulov crnomorske haringe u ovoj zemlji opada iz godine u godinu (Golemanski, 2011). Period zabrane lova u bugarskom delu Dunava je od 15. aprila do 15. maja. U Rumuniji, crnomorska haringa nije na listi ugroženih vrsta i nije na spisku u Crvenoj knjizi kičmenjaka. Zabrana lova u rumunskom delu Dunava zavisi od dela toka (Crno more – 43 rkm: od 20. do 24. aprila; 43 rkm – 238 rkm: od 22. aprila do 13. maja; 238 – 845.6 rkm: 28. aprila do 27. maja). U Ukrajini crnomorska haringa ima status DD (Shcherbak, 1994).

U nacionalnom zakonodavstvu R. Srbije crnomorska haringa se štiti:

- Uredbom o zaštiti prirodnih retkosti ("Službeni glasnik RS" 50/93 и 93/93)
- Na osnovu člana 28 Zakona o ribarstvu ("Službeni glasnik RS" 35/94, 38/94 i 101/05) daje se Naredba o ustanovljavanju lovostaja za pojedine vrste riba na ribarskom području ili delovima ribarskog područja i o zabrani lova riba koje nemaju propisanu veličinu ("Službeni glasnik RS" br. 125/2009), čime se ustanovljava trajni lovostaj.

- Naredbom o merama za očuvanje i zaštitu ribljeg fonda ("Službeni glasnik RS" 104/2009 i 49/2010) čime se trajno zabranjuje ulov crnomorske haringe.

Još uvek ne postoji akcioni plan upravljanja crnomorskom haringom u Dunavu, bez obzira na određeni stepen zaštite u Srbiji i u Bugarskoj. Ovo svakako otežava upravljanje populacijama pomenute vrste, pogotovo kada se uzme u obzir slaba statistika ulova i nedostatak podataka o ribolovnim naporima u zemljama koje love haringu u Crnom moru (Navodaru & Waldman, 2003)

Upravljanje specijalnim zonama zaštite na rekama zahteva stalni monitoring i procenjivanje statusa zone u skladu sa ciljevima zaštite od strane svih učesnika (Cox *et al.* 2009). Analiza strukture populacije u Dunavu u Srbiji, počevši od ovog istraživanja, može pomoći u donošenju adekvatnih mera upravljanja i zaštite koji bi bili prilagođeni ovoj značajnoj vrsti.

1.2. Karakteristike područja istraživanja

1.2.1. Karakteristike i kvalitet vode Dunava u Srbiji

Basen reke Dunav deli 18 zemalja u kojima živi oko 83 miliona ljudi. Reka Dunav je duga 2.857 km i plovna je do 2.411 rečnog kilometra od ušća u Crno more (<http://www.icpdr.org>).

Sa dužinom od 2.857 km, Dunav je druga po veličini reka u Evropi. Zbog širokog spektra aktivnosti koje se odnose na proizvodnju struje, sprečavanje poplava i poboljšanje rečnog saobraćaja, prirodni tok reke Dunav pretrpeo je značajne izmene od XVI veka do danas. Ove promene su imale veliki uticaj na ekologiju Dunava, smanjenje i potpuni nestanak prirodnih mrestilišta ribe i uticaj na migraciju riba duž toka reke.

Najveće hidroelektrane (Đerdap I i II) na celom toku reke Dunav nalaze se u 117 km dugoj đerdapskoj klisuri, a njihova konstrukcija ograničava mresnu migraciju crnomorske haringe do 863 rkm toka Dunava. Druga po veličini brana locirana je kod Gabčikova tek na 1.822 rkm (Anonymous, 2001), nizvodno od Bratislave, i u funkciji je od 1992. godine. Kroz Srbiju protiče 588 km toka, od čega se 134 km graniči sa Hrvatskom, a 220 km sa Rumunijom. Prosečna širina Dunava u Srbiji iznosi oko 1 km, a ukupna površina oko 153.550 ha (zajedno sa plavnim zonama i đerdapskom akumulacijom). Nadmorska visina u blizini Bezdana iznosi 80,61 m i smanjuje se nizvodno, pa kod hidroelektrane Đerdap I pada na 48 m (Đonić & Ječinac, 1991).

Prosečna temperatura Dunava u Srbiji je između 11-12,5C°, maksimalna vrednost od oko 25-28C° izmerena je u avgustu, dok je minimalna vrednost od 1,1 do 1,6C° izmerena u januaru (Janković & Jovičić, 1994).

Parametri vode Dunava za 2004, 2005. i 2006. godinu na mernoj stanici Radujevac, u neposrednoj blizini mesta uzorkovanja, na osnovu kojih se procenjuje stepen kvalitet vode prikazani su u tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1. Vrednosti parametara kvaliteta vode Dunava na mernoj stanici Radujevac u 2004. godini.

Mesec uzorkovanja	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Datum uzorkovanja	25.02.	25.03.	28.04.	27.05.	24.06.	28.07.	25.08.	22.09.	27.10.	24.11.	22.12.
T vode [°C]	2,9	8,6	13,8	17,1	21,8	21,9	24,3	20,0	14,0	7,6	3,4
T vazduha [°C]	3,0	13,8	21,0	20,0	27,4	29,4	30,0	20,0	14,5	5,5	-5,0
Vidljive otpad	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Miris	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Boja	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
pH vrednost	7,8	7,6	8,0	8,4	7,8	7,9	7,9	7,9	8,0	8,1	8,1
Elektroprovod.[mS/cm]	393	414	380	350	372	383	380	385	420	387	380
Slobodni CO ₂ [mg/l]	3,1	1,8	5,2	0,0	2,2	2,2	3,0	1,0	2,2	3,5	2,2
p - alkalitet[mg/l]	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0
alkalitet [mg/l]	165	180	215	126	186	187	189	170	259	198	186
Ukupni alkalitet[mg/l]	135	148	177	135	153	154	155	139	213	162	153
Rastvoreni O ₂ [mg/l]	12,7	14,4	10,9	12,2	7,5	7,8	7,9	8,5	9,0	11,1	13,0
% zasićenosti vode O ₂	95	123	105	125	85	86	87	94	87	92	95

Mesec uzorkovanja	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
BPK-5 [O₂ mg/l]			2,3	4,1	2,4	2,7	3,0	2,7	2,8	3,1	3,0
HPK [O₂/KMnO₄]	4,0	5,6	3,4	4,4	4,6	3,3		3,4	4,4	4,6	4,0
HPK [O₂/K₂Cr₂O₇]	13,0	10,7	10,1		7,9		12,0	10,5	9,3	12,0	
Suspendovane mat.erije	9	8	24	10	3	2	2	2	3	3	6
Suvi ostatak [mg/l]	260	293	224	187	193	200	230	220	220	253	224
Amonijum jon[mg/l]	0,10	0,06	0,45	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11
Nitrati [mg/l]	2,69	2,27	1,51	0,95	1,52	0,90	1,16	1,20	0,89	0,89	0,85
Nitriti [mg/l]	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,011	0,014	0,092	<0,003	0,033
Organski azot[mg/l]		1,1	1,0	1,1	1,2	1,2	0,2	1,0	0,3	<0,1	0,4
Ukupni azot [mg/l]		3,5	2,9	2,0	2,7	2,1	1,4	2,2	1,3	0,9	1,3
Sulfati [mg/l]		34,0	28,0	19,0	22,0	24,0	24,0	31,0	35,0	30,0	25,0
Hloridi [mg/l]	21	19	12	15	19	16	16	15	17	18	16
Ortofosfati [mg/l]	0,005	0,060	0,028	0,022	0,033	0,064	0,017	0,027	0,026	0,027	0,028
Ukupni fosfor[mg/l]	0,006	0,092	0,052	0,055	0,056	0,073	0,047	0,071	0,051	0,051	0,038
Kalcijum [mg/l]		59	51	50	42	22	50	42		61	57
Magnezijum [mg/l]		12	11	12	16	26	10	12		15	13

Mesec uzorkovanja	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CaCO ₃ [mg/l]		195	173	174	172	164	166	155		189	198
Natrijum [mg/l]		14,60	9,90	11,00	10,40	9,80	11,80	12,90	13,80	13,00	11,30
Kalijum [mg/l]		2,10	1,70	1,40	1,50	1,50	1,80	1,70	1,80	2,10	2,00
SiO ₂ [mg/l]		6	6	1	5	5	5	4	8	11	12
Gvožđe [mg/l]	0,05	0,09	0,06	0,11	0,05	0,08	0,06	0,10	0,08	0,13	0,13
Mangan [mg/l]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02
Živa [Hg - mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1
Cr ⁺⁶ [mg/l]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		<1	<1
MPAS [mg/l]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Isparljivi fenoli	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mineralna ulja	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005		<0,005	<0,005	<0,005
Lindan [mg/l]		<0,002	<0,002	<0,002			<0,002		<0,002		
Heptahlor [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		
Aldrin [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		
DDE [mg/l]		<0,002	<0,002	<0,002			<0,002		<0,002		
Dieldrin [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		

Mesec uzorkovanja	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Endrin [mg/l]		<0,002	<0,002	<0,002			<0,002		<0,002		
DDD [mg/l]		<0,002	<0,002	<0,002			<0,002		<0,002		
DDT [mg/l]		<0,002	<0,002	<0,002			<0,002		<0,002		
Metoksihlor [mg/l]		<0,003	<0,003	<0,003			<0,003		<0,003		
Heksahlorbenzol [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		
Heptahlorepoksid [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		
BHC [mg/l]		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001		<0,001		
Herbicidi [mg/l]		<0,009	<0,009	<0,009			<0,009		<0,009		
Ukupna b- radioaktivnost[Bq/l]	0,16	0,17	0,16	0,11	0,18	0,22	0,11	0,22	0,23	<0,05	0,13

Tabela 2. Vrednosti parametara kvaliteta vode Dunava na mernoj stanici Radujevac u 2005. godini

Mesec uzorkovanja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Datum uzorkovanja	26.01	24.02.	23.03.	20.04	25.05.	22.06.	20.07.	24.08.	21.09.	26.10.	23.11.	21.12.
Temperatura vode °C	2,4	2,4	6,4		17,0	30,0	22,9	21,7	20,3	13,1	7,5	4,4
Temperatura vazduha	1,0	4,0	10,0		22,0	20,4	26,8	26,0	16,3	18,0	0,0	0,0
Vidljive otp. materije	bez	bez	bez	bez	bez	bez	*	bez	bez	bez	bez	bez
Miris	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Boja	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Providnost		500	<50	<50	400		400	500	400		1000	800
Suspendovane materije	3	1	33	64	19	10	17	15	15	3	3	9
Rastvoreni kiseonik	13,3	13,9	13,1	11,5	9,0	7,5	6,7	6,1	7,0	9,0	12,6	11,7
Zasićenost kiseonikom	99	102	105	105	92	82	76	69	77	84	103	89
Alkalitet		3,7	3,3		3,5		2,9	3,3	3,3	3,8	4,0	3,2
Ukupna tvrdoća CaCO ₃	207	204		186	205	187	189	205	210	225	238	229
Slobodni CO ₂		1,8	4,0		3,1		3,0	0,0	2,2	0,0	2,2	4,8
Karbonati - CO ₃ ²⁻		0	0		0		0	13	0	7	0	0

Bikarbonati- HCO₃⁻		223	198		215		179	174	202	215	242	196
Ukupni alkalitet- CaCO₃		183	163		176		147	164	166	189	198	161
pH	7,5	8,1	8,0	7,8	8,1	8,0	8,0	8,3	7,3	8,2	8,2	7,7
Elektroprovodljivost		390	436	353	370	407	407	418	418	420	446	411
Ukupne rastvorene soli	208	235	246	234	223	273	207	262	243	258	266	266
Amonijum (NH₄-N)		0,03	0,03	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,07
Nitriti (NO₂-N)	0,011	<0,003	0,011	0,003	<0,003	0,044	<0,003	<0,003	0,004	0,051	<0,003	0,028
Nitrati (NO₃-N)	1,31	1,27		1,67	1,53	1,30	1,37	1,29	1,33	1,23	1,59	1,67
Organski azot	0,1	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3
Ukupni azot		1,8		2,1	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6	1,4	1,9	2,1
Ortofosfati (PO₄-P)	0,015	0,077	0,073	0,053	0,031	0,081	0,046	0,054	0,074	0,045	0,040	0,050
Ukupni fosfor	0,112	0,177		0,153	0,100	0,114	0,126	0,110	0,099	0,056	0,064	0,058
Silikati (SiO₂)	5	9		7	5	5	6	4	7	5	5	7
Natrijum (Na⁺)	16,0	18,0	16,0	11,5	13,0	14,5		17,1	14,3	14,0	18,4	14,1
Kalijum (K⁺)	2,5	2,0	24,0	2,9	3,2	3,2		3,0	3,2	2,1	3,0	2,4
Kalcijum (Ca⁺⁺)	58	55		49	51	50	57	43	57	51	66	72

Magnezijum (Mg⁺⁺)	15	16		14	18	14	11	24	16	24	18	12
Hloridi (Cl⁻)	22	24	19	14	15	16	15	20	15	14	16	16
Sulfati (SO₄⁻)	33	23	22	26	24	24	22	26	16	27	23	28
Gvožđe (Fe) -rastvoreno	0,08	0,09	0,13		0,05	0,06	0,14		0,03	0,07	0,04	0,06
Mangan (Mn)	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01			<0,01	0,01	<0,01	0,02
Bakar (Cu) - rastvoreni	8	2		2	39	2	<1	5	4	2		7
Hrom ukupni (Cr)	<1	1		3	7	<1	<1	2	<1	3		4
Hrom šestoval. (Cr+6)	<1	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		<1
Olovo(Pb)	<1	2		4	<1	<1	<1	3	<1	1		2
Kadmijum(Cd)	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		<0,2
Živa (Hg) - rastvorena	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1
Nikl (Ni) - rastvoreni	2	3		2	2	1	2	6	2	2		5
Arsen (As) -rastvoreni	1	2		<1	1	<1	<1	2	<1	<1		2
BPK-5		3,5					2,3	3,0	3,4	1,5	2,5	5,5
HPK_{Cr}	4,6	14,0	12,5	11,1	8,6	15,0	8,6		11,9			13,5
HPK_{Mn}		5,1	5,3	3,7	3,6	3,4	2,7	7,1	4,4	2,6	3,0	6,4

p,p'-DDD	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
p,p'-DDT	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
o,p'-DDT	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Metoksihlor	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Atrazin	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Simazin	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Propazin	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Ukupna b radioaktivnost	0,11	0,27	0,13	0,31	0,26	0,19	0,08	0,11	0,10		0,10	0,11
Indeks saprobnosti (Pantle Buck)	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	1,9	2,0	2,1	2,0	2,0	2,0
Hlorofil "a"									0,30	0,30		0,55
Najverovatniji broj koliformnih klica	24000		24000	24000	5000	16000	38000	12000	21000	15000	500	15000
Ukupan broj živih klica u 1 ml vode	160		1230	4265	17100	50670	370500	300	2520	6250	1600	560

Tabela 3. Vrednosti parametara kvaliteta vode Dunava na mernoj stanici Radujevac u 2006. godini.

Mesec uzorkovanja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Datum uzorkovanja	26.01.	22.02.	22.03.	04.05.	24.05.	21.06.	26.07.	16.08.	27.09.	25.10.	22.11.
T vode [°C]	2,3	1,5	6,4	16,2	19,8	19,7	26,6	25,8	18,3	16,5	9,2
T vazduha [°C]	-5,0	7,0	16,8	20,0	30,0	28,5	31,8	27,8	16,5	24,0	10,0
Vidljive otpadne materije	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Miris	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Boja	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez	bez
Providnost [mm]	600	500	350	300	800	500	180	130	500	600	500
Zamućenost NTU	-	8	52	24	9	10	5	9	5	6	-
Suspendovane materije [mg/l]	3	-	-	36	13	22	-	9	2	1	3
Rastvoreni kiseonik	12,8	13,4	12,1	9,8	7,3	7,5	6,7	6,3	7,2	9,5	9,7
Zasićenost vode kiseonikom	92	98	99	98	80	83	84	80	77	102	84
Alkalitet	3,4	5,5	3,5	3,4	3,3	3,2	3,3	3,6	3,4	3,6	3,9
Ukupna tvrdoća kao CaCO ₃ [mg/l]	243	-	-	182	196	262	188	207	198	219	240
Slobodni CO ₂ [mg/l]	6,2	5,7	2,6	3,9	4,4	2,2	4,8	2,9	4,0	11,4	0
Karbonati - CO ₃ ²⁻ [mg/l]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Bikarbonati - HCO ₃ ⁻ [mg/l]	205	337	212	208	201	197	199	217	210	219	224
Ukupni alkalitet - CaCO ₃ [mg/l]	168	276	174	171	165	161	163	178	172	179	195
pH	7,5	7,9	7,6	7,8	7,7	7,9	7,9	7,8	7,6	7,8	-
Elektroprovodljivost	481	498	423	404	403	362	405	435	390	458	530
Ukupne rastvorene soli [mg/l]	291	-	-	280	280	270	272	264	265	300	324
Amonijum (NH ₄ -N) [mg/l]	0,02	-	0,16	<0,01	<0,01	0,05	0,20	0,15	0,07	0,14	0,08
Nitriti (NO ₂ -N) [mg/l]	<0,003	-	0,021	0,036	0,029	0,013	0,076	0,025	0,026	0,023	0,004
Nitrati (NO ₃ -N) [mg/l]	2,43	-	-	1,31	1,10	1,40	2,00	0,70	0,80	0,80	2,02

Organski azot (N) [mg/l]	0,7	-	-	<0,1	0,9	0,6	0,6	0,9	0,2	0,8	0,1
Ukupni azot (N) [mg/l]	3,1	-	-	1,4	2,0	2,1	2,8	1,7	1,1	1,8	2,2
Ortofosfati (PO₄-P) [mg/l]	0,101	-	-	0,063	0,050	0,083	0,098	0,082	0,266	0,087	0,074
Ukupni rastvoreni fosfor (P) [mg/l]		-	-	-	-	-	-	-	-	0,092	0,093
Rastvoreni silikati (SiO₂) [mg/l]	9	-	-	7			5	2	5	19,20	22,00
Natrijum (Na⁺) [mg/l]	19,30	-	-	14,20	15,50	12,60	15,50	16,70	14,90	2,90	2,90
Kalijum(K⁺) [mg/l]	2,70	-	-	1,80	1,90	1,90	2,20	2,40	2,30	60	70
Kalcijum(Ca⁺⁺) [mg/l]	65	-	-	53	54	52	58	54	56	17	16
Magnezijum (Mg⁺⁺) [mg/l]	19	-	-	12	15	19	10	18	14	21	28
Hloridi (Cl) [mg/l]	15	-	-	15	17	16	21	24	19	39,0	30,0
Sulfati (SO₄⁻) [mg/l]	43,0	-	-	30,0	35,0	27,0	28,0	39,0	53,0	-	-
Cijanidi (CN⁻) [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfidi (S⁻) [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gvožđe (Fe) [mg/l]	0,38	-	-		0,53	0,46	0,15	0,37	0,56	-	0,20
Mangan(Mn) [mg/l]	0,03	-	-	0,05	0,03	0,02	0,02	0,06	<0,01	-	0,07
Gvožđe (Fe)-rastvoreno [mg/l]	0,09	-	-	0,06	0,03	0,09	0,10	0,03	0,08	0,03	0,02
Mangan (Mn)-rastvoreni [mg/l]	0,02	-	-	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,02	0,07
Cink (Zn) [µg/l]	-	-	-	16		14	15			-	-
Bakar (Cu) [µg/l]	8	-	-	29	11	4	4	12	19	-	38
Hrom ukupni (Cr) rastvoreni [µg/l]	-	-	-	6	1	1	1	16	2	-	33
Hrom šestovalentni (Cr⁺⁶) [µg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olovo (Pb) [µg/l]	3	-	-	12	2	2	1	1	6	-	<1
Kadmijum (Cd) [µg/l]	0,2	-	-	0,4	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-	<0,2
Živa (Hg) [µg/l]	0,1	-	-	0,1	0,2	0,4	0,1	1,3	0,1	-	0,6
Nikal (Ni) [µg/l]	2	-	-	17	6	-	1	14	-	-	6
Cink (Zn)-rastvoreni [µg/l]	-	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-
Bakar(Cu)-rastvoreni [µg/l]	6	-	-	21	2	4	3	1	-	16	-
Hrom ukupni (Cr) rastvoreni [µg/l]	4	-	-	<1	1	<1	<1	1	-	1	-

Olovo (Pb)-rastvoreno [µg/l]	1	-	-	5	<1	<1	1	<1	-	<1	-
Kadmijum (Cd)-rastvoreni [µg/l]	0,2	-	-	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-
Živa (Hg)-rastvorena [µg/l]	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1		0,4	0,1	<0,1	-
Hikal (Ni)-rastvoreni [µg/l]	1	-	-	1	1	2	1	1	4	1	-
Arsen (As) [µg/l]	3,0	-	-	7,0	3,0		1,0	2,0	-	-	4,0
Arsen (As)-rastvoreni [µg/l]	2	-	-	4	1	1	1	1	2	3	

Uzorkovanje vode na mernoj stanici Radujevac (nizvodno od hidroelektrane Đerdap II) vršena su od strane Republičkog hidro-meteorološkog zavoda Srbije gotovo svakog meseca u 2004, 2005. i 2006. godini kada su rađena i istraživanja u ovoj disertaciji.

U 2004. godini kvalitet vode Dunava na pomenutom lokalitetu spada uglavnom u I klasu (Uredba o klasifikaciji voda, "Službeni glasnik SRS", br. 5/68) na osnovu propisanih vrednosti sledećih parametara:

- **organonoleptičkih svojstava** (uzorci vode su bili bez boje, mirisa i bez vidljivih otpadnih materija)
- **pH** (nije bio ispod 6,8 – I klasa u svim mesecima)
- **suspendovanih materija** (uzorci vode za sve mesece spadaju u I klasu kvaliteta, sa izuzetkom meseca aprila u kom vrednost suspendovanih materija prevazilazi 10 mg/l, te spada u II kategoriju.)
- **parametara kiseonika** (u toku proleća i leta vrednosti rastvorenog kiseonika, izraženog u mg/l kolebaju se između IIa i IIb klase, dok su u zimskim mesecima ove vrednosti takođe u okviru I klase kvaliteta vode)
- **organskih jedinjenja** (BPK₅ – koja su jedini pokazatelj kvaliteta vode koji ima vrednosti IIa klase tokom cele godine).

Na osnovu vrednosti tzv. opasnih materija, čije su granične vrednosti propisane Pravilnikom o opasnim materijama u vodi ("Službeni glasnik SRS", br. 31/82), kvalitet vode Dunava na lokalitetu Radujevac takođe je u okviru I klase kvaliteta bez izuzetka za sve mesece u 2004. godini. Opasne materije čije se granične vrednosti propisuju ovim pravilnikom jesu:

- **metali i mikroelementi** (Fe, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni, As)
- **organohlorni pesticidi** (heptahlor, metoksihlor, aldrin, endrin, dieldrin i DDT).

Stanje kvaliteta vode na lokalitetu Radujevac u toku 2005. i 2006. vrlo je slično kao i 2004. godine. Suspendovane materije, kiseonički režim, organoleptička svojstva i vrednosti BPK₅ kolebaju se između I i IIa klase kvaliteta (Uredba o klasifikaciji voda, "Službeni glasnik SRS", br. 5/68). Vrednosti opasnih materija (metali i mikroelementi i organohlorni pesticidi) u 2005. i 2006. godini takođe, bez izuzetka, nalaze se u okviru I klase (tabele 2 i 3). Od 2005. godine pa na dalje radi se i analiza koncentracije azota i njegovih jedinjenja (nitrata i nitrita) u vodi Dunava (Radujevac). U odnosu na propise (Pravilnik o opasnim materijama u vodi, "Službeni glasnik SRS", br. 31/82) koncentracija pomenutih jedinjenja ne prelazi prag propisan za prvu klasu kvaliteta vode.

1.2.2. Karakteristike zajednice riba u Dunavu nizvodno od HE Đerdap II

Ihtiofauna đerdapskog dela Dunava, pre izgradnje hidroelektrana Đerdap I i II, bila je veoma raznovrsna i specifična, uglavnom zahvaljujući brzacima, dubokim virovima i obilju kiseonika, pre svega po prisustvu crnomorskih migratornih vrsta (haringe i jesetarskih vrsta riba). Danas je to mirna jezerska voda sa obiljem uobičajenih autohtonih dunavskih vrsta i sve češćim prisustvom alohtonih vrsta riba (Janković *et al.*, 2000).

Tabela 4. Sastav ihtiofaune u području nizvodno od druge đerdapske brane i njen maseni udeo u ukupnom ulovu (biomasa u $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Simonović, 2003).

Vrsta	Latinski naziv	Biomasa	Maseni udeo
Kečiga	<i>Acipenser ruthenus</i>	8.000	1,63%
Deverika	<i>Abramis brama</i>	3.533	0,72%
Krupatica	<i>Blicca bjoerkna</i>	73.733	15,00%
Crnooka deverika	<i>Abramis sapa</i>	45.222	9,20%
Nosara	<i>Vimba vimba</i>	129.689	26,38%
Mrena	<i>Barbus barbus</i>	94.089	19,14%
Babuška	<i>Carassius gibelio</i>	46.978	9,56%
Smuđ kamenjar	<i>Sander volgensis</i>	9.667	1,97%
Smuđ	<i>Sander lucioperca</i>	80.733	16,42%
Ukupno		491.644	

Poslednjih 18 km toka Dunava kroz Srbiju, nizvodno od druge đerdapske brane (od 863 do 845 rkm), predstavlja jedino preostalo prirodno plodište crnomorskih migranata u Srbiji, poput morune (*Huso huso*), ruske jesetre (*Acipenser gueldenstaedtii*), pastruge (*Acipenser stellatus*), sima (*Acipenser nudiventris*), i azovske i crnomorske haringe (Janković & Krpo-Ćetković, 1995; Navodaru & Waldman, 2003). Fauna riba je u ovom delu Dunava po sastavu približna nekadašnjem originalnom sastavu. Najveća promena od prvobitnog sastava ihtiofaune jeste pojava invazivnog alohtonog roda *Neogobius* (porodica Gobiidae) sa četiri vrste. U ovom delu, biomasa ribe je verovatno najveća u odnosu na sve ostale rečne ekosisteme Srbije (tabela 4), a konstatovana godišnja prirodna produkcija je gotovo maksimalna u odnosu na potencijalnu, pa se stanje ribljeg fonda može oceniti izvrsnim (Simonović *et al.*, 2003).

2. CILJEVI RADA

- Analiza distribucije dužinskih klasa jedinki crnomorske haringe iz različitih sezona uzorkovanja.
- Analiza odnosa dužine i težine u periodu mresne migracije u Dunavu.
- Utvrđivanje hepatosomatskog i gonadosomatskog indeksa, kao i faktora kondicije u funkciji dužine, pola i godine uzorkovanja.
- Poređenje rezultata procenjivanja starosti od strane različitih istraživača u zavisnosti od njihovog iskustva.
- Utvrđivanje stepena preciznosti određivanja starosti jedinki poređenjem koštanih struktura kao što su krljušt i pršljen.
- Utvrđivanje uzrasne strukture uzorkovanih migranata crnomorske haringe.
- Procena korišćenja anatomskih karakteristika crnomorske haringe, u smislu oblika tela i veličine, za utvrđivanje razlika između polova i migranata iz različitih sezona migracije primenom geometrijske morfometrije.
- Analiza nivoa akumulacije teških metala u ispitivanoj populaciji crnomorske haringe i poređenje sa maksimalnim dozvoljenim koncentracijama propisanim zakonskim regulativama.
- Određivanje organa koji predstavljaju centre akumulacije pojedinih teških metala.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Materijal korišćen u analizi

Celokupna istraživanja u okviru ove disertacije bila su podeljena u dve faze. Uzorci iz obe faze istraživanja bili su prikupljeni na 863 kilometru toka Dunava u Srbiji (N 44°17'51,6", E 22°35'1,7") (slike 5, 6 i 7). Jedinke su hvatane uz pomoć plutajuće mreže (tzv. "bal") (dužina 100 m, dubina 4,5 m, promer okca 32,5 mm).

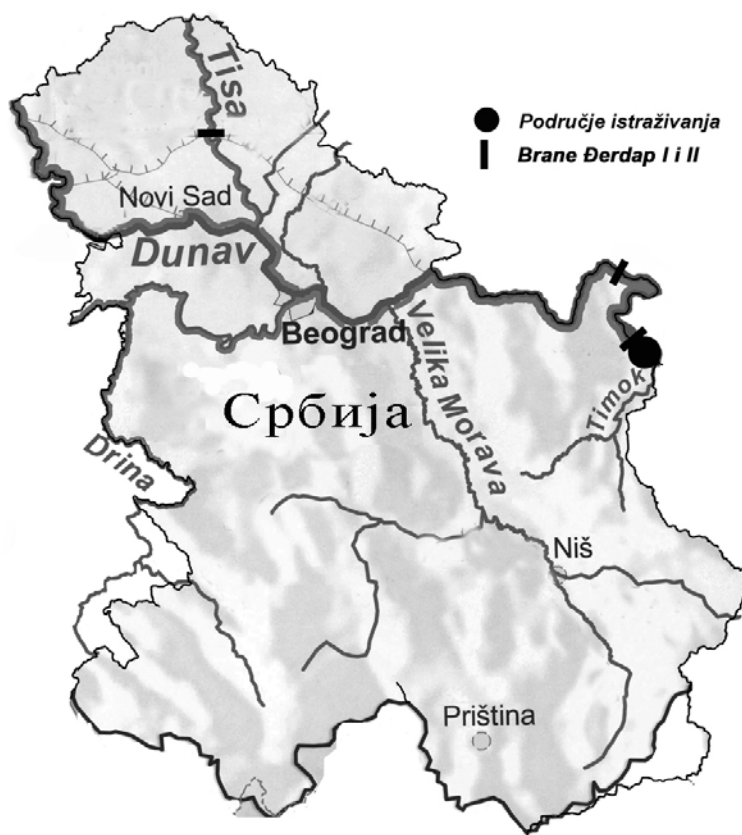
Prva faza je uključivala terenska istraživanja sa ciljem utvrđivanja ekoloških karakteristika migratornih jedinki crnomorske haringe u Dunavu, u krajnjoj tački njihove migracije iz Crnog mora radi mresta. Terenska istraživanja su sprovedena tokom aprila i maja 2004. i 2006. godine, sa ukupnim uzorkom od 324 jedinke crnomorske haringe oba pola. Sve jedinke su bile prikupljene u svežem stanju i odmah nakon izlova čuvane su do dalje obrade na temperaturi od -20°C.

Uzorkovane jedinke su poslužile za određivanje frekvencije dužinskih klasa, dužinsko-težinskih odnosa, gonadosomatskog i hepatosomatskog indeksa, faktora kondicije, kao i za geometrijsko-morfometrijsku analizu.

Uzorci prikupljeni tokom aprila i maja 2006. godine, ukupno 30 jedinki, poslužili su za ispitivanje mogućnosti korišćenja različitih koštanih struktura (krljušt i kičmeni pršljen) za određivanje starosti kod crnomorske haringe.



Slika 5. Karta sa lokalitetom terenskog uzorkovanja (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Danubemap.png>).



Slika 6. Karta Srbije sa lokalitetom terenskog uzorkovanja.

Druga faza terenskog rada sprovedena je na istom lokalitetu tokom aprila i maja 2007. i 2008. godine, sa ciljem utvrđivanja toksikološkog statusa ispitivane vrste. Ukupan uzorak iznosio je 47 jedinki. U okviru analiza, ispitivane su koncentracije 17 hemijskih elemenata, odnosno teških metala i mikroelemenata (Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb Sr i Zn) u mišiću, jetri i škragama. Koncentracije svih elemenata izražene su u mikrogramima po gramu suve težine ($\mu\text{g/g dw}$).



Slika 7. Lokalitet uzorkovanja - HE ĐerdapII.

3.2. Metode obrade materijala

Svim uzorkovanim primercima izmerene su totalna (TL) i standardna dužina tela (SL) u centimetrima, sa tačnošću od 0,1 cm, kao i ukupna težina tela (W) u gramima, sa tačnošću od 1 g.

Nakon merenja izvršena je disekcija svih jedinki. Sa leve škrge uzet je prvi škržni luk i na osnovu broja branhiospina urađena je identifikacija vrste.

Polna identifikacija je utvrđivana izolovanjem središnjeg dela leve gonade i posmatranjem polnih ćelija pod binokularnom lupom.

3.2.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase i dužinsko težinski odnosi

Struktura populacije u odnosu na dužinu jedinki određena je na osnovu izmerenih totalnih dužina tela (TL) kod 324 jedinke (137 jedinki iz 2004. i 187 jedinki iz 2006. godine). Distribucija dužinskih klasa prikazana je grafički prema godini uzorkovanja i polu. Analiza dužinskog i težinskog rasta izvršena je na osnovu izmerenih dužina (TL) u cm i težine (W) tela u gramima. Alometrijski odnos totalne dužine i težine tela određen je za različite godine uzorkovanja i između mužjaka i ženki prema eksponencijalnoj funkciji:

$$W = a L^b \quad (1)$$

koja u logaritamskoj formi ima oblik:

$$\log W = \log a + b \log L \quad (2)$$

gde W predstavlja težinu tela (g), L dužinu tela (cm), a konstantu (odsečak na y-osi), i b faktor alometrije (Ricker, 1975). Dužinsko-težinski odnosi prikazani su i grafički.

Koeficijenti regresije b testirani su za obe godine uzorkovanja. Testiranje nivoa značajnosti (p) razlika između prosečnih vrednosti totalne dužine i težine pojedinih uzoraka u okviru formiranih grupa (mužjaci-ženke 2004; mužjaci-ženke 2006; ženke

2004-2006.; mužjaci 2004-2006) urađeno je t-testom, kao osnovnom metodom za testiranje hipoteze o jednakosti dva regresiona koeficijenta:

$$t = b_1 - b_2 / S_{b_1 - b_2} \quad (3)$$

gde je $S_{b_1 - b_2}$ standardna greška razlike između regresionih koeficijenata koja iznosi:

$$S_{b_1 - b_2} = \sqrt{((S^2_{y^2 x})_p / (\Sigma x^2)_1) + ((S^2_{yx})_p / (\Sigma x^2)_2)} \quad (4)$$

$$(S^2_{yx})_p = (\Sigma y^2 + \Sigma y_1^2) / (\Sigma(x-2)) + ((\Sigma(x_1-2))) \quad (5)$$

$$b = \Sigma xy / \Sigma x^2 \quad (6)$$

$$b_1 = \Sigma x_1 y_1 / \Sigma x_1^2 \quad (7)$$

pri čemu su $\Sigma(x-2)$ i $\Sigma(x_1-2)$ stepeni slobode koji predstavljaju broj jedinki u prvom uzorku i broj jedinki koje se porede u drugom uzorku minus 2.

Odavde je izvedena vrednost t-testa (Zar, 1984):

$$t = (\Sigma xy / \Sigma x^2) - (\Sigma x_1 y_1 / \Sigma x_1^2) / \sqrt{((\Sigma y^2 - \Sigma xy^2) / \Sigma x^2) + (\Sigma y_1^2 - \Sigma x_1 y_1^2) / ((\Sigma x - 2) + (\Sigma x_1 - 2))} \quad (8)$$

3.2.2. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije

Reprodukcija je najkritičnija faza u životnom ciklusu jedne vrste koja odlučuje o njenom opstanku. **Gonadosomatski indeks** (GSI) govori o opštoj reproduktivnoj sposobnosti jedinke (Jons & Miranda, 1997). Gonadosomatski indeks predstavlja odnos težine gonade i ukupne težine tela jedinki, zajedno sa dijestivnim traktom, izražen kao:

$$GSI = (\text{težina gonade} / \text{težina tela}) \times 100 \quad (9).$$

Ova indeks predstavlja metodu za merenje polne zrelosti jedinki koja je u korelaciji s razvojem gonada. Povećanje GSI ukazuje na to da se približava sezona mresta (Jons & Miranda, 1997), dok smanjenje označava da je mrest već završen.

Hepatosomatski indeks (HSI) ukazuje na status energetske rezervi kod riba (Jangaard *et al.*, 1967). U lošim uslovima životne sredine, jedinke riba obično imaju manju jetru (Lenhardt, 1992; Cek *et al.*, 2001). Izračunava se kao

$$\text{HSI} = (\text{težina jetre} / \text{težina tela}) \times 100 \quad (10)$$

Oba indeksa su izračunata na jedinkama kojima su gonade i jetra odstranjene u svežem stanju i merene do 0,01 g tačnosti. Za računanje GSI korišćena je leva gonada.

Relativna robusnost tela ili stepen blagostanja kod riba izražava se **faktorom kondicije** (takođe poznat i kao koeficijent kondicije ili dužinsko-težinski faktor). Varijacije faktora kondicije primarno pokazuju stanje polne zrelosti i stepen uhranjenosti. Vrednosti mogu varirati u zavisnosti od starosti jedinke, a kod nekih vrsta i u zavisnosti od pola (Williams, 2000). Faktor kondicije pokazuje opšte stanje riba i baziran je na hipotezi da je riba veće težine za datu dužinu u boljoj kondiciji (Abowei & Davies, 2009). Fultonov (kubni, teorijski) faktor kondicije (Fulton, 1911, *prema*: Ricker, 1975) računat je po formuli:

$$K = W L^{-3} \quad (11)$$

i predstavlja parametar a iz funkcije $W = a L^b$ kada je $b = 3$. Što je veća težina ribe određene dužine veća je i vrednost ovog faktora. Fultonov faktor kondicije pogodan je za poređenje jedinki iste vrste, i pokazuje razlike u odnosu na pol, sezonu ili mesto uzorkovanja. Može se koristiti i za poređenje riba koje imaju približno istu dužinu tela bez obzira na vrednost b .

Vrednosti GSI, HSI i faktora kondicije izračunati su za 324 jedinke uzorkovane u 2004. i 2006. godini, kao i za oba pola pojedinačno. Mann-Whitney test je korišćen da bi se utvrdilo da li postoje značajne razlike u vrednostima GSI, HSI i faktora kondicije između sezona u kojima su jedinke uzorkovane kao i između polova..

3.2.3. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture

Procena starosti riba obezbeđuje važne demografske parametre uz pomoć kojih se analizira i procenjuje riblja populacija (Maceina & Sammons, 2006). Tačni podaci o starosti ključni su za shvatanje biologije i za upravljanje većinom ribljih vrsta (Hurley *et al.*, 2004; LaBay & Lauer, 2006).

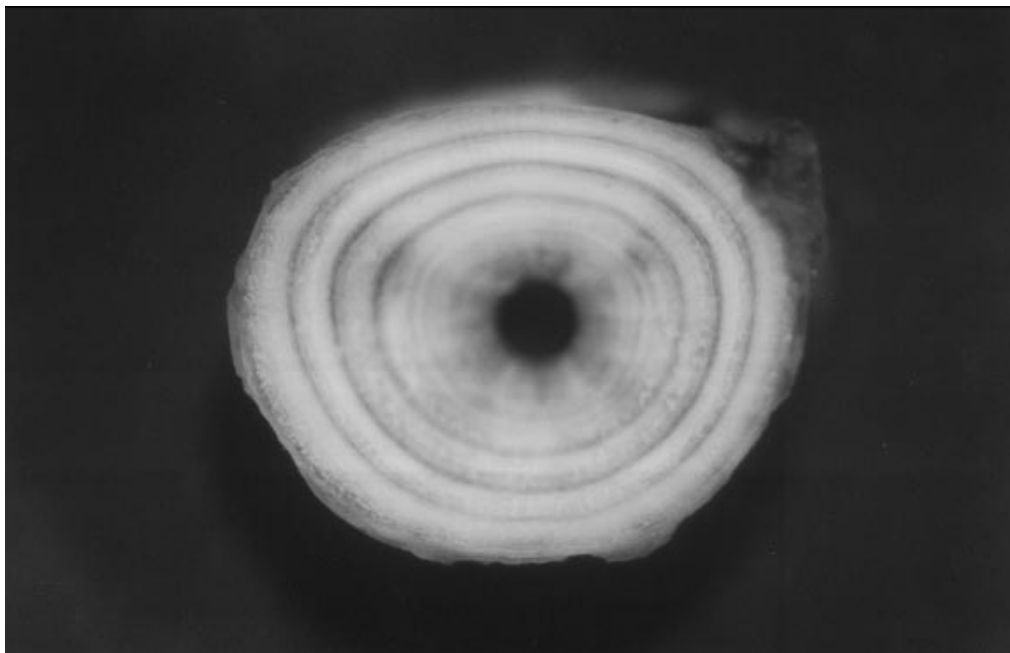
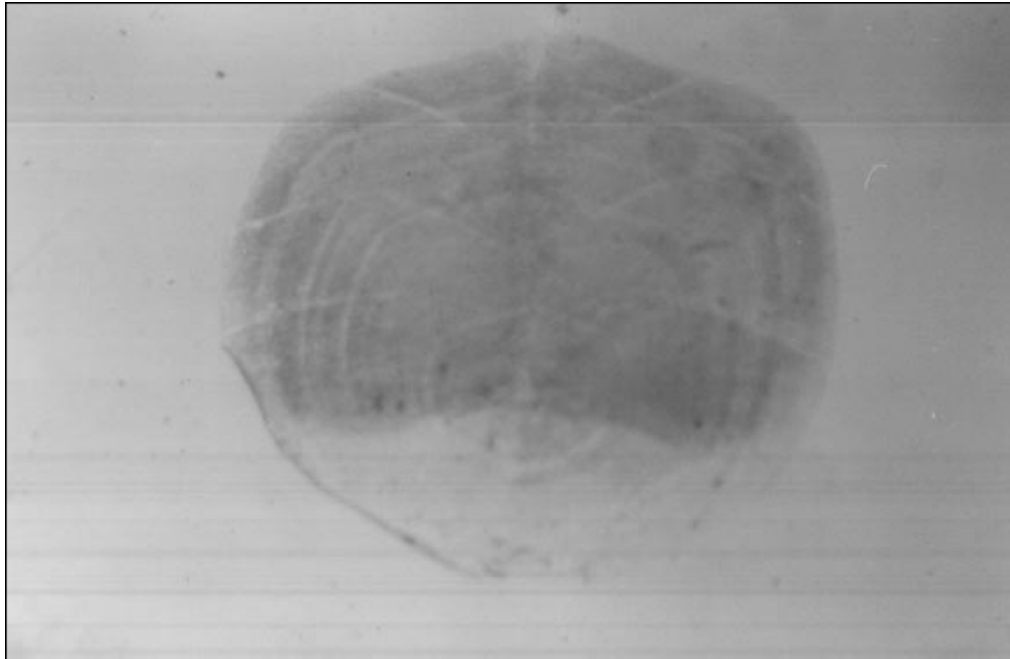
Greške načinjene prilikom određivanja starosti mogu imati negativan uticaj na upravljanje ribljim fondom. Određivanje starosti se može vršiti korišćenjem različitih struktura koje imaju periodičan rast, uključujući krljušt, pršljenove, žbice, kleitrum, operkulum i otolite (Campana, 2001).

Dve važne činjenice uzimaju se u obzir kada se odabira struktura na osnovu koje će se određivati starost ribe, pogodnost izabrane strukture za određivanje starosti i da li je odabranu strukturu moguće prikupiti bez žrtvovanja jedinke (Brenden *et al.*, 2006).

Proces procenjivanja starosti riba podrazumeva i proceduralnu grešku koja nastaje kao posledica greške u interpretaciji usled subjektivnosti koja je nerazdvojivi deo svih procesa procenjivanja starosti (Campana, 2001). Iz ovog razloga, metode za određivanje i procenjivanje starosti zahtevaju dalji razvoj kada je u pitanju njihova preciznost.

Određivanje starosti crnomorske haringe je mahom izvođeno korišćenjem krljušti, i to u Rumuniji (Teodorescu-Leonte *et al.*, 1957; Cautis & Teodorescu-Leonte, 1964), Ukrajini (Pavlov, 1953), Bugarskoj (Ivanov & Beverton, 1985; Kolarov, 1991), Turskoj (Erguden *et al.*, 2007) i Srbiji (Višnjić-Jeftić *et al.*, 2009).

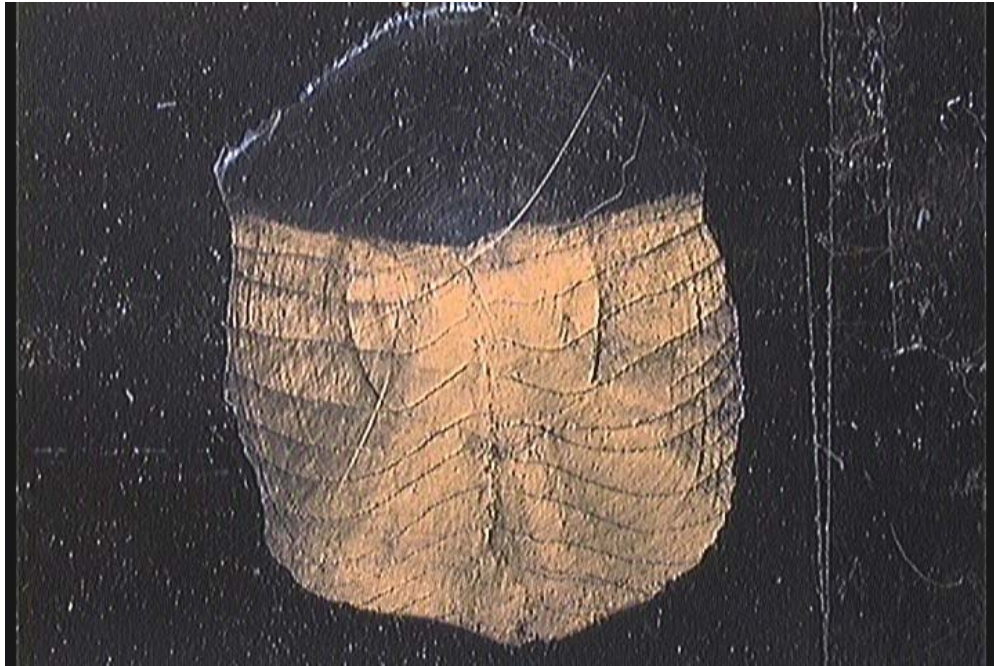
Yilmaz & Polat (2002) su istraživali koja je struktura najpogodnija i koji je metod najprecizniji za procenjivanje starosti kod crnomorskih haringi. Među pet koštanih struktura (krljušt, pršljen, otolit, operkulum, suboperkulum) koje su istraživali, pršljen se pokazao kao struktura koja daje najtačnije rezultate (slika 8).



Slika 8. Fotografije preparata krljušti i pršljena crnomorske haringe starosti 4 godine (Yilmaz & Polat, 2002).

Od ukupno 189 uhvaćenih jedinki crnomorske haringe tokom aprila i maja 2006. godine, slučajnim izborom odabrano je 30 jedinki radi prikupljanja struktura (krljušt i pršljen) za određivanje starosti kod riba. Kod 28 jedinki uzorkovane su i krljušti i pršljenovi, a kod još dve jedinke samo pršljenovi. Krljušt je uzorkovana sa dela tela koji se nalazi ispod dorzalnog peraja i iznad bočne linije. Nakon čišćenja, uzeti primerci krljušti čuvani su u suvim papirnim kovertama. Pršljenovi su birani u regionu od 4. do 10. pršljena u kičmenom stubu. Priprema pršljena za analizu podrazumevala je prokuvavanje u destilovanoj vodi 2-3 minuta i finalno čišćenje od ostataka tkiva. Tako pripremljeni pršljenovi takođe su stavljeni u suve označene koverta.

Za procenu starosti korišćenjem krljušti i pršljenova (slika 9) određeno je pet istraživača. Tri interpretatora iz Rumunije imala su veliko iskustvo u procenjivanju starosti na crnomorskoj haringi (označeni kao R1, R2, R3), dok su dva interpretatora iz Srbije (označeni kao S1 i S2) imali iskustvo u određivanju starosti riba drugih vrsta, a nisu imali iskustva u oblasti procene starosti crnomorske haringe.



Slika 9. Mikroskopski preparati krljušti i kičmenog pršljena uzetih sa crnomorske haringe u Dunavu uz pomoć kojih je određivana starost

Interpretator R1 imao je 12 godina iskustva u određivanju starosti kod haringi uz pomoć krljušti, dok su interpretatori R2 i R3 imali 15, odnosno 5 godina iskustva u istim oblastima. Interpretatori S1 i S2 nisu imali iskustva u određivanju starosti na haringama, ali su zato imali 30, odnosno 3 godine iskustva u procenjivanju starosti kod drugih vrsta uz pomoć krljušti. Nijedan od pet interpretatora starosti nije imao iskustva u određivanju starosti kod riba na osnovu kičmenih pršljenova.

Preparati sa krljuštima i pršljenovima postavljeni su na mikroskopske pločice. Za određivanje starosti mikroskopiranjem nije određen vremenski rok, niti su interpretatori međusobno sarađivali u toku procesa određivanja starosti. Takođe, interpretatori nisu imali informacije koje su se odnosile na dužinu ili masu tela jedinki za koje se određuje starost.

Očitavanje je ponovljeno nakon tri meseca sa ciljem da se definiše i odredi ponovljivost rezultata koji su dobijeni određivanjem starosti na krljuštima i kičmenim pršljenovima.

Stepen ponovljivost rezultata istog interpretatora i stepen preciznosti rezultata među interpretatorima mereni su putem prosečne procentualne greške (APE) i koeficijenta varijacije (CV) (Campana, 2001). Prosečna vrednost ovih parametara za više jedinki daje indeks prosečne procentualne greške (IAPE) i indeks koeficijenta varijacije (ICV).

Stepen ponovljivost rezultata istog interpretatora baziran je na rezultatima prve i druge interpretacije svih interpretatora, dok je stepen reproduktivnosti rezultata među interpretatorima baziran na rezultatima prve interpretacije svih interpretatora.

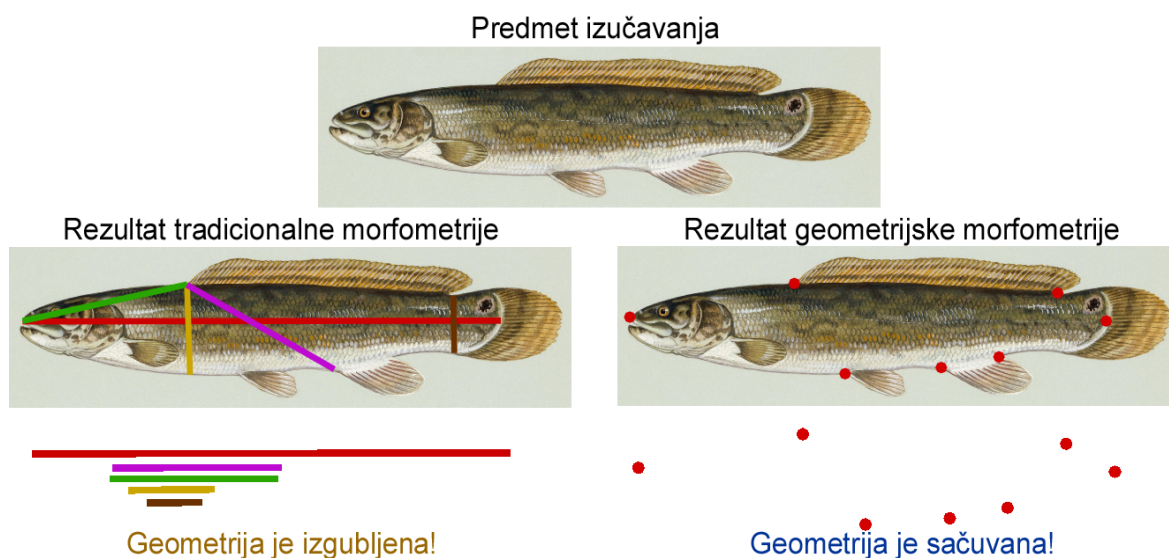
Relativna jednostavnost determinisanja starosti na osnovu određene strukture, krljušti ili pršljena, ustanovljena je na osnovu stepena preciznosti između različitih interpretatora.

Sign test je korišćen da bi se potvrdilo da li postoji statistička razlika u stepenu ponovljivosti rezultata istog interpretatora.

3.2.4 Geometrijsko-morfometrijska analiza

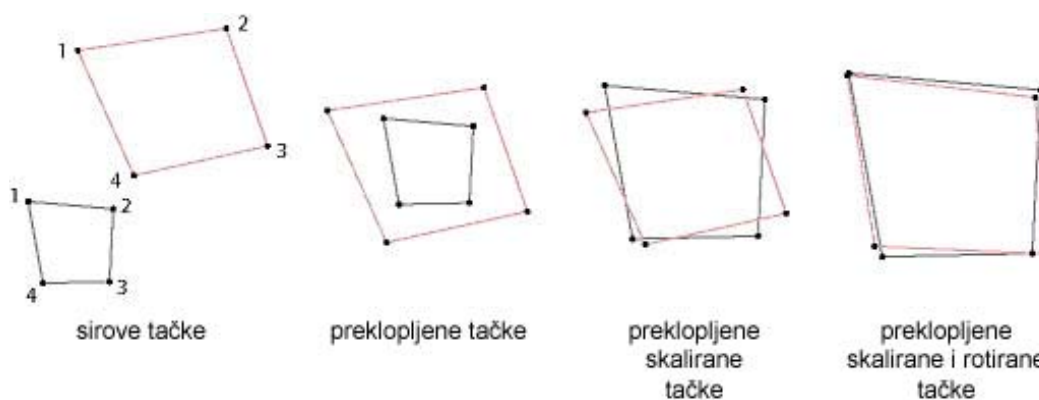
Geometrijska morfometrija je skup metoda koje omogućavaju statističku analizu oblika i veličine morfoloških celina kao i direktno grafičko predstavljanje oblika. Za razliku od tradicionalne morfometrije gde se najčešće analiziraju dužinske karakteristike morfološke celine, geometrijska morfometrija na konceptualno nov način istražuje matematički oblik morfoloških celina preko njihove geometrije (Rohlf, 2005; Adams *et al.*, 2004) (slika 10). Studije oblika tela riba predmet su naučnih istraživanja više od jednog veka. Tek od nedavno se metode geometrijsko-morfometrijske analize koriste za razumevanje promena oblika tela kao i promena u alometriji tokom ontogeneze (Hood & Heins, 2000).

U analizi se polazi od rasporeda specifičnih tačaka (engl. landmarks) na morfološkoj celini u dve ili tri dimenzije. Metoda omogućava odvajanje veličine i oblika, njihovu nezavisnu analizu, kao i analizu njihovog međusobnog odnosa standardnim metodama multivarijantne statistike. Ova metoda nema ograničenja koja se odnose na pravce varijacija i na lokalizaciju promena oblika, samim tim je veoma efikasna za pribavljanje informacija koje se odnose na oblik morfološke celine (Clabaut *et al.*, 2006).



Slika 10. Komparacija tradicionalne i geometrijske morfometrije (http://www.fruciano.it/research/geometric_morphometrics.shtml).

Veličina morfološke celine (engl. centroid size) predstavlja kvadratni koren sume rastojanja svake tačke od centroida (težišta konfiguracije). Varijable oblika morfološke celine dobijaju se u procesu Prokrustove superimpozicije (engl. Procrustes superimposition) u kojoj se vrši translacija i skaliranje konfiguracija, kao njihova rotacija dok suma kvadratnih odstupanja između homologih tačaka ne bude minimalna. Kao rezultat ovog procesa dobijaju se Prokrustove koordinate koje opisuju oblik *per se* (slika 11). U daljim analizama oblika standardnim metodama multivarijatne statistike i vizualizaciji promena oblika putem transformacionih mreža koriste se takozvani parcijalni "warp" skorovi (engl. partial warp scores).

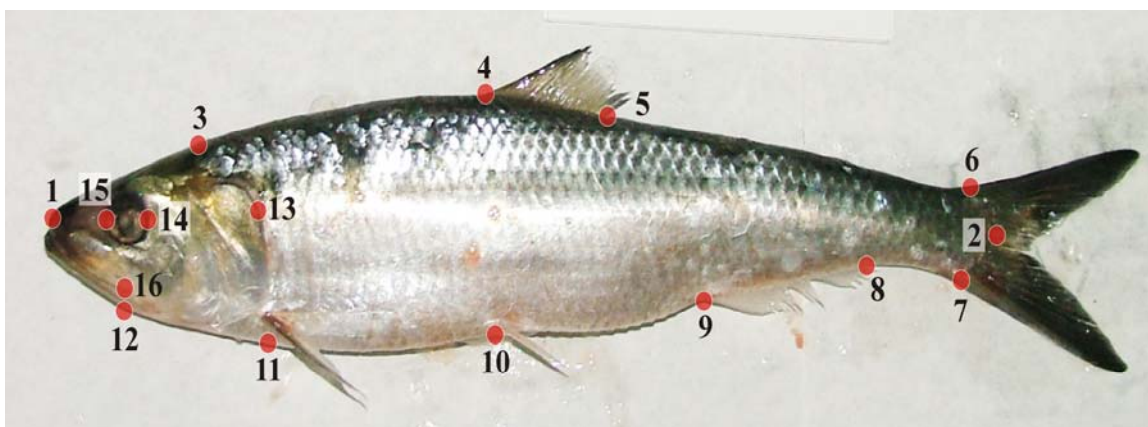


Slika 11. Proces Prokrustove superimpozicije.

Promene oblika morfoloških celina mogu se kvantifikovati energijom transformacija, metaforički rečeno, "neograničene, beskonačno tanke metalne ploče" (engl. thin plate spline), pri čemu relativne promene koordinata homologih anatomskih tačaka morfološke celine uslovljavaju deformacije ove "ploče" (Bookstein, 1991). Stepenn promene oblika kao i međusobna udaljenost tačaka se direktno odražavaju na veličinu deformacija ploče. Kao rezultat analize dobija se grafički predstavljena ploča (ili deformaciona mreža) koja opisuje promene oblika morfološke celine. Geometrijska morfometrija ima veliku "statističku osetljivost" tako da se njenom primenom mogu otkriti male promene u obliku morfoloških celina koje se, inače, ne mogu utvrditi tradicionalnim morfometrijskim metodama (Klingenberg, 1996; Klingenberg *et al.*, 2002).

Jedinke crnomorske haringe za ovo istraživanje prikupljene su u toku aprila i maja 2004. i 2006. godine u Prahovu na 861 rkm reke Dunav. Uzorak se ukupno sastojao od 175 jedinki muškog pola i 134 jedinki ženskog pola (2004. godina: 65 mužjaka i 56 ženki; 2006. godina: 110 mužjaka i 78 ženki). Pol jedinki je potvrđen posle disekcije i makroskopskog pregleda gonada. Jedinke su čuvane duboko zamrznute (-20°C) do dalje analize.

Za potrebe geometrijsko-morfometrijske analize, svaka od jedinki je slikana digitalnom kamerom sa leve strane. Šesnaest specifičnih homologih tačaka je digitalizovano korišćenjem tpsDig softvera (Rohlf, 2005) na levoj strani svake jedinke. Raspored homologih tačaka bio je u skladu sa anatomskim atributima jedinki crnomorske haringe (slika 12).



Slika 12. Crnomorska haringa sa definisanim homologim tačkama: 1- vrh gornje vilice, 2 - centar repnog peraja, 3 - početak krljušti sa gornje strane glave, 4- početak osnove leđnog peraja, 5 - kraj osnove leđnog peraja, 6 - početak gornjeg dela repnog peraja, 7 - početak donjeg dela repnog peraja, 8 - kraj analnog peraja, 9 - početak osnove analnog peraja, 10 - početak osnove trbušnog peraja, 11 - početak osnove grudnog peraja, 12 - baza (kraj) gornjeg dela usta, 13 - ivica operkuluma u nivou oka, 14 - prednja ivica oka, 15 - zadnja ivica oka, 16 - baza (kraj) gornjeg dela usta.

Prokrustove koordinate oblika izvedene su korišćenjem CoordGen 6 softvera (Sheets, 2000). Jedinke su svrstane u četiri grupe u zavisnosti od godine kada je uzorak

prikupljen i u zavisnosti od pola. Analiza razlike u veličini izvedena je na "centroid" veličini (CS) koja nije u korelaciji sa varijablama oblika u odsustvu alometrije (Bookstein 1991). Analiza razlika oblika izvedena je uniformnim i neuniformnim komponentama (engl. uniform & non-uniform partial warps).

Poređenje varijabli veličine i oblika između različitih sezona i godina urađeno je testiranjem razlika srednjih vrednosti testom za analizu varijanse (nested ANOVA). Kanonijska analiza varijanse (canonical variance analysis - CVA) urađena je da bi se utvrdila razlika između četiri predefinisane grupe (mužjaci 2004, ženke 2004, mužjaci 2006 i ženke 2006).

Regresija varijabli oblika na kanonijskoj osi korišćena je da bi se ilustrovale promene oblika duž svake od osa, a to je urađeno korišćenjem *thin-plate spline* CVAgen6 aplikacije (Sheets, 2000). Da bi se uspostavili alometrijski obrasci (testiranje da li postoji promena oblika vezana za veličinu), urađena je multivarijantna regresija oblika (partial warp skorova) na veličinu (logaritmovani CS) u aplikaciji tpsRegr (Rohlf, 2005).

Testirana je homogenosti ovako dobijenih alometrijskih pravih u cilju uvrđivanja razlika obrazaca alometrijskih promena kod četiri grupe. Za graničnu statističku značajnost uzeta je vrednost 0,05, pri čemu su sve vrednosti korigovane pomoću Bonferroni metode. Morfometrijske distance za oblik tela procenjene su kao Prokrustove distance i korišćene su za konstrukciju UPGMA (engl. Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) fenograma da bi se utvrdila ukupna sličnost u obliku tela između četiri predefinisane grupe.

3.2.5. Određivanje koncentracije teških metala i mikroelemenata u tkivima metodom induktivno spregnute plazme (ICP-OES)

Ribe su često izložene visokom stepenu zagađenja u vodi, što može dovesti do čitavog niza različitih promena, od onih biohemijskih na nivou ćelija, do promena na nivou celih populacija (Bernet *et al.*, 1999). Osnovni izvori zagađenja teškim metalima jesu poljoprivreda, industrija i rudarstvo (Kumar Singh *et al.*, 2007). Teški metali se, usled svoje sposobnosti da se prenose i akumuliriraju duž lanaca ishrane, smatraju jednim od ključnih zagađivača vodenih ekosistema (Olojo *et al.*, 2005; Erdogru & Erbilir, 2007).

Crno more predstavlja najveće zatvoreno more na svetu i smatra se izuzetno zagađenim (Altas & Buyukgungor, 2007). Osnovni vektori zagađenja Crnog mora jesu atmosferske padavine, voda koja se uliva u more iz većih rečnih basena, kao i različiti lokalni izvori zagađenja. Najveća pritoka Crnog mora je Dunav, koji donosi godišnje oko 203 km³ vode (*ibid.*). Najugroženija zona Crnog mora jeste njegov severozapadni deo, gde se nalazi delta Dunava i gde reka donosi velike količine vode i sedimenata, koji u sebi sadrže značajne količine zagađivača (Secrieru & Secrieru, 2002).

Crno more iz Dunava godišnje primi oko 240 tona kadmijuma, 4000 tona olova i 900 tona hroma (Action Programme – Swedish Environment Protection Agency, 1990). Ključni teški metali u sedimentu severozapadnog dela Crnog mora, poređani po svom značaju, jesu: kadmijum (Cd), barijum (Ba), olovo (Pb), cink (Zn), bakar (Cu), kobalt (Co) (Secrieru & Secrieru, 2002). Prema navodima istih autora, višak Ba u sedimentu jeste rezultat izlivanja, kao posledice eksploatacije naftnih nalazišta u Rumuniji i Ukrajini.

Ribe se nalaze na samom vrhu lanaca ishrane u vodenim ekosistemima, usled čega često akumuliraju značajne količine pojedinih teških metala u svom organizmu (Yilmaz *et al.*, 2007). Ribe se takođe smatraju jednom od najosetljivijih grupa organizama na prisustvo toksičnih materija u vodi (Alibabić *et al.*, 2007).

Izloženost ljudi teškim metalima se prvenstveno događa preko ishrane, pa je zato praćenje kontaminacije teškim metalima kod komercijalno značajnih ribljih vrsta od izuzetnog značaja (Erdogru & Erbilir, 2007 ; Yilmaz *et al.*, 2007; Meche *et al.*, 2010).

Meso ribe je jedna od osnovnih komponenti ljudske ishrane, usled čega je prisutno veliko interesovanje naučne javnosti za prisustvo teških metala u vodi i njihovo akumuliranje u tkivu riba (Dural *et al.*, 2006; Storelli & Marcotrigiano, 2006; Alibabić *et al.*, 2007; Erdogrul & Erbilir, 2007; Keskin *et al.*, 2007).

Većina istraživanja je do sada bila prvenstveno usmerena na mišićno tkivo riba (Storelli & Marcotrigiano, 2006; Keskin *et al.*, 2007). Međutim, mišići ne predstavljaju uvek najbolje indikatore ukupne kontaminacije u organizmu, pa je shodno tome važno da se u analize uključe i drugi organi, poput jetre i škrge (Has-Schön *et al.*, 2006).

Do sada nije bilo raspoloživih podataka o koncentracijama teških metala u mišićima i drugim organima crnomorske haringe. Toksikološki status ove vrste nije bio poznat i podaci o ovom pitanju nisu prisutni u dostupnoj literaturi, kako na nivou Srbije tako ni u zemljama regiona. S obzirom na ovu činjenicu, kao i na to da je crnomorska haringa ekonomski značajna vrsta i predmet značajnog privrednog ribolova u delti reke Dunav (Ciolac & Patriche, 2004), sa godišnjim ulovima i od oko 1000 metričkih tona (Navodaru & Waldman, 2003), sasvim je jasno koliki doprinos daju toksikološka istraživanja ove vrste.

Ukupan uzorak za analizu teških metala iznosio je 47 jedinki (29 ženki i 18 mužjaka), uzorkovanih 2007. i 2008. godine na lokalitetu nizvodno od brane Đerdap II, na Dunavu. Na svim jedinkama je izvršena disekcija u svežem stanju, pri čemu su uzeti uzorci mišićnog tkiva (dorzalni mišić), jetre i škrge, koji su nakon ispiranja destilovanom vodom čuvani u zamrznutom stanju.

Uzorci su prvo podvrgnuti procesu liofilizacije (Freeze Dryers Rotational-Vacuum-Concentrator, GAMMA 1-16 LSC, Germany) (slika 13). Težina uzoraka tkiva uzetih za analizu, nakon završene liofilizacije varirala je od 0,2 do 0,5 grama. Uzorci su potom procesuirani u mikrotalasnoj peći (speedwaveTM MWS-3+, Berghof Products + Instruments GmbH, Eningem, Germany) (slika 14).

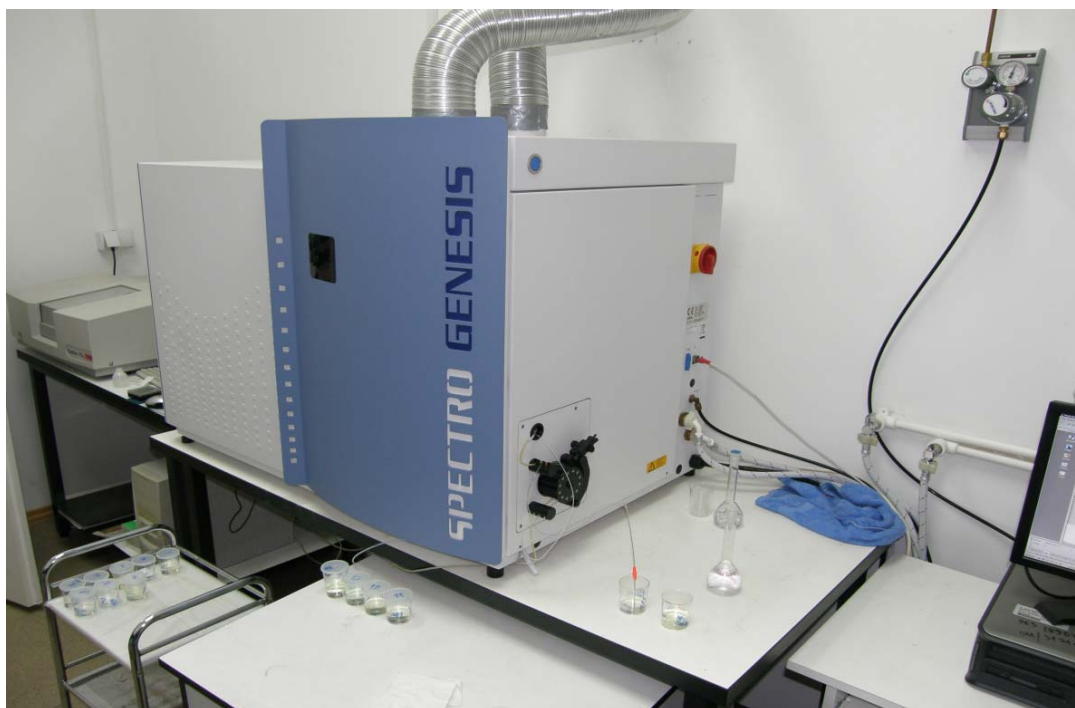


Slika 13. Liofilizator (Freeze Dryers Rotational-Vacuum-Concentrator, GAMMA 1-16 LSC, Germany).



Slika 14. Mikrotalasna peć (speedwave™ MWS-3+, Berghof Products + Instruments GmbH, Eningem, Germany).

Tokom procesa digestije, korišćena je smeša od 65% HNO₃ (6 ml, Merck suprapure) i 30% H₂O₂ (4 ml, Merck suprapure). Proces digestije je sproveden sa temperaturnim programom za razlaganje uzoraka hrane, sa opsegom od 100 do 170°C. Posle hlađenja do sobne temperature, digestovani uzorci su razređeni destilovanom vodom do ukupne zapremine od 25 ml. Detekcija teških metala i mikroelemenata je vršena uz pomoć induktivno spregnute plazme – optičko emisijne spektrometrije (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germany) (slika 15).



Slika 15. Instrument sa induktivno spregnutom plazmom - optičko emisijom spektrometrijom (ICP-OES, Spectro Genesis EOP II, Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germany).

Ispitivani hemijski elementi detektovani su na sledećim talasnim dužinama instrumenta:

Al	309,401 nm	Cr	205,552 nm	Mo	202,095 nm
As	189,042 nm	Cu	324,754 nm	Ni	231,604 nm
B	249,773 nm	Fe	259,941 nm	Pb	220,353nm
Ba	233,527 nm	Li	460,2 nm	Sr	460,733 nm
Cd	228,802 nm	Mg	279,079 nm	Zn	206,191 nm
Co	228,616 nm	Mn	259,373 nm		

Kvalitet analitičkog procesa je kontrolisan analizom referentnog materijala goveđe jetre (BCR-185R) i tkiva lišaja (IAEA-336 Lichen).

Statistička analiza je uključivala poređenje koncentracija teških metala među različitim tkivima, kao i među polovima. Distribucija varijabli je ispitana korišćenjem Kolmogorov-Smirnov testa normalnosti. Pošto su rezultati testa ukazali na odsustvo normalne distribucije, u daljim analizama su korišćene neparametrijske statističke metode. Inicijalno određivanje razlika među grupama je izvršeno uz pomoć Kruskal-Wallis H testa, nakon čega su pojedinačni parovi poređeni uz pomoć Mann-Whitney U testa.

Za ispitivanje odnosa koncentracija istog elementa u različitim tkivima, odnosa koncentracija različitih elemenata unutar istog tkiva, kao i odnosa koncentracija teških metala i totalne dužine (TL) i težine (W) ispitivanih jedinki, korišćen je Spearman-ov neparametrijski test korelacije. U cilju utvrđivanja nivoa diferenciranosti tri ispitivana tkiva u odnosu na stepen akumulacije teških metala, tkiva su poređena i uz pomoć kanonijske diskriminantne analize. Osnovne vrednosti koncentracija ispitivanih elemenata u svakom tkivu korišćene su kao ulazni podaci. Sve navedene statističke analize rađene su u okviru softverskih paketa SPSS 15.0 (SPSS Inc.) i Statistica 6.0 (StatSoft, Inc.)

4. REZULTATI

4.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase

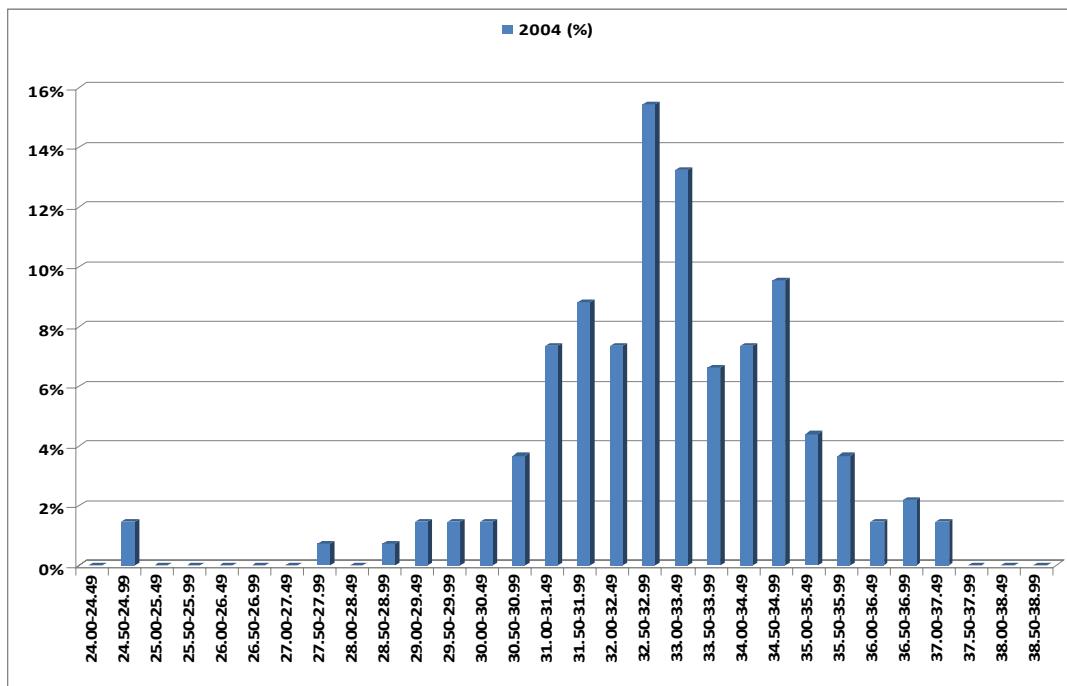
Struktura populacije u odnosu na dužinu jedinki određena je na osnovu frekvencije dužinskih klasa uzorka, koji je uključio 324 jedinke ulovljene 2004. i 2006. godine, poređanih u intervale od 0,5 cm (od 24,00 cm do 38,49) (slike 16 i 17). Ova metoda, osim što pruža informacije o strukturi populacije, može da posluži i za determinaciju uzrasta jedinki koje se analiziraju (tzv. Petersenov model).

Uzorak crnomorskih haringi u ovoj disertaciji predstavljaju samo polno zreli adulti koji u Dunav, na 863 rkm, dolaze radi mresta.

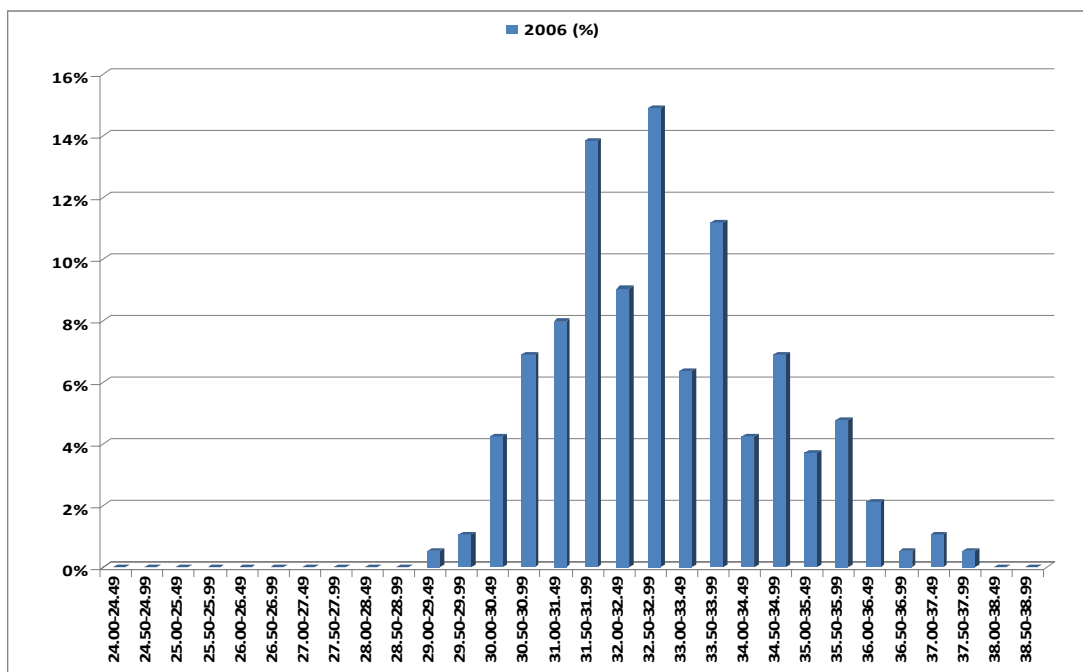
Opseg variranja totalnih dužina ulovljenih jedinki u 2004. godini iznosio je od 24,2 do 38,7 cm, dok je prosečna dužina tela bila $32,62 \pm 2,10$ (srednja vrednost \pm standardna devijacija).

Opseg variranja totalnih dužina jedinki iz 2006. godine iznosio je od 29,2 do 37,2, dok je prosečna dužina tela bila $32,52 \pm 1,69$ (srednja vrednost \pm standardna devijacija).

Dominantna dužinska klasa za obe sezone bila je klasa od 32,0-32,5 cm.



Slika 16. Frekvencija dužinskih klasa (u cm, veličina intervala 0,5 cm) jedinki crnomorske haringe uzorkovanih 2004. godine.



Slika 17. Frekvencija dužinskih klasa (u cm, veličina intervala 0,5 cm) jedinki crnomorske haringe uzorkovanih 2006. godine.

4.2. Dužinsko-težinski odnosi u zavisnosti od pola i godine uzorkovanja

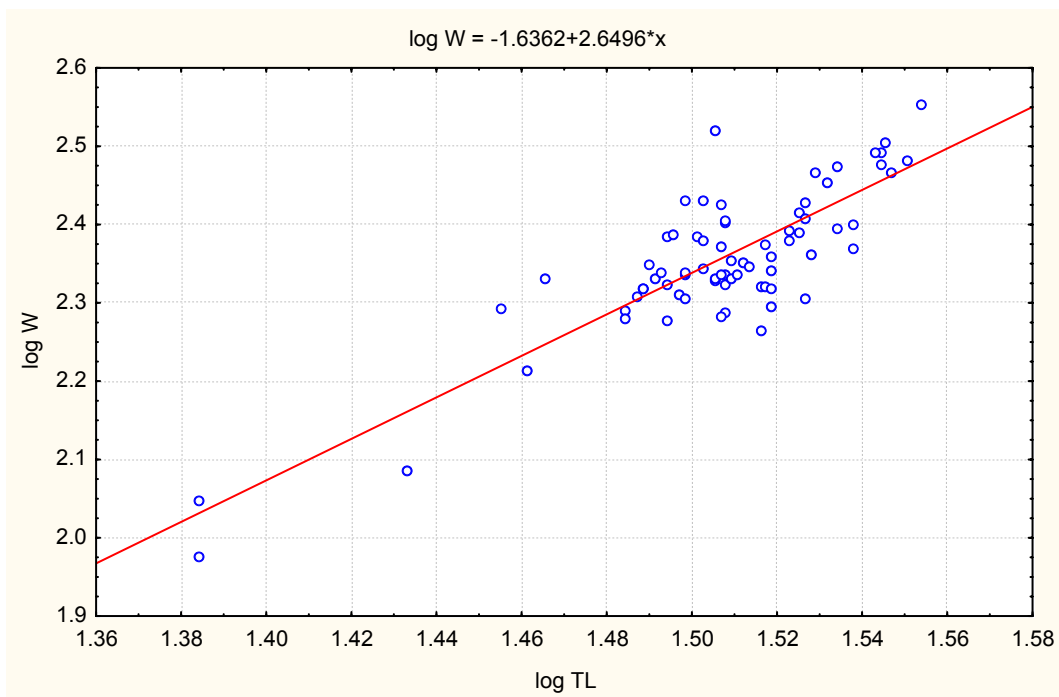
Analiza odnosa totalne dužine (TL) i totalne težine(W) tela urađena je na uzorku od ukupno 324 jedinke.

Dobijeni regresioni koeficijenti (a i b) i korelacioni koeficijenti (r) iz logaritamski transformisanih podataka ($\log W = \log a + b \cdot \log TL$) za 2004. i 2006. godinu dati su u tabeli 5.

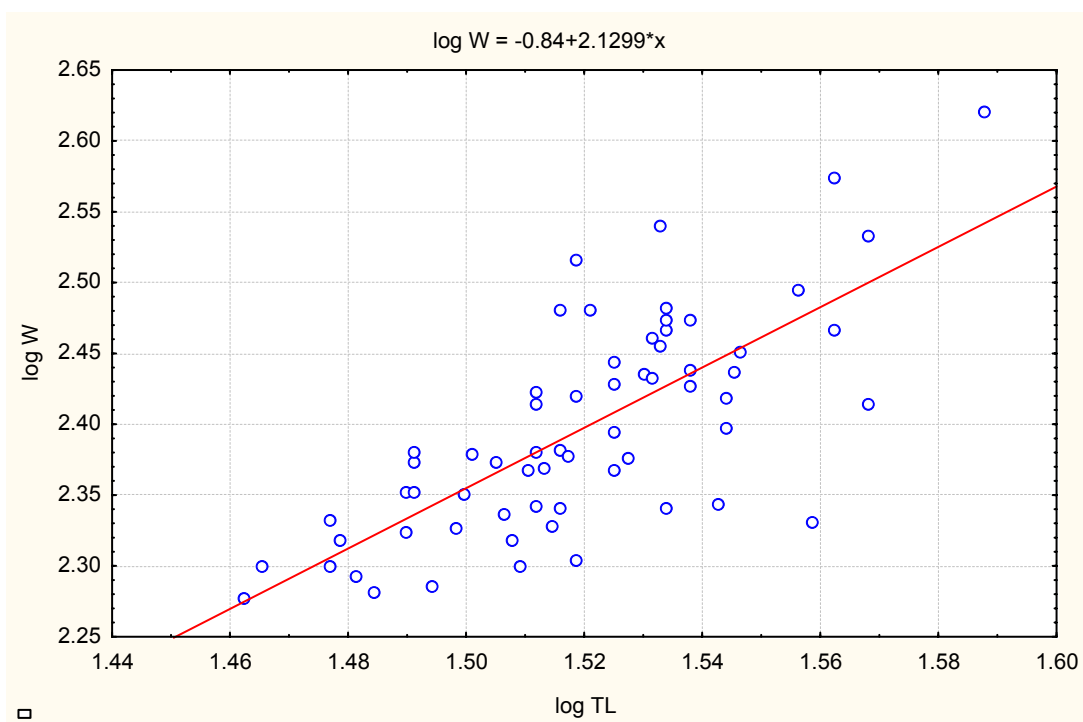
Tabela 5. Regresioni koeficijenti (a i b) i korelacioni koeficijenti (r) odnosa dužine i težine za godine uzorkovanja po polu.

Godina uzorkovanja i pol	N	a	b	r
2004. - mužjaci	73	-1,636	2,650	0,845
2004. - ženke	64	-0,840	2,130	0,734
2006. - mužjaci	110	-0,725	2,031	0,782
2006. - ženke	79	-1,247	2,390	0,845

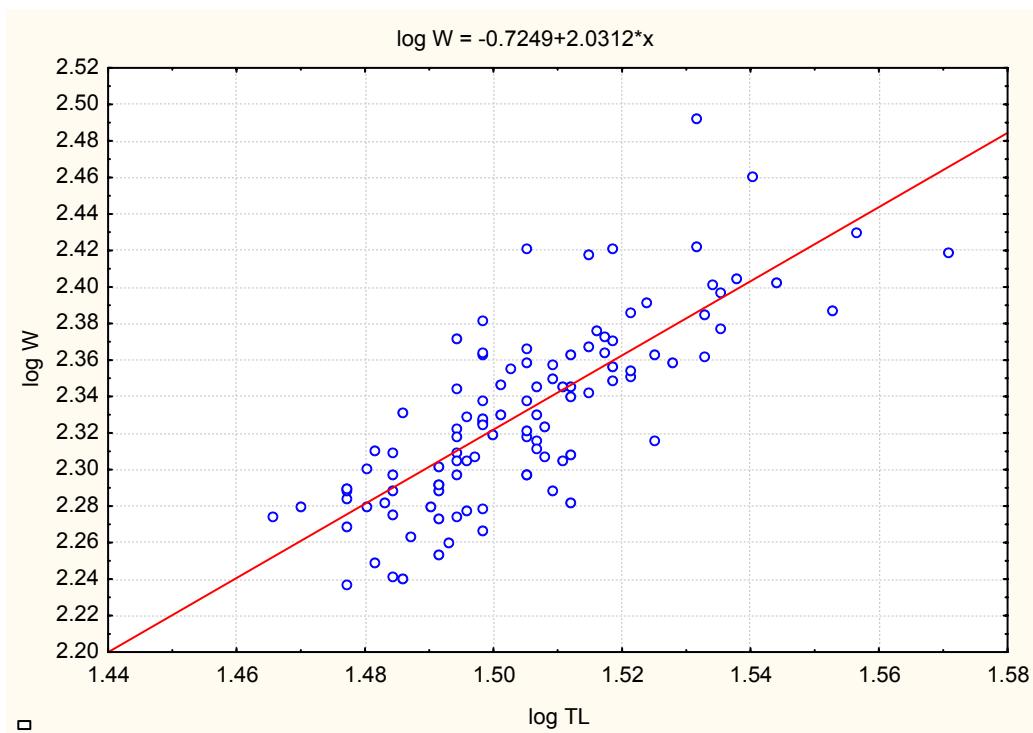
Uočava se da je faktor alometrije b najveći kod mužjaka uzorkovanih u 2004. godini. Ukoliko je faktor alometrije (b) veći od 3 smatra se da je težinski porast u funkciji vremena veći od dužinskog porasta. Međutim, ni jedna od analiziranih grupa, sastavljenih prema polu i godini, nema pozitivni alometrijski rast, što znači da je težinski porast u funkciji vremena manji do dužinskog porasta (slike 18, 19, 20 i 21).



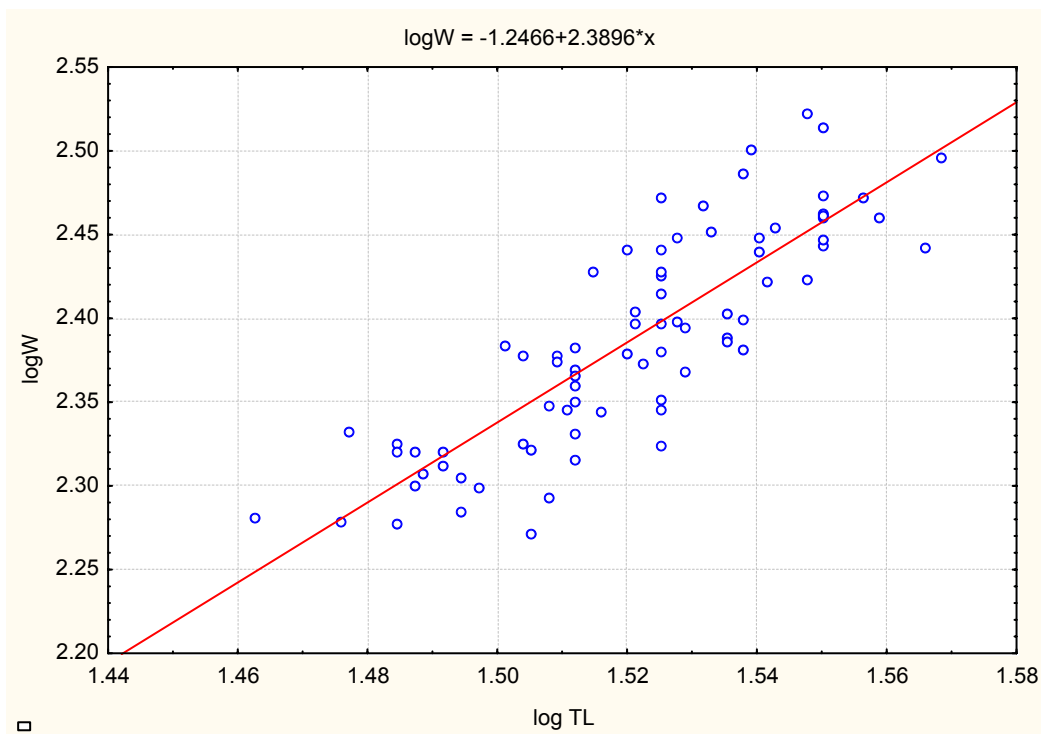
Slika 18. Odnos totalne dužine tela (TL) i težine tela (W) mužjaka iz 2004.



Slika 19. Odnos totalne dužine tela (TL) i težine tela (W) ženki iz 2004.



Slika 20. Odnos totalne dužine tela (TL) i težine tela (W) mužjaka iz 2006.

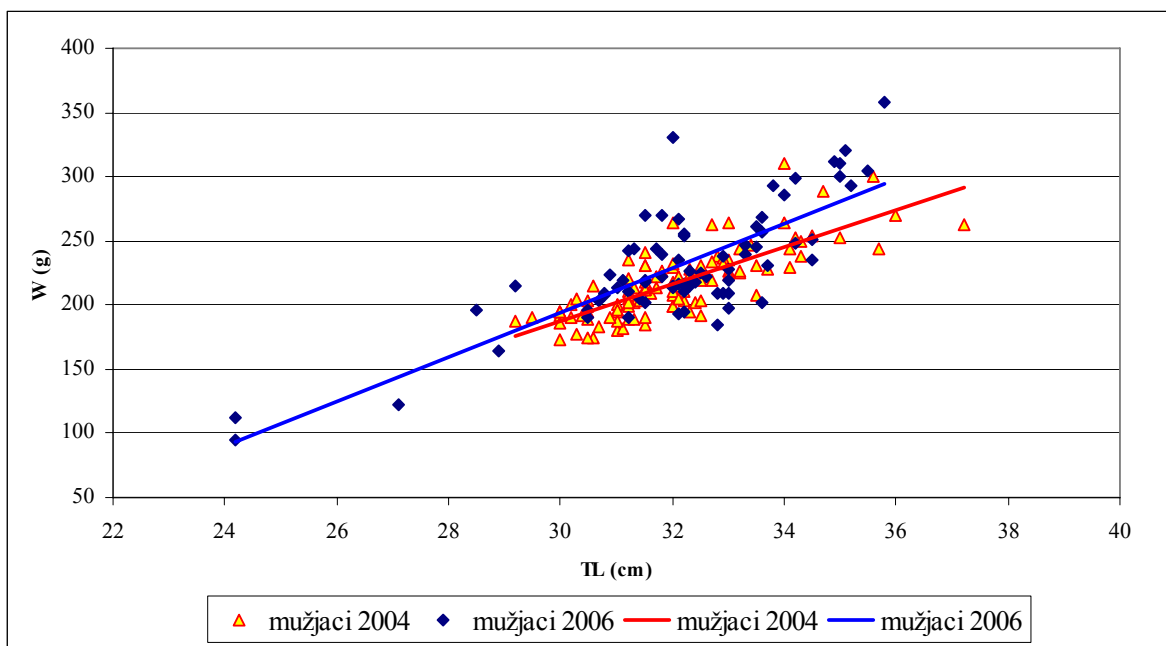


Slika 21. Odnos totalne dužine tela (TL) i težine tela (W) ženki iz 2006.

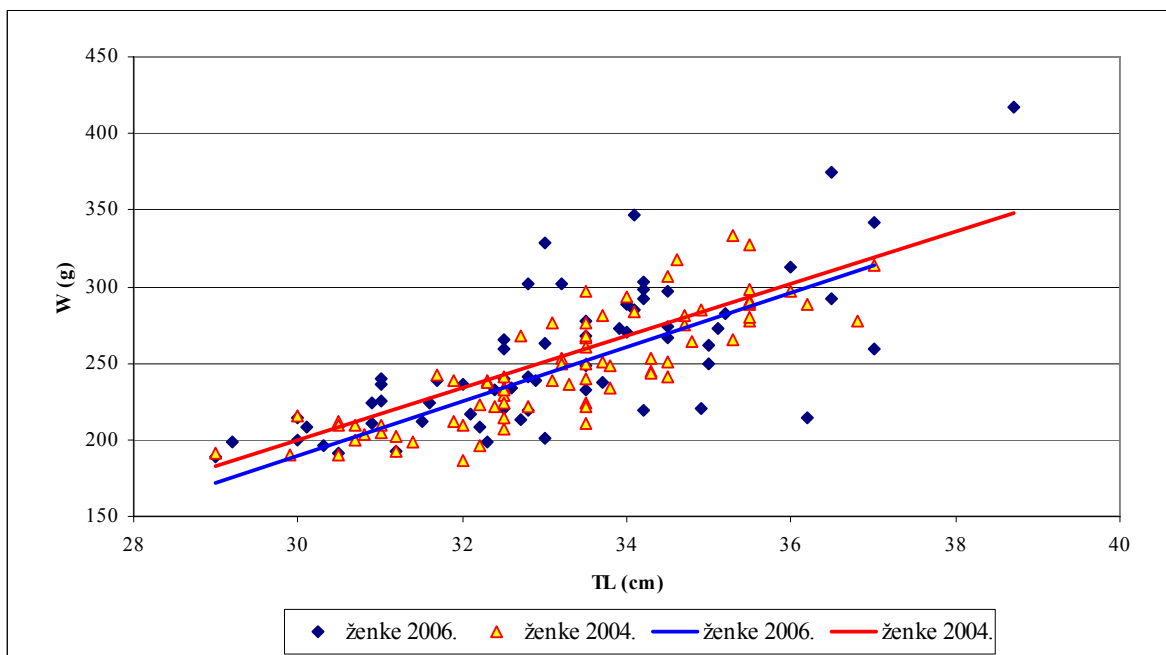
Između analiziranih grupa jedinki crnomorskih haringi (tabela 6) ne postoji statistički značajna razlika faktora alometrije (nagiba krivih) dužinsko-težinskog odnosa. Najvećih razlika ima u okviru grupe ženki uzorkovanih u dve različite godine ($p = 0,130$), dok su najmanje razlike zabeležene između mužjaka i ženki u 2006. godini ($p = 0,477$). Međutim, ni jedna razlika između analiziranih grupa nema $p < 0,05$, tako da su krive dužinsko-težinskih odnosa vrlo slične (slike 22, 23, 24 i 25). Sve realizovane vrednosti t-testa manje su od teorijske vrednosti od 1,96, te su samim tim i vrednosti p veće od 0,05 (tabela 6).

Tabela 6. Pregled vrednosti t-testa i nivoa statistički značajnih razlika (p) između analiziranih grupa jedinki crnomorske haringe prema polu i godini uzorkovanja.

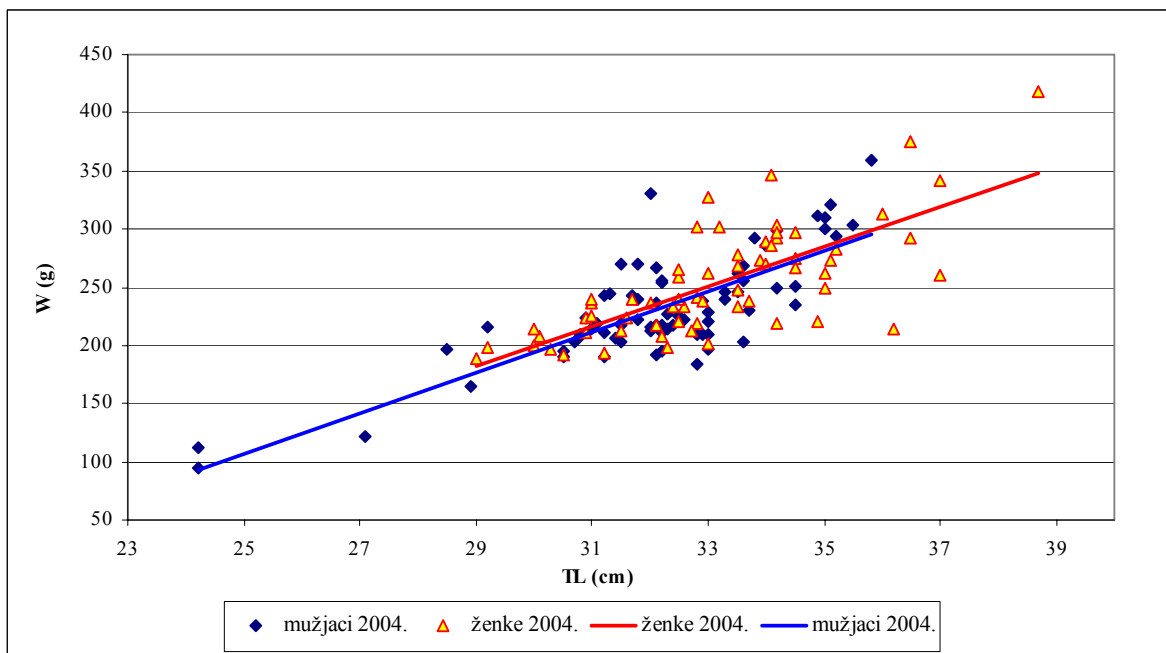
Analizirane grupe po polu i godini uzorkovanja	Vrednost t-testa	p vrednost
Mušjaci 2004. i 2006.	0,434	0,334
Ženke 2004. i 2006.	0,164	0,130
Mušjaci i ženke 2004.	-0,327	0,256
Mušijaci i ženke 2006.	-0,641	0,477



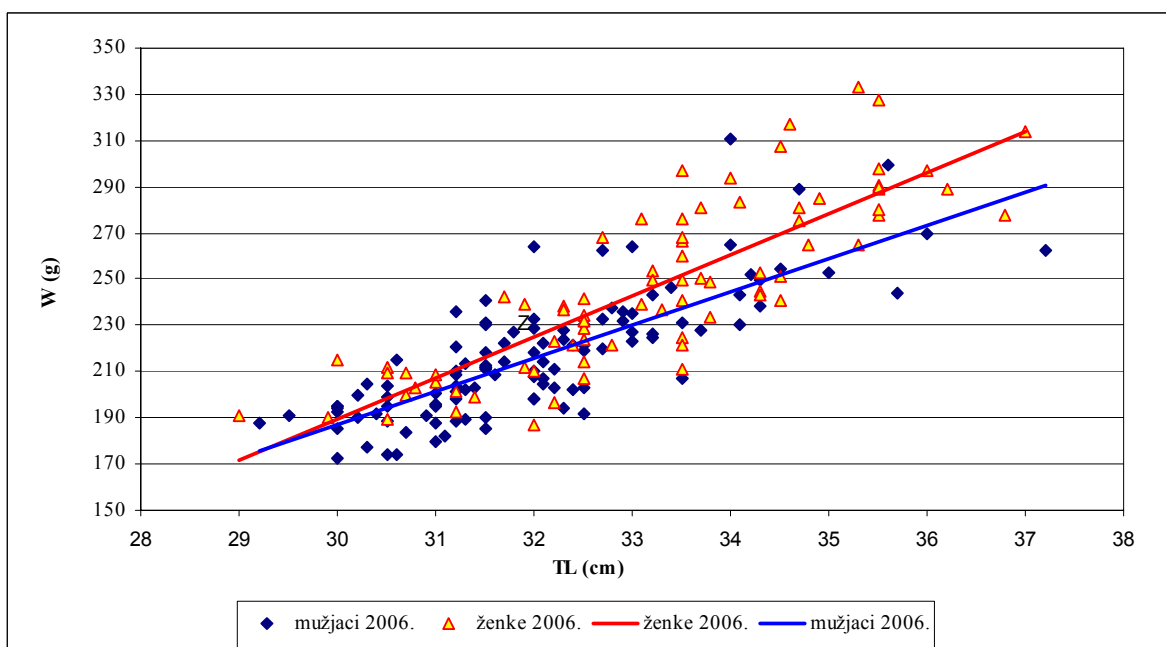
Slika 22. Odnos totalne dužine tela (TL) i mase tela (W) mužjaka iz 2004. i 2006. godine.



Slika 23. Odnos totalne dužine tela (TL) i mase tela (W) ženki iz 2004. i 2006. godine.



Slika 24. Odnos totalne dužine tela (TL) i mase tela (W) mužjaka i ženki iz 2004. godine.



Slika 25. Odnos totalne dužine tela (TL) i mase tela (W) mužjaka i ženki iz 2006. godine.

4.3. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije

Vrednosti gonadosomatskog indeksa (GSI), hepatosomatskog indeksa (HSI) i Fultonovog faktora kondicije (K) određeni su kod 324 jedinke oba pola u uzorcima iz 2004. i 2006. godine (tabela 7).

Tabela 7. Vrednosti gonadosomatskog indeksa, hepatosomatskog indeksa i faktora kondicije za jedinke oba pola iz 2004. i 2006. godine.

	Gonadosomatski indeks (GSI)	Hepatosomatski indeks (HSI)	Faktor kondicije (K)
Mužjaci 2004.	5,29±2,33	1,50±0,44	0,69±0,01
Ženke 2004.	9,35±4,04	1,91±0,67	0,70±0,09
Mužjaci 2006.	5,66±1,46	1,45±1,24	0,64±0,11
Ženke 2006.	10,27±3,44	2,58±0,73	0,71±0,20

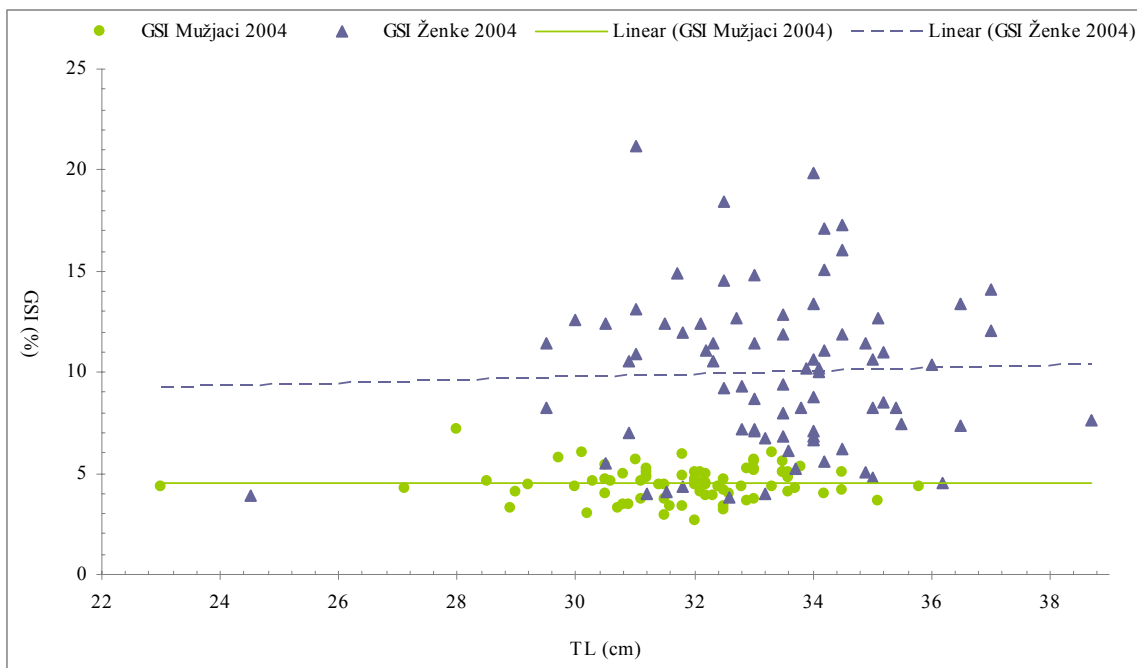
Analiza je pokazala da statistički značajne razlike u GSI, HSI i K postoje između većine analiziranih grupa formiranih po polu i godini uzorkovanja ($p < 0,05$) (tabela 8). Statistički značajne razlike ne postoje ($p > 0,05$) za vrednosti GSI između ženki iz 2004. i 2006. godine, za vrednosti HSI između mužjaka iz različitih sezona, kao i za vrednosti faktora kondicije (K) između mužjaka i ženki iz 2004. i između ženki iz 2004. i 2006. godine (tabela 8).

Tabela 8. Vrednosti nivoa statističke zanačajnosti (p) analiziranih grupa prema polu i godini uzorkovanja (GSI - gonadosomatski indeks, HSI – hepatosomatski indeks, K - Fultonov faktor kondicije) (statistički značajne razlike obeležene su asteriskom).

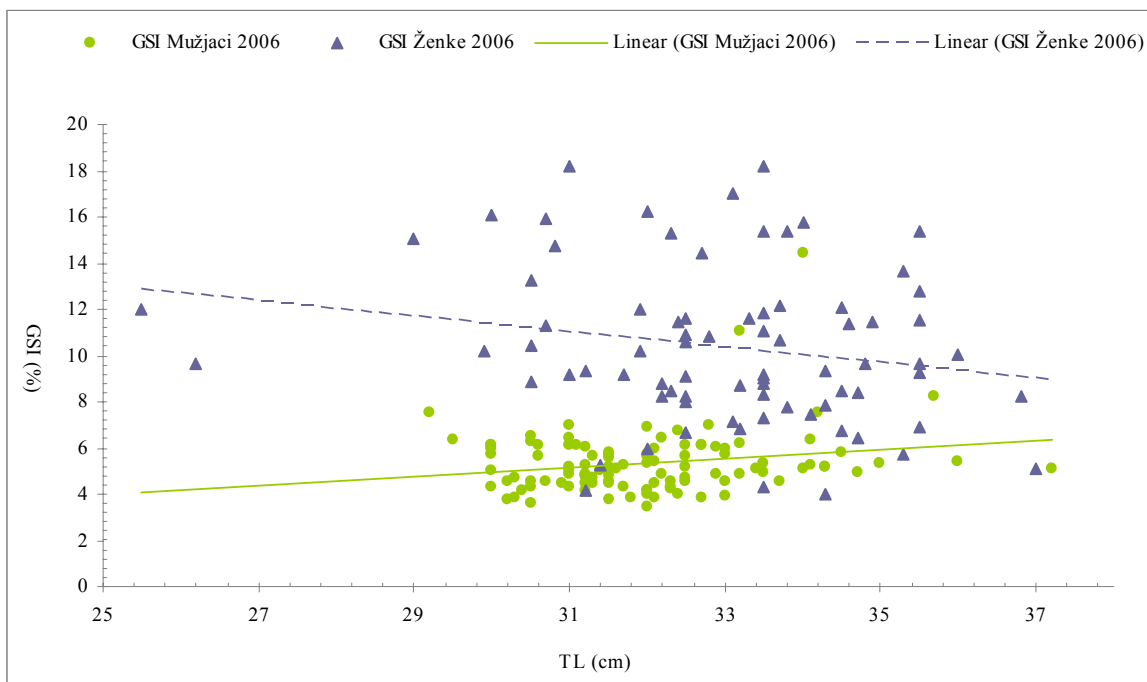
	Pol jedinki	Godina uzorkovanja	p (nivo statističke značajnosti)	Ukupan broj jedinki
GSI	mužjaci/ženke	2004	0,000000*	137
	mužjaci/ženke	2006	0,000000*	188
	ženke/ženke	2004/2006	0,106224	142
	mužjaci/mužjaci	2004/2006	0,006724*	183
HSI	mužjaci/ženke	2004	0,000258*	137
	mužjaci/ženke	2006	0,000000*	188
	ženke/ženke	2004/2006	0,000000*	142
	mužjaci/mužjaci	2004/2006	0,027599	188
K	mužjaci/ženke	2004/2006	0,000805*	325
	mužjaci/ženke	2004	0,341463	137
	mužjaci/ženke	2006	0,030050*	188
	ženke/ženke	2004/2006	0,089621	142
	mužjaci/mužjaci	2004/2006	0,004574*	183

Na slikama 26 i 27 prikazani su odnosi totalne dužine tela (cm) i gonadosomatičnog indeksa (%). Za sve uzorke iz 2004. i za mužjake iz 2006. godine

GSI raste sa porastom totalne dužine tela, jedino kod ženki iz 2006. godine opada sa porastom dužine tela.

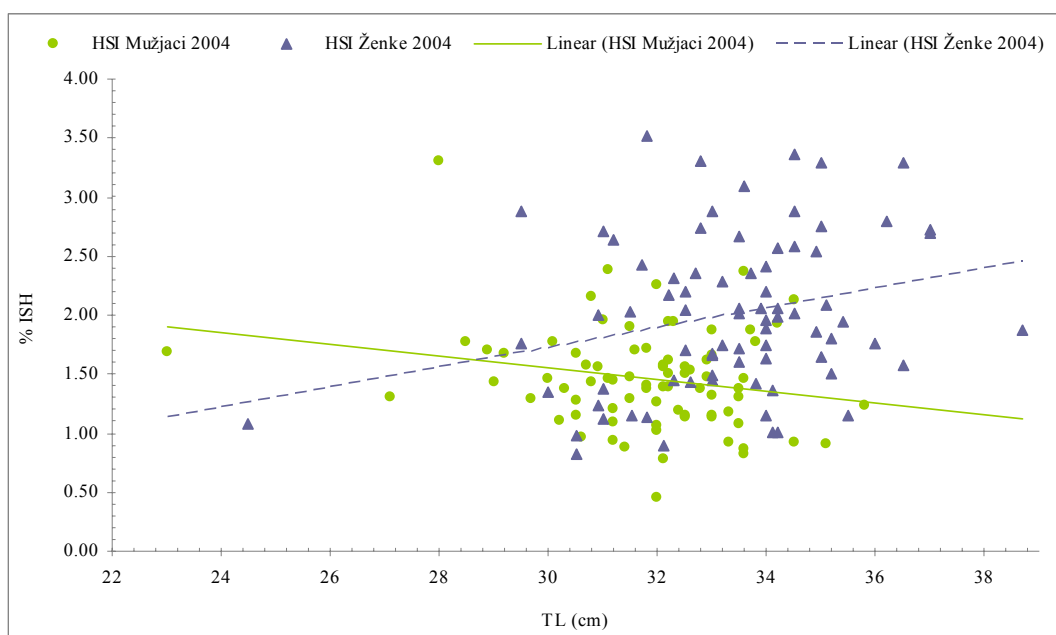


Slika 26. Odnos dužine tela (TL) i gonadosomatskog indeksa (GSI) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2004. godini.

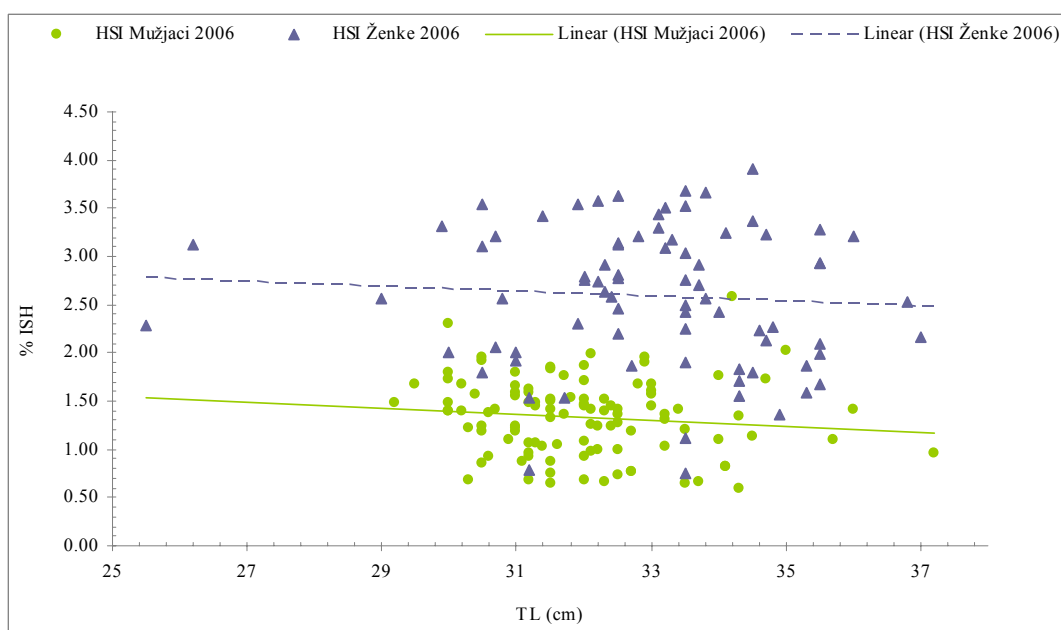


Slika 27. Odnos dužine tela (TL) i gonadosomatskog indeksa (GSI) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2006. godini.

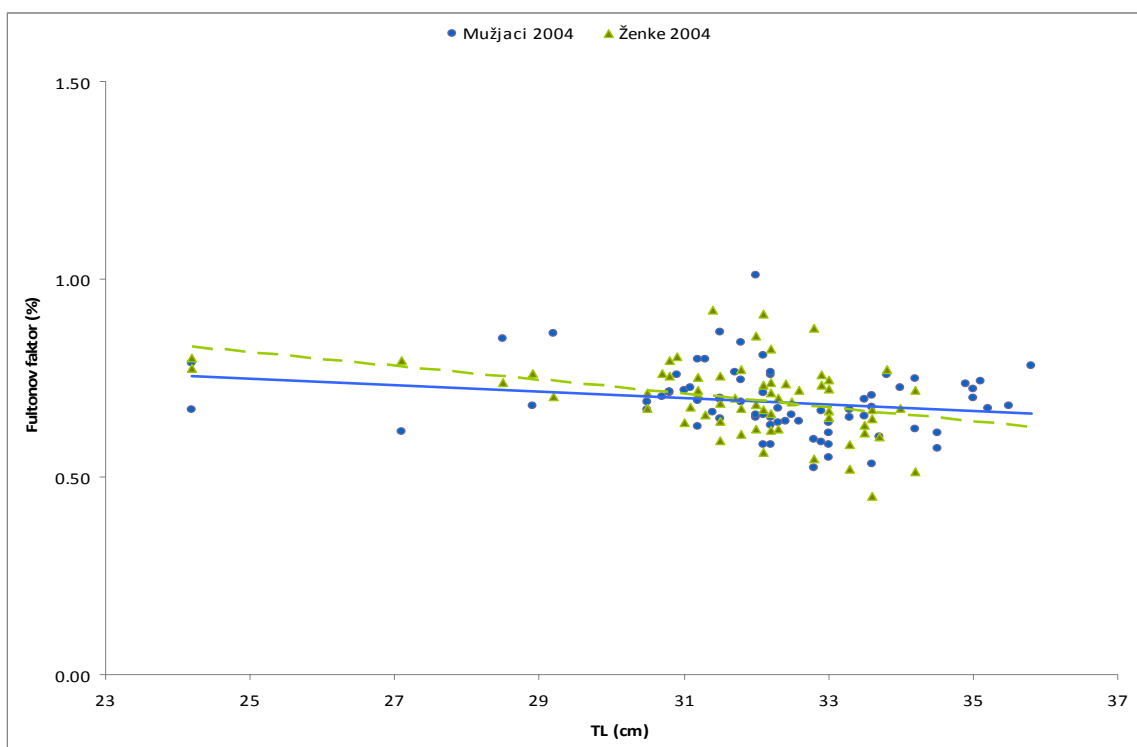
Odnosi totalne dužine tela (cm) i hepatosomatičnog indeksa (%) predstavljani su na slikama 28 i 29. Može se uočiti da kod uzoraka iz 2006, kod oba pola, HSI opada sa porastom totalne dužine tela, dok kod uzoraka iz 2004. vrednost HSI raste sa porastom dužine tela kod ženki.



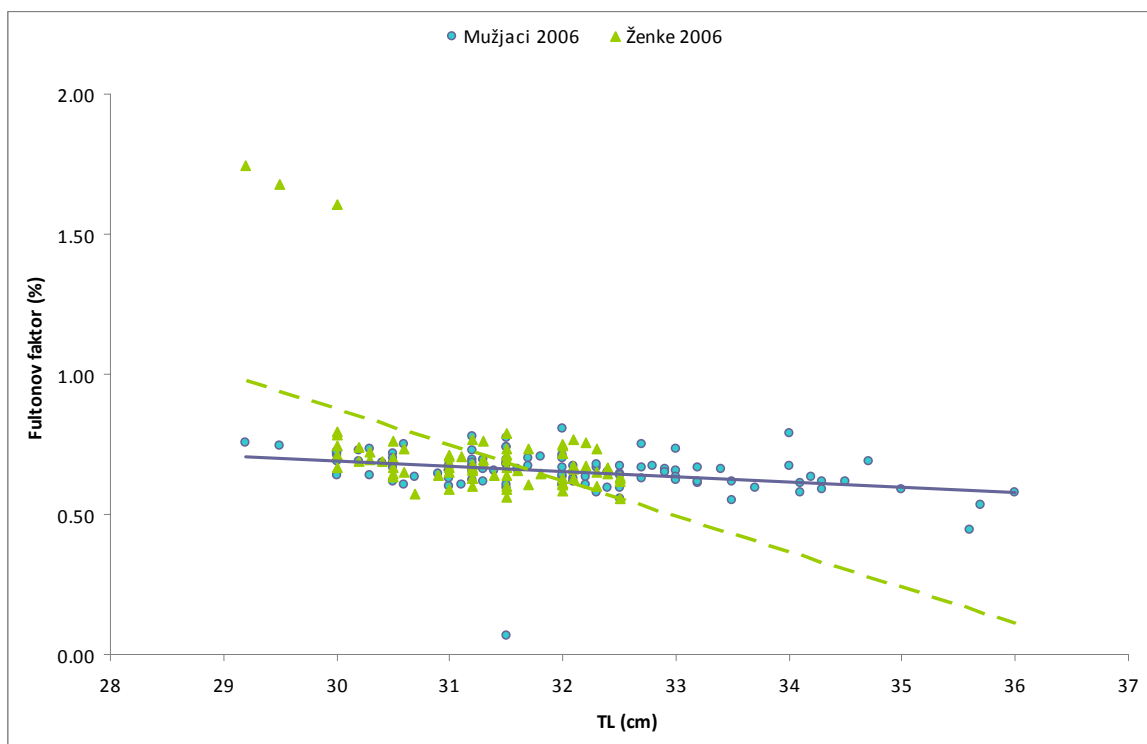
Slika 28. Odnos dužine tela (TL) i hepatosomatskog indeksa (HSI) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2004. godini.



Slika 29. Odnos dužine tela (TL) i hepatosomatskog indeksa (HSI) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2006. godini.



Slika 30. Odnos dužine tela (TL) i Fultonovog faktora kondicije (K) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2004. godini.



Slika 31. Odnos dužine tela (TL) i Fultonovog faktora kondicije (K) mužjaka i ženki crnomorske haringe u 2006. godini.

Grafički prikazi odnosa dužine tela (TL) i faktora kondicije (K) za različite polove i godine uzorkovanja (2004. i 2006.) na uzorcima crnomorske haringe dati su na slikama 30 i 31.

Fultonov faktor kondicije (K) i kod mužjaka i kod ženki u obe sezone opada sa dužinom tela (TL) u cm (slike 30 i 31). Dobijeni rezultati u skladu su sa činjenicom da je kod oba pola ustanovljen negativan alometrijski rast za obe godine uzorkovanja.

4.4. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture

Vrednosti procenjene starosti od strane interpretatora (S1, S2, R1, R2 i R3) sa različitim stepenom iskustva u determinisanju starosti kod crnomorske haringe date su u tabelama 9 i 10. U tabeli su date i totalne dužine (cm) i ukupne težine (g) jedinki uzetih za analizu.

Tabela 9. Procenjena starost crnomorske haringe od strane interpretatora (S1, S2, R1, R2 i R3) na osnovu krljušti (vrednost u zagradi je ponovljena procena starosti nakon vremenske pauze).

Redni broj uzorka	Ukupna težina jedinke (g)	Ukupna dužina tela jedinke (cm)	Procenjena starost od strane interpretatora S1	Procenjena starost od strane interpretatora S2	Procenjena starost od strane interpretatora R1	Procenjena starost od strane interpretatora R2	Procenjena starost od strane interpretatora R3
1.	191,4	30,4	6 (4)	6 (4)	4 (4)	4 (4)	4 (4)
2.	237,9	32,8	7 (6)	7 (6)	3 (3)	4 (5)	4 (4)
3.	234,0	32,5	5 (5)	5 (5)	3 (3)	3 (4)	3 (4)
4.	227,1	33,0	5 (7)	5 (7)	4 (3)	5 (3)	5 (4)
5.	310,7	34	6 (6)	6 (6)	4 (3)	4 (5)	4 (5)
6.	199,9	30,2	5 (5)	5 (5)	5 (3)	3 (4)	3 (3)
7.	195,8	31,0	5 (5)	5 (5)	4 (4)	4 (5)	4 (3)
8.	246,4	33,4	6 (6)	6 (6)	3 (3)	3 (3)	3 (3)
9.	222,2	31,7	6 (6)	6 (6)	3 (3)	3 (3)	3 (4)
10.	201,8	31,2	5 (5)	5 (5)	3 (4)	3 (5)	3 (3)
11.	230,6	31,5	6 (5)	6 (5)	4 (4)	4 (4)	4 (4)
12.	223,0	32,2	6 (4)	6 (4)	4 (5)	4 (4)	4 (4)
13.	224,6	33,5	5 (6)	5 (6)	3 (3)	4 (4)	4 (4)
14.	174,0	30,6	6 (5)	6 (5)	3 (3)	3 (4)	3 (3)
15.	233,1	32,7	7 (5)	7 (5)	3 (3)	4 (5)	4 (4)
16.	224,5	33,2	7 (6)	7 (6)	4 (4)	5 (5)	5 (4)
17.	194,6	30,5	5 (4)	5 (4)	3 (3)	2 (3)	3 (4)
18.	203	31,4	6 (5)	6 (5)	5 (4)	5 (5)	4 (4)
19.	223,3	33,0	5 (4)	5 (4)	5 (4)	4 (5)	4 (5)
20.	219,2	32,5	5 (5)	5 (5)	4 (3)	3 (3)	3 (4)
21.	194,6	31,0	6 (5)	6 (5)	3 (3)	3 (4)	3 (4)
22.	174,4	30,5	5 (4)	5 (4)	4 (4)	3 (4)	4 (4)
23.	204,5	30,3	6 (5)	6 (5)	5 (5)	4 (5)	4 (3)
24.	226,5	33,2	5 (5)	5 (5)	4 (4)	4 (4)	3 (4)
25.	262,1	32,7	6 (5)	6 (5)	5 (5)	4 (5)	4 (5)
26.	231,2	30,5	6 (4)	6 (4)	3 (5)	4 (4)	4 (5)
27.	209,9	32,0	6 (4)	6 (4)	4 (4)	3 (4)	3 (3)
28.	210,9	32,2	6 (5)	6 (5)	3 (4)	4 (4)	4 (4)

Procenjena starost od strane interpretatora (R1, R2 i R3) koji su imali iskustva u čitanju starosti kod crnomorske haringe kretala se u rasponu 2+ do 6+ godina. Najdominantnije uzrasne klase, procenjene putem krljušti i kičmenih pršljenova, kod sva tri interpretatora bile su klase od 3+ i 4+ godina. Uzrasne klase od 2+, 5+ i 6+ godina zastupljene su pojedinačnim jedinkama kod sva tri interpretatora bez obzira na koštanu strukturu koja je korišćena za procenu starosti.

Tabela 10. Procenjena starost crnomorske haringe od strane interpretatora (S1, S2, R1, R2 i R3) na osnovu kičmenog pršljena (vrednost u zagradi je ponovljena procena starosti nakon vremenske pauze).

Redni broj uzorka	Ukupna težina jedinke (g)	Ukupna dužina tela jedinke (cm)	Procenjena starost od strane interpretatora S1	Procenjena starost od strane interpretatora S2	Procenjena starost od strane interpretatora R1	Procenjena starost od strane interpretatora R2	Procenjena starost od strane interpretatora R3
1.	191,4	30,4	5 (5)	5 (5)	4 (4)	4 (4)	4 (4)
2.	237,9	32,8	6 (6)	5 (4)	3 (4)	4 (5)	4 (4)
3.	234,0	32,5	6 (4)	5 (4)	3 (3)	3 (5)	3 (4)
4.	227,1	33,0	6 (6)	6 (5)	4 (4)	5 (5)	5 (4)
5.	310,7	34,0	6 (5)	5 (4)	3 (5)	4 (4)	4 (5)
6.	199,9	30,2	6 (6)	5 (5)	5 (3)	3 (4)	3 (3)
7.	195,8	31,0	5 (6)	5 (4)	4 (4)	4 (5)	4 (3)
8.	246,4	33,4	6 (5)	5 (4)	3 (3)	3 (3)	3 (4)
9.	222,2	31,7	5 (5)	4 (3)	3 (3)	3 (4)	3 (4)
10.	201,8	31,2	6 (5)	4 (4)	4 (4)	3 (3)	3 (3)
11.	230,6	31,5	6 (6)	5 (4)	4 (5)	5 (4)	4 (4)
12.	223,0	32,2	5 (4)	5 (3)	5 (4)	4 (4)	4 (4)
13.	224,6	33,5	6 (7)	5 (3)	3 (3)	4 (4)	4 (4)
14.	174,0	30,6	6 (5)	4 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (4)
15.	233,1	32,7	5 (5)	5 (5)	3 (3)	4 (4)	4 (4)
16.	265,1	35,3	5 (5)	5 (4)	3 (3)	3 (5)	- (4)
17.	224,5	33,2	5 (6)	4 (4)	4 (3)	5 (4)	5 (5)
18.	194,6	30,5	4 (3)	3 (4)	3 (3)	2 (3)	3 (4)
19.	203,0	31,4	6 (6)	6 (5)	5 (3)	5 (5)	4 (5)
20.	223,3	33,0	6 (4)	5 (4)	5 (4)	4 (4)	4 (6)
21.	219,2	32,5	5 (4)	5 (4)	4 (3)	3 (4)	3 (4)
22.	194,6	31,0	5 (4)	5 (3)	3 (3)	3 (5)	3 (3)
23.	174,4	30,5	4 (4)	3 (3)	4 (3)	3 (3)	4 (4)
24.	187,5	31,0	5 (4)	5 (4)	3 (3)	2 (3)	3 (3)
25.	204,5	30,3	6 (5)	5 (5)	6 (3)	4 (5)	4 (3)
26.	226,5	33,2	5 (5)	4 (4)	4 (4)	4 (4)	3 (3)
27.	262,1	32,7	7 (5)	5 (3)	4 (4)	4 (4)	4 (5)
28.	231,2	30,5	6 (5)	5 (5)	3 (4)	4 (4)	4 (5)
29.	209,9	32,0	5 (5)	5 (4)	4 (3)	3 (5)	3 (3)
30.	210,9	32,2	6 (5)	4 (3)	3 (3)	4 (4)	4(4)

Interpretatori koji imaju iskustva u procenjivanju starosti putem krljušti kod crnomorskih haringi (*Alosa immaculata*) (R1, R2 i R3) su imali manje vrednosti IAPE (indeks prosečne procentualne greške) i ICV (indeks koeficienta varijacije), bez obzira da li se radi o determinisanju starosti na osnovu krljušti ili pršljena, od interpretatora koji nemaju iskustvo u determinisanju starosti kod ove vrste riba (S1, S2) (tabela 11). IAPE je varirao između 7,6 i 10,2 (srednja vrednost 8,9), dok je ICV varirao između 9,8 i 14,4 (srednja vrednost 12,1).

Tabela 11. Srednje vrednosti IAPE i ICV očitavanja krljušti i kičmenih pršljenova zaiskusne (R1, R2, R3) i neiskusne interpretatore (S1, S2) (n – broj očitanih krljušti/pršljenova).

Interpretator starosti	KRLJUŠT			PRŠLJEN		
	IAPE	ICV	n	IAPE	ICV	n
R1, R2, R3	7,6	9,8	28	9,5	12,4	30
S1, S2	8,4	11,9	28	10,2	14,4	30

Vrednosti koje su dobili neiskusni interpretatori, kada su starost određivali na osnovu krljušti, su kod svih jedinki bili veći, a prosečna vrednost razlike između dve grupe interpretatora je bila 1,7 godina, odnosno za toliko su neiskusni interpretatori precenili starost jedinki. Ista pravilnost je ustanovljena i prilikom analize rezultata determinisanja starosti na osnovu pršljena, s tim što je sada razlika između dve grupe interpretatora bila 1,5 godina gde su neiskusni čitači imali veće procenjene starosti od interpretatora sa iskustvom.

Vrednosti IAPE i ICV koji se odnose na preciznost među interpretatorima su prezentovani u tabeli 12.

Sing test za IAPE ukazuje na to da nije bilo značajne razlike između struktura u odnosu na within- interpreter reproducibility ($Z=0,894$, $P=0,371$).

Tabela 12. Vrednosti IAPE i ICV očitavanja krljušti i kičmenih pršljenova u dva ponavljanja za sve interpretatore (R1, R2, R3, S1, S2) (n – broj očitanih krljušti/pršljenova).

Interpretator starosti	KRLJUŠT			PRŠLJEN		
	IAPE	ICV	n	IAPE	ICV	n
R1	5,5	7,8	28	8,1	11,4	30
R2	8,3	11,8	28	7,9	11,2	30
R3	6,5	9,1	28	6,3	8,9	30
S1	9,7	13,7	28	9,5	13,5	30
S2	8,1	11,5	28	6,8	9,7	30

4.5. Geometrijsko-morfometrijska analiza

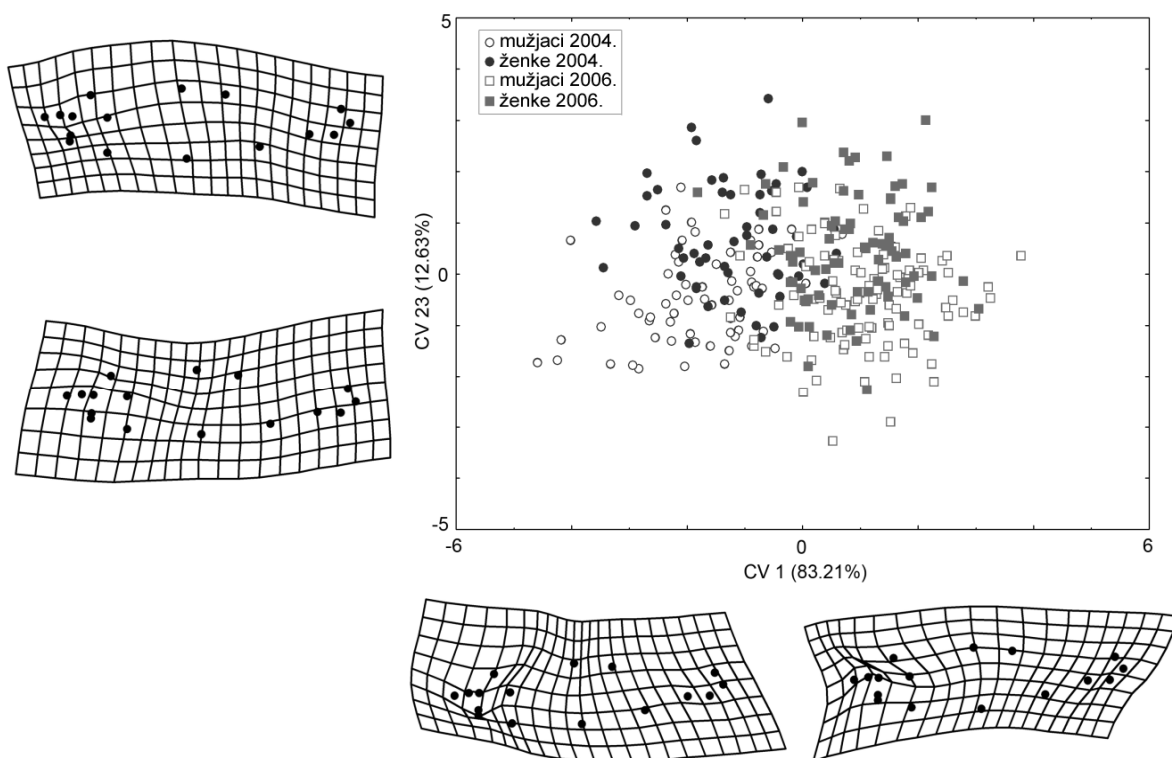
Razlike u veličini između svih jedinki crnomorske haringe uhvaćenih tokom mresne migracije 2004. i 2006. godine nisu statistički značajne (nested ANOVA: $F=0,3$; $P>0,05$), ali postoji statistički značajna razlika između polova (nested ANOVA: pol u okviru jedne sezone tj. godine uzorkovanja, $F = 9,64$; $P<0,001$).

Totalna dužina tela (cm) i težina tela (g) mužjaka bile su statistički manje od totalne dužine, tj. težine tela ženki u odnosu na sezonu uzorkovanja (tabela 13).

Tabela 13. Totalna dužina tela (cm) i težina tela (g) mužjaka i ženki po sezonama.

	Totalna dužina (cm)		Težina tela (g)	
	srednja vrednost	SD	srednja vrednost	SD
mužjaci-2004	40,5	0,33	224,25	38,60
ženke-2004	42,1	0,34	262,70	47,25
mužjaci-2006	41,0	0,21	215,67	25,60
ženke-2006	41,9	0,24	246,82	36,72

Prva dva kanonijska vektora (CV) zajedno opisuju 96% totalne razlike (CV1 83% i CV2 13%). Grafički prikaz rezultata ukazuje na različitost između sezona duž CV1 ose i umerenu različitost između polova duž CV2 ose (slika 32).



Slika 32. Razlike u obliku tela jedinki crnomorske haringe u odnosu na godinu uzorkovanja i pol.

Razlika između prosečnih oblika utvrđena je za sve četiri predefinisane grupe, osim između ženki iz 2004. i ženki iz 2006. godine (Goodalls F-test, $F= 1,24$; $P>0,05$; 900 bootstraps).

Najznačajniji parametri za razdvajanje uzoraka iz 2004. i 2006. godine duž prve kanonijske funkcije (CV1) bile su razlike u obliku glave i poziciji peraja.

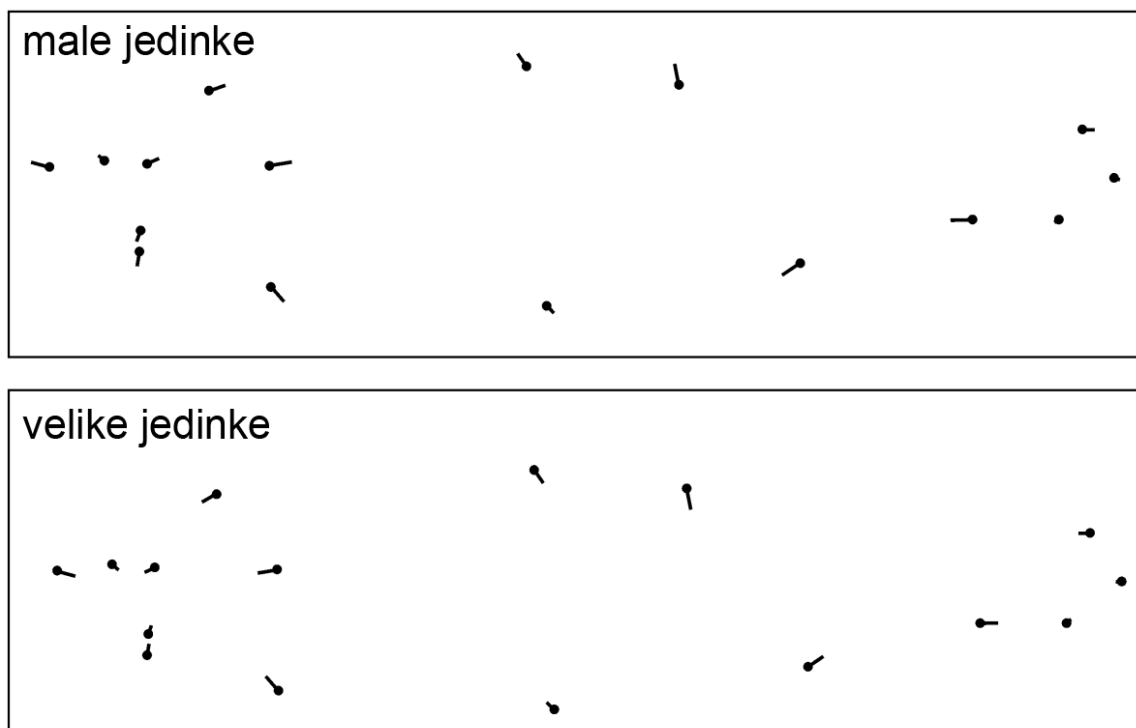
Primerici iz 2006 imaju kraći nosni region (tačke orijentiri 1 i 2), produžene škržne poklopce (tačka orijentir 9), duža leđna peraja (tačke orijentiri 11 i 12) i analno peraje pozicionirano bliže bazi repnog peraja (tačke orijentiri 13, 14 i 15).

Najznačajniji parametri za razdvajanje polova duž druge kanonijske funkcije (CV2) bile su razlike u dužini tela i obliku glave. Ženke su u odnosu na mužjake imale

veći intenzitet dorzo-ventralne izduženosti srednjeg dela tela, i istureniji gornji dorzalni deo tela (tačke orjentiri 6 i 11).

Multivarijantna regresija oblika na veličinu tela ukazuje da se oblik razvija alometrijski sa povećanjem veličine jedinki (Wilks $\lambda=0,7285$, $P=7,533 \times 10^{-9}$).

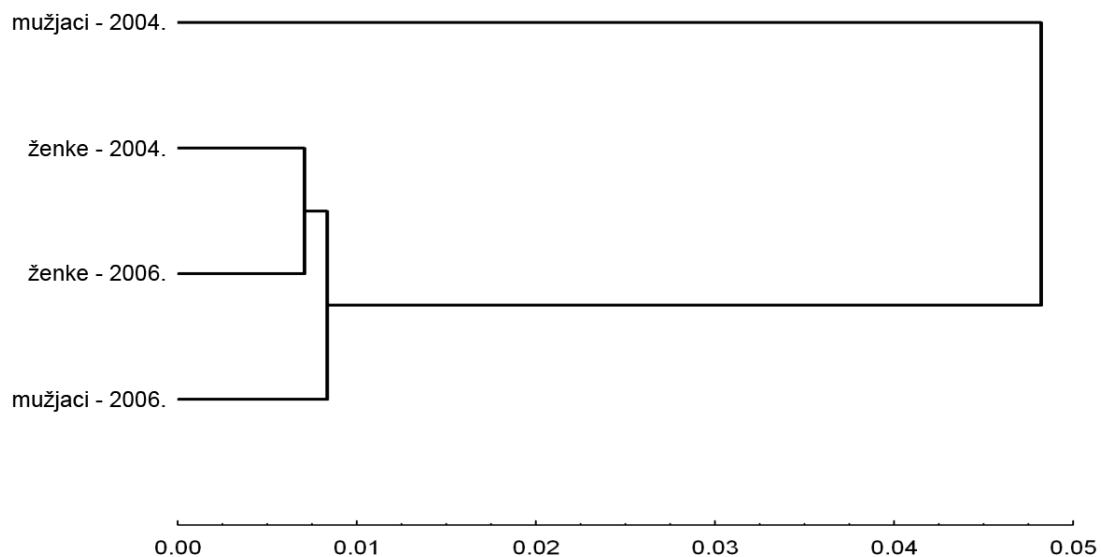
Međutim, samo 1% ukupne promene oblika može se objasniti promenama u veličini tela (Goodall F- test: $F=2,5950$, $P=0,0000$): kako jedinke rastu i postaju veće, najznačajnije promene jesu skraćivanje nosnog regiona i škržnog poklopca, smanjivanje veličine oka, sužavanje dorzalnog dela tela i pomeranje analnog peraja ka repnom peraju (slika 33).



Slika 33. Prikaz promena u obliku tela kod crnomorske haringe sa promenom veličine.

Nagibi alometrijskih krivih četiri predefinisane grupe značajno se razlikuju (Wilks $\lambda=0,3130$, $P=0,0000$). Mužjaci i ženke iz iste sezone imaju istu vrednost koeficijenta nagiba. Samo se koeficijent nagiba krive za ženke iz 2006 značajno razlikuje od koeficijenta nagiba krivih za mužjake i ženke iz 2004. godine.

UPGMA fenogram izveden na osnovu matrice Prokrustovih distanci za oblik tela (slika 34) pokazuje da je grupa koja obuhvata mužjake iz 2004. godine razdvojena u odnosu na ostale tri grupe.



Slika 34. UPGMA fenogram oblika tela crnomorske haringe kod četiri grupe definisane prema polu i godinama uzorkovanja.

4.6. Koncentracija teških metala i mikroelemenata u tkivima

Srednja vrednost težine tela 47 ispitanih jedinki (29 ženki i 18 mužjaka) koje su uzorkovane 2007. i 2008. godine za potrebe analize koncentracije teških metala u tkivima, iznosila je 290 g, dok je srednja vrednost totalne dužine tela iznosila 34,1 cm a standardne 29,5 cm. Prosečna totalna dužina, standardna dužina i težina analiziranih jedinki crnomorske haringe prikazane su u tabeli 14. Veličina ispitivanih jedinki bila je u opsegu koji se koristi za komercijalnu upotrebu.

Tabela 14. Standardna dužina, totalna dužina i ukupna masa ispitivanih jedinki iz 2007. i 2008. godine.

Mere uzorkovanih jedinki	Minimum	Maksimum	Srednja vrednost \pm SD
Standardna dužina tela (cm)	23,2	36,0	29,5 \pm 2,1
Totalna dužina tela (cm)	26,8	37,5	34,1 \pm 2,0
Težina tela (g)	126,0	452,0	290,0 \pm 62,0

Analiza teških metala u tkivima ovih jedinki pokazala je da su koncentracije Co, Cr, Mn, Mo, Ni i Pb bile ispod granice detekcije u svim analiziranim uzorcima. Koncentracije teških metala prikazane su pojedinačno za mužjake i ženke prema analiziranom tkivu (jetra, mišić i škrge) za elemente koji su bili iznad praga detekcije (tabele 15-20). Koncentracije Cd, Cu, Zn, Fe i B su bile najviše u jetri (tabela 20). U mišićima je većina ostalih elemenata imala najniže koncentracije, osim As čija je najveća koncentracija zabeležena upravo u tom tkivu (tabela 21).

Tabela 15. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u jetri svakog ispitanog primerka ženke crnomorske haringe.

R.br.	TL	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	26,8	126	3,304	5,089	0,357	17,0	0,804	0,521	409,7	1375,3	0,208	104,7	0.729
2	31	388	4,276	7,105	0,855	12,4	1,974	0,536	481,3	1105,3	0,357	81,1	1.518
3	32	216	6,875	7,708	0,833	41,2	0,938	0,625	1184,9	1473,0	0,375	109,3	2.750
4	32,5	270	1,484	10,938	0,703	24,3	1,328	0,321	271,9	1590,4	0,192	105,7	0.962
5	33	233	4,531	2,031	0,781	9,7	2,031	0,326	425,8	1108,0	0,707	97,7	0.707
6	33	251	5,238	6,151	0,397	13,5	0,754	0,389	490,8	1510,2	0,111	93,3	2.444
7	33,3	326	3,056	5,069	0,625	18,5	1,111	0,286	426,1	1340,5	0,286	87,1	1.071
8	33,3	257	4,545	7,955	1,136	31,3	2,955	0,329	266,3	1128,9	0,132	100,7	0.461
9	33,5	280	1,413	4,022	0,543	17,3	1,196	0,333	357,3	1317,8	0,167	87,8	0.750
10	33,7	310	2,039	5,658	0,461	15,6	0,855	0,781	1118,4	756,9	0,156	92,1	4.844
11	34	330	2,143	9,000	0,643	15,0	1,214	0,595	456,4	1157,3	0,595	99,1	0.357
12	34	287	16,36	0,682	0,682	25,5	2,045	0,313	318,1	1242,3	0,260	77,1	0.938
13	34	278	3,351	9,894	0,585	32,1	1,277	0,391	387,0	1462,5	0,078	101,3	0.703
14	35	271	10,25	5,500	0,875	11,6	2,875	0,417	449,5	1178,6	0,139	84,7	1.528
15	35	339	1,607	5,982	0,446	11,6	1,161	0,324	316,0	1532,1	0,093	92,7	0.787
16	35,2	311	4,524	4,286	0,833	31,2	1,310	0,833	187,5	771,0	0,139	92,6	0.833
17	35,2	300	4,583	2,833	0,417	37,2	1,750	1,136	1096,6	1070,9	0,227	121,7	2.273
18	35,2	331	1,00	4,333	0,417	16,6	1,083	0,294	554,0	1150,4	0,221	76,8	1.618
19	35,2	329	6,276	10,8	0,714	30,1	1,224	0,455	951,5	1062,4	0,227	144,7	2.955
20	35,2	308	0,513	9,744	0,641	19,1	0,897	0,306	444,0	1407,8	0,204	108,6	1.531
21	35,5	311	3,056	13,5	0,648	10,7	0,833	0,266	436,4	1466,5	0,266	96,3	1.277
22	36	379	2,391	8,315	0,598	17,0	0,815	0,536	360,4	1366,2	0,089	83,5	1.339
23	36	388	0,929	7,071	0,357	16,6	0,714	0,543	650,4	1066,6	0,435	90,8	3.152
24	36	359	2,697	8,816	0,526	30,3	0,526	1,833	487,5	1286,2	0,250	92,1	0.833
25	36	313	2,056	8,000	0,500	26,2	1,167	0,565	283,5	1583,2	0,242	98,6	0.726
26	37	375	1,833	9,583	0,500	18,0	0,667	0,417	762,8	1478,3	0,417	105,3	2.667
27	37	380	0,000	5,294	0,368	12,7	1,029	0,357	315,6	1100,3	0,143	90,1	0.143
28	37,5	452	3,906	6,094	0,365	13,8	0,625	0,395	447,8	1094,2	0,132	86,3	1.842

29	37,5	395	5,806	16,9	0,726	18,4	0,726	0,461	781,8	780,3	0,197	95,8	2.566
----	------	-----	-------	------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

Tabela 16. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u mišićima svakog ispitanog primerka ženke crnomorske haringe.

R. br.	TL	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	26,8	126	6,714	6,071	0,643	3,571	2,143	0,500	10,9	730,1	2,286	42,7	0,0
2	31	388	5,473	7,027	0,811	3,446	1,216	0,338	7,7	263,0	0,608	29,9	0,0
3	32	216	6,776	6,579	0,987	2,171	2,697	0,461	56,4	550,0	2,763	61,7	0,0
4	32,5	270	4,919	10,403	0,726	1,613	0,806	0,403	7,0	468,8	2,016	111,1	0,0
5	33	233	8,561	8,106	0,379	2,197	0,379	0,682	144,5	943,3	3,864	85,5	0,909
6	33	251	7,292	6,111	0,694	3,958	1,389	0,417	29,1	823,9	1,389	34,2	0,0
7	33,3	326	2,984	4,274	0,403	4,032	0,726	0,081	42,2	607,6	0,645	29,6	0,56
8	33,3	257	63,561	5,455	0,227	4,924	9,848	0,455	36,0	658,4	3,712	450,0	0,0
9	33,5	280	5061	10,244	0,366	4,695	0,183	0,305	19,2	406,2	0,915	60,5	0,305
10	33,7	310	7,308	8,397	0,577	2,244	1,026	0,385	3,8	476,7	0,769	43,1	0,0
11	34	330	10,938	5,938	0,313	0,313	0,156	0,391	0,1	299,4	0,000	22,1	0,0
12	34	287	8,793	6,724	0,259	2,931	0,259	0,517	21,3	1147,3	2,845	66,3	0,086
13	34	278	1,970	6,591	0,303	1,818	0,152	0,455	38,4	885,7	2,348	43,6	0,0
14	35	271	8,712	10,455	0,833	3,182	2,424	0,606	36,0	490,4	3,561	100,7	0,455
15	35	339	31,053	8,026	0,351	1,667	0,088	0,263	5,2	358,8	0,526	47,9	0,0
16	35,2	311	1,288	7,045	0,379	5,303	0,227	0,303	43,3	956,7	3,030	88,8	0,0
17	35,2	300	6,667	9,091	0,530	3,712	0,379	0,379	17,7	801,9	2,879	96,4	0,0
18	35,2	331	2,560	7,440	0,357	4,821	0,179	0,357	65,4	446,5	0,893	39,8	0,0
19	35,2	329	1,121	7,802	0,345	6,509	0,302	0,302	117,5	643,2	1,767	40,4	0,2
20	35,2	308	5,0	11,742	0,455	9,545	0,303	0,379	89,8	385,4	0,152	45,8	0,2
21	35,5	311	2,5	7,027	0,203	2,905	0,135	0,338	23,2	271,3	0,878	34,7	0,6
22	36	379	1,280	4,756	0,671	2,927	1,585	0,000	27,4	385,1	1,098	33,1	0,2
23	36	388	3,672	11,445	0,352	2,891	0,234	0,547	52,7	507,1	1,094	58,6	0,0
24	36	359	3,800	12,700	0,400	6,250	0,450	0,250	115,0	783,0	2,300	98,1	0,2
25	36	313	10,063	6,938	0,500	1,250	0,750	0,375	14,1	503,9	1,813	49,6	0,1
26	37	375	2,097	4,919	0,403	5,968	0,887	0,081	22,7	345,2	1,048	29,8	0,1

27	37	380	5,227	8,750	0,284	4,545	0,170	0,398	50,2	730,9	2,557	51,2	0,0
28	37,5	452	5,968	6,694	0,242	3,629	0,161	0,323	26,0	295,6	0,726	35,0	0,0
29	37,5	395	4,545	11,091	0,318	6,818	0,273	0,273	57,5	873,7	2,409	60,1	0,0

Tabela 17. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u škrgama svakog ispitanog primerka ženke crnomorske haringe.

R. br.	Tl	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	26,8	126	167,3	3,250	0,250	4,5	2,000	3,5	591,0	2057,5	99,5	69,25	6,0
2	31	388	232,5	1,250	0,156	1,719	1,719	9,375	485,6	2363,1	158,9	62,58	4,531
3	32	216	42,21	3,088	0,147	2,279	1,471	1,912	383,7	2002,6	106,4	69,08	3,68
4	32,5	270	0,0	0,735	0,147	2,941	1,471	1,618	523,5	2226,3	95,2	62,65	3,088
5	33	233	14,71	1,176	0,147	1,324	0,882	2,059	91,3	2336,9	157,2	67,57	2,059
6	33	251	96,96	0,550	0,157	3,379	1,650	1,650	301,5	1653,7	85,7	38,26	3,064
7	33,3	326	36,52	1,071	0,089	0,804	0,625	2,589	23,3	2413,2	228,6	80,89	3,125
8	33,3	257	149,2	4,048	0,238	1,845	1,071	2,202	266,3	2482,5	121,4	87,20	3,333
9	33,5	280	121,2	0,735	0,147	3,088	1,324	1,912	144,6	2790,2	131	68,68	2,647
10	33,7	310	17,81	1,094	0,156	2,188	1,250	1,875	358,7	2538,6	105,8	61,33	5,0
11	34	330	79,31	1,724	0,086	1,810	1,724	2,759	496,5	2304,7	157,3	63,23	3,621
12	34	287	85,45	0,179	0,089	1,250	0,714	3,482	94,3	2717,8	181	73,62	3,750
13	34	278	183,9	2,692	0,192	2,885	1,346	4,423	355,2	3383,5	132,5	80,48	4,423
14	35	271	116,1	1,875	0,156	1,875	1,563	2,5	502,7	2463,9	164,4	73,09	4,063
15	35	339	74,83	0,690	0,086	0,948	0,776	2,414	72,4	2562,5	179,3	88,92	4,483
16	35,2	311	146,0	1,143	0,143	1,286	1,0	2,429	171,1	2244,6	160,1	84,46	4,571
17	35,2	300	336,6	2,619	0,595	6,071	3,571	4,881	666,8	4137,7	195,4	104,9	7,619
18	35,2	331	94,13	0,577	0,192	3,750	2,115	2,212	410,4	2144,6	123	66,78	4,135
19	35,2	329	69,74	0,086	0,172	1,638	6,724	1,638	89,4	2050,9	148,8	219,2	2,586
20	35,2	308	35,29	2,500	0,147	1,838	1,029	2,426	335,8	2401,9	101,2	65,37	3,971
21	35,5	311	52,05	1,696	0,179	1,250	0,804	1,786	115,8	1896,9	171,3	56,12	2,321
22	36	379	15,38	1,346	0,192	1,731	0,673	1,250	97,7	2157,9	112,5	68,61	1,635
23	36	388	152,6	1,333	0,250	2,083	1,417	2,5	297,3	2156,8	100,5	71,42	3,250
24	36	359	2,708	1,875	0,417	39,18	2,083	1,458	734,2	2477,5	0,417	135,1	2,292

25	36	313	9,432	0,795	0,114	1,477	1,250	2,5	237,8	2779,1	139,4	67,27	2.727
26	37	375	122,7	0,403	0,161	1,774	1,129	1,855	121,1	2343,0	175,3	65,52	4.839
27	37	380	182,6	1,452	0,161	2,177	1,613	3,710	495,0	3081,5	239,3	84,03	4.435
28	37,5	452	44,1	0,750	0,250	3,0	1,750	1,5	194,1	2574	203,8	69,31	2.750
29	37,5	395	211,8	3,796	0,278	3,241	1,759	3,889	557,5	3187,4	154,1	82,92	4.815

Tabela 18. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u jetri svakog ispitanog primerka mužjaka crnomorske haringe.

R. br.	TL	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	30,5	189	12,5	6,250	1,250	30,6	4,375	1,250	1586,3	1069,4	0,0	164,2	4,375
2	31,5	207	0,0	5,385	1,154	17,9	4,808	0,769	1785,6	862,1	0,769	101,0	8,269
3	32	256	2,963	3,426	0,463	16,8	2,593	0,463	1368,1	911,1	0,185	104,5	5,185
4	32,2	216	14,107	3,214	1,964	28,9	5,179	0,893	2256,6	823,0	0,179	120,7	8,750
5	32,9	212	24,318	0,682	1,136	28,2	4,091	1,136	1570,2	739,3	0,455	99,1	3,182
6	33	234	3,563	4,250	0,625	16,1	1,938	0,313	838,6	738,2	0,313	89,1	3,188
7	33	276	4,435	4,113	0,403	18,7	1,532	0,403	743,8	745,0	0,484	85,8	2,984
8	33,2	225	7,5	3,056	0,972	15,3	3,611	0,694	1726,4	885,8	1,806	94,9	6,944
9	33,5	254	2,344	4,141	0,703	17,8	2,969	0,391	1507,3	837,3	0,547	98,3	6,328
10	33,5	214	3,125	7,0	1,0	30,4	4,250	0,625	1647,4	1083,4	0,125	130,6	6,875
11	33,5	258	10,294	5,441	1,176	21,0	2,647	1,029	1179,3	781,2	0,294	109,2	5,735
12	34,5	307	4,063	5,833	0,833	23,4	2,813	6,042	962,7	999,4	0,521	119,1	4,479
13	34,5	247	2,358	13,77	0,755	16,3	1,415	0,330	589,5	1751,1	0,189	117,7	2,075
14	34,6	335	0,227	3,295	0,568	9,2	0,909	0,455	464,5	660,8	0,114	76,4	0,795
15	35,5	310	11,25	0,0	1,042	11,9	2,083	0,833	814,6	684,8	0,208	82,1	3,958
16	35,5	349	0,313	3,438	0,313	23,6	1,719	0,625	915,5	1434,7	0,156	110,9	2,031
17	35,5	299	9,0	4,250	1,250	16,7	0,5	1,250	257,3	890,5	0,250	118,5	2,250
18	35,8	318	3,030	4,924	0,758	34,0	3,030	0,379	1407,8	873,3	0,227	113,5	5,606

Tabela 19. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u mišićima svakog ispitanog primerka mužjaka crnomorske haringe.

R. br.	TL	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	30,5	189	4,352	6,11	0,185	1,296	0,370	0,463	1,389	776,3	3,704	49,6	0,0
2	31,5	207	3,370	8,478	0,217	6,957	0,435	0,435	68,4	499,6	0,652	93,8	0,978
3	32	256	4,483	8,793	0,302	5,431	0,216	0,345	51,7	546,6	1,121	35,1	0,216
4	32,2	216	3,939	3,182	0,379	2,576	0,909	0,0	0,0	546,9	2,424	34,7	0,0
5	32,9	212	8,523	6,534	0,568	3,636	1,875	0,455	19,8	997,7	6,136	82,0	0,0
6	33	234	2,734	10,0	0,313	1,016	0,156	0,391	11,3	834,7	1,094	106,0	0,0
7	33	276	5,714	11,5	0,357	2,857	0,0	0,357	23,3	475,1	1,214	62,4	0,0
8	33,2	225	2,188	8,125	0,250	3,813	0,125	0,250	29,6	347,1	0,812	35,7	0,0
9	33,5	254	30,6	1,161	0,446	4,554	2,679	0,625	16,1	1642,8	2,054	139,7	0,0
10	33,5	214	23,5	8,952	0,565	2,903	1,290	0,484	5,323	668,3	0,887	83,5	0,0
11	33,5	258	1,038	9,528	0,425	4,953	0,377	0,236	99,3	918,3	1,462	53,7	0,425
12	34,5	307	6,76	9,167	0,343	5,637	0,245	0,392	50,4	861,5	2,647	53,4	0,392
13	34,5	247	4,8	2,3	0,400	9,9	0,450	0,4	128,8	1070,5	3,6	76,4	0,6
14	34,6	335	14,5	5,256	0,321	1,538	0,321	0,513	21,2	1301,7	1,218	12,4	0,0
15	35,5	310	2,045	4,375	0,398	2,159	0,568	0,0	1,31	484,1	1,250	30,4	0,0
16	35,5	349	3,333	5,278	0,486	1,875	0,625	0,069	5,92	578,3	1,736	66,8	0,0
17	35,5	299	5,135	9,122	0,473	6,757	0,270	0,338	58,4	830,4	2,230	67,2	0,0
18	35,8	318	7,727	7,121	0,758	6,364	1,894	0,455	49,2	584,5	1,818	43,2	0,076

Tabela 20. Koncentracije teških metala i mikroelemenata ($\mu\text{g/g}$) u škragama svakog ispitanog primerka mužjaka crnomorske haringe.

R. br.	TL	W	Al	As	Cd	Cu	B	Ba	Fe	Mg	Sr	Zn	Li
1	30,5	189	99,5	0,370	0,185	3,519	1,944	1,852	448,1	2405,2	111,481	75,3	4,630
2	31,5	207	113,2	1,607	0,179	2,500	1,429	2,857	452,3	2706,4	115,893	63,6	2,500
3	32	256	125,8	1,528	0,278	1,806	1,111	2,917	306,5	2289,9	90,000	78,7	3,194
4	32,2	216	35,9	1,121	0,086	0,862	1,121	2,931	62,2	2327,1	205,431	79,1	2,241
5	32,9	212	6,786	0,476	0,119	1,310	0,714	1,548	121,8	2197,0	141,429	67,0	3,095
6	33	234	46,7	0,600	0,100	1,300	0,8	2,2	107,8	2479,7	208,300	81,3	3,5
7	33	276	114,0	5,500	0,250	3,500	6,000	1,250	146,7	2661,5	104,500	191,6	5,0
8	33,2	225	64,4	0,278	0,278	2,083	0,972	2,222	158,1	2691,5	154,444	85,1	4,722
9	33,5	254	0,0	1,591	0,227	2,045	0,909	3,182	103,4	3377,5	167,727	74,5	3,182
10	33,5	214	87,2	2,222	0,417	2,986	1,389	1,528	300,9	1946,3	103,056	66,4	2,431
11	33,5	258	125,0	2,125	0,250	2,750	1,125	3,625	305,8	3202,1	181,875	79,1	1,625
12	34,5	307	80,7	1,974	0,132	0,855	0,921	2,105	72,7	2159,0	138,355	84,6	3,224
13	34,5	247	166,0	1,103	0,221	1,838	1,544	2,794	148,3	2275,6	167,206	80,9	4,632
14	34,6	335	160,7	0,000	1,667	3,889	1,667	3,750	551,9	3230,0	138,889	88,5	4,722
15	35,5	310	8,438	5,000	0,000	1,250	0,313	2,500	69,4	2761,9	96,250	65,3	0,0
16	35,5	349	45,2	2,821	0,128	1,154	1,026	2,308	120,3	2317,1	160,192	79,1	3,782
17	35,5	299	118,7	0,313	0,156	2,188	1,094	2,969	357,5	2959,7	133,750	84,7	5,0
18	35,8	318	59,3	3,636	0,227	2,955	2,273	2,273	63,6	3318,2	173,182	91,7	3,864

Razlike u koncentracijama između tkiva bile su statistički značajne za sve ispitivane teške metale ($p < 0,05$). Koncentracije teških metala u jetri bile su značajno veće od koncentracija u mišiću, sa izuzetkom Al i As.

Tabela 21. Koncentracije Al, As, Cd, Cu, B, Ba, Fe, Mg, Sr, Zn i Li u mišićima, jetri i škragama (izražene u $\mu\text{g/g}$ suve težine) u uzorcima crnomorske haringe kod ženki, mužjaka i kod oba pola zajedno (srednja vrednost \pm SD).

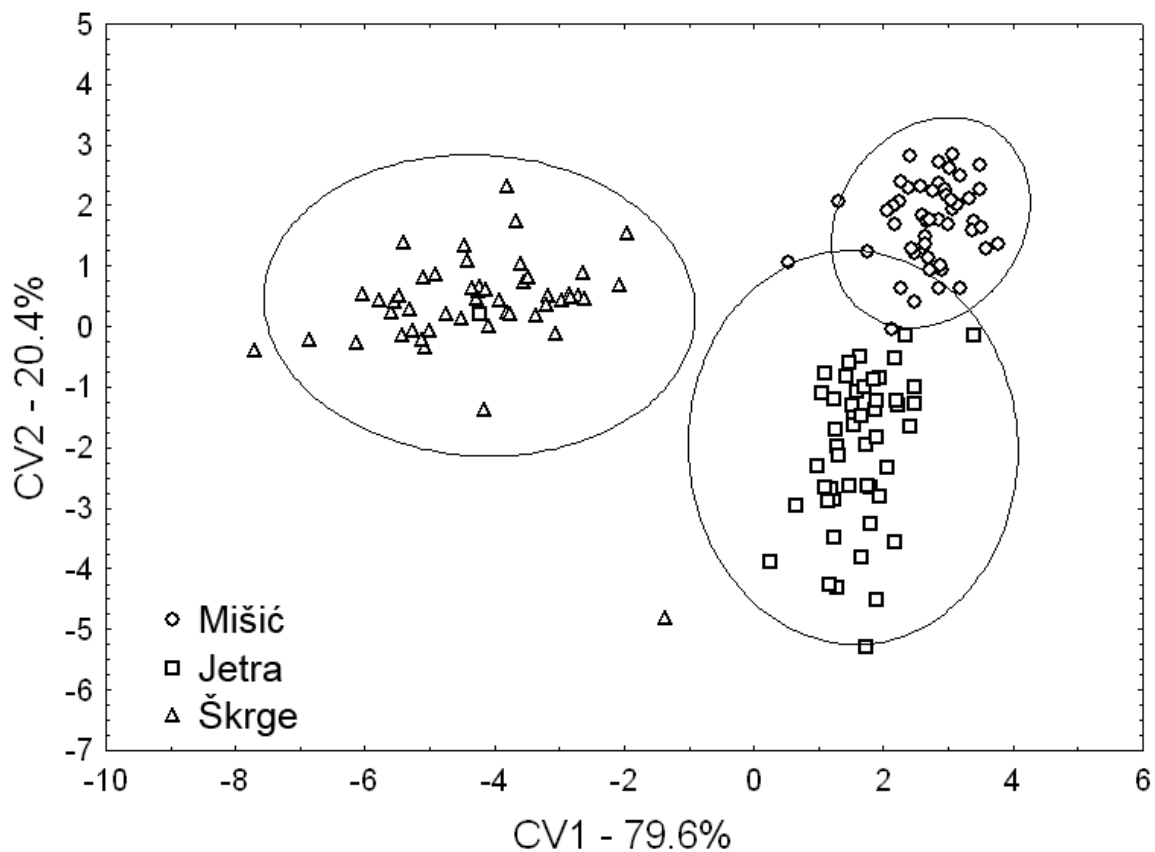
		Tkivo		
		Mišići	Jetra	Škrge
Al	ženka	7,910 \pm 11,845	5,120 \pm 8,208	115,8 \pm 117,4
	mužjak	7,489 \pm 7,849	6,563 \pm 6,112	81,0 \pm 50,9
	ukupno	7,753 \pm 10,436	5,668 \pm 7,448	103,0 \pm 99,1
As	ženka	7,861 \pm 2,191	7,227 \pm 3,742	1,536 \pm 1,035
	mužjak	7,499 \pm 2,885	4,940 \pm 3,209	1,792 \pm 1,586
	ukupno	7,725 \pm 2,450	6,389 \pm 3,697	1,630 \pm 1,256
Cd	ženka	0,453 \pm 0,202	0,592 \pm 0,202	0,189 \pm 0,101
	mužjak	0,399 \pm 0,139	0,912 \pm 0,385	0,272 \pm 0,360
	ukupno	0,433 \pm 0,181	0,714 \pm 0,323	0,219 \pm 0,232
Cu	ženka	4,045 \pm 2,498	19,739 \pm 8,981	3,470 \pm 6,717
	mužjak	4,123 \pm 2,392	20,434 \pm 7,171	2,155 \pm 0,950
	ukupno	4,074 \pm 2,433	20,0 \pm 8,271	2,987 \pm 5,379
B	ženka	0,989 \pm 1,820	1,0206 \pm 0,610	1,610 \pm 1,121
	mužjak	0,711 \pm 0,742	2,685 \pm 1,421	1,464 \pm 1,222
	ukupno	0,885 \pm 1,504	1,768 \pm 1,223	1,556 \pm 1,148
Ba	ženka	0,361 \pm 0,145	0,565 \pm 0,493	2,806 \pm 1,674
	mužjak	0,345 \pm 0,174	0,985 \pm 1,262	2,489 \pm 0,7
	ukupno	0,355 \pm 0,155	0,725 \pm 0,881	2,690 \pm 1,396
Fe	ženka	39,84 \pm 35,9	509,1 \pm 264,2	331,9 \pm 207,5
	mužjak	41,2 \pm 47,3	1147,8 \pm 567,1	216,5 \pm 155,3
	ukupno	40,35 \pm 40,03	751,8 \pm 508,9	289,5 \pm 196,5
Mg	ženka	590,9 \pm 236,1	1314,5 \pm 314,7	2489,6 \pm 487,0
	mužjak	775,8 \pm 327,7	923,2 \pm 268,2	2628,1 \pm 436,4
	ukupno	660,3 \pm 285,3	1165,8 \pm 351,9	2540,5 \pm 469,2
Sr	ženka	1,727 \pm 1,096	4,774 \pm 24,5	143,7 \pm 48,63
	mužjak	2,003 \pm 1,361	0,366 \pm 0,396	143,998 \pm 36,069
	ukupno	1,830 \pm 1,195	3,099 \pm 19,291	143,8 \pm 44,034

Zn	ženka	68,224 ± 76,030	95,5 ± 14,025	78,32 ± 30,85
	mužjak	62,554 ± 31,035	106,742 ± 20,187	84,26 ± 27,98
	ukupno	66,1 ± 62,6	99,76 ± 17,34	80,51 ± 29,67
Li	ženka	0,137 ± 0,227	1,600 ± 1,104	3,753 ± 1,226
	mužjak	0,149 ± 0,277	4,413 ± 2,364	3,408 ± 1,329
	ukupno	0,142 ± 0,244	2,669 ± 2,168	3,627 ± 1,263

Koncentracije Al, Sr, Ba, Mg i Li bile su najveće u škragama, pri čemu su koncentracije Al i Sr dostizale i od 20 do 70 puta veće vrednosti nego u jetri i mišićima. Utvrđeno je prisustvo značajnih razlika u koncentracijama teških metala između mužjaka i ženki u mišićima i jetri ($p < 0,05$), ali ne i u škragama (tabela 21).

Koncentracije Mg u mišićima bile su značajno veće kod mužjaka, dok su koncentracije As i Mg u jetri bile veće kod ženki, Koncentracije Cd, B, Ba, Fe, Zn i Li u jetri bile su značajno veće kod mužjaka.

Kanonijska diskriminantna analiza je pokazala značajan nivo diferencijacije analiziranih tkiva u odnosu na stepen akumulacije teških metala (slika 35). Dve kanonijske funkcije (CV) zajedno su objašnjavale 100% ukupne varijabilnosti (CV1 - 79,6%, CV2 - 20,4%). Škrge su bile izdvojene od druga dva tkiva duž prve kanonijske funkcije, dok su mišići i jetra bili međusobno razdvojeni duž druge kanonijske funkcije. Škrge su bile u najvećoj meri diferencirane visokim koncentracijama Sr i Mg, dok je jetra bila diferencirana visokim koncentracijama Cu i Fe, Kao što se može videti na grafiku, koncentracije teških metala u mišićima bile su u proseku uniformnije od koncentracija u škragama i jetri (slika 35; tabela 22).



Slika 35. Rezultati kanonijske diskriminantne analize primenjene na koncentracije teških metala u tri analizirana tkiva (elipse pokazuju 95% intervale pouzdanosti): CV – kanonijska funkcija.

Tabela 22. Grupisane korelacije između diskriminišućih varijabli i standardizovanih kanonijskih diskriminantnih funkcija (kanonijska diskriminantna analiza primenjena na koncentracije teških metala i mikroelemenata u tri ispitivana tkiva).

	Funkcija 1	Funkcija 2
Al	-0,255339	0,091991
As	0,321481	0,031065
Cd	0,191945	-0,360160
Cu	0,180857	-0,784403
B	-0,040763	-0,169965
Ba	-0,351096	0,009558
Fe	0,006416	-0,603024
Mg	-0,688794	-0,138992
Sr	-0,780128	0,239059
Zn	-0,007451	-0,218866
Li	-0,266874	-0,377924

Korelacije koncentracija istog elementa među različitim tkivima nisu bile brojne. Škrge su imale najveći broj statistički značajnih korelacija ($p < 0,05$) sa drugim tkivima, i to ukupno pet. Mišić je imao ukupno tri značajne korelacije, dok je jetra imala svega dve, Fe i Sr su bili elementi sa najjačim korelacijama između različitih tkiva (tabela 23).

Tabela 23. Spearman-ovi koeficijenti korelacije koncentracija teških metala i mikroelemenata između različitih tkiva crnomorske haringe, na osnovu 95% i 99% nivoa pouzdanosti. Prikazane su samo signifikantne korelacije ($p < 0,05$).

	Mišić	Jetra	Škrge
Mišić	---		
Jetra	---	---	
Škrge	As 0,292 Ba 0,344 Fe 0,474	Fe 0,343 Sr 0,423	

Korelacije dužine i težine tela sa koncentracijama teških metala prikazane su u tabeli 24. Može se uočiti da korelacije nisu bile brojne i da su isključivo bile vezane za koncentracije u mišićima i jetri. Koncentracije u škragama nisu bile korelisane sa veličinom jedinki. Korelacije su bile uglavnom negativne, osim korelacije Mg sa totalnom dužinom i težinom ispitivanih jedinki. Koncentracije teških metala i mikroelemenata u jetri imale su najveći broj negativnih korelacija (ukupno osam), dok koncentracije Cu i As nisu bile korelisane sa totalnom dužinom i težinom tela ispitivanih jedinki.

Tabela 24. Spearman-ovi koeficijenti korelacije koncentracija teških metala i mikroelemenata u tri analizirana tkiva crnomorske haringe sa totalnom dužinom (TL) i težinom (W) tela na osnovu 95% i 99% nivoa pouzdanosti. Prikazane su samo signifikantne korelacije ($p < 0,05$).

	TL	W
Al (jetra)	---	-0,386
Cd (jetra)	-0,325	-0,499
B (jetra)	-0,481	-0,540
Ba (mišić)	-0,346	-0,408
Ba (jetra)	-0,315	-0,391
Fe (jetra)	-0,470	-0,506
Mg (mišić)	---	-0,405
Mg (jetra)	0,451	0,324
Sr (mišić)	---	-0,355
Zn (mišić)	---	-0,386
Zn (jetra)	---	-0,391
Li (jetra)	-0,456	-0,578

Zabeležen je relativno veći broj pozitivnih i statistički značajnih korelacija ($p < 0,05$) različitih teških metala unutar istog tkiva (tabele 25, 26 i 27). U mišiću je značajan broj elemenata bio međusobno pozitivno korelisan. Najveći broj značajnih korelacija u mišiću imali su As, Sr, Zn, B i Ba (po četiri), dok su Cu, Fe i Mg imali po tri značajne korelacije sa koncentracijama drugih teških metala. Najjače korelacije u koncentracijama teških metala u mišiću imali su Cu – Fe (koeficijent korelacije 0,773), zatim Cd – B (koeficijent korelacije 0,703), Al – Ba (koeficijent korelacije 0,614), kao i Mg – Sr (koeficijent korelacije 0,684)(tabela 25).

Tabela 25. Spearman-ovi koeficijenti korelacije koncentracija teških metala i mikroelemenata u mišićima crnomorske haringe, na osnovu 95% i 99% nivoa pouzdanosti.

Mišić	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mg	Sr	Zn	Li	B	Ba
Al											
As											
Cd											
Cu		0,319									
Fe		0,438		0,773							
Mg											
Sr						0,684					
Zn		0,471				0,445	0,517				
Li				0,470	0,503						
B	0,323	0,346	0,703				0,331				
Ba	0,614					0,397	0,378	0,383			

U jetri su takođe zabeležene međusobne jake pozitivne korelacije ($p < 0,05$) kod većeg broja teških metala. Najviše korelacija imali su B i Li (po osam), zatim Ba, Cd i Fe (po sedam), dok je Mg imao šest značajnih korelacija, Najjači koeficijenti korelacije u jetri zabeleženi su između Fe – B (0,952), Fe – Li (0,811) i Li – B (0,777) (tabela 26).

Tabela 26. Spearman-ovi koeficijenti korelacije koncentracija teških metala i mikroelemenata u jetri crnomorske haringe, na osnovu 95% i 99% nivoa pouzdanosti.

Jetra	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mg	Sr	Zn	Li	B	Ba
Al											
As											
Cd	0,492										
Cu											
Fe		0,510	0,454								
Mg		0,523	0,414		0,530						
Sr											
Zn			0,606	0,653	0,417						
Li	0,320	0,561	0,409		0,811	0,490		0,297			
B		0,392	0,561	0,344	0,952	0,446		0,520	0,777		
Ba	0,494	0,512	0,431		0,361	0,340			0,433	0,326	

Kod škrga su takođe zabeležene jake pozitivne korelacije između većeg broja analiziranih metala. Najveći broj značajnih korelacija imali su Cu, Al, Fe i Li (po šest), dok su Cd, B i Ba imali po pet značajnih korelacija. Najveće koeficijente korelacije imali su B – Cu (0,750) i Cd – Cu (0,730) (tabela 27).

Tabela 27. Spearman-ovi koeficijenti korelacije teških metala i mikroelemenata u škrgama crnomorske haringe, na osnovu 95% i 99% nivoa pouzdanosti.

Škrگا	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mg	Sr	Zn	Li	B	Ba
Al											
As											
Cd	0,436										
Cu	0,341		0,730								
Fe	0,463		0,435	0,681							
Mg											
Sr				- 0,353		0,373					
Zn			0,302			0,393	0,282				
Li	0,549			0,292	0,397			0,303			
B	0,436		0,528	0,750	0,620				0,338		
Ba	0,560				0,301	0,522	0,376		0,348		

5. DISKUSIJA

Uprkos činjenici da se poslednjih godina beleži primetan pad brojnosti populacija crnomorske haringe, o ovoj problematici i dalje nisu sprovedena adekvatna sistematska istraživanja, mada se povremena istraživanja vezana za ovu vrstu sprovode u Rumuniji i Bugarskoj (Kolarov 1985; Navodaru 1998; Navodaru *et al.* 2001; Navodaru & Waldman, 2003; Ciolac, 2004; Ciolac & Patriche, 2004).

5.1. Struktura populacije u odnosu na dužinske klase i dužinsko-težinski odnosi

Istraživanja crnomorske haringe u Dunavu pokazala su da je u 2004. godini, raspon totalnih dužina varirao od 24,2 do 38,7 cm, a u 2006. godini od 29,2 do 37,2. U 2004. godini 85,40% jedinki pripadalo je dužinskim klasama koje se nalaze u intervalu od 28,50 cm do 35,00 cm, slično kao i u 2006. godini kada je 82,98% jedinki pripadalo dužinskim klasama u intervalu od 30,00 cm do 35,50 cm. Najzastupljenija dužinska klasa u obe sezone bila je dužinska klasa od 32,00 cm do 32,50 cm (13,83% u 2006. i 14,60% u 2004. godini).

Ovi podaci se donekle poklapaju sa rezultatima koje je dobio Ciolac (2004) za crnomorsku haringu iz Dunava u Rumuniji, gde su u uzorku bile najzastupljenije jedinke uzrasnih klasa 3+ i 4+ (83,50%) čija se totalna dužina kretala u intervalu od 20,40 cm do 36,50 cm, sa prosečnim vrednostima od 28,20 cm za jedinke iz uzrasne klase 3+ i 30,10 cm za jedinke iz klase 4+. Imajući u vidu da se u ovom istraživanju ne navodi precizno veličina okaca ribarskih mreža kojima je prikupljen uzorak, uzrok prisustva jedinki čija je dužina tela bila manja od 24,2 cm, što je minimalna izmerena dužina u našem radu, jeste korišćenje mreža manjeg promera okaca.. Broj jedinki u

uzorku sakupljenom u okviru ove disertacije koje su bile manje od 28 cm bio je toliko mali da se pre mogu smatrati slučajnim ulovom, imajući u vidu alat koji je korišćen za uzorkovanje.

U radu Erguden *et al.* (2007), koji su istraživali crnomorsku haringu u Mramornom moru, raspon totalnih dužina varirao je od 16,15 do 27,60 cm. Neslaganje između totalnih dužina crnomorske haringe u Dunavu i Mramornom moru može biti, s jedne strane, posledica korišćenja različitih alata pri uzorkovanju i, sa druge strane, posledica različite uzrasne strukture ispitivanih populacija. Uzorkovanje crnomorske haringe u Mramornom moru sprovedeno je mrežama sa velikim rasponom oka (28 do 60 mm), dok su u Dunavu jedinke hvatane mrežama promera oka od 32,5 mm.

Prema literarnim podacima, vrednost faktora alometrije b kod riba varira između 2 i 4. Vrednost faktora alometrije $b=3$ podrazumeva da riba raste izometrijski, odnosno da povećanje dimenzija tela ne dovodi do promena u proporcijama, tj, obliku tela, dok vrednosti parametra b koje su različite od 3 ukazuju na pozitivan ($b>3$) ili negativan ($b<3$) alometrijski rast (Le Cren, 1951; Brown, 1957; Tesch, 1971). Vrednosti faktora alometrije kod riba variraju u zavisnosti od vrste, starosti, polne zrelosti, sezone i ishrane (Ricker, 1975).

U istraživanju odnosa dužine i težine tela kod četiri vrste roda *Alosa* u zapadnom priobalju turskog dela Crnog mora (*A. caspia caspia*, *A. immaculata*, *A. maetotica* i *A. tanaica*), koje su sproveli Erguden *et al.* (2011), vrednost parametra b (merena u odnosu na totalnu dužinu) dosta varira. Najmanju vrednost faktora alometrije b imale su ženke crnomorske haringe (2,97), dok je kod mužjaka vrednost bila nešto veća ($b=3,07$), mada obe vrednosti ukazuju na izometrijski rast. Maksimalne vrednosti u ovom istraživanju ($b=3,75$) zabeležene su kod kaspiske haringe (*A. caspia caspia*) oba pola. Utvrđeno je i da su sve ostale tri vrste osim crnomorske haringe imale pozitivan alometrijski rast.

Prvi zabeleženi podaci o dužinsko-težinskim odnosima za crnomorsku haringu, u bugarskom delu Crnog mora, ukazuju na negativan alometrijski rast ($b=2,55$) (Kolarov, 1991). Navedena vrednost je gotovo identična sa rezultatima koje su kod crnomorske haringe na istom lokalitetu zabeležili Yankova *et al.* (2011) ($b=2,488$).

Vrednost faktora b koju je zabeležio Navodaru (1996) na 60 rkm toka Dunava za mužjake crnomorske haringe iznosila je 2,44, što takođe ukazuje na negativan alometrijski rast kod pomenute vrste.

Faktor alometrije b dobijen analizom uzoraka prikupljenih u okviru ove disertacije kretao se od $b=2,03$ (mužjaci iz 2006. godine) do maksimalne vrednosti od $b=2,65$ (mužjaci iz 2004. godine). Imajući u vidu da je samo vrednost utvrđena kod mužjaka iz 2004. godine ($b=2,65$) bila veća od vrednosti zabeleženih u bugarskom delu Crnog mora (Yankova *et al.*, 2011), kao i u odnosu na jedinke analizirane na 60 rkm Dunava (Navodaru, 1996), može se reći da su ovakvi nalazi bili očekivani.

5.2. Gonadosomatski indeks, hepatosomatski indeks i faktor kondicije

Vrednosti gonadosomatskog indeksa (GSI) crnomorske haringe dobijene u ovoj disertaciji ($10,03 \pm 3,88$ i $10,36 \pm 3,37$ za ženke; $4,51 \pm 0,81$ i $5,33 \pm 1,40$ za mužjake) bile su manje od vrednosti koje daju Doherty *et al.* (2004). Prema ovim autorima, vrednosti GSI za vrstu *Alosa fallax* iznosili su $18,8 \pm 7,5$ za ženke i $11,4 \pm 2,9$ za mužjake. Međutim, vrednosti GSI kod jedinki vrste *Alosa fallax* iz reke Ebro koje su zabeležili Lopez *et al.* (2007) ($6,98 \pm 0,86$ za mužjake i $8,30 \pm 0,83$ za ženke) bile su slične vrednostima GSI kod crnomorske haringe utvrđenim u okviru ove disertacije, Quingnard & Douchement (1991) su pokazali da vrednosti GSI kod vrste *Alosa fallax* može varirati od sezone do sezone, što je u skladu sa rezultatima dobijenim i u ovom istraživanju.

Istraživanja su pokazala da postoji i izražen pozitivni odnos između dužine pređenog puta tokom migracije individua i njihove kondicije, određene Fultonovim faktorom kondicije (Navodaru 1996,1998). Tokom uzvodne migracije ribe gube telesnu masu usled plivanja i polaganja jaja. Gubitak telesne mase zavisao je i od pola, pri čemu ženke gube više od mužjaka. Ukupan gubitak mase kod mužjaka iznosi između 10,3-30,4%, dok je kod ženki gubitak 10,3%-42,7%. Za uzrasnu klasu od tri godine, prosečan

gubitak biomase iznosi 23,1%, za uzrasnu klasu od četiri godine 23,8% i za uzrasnu klasu od pet godina 39,7% (*ibid.*).

Uzvodne anadromne migracije predstavljaju aktivnost koja zahteva veliku potrošnju energije i podrazumeva trošenje zaliha masti i proteina kao izvora energije (Leonard & McCormick, 1999). Dobijeni rezultati u ovoj disertaciji kao i drugi literaturni podaci za crnomorsku haringu potvrđuju ovu tvrdnju. U centralnom turskom delu Crnog mora faktor kondicije crnomorske haringe kod ženki iznosi 1,21, dok je kod mužjaka 1,02 (Samsun, 1995). U toku uzvodne migracije crnomorske haringe iz delte Dunava, faktor kondicije opada sa 1,30 u samoj delti Dunava (početak migratornog puta) do 0,76 na 743 rkm Dunava (Kolarov, 1985). Vrednosti dobijene u našem istraživanju (0,65-0,70) niže su od ranije zabeleženih vrednosti, što je u skladu sa uzvodnijom tačkom migracije crnomorske haringe na kojoj je vršeno uzorovanje (na 861 rkm od delte Dunava).

5.3. Koštane strukture pogodne za određivanje starosti i analiza uzrasne strukture

S obzirom da su brojnosti populacija crnomorske haringe u Crnom moru i u Dunavu u padu, prvenstveno usled preteranog izlova i zagađenja (Navodaru, 1996; Navodaru & Waldman, 2003), neophodno je omogućiti što tačnije određivanje starosti jedinki migranata crnomorske haringe u cilju obezbeđivanja boljeg upravljanja ovim zajedničkim ribarstvenim resursom Ukrajine, Rumunije, Bugarske i Srbije. Istraživanja koja se odnose na procenjivanje starosti jedinki koje migriraju izuzetno su značajna za potrebe efikasnog rešavanja prisutnih problema u upravljanju ribarstvom na ovom području.

Najdominantnije uzrasne klase crnomorske haringe u ovoj disertaciji jesu klase od 3+ i 4+ godina, dok su uzrasne klase od 2+, 5+ i 6+ godina zastupljene pojedinačnim jedinkama. Ovakav nalaz je potpuno očekivan kad se uzme u obzir da 50% populacije

crnomorske haringe pri mresnoj migraciji ima starost od 3 godine, dok su jedinke starijih uzrasnih klasa zastupljene sa 1 % i manje (Navodaru & Waldman, 2003).

Prilikom utvrđivanja starosti riba, preciznosti predstavlja značajan parametar koji zavisi od vrste i prirode strukture koja se koristi za određivanje starosti, a ne samo od subjektivnosti onoga ko očitava rezultate (Campana, 2001). Podaci koji se odnose na starost američke haringe (*Alosa sapidissima*), dobijeni određivanjem starosti na osnovu krljušti od strane 13 istraživača čije se prethodno iskustvo u korišćenju ove metode kretalo između 2 i 25 godina (McBride *et al.*, 2005), pokazuju da je vrednost ICV kod uzastopnog očitavanja krljušti iste ribe varirala između 3,79 i 11,08 (srednja vrednost 6,9). U istraživanjima u okviru ove disertacije, vrednost ICV je, pri korišćenju krljušti za određivanje starosti od strane interpretatora sa prethodnim iskustvom u rasponu od 0 do 12 godina, varirala između 7,8 i 13,7 (srednja vrednost 10,8), što je u skladu sa rezultatima do kojih su došli McBride *et al.* (*ibid.*) za američku haringu.

Iako granična vrednost dozvoljene greške u određivanju starosti riba ne može biti definisana, vrednosti IAPE ispod 10% mogu se po pitanju preciznosti uzeti kao prihvatljive (Vilizzi *et al.*, 1998).

U našim istraživanjima, raspon IAPE se kretao u intervalu od 7,6 do 10,2% za reproduktivnost između različitih interpretatora, i u intervalu od 5,5 do 9,7% za ponovljivost svakog pojedinačnog interpretatora, što se može smatrati prihvatljivim opsegom preciznosti. Rezultati pokazuju niže vrednosti IAPE kod iskusnijih interpretatora. Poređenjem rezultata dobijenih u ovom istraživanju i rezultata analiza kod američke haringe (McBride *et al.*, 2005) uočava se da se preciznost može unaprediti prethodnom obukom interpretatora. Ovo je u skladu sa rezultatima koje su objavili Power *et al.* (2006), gde su iskusniji interpretatori takođe imali veći nivo preciznosti određivanja starosti riba.

Rezultati koje su dobili Yilmaz i Polat (2002) ukazuju da pršljenovi predstavljaju strukture uz pomoć kojih se može preciznije vršiti određivanje starosti kod haringi u odnosu na krljušt, što nije u skladu sa rezultatima ove disertacije, gde nije bilo značajnije razlike u preciznosti korišćenja dve navedene strukture. Razlike u rezultatima mogu biti objašnjene razlikama u iskustvu interpretatora, međutim, u radu Yilmaz & Polat (*ibid.*) nisu bila data jasna objašnjenja o iskustvu interpretatora.

Razlike između dve grupe interpretatora (sa i bez prethodnog iskustva) u određivanju starosti crnomorske haringe i činjenica da su interpretatori bez prethodnog iskustva precenjivali starost u odnosu na iskusnije interpretatore (za 1,7 godina pri korišćenju krljušti i 1,5 godina pri korišćenju pršljenova) mogu se pripisati tzv. "lažnim" prstenovima. Zbog toga je neophodno postojanje informacija o dužini tela ribe za određenu starost, i to iz izvora koji su nezavisni od informacija dobijenih korišćenjem krljušti ili neke druge strukture u određivanju starosti riba (Mann & Steinmetz, 1985).

U poslednje vreme sve češće se koristi i relativno nova metoda primene nuklearne mikroskopije otolita i drugih koštanih struktura, gde se nagle promene odnosa Sr:Ca u koštanoj masi mogu koristiti za utvrđivanje perioda migracije, kao i za određivanje starosti ribe u momentu kada je prvi put migrirala u slatku vodu (Limburg *et al.*, 2003), što može imati izuzetan značaj za unapređenje saznanja o životnom ciklusu crnomorske haringe.

U svetlu dobijenih rezultata, kao i činjenice da priprema pršljenova za određivanje starosti zahteva više vremena od pripreme preparata krljušti, može se zaključiti da se krljušt može koristiti kao validna struktura za određivanje starosti kod crnomorske haringe.

Neophodna su dodatna istraživanja kako bi se odredili standardni protokoli koji bi uključili i neku vrstu uspostavljanja kriterijuma tumačenja preciznosti i pouzdanosti određivanja starosti od strane interpretatora sa različitim prethodnim iskustvom. Na ovaj način, mogla bi da se razvije precizna i praktična metoda koja bi se mogla rutinski koristiti za određivanje starosti riba, naročito u okviru istraživanja koja podrazumevaju veliki broj uzoraka (Appelberg *et al.*, 2005).

5.4. Geometrijsko-morfometrijska analiza

Geometrijska morfometrija se smatra jednim od najmoćnijih alata za analizu oblika tela (Rohlf & Marcus, 1993; Marcus *et al.*, 1996; Loy *et al.*, 2000), i omogućava da se okarakterišu trajektorije rasta i vizuelizuje alometrija rasta (Alberch, 1979; Kllingerberg, 1996).

Rezultati geometrijsko-morfometrijske analize ukazuju na postojanje primetnih razlika u obliku tela migranata crnomorske haringe iz različitih sezona, koje se možda mogu objasniti razlikama u genetičkoj strukturi populacija. Analize genetičke strukture populacije crnomorske haringe u mrestu ukazuju na postojanje genetičke heterogenosti (Mezhzherin & Fedorenko, 2005). Prema ovim autorima, moguća su dva različita uzroka heterogenosti: jedan predstavlja introgresivna hibridizacija između različitih formi crnomorskih haringi, dok bi drugi uzrok mogle biti razlike između ranih i kasnih migratornih klasa ove vrste, koje su u određenoj meri reproduktivno izolovane.

Telesna energija može varirati između grupa jedinki zavisno od klimatskih uslova sredine iz koje migriraju, samim tim i klimatski uslovi mogu biti jedan od faktora koji prouzrokuju razlike u obliku tela kod migranata iz različitih sezona (Hinch *et al.*, 1995; Cox & Hinch, 1997;). Morfološke razlike između jedinki jedne vrste iz različitih sezona, naročito u obliku tela, obično su zastupljene kod oba pola, ali je stepen sezonskih varijacija uglavnom manji od varijacija prouzrokovanih drugim faktorima (Windsor *et al.*, 2008).

Najznačajniji parametri za razdvajanje uzoraka iz različitih sezona (2004. i 2006. godine) kod crnomorskih haringi duž prve kanonijske funkcije (CV1) bile su razlike u obliku glave i poziciji peraja. Primerici crnomorske haringe iz 2006. godine imaju kraći nosni region, produžene škržne poklopce, duža leđna peraja i analno peraje pozicionirano bliže bazi repnog peraja.

Turan & Basusta (2001) su radili morfometrijsku analizu kod jedinki *Alosa fallax* u istočnom delu Mediterana i zaključili su da je populacija morfometrijski veoma heterogena. Najveće razlike među jedinkama jesu u zadnjem delu tela kao i u visini tela, nasuprot razlikama u obliku tela kod crnomorske haringe iz Dunava čija se heterogenost u morfometrijskom smislu zasniva više na glavenom i prednjem delu tela.

Morfološke razlike u populacijama riba iste vrste iz različitih sezona mogu biti pripisane i sposobnostima plivanja jedinke (Taylor & McPhail, 1985). Isti autori su pronašli morfološke razlike kod migratornih pastrmki (*Oncorhynchus kisutch*) u Britanskoj Kolumbiji. Naime, detektovane su razlike u visini tela jedinki iz reka koje su bile u blizini mora, u priobalju, i reka koje su se nalazile duboko u kopnu. Jedinke pastrmki sa daljih migratornih tačaka imale su izduženiju formu i manju visinu tela, dok su jedinke iz delova reka u blizini mora imale robusniju građu.

Najznačajniji parametri polnog dimorfizma kod crnomorske haringe iz Dunava ogledaju se u dužini tela i obliku glave i nalaze se duž druge kanonijske funkcije. Ženke su u odnosu na mužjake imale veći intenzitet dorzo-ventralne izduženosti srednjeg dela tela i istureniji gornji dorzalni deo tela.

Polni dimorfizam crnomorske haringe, utvrđen u ovom istraživanju, u skladu je sa nalazima kod tri druge vrste haringi: *Alosa sapidissima*, *A. fallax* i *A. alosa* (Leggett 1973; Doherty *et al.*, 2004; Lopez *et al.*, 2007). U svim navedenim studijama ženke su bile značajno veće i teže u odnosu na mužjake. U prilog tome govori i činjenica da je polni dimorfizam glavni izvor varijacija, dok su osobine koje se najčešće razlikuju između polova dužina glave, dužina tela u grudnom delu tela, kao i sam oblik glave.

5.5. Koncentracija teških metala i mikroelemenata u tkivima

Teški metali su već odavno prepoznati kao veoma štetni kontaminanti u svetskim vodenim ekosistemima. Neki od tih elemenata su toksični u vrlo malim koncentracijama, dok su drugi biološki esencijalni za biološke sisteme. Kod riba, toksični efekti metala mogu imati uticaja na fiziološke funkcije, stopu individualnog rasta, reprodukciju i mortalitet (Woodward *et al.*, 1995; Farag *et al.*, 1995).

Postoje mnoga istraživanja sa podacima o koncentraciji teških metala samo u mišićima, bez šire slike o akumulaciji i distribuciji elementa između tkiva i organa. Prema mehanizmu apsorpcije, regulacije, skladištenja i ekskrecije metala, razne vrste

riba kao i organa/tkiva imaju različite stope bioakumulacije i uloge u budućim procesima (Catsiki & Stroglyoudi, 1999).

Rezultati naših istraživanja ukazuju na postojanje značajnih razlika u akumulaciji teških metala i mikroelemenata između različitih tkiva crnomorske haringe. Razlike u koncentracijama teških metala između ispitivanih tkiva bile su statistički značajne za sve analizirane elemente ($p < 0,05$). Koncentracije metala su bile najniže u mišićima, a znatno više u škragama i jetri, što je u skladu sa nalazima Rashed (2001), Pyle *et al.* (2005) i Dural *et al.* (2006).

Analiza je pokazala da su koncentracije Co, Cr, Mn, Mo, Ni i Pb bile ispod granice detekcije u analiziranim uzorcima. Slični rezultate navode i drugi autori (Topcuoglu *et al.*, 2002), koji su utvrdili da su koncentracije Co, Cr, Ni i Pb u mišićima kaspijske haringe (*A. alosa bulgarica*) uzorkovane u Crnom moru takođe bile ispod granica detekcije. U istraživanju sprovedenom na većem broju vrsta u Beymelek laguni u Turskoj (Uysal *et al.*, 2008), nedostatak Ni u tkivima riba objašnjen je niskim prisustvom ovog elementa u ispitivanom staništu, ili kao posledica slabe sposobnosti riba da akumuliraju veće koncentracije ovog metala.

U sličnom istraživanju sprovedenom na dunavskoj kečigi (*Acipenser ruthenus*), Cr je bio ispod granica detekcije u svim analiziranim tkivima (Poleksić *et al.*, 2010).

Rezultati istraživanja ukazali su na značajniju akumulaciju teških metala u jetri u odnosu na mišićno tkivo, sa izuzetkom Al i As. Različiti potencijal za akumulaciju teških metala između ova dva tkiva može biti objašnjen aktivnošću metalotioneina, proteina koji su prisutni u jetri, ali ne i u mišićima. Metalotioneini imaju sposobnost da vezuju određene teške metale i tako umanje njihovo toksično dejstvo, ali samim tim omogućavaju tkivu i veći stepen akumulacije teških metala (Wu *et al.*, 2006; Ploetz *et al.*, 2007).

Dobijeni rezultati su u skladu sa nalazima Poleksić *et al.* (2010), gde su koncentracije Cu i Fe u jetri bile i do 40 puta veće nego u mišićima i škragama kečige, kao i sa nalazima Khaled (2009), gde su u osam ribljih vrsta iz Sredozemnog mora najveće koncentracije Cd, Cu, Fe i Zn zabeležene u jetri. Veće koncentracije As u mišićima crnomorske haringe u odnosu na koncentracije u jetri, utvrđene u našem

istraživanju, u skladu su sa distribucijom arsena u telu hrskavičavih riba iz potklase Elasmobranchii iz Sredozemnog mora (Storelli *et al.*, 2004).

Koncentracije Al, Sr, Ba, Mg i Li bile su najveće u škragama, pri čemu su koncentracije Al i Sr dostizale i do 20-70 puta veće vrednosti nego u jetri i mišićima. Škrge su primarno mesto apsorpcije Al (Handy & Eddy, 1989), kao i unosa Sr iz vode (Schiffman, 1961). Prema de Vries *et al.* (2005), Sr ima sposobnost da pospešuje uzimanje Ba kod riba koje borave u brakičnim vodama.

Velike količine teških metala u škragama ukazuju na vodu kao glavni izvor kontaminacije (Bervoets & Blust, 2003). Prema Dural *et al.* (2006), kao i prema Erdogrul & Erbilir (2007), koncentracije teških metala u škragama mogu biti uzrokovane absorpcijom teških metala na površini škrge, ali delimično i kao posledica formiranja kompleksa između metala i mukusa na škragama, koji je često nemoguće odstraniti sa škržnih lamela pre same analize. Najveće koncentracije Mg u škragama, zabeležene u našem istraživanju, u skladu su sa nalazima Uysal *et al.* (2008).

Kao bitan element, Cu je homeostatski regulisan u metabolizmu ribe. Međutim u vodama opterećenim metalima, koncentracije Cu u jetri ribe mogu biti visoke jer homeostatski mehanizmi kontrole postaju preopterećeni (Couture & Royotte, 2003). S obzirom, da je jetra crnomorskih haringi bila diferencirana visokim koncentracijama Cu, ovo bi moglo biti jedno od potencijalnih objašnjenja.

Ustanovljeno je i prisustvo značajnih razlika u koncentracijama teških metala između mužjaka i ženki u mišićima i jetri, ali ne i u škragama. Postoje dokazi da je prisutan izvestan uticaj pola na akumulaciju teških metala u mišićima i jetri (Kosior *et al.*, 2002). Pojava veće koncentracije Mg u jetri ženki može biti objašnjena sposobnošću ovog metala da se vezuje za vitelogenin (Ghosh & Thomas, 1995).

Prema regulativi Evropske komisije (1881/2006/EC), maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za Cd i Pb u ribljem mesu jesu 0,05 µg po gramu i 0,3 µg po gramu sveže mase. Prema regulativi Republike Srbije, MDK za Pb, Cd i As u svežem mesu ribe jesu 1,0, 0,1 i 2 µg po gramu (Baltić & Teodorović, 1979). MDK za Cu i Zn koje preporučuje FAO (1983) iznose 30 µg po gramu sveže mase.

U cilju upoređivanja rezultata dobijenih u okviru ovog istraživanja sa propisanim i preporučenim koncentracijama, sve koncentracije po jedinici suve mase preračunate su u koncentracije po jedinici sveže mase uzorka. U 83,3% analiziranih uzoraka mišića crnomorske haringe, koncentracije As su prevazilazile propisane MDK (2,16-8,18 μg po gramu sveže mase). Pored toga, koncentracije Cd u mišićnom tkivu bile su iznad nacionalnih MDK u 86,1 % analiziranih uzoraka (0,11-0,36 μg po gramu sveže mase), i iznad evropskih MDK u svim uzorcima (0,07-0,36 μg po gramu sveže mase).

U istraživanjima iz 1998. godine, koncentracije Cd kod kaspijske haringe (*Alosa caspia*) iz zapadnog dela Crnog mora bile su ispod 0,02 μg po gramu suve mase (Topcuoglu *et al.*, 2002). Međutim, kod inćuna (*Engraulis encrasicolus*), koji čini 73,3% ishrane crnomorske haringe u Crnom moru (Svetovidov, 1964), koncentracije Cd su 1998. godine bile u opsegu od 0,10 do 0,16 μg po gramu suve mase (Topcuoglu *et al.*, 2002), odnosno oko 0,124 μg po gramu sveže mase u 2005. godini (Turan *et al.*, 2009). Na osnovu navedenog, može se zaključiti da su prevaziđene MDK za Cd kod crnomorske haringe u našem istraživanju verovatno posledica toga što se ova vrsta pretežno hrani kontaminiranim inćunima, ali i visokih koncentracija Cd u sedimentu u severozapadnom delu Crnog mora (Secrieru & Secrieru, 2002).

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja crnomorske haringe u Dunavu (863 rkm), mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Dominantna dužinska klasa za obe sezone uzorkovanja (2004. i 2006. godina) bila je klasa od 32,0-32,5 cm.
- Faktor alometrije (b) kod crnomorske haringe ukazuje na postojanje negativnog alometrijskog rasta (sa izuzetkom mužjaka iz 2004. godine), što je u skladu sa literaturnim podacima za ovu vrstu.
- Između analiziranih grupa jedinki crnomorske haringe ne postoji statistički značajna razlika faktora alometrije dužinsko-težinskog odnosa. Najveće razlike se javljaju u okviru grupe ženki uzorkovanih u dve različite godine ($p = 0,130$), dok su najmanje razlike zabeležene između mužjaka i ženki u 2006. godini ($p = 0,477$). Međutim, ni jedna razlika između analiziranih grupa nema $p < 0,05$, tako da su krive dužinsko-težinskih odnosa vrlo slične.
- Dobijeni rezultati pokazuju da statistički značajne razlike u GSI, HSI i K postoje između većine analiziranih grupa formiranih po polu i godini uzorkovanja ($p < 0,05$). Statistički značajne razlike ne postoje ($p > 0,05$) za vrednosti GSI između ženki iz 2004. i 2006. godine, za vrednosti HSI između mužjaka iz različitih sezona, kao i za vrednosti faktora kondicije (K) između mužjaka i ženki iz 2004. godine i između ženki iz 2004. i 2006. godine.
- Za sve uzorke iz 2004. godine i za mužjake iz 2006. godine GSI raste sa porastom totalne dužine tela, jedino kod ženki iz 2006. godine opada sa porastom dužine tela.
- Za ukupan uzorak iz 2006. godine HSI opada sa porastom totalne dužine tela, dok kod uzoraka iz 2004. godine vrednost HSI raste sa porastom dužine tela.

- U određivanju starosti jedinki crnomorske haringe nema značajnih razlika između upotrebe krljušti i pršljena, Prethodna obuka osoblja može dovesti do značajno veće preciznosti u određivanju starosti.
- Starost analiziranih primeraka, procenjena na osnovu očitavanja krljušti i kičmenih pršljenova, kretala se od 2+ do 6+, sa dominacijom jedinki starosti 3+ i 4+.
- Utvrđeno je prisustvo razlika u obliku tela između migranata crnomorske haringe iz različitih sezona, koje mogu biti objašnjene razlikama u genetičkoj strukturi delimično reproduktivno izolovanih subpopulacija.
- Prisutne su značajne razlike u akumulaciji teških metala između različitih tkiva crnomorske haringe. Najviše koncentracije su zabeležene u škragama i jetri, a najniže, sa izuzetkom arsena, u mišićima. Takođe su prisutne i značajne razlike u akumulaciji teških metala i mikroelemenata između polova.
- Zabeležene koncentracije pojedinih teških metala u mesu crnomorske haringe, u prvom redu arsena i kadmijuma, bile su iznad koncentracija dozvoljenih za ljudsku ishranu, što se može smatrati i važnim upozorenjem, kako za zdravlje riba, tako i ljudi koji ovu vrstu koriste u ishrani.
- Saznanja dobijena istraživanjima u okviru ove doktorske disertacije doprineće boljem razumevanju migracije crnomorske haringe na delu toka Dunava kroz Srbiju, za koje nisu postojali raniji literaturni podaci.

7. LITERATURA

- Abowei, J. F. N. & Davies, O. A. (2009). Some population parameters of *Clarotes laticeps* (Ruppell, 1829) from the fresh water reaches of lower Nun River, Niger Delta Nigeria. *American Journal of Scientific Research* 2, 10-19.
- Action Programme – Swedish Environment Protection Agency, 1990.
- Adams, W. M., Aveling, R., Brockington, D., Dickson, B., Elliott, J., Hutton, J., Roe, D., Vira, B. & Wolmer, W. (2004). Biodiversity conservation and the eradication of Poverty. *Science* 306, 1146-1149.
- Alberch, P., Gould, S. J., Oster, G. F. & Wake, D. B. (1979). Size and shape in ontogeny and phylogeny. *Paleobiology* 5(3), 296–317.
- Alibabić, V., Valčić, N. & Bajramović, M. (2007). Bioaccumulation of metals in fish of Salmonidae family and the impact on fish meat quality. *Environmental Monitoring & Assessment* 131, 349- 364.
- Altas, L. & Buyukgungor, H. (2007). Heavy metal pollution in the Black Sea shore and offshore of Turkey. *Environ. Geol.* 52), pp. 469-476.
- Anonymous (2001). Километровник реки Дунай. Commission du Danube, 397 pp..
- Appelberg, M., Formigo, N., Geffen, A. J., Hammer, C., McCurdy, W., Modin, J., Moksness, E., Mosegaard, H., Morales-Nin, B., Troadec, H. & Wright, P. (2005). A cooperative effort to exchange age reading experience and protocols between European fish institutes. *Fish. Res.* 76, 167-173.
- Baglinière, J. L. (2000). Le genre *Alosa* sp. Pp. 1–30 in: Baglinière, J. L., Elie, P. (Eds.), *Les aloses Alosa alosa et Alosa fallax spp.*, Inra-Cemagref, Paris,.
- Baltić, M. Z. & Teodorović, V. B. (1997). Higijena mesa riba, rakova i školjki, [Fish, crustaceans and mussel meat hygiene]. Faculty of Veterinary Sciences, Belgrade, Serbia, 250 pp.[In Serbian].

- Banarescu, P. (1964). Fauna Republicii Populare Romîne. Volumul XIII. Pisces – Osteichthyes (pesti ganoizi si osisi). Editura Academiei Republicii Populare Romîne, Bucuresti, 962 pp. (In Romanian)
- Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P. & Wahli, T. (1999). Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases* 22, 25-34.
- Bervoets, L. & Blust, R. (2003). Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. *Environ. Pollut.* 12, 9-19.
- Bookstein, F. L. (1991). Morphometric tools for landmark data. Cambridge University Press: Cambridge, 435 pp.
- Bowen, B. R., Kreiser, B. R., Mickle, P. F., Schaefer, J. F. & Adams, S. B. (2008). Phylogenetic relationships among North American *Alosa* species (Clupeidae). *Journal of Fish Biology* 72, 1188–1201.
- Brenden, T. O., Hallerman, E. M. & Murphy B. R. (2006). Sectioned pelvic fin ray ageing of muskellunge *Esox masquinongy* from a Virginia river: comparisons among readers, with cleithrum estimates, and with tag–recapture growth data. *Fisheries Management and Ecology* 13, 31–37.
- Brown, M. E. (ed.) (1957). *The Physiology of Fishes*. Academic Press, New York, 423 pp.
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision, and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol.* 59, 197-242.
- Catsiki, V. A. & Stroglyoudi, E. (1999). Survey of metal levels in common fish species from Greek waters. *Sci. Total Environ.* 237/238, 387-400.
- Cautis, I. R. & Teodorescu-Leonte, R. (1964). Corelatia dintre viitura si dinamica cardului de scrumbii (*Alosa pontica pontica* Eichw,) care intra in Dunare pentru reproducere. *Bul. Inst. Cercet. Pesc. Piscicult.* 23 1, 34-43.
- Çek S., Bromage, N., Randall, K. & Rana, K. (2001). Oogenesis, hepatosomatic and gonadosomatic indexes, and sex ratio in rosy barb (*Puntius conchonius*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1, 33-4.

- Ciolac, A. & Patriche, N. (2004). Structure of Danube shad (*Alosa pontica* Eichwald, 1838) spawner flocks migrating for reproduction in the Danube River. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2(2), 53-58.
- Ciolac, A. (2004). Migration of fishes in Romanian Danube River. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2(1), 143-163.
- Clabaut, C., Bunje, P. M. E., Salzburger, W. & Meyer, A. (2007). Geometric morphometric analyses provide evidence for the adaptive character of the Tanganyikan cichlid fish radiations. *Evolution* 61(3), 560-578.
- Couture, P. & Rajotte, J. W. (2003). Morphometric and metabolic indicators of metal stress in wild yellow perch (*Perca flavescens*) from Sudbury, Ontario: a review. *J. Environ. Monit.* 5, 216–221.
- Cowx, I. G., Harvey, J. P., Noble, R. A. & Nunn, A.D. (2009). Establishing survey and monitoring protocols for the assessment of conservation status of fish populations in river Special Areas of Conservation in the UK. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshwat. Ecosyst.* 19, 96-103.
- Cox, S. P. & Hinch S. G. (1997). Changes in size at maturity of Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) (1952–1993) and associations with temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 1159–1165.
- de Groot, S. J. (1990). The former allis and twaite shad fisheries of the lower Rhine, The Netherlands. *J. Appl. Ichthyol.* 6(4), 252-256.
- de Vries, M. C., Gillanders, B. M. & Elsdon, T. S. (2005). Facilitation of barium uptake into fish otoliths: influence of strontium concentration and salinity. *Geochim. Cosmochim. Acta* 69, 4061-4072.
- Doherty, D., O'Maoileidigh, N. & McCarthy, T. K. (2004). The biology, ecology and future conservation of twaite shad (*Alosa fallax* Lacepede), allis shad (*Alosa alosa* L.), and Killarney shad (*Alosa fallax killarnensis* Tate Regan) in Ireland. *Biology and Environment Proceedings of the Royal Irish Academy* 104B(3), 93-102.
- Dural, M., Göksu, M. Z. L., Özak, A. A. & Derici, B. (2006). Bioaccumulation of some heavy metals in different tissue of *Dicentrarchus labrax* L. 1758, *Sparus aurata* L. 1758 and *Mugil cephalus* L. 1758 from the Camlik Lagoon of the eastern

- coast of Mediterranean (Turkey). Environmental Monitoring and Assessment 1180, 65-74.
- Donić, M. & Ječinac, R. (1991). Dunav: od Bezdana do Timoka – nautičko- turistički vodič. Pronalazaštvo, Beograd, 92 pp.
- Erdogrul, Ö. & Erbilir, F. (2007). Heavy metal and trace elements in various fish samples from Sır Dam Lake, Kahramanmaraş, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 130, 373-379.
- Erguden, D., Turan, C. & Cevik, C. (2007). The growth features of Pontic shad *Alosa pontica* (Eichwald, 1838) in the Sea of Marmara, Turkey. J. Biol. Sci. 7(4), 685-688.
- Erguden, D., Turan, F. & Turan, C. (2011). Length–weight and length–length relationships for four shad species along the western Black Sea coast of Turkey. Journal of Applied Ichthyology 27, 942–944.
- FAO (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fishery Circular 464, 5-100.
- Farag, A. M., Stansburry, M. A., Hogstrand, C., MacConnell, E. & Bergman, H. L. (1995). The physiological impairment of free-ranging brown trout exposed to metals in the Clark Fork River, Montana. Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences 52, 2038-2050.
- Faria, R., Weiss, S. & Alexandrino, P. (2006). A molecular phylogenetic perspective on the evolutionary history of *Alosa* spp. (Clupeidae). Molecular Phylogenetics and Evolution 40, 298–304.
- Ghosh, P. & Thomas, P. (1995). Binding of metals to red drum vitellogenin and incorporation into oocytes. Mar. Environ. Res. 39, 165-168.
- Golemanski, V. (ed.) (2011). The Red Data Book of the Republic of Bulgaria Vol 2. Animals. Joint edition of the Bulgarian Academy of Sciences & Ministry of Environment and Water, Sofia.
- Handy, R. D. & Eddy, F. B. (1989). Surface absorption of aluminium by gill tissue & body mucus of rainbow trout (*Salmo gairdnerii*) at the onset of episodic exposure. J. Fish Biol. 34, 865-874.

- Has-Schön, E., Bogut, I. & Strelec, I. (2006). Heavy metal profile in five fish species included in human diet, domiciled in the end flow of River Neretva (Croatia). *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 50, 545-551.
- Hinch, S. G., Healey, M. C., Diewart, R. E., Thompson, K. A., Hourston, R., Henderson, M. A. & Juanes, F. (1995). Potential effects of climate change on marine growth and survival of Fraser River sockeye salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic and Aquatic Sciences* 52, 2651–2659.
- Hood, C. S. & Heins, D.C. (2000). Ontogeny and allometry of body shape in the blacktail shiner (*Cyprinella venusta*). *Copeia* 1, 270- 275.
- Hourston R. & Juanes F. (1996). Potential effects of climate change on marine.
- Hurley, K. L., Sheehan, R. J. & Heidinger, R. C. (2004). Accuracy and precision of age estimation for pallid sturgeon from pectoral fin rays. *N. Am. J. Fish. Manage.* 24, 715-718.
- Ivanov, L. & Beverton, R.,J.,H. (1985). Shad. Pp. 45- 126 in: *Studies and Reviews. The Fisheries Resources of the Mediterranean. Part Two: the Black Sea* 60,. FAO.
- Ivanov, L. & Kolarov, P. (1979). On the relations between the catches of the Danube shad (*Alosa kessleri pontica*) and the solar activity. *Soc. Inter. Limnol. XIX Jubiläumstagung Donauforschung, Bulg. Acad. Wiss.*, 389-395.
- Jangaard, P. M., Ackman, R. G. & Sipos, J. C. (1967). Seasonal studies of the fatty acid composition of cod liver, flesh, roe and milt lipids. *J. Fish Res. Bd. of Canada*, 24(2), 613-627.
- Janković, D. & Jovičić, M. (eds.) (1994). *The Danube in Yugoslavia - contamination, protection and exploitation*. Inst. Biol. Res. "Siniša Stanković" Belgrade, Inst. Dev. Wat. Res. "Jaroslav Černi" Belgrade, Commission of the European Communities Brussels, Fed. Min. Sci. Techn. Dev. Belgrade, Min. Sci. Techn. Rep. Serb. Belgrade, Fed. Min. Env. Prot. Belgrade, 220 pp
- Janković, D., Simić, V., Simić, S., Anđelković, D., Milovanović, Z. & Keckarević, P. (2000). Program unapređenja ribarstva na ribarskom području NP Đerdap za period od 2001- 2005 god. Beograd.
- Janković, D. & Krpo-Četković, J. (1995). Diverzitet slatkovodnih riba (*Osteichthyes*) i kolousta (*Cephalaspidomorpha*) Jugoslavije sa pregledom vrsta od

- međunarodnog značaja. Pp. 425- 469 in: Stevanović, V. & Vasić, V. (eds.): Biodiverzitet Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja. Biološki fakultet i Ecolibri.
- Jons, G. D. & Miranda, L. E. (1997). Ovarian weight as an index of fecundity, maturity, and spawning periodicity. *Journal of Fish Biology* 50, 150-156.
- Keskin, Y., Baskaya, R., Özyaral, O., Yurdun, T., Lüleci, N. E. & Hayran, O. (2007). Cadmium, lead, mercury and copper in fish from the Marmara Sea, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 78, 258- 261.
- Khaled, A. (2009). Trace metals in fish of economic interest from the west of Alexandria, Egypt. *Chem. Ecol.* 25, 229-246.
- Klingenberg, C. P., Barluenga, M. & Meyer, A. (2002). Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution* 56, 1909–1920.
- Klingenberg, C. P. (1996). Multivariate allometry. Pp. 23–50 in: Marcus, L. F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. J. P. & Slice, D. E. (eds.), *Advances in Morphometrics*. NATO ASI Series. Plenum Press, New York.
- Kolarov, P. (1985). Biological characteristics and population dynamics of anadromous fish species. PhD Thesis,. Institute for Fish Resources, Varna, 419 pp. (In Bulgarian)
- Kolarov, P. (1991). *Alosa pontica pontica* Eichwald. 1838. Pp. 338-387 in: H. Hoestland (ed.), *The Freshwater Fishes of Europe*, Clupeidae, Anguilidae. Aula-Verlag, Wiesbaden, Germany.
- Kosior, M., Barska, I. & Domagala-Wieloszewska, M. (2002). Heavy metals, Σ DDT and Σ PCB in the gonads of pikeperch females spawning in southern Baltic Sea lagoons. *Pol. J. Environ. Stud.* 11(2), 127-133.
- Kottelat, M. & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European Freshwater Fishes*. Publications Kottelat, Cornol, Switzerland, 646 pp.
- Freyhof, J. & Kottelat, M. (2008). *Alosa immaculata*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>.
- Kottelat, M. (1997). European freshwater fishes. *Biologia (Bratislava)* 52, Suppl. 5, 1-271.

- Kumar Singh, R., Chavan, S. L. & Sapkale, P. H. (2007). Heavy metal concentrations in water, sediments and body tissues of red worm (*Tubifex* spp.) collected from natural habitats in Mumbai, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 129, 471-481.
- LaBay, S. R. & Lauer, T. E. (2006). An evaluation of the accuracy of age estimation methods for southern Lake Michigan alewives. *Fish. Manage.* 26, 571-579.
- Lassalle, G., Beguer, M., Beaulaton, L. & Rochard, E. (2008). Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biol. Conserv.* 141, 1105-1118.
- Le Cren, E. D. (1951). The length-relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the Perch (*Perca fluviatilis*). *J. Anim. Ecol.* 20, 210-218.
- Leggett, W. C. (1973). The American shad (*Alosa sapidissima*), with special references to its migration and population dynamics in the Connecticut River. Pp. 169- 225 in: Merriman D. & Thorpe L.M. (eds.), *The Connecticut River Ecological Study: The Impact of a Nuclear Power Plant*. American Fisheries Society Monograph.
- Lenhardt, M. (1992). Seasonal changes in some blood chemistry parameters and in relative liver and gonad weights of pike (*Esox lucius* L.) from the River Danube. *J. Fish Biol.* 40, 709-718.
- Leonard, J. B. K. & McCormick, S.D. (1999). Changes in haematology during upstream migration in American shad. *J. Fish Biol.* 54, 1218-1230.
- Limburg, K. E. (2001). Through the gauntlet again: demographic restructuring of American shad by migration. *Ecology* 82(6), 1584-1596.
- Limburg, K. E., Elfman, M., Kristiansson, P., Malmkvist, K. & Pallon, J. (2003). New insights into fish ecology via nuclear microscopy of otoliths. Pp. 339-342 in: J. Duggan (ed.), *Proceedings of the Seventh International Conference on Applications of Accelerators in Research and Industry*. AIP Conference Proceedings 680.
- Lopez, M. A., Gazquez, N., Olmo-Vidal, J. M., Aprahamian, M. W. & Gisbert, E. (2007). The presence of anadromous twaite shad (*Alosa fallax*) in the Ebro River (western Mediterranean, Spain): an indicator of the population's recovery? *J. Appl. Ichthyol.* 23, 163-166.

- Loy, A., Busilacchi, S., Costa, C., Ludovic, F. & Cautaudella, S. (2000). Comparing geometric morphometrics and outline fitting methods to monitor fish shape variability of *Diplodus puntazzo* (Teleostea: Sparidae). *Aquacultural Engineering* 21, 271–283.
- Maceina, M. J. & Sammons, S. M. (2006). An evaluation of different structures to age freshwater fish from a northeastern US river. *Fish. Manage. Ecol.* 13, 237- 242.
- Maitland, P. S. (1986). Conservation of threatened freshwater fish in Europe. Report to the Council of Europe, Strasbourg, 76 pp.
- Maitland, P. S. & Lyle, A. A. (1991). Conservation of freshwater fish in the British Isles: The current status and biology of threatened species. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshwat. Ecosyst.* 1(1), 25-54.
- Mann, R. H. K. & Steinmetz, B. (1985). On the accuracy of age-determination using scales from rudd, *Scardinius erythrophthalmus* (L.), of known age. *J. Fish Biol.* 26, 621-628.
- Marcus, L. F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. J. P. & Slice, D. E. (1996). *Advances in Morphometrics*. NATO ASI Series, Plenum Press, New York, 587 pp.
- McBride, R. S., Hendricks, M. L. & Olney, J. E. (2005). Testing the validity of Cating's (1953) method for age determination of American shad using scales. *Fisheries* 30(10), 10-18.
- Meche, A, Martins, M. C., Lofrano, B. E. S. N., Hardway, C. J., Merchant, M. & Verdade, L. (2010). Determination of heavy metals by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry in fish from the Piracicaba River in Southern Brazil. *Microchem. J.* 94, 171-174.
- Mezhzherin, S. V. & Fedorenko, L. V. (2005). Genetic structure of the spawning population of Danube shad, *Alosa immaculata*, Eichwaldt 1838 (Clupeiformes, Alosiinae). *Cytology and Genetics* 39(5), 35-40.
- Navodaru, I. & Waldman, J. R. (2003). Shads of Eastern Europe from the Black Sea: review of species and fisheries. Pp. 69-76 in: Limburg K.E. & J. R. Waldman (Eds.), *Biodiversity and Conservation of Shads Worldwide*, American Fisheries Society Symposium 35.

- Navodaru, I. (1996). Exploitation of *Alosa pontica* in the Danube Delta, Romania. Pp. 448-453 in: I. G. Cowx (ed.), Stock Assessment in Inland Fisheries, Fishing New Books, Oxford.
- Navodaru, I. (1998). Pontic shad: a short review of the species and its fishery. Shad Journal 3(4), 3-5.
- Navodaru, I. (2001). Shads of Eastern Europe (ppt). Shad 2001: A Conference on the Status and Conservation of Shads Worldwide. Baltimore, Maryland USA. 20-23 May, 2001.
- Navodaru, I. (2001). Seaward drift of the Pontic shad larvae (*Alosa Immaculata*) and the influence of Danube River hydrology on their travel path through the Danube Delta system. Bull. Fr. Peche Piscic. 362/363, 749-760.
- Navodaru, I., Staras, M. & Cernisencu, I. (2001). The challenge of sustainable use of the Danube fisheries, Romania. Fisheries Manag. Ecol. 8, 323-332.
- Olojo, E. A. A., Olurin, K. B., Mbaka, G. & Oluwemimo, A. D. (2005). Histopathology of the gill and liver tissues of the African catfish *Clarias gariepinus* exposed to lead, Afr. J. Biotechnol. 4/1, 117-122.
- Pavlov, P. I. (1953). Biologhiceskaya i promislovaya karakteristika nerestovogo stada dunayskoi seldi. Pp. 118-174 in: Dunaiskaia selda i biologicheskie osnovi eio promisla. Akad. Nauk SSSR, Kiev.
- Ploetz, D. M., Fitts, B. E. & Rice, T. M. (2007). Differential accumulation of heavy metals in muscle and liver of a marine fish (king mackerel, *Scomberomorus cavalla* Cuvier) from the Northern Gulf of Mexico, USA. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 78, 124-127.
- Poleksić, V., Lenhardt, M., Jarić, I., Djordjević, D., Gačić, Z., Cvijanović, G. & Rašković, B. (2010). Liver, gills and skin histopathology and heavy metal content of the Danube starlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758). Environ. Toxicol. Chem., 29(3), 515-521.
- Power, G. R., Kong, P.A., Kelly C. J., McGrath, D., Mullins, E. & Gullaksen, O. (2006). Precision and bias in the age determination of blue whiting, *Micromesistius poutassou* (Risso, 1810), within and between age readers. Fish. Res. 80, 312-321.

- Pyle, G. G., Rajotte, J. W. & Couture, P. (2005). Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotox. Environ. Safe.* 61, 287-312.
- Quignard, J. P. & Douchement C. L. (1991). *Alosa fallax fallax* (Lacépède, 1803). Pp. 225-256 in: H. Hoestlandt (ed), *The Freshwater Fishes of Europe. Volume 2 Clupeidae and Anguillidae.* AULA-Verlag, Wiesbaden, Germany.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environ. Int.* 27, 27-33.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191, 382 pp.
- Rohlf, F.J. & Marcus, L.F. (1993). A revolution in morphometrics. *TREE* 8(4), 129–132.
- Rohlf, F. J. (2005). tpsDig, digitize landmarks and outlines, version 2,05. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Samsun, O. (1995). The weight-length relationship of the shads (*Alosa immaculata* Eichw., 1938) in the mid of the Turkish Black Sea. *E.U. Su Urunleri Dergisi* 12(1-2), 15-21.
- Shcherbak, M. M. (ed.) (1994). *Red Data Book of Ukraine. Animal Kingdom.* Ukrainian Encyclopedia, Kiev, 464 pp. (In Ukrainian).
- Schiffman, R. H. (1961). A perfusion study of the movement of strontium across the gills of rainbow trout (*Salmo gairdnerii*). *Biol. Bull.* 120, 110-117.
- Schmutz, S. (2006). Assessment of the potential transboundary effects of the construction of the Bystre Deep-Water Navigation Channel on fish and fisheries. Report to the ESPOO Inquiry Commission, Vienna, 56 pp.
- Secieru, D. & Secieru, A. (2002). Heavy metal enrichment of man-made origin of superficial sediment on the continental shelf of the north-western Black Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 54, 513- 526.
- Sheets, H. D. (2000). *Integrated Morphometrics Package (IMP).*
- Simonović, P. (2001). *Ribe Srbije.* NNK International, Beograd, 247 pp.

- Simonović, P., Hegediš, A., Marić, S. & Nikolić, V. (2003). Program unapređenja ribarstva na delu ribarskog područja "Dunav IV" od 1075 km do 1040 km i od 942 km do 845,5 km za period od 1. januara 2004. do 31. decembra 2007. godine. Biološki fakultet i JP „Srbija šume”, Beograd.
- Službeni glasnik RS br. 50/93 i 93/93. Uredba o zaštiti prirodnih retkosti.
- Službeni glasnik RS br. 125/2009. Naredba o ustanovljavanju lovostaja za pojedine vrste riba na ribarskom području ili na delovima ribarskog područja i o zabrani lova riba koje nemaju propisanu veličinu.
- Službeni glasnik RS br. 104/2009 i 49/2010. Naredba o merama za očuvanje i zaštitu ribljeg fonda.
- Službeni glasnik SRS br. 31/82. Pravilnik o opasnim materijama u vodi.
- Službeni glasnik SRS br. 5/68. Uredba o klasifikaciji voda.
- Storelli, M. M. & Marcotrigiano G. O. (2004). Interspecific variation in total arsenic body concentrations in elasmobranch fish from the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 48, 1145-1167.
- Storelli, M. M., Barone, G., Storelli, A. & Marcotrigiano, G. O. (2006). Trace metals in tissues of Mugilids (*Mugil auratus*, *Mugil capito*, and *Mugil labrosus*) from the Mediterranean Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 77, 43-50.
- Svetovidov, A. N. (1964). The fishes of the Black Sea. Akademiya Nauk SSSR, Nauka, Moskva, 550 pp.
- Taylor, E. B. & McPhail, J. D. (1985). Variation in body morphology among British Columbia Populations of Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42(12), 2020-2028.
- Teodorescu-Leonte, R., Popescu, L., Leonte, V., Munteanu, I., Cristea, A., & Cristea, E. (1957). Cateva date asupra reproducerii scrumbiei (*Caspialosa pontica* Eichw.) in Dunăre. *Bul. ICP* 16(1), 37-46.
- Tesch, F. W. (1971). Age and growth. Pp. 98–130 in: W. E. Ricker (ed), *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

- Topcuoglu, S., Kirbasoglu, C. & Gungor, N. (2007). Heavy metal in organisms and sediment from Turkish coast of the Black Sea, 1997- 1998. *Environ. Int.* 27, 521- 526.
- Turan, C. & Basusta, N. (2001). Comparison of morphometric characters of twaite shad (*Alosa fallax nilotica* Geoffroy Saint-Hilaire, 1808) among three areas in Turkish Seas. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 362/363, 1027-1035.
- Turan, C., Dural, M., Oksuz, A. & Ozturk, B. (2009). Levels of heavy metals in some commercial fish species captured from the Black Sea and Mediterranean coast of Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82, 601- 604.
- Uysal, K., Emre, Y., & Kose, E. (2008). The determination of heavy metals accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). *Microchem. J.* 90, 67-70.
- Vilizzi, L., Walker, K. F., Jain, T., McGlennon, D. & Tsymbal, V. (1998). Interpretability and precision of annulus counts for calcified structures in carp, *Cyprinus carpio* L. *Arch. Hydrobiol.* 143(1), 121-127.
- Višnjic-Jeftić, Ž., Lenhardt, M., Navodaru, I., Hegediš, A., Gačić, Z. & Nikčević, M. (2009). Reproducibility of age determination by scale and vertebra in Pontic shad (*Alosa pontica* Eichwald, 1838) from the Danube. *Arch. Biol. Sci.* 61, 337-342.
- Vuković, T. & Ivanović B. (1971). Slatkovodne ribe Jugoslavije. Zemaljski muzej BiH, Sarajevo, 268 pp.
- Waldman, J. R. (2003). Introduction to the shads. Pp. 85–102 in: Limburg, K. E., Waldman, J. R. (Eds.). *Biodiversity, Status, and Conservation of the World's Shads*. American Fisheries Society, Symposium 35, Maryland,.
- Whitehead, P. J. P. (1985). *FAO Species Catalogue*. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. *FAO Fish. Synop.* 125(7/1), 1-303.

- Williams, J. E. (2000). The coefficient of condition of fish. Pp 1-2 in: Schneider, J. C. (ed.), Manual of fisheries survey methods II, with periodic updates. Michigan Department of Natural Resources, Fisheries Special Report 25, Ann Arbor.
- Windsor, E. A., Kaitlyn, E. E., Kusenda, M. & Bell, A.M.(2008). Phenotypic variation and sexual dimorphism in anadromous threespine stickleback: implications for postglacial adaptive radiation. *Biological Journal of the Linnean Society* 95, 465–478.
- Woodward, D. F., Farag, A. M., Brumbaugh, W. G., Smith, C. & Bergman, H. L. (1995). Metals contaminated invertebrates in the Clark Fork river, Montana: effect on age brown trout and rainbow trout. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences* 52, 1994-2004.
- Wu, S. M., Jong, K. J. & Lee, Y. J. (2006). Relationships among metallothionein, cadmium accumulation, and cadmium tolerance in three species of fish. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 76, 595-600.
- Yankova, M., Pavlov, D., Raykov, V., Mihneva, V. & Radu, G. (2011). Length-weight relationships of ten fish species from the Bulgarian Black Sea waters. *Turkish Journal Zoology* 35(2), 265-270.
- Yilmaz, F., Ozdemir, N., Demirek, A. & Lement Tuna, A. (2007). Heavy metal levels in two species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibosus*. *Food Chem.* 100, 830-835.
- Yilmaz, S. & Polat, N. (2002). Age determination of shad (*Alosa pontica* Eichwald, 1838) inhabiting the Black Sea. *Turk. J. Zool.* 26, 393-398.
- Zar, J. H. (1984). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 718 pp.

Internet izvori:

http://content8.eol.org/content/2009/05/19/13/91624_large.jpg

http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Danubemap.png>

<http://www.icpdr.org>

<http://www.iucnredlist.org>

Biografija autora

Željka V. Višnjic-Jeftić rođena je 13.12.1978. godine u Subotici, R. Srbija. Srednješkolosko obrazovanje završila je školske 1997/98 god. u Subotici, a iste godine upisuje osnovne studije na Biološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, na smeru Ekologija i zaštita životne sredine. Diplomski rad na Biološkom fakultetu brani u decembru 2002. godine. U toku 2003. i 2004. godine dobija stipendiju Ministarstva nauke R. Srbije za poslediplomske studije, a od januara 2005. je zaposlena na Institutu za multidisciplinarna istraživanja u Beogradu, gde radi kao istraživač saradnik.

Školske 2007/08. godine upisuje doktorske studije na Biološkom fakultetu, Univerzitet u Beogradu na smeru Ekologija, biogeografija i zaštita biodiverziteta, modul Hidroekologija.

Do sada je bila učesnik na pet nacionalnih i tri međunarodna projekta. Autor je i koautor pet nacionalnih i sedam međunarodnih publikacija, i učesnik na jedanaest naučnih kongresa u zemlji i inostranstvu.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а: Жељка Вишњић-Јефтић

Број уписа: ДД 070106

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Еколошка и токсиколошка истраживања црноморске харинге (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) у Дунаву у Србији

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанта

У Београду, 20.04.2012. год.



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Жељка В. Вишњић-Јефтић

Број уписа: ДД 070106

Студијски програм: Екологија, биогеографија и заштита биодиверзитета

Наслов рада: Еколошка и токсиколошка истраживања црноморске харинге (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) у Дунаву у Србији.

Ментори : др Јасмина Крпо-Ћетковић и др Александар Хегедиш

Потписани: Жељка Вишњић-Јефтић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанта

У Београду, 20.04.2012. год.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Еколошка и токсиколошка истраживања црноморске харинге (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) у Дунаву у Србији

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

Потпис докторанта

У Београду, 20.04.2012. год.

