

Varijacije oblika ljustaka i otolita dviju populacija riba rijeke Sunje iz različitih staništa

Radečić, Jakov

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:919312>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**Varijacije oblika ljusta i otolita dviju populacija riba
rijeke Sunje iz različitih staništa**

DIPLOMSKI RAD

Jakov Radečić

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Ribarstvo i lovstvo

**Varijacije oblika ljusta i otolita dviju populacija riba
rijeke Sunje iz različitih staništa**

DIPLOMSKI RAD

Jakov Radečić

Mentor:

Prof.dr.sc. Marina Piria

Zagreb, rujan, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Jakov Radečić**, JMBAG 0178118620, rođen/a 09.07.1998. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

Varijacije oblika ljusaka i otolita dviju populacija riba rijeke Sunje iz različitih staništa

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Jakov Radečić**, JMBAG 0178118620, naslova

Varijacije oblika ljusaka i otolita dviju populacija riba rijeke Sunje iz različitih staništa

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|-----------------------------|--------|-------|
| 1. | Prof.dr.sc. Marina Piria | mentor | _____ |
| 2. | Prof.dr.sc. Tea Tomljanović | član | _____ |
| 3. | Dr.sc. Ivan Špelić | član | _____ |

Zahvala

Ovim putem se iskreno zahvaljujem za početak svojoj mentorici prof.dr.sc Marini Piria na nesebičnoj podijeli znanja, sveopćoj angažiranosti i na svojoj potrebnoj pomoći pri studiranju i izradi ovog diplomskog rada. Posebno na stvaranju ugodne radne atmosfere i ljudskosti.

Dalje, htio bih se zahvaliti dr.sc. Ivanu Špeliću na svojoj pružanoj pomoći pri uzorkovanju na rijeci Sunji, davanju savjeta i dijeljenju znanja pri izradi ovog rada i općenito tokom studiranja na ovom diplomskom studiju Ribarstva i lovstva.

Također, htio bih se posebno zahvaliti kolegi Matku Dražiću na svojoj pomoći pri uzimanju i prvobitnoj obradi uzoraka, također na svojoj ostaloj pomoći, inspiraciji i prijateljstvu.

Na kraju, htio bih se zahvaliti svim kolegama na fakultetu, prijateljima i prijateljicama, i najviše svojoj obitelji bez koje ništa od ovoga ne bi bilo.

Iako ovakve zahvale se nekada čine suhoparne i neiskrene, želim naglasiti da sve navedene osobe u zahvali stvarno od mene imaju vječnu zahvalnost i poštovanje.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj istraživanja i hipoteze	2
2. Materijali i metode.....	3
2.1. Područje istraživanja.....	3
2.2. Pribavljanje uzoraka	4
2.3. Obrada fotografija i podataka.....	4
3. Rezultati	9
4. Rasprava.....	16
5. Zaključci.....	19
6. Popis literature	20
7. Prilog	22
Životopis	24

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Jakov Radečić**, naslova

Varijacije oblika ljustaka i otolita dviju populacija riba rijeke Sunje iz različitih staništa

Ovim radom se istražuje utjecaj izgradnje hidroelektrane Klipić na rijeci Sunji na oblik otolita i ljustaka kod dviju vrsta riba: klena (*Squalius cephalus*) i sunčanice (*Lepomis gibbosus*). Cilj je utvrditi razlike u obliku otolita i ljustaka iznad i ispod brane te usporediti njihovu upotrebljivost u razlikovanju različitih populacija istraživanih vrsta riba. Istraživanje se temelji na metodama geometrijske morfometrije. Uzorkovanje je provedeno na tri lokacije rijeke Sunje: iznad brane (lokacije Staza i Mlin) i ispod brane (lokacija Klipić). Analize su pokazale značajne razlike u obliku ljustaka klena između lokacija Staza i Klipić, dok su kod sunčanica uočene razlike između lokacija Mlin i Klipić. Otoliti klena pokazali su značajne razlike između lokacija Staza i Klipić, dok razlike u otolitima sunčanica nisu bile značajne. Rezultati ukazuju na utjecaj brane na morfološke karakteristike riba i potvrđuju da otoliti i ljustke mogu biti korisni u proučavanju promjena u ribljim populacijama.

Ključne riječi: geometrijska morfometrija, otoliti, ljustke, *Squalius cephalus*, *Lepomis gibbosus*, rijeka

Summary

Of the master's thesis – student **Jakov Radečić**, entitled

Variations in the shape of scales and otoliths of two fish populations of the Sunja River from different habitats

This study examines the impact of the Klipić hydroelectric power plant, built in the Sunja River, on the shape of otoliths and scales in two fish species: the chub (*Squalius cephalus*) and the pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*). The aim is to identify differences in otolith and scale shapes between fish populations above and below the dam and to compare their effectiveness in distinguishing these populations. The geometric morphometric methods were used to test this aim. Sampling was conducted at three locations along the Sunja River: above the dam (Staza and Mlin) and below the dam (Klipić). The analyses revealed significant differences in chub scale shape between Staza and Klipić locations, while pumpkinseed scales differed significantly between Mlin and Klipić. Chub otoliths showed significant differences between Staza and Klipić, whereas differences in pumpkinseed otoliths were not significant. The results indicate the dam's impact on fish morphological characteristics and confirm that otoliths and scales can be useful for studying changes in fish populations.

Keywords: geometric morphometric, otoliths, scales, *Squalius cephalus*, *Lepomis gibbosus*, river

1. Uvod

Izgradnjom brana i pregrada prekida se cjelovitost rijeka, što direktno onemogućuje longitudinalne migracije riba (Mrakovčić i sur. 2006). Uz očitu umjetnu zapreku na rijeci, postoji i niz kompleksnih promjena koje su posljedica izgradnje brana. Sama tekućica postaje nalik stajaćici iznad brane, a ispod se događaju veće fluktuacije u vodostaju i temperaturi vode. Mijenjaju se fizikalno-kemijske značajke vode poput temperature, količine otopljenog kisika, trofije, hidrološkog režima i protoka. Takve promjene utječu na floru i faunu vodenog ekosustava, npr. rijeke koje su nekad bile „pastrvske“ gube reofilne vrste ribe te ih zamjenjuju limnofilne, pogotovo kada se one i dodatno unesu (Mrakovčić i sur. 2006).

Takvi izmijenjeni uvjeti okoliša utječu na ihtiopopulacije na način da dolazi do promjena u prehrani, na vrijeme mrijesta ili primjerice mogu utjecati na asimetriju tijela, rast otolita i ljustaka (Planchet i sur. 2023a; 2023b).

U determinaciji različitih populacija, odnosno riba koje su rasle u različitom staništu, mogu se koristiti otoliti i ljustke. Otoliti su strukture koje se nalaze u unutarnjem dijelu uha riba koštunjača, sačinjene većinski od kalcijevog karbonata i ostalih elemenata u tragovima (Rodriguez 2006). Ribama služe za bolju percepciju ubrzanja i orijentacije te za sluh i držanje balansa (Chollet-Villalpando i sur. 2019). Zbog konstantnog rasta tijekom života riba i nemogućnosti ponovne resorpcije materijala, otoliti se mogu koristiti za vrlo preciznu procjenu starosti (Rodriguez 2006). Zbog svojeg specifičnog oblika za skoro svaku vrstu ribe, otoliti mogu poslužiti u taksonomiji (Sweeting i sur. 2004), a i razlici oblika među jedinkama iste vrste u determinaciji populacija riba koje su živjele u drugačijem staništu i/ili imaju različiti genetski materijal (Planchet i sur. 2023b).

Riblja ljustka zbog svojeg karakterističnog rasta, također može poslužiti za procjenu dobi jedinke kao i za određivanje vrsta. Dosadašnja istraživanja pokazuju i mogućnost razlikovanja različitih populacija istih vrsta riba pomoću oblika ljustke upotrebom metode geometrijske morfometrije (Ibanez i sur. 2007, Ibanez i sur 2017, Reis Vasconcelos i sur. 2018). Moguću prednost u razlikovanju različitih populacija pomoću ljustaka, očituje se u tome što je uzimanje ljustaka kao uzorka jeftinije, uzorci se mogu brzo pribaviti, te nije smrtonosno za ribe.

Metodom geometrijske morfometrije u razlikovanju populacija riba pomoću ljustaka i otolita omogućuje se bolje razumijevanje između utjecaja genetike i raznih okolišnih varijabli. Pomoću geometrijske morfometrije moguće je otkriti suptilne razlike u oblicima koje bi inače bile gotovo nemoguće uočljive vizualnim pregledom ili drugim metodama. Također, rezultati se lako vizualiziraju što omogućava interpretaciju razlika među populacijama. To posljedično može unaprijediti razumijevanje i upravljanje ribljim stokom.

1.1. Cilj istraživanja i hipoteze

Glavni cilj ovog istraživanja je utvrditi postoje li razlike u obliku otolita i ljustaka dviju populacija riba, iznad i ispod hidroelektrane Klipić na rijeci Sunji, koristeći metodu geometrijske morfometrije. Također, cilj je utvrditi postoji li jednaka mogućnost razlikovanja populacija pomoću otolita i ljustaka između dvije vrste riba koje žive u istim izoliranim staništima, te hoće li te dvije vrste riba (klen i sunčanica) pokazivati jednake promjene oblika otolita i ljustaka.

Hipoteze su sljedeće:

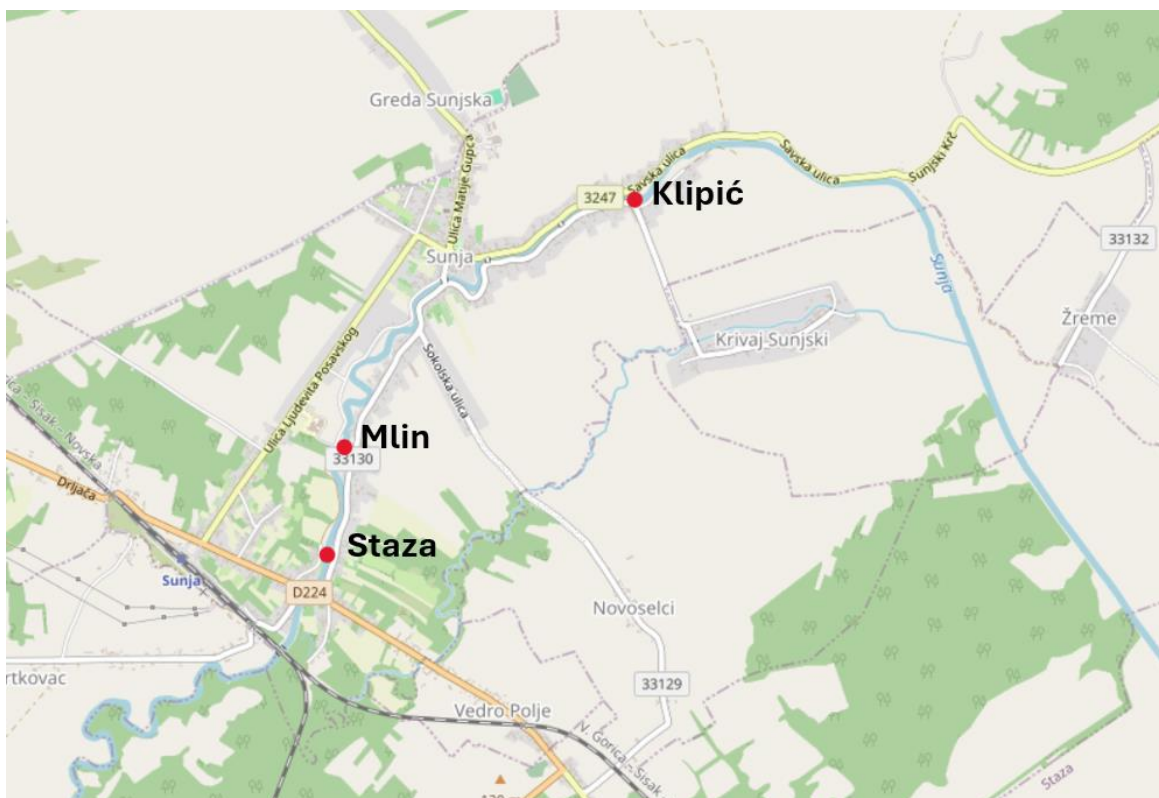
1. Oblici ljustaka i otolita značajno će se razlikovati u dvjema populacijama riba ispod i iznad brane zbog promijenjenog staništa i nemogućnosti migracija
2. Pomoću otolita i ljustaka moći će se razlikovati dvije populacije istih vrsta
3. Dvije vrste riba koje žive u istim izoliranim staništima će imati jednako značajne razlike u obliku otolita i ljustaka

2. Materijali i metode

2.1. Područje istraživanja

Rijeka Sunja nalazi se u centralnom dijelu Hrvatske, dugačka je 69 km te se ulijeva u rijeku Savu i samim time pripada crnomorskom slijevu. Na rijeci Sunji, u mjestu Sunja, 2014. godine počela je izgradnja male hidroelektrane (HE Klipić) na lokaciji gdje je već postojala pregrada koja je služila kao mlin. Godine 2016. završena je izgradnja HE te je onemogućena migracija riba u oba smjera, dok je ranije, prema navodima lokalnog stanovništva, pri visokim vodostajima ona bila moguća. Pri izgradnji HE nisu postavljene riblje staze niti postoji protok koji omogućava neometano kretanje riba. HE Klipić posljednja je brana na rijeci Sunji neposredno prije ušća s rijekom Savom. U svom uzvodnom dijelu na rijeci Sunji iznad HE Klipić postoji još nekoliko pregrada koje su u prošlosti bile izgrađene za potrebe mlinica. Na lokaciji brane (Kozarićev mlin, kasnije Mlin u tekstu), prvoj uzvodno od HE Klipić, planirana je izgradnja još jedne male hidroelektrane, za koju već postoji elaborat procjene utjecaja na okoliš (Šoltić i sur. 2019).

Za uzorkovanje su odabrane tri lokacije na rijeci Sunji, od kojih su dvije uzvodno i jedna nizvodno od HE Klipić. Lokacije Staza (ST) i Mlin (ML) nalaze se uzvodno od HE, a treća lokacija Klipić (KL) nizvodno od HE (Slika 1.). Odabrane su dvije lokacije iznad HE Klipić zbog toga što se tijekom visokog vodostaja ribe tih dviju lokacija miješaju, pogotovo u nizvodnom smjeru. Također, kako bi lokacija ML mogla služiti i kao neka vrsta kontrole konačnih rezultata. Uzorkovanje je provedeno u dužini od 100 metara nizvodno krećući od svih brana na već navedenim lokacijama (3).



Slika 1. Karta Sunje sa označenim lokacijama uzorkovanja

2.2. Pribavljanje uzoraka

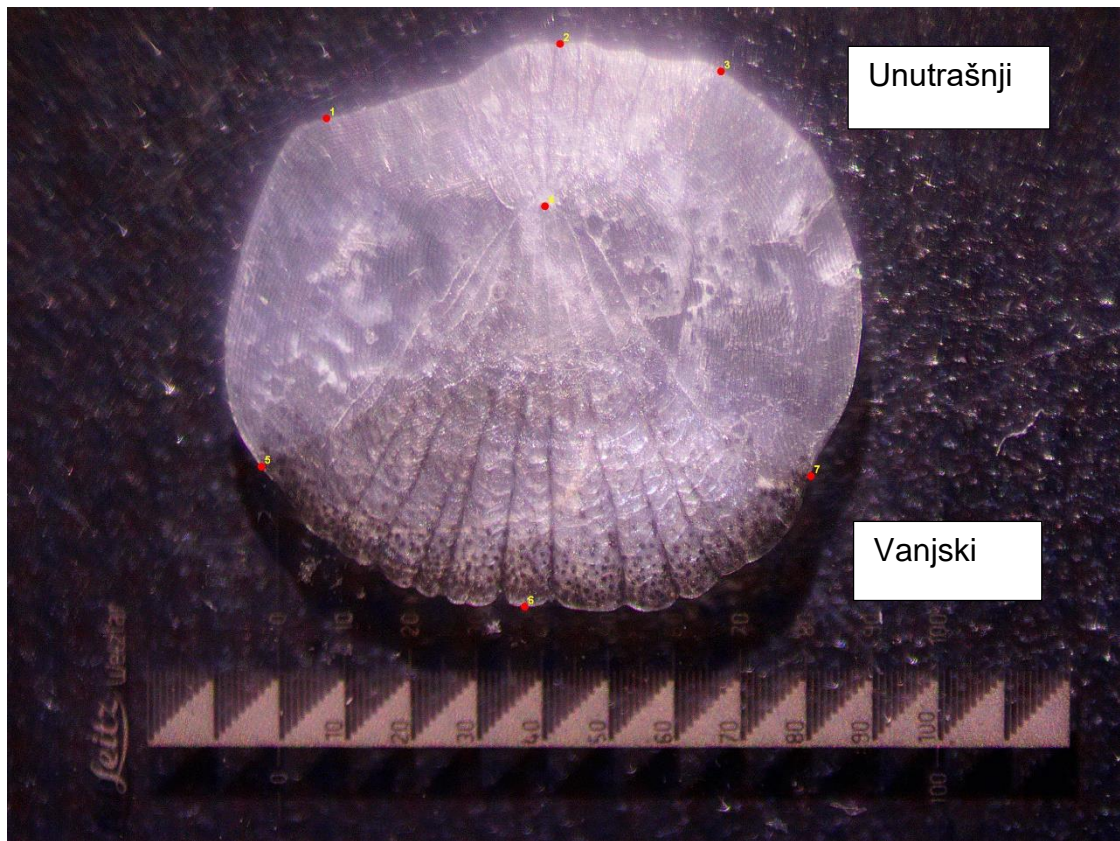
Vrste riba koje su se koristile u istraživanju odabrane su nakon prvog uzorkovanja i inventarizacije ihitiofaune kako bi broj jedinki svake vrste bio dovoljan za provedbu istraživanja. Ustanovljena je najveća brojnost i biomasa klena (*Squalius cephalus*) i sunčanice (*Lepomis gibbosus*) koje su odabrane za daljnje analize. Klen je nativna vrsta koja je široko rasprostranjena, omnivorna je i euritopna vrsta, te spada u šaranke (Cypriniformes) (Mert i sur. 2006). Sunčanica je u Hrvatskoj strana i invazivna vrsta, te, iako se navodi kao omnivor, generalno se hrani kao predator, limnofilna je vrsta u Europi, te pripada redu grgečki (Perciformes) (Mihinjač i sur. 2019).

Samo uzorkovanje, odnosno pribavljanje uzoraka, provodilo se tijekom ožujka i travnja 2024. godine pomoću elektroribolova metodom iz Treer i Piria (2019) u dužini 100 metara od završetka brana, te sportsko ribolovnim metodama. Za elektroribolov korišten je stacionarni agregat Hans Grassel GmbH snage 5 kW. Odabrane jedinke klena i sunčanica eutanizirane su, stavljene u vrećice sa oznakom lokacije i datumom uzorkovanja te zamrznute u zamrzivač na -16°C. U laboratoriju Zavoda za ribarstvo, pčelarstvo, lovstvo i specijalnu zoologiju na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, jedinke su donesene te im je izmjerena pripadajuća masa (g), totalna i standardna dužina (cm). Sa istog dijela tijela riba uzeti su uzorci ljusaka (od prilike 3. red iznad bočne pruge, između kraja škržnog poklopca i početka leđne peraje) koji su stavljani u označene kivete s poklopcem napunjene etilnim alkoholom. Uz to, izvađeni su i otoliti koji su također pohranjeni zajedno sa ljuskama u iste kivete (lijevi otolit sa lijevim ljuskama i obrnuto). Svaka jedinka dobila je svoju šifru uz koju se mogu saznati osnovni podaci o lokaciji uzorkovanja i veličini jedinke.

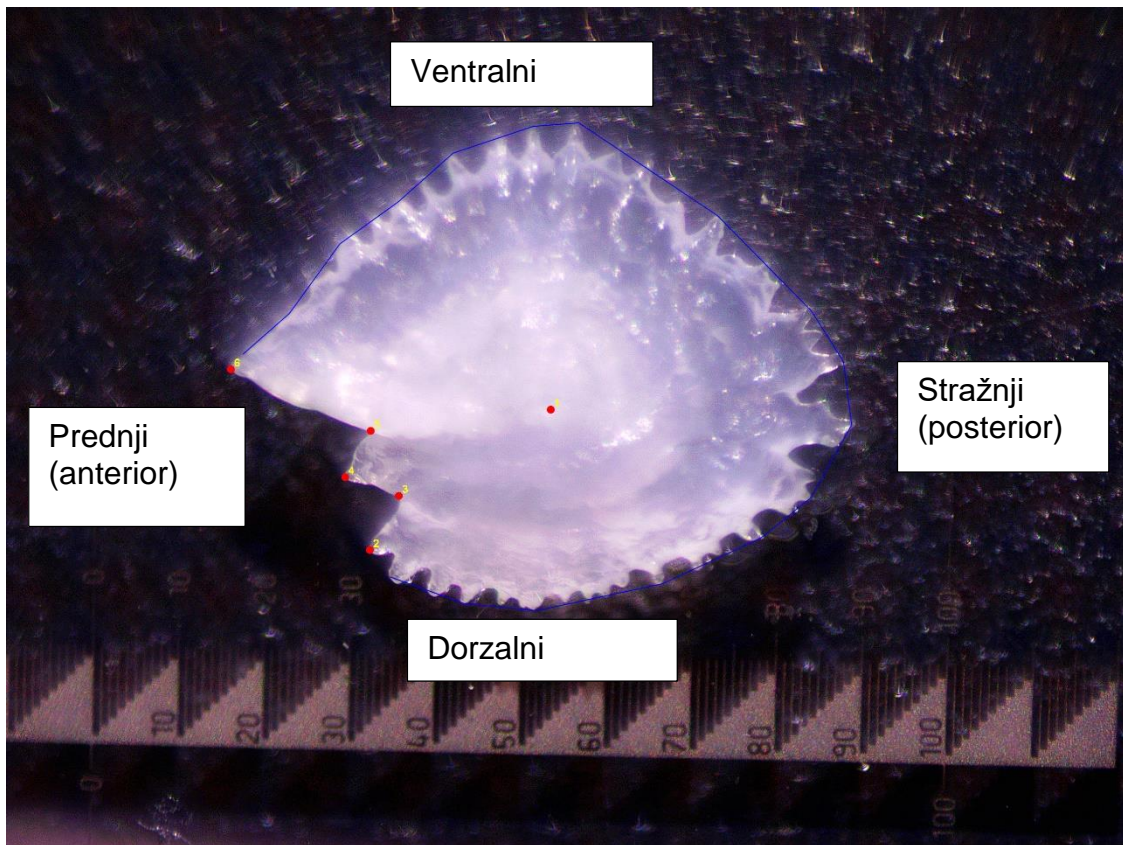
Za potrebe istraživanja odabrani su otoliti i ljuske sa lijeve strane jedinki. Uzorci ljusaka i otolita pregledani su pod stereo mikroskopom/lupom (model BTC STM-8, sa maksimalnim uvećanjem 45x), položeni su na unutarnju stranu prema dolje na stakalce sa vidljivom mjernom skalom. Fotografije ljusaka i otolita izrađene su digitalnom kamerom (Toupcam UCMOS05100KPA) koja je montirana na mikroskop, uz pomoć odgovarajućeg softvera (ToupView 4.11, ToupTek, Zhejiang, Kina).

2.3. Obrada fotografija i podataka

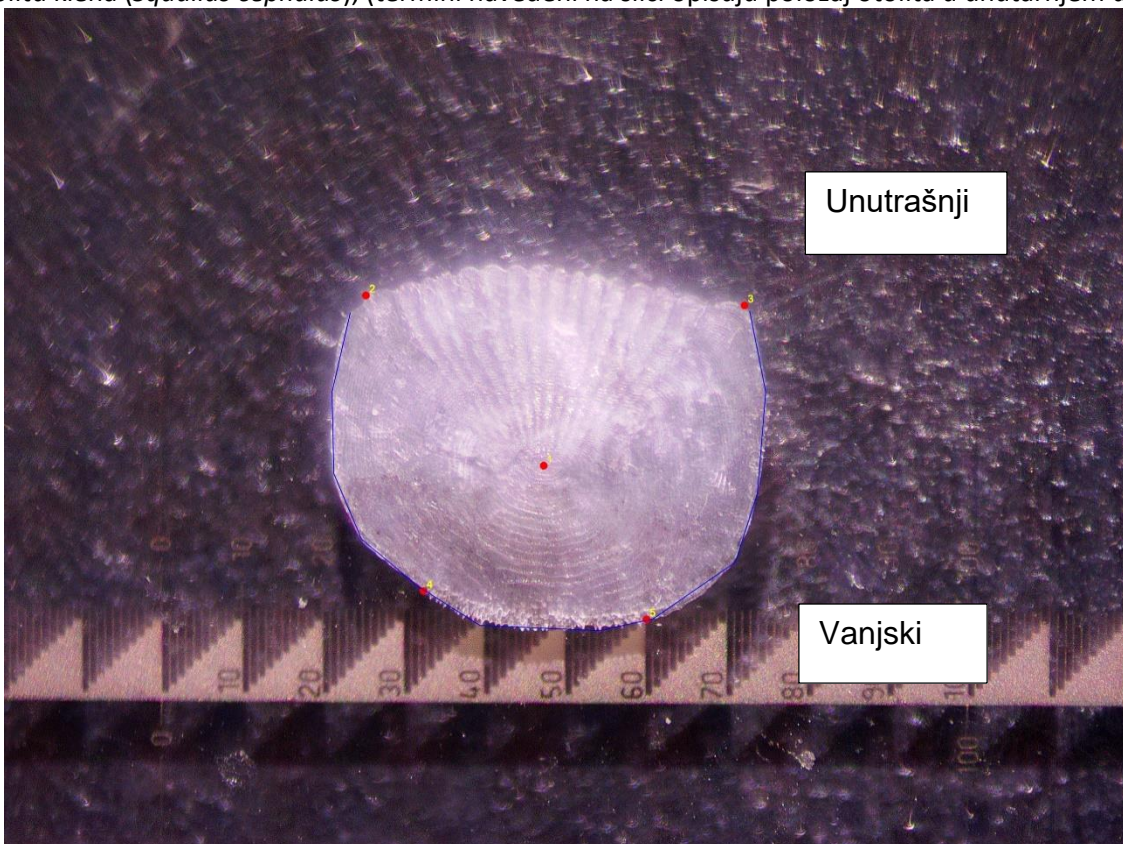
Za daljnju obradu fotografija korišten je softver TpsUtil32 (verzija 1.83) kako bi se izradila početna *tps* datoteka. Te datoteke prebačene su u softver TpsDig2 (verzija 2.32) u kojem se na svakoj fotografiji odredila udaljenost (1mm) na vidljivoj skali. Na fotografijama ljusaka i otolita određene su homologne točke i/ili krivulje koje bi najbolje opisivale oblik. Na ljuskama klena označilo se 7 homolognih točaka (slika 2.), a na otolitima 6 homolognih točaka i 17 točaka krivulje (slika 3.). Na ljuskama sunčanica označavalo 5 homolognih točaka i 12 točaka krivulje (slika 4.), a na otolitima 31 točka krivulje (slika 5.).



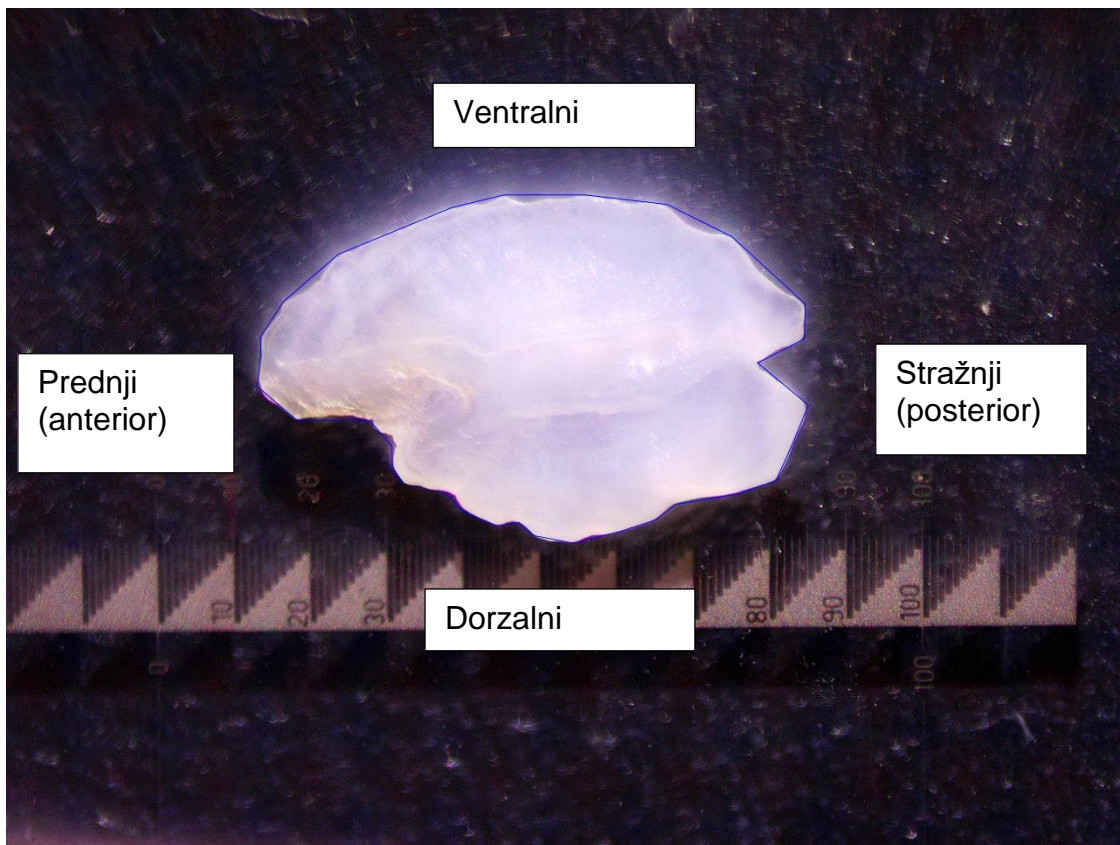
Slika 2. Sedam označenih homolognih točaka na ljuskama klena (*Squalius cephalus*), (termin *unutrašnji* se odnosi na dio ljuske koja prodire u kožu ribe, a termin *vanjski* se odnosi na dio ljuske koju se nalazi izvan kože ribe)



Slika 3. Šest označenih homolognih točaka i krivulja temeljem sedamnaest pomoćnih točaka na otolitu klena (*Squalius cephalus*), (termini navedeni na slici opisuju položaj otolita u unutarnjem uhu)



Slika 4. Pet homolognih točaka i krivulja temeljem trinaest pomoćnih točaka na ljuskama sunčanice (*Lepomis gibbosus*) (termin *unutrašnji* se odnosi na dio ljuske koja prodire u kožu ribe, a termin *vanjski* se odnosi na dio ljuske koju se nalazi izvan kože ribe)



Slika 5. Krivulja izvedena temeljem trideset i jedne pomoćne točke na otolitima sunčanice (*Lepomis gibbosus*) (termini navedeni na slici opisuju položaj otolita u unutarnjem uhu)

Nakon određivanja homolognih točaka i točaka krivulje, formirana je konačna *tps* datoteka. Nakon unosa podataka (konačne *tps* datoteke) u MorphoJ (verzija 1.08.02) ponajprije su pregledana velika odstupanja u daljini točaka (engl. *outliers*), te su uzorci sa značajnim odstupanjima od prosjeka isključeni iz daljnje analize. Kako na rezultate ne bi utjecala rotacija uzoraka, translacija i različita veličina fotografije (odnosno udaljenost fotoaparata od uzorka zbog fokusa) provedena je generalna *Procrustes* analiza (GPA) u MorphoJ softveru (Planchet i sur. 2023b, Klingenberg, 2011) za standardizaciju dobivenih podataka. Permutacijski testovi *procrustes* udaljenosti i T-kvadratne statistike korišteni su putem *procrustes* ANOVA analize za testiranje nulte hipoteze jednakih grupa u MorphoJ softveru (Planchet i sur. 2023a). *Procrustes* ANOVA je aplicirana na podacima oblika ljusaka i otolita različitih grupa (podjela grupa prema lokacijama) za svaki tip uzorka (ljuske/otoliti za svaku vrstu u grupama). Alometrijska varijacija oblika isključena je u MorphoJ softveru regresijom varijabli oblika na centralnu veličinu. Rezultatom regresijske analize, dobiveni su podaci (engl. *residuals*) koji su korišteni za stvaranje kovarijance matriksa (Planchet i sur. 2023b).

Varijacija oblika dobivenih podataka regresijske analize analizirana je putem metode glavnih komponenti (PCA). Zatim je razlika u obliku različitih uzoraka analizirana kanoničkom varijantnom analizom (CVA), dok je diskriminacijska funkcijska analiza (DFA) korištena za

unakrsnu validaciju i procjenu pouzdanosti i točnosti podataka (Planchet i sur. 2023b). CVA analiza korisna je u vizualizaciji i u osnovnom razumijevanju razlika među uspoređujućim grupama, dok je DFA analiza bitna u razvijanju modela za klasifikaciju i procjenu točnosti razlikovanja grupa. CVA analiza koristi *Procrustes* udaljenost za usporedbu oblika, dok DFA koristi T-square udaljenost i funkcije diskriminacije. Korištenjem obje analize omogućuje se usporedba i evaluacija međusobnih rezultata, ako obje analize daju slične rezultate, povećava se uvjerenje u stabilnost i pouzdanost rezultata (Zelditch i sur. 2012). Rezultati su nakon toga vizualizirani grafički, korištenjem deformacijskih rešetki.

3. Rezultati

Pri inventarizaciji ihtiofaune, na lokaciji ML zabilježeno je 12 vrsta riba, na lokaciji KL 19 vrsta riba, te na lokaciji ST 13 vrsta riba (Prilog 1). Rezultati su pokazali da se sastav ihtiofaune među lokacijama razlikuje, pa je tako na lokaciji KL zabilježen manjić (*Lota lota*), rijetka i ugrožena vrsta, dok na ostalim lokacijama ta vrsta nije zabilježena. Također, na lokacijama ST i ML zamijećen je šaran (*Cyprinus carpio*) koji se poribljava od strane lokalne ribolovne udruge „Bjelka“ u dijelu lokacije ST. Na lokaciji ST uočene su i brojne jединke paklare (*Lampetra* sp.). Uz odabrane vrste za istraživanje (klen i sunčanica), na svim lokacijama uočene su i brojne jединke gavčice (*Rhodeus amarus*) i uklije (*Alburnus alburnus*).

U istraživanju je korišteno ukupno 64 jединke klena, od kojih je 12 bilo sa lokacije ML, 13 sa KL i 41 sa ST. Korišteno je 28 jединki sunčanica, od kojih je 10 sa lokacije ML, 12 sa KL i 6 sa ST. Valja naglasiti da ukupan broj jединki varira u analizi otolita i ljustaka zbog nemogućnosti upotrebe npr. otolita koji su oštećeni. Također, uzorci koji su pokazivali ekstremnu razliku u obliku (*outliers*) tijekom početne obrade podataka su isključeni iz statističke analize. U prosjeku, najveće jединke klena su uhvaćene na lokaciji Klipić (KL), a sunčanice na lokaciji Staza (ST) (Tablica 1).

Tablica 1. Prikaz lokacija (ML-Mlin; KL- Klipić; ST-Staza) i vrsta jединki korištenih u istraživanju, njihov broj (n), prosječna totalna dužina (TL) izražena u cm, minimalna (min) i maksimalna (max) dužina

Vrsta i lokacija	Broj (n)	Prosjek TL	TL min	TL max
Klen ML	12	18,17	12	27,5
Klen KL	13	20,61	11,8	42
Klen ST	41	17,22	9,9	24,6
Sunčanica ML	10	7,71	6,4	8,7
Sunčanica KL	12	10,3	7,7	12,8
Sunčanica ST	6	11	8,4	13,2

U tablici 2. prikazani su rezultati CVA i DFA analiza provedenih u MorphoJ softveru. Kod klena postoji značajna razlika ($p < 0,05$) u obliku ljustaka samo između lokacija ST i KL., dok se oblik ljustaka kod sunčanice značajno razlikovao između lokacija ML-KL ($p = 0,026$) i ML-ST ($p = 0,002$).

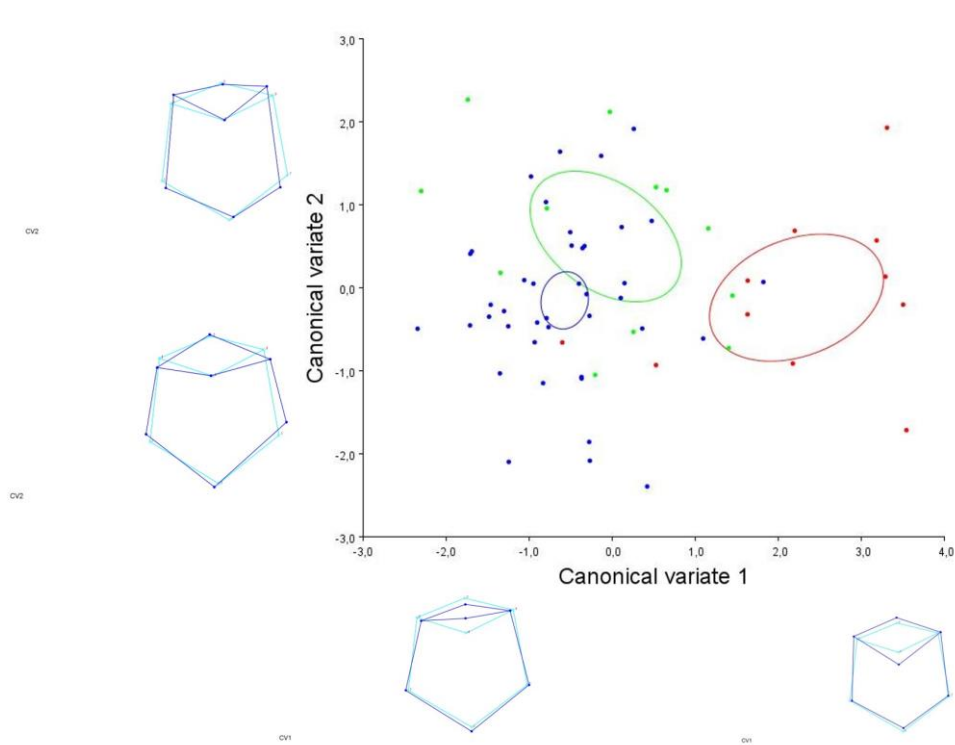
Usporedbom oblika otolita klena između lokacija ML-KL i ML-ST, pokazala se značajna razlika samo kod CVA analize, međutim, temeljem DFA provjere upotrebom unakrsnog testa razlika nije bila značajna ($p < 0,01$). Iako CVA analiza između lokacija ST-KL nije pokazivala značajne razlike oblika otolita u klena, značajne razlike su uočene temeljem DFA testa ($p = 0,002$). Kod otolita sunčanica niti u jednoj grupi nije postojala značajna razlika u testovima i njihovim p-vrijednostima (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz rezultata statističkih analiza provedenih u MorphoJ softveru (ML-lokacija Mlin; KL-lokacija Klipiće; ST-lokacija Staza; Lj-ljuske; Ot-otoliti; SUN-sunčanice; CVA-kanoička varijant analiza (*Canonical variate analysis*); DFA-diskriminacijska funkcijska analiza (*Discrimination function analysis*), (podebljane p vrijednosti označavaju statistički značajnu razliku)

Grupe	CVA		DFA				
	Procrustes udaljenosti unutar grupa	Permutation, P-vrijednost	Procrustes udaljenost	Permutation p-vrijednost za Procrustes udaljenost	T-square	T-square,P-vrijednost	DFA unakrsna validacija
Klen, ML-KL, Lj	0,0659	0,0079	0,06588540	0,0060	22,5017	0,3310	6/11 (54,5%) 6/12 (50,0%)
Klen, ML-ST, Lj	0,0296	0,5007	0,02956835	0,5060	9,1111	0,6790	8/12 (66,6%) 22/41 (53,7%)
Klen, ST-KL, Lj	0,0773	0,0001	0,07728531	0,0010	79,4584	<0,0001	9/11 (81,8%) 36/41 (87,8%)
SUN, ML-KL, Lj	0,0653	0,0510	0,06528526	0,0470	367,1958	0,0260	9/12 (75%) 10/10 (100%)
SUN, ML-ST, Lj	0,0845	0,0539	0,08454285	0,0580	446,4646	0,0020	6/10 (60%) 4/6 (66,7%)
SUN, ST-KL, Lj	0,0594	0,3962	0,05943547	0,3710	80,6710	0,1380	9/12 (75%) 3/6 (50%)
Klen, ML-KL, Ot	0,0820	0,0079	0,08196236	0,0070	51,0301	0,2240	8/13 (61,5%) 6/11 (54,5%)
Klen, ML-ST, Ot	0,0559	0,0312	0,05590494	0,0250	804,9559	0,3300	7/11 (63,6%) 19/36 (53,8%)
Klen, ST-KL, Ot	0,0500	0,0767	0,04999727	0,0790	5216,1264	0,0020	12/13 (92,3%) 29/36 (80,6%)

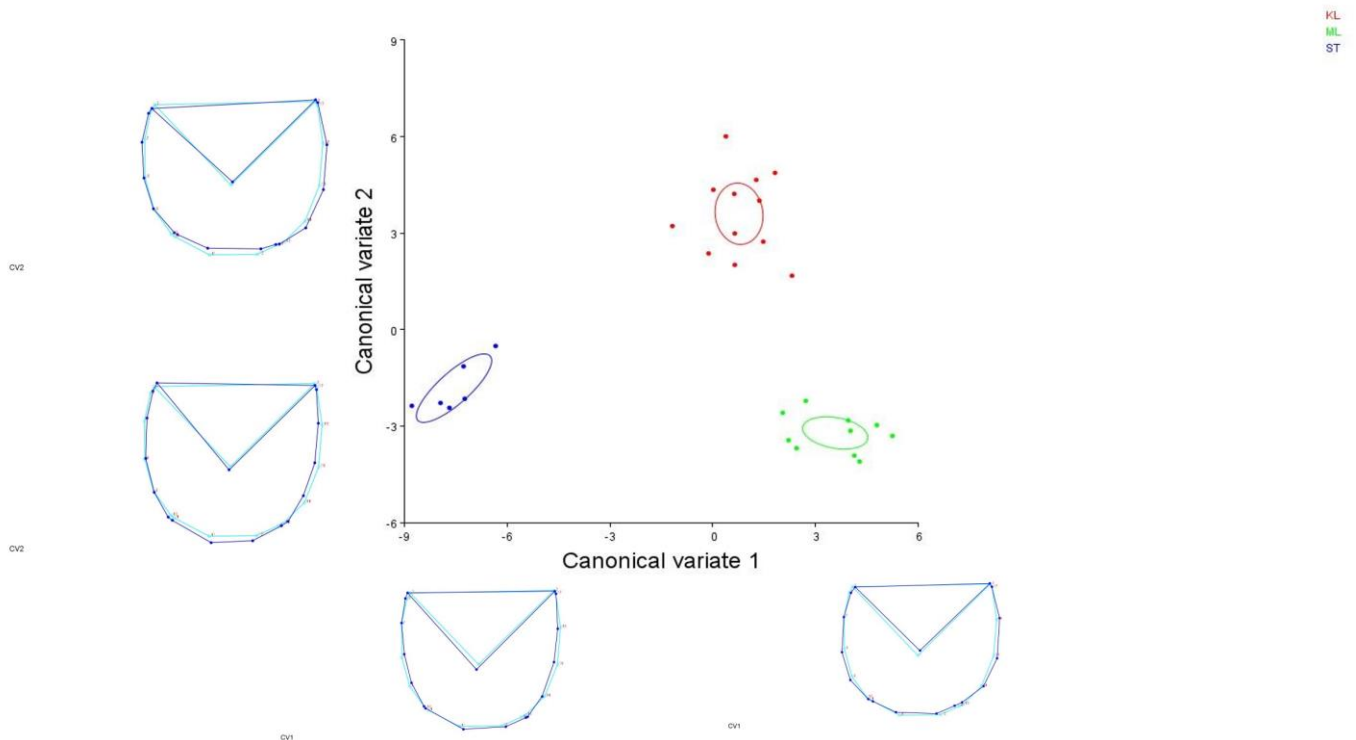
Sun, ML-KL, Ot	0,0423	0,6653	0,04225276	0,6640	16,0796	0,5060	8/12 (66,7%) 5/7 (71,5%)
Sun, ML-ST, Ot	0,0570	0,5032	0,05702366	0,5130	4,0721	0,7690	4/7 (57,1%) 4/6 (66,7%)
Sun, ST-KL, Ot	0,0571	0,2882	0,05708587	0,3000	15,8448	0,2220	8/12 (66,7%) 5/6 (83,3%)

Grafičkom vizualizacijom CVA analize veličina unutrašnjeg dijela ljske klena varira s obzirom na dubinu kojom prodire u kožu ribe (Slika 2 i 6). Tako onim jednkama ulovljenim na lokaciji KL ljske čvršće i dublje prianjaju uz tijelo. Također, na istoj lokaciji oblik vanjskog dijela ljske je pravilniji i izduženiji, dok je na ostale dvije lokacije romboidan i širi se od baze unutrašnjeg dijela prema vanjskom (Slika 6).



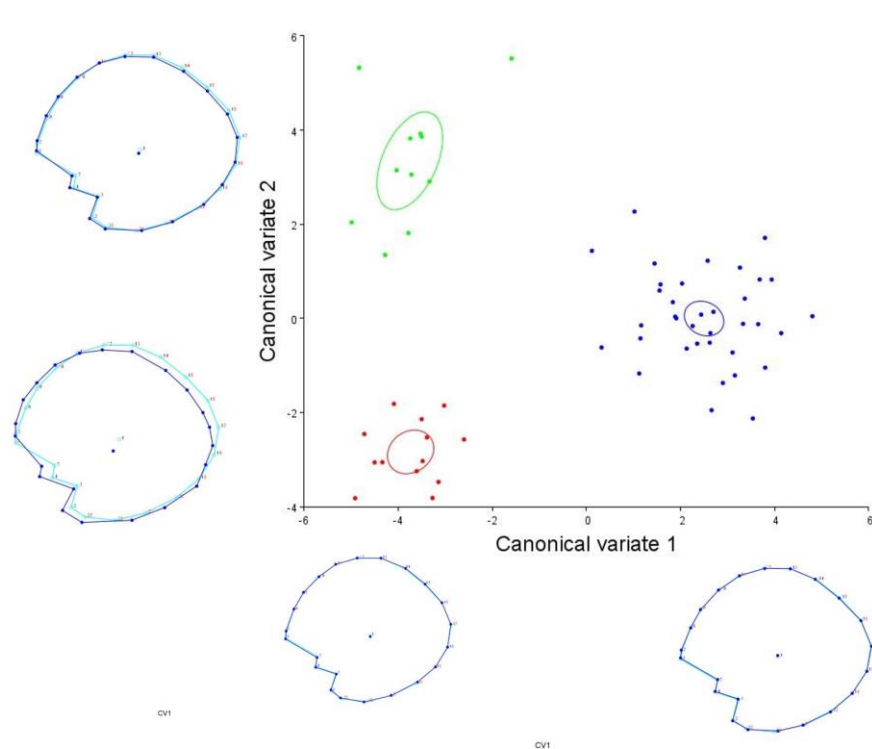
Slika 6. Prikaz vizualizacije rezultata CVA analize na grafu (crveno KL, zeleno ML, plavo ST) i razlike u obliku ljsaka klena pomoću deformacijskih rešetki (CV1 i CV2, ekstremi 3 i -3)

Vizualizacijom ljustaka sunčanica mogu se uočiti gotovo nezamjetne razlike u vanjskom dijelu ljuste čak i sa povećanim ekstremima (6 i -6). Razlike su u nepravilnijoj poziciji središta ljuste, odnosno kraja dijela koji se nalazi u koži ribe (Slika 7).



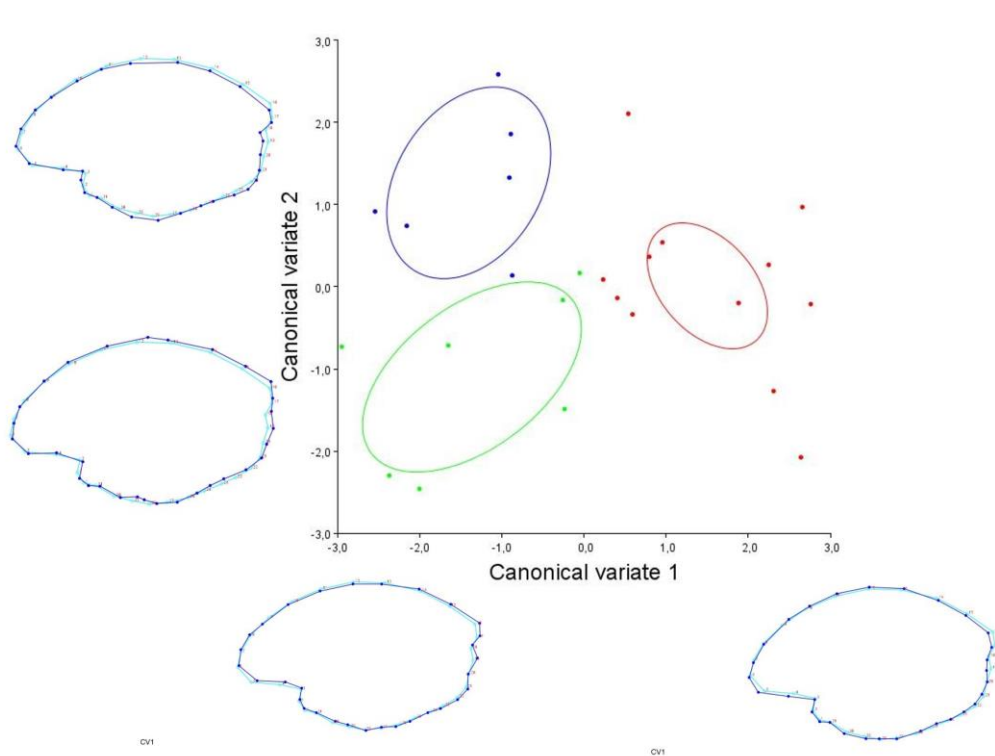
Slika 7. Prikaz vizualizacije rezultata CVA analize na grafu (crveno KL, zeleno ML, plavo ST) i razlike u obliku ljustaka sunčanice pomoću deformacijskih rešetki (CV1 i CV2, ekstremi 6 i -6)

Vizualizacijom CVA prva kanonička ordinata (CV 1) pokazuje samo manja odstupana prednjeg dijela otolita klena, dok je na drugoj ordinati (CV 2) taj detalj uočljiviji. Jedinke sa lokacije KL imaju značajno manji prednji dio otolita nego jedinke sa drugih lokacija, a posebice se razlikuje od jedinki sa lokacije ST (Slika 8).



Slika 8. Prikaz vizualizacije rezultata CVA analize na grafu (crveno KL, zeleno ML, plavo ST) i razlike u obliku otolita klena pomoću deformacijskih rešetki (CV1 i CV2, ekstremi 3 i -3)

Vizualizacijom otolita sunčanica vidljiva su neznatna odstupanja oblika stražnjeg dijela na prvoj i drugoj ordinati kod jedinki sa ML i ST lokacija, ali te razlike nisu statistički značajne (Tablica 2; Slika 9).



Slika 9. Prikaz vizualizacije rezultata CVA analize na grafu (crveno KL, zeleno ML, plavo ST) i razlike u obliku otolita sunčanice pomoću deformacijskih rešetki (CV1 i CV2, ekstremi 3 i -3)

4. Rasprava

Ovim je istraživanjem utvrđeno da je moguće razlikovati populacije klena iz različitih staništa pomoću ljustaka i otolita, dok su kod sunčanice te razlike manje značajne i razlikovanje nije u potpunosti moguće.

Kod ljustaka klena uočena je značajna razlika u obliku ljustaka između populacija sa lokacija ST-KL u svim p-vrijednostima. Ipak, kod usporedbe lokacije ML, koja je služila kao i jedna vrsta kontrole, značajna razlika sa jedinkama lokacije KL postojala je temeljem CVA analize ali je odbačena konačnim DFA testom koji nije pokazivao značajnu razliku. To se može pripisati manjem broju analiziranih jedinki za usporedbu. Ipak, ovi rezultati upućuju da su populacije klena na lokacijama ML i ST u odnosu na lokaciju KL nakon 8 godina izoliranosti razvile neke specifičnosti u obliku ljustaka. Naime, jedinke klena vjerojatno vrše migracije samo nizvodno u rijeku Savu, a ne mogu se miješati sa populacijama uzvodno u rijeci Sunji iznad brane (lokacija ML), kao ni s najudaljenijima na lokaciji ST. Jedinke koje obitavaju na ML i ST u rijeci Sunji vjerojatno se međusobno miješaju (prilikom visokog vodostaja) te su stoga razlike u oblicima otolita manje značajne.

U istraživanju Ibanez i sur. 2007, utvrđeno je da su središnje homologne točke na ljustakama cipla (u ovom istraživanju kod klena su to točke 1,4,6) bile najznačajnije u razlikovanju populacija. Slična varijabilnost i značajnost primijećena je i u ovom istraživanju, gdje je kod ljustaka klena najvarijabilnija točka je bila ona u sredini, odnosno najznačajnija razlika postoji u dijelu ljustake koji se nalazi unutar kože ribe. Takve razlike u obliku odnosno fenotipu ljustaka mogu nastati kao prilagodba ribe na različite uvjete življenja, specifično gledajući hidrodinamiku i prilagodbu u plivanju (Ibanez i sur. 2007), što opet dovodi u vezu razliku oblika ljustaka jedinki sa lokacije KL koje obitavaju u tekućici u odnosu na one sa ST i ML koje obitavaju u uvjetima stajaće vode iznad brane. Odnosno, čvršće i dublje prijanjanje ljustaka na jedinkama sa lokacije KL kao i njihov izduženiji oblik upućuje da su te značajke vjerojatno važne za jedinke klena koje obitavaju u tekućicama što može biti opća ekološka prilagodba za uvjete povećanog protoka i omogućiti ribi učinkovitije smanjenje otpora vode i kretanje u jakim strujama (Bánó i sur. 2024). Slabije i pliće prijanjanje ljustake na tijelu klena te šira ljustaka u bazalnom dijelu je moguća adaptacija na stajaće vode kao što je to primijećeno kod limnofilnih vrsta (Bánó i sur. 2024). Slijedom toga, ovi rezultati potvrđuju hipotezu Ibanez i sur. (2007) i Ibanez i sur. (2017) kako razlike u obliku ljustaka vjerojatno dolaze iz kompleksnih utjecaja genetike i okoliša u kojem se riba nalazi.

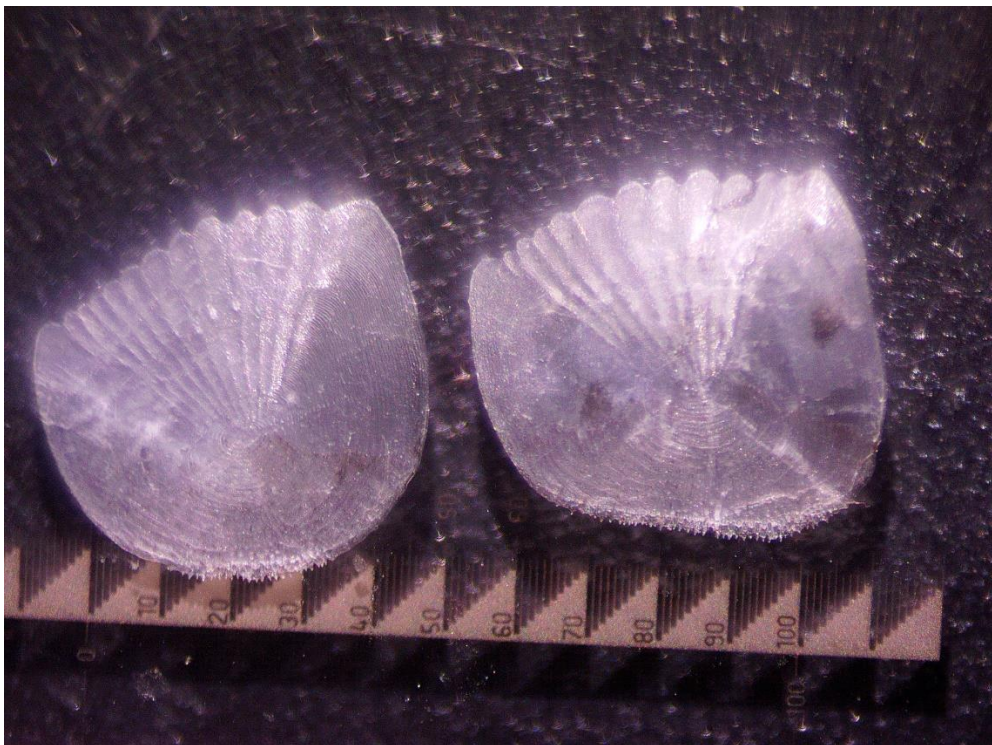
Kod analize podataka oblika otolita klena uočeni su vrlo slični rezultati čime je potvrđena hipoteza da će analiza oblika ljustaka i otolita pokazivati istu ili sličnu diferencijaciju populacija s obzirom na okoliš u kojem se nalaze.

Kod ljustaka sunčanice statistički značajna razlika ($p = 0,002$) uočena je pri usporedbi jedinki između lokacija ML-ST, dok je kod usporedbe jedinki između lokacija ML-KL bila uočena slaba statistički značajna razlika ($p > 0,01$ i $p < 0,05$). Razlike između jedinki sa lokacija ST-KL nisu

uočene. Ovakvi rezultati bi se mogli objasniti sa relativno manjem brojem uzoraka, kraćem životnom vijeku vrste, te također i potencijalno većom prilagodljivošću vrste na stanište (Vila-Gispert i sur. 2015). Osim toga, manjak značajne razlike u obliku ljusaka sunčanice moguće je objasniti i manjkom migracije sunčanica u Europi (Froese i Pouly, 2024), pa je vjerojatno da se one i na lokaciji KL, koja je povezana sa rijekom Savom, ne kreću na veće udaljenosti, kao što je to slučaj kod klena.

Uz to, navodi se u radovima Planchet i sur. 2023b i Ibanez i sur. 2007 kako je potencijalnu ulogu na rezultate imala činjenica da se uzorkovanje na različitim lokacijama odvijalo u razmaku negdje čak većom od 10 godina, što bi moglo pridonijeti većim razlikama u okolišu te jače utjecati na fenotip riba, nego što je to bilo u ovom istraživanju.

Prilikom fotografiranja i pregleda ljusaka sunčanica u laboratoriju, valja naglasiti, kako je uočena vidljiva razlika oblika ljusaka sunčanica na istoj jedinki (slika 6.), čak i kada su ljuške lijegale jedna na drugoj (u istome redu). Iako su za istraživanje korištene ljuške koje se nisu vidljivo razlikovale od ostalih ljusaka na toj jedinki, moguće da korištenje oblika ljusaka pri razlikovanju između populacija te vrste nije relevantno. Osim toga, ljuške sa jedinke mogu otpasti (pri ozljedi ili nekim drugim razlogom) te će na istome mjestu narasti nova ljuška koja se neće moći međusobno uspoređivati sa onima koje se izvorno razvile.



Slika 6. Ljuške sunčanice koje su lijegale jedna na drugoj

Razlike u obliku otolita među populacijama klena i sunčanice najuočljivije su bile u prednjem dijelu (anterior) kod klena, odnosno u stražnjem dijelu (posterior) kod sunčanice, ali te razlike nisu bile statistički značajne, moguće zbog toga što korištene jedinke nisu bile istih

veličina (Tablica 1.) s obzirom da se oblik otolita mijenja tijekom razvoja riba (Bounket i sur. 2019). Idealno je da se koriste jedinke približno iste veličine, što se u ovom istraživanju maksimalno pokušalo poštovati isključenjem uzoraka koji su bili različiti. Bez obzira što MorphoJ otklanja utjecaj veličine i položaja fotografiranih uzoraka, to ipak ne treba smatrati apsolutnim rješenjem (Reis Vasconcelos i sur. 2018), a posebice nije moguće programski ukloniti različitost oblika čvrstih struktura uzrokovanim rastom, kao što je to slučaj sa otolitima u riba.

Daljnji mogući nedostaci ovog istraživanja su manjak broja uzoraka na pojedinim lokacijama, poglavito kod sunčanice. Također, treba uzeti u obzir kako odabir uzimanih ljustaka za obradu nije bilo vrlo koncizno, te se za buduće istraživanje preporuča uzimanje iste ljustake (isti red, isti broj ljustake, npr. 3 red 5. ljustaka po redu od glave) kako bi rezultati bili vjerodostojniji, jer kod reofilnih vrsta i onih koje se nalaze u vodi sa jačim strujanjima, ljustake mogu biti izduženije idući od glave ribe prema repu, a kada se radi o limnofilnim vrstama ljustake mogu biti izduženije idući od dorzalnog dijela tijela prema ventralnom (Bánó i sur. 2024). Također, ako na istoj jedinki ljustaka vidno izgleda drugačije oblikom, ili izgleda kao novonastala ljustaka, tu jedinku je poželjno isključiti iz daljnje obrade.

Iako ovo istraživanje, kao i prijašnja istraživanja (Ibanez i sur. 2017) pokazuju rezultate koji mogu ukazivati na to da ljustake pružaju detaljniji uvid u adaptacije na promjene u okolišu, koje u konačnici omogućavaju bolje razlikovanje populacije riba u različitim staništima, ljustake dolaze sa nizom već navedenih potencijalnih ograničenja i mogućnosti pogrešno tumačenih rezultata. Otoliti su potencijalno bolji u ovakvome tipu istraživanja, zbog svoje odvojenosti od vanjskih uvjeta okoline (u smislu oštećenja i prevelike varijacije), ali za uporabu otolita potrebno je eutanizirati ribu, dok kod uporabe ljustaka to nije potrebno (Planchet i sur. 2023b). Nadalje, ne treba isključiti mogućnost neadekvatno određenih homolognih točaka u početnom dijelu obrade uzoraka, s obzirom da nije bilo referentne literature za usporedbu i validaciju određivanja homolognih točaka za provedbu analize geometrijske morfometrije otolita ili ljustaka klena kao niti sunčanice.

Konačno, treba uzeti u obzir da vrijeme potpune odvojenosti ovih populacija nakon izgradnje HE Klipić nije bila veća od 8 godina. Iako se već nakon tako kratkog vremena vide razlike, neka duža izoliranost bi mogla pokazati još veću različitost u obliku ljustaka i otolita genetikom i/ili okolišnim uvjetima. Ne treba isključiti niti mogućnost da jedinke klena ili sunčanice mogu prenijeti ribiči, iako zakonski okviri lokalnog ribičkog društva i postojeći zakonski okvir takav prijenos ne smatraju legalnim.

Nadalje, ovo istraživanje bazira se na dvodimenzionalnom načinu obrade oblika. Takav tip pristupa odgovara ljustakama kod kojih je bitno da su položene na istu stranu te nisu izvinute (ravno liježu na stakalcu pri fotografiranju). Međutim, otoliti bi svoju varijabilnost potencijalno više pokazivali u trodimenzionalnom pristupu. Takav način snimanja bio bi kompleksniji, skuplji i rezultati bi bili teže interpretirani, ali mogli bi preciznije prikazati i najmanje razlike oblika otolita kod riba.

5. Zaključci

Ovo istraživanje pokazuje da pregrade izgrađene na rijekama kao što je hidroelektrana Klipić imaju značajan utjecaj na ihtiofaunu.

Statističke analize provedene u istraživanju pokazuju rezultate značajnih razlika u obliku ljusaka klena između lokacija ST i KL.

Ljuske klena sa lokacije KL prikazuju čvršće prijanjanje uz tijelo ribe i izduženiji oblik, dok su ljuske sa ST i ML bile šire i više romboidne.

Analizom oblika otolita klena pokazale su se značajne razlike između lokacija ST i KL.

Kod sunčanice rezultati analiza oblika ljusaka pokazale su slabe značajne razlike između lokacija ML i KL, dok oblici otolita nisu pokazivali značajne razlike između lokacija.

Ovakvi rezultati mogući su zbog niske varijabilnosti u morfologiji sunčanica i činjenice da sunčanice, kao invazivna vrsta, nisu toliko osjetljive na promjene u okolišu kao što su native vrste poput klena.

Temeljem postavljene hipoteze može se zaključiti sljedeće:

1. Razlike između populacija ispod i iznad brane zbog promijenjenog staništa i nemogućnosti migracija su značajno različite kod klena, ali generalno nisu kod sunčanice. Stoga je hipoteza djelomično potvrđena

2. Razlike u obliku ljusaka i otolita su uočene kod klena, ali ne i kod sunčanica. To sugerira da metode geometrijske morfometrije mogu biti korisne za razlikovanje populacija kod samo određenih vrsta, te je hipoteza djelomično potvrđena.

3. Kod klena su utvrđene slične značajne razlike između otolita i ljusaka iz izolirane lokacije (KL) u odnosu na jedinke iz neizoliranih lokacija (ML i ST). Kod sunčanica oblik ljusaka i otolita kod populacija sa izolirane lokacije nisu imali slične značajne razlike od jedinki uzorkovanih u neizoliranim mjestima. Stoga se ova hipoteza odbacuje.

U konačnici, istraživanje je pokazalo da se geometrijska morfometrija ljusaka i otolita može koristiti za razlikovanje populacija riba u promijenjenim okolišnim uvjetima, posebno kod nativnih vrsta kao što je klen. U budućim istraživanjima potrebno je uključiti veći broj uzoraka kako bi se poboljšala preciznost analiza. Također, istraživanje bi moglo obuhvatiti dugoročnije studije i više ribljih vrsta kako bi se razumjeli dugoročni utjecaji hidroelektrana na riblji ekosustav.

6. Popis literature

1. Bánó, B., Bolotovskiy, A., Levin, B., Mattox, G. M. T., Cetra, M., Czeglédi, I., Takács, P. (2024). Scale morphology is a promising, additional tool for exploring the taxonomy and ecology of freshwater fishes. *Fish and Fisheries*, 25, 569–588. <https://doi.org/10.1111/faf.12826>
2. Bounket B, Gibert P, Gennotte V, et al. Otolith shape analysis and daily increment validation during ontogeny of larval and juvenile European chub *Squalius cephalus*. *J Fish Biol.* 2019; 95: 444–452. <https://doi.org/10.1111/jfb.13976>
3. Chollet-Villalpando, J. G., García-Rodríguez, F. J., De Luna, E., De La Cruz-Agüero, J. (2019). Geometric morphometrics for the analysis of character variation in size and shape of the sulcus acusticus of sagittae otolith in species of Gerreidae (Teleostei: Perciformes). *Marine Biodiversity*, 49, 2323-2332.
4. Froese, R. i D. Pauly. Editors. 2024. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2024).
5. Ibañez, A. L., Cowx, I. G., O'Higgins, P. (2007). Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64(8), 1091-1100.
6. Ibáñez, A. L., Hernández-Fraga, K., Alvarez-Hernández, S. (2017). Discrimination analysis of phenotypic stocks comparing fish otolith and scale shapes. *Fisheries research*, 185, 6-13.
7. Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.
8. Mert, R., Bulut, S., Solak, K. (2006). Some biological properties of the *Squalius cephalus* (L., 1758) population inhabiting Apa Dam Lake in Konya (Turkey). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 1-12.
9. Mihinjač, T., Sučić, I., Špelić, I., Vucić, M., Ješovnik, A. (2019). Strane vrste slatkovodnih riba u Hrvatskoj.
10. Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta, M., Mustafić, P., Zanella, D. (2006). Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske.
11. Planchet, V., Špelić, I., Piria, M. (2023a). Fluctuating asymmetry in morphological characters of the invasive round goby *Neogobius melanostomus* populations from different habitats of the Sava River basin, Croatia. *Croatian Journal of Fisheries*, 81(4), 0-0.
12. Planchet, V., Špelić, I., Piria, M. (2023b): Variations in otolith and scale shape of the invasive round goby *Neogobius melanostomus* populations from different habitats of the Sava River basin, Croatia. *Croatian Journal of Fisheries*, 81, 93-101. DOI: 10.2478/cjf-2023-0011.

13. Reis Vasconcelos, J. P., Vieira, A. R., Sequeira, V., González, J. A., Kaufmann, M., Gordo, L. S. (2018). Identifying populations of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the Northeast Atlantic by using geometric morphometrics and otolith shape analysis. *Fishery Bulletin*.
14. Rodríguez Mendoza, R. P. (2006). Otoliths and their applications in fishery science. *Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo*, 64(3), 89-102.
15. Sweeting, R. M., Beamish, R. J., Neville, C. M. (2004). Crystalline otoliths in teleosts: Comparisons between hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in the Strait of Georgia. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 361-369.
16. Šoltić, I., Huljak, K., Zorić, Z., Kraljić, T., Đurasek, N. (2019). Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš rekonstrukcija postojeće mlinice na području Općine Sunja u malu hidroelektranu https://mingo.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA-ZA-PROCIJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/14_02_2019_Elaborat_MHE_Sunja.pdf (Pristupljeno 2.7.2024.)
17. Treer, T., Piria, M. (2019). Osnove primijenjene ihtiologije. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, pp 145.
18. Vila-Gispert, A., Fox, M. G., Zamora, L., Moreno-Amich, R. (2007). Morphological variation in pumpkinseed *Lepomis gibbosus* introduced into Iberian lakes and reservoirs; adaptations to habitat type and diet. *Journal of Fish Biology*, 71(1), 163-181.
19. Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, H. D. (2012). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. academic press.

7. Prilog

Prilog 1. tablica prikaza inventarizacije ihtiofaune na odabranim lokacijama rijeke Sunje (vrste riba sa oznakom * ulovljene su u drugom krugu pribavljanja uzoraka pomoću elektroribolova, stavljene su u tablicu kako bi bolje bio prikazan sastav ihtiofaune, n/d = nije dostupan podatak o masi), u ovu tablicu nisu uključene jedinke koje su ulovljene sportsko ribolovnim tehnikama

Lokacija: Mlin (ML)		
Vrsta ribe	Broj jedinki (n)	Ukupna masa (gram)
1.Bezribica	23	159
2.Dvopruga uklija	2	4
3.Gavčica	52	192
4.Klen	15	154
5.Krkuša	51	250
6.Mrena	2	28
7.Plotica	2	27
8.Sunčanica	11	211
9.Šaran	6	528
10.Uklija	50	365
11.Bjelka*	3	4,2
12.Veliki vijun*	2	4,52

Lokacija: Klipić (KL)		
Vrsta ribe	Broj jedinki (n)	Ukupna masa (gram)
1.Gavčica	7	35
2.Grgeč	4	85
3.Jez	1	34
4.Klen	21	2183
5.Krkuša	2	11
6.Manjić	3	990
7.Glavočić okrugljak	7	70
8.Nosara	3	15
9.Plotica	3	82
10.Podust	3	86
11.Sunčanica	10	110
12.Štuka	1	330
13.Uklija	24	184
14.Bodorka	28	196
15.Crni somić*	1	n/d
16.Bezribica*	3	n/d
17.Dvopruga uklija*	2	n/d
18.Piškora*	1	n/d
19.Romanogobia sp.*	1	n/d

Lokacija: Staza (ST)		
Vrsta ribe	Broj jedinki (n)	Ukupna masa (gram)
1.Veliki vijun	2	8
2.Gavčica	24	92,5
3.Klen	25	1899
4.Krkuša	19	61
5.Mrena	2	2
6.Plotica	1	14
7.Sunčanica	2	118
8.Šaran	1	90
9.Uklja	39	147
10.Bezribica*	1	n/d
11.Dvopruga uklja*	1	n/d
12.Grgeč*	1	n/d
13.Paklara*	3	n/d

Životopis

Jakov Radečić rodio se u Zagrebu 09.07.1998.

Završio je osnovnu školu Stenjevec, te nakon toga srednju Veterinarsku školu u Zagrebu 2017. godine. Završetkom srednje škole stekao je strukovnu kvalifikaciju veterinarskog tehničara.

2022. godine završava prijediplomski studij Animalne znanosti na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, te time steče titulu Sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer animalnih znanosti (univ. bacc. ing. agr.). Tu titulu stiže nakon obrane završnog rada sa temom „Utjecaj unosa šarana (*Cyprinus carpio*) na zavičajne zajednice mediteranskih slatkovodnih ekosustava“. Nakon toga, 2022. godine upisuje diplomski studij Ribarstvo i lovstvo na istome fakultetu.

Potvrdno od Centra Inovativne Edukacije poznaje engleski jezik na B2 razini u govoru i pismu.

Član je Hrvatskog športskog ribolovnog saveza i aktivno se bavi rekreativnim ribolovom.