

# Usporedba starosti i rasta nadzemne i podzemne populacije kapelske svijetlice (*Telestes karsticus*) (*Leuciscidae, Actinopteri*)

---

Popović, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:696421>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Karlo Popović

**Usporedba starosti i rasta nadzemne i  
podzemne populacije kapelske svijetlice  
(*Telestes karsticus*) (Leuciscidae, Actinopteri)**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Karlo Popović

**Age and growth comparison of surface and  
subterranean population of karst dace  
(*Telestes karsticus*) (Leuciscidae, Actinopteri)**

Master thesis

Zagreb, 2021.

Ovaj rad je izrađen na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod voditeljstvom doc. dr. sc. Zorana Marčića. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Zoranu Marčiću na svim izvorima i informacijama, na vremenu koje je izdvojio za moja pitanja i najviše na konstantnom raspolaganju.

Zahvaljujem se izv. prof. dr.sc. Zrinki Ljubešić što mi je omogućila i uputila me prilikom rada na mikroskopu Axiovert 200.

Zahvaljujem se dr. sc. Svenu Horvatiću na pomoći pri obradi podataka, na priručnicima za statističku obradu i na spašavanju rezultata nakon što mi se pokvario USB stick s rezultatima.

Zahvaljujem se svojim srednjoškolskim nastavnicima prof. Pongrac, prof. Horvatinu, prof. Krstancu i prof. Šašiću na savjetima i pomoć u struci kroz studiranje te za pomoć pri prijevodu pojedinih dijelova rada.

Zahvaljujem se Nataši na pomoći pri printanju i izradi korica diplomskog rada.

Zahvaljujem se ekipi s faksa... Smodek, Grudičeku, Drmić, Vidović i ostalima što nisu dozvolili da mi bude dosadno na faksu i što su uvijek imali spremne savjete koji su mi olakšali savladavanje gradiva.

Isto tako se zahvaljujem svojoj obitelji... mami Nikolini, tati Saši, sestri Katji, bratu Ivanu (bakama, tetama itd.) na trenucima kada nije bila potpuna buka te sam imao uvjete za rad. ☺  
Isto tako im se zahvaljujem na svim kompromisima koje su napravili u ovih 5 godina kako bi mi olakšali studiranje.

Na kraju bih se još volio zahvaliti svojoj djevojci Luciji na konstantnoj moralnoj podršci, kompromisima i svim onim izjavama „Ja ne znam kak ti to sve možeš.“ i „Još malo pa si gotov.“ koje su me u teškim trenucima spriječili da odustanem. ☺

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Usporedba starosti i rasta nadzemne i podzemne populacije kapelske svjetlice (*Telestes karsticus*) (Leuciscidae, Actinopteri)

Karlo Popović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Kapelska svjetlica (*Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011) je nedavno otkrivena vrsta ribe Dunavskog slijeva te se može naći na svega nekoliko lokaliteta na području Velike i Male Kapele. Zabilježeno je da ova vrsta migrira u podzemlje u hladnijem dijelu godine (studeni-ožujak) te je cilj ovog diplomskog rada usporediti starost i rast podzemne populacije iz ponora Sušik s nadzemnom populacijom iz potoka Sušik. Starost i rast uspoređeni su analizom broja godišnjih skleritnih prstena ljustica, udaljenosti između godišnjih prstena te analizom radijusa cijele ljustice. Iz tih podataka je napravljen povratni izračun te je određena von Bertalanffyjeva krivulja rasta. Od pet starosnih razreda, najviše jedinki kod obje populacije spadaju u starosni razred 3<sup>+</sup>. Prosječna standardna tjelesna duljina nadzemne populacije je 96,57 mm i kod podzemne populacije 106,07 mm. Koeficijent rasta određen iz von Bertalanffyjeve krivulje za jedinke nadzemne populacije iznosi 0,907, a za jedinke podzemne populacije 0,848. Asimptotska duljina određena iz von Bertalanffyjeve krivulje za jedinke nadzemne populacije iznosi 123,51 mm, a za jedinke podzemne populacije 144,12 mm. Zaključak je da jedinke podzemne populacije sporije rastu, no dostižu veće tjelesne duljine.

(40 stranica, 26 slika, 8 tablica, 22 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: ljustice, potok Sušik, ponor Sušik, duljina tijela, krivulja rasta, koeficijent rasta  
Voditelj: Doc. dr. sc. Zoran Marčić

Ocjenitelji:

Doc. dr. sc. Zoran Marčić

Doc. dr. sc. Mirela Sertić-Perić

Izv. prof. dr. sc. Vesna Petrović Peroković

Rad prihvaćen: 25. studenog 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology  
Thesis

Master

### **Age and growth comparison of surface and subterranean population of karst dace (*Telestes karsticus*) (Leuciscidae, Actinopteri)**

Karlo Popović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

The karst dace (*Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011) is a recently discovered fish species of the Danube drainage, which can be found only on a few localities around the Velika and Mala Kapela mountain ranges. This species has been known to migrate underground in the colder part of the year (November-March). Therefore, the aim of this thesis is to compare the age and growth of the subterranean population in the Sušik abyss with the surface population from the Sušik creek. The age and growth of the two populations is compared by analyzing the number of annuli, by measuring their radii and by measuring the scale radius. The back-calculation and the von-Bertalanffy growth curve was determined from the collected data. Keeping in mind that there are five age classes, it is apparent that most individual specimens in both populations belong to Age Class 3<sup>+</sup>. The mean value of the standard body length for the surface population is 96.57 mm and 106.07 mm for the subterranean population. The growth coefficient determined from the von Bertalanffy growth curve for the individual specimens in the surface population is 0.907 and 0.848 for individual specimens of the subterranean population. The asymptotic length determined from the von Bertalanffy growth curve for the individual specimens of the surface population is 123.51 mm and 144.12 mm for the individual specimens of the subterranean population. Conclusion: the individual specimens of the subterranean population grow at a slower pace but they tend to attain greater lengths.

(40 pages, 26 figures, 8 tables, 22 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: scales, the Sušik creek, the Sušik abyss, body length, the growth curve, the growth

Supervisor: Ass. prof. Zoran Marčić

Reviewers:

Asst. Prof. Zoran Marčić

Asst. Prof. Mirela Sertić-Perić

Assoc. Prof. Vesna Petrović Peroković

Thesis accepted: November 25<sup>th</sup> 2021

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
1.1. DEFINIRANJE POJMA „RIBA“ .....	1
1.2. RASPROSTRANJENOST RIBA.....	2
1.3. KRATKI OPIS MORFOLOGIJE RIBA.....	3
1.4. SISTEMATIKA KAPELSKE SVIJETLICE ( <i>Telestes karsticus</i> Marčić i Mrakovčić, 2011).....	4
1.5. OPĆA OBILJEŽJA VRSTE <i>Telestes karsticus</i> Marčić i Mrakovčić, 2011 .....	5
1.6. POTOK I PONOR SUŠIK.....	9
1.7. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	11
2. MATERIJALI I METODE.....	12
2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	12
2.2. UZORKOVANJE .....	13
2.3. IZRADA PREPARATA.....	16
2.4. KORIŠTENE METODE.....	17
3. REZULTATI.....	20
3.1. RASPODJELA JEDINKI KAPELSKE SVIJETLICE PO POPULACIJAMA I DULJINA JEDINKI .....	20
3.2. VELIČINA LJUSKI .....	23
3.3. STAROST JEDINKI.....	24
3.4. POVRATNI IZRAČUN .....	25
3.5. VON BERTALANFFYJEVA KRIVULJA RASTA.....	27
4. RASPRAVA.....	32
5. ZAKLJUČAK.....	36
6. LITERATURA .....	37
7. ŽIVOTOPIS.....	40



# 1. UVOD

## 1.1. DEFINIRANJE POJMA „RIBA“

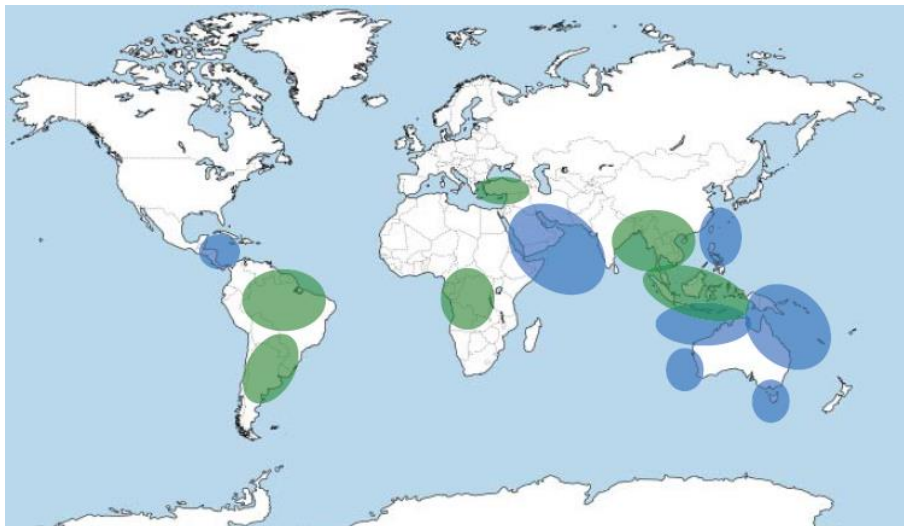
Danas je poznato oko 60 000 živućih vrsta kralješnjaka, a pretpostavlja se da su 32 000 vrsta ribe (Nelson i sur. 2016). Iako ribe čine najbrojniju skupinu kralješnjaka, još je mnogo toga nepoznato o njima.

Ribe nisu monofiletska skupina (ne potječu sve od jednog istog pretka) jer su isključeni Tetrapodi (životinje s četiri uda) koji imaju zajedničkog pretka s ribama, stoga se pod pojmom „ribe“ podrazumijevaju svi kralješnjaci koji nisu Tetrapodi (Hastings i sur. 2014). Hastings i sur. (2014) također navode kako ribe najčešće žive u vodi, najčešće kisik dobivaju putem škrga, najčešće su ektotermne (isto i hladnokrvne) te najčešće imaju udove u obliku peraja. Naravno, kao i kod svakog pravila postoje i iznimke pa postoje ribe koje odstupaju barem od jednog od navedenih pravila, npr. neke ribe udišu zrak, a neke nemaju udove. Kad se govori o skupini kralješnjaka koju nazivamo „ribe“, ta skupina ne spada niti u jednu sistematsku kategoriju. Pod skupinu „ribe“ se podrazumijevaju pripadnici nadrazreda Agnatha koju čine ribe bez prave čeljusti te hrskavičnjače (Chondrichthyes), čiji kostur je izgrađen od hrskavice te jedini ostaci ovih životinja budu zubi (npr. morski psi), i koštunjače (Osteichthyes) čiji je kostur izgrađen od koštanog tkiva (npr. srdela). Obje prethodno navedene skupine pripadaju nadrazredu Gnathostomata, odnosno ribe s pravim čeljustima.

Actinopterygii (zrakoperke) predstavljaju skupinu kralješnjaka čije pripadnike je moguće naći u svim vodenim staništima koje okupiraju kralješnjaci (Hastings i sur. 2014). S obzirom da postoje vrste iz roda *Schindleria* koje ne rastu više od 1 cm duljine, vrste iz roda *Regalecus* koje dostižu do 8 m duljine te vrste poput bucnja velikog (*Mola mola* Linnaeus, 1758) koja može težiti do 2 300 kg, vrlo je teško morfološki karakterizirati ovu skupinu (Hastings i sur. 2014).

## 1.2. RASPROSTRANJENOST RIBA

Ribe žive u gotovo svim vodenim staništima na svijetu, od jezera na 4270 m nadmorske visine do 10 970 m ispod površine oceana (Schultz 2003). Nadalje, Schultz govori kako je neke vrste moguće naći u bazenima vode usred pustinje, temperatura te vode može iznositi i do 38°C, te na Antarktici gdje temperatura vode bude i –2°C. Poznata je činjenica da pri atmosferskom tlaku (101 325 Pa) vrelište vode iznosi 100°C, a ledište 0°C. Ribe koje žive u ovim ekstremnim uvjetima u tijelu imaju poseban biološki antifriz koji sprečava zaleđivanje vode. Unatoč tome što ih se može naći u svim vodenim staništima, u nekim krajevima je puno veći broj vrsta kao što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Lokacije pronalaska najvećeg broja novih vrsta riba gdje su plavom bojom označena staništa slanih voda, dok su zelenom bojom označena slatkovodna staništa (Nelson i sur. 2016).

Većina riba živi isključivo u slanim vodama ili isključivo u slatkim vodama. S druge strane, postoje ribe koje su anadromne i one koje su katadromne. Anadromne ribe su neke ribe iz porodice Salmonidae (lososi) koje se mrijeste u slatkoj vodi, ali većinu svog života provode u slanoj vodi. Katadromne ribe poput europske jegulje (*Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758) se pak mrijeste u moru, a većinu života provode u slatkoj vodi (van der Laan 2017).

### 1.3. KRATKI OPIS MORFOLOGIJE RIBA

S obzirom da se ribe promatra odvojeno od Tetrapoda, bilo bi najbolje najprije opisati njihove udove, tj. peraje. Peraje mogu biti parne i neparne. Parnе peraje su prsne peraje, koje se nalaze iza škržnih poklopaca, i trbušne peraje koje nisu pričvršćene za kostur. Neparne peraje su leđna, podrepna i repna te masna peraja koja ponekad može i izostati (Hastings i sur. 2014).

Škrge riba su obično oblikovane u jedan od dva oblika, a to su škržne pukotine, koje najčešće nalazimo kod hrskavičnjača, i škržni poklopci koje najčešće nalazimo kod koštunjača.

Hastings i sur. (2014) također navode kako se oblik tijela jako razlikuje od vrste do vrste. Neke vrste, poput jegulje, imaju zmijoliki oblik tijela, dok, primjerice, tuna ima vretenasti oblik tijela. Isto tako, ribe koje žive na dnu najčešće su plosnatog oblika.

Ribe po površini tijela imaju ljuske koje smanjuju trenje između tijela i vode te služe kao barijera od patogena i nametnika. Hrkavičnjače su razvile oblik ljuski koje se nazivaju plakoidne ljuske. Ove ljuske su orijentirane prema repnoj peraji i međusobno se preklapaju te su oštre ukoliko ih se dira u suprotnom smjeru (Moore III 2017). Koštunjače su pak razvile ganoidne i elasmoidne ljuske (Hutchins 2003). Elasmoidne ljuske su puno zastupljenije te se dijele na cikloidne koje su kružnog oblika i ktenoidne koje imaju oblik četke ili češlja. Prema Schultzu (2003), bitno je napomenuti da kako ribe rastu, tako rastu i ljuske, iako se njihov broj ne mijenja te zato nastaju skleritni prsteni. Kako dolazi do mijenjanja temperature i količine hrane, skleritni prsteni su gušće, odnosno rjeđe poredani na ljuski. Promatranjem istih se može odrediti starost ribe isto kako se prema godovima može odrediti starost drvenastih biljaka (Schultz 2003).

#### 1.4. SISTEMATIKA KAPELSKE SVIJETLICE (*Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011)

Carstvo: Animalia – životinje

Koljeno: Chordata – svitkovci

Potkoljeno: Vertebrata – kralješnjaci

Nadrazred: Gnathostomata – čeljustousti

Razred: Actinopteri

Podrazred: Teleostei – prave koštunjače

Red: Cypriniformes – šaranke

Porodica: Leuciscidae

Rod: *Telestes* Bonaparte, 1837

Vrsta: *Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011 – kapelska svijetlica ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org))

Naziv Actinopteri podrazumijeva pripadnike skupine Actinopterygii (koštunjače) bez skupine Cladistii (Patterson 1982). Koštunjače čine veliku skupinu kralješnjaka za koju se smatra da je monofiletska. Najstariji fosili ove skupine dolaze iz kasnog silura i riječ je o ljuskama. Koštunjače čini 3 podrazreda, 67 redova, 469 porodica, 4 440 rodova te oko 30 500 vrsta od kojih je gotovo 44% slatkovodnih (Nelson i sur. 2016).

Nelson i sur. (2016) govore da su Teleostei također monofiletska skupina, što je potvrđeno promatranjem morfologije i molekularnim dokazima. Smatra ih se najraznovrsnijom skupinom kralješnjaka te dominiraju rijekama, jezerima i oceanima. U ovu skupinu spada oko 29 585 živućih vrsta od kojih je 10% otkriveno samo u zadnjih deset godina. Teleostei čine oko 96% svih živućih riba.

Red šaranki (Cypriniformes) generalno čine slatkovodne vrste koje nemaju zube na nepcu niti na čeljusti, peti škržni luk im je povećan i promijenjen u ždrijelne zube. Masna peraja najčešće izostaje, glava ribe najčešće nema ljuske te može i ne mora sadržavati brkove (Hutchins 2003).

Kapelska svijetlica je najprije bila smještena u porodicu Cyprinidae, no kasnije je smještena u sestrinsku porodicu Leuciscidae koju čini 90 rodova s 672 vrste (Schönhuth i sur. 2018).

Rod *Telestes* je karakterističan po sljedećim obilježjima: izostanak grebena bez ljuski ispred anusa na sredini trbušne strane, cjelovita bočna pruga, završna ili poluzavršna usta, uočljiva crna linija na sredini bočne strane tijela te crna linija na bočnoj pruzi. Crna linija nije uvijek lako uočljiva na živim jedinkama, ali je dobro vidljiva na konzerviranim primjercima. Isto tako, lakše je uočljiva na odraslim jedinkama u sezoni parenja nego na juvenilnim jedinkama i odraslim jedinkama izvan sezone parenja (Kottelat i Freyhof 2007).

### 1.5. OPĆA OBILJEŽJA VRSTE *Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011

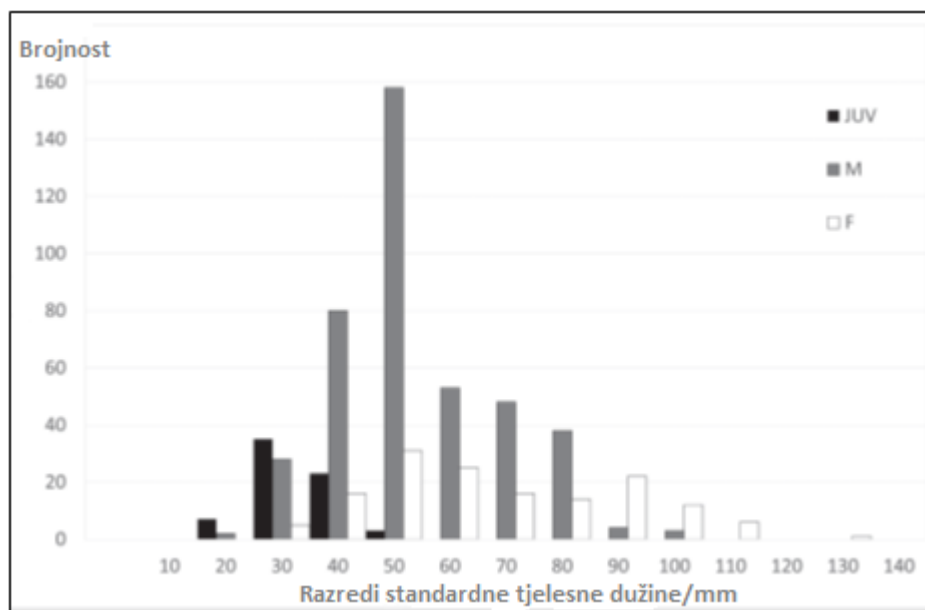
*Telestes karsticus*, odnosno kapelska svijetlica (Slika 2.), hrvatska je stenoendemska vrsta Dunavskog slijeva. Prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (NN 73/2016) je strogo zaštićena vrsta. Pronađena je na svega nekoliko lokaliteta na području Velike i Male Kapele: potok Stajnica u Stajničkom polju, potok Sušik u polju Lug, jezero Jezero i potok Jasenčica u Jasenačkom polju ([www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)). Najnoviji podaci pokazuju da se ovu vrstu može naći na izvoru Sinjac u okolici Plaškog s obimom pojavljivanja manjim od 5000 km<sup>2</sup> i površinom nastanjenja manjom od 500 km<sup>2</sup> (Marčić i sur. neobjavljeni podaci). Prema IUCN-u ova se vrsta smatra ugroženom (EN).



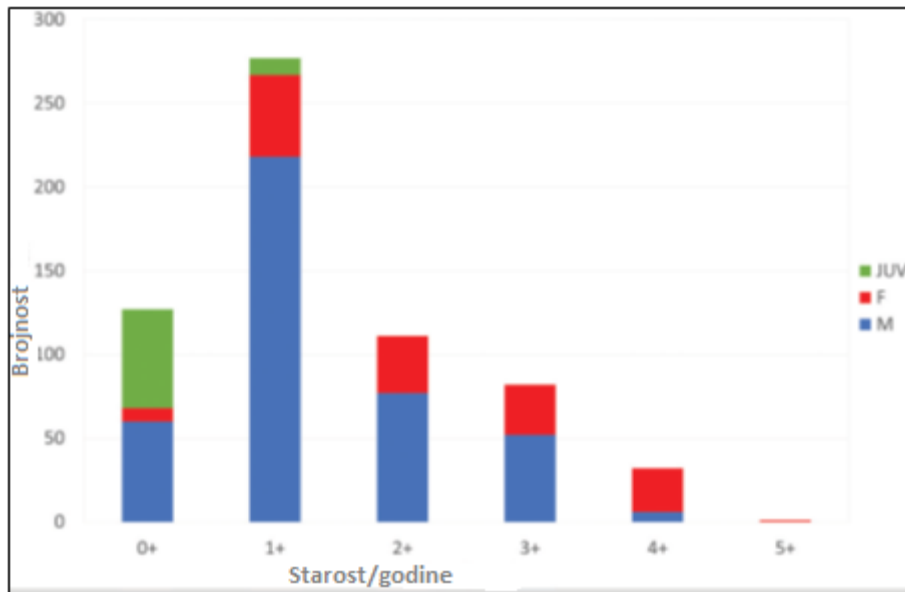
Slika 2. Kapelska svijetlica (*Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011)

Fotografija: Perica Mustafić

Marčić i sur. (2021) odredili su, na uzorku populacije u potoku Sušik od 630 jedinki, da duljina mužjaka ima raspon od 18,5 mm do 95,1 mm, ženki od 20,2 mm do 122,0 mm, a juvenilnih jedinki (kojima se ne može odrediti spol zbog nerazvijenih gonada) između 15,0 mm i 44,7 mm. Marčić i sur. (2021) su svrstali jedinke u duljinske razrede raspona po 10 mm, stoga je spomenuta ženka od 122,0 mm bila svrstana u duljinski razred 121-130 mm (Slika 3.). Prema ljuskama je određena starost tako da se promatrao broj skleritnih prstena na ljuskama zajedno s udaljenosti između tih prstena. Marčić i sur. (2021) utvrdili su da se starost jedinki u populaciji kreće između 0<sup>+</sup> i 5<sup>+</sup> godina (Slika 4.).

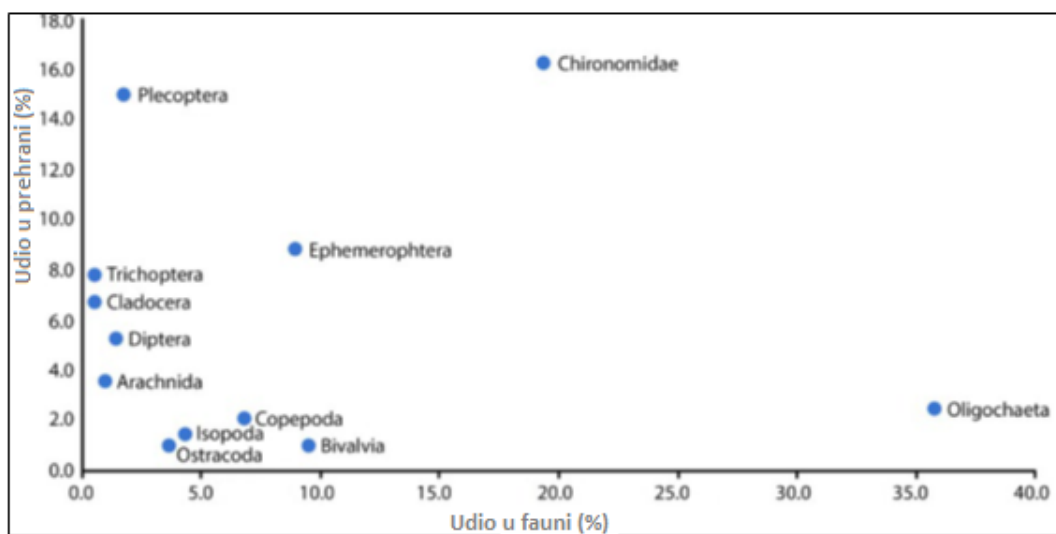


Slika 3. Standardna duljina i brojnost muških (M), ženskih (F) i juvenilnih (JUV) jedinki populacije kapelske svijetlice u potoku Sušik (Marčić i sur. 2021)



Slika 4. Starost muških (M), ženskih (F) i juvenilnih (JUV) jedinki populacije kapelske svijetlice u potoku Sušik (Marčić i sur. 2021)

Prehrana kapelske svijetlice raznovrsna je te se mijenja količina određene hrane s godišnjim dobima. U probavilu *T. karsticus* pronađeni su biljni materijali kojih je najviše ljeti, Oligochaeta (maločetaša), kojih je najviše zimi, planktonski račići iz skupine Cladocera, koji su prisutni cijele godine, Plecoptera (obalčari), kojih najviše ima zimi te u proljeće, Trichoptera (tulari), koji su dostupni u jesen, Chironomidae (trzalci), kojih je najviše u proljeće te neidentificirani organski i anorganski materijal (Marčić i sur. 2017a). Marčić i sur. (2017a) prikazuju odnos prehrane i raznovrsnosti faune Slikom 5.



Slika 5. Odnos faune i prehrane kapelske svijetlice u potoku Sušik prikazan postotnim udjelima (Marčić i sur. 2017a)

Marčić i sur. (2021) također navode kako su ljuske kapelske svijetlice cikloidne, malene te prekrivaju cijelo tijelo osim ventralne strane glave i kod nekih jedinki ljuske ne prekrivaju bočni dio tijela ispod bočne pruge. Sakupljene ljuske su okrugle do ovalne te variraju u veličini što znači da se radijus ljuski kretao od 160,55  $\mu\text{m}$  do 1084,62  $\mu\text{m}$ , ovisno o položaju na tijelu.

Prema nalazima, također su pretpostavili da veće jedinke migriraju na nepoznatu lokaciju u hladnijem dijelu godine (studeni – ožujak). Jedna od pretpostavki jest da se te jedinke povlače u podzemna područja gdje je temperatura vode u tom dijelu godine viša nego na površini.

Kapelska svijetlica se mrijesti od kasnog ožujka do ranog svibnja, s vrhuncem u travnju kad se najlakše može odrediti spol (Marčić i sur. 2017b). Marčić i sur. (2017b) navode kako optimalni temperaturni raspon za mriještenje kapelske svijetlice doseže između 8° i 12° C te je vrsta litofilna (jajašca polažu na stijene i kamenje te u sitne usjekline). Period mriještenja prati vodostaj potoka koji u prosjeku ima najveći minimalni vodostaj u travnju (Slika 6.).



Slika 6. Prosječni maksimalni (plava linija) i minimalni (crvena linija) vodostaji potoka Sušik u 25 godina (1985. – 2010.) s označenim najvećim minimalnim vodostajem (zaokruženo crveno) (Marčić i sur. 2017b)



## 1.6. POTOK I PONOR SUŠIK

Butorac i sur. (2019) su zabilježili prisutnost kapelske svijetlice u ponoru Sušik (Slika 7.) te će jedna od promatranih populacija upravo biti ta podzemna populacija *T. karsticus*. Zbog toga valja ukratko objasniti ekološka obilježja špiljskih zajednica.



Slika 7. Kapelska svijetlica u ponoru Sušik (Butorac i sur. 2019)

Fotografija: Branko Jalžić

U špiljama je klima stabilna, izvori su hrane oskudni i jednolični te je broj biljnih i životinjskih vrsta vrlo malen (Radovčić, 1968). Radovčić (1968) dijeli špiljske sredine u tri skupine s obzirom na količinu dostupne svjetlosti: ulazni polumračni dio, srednji dio potpune tame i promjenjive temperature te unutrašnji dio potpunog mraka i stalne temperature. Ulazni polumračni dio obično ima brojniju i raznovrsniju floru i faunu, a srednji dio ima tipične vrste koje mogu komunicirati ili komuniciraju s površinom. Unutrašnji dio pokazuje najizraženiji ekološki aspekt špilje (Radovčić, 1968).

Bitni pripadnici flore špilja su troglobionti (sitne ili mikroskopske vrste račića, oblića, maločetinaša, pauka itd.) (Slika 8.), koji provode većinu ili cijeli život u špilji te služe kao hrana većim organizmima (Radovčić, 1968). Troglobionti moraju tražiti druge oblike hrane, budući da zeleno bilje u mraku izostaje. Neki oblici hrane su lišće, sitno granje te zemlja

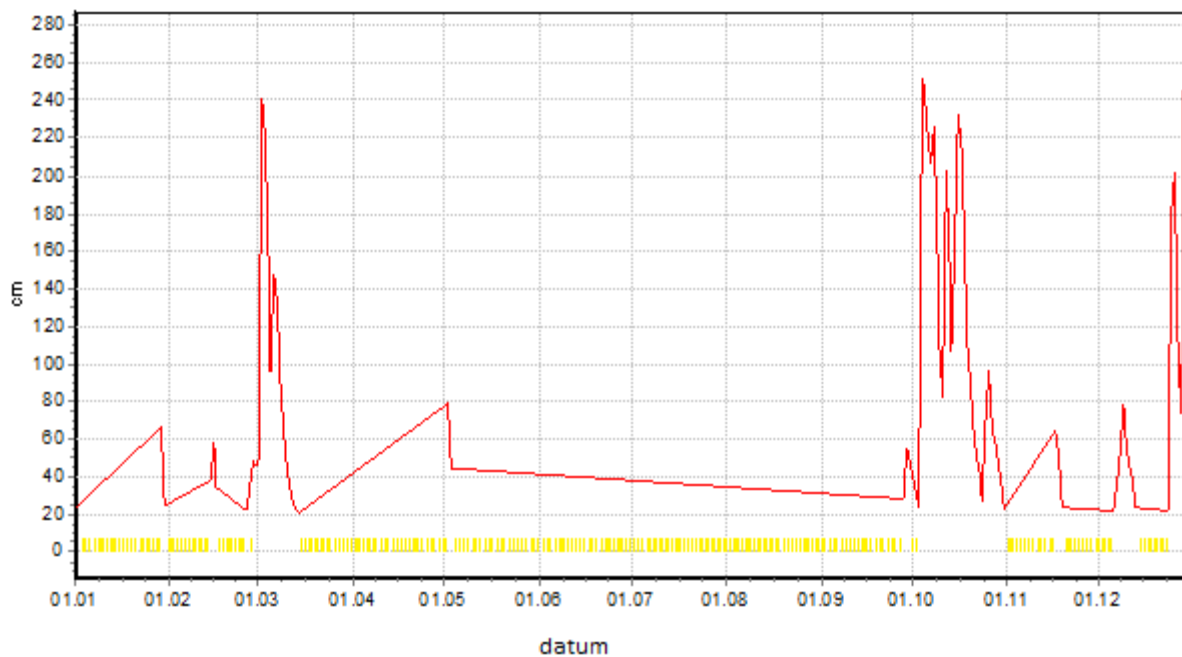
bogata hranjivim tvarima koja dolazi u špilje ispiranjem tla (Radovčić, 1968). Radovčić (1968) navodi kako se većina površinske faune u špiljama nalazi u zemlji, mulju, blatnim zidovima itd. Ovdje je moguće naći kemotsintetske bakterije koje su neophodne za opstanak troglobionata.



Slika 8. Troglobionti pronađeni u špiljama Rusije

([shorturl.at/dlpQQ](http://shorturl.at/dlpQQ))

U ponoru Sušik mogu se naći rakušci, spužve, neke vrste riba, rakovi i drugi vodeni beskralješnjaci. U proljeće (i jesen) dijelovi ponora obično budu poplavljeni (Slika 9.) te voda u ponor unosi raznoliki organski materijal, koji nakon povlačenja vode ostaje na stijenama i zemljanim blokovima te predstavlja važan izvor hrane za podzemne životinje (Butorac i sur. 2019). U ovim dijelovima su prisutni skokuni, dvojenoge i trčci, a u neaktivnim, višim i suhim dijelovima su prisutni lažištupavci, pauci, lažipauci i špiljski kornjaši, najčešće uz guano šišmiša (Butorac i sur. 2019).



Slika 9. Vodostaj potoka Sušik na postaji Tomići za 2020. godinu (izvor: DHMZ)

## 1.7. CILJ ISTRAŽIVANJA

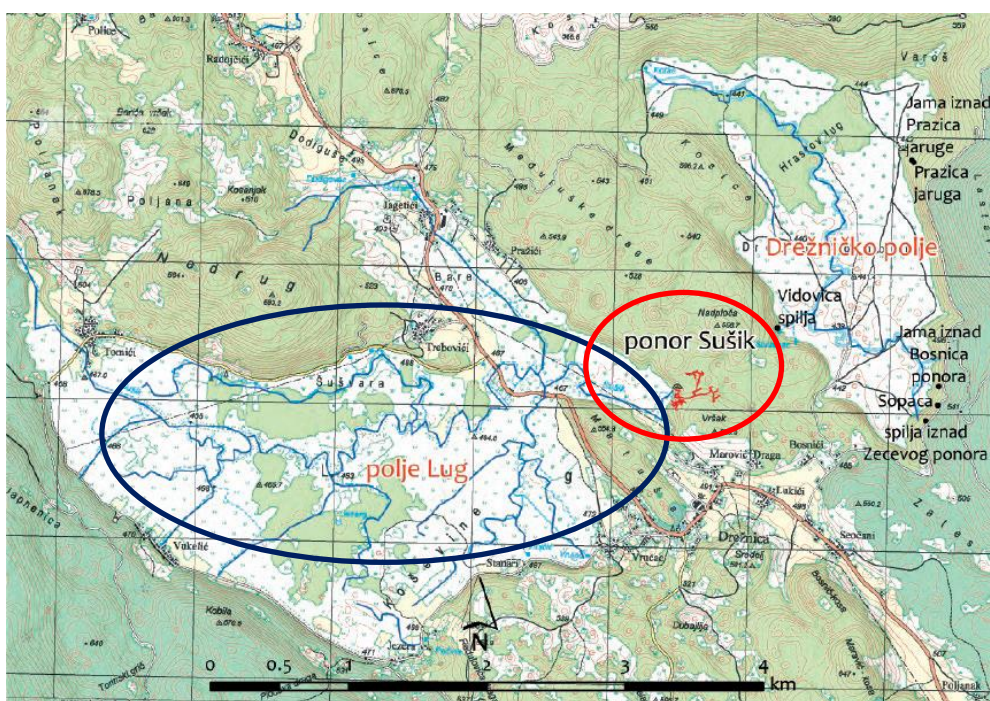
Nedavno je napravljena detaljna duljinsko-masena, spolna i dobna analiza populacije kapelske svijetlice iz potoka Sušik (Novak 2012), ali bitno je usporediti tu populaciju s podzemnom stoga je cilj ovog istraživanja odrediti starost i rast jedinke nadzemne i podzemne populacije kapelske svijetlice te utvrditi postoje li razlike među njima.

Pretpostavka ovog istraživanja jest da jedinke podzemne populacije sporije rastu.

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno na lokalitetu potok Sušik koji se nalazi u polju Lug. Potok Sušik ponire u ponor Sušik koji se također nalazi u polju Lug (Slika 10.).

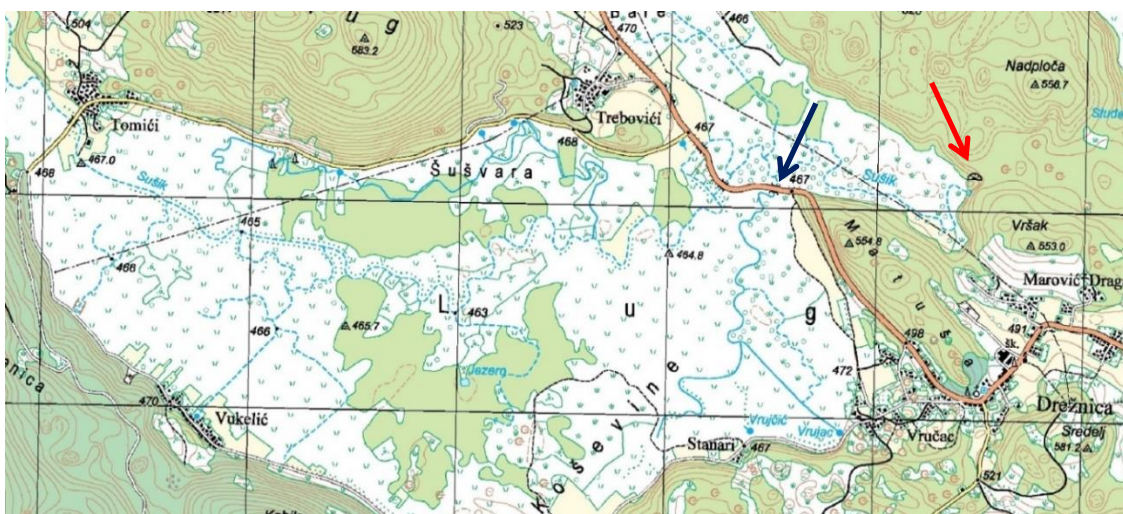


Slika 10. Potok Sušik (zaokruženo plavom) i ponor Sušik (zaokruženo crvenom) na polju Lug (Butorac i sur. 2019.)

Potok Sušik se opskrbljuje vodom koja dolazi s Velike Kapele te se kasnije slijeva Jasenačkim poljem i ponire u polju Lug. Polje Lug zapadni je dio Drežničkog polja. Ponor istoimen potoku je smješten u sjeveroistočnom dijelu polja Lug te se nalazi u podnožju stijene Vučjak s visinom od oko 30 m (Butorac i sur. 2019). Butorac i sur. (2019) dalje navode kako je polje Lug građeno od slabije propusnih dolomita i vapnenca te vode pristigle potokom Sušikom teku površinom do jugoistočnog ruba Drežničkog polja, gdje ponovno poniru.

## 2.2. UZORKOVANJE

Uzorkovanje je odradio doc. dr. sc. Zoran Marčić u suradnji s kolegama s Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu. Kako je prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (NN 73/2016) kapelska svijetlica strogo zaštićena vrsta, prije uzorkovanja ishođena je dozvola Uprave za zaštitu prirode Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja. Uzorkovanje je provedeno 24. travnja 2020. godine na dvije lokacije (Slika 11.) na području polja Lug.



Slika 11. Lokacije uzorkovanja (plava strelica pokazuje nadzemnu lokaciju, crvena strelica podzemnu lokaciju)

Ribe su ulovljene pomoću leđnog agregata za elektroribolov Hans Grassl, model IG-200-1 (Slika 12.).



Slika 12. Leđni agregat za elektroribolov Hans Grassl, model IG-200-1

([http://www.hans-grassl.de/Bilder\\_DB/IG200\\_2\\_010803\\_02\\_m.JPG](http://www.hans-grassl.de/Bilder_DB/IG200_2_010803_02_m.JPG))

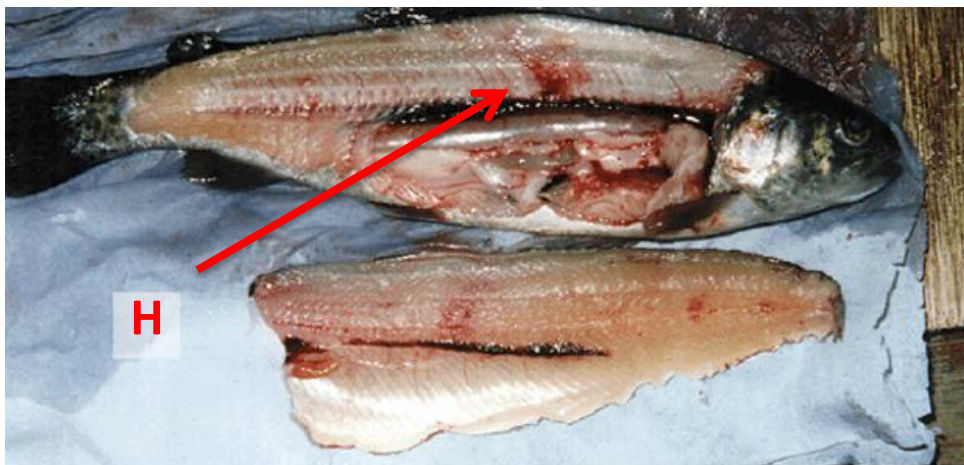
Prikazani agregat proizvodi istosmjernu struju između anode i katode. Anoda je metalni obroč za koji je pričvršćena mreža za hvatanje riba, a katoda je bakreno-kositrena žica koja se nalazi u vodi iza osobe koja nosi leđni agregat (Reynolds 1996). Kad riba uđe u električno polje, doći će do relaksacije mišića i gubitka ravnoteže.

Elektroribolov se najjednostavnije definira kao primjena električnog polja u vodi radi omamljivanja ribe te lakšeg ulova (Beaumont 2016). Osnovni princip elektroribolova jest taj da električno polje stimulira reakciju mišića što imobilizira ribe, a ponekad i centralni i/ili autonomni živčani sustav (Beaumont 2016). Beaumont (2016) dalje navodi kako razni čimbenici utječu na učinkovitost elektroribolova: električna vodljivost vode, vodljivost ribe, temperatura vode, veličina i vrsta ribe, doba dana, dubina i širina vode, dizajn elektroda itd. Prilikom elektroribolova je, naravno, poželjno spriječiti strujni udar kod osobe koja koristi uređaj i lovi ribu. To se sprečava nošenjem gumenih čizmi koje prekrivaju tijelo osobe, čak i dijelom izvan vode (Slika 13.).



Slika 13. Elektroribolov s višestrukim agregatima u Francuskoj (Beaumont 2016)

Unatoč širokoj primjeni i učinkovitosti, elektroribolov nije uvijek uspješan. Beaumont (2016) govori kako nepravilno korištenje opreme ili neupućenost u biologiju riba može dovesti do narušavanja imunološkog sustava ribe, povišene razine kortizola u plazmi ribe. Ponekad može doći do oštećenja rebara i kralješnice te čak i smrti ribe (Slika 14.).



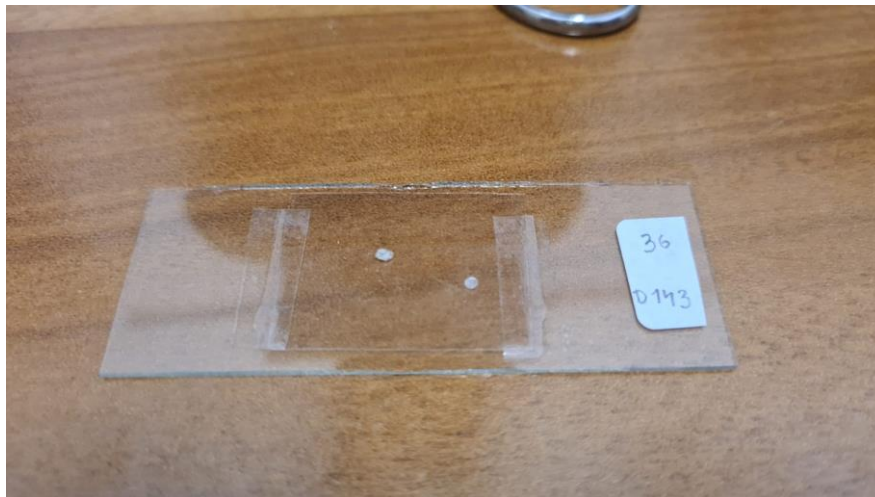
Slika 14. Prikaz oštećenja (hematom označen slovom H) kralješnice zbog nepravilnog elektroribolova (Beaumont 2016)

Ulovljene ribe najprije su anestetizirane otopinom MS-222, zatim su izmjerene standardne duljine tijela (SL), koje se mjere od vrha gubice do početka repne peraje. Zatim je sa svake jedinke, histološkom iglicom, izolirano nekoliko ljuski s leđnog dijela ispod leđne peraje i ljuske su pohranjene u papirnate vrećice do daljnje obrade. Sve su ribe žive vraćene natrag

na mjesto uzorkovanja. Svaka papirnata vrećica označena je jedinstvenom oznakom koja se sastoji od duljine jedinke, lokaliteta i broja uhvaćene ribe.

### 2.3. IZRADA PREPARATA

Sakupljene ljuste izvađene su iz označenih papirnatih vrećica pomoću histoloških iglica i skalpela. Ljuste su pažljivo sastrugane s površine vrećice te položene na predmetno stakalce. Stakalce je stavljeno pod mikroskop marke Olympus BX51, pomoću kojega se promatralo jesu li ljuste savinute ili preklopljene. Ako je bilo potrebno, ljuste su očišćene od kože i organskih nečistoća 3%-tnom otopinom kalijeva hidroksida (KOH). Nakon što su ljuste namještene i očišćene, preklopljene su pokrovnim stakalcem učvršćeno ljepljivom trakom (Slika 15.).



Slika 15. Gotovi preparat s oznakom

Na uzorcima ljusti mjereni su sljedeći parametri:

- broj godišnjih prstena
- radijus godišnjih prstena
- radijus cijele ljuste



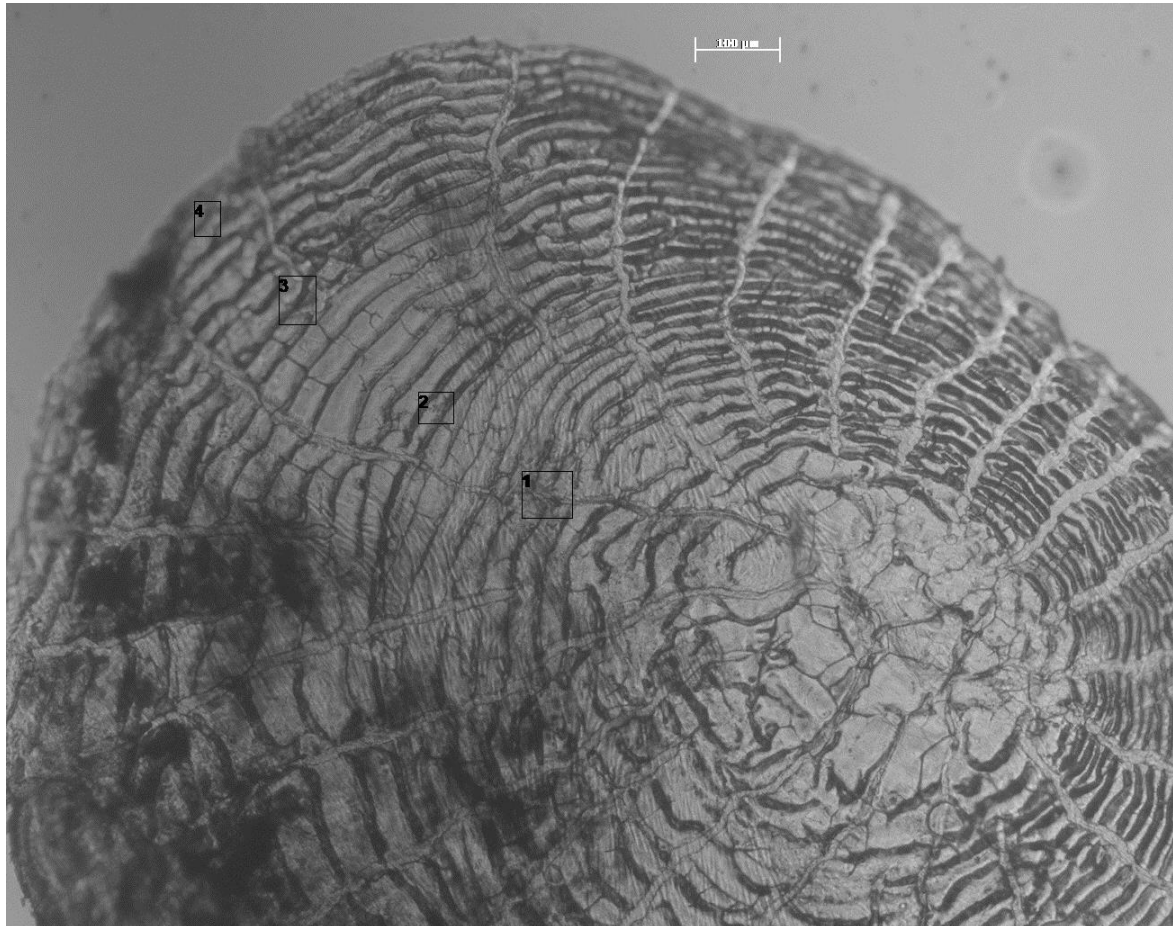
## 2.4. KORIŠTENE METODE

Starost riba se određivala neposrednim očitavanjem skleritnih prstena na ljuskama na preparatima s neovisnim očitavanjem dvije osobe (Busacker i sur. 1990). Najprije sam ja pogledao sve ljuske i označio reprezentativne ljuske markerom na način da sam ih zaokružio na pokrovnom stakalcu. Prepisao sam oznaku s preparata na papir i uz nju napisao predloženu starost ribe. Nakon mene je sve ljuske ponovno pogledao doc. dr. sc. Zoran Marčić. Kada je određena starost riba, ljuske su fotografirane u programu *Axiovision* (verzija 4.6.2.) pod mikroskopom Zeiss Axiovert 200 (Slika 16.).



Slika 16. Mikroskop Zeiss Axiovert 200

U ovom programu su na svakoj ljusci označeni godišnji skleritni prsteni, izmjereni i zabilježeni razmaci između prstena te radijus cijele ljuske na najširem dijelu (Slika 17.).



Slika 17. Prikaz preparata pod mikroskopom gdje su brojevima označeni godišnji skleritni prsteni

Prilikom obrade podataka o standardnoj duljini tijela (SL, u milimetrima) jedinki i radijusa ljuski, provedena je statistička analiza u programu za statističku analizu Past (verzija 4.08) kako bi se utvrdilo je li distribucija dobivenih podataka (mjerjenja) normalna pomoću Shapiro-Wilk  $W$  testa. Nakon provjere normalnosti podataka, proveden je parametrijski  $t$ -test, kako bi se usporedile standardne duljine tijela dviju promatranih populacija *T. karsticus* (podzemna i nadzemna), odnosno neparametrijski Mann-Whitney  $U$  test. Ovaj test je omogućio dodatnu provjeru statističke razlike na ne-transformiranim podacima. Neposredno prije obrade podataka parametrijskim  $t$ -testom, podaci su bili transformirani ( $\log_{10}$ ) pomoću programa Past.

Za svaku jedinku je također napravljen povratni izračun, temeljen na povezanosti tvrdih kalcificiranih dijelova ribe s njenim rastom u duljinu. Iz toga je moguće odrediti duljinu ribe u trenutku kada je nastao promatrani godišnji prsten s ljuste. Povratni izračun se prikazuje matematičkim izrazom:

$$L_t = (S_1/S_c)L_c$$

gdje  $L_t$  označava duljinu ribe u vremenu nastanka promatranog godišnjeg prstena (to ću računati),  $S_1$  predstavlja radijus godišnjeg prstena,  $S_c$  radijus cijele ljuste te  $L_c$  označava ukupnu duljinu ribe (King 2013).

Uz povratni izračun, korištena je i von Bertalanffyjeva krivulja rasta, koja je jedna od najkorištenijih metoda određivanja stope rasta u ihtiologiji. Ova jednadžba prikazuje ovisnost duljine ribe o njenoj starosti. Von Bertalanffyjeva krivulja rasta je određena (tj. utvrđeni su parametri  $K$ ,  $t_0$  i  $L_\infty$ ) u programu FiSAT II (verzija 1.2.2) i nacrtana uz pomoć servisa računalnog znanja Wolfram|Alpha ([www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com)). Krivulja se opisuje jednadžbom:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

gdje je  $L_t$  ukupna duljina u dobi  $t$ ,  $L_\infty$  predstavlja funkciju maksimalne duljine,  $K$  je koeficijent rasta,  $e$  predstavlja prirodnu konstantu, a  $t_0$  je teoretska dob u kojoj je duljina ribe jednaka nuli. U praksi, međutim,  $t_0$  predstavlja starost ribe u kojoj je ona dostigla svoju završnu veličinu (Busacker i sur. 1990). Navedeni izračuni i grafički prikazi su rađeni u Microsoft Excelu 2010, programu Past 4.0 te programu FiSAT II (verzija 1.2.2).

### 3. REZULTATI

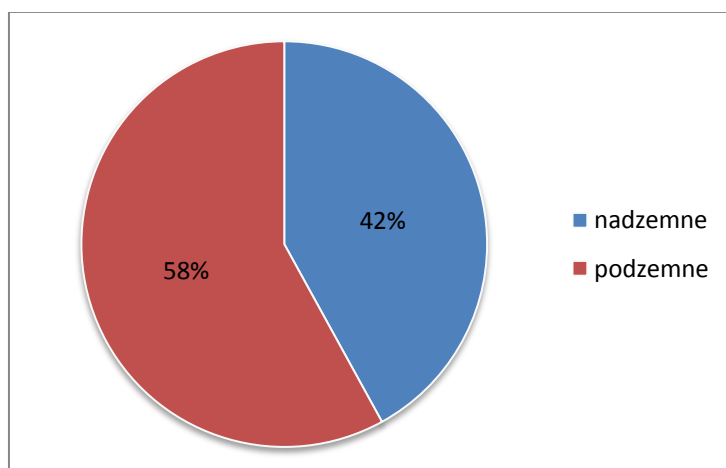
#### 3.1. RASPODJELA JEDINKI KAPELSKE SVIJETLICE PO POPULACIJAMA I DULJINA JEDINKI

Iako je sakupljen relativno velik broj ljuski, nisu sve ljuske uspješno pretvorene u preparate (Tablica 1.). U nekim vrećicama ljuske su već bile oštećene, u nekima je bila samo koža bez ljuski, a neke su oštećene u procesu odvajanja od vrećice i izrade preparata.

Tablica 1. Brojnost uzoraka i preparata

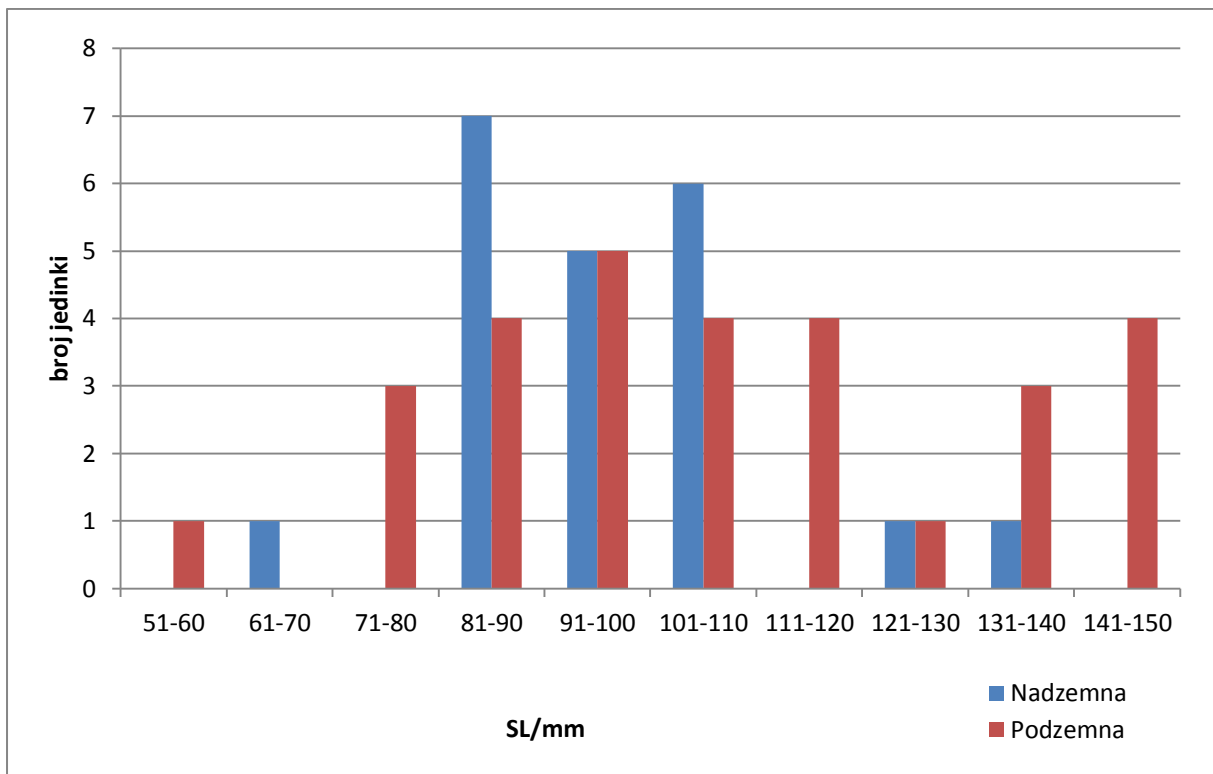
Populacija	Br. Uzoraka	Br. Preparata	Uspješnost/%
Nadzemna	36	21	58,33
Podzemna	53	29	54,72
Ukupno	89	50	56,18

Ukupno je izrađeno 50 preparata od kojih 21 pripada nadzemnoj populaciji iz potoka te 29 pripada podzemnoj populaciji iz ponora (Slika 18.).



Slika 18. Podjela preparata po populacijama

Jedinke su podijeljene u 10 duljinskih razreda prema svojoj standardnoj tjelesnoj duljini (SL), u rasponu 51-150 mm, gdje je veličina pojedinog razreda 10 mm (Slika 19.).



Slika 19. Brojnost jedinki kapelske svjetlice u duljinskim razredima u podzemnoj i nadzemnoj populaciji gdje SL predstavlja standardnu duljinu

Najveća učestalost jedinki nadzemne populacije (33,3%) se nalazi u duljinskom razredu raspona 81-90 mm standardne duljine tijela. Druga najveća učestalost (28,6%) jedinki nadzemne populacije se nalazi u duljinskom razredu raspona 101-110 mm standardne duljine tijela. Najveća učestalost jedinki podzemne populacije (17,2%) se nalazi u duljinskom razredu raspona 91-100 mm standardne duljine tijela. U duljinskim razredima raspona 81-90 mm, 101-110 mm, 111-120 mm te 141-150 mm standardne duljine tijela jednaka je učestalost (13,8%) jedinki podzemne populacije. Niti jedna jedinka nadzemne populacije nije zabilježena u duljinskim razredima raspona 51-60 mm, 71-80 mm, 111-120 mm te 141-150 mm standardne duljine tijela. Isto tako, niti jedna jedinka podzemne populacije nije zabilježena u duljinskom razredu 61-70 mm standardne duljine tijela.

Izračunate su prosječne vrijednosti standardnih duljina i standardna devijacija te su očitane maksimalne i minimalne vrijednosti za obje promatrane populacije (Tablica 2.).

Tablica 2. Prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti standardne duljine tijela sa standardnom devijacijom za dvije promatrane populacije *T. karsticus*

NADZEMNE JEDINKE	SL/mm	PODZEMNE JEDINKE	SL/mm
prosjeak	96,57	prosjeak	106,07
standardna devijacija	15,49	standardna devijacija	25,57
minimum	67	minimum	53
maksimum	135	maksimum	150

Proveden je test za normalnu distribuciju podataka (SL, u milimetrima) u programu Past 4.08 koji automatski prezentira rezultate Shapiro-Wilk  $W$  testa, Anderson-Darling testa, Lilliefors testa te Jarque-Bera testa. Prema svakom od navedenih testova  $p(\text{normal})$  vrijednost je veća od 0,05 (kod obje populacije) što znači da je distribucija podataka (SL) normalna (Slika 20.).

	nadzemna	podzemna
<b>N</b>	21	29
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9297	0,9606
<b>p(normal)</b>	0,1356	0,3395
<b>Anderson-Darling A</b>	0,571	0,4256
<b>p(normal)</b>	0,1209	0,2953
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,1247	0,3014
<b>Lilliefors L</b>	0,1761	0,134
<b>p(normal)</b>	0,08472	0,1959
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,0869	0,1937
<b>Jarque-Bera JB</b>	2,659	0,9945
<b>p(normal)</b>	0,2645	0,6082
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,0839	0,4734

Slika 20. Test za normalnu distribuciju SL vrijednosti podzemne i nadzemne populacije *T. karsticus* (izvor Past 4.0)

Nakon provjere distribucije, proveden je  $t$ -test za dva neovisna uzorka (dvije nezavisne populacije, nadzemna i podzemna) kojim se usporedila standardna duljina tijela, a rezultati ukazuju kako između dviju populacija ne postoje statistički značajne razlike u standardnoj duljini tijela ( $t$ -test  $t=1,5108$ ,  $p > 0,05$ ).

Prosječna standardna tjelesna duljina nadzemnih jedinki iznosi 96,57 mm, a za podzemne jedinke iznosi 106,07 mm. Najmanja standardna tjelesna duljina jest 53 mm i to je zabilježeno kod jedinke koja spada u podzemnu populaciju, dok je najveća izmjerena standardna tjelesna duljina 150 mm također kod jedinke koja pripada podzemnoj populaciji. Prosječno odstupanje od prosjeka, odnosno standardna devijacija, za nadzemne jedinke iznosi 15,49 mm, a za podzemne iznosi 25,57 mm.

### 3.2. VELIČINA LJUSKI

Sakupljeno je 89 uzoraka ljuski, od kojih je 50 pretvoreno u preparate. Radijus ljuski je mjenen u programu Axiovision te je izračunata srednja vrijednost i standardna devijacija za pojedinu populaciju te za sve jedinke zajedno (Tablica 3.)

Tablica 3. Veličina ljuski (prosječna vrijednost, minimum, maksimum, standardna devijacija) za obje populacije *T. karsticus* i za sve prikupljene jedinke

	nadzemna populacija	podzemna populacija	sve jedinke
	radijus/ $\mu\text{m}$	radijus/ $\mu\text{m}$	radijus/ $\mu\text{m}$
<b>prosječna vrijednost</b>	1155,58	1316,27	1248,29
<b>minimum</b>	621,88	482,45	482,45
<b>maksimum</b>	2273,67	2182,66	2273,67
<b>standardna devijacija</b>	410,44	384,03	397,44

Ovdje je također provjereno je li distribucija podataka (radijus ljuski) promatranog uzorka populacije, normalna. Prema Shapiro-Wilk  $W$  testu, koji se prema priručniku smatra najegzaktnijim testom, distribucija radijusa kod obje populacije je normalna ( $p > 0,05$ ). Proveden je  $t$ -test za dva nezavisna uzorka (podzemna i nadzemna populacija) kojim se usporedio radijus ljuski dviju populacija te dobiveni rezultati navedenog testa govore kako nema značajne statističke razlike u radijusu ljuski nadzemne i podzemne populacije ( $t$ -test  $t=0,4013$ ,  $p > 0,05$ ).

Jedinke podzemne populacije imaju veći raspon vrijednosti radijusa ljuski (482,45 – 2182,66  $\mu\text{m}$ ) te veću prosječnu vrijednost radijusa (1316,27). Najveći radijus ljuske je ipak zabilježen kod jedinke nadzemne populacije (1155,58  $\mu\text{m}$ ).

### 3.3. STAROST JEDINKI

Prema starosti je utvrđeno 5 starosnih razreda, od starosti veće od godine dana (oznaka: 1<sup>+</sup>) do starosti veće od pet godina (oznaka: 5<sup>+</sup>) te starosni razredi 2<sup>+</sup>, 3<sup>+</sup>, i 4<sup>+</sup> (Tablica 4.).

Tablica 4. Dob i raspored jedinki

Starost	Nadzemne jedinke	Podzemne jedinke	Ukupno jedinki
1 <sup>+</sup>	1	3	4
2 <sup>+</sup>	2	1	3
3 <sup>+</sup>	10	12	22
4 <sup>+</sup>	6	7	13
5 <sup>+</sup>	2	4	6
ukupno	<b>21</b>	<b>27</b>	<b>48</b>

Najveći broj jedinki pripada starosnom razredu 3<sup>+</sup>, u kojem se nalazi 10 jedinki nadzemne populacije i 12 jedinki podzemne populacije (ukupno 22). Sljedeći starosni razred po brojnosti jedinki je razred 4<sup>+</sup>, u koji je svrstano 6 jedinki nadzemne populacije te 7 jedinki podzemne populacije. U starosnom razredu 5<sup>+</sup> se nalazi 6 jedinki s 2 jedinke nadzemne populacije te 4 jedinke podzemne populacije. Starosni razred s drugim najmanjim brojem jedinki jest 1<sup>+</sup>, gdje se nalaze 1 jedinka nadzemne populacije te 3 jedinke podzemne populacije. Na kraju, u starosnom razredu 2<sup>+</sup> se nalaze samo 3 jedinke, od kojih su dvije iz nadzemne populacije i 1 iz podzemne populacije. Ukupan broj jedinki kojima se sa sigurnošću mogla odrediti dob je 48, što je dva manje u odnosu na ukupan broj preparata. Na ta dva preparata nije se mogla vjerodostojno odrediti starost, jer su jezgre ljsuki i skleritni prsteni bili vrlo nepravilna oblika unatoč tome što su ljsuke dobro očuvane. Obje jedinke kojima se nije mogla sa sigurnošću odrediti dob su jedinke koje spadaju u podzemnu populaciju.

Za svaku populaciju je svakom starosnom razredu određena minimalna (SL<sub>min</sub>) i maksimalna (SL<sub>max</sub>) standardna tjelesna duljina te prosječna SL izražena u milimetrima (Tablica 5.).



Tablica 5. Minimalne i maksimalne te prosječne standardne tjelesne duljine *T. karsticus* po dobnim razredima

Staros t	Nadzemne jedinke		Prosječna SL/mm	Podzemne jedinke		Prosječna SL/mm
	SL <sub>min</sub> /mm	SL <sub>max</sub> /mm		SL <sub>min</sub> /mm	SL <sub>max</sub> /mm	
1 <sup>+</sup>	67	67	67	53	76	67,3
2 <sup>+</sup>	81	86	83,5	75	75	75
3 <sup>+</sup>	81	105	93,5	82	103	92,9
4 <sup>+</sup>	85	135	104,2	102	134	120,6
5 <sup>+</sup>	105	129	117	139	144	142,5

Distribucija prosječnih vrijednosti standardne duljine za obje populacije (svrstane u 5 dobnih razreda) je normalna što govori svaki od 4 prije navedena testa ( $p > 0,05$ ). Proveden je *t*-test gdje je dobivena vrijednost *t* u iznosu od 0,4013, a  $p(\text{normal}) = 0,69871$ , što govori da nema značajne statističke razlike u prosječnim vrijednostima standardne duljine po dobnim razredima.

Prosječne SL po dobnim razredima rastu i kod nadzemne i podzemne populacije, što je i za očekivati. Iako od svih jedinki, jedinka s najmanjom SL pripada u podzemnu populaciju, ta populacija u prosjeku ima veću standardnu duljinu tijela od nadzemne populacije. Jedinke nadzemne populacije starosnog razreda 1<sup>+</sup> u prosjeku imaju manju standardnu duljinu tijela od jedinki istog starosnog razreda podzemne populacije. U starosnom razredu 2<sup>+</sup> situacija je obrnuta, odnosno nadzemne jedinke spomenutog starosnog razreda imaju veću standardnu duljinu tijela od podzemnih jedinki istog starosnog razreda. Kod starosnog razreda 3<sup>+</sup> standardne duljine tijela dviju populacija gotovo su jednake s tim da nadzemna populacija ipak ima malo veću prosječnu standardnu duljinu tijela. U sljedeća dva starosna razreda (4<sup>+</sup> i 5<sup>+</sup>) su jedinke podzemne populacije u prosjeku dosta veće od jedinki nadzemne populacije.

### 3.4. POVRATNI IZRAČUN

Prikazane su prosječne vrijednosti SL dobivene povratnim izračunom za svaki dobnii razred za nadzemnu populaciju (Tablica 6.) i podzemnu populaciju (Tablica 7.).

Tablica 6. Prosječne vrijednosti SL dobivene povratnim izračunom za svaki dobni razred nadzemne populacije gdje  $L_n$  označava udaljenost od jezgre ljuske do n-tog godišnjeg prstena

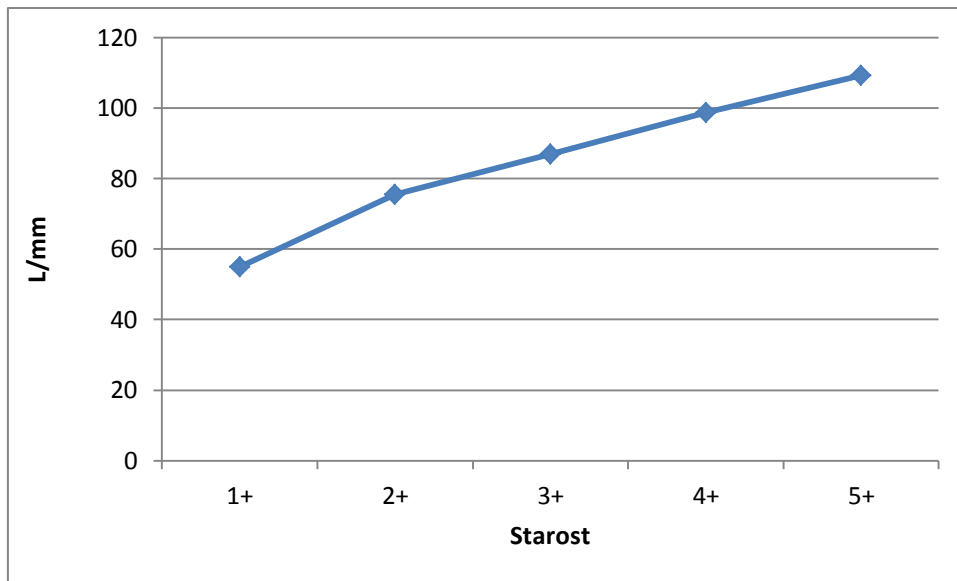
Dobni razred	Br. Jedinke	Prosječna SL/mm	$L_1$ /mm	$L_2$ /mm	$L_3$ /mm	$L_4$ /mm	$L_5$ /mm
1 <sup>+</sup>	1	67	54,90				
2 <sup>+</sup>	2	83,5	43,89	75,52			
3 <sup>+</sup>	10	93,5	41,06	68,43	86,90		
4 <sup>+</sup>	6	104,2	34,52	64,16	85,73	98,69	
5 <sup>+</sup>	2	117	30,74	55,80	76,76	93,19	109,30

Tablica 7. Prosječne vrijednosti SL dobivene povratnim izračunom za svaki dobni razred podzemne populacije gdje  $L_n$  označava udaljenost od jezgre ljuske do n-tog godišnjeg prstena

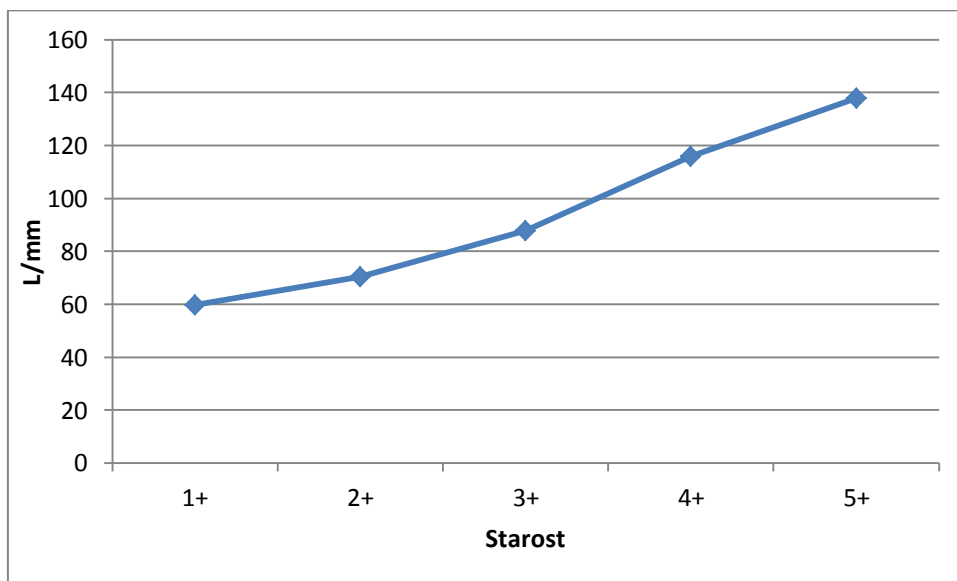
Dobni razred	Br. Jedinke	Prosječna SL/mm	$L_1$ /mm	$L_2$ /mm	$L_3$ /mm	$L_4$ /mm	$L_5$ /mm
1 <sup>+</sup>	3	67,3	59,70				
2 <sup>+</sup>	1	75	52,14	70,37			
3 <sup>+</sup>	12	92,9	42,15	71,44	87,74		
4 <sup>+</sup>	7	120,6	44,54	77,45	102,77	115,92	
5 <sup>+</sup>	4	142,5	44,00	75,05	104,80	124,72	137,91

Kod nadzemne populacije dolazi do odstupanja kod povratno izračunate standardne tjelesne duljine u trenutku kada su jedinke imale godinu dana i kad su jedinke imale dvije godine. Prosječne standardne duljine tijela dobivene povratnim izračunom ne odstupaju mnogo od izmjerenih prosječnih standardnih duljina tijela za svaku dobnu skupinu kod obje populacije.

Ovisnost povratno izračunate SL (označeno  $L_t$  gdje  $t$  predstavlja dob ribe) o dobi je gotovo linearna. Do malog odstupanja dolazi kod dobne skupine 2<sup>+</sup> kod nadzemne populacije (Slika 21.), a kod podzemne populacije dolazi do odstupanja dobne skupine 2<sup>+</sup> i 3<sup>+</sup> (Slika 22.).



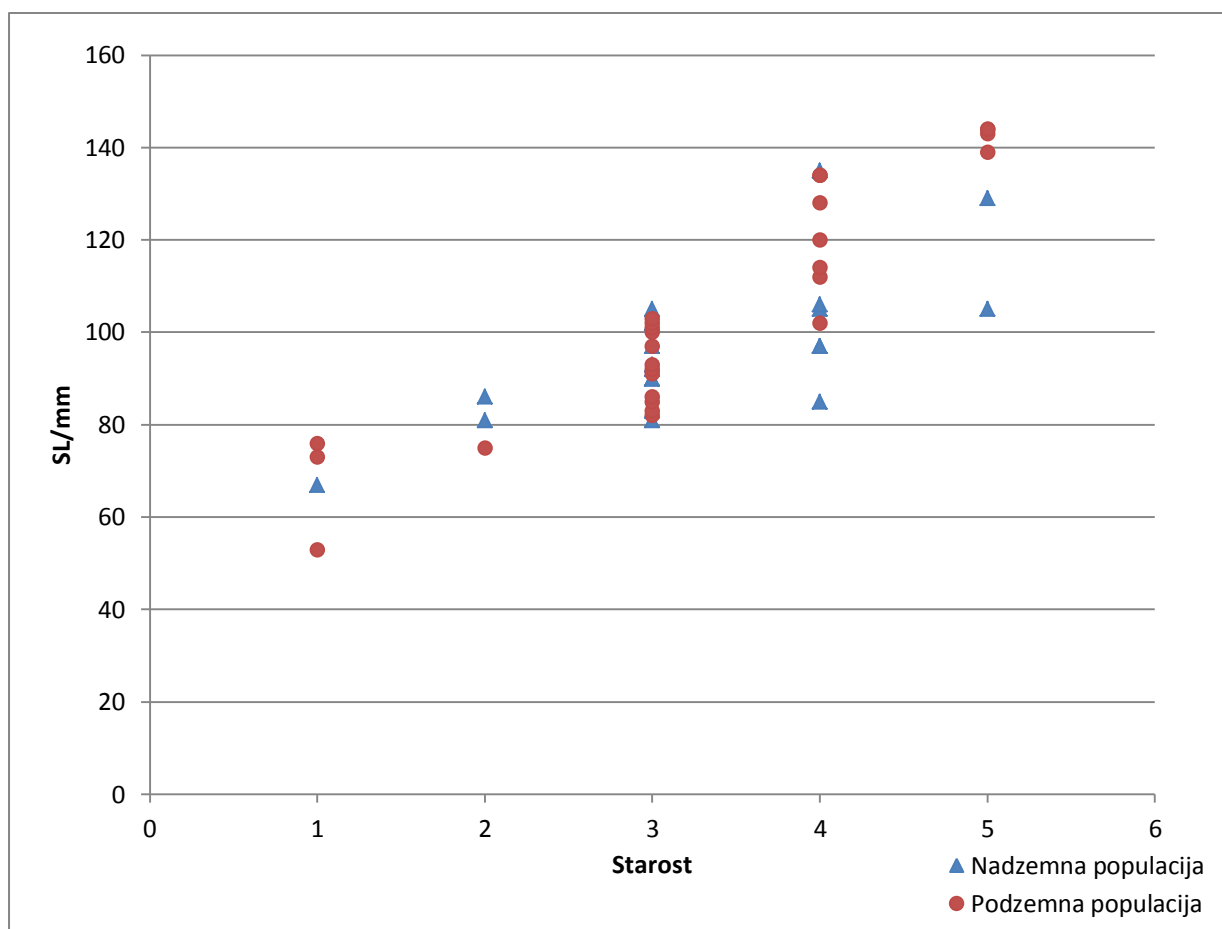
Slika 21. Ovisnost povratno izračunate standardne duljine jedinki nadzemne populacije o dobi



Slika 22. Ovisnost povratno izračunate standardne duljine jedinki podzemne populacije o dobi

### 3.5. VON BERTALANFFYJEVA KRIVULJA RASTA

Prikazana je raspodjela jedinki nadzemne i podzemne populacije po dobnim razredima i njihovoj standardnoj duljini tijela (Slika 23.).



Slika 23. Raspodjela jedinki po dobnim razredima (starosti) u odnosu na njihovu standardnu duljinu tijela u podzemnoj i nadzemnoj populaciji

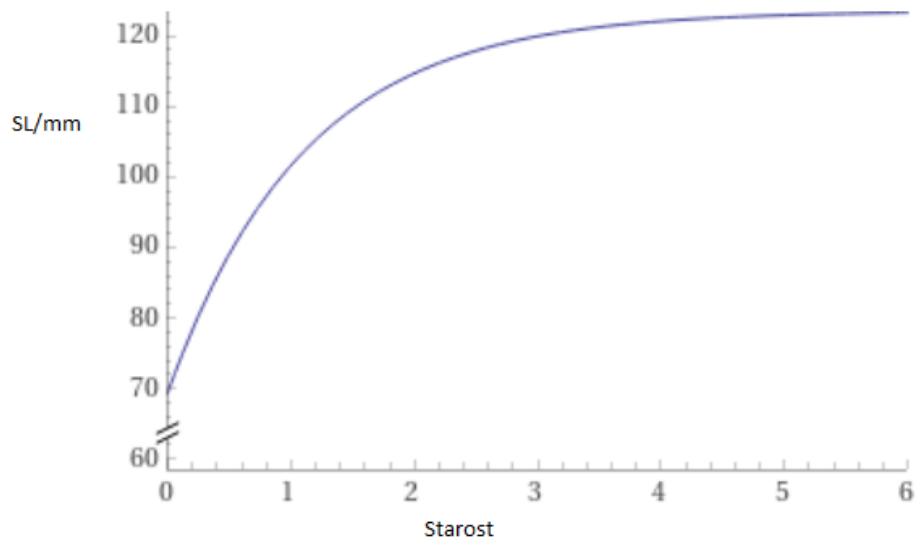
U programu FiSAT II (verzija 1.2.2) za svaku je populaciju napravljena von Bertalanffyjeva krivulja rasta (VB krivulja) te je za svaku populaciju određen koeficijent rasta ( $K$ ), hipotetska starost riba u trenutku kada je njihova duljina nula ( $t_0$ ) te teorijska asimptotska (nikad ju ne dostižu) vrijednost ( $L_\infty$ ) standardne tjelesne duljine (Tablica 8.). Isti parametri su zatim određeni zajedno za sve jedinke u uzorku.

Tablica 8. Parametri dobiveni određivanjem von Bertalanffyjeve krivulje rasta za *T. karsticus*

	$K$	$t_0$	$L_\infty$
<b>Nadzemna populacija</b>	0,907	- 0,908	123,51
<b>Podzemna populacija</b>	0,848	- 0,972	144,12
<b>Sve jedinke</b>	0,881	- 0,943	137,45

Jedinke nadzemne populacije imaju veći koeficijent rasta te imaju veću hipotetsku dob u kojoj im je duljina nula. Jedinke podzemne populacije imaju veću asimptotsku SL u odnosu na jedinke nadzemne populacije. Parametri  $K$ ,  $t_0$  i  $L_\infty$  određeni za sve jedinke zajedno se po vrijednosti nalaze između parametara  $K$ ,  $t_0$  i  $L_\infty$  određenih za dvije promatrane populacije.

Nakon što su određeni parametri  $K$ ,  $t_0$  i  $L_\infty$  uz pomoć programa FiSAT II, jednačba pojedine krivulje upisana je u servis računalnog znanja Wolfram|Alpha koji je prikazao von Bertalanffyjevu krivulju rasta za nadzemnu (Slika 24.) i podzemnu populaciju (Slika 25.).

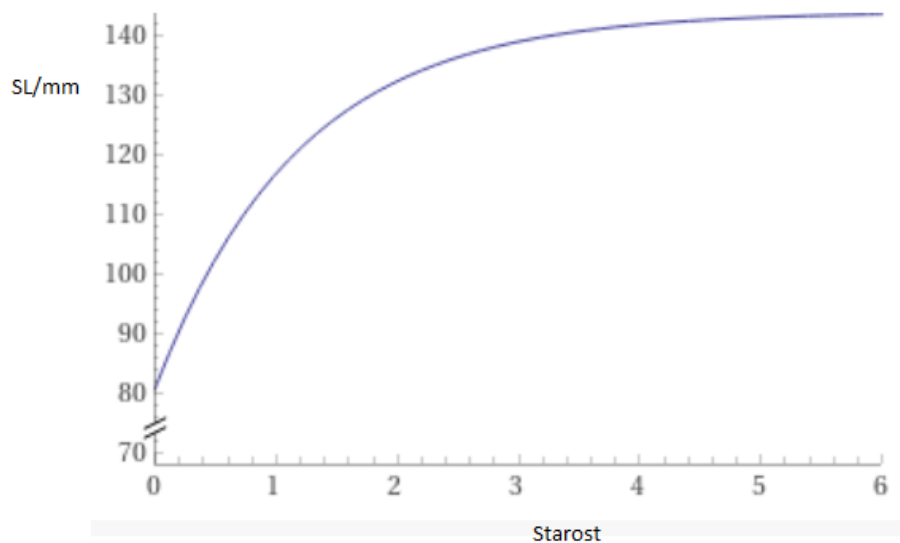


Slika 24. Von Bertalanffyjeva krivulja rasta za nadzemnu populaciju *T. karsticus* (izvor: Wolfram Alpha)

Jednačba von Bertalanffyjeve krivulje rasta (VB krivulja) za nadzemnu populaciju glasi:

$$L_t = 123,51(1 - e^{-0,907(t+0,908)})$$

gdje je  $L_t$  duljina jedinke u trenutku  $t$ , a  $t$  predstavlja dob jedinke u trenutku kad je uhvaćena.



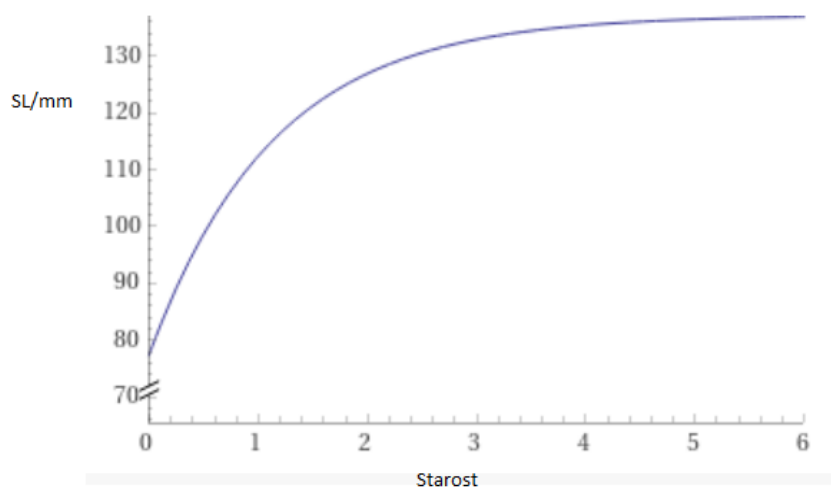
Slika 25. Von Bertalanffyjeva krivulja rasta za podzemnu populaciju *T. karsticus* (izvor: Wolfram Alpha)

Jednadžba VB krivulje rasta za podzemnu populaciju glasi:

$$L_t = 144,12(1 - e^{-0,848(t+0,972)})$$

gdje je  $L_t$  duljina jedinke u trenutku  $t$ , a  $t$  predstavlja dob jedinke u trenutku kad je uhvaćena.

Uz VB krivulje rasta za pojedine populacije, načinjena je i VB krivulja rasta za sve jedinke u uzorku (Slika 26.)



Slika 26. Von Bertalanffyjeva krivulja rasta za sve jedinke *T. karsticus* u uzorku (izvor: Wolfram Alpha)

Jednadžba VB krivulje rasta za sve jedinke kapelske svijetlice u uzorku glasi:

$$L_t = 137,45(1 - e^{-0,881(t+0,943)})$$

gdje je  $L_t$  duljina jedinke u trenutku  $t$ , a  $t$  predstavlja dob jedinke u trenutku kad je uhvaćena.

#### 4. RASPRAVA

Struktura populacije kapelske svijetlice je donedavno bila potpuno nepoznata. Starost i rast kapelske svijetlice dosad su bili predmet proučavanja diplomskog rada kolegice Novak (2012) te znanstvenog rada Marčić i sur. (2021). U tim je radovima proučavana samo nadzemna populacija *T. karsticus* s time da je u ovim istraživanjima bila mjerena i masa, a uzorkovanje je provedeno kroz cijelu godinu te se mogao odrediti i spol jedinki. U ovom istraživanju uzorkovanje je odrađeno u jednom danu i to na kraju sezone mriještenja pa u tom trenutku nije bilo moguće odrediti spol jedinki.

Od 50 jedinki u uzorku, 29 jedinki dolazi iz podzemne populacije (58%) i 21 jedinka iz nadzemne populacije (42%). Prilikom analize standardne tjelesne duljine jedinki najveći dio jedinki nadzemne populacije (33,3%) se nalazi u duljinskom razredu raspona 81-90 mm sa 7 od 21 jedinke. Kod jedinki podzemne populacije se pak najveći broj jedinki (5 od 29) nalazi u duljinskom razredu raspona 91-100 mm standardne tjelesne duljine. Novak (2012) je najveću frekvenciju jedinki zabilježila u duljinskom razredu 41-50 mm, no prosječna standardna tjelesna duljina *T. karsticus* u njezinom uzorku je bila 49,6 mm, dok je u mom uzorku prosječna SL za nadzemnu populaciju 96,57 mm te 106,07 mm za podzemnu populaciju, što je i više nego dvostruko veća prosječna standardna duljina tijela. Marčić i sur. (2021) također su zabilježili, u prosjeku, manje vrijednosti standardne duljine tijela, gdje je najduža jedinka bila 122 mm, dok je iznos maksimalne tjelesne duljine u ovom istraživanju bio 150 mm. Uzrok razlike u rezultatima je razlika u uzorkovanju. Uzorkovanje u ovom istraživanju je provedeno u samo jednom danu na malom broju jedinki (89), dok je uzorkovanje u diplomskom radu Novak (2012) te znanstvenom radu Marčić i sur. (2021) bilo provedeno tokom godine dana što je rezultiralo mnogo većim uzorkom (630 jedinki). Isto tako, u ovom istraživanju su sve jedinke bile vraćene u prirodno okruženje, dok su u navedenim istraživanjima ribe bile usmrćene kako bi se kasnije mogao odrediti spol i još neki parametri.

Novak (2012) i Marčić i sur. (2021) su mjerili masu svih jedinki, no u ovom istraživanju nema podataka o masi zbog tehničkih problema s vagom prilikom uzorkovanja jedinki te im nije izmjerena masa, a sve jedinke su puštene ubrzo nakon što su ulovljene i izmjerene.



Kod određivanja starosti je na nekim uzorcima bilo nemoguće vjerodostojno odrediti dob zbog nepravilne jezgre i skleritnih prstena. Obje jedinice kod kojih se nije mogla odrediti dob spadaju u podzemnu populaciju, što govori da je riba bila izložena stresu u obliku manjka hrane i/ili nagle promjene temperature. Novak (2012) je naišla na slične rezultate i kod nadzemne populacije. Od pet starosnih razreda u koje su jedinice podijeljene, najviše jedinice nadzemne populacije nalazi se u dobnoj skupini 3<sup>+</sup> gdje se nalazi 10 od 21 jedinice što je učestalost od 47,6%. Kod podzemne populacije najveća učestalost jedinice (44,4%) kojima se mogla odrediti dob se nalazi također u dobnom razredu 3<sup>+</sup>. Novak (2012) je zabilježila najveći broj jedinice u starosnom razredu 1<sup>+</sup> u koji je svrstala 29% jedinice. Do istih rezultata su došli Marčić i sur. (2021) gdje se 25 od 86 jedinice nalazi u starosnom razredu 1<sup>+</sup> što se ponovno može pripisati velikoj razlici u uzorkovanju te time i uzorku.

Radijus ljuski se kretao od 482,45  $\mu\text{m}$  do 2273,67  $\mu\text{m}$  s prosjekom 1155,58  $\mu\text{m}$  kod nadzemne populacije te 1316,27  $\mu\text{m}$  kod podzemne populacije. Prosječni radijus ljuski svih jedinice u uzorku iznosi 1248,29  $\mu\text{m}$ . Kod Novak (2012) i Marčić i sur. (2021) radijusi su ljusaka bili mnogo manji s rasponom od 160,55  $\mu\text{m}$  do 1084,62  $\mu\text{m}$ , što odgovara rezultatima povezanim s dobi, gdje je najveći dio jedinice bio svrstan u starosni razred 1<sup>+</sup>. Standardna devijacija radijusa ljuski jedinice nadzemne populacije (410,44  $\mu\text{m}$ ) veća je nego kod ljuski jedinice podzemne populacije (384,03  $\mu\text{m}$ ) unatoč većem rasponu vrijednosti radijusa kod podzemne populacije.

Povratno izračunate vrijednosti standardne tjelesne duljine u prosjeku odstupaju oko 8 mm od izmjerenih vrijednosti standardne tjelesne duljine što je slično rezultatima do kojih je došla Novak (2012) gdje je prosječno odstupanje bilo oko 6 mm. Isto tako, Novak (2012) je utvrdila da je ovisnost povratno izračunate duljine o starosti linearna, što je bio slučaj i u ovom istraživanju. Vrijednosti SL dobivene povratnim izračunom su sve manje od izmjerenih SL što ima smisla jer povratnim izračunom se dobije vrijednost SL u trenutku kad je nastao zadnji godišnji prsten. S obzirom da niti jedna jedinica u uzorku nije stara točno 3 ili 4 godine u dan, već je ljuska rasla zajedno s ribom još malo nakon što je stvoren zadnji godišnji prsten, može se reći da je povratni izračun bio uspješan. Ova razlika između povratno izračunate vrijednosti SL i stvarne izmjerene standardne tjelesne duljine, s time da je izmjerena SL uglavnom veća, naziva se Leejev fenomen (Lee 1912).

Iz VB krivulje rasta je određen koeficijent rasta za nadzemnu populaciju (0,907), podzemnu populaciju (0,848) te za sve jedinke zajedno (0,881). Razlika u koeficijentu rasta između podzemne i nadzemne populacije ukazuje na to da se populacije razlikuju u brzini rasta, konkretno, jedinke podzemne populacije sporije rastu što potvrđuje hipotezu o sporijem rastu podzemnih jedinki. Ova razlika u rastu je moguća zbog uvjeta u okolišu, odnosno u podzemlju ima manje hrane te je temperatura u prosjeku manja od vanjske. Ti uvjeti utječu na metabolizam jedinki podzemne populacije na način da one sporije rastu te se to vidi na ljuskama. Novak (2012) je zabilježila koeficijent rasta za sve jedinke u vrijednosti 0,81 što je blizu rezultata dobivenih za nadzemnu populaciju uz malo odstupanje (11%) pa se to može pripisati razlici u uzorkovanju i većem uzorku. Prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (NN 73/2016) te dozvoli Uprave za zaštitu prirode Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, dozvoljeno je loviti svega nekoliko jedinki godišnje s tim da ih se ne smije uzimati iz prirode unutar sezone mrijesta. Iz VB krivulje je također određena nultočka, odnosno hipotetska dob pri kojoj je duljina jedinki jednaka nuli. Hipotetska dob ( $t_0$ ) za jedinke nadzemne populacije iznosi -0,908, a za jedinke podzemne populacije -0,972. Razlika u vrijednosti  $t_0$  za nadzemnu populaciju i vrijednosti koju je dobila Novak (2012) gdje je hipotetska dob iznosila -0,74 se opet može objasniti različitoj veličini uzorka i razlici u uzorkovanju. U spomenutim istraživanjima je i prosječna standardna duljina jedinki bila manja te je asimptotska duljina iz VB krivulje rasta također bila manja (100,00 mm). U ovom istraživanju je asimptotska duljina iznosila 123,51 mm za nadzemnu populaciju te 144,12 mm za podzemnu populaciju. Matematički to ima smisla jer ukoliko u općoj jednadžbi von Bertalanffyjeve krivulje rasta dolazi do povećanja hipotetske starosti ( $t_0$ ) u kojoj je duljina ribe nula, tada dolazi do smanjenja asimptotske duljine ( $L_\infty$ ). Jednostavnije rečeno, ovi parametri su obrnuto proporcionalni.

Bitno je naglasiti da je maksimalna izmjerena standardna duljina tijela, kod jedinki nadzemne populacije, u diplomskom radu Novak (2012) i znanstvenom radu Marčić i sur. (2021) iznosila 122 mm. U ovom istraživanju su 3 jedinke podzemne populacije svrstane u duljinski razred 131-140 mm te 4 jedinke u duljinski razred 141-150 mm. Maksimalna izmjerena standardna duljina tijela kod jedinki podzemne populacije je iznosila 150 mm. Ti podaci govore da jedinke koje su uzorkovane u podzemlju, u prosjeku, dostižu veće standardne duljine tijela.

Nedostatak ovog istraživanja je mali uzorak, zbog toga što je kapelska svjetlica zaštićena, stoga ovaj uzorak ne može u potpunosti i vjerodostojno predstaviti cijelu podzemnu i cijelu nadzemnu populaciju. Pozitivna strana ovog istraživanja je to što se prvi put promatrao rast podzemne populacije jedinki vrste *Telestes karsticus* i to što niti jedna jedinka nije morala biti usmrćena.

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju dobivenih rezultata, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- U uzorku od 50 jedinki, 29 jedinki (58%) pripada podzemnoj populaciji, a 21 jedinka (42%) pripada nadzemnoj populaciji.
- Jedinke podzemne populacije u prosjeku imaju veće standardne tjelesne duljine.
- Od 10 duljinskih razreda (51-150 mm, svaki 10 mm) najviše jedinki nadzemne populacije pripada duljinskom razredu 81-90 mm, a najviše jedinki podzemne populacije pripada duljinskom razredu 91-100 mm.
- Prosječna izmjerena standardna tjelesna duljina za nadzemnu populaciju iznosi 96,57 mm, a za podzemnu populaciju 106,07 mm.
- Radijus ljuski nadzemne populacije u prosjeku iznosi 1155,58  $\mu\text{m}$ , dok radijus ljuski podzemne populacije u prosjeku iznosi 1316,27  $\mu\text{m}$ .
- Duljina jedinki dobivena povratnim izračunom poklapa se s izmjerenom standardnom tjelesnom duljinom s odstupanjem od oko 8 mm.
- Povratno izračunata duljina jedinki manja je od izmjerene standardne tjelesne duljine, što je u skladu s Leejevim fenomenom.
- Kod nadzemne populacije 10 od 21 jedinki (47,6%), a kod podzemne populacije 12 od 27 (44,4%), spadaju u starosni razred 3<sup>+</sup> kao razred s najvećim brojem jedinki za obje populacije.
- Iz VB krivulje rasta su za nadzemnu populaciju određeni koeficijent rasta ( $K = 0,907$ ), starost u trenutku kad je duljina jedinke nula ( $t_0 = -0,908$ ) te asimptotska duljina ( $L_\infty = 123,51$  mm).
- Iz VB krivulje rasta su za podzemnu populaciju određeni koeficijent rasta ( $K = 0,848$ ), starost u trenutku kad je duljina jedinke nula ( $t_0 = -0,972$ ) te asimptotska duljina ( $L_\infty = 144,12$  mm).
- Uspoređivanjem parametara dobivenih pomoću VB krivulje te uspoređivanjem razlike u standardnoj duljine tijela nadzemne i podzemne populacije, može se utvrditi da nadzemne jedinke brže rastu, no podzemne jedinke dostižu veće duljine.

## 6. LITERATURA

- Beaumont W. R. C. (2016): Electricity in fish research and management: Theory and practice, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, United Kingdom. str. 7
- Busacker, G. P., Adelman, I. R. & Goolish, E. M. (1990): Growth. U: Schreck, C. B. & Moyle, P. B. (ur.): Methods For Fish Biology. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society, str. 363-382
- Butorac V., Hanžek N., Jalžić B., Maleš S. (2019): Istraživanja u ponoru Sušiku. Speleolog, Vol. 67 No.1: 8-12
- Hastings P. A., Walker Jr. H. J., Galland G. R. (2014): Fishes: A Guide to Their Diversity. University of California Press, Oakland, California. str. xvii-13, str. 55
- Hutchins M. (2003): Grzimek's Animal Life Encyclopedia, Second Edition, Vol. 4. The Gale Group, Inc., Farmington Hills, Michigan. str. 6-10, 297-300
- King M. (2013): Fisheries Biology, Assessment and Management, Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK. str. 207-211
- Kottelat M., Freyhof J. (2007): Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany. str. 281-289
- Lee R. M. (1912): An investigation into the methods of growth determination in fishes. Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer, Publications de Circonstance, Vol. 63: 35 .
- Marčić Z., Komljenović I., Čaleta M., Buj I., Zanella D., Mustafić P. (2021.): Age, growth, and population structure of endemic *Telestes karsticus* (Actinopterygii:

Cyprinidae: Leuciscinae) from Sušik Creek, Croatia. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* vol 51(3): 225–232

- Marčić Z., Milković A., Čaleta M., Buj I., Zanella D., Mustafić P. (2017b): Reproductive biology of the endemic dace *Telestes karsticus* Marčić and Mrakovčić, 2011 (Cyprinidae, Leuciscinae), in Croatia. *Journal of Applied Ichthyology* Vol. 33, Iss. 2: 203-208
- Marčić Z., Sučić I., Čaleta M., Buj I., Mustafić P., Zanella D. (2017a): Seasonal profile of the diet of the dace *Telestes karsticus* Marčić & Mrakovčić, 2011 (Cyprinidae, Leuciscinae) endemic to Sušik Creek, Croatia. *Journal of Applied Ichthyology* Vol. 33, Iss. 5: 943-949
- Marčić Z. (2013): Taksonomske i biološko-ekološke značajke roda *Telestes* Bonaparte, 1837 (Actinopterygii) na području Velike i Male Kapele. Doktorski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu
- Moore III D. E. (2017): *Zoology: Understanding the Animal World*. The Teaching Company, Chantilly, Virginia. str. 80-83
- Narodne novine (2016) Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama. Zagreb: Narodne novine d.d., 73, str. 7-84.
- Nelson J. S., Grande T. C., Wilson M. V. H. (2016): *Fishes of the World*, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. str. 1-11
- Novak I. (2012): Starost i rast jedinki vrste *Telestes karsticus* Marčić i Mrakovčić, 2011 (Cyprinidae, Actinopterygii) u potoku Sušik. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu

- Patterson, C. (1982): Morphology and Interrelationships of Primitive Actinopterygian Fishes. American Zoologist vol. 22: 241–259
- Radovčić J. (1968): Ekološka obilježja špilja. Speleolog Vol. 16-17, No. 1: 11-13
- Reynolds J. B. (1996): Electrofishing. U: Murphy B. R., Willis D. W. (ur.): Fisheries techniques (2nd edition). American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA, str. 221–253
- Schönhuth S., Vukic J., Sanda R., Yang L., Mayden R.L. (2018): Phylogenetic relationships and classification of the Holarctic family Leuciscidae (Cypriniformes: Cyprinoidei), Molecular Phylogenetics and Evolution Vol. 127: 781-799
- Schultz K. (2003): Ken Schultz's Field Guide to Freshwater Fish. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. str. 3-13, 111-113, 128-129
- van der Laan, R. (2017): Freshwater Fish List. Almere, Netherlands. str. 6
- [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (pristupljeno 15.10.2021.)
- [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (pristupljeno 16.10.2021.)
- [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com) (pristupljeno 19.11.2021.)

## 7. ŽIVOTOPIS

Moje ime je Karlo Popović, rođen sam 31. prosinca 1997. godine te dolazim iz Zagreba. Završio sam OŠ Cvjetno naselje. Nakon toga sam upisao Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga i smjer Prirodoslovna gimnazija u razdoblju od 2012. do 2016. godine gdje sam najviše uživao u praktičnim satovima biologije, kemije i fizike. To razdoblje vrlo rado pamtim zbog društva i atmosfere koja je vladala. Trenutno završavam fakultet po imenu Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, na smjeru Integrirani preddiplomski i diplomski studij biologije i kemije koji traje 5 godina nakon kojeg ću dobiti zvanje magistra edukacije biologije i kemije. Studij sam upisao 2016./2017. godine te sam, nakon puno truda i rada, sve godine riješio u roku. U sklopu studija sam bio na dvije terenske nastave, jednom na drugoj godini povodom kolegija Beskralješnjaci te Alge i gljive. Drugi puta na trećoj godini povodom kolegija Sistematska botanika i Kralješnjaci. Na obje terenske nastave sam zaista uživao iako nam je vrijeme oba puta postavilo neke prepreke. Isto tako, kao dio studija sam kao student-nastavnik posjetio ponovno svoju srednju školu u kojoj sam održavao nastavu u sklopu kolegija Metodička praksa nastave biologije što je bilo vrlo poučno i zanimljivo jer sam vidio obje perspektive svoje škole. Nakon što završim fakultet, volio bih raditi na području biologije, čak i kemije, a rad u školi ostavio bih si u slučaju da ne ostvarim ranije navedeno jer mi se ne sviđa količina administracije te manjak rada u znanosti. Ljubav prema biologiji i kemiji pokazujem od ranih godina kada sam, uz društvo majke, gledao dokumentarce i čitao enciklopedije o životinjama, pogotovo o dinosaurima.