

Raznolikost riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske

Kovač, Ena

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:217:050866>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-22**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Ena Kovač

**RAZNOLIKOST RIBA I VODOZEMACA KRŠKIH IZVORA
HRVATSKE**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2019.

Ovaj rad, izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Ivane Buj, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistrice ekologije i zaštite prirode.

Zahvaljujem mentoricama doc. dr. sc. Ivani Buj i izv. prof. dr. sc. Sanji Gottstein te neposrednom voditelju dr. sc. Zoranu Marčiću na vremenu, strpljenju i pomoći pri izradi diplomskog rada.

Najveće hvala mojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju, ljubavi i podršci tijekom studiranja.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno - matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

RAZNOLIKOST RIBA I VODOZEMACA KRŠKIH IZVORA HRVATSKE

Ena Kovač

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Ovim istraživanjem dobiveni su prvi podaci o raznolikosti riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske. Kako bih utvrdila raznolikost riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske i među njima zastupljenost vrsta suočenih s određenim stupnjem rizika od izumiranja, ali i endemskih vrsta, osim deskriptivne statistike za tjelesne mjere pojedinih vrsta, koristila sam indekse raznolikosti faune vodozemaca i riba pojedinih krških izvora te geografskih područja. Osim tradicionalno korištenih ekoloških indeksa kojima se opisuje raznolikost nekog područja, izračunala sam također i indeks rijetkosti, indeks ugroženosti te kombinirani indeks bioraznolikosti. Vrijednosti svih indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora i geografskih područja vrlo su niske zbog malog broja izoliranih vrsta. Ipak, središnji i južni jadranski slijev imaju veću raznolikost od dunavskog slijeva. Prema rezultatima određivanja područja visoke raznolikosti najveće vrijednosti indeksa imaju izvori južnog jadranskog slijeva, posebice izvor Norin. Zbog specifičnih uvjeta koji vladaju u izvorišnim područjima nema puno vrsta koje su se uspjele prilagoditi takvim staništima. Međutim, nekim vrstama riba i vodozemaca izvorišna su područja iznimno važna za rane razvojne stadije, što potvrđuju rezultati ovog istraživanja. Među njima posebno se ističu vrste *C. gobio*, *G. aculeatus* koja u Hrvatskoj ima status ugrožene vrste te stenoendem slijeva Neretve, *K. radovici*.

(57 stranica, 9 slika, 10 tablica, 30 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: raznolikost, krški izvori, rani razvojni stadiji, endemi, zaštita

Voditelj: dr. sc. Ivana Buj, doc.

Voditelj 2: dr. sc. Sanja Gottstein, izv. prof.

Neposredni voditelj: dr. sc. Zoran Marčić

Ocjenitelji: doc. dr. sc. Ivana Buj

doc. dr. sc. Sara Essert

doc. dr. sc. Tomislav Ivanković

Zamjena: izv. prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Rad prihvaćen: 13.02.2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation thesis

FISH AND AMPHIBIANS DIVERSITY IN CROATIAN KARST SPRINGS

Ena Kovač

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

This study provided the first data on fish and amphibians diversity in Croatian karst springs. In order to determine fish and amphibians diversity in Croatian karst springs and, among them, the representation of species faced with a certain degree of extinction risk, but also endemic species, apart from descriptive statistics for the physical measures of certain species, I used diversity indices of fish and amphibians fauna of certain karst springs and geographic areas. Apart from traditionally used ecological indices that describe the diversity of an area, I also calculated the rarity index, the endangerment index and the combined biodiversity index. Values of all diversity indices of certain karst springs and geographic areas are very low due to the small number of isolated species. However, the central and the southern Adriatic Sea basin have a greater diversity than the Black Sea basin. According to the results of determining the high diversity areas, the southern Adriatic Sea basin springs have the highest indices values, especially the Norin spring. Because of the specific conditions in the karst spring areas not many species are able to adapt to such habitats. However, for some fish and amphibians species the karst spring areas are extremely important for their early development stages, which is confirmed by the results of this research. The species *C. gobio*, *G. aculeatus*, which is endangered species in Croatia, and the stenoendemic species of the Neretva river basin, *K. radovici*, are particularly emphasized among them.

(57 pages, 9 pictures, 10 tables, 30 references, original in: croatian)

Thesis deposited in Central Biological Library.

Key word: diversity, karst springs, early development stages, endems, conservation

Supervisor: Dr. sc. Ivana Buj, Doc.

Supervisor 2: Dr. sc. Sanja Gottstein, Assoc. Prof.

Assistant Supervisor: Dr. sc. Zoran Marčić

Reviewers: Doc. Dr. sc. Ivana Buj

Doc. Dr. sc. Sara Essert

Doc. Dr. sc. Tomislav Ivanković

Replacement: Assoc. Prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Thesis accepted: 13.02.2019.

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Značajke krša | 2 |
| 1.2. Raznolikost ihtiofaune Hrvatske | 4 |
| 1.3. Ugroženost ihtiofaune Hrvatske..... | 5 |
| 1.4. Raznolikost batrahofaune Hrvatske..... | 8 |
| 1.5. Ugroženost batrahofaune Hrvatske | 10 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA | 11 |
| 3. MATERIJALI I METODE | 12 |
| 3.1. Područje istraživanja | 12 |
| 3.2. Metode uzorkovanja..... | 15 |
| 3.3. Rad u laboratoriju..... | 19 |
| 3.4. Statistička analiza podataka | 19 |
| 3.4.1. Deskriptivna statistika..... | 20 |
| 3.4.2. Indeksi raznolikosti..... | 20 |
| 3.4.3. Kriteriji za određivanje područja visoke raznolikosti..... | 23 |
| 4. REZULTATI..... | 26 |
| 4.1. Popis lokaliteta, vrsta i morfometrijskih značajki ihtio- i batrahocenoze krških izvora | 26 |
| 4.2. Tjelesne mjere pojedinih vrsta | 30 |
| 4.3. Raznolikosti faune riba i vodozemaca pojedinih krških izvora..... | 32 |
| 4.3.1. Indeksi raznolikosti pojedinih krških izvora | 34 |
| 4.4. Raznolikosti faune riba i vodozemaca geografskih područja | 38 |
| 4.4.1. Indeksi raznolikosti geografskih područja | 40 |
| 4.5. Određivanje područja visoke raznolikosti | 43 |
| 5. RASPRAVA | 47 |
| 6. ZAKLJUČAK | 52 |
| 7. LITERATURA | 53 |
| 8. ŽIVOTOPIS | 57 |

1. UVOD

Ribe su najraznolikija i najmnogobrojnija, a ipak najslabije istražena skupina kralješnjaka na našem planetu. Do sada je opisano oko 25 000 vrsta riba. Iako su slatke vode tek maleni postotak ukupne površine svjetskih voda, jedna trećina svih riba primarno pripada slatkovodnim vrstama, a do danas ih je opisano oko 10 000. Slatkovodne su ribe jedan od najboljih pokazatelja stanja vodenih ekosustava, u kojima imaju višestruku ulogu (Mrakovčić i sur. 2006). Izrazito su dobri indikatori biološkog i ekološkog integriteta staništa. Ribe pokazuju različite vrste bioloških odgovora, primjerice promjenu brzine rasta, promjenu rasporeda i brojnosti ovisno o onečišćenju staništa u kojemu obitavaju, degradaciji staništa, eutrofikaciji, toksičnosti, promjenama temperature i dostupnosti hrane. Zbog toga se ribe smatraju ključnim elementom u monitoringu vodenih ekosustava (Ćaleta i sur. 2015). Kao najraznolikija i najmnogobrojnija skupina kralješnjaka na Zemlji vrijedan su dio biološke raznolikosti. Zbog svoje nedjeljive povezanosti s vodenim staništima u kojima žive i zbog sve većeg čovjekova pritiska na ta staništa, ribe su danas i najugroženija skupina kralješnjaka (Mrakovčić i sur. 2006).

Što se tiče ekološke važnosti riba u ekosustavima, utvrđeno je da ribe povezuju trofičke lance, recikliraju nutrijente, prenose ugljik i minerale te pomažu kruženju ugljika iz vode u atmosferu. Budući da se ribama hrane mnogi kralješnjaci i dio su hranidbenih mreža, ribe utječu na brojčano stanje svih ostalih skupina kralješnjaka. Stoga će smanjenje mase riba u ekosustavu imati za posljedicu smanjenje i svih ostalih skupina u hranidbenom lancu (Ćaleta i sur. 2015).

Razred vodozemaca obuhvaća oko 4 600 vrsta kralješnjaka. Njihovo znanstveno ime izvedeno je od grčke riječi "amphi bios" - dvostruki život; što je zasnovano na činjenici da većina vodozemaca stadij larve proživljava u vodi, a nakon metamorfoze mogu živjeti na kopnu. Odrasle jединke vraćaju se u vodu kako bi položile jaja. Vodozemce možemo smatrati prvim pravim kopnenim kralješnjacima, a potekli su od grupe riba zvanih mesoperke (Sarcopterygii). Potomci su prvih kralješnjaka (Triadobatrachus) koji su naselili kopno i morfološki i fiziološki se izrazito razlikuju od svih ostalih kopnenih kralješnjaka. Vodozemci predstavljaju jedinstveni evolucijski model kojim se objašnjava prelazak kralješnjaka iz mora na kopno te koji omogućuje uvid kako su Amniota postali uspješni u osvajanju kopna (Romulić i sur. 2004; hhdhyla.hr). Podijeljeni su u tri reda: beznošci, koji nemaju udova ni

repa; repaši, koji su tetrapodni i imaju rep te bezrepci, koji nemaju rep, a obuhvaćaju najveći broj vrsta.

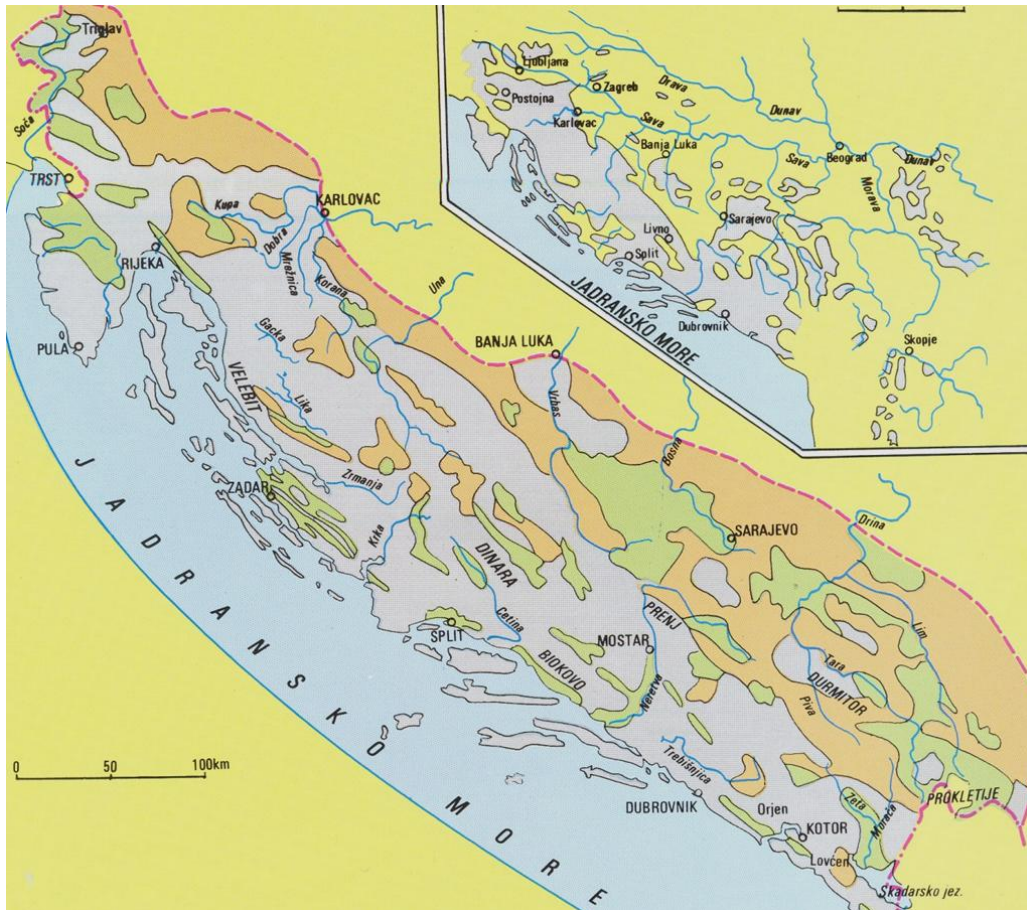
Vodozemci imaju važnu ulogu jer svojim amfibijskim načinom života omogućuju cirkulaciju hranjivih tvari i energije između kopnenih i vodenih ekosustava (Pough i sur. 2002). Predatori su malih beskralješnjaka, ali isto tako i izdašni izvor hrane za veće kralješnjake - oni su vitalna poveznica tih dvaju nivoa u hranidbenom lancu. Njihovim nestajanjem dolazi do domino efekta i urušavanja ekosustava, što može imati drastične posljedice i na čovjeka (hhdhyla.hr).

Budući da je područje krša specifično i još nedovoljno istraženo, ovim istraživanjem pokušala sam opisati raznolikost riba i vodozemaca krških izvora. Ovo je istraživanje važno i iz razloga što su različita staništa u području krša pod velikim antropogenim utjecajem, stoga ih je važno zaštititi jer su to staništa mnogih endemskih vrsta.

1.1. Značajke krša

Područje krša u Hrvatskoj predstavlja reljefnu specifičnost kakva ne postoji nigdje drugdje u Europi. Geološki gledano krš je karakterističan oblik reljefa na vapnenačko-dolomitnoj podlozi, odnosno pretežno kamenoj karbonatnoj površini, oblikovan dugotrajnim radom oborinske i protočne vode (Božičević 1992). Krš je zapravo značajka Dinarida, koji se kao cjelovit planinski pojas pružaju od slovenskih planina, uzduž jadranske obale do Prokletija uz albansku granicu. Prema nekim procjenama područje krša u Hrvatskoj zauzima oko 52% površine, odnosno 29 350 km², dok Dalmacija ili južno hrvatsko primorje obuhvaća 21,3% teritorija Hrvatske, a proteže se od Starigrada pod Velebitom do Molunata kraj Konavoske Grude i srednjodalmatinskih otoka (Štambuk-Giljanović 1998). Ono obuhvaća čitavu obalu Hrvatske, a zadire i u kontinentalni dio (Božičević 1992) (Slika 1). Na okršenost prostora znatno utječe i klima, točnije raspored oborina (snijega i kiše), koji ima izuzetno visoke godišnje parametre baš u planinskom prostoru, a diferencijacija oborinskog čimbenika uočljiva je i na Jadranu. Za vrijeme kvartara, u razdobljima interglacijala, količine oborina bile su nekoliko puta veće, što je imalo najveći utjecaj na izgled okršenosti današnjeg reljefa od Istre i Gorskog kotara preko Like, do svih dijelova Dalmacije (Božičević 1992). Priroda i međusoban odnos naslaga pokazuju da su Dalmaciju zahvatile različite faze alpske orogeneze, a gibanja su bila vrlo intenzivna u pojasu velikih planinskih lanaca. U područjima ovih

intenzivnih poremećaja, mjestimično je izbila na površinu i starija, nepropusna podloga, a upravo s tim izbijanjima povezana su izvorišta glavnih tekućica.



Slika 1. Područje dinarskog krša. Zelenom bojom označeni su vodoodrživi sedimenti s razvijenom riječnom mrežom, sivom bojom izraziti krš na karbonatnim stijenama, a narančasto fluviokrš (preuzeto iz Božičević 1992)

Jedna od osnovnih značajki dinarskog krša jest okomita razvedenost reljefa i nedostatak površinskih vodotokova koji bi oborinsku vodu odvodili prema Jadranskom moru, a ta je pojava uvjetovana karbonatnim stijenama. Iz tog se razloga najveći dio dinarskog krša odvodnjuje podzemno (Štambuk-Giljanović 2002). Stoga je hidrografska mreža površinskih tokova jadranskog slijeva često kratka i diskontinuirana, što je u suprotnosti s tokovima dunavskog slijeva. Važna značajka rijeka jadranskog slijeva je da su kratke i izolirane. Neke se od njih ulijevaju u jezera, neke u more, a ponornice, koje su karakteristika krškog područja, nestaju u jamama na rubovima krških polja. Vrlo često teku kroz duboke kanjone stvarajući

slapove i jezera. One koje prolaze kroz krška polja teku sporo pa su im obale plitke, a dna korita mekana i obrasla bujnom vodenom vegetacijom. Rijeke jadranskog slijeva obiluju vodom tijekom jeseni i proljeća, dok ljeti neke mogu posve presušiti. Jedna od njihovih važnih značajki je malo kolebanje temperature vodotoka, koje je u gornjem dijelu gotovo nikakvo, a u donjem može biti do 10 °C (Mrakovčić i sur. 2006).

1.2. Raznolikost ihtiofaune Hrvatske

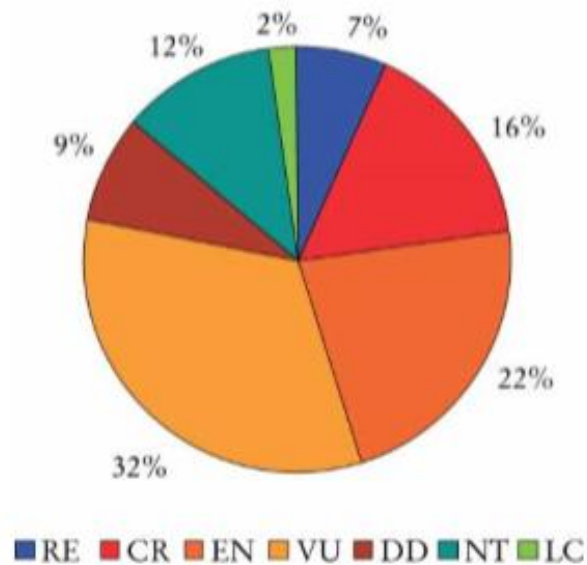
Nigdje u Europi na tako malom prostoru ne postoji tako raznolika slatkovodna ihtiofauna. Poseban ihtiološki značaj ima Dalmacija jer obiluje endemskim vrstama ili varijetetima riba kojih nema nigdje drugdje na svijetu. Područje jadranskog slijeva ubraja se među najzanimljivija europska ihtiofaunistička područja te se u gotovo svakoj rijeci ovog slijeva mogu naći endemske vrste riba. Prema najnovijoj biogeografskoj podjeli slatkih voda područje jadranskog slijeva u Hrvatskoj, zajedno sa susjednim područjima u Sloveniji, Bosni i Hercegovini te Crnoj Gori, čini zasebnu ekoregiju – Dalmaciju (Abell i dr. 2008; Mrakovčić i sur. 2006), a i prije toga su različiti autori Dalmaciju zbog sastava ihtiofaune izdvajali kao posebnu regiju. Većina vrsta u ovom području su endemi s ograničenom rasprostranjenošću te svaka rijeka posjeduje svoje vlastite endeme (Economidis i Banarescu 1991; Mrakovčić i sur. 2006). Riječ *endem* dolazi od grčke riječi *endemios*, što znači lokalni, domaći, autohton. Endemi su svojte (podvrsta, vrsta, rod...) koje su rasprostranjene na određenom, često malom području i ne pojavljuju se nigdje drugdje. Ukoliko je ta površina izrazito mala (špilja, jezero, rijeka, planina), takve svojte nazivamo stenoendemima. Endemi dunavskog slijeva su one vrste koje nastanjuju Dunav i/ili njegove pritoke. Endemi jadranskog slijeva nastanjuju vode koje utječu u Jadran ili pripadaju jadranskom slijevnom području na području Hrvatske, ali i na širem području (Italija, Slovenija, Bosna i Hercegovina) (Ćaleta i sur. 2015). Nažalost, različita staništa koja su specifična za područje krša i o kojima ovisi opstanak mnogih endemskih vrsta riba posljednjih su godina pod utjecajem čovjeka drastično promijenjena. Endemi hrvatske ihtiofaune velikim su dijelom povezani s krškim staništima podzemnih voda, a kao posebnu regiju treba izdvojiti Dalmaciju, gdje vodotoke naseljava mnogo endemskih vrsta. Hrvatska ihtiofauna bogata je endemskim vrstama; 44 su endemi Sredozemlja, a od toga 41 vrsta endemi jadranskoga slijeva (Mrakovčić i sur. 2006).

Bogatstvo vrsta, a posebice endema, svrstava nas među ihtiološki najraznolikije europske zemlje. Bogatstvo vrsta posljedica je zemljopisnog položaja Hrvatske koji obuhvaća dva riječna sustava, jadranski i crnomorski (Mrakovčić i sur. 2006). U slatkim vodama Europe živi 579 vrsta riba (Kottelat i Freyhof 2007; Mrakovčić i sur. 2006). U našim slatkim vodama živi 150 vrsta riba, od kojih 21 vrsta boravi i u bočatim i slanim vodama, stoga se može zaključiti da je slatkovodna ihtiofauna Hrvatske vrlo raznolika. Crnomorski ili dunavski slijev Hrvatske, koji zauzima površinu od 35 132 km² (62% površine kopnenih voda), nastanjuje 81 vrsta riba (62 vrste naseljavaju samo taj slijev, a 19 vrsta oba slijeva). Autohtono je 68 vrsta, a ostalih su 13 alohtone vrste, unesene u prošlom stoljeću. U jadranskom slijevu, ukupne površine 21 405 km² (38% površine kopnenih voda), živi 88 vrsta riba (69 vrsta naseljava samo taj slijev, a 19 oba slijeva). U vodotoke jadranskog slijeva uneseno je 14 alohtonih vrsta i niz vrsta koje primarno naseljavaju dunavski slijev. Jugozapadni dio Hrvatske jedno je od najvažnijih središta raznolikosti ihtiofaune u Europi. Vodotoke tog područja naseljava velik broj endemskih vrsta i podvrsta (Mrakovčić i sur. 2006).

1.3. Ugroženost ihtiofaune Hrvatske

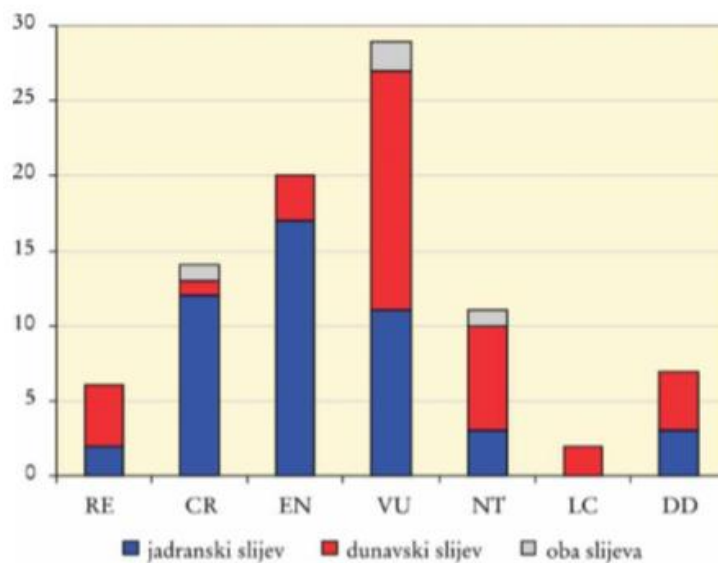
Slatkovodne ribe ograničene su na vodu u kojoj žive i dovoljan je tek jedan izljev otrovnih spojeva ili zakiseljene vode da bi cijela populacija, a katkada i vrsta otišla u nepovrat. Ribe su najugroženija skupina kralješnjaka (Radović 1999; Mrakovčić i sur. 2006). U novije vrijeme, djelovanjem čovjeka na prirodna staništa, mijenjaju se i zajednice riba pa su mnoge vrste gotovo nestale ili su se njihove populacije znatno smanjile (Mrakovčić i sur. 2006).

U Crvenoj knjizi slatkovodnih riba Hrvatske nalazi se 90 vrsta i podvrsta, odnosno 60% ukupnog broja vrsta hrvatske slatkovodne ihtiofaune u različitim kategorijama ugroženosti. Slika 2 prikazuje zastupljenost pojedinih kategorija ugroženosti ihtiofaune. Iz naših je voda izumrlo šest vrsta riba, što je 7% od ukupnog broja ugroženih vrsta, pri čemu su četiri vrste izumrle iz dunavskog, a dvije iz jadranskog slijeva. Te bi se brojke mogle u budućnosti i znatno povećati s obzirom na to da 14 vrsta riba držimo kritično ugroženima. Najvećim dijelom to su endemske vrste jadranskog slijeva i ako se ne poduzmu mjere zaštite, mogle bi nestati iz naših vodotoka. Najmanji je broj riba u kategorijama gotovo ugroženih i najmanje zabrinjavajućih vrsta. U kategoriji vrsta o kojima ne postoje zadovoljavajući podaci za procjenu rizika od izumiranja osam je riba. (Mrakovčić i sur. 2006).



Slika 2. Zastupljenost kategorija ugroženosti hrvatske ihtiofaune (legenda: RE – regionalno izumrla vrsta; CR – kritično ugrožena vrsta; EN – ugrožena vrsta; VU – osjetljiva vrsta; DD – nedovoljno poznata vrsta; NT – gotovo ugrožena vrsta; LC – najmanje zabrinjavajuća vrsta) (preuzeto iz Mrakovčić i sur. 2006)

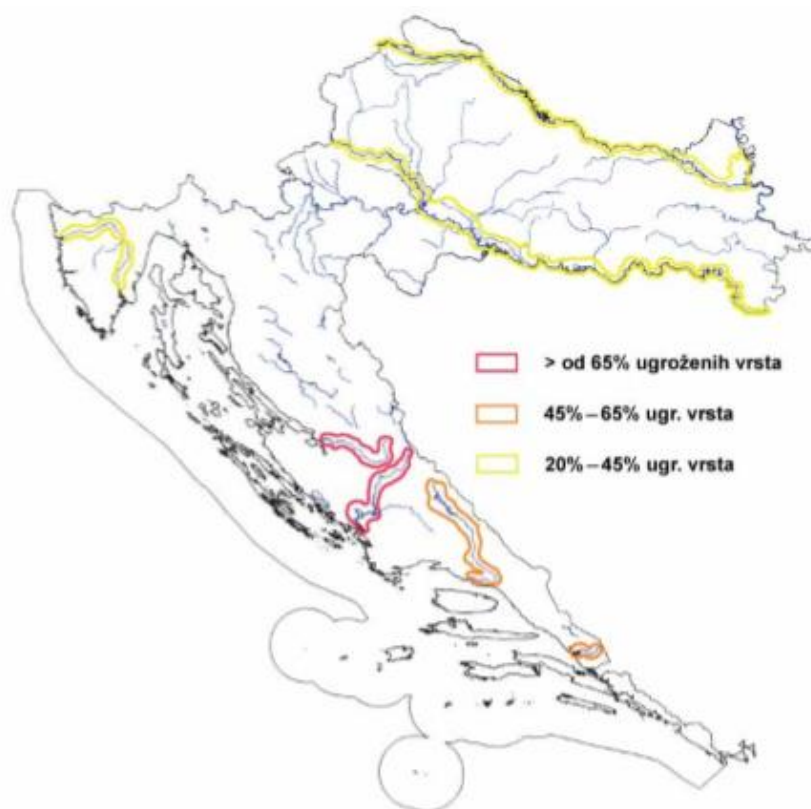
Slika 3 prikazuje zastupljenost pojedinih kategorija ugroženosti riba u dunavskom i jadranskom slijevu. Broj kritično ugroženih i ugroženih vrsta znatno je veći u jadranskom nego u dunavskom slijevu, dok je broj osjetljivih i gotovo ugroženih vrsta veći u dunavskom slijevu. Zato su za opstanak ugroženih vrsta prijeko potrebni akcijski planovi zaštite ihtiofaune jadranskih rijeka (Mrakovčić i sur. 2006).



Slika 3. Zastupljenost kategorija ugroženosti u dunavskom i jadranskom slijevu (preuzeto iz Mrakovčić i sur. 2006)

Najveći utjecaj na slatkovodne riblje zajednice u Hrvatskoj ima unos alohtonih vrsta, onečišćenje, regulacija vodotoka i degradacija staništa. Ostali čimbenici, primjerice izgradnja brana i hidroakumulacija, melioracije, goleme potrebe za tehničkom i pitkom vodom te prelov također utječu na riblje zajednice, ne samo na području Hrvatske nego i cijele Europe (Cowx 2002; Mrakovčić i sur. 2006). Strukturu zajednice riba određuju protok vode, količina kisika, temperatura, prozirnost i onečišćenje. Promjene tih čimbenika izmijenit će populacije riba, a mogu utjecati i na smanjenje raznolikosti vrsta. Ako se u vodenom ekosustavu dogodi veća i dugotrajnija promjena jednog ili više čimbenika, u posebnoj će opasnosti biti rijetke i osjetljive vrste. U našim je vodama često izražen utjecaj nepovoljnih čimbenika, s posljedicom smanjenja populacija autohtonih vrsta u korist alohtonih i većinom agresivnijih vrsta. One postupno, ali sigurno potiskuju primarne autohtone vrste (Mrakovčić i sur. 2006).

Slika 4 prikazuje rijeke, jezera i močvarna staništa u Hrvatskoj koja naseljavaju ugrožene vrste riba pa su zato važna za zaštitu. Prema ukupnom broju vrsta koje obitavaju u pojedinim područjima određen je postotni udio riblje faune koji je ugrožen. U ugrožene vrste uključene su sljedeće kategorije: kritično ugrožene vrste, ugrožene vrste, osjetljive vrste i vrste za koje nema dovoljno podataka. Od ukupne su riblje faune rijeke Zrmanje čak 73% njih ugrožene vrste, dok je od cjelokupne riblje faune rijeke Krke ugroženo preko 65% vrsta (Mrakovčić i sur. 2006). Može se primijetiti da je najveći postotak ugroženih vrsta na području Dalmacije.



Slika 4. Najvažnija područja za zaštitu ihtiofaune u Hrvatskoj (Mrakovčić i sur. 2006)

1.4. Raznolikost batrahofaune Hrvatske

Upravo zbog svojeg geografskog položaja Hrvatska se, osim po broju slatkovodnih vrsta riba, nalazi u samom vrhu zemalja i po broju vrsta vodozemaca (Jelić i sur. 2015). U Hrvatskoj je do sada zabilježeno ukupno 20 vrsta vodozemaca, predstavnika dva reda: Anura (bezrepci, u koje se ubrajaju žabe i krastače) i Caudata (repaši). Red repaša u Hrvatskoj obuhvaća 7 vrsta, dok je red Anura u Hrvatskoj predstavljen s ukupno 13 vrsta. Vrstama su najbrojnije porodice Ranidae (zelene i smeđe žabe) i Salamandridae (daždvenjaci i vodenjaci) (hhdhyla.hr). Unutar Hrvatske postoje značajne razlike u sastavu vrsta vodozemaca i gmazova te se mogu definirati dvije odvojene "herpetološke" regije: A. kontinentalno-gorska i B. mediteranska (Slika 5). Kontinentalno-gorska regija poklapa se s florističkim odvajanjem zapadno-panonske, istočno-panonske i planinske makroregije, a mediteranska regija s mediteranskom makroregijom (Nikolić i Topić 2005; Jelić i sur. 2015). Vodozemci su veću raznolikost razvili u kontinentalno-gorskoj regiji, koju naseljava 19 vrsta vodozemaca, od čega je 11 vrsta usko

vezano samo za ovu regiju: planinski vodenjak, *Lissotriton alpestris* (Laurenti, 1768); crni daždevnjak, *Salamandra atra* Laurenti, 1768; šareni daždevnjak, *Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758); veliki vodenjak, *Triturus carnifex* (Laurenti, 1768); veliki dunavski vodenjak, *Triturus dobrogicus* (Kiritzescu, 1903); crveni mukač, *Bombina bombina* (Linnaeus 1761); češnjača, *Pelobates fuscus* (Laurenti 1768); zelena žaba, *Pelophylax kl. esculentus* (Linnaeus 1758); mala zelena žaba, *Pelophylax lessonae* (Camerano, 1882), močvarna smeđa žaba *Rana arvalis* Nilsson, 1842; i šumska smeđa žaba, *Rana temporaria* Linnaeus, 1758. Mediteransku regiju naseljava ukupno 9 vrsta vodozemaca, od čega je samo jedna vrsta usko vezana samo za ovu regiju: lombardijska smeđa žaba, *Rana latastei* Boulenger, 1879 (Jelić i sur. 2015).



Slika 5. Prikaz dviju herpetoloških regija: A) kontinentalno-gorska i B) mediteranska (preuzeto iz Jelić i sur. 2015)

1.5. Ugroženost batrahofaune Hrvatske

Danas u svijetu vodozemcima prijete niz izravnih opasnosti koje ugrožavaju njihovo dugoročno preživljavanje. S pravom se smatra da su vodozemci kao skupina ugroženiji i u bržem opadanju nego npr. ptice i sisavci te su na svjetskom nivou nužne hitne mjere očuvanja (Stuart i sur. 2004; Jelić i sur. 2015). Zapravo već od ranih 1980-ih godina herpetolozi su počeli uočavati dramatične padove u brojnosti različitih populacija vodozemaca širom svijeta. Ta opadanja odražavaju kontinuirani pad kvalitete okoliša, no zabrinjavajuće je da su ti faktori neke vrste doveli i do samog izumiranja. Čak 427 vrsta (7.2%) vodozemaca procijenjeno je kao kritično ugroženo (CR) prema IUCN-u na globalnom nivou te se nalaze na samom rubu izumiranja. Danas je ukupno ugroženo 32.5% vodozemaca (1856 vrsta), odnosno vrste su prema kriterijima IUCN-a procijenjene kao osjetljive, ugrožene i kritično ugrožene (VU, EN, CR) (Stuart i sur. 2004; Jelić i sur. 2015). Većina uzroka smanjenja brojnosti vodozemaca u Hrvatskoj može se pripisati istim ugrozama već identificiranim na globalnom nivou (Reading i sur. 2010; Jelić i sur. 2015).

Najveći je razlog ugroženosti vodozemaca nestanak i uništavanje njihovih staništa. Međutim, postoji još cijeli niz razloga zašto su vodozemci ugroženi, a to su: razne kemikalije (pesticidi, teški metali, kisele kiše, umjetna gnojiva, farmaceutske kemikalije), unesene strane vrste, eksploatacija (za hranu, trgovina kućnim ljubimcima), klimatske promjene, bolesti (ranavirusi, gljivica *Batrachochytrium dendrobatidis*, razni paraziti), deformiteti te UV-B zračenje. Najčešći je slučaj istovremeno djelovanje dvaju ili više faktora pa se učinak pojedinih faktora međusobno pojačava (hhdhyla.hr).

Budući da područja uz velike krške rijeke imaju vrlo dugu tradiciju suživota čovjeka s prirodom, no današnje potrebe za vodom (u poljoprivredi, energetici, za piće itd.), obradivim površinama i područjima za izgradnju infrastrukture, značajno narušavaju funkcionalnost ovog osjetljivog sustava. Velik problem predstavlja i znatna količina organskog i anorganskog otpada koji se ispušta izravno u rijeke. Posebice su ugrožena područja uz rijeke Mirnu, Neretvu i Cetinu, dok su Zrmanja i Krka dijelom zaštićene u okviru Parka prirode Velebit i Nacionalnog parka Krka (Jelić i sur. 2015).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj je ovog istraživanja utvrditi raznolikost riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske te među njima utvrditi zastupljenost vrsta suočenih s određenim stupnjem rizika od izumiranja, ali i endemskih vrsta. Raznolikost će biti opisana indeksima te će različiti izvori biti međusobno uspoređeni kako bi se utvrdila njihova važnost za faunu riba i vodozemaca. Budući da je područje krša specifično, posebice područja krških izvora, a ujedno je i pod velikim utjecajem čovjeka, važno je znati koje vrste obitavaju na određenim lokalitetima i u skladu s time ih zaštititi.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Područje istraživanja

Uzorci su prikupljeni na 21 lokalitetu, a to su: izvori rijeke Like, Jadro, Ljute, Krke, Žrnovnice, Čabranke, Une, Kupe, Zagorske Mrežnice, Zrmanje, Čikole, Krupe te Tonkovića vrilo, Majerovo vrilo, izvori Kamačnik, Krčić, Rječina, Mrđenovac, Modro oko, bočni izvor Modro oko te izvor Norin (Slika 6).



Slika 6. Lokaliteti na kojima su prikupljeni uzorci (plavo su označeni lokaliteti na kojima su prikupljeni uzorci iz kojih su izolirane jedinke riba i vodozemaca, a žuto lokaliteti na kojima su prikupljeni uzorci iz kojih nisu izolirane jedinke riba i vodozemaca).

Rijeka **Lika** je ponornica u Hrvatskoj. Njezin površinski tok teče kroz Ličko polje. Približna površina porječja Like iznosi 1570 četvornih kilometara. Lika izvire u podnožju Velebita na nadmorskoj visini oko 600 metara. Lika je najveća lička ponornica s dužinom od 78 km (hr.wikipedia.org).

Rijeka **Jadro** je rijeka koja izvire na području Klisa, a teče kroz grad Solin. Izvire u podnožju planine Mosor i teče solinskim poljem. Duljine je 4,5 km, no iznimno je bogata vodom. Na području Kaštelanskog zaljeva ulijeva se u Jadransko more (hr.wikipedia.org).

Rijeka **Žrnovnica** izvire u području Mosora. Ukupna duljina rijeke je 4,8 km. Bržeg je toka, s manjim slapovima i dosta brzaca. Teče kroz istoimeno mjesto i ulijeva se u more nekoliko kilometara od Splita u smjeru Omiša (hr.wikipedia.org).

Izvor rijeke Ljute nalazi se u Konavoskim brdima, nedaleko od istoimenog sela Ljuta. U Konavoskom polju se spaja s rječicom Konavočicom te u istom i ponire. Ljuta je s Konavoskim dvorima zaštićeni krajolik Republike Hrvatske (hr.wikipedia.org).

Rijeka **Krka** izvire u podnožju planine Dinare, 3,5 km sjeveroistočno od Knina, podno 22-metarskog Topoljskog buka ili Krčića, koji stvara pritok Krčić. Ukupna duljina Krke, s potopljenim dijelom ušća, iznosi 72,5 km, od čega 49 km čini slatkovodni vodotok, a 23,5 km bočati (hr.wikipedia.org). **Izvor Krčić** nalazi se u jakim krških vrelima na južnim padinama Dinare, a njegov tok mjestimice poprima izvor kanjona (tz-knin.hr).

Rijeka **Čikola** je ukupne dužine 46 km te je najduži pritok Krke. Izvire podno planine Svilaje, u blizini zaselaka Mirlović Polje i Čavoglave, nastavlja mirno teći Petrovim poljem, a ulaskom u kanjon u zadnjem dijelu svog toka pretvara se u bujicu, formirajući ponegdje mala jezera, i nastavljaajući dalje kanjonom ulijeva se u Krku (tz-drnis.hr).

Rijeka **Zrmanja** izvire u mjestu Zrmanja vrelo u Lici, podno planine Poštak. Tok joj je dug 69 kilometara, a ulijeva se u Novigradsko more (rijeka-zrmanja.hrvatska-smjestaj.com.hr).

Rijeka **Čabranka** je kratka granična rijeka između Hrvatske i Slovenije, lijeva pritoka rijeke Kupe. Duga je 17,5 km, a izvire pod planinom Veliki Obrh kod Čabra, na 546 m nadmorske visine (hr.wikipedia.org).

Rijeka **Una** izvire u ličkom dijelu Zadarske županije, kod mjesta Donja Suvaja, na 396 metara nadmorske visine. Izvire ispod padina planina Plješevice i Stražbenice. Vrelo Une je najdublji krški izvor u Hrvatskoj i među prvih pet najdubljih u svijetu (hr.wikipedia.org).

Rijeka **Kupa** izvire unutar granica Nacionalnoga parka Risnjak, na 321 m nadmorske visine, nedaleko od Crnoga Luga uz selo Razloge. Ima izgled malog, ovalnog jezerca dužine 200-ak metara i širine oko 50 metara. Izvor Kupe je jedino od najjačih, najrasprostranjenijih i najdubljih hrvatskih vrela (np-risnjak.hr).

Zagorska Mrežnica izvire kod sela Desmerice i Ogulinsko Zagorje i skuplja se u umjetno jezero Sabljaci. Iz jezera Sabljaci tunelom se odvodi do jezera Bukovnik i dalje do HE Gojak, tako da je njena voda preusmjerena u rijeku Dobru (Petra Kovač Konrad, speleolog.hr).

Rijeka **Krupa** izvire u Krupi kod Obrovca, a ulijeva se u Zrmanju kod Sastavaka. Duljina njezina toka je 7 km (hr.wikipedia.org).

Tonkovića vrilo i **Majerovo vrilo** izvorišna su područja rijeke Gacke, čiji je izvorni tok dugačak 32 km i po duljini se smatra trećom ponornicom u svijetu. Nakon izgradnje HE Senj, izvorni tok skraćen je na 11 km. Vrela Gacke proglašena su spomenikom prirode (np-sjeverni-velebit.hr).

Izvor Kamačnik pritok je rijeke Dobre, a smješten je u zaštićenom području nedaleko od Vrbovskog. Dubok je najmanje 118 metara, što ga već sada svrstava u deset najdubljih izvora u Hrvatskoj (Marinko Krmpotić, novilist.hr).

Rječina izvire iz pećine na nadmorskoj visini od 325 m, ispod strme litice brda Kičeja. Rječina se u Jadran ulijeva u gradu Rijeci, a tok joj je dug oko 19 km (hr.wikipedia.org).

Izvor Mrdenovac izvorište je rijeke Like u blizini mjesta Medak, a nalazi se na 581 m nadmorske visine (Branko Nadilo, casopis-gradjevinar.hr).

Područje **Modro oko** i **bočni izvor Modro oko** uz naselje Desne djelomično je potopljena krška depresija na desnoj obali Neretve koja je, ovisno o stanju voda, više ili manje ujezerena. Povezana je s Neretvom preko rječice Desanke i Crne rijeke. Uz rub brdskog područja nalazi se više izvora koji su kroz krško podzemlje povezani sa sustavom rijeke Matice, a najveće je Modro oko (nasaneretva.net).

Rijeka **Norin** izvire u metkovskom prigradskom naselju Prud, na prijelazu krša u močvarno područje delte Neretve, a u Neretvu se ulijeva nedaleko naselja Kula Norinska (hr.wikipedia.org).

3.2. Metode uzorkovanja

Prikupljanje uzoraka trajalo je od početka 2014. do kraja 2016. godine, s minimalnom sezonskom dinamikom prikupljanja, a na ciljanim lokalitetima i jednom tijekom svakog mjeseca.

Uzorci su prikupljeni kracer mrežom otvora 25×25 cm i promjera oka 200 μm na dominantnim mikrostaništima (>5%) u izvoru ili izvorišnom toku istraživanih vodotoka u dužini od 100 m. Uzorkovanje je provedeno prema modificiranom AQEM protokolu te su uzorci odvajani prema udjelima pojedinih supstrata, tj. mikrostaništa. Uzorci su prikupljeni na način da je otvor mreže usmjeren prema uzvodnom dijelu toka te je podizanjem sedimenta do dubine od 5 cm snažnim kružnim pokretima čizme uzvodno od otvora mreže (tzv. metodom čizme ili eng. “kick sampling”) ili ispiranjem makrofitske vegetacije s dna izvorišnog toka laganim pokretima metle ispred mreže. Prikupljeni materijal ispran je u kanti, dekantiran te prebačen u plastične posude odvojeno sa svakog tipa mikrostaništa. Uzorci su konzervirani na terenu 96%-tnim etanolom, te pohranjeni u plastične bočice na koje je prethodno napisan naziv lokaliteta, tip supstrata, datum uzorkovanja i broj poduzoraka ovisno o zastupljenosti mikrostaništa u istraživanom odsječku vodotoka. Skupljanje uzoraka izvršeno je od strane članova Laboratorija za ekologiju životinja Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka PMF-a, pod voditeljstvom izv. prof. dr. sc. Sanje Gottstein.

Na terenu su izmjereni osnovni fizikalno-kemijski parametri vode primjenom digitalnog WTW multi-instrumenta 3430 F. Digitalnom pH elektrodom SenTix 940 mjeren je pH vode, digitalnom sondom TetraCon 925 mjerena je električna provodnost vode (μScm^{-1}), a optičkom sondom FDO 925 mjerena je količina otopljenog kisika u vodi (mgL^{-1}) te zasićenje vode kisikom (%). Brzina strujanja vode (m/s) mjerena je brzinomjerom Dostmann electronic P600. Titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom (HCl) uz indikator „metil orange“ (methyl orange) izmjeren je alkalinitet vode (kasnije izražavan u $\text{mg CaCO}_3 \text{ mgL}^{-1}$) prema standardnom protokolu (APHA 1995). Tijekom uzorkovanja faune mjerena je minimalna i maksimalna dubina vode.

Tablica 1 pokazuje da su vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode u proljeće i jesen gotovo jednake. Temperatura vode kreće se oko 10 °C, a niska je zbog izviranja vode iz podzemlja. Najviše temperature vode izmjerene su na izvorima južnog jadranskog slijeva. Prema mjerenjima pH vrijednosti krški izvori blago su bazični zbog otapanja stijena koje

sadrže kalcijev karbonat, a nešto niža pH vrijednost izmjerena je u jesen. S obzirom na to da se krški izvori nalaze na vapnenačkoj podlozi, električna provodljivost je velika. Među istraživanim izvorima izuzetak je izvor rijeke Kupe, gdje je električna provodljivost manja zbog manje koncentracije otopljenih tvari u vodi.

Tablica 1. Izmjereni fizikalno-kemijski parametri na 11 istraživanih izvora.

| | temp. H ₂ O | O ₂ / mgL ⁻¹ | O ₂ / % | pH | σ / μScm ⁻¹ | CaCO ₃ / mgL ⁻¹ |
|------------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| Una | | | | | | |
| proljeće | 10,2 | 11,63 | 106,8 | 8,17 | 394 | 205 |
| jesen | 9,3 | 11,37 | 103,1 | 7,83 | 433 | 225 |
| Kupa | | | | | | |
| proljeće (travanj) | 7,2 | 11,9 | 101,8 | 8,025 | 241 | 120 |
| jesen | 7,2 | 11,72 | 100,5 | 7,75 | 278 | 145 |
| Zagorska Mrežnica | | | | | | |
| proljeće (travanj) | 8,4 | 10,85 | 95,3 | 7,655 | 376 | 190 |
| jesen (listopad) | 9 | 10,61 | 95,5 | 7,6 | 405 | 215 |
| Krčić | | | | | | |
| proljeće | 9,4 | 10,9 | 98,8 | 8,47 | 353 | 185 |
| jesen | 9 | 8,77 | 80,1 | 7,52 | 390 | 195 |
| Zrmanja | | | | | | |
| proljeće | 8,9 | 11,13 | 101,1 | 7,87 | 347 | 182,5 |
| jesen | 8,8 | 11,18 | 101,8 | 7,82 | 369 | 175 |
| Mrdenovac | | | | | | |
| proljeće | 8,5 | 10,01 | 92,4 | 7,57 | 354 | 187,5 |
| jesen | 8,8 | 9,55 | 87,7 | 7,5 | 381 | 210 |
| Čikola | | | | | | |
| proljeće | 24,1 | 9,72 | 119 | 7,739 | 286 | 135 |
| jesen | 11,5 | 10,4 | 100,3 | 7,49 | 414 | 215 |
| Krupa | | | | | | |
| proljeće | 10,2 | 10,9 | 99 | 7,67 | 338 | 175 |

Tablica 1. Nastavak

| | temp. H ₂ O | O ₂ / mgL ⁻¹ | O ₂ / % | pH | σ / μScm ⁻¹ | CaCO ₃ / mgL ⁻¹ |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------|------------------------|---------------------------------------|
| jesen | 10,3 | 11,9 | 108 | 7,38 | 366 | 180 |
| Modro oko | | | | | | |
| proljeće | 14,9 | 11,83 | 117,8 | 7,839 | 450 | 205 |
| jesen | 13,4 | 8,74 | 85,2 | 7,5 | 562 | 190 |
| M. o. (bočni i.) | | | | | | |
| proljeće (21.3.) | 13 | 9,92 | 94,3 | 7,64 | 431 | 185 |
| jesen | 13,6 | 7,78 | 7,61 | 7,51 | 535 | 195 |
| Norin | | | | | | |
| proljeće (svibanj) | 13,3 | 7,87 | 75,3 | 7,36 | 681 | 220 |
| jesen (studeni) | 13,3 | 7,96 | 75,6 | 7,141 | 635 | 250 |

3.3. Rad u laboratoriju

Nakon prikupljanja uzoraka, među kojima su se nalazili i beskralješnjaci, slijedilo je izoliranje jedinki riba i vodozemaca.

Izoliranje je provedeno u Laboratoriju za biologiju kralješnjaka Biološkog odsjeka na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. Utvrđeno je da su izolirane jedinke riba i vodozemaca prikupljene na jedanaest lokaliteta krških izvora rijeke Une, Kupe, Zagorske Mrežnice, Zrmanje, Čikole, Krupe te na izvorima Krčić, Mrđenovac, Modro oko, bočni izvor Modro oko te na izvoru Norin. Budući da su prikupljeni uzorci sitni te mnogi još u ličinačkom stadiju, istresanjem u kadicu sadržaj je detaljno pregledan pomoću pinceta i igle za prepariranje. Pronađene jedinke prebačene su u prozirne bočice koje su označene, nakon čega su jedinke iz svake pojedine bočice stavljene u Petrijeve zdjelice te su im digitalnom pomičnom mjerkom izmjerene ukupne duljine tijela. Nakon mjerenja jedinke su determinirane pod lupom marke Zeiss Stemi 2000-C te su vraćene u bočice s etanolom. Pri determinaciji riba koristila sam determinacijske ključeve Handbook of European Freshwater Fishes (Kottelat i Freyhof 2007) te Slatkovodne ribe Jugoslavije (Vuković 1971), dok sam pri determinaciji vodozemaca koristila ključ Eesti kahepaiksete välimääraja (Adrados i sur. 2010).

Svi podaci o datumima i lokalitetima na kojima su uzorci prikupljeni, determiniranim vrstama i njihovoj brojnosti bili su bilježeni u laboratorijski dnevnik na temelju čega je izrađena baza podataka.

3.4. Statistička analiza podataka

Nakon izoliranja i determinacije slijedila je statistička obrada podataka pomoću računalnih programa Microsoft Excel® i BioDiversity Pro. Statistička obrada uključivala je deskriptivnu statistiku tjelesnih mjera pojedinih vrsta, a također i računanje indeksa raznolikosti faune vodozemaca i riba pojedinih krških izvora te geografskih područja. Osim tradicionalno korištenih ekoloških indeksa kojima se opisuje raznolikost nekog područja (Shannonov i Simpsonov indeks, Alfa indeks raznolikosti, Berger-Parkerova dominantnost, Hillov indeks te McIntoshev indeks raznolikosti i ravnomjernosti), u ovom radu provedena je i analiza glavnih komponenata (PCA) pojedinih krških izvora i geografskih područja te je izračunat indeks

rijetkosti, indeks ugroženosti te kombinirani indeks bioraznolikosti, koji u opisivanje raznolikosti nekog područja uključuje i mjere rijetkosti vrsta rasprostranjenih na nekom području, kao i njihove ugroženosti. Nadalje, određene su i starosne kategorije jedinki pojedinih vrsta (juvenilne naspram odraslih jedinki), s ciljem utvrđivanja važnosti krških izvora za pojedine dijelove njihova životnog ciklusa. Svi su dobiveni rezultati međusobno uspoređeni te su diskutirani s obzirom na zabilježene fizikalno-kemijske parametre krških izvora u proljeće i jesen.

3.4.1. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika bavi se uređivanjem prikupljenih, empirijskih podataka, njihovim grafičkim prikazivanjem i opisivanjem pomoću numeričkih vrijednosti: srednja vrijednost, standardna devijacija, korelacijski koeficijent itd. (grad.hr). U istraživanju je deskriptivna statistika (u računalnom programu Microsoft Excel®) korištena za dobivanje minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti ukupne duljine tijela svake vrste riba i vodozemaca pronađene u krškim izvorima.

3.4.2. Indeksi raznolikosti

Za utvrđivanje raznolikosti faune vodozemaca i riba pojedinih krških izvora te geografskih područja korišteni su Alfa indeks raznolikosti (α), Shannonov (H') i Simpsonov indeks (D), Berger-Parkerova dominantnost (d), Hillov indeks (H) te McIntoshev indeks raznolikosti (D) i ravnomjernosti (E).

Alfa indeks (α) jedan je od najčešće korištenih indeksa raznolikosti. Njegova univerzalna primjena leži u nekoliko karakteristika: niska osjetljivost na veličinu uzorka (Kempton i Taylor 1974; Magurran 1988), sposobnost diskriminacije u statističkim usporedbama ponovljenih uzoraka (Kempton i Wedderburn 1978; Taylor 1978), relativna neosjetljivost na krajeve distribucije, što je od velike koristi kod raštrkanih, prorijeđenih ili neočekivanih distribucija (Magurran 1988). Izračunava se prema formuli (Murray 1991), 1943):

$$\alpha = \frac{N(1 - x)}{x}$$

gdje je α - Fisher α indeks,
 N broj jedinki u uzorku i
 x konstanta s vrijednosti manjom od 1.

Fisherov alfa indeks koristi se za jednostavnu usporedbu bioraznolikosti te veće vrijednosti upućuju na veću bioraznolikost.

Hillov indeks (H) prikazuje odnos između indeksa bogatstva vrsta i indeksa ravnomjernosti. Hill je definirao skup broja raznolikosti različitog reda. Broj raznolikosti reda definiran je kao (Hill 1973):

$$H_a = \left(\sum_i p_i^a \right)^{1/(1-a)}$$

gdje je p_i proporcionalno bogatstvo vrsta i u uzorku,
 a je red u kojem je indeks ovisan o rijetkim vrstama.

Najpoznatiji Hillovi brojevi su (jadran.izor.hr):

$$H_0 = S$$

$$H_1 = \exp H' \text{ (eksponencijalan Shannon-Wiener indeks raznolikosti)}$$

$$H_2 = 1/\gamma \text{ (recipročno Simpsonovoj } \gamma \text{)}.$$

Shannonov indeks (H') omogućuje usporedbu raznolikosti faune između različitih staništa (Clarke i Warwick 2001). Uzima u obzir broj vrsta i distribuciju jedinki između vrsta, a označava heterogenost faune. To je uobičajeno korištena metoda koja se bazira na informacijskoj teoriji (H), a računa se prema Shannonovoj formuli (Shannon 1948):

$$H'(S) = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

gdje je H' Shannonov indeks raznolikosti,
 S broj nalazišta vrste i
 p_i udio nalazišta vrsta.

Shannonov indeks mjeri neodređenost kategorije u nekom setu, to je mjera jednakosti. Ovisi i o broju vrsta i o jednakosti njihovih populacija, a raznolikost raste kako rastu obje

pretpostavke te je najveća kad su vrste jednoliko raspoređene. Vrijednost ovog indeksa iznositi će 0 ukoliko postoji samo jedna vrsta u promatranom području, dok će svoju maksimalnu vrijednost postići kada su sve vrste zastupljene jednakom gustoćom (Sagar i Sharma 2012).

Simpsonov indeks (D) mjera je raznolikosti koja uzima u obzir bogatstvo vrsta i ujednačenost vrsta na određenom području. Ovaj indeks mjeri vjerojatnost da dvije nasumce odabrane jedinke određenog područja pripadaju istoj vrsti. Računa se prema formuli (Web 24):

$$D = 1 / \sum p_i^2$$

gdje je D Simpsonov indeks raznolikosti,

p_i proporcija (udio) jedinki jedne vrste u ukupnom broju jedinki (i kreće se od 1 do S, gdje je S broj vrsta u uzorku).

Simpsonov indeks predstavlja indeks bogatstva vrsta i ukazuje na dominantnost određene vrste (Sohier 2008). Zasniva se na vjerojatnosti da nasumično iz zajednice izvučemo dvije jedinke iste vrste. Vrijednosti ovog indeksa nalaze se u rasponu od 0 do 1, gdje 0 označava izostanak dominacije (sve vrste zastupljene su jednakim brojem jedinki), a 1 izraženu maksimalnu dominaciju (Sagar i Sharma 2012).

Berger-Parkerova dominantnost (d) dobiva se dijeljenjem ukupnog broja jedinki svih vrsta u zajednici s brojem jedinki najbrojnije vrste (preuzeto iz Pezelj, 2002):

$$d = \frac{N}{N_{max}}$$

Vrijednosti indeksa dominacije kreću se između 0 i 1. Kada je vrijednost indeksa 0, tada je raznolikost zajednice velika i sve jedinke jednako su zastupljene, a kada je vrijednost indeksa 1, tada je raznolikost zajednice mala i dominira jedna vrsta.

McIntoshev indeks raznolikosti (D) – vrijednosti se kreću između 0 i 1. Kada se vrijednost približava 1, znači da su jedinke u zajednici homogeno raspoređene. Izračunava se prema formuli (McIntosh 1967):

$$Mc = [N - \sqrt{(\sum n_i^2)}] / [N - \sqrt{N}]$$

gdje je: M_c Mackintoshev indeks raznolikosti,
 n_i Number of individuals belonging to i species i
 N ukupan broj jedinki.

McIntoshev indeks ravnornosti (E) izveden je iz McIntosheva indeksa. Vrijednosti se kreću između 0 i 1. Kada se vrijednost približava 1, znači da su jedinke jednako rasprostranjene. Izračunava se prema formuli (Heip i Engels 1974):

$$Mc E = [N - \sqrt{\sum n_i^2}] / [N - (N / \sqrt{S})]$$

gdje je: $M_c E$ McIntoshev indeks ravnornosti,
 N_i broj jedinki koje pripadaju vrsti i ,
 S ukupan broj vrsta i
 N ukupan broj jedinki.

3.4.3. Kriteriji za određivanje područja visoke raznolikosti

Bogatstvo vrsta (S) je broj vrsta na određenom području.

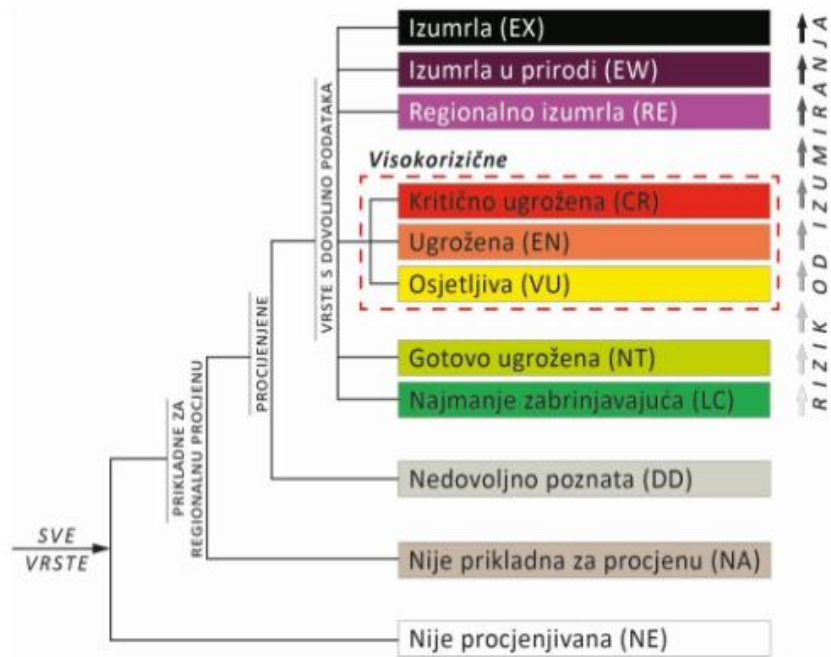
Rijetkost:

1. Rijetkost vrste = $1/n_i$, gdje je n_i broj UTM kvadrata u kojima je vrsta prisutna
2. Indeks rijetkosti predstavlja zbroj rijetkosti svih vrsta na određenom području (UTM kvadratu) podijeljenih s brojem vrsta u kvadratu te predstavlja mjeru prosječne rijetkosti vrsta u području. Izračunava se prema formuli:

$$\sum_{i=1}^s (1/n_{ri}) / s_r$$

gdje je $1/n_i$ rijetkost vrste,
 s_r broj vrsta u kvadratu (području).

Ugroženost:



Slika 7. IUCN kategorije ugroženosti kojima se iskazuje rizik od izumiranja procijenjene vrste (haop.hr)

Za izračunavanje indeksa ugroženosti i kombiniranog indeksa bioraznolikosti u ovom istraživanju korišteni su brojevi od 0 do 5 prema sljedećoj skali:

CR (kritično ugrožena): 5

EN (ugrožena) (i DD – nedovoljno poznata): 4

VU (osjetljiva): 3

NT (gotovo ugrožena): 2

LC (najmanje zabrinjavajuća): 1

invazivna vrsta: 0

Indeks ugroženosti predstavlja zbroj svih vrsta na određenom području pomnoženih s vrijednostima ugroženosti vrste prema gore navedenoj skali, čiji se rezultat podijeli s brojem vrsta u kvadratu (području). Daje informaciju o prosječnoj ugroženosti vrsta u određenom području. Izračunava se prema formuli:

$$\sum_{i=1}^s V_{ri} / S_r$$

gdje je s_r broj vrsta u kvadratu (području),
 n broj kvadrata u kojima je vrsta prisutna,
 V_{ri} vrijednost ugrožene vrste.

Kombinirani indeks bioraznolikosti predstavlja zbroj rijetkosti svih vrsta na određenom području (UTM kvadratu) pomnoženih s vrijednostima ugroženosti vrste. Izračunava se prema formuli:

$$\sum_{i=1}^s (1/n_{ri}) V_{ri}$$

gdje je $1/n_i$ rijetkost vrste,
 V_{ri} vrijednost ugrožene vrste.

4. REZULTATI

4.1. Popis lokaliteta, vrsta i morfometrijskih značajki ihtio- i batrahocenoze krških izvora

Uzorci su prikupljeni na 21 lokalitetu, no jedinke riba i vodozemaca bile su prisutne u uzorcima sa 11 lokaliteta, i to u uzorcima prikupljenima na krškim izvorima rijeka Une, Kupe, Zagorske Mrežnice, Zrmanje, Čikole, Krupe te na izvorima Krčić, Mrđenovac, Modro oko, bočni izvor Modro oko te na izvoru Norin. Ukupno je izolirana 101 jedinka riba i vodozemaca, među kojima je 69 jedinki riba i 32 jedinke vodozemaca. Svakoj jedinki izmjerena je ukupna duljina tijela (Tablica 2).

Od izoliranih 69 jedinki riba, 17 jedinki pripada porodici glavoča (Gobiidae) i vrsti *Knipowitschia radovici* Kovačić, 2005 (norinski glavočić). Ukupno 40 izoliranih jedinki pripada porodici peševa (Cottidae) i vrsti *Cottus gobio* Linnaeus, 1758 (peš). Jedna izolirana jedinka pripada porodici živorotki (Poeciliidae) i vrsti *Gambusia affinis* (S. F. Baird i Girard, 1853) (gambuzija). 11 izoliranih jedinki pripada porodici koljuški (Gasterosteidae) i vrsti *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758 (koljuška). Sve pronađene jedinke riba taksonomski pripadaju razredu zrakoperki (Actinopterygii).

Od izolirane 32 jedinke vodozemaca, 29 jedinki pripada redu bezrepaca (Anura), i to dvjema vrstama žaba: *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) (smeđa krastača) i *Bufo viridis* Laurenti, 1768 (zelena krastača). Preostale tri jedinke pripadaju redu repaša (Caudata) i porodici daždevnjaka (Salamandridae), a to su također dvije vrste: *Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758) (pjegavi daždevnjak) i *Lissotriton vulgaris* (Linnaeus, 1758) (mali vodenjak).

Tablica 2. Popis lokaliteta, determiniranih vrsta i ukupne duljine tijela jedinki riba i vodozemaca iz krških izvora.

| Broj jedinki | Lokalitet | Vrsta | Ukupna duljina tijela (mm) |
|--------------|-------------------------|---|----------------------------|
| 1 | Modro oko | <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768 | 25,41 |
| 2 | Modro oko | <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768 | 23,44 |
| 3 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 20,55 |
| 4 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 21,63 |
| 5 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 19,23 |
| 6 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 13,38 |
| 7 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 14,37 |
| 8 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,96 |
| 9 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 19,97 |
| 10 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,95 |
| 11 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 15,78 |
| 12 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 20,8 |
| 13 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 21,92 |
| 14 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 20,4 |
| 15 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,13 |
| 16 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 19,7 |
| 17 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 14,34 |
| 18 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 14,67 |
| 19 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,1 |
| 20 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 22,69 |
| 21 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 13,26 |
| 22 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 20,29 |
| 23 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,84 |
| 24 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 21,97 |
| 25 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 18,23 |
| 26 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 13,55 |
| 27 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 16,2 |
| 28 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 19,45 |
| 29 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 12,17 |
| 30 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 31,3 |

Tablica 2. Nastavak

| | | | |
|----|-------------------------|---|-------|
| 31 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 19,7 |
| 32 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 26,38 |
| 33 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 26,73 |
| 34 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 18,64 |
| 35 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 18,14 |
| 36 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 25,15 |
| 37 | Modro oko (bočni izvor) | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 19,4 |
| 38 | Modro oko | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 18,69 |
| 39 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 22,53 |
| 40 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 22,07 |
| 41 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 25,32 |
| 42 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,22 |
| 43 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 30,31 |
| 44 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 48,92 |
| 45 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,22 |
| 46 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,68 |
| 47 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,85 |
| 48 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,2 |
| 49 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10 |
| 50 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 18,37 |
| 51 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 17,42 |
| 52 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 8,97 |
| 53 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 12,75 |
| 54 | Krupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,93 |
| 55 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,81 |
| 56 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,29 |
| 57 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,75 |
| 58 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,03 |
| 59 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,96 |
| 60 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,97 |
| 61 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,33 |
| 62 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,38 |
| 63 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,05 |

Tablica 2. Nastavak

| | | | |
|----|----------------------|--|-------|
| 64 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 10,66 |
| 65 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 8,77 |
| 66 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,76 |
| 67 | Kupa (izvorišni tok) | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 9,03 |
| 68 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 14,36 |
| 69 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 13,39 |
| 70 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 18,79 |
| 71 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 12,08 |
| 72 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 16,32 |
| 73 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 13,76 |
| 74 | Zrmanja | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 11,01 |
| 75 | Čikola | <i>Gambusia affinis</i> (S. F. Baird i Girard, 1853) | 20,81 |
| 76 | Zagorska Mrežnica | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 25,5 |
| 77 | Zagorska Mrežnica | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 26,23 |
| 78 | Una | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 28,43 |
| 79 | Una | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 18,85 |
| 80 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 27,8 |
| 81 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 17,09 |
| 82 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 18,08 |
| 83 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 19,51 |
| 84 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 21,44 |
| 85 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 20,08 |
| 86 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 16,67 |
| 87 | izvor Norin | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 15,94 |
| 88 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 20,22 |
| 89 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 23,88 |
| 90 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 27,19 |
| 91 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 21,31 |
| 92 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 21,33 |
| 93 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 22,43 |
| 94 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 18,53 |
| 95 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 17,22 |
| 96 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 22,24 |

Tablica 2. Nastavak

| | | | |
|-----|-----------------------|---|-------|
| 97 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 27,77 |
| 98 | izvor Norin | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 14,95 |
| 99 | izvor Krčić | <i>Salamandra salamandra</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 60 |
| 100 | izvor Mrđenovac, Lika | <i>Lissotriton vulgaris</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 39,09 |
| 101 | izvor Mrđenovac, Lika | <i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) | 24,77 |

4.2. Tjelesne mjere pojedinih vrsta

U tablici 3 uočavamo da je, među ribama, najmanja minimalna i najveća maksimalna ukupna duljina tijela izmjerena je na jedinkama vrste *C. gobio* (8,77 mm; 48,92 mm), dok je najveća srednja vrijednost ukupne duljine tijela utvrđena za vrstu *G. aculeatus* (21,55 mm), a najmanja za vrstu *C. gobio* (15,33 mm).

Unutar razreda vodozemaca najmanja minimalna ukupna duljina tijela izmjerena je na jedinki vrste *B. bufo* (12,17 mm), a najveća kod jedinke vrste *S. salamandra* (60 mm). Najmanja srednja vrijednost ukupne duljine tijela odgovara vrsti *B. bufo* (18,56 mm), a najveća vrsti *S. salamandra* (60 mm).

Tablica 3. Rezultati minimalne, maksimalne te srednje vrijednosti ukupne duljine tijela svake vrste riba i vodozemaca pronađene u krškim izvorima.

| | Vrsta | min. (mm) | max. (mm) | srednja vrijednost (mm) |
|---|--|--------------|--------------|-------------------------|
| 1 | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 12,17 | 22,69 | 18,05 |
| 2 | <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768 | 23,44 | 25,41 | 24,42 |
| 3 | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 15,94 | 31,3 | 21,22 |
| 4 | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 8,77 | 48,92 | 15,33 |
| 5 | <i>Gambusia affinis</i> (S. F. Baird i Girard, 1853) | 20,81 | 20,81 | 20,81 |
| 6 | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 14,95 | 27,77 | 21,55 |
| 7 | <i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758) | 60 | 60 | 60 |
| 8 | <i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) | 24,77 | 39,09 | 31,93 |

4.3. Raznolikosti faune riba i vodozemaca pojedinih krških izvora

U tablici 4 može se vidjeti da je među izoliranim jedinkama determinirano ukupno 8 vrsta riba i vodozemaca, među kojima su četiri vrste riba (*C. gobio*, *K. radovici*, *G. affinis*, *G. aculeatus*) i četiri vrste vodozemaca (*B. bufo*, *B. viridis*, *S. salamandra*, *L. vulgaris*).

Najveći broj jedinki (njih 35) utvrđen je na bočnom izvoru Modro oko, dok je na izvoru Krčić i izvoru rijeke Čikole utvrđen najmanji broj jedinki, na svakom lokalitetu po jedna (Tablica 4).

Tablica 4. Brojnost izoliranih jedinki determiniranih vrsta na jedanaest lokaliteta.

| | Vrsta | U. | K. | Z. M. | Krč. | Z. | M. | Č. | Kr. | M. o. | M. o. (b. i.) | N. |
|---|---|----|----|-------|------|----|----|----|-----|-------|---------------|----|
| 1 | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 |
| 2 | <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 3 | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 8 |
| 4 | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 2 | 20 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | <i>Gambusia affinis</i> (S. F. Baird i Girard, 1853) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 7 | <i>S. salamandra</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | <i>L. vulgaris</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>L. vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 2 | 20 | 2 | 1 | 7 | 2 | 1 | 9 | 3 | 35 | 19 |

Legenda:

U. – Una; K. – Kupa; Z. M. – Zagorska Mrežnica; Krč. – Krčić; Z. – Zrmanja; M. – Mrđenovac; Č. – Čikola; Kr. – Krupa; M. o. – Modro oko; M. o. (bočni i.) – Modro oko (bočni izvor); N - Norin

4.3.1. Indeksi raznolikosti pojedinih krških izvora

Shannonov (H') i Simpsonov indeks (D) te McIntosheve indekse raznolikosti (D) i ravnomjernosti (E) bilo je moguće odrediti samo za izvor Modro oko, bočni izvor Modro oko te za izvor Norin zato što je iz uzoraka ostalih izvora izolirana samo jedna vrsta riba i vodozemaca, a to znači da je raznolikost jednaka nuli.

U tablici 5 može se uočiti da je vrijednost Alpha indeksa raznolikosti (α) najveća za izvor Krčić (11015,44) i izvor Čikole (11015,44), a najmanja za izvor Kupe (0,22). Vrijednost indeksa Berger-Parkerove dominantnosti (d) najniža je za izvor Norin (0,57), dok za ostale izvore iznosi 1. Za izvor Modro oko, bočni izvor Modro oko te za izvor Norin vrijednost Hillovog indeksa (H) iznosi 2, a za ostale izvore vrijednost iznosi 1 (Tablica 5).

Tablica 5. Prikaz rezultata indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora.

| INDEKS | U. | K. | Z. M. | KRČ. | Z. | M. | Č. | KR. | M. O. | M. O. (b. i.) | N. |
|-------------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|------------------|-------------|
| α | 0,76 | 0,22 | 0,79 | 11015,44 | 0,31 | 0,79 | 11015,44 | 0,28 | 2,62 | 0,46 | 0,56 |
| d | | | | | | | | | | | |
| d | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,66 | 0,77 | 0,57 |
| 1/d | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,29 | 1,72 |
| d% | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 66,66 | 77,14 | 57,89 |
| H | | | | | | | | | | | |
| Hillov broj H_0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Hillov broj H_1 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 3,61 | 3,13 | 3,85 |
| Hillov broj H_2 | 0,25 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 |

Legenda:

α – Alpha indeks; d – Berger-Parkerova dominantnost; H – Hillov indeks

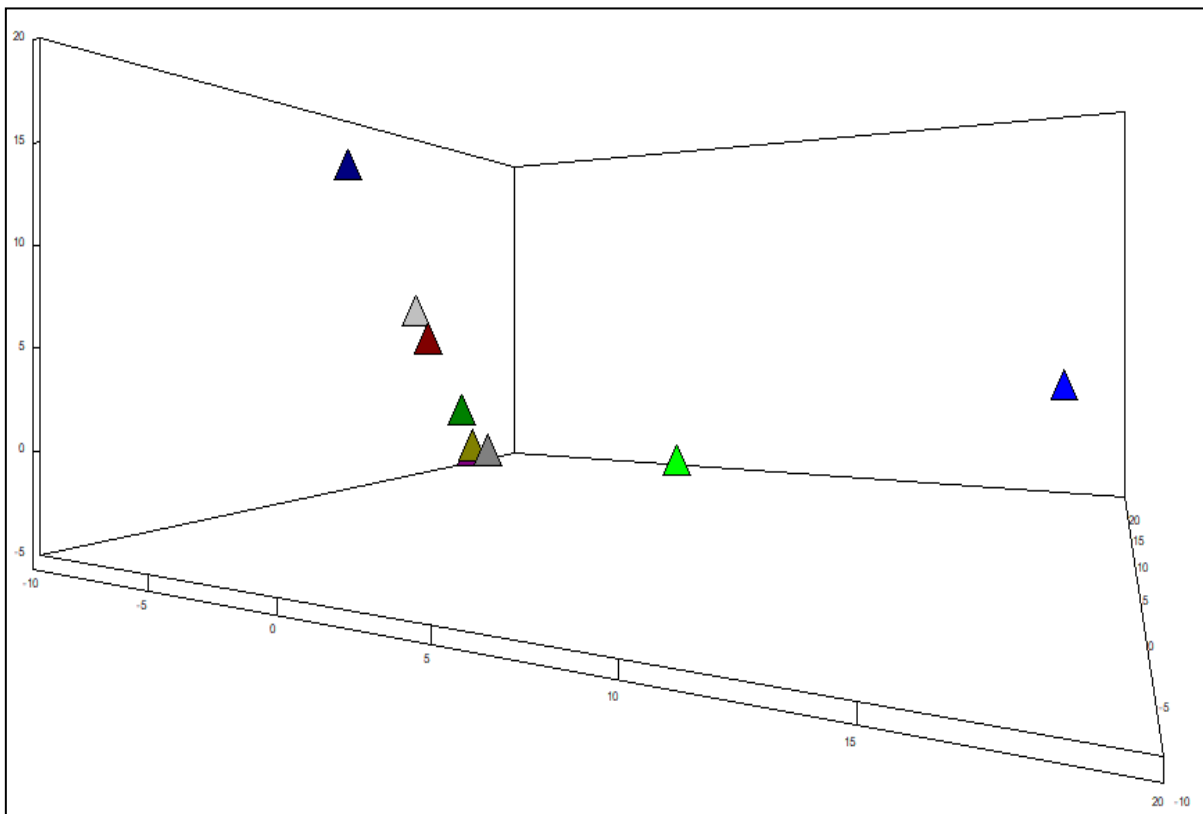
U. – UNA; K. – KUPA; Z. M. – ZAGORSKA MREŽNICA; KRČ. – KRČIĆ; Z. – ZRMANJA; M. – MRĐENOVAC; Č. – ČIKOLA; KR. – KRUPA; M. O. – MODRO OKO; M. O. (b. i.) – MODRO OKO (bočni izvor)

Približno jednake vrijednosti Shannonovog indeksa (H') imaju izvori Norin (0,29) i Modro oko (0,27), a najnižu vrijednost ima bočni izvor Modro oko (0,23). Vrijednost Simpsonovog indeksa (D) najveća je za bočni izvor Modro oko (0,63), dok je najmanja za izvor Modro oko. Bočni izvor Modro oko ima najmanju vrijednost (0,16) McIntoshevog indeksa raznolikosti (D), a izvor Modro oko najveću (1,77) zbog veće homogenosti među jedinkama u zajednici. Suprotno tome, izvor Modro oko ima najmanju vrijednost (1,16) McIntoshevog indeksa ravnomjernosti (E), dok bočni izvor Modro oko ima najveću (1,49) jer su jedinke tog izvora jednolikije rasprostranjene (Tablica 6).

Tablica 6. Prikaz rezultata indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora.

| INDEKS | MODRO OKO | MODRO OKO (bočni izvor) | NORIN |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------|
| Shannonov indeks (H') | | | |
| Shannon H' Log baze 10, | 0,27 | 0,23 | 0,29 |
| Shannon Hmax Log baze 10, | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Shannon J' | 0,91 | 0,77 | 0,98 |
| Simpsonov indeks (D) | | | |
| Simpsonova raznolikost (D) | 0,33 | 0,63 | 0,48 |
| Simpsonova raznolikost (1/D) | 3 | 1,57 | 2,06 |
| McIntoshevi indeksi | | | |
| McIntosheva raznolikost (D) | 1,77 | 1,16 | 1,20 |
| McIntosheva ravnomjernost (E) | 1,16 | 1,49 | 1,44 |

Na slici 8 može se vidjeti da se izvor Kupe po raznolikosti ihtio- i batrahofaune izdvaja od ostalih izvora zbog velikog broja jedinki jedine prisutne vrste (izražena dominantnost), dok su ostali izvori po sastavu zajednice slični, osim bočnog izvora Modro oko, gdje je prisutan velik broj jedinki dvije prisutne vrste.



Slika 8. Prikaz analize glavnih komponentata (PCA) pojedinih krških izvora

- ▲ UNA; ▲ KUPA; ▲ ZAGORSKA MREŽNICA; ▲ KRČIĆ; ▲ ZRMANJA;
- ▲ MRĐENOVAC; ▲ ČIKOLA; ▲ KRUPA; ▲ MODRO OKO;
- ▲ MODRO OKO (bočni izvor); ▲ NORIN

4.4. Raznolikosti faune riba i vodozemaca geografskih područja

Brojnost izoliranih jedinki je, osim pojedinačno za lokalitete (Tablica 4), izračunata i za tri slijevna područja kojima pripadaju krški izvori uključeni u ovo istraživanje, a to su: dunavski slijev, središnji jadranski i južni jadranski slijev (Tablica 7). Rijeke Una, Kupa i Zagorska mrežnica pripadaju dunavskom slijevu. Rijeke Zrmanja, Čikola i Krupa te izvori Krčić i Mrđenovac pripadaju središnjem jadranskom slijevu, a izvor Modro oko, bočni izvor Modro oko te izvor Norin pripadaju južnom jadranskom slijevu.

U tablici 7 vidimo da sve izolirane jedinke dunavskog slijeva pripadaju vrsti *C. gobio* (peš). U uzorcima rijeka središnjeg jadranskog slijeva izolirano je najviše jedinki (njih 16) koje također pripadaju vrsti *C. gobio*. Međutim, izolirane su i dvije jedinke malog vodenjaka (*L. vulgaris*) i po jedna jedinka gambuzije (*G. affinis*) i pjegavog daždevnjaka (*S. salamandra*). Iz uzoraka izvora južnog jadranskog slijeva izolirano je najviše jedinki (njih 27) smeđe krastače (*B. bufo*), a samo dvije jedinke zelene krastače (*B. viridis*). Također je izolirano 17 jedinki norinskog glavočića (*K. radovici*) te 11 jedinki koljuške (*G. aculeatus*).

Tako dolazimo do zaključka da je najviše jedinki utvrđeno u uzorcima izvora južnog jadranskog slijeva, ukupno 57. U uzorcima rijeka središnjeg jadranskog slijeva utvrđeno je ukupno 20 jedinki, dok je u uzorcima rijeka dunavskog slijeva utvrđeno 24 jedinke (Tablica 7).

Tablica 7. Brojnost jedinki determiniranih vrsta u izvorima rijeka dunavskog, središnjeg jadranskog i južnog jadranskog slijeva.

| | VRSTA | DUNAVSKI SLIJEV | SREDIŠNJI JADRANSKI SLIJEV | JUŽNI JADRANSKI SLIJEV |
|---|--|--------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758) | 0 | 0 | 27 |
| 2 | <i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | <i>Knipowitschia radovici</i> Kovačić, 2005 | 0 | 0 | 17 |
| 4 | <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758 | 24 | 16 | 0 |
| 5 | <i>Gambusia affinis</i> (S. F. Baird i Girard, 1853) | 0 | 1 | 0 |
| 6 | <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 | 0 | 0 | 11 |
| 7 | <i>Salamandra salamandra</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 0 | 1 | 0 |
| 8 | <i>Lissotriton vulgaris</i> (kasnija faza) (Linnaeus, 1758) | 0 | 1 | 0 |
| | <i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758) | 0 | 1 | 0 |
| | | 24 | 20 | 57 |

4.4.1. Indeksi raznolikosti geografskih područja

U tablici 8 uočava se da srednji jadranski slijev ima najveću vrijednost (1,5) Alpha indeksa (α), a dunavski slijev najmanju (0,21). Najveću vrijednost indeksa Berger-Parkerove dominantnosti (d) ima dunavski slijev (1), a najmanju vrijednost ima južni jadranski slijev (0,47). Najveću vrijednost Simpsonovog indeksa (D) ima dunavski slijev (1), a južni jadranski slijev ima najmanju (0,34). Srednji i južni jadranski slijev imaju jednake vrijednosti Hillovog indeksa (H) i one iznose 4, dok za dunavski slijev ta vrijednost iznosi 1. Srednji jadranski slijev ima veću vrijednost Shannonovog indeksa (H') od dunavskog slijeva, a za južni jadranski slijev vrijednosti indeksa nisu dobivene.

Približno jednake vrijednosti McIntosheva indeksa raznolikosti (D) imaju dunavski (1,2) i srednji jadranski slijev (1,2). Iako su vrijednosti McIntosheva indeksa ravnornosti (E) sva tri slijeva približno jednake, najmanju vrijednost ima srednji jadranski slijev (1,44), a najveću ima južni jadranski slijev (1,5).

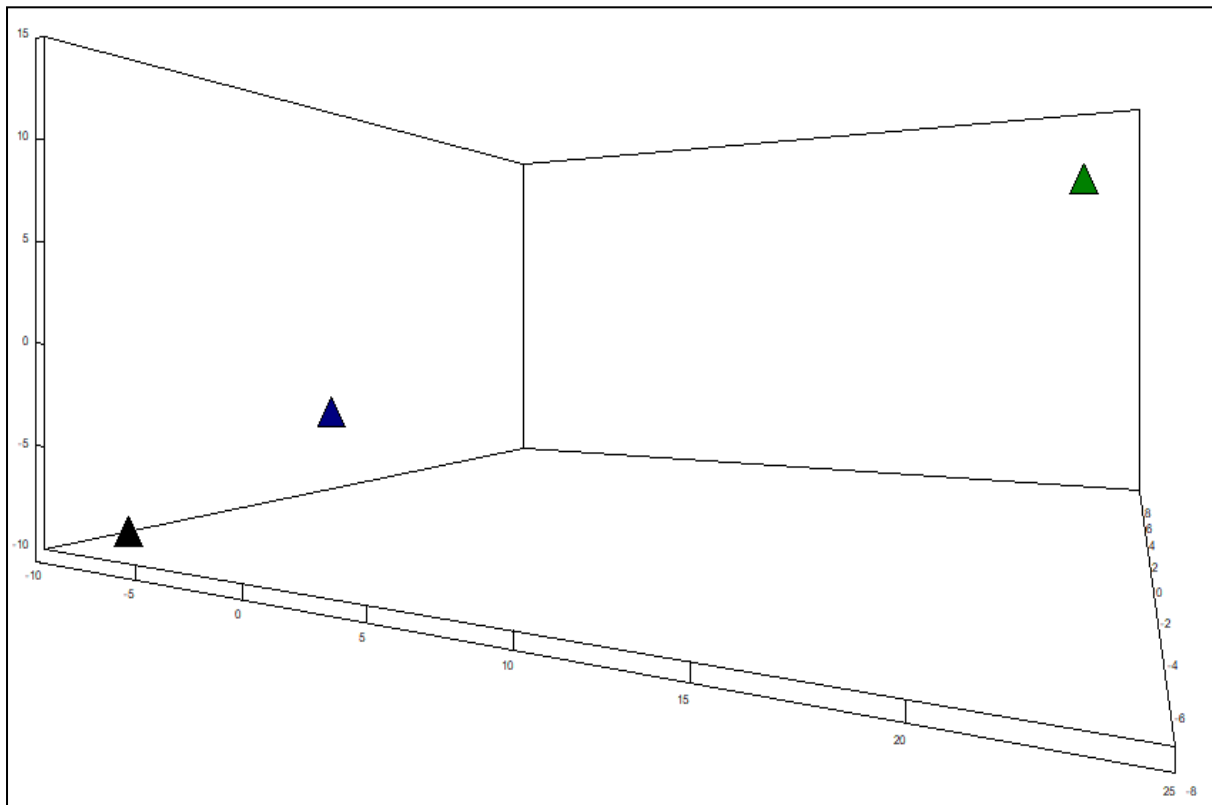
Tablica 8. Prikaz rezultata indeksa raznolikosti geografskih područja.

| INDEKS | DUNAVSKI SLIJEV | SREDNJI JADRANSKI SLIJEV | JUŽNI JADRANSKI SLIJEV |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| α | 0,21 | 1,5 | 0,98 |
| d | | | |
| d | 1 | 0,8 | 0,47 |
| 1/d | 1 | 1,25 | 2,11 |
| d% | 100 | 80 | 47,36 |
| D | | | |
| Simpsonova raznolikost (D) | 1 | 0,63 | 0,34 |
| Simpsonova raznolikost (1/D) | 1 | 1,57 | 2,93 |
| H | | | |
| Hillov broj H_0 | 1 | 4 | 4 |
| Hillov broj H_1 | 1,44 | 4 | 7,57 |
| Hillov broj H_2 | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| H' | | | |
| Shannon H' Log baze 10, | 0,3 | 0,49 | |
| Shannon H_{max} Log baze 10, | 0,6 | 0,6 | |
| Shannon J' | 0,51 | 0,82 | |
| McIntoshevi indeksi | | | |
| McIntosheva raznolikost (D) | 1,2 | 1,2 | 1,12 |
| McIntosheva ravnomjernost (E) | 1,48 | 1,44 | 1,5 |

Legenda:

α – Alpha indeks; d – Berger-Parkerova dominantnost; D – Simpsonov indeks; H – Hillov indeks; H' – Shannonov indeks

Na slici 9 vidimo da su vrijednosti dunavskog i srednjeg jadranskog slijeva gotovo jednake zbog sličnog sastava zajednica, dok je zajednica južnog dijela jadranskog slijeva različita po sastavu ihtio- i batrahofaune.



Slika 9. Prikaz analize glavnih komponentata (PCA) geografskih područja

- ▲ DUNAVSKI SLIJEV; ▲ SREDNJI JADRANSKI SLIJEV;
- ▲ JUŽNI JADRANSKI SLIJEV

4.5. Određivanje područja visoke raznolikosti

Bogatstvo vrsta, indeks rijetkosti, indeks ugroženosti i kombinirani indeks bioraznolikosti kriteriji su za određivanje područja visoke raznolikosti. U tablici 9 vidi se da je najveće bogatstvo vrsta prisutno u izvoru Modro oko, bočnom izvoru Modro oko te izvoru Norin ($s=2$), zbog toga što su u ta tri izvora prisutne po dvije vrste, dok je u ostalim izvorima prisutna po jedna vrsta ($s=1$).

Indeks rijetkosti u Hrvatskoj najmanji je u izvorima Krčić, Mrđenovac te na izvoru rijeke Čikole (0,05) jer su vrste prisutne u velikom broju kvadrata, odnosno na širem području Hrvatske. U izvoru Norin indeks rijetkosti je najveći (0,41) jer su vrste prisutne u malom broju kvadrata, odnosno na užem području Hrvatske.

Indeks ugroženosti najmanji je na izvoru rijeke Čikole (0) zato što je iz tog izvora izolirana samo jedna vrsta, i to invazivna (*G. affinis*), čija vrijednost ugroženosti iznosi 0. Na izvoru Modro oko, bočnom izvoru Modro oko te izvoru Norin indeks ugroženosti je najveći (2) jer je vrijednost ugroženosti izoliranih vrsta veća. Tako za vrste *B. bufo*, *B. viridis* i *G. aculeatus* vrijednost ugroženosti iznosi 1 (najmanje zabrinjavajuća), a za vrstu *K. radovici* iznosi 3 (osjetljiva).

Kombinirani indeks bioraznolikosti najmanji je za izvor rijeke Čikole (0) zbog izolirane samo jedne, invazivne vrste, čija vrijednost ugroženosti iznosi 0. Za izvor Norin kombinirani indeks bioraznolikosti je najveći (1,83).

Tablica 9. Prikaz rezultata određivanja područja visoke raznolikosti pojedinih krških izvora.

| | Izvor | Bogatstvo vrsta (s) | Indeks rijetkosti | Indeks ugroženosti | Kombinirani indeks bioraznolikosti |
|----|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|
| 1 | UNA | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 2 | KUPA | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 3 | ZAGORSKA MREŽNICA | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 4 | KRČIĆ | 1 | 0,05 | 1 | 0,05 |
| 5 | ZRMANJA | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 6 | MRĐENOVAC | 1 | 0,05 | 1 | 0,05 |
| 7 | ČIKOLA | 1 | 0,05 | 0 | 0 |
| 8 | KRUPA | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 9 | MODRO OKO | 2 | 0,27 | 2 | 1,55 |
| 10 | MODRO OKO (bočni izvor) | 2 | 0,27 | 2 | 1,55 |
| 11 | NORIN | 2 | 0,41 | 2 | 1,83 |

Tablica 10 pokazuje da je najmanje bogatstvo vrsta u dunavskom slijevu ($s=1$) jer je iz izvora rijeka dunavskog slijeva izolirana samo jedna vrsta (*C. gobio*). Najveće bogatstvo vrsta ($s=4$) je u središnjem i južnom jadranskom slijevu. Iz središnjeg jadranskog slijeva izolirane su četiri vrste: *C. gobio*, *G. affinis*, *S. salamandra* i *L. vulgaris*, a iz južnog jadranskog slijeva izolirane su također četiri vrste: *K. radovici*, *G. aculeatus*, *B. bufo* i *B. viridis*.

Indeks rijetkosti najmanji je za središnji jadranski slijev (0,06) jer su sve četiri izolirane vrste prisutne na širem području Hrvatske, dok je za južni jadranski slijev indeks rijetkosti najveći (0,23) jer su vrste *K. radovici* i *G. aculeatus* prisutne na užem području Hrvatske pa je i vrijednost indeksa veća.

Najmanji indeks ugroženosti iznosi za središnji jadranski slijev (0,75) jer je trima izoliranim vrstama (*C. gobio*, *S. salamandra* i *L. vulgaris*) vrijednost ugroženosti 1 (najmanje zabrinjavajuća), a invazivnoj vrsti (*G. affinis*) vrijednost ugroženosti 0. Izvori južnog jadranskog slijeva imaju najveći indeks ugroženosti zbog prisutnosti vrste *K. radovici*, čija vrijednost ugroženosti iznosi 3 (osjetljiva).

Kombinirani indeks bioraznolikosti najmanji je za dunavski slijev (0,09) jer je iz izvora rijeka dunavskog slijeva izolirana samo jedna vrsta (*C. gobio*) koja je prisutna na širem području Hrvatske (manji indeks rijetkosti) i čija je vrijednost ugroženosti 1 (najmanje zabrinjavajuća). Suprotno tome, za izvore južnog jadranskog slijeva kombinirani indeks bioraznolikosti je najveći (1,93) zbog većeg broja izoliranih vrsta (četiri), većeg indeksa rijetkosti i većih vrijednosti ugroženosti.

Tablica 10. Prikaz rezultata područja visoke raznolikosti geografskih područja.

| | Geografsko područje | bogatstvo vrsta (s) | indeks rijetkosti | indeks ugroženosti | kombinirani indeks bioraznolikosti |
|---|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | DUNAVSKI SLIJEV | 1 | 0,09 | 1 | 0,09 |
| 2 | SREDIŠNJI JADRANSKI SLIJEV | 4 | 0,06 | 0,75 | 0,19 |
| 3 | JUŽNI JADRANSKI SLIJEV | 4 | 0,23 | 1,5 | 1,93 |

5. RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja prvi su podaci o raznolikosti riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske, stoga je literatura s kojom bi bilo moguće usporediti dobivene rezultate ograničena. Istraživanjem je utvrđeno da najveći broj izoliranih jedinki riba (čak 40) pripada vrsti *C. gobio* (peš), a izolirane su iz uzoraka izvora rijeke Zrmanje, Krupe, Kupe, Une i Zagorske Mrežnice. Takav rezultat dokazuje da su izvorišna područja izuzetno važno stanište ove vrste te da uvjeti u krškim izvorima očito odgovaraju mrijestu i razvoju ličinačkih stadija ove vrste. Ovaj je podatak potrebno uzeti u obzir prilikom donošenja strategije zaštite ove vrste u Hrvatskoj jer zaštita ove vrste neće biti djelotvorna ako će obuhvaćati samo gornje dijelove vodotoka u kojima obitavaju odrasle ribe, već je nužno očuvati i izvorišna područja i spriječiti njihovu degradaciju. Taksonomija peša još je uvijek neriješena, iako je bila opisana zasebna vrsta zbog pronalaska nove populacije koja pripada jadranskoj linji peša. Unatoč tome potrebna su daljnja istraživanja. Neovisno o taksonomskom statusu populacije peša i u dunavskom i u jadranskom slijevu koriste izvorišna područja u ranim razvojnim stadijima, stoga su im ona neophodna. Velik broj izoliranih jedinki riba (17) pripada vrsti *K. radovici* (norinski glavočić). Lokaliteti svih izoliranih jedinki ove vrste su izvori Modro oko, Modro oko (bočni izvor) te izvor Norin, što dokazuje pretpostavljeni areal vrste *K. radovici*. To je endem jadranskog slijeva te stenoendem slijeva Neretve (Ćaleta i sur. 2015). Međutim, ovakav rezultat ukazuje na važnost krških izvora u slijevu Neretve za opstanak ove vrste s obzirom na to da se razvoj ličinačkih stadija odvija u njima. Svih 11 jedinki vrste *G. aculeatus* (koljuška) izolirano je iz uzoraka izvora Norin, a to je i očekivano jer koljuška u Hrvatskoj nastanjuje slijev Neretve, jezero Visovac i ušće rijeke Krke te slijev rijeke Mirne (Mrakovčić i sur. 2006). Budući da je gambuzija (*G. affinis*) invazivna vrsta, njen pronalazak čak i u izvoru predstavlja veliku opasnost s obzirom na to da su izvori, kao što to pokazuju rezultati ovog istraživanja, područja izuzetno važna za razvoj ličinačkih stadija nekoliko vrsta riba, među kojima i endemskog norinskog glavočića. Kako se gambuzija hrani jajima i ličinkama riba, njeno širenje krškim izvorima moglo bi dovesti do drastičnog smanjenja populacija navedenih vrsta i dovesti ih do izumiranja. Srećom, iz uzoraka je izolirana samo jedna jedinka gambuzije, no već i taj nalaz upućuje na nužnost praćenja krških izvora radi sprječavanja pojave invazivnih vrsta. Gambuzija je otporna na povišenje temperature i nedostatak kisika u vodi jer može gutati kisik. Gambuzija je čak uvrštena na IUCN-ov popis 100 najopasnijih svjetskih alohtonih invazivnih vrsta (Mrakovčić i sur. 2006).

Unutar razreda vodozemaca najveći utvrđeni broj jedinki pripada redu bezrepaca, i to vrsti *B. bufo* (smeđa krastača), a samo dvije jedinke pripadaju vrsti *B. viridis* (zelena krastača). Zahvaljujući prilagodljivosti smeđe krastače ova je vrsta jedna od najrasprostranjenijih vodozemaca u Europi, ali i Hrvatskoj (lonjsko-polje.com). Unatoč tome sve jedinke smeđe i zelene krastače izolirane su iz uzoraka izvora Modro oko te bočnog izvora Modro oko. Unutar reda repaša izolirane su samo tri jedinke. Iako su vrste *S. salamandra* (pjegavi daždevnjak) i *L. vulgaris* (mali vodenjak) u Hrvatskoj široko rasprostranjene, izolirana je samo jedna jedinka šarenog daždevnjaka i dvije jedinke malog vodenjaka.

Mjere ukupne duljine tijela i izgled jedinki potvrđuje da su sve izolirane jedinke riba i vodozemaca u ličinačkom stadiju. Na temelju toga zaključujem da su krški izvori područja razmnožavanja ovih vrsta i da su ta područja važna za njihove rane razvojne stadije. Kao što je već spomenuto, upravo zbog važnosti za rane, najosjetljivije razvojne stadije riba i vodozemaca, nužno je očuvati prirodno stanje krških izvora i spriječiti njihovu degradaciju i/ili onečišćenje. Vrijednosti svih indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora i geografskih područja vrlo su niske zbog malog broja izoliranih vrsta. Rezultati indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora iz tablice 5 pokazuju da je raznolikost pojedinih krških izvora izrazito mala. Vrijednost Alpha indeksa najveća je za izvor Krčić i izvor rijeke Čikole zbog prisutnosti samo jedne jedinke u svakom od izvora, dok je vrijednost istog indeksa za izvor rijeke Kupe najmanja zbog velikog broja jedinki iste vrste. Vrijednost indeksa Berger-Parkerove dominantnosti (d) pokazuje da je za izvor Norin raznolikost zajednice najveća jer je izoliran približno jednak broj jedinki dvije različite vrste, a u izvorima za koje vrijednost iznosi 1 raznolikost zajednice je mala jer dominira jedna vrsta. Za izvore iz čijih je uzoraka izolirana samo jedna vrsta vrijednost Hillovog indeksa je najmanja, a najveća je za izvore iz čijih je uzoraka izolirano dvije vrste. Budući da su izolirane vrste iz uzoraka izvora Modro oko i izvora Norin zastupljene gotovo jednakom gustoćom, odnosno vrste su jednolikije raspoređene, njihove vrijednosti Shannonovog indeksa raznolikosti približno su jednake. Najnižu vrijednost Simpsonovog indeksa ima izvor Modro oko zato što su sve izolirane vrste iz uzoraka tog izvora zastupljene gotovo jednakim brojem jedinki (minimalna dominacija), a bočni izvor Modro oko ima najvišu vrijednost zbog izraženije dominacije. Vrijednosti McIntoshevog indeksa raznolikosti i ravnomjernosti najviše su za one izvore iz kojih su izolirane jedinke gotovo jednako rasprostranjene.

Iako je ukupan broj izoliranih jedinki dunavskog slijeva veći od ukupnog broja jedinki središnjeg jadranskog slijeva, raznolikost riba i vodozemaca središnjeg jadranskog slijeva

veća je jer u tom području krške izvore koriste i dvije vrste repaša (pjegavi daždevnjak i mali vodenjak). Najveći ukupan broj izoliranih jedinki sva tri geografska područja pripada južnom jadranskom slijevu zbog velikog broja jedinki smeđe krastače (*B. bufo*) i stenoendema, norinskog glavočića (*K. radovici*). Rezultati indeksa raznolikosti geografskih područja potvrđuju da je raznolikost riba i vodozemaca u izvorima sva tri slijeva prilično mala, baš kao što je to bio slučaj i s pojedinačnim lokalitetima. Zbog specifičnih uvjeta koji vladaju u izvorišnim područjima (niska temperatura vode, brzi protok) nema puno vrsta koje su se uspjele prilagoditi takvim staništima. Međutim, vrstama koje obitavaju u gornjim dijelovima rijeka izvorišna su područja iznimno važna u životnom ciklusu, što potvrđuju rezultati ovog istraživanja.

Prema rezultatima određivanja područja visoke raznolikosti niti jedan istraživani krški izvor, kao ni geografsko područje, nema visoku raznolikost. Međutim, nešto veću raznolikost od ostalih izvora ima izvor Modro oko, bočni izvor Modro oko te izvor Norin zbog većeg bogatstva vrsta, indeksa rijetkosti, indeksa ugroženosti i kombiniranog indeksa bioraznolikosti. Među područjima visoke raznolikosti u istraživanju posebno se ističe izvor Norin jer su vrste *G. aculeatus* i *K. radovici* prisutne na užem području Hrvatske, ali i zbog toga što je vrsta *K. radovici* prema Crvenom popisu IUCN-a osjetljiva (VU). Norinski glavočić nalazi se u kategoriji osjetljivih vrsta jer je njegovo stanište, rijeka Norin, zaštićeno zbog crpljenja vode za piće (aquariumkarlovac.com). U Crvenoj knjizi nalazi se u kategoriji nedovoljno poznatih vrsta (DD) i strogo je zaštićena. Norinski glavočić pridnena je vrsta glavoča te pripada skupini tzv. glavoča pijeska. Preferira muljevita staništa s rijetkim šljunkom i pojedinačnim kamenjem. Sušni dio godine provodi u podzemlju, a na površinu dolazi pojavom jakih izvora i bujica. Budući da vrste roda *Knipowitschia* imaju izrazito ograničen i točkast areal rasprostranjenosti u području stenotermnih uvjeta kratkih krških tokova i jezera, ugrožava ih eutrofikacija, onečišćenje, melioracije i regulacije vodotoka ili unos alohtonih vrsta riba (Ćaleta i sur. 2015).

Vrsta *G. aculeatus* (koljuška) prema Crvenom popisu IUCN-a najmanje je zabrinjavajuća (LC), no u Crvenoj knjizi slatkovodnih riba Hrvatske svrstana je u kategoriju ugroženih vrsta (EN) zbog točkaste rasprostranjenosti te pritiska na pojedinim lokalitetima (iucnredlist.org; Mrakovčić i sur. 2006). Koljuška živi na velikom broju različitih staništa, poput obalnih dijelova mora, ušća rijeka, bočatih voda i jezera. Postoje tri različita ekotipa, od kojih se jedan čitav život zadržava u morima, drugi u slatkim vodama, dok je treći anadromni. U slatkim vodama najčešće naseljavaju gusto obrasle vodotoke s dobrim protokom, ili stajaće vode u

kojima je dno pješćano ili muljevito. Slabo podnosi smanjenje koncentracije kisika u vodi, stoga onečišćenje vodotoka ugrožava njezine male populacije. Uz onečišćenje ugrožava je ograničen broj lokaliteta na kojima dolazi i nestanak prirodnih bočatih staništa. Na nekim je lokalitetima već nestala (Mrakovčić i sur. 2006). Kako bismo očuvali ionako male populacije koljuške potrebno je zaštititi krške vodotoke i njihova ušća, očuvati prirodna staništa bogata vodenim biljem te zabraniti industrijalizaciju ušća rijeka u kojima je prisutna.

Važno otkriće za krške izvore Hrvatske veliki je broj izoliranih jedinki ranih razvojnih stadija vrste *C. gobio* (peš) iz uzoraka čak četiri izvora, a također je to i jedina izolirana vrsta tih izvora. Prema Crvenom popisu IUCN-a peš je najmanje zabrinjavajuća vrsta (LC) i ne nalazi se u Crvenoj knjizi slatkovodnih riba Hrvatske (iucnredlist.org). S obzirom na to da su sve izolirane jedinke ranih razvojnih stadija, to se poklapa s istraživanjem Tomlinsona i Perrowa (2003) u kojemu je utvrđeno da takve jedinke u Engleskoj nastanjuju plitke, kamenite izvore i slapove te da su grube podloge s velikim kamenjem pogodne za mrijest ove vrste. Peš je pridnena vrsta koja nastanjuje brze i čiste vode s kamenitom podlogom. Ova je vrsta često prisutna u gornjim tokovima brdovitih područja, ali pojavljuje se i u nizinama, na mekšim supstratima, sve dok je voda bogata kisikom i dok je podloga odgovarajuća. Nije potvrđena prisutnost peša u zagađenim rijekama (jncc.defra.gov.uk). Istraživanjem provedenim u Švicarskoj utvrđeno je da je jedini kemijski parametar vode koji je povezan s gustoćom peša u rijeci otopljeni ugljik te da fizičke prepreke napravljene od strane čovjeka sprječavaju kretanje peša uzvodno, odnosno onemogućuju migraciju u gornje tokove radi mrijesta („migratorne barijere“). Time je utvrđeno da bi peš bila korisna indikatorska vrsta za određivanje do koje je mjere uzdužna povezanost rijeke prekinuta fizičkim preprekama (Utzinger i sur. 1998). Osim brana koje fragmentiraju rijeke, razlozi nestanka peša su intenzivna poljoprivreda i industrijalizacija, koji su uzrokovali pogoršanje kvalitete vode i promjenu supstrata (Uzunova i sur. 2017). Crpljenje vode iz rijeke, kao još jedan od antropogenih utjecaja na populacije peša, dovelo je do niske razine vode te isušivanja velikih područja, a time i do povlačenja jedinki u dublje dijelove rijeka. To bi mogao biti glavni razlog nestajanja jedinki slabije pokretnih ličinačkih stadija (Fisher i Kummer 2000).

Fizikalno-kemijske parametre krških izvora iznimno je važno pratiti jer njihova mala promjena može utjecati na ionako mali broj vrsta koje ondje obitavaju. Budući da su hladne vode bogatije kisikom, negativan utjecaj na populacije riba krških rijeka imaju hidroelektrane, ali i globalno zatopljenje koje, osim povišenja temperature vode, uzrokuje učestalija poplavna

i sušna razdoblja. Osim toga, ispuštanje gradskih i industrijskih otpadnih voda ugrožavaju krške rijeke trošeći otopljeni kisik prilikom procesa razgradnje (Mrakovčić i sur. 2006).

Zbog velikog antropogenog utjecaja važno je educirati i upozoravati javnost i lokalno stanovništvo na prisutnost zaštićenih vrsta, a posebice endema na području krških izvora jer te vrste imaju izrazito ograničen areal ili njihovi pojedini životni stadiji ovise o specifičnim uvjetima krških izvora. Kako bi se održale rijetke i endemske vrste riba neophodno je stalno praćenje stanja ugroženih vrsta. Isto tako, potrebno je više istraživanja radi utvrđivanja vrsta koje obitavaju na područjima krških izvora te osnivanje ihtioloških rezervata u kojima bi endemske i ugrožene vrste riba bile ciljano zaštićene.

6. ZAKLJUČAK

- Iz uzoraka 11 krških izvora ukupno je izolirana 101 jedinka riba i vodozemaca, odnosno 69 jedinki riba i 32 jedinke vodozemaca, među kojima su četiri vrste riba i četiri vrste vodozemaca.
- Sve jedinke izolirane iz krških izvora u ranim su razvojnim stadijima.
- Krške izvore južnog jadranskog slijeva nastanjuje najviše jedinki riba i vodozemaca, među kojima je vrsta *K. radovici*, stenoendem slijeva Neretve te vrsta *G. aculeatus*, koja je u Crvenoj knjizi slatkovodnih riba Hrvatske svrstana u kategoriju ugroženih vrsta (EN).
- Iz uzoraka krških izvora dunavskog slijeva sve jedinke pripadaju vrsti *C. gobio*, kao i većina jedinki iz izvora srednjeg jadranskog slijeva. Zbog navedenog je analiza glavnih komponenata (PCA) ukazala na sličnost zajednica dunavskog i srednjeg jadranskog slijeva.
- Jedine izolirane dvije vrste repaša obitavaju u krškim izvorima srednjeg jadranskog slijeva (*S. salamandra* i *L. vulgaris*), dok u krškim izvorima južnog jadranskog slijeva obitavaju dvije vrste bezrepaca (*B. bufo* i *B. viridis*).
- Izolirana je samo jedna jedinka invazivne vrste (*G. affinis*), i to na izvoru rijeke Čikole.
- Vrijednosti indeksa raznolikosti pojedinih krških izvora i geografskih područja izrazito su niske zbog malog broja izoliranih vrsta.
- Iako niti jedan istraživani krški izvor, kao ni geografsko područje, nema visoku raznolikost, među područjima visoke raznolikosti ističe se izvor Norin zbog prisutnosti vrsta *G. aculeatus* i *K. radovici* na užem području Hrvatske, ali i zato što je vrsta *K. radovici* prema Crvenom popisu IUCN-a osjetljiva (VU).
- Utvrđeno je da su rani razvojni stadiji peša usko vezani za gornje tokove krških izvora, stoga svako onečišćenje i uništavanje prirodnog staništa, ali i ostali antropogeni utjecaji, mogu dovesti do nestajanja populacija ove vrste.

7. LITERATURA

1. Adrados L. C., Rannap R., Briggs L. (2010): Eesti kahepaiksete välimääraja. Keskkonnaamet, Tallinn.
2. APHA AWWA WEF (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, American Public Health Association, Washington DC.
3. Božičević S. (1992): Fenomen krš, Školska knjiga, Zagreb.
4. Čaleta M., Buj I., Mrakovčić M., Mustafić P., Zanella D., Marčić Z., Duplić A., Mihinjač T., Katavić I. (2015): Hrvatske endemske ribe. Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb.
5. Fischer S., Kummer H. (2000): Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream. In: Jungwirth M., Muhar S., Schmutz S. (eds) Assessing the Ecological Integrity of Running Waters. Developments in Hydrobiology, vol 149. Springer, Dordrecht.
6. Heip C., Engels P. (1974): Comparing species diversity and evenness indices. J. mar. biol. Ass. U.K., 54: 559-563
7. Hill M.O. (1973): Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology 54, 427–473 cited in Magurran, A. E., 2004, Measuring biological diversity, Blackwell Publishing: Oxford, UK., 256 str.
8. Jelić D. (2012): New data on the distribution of *Cottus gobio* in Croatia. Ribarstvo, 70: 1-8.
9. Jelić D., Kuljerić M., Koren T., Treer D., Šalamon D., Lončar M., Podnar-Lešić M., Janev Hutinec B., Bogdanović T., Mekinić S. (2015): Crvena knjiga vodozemaca i gmazova Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
10. Kempton R. A., Taylor L. R. (1974): Log-series and log-normal parameters as diversity determinants for the Lepidoptera. *Journal of Animal Ecology*, 43: 381-399.
11. Kempton R. A., Wedderburn R. W. M. (1978): A comparison of three measures of species diversity. *Biometrics*, 34: 25-37.
12. Kottelat M. i J. Freyhof (2007): Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin, 646 str.
13. McIntosh R. P. (1967): An Index of Diversity and the Relation of Certain Concepts to Diversity. *Ecology*, 48: 392–404.
14. Magurran A. E. (1988): Ecological diversity and its measurement. Croom Helm, London.

15. Mrakovčić M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta M., Mustafić P., Zanella D. (2006): Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
16. Murray J. W. (1991): Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. John Wiley i Sons, New York, 379 str.
17. Pezelj Đ. (2002): Paleoekološka analiza badenskih tafofacijesa Medvednice. Magistarski rad, Prir. - mat. fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-77.
18. Pielou EC. (1966): The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144.
19. Pough F. H., Janis C. M. i Heiser J. B. (ur.) (2002): Vertebrate life. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
20. Romulić M., Mikuška M., Mikuška A. i Mikuška T. (2004): Vodič kroz biološku raznolikost Kopačkog rita - Knjiga II. Javna ustanova Park prirode Kopački rit.
21. Sagar R., Sharma G. P. (2012): Measurement of alpha diversity using Simpson index ($1/\lambda$): the jeopardy. *Environmental Skeptics and Critics*, 1: 23-24.
22. Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Sist. Techn. J.*, 27: 379-423.
23. Simpson EH. 1949. Measurment of diversity. *Nature*, 163: 433-471.
24. Southwood TRE. 1966. Ecological methods. Methuen and Co., London.
25. Štambuk-Giljanović N. (1998): Vode Neretve i njezina poriječja. Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko-dalmatinske, Split i Hrvatske vode, Zagreb.
26. Taylor L. R. (1978): Bates, Williams, Hutchinson – a variety of diversities. U: I. A. Mound and N. Waloff (ur.) *Diversity of Insect Faunas*. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
27. Tomlinson ML i Perrow MR (2003). Ecology of the Bullhead. *Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 4*. English Nature, Peterborough.
28. Utzinger J., Roth C. i Peter A. (1998): Effects of environmental parameters on the distribution of bullhead *Cottus gobio* with particular consideration of the effects of obstructions. *Journal of Applied Ecology*, 35: 882-892.
29. Uzunova E., Kanev E. i Stefanov T. (2017): Spatial Variation in the Abundance and Population Structure of Bullhead *Cottus gobio* L., 1758 (Actinopterygii: Cottidae) from the Iskar River Basin (Danube River Drainage, Bulgaria): Implications for Monitoring and Conservation. *Acta zool. bulg.*, 69: 393-404.

30. Vuković T. i Ivanović B. (1971): Slatkovodne ribe Jugoslavije. Zemaljski muzej BiH, Sarajevo: 134-135.

Web izvori:

1. <http://www.hhdhyla.hr/vrste/vodozemci> (preuzeto 21.05.2018.)
2. <http://www.hhdhyla.hr/vrste/vodozemci/zasto-su-vodozemci-vazni> (preuzeto 21.05.2018.)
3. <http://www.hhdhyla.hr/vrste/vodozemci/razlozi-ugrozenosti> (preuzeto 21.05.2018.)
4. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Lika_\(rijeka\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Lika_(rijeka)) (preuzeto 10.07.2018.)
5. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Jadro> (preuzeto 10.07.2018.)
6. [https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDrnovnica_\(rijeka\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDrnovnica_(rijeka)) (preuzeto 10.07.2018.)
7. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ljuta_\(rijeka_u_Konavlima\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ljuta_(rijeka_u_Konavlima)) (preuzeto 10.07.2018.)
8. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Krka> (preuzeto 10.07.2018.)
9. <http://www.tz-knin.hr/index.php/o-kninu/prirodne-znamenitosti> (preuzeto 10.07.2018.)
10. <http://www.tz-drnis.hr/index.php/hr/sto-posjetiti/kanjon-cikole> (preuzeto 10.07.2018.)
11. <https://rijeka-zrmanja.hrvatska-smjestaj.com.hr/> (preuzeto 10.07.2018.)
12. <https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cabranka> (preuzeto 10.07.2018.)
13. https://hr.wikipedia.org/wiki/Vrelo_Une (preuzeto 10.07.2018.)
14. <http://np-risnjak.hr/posjecivanje/mogucnost-obilaska/kupa/> (preuzeto 10.07.2018.)
15. <http://www.speleolog.hr/aktivnosti/objekti/187-izvor-zagorske-mrenice> (preuzeto 10.07.2018.)
16. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Krupa_\(rijeka\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Krupa_(rijeka)) (preuzeto 10.07.2018.)
17. <http://www.np-sjeverni-velebit.hr/posjeti/okolica/gackadolina/> (preuzeto 10.07.2018.)

18. http://novilist.hr/Vijesti/Regija/node_1588/IZVOR-KAMACNIKA-MEDU-DUBLJIMA-U-HRVATSKOJ-Speleoloji-novim-zaronom-nasli-23-metra-dublje-dno?meta_refresh=true (preuzeto 10.07.2018.)
19. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Rje%C4%8Dina> (preuzeto 10.07.2018.)
20. <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-56-2004-06-07.pdf> (preuzeto 10.07.2018.)
21. <http://www.nasaneretva.net/zastita-okolisa/zasticena-podrucja/63-znacajni-krajobraz-modro-oko-i-jezero-uz-naselje-desne.html> (preuzeto 10.07.2018.)
22. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Norin> (preuzeto 10.07.2018.)
23. <http://www.grad.hr/vera/webnastava/vjerojatnostistatistika/html/VISch11.html> (preuzeto 23.07.2018.)
24. <http://jadran.izor.hr/hr/nastava/solic/EKOLOGIJA%20MORA/PREDAVANJA/11.%20ZAJE DNICE%20MORSKIH%20OGANIZAMA.pdf> (preuzeto 23.07.2018.)
25. <http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/ugrozenost-vrsta-i-stanista/crveni-0> (preuzeto 25.07.2018.)
26. <http://www.lonjsko-polje.com/fauna/vodozemci/smedjakrastaca> (preuzeto 17.09.2018.)
27. <https://aquariumkarlovac.com/project/radovicev-glavocic-knipowitschia-radovici/> (preuzeto 25.09.2018.)
28. <https://www.iucnredlist.org/species/8951/76576912> (preuzeto 15.10.2018.)
29. <https://www.iucnredlist.org/species/5445/97802083> (preuzeto 25.10.2018.)
30. <http://jncc.defra.gov.uk/protectedsites/sacselection/species.asp?FeatureIntCode=S1163> (preuzeto 03.11.2018.)

8. ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Ena Kovač

Mjesto rođenja: Osijek

Zvanje: univ. bacc. biol.

E-mail: kovacena7@gmail.com

OBRAZOVANJE

2016. – 2019. PMF, Biološki odsjek, diplomski studij Ekologija i zaštita prirode

2012. – 2016. Odjel za biologiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

2008. – 2012. II. gimnazija Osijek

RADNO ISKUSTVO

10/2018 prodavačica u drogeriji Müller

08/2018 promotor kozmetike u agenciji In Vida

07/2017 – 08/2017 volonter u nacionalnom parku Krka, Šibenik

AKTIVNOSTI VEZANE ZA OBRAZOVANJE

- Član sekcije „Ljekovito bilje“ od 2017. godine
- Sudjelovanje na projektu „Noć biologije“ 2018. Godine

OSTALO

- Izvrsno poznavanje i služenje engleskim jezikom u govoru i pisanju
- Dobro poznavanje i služenje njemačkim jezikom u govoru i pisanju
- Rad u MS Office programu, QGIS-u
- Vozačka dozvola B kategorije