

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Patrik Glavan

**Učinak presušivanja na zajednice vodenih
beskralježnjaka hiporeičke zone izvorišnog
toka Rječine**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Patrik Glavan

**Effects of drying on aquatic invertebrate
assemblages in the springbrook hyporheic
zone of the Rječina River**

Master thesis

Zagreb, 2022

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za ekologiju životinja na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Sanje Gottstein. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Učinak presušivanja na zajednice vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone izvorišnog toka Rječine

Patrik Glavan

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Hiporeička zona spada među najugroženije vodene ekosustave u svijetu. Usprkos tome, hiporeička zona vodotoka koji presušuju započela se istraživati tek nedavno. Prikupljeni su uzorci vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone izvorišnog toka rijeke Rječine u Republici Hrvatskoj kako bi se utvrdile sezonske razlike u brojnosti, sastavu i raznolikosti hiporeosa s obzirom na fizikalno-kemijske i hidrološke uvjete u vodotoku. Uzorci su prikupljeni Bou-Rouch pumpom, a voda je profiltrirana kroz mrežicu promjera oka 100 μm čime je definirana minimalna veličina prikupljene faune (mikro- do meiofauna) koja je pohranjena u 96 %-tnom etanolu te specijalističkim ključevima pod laboratorijskom stereo lupom determinirana do najniže moguće sistematske razine. Presušivanje korita uzrokovalo je povišenje temperature vode u HZ te više vrijednosti organske tvari. Raznolikost hiporeosa najviša je tijekom ljeta kada je vodotok presušio, a najniža tijekom zime kada su vrijednosti protoka bile visoke do ekstremne. Veća je sličnost hiporeosa između zime i ranog proljeća te ljeta i rane jeseni s vrijednostima od 40 % do 60 % te odvojenim klasterima sezona tijekom kojih vodotok presušuje.

Ključne riječi: hiporeička zona, hiporeos, vodotok koji presušuje, krš, protok
(71 stranica, 38 slika, 4 tablica, 79 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: Prof. dr. sc. Sanja Gottstein

Ocjenitelji:

Doc. dr. sc. Ivan Čanjevac
Doc. dr. sc. Karmen Fio Firi
Doc. dr. sc. Mirela Sertić-Perić

Zamjena: Prof. dr.sc. Alan Moro

Rad prihvaćen: 8. rujna 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Effects of drying on aquatic invertebrate assemblages in the springbrook hyporheic zone of the Rječina River

Patrik Glavan

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The hyporheic zone is among the most endangered water ecosystems in the world. Nevertheless, researches of the hyporheic zone of intermittent streams started just recently. Samples of aquatic invertebrates of the springbrook hyporheic zone of the karst river Rječina in the Republic of Croatia were collected in order to determine seasonal differences in their abundance, composition and diversity with regard to the physiochemical and hydrologic conditions in the stream. A Bou-Rouch pump was used for sampling, and the water was filtered through a mesh with a hole diameter of 100 μm defining the minimum size of the collected fauna (micro- to meiofauna), which was stored in 96 % ethanol and later determined to the lowest possible systematic level under a laboratory stereo microscope using specialist keys. Drying of the riverbed led to an increase in the temperature of the water in the hyporheic zone and a higher organic matter content. The diversity of hyporheos is highest during summer when the watercourse dries up, and lowest during winter when discharge values are high to extreme. There is a greater similarity of hyporheos between winter and early spring and between summer and early autumn with values from 40 % to 60 % and separate clusters of seasons during which the watercourse dries up.

Keywords: hyporheic zone, hyporheos, intermittent stream, karst, discharge
(71 pages, 38 figures, 4 tables, 79 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Sanja Gottstein, PhD

Reviewers:

Asst. Prof. Ivan Čanjevac, PhD
Asst. Prof. Karmen Fio Firi, PhD
Asst. Prof. Mirela Sertić-Perić, PhD

Substitute Reviewer: Prof. Alan Moro, PhD

Thesis accepted: 8th September 2022

ZAHVALA

Prije svega se želim zahvaliti mojoj mentorici prof. dr. sc. Sanji Gottstein na njenoj ljubaznosti, ukazanom povjerenju, strpljivosti te svoj pomoći i savjetima koji su omogućili pisanje ovog diplomskog rada. Čak i u teškim trenucima pokazala je nepresušni optimizam i bila tu za mene.

Također, puno hvala mojoj obitelji i prijateljima koji su mi pokazali ljubav i podršku u životu i tijekom studija.

Zahvalan sam i Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim podacima koje sam koristio za analize.

Na kraju, hvala dragom Bogu što mi je dao snage i strpljenja za izradu ovog rada.

SADRŽAJ

1.UVOD	1
1.1. Ključna ekološka obilježja hiporeičke zone.....	1
1.2. Usluge hiporeičkog ekosustava	6
1.3. Funkcionalna uloga hiporeosa.....	8
1.4. Bioraznolikost u hiporeičkoj zoni.....	9
1.5. Utjecaj presušivanja na hiporeičku zonu i hiporeos	12
1.6. Ciljevi istraživanja	14
1.7. Hipoteze rada.....	15
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	16
2.1. Geografske značajke rijeke Rječine	16
2.2. Klimatska i meteorološka obilježja	20
2.3. Geologija i geomorfologija	20
2.4. Hidrologija	22
2.5. Opis istraživnog lokaliteta	24
3. MATERIJALI I METODE	29
3.1. Materijali	29
3.2. Dinamika terenskih istraživanja	29
3.3. Metode terenskih istraživanja	33
3.3.1. Metoda uzorkovanja i pohrana bioloških uzoraka	33
3.3.2. Uređaji i metodologija mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode	36
3.4. Metode laboratorijskih istraživanja.....	36
3.5. Analiza podataka.....	39
3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode	39
3.5.2. Analiza vodostaja i protoka	39
3.5.3. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone.....	39
4.REZULTATI.....	42
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode	42
4.1.1. Temperatura vode.....	42
4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika i zasićenje vode kisikom.....	43
4.1.3. pH vrijednost vode	44
4.1.4. Alkalinitet vode	44
4.1.5. Električna provodnost vode	45
4.1.6. Kemijska potrošnja kisika (KPK).....	46
4.1.7. Brzina strujanja vode.....	47
4.1.8. Vodostaji i protoke	48
4.2. Sastav i gustoća zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone	51
4.3. Raznolikost zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone	55
4.4. Zastupljenost temporalnih i permanentnih predstavnika hiporeosa	56

4.5. Sezonska sličnost strukture zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone	57
5. RASPRAVA	59
6. ZAKLJUČAK	64
7. LITERATURA.....	65

1. UVOD

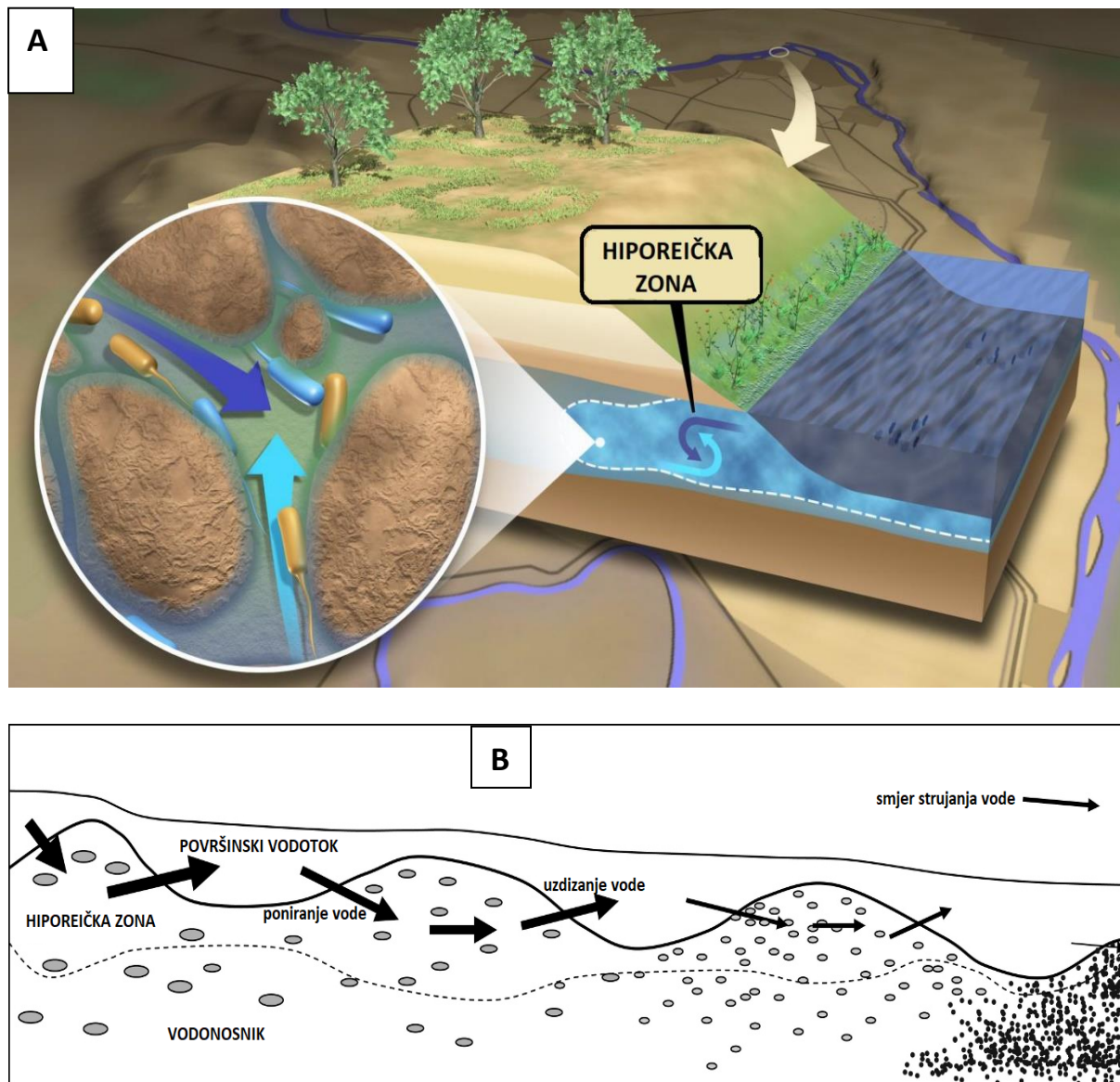
1.1. Ključna ekološka obilježja hiporeičke zone

Termin „hiporeik“ (engl. *hyporheic*) prvi put je predložio rumunjski hidrobiolog Traian Orghidan 1955. godine opisujući novi biotop (stanište) ekotonskih obilježja u vodom ispunjenim međuprostorima pomičnih sedimenata ispod i uzduž vodotoka u kojima može doći do miješanja površinske i podzemne vode. Orghidan pripisuje otkriće hiporeičkog biotopa Pierreu Alfredu Chappuisu koji je izumio metodu uzorkovanja vodene faune temeljenu na iskapanju rupa u aluvijalnim sedimentima uz vodotok (tzv. Karaman-Chappuisova metoda). Znanstvenici su vodu koja ispunjava iskopane rupe u riječnom obalnom sedimentu te uz nju vezanu faunu, tretirali kao podzemnu iako je već Chappuis predlagao distinkciju. Tako je Orghidan koristeći Chappuisovu metodologiju ustanovio da se fizikalno-kemijski i biološki uvjeti u hiporeiku razlikuju u odnosu na one u vodotoku i podzemnoj vodi. Osim toga Orghidan 1955. prepoznaje ekološku važnost hiporeičke zone (HZ) te uvodi pojam hiporeički koncept koridora (engl. *hyporheic corridor concept*) (Käser 2010).

Tijekom godina razvijale su se nove metode istraživanja i konceptijski modeli HZ (Slika 1) (White 1993, Pacioğlu 2009, Boulton i sur. 2010), a uvidom u literaturu vidljivi su različiti pokušaji njenog definiranja ovisno o znanstvenoj disciplini, problematici i pristupima istraživanju (Buss i sur. 2009).

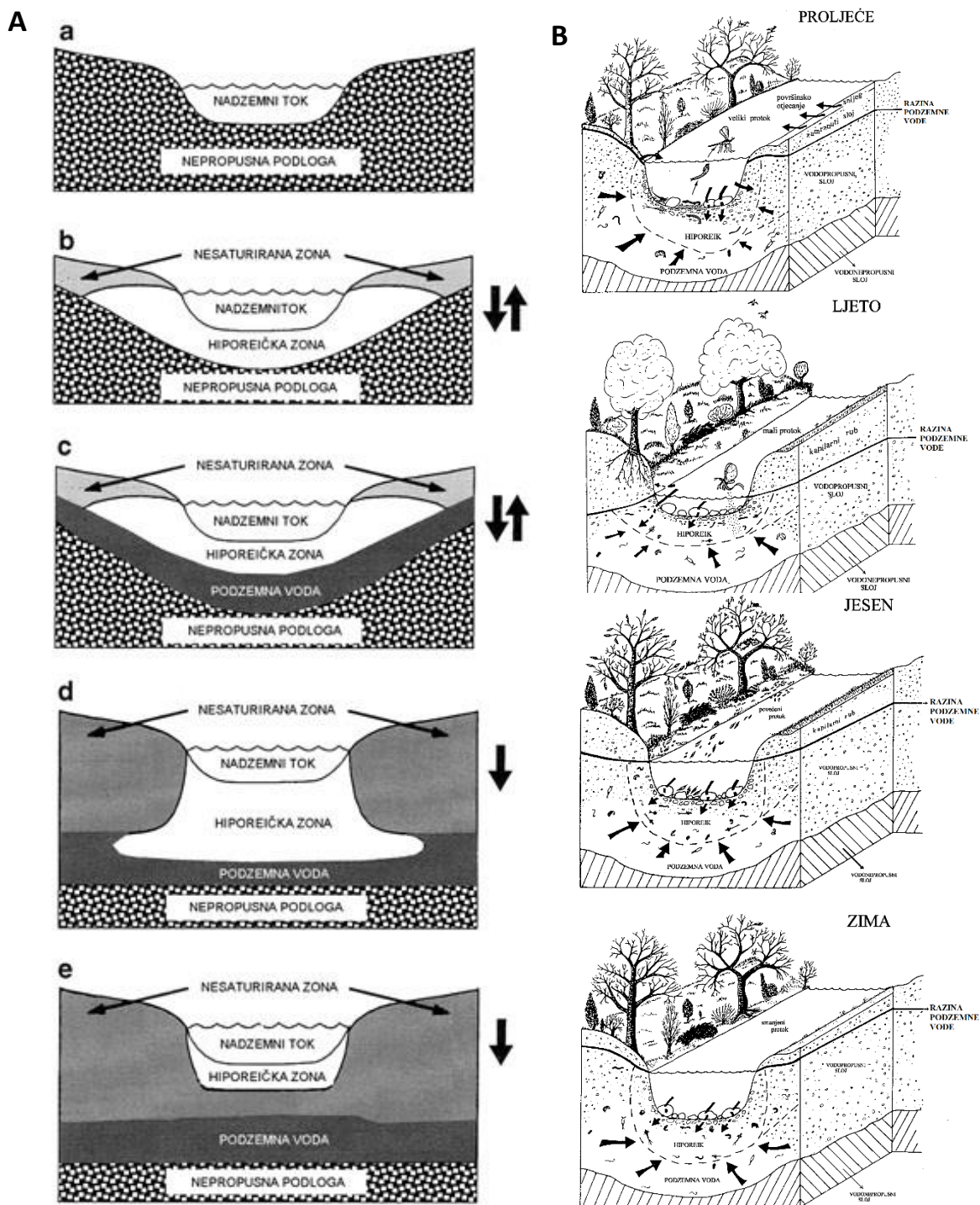
Tako se primjerice iz biološke perspektive HZ pokušava ocrtati na temelju prisutnosti i raspodjele površinske i podzemne faune u njoj, dok je u hidrološkoj perspektivi važan omjer miješanja površinske i podzemne vode (Buss i sur. 2009). White (1993) daje kratku i popularnu definiciju koja kaže da HZ čine „vodom zasićeni intersticijski prostori koji se nalaze ispod vodotoka te u njegovoj obalnoj zoni, a sadrže određenu količinu vode iz vodotoka“. Za razliku od vode HZ, podzemna voda je ona koja se ne miješa s vodom iz korita pa njena svojstva nisu izmijenjena. Do izmjene vode u HZ (engl. *hyporheic exchange*) dolazi zbog poniranja (engl. *downwelling*) riječne vode u aluvij, gdje može doći do miješanja s podzemnom vodom, te uzdizanja (engl. *upwelling*) te vode natrag u korito (White 1993, Tonina i Buffington 2009). Glavni čimbenici koji uvjetuju tu izmjenu su razlike u hidrauličnom tlaku i provodljivosti. Dinamičnost HZ očituje

se u njezinoj prostorno-vremenskoj varijabilnosti te često izraženim gradijentima fizikalno-kemijskih parametara poput temperature, količine otopljenog kisika, pH vrijednosti i dr. (Buss i sur. 2009).



Slika 1. A) Položaj hiporeičke zone na skali riječne doline, segmenta riječnog toka i segmenta intersticija (preuzeto sa <https://www.eurekalert.org/multimedia/872202>). B) poprečni presjek kroz segment riječnog toka s prikazom poniranja i uzdizanja riječnog toka na skali brzaca i bazena duž korita (prilagođeno i preuzeto iz: Boulton i sur. 2010).

Modeli poprečnih presjeka (Slika 2) prikazuju nekoliko tipova HZ s obzirom na hidrološke veze i smjer izmjene vode. HZ može izostajati u slučaju kad je podloga vodonepropusna (a) (White 1993). Kod tipa b, HZ nastaje samo advekcijom vode iz korita površinskog toka koja ponire te se uzdiže kroz sediment. Tip c predstavlja najčešći tip HZ koja nastaje advekcijom vode iz površinskog toka i podzemne vode između kojih dolazi do miješanja. Kod tipa d, HZ je stvorena infiltracijom vode samo iz korita površinskog toka iako je povezana s podzemnom vodom i kod ovog tipa nema tzv. parafluvijalnog ili starog riječnog toka (Slika 1). Kod tipa e, voda površinskog toka infiltracijom stvara HZ, ali je ona odvojena od prisutne podzemne vode slojem nezasićenih sedimenata (Gibert i sur. 1990, White 1993, Malard i sur. 2002).



Slika 2. A) Konceptijski prostorno-funkcionalni modeli vodotoka i hiporeičke zone: a) vodotok bez hiporeičke zone na vodonepropusnoj podlozi; b) vodotok s hiporeičkom zonom na vodonepropusnoj podlozi; c) vodotok s hiporeičkom zonom obostrano povezanom s vodonosnicima (freatička zona ili duboka zona podzemne vode); d) vodotok s hiporeičkom

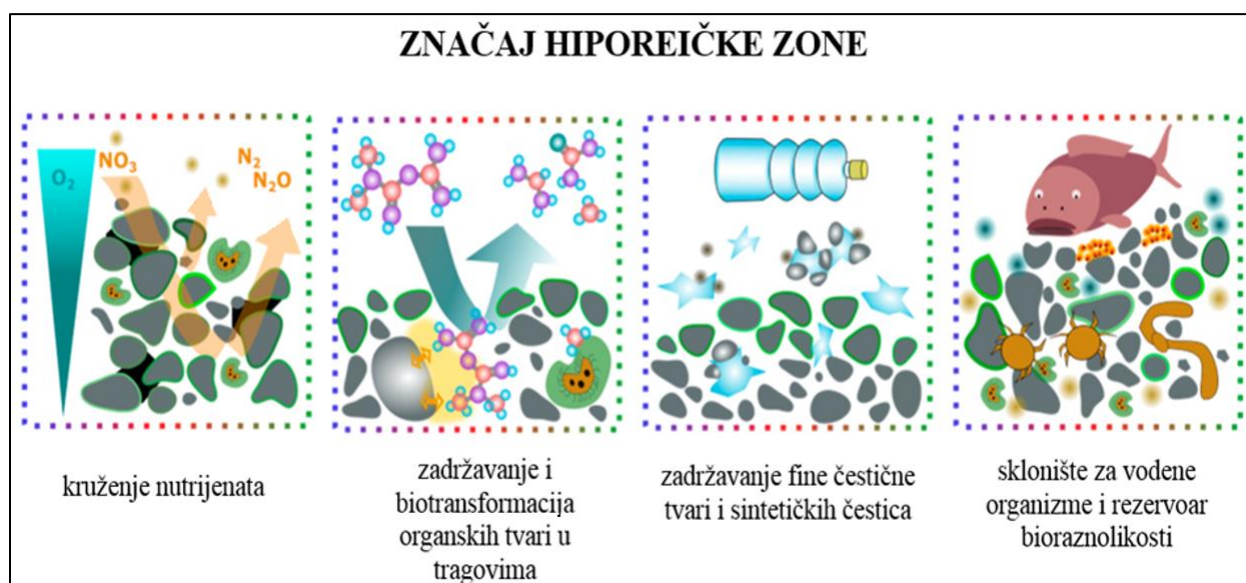
zonom s jednosmjernim punjenjem podzemnih voda i e) vodotok s hiporeičkom zonom koja nije povezana s vodonosnicima. B) Konceptijski model sezonskih promjena tipova interakcija između površinske i podzemne vode unutar hiporeičke zone (prema Gibert i sur. 1990 preuzeto iz Malard i sur. 2002, White, 1993).

Osim toga, HZ se smatra ključnom ekotonskom (prijelaznom, graničnom ili preklapajućom) zonom te ključnim utočištem (refugijem) za mnoge vodene beskralježnjake površinskog dijela toka tijekom visokih voda i suše (Gibert i sur. 1990).

Stoga HZ predstavlja integralni dio riječnog ekosustava povezujući susjedna staništa površinskog toka, podzemne vode i riparijsku zonu (Boulton i sur. 1998). Razumijevanje procesa u HZ i njeno istraživanje nužni su za holističko vrednovanje, upravljanje i zaštitu slatkovodnih ekosustava i podzemne vode (Buss i sur. 2009). Iako Okvirna direktiva o vodama Europske Unije (CEC 2000) potiče cjelovito upravljanje površinskim i podzemnim vodenim tijelima, HZ u tom dokumentu nije izričito spomenuta, a procjena stanja riječnog ekosustava bazirana je, između ostalog, na istraživanju zajednica bentičkih beskralježnjaka dok metode procjene koje uključuju hiporeičke organizme još uvijek nisu razvijene (Buss i sur. 2009). Shvaćanje važnosti zaštite podzemnih voda, uključivo i HZ, ne samo kao resursa već kao ekosustava prepunog života spomenuto je tek u Direktivi o podzemnim vodama EU (Directive 2006/118/ECEU), gdje su također napomenute granične vrijednosti svih fizikalno-kemijskih parametara i koncentracije teških metala za dobro ekološko stanje ne samo u podzemnim vodama već i za sve ekosustave koji su ovisni ili povezani s podzemnim vodama, a koji također mogu biti ugroženi uslijed onečišćenja ili bilo kojeg oblika kontaminacije podzemnih voda (Directive 2006/118/ECEU). Na temelju iskustva zemalja EU nužne su radikalne promjene u graničnim vrijednostima spomenutih parametara, koji uključuju i poboljšanje tj. snižavanje graničnih vrijednosti za temperaturu. Novija istraživanja ukazuju kako oscilacije temperature ne bi smjele biti veće od 8 °C za HZ koja se puni podzemnom vodom a opskrbljuje se i iz površinskog vodotoka. Razlog tome su sve drastičnije promjene u reguliranim vodotocima koji su izmijenjeni od strane čovjeka, gdje se HZ drastično prostorno smanjuje, a njena funkcionalnost radikalno snižava (Brunke i Gonser 1997).

1.2. Usluge hiporeičkog ekosustava

Pojam usluga ekosustava (engl. *ecosystem services*) odnosi se na prirodne dobrobiti koje ljudsko društvo koristi. Iako je takav pogled antropocentričan zbog poimanja tih funkcija kao izvora resursa za iskorištavanje, one su bitne i za samoodržavanje ekosustava te zajednica organizama koje su uz njega vezane. Kao zona interakcije između površinske i podzemne vode te vodotoka i njegove obale, HZ pruža različite tipove usluga (Slika 3) (Lewandowski i sur. 2019).



Slika 3. Usluge ekosustava hiporeičke zone

(prilagođeno i preuzeto iz: Lewandowski i sur. 2019).

Uloga koju HZ ima u kruženju ugljika te smanjenju povišene količine otopljenih nutrijenata poput nitrata i fosfata u vodotoku (Mueller i sur. 2022) utječe na sposobnost autopurifikacije (samopročišćavanja) lotičkih sustava te štiti vodonosnike od zagađenja, što je bitno za vodoopskrbu (Lewandowski i sur. 2011). Iako se primjerice otopljeni anorganski dušik može ukloniti iz otopine procesima sorpcije i asimilacije, glavni mehanizam predstavlja denitrifikacija, kao posljedica metaboličkih procesa mikroorganizama (Lewandowski i sur. 2019). Zajednice bakterija čine biofilmove koji imaju važnu ulogu u kruženju i transformaciji kemijskih spojeva (Peralta-Maraver

i sur. 2018) djelujući kao bioreaktor u HZ koju su Fischer i sur. (2005) zbog navedenih funkcija opisali kao „jetru rijeke“. Osim reakcija kojima se otopljeni nutrijenti i onečišćujuće tvari uklanjaju iz vode, odvijaju se i one u kojima HZ djeluje kao izvor tih tvari oslobađajući ih u otopinu (Lewandowski i sur. 2019). U kojem će se smjeru kemijske reakcije odvijati ovisi o čimbenicima poput količine otopljenog kisika, pH vrijednosti vode, redoks uvjetima, itd. (Buss i sur. 2009). Tako HZ ima potencijal iz vode ukloniti povišene koncentracije metala poput željeza, mangana, cinka, bakra i žive koji se u njoj mogu pojaviti zbog rudarskih aktivnosti (Mueller i sur. 2022), ali i drugih oblika antropogenog onečišćenja podrijetlom iz industrije (Lewandowski i sur. 2011). U slučaju povišene koncentracije otopljenog kisika i visokog pH, stvaraju se uvjeti koji potiču aktivnost aerobnih mikroorganizama zbog čega se oksidiraju željezo i mangan te se talože. Suprotno tome, kada je koncentracija otopljenog kisika i pH vrijednost vode niska, a mikroorganizmi dodatno troše kisik zbog respiracije i razlaganja organske tvari, željezni i manganovi oksidi reduciraju se te se metali oslobađaju u otopinu (Gandy i sur. 2007).

Uz navedeno, HZ sudjeluje u retenciji i biotransformaciji organskih tvari u tragovima (engl. *trace organic compounds*) poput industrijskih kemikalija, pesticida, sredstava za čišćenje, farmaceutika, itd. One se u vodotocima mogu naći zbog ispusta pročišćenih otpadnih voda iz razloga što ih postrojenja koja vrše tu djelatnost često ne uklanjaju pa mogu imati ekotoksikološki učinak na vodene ekosustave (Lewandowski i sur. 2019).

HZ djeluje i kao mehanički filter koji zadržava fine čestice prirodnog ili antropogenog podrijetla (npr. mikroplastika) (Drummond i sur. 2020). Iako je ta funkcija pozitivna kada je riječ o pročišćavanju površinske vode, ona također može uzrokovati „začepljenje“ sedimenta, što otežava izmjenu vode u HZ te utječe na zajednice organizama u njoj, smanjujući gustoću njihove populacije i raznolikost (Descloux i sur. 2013).

Uz to što HZ pruža stanište stalnim predstavnicima faune koji u njoj provode cijeli život, zbog njenih ekotonskih obilježja u njoj se pojavljuju i organizmi iz susjednih staništa poput ličinki kukaca iz površinskog dijela vodotoka koji ondje provode dio svog životnog ciklusa (Williams i Hynes 1974). Osim toga, još je Orghidan usred istraživanja smrznute rijeke Bugheae u Rumunjskoj i njenih sedimenata spomenuo potencijal HZ kao skloništa (refugija) za organizme. U sedimentima je pronašao predstavnike faune karakteristične za površinski tok i pretpostavio da su se ondje sklonili usred smrzavanja rijeke (Käser 2010). Bentički organizmi mogu koristiti HZ kao sklonište

usred nepovoljnih uvjeta u vodotoku poput bujica (Dole-Olivier i sur. 1997) ili presušivanja (Clifford 1966) dok primjerice salmonidne ribe koriste HZ za odlaganje jajašaca (Malcolm 2004). Ipak, studije ne potvrđuju uvijek sklonišnu ulogu HZ s obzirom da ona ovisi o čimbenicima poput uvjeta u staništu, svojstvima poremećaja, biotičkim interakcijama i osobinama organizama koji mogu aktivno migrirati u potrazi za skloništem, ali i pojavljivati se u njemu pasivno, primjerice nošeni vodom koja ponire (Stubbington 2012).

1.3. Funkcionalna uloga hiporeosa

Zajednice organizama HZ koje sačinjavaju stalni i povremeni predstavnici, Williams i Hynes (1974) nazvali su hiporeos (engl. *hyporheos*). Oni su povezani hranidbenim odnosima, sudjelujući u preradi i kruženju organske tvari. Zbog nedostatka svjetla, hranidbene mreže u HZ su pretežno heterotrofne i baziraju se na vanjskom donosu usitnjene organske tvari (engl. *particulate organic matter*), iako izuzetak mogu predstavljati zajednice kemoautotrofnih bakterija. Dostupnost organske tvari je zbog toga uvelike ovisna o povezanosti HZ s površinskim tokom (Culver i Pipan 2009, navedeno u Buss i sur. 2009). Primarni potrošači koji konzumiraju usitnjenu organsku tvar u HZ su mikroorganizmi poput bakterija, gljivica i Protozoa koji čine biofilmove (Leichfried 2007). Najviša stopa potrošnje organske tvari vezana je uz meiofaunu (Robertson i sur. 2000) koju čine beskralježnjaci veličine manje od 1 mm (Buss i sur. 2009). Organizmi iz skupina poput Gastrotricha (trbodlaci), Microturbellaria (mikroskopski virnjaci), Rotifera (kolnjaci), Nematoda (oblići), Oligochaeta (maločetinaši), Cladocera (rašljoticalci) i Harpacticoida (red rakova veslonožaca) uglavnom su filtratori, strugači i detritivori koji se hrane bakterijskim biofilmovima, a u kategoriju meiofaune spadaju i neki predatori poput rakova iz skupine Cyclopoida (red rakova veslonožaca) i ličinki Diptera (dvokrilci) (Schmid-Araya i Schmid 2000). Meiofauna u HZ tako čini bitnu poveznicu u prijenosu energije između mikroorganizama i makroskopskih beskralježnjaka predatora (Robertson i sur. 2000) veličine veće od 1 mm (Buss i sur. 2009).

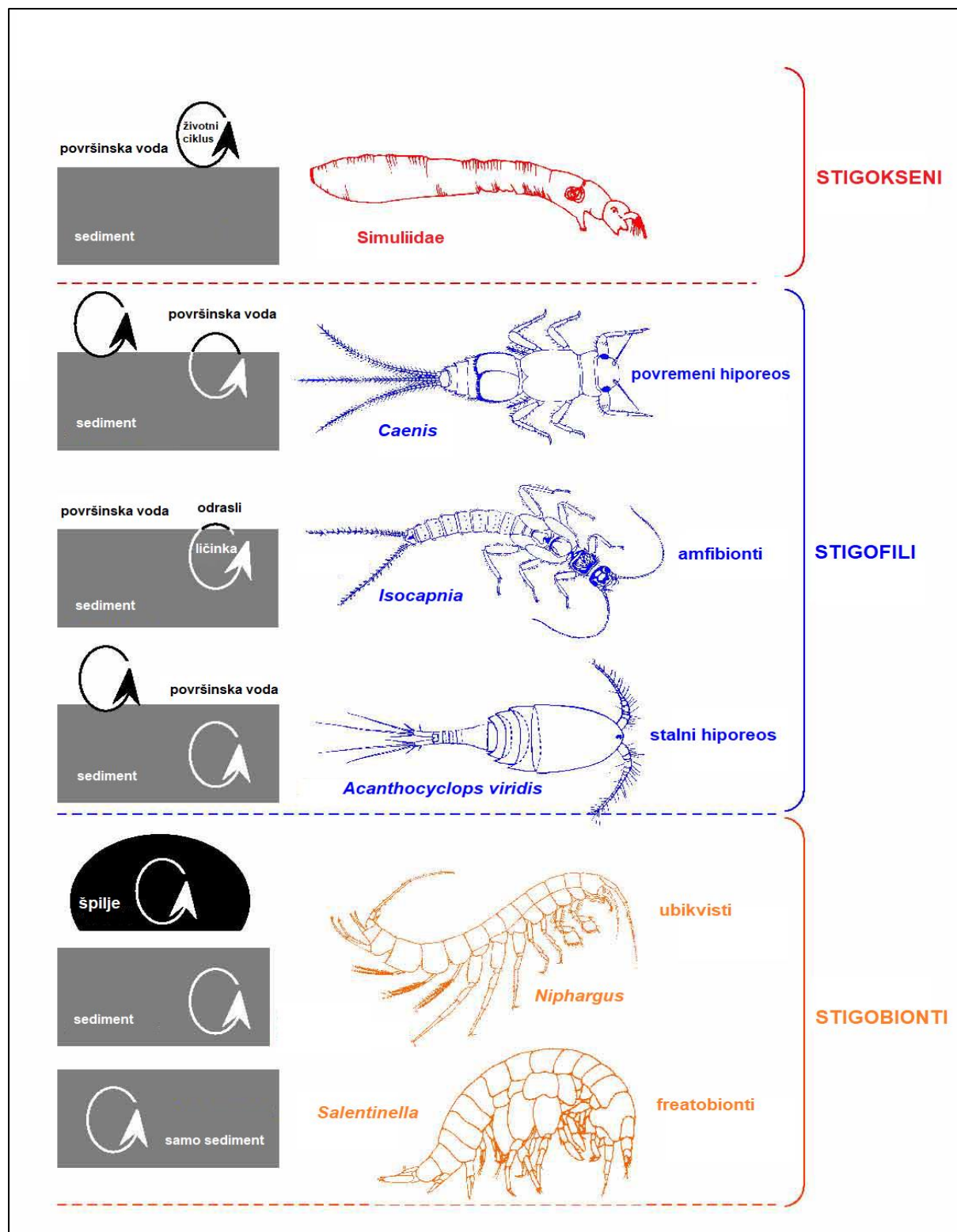
Predstavnici hiporeosa iz porodice Asellidae (Isopoda, jednakonožni raci), Chironomidae (trzalci, porodica kukaca iz reda dvokrilaca Diptera) i Tubificidae (porodica unutar podrazreda maločetinaša, Oligochaeta) mogu djelovati i kao „inženjeri ekosustava“ zbog sposobnosti

ukopavanja u sediment, modificirajući i pomičući njegove čestice te time sprečavajući začepljenje sedimenta. Ova funkcija je bitna jer povećava poroznost i propusnost sedimenta što olakšava izmjenu vode u HZ (Mermillod-Blondin i sur. 2003).

1.4. Bioraznolikost u hiporeičkoj zoni

Gibert i sur. (1994) predložili su klasifikaciju faune podzemne vode (stigofauna) na temelju bihevioralnih, morfoloških i ekoloških prilagodbi organizama (Slika 4). Ta je klasifikacija primjenjiva i na organizme poroznih aluvijalnih sedimenata koji čine HZ. Prema tom konceptu fauna hiporeičke zone može se podijeliti u tri osnovne skupine organizama, s obzirom na stupanj prilagođenosti na život u podzemnim vodama. Dijeli se na: **stigoksene** koji su povremeni posjetioci podzemnih voda, gdje pronalaze utočište tijekom nepovoljnih uvjeta na površini, **stigofile** koji uspješno žive u podzemnim vodama i na površini s visokim stupnjem afiniteta prema podzemnim vodama i vidljivim stupnjem adaptacije te **stigobionte** koji su isključivi stanovnici podzemnih voda s visokim stupnjem i posebnim tipovima prilagodbi. Osim toga podjela se odnosi i na vertikalni raspored faune u sedimentu, pri čemu je dijelimo na povremeni i stalni hiporeos te amfibionte. Povremeni hiporeos se sastoji većinom od ranih stadija ličinki kukaca poput dvokrilaca (Diptera), vodencvjetova (Ephemeroptera) i kornjaša (Coleoptera), koji mogu nastanjivati HZ, dok kasnije životne faze ovih vrsta prevladavaju uglavnom u bentosu tekućice. Amfibionti su stigofili čiji životni ciklus zahtijeva korištenje i površinske i podzemne vode. Ova kategorija uključuje nekoliko rodova obalčara (Plecoptera) poput *Isocapnia*, *Paraperla*, *Kathroperla*, čije ličinke naseljavaju HZ jednu ili više godina prije nego što se vrate u korito tekućice i emergencijom izađu iz vode kao odrasle jedinke tijekom kopnene faze života. Stalni hiporeos je vrlo raznolik, a uključuje nezrele i odrasle jedinke oblića (Nematoda), vodengrinje (Hydrachnellae), maločetinaše (Oligochaeta), mikroskopske rakove iz skupina Copepoda, Ostracoda, Amphipoda i dr., kolnjake (Rotifera) i drugu meiofaunu koja završava sve životne faze u hiporeičnoj zoni. Stigobionti su ograničeni na hiporeičku zonu, ali i na druga podzemna staništa povezana s podzemnom vodom, pokazujući morfološke promjene s obzirom na život u potpunoj tami intersticijske vode, s morfološkim obilježjima kao što su smanjene ili izgubljene oči (anoftalmija), nedostatak tjelesnog pigmenta i izduženi tjelesni privjesci te osjetilni nastavci. U hiporeičnoj zoni stigobionti se obično nalaze ili

na većim dubinama u zoni freatika ili u zonama uzdizanja vode (engl. *upwelling*). Mnogi stigobionti imaju spor metabolizam i mogu tolerirati niske koncentracije kisika, što se tumači kao fiziološka prilagodba na oligotrofna, hipoksična stanja koja se obično nalaze duboko u hiporeičnoj zoni ili daleko od korita površinskog toka u tzv. parafluvijalnoj zoni (Gibert i sur. 1994, Gibert i Deharveng 2002, Malard i sur. 2002). Snažna je povezanost između sastava hiporeosa, smjera hidrološke izmjene u HZ i vremena zadržavanja intersticijske vode. Zone poniranja vode (engl. *downwelling*) u krupnim sedimentima imaju veću gustoću površinskih stigoksena, od kojih neki prodiru dublje u sedimente tijekom poplava (npr. rod *Gammarus*), dok su zone uzdizanja često obilježene visokim udjelom stigobionata i malim brojem površinskih svojti (Boulton 2007).



Slika 4. Klasifikacija faune koja naseljava podzemne vode prema Gibertu i sur. (1994)

(preuzeto iz: Malard i sur. 2002).

Predstavnici meiofaune uglavnom dominiraju u zajednicama beskralježnjaka u HZ te im je bioraznolikost veća od makroskopskih organizama (Buss i sur. 2009). Općenito se smatra da je bioraznolikost podzemnih staništa, u koja spada i HZ (NN 27/2021), manja od površinskih iako u nekim regijama poput krša Dinarida ona može biti povišena, posebno kad je riječ o rakovima kao kod reda Amphipoda (rakušci) (Sket 1999).

1.5. Utjecaj presušivanja na hiporeičku zonu i hiporeos

Protočna voda koja teče u jednom smjeru unutar korita naziva se rijeka ili potok (Datry i sur. 2017). Otvoreni vodotoci važni su iz ekološkog i socioekonomskog gledišta, ali su tijekom godina sve više izmjenjivani antropološkim zahvatima koji su ugrozili njihovu funkcionalnu ulogu u ekosustavu. Iako je proučavanje različitih aspekata vodotoka u posljednjim desetljećima intenzivirano, kategorije vodotoka za koje se veže presušivanje dobile su manje pozornosti (Bonacci i Erceg 2019).

Bonnaci i Erceg (2019) daju prijevode engleskih termina za različite kategorije vodotoka koji presušuju (Tablica 1). Zbog njihovih definicija koje mogu biti vrlo slične, Datry i sur. (2017) su s namjerom pojednostavljenja pristupa u analizi tih sustava predložili korištenje dvije kategorije koje obuhvaćaju fenomen presušivanja vodotoka: vodotok koji presušuje (engl. *intermittent stream*) i povremeni vodotok (engl. *ephemeral stream*).

Tablica 1. Engleski i hrvatski termini za otvorene vodotoke koji presušuju

(izrađeno prema: Bonacci i Erceg 2019).

redni broj	engleski termin	hrvatski prijevod
1	<i>ephemeral</i>	povremen, kratkotrajan, prolazan
2	<i>episodic</i>	povremen, epizodan
3	<i>temporary</i>	privremen
4	<i>intermittent</i>	koji presušuje, isprekidan
5	<i>seasonal</i>	sezonski
6	<i>dryland</i>	u sušnim područjima
7	<i>interrupted</i>	isprekidan
8	<i>nonperennial</i>	nije cjelogodišnji
9	<i>near permanent</i>	gotovo trajan

Vodotoci koji presušuju su oni koji redovito presuše svake godine ili najmanje dva puta u pet godina. Presušivanje kod njih može trajati nekoliko dana ili čak cijelu godinu u ekstremnim slučajevima. Kod povremenih vodotoka voda u koritu se pojavljuje isključivo kratkotrajno (nekoliko sati ili dana) i neposredno radi intenzivnih kratkotrajnih oborina. Iako je presušivanje prirodan proces, ono se javlja sve učestalije radi čovjekovog iskorištavanja vodnih resursa te globalnog zagrijavanja koje bi u budućnosti moglo uzrokovati pojavu još većeg broja rijeka i potoka koji presušuju, a može se očekivati i produljeno trajanje razdoblja suše (URL 1).

Vrijeme pojave suše i njeno trajanje povezani su dužim razdobljima bez padalina (meteorološka suša) koja uzrokuju pojavu niskih voda i prekid tečenja (hidrološka suša). U vezi s presušivanjem, mogu se razlikovati tri oblika pojave vode u koritu koja se ciklički izmjenjuju: voda u kretanju, stajaća voda koja se zadržava u depresijama korita i suho korito. Kada je riječno korito suho, tečenje vode je i dalje moguće ispod površine kroz HZ. Na početku sušnog razdoblja je dubina do HZ mala, a nastavkom suše postaje sve veća (Bonacci 2016).

Dostupnost vode utječe na oblikovanje životnih zajednica u vodenim ekosustavima primjerice smjenom lotičkih, lentičkih i terestričkih organizama s obzirom na pojavu ili odsutnost vode u koritu (Bonacci i Erceg 2019). Već je spomenuto da bentički beskralježnjaci mogu potražiti sklonište u HZ tijekom presušivanja vodotoka. Ipak, ako suša potraje dovoljno dugo, razina vode u HZ također će se smanjivati, što dovodi do sušenja hiporeičkog sedimenta i nestanka staništa za bentičke organizme i hiporeos (Stubbington i sur. 2009). Iako za trajne vodotoke (engl. *perennial stream*) nije karakteristično presušivanje, razdoblja smanjenje količine oborina zbog kojih se smanjuju vodostaj i protok također mogu utjecati na zajednice vodenih organizama. Tako su Stubbington i sur. (2015) proučavali rijeku Little Stour u Engleskoj usred sušnog razdoblja između 2004. i 2006. godine. Bioraznolikost bentičkih beskralježnjaka na mjestima uzorkovanja postepeno je opadala usred trajanja suše, dok su promjene u bioraznolikosti hiporeosa bile manje, što pokazuje veću otpornost te zajednice na sušu uvjetovanu obitavanjem u stabilnijem staništu.

Ovaj rad usredotočen je na proučavanje zajednica vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone krške rijeke Rječine u Republici Hrvatskoj uslijed sezonskih promjena hidroloških uvjeta i karakterističnog presušivanja korita u toplijem dijelu godine.

1.6. Ciljevi istraživanja

Ciljevi ovog diplomskog rada temelje se na određivanju razlika u sastavu, gustoći i raznolikosti zajednica vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone (hiporeosa) Rječine u izvorišnom toku za vrijeme presušivanja riječnog korita, obnavljanja toka i prosječnih hidroloških uvjeta na temelju sezonskih istraživanja koja su provedena u srpnju, rujnu i listopadu 2015. godine te u siječnju, veljači, ožujku i rujnu 2016. godine.

Pojedinačni ciljevi rada su sljedeći:

- utvrditi sastav skupina, gustoću i raznolikost hiporeosa korita i obalne zone Rječine
- utvrditi zastupljenost hiporeosa, tijekom istraživanog razdoblja u izvorišnom toku Rječine:
 - u sezonskim uzorcima,
 - u uvjetima ekstremnog, visokog, prosječnog i niskog protoka,

- u uvjetima prije presušivanja, za vrijeme presušivanja te nakon uspostavljenog protoka vode u koritu Rječine.
- izračunati sličnost hiporeosa između sezona i uvjeta povezanih s dinamikom presušivanja i uspostavljanja toka vode;
- utvrditi zastupljenost temporalne i permanentne faune hiporeosa između sezona i uvjeta povezanih sa dinamikom presušivanja i uspostavljanja toka vode.

1.7. Hipoteze rada

Na temelju postavljenih ciljeva rada definirane su sljedeće hipoteze rada:

1. Uzorci korita i obalne hiporeičke zone Rječine razlikuju se u sastavu faune, gustoći i raznolikosti zajednica vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone.
2. Zastupljenost skupina vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone Rječine različita je tijekom pojedinih sezona, u uvjetima različite visine vodostaja, protoka i faze presušivanja.
3. Veća je sličnost hiporeosa između zime i ranog proljeća te između ljeta i rane jeseni.
4. Temporalna fauna hiporeosa ima veću zastupljenost tijekom zime i ranog proljeća, a manju tijekom ljeta i jeseni zbog emergencije. Permanentna fauna više je zastupljena tijekom prosječnih i nižih vodostaja i najmanje je zastupljena tijekom ekstrema (visokih protoka i presušivanja korita).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

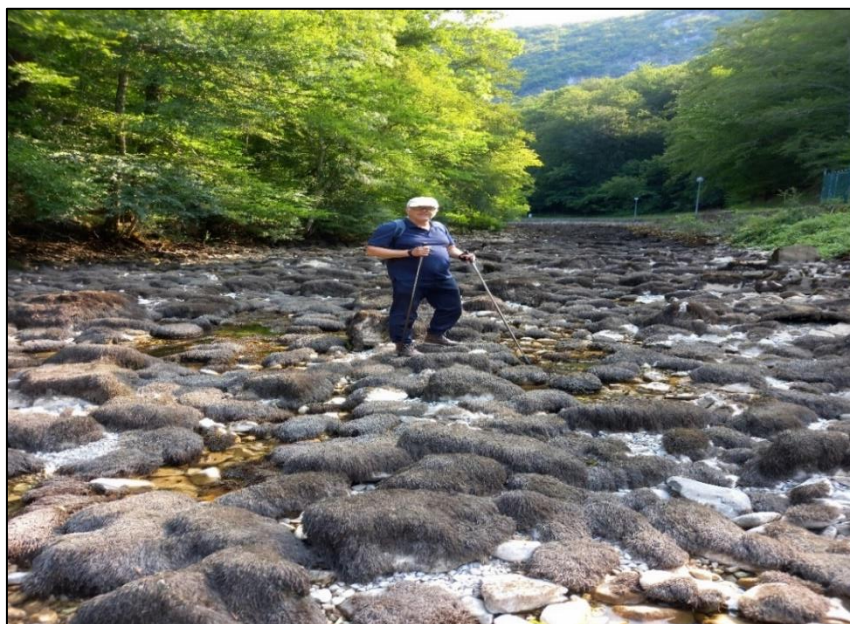
2.1. Geografske značajke rijeke Rječine

Rijeka Rječina duga je 18,5 km te se nalazi u primorskom dijelu Republike Hrvatske (45°40' do 45°15'N i 14°20' do 14°30'E) (Bonacci i sur. 2018). Cijelim svojim tokom protječe kroz Primorsko-goransku županiju prije ulijevanja u Jadransko more kod Grada Rijeke (Slika 10). Rječina ima višestruke važne funkcije za život okolnog stanovništva od kojih je najbitnija vodoopskrba kvalitetnom vodom za piće dok je u manjoj mjeri značajna hidroenergetska funkcija zbog relativno velikog vodnog potencijala te rekreativna funkcija u gornjem toku kojeg obilježava atraktivan prirodno-ruralni krajobraz pogodan za izlete i sportski ribolov (Haramina i sur. 2016). Rječina izvire (Slika 5) u podnožju planinskog masiva Obruč na nadmorskoj visini od 325,24 m gdje voda izbija na površinu iz krške špilje prelijevanjem preko umjetne betonske pregrade (Bonacci i sur. 2017). Izvor Rječine se nalazi 2 km uzvodno od naselja Kukuljani te predstavlja jedan od najvećih izvora na području dinarskog krša, a njegova voda koristi se za javnu vodoopskrbu šireg riječkog područja još od 1915. godine. Izvor funkcionira dijelom kao uzlazno, a dijelom kao preljevno krško vrelo povremenog karaktera (Kuhta 1997). Za vodoopskrbu je bitan i izvor Zvir čije se vode koriste u ljetnom razdoblju kada izvor Rječine presušuje (Slike 5 i 6) ili mu je izdašnost smanjena. Prema stručnoj studiji Haramine i sur. (2016), vodotok Rječine može se podijeliti na gornji tok (od izvora do Martinovog sela gdje završava naplavna ravnica), srednji tok (nizvodno od Martinovog sela do akumulacije Valići) te donji, kanjonski oblikovan tok (Slika 9) (nizvodno od brane Valići do ušća u more). Kod sela Grohovo je 1967. godine izgrađena brana visine 35 m čime je ostvaren zahvat vode za potrebe HE Rijeka te je nastala i umjetna akumulacija Valići (Slika 7). Kao posljedica je prirodni vodni režim na toj dionici i nizvodno od nje znatno izmijenjen. Rječina ima i nekoliko pritoka bujičnog karaktera od kojih je najveći Sušica duljine 8,7 km koji prikuplja vode sa sjeverozapadnog ruba Grobničkog polja (Bonacci i sur. 2017). Prirodno estuarijsko ušće Rječine također je izmijenjeno iskopavanjem novog korita 1855. godine u svrhu obrane od poplava. Staro korito potopila je morska voda čime je nastao Mrtvi kanal (Vivoda i sur. 2012).



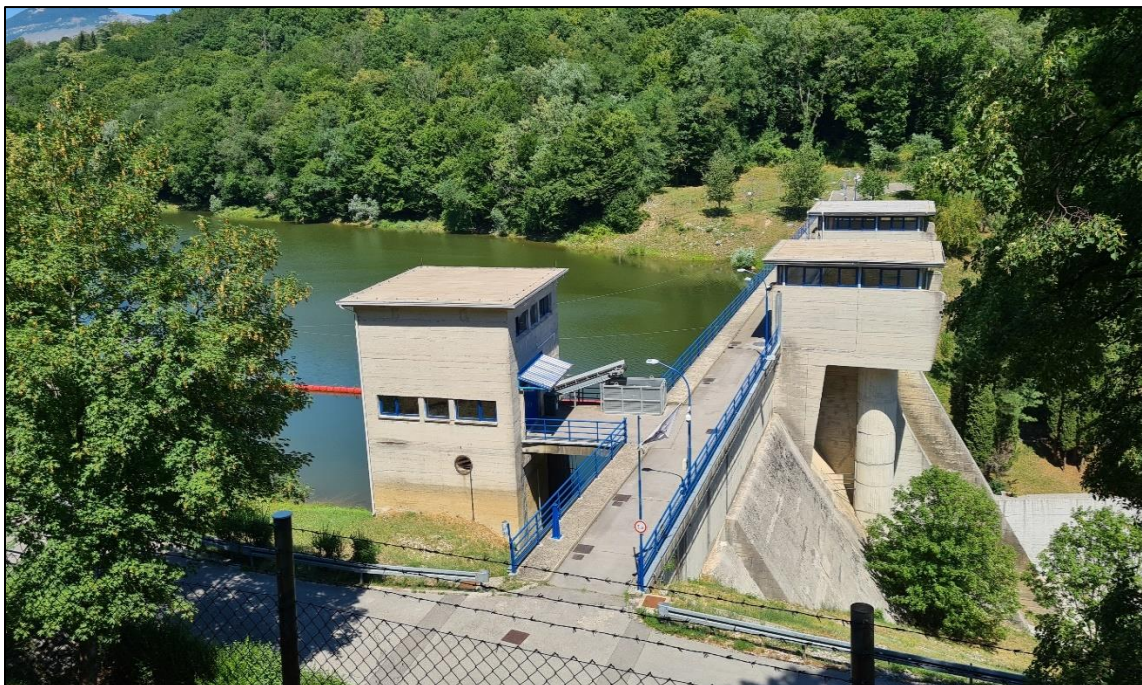
Slika 5. Izvor Rječine, 17.7.2022.

(autorska fotografija)



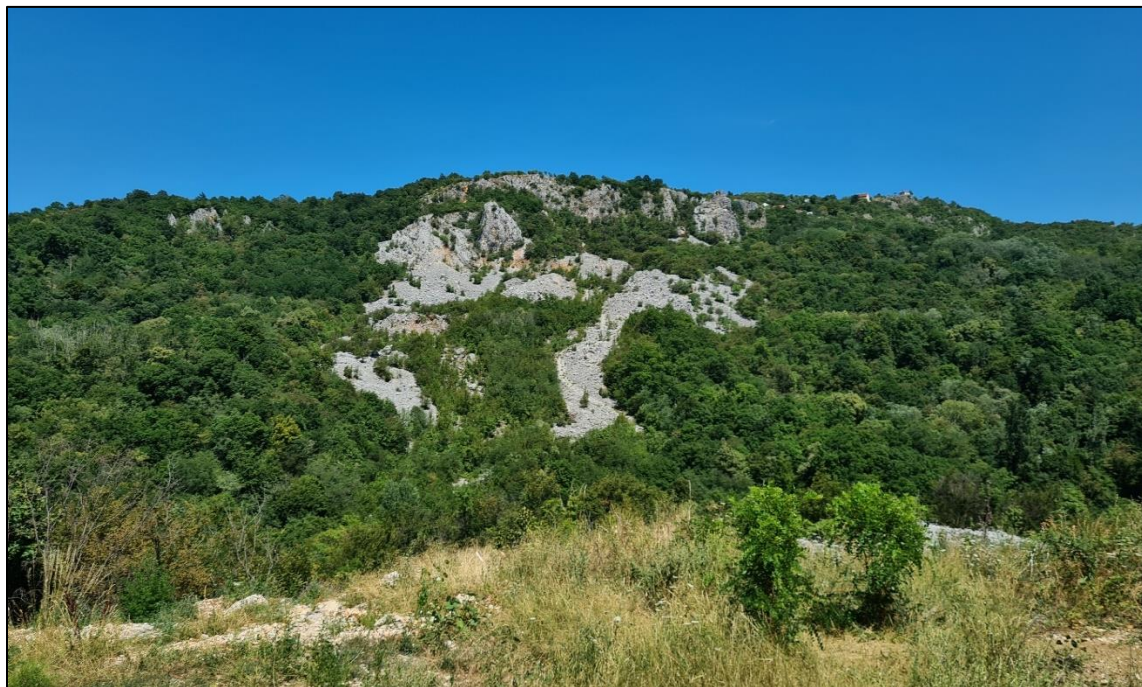
Slika 6. Presušeno korito Rječine u blizini izvora i zaostale lokve, 17.7.2022.

(autorska fotografija)



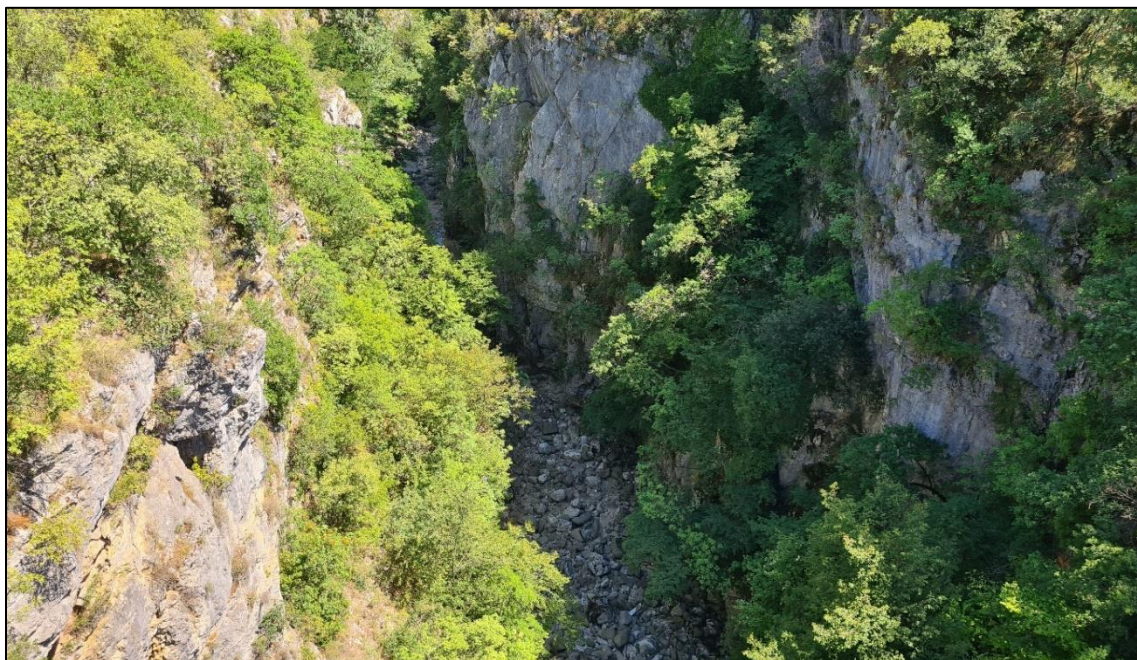
Slike 7. Akumulacija Valići i brana HE Rijeka, 18.7.2022.

(autor fotografije: Fredi Glavan)



Slika 8. Klizište Grohovo iznad doline Rječine, 18.7.2022.

(autorska fotografija)



Slika 9. Kanjon Rječine kod mosta Pašac, 18.7.2022.

(autorska fotografija)



Slika 10. Ušće Rječine u Jadransko more kod Grada Rijeke, 18.7.2022.

(autor fotografije: Fredi Glavan)

2.2. Klimatska i meteorološka obilježja

U svijetu najčešće korištena klasifikacija klima prema Köppenu uvažava srednji godišnji hod temperature zraka i količine oborina. Sliv rijeke Rječine nalazi se u području kojeg karakteriziraju dvije različite klime s obzirom na razlike u topografiji i udaljenost od mora (Haramina i sur. 2016). Dio sliva bliži moru pripada tipu umjereno tople vlažne klime s vrućim ljetom (Cfa) dok je dio u planinskom dijelu pod utjecajem umjereno tople vlažne klime s toplim ljetom (Cfb) (Šegota i Filipčić 2003, Haramina i sur. 2016). Ova klasifikacija vrijedi za standardno razdoblje od 1961. do 1990. godine (Šegota i Filipčić 2003). Kod oba tipa klime srednja temperatura najhladnijeg mjeseca nije niža od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a najmanje jedan mjesec ima srednju temperaturu višu od $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Razlika se očituje u srednjoj temperaturi najtoplijeg mjeseca, srpnja, koja je kod Cfa klime viša od $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok je kod Cfb klime niža od $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Šegota i Filipčić 2003).

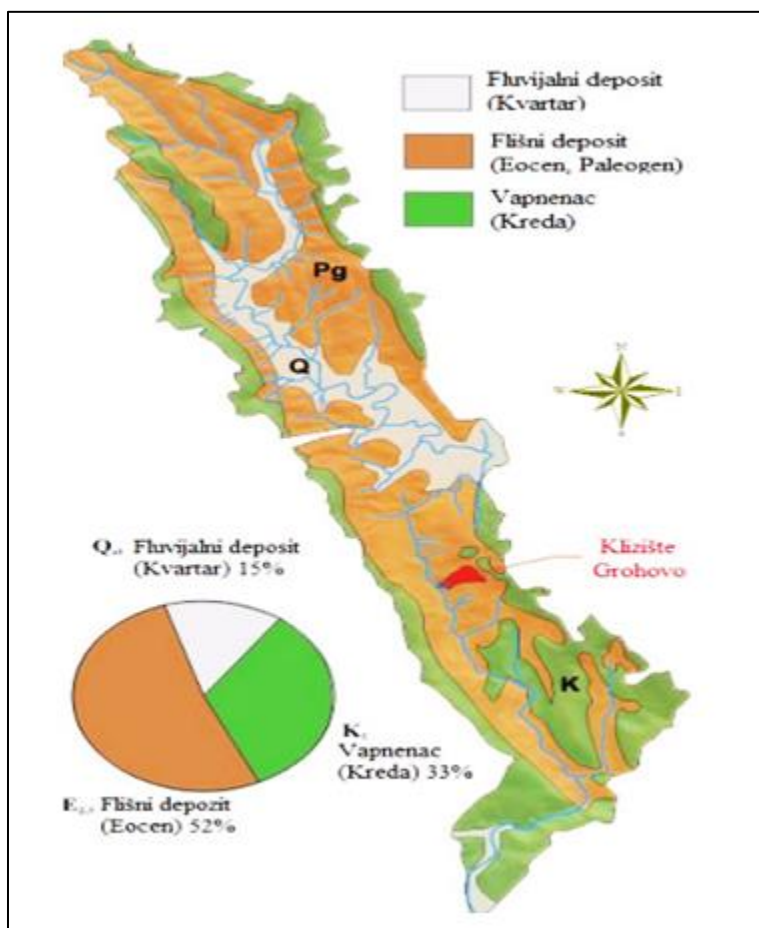
Na području meteorološke postaje Rijeka, dominantan vjetar po smjeru i brzini u razdoblju analize od 2004. do 2014. godine bila je bura (sjeveroistočni smjer), a prevladavala je obalna cirkulacija. Veće brzine vjetra javljale su se zimi kroz izmjenu bure i juga (jugoistočni smjer) (Haramina i sur. 2016). Maksimum temperature javljao se u srpnju, a minimum u siječnju ili prosincu. Najmanja količina oborine zabilježena je u srpnju (65 mm), a najveća u rujnu (208 mm). Prosječna godišnja količina oborina iznosila je 1643 mm (Haramina i sur. 2016). Koji su trendovi klimatskih promjena na području istraživanja ispitali su Bonacci i sur. (2018). U periodu od 1948. do 2016. godine, na meteorološkoj postaji Rijeka utvrđen je trend porasta temperature zraka dok je na istoj postaji od 1948. do 2016. godine, ali i na kišomjernoj postaji Marčelji od 1961. do 2016. godine utvrđen trend smanjenja količine oborina.

2.3. Geologija i geomorfologija

Sliv Rijeke Rječine nalazi se u pojasu Dinarskog krša, velike geomorfološke jedinice koja pripada planinskom lancu Dinarida. Oni se pružaju na površini od oko $60\,000\text{ km}^2$, čineći najveći neprekinuti krajobraz u Europi (Mihevc i sur. 2010). Krški reljef Primorske Hrvatske karakteriziraju karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti) koje su većinom mezozojske starosti (trijas, jura, kreda). Te su stijene uglavnom dobro vodopropusne i podložne otapanju što za posljedicu ima

formiranje specifičnih reljefnih oblika poput škrapa, špilja, jama, ponikvi, polja u kršu, itd. Vodena tijela u tom prostoru su rijetka, vezana uz pojavu naslaga manje vodopropusnosti. Dinaridi se mogu podijeliti na Vanjske, kojima pripada i veliki dio Primorske Hrvatske, i Unutarnje Dinaride (Mihevc i sur. 2010).

Rijeka Rječina izvire na kontaktu dobro propusnih karbonatnih naslaga i nepropusnih klastičnih naslaga, tj. uz navlaku eocenskih i krednih vapnenaca na najmlađe flišne naslage (Kuhta, 1997). Flišni sedimenti uglavnom su niske vodopropusnosti što sprječava poniranje vode i omogućava površinsko otjecanje (Slika 11) (Bonacci i sur. 2018).



Slika 11. Geološka karta sliva vodotoka Rječine

preuzeto iz: (Žic 2015)

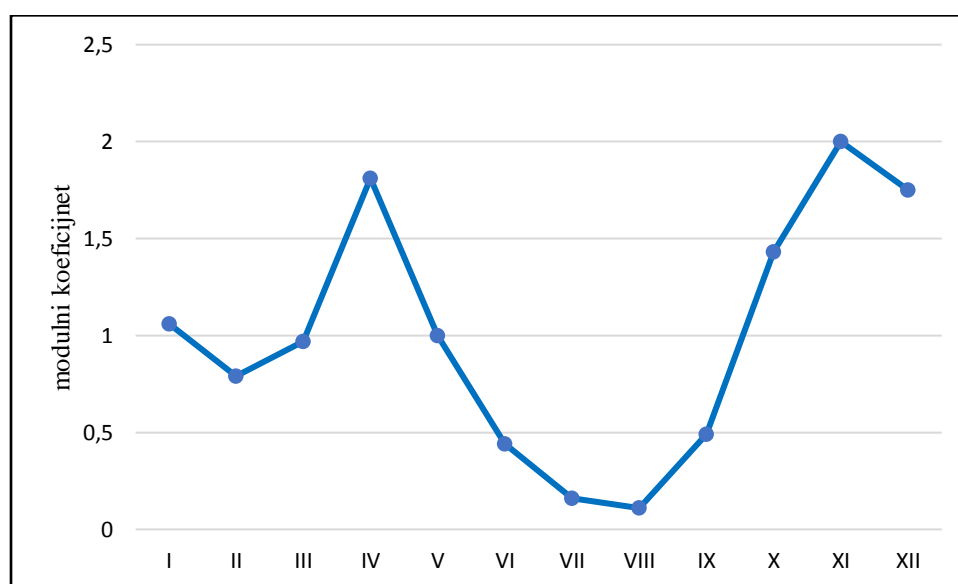
Naslage fliša imaju veliku litološku heterogenost zbog čestog izmjenjivanja različitih članova pa su kod tih stijena na području Rječine petrološkom analizom utvrđeni lapori, siltiti, šejlovi i sitnozrnati pješčenjaci (Benac i sur. 2005). Dolina Rječine je duboko usječena u flišne naslage (Kuhta 1997) koje su sklone trošenju pa se tako na dionici između rezervoara Valići i mosta Pašac kod sela Grohovo nalazi aktivno klizište (Slika 8) koje predstavlja najnestabilnije područje u regiji (Benac i sur. 2005). Vapnenačke stijene iz krede i paleogena nalaze se na nestabilnoj flišnoj podlozi u podnožju padine što donosi visoku opasnost od padinskih procesa poput klizanja i odronjavanja (Benac i sur. 2011). Fliš u dolini Rječine dio je morfostrukturne jedinice koja se proteže od Slovenije do obale Novog Vinodolskog čineći flišnu sinklinalu (Benac i sur. 2011). Bognar (1999) je proveo geomorfološku regionalizaciju reljefa Hrvatske prema kojoj tok Rječine pripada mezomorfološkoj regiji Kvarnerski arhipelag i Crikveničko – Vinodolsko primorje s Kastavskom zaravni.

2.4. Hidrologija

Rječina je tipična krška rijeka Jadranskog sliva koju odlikuju velike oscilacije protoka tijekom godine, a njen izvor u ljetnom razdoblju često presušuje (Haramina i sur. 2016, Bonacci i sur. 2017). To može trajati i više od tri mjeseca zaredom, najčešće od srpnja do rujna (Haramina i sur. 2016). Dok je površina topografskog sliva Rječine prema različitim autorima uglavnom ujednačena i iznosi 54 km², problem se javlja u definiranju njenog hidrogeološkog sliva s obzirom na vodopropusnost krškog reljefa koja rezultira kompleksnim podzemnim protjecanjem vode. Vrijednosti variraju i za nekoliko stotina kilometara kvadratnih ovisno o autoru (Bonacci i sur. 2017). Haramina i sur. (2016) navode površinu od 163 km² te dijele sliv Rječine u dva podsliva – podsliv rijeke Rječine i podsliv južnog dijela Grobničkog polja. Trasiranjem Črne Drage na Snežniku utvrđena je veza s izvorom Rječine i izvorom Zvir što znači da se dio sliva Rječine nalazi u Sloveniji (Biondić i sur. 2004, navedeno u Bonacci i sur. 2017).

Čanjevac (2013) je na području Hrvatske odvojio sedam tipova protočnih režima tekućica uporabom Pardéovih modulnih koeficijenata te klusterskim grupiranjem. Modulni koeficijent predstavlja omjer srednjeg protoka svakog mjeseca i srednjeg godišnjeg protoka, a pomoću njega

se mogu uspoređivati protočni režimi rijeka koje mogu imati veličinski vrlo različite protoke. Rječina ima sredozemni kišno-snježni režim što znači da je pod maritimnim utjecajem te se primarno prihranjuje vodom iz kišnice, ali je značajna i prihrana otapanjem snijega u proljeće s obzirom da se dio porječja i izvor nalaze u gorju. Primarni maksimum protoka javlja se u studenom, a sekundarni u travnju dok se primarni minimum javlja u srpnju ili kolovozu, a sekundarni u veljači ili ožujku. Modulni koeficijenti su izračunati za razdoblje od 1990. do 2009. godine prema podacima sa postaje Izvor Rječine (Čanjevac 2013) (Slika 12).



Slika 12. Protočni režim Rječine na postaji Izvor Rječine za razdoblje od 1990. do 2009. godine (prema Čanjevac 2013)

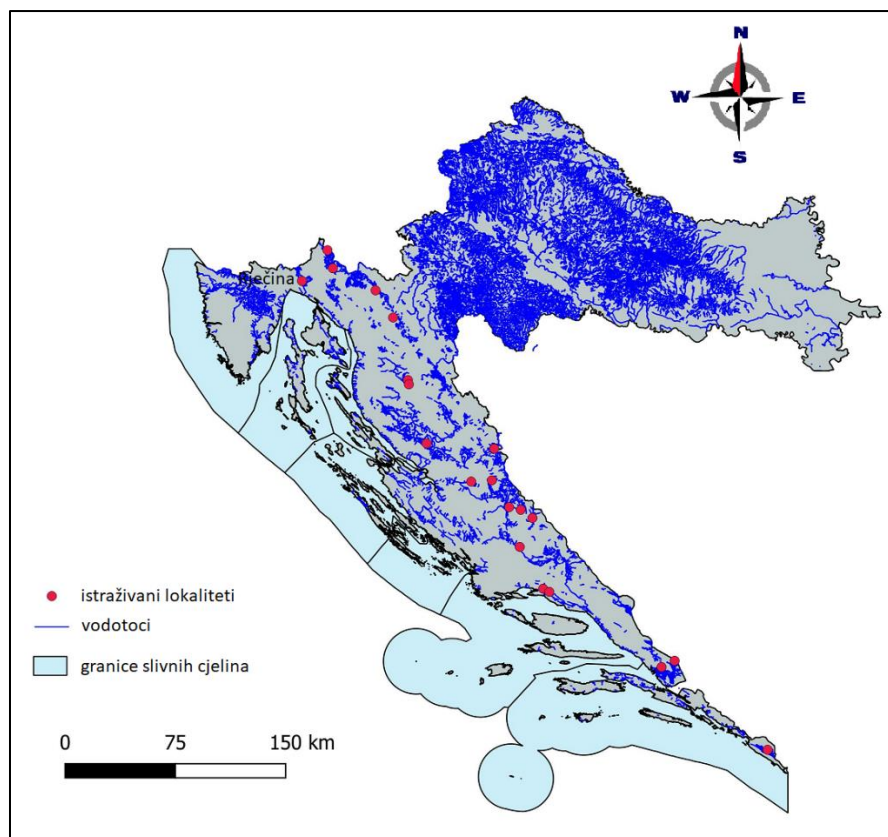
Bonnaci i sur. (2017) izračunali su prosječnu vrijednost srednjeg godišnjeg preljevnog protoka izvora Rječine za razdoblje od 1948. do 2015. godine koja iznosi $6,85 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ uz napomenu da nedostaju podatci za razdoblje od 1960. do 1965. te za 2001. godinu. Prosječni broj dana presušivanja izvora u godini za isto razdoblje iznosio je 44,6 dana. Također je utvrđen trend opadanja srednjih godišnjih preljevni protoka izvora što može biti vezano uz veće zahvaćanje vode, ali i uz učinak klimatskih promjena (Bonnaci i sur. 2017).

Analizom omjera stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika ($\delta^2\text{H}$) koji se koriste u istraživanjima hidrologije podzemnih voda, utvrđeno je da je podzemna voda Rječine, ali i ostalih krških rijeka, meteorskog podrijetla što znači da se prihranjuje oborinskom vodom, najviše vezanom uz puhanje juga. Utvrđeno je i da je vrijeme potrebno za obnovu podzemne vode kod izvora Rječine relativno kratko, oko tri i pol mjeseca (Brkić i sur. 2020).

2.5. Opis istraživanog lokaliteta

Izvorišni tok Rječine istraživan je u okviru projekta MULTISEK (Multimetrički sustav evaluacije krenobiocenoza) u okviru kojeg je sustavno istraženo dvadeset krških izvora Hrvatske, a samo je u izvorišnom toku Rječine provedeno i istraživanje hiporeičke zone (Gottstein i sur. 2017). Položaj svih istraživačkih postaja prikazan je na preglednoj karti samo s označenim položajem istraživačke postaje Rječina (Slika 13). Izgled istraživane lokacije u vodotoku Rječina prikazan je na Slici 14.

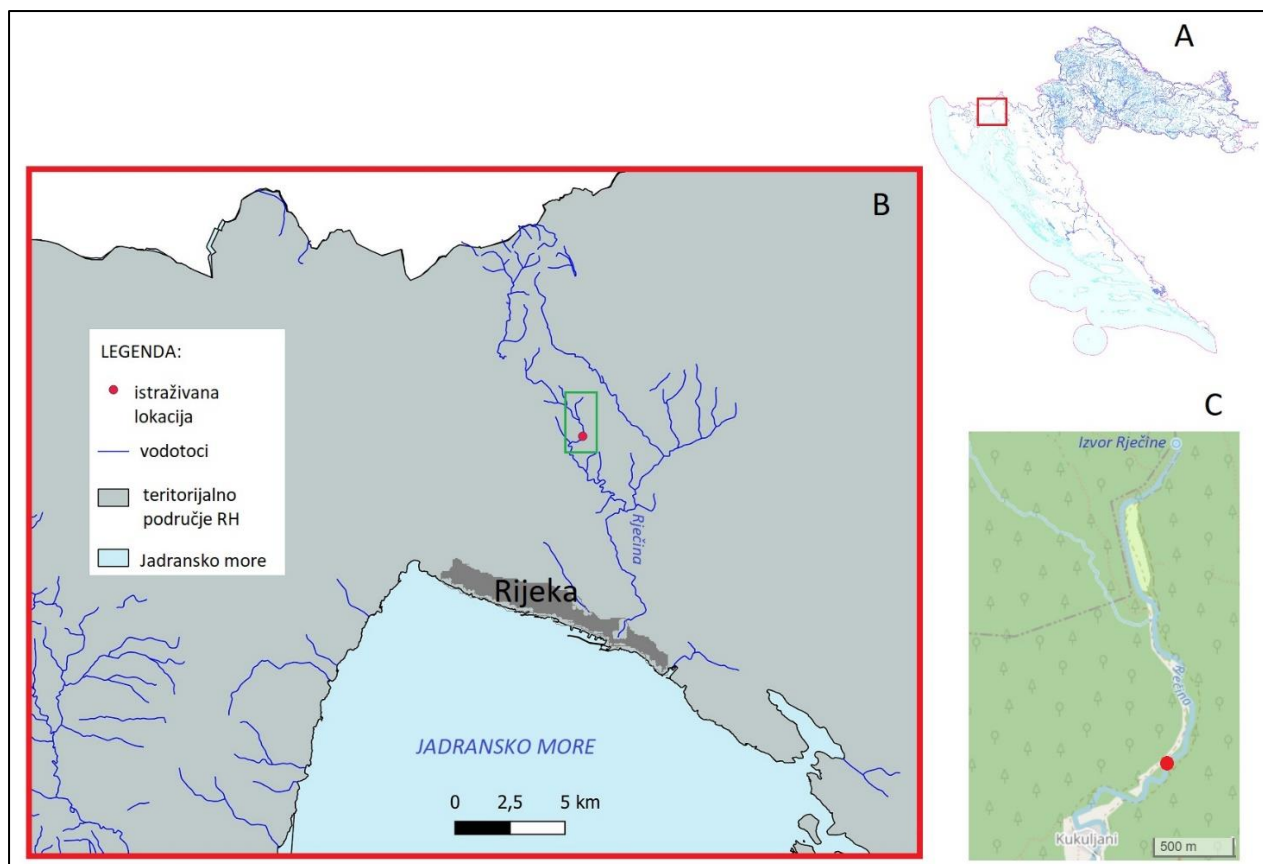
Istraživana postaja ovog rada u vodotoku Rječina smještena je uzvodno od Kukuljana na lijevoj obali izvorišnog toka Rječine unutar zone šume (Slika 15). Zbog prisutnosti obalo-utvrda, nepristupačnosti terena te nemogućnosti pronalaska korita i obale gdje je moguće primijeniti Bou-Rouch pumpu, ovo je jedina postaja gdje je bilo moguće zabit cijev pumpe i dosegnuli dubinu od minimalno 30-tak cm, što predstavlja plitku hiporeičku zonu. Duboku hiporeičku zonu od preko 60 cm nije bilo moguće dosegnuti zbog skeletnog supstrata i velike zastupljenosti mezolitala. Lokacije gdje je bilo moguće prikupiti uzorke Bou Rouch pumpom bile su smještene uz sam rub lijeve obale Rječine u rubnoj zoni korijenja riparijske vegetacije i u središnjem dijelu korita toka na mjestima veće zastupljenosti sitnijeg supstrata. Sva mjesta uzimanja uzoraka bila su u područjima vodotoka s prevladavajućom zastupljenošću psamala, akala i mikrolitala te djelomičnom prisutnošću mezolitala (Tablica 2)



Slika 13. Prikaz položaja istraživane postaje Rječina na karti Hrvatske te položaj ostalih istraživanih postaja u okviru projekta MULTISEK (karta izrađena u QGIS-u; Gottstein i sur. 2017).



Slika 14. Istraživana lokacija na vodotoku Rječina (foto. S. Gottstein).



Slika 15. Prikaz položaja istraživane lokacije u vodotoku Rječina: A) karta Hrvatske sa označenim crvenim kvadratićem šireg istraživanog područje (karta izrađena u QGIS-u); B) karta šireg istraživanog područja s prikazom cjelovitog vodotoka Rječina i zelenim pravokutnikom koji označava prikazani odsječak vodotoka (karta izrađena u QGIS-u); C) odsječak vodotoka Rječina s prikazom položaja istraživane lokacije (karta preuzeta s <https://www.openstreetmap.org/>).



Slika 16. Prikaz sezonskih promjena u vodnom režimu rijeke na istraživanom lokalitetu Rječine: A) presušivanje korita u srpnju 2015.; B) korito s bazenčićima vode u rujnu 2015.; C) uspostavljeni protok vode u listopadu 2015.; D) ekstremni protok vode u siječnju 2016.; E) visoki protok vode u veljači 2016.; F) niski vodostaj u ožujku 2016. (foto. S. Gottstein i I. Barač)

Izvorišni tok Rječine 26.09.2014. tijekom kišnog ljeta i jeseni kada vodotok nije presušio (foto. S. Gottstein).



Izvorišni tok Rječine 17.09.2015. u razdoblju bez vidljivog površinskog protoka vode za vrijeme ekstremne suše (foto. S. Gottstein).



Izvorišni tok Rječine 26.09.2016. u razdoblju bez vidljivog površinskog protoka vode s bazenčićima u rubnim dijelovima toka za vrijeme suše (foto. S. Gottstein). (26.09.2016.) (foto. S. Gottstein).



Slika 17. Prikaz izvorišnog toka Rječine s različitom količinom vode u koritu vodotoka u rujnu 2014. do 2016. godine.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Provedenim terenskim istraživanjima prikupljeni su uzorci vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone rijeke Rječine u koritu i priobalnoj zoni izvorišnog dijela toka. U prikupljenoj intersticijskoj vodi te u površinskom toku provedena su *in situ* mjerenja osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode. Uzorci su prikupljeni korištenjem standardnih metoda uzorkovanja hiporeičke faune (opis u poglavlju 3.3. Metode terenskih istraživanja). Prikupljene podatke koristio sam u cilju utvrđivanja prostorne i vremenske dinamike te sastava zajednica vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone izvorišnog toka Rječine.

3.2. Dinamika terenskih istraživanja

Terenska istraživanja izvorišnog toka Rječine i pripadajuće hiporeičke zone su provedena u razdoblju od srpnja 2015. do rujna 2016. godine obuhvativši sve sezone (zimu, proljeće, ljeto i jesen), različite faze protoka (korito bez protoka s bazenima, faza sporog protoka, visoki protok, ekstremni protok) te različite faze presušivanja korita (prije presušivanja, za vrijeme presušivanja te nakon uspostavljenog protoka vode u koritu) (Slike 18 i 19). Ukupan broj prikupljenih uzoraka sa specifikacijom dubine uzorkovanja te tipom sedimenta u kojem je korištena Bou-Rouch pumpa prikazani su u Tablici 2.



Slika 18. Izvorišni tok Rječine s prikazom lokacija uzorkovanja u različitim sezonskim uvjetima protoka: A) u koritu s vrlo slabim protokom u ljetnom sušnom razdoblju (03.07.2015.); B) u koritu bez protoka na kraju sušnog razdoblja (17.09.2015.); C) u koritu nakon ponovnog uspostavljenog protoka (13.10.2015.); D) uz obalu za vrijeme ekstremnih protoka (12.01.2016.); E) uz obalu za vrijeme visokih protoka (05.02.2016.); F) uz obalu za vrijeme niskih protoka (15.03.2016) (foto. S. Gottstein i I. Barač).



Slika 19. Izvorišni tok Rječine s prikazom lokacije uzorkovanja Bou-Rouch pompom u sredini korita vodotoka bez protoka s bazenčićima uz rubni dio korita na kraju sušnog razdoblja (26.09.2016.): A) pogled nizvodno; B) pogled uzvodno (foto. S. Gottstein).

Tablica 2. opis prikupljenih uzoraka s datumom uzorkovanja, brojem uzorka i položajem uzorkovanja, opisom količine ispumpane vode (L), dubinom uzorkovanja (cm) Bou-Rouch pumpom te tipom sedimenta na mjestu prikupljanja uzoraka (prvi tip sedimenta je najdominantniji).

DATUM	POLOŽAJ UZORKOVANJA	KOLIČINA UZORKA	DUBINA UZORKOVANJA	TIP SEDIMENTA
03.07.2015.	obala 1	15 L	35 cm	mikrolital-psamal
	korito 1	15 L	30 cm	mikrolital-psamal- mezolital
17.09.2015.	obala 1	50 L	32 cm	akal-mikrolital
	korito 1	50 L	30 cm	akal-mikrolital- mezolital
13.10.2015.	korito 1	50 L	37 cm	mikrolital-psamal
12.01.2016.	obala 1	50 L	29 cm	mikrolital-psamal
	obala 2	50 L	33 cm	mikrolital-psamal
05.02.2016.	obala 1	50 L	31 cm	mikrolital-psamal
	obala 3	75 L	33 cm	mikrolital-psamal
15.03.2016.	obala 2	50 L	32 cm	mikrolital-psamal
26.09.2016.	korito 1	50 L	31 cm	mikrolital-psamal- mezolital
	korito 2	50 L	35 cm	mikrolital-psamal- mezolital
UKUPNI BROJ UZORAKA:			12 (7 obala + 5 korito)	

3.3. Metode terenskih istraživanja

3.3.1. Metoda uzorkovanja i pohrana bioloških uzoraka

U izvorišnom toku Rječine uzvodno od Kukuljana vodeni beskralježnjaci su iz intersticijske zone hiporeika prikupljeni koristeći se specijalno dizajniranom Bou-Rouch pumpom za prikupljanje faune hiporeosa iz supstrata različitih veličinskih frakcija: mezolital (oblutci ili veće valutice, 6 – 20 cm), mikrolital (grubi šljunak, u manjem postotku pijesak 2 – 6 cm), akal (sitni do srednje krupan šljunak, >2 mm) i psamal (pijesak s muljem, 2 – 6 mm) (Tablica 2, Slika 20).

Uzorci vode i faune prikupljeni Bou Rouch pumpom iz intersticijske zone oko perforirane cijevi promjera rupica 5 mm profiltrirani su preko mrežice veličine oka 100 μm . U svrhu lakšeg odvajanja faune od suptrata i smanjivanja mehaničkog oštećenja faune, tijekom pumpanja vode na površinu s prosječne dubine od oko 30 cm složen je niz mrežica različite veličine oka. Prvo je fauna i voda profiltrirana kroz mrežicu od 1 mm, a potom kroz mrežicu od 100 μm (Slika 20).

Prikupljena fauna je zajedno sa sedimentom pohranjena u bočice i konzervirana s 96 %-tnim etanolom (Slika 20).



Slika 20. A) Prikaz Bou-Rouch pumpe i njenog korištenja u intersticijskoj zoni rijeke; B) prikaz metodologije terenskih istraživanja prikupljanja uzoraka iz hiporeičke zone izvorišnog toka Rječine primjenom Bou-Rouch pumpe; C) prikaz filtracije vode kroz mrežicu primjenom Bou-Rouch pumpe; D) prikaz uzorka prije konzerviranja.



Slika 21. A) mjerenje osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode korištenjem setova sondi;
B) primjena titracijske metode za utvrđivanje količine kalcij karbonata u vodi ($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$).

3.3.2. Uređaji i metodologija mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode

Osnovni fizikalno-kemijski parametri vode, na terenu, su izmjereni s digitalnim WTW multi-instrumentom 3430 F. Digitalnom pH elektrodom SenTix 940 mjerena je pH vode, digitalnom sondom TetraCon 925 mjerena je električna provodnost vode ($\mu\text{S cm}^{-1}$), a optičkom sondom FDO 925 mjerena je količina otopljenog kisika u vodi (mg L^{-1}) te zasićenje vode kisikom (%). Brzina strujanja vode (m s^{-1}) mjerena je brzinomjerom Dostmann electronic P600. Titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom (HCl) uz indikator „metil oranž” (engl. *methyl orange*) izmjerena je alkalinitet vode (kasnije izražen kao $\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$) prema standardnom protokolu (APHA, 1995).

3.4. Metode laboratorijskih istraživanja

Kemijska potrošnja kisika (KPK) u uzorku vode mjerena je spektrofotometrom u laboratoriju. KPK je masena koncentracija kisika koja je potrebna da oksidiraju tvari suspendirane u 1 L vode (mg L^{-1}). Razna organska opterećenja razlažu se u vrućoj smjesi kalijevog bikromata i sumporne kiseline. Količina organskih tvari koje su oksidirale, izražene kao ekvivalent kisika, proporcionalna je utrošku kalijevog bikromata.

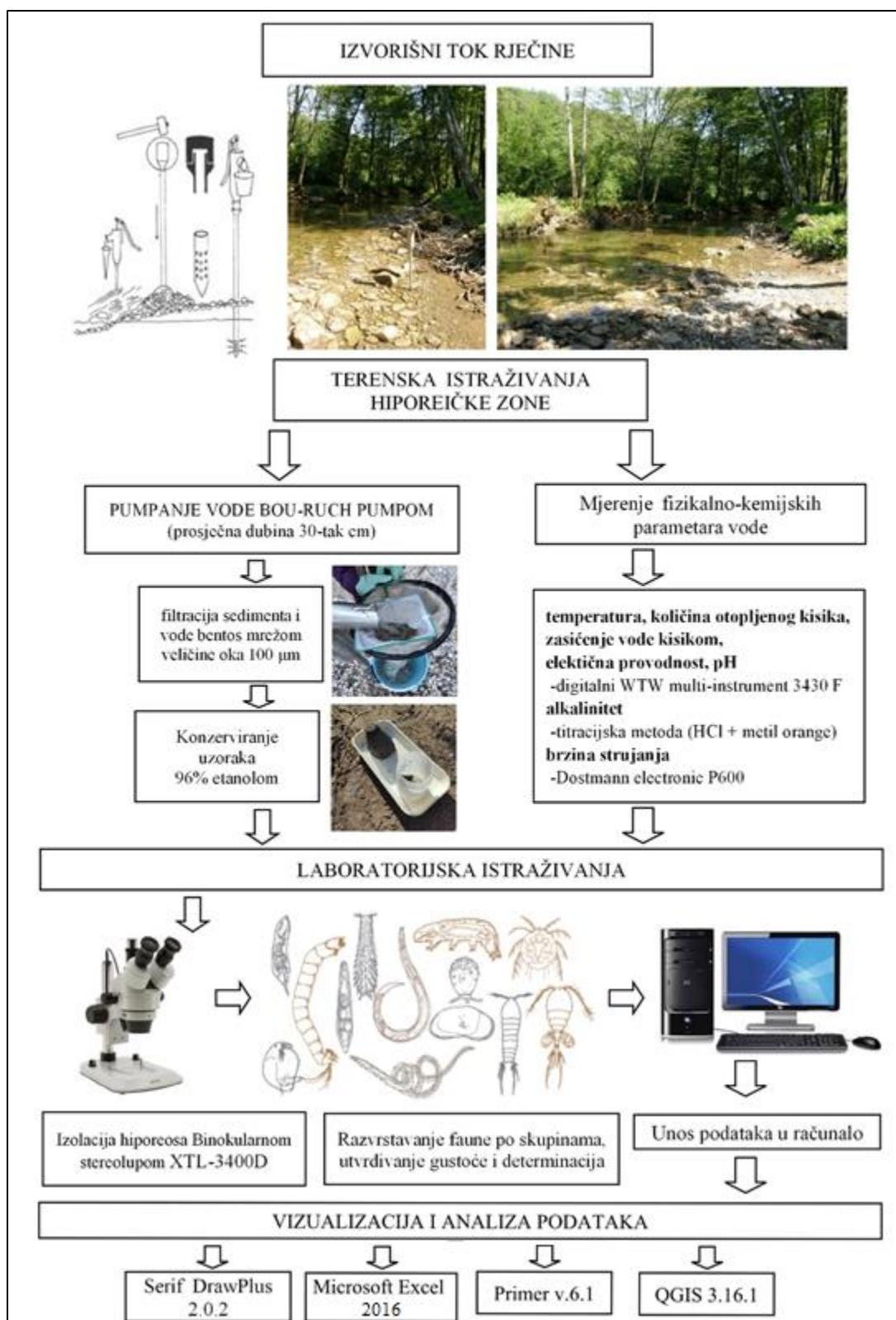
Sakupljene uzorke/poduzorke sam analizirao u laboratoriju, a pregledao sam ih na binokularnoj lupi XTL-3400D. U svakom uzorku/poduzorku utvrdio sam ukupan broj jedinki. Jedinke sam razvrstao po skupinama i pohranio u epruветama sa 75 %-tnim etanolom na koje sam prethodno stavio etikete s nazivom sistematske kategorije, datumom i lokacijom uzorkovanja, nazivom supstrata i brojem poduzorka.

Jedinke sam determinirao do razine reda i/ili porodice uz pomoć osnovnih determinacijskih ključeva. Kako bi se ispunili ciljevi diplomskog rada, jedinke pojedinih skupina sam zatim determinirao do najniže moguće sistematske kategorije (rod ili vrsta) ovisno o mogućnosti provedbe determinacije s obzirom na specijalističke ključeve i potrebom za višom razinom specijalizacije.

Ključevi koje sam koristio za determinaciju pojedinih skupina su sljedeći:

- opća determinacija (Kriska 2013, Thorp i Rogers 2015)
- Amphipoda (Karaman i Pinkster 1977, Karaman 1993)
- Coleoptera (Nilsson 1996)
- Ephemeroptera (Nilsson 1996, Bauernfeind i Humpesch 2001, Macadam i Bennett 2010)
- Diptera (Mauch 2017)
- Plecoptera (Nilsson 1996, Bouchard Jr. 2004, Zwick 2004)
- Trichoptera (Waringer i Graf 2011)

Shema metodologije istraživanja prikazana je na Slici 22.



Slika 22. Shematski prikaz cjelovitog protokola terenskih i laboratorijskih istraživanja i analize podataka.

3.5. Analiza podataka

3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode

Sezonske izmjere fizikalno-kemijskih parametara vode unio sam su u program Microsoft Excel 2016 gdje sam ih analizirao i vizualizirao u obliku stupičastih i linijskih grafova.

3.5.2. Analiza vodostaja i protoka

Hidrološke podatke o vodostajima i protokama Rječine, kakvi su bili za vrijeme uzorkovanja, preuzeo sam od Sektora za hidrologiju DHMZ-a za postaju Izvor Rječine (6013) (URL 2). Podatke sam zatim analizirao i vizualizirao u programu Microsoft Excel 2016 u obliku stupičastih i linijskih grafova.

3.5.3. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone

Kvalitativnu i kvantitativnu analizu zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone proveo sam pomoću računalnih programa Microsoft Excel 16 i Primer v.6.1 (Clarke i Gorley 2006). Podatke o brojnosti jedinki pojedinih svojti intersticijske faune tijekom istraživanih mjeseci preračunao sam na gustoću jedinki u volumenu profiltrirane vode (1 m^3). Rezultate sam prikazao pomoću stupičastih grafova kako bih usporedio gustoću populacija pojedinih predstavnika hiporeosa i relativne udjele svojti tijekom pojedinih sezona i hidroloških uvjeta u koritu vodotoka. Relativnu zastupljenost pojedinih svojti intersticijske faune ocijenio sam prema Reissu i Chiffardu (2015) (Tablica 3).

Tablica 3. Kategorizacija relativne zastupljenosti pojedinih svojiti intersticijske faune (prema Reissu i Chiffardu 2015).

KLASIFIKACIJA		RELATIVNA ZASTUPLJENOST
1	izrazito zastupljeni	> 75 %
2	zastupljeni	50 – 75 %
3	česti	25 – 49 %
4	rijetki	< 25 %

Za utvrđivanje raznolikosti hiporeosa tijekom istraživanih sezona i pri različitim hidrološkim uvjetima, u programu Primer v.6.1 (Clarke i Gorley 2006) izračunao sam sljedeće indekse: Margalefov indeks bogatstva vrsta (d), Shannon-Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ) te Pielouov indeks ujednačenosti (J').

- **Margalefov indeks bogatstva vrsta (d)**

$d = (S-1) / \ln N$, gdje je: S – ukupni broj vrsta na uzorkovanom mikrostaništu

N – ukupan broj jedinki svih vrsta na uzorkovanom mikrostaništu.

- **Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H')** služi za uspoređivanje zajednice unutar različitih sezona ili za uspoređivanje raznolikosti dviju ili više zajednica prema formuli:

$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$, gdje je: p_i – udio jedinki vrste i u zajednici.

- **Simpsonov indeks raznolikosti (λ)** izražava vjerojatnost da dvije slučajno odabrane jedinke iz zajednice pripadaju različitim kategorijama (vrstama), prema formuli:

$\lambda = \sum (n_i / N)$, gdje je: n_i – ukupni broj jedinki vrste i ; N – ukupan broj jedinki svih vrsta.

Ovi indeksi određuju raznolikost kao vjerojatnost da će dvije jedinke nasumično odabrane iz zajednice biti različite vrste, a razlikuju se po tome što je prvi osjetljiviji na brojnost rijetkih vrsta, a drugi na brojnost dominantnih vrsta.

Pielouov indeks ili indeks ujednačenosti zajednice (J') predstavlja omjer izračunate raznolikosti zajednice i maksimalne moguće raznolikosti zajednice (zastupljenost svih vrsta u zajednici u jednakim udjelima), prema formuli: $J' = H'/\log(S)$, gdje je: H' – Shannon-Wienerov indeks raznolikosti, a S – ukupni broj vrsta u zajednici.

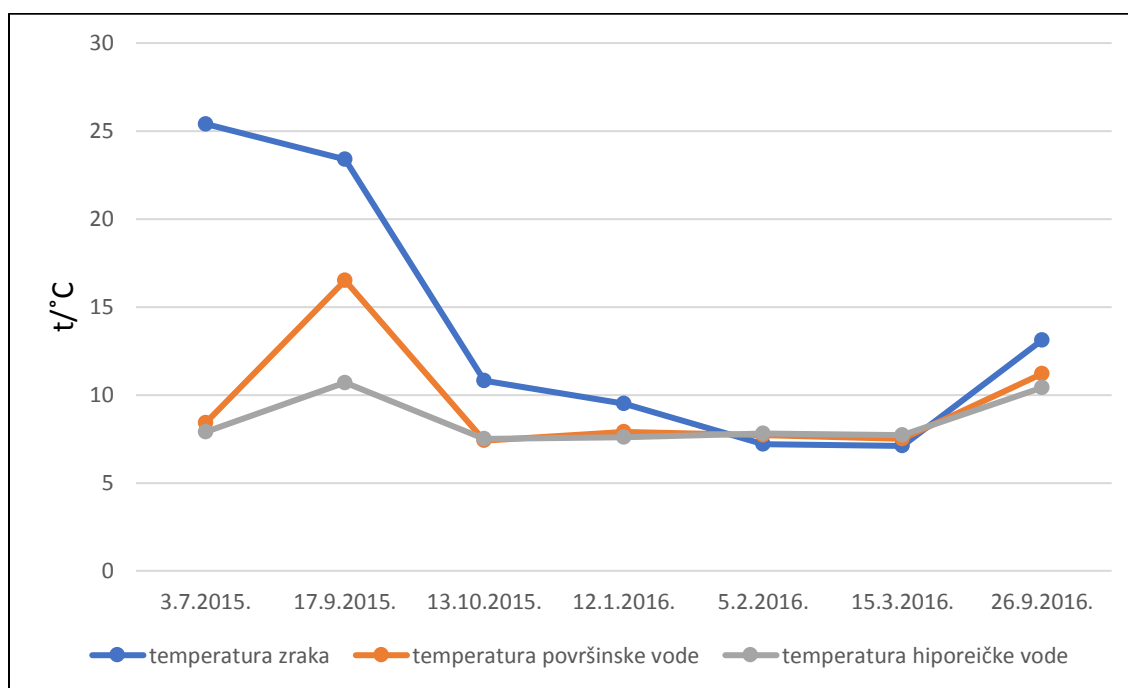
Koristeći se programskim paketom Primer v.6.1 proveo sam analizu multidimenzionalnog skaliranja (MDS – engl. *multidimensional scaling analysis*) temeljenu na Bray-Curtis-ovom indeksu sličnosti, kako bih utvrdio sličnost zajednica intersticijske faune između sezona i različitih hidroloških prilika u koritu vodotoka na logaritamski transformiranim podacima ($\log(x+1)$) brojnosti pojedinih vrsta tijekom istraživnog razdoblja (Clarke i Gorley, 2006).

4.REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

4.1.1. Temperatura vode

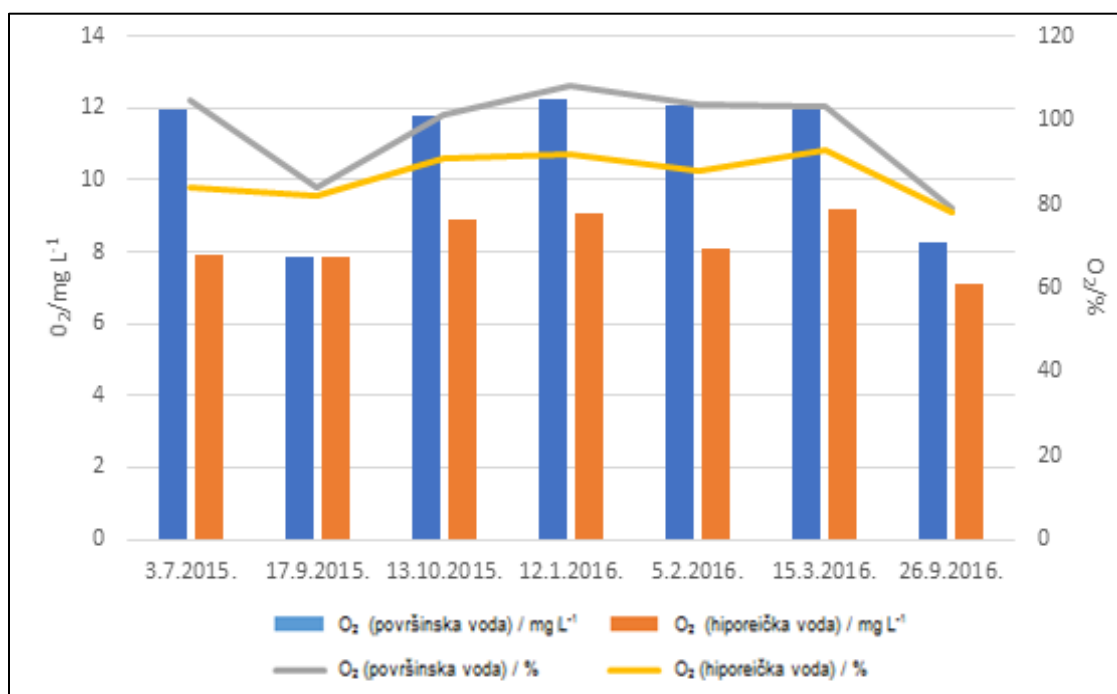
Rezultati terenskih mjerenje temperature vode ukazuju na mnogo manje sezonske promjene temperature površinske i hiporeičke vode Rječine u odnosu na temperaturu zraka. (Slika 23) Najmanje se mijenja temperatura hiporeičke vode. Najviša vrijednost temperature zraka izmjerena je u srpnju 2015. godine (25,4 °C) dok je najniža vrijednost izmjerena u ožujku 2016. godine (7,1 °C). Najviša vrijednost temperature površinske vode izmjerena je u srpnju 2015. godine (16,5 °C) dok je najniža izmjerena je u listopadu 2015. godine (7,4 °C). Najviša vrijednost temperature hiporeičke vode izmjerena je u srpnju 2015. godine (10,7 °C), slično kao i u srpnju 2016. godine (10,4 °C), dok je najniža vrijednost temperature izmjerena u listopadu (7,5 °C). Za usporedbu, raspon vrijednosti temperature zraka kod mjesečnih mjerenja iznosi 18,3 °C, za temperaturu površinske vode 9,1 °C te za temperaturu hiporeičke vode 3,2 °C. Vrijednosti temperature površinske i hiporeičke vode uglavnom su vrlo slične, osim tijekom rujna 2015. godine (Slika 23).



Slika 23. Sezonske promjene temperatura zraka, površinske i hiporeičke vode Rječine.

4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika i zasićenje vode kisikom

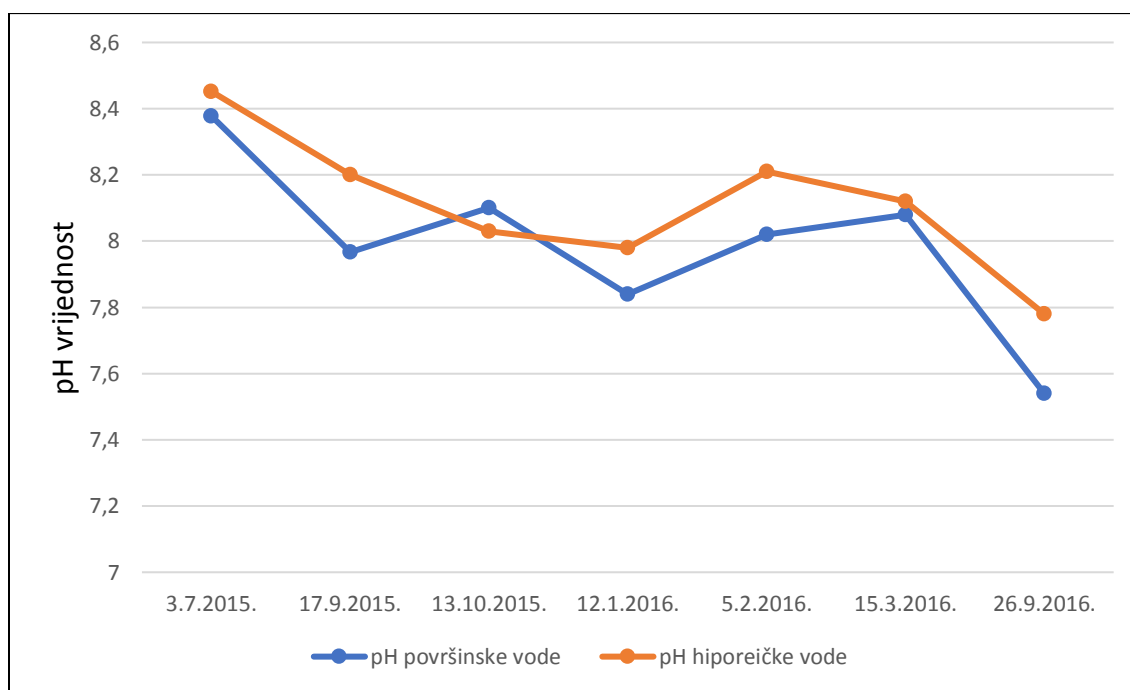
Kod mjerenja koncentracije otopljenog kisika i zasićenja vode kisikom, vrijednosti izmjerene u hiporeičkoj vodi uvijek su bile niže od onih kod površinske vode Rječine (Slika 24). Kod površinske vode, najviša koncentracija i postotak zasićenja vode kisikom izmjereni su u siječnju 2016. godine (12,23 mg O₂ L⁻¹, zasićenje 108,1 %) dok je najniža vrijednost koncentracije izmjerena u rujnu 2015. godine (7,84 mg O₂ L⁻¹), a postotka zasićenja u rujnu 2016. godine (78,9 %). Kod hiporeičke vode, najviša koncentracija i postotak zasićenja izmjereni su u ožujku 2016. godine (9,2 mg O₂ L⁻¹, zasićenje 93 %) dok su najniže vrijednosti izmjerene u rujnu 2016. godine (7,1 mg O₂ L⁻¹, zasićenje 78 %) (Slika 24).



Slika 24. Sezonske promjene koncentracije otopljenog kisika i postotka zasićenja kisikom kod površinske i hiporeičke vode Rječine

4.1.3. pH vrijednost vode

Izmjerena pH vrijednost površinske vode uglavnom je bila manja od hiporeičke vode Rječine, osim u listopadu 2015. godine (Slika 25). Najviša pH vrijednost površinske vode izmjerena je u srpnju 2015. godine (8,38), a najniža u rujnu 2016. godine (7,54). Isto tako, najviša pH vrijednost hiporeičke vode izmjerena je u srpnju 2015. godine (8,45), a najniža u rujnu (7,78) (Slika 25).

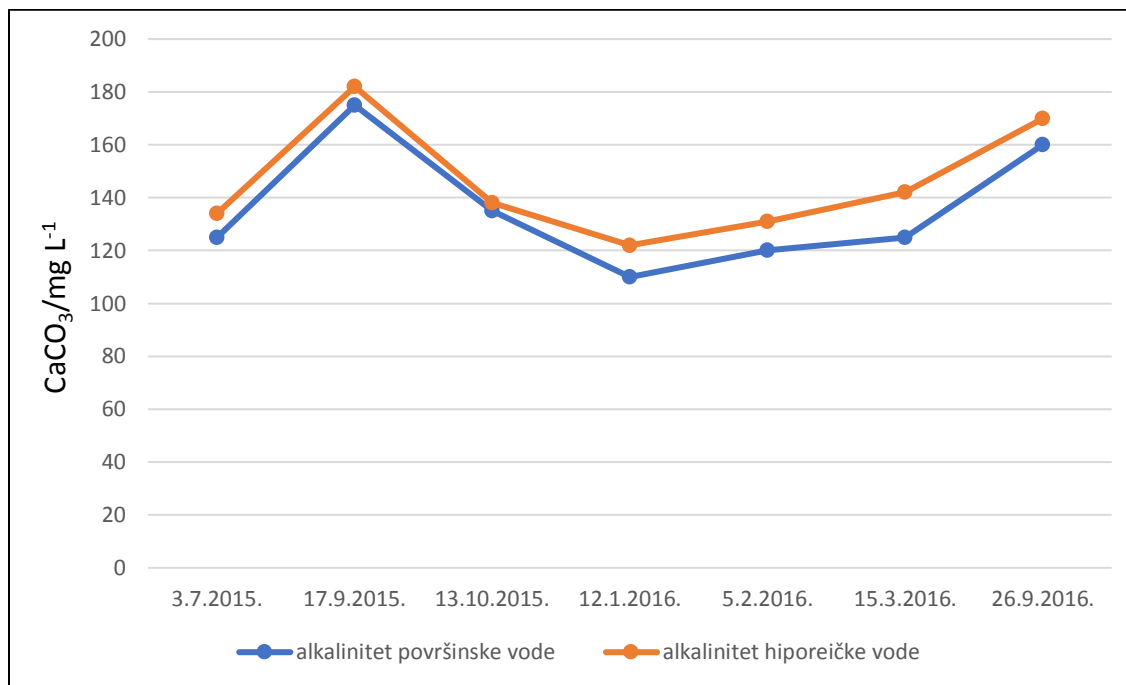


Slika 25. Sezonske promjene pH vrijednosti površinske i hiporeičke vode Rječine

4.1.4. Alkalinitet vode

Izmjerene vrijednosti alkaliniteta površinske vode uvijek su bile niže od hiporeičke vode Rječine (Slika 26). Najviša vrijednost alkaliniteta površinske vode izmjerena je u rujnu 2015. godine (175 mg CaCO₃ L⁻¹), a najniža u siječnju 2016. godine (110 mg CaCO₃ L⁻¹). Isto tako, najviša vrijednost

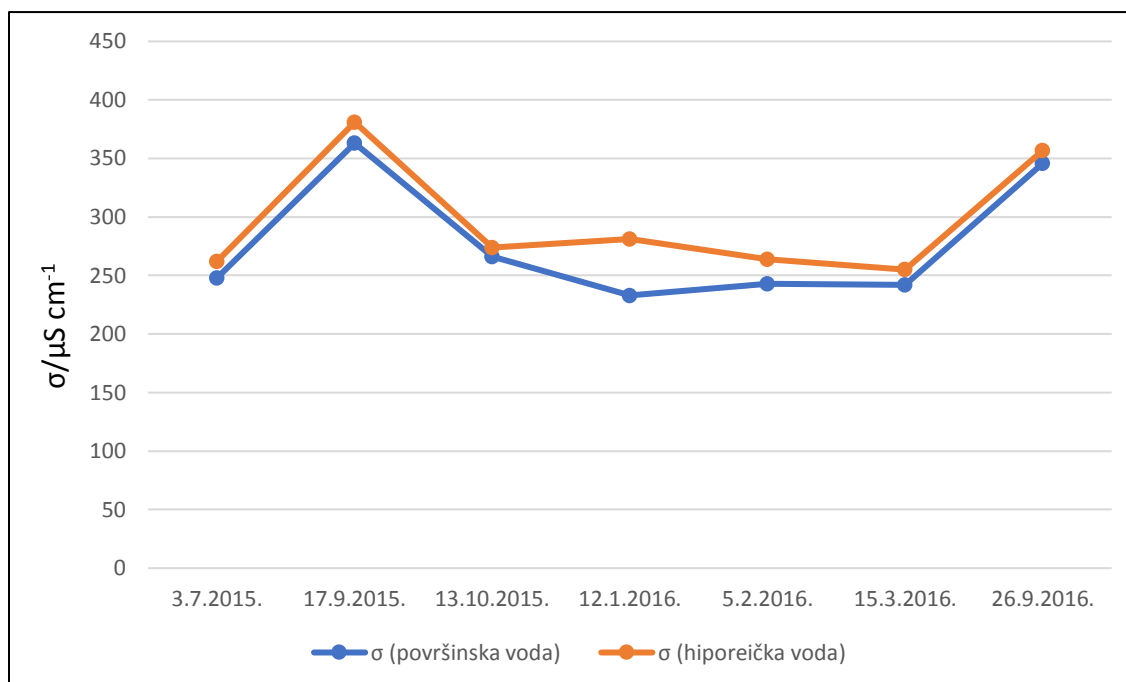
alkaliniteta hiporeičke vode izmjerena je u rujnu 2015. godine ($182 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), a najniža u siječnju 2016. godine ($122 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) (Slika 26).



Slika 26 Sezonske promjene alkaliniteta površinske i hiporeičke vode Rječine.

4.1.5. Električna provodnost vode

Izmjerene vrijednosti električne provodnosti vode uvijek su bile niže kod površinske nego kod hiporeičke vode Rječine (Slika 27).

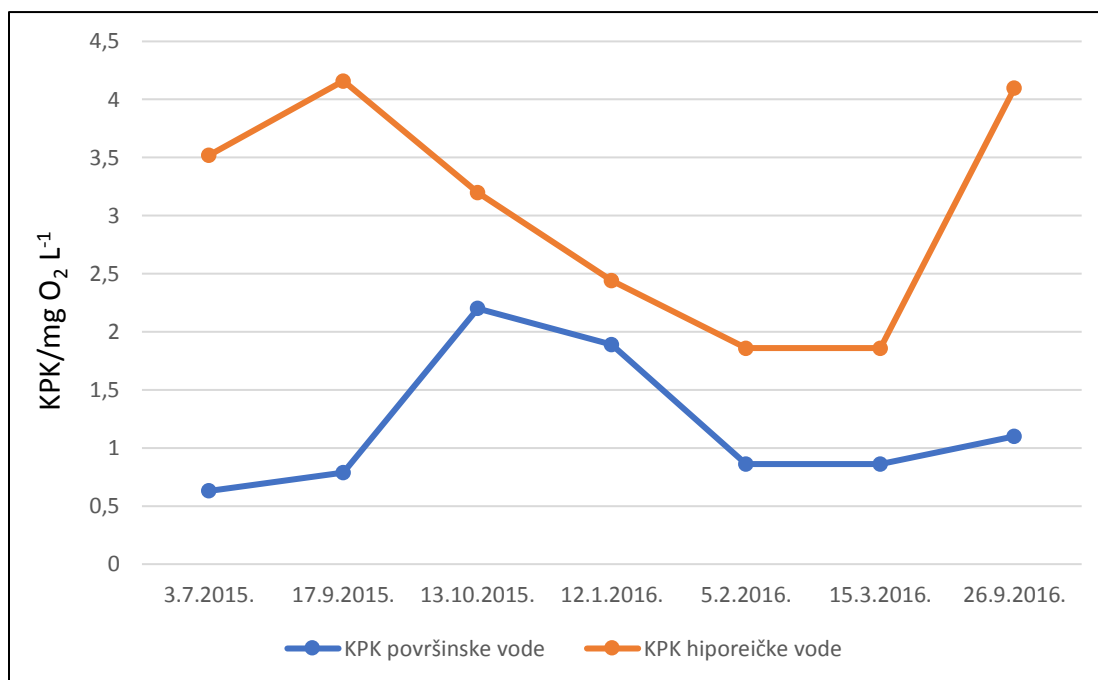


Slika 27. Sezonske promjene električne provodnosti površinske i hiporeičke vode Rječine

Najviše vrijednosti za površinsku vodu izmjerene su u rujnu 2015. godine ($363 \mu\text{S cm}^{-1}$), a najniže u siječnju 2016. godine ($233 \mu\text{S cm}^{-1}$). Najviše vrijednosti za hiporeičku vodu izmjerene su također u rujnu 2015. godine ($381 \mu\text{S cm}^{-1}$), a najniže vrijednosti izmjerene su u ožujku 2016. godine ($255 \mu\text{S cm}^{-1}$) (Slika 27).

4.1.6. Kemijska potrošnja kisika (KPK)

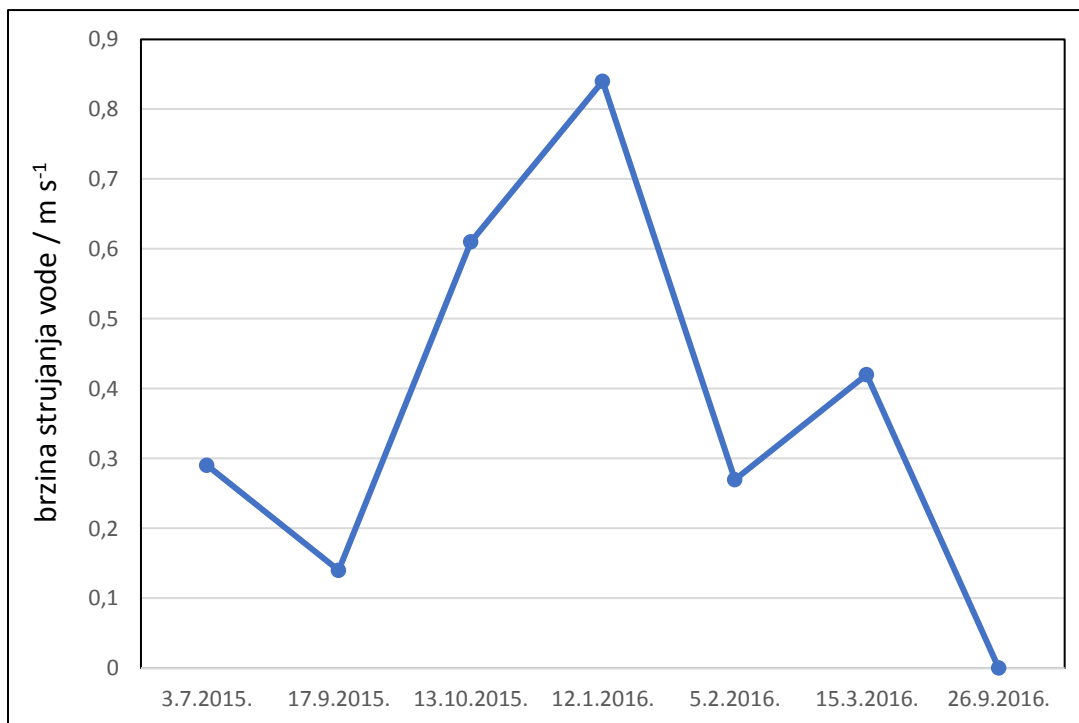
Izmjerene vrijednosti KPK uvijek su bile niže kod površinske nego kod hiporeičke vode Rječine (Slika 28). Najviše vrijednosti za površinsku vodu izmjerene su listopadu 2015. godine ($2,2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), a najniže u srpnju 2015. godine ($0,63 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$). Najviše vrijednosti za hiporeičku vodu izmjerene su u rujnu 2015. godine ($4,16 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), a najniže u veljači i ožujku 2016. godine ($1,86 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) (Slika 28).



Slika 28. Sezonske promjene kemijske potrošnje kisika (KPK) površinske i hiporeičke vode Rječine

4.1.7. Brzina strujanja vode

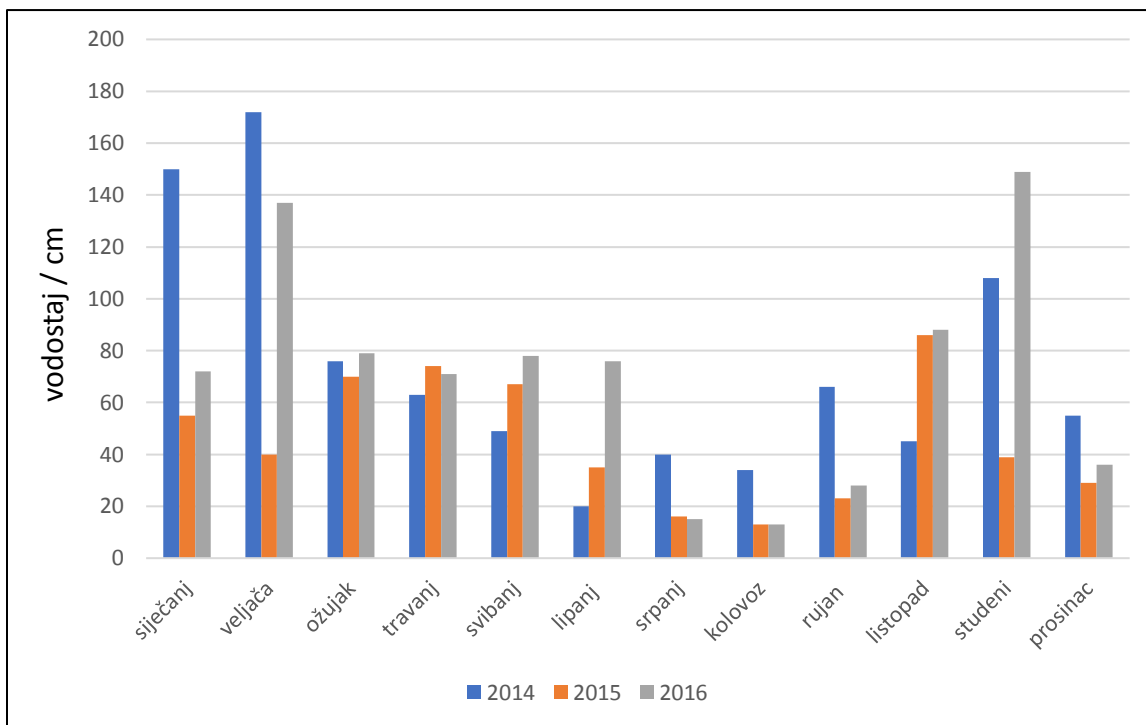
Brzina strujanja vode mjerena je samo u površinskom dijelu toka Rječine (Slika 29). Najveća brzina izmjerena je u siječnju 2016. godine ($0,84 \text{ m s}^{-1}$), a najniža u rujnu 2016. godine kada je korito presušilo.



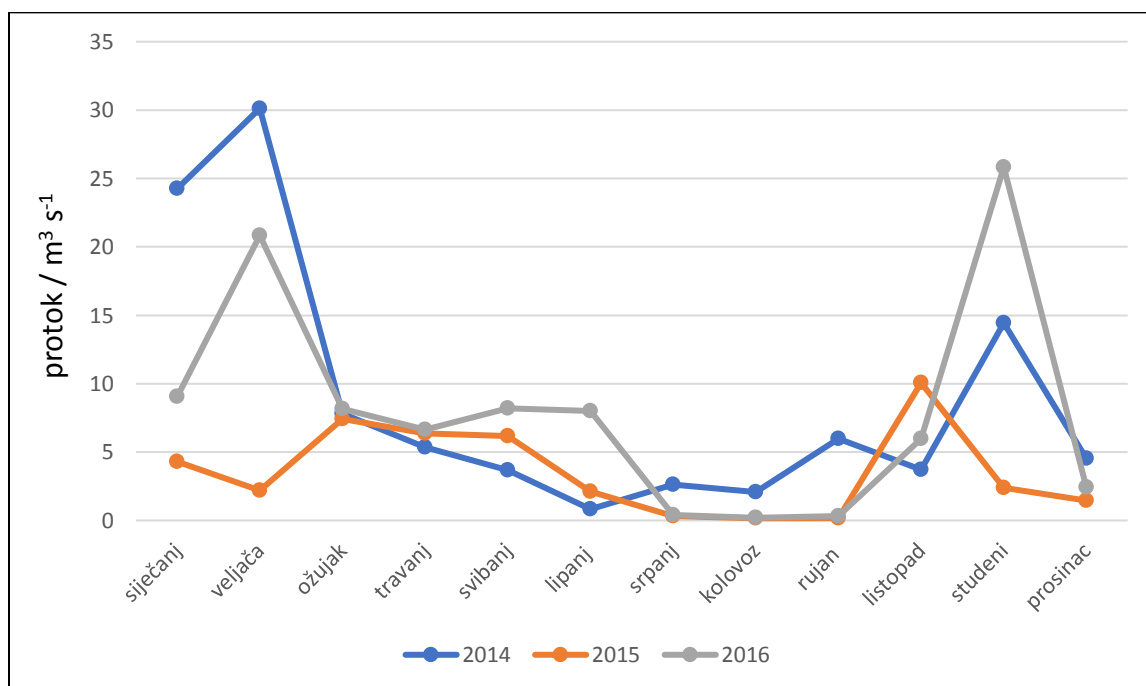
Slika 29. Sezonske promjene brzine strujanja vode površinskog toka Rječine

4.1.8. Vodostaji i protoke

Uspoređivanjem prosječnih mjesečnih vodostaja (Slika 30) i protoka (Slika 31) Rječine za 2014., 2015. i 2016. godinu, vidi se da je ljeto 2014. godine bilo manje sušno u odnosu na ljeta 2015. i 2016. godine.

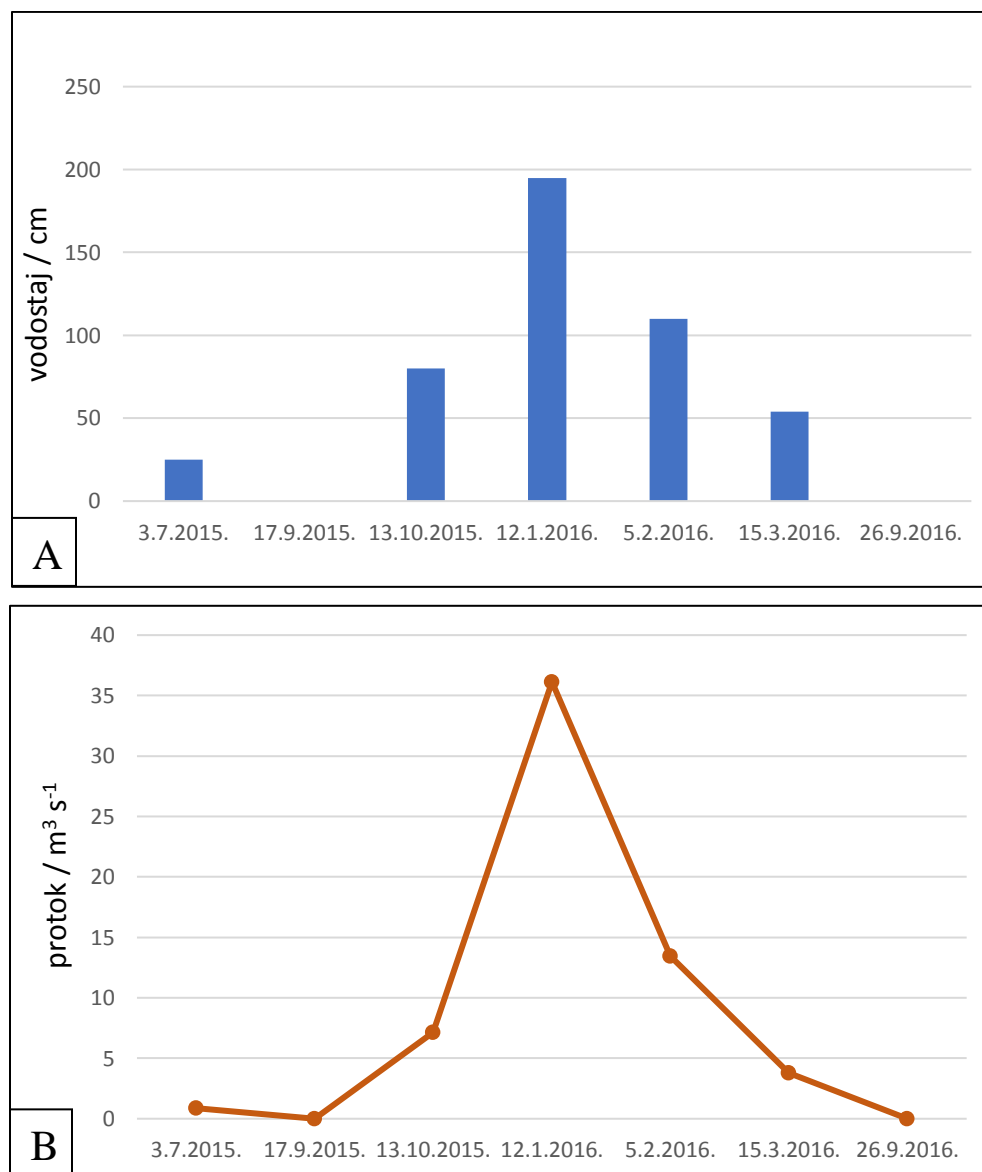


Slika 30. Prosječni mjesečni vodostaji Rječine za godine 2014., 2015. i 2016.



Slika 31. Prosječne mjesečne protoke Rječine za godine 2014., 2015. i 2016.

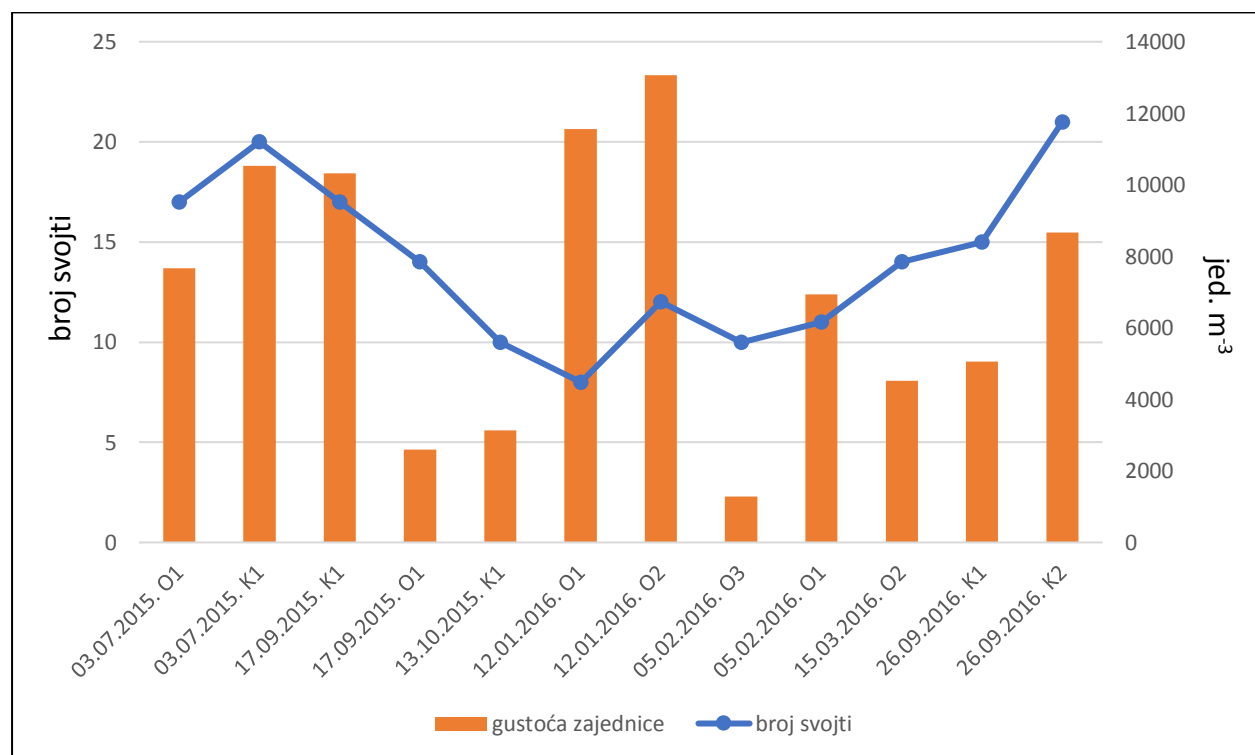
Tijekom uzorkovanja faune i vode u okviru provedenih terenskih istraživanja, najviši vodostaj i protok bili su u siječnju 2016. godine kada su zabilježene ekstremne vrijednosti (195 cm i $36,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) dok su najniži vodostaj i protok zabilježeni u rujnu 2015. i 2016. godine, kada je korito Rječine presušilo, a voda je bila prisutna samo unutar zaostalih bazena (malih ujezerenja) duž korita vodotoka (Slika 32).



Slika 32. Sezonske promjene A) vodostaja i B) protoka Rječine za vrijeme uzorkovanja.

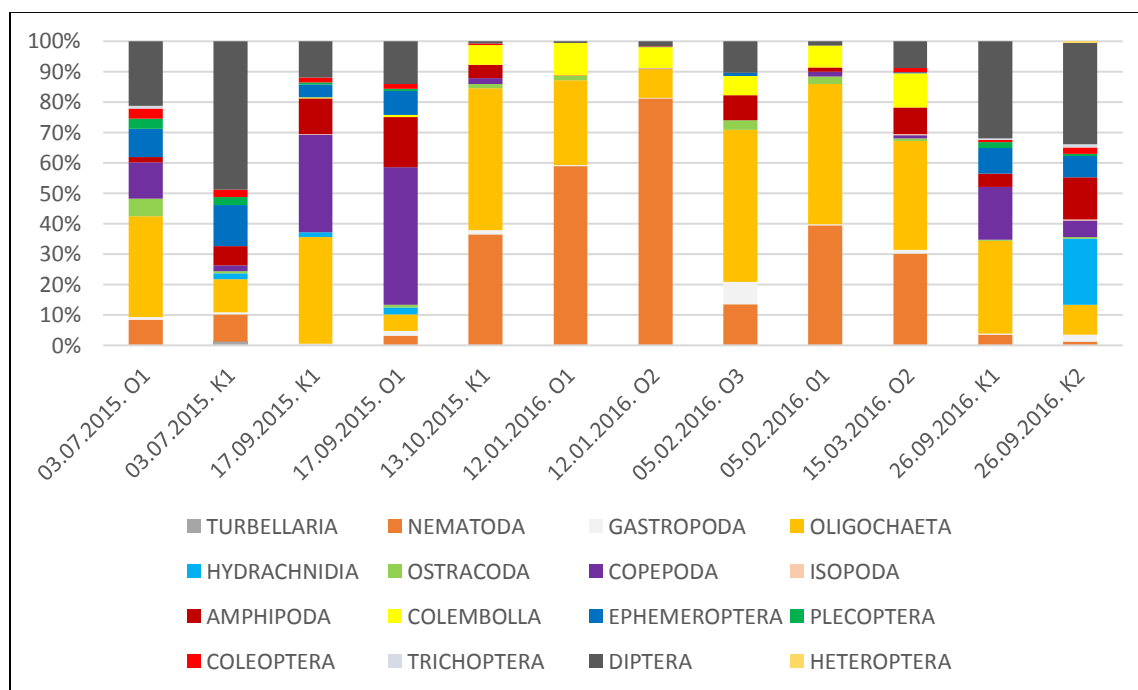
4.2. Sastav i gustoća zajednica vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone

Gustoća hiporeosa (Slika 33) je izražena kao broj jedinki po kubnom metru (jed. m⁻³). Najveća gustoća zajednica bila je u siječnju 2016. godine (11560 jed. m⁻³ za uzorak O1 i 13060 jed. m⁻³ za uzorak O2) dok je najmanja gustoća bila u veljači u uzorku O3 (1281 jed. m⁻³). Vidljivo je da vrijednosti mogu biti vrlo varijabilne čak i kod poduzoraka istog mjeseca. Tako je primjerice u rujnu 2015. godine raspon vrijednosti između poduzorka prikupljenog na obali (2600 jed. m⁻³) i uzorka prikupljenog u koritu Rječine (10320 jed. m⁻³) iznosio 7720 jed. m⁻³. Velike razlike pojavljivale su se i između obalnih poduzoraka istog mjeseca, kao kod veljače 2016. godine (1281 jed. m⁻³ za uzorak O3 i 6940 jed. m⁻³ za uzorak O1), gdje je raspon između uzoraka iznosio 5659 jed. m⁻³. Najveći broj do sada determiniranih svojiti (Slika 33) utvrđen je u rujnu 2016. godine (21 svojiti u uzorku K2), a najmanji u siječnju 2016. godine (8 svojiti u uzorku O1). Kod uzoraka iz toplijeg dijela godine za koji se veže pojava suše (srpanj, rujn) do sada je determinirano više svojiti nego kod uzoraka iz hladnijeg dijela godine (listopad, siječanj, veljača, ožujak).



Slika 33. Sezonske promjene gustoće zajednice i raznolikosti hiporeosa Rječine. O – obala, K – korito.

U srpnju 2015. godine su najzastupljeniji predstavnici iz skupina Oligochaeta (maločetinaši), Diptera (dvokrilci) i Ephemeroptera (vodencvjetovi) koji zajedno čine 63,6 % (uzorak O1) i 73,1 % (uzorak K1) ukupne zastupljenosti hiporeosa (Slika 34). U rujnu 2015. godine najzastupljeniji su predstavnici iz skupina Oligochaeta, Copepoda (veslonošci), Amphipoda (rakušci), Diptera koji zajedno čine 90,9 % (uzorak K1) i 81,3 % (uzorak O1) ukupne zastupljenosti hiporeosa. U listopadu 2015. godine te siječnju, veljači i ožujku 2016. godine najzastupljeniji su predstavnici iz skupina Nematoda (oblići), Oligochaeta, Collembola (skokuni) koji čine 89,7 % (listopad 2015), 97,6 % (siječanj 2016, O1), 97,4 % (siječanj 2016, O2), 69,8 % (veljača 2016, O3), 92,8 % (veljača 2016, O1) i 77 % (ožujak 2016) ukupne zastupljenosti hiporeosa. U rujnu 2016. godine najzastupljeniji su predstavnici iz skupina Oligochaeta, Copepoda, Amphipoda i Diptera koji čine 84,1 % (uzorak K1) i 62,8 % (uzorak K2) ukupne zastupljenosti hiporeosa. Kod uzorka K2 također su značajno zastupljeni predstavnici iz skupina Hydrachnidia (vodengrinje) (21,7 %) i Ephemeroptera (7,2 %).

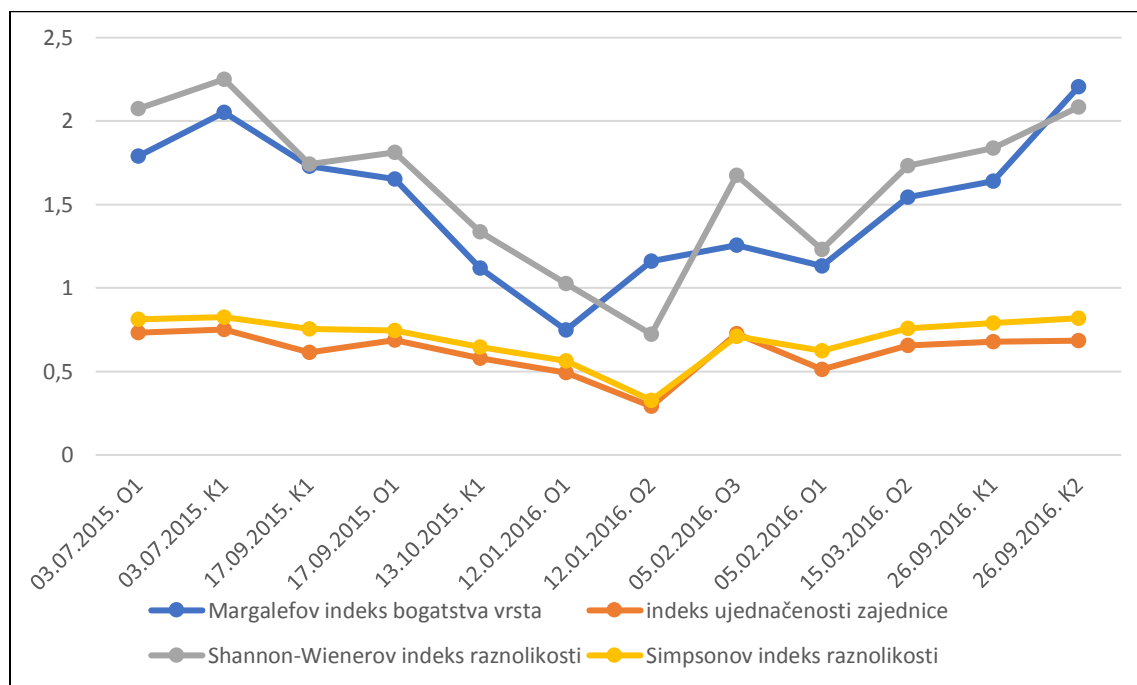


Slika 34. Sezonske promjene relativne zastupljenosti pojedinih skupina hiporeosa Rječine. O – obala, K – korito.

Zastupljenost predstavnika hiporeosa Rječine na razini nižih sistematskih kategorija ocijenjena je prema Reissu i Chiffardu (2015) (Tablica 4), a ocjena je vizualizirana bojama u priloženoj tablici u kojoj je dan cjelovit pregled svojti koje su determinirane do trenutka pisanja ovog rada.

4.3. Raznolikost zajednica vodenih beskraljeznjaka hiporeičke zone

Različitim indeksima procijenjena je sezonska raznolikost hiporeosa Rječine (Slika 35). Margalefov indeks bogatstva vrsta (d) najviši je u rujnu 2016. godine (2,21, uzorak K2), a najniži u siječnju 2016. godine (0,75, uzorak O1). Te se vrijednosti poklapaju s ukupnim brojem određenih svojiti (Slika 11). Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') najviši je u srpnju 2015. godine (2,25, uzorak K1), a najniži u siječnju 2016. godine (0,72, uzorak O2). Isto tako, Simpsonov indeks raznolikosti (λ) najviši je u srpnju 2015. godine (0,83, uzorak K1), a najniži u siječnju 2016. godine (0,33, uzorak O2). Indeks ujednačenosti zajednice ili Pielouov indeks (J') također je najviši u srpnju 2015. godine (0,75, uzorak K1), a najniži u siječnju 2016. godine (0,29, uzorak O2).

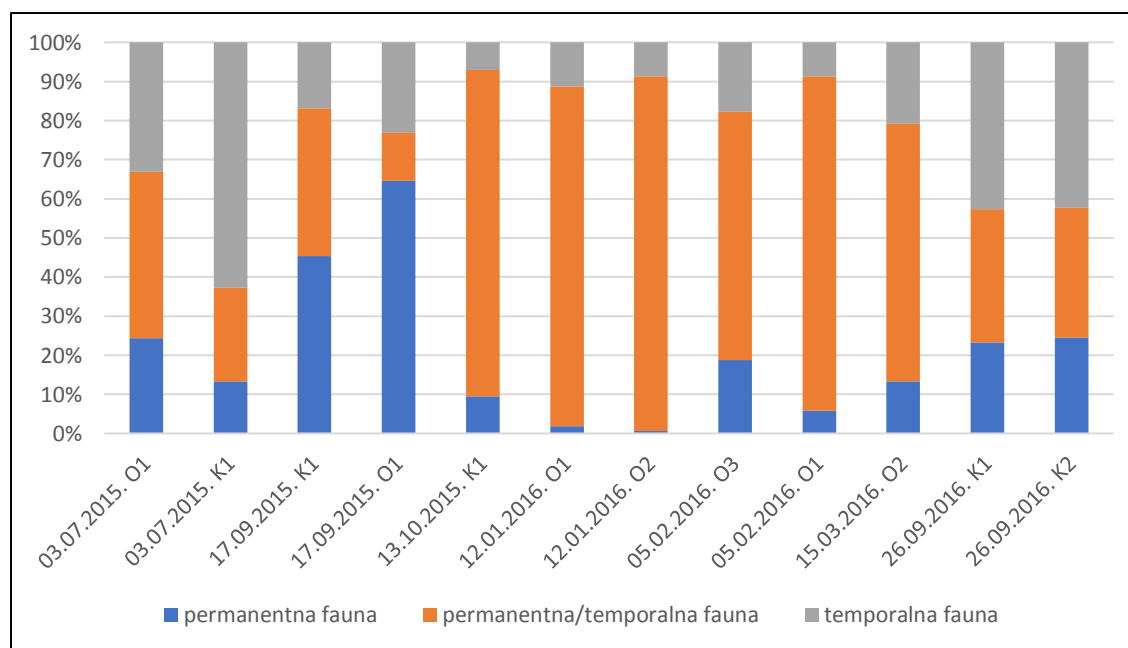


Slika 35. Procjena sezonske raznolikosti hiporeosa Rječine na temelju različitih indeksa. O – obala, K – korito.

4.4. Zastupljenost temporalnih i permanentnih predstavnika hiporeosa

S obzirom na adaptaciju na život u vodi, vodena fauna hiporeosa Rječine je kategorizirana kao temporalna (dio života provodi u vodi) i permanentna (cijeli život provodi u vodi). Kod pojedinih skupina nije bilo moguće utvrditi u koju od tih kategorija pripadaju s obzirom da nisu determinirane do odgovarajuće razine pa je za njih definirana i zasebna kategorija temporalna/permanentna fauna.

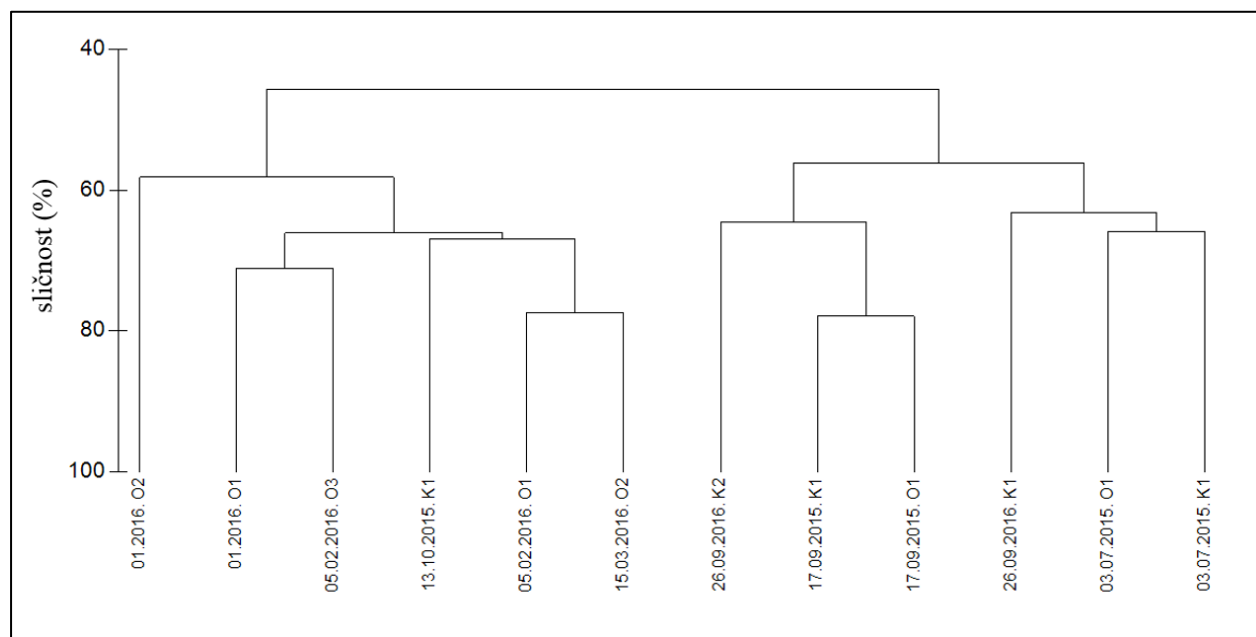
Udio temporalne faune veći je u toplijem dijelu godine (srpanj i rujan) s najvećom vrijednošću u srpnju 2015. godine (62,7 %, uzorak K1), a manji u hladnijem (listopad, siječanj, veljača, ožujak) s najmanjom vrijednošću u listopadu 2015. godine (7 %) (Slika 36) Udio permanentne faune uglavnom je također veći u toplijem dijelu godine s najvećom vrijednošću u rujnu 2015. godine (64,6 %, uzorak O1), a manji u hladnijem dijelu godine s najmanjom vrijednošću u siječnju (0,6 %, uzorak O2). Ove vrijednosti nisu pouzdane jer veliki udijeli faune spadaju pod kategoriju temporalna/permanentna fauna koja nije determinirana do odgovarajuće razine, posebno u hladnijem dijelu godine kada udijeli iznose i preko 80 % u listopadu, siječnju i veljači.



Slika 36. Sezonski udijeli različitih kategorija vodene faune hiporeosa Rječine s obzirom na adaptaciju na život u vodenom staništu. O – obala, K – korito

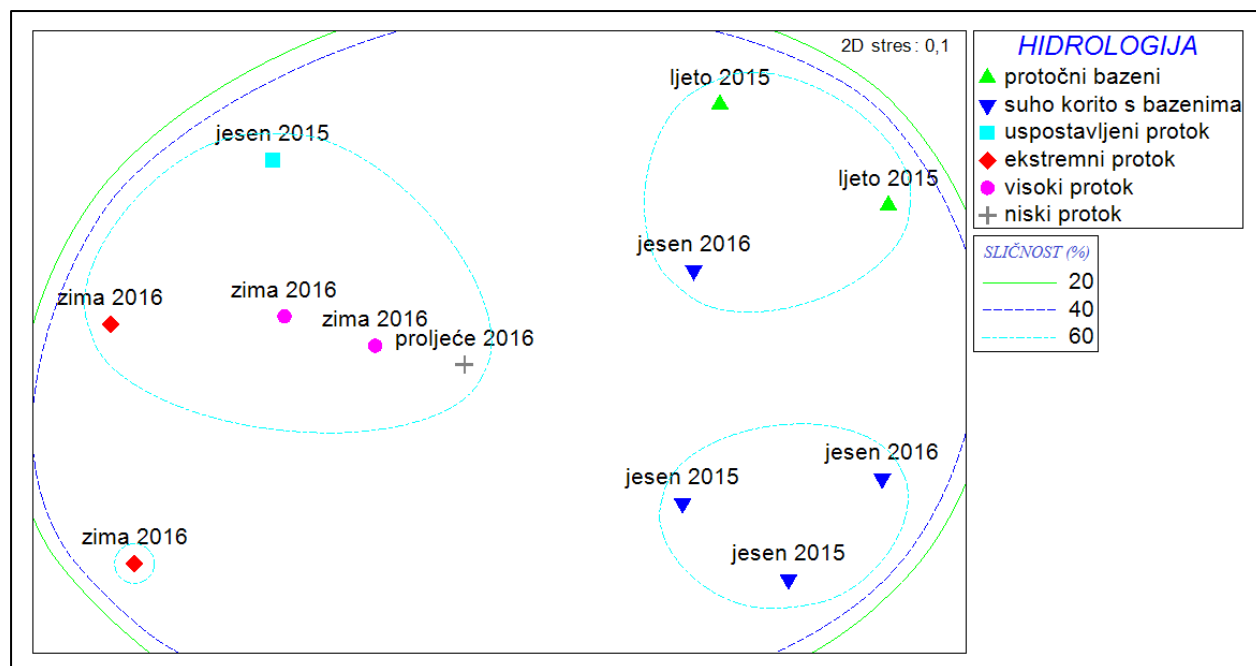
4.5. Sezonska sličnost strukture zajednica vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone

Svi uzorci slični su na razini od 40 %, ali su uzorci vezani uz razdoblje presušivanja u toplijem dijelu godine (srpanj i rujan) sličniji od uzoraka u hladnijem dijelu godine (listopad, siječanj, veljača, ožujak), kada su vrijednosti protoka varirale od prosječnih do ekstremnih (Slike 37 i 38). Uzorci hladnijeg dijela godine slični su na razini od 60 %, a uzorak iz siječnja 2016. godine (O2) posebno se odvojio od ostalih. Jesenski uzorci slični su na razini od 60 %, ali se jedan uzorak iz rujna 2016. godine (K2) grupirao s ljetnim uzorcima koji su također slični na razini od 60 %. Uzorci rujna 2015. godine tretiraju se kao jesenski, a uzorak iz ožujka 2016. godine kao proljetni.



Slika 37. Prikaz Bray Curtisovog indeksa sličnosti uzoraka hiporeosa Rječine klaster dijagramom. O – obala, K – korito.

MDS dijagram ukazuje na grupiranje uzoraka s obzirom na hidrološke prilike u koritu vodotoka, pri čemu se jasno odvajaju jesenski uzorci od rujna kada je korito presušilo i preostali su samo bazeni bez protoka vode (Slika 38).



Slika 38. MDS dijagram uzoraka hiporeosa Rječine s obzirom na sezone i hidrološke uvjete

5. RASPRAVA

S obzirom da je za rijeku Rječinu karakteristično presušivanje korita u toplijem dijelu godine, prema klasifikaciji koju su predložili Datry i sur. (2017) ona se svrstava u vodotoke koji presušuju (engl. *intermittent streams*).

Vrijednosti temperature površinske i hiporeičke vode Rječine uglavnom su se pokazale vrlo ujednačenima tijekom sezonskih mjerenja što je vjerojatno povezano sa blizinom mjesta uzorkovanja i izvora iz kojeg protječe hladna voda. Obično se smatra da je temperatura u špiljskim objektima približno jednaka prosječnoj godišnjoj temperaturi zraka u području u kojem se nalaze zbog izolacije od vanjskih utjecaja pa je tako i voda u njima zaštićena od sezonskih fluktuacija temperature. Izmjerene vrijednosti temperature jasno ukazuju na vodu koja se relativno dugo vremena nalazi u dubokom krškom vodonosniku na koji temperatura zraka, koja u toj regiji sliva izvora varira u vrlo širokim granicama, nema značajnijeg utjecaja (Bonacci i sur. 2017). Temperature površinske i hiporeičke vode su i međusobno vrlo slične s obzirom da su uzorci uzimani u plitkoj hiporeičkoj zoni (oko 30 cm dubine zbog skeletne podloge). Za očekivati je da bi razlika bila veća da se mjerila temperatura vode na većoj dubini. Najviše izmjerene temperature površinske i hiporeičke vode u rujnu 2015. i 2016. godine vjerojatno su povezane s presušivanjem korita s obzirom da se voda tada zadržavala samo u zaostalim malim ujezerenjima što ju je činilo podložnijom temperaturnim promjenama. Buss i sur. (2009) opisuju temperaturu kao glavni čimbenik koji pokreće biogeokemijske i hidroekološke procese u HZ.

Sezonske promjene koncentracije otopljenog kisika i zasićenja vode kisikom također su direktno vezane uz promjenu temperature vode s obzirom da je prema Henryevom zakonu topljivost plinova u otopini obrnuto proporcionalna s temperaturom otopine. Stoga ne čudi da su vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u površinskoj i hiporeičkoj vodi bile najniže, ali i najujednačenije, u rujnu 2015. i 2016. godine kada je i temperatura bila najviša. Postotak zasićenja vode kisikom također je najniži u rujnu 2015. i 2016. godine dok je površinska voda u hladnijim mjesecima često bila i prezasićena. Hiporeička voda sadrži manje otopljenog kisika od površinske zbog nedostatka svjetla pa tako i fotosintetskih organizama koji proizvode kisik. Orghidan napominje da u njegovim mjerenjima hiporeička voda nikad nije dosegla stupanj zasićenja kisikom, a maksimalne vrijednosti zasićenja iznosile bi do 60 % (Käser 2010). Izmjerene vrijednosti kod Rječine prikazane u ovom radu su veće (raspona od 78 % do 93 %), ali također nikad nije dosegnut stupanj zasićenja. Ward i sur. (1998) spominju da se arbitrarno

smatra da koncentracija kisika od 1 do 3 mg L⁻¹ označava aerobne (oksične) uvjete u vodenom okolišu pa su takvi i uvjeti u Rječini s obzirom da je najniža izmjerena koncentracija kisika izmjerena u hiporeičkoj vodi u rujnu 2016. godine iznosila 7,84 mg O₂ L⁻¹.

Površinska i hiporeička voda u Rječini je blago alkalna što je očekivano s obzirom da je karakteristika vapnenačkih izvora relativno tvrda voda bogata kalcijevim i bikarbonatnim ionima, sa smanjenom koncentracijom vodikovih iona (Glazier 2009). Izmjerene vrijednosti pH u svakoj sezoni spadaju u raspon od 6,5 do 9 koji je Agencija za zaštitu okoliša Sjedinjenih Američkih Država definirala kao optimalan kada je riječ o kvaliteti vode (URL 3).

Vrijednosti alkaliniteta i električne provodnosti pokazuju vrlo slične trendove s obzirom da oba parametra ovise o koncentraciji i vrsti otopljenih iona. Maksimalne vrijednosti vezane su uz presušivanje vodotoka u rujnu 2015. i 2016. godine.

Kemijska potrošnja kisika (KPK) označava količinu otopljenog kisika koja je potrebna za oksidaciju sveukupne organske tvari u uzorcima vode i predstavlja stupanj organskog opterećenja. Iako je KPK vrijednost hiporeičke vode u vremenu presušivanja korita bila i do četiri puta veća u odnosu na površinsku vodu (rujan 2015 i 2016), maksimalna vrijednost od 4,16 mg O₂ L⁻¹ i dalje je daleko manja od granične prihvatljive vrijednosti kvalitete vode koja prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji iznosi 10 mg O₂ L⁻¹ (Patil 2012).

Očekivano najmanje brzine strujanja vode izmjerene su u sušnom periodu (rujan 2015 i 2016) dok su najveće vrijednosti izmjerene u siječnju 2016. kada su i vrijednosti protoka bile ekstremne.

Niski protoci vezani su uz početak sušnog razdoblja u srpnju 2015. godine. Pri uzorkovanju u rujnu 2015. godine nastupa vrhunac suše kada je korito presušilo, a vrijednost protoka bila 0. U listopadu 2015. godine ponovno se uspostavlja stabilan protok koji je pri uzorkovanju bio gotovo dvostruko veći u odnosu na godišnji prosjek mjesečnih protoka iz 2015. godine (3,65 m³ s⁻¹). Kod uzorka iz siječnja 2016. godine zabilježen je ekstremni protok koji je preko četiri puta veći u odnosu na godišnji prosjek mjesečnih protoka 2016. godine (8,01 m³ s⁻¹). U veljači 2016. godine zabilježen je visoki protok, a ožujku 2016. relativno nizak protok, ali mnogo veći u odnosu na protok iz srpnja 2015. godine. Kod uzorka u rujnu 2016. godine ponovno nastupa vrhunac sušnog razdoblja i presušivanje korita.

Prva hipoteza prema kojoj je pretpostavljeno da se uzorci korita i obale hiporeičke zone Rječine razlikuju u sastavu faune, gustoći i raznolikosti vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone djelomično je potvrđena. Kod uzoraka korita i obale koji su prikupljeni za isti mjesec svakako je jasno uočljiva razlika u gustoći zajednice, manje u srpnju 2015. , a mnogo više u rujnu 2015. godine. S obzirom da se nisu uzimali uzorci korita i obale za ostale mjesece, nemoguće je napraviti usporedbu. Utvrđeno je samo da razlike u gustoći za pojedini mjesec mogu biti visoke i između obalnih uzoraka istog mjeseca (veljača 2016), ali i kod uzoraka korita istog mjeseca (rujan 2016). Još je Orghidan utvrdio da broj jedinki pri uzorkovanju HZ može biti vrlo varijabilan, čak i ako su lokacije udaljene samo par metara (Käser 2010). S druge strane, sastav faune u uzorcima korita i obale vrlo je sličan i kod srpnja 2015. godine kada su najzastupljeniji bili predstavnici Oligochaeta (maločetinaši), Diptera (dvokrilci) i Ephemeroptera (vodencvjetovi) i kod rujna 2015. godine kada su najzastupljeniji bili predstavnici iz skupina Oligochaeta, Copepoda (veslonošci), Amphipoda (rakušci) i Diptera. Dok su razlike vrijednosti Simpsonovog indeksa raznolikosti između uzoraka obale i korita navedenih mjeseci minimalne (čak i pri usporedbi sva četiri uzorka), razlike u vrijednostima Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti su nešto izraženije.

Druga hipoteza prema kojoj je pretpostavljeno da je zastupljenost vodenih beskralježnjaka hiporeičke zone Rječine različita tijekom pojedinih sezona, u uvjetima različite visine vodostaja, protoka i faze presušivanja uglavnom je potvrđena. Zanimljivo je da je, prema Simpsonovom i Shannon-Wienerovom indeksu, raznolikost hiporeosa u toplijem dijelu godine za koji je vezana pojava suše veća u odnosu na raznolikost u hladnijem dijelu godine za koji su vezani ekstremni (siječanj 2016) i visoki (listopad 2015 i veljača 2016) protoci. Radovi Stubbington i sur. (2009, 2015) pokazuju da su brojnost i raznolikost hiporeosa manje podložne promjenama u odnosu na zajednice bentičkih beskralježnjaka tijekom sušnog razdoblja. Bruno i sur. (2009) u svom radu istražili su utjecaj koji ispusti vode hidroelektrane imaju na hiporeos rijeke Note Bianco u Italiji. Prema njima, ispusti vode višestruko povećavaju protok što smanjuje brojnost i raznolikost hiporeosa nizvodno od hidroelektrane. Moguće je da su ekstremni protoci u siječnju 2016. godine imali sličan učinak na raznolikost hiporeosa Rječine s obzirom da je ona tada bila najmanja, predstavljena gotovo isključivo skupinama Nematoda (oblići), Oligochaeta i Collembola (skokuni). Što se tiče brojnosti, tu su podatci u suprotnosti jer je upravo u siječnju 2016. godine ona bila najveća. Ipak, uzorci iz rijeke Note Bianco također su sadržavali veliki broj jedinki iz skupina Oligochaeta i Nematoda. Čini se da ove skupine pokazuju veću otpornost na ekstremne protoke od drugih što je možda uvjetovano njihovim

izduženim, fleksibilnim tijelima koja im omogućuju lakši prodor i kretanje kroz sediment. Potrebno je napomenuti da je niska bioraznolikost u uzorcima Rječine u hladnijem dijelu godine zasigurno barem djelomično uzrokovana nedovoljnim stupnjem determinacije koja je ostala samo na razini skupina Oligochaeta, Nematoda i Collembola. Detaljnija determinacija ovih skupina do nižih sistematskih kategorija mogla biti značajno promijeniti rezultate ovog rada.

Treća hipoteza prema kojoj je veća je sličnost zajednica hiporeosa između zime i ranog proljeća te između ljeta i rane jeseni ispitana je i potvrđena analizom multidimenzionalnog skaliranja (MDS). Treba napomenuti da je razina stresa koja označava mjeru podudarnosti podataka iznosila 0,1 što je prihvatljiva vrijednost, ali se obično cilja na još niže vrijednosti pri analizama (URL 4).

Četvrta hipoteza kaže da temporalna fauna (dio života provodi u vodi) hiporeosa ima veću zastupljenost tijekom zime i ranog proljeća, a manju tijekom ljeta i jeseni zbog emergencije te da je permanentna fauna (cijeli život provodi u vodi) više zastupljena tijekom prosječnih i nižih vodostaja i najmanje tijekom ekstrema (visokih protoka i presušivanja korita). Rezultati uglavnom ne potvrđuju ovu hipotezu. Prvi dio hipoteze ne stoji s obzirom da je udio temporalne faune bio veći u toplijem dijelu godine nego u hladnijem. Također, iako je udio permanentne faune doista bio najmanji u siječnju 2016. godine kada je protok bio ekstremno visok, najveća zastupljenost vezana je upravo uz rujnu 2015. godine za vrijeme presušivanja korita. Rezultati vezani uz ovu hipotezu prilično su nepouzdana s obzirom da veliki udjeli faune, posebno u hladnijem dijelu godine, spadaju pod kategoriju permanentna/temporalna fauna koja obuhvaća skupine za koje se nije moglo precizno odrediti spadaju li u temporalnu ili permanentnu faunu s obzirom na nedovoljnu razinu determinacije. To se opet uglavnom odnosi na skupine Nematoda, Oligochaeta i Collembola.

Na kraju, treba napomenuti da korištena tehnika za uzorkovanje hiporeičke faune Bou-Rouch pumpom također ima određena ograničenja. Ovu tehniku su prvi puta opisali Bou i Rouch (1967) te je od tada postala vrlo popularna za uzorkovanje HZ s obzirom na relativno nisku cijenu i relativno malo energije potrebne za uzorkovanje. Ipak, rad Hunta i Stanleya (2000) pokazuje da brojnost jedinki može značajno varirati s obzirom na različite brzine pumpanja vode i kod različitih volumena uzoraka. Većom brzinom pumpanja mogu se efikasnije uhvatiti jedinke svojiti koje imaju tendenciju jačeg prianjanja uz sediment. Volumen uzorka vrlo je bitan kod procjene brojnosti s obzirom da je najviše životinja obično vezano uz vodu koja je najprije ispumpana iako ona u sebi može sadržavati i veći broj bentičkih jedinki pa možda nije uvijek najbolji pokazatelj brojnosti hiporeosa. Povećanjem volumena ispumpane

vode povećava se i mogućnost da se uhvate rijetke svojte, ali s obzirom da kasnije ispumpana voda sadržava manje jedinki to se odražava na brojnost jedinki tako što se ona podcjenjuje. Definiranje standardnog protokola za uzimanje uzoraka HZ Bou-Rouch pumpom učinilo bi istraživanja ujednačenijima, a rezultati bi se mogli bolje usporediti.

6. ZAKLJUČAK

Hiporeička zona integralni je dio riječnog ekosustava koji čini poveznicu između staništa površinske vode, podzemne vode i riparijske zone vodotoka.

Usporedbom sezonskih uzoraka hiporeosa krške rijeke Rječine utvrđeno je da je veća raznolikost zajednice u toplijem dijelu godine (srpanj, rujan), za koji je vezano presušivanje korita, u odnosu na hladniji dio godine (listopad, siječanj, veljača, ožujak) koji su obilježeni niskim do ekstremnim vrijednostima protoka.

Veća je sličnost hiporeosa između zime i ranog proljeća te ljeta i rane jeseni.

Najveća gustoća hiporeosa je zabilježena tijekom zime, kada se javljaju ekstremni protoci, ali je tada raznolikost hiporeosa najmanja, gotovo isključivo sačinjena od predstavnika iz skupina Nematoda (oblići), Oligochaeta (maločetinaši) i Collembola (skokuni). Potrebno je napomenuti da bi detaljnija determinacija ovih skupina mogla značajno izmijeniti rezultate ovog rada, poglavito kada je u pitanju razina raznolikosti hiporeosa i udio zastupljenosti temporalne i permanentne faune.

Pri uzorkovanju HZ Bou-Rouch pumpom, potrebna je svijest o određenim ograničenjima ove tehnike koja se mogu odraziti na procjenu brojnosti jedinki i sastav skupina u uzorku.

7. LITERATURA

- APHA (1995). Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (19th edition). Byrd Prepress Springfield, Washington D. C.
- Bauernfeind, E. i Humpesch, U.H. (2001). Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Naturhistorisches Museum Wien, Wien.
- Benac, Č., Arbanas, Ž., Jurak, V., Oštrić, M. i Ožanić, N. (2005.): Complex landslide in the Rječina River valley (Croatia): origin and sliding mechanism. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment** 64(4): 361–371.
- Benac, Č., Dugonjić, S., Vivoda, M., Oštrić, M. i Arnabas, Ž. (2011). A Complex landslide in the Rječina Valley: results of monitoring from 1998–2010. *Geologia Croatica* 64(3): 239–249.
- Biondić, R., Kapelj, S. i Rubinić, J. (2004.): Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Bognar, A. (1999). Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. **Acta Geographica Croatica** 34(1): 7–29.
- Bonacci, O. (2016.): River – the bloodstream of landscape and catchment. **Acta Hydrotechnica** 29(50): 1–12.
- Bonacci, O. i Erceg, O. (2019). Hidrološki i ekohidrološki vidovi vodotoka koji presušuju i povremenih vodotoka. **Hrvatske vode** 27(109): 237–244.
- Bonacci, O., Oštrić, M., i Roje-Bonacci, T. (2017). Prilog hidrologiji krškog izvora Rječine. **Hrvatske vode** 25(100): 99–108.
- Bouchard Jr., R.W. (2004). Guide to Aquatic Invertebrates of the Upper Midwest, University of Minnesota. Minneapolis.
- Bonacci, O., Oštrić, M., i Roje-Bonacci, T. (2018). Water resources analysis of the Rječina karst spring and river (Dinaric karst). **Acta Karsologica** 47(2-3): 123–137.
- Bou, C. i Rouch, R. (1967). Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine. **Comptes Rendus de L'Academie des Sciences** 265: 369–370.

- Boulton, A., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E. i Vallet, M. (1998). The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. **Annual Review of Ecology and Systematics** 29(1): 59–81.
- Boulton, A.J. (2007) Hyporheic rehabilitation in rivers: restoring vertical connectivity. *Freshwater Biology* 52 (4): 632–650.
- Boulton, A.J., Datry, T., Kasahara, T., Mutz, M. i Stanford, J.A. (2010). Ecology and management of the hyporheic zone: stream–groundwater interactions of running waters and their floodplains. **Journal of the North American Benthological Society** 29(1): 26–40.
- Brkić, Ž., Kuhta, M., Hunjak, T. i Larva, O. (2020). Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. **Water** 12(7): 1–27.
- Brunke, M. i Gonser, T. (1997). The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshwater Biology** 37: 1–33.
- Bruno, M.C., Maiolini, B., Carolli, M. i Silveri, L. (2009). Impact of hydropeaking on hyporheic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). **Annales de Limnologie - International Journal of Limnology** 45(03):157–170.
- Buss, S., Cai, Z., Cardenas, B., Fleckenstein, J., Hannah, D., Heppell, K., Hulme, P., Ibrahim, T., Kaeser, D., Krause, S., Lawler, D., Lerner, D., Mant, J., Malcolm, I., Old, G., Parkin, G., Pickup, R., Pinay, G., Porter, J. Rhodes, G., Richie, A., Riley, J., Robertson, A., Sear, D., Shields, B., Smith, J., Tellam, J. i Wood, P. (2009). The hyporheic handbook: a handbook on the groundwater-surface water interface and hyporheic zone for environment managers. Environment Agency. Bristol.
- Clarke, K. R., i Gorley, R. N. (2006). PRIMER V6: User manual-tutorial. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 192 str.
- Clifford, H. F. (1966). The ecology of invertebrates in an intermittent stream. **Investigations of Indiana Lakes and Streams** 7: 57–98.
- Council of the European Community (CEC) (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L327/1, 23.10.2000.
- Culver D.C. i Pipan T. (2009). The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. Oxford University Press. Oxford.

Čanjevac, I. (2013). Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj. **Hrvatski geografski glasnik** 75(1): 23–42.

Datry, T., Bonada, N. i Boulton, A. (2017.): Intermittent rivers and ephemeral streams - Ecology and management. Elsevier i Academic Press, London.

Descloux, S., Datry, T. i Marmonier, P. (2013). Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmation by fine sediment. **Aquatic Sciences** 75(4): 493–507.

Directive 2006/118/ECEU GWD of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006. Official Journal of the European Communities L372: 1–19.

Dole-Olivier, M.-J., Marmonier, P., i Befly, J. L. (1997). Response of invertebrates to lotic disturbance: is the hyporheic zone a patchy refugium? **Freshwater Biology** 37(2): 257–276.

Drummond, J.D., Nel, H.A., Packman, A.I. i Krause, S. (2020). Significance of Hyporheic Exchange for Predicting Microplastic Fate in Rivers. **Environmental Science & Technology Letters** 7(10). 727–732.

Fischer, H., Kloep, F., Wilzcek, S. i Pusch, M. (2005). A river's liver – microbial processes within the hyporheic zone of a large lowland river. **Biogeochemistry** 76(2): 349–371.

Gandy, C.J., Smith, J.W.N., i Jarvis, A.P. (2007). Attenuation of mining-derived pollutants in the hyporheic zone: A review. **Science of the Total Environment** 373(2-3): 435–446.

Gibert J. i Deharveng L. (2002) Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. **BioScience** 52: 473–481.

Gibert, J., Dole-Olivier, M. J., Marmonnier, P., i Vervier, P. (1990). Surface water/groundwater ecotones. U: Naiman R. J. i Décamps, H. (ur.) Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones. UNESCO and Parthenon Publishing Group, Paris 4: 199–225.

Gibert J., Stanford J.A., Dole-Olivier M.-J. i Ward J.V. (1994). Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research. U: Gibert J., Danielopol D. i Stanford J.A. (ur.) Groundwater Ecology. Academic Press, San Diego, str. 7–40.

Glazier D.S. (2009). Springs. U: Likens, G.E. (ur.). Encyclopedia of Inland Waters. Oxford, Elsevier, str. 734–755.

Gottstein, S., Barač, I., Alegro, A., Gligora Udovič, M., Kerovec, M., Kralj Borojević, K., Lajtner, J., Matoničkin Kepčija, R., Mičetić Stanković, V., Pozojević, I., Radišić, M., Rubinić, J., Vilenica i M., Žutinić, P. (2017). Multimetrički sustav evaluacije krenobiocenoza. Završno izvješće projekta. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 121 str.

Haramina, T., Šargač, J., Bakšić, N., Rapić, S., Gredelj, A., Popijač, A., Pušić, I., Đanić, A., Škunca, M., Španić, R., Koletić, N., Malešević, N., Skukan, R., Jelić, D., Šegota, V., Gašparac, G., Tudor, T. i Vuletić, G. (2016). Definiranje ekološki prihvatljivih protoka Rječine. Institut za primijenjenu ekologiju OIKON. Zagreb. 180 str.

Hunt, G. i Stanley, E.H. (2011). An evaluation of alternative procedures using the Bou-Rouch method for sampling hyporheic invertebrates. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 57(8): 1545–1550.

Karaman, G. (1993). Fauna d'Italia: Crustacea – Amphipoda (d'acqua dolce). Edizioni Calderine, Bologna.

Karaman, G.S. i Pinkster, S. (1977). Freshwater Gammarus species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea, Amphipoda). Part I. Gammarus pulex-group and related species. **Bijdragen tot de Dierkunde** 47(1): 1–97.

Käser, D.H. (2010). A new habitat of subsurface waters: the hyporheic biotope, by Traian Orghidan (1959). **Fundamental and Applied Limnology** 176(4): 291–302.

Kriska, G. (2013). Freshwater Invertebrates in Central Europe: A Field Guide. Springer, Wien.

Kuhta, M. (1997). Speleoronička istraživanja izvora Rječine. **Speleolog** 44-45(1): 13–17.

Leichfried, M. (2007). The energy basis of the consumer community in streams yesterday, today and tomorrow. **International Review of Hydrobiology** 92: 363–377.

Lewandowski, J., Putschew, A., Schwesig, D., Neumann, C. i Radke, M. (2011). Fate of organic micropollutants in the hyporheic zone of a eutrophic lowland stream: results of a preliminary field study. **Science of the Total Environment** 409(10): 1824–1835.

Lewandowski, J., Arnon, S., Banks, E., Batelaan, O., Betterle, A., Broecker, T., Coll, C., Drummond, J.D., Gaona Garcia, J., Galloway, J., Gomez-Velez, J., Grabowski, R.C., Herzog, S.P., Hinkelmann, R., Höhne, A., Hollender, J., Horn, M.A., Jaeger, A., Krause, S., Löchner Prats, A., Magliozzi, C., Meinikmann, K., Mojarrad, B.B., Mueller, B.M., Peralta-Maraver, I., Popp, A.L., Posselt, M., Putschew, A., Radke, M., Raza, M., Riml, J., Robertson, A., Rutere, C., Schaper, J.L., Schirmer, M., Schulz, H., Shanafield, M., Singh, T., Ward, A.S., Wolke, P., Wörman, A. i Wu, L. (2019). Is the Hyporheic Zone Relevant beyond the Scientific Community? **Water** 11(11): 1–32.

Macadam, C. i Bennett, C. (2010). A Pictorial Guide to the British Ephemeroptera. Field Studies Council (FSC), Shrewsbury.

Malard, F., Dole-Olivier, M.J., Mathieu, J. i Stoch, F. (2002). Sampling Manual for the Assessment of Regional Groundwater Biodiversity. European Project PASCALIS. 171 str.

Malcolm, I.A., Soulsby, C., Youngson, A.F., Hannah, D.M., McLaren, I.S. i Thorne, A. (2004) Hydrological influences on hyporheic water quality: Implications for salmon egg survival. **Hydrological Processes** 18(9): 1543–1560.

Mauch, E. (ur.) (2017). Aquatische Diptera-Larven in Mittel-, Nordwest- und Nordeuropa. Übersicht über die Formen und ihre Identifikation. Erich Mauch Verlag, Dinkelscherben.

Mermillod-Blondin F., Gaudet J.P., Gerino M., Desrosiers G. i des Chatelliers M.C. (2003). Influence on macroinvertebrate on physico-chemical and microbial processes and hyporheic sediments. **Hydrological Processes** 17(4): 779–794.

Mihevc, A., Prelovšek, M. i Zupan Hajna, N. (ur.) (2010). Introduction to the Dinaric Karst. Collegium Graphicum, Ljubljana.

Mueller, B.M., Schulz, H. i Lewandowski, J. (2022). Hyporheic Zone and Processes. U: Mehner, T. i Tockner, K. (ur.) Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition). Elsevier, str. 301–311.

Nilsson, A. (ur.) (1996). Aquatic Insects of North Europe. Apollo Books, Stenstrup.

NN 27/2021 (2021). Pravilnik o popisu stanišnih tipova i karti staništa. Narodne novine, 27/2021.

Pacioglu, O. (2009). Ecology of the hyporheic zone: a review. **Cave and Karst Science** 36(3): 69–76.

Patil, P.N. (2012). Physico-chemical parameters for testing of water - A review. **International Journal of Environmental Sciences** 3(3): 1194–1207.

Peralta-Maraver, I., Reiss, J. i Robertson, A.L. (2018). Interplay of hydrology, community ecology and pollutant attenuation in the hyporheic zone. **Science of the Total Environment** 610-611: 267–275.

Reiss, M., i Chiffard, P. (2015). Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters – An Eco-Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. Chapter 9. U: Lo Y-H., Blanco J. A., Roy S. (ur.) Biodiversity in Ecosystems – Linking Structure and Function. InTech, str. 223–258.

Robertson A.L., Rundle S.D. i Schmid-Araya J.M. (2000). Putting the meio- into stream ecology: current findings and future directions for lotic meiofauna research. **Freshwater Biology** 44(1): 177–183.

Schmid-Araya, J.M. i Schmid, P.E. (2000). Trophic relationships: Integrating meiofauna into a realistic benthic food web. **Freshwater Biology** 44(1): 149–163.

Sket, B. (1999). The Nature of Biodiversity in Hypogean Waters and How it is Endangered. **Biodiversity and Conservation** 8(10): 1319–1338.

Stubbington, R. (2012). The hyporheic zone as an invertebrate refuge: A review of variability in space, time, taxa and behaviour. **Marine and Freshwater Research** 63(4): 293–311.

Stubbington, R., Wood, P.J. i Boulton, A.J. (2009). Low flow controls on benthic and hyporheic macroinvertebrate assemblages during supra-seasonal drought. **Hydrological Processes** 23 (15): 2252–2263.

Stubbington, R., Boulton, A.J., Little, S. i Wood, P.J. (2015). Changes in invertebrate assemblage composition in benthic and hyporheic zones during a severe suprasonal drought. **Freshwater Science** 34(1): 344–354.

Šegota, T. i Filipčić, A. (2003). Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. **Geoadria** 8(1): 17–37.

Thorp, J.H. i Rogers, D.H. (ur.) (2015). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. Academic Press, Elsevier.

- Tonina, D. i Buffington, J.M. (2009), Hyporheic Exchange in Mountain Rivers I: Mechanics and Environmental Effects. **Geography Compass**, 3(3): 1063–1086.
- Vivoda, M., Benac, Č., Žic, E., Đomlija, P. i Dugonjić Jovančević, S. (2012). Geohazard u dolini Rječine u prošlosti i sadašnjosti. **Hrvatske vode** 81: 105–116.
- Ward, J.V., Bretschko, G., Danielopol, D., Gibert, J., Gonser, T. i Hildrew, A.G. (1998). The boundaries of river systems: the metazoan perspective. **Freshwater Biology** 40(3): 531–569.
- Waringer, J. i Graf, W. (2011). Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven. Erich Mauch Verlag, Dinkelscherben.
- Williams, D. D. i Hynes, H. B. N. (1974). The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream. **Freshwater Biology** 4(3): 233–256.
- White, D.S. (1993). Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. **Journal of the North American Benthological Society** 12(1): 61–69.
- Zwick, P. (2004). Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. **Limnologica** 34(4): 315–348.
- Žic, E. (2015). Prilog modeliranju potencijalnih poplavnih tokova krupnozrnatog materijala na slivu Rječine. Doktorski rad. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka.

KORIŠTENE INTERNET STRANICE

URL 1. <https://freshwaterblog.net/2014/06/17/when-is-a-river-not-a-river-challenges-for-managing-temporary-waterways/> (4.9.2022.)

URL 2. <https://hidro.dhz.hr/> (4.9.2022.)

URL 3. <https://www.epa.gov/caddis-vol2/ph> (4.9.2022.)

URL 4. <https://imaging.mrc-cbu.cam.ac.uk/statswiki/FAQ/mds/stress> (5.9.2022.)

Slika 1A. <https://www.eurekalert.org/multimedia/872202> (6.9.2022.)

Slika 15C. <https://www.openstreetmap.org/> (6.9.2022.)

ŽIVOTOPIS

Rođen sam u Rijeci 9. prosinca 1998. godine. Osnovnu školu završio sam u Opatiji 2013. godine. Nakon nje sam se upisao u Prvu riječku hrvatsku gimnaziju, opći smjer, u Rijeci koju sam završio 2017. godine.

Iste godine upisao sam se na Preddiplomski sveučilišni studij Znanosti o okolišu u sklopu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij sam završio 2020. godine stjecanjem naziva prvostupnika znanosti o okolišu, univ.bacc.oecol., a naslov mog završnog rada bio je Jama Sovjak – povijest, opasnosti i plan sanacije. Iste godine upisao sam Diplomski sveučilišni studij Znanosti o okolišu u sklopu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.