

Vodeni beskralježnjaci u mikrostanjima povremenog krškog izvora Mrđenovac

Krpina, Jure

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:949871>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Jure Krpina

**Vodeni beskralješnjaci u mikrostaništima
povremenog krškog izvora Mrđenovac**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Jure Krpina

**Aquatic invertebrates in microhabitats of the
intermittent karst spring Mrđenovac**

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.

ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici, prof. dr. sc. Sanji Gottstein na strpljenju, angažiranosti i profesionalnom vodstvu u pisanju ovog diplomskog rada.

Hvala i mojim dragim kolegama ZOOK-ovcima i kolegama diplomantima što ste mi svojim društvom i kolegijalnošću uljepšali ovaj životni period.

Najveće hvala mojoj obitelji i Toni na velikom razumijevanju i neprikosnovenoj podršci tijekom studijskih godina.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Vodeni beskralješnjaci u mikrostaništima povremenog krškog izvora Mrđenovac

Jure Krpina

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Povremeni krški izvori su među najkompleksnijim ranjivim ekosustavima svijeta. Razumijevanje mikrostanišne ekologije vodenih beskralješnjaka povremenih krških vodotoka još uvijek je s mnogobrojnim podatkovnim prazninama. Terenska istraživanja izvora Mrđenovac u porječju Like provedena su od siječnja 2014. do prosinca 2016. god. Tijekom terenskih istraživanja provedena su *in situ* mjerenja osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode te uzorkovanje faune vodenih beskralješnjaka dinamikom koja obuhvaća protokol od minimalno četiri sezonska uzorka godišnje. Prikupljanje i analiza strukture i gustoće zajednica vodenih beskralješnjaka provedeno je prema modificiranom AQEM protokolu s odvojenim konzerviranjem uzoraka vodenih beskralješnjaka s različitih mikrostaništa. Ukupna raznolikost svojti vodenih beskralješnjaka bila je najveća na mikrostaništima s vodenom vegetacijom. Utvrdili smo velike sezonske razlike u zastupljenosti stalnih i povremenih vodenih svojti na organskom i anorganskom tipu mikrostaništa. Novi nalazi faune, procjene bogatstva i raznolikosti zajednica esencijalni su nam za buduću ekološku valorizaciju šireg područja porječja rijeke Like. Rezultati su pokazali kako je poznavanje strukture i dinamike zajednica vodenih beskralješnjaka u povremenim krškim izvorima, vodenim ekosustavima s ekstremnim sezonskim hidrološkim oscilacijama, ključno za definiranje ekološke održivosti i predviđanja dugoročnih hidroloških promjena kao posljedica klimatskih promjena.

Ključne riječi: organski supstrat, anorganski supstrat, sezonalnost, raznolikost, zajednice beskralješnjaka, protok

(77 stranica, 34 slike, 14 tablica, 92 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Sanja Gottstein
Ocjenitelji: prof. dr. sc. Sandra Radić Brkanac
doc. dr. sc. Karmen Fio Firi
prof. dr. sc. Danijel Orešić

Rad prihvaćen: 6. listopada 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Aquatic invertebrates in microhabitats of the intermittent karst spring Mrđenovac

Jure Krpina

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Intermittent karst springs (IKS) are among the most vulnerable ecosystems in the world. Understanding the microhabitat ecology of aquatic invertebrates in IKS still has numerous data gaps. Field research of the Mrđenovac stream source, situated in the Lika River basin, were conducted from January 2014 to December 2016. During the field research, *in situ* measurements of the basic physico-chemical parameters of water were carried out, as well as a sampling of aquatic invertebrates that includes a minimum of four seasonal sampling protocol per year. The collecting and analysis of structures and density of aquatic macroinvertebrate assemblages were carried out according to the modified AQEM protocol by the separate conservation of aquatic invertebrate samples from different microhabitats. The total biodiversity was highest on the microhabitats with aquatic vegetation. We detected high seasonal differences in the frequency of aquatic and semi-aquatic taxa on organic and inorganic type of microhabitats. The records of new fauna, species richness and diversity were essential for the further ecological assessment of the Lika River basin. The results showed that the knowledge of the structure and dynamics of aquatic invertebrate assemblages in IKS, aquatic ecosystems with extreme seasonal hydrological oscillations, essential for defining ecological sustainability and predicting long-term hydrological changes as consequences of climate changes.

Keywords: organic substrate, inorganic substrate, seasonality, diversity, invertebrate assemblages, flow rate

(77 pages, 34 figures, 14 tables, 92 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Sanja Gottstein, PhD
Reviewers: Prof. Sandra Radić Brkanac, PhD
Asst. prof. Karmen Fio Firi, PhD
Prof. Danijel Orešić, PhD

Thesis accepted: October 6th 2022

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Ekološka obilježja povremenih krških izvora	1
1.2. Ekohidrologija povremenih krških izvora	4
1.3. Struktura i dinamika zajednica vodenih beskralješnjaka povremenih krških vodotoka	8
1.4. Ocjena ekološkog stanja tijela površinskih i podzemnih voda	13
1.5. Ciljevi istraživanja	22
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	23
2.1. Geografska obilježja porječja rijeke Like.....	23
2.2. Klimatske značajke	23
2.3. Litologija i hidrogeologija područja istraživanja	24
2.4. Hidrologija rijeke Like	25
2.5. Opis istraživnog lokaliteta	28
3. MATERIJALI I METODE	32
3.1. Materijali	32
3.2. Dinamika terenskih istraživanja	33
3.3. Metode terenskih istraživanja	33
3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka	33
3.3.2. Uređaji i metodologija mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode.....	38
3.3.3. Analiza i preuzimanje podataka o protokama	38
3.4. Metode laboratorijskih istraživanja	39
3.4.1. Laboratorijske analize vode	39
3.4.2. Laboratorijska obrada i analiza faune.....	39
3.5. Analiza podataka.....	40
3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode.....	40
3.5.2. Analiza protoka	40
3.5.3. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka	40
4. REZULTATI	43
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode.....	43
4.1.1. Temperatura vode.....	44
4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika	44

4.1.3. pH vrijednost vode	45
4.1.4. Alkalinitet vode	46
4.1.5. Električna provodnost vode.....	47
4.1.6. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi	48
4.1.7. Brzina strujanja vode	49
4.1.8. Protok.....	50
4.2. Vegetacija istraživanih mikrostaništa.....	50
4.3. Bogatstvo i raznolikost zajednice vodenih beskralješnjaka	51
4.4. Sastav i gustoća zajednica vodenih beskralješnjaka.....	52
4.5. EPT skupine i indeks	57
4.6. Sličnost strukture zajednica vodenih beskralješnjaka.....	60
5. RASPRAVA.....	63
6. ZAKLJUČAK.....	71
7. LITERATURA	72
PRILOZI.....	80
ŽIVOTOPIS	82

1. UVOD

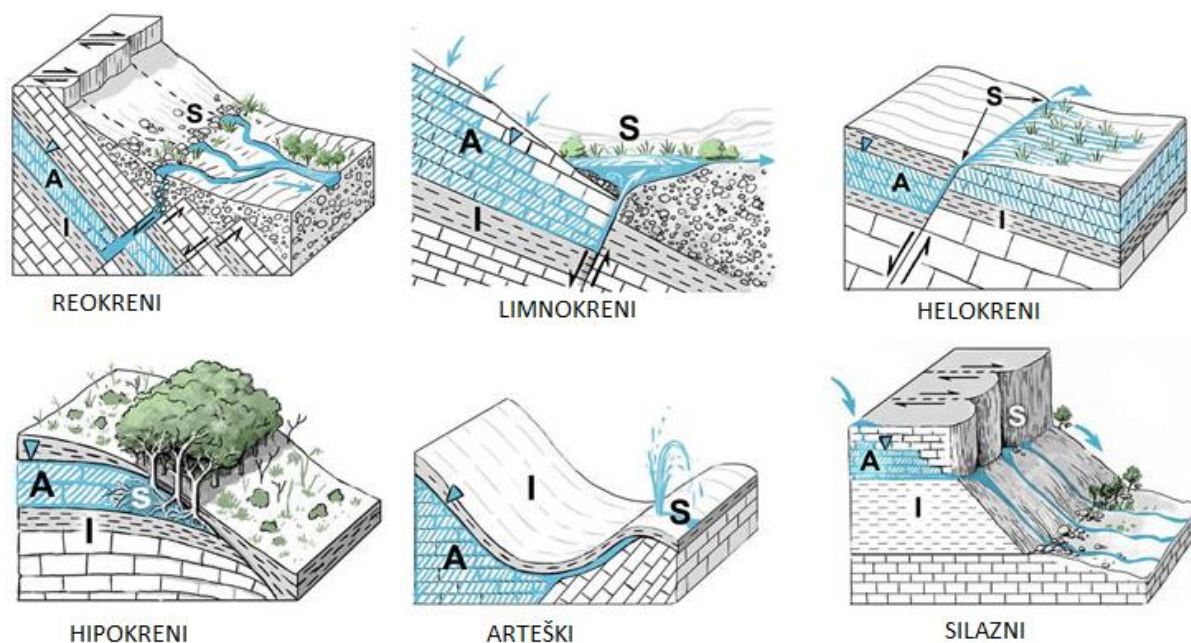
1.1. Ekološka obilježja povremenih krških izvora

Izvori su osebujni ekosustavi na kontaktu podzemnih voda s uvjetima na ili neposredno blizu Zemljine površine. Geomorfološka priroda mjesta izviranja vode često podržava pojavnost brojnih staništa i mikrostaništa, lentičkih (spora struja vode) i lotičkih (brza struja vode) vodotoka te posljedično veliku raznolikost flore i faune. Ekosustavi izvora izrazito se razlikuju od ostalih vodenih i obalnih ekosustava (Springer i Stevens 2008). Obiluju rijetkim vrstama, endemima, reliktima i naseljavaju ih više od jedne trećine bentičkih slatkovodnih organizama, zbog čega su često nazivani „vrućim točkama“ bioraznolikosti (Glazier 2009).

Izvorska voda je podrijetlom od oborina, od primarne vode koja nastaje kondenzacijom vodene pare iz unutrašnjosti Zemlje (juvenilna voda) te vode koja se zadržala u stijinama od njihova postanka (konatna ili fosilna voda) (Benac 2016). Kišnica i sočnica se procjeđuju u tlo i skupljaju kao podzemna voda u poroznom stijenskom materijalu (vodonosniku). Akvifer (vodonosnik) leži iznad relativno nepropusnog stijenskog sloja. Vršna ploha ovog sloja podzemne vode naziva se vodno lice. Pod utjecajem gravitacije, pritiska i/ili drugih sila, podzemna voda teče stazama najmanjeg otpora izvirući gdje podzemna voda sijeće površinu kopna (Glazier 2009).

Izvori su vrlo raznoliki i klasificirani su na brojne načine na temelju njihove geologije, hidrologije, kemije vode, temperature vode, ekologije ili usluge ekosustava (Glazier 2009). Biolozi često klasificiraju izvore prema vrsti vodenog staništa koje stvaraju. Izvori s lako definiranim inicijalnim protokom nazivaju se reokreni (Slika 1). Izvorski bazeni i jezerca su limnokreni, a izvore koji nalikuju močvarama nazivamo helokrenim izvorima (Glazier 2009).

Limnokreni izvori se pojavljuju kao jedan ili više lentičkih bazena na mjestima istjecanja ograničenih ili slobodnih vodonosnika (Springer i Stevens 2007). Voda istječe iz duboke depresije stvarajući ujezerenje u udubini u koju izvorišna voda neprestano ulazi, tvoreći tako izvorski vodotok. Muljevito-pjeskoviti sediment najčešće je prisutan na izvorišnom području, a dno bazena može biti prekriveno mikrofitskom ili makrofitskom vegetacijom (Glazier 2009).



Slika 1. Tipovi izvora prema Springeru i Stevensu (2008).

Povremeni vodotoci su vodotoci čiji hidrološki režim obilježavaju periodični prekidi protoka ili čak potpuno presušivanje njihovog korita (Gallart i sur. 2012). Mogu se podijeliti prema obilježjima u koritu vodotoka povezanim s presušivanjem na: vodotoke koji presušuju, povremene vodotoke ili vodotoke/izvore s prekidima toka (eng. *intermittent*). Tvore niz lotičnih staništa (izolirana jezerca) kada tok presušuje, ali je površinska voda još uvijek prisutna. Efemerne rijeke, s druge strane, obilježava pojava potpuno suhих korita (Bonada 2003, Stubbington i sur. 2017). Što se tiče režima protoka, efemerni vodotoci utječu u podzemlje i hrane podzemne vode, a smješteni su iznad razine vodnog lica čitave godine. Mediteranski vodotoci koji presušuju su, suprotno, sezonskog karaktera (Gordon i sur. 1992). Alternativno, povremene vodotoke možemo kategorizirati prema stupnju predvidljivosti presušivanja: (i) u više ili manje predvidljivim vremenima i (ii) epizodno ako presušuju s nepredvidivim obrascima protoka (Williams 1996). Pretpostavlja se povećanje broja povremenih vodotoka u bliskoj budućnosti zbog klimatskih promjena, ali i zbog očekivanog porasta potrošnje vodnih resursa (precrpljivanje vodonosnika) (Larned i sur. 2010). Nestanci protoka u povremenim potocima igraju odlučujuću ulogu u oblikovanju ekoloških uvjeta i zajednica (Boulton 1989), toliko da bi se povremeni tokovi trebali smatrati zasebnom klasom ekosustava (Larned i sur. 2010). S obzirom na njihovu ulogu izvora bioraznolikosti i pružatelja usluga ekosustava, nemarno upravljanje povremenim vodotocima

zabrinjava. Okvirna direktiva o vodama Europske unije zahtijeva da rijeke budu klasificirane kako bi se primijenili odgovarajući planovi upravljanja, ali povremene rijeke nisu prepoznate u klasifikacijama Okvirne direktive o vodama (Logan i Furse 2002, citirano iz Larned i sur. 2010). Iako je za distribuciju vodenih beskralježnjaka odgovorno mnoštvo abiotičkih čimbenika, temperaturu vode smatramo posebno važnom (von Fumetti i sur. 2007). Temperatura vode na izvorima je relativno konstantna u usporedbi s drugim slatkovodnim staništima (Illies 1952). Međutim, koncepti zonacije krenala temeljeni na temperaturi su manjkavi jer su definirane granice izrazito varijabilne od izvora do izvora ili u godišnjem hodu izvorišnog dijela toka, a u pojedinim izvorima granice nije moguće definirati (von Fumetti i sur. 2007). Illies (1952) je uveo teoriju koja kaže da krenal završava gdje godišnja amplituda temperature prelazi 5 °C. Illies i Botosaneanu (1963) podijelili su krenal na eukrenal i hipokrenal. Erman i Erman (1995) definiraju granicu između eukrenala (engl. springhead) i hipokrenala (engl. springbrook) kao točka u kojoj temperatura premašuje izvorišnu temperaturu za 2 °C. Sigurni smo u važnost uloge temperature, točnije temperaturne stabilnosti i varijabilnosti, na rasprostranjenost slatkovodnih beskralježnjaka zbog rezultata brojnih studija i zbog nedostatka podataka koji pobijaju važnost iste.

Von Fumetti i sur. (2007) su u svojoj studiji istraživali longitudinalnu distribuciju zajednica faune na deset izvora sjeverozapadne Švicarske na različitim udaljenostima od izvora koristeći mjere raznolikosti i multivarijantne metode. Za cilj su imali otkriti obrasce zonalnosti kako bi definirali izvorišne ekosustave regije. RELATE postupak pokazao je da je u osam od deset izvora raspored faune bio direktna posljedica prostorne razdiobe i da su susjedni uzorci bili međusobno sličniji nego u usporedbi s udaljenijim. Predlažu klasifikaciju za reokrene izvorišne dijelove toka (u gorju Jura) na: eukrenal (springhead) i hipokrenal (springbrook). Izvorište se sastoji od samog izvora i gornjeg dijela susjednog nizvodnog segmenta (eukrenal) koji varira < 1 °C od temperature na izvoru i hipokrenala koji počinje od točke gdje se temperatura razlikuje za > 1 °C od temperature na izvoru i nastavlja se nizvodno (Tablica 1). Zaključno naglašavaju optimizam zbog potencijala širenja prostora primjene ove kategorizacije i na druge regije u srednjoj Europi (von Fumetti i sur. 2007).

Tablica 1. Pregled dotadašnjih publikacija i novih kriterija za regionalnu zonaciju izvorišnog područja (prilagođeno prema von Fumetti i sur. 2007).

AUTOR (GODIN A)	EKOSUSTAV	GRANICE EKOSUSTAVA
Ilies (1952)	krenal	godišnja amplituda temp. > 5 °C
Erman i Erman (1995)	eukrenal (spring) hipokrenal (springbrook)	razlika od izvorišne temp. < 2 °C
		razlika od izvorišne temp. > 2 °C
von Fumetti i sur. (2007)	eukrenal (springhead) hipokrenal (springbrook)	razlika od izvorišne temp. < 1 °C (ili < 5 m nizvodno od izvora)
		razlika od izvorišne temp. > 1 °C

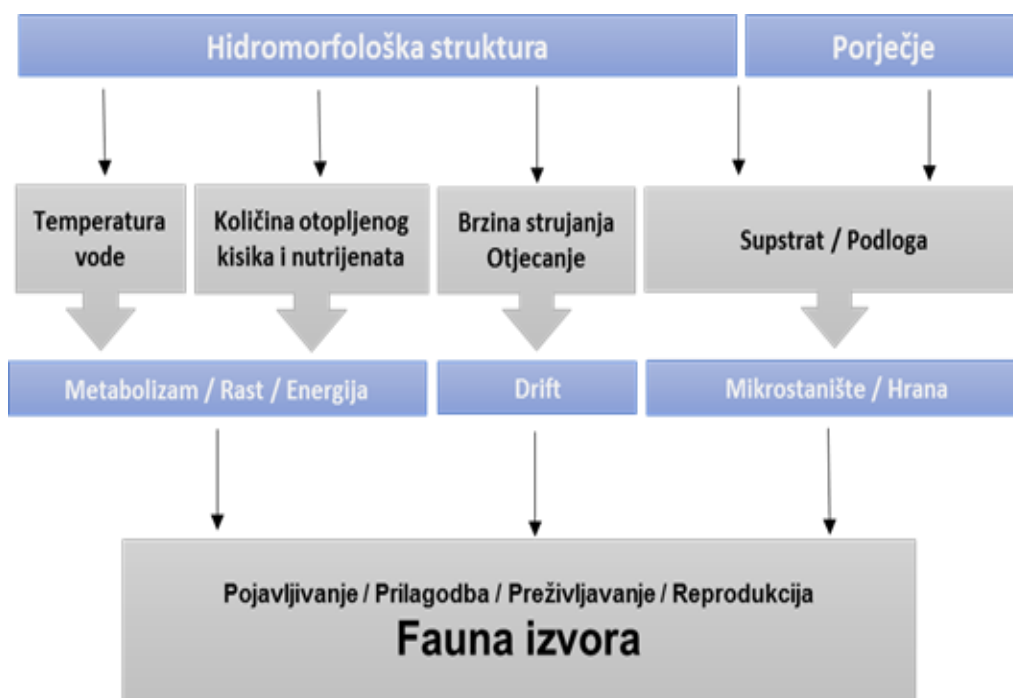
1.2. Ekohidrologija povremenih krških izvora

Rijeke u kršu predstavljaju vrlo specifične i danas posebno ugrožene vodne fenomene (Bonacci i sur. 2013). Nerijetko se radi o otvorenim vodotocima koji povremeno presušuju. U međunarodnoj znanstvenoj terminologiji postoji ekohidrološka podjela vodotoka koji presušuju na već prethodno spomenute kategorije: povremene vodotoke (engl. *intermittent river*) i na kratkotrajne vodotoke (engl. *ephemeral stream*) (Datry i sur. 2017). Brojni podzemni i površinski krški oblici omogućavaju brzi i izravni transport vode s površine u krško podzemlje, kao i iz podzemlja na površinu terena. Osnovno svojstvo krških sustava je postojanje kompleksnih i uglavnom nepoznatih sustava podzemnih krških provodnika najrazličitijih dimenzija, oblika i smjerova razvoja koji omogućuju transport vode na različite udaljenosti i u različitim, često neočekivanim smjerovima. Specifično hidrološko ponašanje otvorenih vodotoka u krškim terenima posljedica je izravne hidrauličke povezanosti površinskih i podzemnih voda (Bonacci i sur. 2018). Razina podzemne vode u kršu uvelike ovisi o efektivnoj poroznosti matriksa stijene dok veze podzemnih voda između različitih dijelova krškog masiva ovise o postojanju, značajkama i dimenzijama pukotina u kršu. Generalno, punjenje ili odvodnja krških rijeka ovisi o razini podzemne vode (Bonacci i Andrić 2008).

Temperatura vode je jedan od najvažnijih parametara rijeka i izvora. To posebno vrijedi za krške rijeke i izvore (Bonacci 1987). Temperatura vode većine izvora približna je srednjoj

godišnjoj temperaturi zraka regije u kojoj je izvor smješten (Glazier 2009). Temperatura vode integrira podzemne i površinske utjecaje okoline i može biti koristan parametar za ispitivanje podrijetla vode i vremena retencije (Bonacci i sur. 2008). Temperatura vode je relativno jednostavna varijabla za praćenje. Monitoring temperature vode u Hrvatskoj temeljen je na dnevnim mjerenjima oko 7 h i 30 min (Bonacci i sur. 2008).

Relevantnije karakteristike vodnog režima u povremenim vodotocima, u ekološkom kontekstu nisu vrijednosti protoka, već vremenski i prostorni obrasci pojavljivanja ili nestajanja značajki vodenih staništa koji ovise o prisutnosti i protoku vode. Brzaci i bazeni istaknutiji su među takvim staništima, a vrijedi i spomenuti povezanost protoka vode između istih. Podaci zabilježeni na mrežnim mjernim postajama ne uključuju pojavnost različitih staništa i mikrostaništa, a posebno uzvodnih i nizvodnih bazena od mjerne postaje tijekom razdoblja nultog protoka, unatoč njihovoj istaknutoj ekološkoj ulozi (Gallart i sur. 2012). Varijabilnost protoka je stoga važna odrednica ekoloških obrazaca i procesa u rijekama.



Slika 2. Ekološka koncepcija utjecaja hidromorfoloških obilježja i utjecaja supstrata te obilježja mikrostaništa na sastav i strukturu organizama na izvoru (prilagođeno prema Reiss i Chiffard, 2015).

Isprekidani protok ekstreman je parametar koji ima sveprožimajuće ekološke učinke. Prestanak toka i isušivanje uzrokovani su jednim ili više mehanizama: gubitkom prijenosa (procjeđivanje kroz porozne slojeve), evapotranspiracijom, snižavanjem razine podzemne vode, uzmicanjem otjecanja na padinama ili smrzavanjem. S druge strane, isprekidanost pojave protoka stvara jedinstvenu uzdužnu dinamiku u režimima strujanja. Uzdužna dinamika sa značajnim ekološkim posljedicama uključuje napredovanje i povlačenje granica ovlaživanja (engl. *wetted fronts*), ublažavanje poplava i dinamiku tečenja (engl. *flow pulses*), hidrološku povezanost postojanih tokova i bazena te gradijente postojanosti protoka (Larned i sur. 2010). Granice ovlaživanja koje se povlače i napreduju pojavljuju se duž povremenih riječnih kanala u velikim i malim prostornim razmjerima kao odgovor na dnevne fluktuacije u otapanju snijega, ablaciji i evapotranspiraciji, ali i na poplave, recesije (režim otjecanja voda) i promjene razine podzemne vode (Larned i sur. 2010).

Koncentracije sedimenta i hranjivih tvari u frontama koje napreduju često su veće od onih u trajnim segmentima vodotoka zbog otapanja taloga i otplavlivanja čestica sa suhih kanala i površina poplavnih nizina (Obermann i sur. 2007).

Fronte koje napreduju i povlače se te sami materijal koji transportiraju utječu na ponašanje, razvoj i širenje vodene i kopnene biote, uključujući traženje skloništa, migraciju riba te vodenih i kopnenih beskralješnjaka, pojavu vodenih kukaca, hidroriziju biljaka (asprostranjivanje plodova posredstvom vode) i ishranu kopnenih grabežljivaca (Adis i Junk 2002). Neki odgovori biote ovise o brzinama napredovanja i povlačenja vode. Primjerice, brzo povlačenje vode može dovesti do nasukavanja i visoke smrtnosti vodenih životinja. Dinamične fronte javljaju se i u povremenim riječnim zonama hiporeika kao i u riječnim koritima. Pulsirajući protoci i fluktuacije razine podzemne vode kontroliraju ove podzemne fronte i posljedično kontroliraju dostupnost staništa za vodene organizme (Datry i Larned 2008). Višegodišnja vodena staništa služe kao biološka skloništa tijekom sušnih razdoblja i kao točke (ili areali) primarne kolonizacije kada se tok obnovi (Magoulick i Kobza 2003, citirano iz Larned i sur. 2010) dok poplave vlaže suhe dijelove obnavljajući hidrološke veze između višegodišnje odvojenih dijelova toka i između riječnih korita i parafluvijalnih staništa (Jenkins i Boulton 2003, citirano iz Larned i sur. 2010).

Supstrat je složena varijabla fizičkog okoliša i sam po sebi osnovni materijal za izgradnju heterogenih mikrostaništa u vodenim ekosustavima (Allan i Castillo 2007). Supstrat je važna ekohidrološka komponenta koja utječe na pojavu, prilagodbu, opstanak i reprodukciju izvorske

faune (slika 2). Svojstva porječja poput obrasca korištenja zemljišta, materijal matične stijene za nastanak tla, položaj padine i nagib padine kao i hidrološka obilježja poput tipa izvora, režim protoka, hrapavost površine, struktura vegetacije ili tip šume i tekstura tla određuju tipove supstrata i njihov sastav. Postoje anorganski (ili mineralni) i organski tipovi supstrata sa zasebnom odgovarajućom nomenklaturom i klasifikacijom. Tablica 2 prikazuje klasifikaciju anorganskog supstrata na temelju veličinskih kategorija mineralnih čestica (zrna). Organski tipovi supstrata uvelike se razlikuju po veličini, pa sustavna klasifikacija na veličinskoj osnovi nije praktično optimizirana za uporabu. Dosljedna i usporediva nomenklatura u slatkovodnoj ekologiji bila bi korisna za tumačenje strukture i funkcije mikrostaništa. U okviru provedbe Europske okvirne direktive o vodama i za procjenu stanja riječnog korita postoje standardizirane oznake za organske supstrate i nudi uvid u uvjete organskih mikrostaništa (Tablica 3) (Reiss i Chiffard 2015). Strukture i funkcije supstrata u tekućim vodama s definiranim hidrološkim režimima vrlo su dobro istražene (Allan i Castillo 2007), a razvila se i posebna disciplina pod nazivom Ekologija riječnog dna.

Tablica 2. Nomenklatura i klasifikacija tipova anorganskih/mineralnih supstrata u vodotocima (prilagođeno prema Reissu i Chiffardu (2015)).

ANORGANSKI SUPSTRAT	OPIS	VELIČINA ZRNA (PROMJER)
Megalital	Vrh stijenskih blokova ili in-situ stijena.	> 40 cm
Makrolital	Oblutak veličine glave s varijabilnim udjelom sitnijih zrna.	20 cm – 40 cm
Mezolital	Valutice veličine šake/stijene s varijabilnim udjelom sitnijih zrna.	6,3 cm – 20 cm
Mikrolital	Sitnije valutice i šljunak s varijabilnim udjelom sitnijih zrna.	2,0 cm – 6,3 cm
Akal	Šljunak (fina do srednje zrnati) s promjenjivim udjelom sitnijih zrna.	0,2 mm – 2,0 cm
Psamal	Pijesak (fino do krupnozrnati) s promjenjivim udjelom sitnijih zrna.	0,063 mm – 0,2 mm
Argilal	Fini sediment (glina, mulj), više ili manje očvrstao.	< 0,063 mm
Pelal	Fini sediment (glina, mulj) pomiješan s organskom tvari, slabije očvrstao.	< 0,063 mm

Tablica 3. Nomenklatura tipova organskih supstrata izvorišnog dijela toka (prilagođeno prema Reissu i Chiffardu (2015)).

ORGANSKI SUPSTRAT	OPIS
Emergentni makrofiti	Zeljasti makrofiti iznad vode koji se razvijaju u proljeće.
Submerzni makrofiti	Podvodni zeljasti makrofiti (djelomično iznad vode ili potpuno pod vodom).
Jastuci od mahovine	Spojeni busenovi ili slojevi mahovine.
Fino korijenje	Plutajuće živo korijenje riparijske zone.
ksilal	Mrtvi drveni materijal, neživa debla, grančice i/ili korijenje.
CPOM	Eng. <i>course particular organic material</i> = grubo usitnjen organski materijal (npr. otpalo lišće).
Četinasti otpaci	Samo igličasto lišće crnogoričnog drveća ili grmlja.
FPOM	Eng. <i>fine particular organic material</i> = fino usitnjen organski materijal.
Alge	Nitaste alge, čuperci algi.

1.3. Struktura i dinamika zajednica vodenih beskralješnjaka povremenih krških vodotoka

Zasebna limnološka grana znanosti koja se bavi izučavanjem biote u izvorima nazvana je **krenobiologija** kako bi se naglasila osebujna biota koja naseljava ova jedinstvena staništa. Glavni ekološki čimbenik biotičkog sastava izvora je temperatura vode, jer se biota toplih izvora uvelike razlikuje od one u hladnijim, netermalnim izvorima (Glazier 2009). Biota izvora uključuje vrste koje su često ograničene na ta staništa i visokospecijalizirane (krenobionti), vrste koje se ne pojavljuju samo u izvorskim staništima već se pojavljuju i u nizvodnim dijelovima toka i nisu posebno specijalizirane na život u izvorima no pokazuju visok stupanj afiniteta (krenofili) te vrste koje se nalaze u različitim vodenim staništima i samo se povremeno pojavljuju u izvorima (krenokseni). Također su prisutne i visoko specijalizirane podzemne vrste koje bivaju izbačene iz podzemnih voda (stigobionti) (Glazier 2009). Krške rijeke obilježava sezonska varijabilnost protoka vode s hidrološkim fluktuacijama, što se očituje i u razlikama u sastavu i strukturi

izvorišnih zajednica ovih tekućica (Stubbington i sur. 2017). Izvori s pripadajućim staništima imaju u biogeografskom smislu obilježja otoka i mogu se razlikovati od susjednog vodotoka i podzemnih voda po prisutnošću specifičnih i dobro diferenciranih vrsta (Cantonati i sur. 2012). Utočište su brojnim endemičnim i ugroženim vrstama. Mnoge životinjske i biljne vrste nastanjuju temperaturno stabilne uvjete okoliša u i oko izvora kako bi bolje podnijele ljetne vrućine ili zimske hladnoće (Savić i sur. 2017).

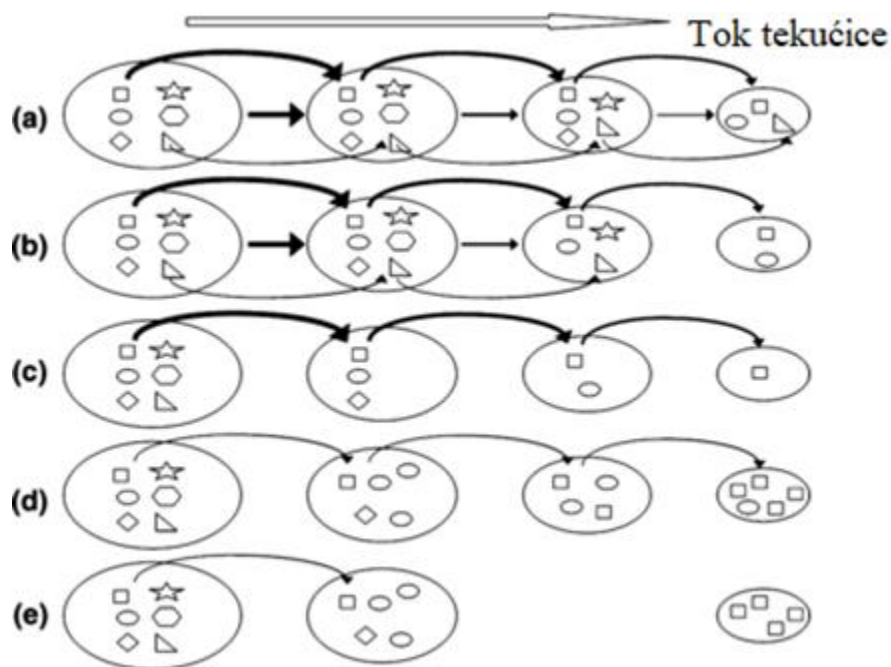
Metazajednice su umrežene lokalne zajednice biote u kojima raspršenost i interakcije unutar i među zajednicama utječu na postojanost vrsta (Leibold i sur. 2004). Metazajednica u nizu nepovezanih bazena može imati zakonitost uzdužnog naseljavanja (engl. *longitudinally nested pattern*) s progresivno umanjenim podgrupama vodenih vrsta duž niza (Taylor 1997) (Slika 3). Uzdužno naseljavanje uzrokovano je ograničenim raspršivanjem iz izvornih populacija ili lokalnim izumiranjem duž gradijenata kompeticije, predacije ili surovosti staništa (McAbendroth i sur. 2005). Iznimke trenda kretanja raznolikosti u podgrupama metazajednica su moguće, ali su najčešće ograničene proteklom vremenom od izolacije.

Struktura i sastav bioloških zajednica u povremenim vodotocima ovise o promjenama vodenih staništa, tj. o trenutnim hidrološkim uvjetima. Stoga se strukturne i funkcionalne karakteristike vodene faune ne bi smjele koristiti za procjenu ekološkog stanja povremenih vodotoka bez uzimanja u obzir krucijalnog parametra, što je nametnuta kontrola hidrološkog režima (Gallart i sur. 2012).

Makroskopski vodeni beskralježnjaci dna (makrozoobentos) među najbolje su istraženim zajednicama tekućica. Biotički indeksi temeljeni na zajednicama makrozoobentosa najčešće se koriste za biološke procjene. Važno je dobro odrediti analizu koja će najbolje opisivati specifičnu strukturu zajednica makrozoobentosa određenih vodotoka, osobito ako ih naseljavaju endemske vrste čija indikatorska vrijednost nije poznata (Rađa i Puljaš 2010). Biotički indeksi nam omogućavaju kvalitativnu analizu podataka dobivenih kvantitativnim mjerenjima.

Neki od mehanizama koji su odgovorni za sastav i strukturu zajednica makrozoobentosa su geografska lokacija, geološka podloga, stalnost toka, fizikalno-kemijska stabilnost, anorganski supstrat i brojni drugi (Carroll i Thorp 2014, Reiss i Chiffard 2015). Posebno je zanimljiva višegodišnja prosječna postojanost protoka koja objašnjava veliki dio varijabilnosti u sastavu populacija beskralježnjaka i riba te raznolikosti biljaka i dinamike njihovog godišnjeg pokrova (Datry i sur. 2007, Arcott i sur. 2010). Ova je korelacija intrigantna jer se, intuitivno, od pokretnih

i kratkoživućih organizama očekuje da prvenstveno reagiraju na kratkoročne hidrološke varijabilnosti protoka, a ne na dugoročne prosječne uvjete (Arscott i sur. 2010). Zaključno, dugoročna postojanost protoka može biti dobar prediktor za ekologiju zajednica povremenih vodotoka jer povezuje hidrološke elemente kao što su učestalost i trajanje protoka.



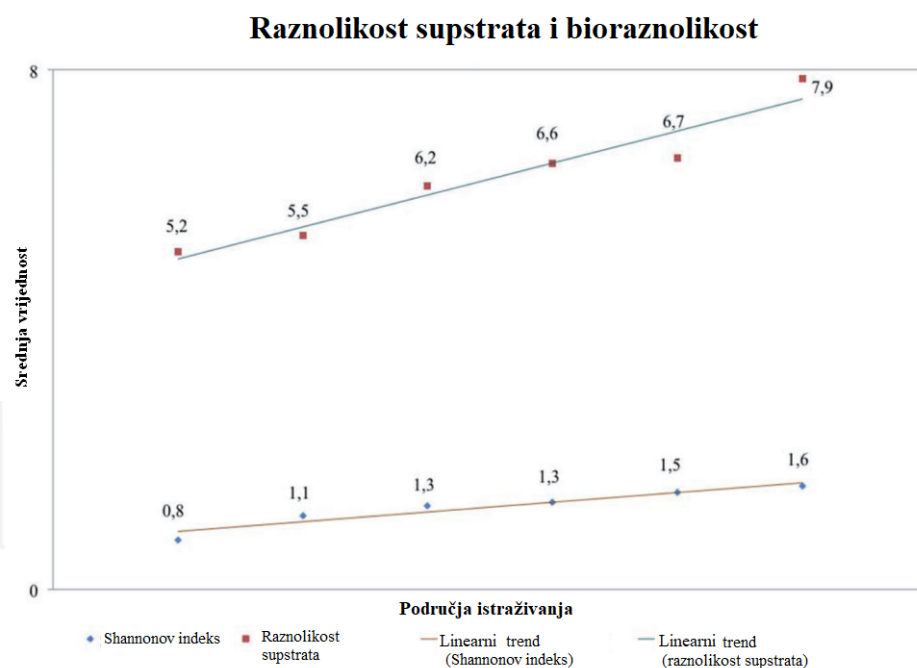
Slika 3. Hipotetski obrasci strukture metazajednice u uzdužnim nizovima bazena riječnih odsječaka povremenog toka: a) povezani bazeni, b) djelomično povezani bazeni, c) nedavno izolirani bazeni, d) dugotrajno izolirani bazeni, e) dugotrajno izolirani bazeni i potpuno presušivanje.

TUMAČENJE ZNAKOVA: Ravne strelice: putevi raspršivanja u vodi; zakrivljene strelice: zračne staze raspršivanja; debljine linija odgovaraju relativnim brzinama disperzije. Oblici unutar bazena predstavljaju različite vrste vodenih svojiti; kvadrati, ovalni oblici i zvjezdice predstavljaju svojite s kopnenom fazom; kvadrati i ovalne forme predstavljaju svojite koje lete duž vlažnih ili suhих korita, zvjezdice predstavljaju svojite koje lete samo duž vlažnih korita; kvadrati predstavljaju svojite koje su najotpornije na isušivanje staništa (prilagođeno prema Larned i sur., 2010).

Reiss i Chiffard (2015) proveli su kvalitativnu funkcionalnu analizu za svaku kategoriju hranidbene skupine (prema tipu prehrane) unutar pojedinih svojiti u svrhu interpretacije funkcionalne važnosti mikrostaništa. Pokazala se prisutnost većine ciljanih svojiti unutar pojedinih mikrostaništa, jer je sam supstrat hranidbena baza ili mjesto hranjenja (posebno za usitnjivače,

engl. *shredders*), ali i kao lovište grabežljivaca ili utočište za preživljavanje tijekom neoptimalnih uvjeta okoliša.

Statistička korelacija između raznolikosti supstrata i bioraznolikosti je visoko značajna ($R^2 = 0,88$) (Slika 4). Trend dviju krivulja (raznolikost supstrata i Shannonov indeks raznolikosti) linearan i sličan tj. povećanje raznolikosti supstrata dovodi do povećanja Shannonovog indeksa kao indikatorske vrijednosti za biološku raznolikost (Reiss i Chiffard 2015). Stoga je raznolikost supstrata izrazito važan i ograničavajući čimbenik za klasifikaciju izvorskih ekosustava i pripadajuće faune beskralješnjaka.



Slika 4. Prikaz usporedbe raznolikost supstrata i bioraznolikosti. Područja istraživanja: Burgwald, Hainich, Krofdorfer Forst, Rhön (Schafstein), Vogelsberg (Niddahänge) (prilagođeno prema Reissu i Chiffardu (2015).

Kao ekstremne pojave, poplave se smatraju kratkim, ali važnim događajima koji uvjetuju poremećaje sastava i strukture vodene biote, budući da impliciraju neselektivni učinak ispiranja (engl. *Washing effect*) velikog udjela vrsta (Boulton i Lake 1992). Samo najotpornije vrste nalazimo neposredno nakon velikih poplava. To umanjuje kvalitetu ekološke metrike ako se uzorkovanje obavi ubrzo nakon poplave. Obrnuto, vodeni beskralježnjaci (osim u otpornim životnim stadijima) nisu prisutni kada nema površinske vode. Čak i kada su prisutni samo nepovezani bazeni, biotičke zajednice nisu reprezentativne za stvarni ekološki status vodotoka,

budući da uvjeti mogu varirati između i unutar bazena tijekom vremena čak i pod ovim uvjetima (Boulton 1989). Samo kada je prisutan protok, raznolikost staništa i uvjeti okoliša zadovoljavajući su za održavanje vodene zajednice reprezentativne biološke kvalitete. Upravo zato se samo pod tim uvjetom mjerenja za procjene ekološkog stanja u stalnim vodotocima mogu primjenjivo definirati (Gallart i sur. 2012).

Prema Okvirnoj direktivi o vodama (WFD, 2000) Europske zajednice, važećim propisima za upravljanje vodama u Europi, ekološki status (ES) ključni je parametar vodotoka koji se ocjenjuje. Izraz je ekvivalentan „biološkom integritetu“ ili sličnim konceptima koji se koriste u drugim dijelovima svijeta (Karr 1981). Kada se ocijeni da je ES potoka slabiji od „dobrog“, vlasti se obvezuju uspostaviti mjere unutar plana upravljanja riječnim slivom kako bi se potok vratio u taj status. Međutim, biološko uzorkovanje za određivanje ES povremenih vodotoka mora se prilagoditi različitim mezostaništima koja su prisutna i mijenjaju se tijekom vremena, za razliku od uzorkovanja osmišljenog za višegodišnje vodotoke. Takve strategije potrebno je prilagoditi za scenarije kada voda nije prisutna na dan uzorkovanja ili ako je vodeni život sveden na one životinje koje se nalaze u izoliranim bazenima. Kada postoje samo izolirani bazeni, pronađene zajednice organizama (čak i ako su netaknute) mogu biti znatno siromašnije svojstama ili niže raznolikosti od referentnih zajednica koje žive u stalnim vodotocima (Gallart i sur. 2012). Sheldon i sur. (2010) su pokazali da biološkim sastavom u dugotrajnom nepovezanom bazenu dominiraju generalističke vrste s nižom raznolikošću te da prisutnost takvih bazena uvijek završava s osiromašenjem zajednice (u ovisnosti o proteklom vremenu od gubitka kontakta s većim vodenim tijelom) (Gallart i sur. 2012). Gallart i sur. (2012), iz tog razloga, također apostrofiraju kako ekološko stanje vodotoka ne bi trebalo mjeriti tijekom faze nepovezanih bazena.

Starost netermalnog izvora snažno utječe na njegov biotički sastav. Izvori koji povremeno teku i geološki mladi izvori u regijama s deglacijacijom imaju tendenciju brojčane dominacije ličinki raznih vrsta letećih kukaca s visokom sposobnošću raspršivanja. Stariji stalni izvori u nezaleđenim regijama obično sadrže manje pokretljive svojte neemergentnog makrozoobentosa, kao što su rakušci i jednakonožni rakovi, mekušci i virnjaci. Rakovi i mekušci su posebno česti u izvorima s alkalnom, tvrdom vodom, gdje mogu dobiti dovoljno kalcija za formiranje ljuštura ili oklopa, a rijetki su ili ih uopće nema u izvorima s kiselom, mekom vodom gdje dominiraju kukci (Glazier 2009).

1.4. Ocjena ekološkog stanja tijela površinskih i podzemnih voda

Ekološka uloga podzemne vode u gospodarenju vodama uključuje: 1) održavanje osnovnog vodenog toka i ublažavanje fluktuacija razine vode u jezerima i močvarama koji se napajaju podzemnom vodom, 2) osiguranje staništa sa stabilnom temperaturom, 3) opskrbu hranjivim tvarima i anorganskim ionima i 4) opskrbu vlagom za riparijsku i drugu vegetaciju ovisnu o podzemnim vodama (Hayashi i Rosenberry 2002, citirano iz Brkić i sur. 2019).

Projekt monitoringa stanja voda (MSV) predstavlja kratkoročnu i opsegom ograničenu komponentu (2021.–2027.) dugoročnog programa unapređenja i provođenja monitoringa voda u Republici Hrvatskoj (u nastavku „Program“). Program obuhvaća širi opseg monitoringa, odnosno sve programe monitoringa stanja voda i hidrološkog monitoringa, ali i meteorološkog monitoringa, monitoringa opterećenja i emisija u vode, monitoringa stanja vodnih građevina, te monitoringa utvrđenih u postupcima strateških procjena utjecaja na okoliš planskih dokumenata upravljanja vodama, a koje su prema Zakonu o vodama i drugim propisima stavljene u nadležnost Hrvatskih voda. Program, također, sagledava i druge slične programe motrenja, čija realizacija i rezultati mogu imati ili imaju utjecaj na upravljanje vodama, a u nadležnosti su drugih državnih institucija. Program je planska osnova za donošenje godišnjih planova monitoringa voda i financijskih planova, te planova upravljanja vodama (Anonymus 2020).

Program se u dijelu daljnjeg usklađivanja monitoringa stanja voda od 2014. provodi sukladno odredbama Uredbe o standardu kakvoće voda, Okvirne direktive o vodama, pratećih popisa Europske unije, te od 2016. i sukladno Planu upravljanja vodnim područjima 2016.–2021. Postupna provedba monitoringa stanja voda po unaprijeđenom programu započela je u 2014., a traje do konca 2018. Podaci o usklađenom monitoringu stanja voda koji se daju u nastavku preuzeti su iz Plana upravljanja vodnim područjima 2016.–2021. (Anonymus 2020).

Monitoring stanja kopnenih površinskih voda obuhvaća pokazatelje potrebne za utvrđivanje: zapremina, razina, protoka, brzina i hidromorfoloških značajki u mjeri odgovarajućoj za ekološko ili kemijsko stanje ili ekološki potencijal (za znatno promijenjena i umjetna vodna tijela) i kemijsko stanje (Anonymus 2020).

Prikaz monitoringa stanja podzemnih voda preuzet je iz Plana upravljanja vodnim područjima 2013.–2015. Isti će se kontinuirano novelirati/aktualizirati s budućim planovima vodnih područja. Monitoring stanja podzemnih voda obuhvaća pokazatelje potrebne da se utvrdi količinsko i

kemijsko stanje. Nedostaci u praćenju podzemnih voda otežavaju kvalitativnu analizu stanja grupiranih vodnih tijela (do 2014. samo su neka grupirana vodna tijela bila pokrivena odgovarajućom mrežom monitoringa). Unaprijeđeni monitoring podzemnih voda obuhvaća veći broj mjernih postaja na tijelima podzemnih voda gdje je vrlo visoka ili visoka prirodna ranjivost vodonosnika i u kojima je utvrđeno značajno antropogeno opterećenje te su tijela u riziku ili vjerojatno u riziku, kao i u tijelima za koje je ustanovljeno dosadašnjim monitoringom loše ili vjerojatno loše stanje (Anonymus 2020).

Program unaprjeđenja i provedbe monitoringa (Program) obuhvaća sve programe praćenja promjena stanja voda, hidrološki i meteorološki monitoring, praćenje opterećenja i emisija u vode, praćenje uporabe voda, monitoring stanja vodnih građevina, monitoring utvrđen u postupcima strateških procjena utjecaja na okoliš planskih dokumenata upravljanja vodama, kao i praćenja drugih aktivnosti vezanih uz vode, a koje su prema Zakonu o vodama i drugim propisima stavljene u nadležnost Hrvatskih voda. Program, također, sagledava i druge slične programe praćenja, čija realizacija i rezultati mogu imati ili imaju utjecaj na praćenje rezultata upravljanja vodama, a u nadležnosti su drugih institucija. Monitoring voda i drugih aktivnosti koje su vezane uz vode ili na njih mogu imati utjecaja imaju za svrhu osiguranje kvalitetnih podloga i informacija za obavljanje djelatnosti upravljanja vodama, a koje su u nadležnosti Hrvatskih voda. Svrha samog Programa je i unaprjeđenje i provedba monitoringa voda i drugih aktivnosti vezanih uz vode na vodnim područjima u Republici Hrvatskoj, sukladno zaključcima ključne planske dokumentacije upravljanja vodama: Strategije upravljanja vodama, Plana upravljanja vodnim područjima u Republici Hrvatskoj i Programa usklađenog monitoringa. Program je pri tome planska osnova za donošenje godišnjih planova monitoringa voda, a svrha provedbe tog programa također pruža osnovu za sljedeće poslove vezane uz djelatnosti upravljanja vodama: izradu planskih dokumenata za upravljanje vodama, uređenje voda i zaštitu od štetnog djelovanja voda, korištenje voda i zaštitu voda (Anonymus 2020).

Monitoring stanja voda, kao dio ukupnog programa monitoringa voda, od posebne je važnosti za sustav upravljanja zaštitom voda, jer bez pouzdanih i kontinuiranih informacija o stanju voda nije moguće provoditi njihovu zaštitu. Sustav praćenja/monitoringa stanja voda pri tome ulazi u područje javnog/općeg interesa. Ključno u tom sustavu je stvoriti preduvjete za njegovo pouzdano, kontinuirano, samoodrživo i autonomno funkcioniranje, kako bi se ispunile sve javne potrebe za

informacijama o stanju voda, koje uključuju osim državnih tijela zaduženih za zaštitu voda i sve druge korisnike voda kojih djelovanje ovisi o njihovom stanju (Anonymus 2020).

Sastavni dio svake opsežne hidrogeološke studije, ali i projekta zaštite izvorišta pitke vode je hidrološka analiza. Njome dobivamo neophodne podatke o stanju količina površinske vode, odnosno stanju količina u uvjetima minimalnih, srednjih i maksimalnih voda. Već duži niz godina u Hrvatskoj postoji nacionalni monitoring kvantitativnog i kvalitativnog stanja površinskih voda (Anonymus 2006). U okviru monitoringa Hrvatskog geološkog instituta (2006) provodi se praćenje i podzemnih voda, na ili neposredno uz sama mjesta izviranja podzemne vode u kršu. Za razliku od izvora u Crnomorskome slivu, u Jadranskome slivu veliki je broj izvora uključen u stalnu mrežu opažanja količine istjecanja. Razlog tomu je njihovo korištenje za potrebe javne vodoopskrbe, ali su to i ulazni profili u bilanciranju stanja količina površinskih voda (Anonymus 2006).

Kao glavni pokazatelji stanja kakvoće podzemne vode u Okvirnoj direktivi o vodama (dio koji se odnosi na podzemne vode) navedeni su otopljeni kisik, pH vrijednost, elektrolitička vodljivost, nitrati i amonijak (Annex V) (tablica 4), a u prijedlogu za uspostavljanje strategije o sprečavanju i kontroli onečišćenja podzemne vode u okviru Smjernica (Proposal for a establishing strategies to prevent and control pollution of groundwater, Draft 1.0 od 20.02.2003. – Annex I) navode se još: Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, K, Na, Zn, Cl⁻, SO₄²⁻ i TOC (Anonymus 2006).

Hrvatski geološki institut (2006) je pri odabiru pokazatelja koristio preporuke EU o karakterizaciji površinskih voda za potrebe određivanja njenog kemijskog stanja. S obzirom na raspoložive podatke o kakvoći podzemnih voda preporuka se pokazala dijelom korisna i za potrebe inicijalne karakterizacije kemijskog stanja (Tablica 8), ali i stanja kakvoće podzemnih voda na području Jadranskog sliva. Osnovni razlog tome je potreba ujednačavanja kriterija za procjenu inicijalnog kemijskog stanja podzemnih voda i stanja kakvoće, odnosno odabira pokazatelja koji se uglavnom na svim mjestima dosadašnjeg monitoringa i opažaju. Odabrani su sljedeći pokazatelji: 1) temperatura podzemne vode, 2) redoks uvjeti u podzemnim vodama, 3) mineralizacija, odnosno salinitet kao mjera količine otopljene tvari u vodi, 4) stanje kiselosti podzemne vode (alkalitet, pH), 5) sadržaj hranjivih soli dušika (nitrati, nitriti, amonijak) i fosfora (ukupni fosfor, ortofosfati), 6) teške kovine – željezo, 7) opterećenost organskom materijom, 8) kloridi, 9) mikrobiološki pokazatelji, 10) sadržaj ukupnih i mineralnih ulja (Anonymus 2006). Vrijednosti elektrolitičke vodljivosti na izvoru Mrđenovac se kreću od 200 do 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ovisno o količini topljenih tvari u vodi. pH vrijednost izvorske vode kreće se između 7 i 8 prema čemu je

voda neutralna do slabo bazična. Voda na izvoru je dobro zasićena kisikom. Svi analizirani pokazatelji su daleko ispod MDK (maksimalno dozvoljene koncentracije) u pitkoj vodi (Anonymus 2006). Izvori Mrđenovac i Košna voda uključeni su u sustav nacionalnog monitoringa kakvoće vode (Anonymus 2006).

Tablica 4. Elementi za ocjenu ekološkog stanja (prilagođeno prema Anonymusu, 2015a).

ELEMENTI	rijeke
biološki	1. sastav i brojnost vodene flore (fitoplankton, fitobentos, makrofita)
	2. sastav i brojnost makrozoobentosa
	3. sastav, brojnost i starosna struktura riba
osnovni fizikalno-kemijski i kemijski koji prate biološke elemente	a) osnovni fizikalno-kemijski elementi:
	1. temperatura
	2. režim kisika
	3. sadržaj iona
	4. pH, m-alkalitet
	5. hranjive tvari
	b) specifične onečišćujuće tvari:
	nesintetske
	1. arsen i njegovi spojevi
	2. bakar i njegovi spojevi
	3. cink i njegovi spojevi
	4. krom i njegovi spojevi
	sintetske
	5. fluoridi
	ostale
6. organski vezani halogeni koji se mogu adsorbirati (AOX)	
7. poliklorirani bifenili (PCB)	

Tablica 5 prikazuje odabrane, generalizirane zaključke procjene stanja o kakvoći, količini, ranjivosti i riziku te samom monitoringu vodnih resursa sliva rijeke Like na temelju analiza provedenih tijekom monitoringa u razdoblju od 2000. do 2005. godine.

Tablica 5. Procjena stanja vodnih resursa sliva rijeke Like (prilagođeno prema Anonymusu, 2006).

KOLIČINE	PRECRPLJIVANJE	Nema.	
	TRASPORT U DRUGO VODENO TIJELO	Od pribranske strojarnice Skope vode Likom teku do Selišta, pa tunelom u sliv Gacke, te koritom i hidrotehničkim objektima prema HE Senj kod Jurjeva.	
KAKVOĆA	STANJE KAKVOĆE (OPIS)	Dobra	
	ZAŠTITNE ZONE	Zaštitne zone istraživanje za izvore Mrdenovac, Košna voda, Vriline, ali odluke nisu donešene	
	VRSTE POGORŠANJA STANJA KAKVOĆE	Nema.	
RANJIVOST I RIZIK	PRIRODNA RANJIVOST	Vrlo visoka	
	OPTEREĆENJA VODENOG TIJELA	TOČKASTA	Nema. Grad Gospić je najveće i jedino mjesto urbanog tipa a smješten je neposredno uz rijeku Novčicu.
		DIFUZNA	Nema. Teren uglavnom pokriven šumama i travnjacima (90%).
	RIZIK	Nema rizika	
MONITORING	KOLIČINA	Nema. Uključiti izvorišta koji su u sustavu nacionalnog monitoringa kakvoće voda.	
	KAKVOĆA	Izvori Mrdenovac i Košna voda uključeni u sustav nacionalnog monitoringa.	

Zbog njihove učestalosti i zastupljenosti u različitim vrstama podzemnih voda, važno je spomenuti visokoprilagođene predstavnike podzemnih beskralješnjaka od posebnog interesa za praćenje stanja ekosustava kao što su Protista i Micrometazoa (Gastrotricha, Nematoda, Nemertina, Rotifera, Tardigrada i dr.), spužve (Porifera), virnjaci (Turbellaria), puževi (Gastropoda), malokolutićavci (Oligochaeta), mnogokolutićavci (Polychaeta), pijavice (Hirudinea), vodeni kukci (Insecta), vodene grinje (Hydrachnidia) (Gottstein Matočec i sur. 2002, Gottstein 2010, citirano iz Brkić i sur. 2019). Mnogi od njih su usko rasprostranjene endemske vrste što rezultira komplikacijama kod odabira odgovarajućih predstavnika faune koji bi bili jedinstveni za praćenje statusa GWDE-a (engl. Groundwater – dependent ecosystems; u slobodnom prijevodu: ekosistemi ovisni o podzemnoj vodi). Predstavnici podzemne faune i njihova brojnost tijekom vremena u podzemnim ekosustavima ovisnim o podzemnim vodama izuzetno su dobar pokazatelj upravo te ovisnosti sustava o podzemnim vodama, te bi se trebali uključiti u praćenje stanja ekosustava (Brkić i sur. 2019).

Podzemni rakovi (Crustacea), kao izrazito dominantna skupina u podzemnim vodama, relativno su slabo istraženi kao i većina skupina vodenih beskralješnjaka u Hrvatskoj. Među njima

su brojne vrste roda *Niphargus*, uključujući i neke površinske predstavnike ovisne o visoko kvalitetnoj podzemnoj vodi (Brkić i sur. 2019).

Bioindikatori izvora korišteni u istraživanju Brkić i sur. (2019) sastoje se od svojiti krenobionata beskralješnjaka. Riječ je o vrstama koje nastanjuju isključivo izvore i koje su izrazito osjetljive na bilo kakve promjene u staništu, a time i na promjene fizikalno-kemijskih uvjeta u podzemnim vodama (osobito temperaturnih oscilacija). Među krenobiontnim vrstama Hrvatske značajni su vodeni kukci poput nekih vodenih kornjaša (Coleoptera) iz roda *Agabus* i tulara (Trichoptera) iz roda *Drusus* i *Micropterna* te neke vrste virnjaka (Turbellaria), npr. vrsta *Crenobia alpina*, velik broj puževa (Gastropoda) kao što su vrste iz roda *Belgrandiella*, rakušaca (Amphipoda) iz roda *Fontogammarus* i neke vrste iz roda *Niphargus*, deseteronožnih rakova (Decapoda) iz roda *Austropotamobius* (*A. pallipes* i *A. torrentium*) (Sertić Perić i sur. 2018).

Kvantitativno stanje podzemnih voda (u RH) s obzirom na GWDAE-e (engl. *groundwater-dependant aquatic ecosystems* = vodeni ekosustavi ovisni o podzemnoj vodi) ocijenjeno je kao „dobro“. Ne provodi se zahvaćanje podzemnih voda iz speleoloških objekata u užem smislu riječi. Međutim, mnogi izvori su kaptirani za vodoopskrbu (Brkić i sur. 2019).

Stanje podzemnih vodnih tijela (GWB-eva) u Hrvatskoj ocjenjuje se kao „dobro“ sa stajališta ekosustava povezanih s podzemnim vodama i onih ovisnih o podzemnim vodama. Pozitivna ocjena i stanje podzemnih voda posljedica je relativno slabog razvoja naše zemlje. Tijekom posljednja tri desetljeća postoji stalan trend pada industrijske proizvodnje, posebice u ruralnim područjima (slivovi) (Brkić i sur. 2019).

Tablica 6. Klasifikacijski pojmovi za ocjenu hidromorfološkog stanja (prema Anonymusu, 2015b).

Kategorija ekološkog stanja	Ocjena	Bod	Opis
Vrlo dobro	1 do 1,4	1	Gotovo prirodno (referentno stanje)
Dobro	1,5 do 2,4	2	Neznatno promijenjeno
Umjereno	2,5 do 3,4	3	Umjereno promijenjeno
Loše	3,5 do 4,4	4	Promijenjeno u velikoj mjeri
Vrlo loše	4,5 do 5,0	5	Izrazito promijenjeno

Ocjena ekološkog stanja temeljem hidromorfoloških elemenata kakvoće dobije se osrednjavanjem vrijednosti 16 hidroloških elemenata. Ukoliko se raspolaže dovoljnom količinom podataka da se može izvršiti kvantitativno bodovanje, ekološko stanje temeljem hidromorfoloških elemenata kakvoće se ocjenjuje prema tablici 6 (Anonymus 2015b).

Tablica 7. Prikaz modula i pokazatelja/indeksa korištenih za izračun modula za svaki biološki element kakvoće (prilagođeno prema Anonymus, 2015a).

BIOLOŠKI ELEMENT KAKVOĆE	POKAZATELJ/INDEKS	OPTEREĆENJE NA KOJE UKAZUJU INDEKSI	MODUL
fitoplankton	Klorofil a	opterećenje hranjivim tvarima	trofičnost
	Riječni potamoplatski indeks		
fitobentos	Trofički indeks dijatomeja (TIDhr)	opterećenje hranjivim tvarima	trofičnost
	Saprobni indeks (SIhr)	opterećenje organskim tvarima	saprobnost
makrozoobentos	Ukupan broj svojti (UBS)	opterećenje organskim tvarima	saprobnost
	Udio oligosaprobni indikatora (OSI%)		
	Hrvatski saprobni indeks (SIHR)		
	BMWP bodovni indeks (BMWP)		
	Prošireni biotički indeks (PBI)	hidromorfološke promjene/opća degradacija	opća degradacija
	Shannon–Wiener indeks raznolikosti (H)		
	Ritron indeks (RI)		
	Udio svojti koje preferiraju šljunak, lital i pjeskoviti tip supstrata Akal+Lit+Psa (ALP%)		
	Udio pobirača/sakupljača (P/S%)		
	Indeks biocenotičkog područja (IBR)		
	Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT–S)		
	Udio predstavnika skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera u makrozoobentosu (EPT%)		
	Broj porodica (BP)		
	Udio Oligochaeta u makrozoobentosu (OLI%)		

Ocjena ekološkog stanja tijela površinske vode određuje se na temelju lošije vrijednosti, uzimajući u obzir vrijednosti rezultata ocjene prema biološkim elementima (Tablice 7 i 8) te osnovnim fizikalno-kemijskim i kemijskim elementima (Tablica 4) koji prate biološke elemente kakvoće (Anonymus 2015a). Konačno stanje površinskog vodnog tijela JKRN0012_004 (rijeka Lika) procijenjeno je umjerenim jer je ekološko stanje umjereno, a kemijsko stanje dobro (Tablica 8).

S obzirom na količinu raspoloživih podataka, za inicijalnu karakterizaciju kemijskog stanja cjelina podzemnih voda korišteni su svi prikupljeni podaci, a osvrt na kakvoću voda načinjen je temeljem Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Anonymus 2004), odnosno u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) u pitkoj vodi i Uredbe o klasifikaciji voda (Anonymus 1998). Temeljem provedene analize kakvoće podzemne vode proizlazi da je kakvoća voda na analiziranim izvorima u Hrvatskom primorju i Lici iznimno dobre kakvoće. Svi analizirani pokazatelji nalaze se ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija u pitkoj vodi, osim mikrobioloških pokazatelja, koji se međutim prema Uredbi mogu svrstati u vodu I. ili II. vrste. Izvori u Lici (Tonkovića vrelo, Košna voda i Mrđenovac) imaju samo povremeno problematične bakteriološke pokazatelje (Tablica 8) (Anonymus 2018).

Tablica 8. Stanje površinskog vodnog tijela JKRN0012_004 (rijeka Lika) (preuzeto iz Anonymusa 2018).

STANJE VODNOG TIJELA JKRN0012_004					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno	umjereno	umjereno	dobro	dobro	postiže ciljeve
Ekološko stanje	umjereno	umjereno	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Ekološko stanje	umjereno	umjereno	dobro	dobro	postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće	umjereno	umjereno	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće	umjereno	umjereno	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fitobentos	umjereno	umjereno	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Makrozoobentos	umjereno	umjereno	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
BPKS	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Ukupni dušik	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Ukupni fosfor	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
arsen	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
bakar	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
čink	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
krom	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
fluoridi	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
adsorbilni organski halogeni (AOX)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Hidrološki režim	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Kontinuitet toka	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Morfološki uvjeti	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Indeks korištenja (ikv)	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Klorovinfos	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Klorpirifos (klorpirifos-etil)	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Diuron	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Izoproturon	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
<p>NAPOMENA:</p> <p>NEMA OCJENE: Fitoplankton, Makrofiti, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributilkositrovi spojevi, Trifluralin</p> <p>DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmij i njegovi spojevi, Tetraklorugjik, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloretan, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktifenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-od)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretlen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklometan</p> <p>*prema dostupnim podacima</p>					

1.5. Ciljevi istraživanja

Ciljevi ovog diplomskog rada usmjereni su na određivanje sastava, raznolikosti i strukture zajednica bentoskih beskralješnjaka izvora i izvorišnog toka izvora Mrđenovac, jednog od glavnih izvora rijeke Like koji sezonski tijekom ljetnih mjeseci presušuje, na najzastupljenijim tipovima mikrostaništa.

Pojedinačni ciljevi rada su sljedeći:

- utvrditi sastav skupina, bogatstvo vrsta i raznolikost zajednica te zastupljenost skupina bentoskih beskralješnjaka u pojedinim tipovima mikrostaništa;
- izračunati sličnost zajednica bentoskih beskralješnjaka između sezona i različitih mikrostaništa;
- izračunati EPT (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera) indeks između različitih sezona i na različitim mikrostaništima;
- utvrditi zastupljenost temporalne i permanentne faune bentosa u pojedinim sezonama i na istraživanim mikrostaništima.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Geografska obilježja porječja rijeke Like

Porječje rijeke Like (i Gacke) smješteni su između $44^{\circ} 17'$ i $44^{\circ} 59'$ N te $15^{\circ} 07'$ i $15^{\circ} 48'$ E (Slika 5) (Bonacci i Andrić 2008). Sliv rijeke Like zauzima sjeveroistočne padine Velebita, najveći dio Ličkog polja, a na istoku je obuhvaćen znatan dio ličkog Sredogorja. Ličko polje ima oblik zaravni s više odvojenih depresija, koje se visinski malo razlikuju, a nagnute su od jugozapada prema sjeveroistoku, odnosno od izvorišnog područja: Metka, Mogorića i Gornje Ploče preko središnjeg dijela: Gospića i Ličkog Osika i Pazarišta do Kosinja nadomak estavelsko-ponorskog područja u Lipovom polju (Anonymus 2006). Rijeka Lika teče u smjeru sjeverozapada i predstavlja glavni odvodni kanal za vode Ličkog polja i šire krške okolice sve do ponora rijeke Like u Lipovom polju (Anonymus 2018). Ima dobro razvijenu, a za dinarsko krško područje neobično gustu, mrežu stalnih i povremenih pritoka (Slika 5B) (Bonacci i Andrić 1987).

2.2. Klimatske značajke

Lika (regija) se nalazi u sjevernom umjerenom pojasu. Na raspored klimatskih pojava (temperatura, padaline, vjetar) utječu strujanja sa zapada, azorska anticiklona i islandska ciklona te sibirski anticiklona s istoka. Kao značajan modifikator klime posebno je značajna horizontalna i vertikalna raščlanjenost reljefa, položaj Like u zavjetrini Velebita i oblik njene zavale. Visina i izduženost Velebita prepreka su toplinskom utjecaju Jadranskog mora (Anonymus 2012). Prema Köpenovoj klasifikaciji klimatskog režima, niži dijelovi istraživanog područja imaju umjerenu vlažnu klimu s toplim ljetima. Prosječna mjesečna vrijednost temperatura zraka zimi je -3°C , a ljeti 18°C . U razdoblju od 1902. do 2006. godine (s izostankom mjerenja od 1943. do 1945.) srednja godišnja temperatura zraka varirala je između $7,0^{\circ}\text{C}$ i $10,5^{\circ}\text{C}$ s prosječnom vrijednošću od $8,7^{\circ}\text{C}$ (Bonacci i Andrić 1987). Temperatura vode na Mrđenovcu je u rasponu između $7,5^{\circ}\text{C}$ do $10,5^{\circ}\text{C}$. Temperature podzemnih voda u pravilu odražavaju vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka koje vladaju na područjima prihranjivanja (Anonymus 2006).

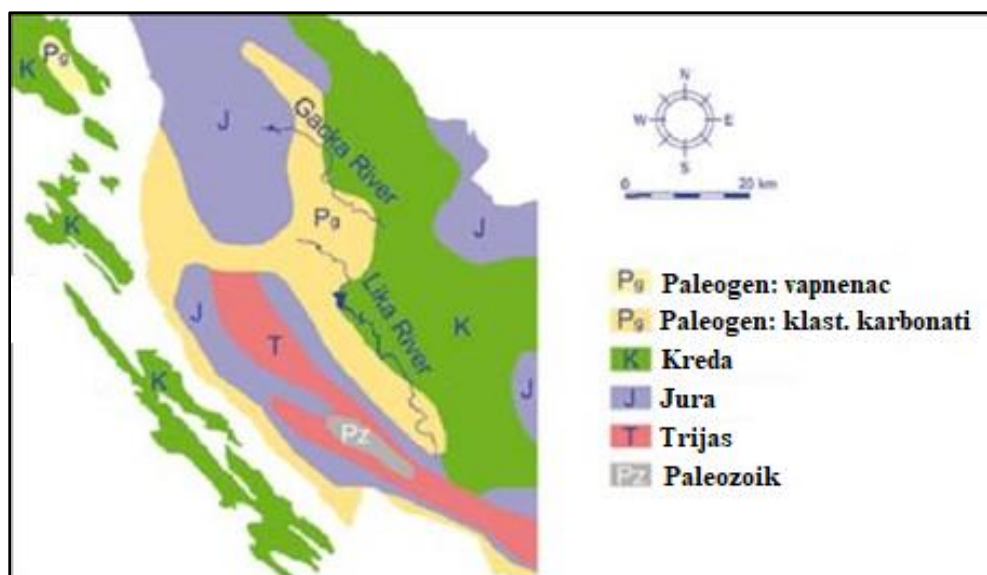
Najviši dijelovi sliva rijeke Like (više od 1200 m n. m.) imaju vlažnu borealnu klimu (Filipčić 1998, citirano iz Bonacci i Andrić 2008). Izvor Mrđenovac izvorište je rijeke Like u blizini mjesta

Medak, a nalazi se na 581 m nadmorske visine (Nadilo, citirano iz Kovač 2019), što znači da ovaj lokalitet karakterizira umjerena vlažna klima s toplim ljetima (Filipčić 1998, citirano iz Bonacci i Andrić 2008)

2.3. Litologija i hidrogeologija područja istraživanja

Najstarije stijene u slivu rijeke Like su karbonske starosti, a nalazimo ih u centralnom dijelu velebitskog masiva uz rub polja kod Brušana i u području Počitelja. Sjeverne padine Velebita sačinjava superpozicijski slijed naslaga perma, trijasa i jure. U dijelu sliva u Ličkom sredogorju dominiraju karbonatne stijene donje i gornje krede uz koje u Ličkom polju od Bilaja do Kosinja nalazimo Jelar naslage (eocen, oligocen) (Anonymus 2006). Ove su naslage, koje se sastoje mjestimično i od preko 300 m debelog paketa vapnenačkih klastita s djelomično laporovito–glinovitim interkalacijama, manje vodopropusne od ostalih vapnenačkih naslaga. Donjokredne naslage čine karbonatne stijene s prevladavajućim vapnenačkim brečama. Paleogenske naslage također prate dolinu rijeke Like s pružanjem u pravcu SZ-JI (Anonymus 2018). Fluvioglacijalne i aluvijalne naslage taložene su u najnižem dijelu polja uz korita rijeka Like i pritoka. Tektonska jedinica Velebit, u osnovi antiklinalne strukture s nepropusnim paleozojskim i trijaskim naslagama u jezgri ograničava sliv s jugozapadne strane i sprječava direktno otjecanje prema moru. Područje polja i sredogorja je relativno spušten teren gdje su nepropusne naslage na većoj dubini, pa se zona dinamičkih promjena podzemne vode pojavljuje u propusnim naslagama. U sušnom razdoblju u tom dijelu sliva su vodotoci suhi, a podzemne vode se ispod suhих korita rijeka (Jadova i Glamočnica) dreniraju prema Lici. Prestankom funkcije Velebitske barijere u području doline Bakovca prestaje pojava izvora, a prema Lipovom polju zamjenjuje ju zona estavela i ponora. Rijeka Lika nije ovdje lokalna erozijska baza (Anonymus 2006).

Izrazita riječna mreža na zapadu Ličkog polja uvjetovana je kontaktom permskih i trijaskih nepropusnih stijena s propusnim vapnencima i dolomitima trijasko i jurske starosti (Slika 6). Izvor podzemne vode zahvaćene predmetnom lokacijom je zatvoreni vodonosnik s krškom pukotinskom poroznošću, koji napaja vodeni izvor, formiran u vapnencima kredne starosti (Anonymus 2018).



Slika 6. Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja (preuzeto iz Bonacci i Andrić 2008).

Činjenica da Lika duž svog toka ima brojne dionice na kojima se voda gubi u krško podzemlje poznata je, iako ne i dovoljno detaljno izučena, tj. potkrijepljena odgovarajućim terenskim mjerenjima (Pavičić i sur. 2001). Stepinac (1983) je upozorio na potencijalni gubitak vode iz korita Like, ali nije iznosio pretpostavke gdje se te vode ponovno pojavljuju na površini. S obzirom na površinsku topografiju terena, ali i na postojanje hidrogeoloških barijera (geologija terena), moguće je da sve vode rijeke Like koje poniru ne idu isključivo u smjeru Jadranskog mora. Količine vode koje poniru iz korita Like promjenjive su, a ovise o razinama podzemnih voda krških vodonosnika. Svojstva i postojanje veze te funkcioniranje dvaju susjednih krških vodonosnika Like i Gacke nedovoljno su istraženi da bi se u tom smislu mogle postaviti znanstveno utemeljene hipoteze (Bonacci i Andrić 2008).

2.4. Hidrologija rijeke Like

Rijeku Liku karakteriziraju nagle promjene vrijednosti protoka s nerijetkim presušivanjem dijelova toka, što su obilježja bujičnog hidrološkog režima (Bonacci i Andrić 2008). Presušivanje izvora Mrđenovac prikazano je i dokazano u sklopu rada Gottstein i sur. (2017) za kolovoz i rujn 2015. godine. Rijeke isprekidanog režima se sve više gledaju kao na pomične mozaike lotika

(tekuće vode), lentika (stajajuće vode) i kopnenog staništa. Prostorni raspored, vremenski intervali pojavnosti cikličkih promjena i povezanost ovih staništa kontroliraju se veličinom, učestalošću, trajanjem i opsegom događaja isušivanja i ponovnog uspostavljanja protoka. Također, odražavaju heterogenost staništa i kontroliraju biološku raznolikost te biogeokemijske procese u rijekama nestalnog toka (Datry i sur. 2016).

Kada je riječ o cirkulaciji vode i hidrološkom režimu, situaciju dodatno komplicira čovjekov utjecaj pri izgradnji i šezdesetogodišnjem korištenju složenog hidrotehničkog sustava. Kombinacija prirodnih i antropogenih utjecaja otežava definiranje dinamike vodnog režima i vodnih resursa (Bonacci i Andrić 2008). Na bazi visinske razlike gornjeg višeg dijela Ličkog polja (560 m n.m.) i nižeg dijela u području Kosinja (480 m n. m.) načinjena je brana u Sklopama čime je ostvareno akumulacijsko jezero u dolini Krušćica, a vode su u koritu Like usporene sve do Gospića. Vode se koriste na pribranskoj strojarnici Sklope odakle Likom teku do Selišta, pa tunelom u sliv Gacke, te koritom i hidrotehničkim objektima prema HE Senj kod Jurjeva. Prema rijeci Lici u području ovog sliva drenira se površinski i podzemno vodom bogato planinsko područje Velebita i široko krško područje Ličkog polja i Sredogorja (Anonymus 2006). Masiv srednjeg Velebita, koji pripada slivu rijeke Like, odlikuje se velikom širinom, a sastoji se iz niza odvojenih bila i vrhova visine preko 1000 metara između kojih su smještene doline i manja krška polja. To je područje na kojem padne najviše oborina koje otječu lijevim pritocima rijeke Like (Počiteljica, Novčica, Otešica, Bakovac). Oborinama siromašnija je područje Ličkog polja i Sredogorja u kojima glavni vodotoci desne pritoke Like, Jadova i Glamočnica, u ljetnim mjesecima presuše (Anonymus 2006). Trasiranjem su dokazane brze podzemne veze između ponora u Lici i priobalnih izvora (> 10 cm/s), što upućuje na tečenje otvorenim podzemnim kanalima. Velebit sjeverno od doline Bakovca nije hidrogeološka barijera, jer su nepropusne paleozojske i trijaske naslage uzduž Bakovačkog rasjeda spuštene na veću dubinu, što je omogućilo podzemno otjecanje voda iz unutrašnjosti Like prema moru (Anonymus 2006).

Na odabranim izvorima u Lici (koji pripadaju slivu rijeke Dunav), u sklopu rada Brkić i sur. (2020) evidentirano je punjenje vodonosnika oborinama, na što utječu mediteranske zračne mase. Na području istraživanja (ali istočno od Malog i Velikog vrela Ličke Jesenice) sastav stabilnih izotopa mjeren je jednom, na šest izvora (izvor Koreničke Rijeke, Kameniti vrelac, Koreničko vrelo, Makarevo vrelo te Mlinac i Stipinovac) u slivu rijeke Une. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ (omjer stabilnih izotopa ^{18}O i ^{16}O) bile su u rasponu od 10,2 ‰ do 10,9 ‰ i od 67,1 ‰ do 71,9 ‰ za $\delta^2\text{H}$ što je vrlo

slično srednjem izotopskom sastavu Malog i Velikog vrela Ličke Jesenice. Istovremeno, na izvorima koji pripadaju području Like u slivu Jadranskog mora (Majerovo vrelo, Klanjac, Tonkovića vrelo, Grab, Marusino vrelo, Jaz i Knjapovac), srednje vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ bile su u rasponu od 8,0 ‰ do 10,2 ‰, kao i 50,0 ‰ do 71,0 ‰ za $\delta^2\text{H}$. Svi izvori, uključujući i one u slivu Dunava i one u slivu Jadranskog mora, nalaze se na sličnim nadmorskim visinama, pa su razlike između sastava stabilnih izotopa izvora mogle biti uzrokovane „kontinentalnim učinkom“, koji se također naziva utjecaj udaljenosti od obale (Brkić i sur. 2020). Međutim, u ovom slučaju, udaljenost od mora vjerojatno nije glavni razlog jer su razlike u udaljenosti od mora neznatne (cca 20 kilometara). Iako su izvori na sličnim nadmorskim visinama, visine s kojih se prihranjuju su različite. Kako nadmorska visina terena raste, $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u oborinama postaju iscrpljeniji. Ovaj učinak je u korelaciji s temperaturom zraka koja opada pri povećanju nadmorske visine. $\delta^{18}\text{O}$ općenito varira između -0,1 ‰ i -0,6 ‰/100 m nadmorske visine i često opada s povećanjem nadmorske visine (Brkić i sur. 2020). Primjena opisane metodologije ovog rada putokaz je k boljem razumijevanju porijekla i starosti vode, ali i hidrologije ciljanog područja sa svojim hidrološkim i topografskim slivom.

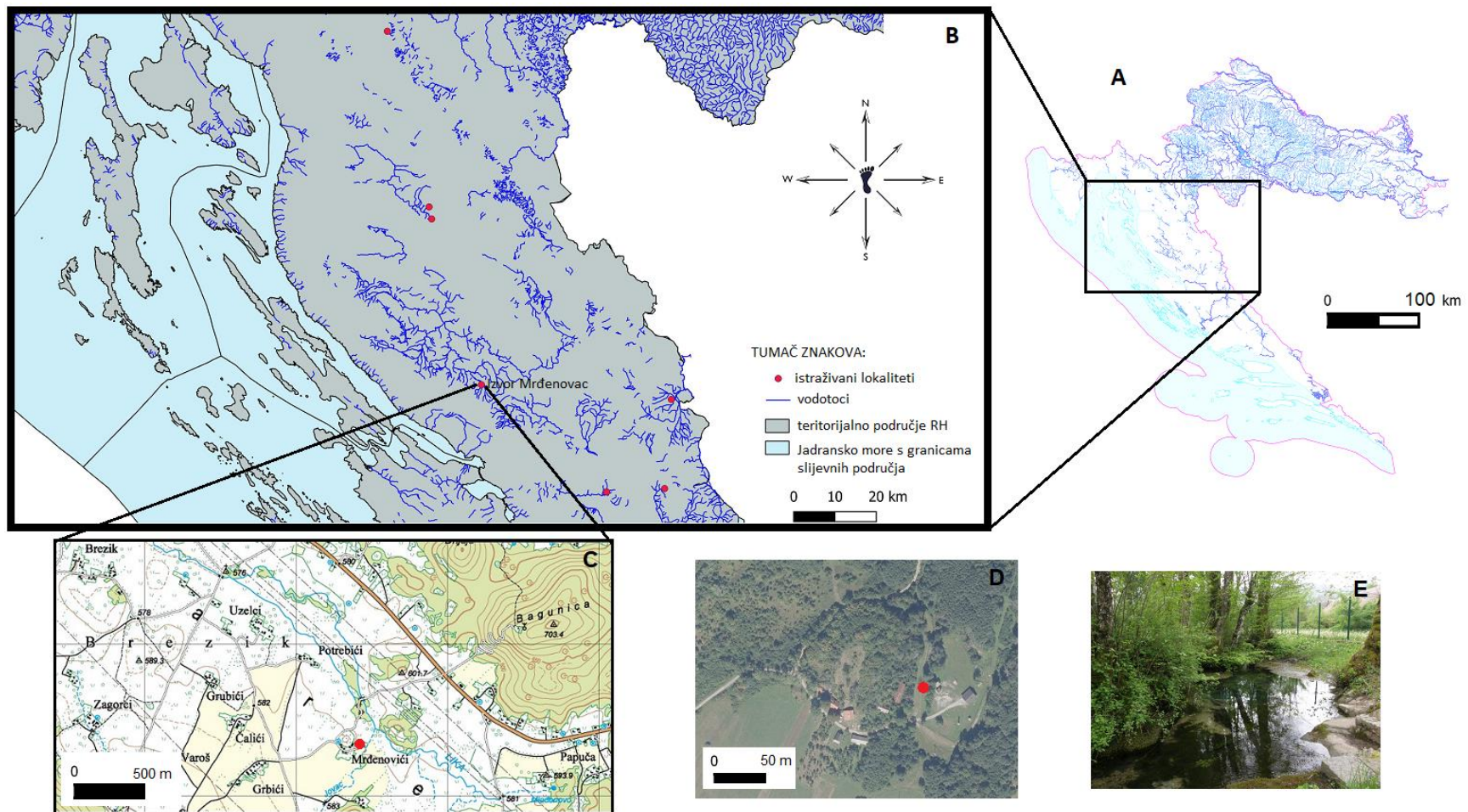
Činjenica je da se sliv u kršu može vrlo brzo mijenjati tijekom vremena u zavisnosti od naglih promjena razina podzemnih voda. Intenzivne oborine koje se javljaju u ovoj regiji mogu uzrokovati prelijevanje voda iz jednog u drugi sliv (Bonacci 2015). Brojne analize upućuju na neuobičajeno i neočekivano hidrološko ponašanje dviju rijeka od interesa (Like i Gacke), čak i za dubok i dobro razvijen dinarski krški teren u kojem su razvijeni njihovi slivovi (Bonacci i Andrić 2008; Anonymus 2006). Rijeka Lika ima potpuno bujičan i povremen hidrološki režim te vrlo često presuši. Također, visoka je vjerojatnost da topografski slivovi rijeke Like ne odgovaraju njezinim hidrološkim slivovima (Bonacci i Andrić 2008).

2.5. Opis istraživanog lokaliteta

Izvor Mrđenovac istraživan je u okviru projekta MULTISEK (Multimetrički sustav evaluacije krenobiocenoza) u okviru kojeg je sustavno istraženo dvadeset krških izvora Hrvatske (Gottstein i sur. 2017). Položaj dijela istraživačkih postaja prikazano je na preglednoj karti samo s označenim položajem istraživačke postaje Mrđenovac, kao jednoj od izvora rijeke Like (Slika 8). Istraživani izvor i izvorišni tok smješteni su u zaselku Mrđenići kod Medaka. Uz sami izvor Mrđenovac smještena je pumpna stanica koja je dio vodoopskrbnog sustava (Slika 7). Izvor i izvorišni tok prikazani su u različitim hidrološkim fazama (Slika 9 i 10).



Slika 7. Istraživani lokalitet Mrđenovac s crnom stanicom (foto. Sanja Gottstein).



Slika 8. Prikaz položaja istraživane lokaliteta Mrdenovac: A) karta Hrvatske sa označenim kvadratom šireg istraživane područje (karta izrađena u QGIS-u); B) karta šireg istraživane područja s prikazom položaja izvora Mrdenovac u odnosu na ostale istraživane izvore u okviru projekta MULTISEK (karta izrađena u QGIS-u); C) odsječak izvorišnog područja rijeke Like s prikazom položaja istraživane lokaliteta (karta preuzeta s <http://preglednik.arkod.hr/>); D) ortofoto snimak izvorišnog područja Mrdenovac s prikazom položaja istraživane lokaliteta (snimka preuzeta s <http://preglednik.arkod.hr/>); E) izvor Mrdenovac (foto. S. Gottstein, 11.05.2016.).



Slika 9. Istraživani izvor Mrdenovac: A) suha faza (23.09.2015); B) stajaća voda (11.09.2016); C) bez protoka (20.07.2015.); D) s niskim protoka (07.07.2016); E) s visokim protokom (30.10.2015.); (F) s ekstremno visokim protokom (22.01.2014.) (foto. Sanja Gottstein).



Slika 10. Istraživani dio izvorišnog toka Mrđenovac: A) suha faza (11.09.2016.); B) bez protoka (20.07.2015.); D) s prosječnim protokom (21.04.2015.); E) s ekstremno visokim protokom (22.01.2014.) (foto. Sanja Gottstein).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Provedenim terenskim istraživanjima prikupljeni su uzorci vodenih beskralješnjaka, mahovina i makrofitske vodene vegetacije te izmjereni fizikalno-kemijski parametri vode. Uzorci su prikupljeni prema uputama zakonski propisanog dokumenta „Metodologija uzorkovanja laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće” (Hrvatske vode, 2015), u cilju utvrđivanja prostorne i vremenske dinamike sastava zajednica vodenih beskralješnjaka u povremenom krškom izvoru Mrđenovac, jednom od izvora rijeke Like (Slika 11).



Slika 11. Izvor Mrđenovac (27.03.2014.) (foto. Sanja Gottstein).

3.2. Dinamika terenskih istraživanja

Terenska istraživanja izvora i izvorišnog toka Mrđenovac su provedena u razdoblju od siječnja 2014. do prosinca 2016. godine. Za potrebe ovog diplomskog rada detaljno su analizirani uzorci iz razdoblja od siječnja 2014. do svibnja 2015. godine. Tijekom provedenih terenskih istraživanja provedena su *in situ* mjerenja osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode te uzorkovanje faune vodenih beskralježljaka dinamikom koja obuhvaća minimalno četiri godišnja doba godišnje (Tablica 9, Slika 12).



Slika 12. Titriranje vode na izvoru Mrđenovac u svrhu određivanja alkaliniteta (30.11.2015.)
(foto. Ivica Barač).

3.3. Metode terenskih istraživanja

3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka

Uzorkovanje vodenih beskralježnjaka na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac provedeno je prema modificiranom AQEM protokolu koji podrazumijeva zasebno konzerviranje uzoraka vodenih beskralježnjaka s različitih mikrostaništa tj. anorganske komponente ili tipa supstrata te

organske komponente ili makrofitske vodene vegetacije s obzirom na njihov postotni udio u odsječku istraživanih izvora i izvorišnog toka.

Uzorci su prikupljeni kracer mrežom 25×25 cm, promjera oka $200 \mu\text{m}$ te u dužini od 100 m na području izvora i izvorišnog toka (Slika 13). Tijekom uzorkovanja faune mjerena je minimalna i maksimalna dubina vode na mjestima uzorkovanja vodene faune. Uzorkovana površina sezonskih uzoraka iznosila je $1,25 \text{ m}^2$ (ukupno 20 poduzoraka).

Na izvoru i u izvorišnom toku Mrđenovac vodeni beskraljčnjaci uzorkovani su dominantno na organskom supstratu u kojem je u prvih 50 metara toka dominirala mahovina, a u preostaloj polovici analiziranog toka podjednaka zastupljenost vodenih mahovina i ostale makrofitske vodene vegetacije (Slika 14). Anorganski supstrat na kojem su prikupljeni uzorci obuhvaća psamal (pijesak, $0,063 \text{ mm} - 0,2 \text{ cm}$), akal (šljunak, $0,2 - 2 \text{ cm}$) i mikrolital (veće valutice, $6 - 20 \text{ cm}$), svaki s neznatnim udjelom argilala (mineralno mikrostanište sastavljeno od gline i anorganskog mulja, veličine $< 6 \text{ mm}$) (Tablica 9, Slika 15 i 16).

Tablica 9. Prikaz razdoblja istraživanja te tipova i broja poduzoraka vodenih beskraljčnjaka izvora i izvorišnog toka Mrđenovac s procijenjenim udjelom organskog i anorganskog supstrata na istraživanom odsječku vodotoka u dužini od 100 m od izvorišnog sifona.

Datumi istraživanja	Procijenjeni udio organskog i anorganskog supstrata	
22.1.2014.	20 × FITAL (MAHOVINA)	
20.2.2014.	20 × FITAL (MAHOVINA)	
27.3.2014.	20 × FITAL (MAHOVINA + MAKROFITI) NA AKALU	
12.07.2014.	15 × FITAL (MAHOVINA)	5 × AKAL – ARGILAL
10.8.2014.	16 × FITAL (MAHOVINA)	4 × PSAMAL – ARGILAL
8.10.2014.	14 × FITAL (MAHOVINA + MAKROFITI)	6 × MIKROLITAL – ARGILAL
25.11.2014.	20 × FITAL (MAHOVINA)	
05.01.2015.	16 × FITAL (MAHOVINA)	4 × MIKROLITAL – AKAL – ARGILAL
11.05.2015.	16 × FITAL (MAHOVINA)	4 × AKAL – ARGILAL
Broj poduzoraka	157 poduzoraka na organskom supstratu	24 poduzorka na anorganskom supstratu
UKUPAN BROJ UZORAKA	14	

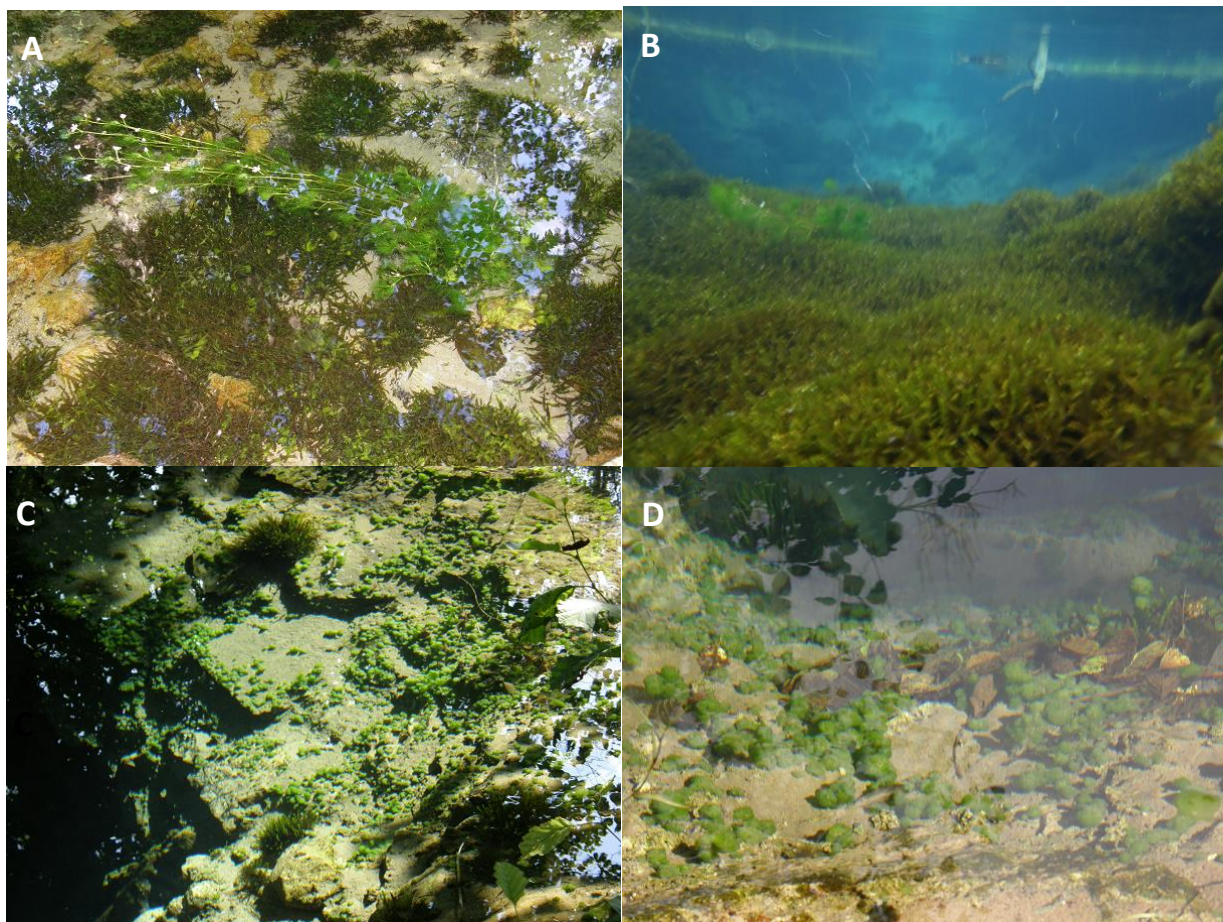


Slika 13. Metodologija terenskih istraživanja na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac: A) korištenje kracer mreže 25×25 cm (05.01.2015.); B) provjera prikupljenog uzorka i otklanjanje anorganskog i organskog materijala; C) prikaz korištene terenske opreme (obrazac, fotoaparati, dubinomjer, set za titraciju, kracer, bentos mreža i kadica te velika kapalica za odvajanje rijetkih primjeraka faune za potrebe fotografiranja ili odvojenog konzerviranja) (foto. Ivica Barača i Sanja Gottstein).



Slika 14. Prikaz razlika u pokrovnosti vodene vegetacije u izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac:

A) izvor nakon visokih protoka s iznimno malom zastupljenošću vodenih mahovina (14.04.2014.); B) izvor s gusto razvijenim busenima vodene mahovine u jesen tijekom cjelogodišnjeg protoka (16.09.2014.); C) izvorišni tok s vrlo malom pokrovnošću makrofitskom vegetacijom za vrijeme ekstremnih protoka tijekom zime (22.01.2014.); D) izvorišni tok s gusto razvijenom vodenom makrofitskom vegetacijom u području poplavne šume crne johe 70 m nizvodno od izvorišnog sifona (14.04.2014.) (foto. Sanja Gottstein).



Slika 15. Prikaz detalja izvorišnog sifona A) s makrofitskom vodenom vegetacijom (07.06.2014.); B) podvodni snimak izvora gusto obrastao vodenim mahovinama (23.03.2016.); C) i D) s algama (10.08.2014. i 16.09.2014.) (foto. S. Gottstein).



Slika 16. Prikaz detalja izvorišnog toka s mahovinom *Fontinalis antipyretica* Hedwig (16.09.2014.) i raznolikom makrofitskom vodenom vegetacijom (14.04.2014.) (foto. S. Gottstein).

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 (μScm^{-1}), a optičkom sondom FDO 925 mjerena je količina otopljenog kisika u vodi (mgL^{-1}) te zasićenje vode kisikom (%). Brzina strujanja vode (m/s) mjerena je brzinomjerom Dostmann electronic P600. Titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom (HCl) uz indikator „metil oranž“ (*methyl orange*) izmjerena je alkalinitet vode (kasnije izražen u $\text{mg CaCO}_3 \text{ mgL}^{-1}$) prema standardnom protokolu (APHA, 1995).

3.3.3. Analiza i preuzimanje podataka o protokama

Protoke predstavljaju volumen vode koja protiče kroz neku proticajnu površinu u jedinici vremena. U hidrometriji se protoke najčešće iskazuje u kubnim metrima u sekundi (m^3/s) ili u litrama u sekundi (L/s). Protoke su izvedena veličina koja se, kao takva, najčešće određuje posredno – mjerenjem brzine strujanja vode i površine proticajnog presjeka. Za mjerenje brzine strujanja vode rabe se pritom različite vrste instrumenata – od klasičnih hidrometrijskih krila do sofisticiranih ultrazvučnih i elektromagnetskih uređaja. Površina proticajnog profila određuje se geodetskim i batimetrijskim snimanjem konfiguracije terena (Gottstein i sur. 2017).

Protoke za rijeku Liku su preuzete ne samo za datume tijekom kojih su uzorkovani uzorci vodenih beskralješnjaka već za duže vremensko razdoblje (1.1.2012. do 31.12.2015. godine) za mjernu postaju Bilaj (red. br. 8005) od DHMZ-a, Sektora za hidrologiju (<https://hidro.dhz.hr/>) koji nam je ustupio podatke za potrebe projekta MULTISEK (Gottstein i sur. 2017). Razlog uzimanja većeg seta podataka je potaknut činjenicom kako 2014. godina nije bila tipična godina u hidrološkom smislu zbog iznimno velike količine oborina tijekom ljeta i atipične situacije na izvoru Mrdenovac, koji te godine nije presušio tijekom ljetnih i ranih jesenskih mjeseci.

3.4. Metode laboratorijskih istraživanja

3.4.1. Laboratorijske analize vode

Kemijska potrošnja kisika (KPK) u uzorku vode mjerena je spektrofotometrom Cole Parmer Unico 2100. KPK je metoda kojom se indirektno određuje ukupnu koncentraciju oksidabilnih sastojaka u vodama te je stoga vrlo važna metoda praćenja kakvoće vode. Označava masenu koncentraciju kisika koja je potrebna da oksidiraju tvari suspendirane u 1 L vode, a izražava se u $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$. Kao oksidacijsko sredstvo koristi se jaki oksidans kao što je kalijev dikromat u kiselim uvjetima tj. otopini koncentrirane sumporne kiseline. Prisutna organska tvar u prikupljenom uzorku vode razlažu se u vrućoj smjesi kalijevog dikromata i sumporne kiseline. Stoga je količina organskih tvari koje su oksidirale, izražene kao ekvivalent kisika, proporcionalna utrošku kalijevog dikromata (Clesceri i sur. 1999).

3.4.2. Laboratorijska obrada i analiza faune

Sakupljeni materijal je pregledan u laboratoriju na binokularnoj lupi Carl Zeiss Stemi 305 na povećanjima od $8\times$ do $40\times$ te su potom izolirane jedinke pojedinih skupina vodenih beskralježnjaka. Jedinke razvrstane po skupinama pohranjene su u epruvete s 80 % – tnm etanolom u koje je prethodno stavljena printerom otisnuta etiketa s nazivom skupine organizama, datumom i mjestom uzorkovanja, nazivom supstrata i brojem poduzoraka te je zabilježen broj jedinki svake skupine. Jedinke su determinirane do razine reda i/ili porodice uz pomoć determinacijskih ključeva. Kako bi se ispunili ciljevi istraživanja, jedinke pojedinih skupina su zatim determinirane do najniže moguće sistematske kategorije uz korištenje ključeva za više sistematske razine determinacije ili specijalističkih ključeva za determinaciju do razine roda ili vrste. Shema metodologije istraživanja prikazana je na Slici 17.

3.4.3. Laboratorijska obrada i analiza makrofitske vodene vegetacije

Prikupljene uzorke makrofitske vodene vegetacije determinirao je prof. dr. sc. Antun Alegro do razine vrste koristeći se specijalističkim ključevima za determinaciju. Popis utvrđenih vrsta na

izvoru Mrđenovac prikazan je u rezultatima ovog rada kao segment koji se odnosi na organski dio supstrata na kojem su prikupljeni uzorci vodene faune beskralješnjaka.

3.5. Analiza podataka

3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode

Fizikalno-kemijski parametri uneseni su u program Microsoft Excel 2016, a u programu StatSoft Statistica 15.0.1 (StatSoft, Inc. 2012) za svaki parametar izračunate su vrijednosti opisne statistike: minimum (min), maksimum (max), raspon (R), srednja vrijednost (SV), standardna devijacija (SD), standardna pogreška (SP) i koeficijent varijabilnosti (KV).

3.5.2. Analiza protoka

Hidrološki podaci o dnevnim protokama rijeke Like preuzeti su od Sektora za hidrologiju DHMZ-a kako bi utvrdili dinamiku presušivanja te dobili uvid u dinamiku protoka po mjesecima za vremenski raspon od 1.1.2012. do 31.12.2015. godine koristeći se gore navedenim pokazateljima opisne statistike.

3.5.3. Analiza zajednica vodenih beskralješnjaka

Analiza sastava zajednica makroskopskih beskralješnjaka se provodila u računalnim programima Microsoft Excel 16, Primer v.6 i Asterics 4.0.4. Podaci o brojnosti jedinki pojedinih skupina uneseni su u Microsoft Excel 2016 gdje je izračunata gustoća jedinki po 1 m². Rezultati su prikazani pomoću stupičastih grafova kako bi se usporedila brojnost jedinki i relativni udjeli po skupinama na različitim supstratima tijekom pojedinih sezona. Za utvrđivanje raznolikosti zajednice na pojedinim istraživanim izvorima tijekom istraživanih sezona izračunati su sljedeći indeksi: Shannon – Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ) te Pielouov indeks ujednačenosti (J'), koristeći programski paket Primer v.6.1 (Clarke i Gorley, 2006).

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.

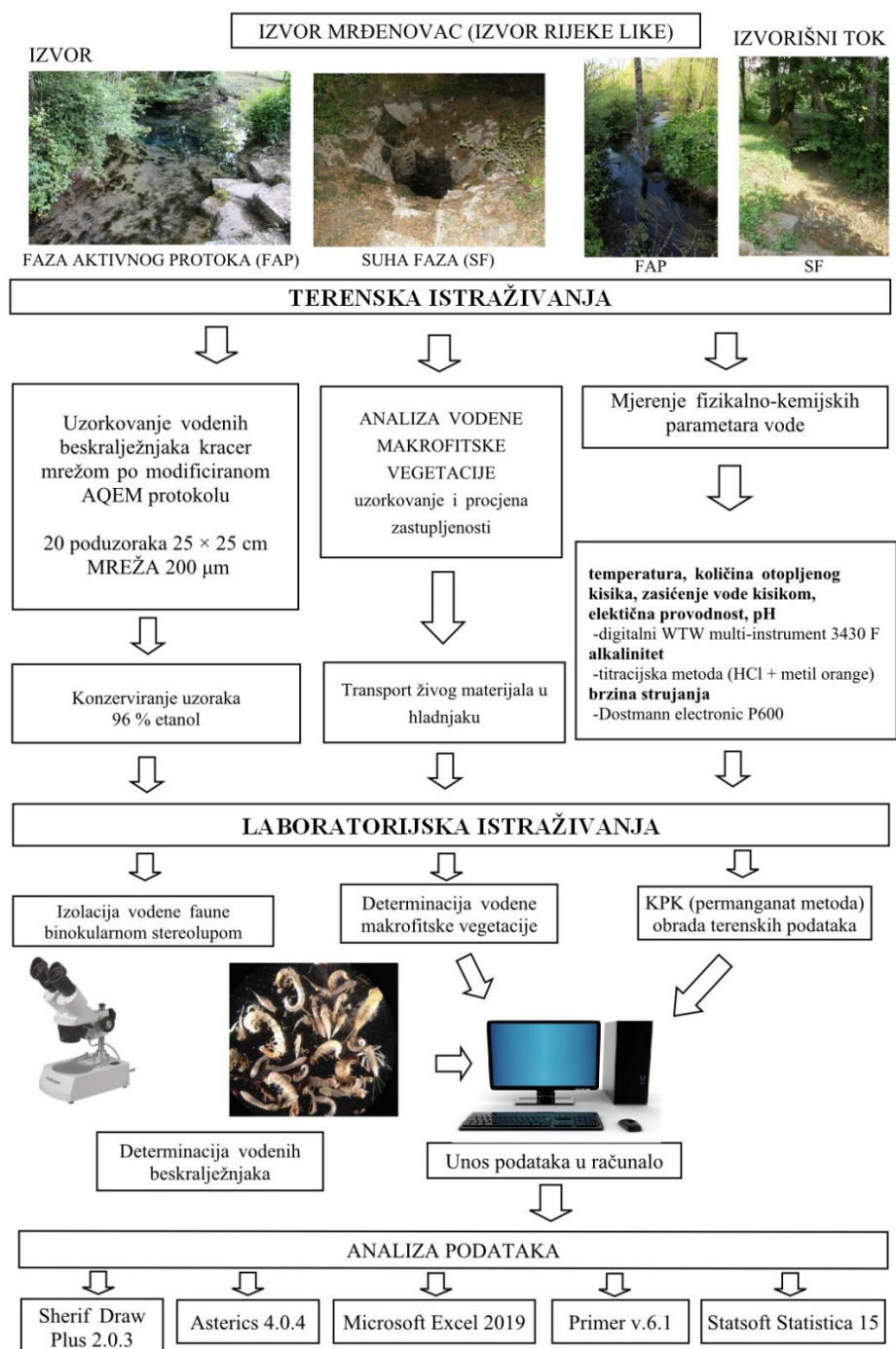
Simpsonov indeks raznolikosti (λ) izražava vjerojatnost da dvije slučajno odabrane jedinke iz zajednice pripadaju različitim kategorijama (vrstama), prema formuli: $\lambda = \sum (n_i / N)^2$, gdje je: n_i – ukupni broj jedinki vrste i i N – ukupan broj jedinki svih vrsta.

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, S – ukupni broj vrsta u zajednici.

EPT indeks izračunat je u programskom paketu Asterics 4.0.4. kao ključnu metriku vrednovanja ekološkog stanja vodotoka (AQEM Consortium, 2002).

Koristeći se programskim paketom Primer v.6.1 provedena je analiza multidimenzionalnog skaliranja (engl. *multidimensional scaling analysis*. MDS) temeljena na Bray – Curtis – ovom indeksu sličnosti, kako bi se utvrdila sličnost zajednica različitih mikrostaništa na logaritamski transformiranim podacima ($\log(x+1)$) brojnosti pojedinih svojti u istraživanim sezonskim uzorcima tijekom istraživanog razdoblja (Clarke i Gorley 2006).



Slika 17. Shematski prikaz metodologije terenskih i laboratorijskih analiza i protokola.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

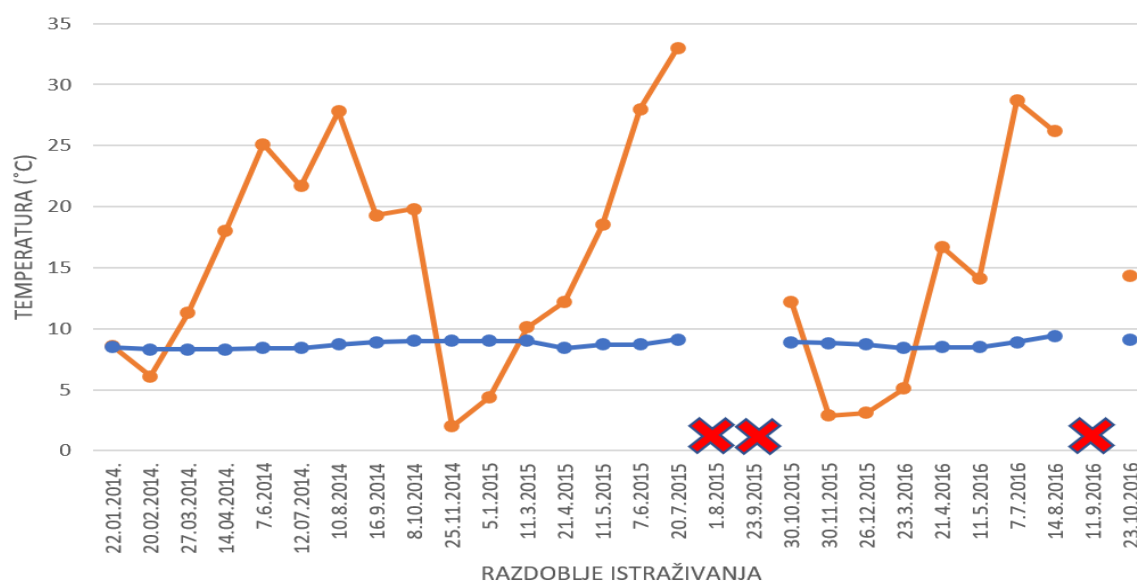
Tijekom provedenih istraživanja u razdoblju od siječnja 2014. do prosinca 2016. godine praćeno je ukupno sedam fizikalno kemijskih parametara vode, pri čemu je ukupni broj mjerenja na izvoru Mrđenovac u rasponu od 19 do maksimalno 25, obuhvaćajući barem sezonska mjerenja godišnje. Primjenom statističkih analiza utvrđeni su pokazatelji opisne statistike i dinamika parametara koji su prikazani u Tablici 10. Među praćenim parametrima vode iz tablice je vidljiva najviša vrijednost koeficijenta varijabilnosti za kemijsku potrošnju kisika (KPK) u iznosu od gotovo 47 %, dok najniži koeficijent varijabilnosti ima temperatura vode od samo 3,5 %. Temperatura vode i pH vrijednost vode imaju najmanju razliku raspona vrijednosti, pri čemu temperatura vode ima samo 1,1 °C raspon vrijednosti s iznosima od 8,30 do 9,40 °C, a pH vrijednost vode od samo 0,45 razlike raspona vrijednosti s iznosima u lužnatom području od 7,39 do 7,84 i koeficijentom varijabilnosti od samo 1,65 %. Najviša vrijednost razlike raspona vrijednosti zabilježena je za električnu provodnost i iznosi 86 μScm^{-1} iako je koeficijent varijabilnosti nizak i iznosi samo 7 % (Tablica 10). Detaljan opis i grafički prikaz pojedinih parametara je u poglavljima 4.1.1. do 4.1.7.

Tablica 10. Opisna statistika fizikalno-kemijskih parametara vode u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrđenovac izmjerenih tijekom uzorkovanja uzoraka vodenih beskralješnjaka od siječnja 2014. do prosinca 2016. godine: Tz – temperatura zraka, Tv – temperatura vode, O₂ – količina otopljenog kisika u vodi, pH – koncentracija vodikovih iona, σ – električna provodnost, CaCO₃ – koncentracija kalcij-karbonata, KPK – kemijska potrošnja kisika.

PARAMETRI	N	SV	min	max	R	SD	KV (%)	SP
Tz (° C)	25,00	15,57	2,00	33,00	31,00	9,17	58,88	1,83
Tv (° C)	25,00	8,72	8,30	9,40	1,10	0,31	3,52	0,06
O ₂ / mgL ⁻¹	25,00	9,08	5,75	10,80	5,05	1,07	11,83	0,21
O ₂ / %	24,00	84,50	53,30	111,30	58,00	11,54	13,66	2,36
pH	25,00	7,60	7,39	7,84	0,45	0,13	1,65	0,03
σ / μScm^{-1}	25,00	363,36	317,00	403,00	86,00	25,44	7,00	5,09
CaCO ₃ / mgL ⁻¹	25,00	196,34	175,00	225,00	50,00	13,73	7,00	2,75
KPK (mg O ₂ L ⁻¹)	19,00	1,01	0,24	1,96	1,72	0,47	46,57	0,11

4.1.1. Temperatura vode

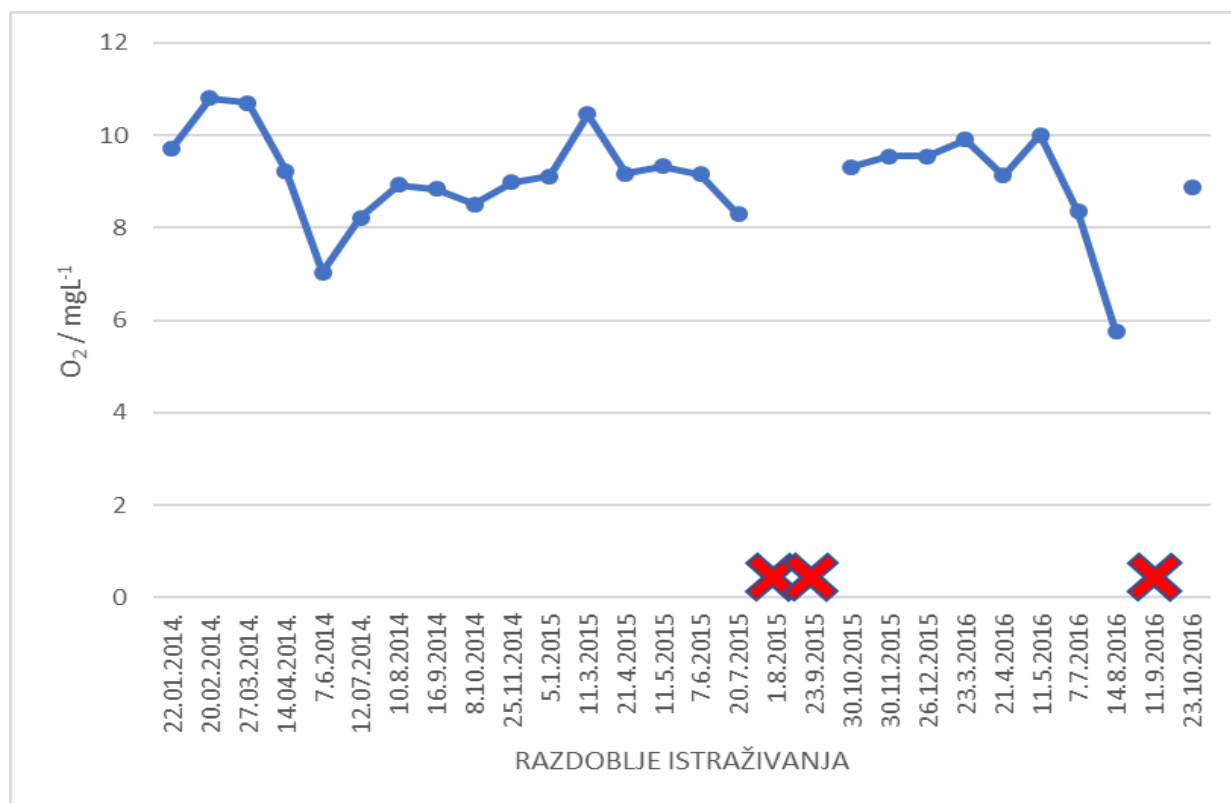
Rezultati terenskih mjerenja (od siječnja 2014. do listopada 2016. godine) ukazuju na relativno nizak stupanj godišnje varijabilnosti temperature vode na izvoru Mrđenovac (Slika 18). Raspon temperature vode je tijekom razdoblja istraživanja bio od 8,3 °C (veljača, ožujak i travanj 2014.) do 9,4 °C (kolovoz 2016.) što je amplituda od 1,1 °C. Sezonalnost temperature zraka na izvoru Mrđenovac je u razdoblju istraživanja s rasponom vrijednosti od čak 31 °C. Vrijednosti temperature vode za kolovoz i rujan 2015. te rujan 2016. nisu prikazane jer je izvor za navedene datume bio suh (Slika 18).



Slika 18. Grafički prikaz odnosa temperature zraka (narančasta linija) i vode (plava linija) na izvoru Mrđenovac na navedene datume uzorkovanja u periodu od siječnja 2014. do listopada 2016. godine. TUMAČENJE ZNAKOVA: Crveni X označava datume kada je izvor bio suh.

4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika

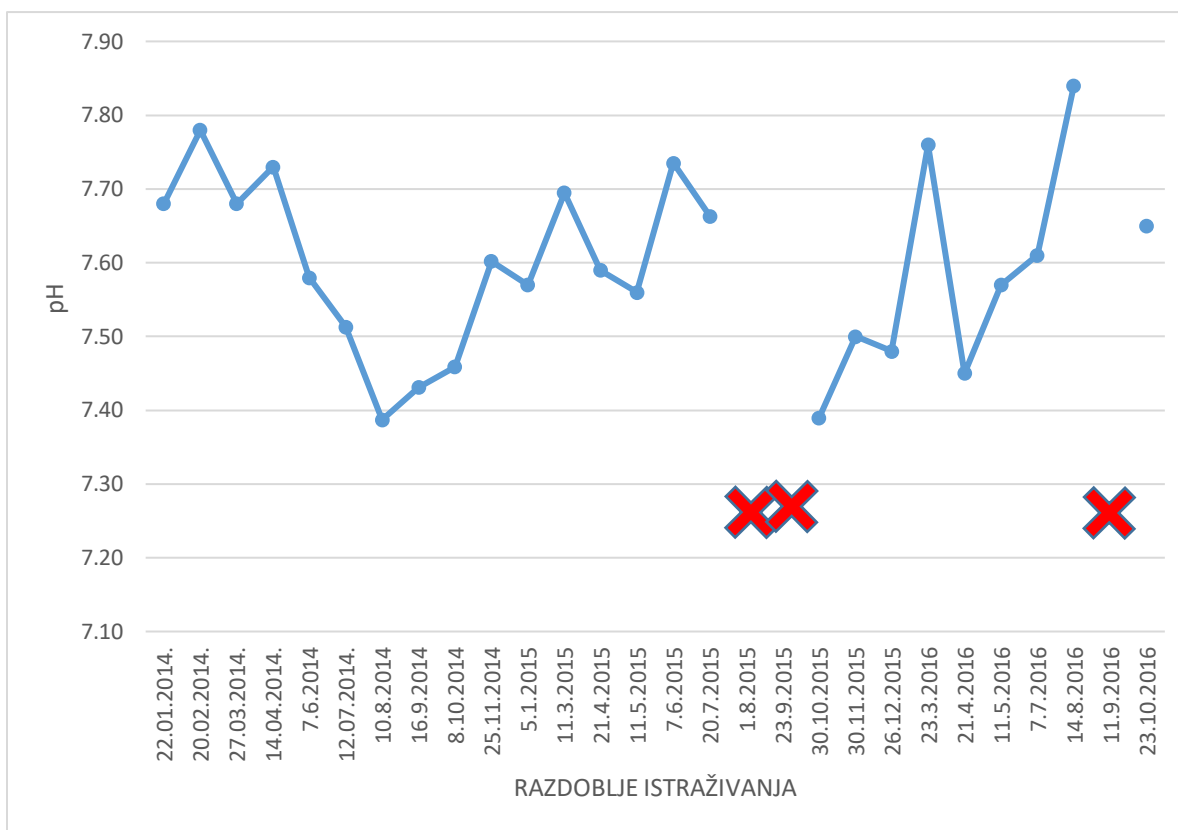
Koncentracije otopljenog kisika u vodi na izvoru Mrđenovac u razdoblju trajanja istraživanja bio je u rasponu od 5,57 mg L⁻¹ do 10,8 mg L⁻¹ (Slika 19). Najviše vrijednosti koncentracije otopljenog kisika evidentne su u hladnijim mjesecima (dominantno u veljači i travnju). Suprotno, najniže koncentracije otopljenog kisika zabilježene su tijekom ljetnih mjeseci (lipanj do kolovoz). Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika za kolovoz i rujan 2015. te rujan 2016. godine nisu prikazane jer je izvor navedenih datuma bio suh (Slika 19, Tablica 10).



Slika 19. Količina otopljenog kisika u vodi u izvoru Mrđenovac. Crveni X označava datume kada je izvor bio suh.

4.1.3. pH vrijednost vode

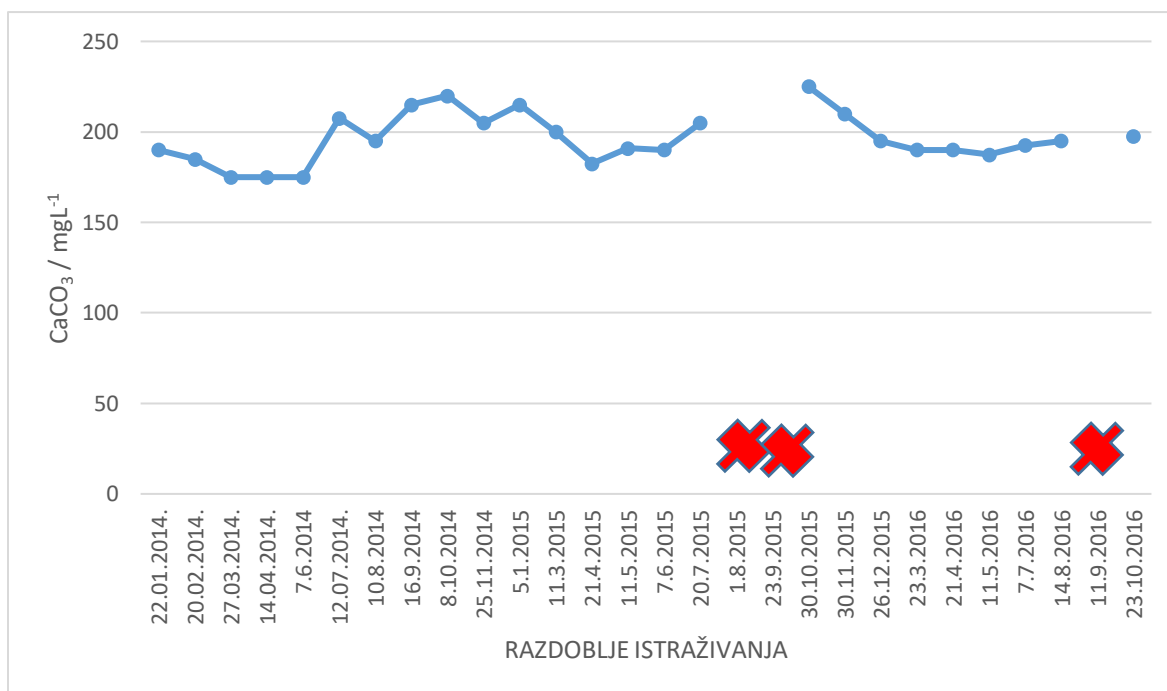
Najniža pH vrijednost vode na izvoru Mrđenovac u razdoblju istraživanja izmjerena je u kolovozu 2014. i listopadu 2015. godine i iznosila je 7,39. Najviša pH vrijednost vode izvora izmjerena je u kolovozu 2016. i iznosila je 7,84. Zabilježen raspon pH vrijednosti je vrlo malen, a sve zabilježene vrijednosti su u području lužnate vode. Vrijednosti pH vode za kolovoz i rujna 2015. te rujna 2016. godine nisu prikazane jer je izvor navedenih datuma bio suh (Slika 20, Tablica 10).



Slika 20. Vrijednosti pH vode u izvoru Mrđenovac tijekom razdoblja istraživanja. Crveni X označava datum kada je izvor bio suh.

4.1.4. Alkalinitet vode

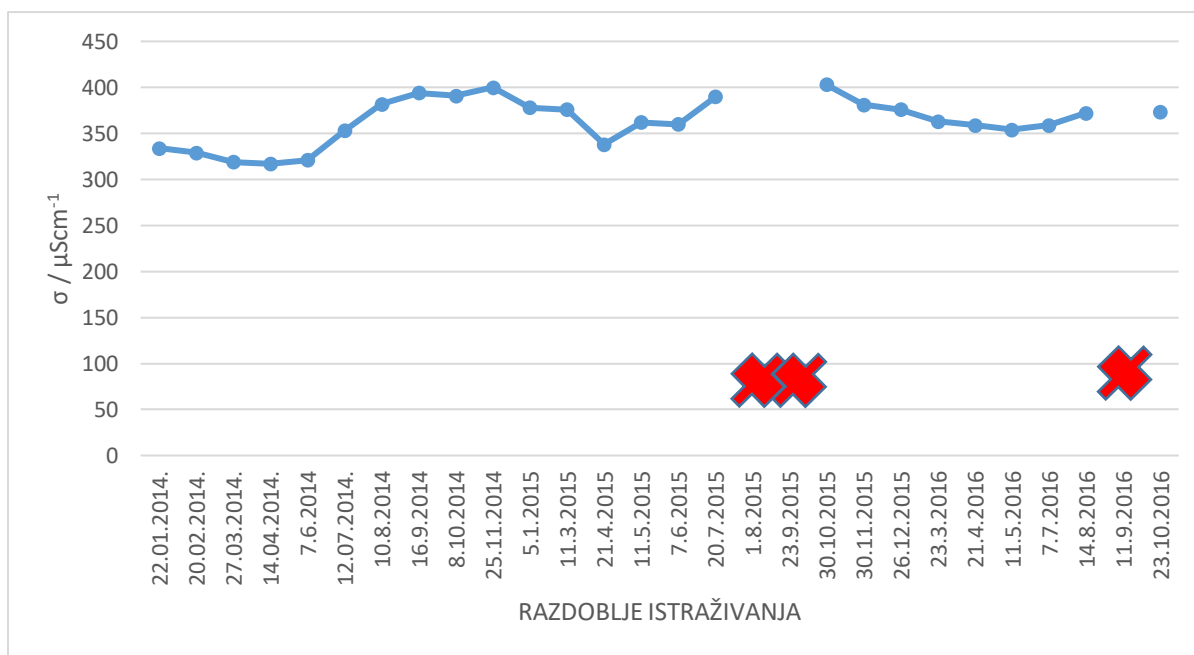
Najviša vrijednost alkaliniteta vode izvora Mrđenovac izmjerena je u listopadu 2015. i iznosila je $225 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Najniža vrijednost iznosila je $175 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ i izmjerena je u mjesecima ožujku, travnju i lipnju. Iz grafikona su vidljive velike oscilacije alkaliniteta vode tijekom ljeta i jeseni 2014. godine, kada izvor nije presušio te postupni pad vrijednosti alkaliniteta vode od jeseni 2015. godine do ljeta 2016. godine. Vrijednosti alkaliniteta vode za kolovoz i rujan 2015. te rujan 2016. godine nisu prikazane jer je izvor navedenih datuma bio suh (Slika 21, Tablica 10).



Slika 21. Alkalinitet izražen u vrijednostima količine otopljenog kalcij karbonata ($\text{CaCO}_3/\text{mgL}^{-1}$) u vodi na izvoru Mrđenovac. Crveni X označava datume kada je izvor bio suh.

4.1.5. Električna provodnost vode

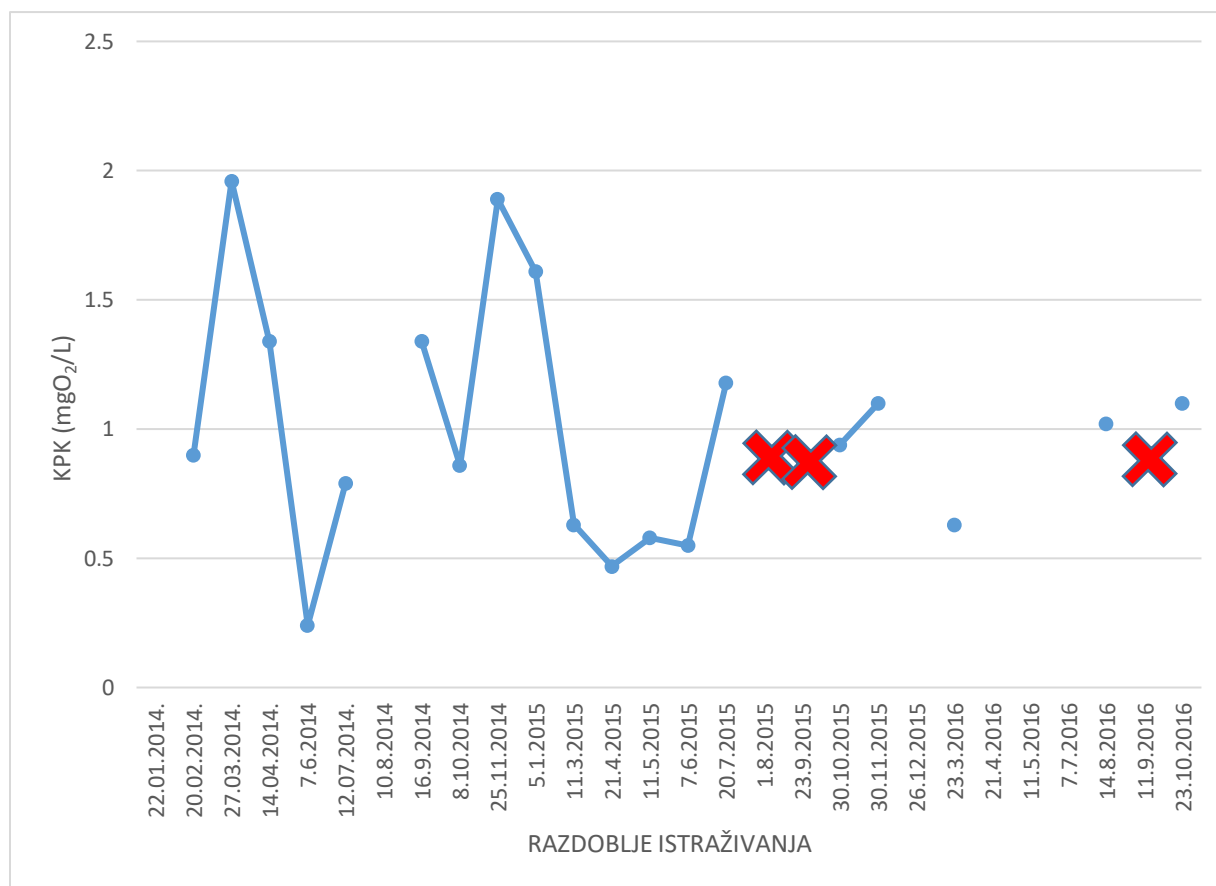
Slika 22 prikazuje periodički izmjerene vrijednosti električne provodnosti vode u razdoblju od siječnja 2014. do listopada 2016. Minimalna vrijednost u tom razdoblju iznosila je $317 \mu\text{Scm}^{-1}$ i izmjerena je u travnju 2014. godine, a maksimalna vrijednost iznosila je $403 \mu\text{Scm}^{-1}$ i izmjerena je u listopadu 2015. godine. Vrijednosti električne provodnosti vode za kolovoz i rujna 2015. te rujna 2016. godine nisu prikazane jer je izvor navedenih datuma bio suh (Slika 22, Tablica 10).



Slika 22. Električna provodnost vode na izvoru Mrđenovac. Crveni X označava datume kada je izvor bio suh.

4.1.6. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi

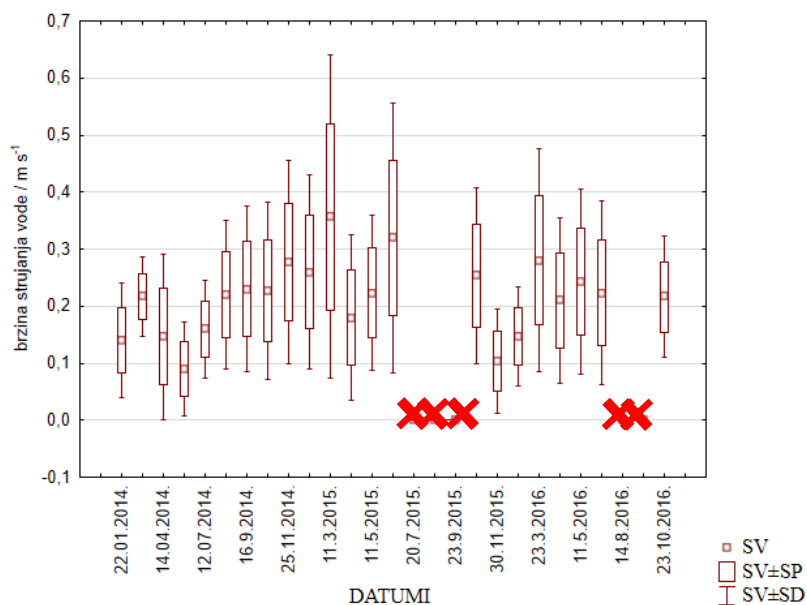
U vremenskom razdoblju istraživanja vrijednosti KPK Mn (kemijska potrošnja kisika kalijevim permanganatom) varirale su od minimalnih 0,24 mg O₂ L⁻¹ (lipanj 2014.) do maksimalnih 1,96 mg O₂ L⁻¹ (travanj 2014.). Godišnje oscilacije se smanjuju od 2014. prema 2016. godini, pa je u prvoj godini terenskog istraživanja izmjerena vrijednost od 1,96 mg O₂ L⁻¹ u 2014. godini do 1,14 mg O₂ L⁻¹ tijekom 2016. godine s malim rasponom vrijednosti od 1,72 mg O₂ L⁻¹, ali najvišom vrijednosti koeficijenta varijabilnosti među fizikalno-kemijskih parametrima vode od čak 47 %. Mjerenja KPK nisu provedena tijekom svakog uzorkovanja faune, već samo sezonski. Vrijednosti KPK vode za kolovoz i rujan 2015. te rujan 2016. godine nisu prikazane jer je izvor navedenih datuma bio suh (Slika 23, Tablica 10).



Slika 23. Kemijska potrošnja kisika (KPK) na izvoru Mrđenovac. Crveni X označava datume kada je izvor presušio.

4.1.7. Brzina strujanja vode

Brzina strujanja vode mjerena je na više mikrolokacija izvorišta (Slika 24). Najveća izmjerena brzina evidentirana je u ožujku 2015. godine ($0,67 \text{ ms}^{-1}$), a kao najnižu možemo navesti nepostojanje toka (presušivanje izvora) u više navrata. Najveća prosječna brzina mjerenja iznosila je $0,29 \text{ ms}^{-1}$, a zabilježena je u lipnju 2015. te u ožujku 2016. godine.



Slika 24. Brzina strujanja vode (m s^{-1}) na izvoru Mrđenovac u razdoblju istraživanja: SV- srednja vrijednost; SP-standardna pogreška; SD-standardna devijacija. Crveni X označava datume kada je izvor presušio.

4.1.8. Protok

Opisna statistika protoka (m^3s^{-1}) rijeke Like kod Bilaja (mjerna postaja 8005) za razdoblje od 1.1.2012 do 31.12.2015. izračunata je na temelju dnevnih protoka (Qd) za svaki analizirani mjesec (prilog 1). Minimumi protoka su dominantno ograničeni na kolovoz u promatranom razdoblju. Iznimka je 2014. godina kad se minimumi pomiču na lipanj (i srpanj), ali jedino tada se maksimum vrijednosti koeficijenta varijabilnosti pojavljuje u mjesecu kolovozu. Uočljiv je i pomak maksimalnih vrijednosti s 2012. godine na dalje, kada prelazi s prosinca iste godine na siječanj 2013. (osim vrijednosti minimuma protoka), pa već sljedeće godine u većem udjelu na veljaču (opet osim vrijednosti minimuma protoka, ali i koeficijenta varijabilnosti). Godina 2015. bilježi najznačajnije raspršenje zabilježenih maksimuma po mjesecima (Prilog 1).

4.2. Vegetacija istraživanih mikrostaništa

Devet vrsta vodenih makrofita (u osam različitih rodova) i jedna vrsta mahovina pronađeni su na istraživanim mikrostaništima (Tablica 11). Navedene vrste karakteristične su vrste vodene

vegetacije za istraživano područje Hrvatske (Lika). Šire izvorišno područje obuhvaća i šumu crne johe (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Mikrostaništa su definirana kroz kombinaciju organskog i anorganskog supstrata mozaičnog rasporeda s utvrđenih šest kombinacija poduzoraka (Tablica 8).

Tablica 11. Popis vrsta vodene vegetacije zabilježene na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac.

TIP VEGETACIJE	VRSTE
Makrofitska vodena vegetacija	<i>Epilobium hirsutum</i> L. <i>Galium mollugo</i> L. <i>Glyceria declinata</i> Bréb. / <i>notata</i> Chevall. <i>Hypericum angulosum</i> Michx. ex Willd. <i>Juncus effusus</i> L. <i>Mentha aquatica</i> L. <i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds. × <i>M. aquatica</i> L. <i>Ranunculus fluviatilis</i> Bigelow <i>Veronica anagalis-aquatica</i> L.
Mahovina	<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedwig

4.3. Bogatstvo i raznolikost zajednice vodenih beskralješnjaka

Najveći broj svojti zabilježen je u mahovini tijekom kolovoza 2014. godine (20 svojti), a najmanja vrijednost broja svojti na kompleksu mikrostaništa koje obuhvaća mikrolital, akal i argilal (osam svojti) tijekom siječnja 2015. godine. Najveća gustoća prikupljene faune zabilježena je tijekom kolovoza 2014. godine. Najveća vrijednost Margalefovog indeksa zabilježena je tijekom ožujka 2014. godine u mahovini i makrofitskoj vegetaciji. Najviše vrijednosti raznolikosti faune vodenih beskralješnjaka zabilježene su u uzorku akal – argilal tijekom srpnja 2014. godine (0,80), a najniže u uzorku istog supstrata tijekom svibnja 2015. godine (0,14). Shannon – Weinerov index (H') je mjera koja kombinira abundanciju s ravnomjernosti pojave vrsta u uzorku. Što je vrijednost veća to su uzorci bogatiji i brojčano ravnomjernije zastupljeni vrstama. Najvišu vrijednost, i kod ove inačice indeksa bioraznolikosti, bilježimo u srpnju 2014. godine (1,93). Najnižu vrijednost, očekivano, nosi uzorak akal – argilal iz svibnja 2015. godine (0,41). Pielouov indeks ili indeks ujednačenosti zajednice (J') predstavlja omjer izračunate raznolikosti zajednice i maksimalne

moгуće raznolikosti zajednice (zastupljenost svih vrsta u zajednici u jednakim udjelima). Rezultati su isti kao i kod oba prijašnja izračunata indeksa (Tablica 12).

Tablica 12. Prikaz vrijednosti za broj svojti (S), broj jedinki po m² (N), Margalefov indeks raznolikosti (d), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H'(log_e)) i Simpsonov indeks raznolikosti (1 - λ')

DATUMI / PODUZORCI	S	N	d	J'	H'(log _e)	1 - λ'
22.1.2014. MAH	12	1707	1,48	0,60	1,49	0,69
20.2.2014. MAH	15	3168	1,74	0,63	1,71	0,76
27.3.2014. MAH – MAKROF – AKAL	18	3552	2,08	0,55	1,60	0,71
12.07.2014. MAH	13	3326	1,48	0,46	1,19	0,65
12.07.2014. AKAL – ARGILAL	15	2842	1,76	0,71	1,93	0,80
10.8.2014. PSAM – ARGILAL	12	4140	1,32	0,69	1,73	0,76
10.8.2014. MAH	20	30602	1,84	0,27	0,82	0,48
8.10.2014. MAH – MAKROF	14	6102	1,49	0,48	1,26	0,64
8.10.2014. MIKROL – ARGILAL	15	1573	1,90	0,65	1,75	0,77
25.11.2014. MAH	14	3548	1,59	0,53	1,39	0,67
05.01.2015. MAH	13	2788	1,51	0,52	1,32	0,67
05.01.2015. MIKROL – AKAL – ARGILAL	8	2640	0,89	0,52	1,09	0,48
11.05.2015. MAH	17	4160	1,92	0,53	1,51	0,70
11.05.2015. AKAL – ARGILAL	12	8240	1,22	0,16	0,41	0,14

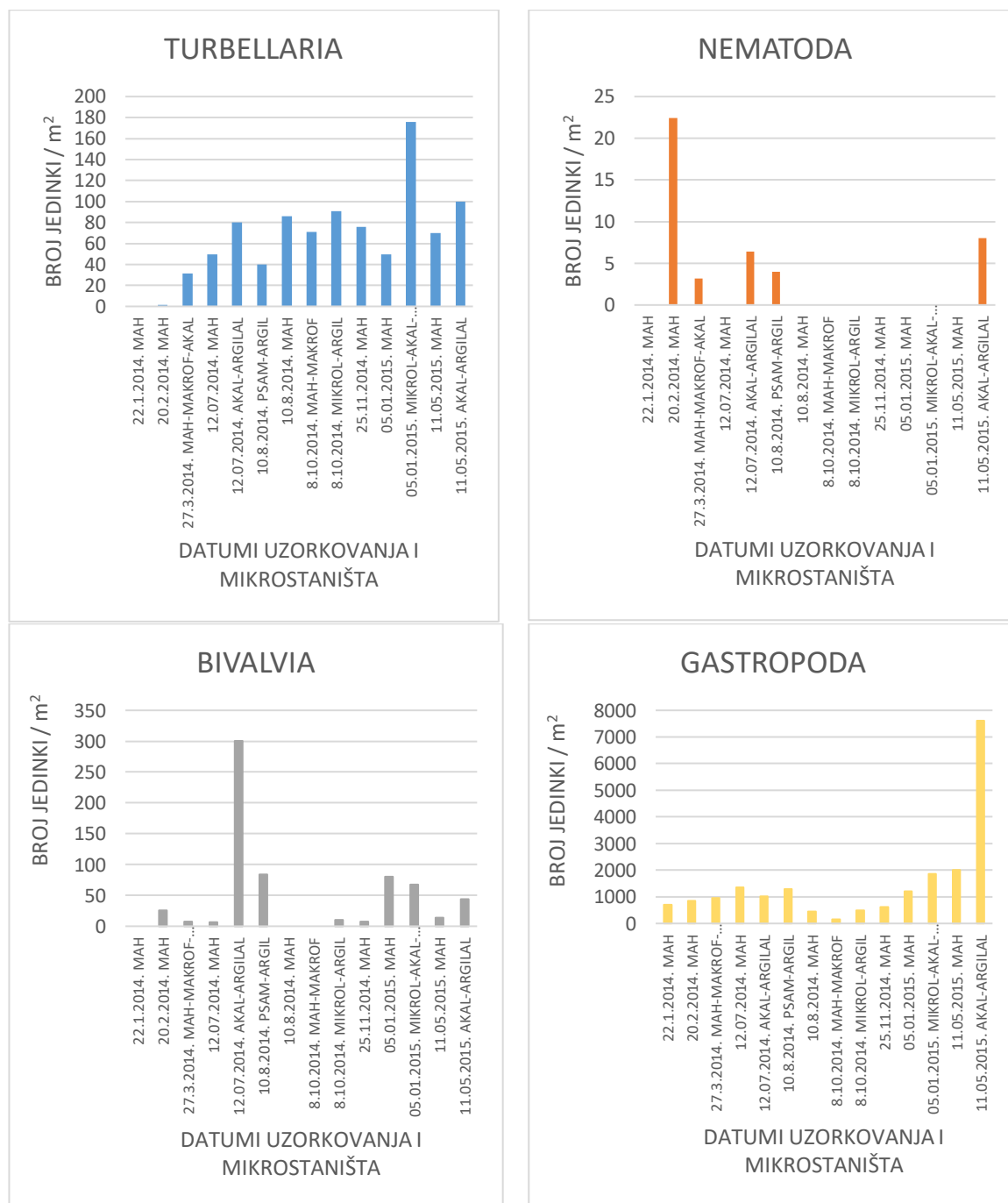
4.4. Sastav i gustoća zajednica vodenih beskralješnjaka

Tijekom provedenog istraživanja ukupno je zabilježeno 18 skupina vodenih beskralješnjaka na povremenom izvoru Mrđenovac. Zabilježeni su virnjaci (Turbellaria), oblići (Nematoda), školjkaši (Bivalvia), puževi (Gastopoda), maločetinaši (Oligochaeta) i pijavice (Hirudinea). Ukupno je zabilježeno 12 predstavnika člankonožaca. To su vodengrinje (Hydrachnidia), četiri skupine rakova (Ostracoda, Copepoda, Isopoda i Amphipoda), sedam skupina kukaca od čega jedna skupina koja nije u potpunosti vodena (Colembolla) i šest skupina vodenih kukaca (Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Heteroptera, Trichoptera, Plecoptera). Gustoća populacija gotovo svih predstavnika faune vodenih beskralješnjaka varijabilna je s obzirom na tip mikrostaništa i sezone uzorkovanja. Brojem jedinki po m² najviše se ističu rakovi iz skupine

Copepoda s vrijednostima preko 20.000 jedinki. Virnjaci (Turbellaria) tijekom cijelog istraživanog razdoblja na svim tipovima mikrostaništa i kroz sve sezone imaju gotovo ujednačen broj jedinki po m², osim tijekom zime 2014. godine kada bilježimo njihov izostanak ili iznimno malu brojnost. Najveći broj jedinki zabilježen je na mikrolitalu, akalu i argilalu tijekom zime 2015. godine. Oblici (Nematoda) imaju iznimno velike oscilacije u gustoći populacija. U velikom dijelu uzoraka prikupljenih od kolovoza 2014. godine do svibnja 2015 su u potpunosti izostali iz uzoraka, dok smo u veljači 2014. godine zabilježili najveću brojnost jedinki, međutim broj jedinki je ukupno gledano iznimno malen (manje od 25 jedinki po m²). Puževi (Gastropoda) imaju najveću gustoću populacije u svibnju 2015. na mikrostaništu akal-argilal. Njihov broj je prosječno vrlo velik u svim uzorcima s brojevima jedinki od gotov 1.500 jedinki po m². Brojnost maločetinaša (Oligochaeta) je relativno visoka gotovo u svim uzorcima s prosječno oko 100 jedinki po m², dok je brojnosti pijavica (Hirudinea) vrlo niska s prosječno dvije jedinke po m². Vodengrinje (Hydrachnidia) imaju najveću gustoću populacije u kolovozu 2014. godine na mahovini, dok je u ostalim uzorcima tijekom cijelog razdoblja istraživanja njihov broj iznimno malen ili nisu niti zabilježene u uzorcima. Među rakovima predstavnici skupine Isopoda imaju tijekom cijelog istraživanog razdoblja veliku gustoću populacija u svim uzorcima s prosječnim vrijednostima od preko 1.700 jedinki po m². Rakušci (Amphipoda) su zabilježeni na svim mikrostaništima i tijekom cijelog razdoblja istraživanja, no gustoće populacija su najveće na mahovini i makrofitskoj vegetaciji s prosječnim brojem od 410 jedinki po m². Među vodenim kukcima gustoćom populacija najviše se ističu dvokrilci s prosječnim brojem od 68 jedinki po m². Također je važno istaknuti i prisutnost obalčara od čak 35 jedinki po m² (Prilog 2).

Zastupljenost vodene faune istraživana je na 6 tipova mikrostaništa kategoriziranim prema organskom i anorganskom supstratu zabilježenom na izvoru Mrđenovac u četrnaest uzoraka (Slika 27). To su: mahovina, mahovina – makrifit, mahovina – makrifit – akal, akal – argilal, mikrolit – argilal, mikrolit – akal – argilal. Tri su reda vodenih beskralješnjaka prisutna u svim uzorcima: rakušci (Amphipoda), jednakonožni rakovi (Isopoda) te puževi (Gastropoda). Zastupljenost rakušaca varira od 27,4 % u studenom 2014. na mahovini do 1 % u kolovozu iste godine i na istom tipu mikrostaništa. Jednakonožni rakovi ne prelaze zastupljenost od 50,9 % u studenom 2014. (mahovina), a minimalne vrijednosti nisu zabilježene ispod 1,3 % (svibanj 2015., akal – argilal). Zastupljenost puževa je u rasponu od visokih 92,4 % u svibnju 2015. (akal – argilal) do 1,5 % u kolovozu 2014. izoliranih s mahovine. Zanimljivi su ekstremi pojavljivanja veslonožaca

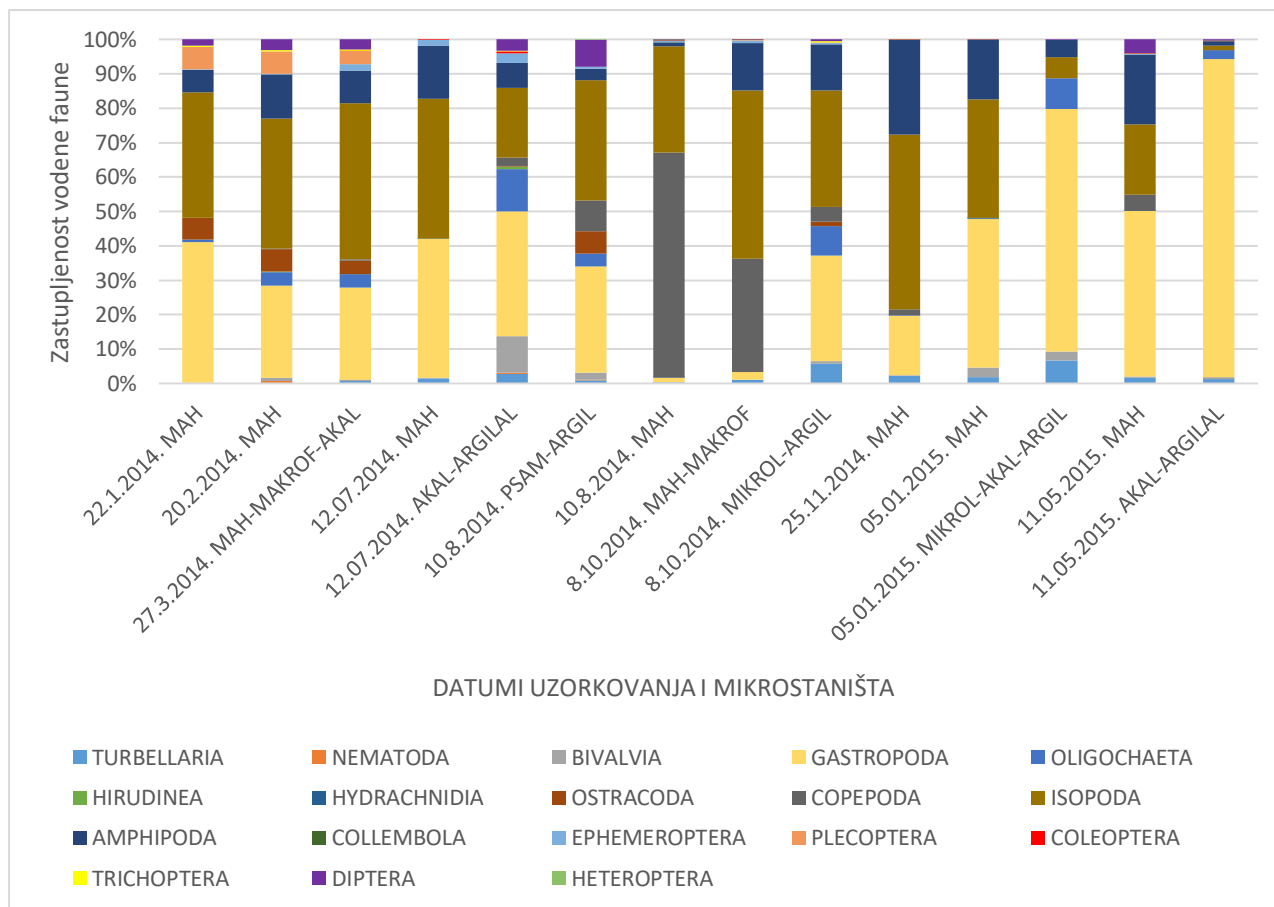
(Copepoda). U kolovozu 2014. su zastupljeni s 65,4 % od ukupne vodene fauna na uzorku mahovine, što je druga najviša zastupljenost jednog reda u cijelom istraživanju. Suprotno, u tri od četrnaest uzoraka se uopće ne pojavljuju (Slika 27).



Slika 25. Gustoća predstavnika Turbellaria, Nematoda, Bivalvia i Gastropoda po sezonama i na mikrostanjima u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrđenovac.

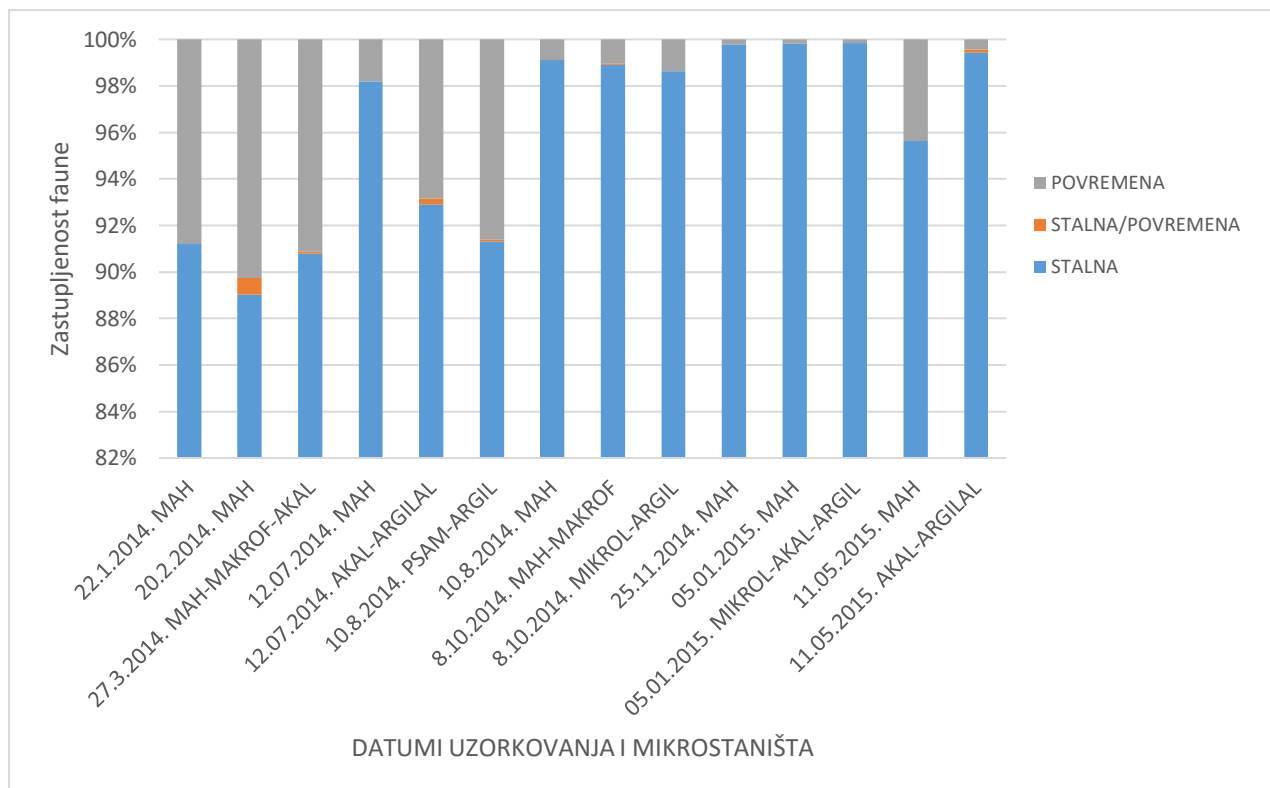


Slika 26. Gustoća predstavnika Oligochaeta, Hirudinea, Hydrachnidia, Crustacea i različitih predstavnika vodenih kukaca po sezonama i na mikrostanishtima u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrdenovac.



Slika 27. Zastupljenost vodenih beskraljješnjaka u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrdenovac na istraživanim mikrostaništima.

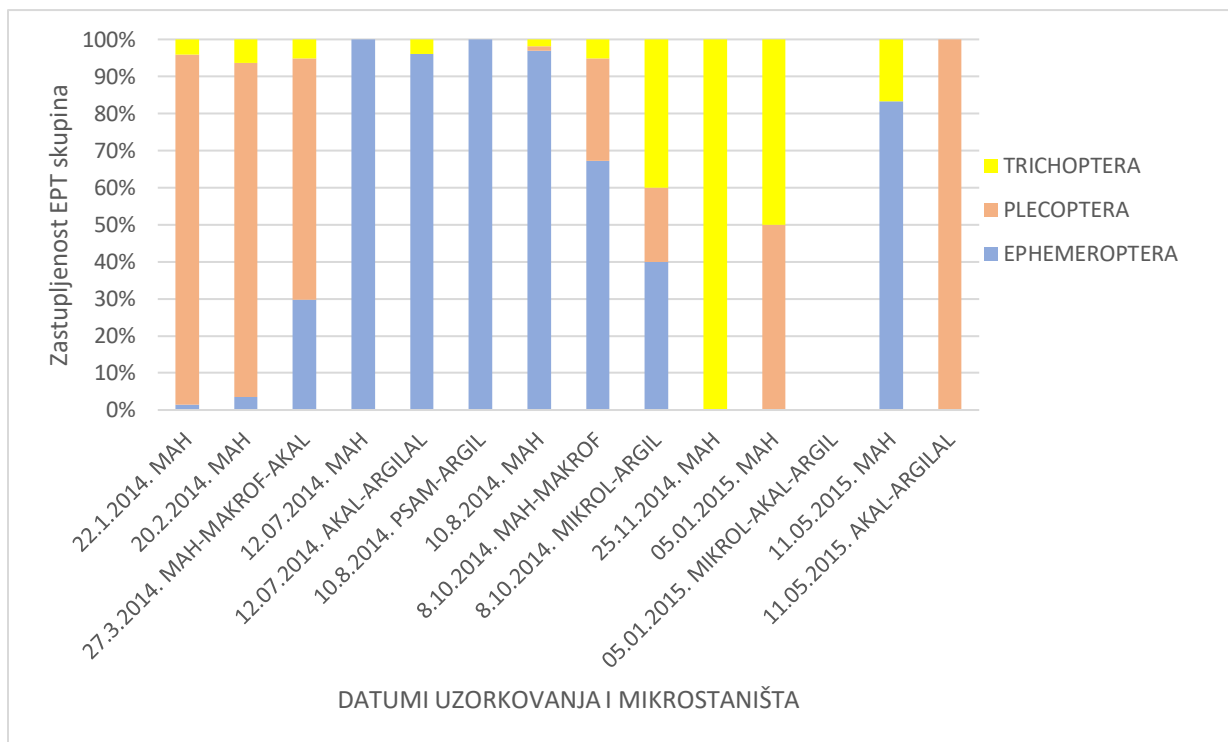
Zastupljenost povremene i stalne faune (Slika 28) tijekom istraživanog razdoblja ne pokazuje sezonalnost, već neočekivano velike vrijednosti stalne vodene faune tijekom gotovo cijelog razdoblja istraživanja, a osobito nakon cjelogodišnjeg protoka u ljetnim mjesecima 2014. godine. Ravnotežna zastupljenost ovih dviju kategorija 2014. godine ne ponavlja se u sljedećoj godini, već svjedočimo potpunoj dominaciji pojavljivanja svojiti stalne vodene faune.



Slika 28. Zastupljenost pojedinih kategorija vodenih beskralješnjaka (povremena, povremena/stalna i stalna vodena fauna) u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrđenovac na istraživanim mikrostaništima.

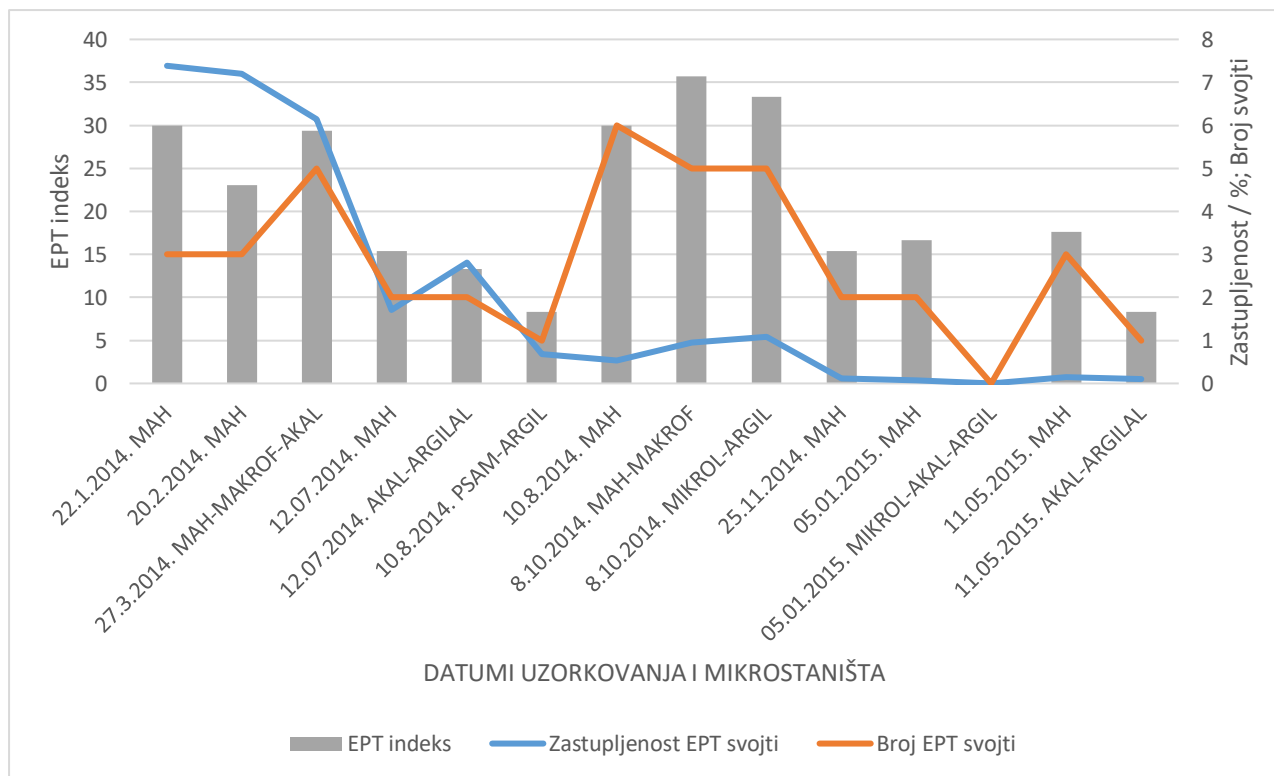
4.5. EPT skupine i indeks

Relativna zastupljenost EPT redova (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) ukazuje na značajne oscilacije u zastupljenosti pojedinih predstavnika i po sezonama i u pojedinim tipovima mikrostaništa. Vodencvijetovi po zastupljenosti dominiraju u uzorcima toplijeg dijela godine. Dijametralno različita je situacija u zimskim mjesecima kada često potpuno izostaju iz uzoraka (studeni i siječanj 2015.). Red obalčara dominira u siječnju i veljači 2014. te u svibnju 2015. godine. Suprotno, nisu zastupljeni u uzorcima srpnja i kolovoza 2014. te u siječnju 2015. godine, kada bismo ih očekivali u velikom broju i zastupljenosti. Zanimljiv je i podatak da ni jedna jedinka ETP skupina nije evidentirana u uzorku iz siječnja 2015. godine (mikrolital – akal – argilal). Tulari su dominantno zastupljeni na mikrostaništu s mahovinom i to u hladnijem dijelu godine (studeni 2014. i siječanj 2015.). Više jedinki ovog reda zabilježeno je početkom 2014. godine, ali je njihov udio u ETP skupini bio znatno manji. U toplijem dijelu godine ih često nismo nalazili u uzorcima (srpanj i kolovoz 2014.).

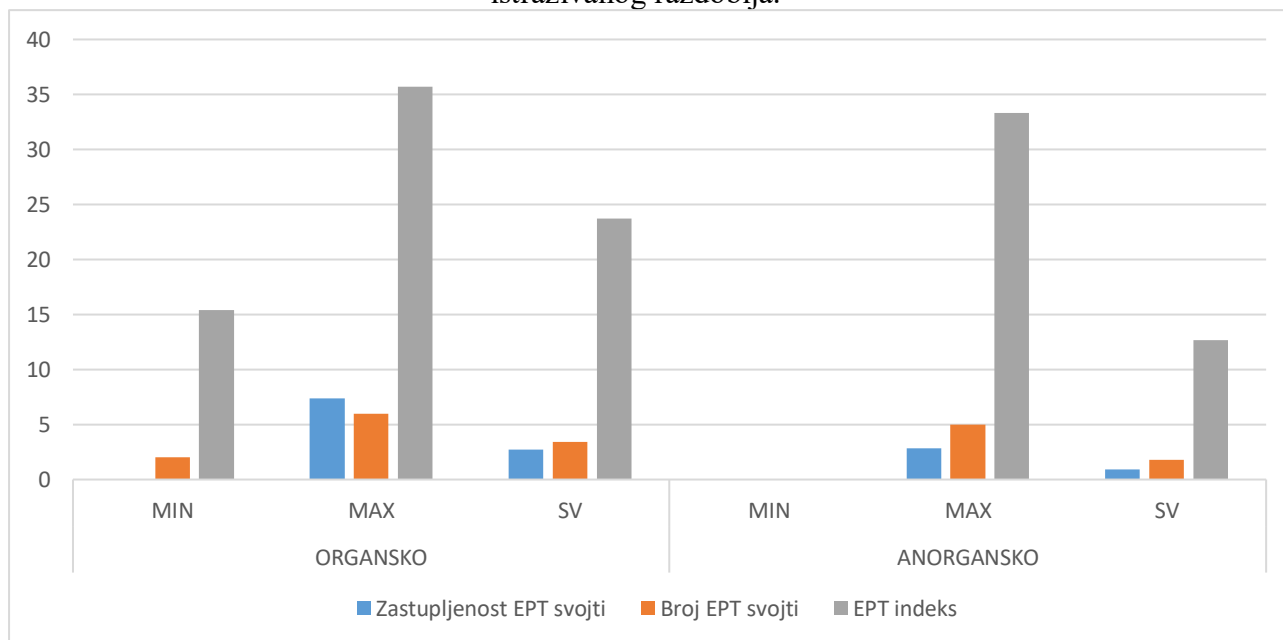


Slika 29. Zastupljenost ličinki kukaca predstavnika Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT) u izvoru i izvorišnom toku vrela Mrđenovac na istraživanim mikrostanjima.

Analiza EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) indeksa u korelaciji sa zastupljenosti i brojem EPT svojti na prikupljenim uzorcima različitih mikrostanja izvora Mrđenovac ukazuje najviše vrijednosti indeksa na mahovini s makrofitskom vegetacijom tijekom listopada 2014. godine iako tada zastupljenost EPT svojti nije bila najveća, već tijekom siječnja 2014. godine. Broj EPT svojti bio je najveći tijekom kolovoza 2014. godine. Zastupljenost EPT svojti znatno opada tijekom 2015. godini kada uočavamo veći nesrazmjer s brojem svojti (Slika 30). Ukupno gledano, najviša vrijednost EPT indeksa, najveći broj i zastupljenost EPT svojti zabilježeni su na organskom mikrostanju, dok su na anorganskom mikrostanju EPT predstavnici izostali tijekom siječnja 2015. godine (Slika 31).



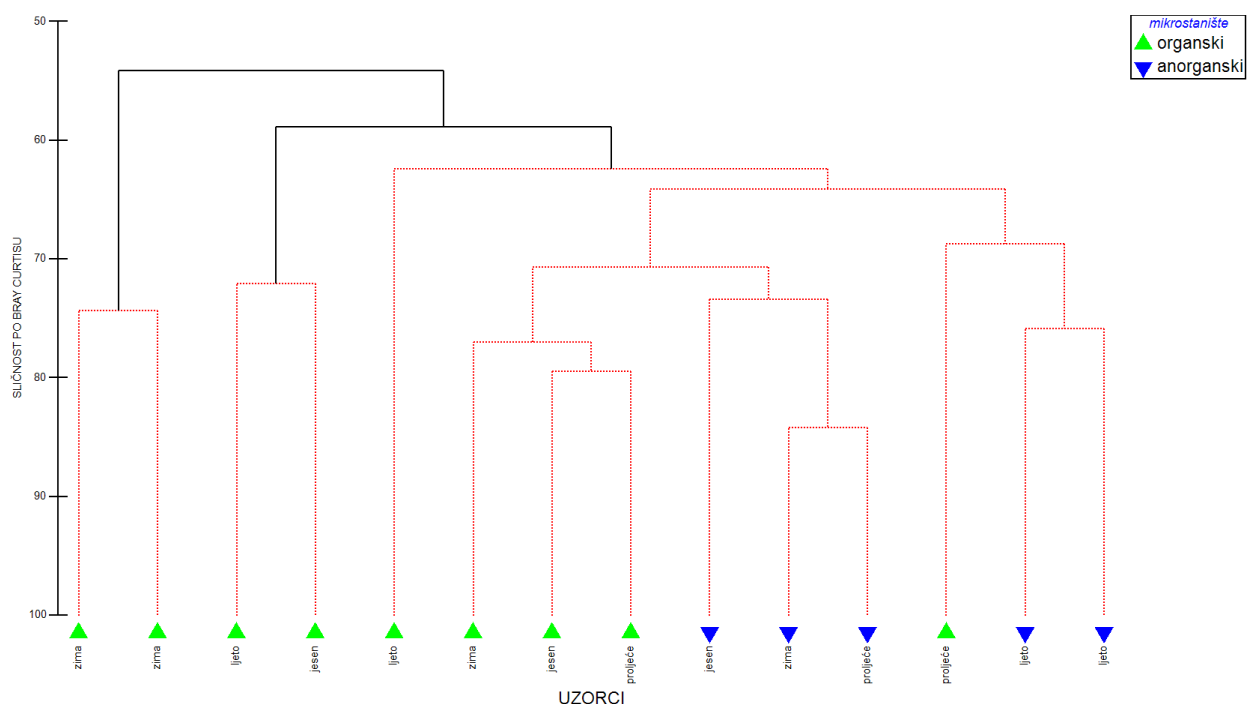
Slika 30. Prikaz vrijednosti EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) indeksa, zastupljenosti EPT svojti i ukupni broj EPT svojti zabilježeni na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac tijekom istraživog razdoblja.



Slika 31. Prikaz minimalnih, maksimalnih i srednji vrijednosti EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) indeksa, zastupljenosti EPT svojti i ukupnog broja EPT svojti na različitim tipovima mikrostaništa (organsko = mahovina i makrofiti; anorgansko = mikrolital, psamal, akal i argilal) zabilježenih na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac tijekom istraživog razdoblja.

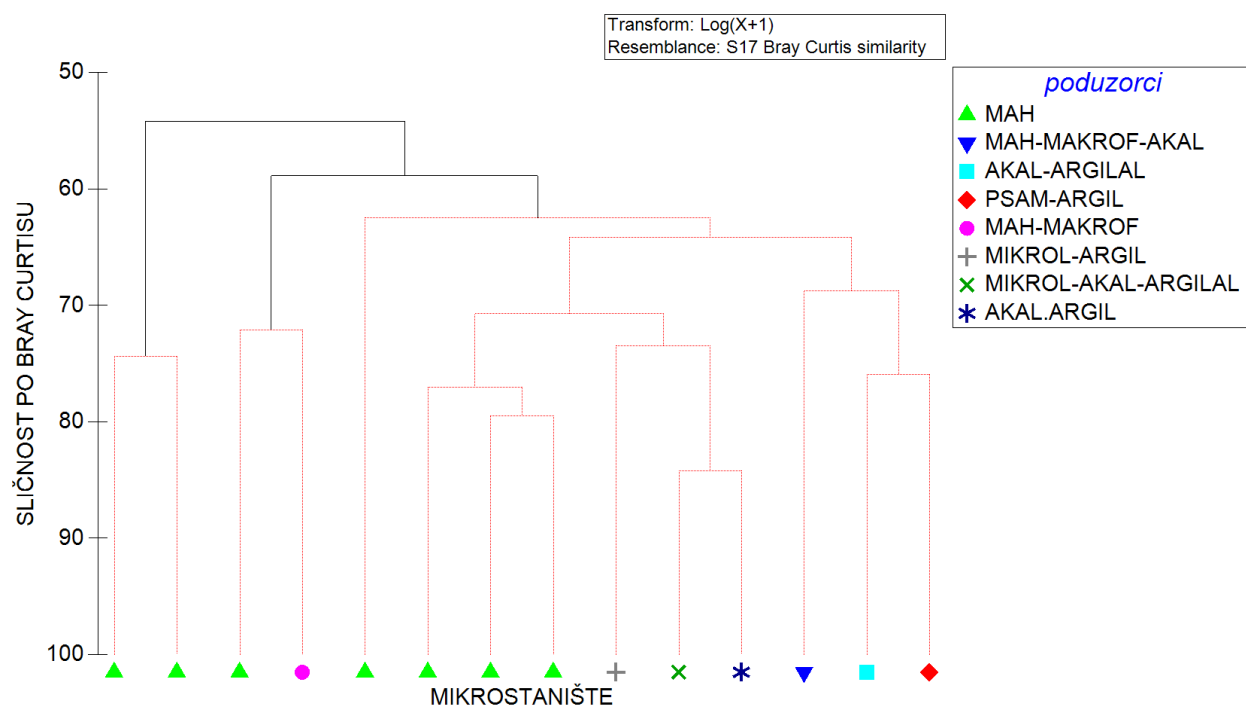
4.6. Sličnost strukture zajednica vodenih beskranješnjaka

Klaster dijagram Bray Curtisovog indeksa sličnosti strukture zajednica vodenih beskranješnjaka izvora Mrđenovac ukazuje na jasno grupiranje i odvajanje zajednica prema tipu mikrostaništa (organsko, anorgansko), prema specifičnim poduzorcima s određenog tipa mikrostaništa i prema sezonama (Slika 32 i 33). Klaster dijagram Bray – Curtisovog indeksa sličnosti temeljene na sličnosti strukture zajednica vodenih beskranješnjaka pokazuju odvajanje zajednica u tri odvojena klastera. U prvom klasteru odvojeni su uzorci zime s organskog supstrata, u drugom klasteru odvojeni su uzroci ljeta i jeseni s organskog supstrata. U ostalom dijelu klaster dijagrama jedino se ljeto odvaja kao zaseban klaster, dok su ostali klasteri međusobno izmiješani s obzirom na sezone. Jedino jasno odjavanje odnosi se na mikrostaništa. Gotovo se u potpunosti odvajaju zajednice na organskom i anorganskom mikrostaništu. (Slika 32).



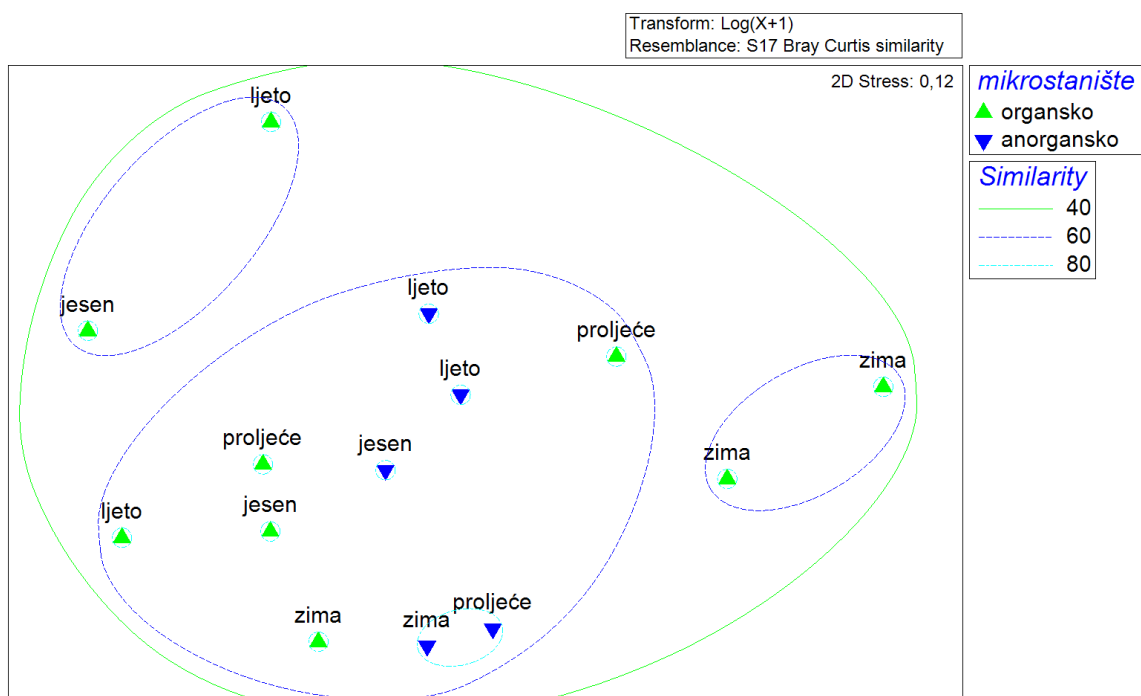
Slika 32. Klaster dijagram Bray Curtisov indeksa sličnosti strukture zajednica vodenih beskranješnjaka izvora i izvorišnog toka Mrđenovac između sezona i mikrostaništa (organskog i anorganskog).

Klaster dijagram Bray – Curtisovog indeksa sličnosti koji se temelji na prikazu rezultata sličnosti zajednica vodenih beskranješnjaka sa specifičnih mikrostaništa, ukazuje na odvajanje zajednica na mahovini te na visoku sličnost zajednica s obzirom na veličinske frakcije anorganskog supstrata (Slika 33).



Slika 33. Klaster dijagram Bray Curtisov indeksa sličnosti strukture zajednica vodenih beskranješnjaka izvora i izvorišnog toka Mrđenovac između mikrostanišnih poduzoraka.

Rezultati nMDS analize, u kojoj se na temelju brojnosti svih identificiranih svojiti vodenih beskranješnjaka pokušala prikazati sličnost odnosno razlika između pojedinih uzoraka, pokazali su grupiranje uzoraka prema tipu mikrostaništa (organsko i anorgansko) te prema sezonama (zima, proljeće, ljeto i jesen). To ukazuje na prisutnost različitih svojiti vodenih beskranješnjaka na istraživanim mikrostaništima tijekom određenih sezona. Na grafikonu se vidi jasna odvojenost zimskih uzoraka na organskom supstratu tj. mahovini od ostalih istraživanih uzoraka, što ukazuje na značajne razlike u sastavu vrsta vodenih beskranješnjaka u toj sezoni na tom tipu mikrostaništa, odnosno supstrata. Zajednice tijekom zime se ili u potpunosti odvajaju ili su u kombinaciji s proljetnim mjesecima, što ukazuje na odvajanje zajednica hladnijeg doba godine u odnosu na zajednice toplijeg dijela godine (Slika 34).



Slika 34. Sezonsko multidimenzionalno (nMDS) grupiranje uzoraka vodenih beskralješnjaka izvora i izvorišnog toka Mrđenovac prema tipu supstrata.

5. RASPRAVA

Na temelju provedene analize fizikalno – kemijskih parametara vode i analize zajednica vodenih beskralješnjaka povremenog izvora Mrđenovac tijekom 2014. i 2015. godine dobiven je uvid u preferencije određenih svojti prema određenom tipu mikrostaništa tijekom istraživanih sezona.

Vrijednosti temperature uglavnom su se pokazale vrlo ujednačenima tijekom sezonskih mjerenja što je povezano s dosadašnjim znanstvenim pretpostavkama i dokazima o podrijetlu podzemne vode rijeke Like (Illies 1952, Bonacci i sur. 2008, Glazier 2009). Relativno hladna i temperaturno ujednačena voda tijekom svih sezona izvire na površinu na lokalitetu Mrđenovac. Temperatura vode je, očekivano, slična srednjoj godišnjoj temperaturi zraka regije (Bonacci i Andrić 1987, Anonymus 2006, Glazier 2009). Izmjerene relativno visoke vrijednosti nekih ciljanih fizikalno-kemijskih parametara vode (pH vode, koncentracija CaCO_3 u vodi) ukazuju na vodu koja se relativno dugo vremena zadržava u dubokom krškom vodonosniku (Glazier 2009). Po podrijetlu kišnica i sočnica procjeđuju se u tlo i nakuplja kao podzemna voda u stijenskom poroznom materijalu (krškom vodonosniku) (Glazier 2009, Bonacci i sur. 2017). Presušivanje izvora posljedica je snižavanja vodnog lica pod utjecajem dugih ljetnih razdoblja bez padalina s temperaturama zraka iznad 30 °C. Ova se pojava ne ponavlja u pravilnim vremenskim intervalima, što ukazuje na više od jednog ograničavajućeg čimbenika (Glazier 2009).

Iako je za distribuciju vodenih beskralješnjaka odgovorno mnoštvo abiotskih čimbenika, temperaturu vode struka smatra ključnim čimbenikom koji definira strukturu zajednica na izvorima (von Fumetti i sur. 2007, Glazier 2009). Zabilježeni mali raspon vrijednosti temperature vode koji je manji od definirane oscilacije od 2 °C za izvorište tj. eukrenal, za razliku od nizvodnijih dijelova izvorišnog toka gdje temperatura vode može oscilirati više od te vrijednosti (Glazier 2009). Međutim raspon na izvoru Mrđenovac iznosi 1,1 °C, što je gotovo jednako novom standardu za eukrenal koji je postavila von Fumetti i sur. (2007).

Među glavnim pokazateljima stanja kakvoće podzemne vode u Okvirnoj direktivi o vodama (dio koji se odnosi na podzemne vode) naveden je i otopljeni kisik (Anonymus 2006). Vodena tijela se opskrbljuju kisikom iz atmosfere i respiracijom vodenih biljaka. Niske razine kisika (hipoksija) ili odsustvo kisika (anoksija) mogu se pojaviti kada mikroorganizmi razgrade višak organskog materijala, poput velikih cvjetanja algi. Niske razine kisika često se javljaju na dnu

vodenog stupca i utječu na organizme koji žive u sedimentima (URL1). Koncentracija otopljenog kisika je izravan pokazatelj sposobnosti vodenog resursa da podržava život u vodi. Iako svaki organizam ima vlastiti raspon tolerancije na koncentracije otopljenog kisika, zabrinjavajućim se smatraju razine ispod 3 mgL^{-1} , s minimalnim zahtjevima od 1 mgL^{-1} do 4 mgL^{-1} (Hickin 1995, URL1), dok se disoksičnim uvjetima smatraju vrijednosti između $0,1$ i $0,3 \text{ mgL}^{-1}$ (Ward i sur. 1998). Koncentracije otopljenog kisika na izvoru Mrđenovac u razdoblju istraživanja ne spuštaju se ispod vrijednosti od $5,57 \text{ mgL}^{-1}$, što znači da ga ne možemo smatrati ekološki ograničavajućim čimbenikom za vodene beskralješnjake. Najviše vrijednosti koncentracije otopljenog kisika evidentne su u hladnijim mjesecima (dominantno u veljači i travnju). Suprotno, najniže koncentracije otopljenog kisika zabilježene su tijekom ljetnih mjeseci, što ukazuje kako je kisik povezan s protocima i vremenom zadržavanja vode u podzemlju (Glazier 2009). Očita je korelacija i obrnuta proporcija ovih vrijednosti s vrijednostima temperature zraka (tj. parcijalnog tlaka tog plina u zraku) prema zakonitostima Henryjeva zakona (URL1).

Mnogi organizmi ne mogu tolerirati visoke razine kiselosti ili promjene u razinama kiselosti. Krške tekućice u pravilu imaju karakteristično visoke vrijednosti pH zbog vodonosne podloge koju dijele. Voda izvora Mrđenovac je bazičnog karaktera ($\text{pH} > 7$) jer se izvor nalazi na karakterističnoj karbonatnoj podlozi gdje u pravilu, prema Glazieru (2009), izvire relativno tvrda voda bogata kalcijevim i bikarbonatnim ionima sa smanjenom koncentracijom vodikovih iona. Vrijednosti pokazuju relativno male oscilacije ($0,45$) u razdoblju istraživanja (33 mjeseca). Većina organizama (posebice vodenih) funkcionira u optimalnom pH rasponu od $6,5$ do $8,5$ (Giginyak i Moroz 2000, URL1), što čini alkalinitet i pH neograničavajućim čimbenicima za razvoj vodene faune beskralješnjaka.

Budući da otopljene soli i druge anorganske tvari provode električnu struju, vodljivost se povećava s povećanjem slanosti. Na vodljivost također utječe i temperatura: što je voda toplija, to je provodnost veća (URL1). Ove činjenice objašnjavaju rastući trend električne provodnosti (konduktiviteta) prema mjesecima presušivanja izvora Mrđenovac. Prema EPA (Environmental Protection Agency) konduktivitet je korisna mjera kvalitete vode (URL1), a mala varijabilnost vrijednosti konduktiviteta na izvoru Mrđenovac u vremenskom razdoblju istraživanja je pokazatelj izostanka izvora onečišćenja. Ovaj podatak pogodan je za neometan razvoj biote promatranog izvora. Utjecaj čovjeka, u pravilu, ima tendenciju povećanja količine otopljenih krutih tvari koje ulaze u vodu što rezultira povećanom električnom provodnošću (URL1). Vrijednosti alkaliniteta i

električne provodnosti našeg vodnog tijela prate slični trendovi s obzirom na to da oba parametra ovise o koncentraciji i vrsti otopljenih iona.

Po definiciji, kemijska potrošnja kisika je mjera ekvivalenta količine kisika koja je potrebna za oksidaciju organske tvari u uzorku jakim kemijskim oksidansom (Boyles 1997). Predstavlja stupanj organskog opterećenja i korisna je mjera procjene učinka koji će otpadna voda imati na neki vodni resurs. Godišnje amplitude (a i linija trenda prosječnih godišnjih vrijednosti u razdoblju istraživanja) na izvoru Mrđenovac se smanjuju od 2014. prema 2016. godini, što može ukazivati da se godišnji (ili sezonski) unos organske tvari smanjuje. Vrijednosti na Mrđenovcu su između 0,26 i 1,96 mg O₂ L⁻¹, što je daleko manje od prihvatljive granične vrijednosti za dobru kvalitetu vode, koja prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji iznosi 10 mg O₂ L⁻¹ (Patil 2012). Pri donošenju zaključaka treba uzeti u obzir da mjerenja KPK na izvoru Mrđenovac nisu provedena tijekom svakog uzorkovanja faune, već samo sezonski.

Brzina strujanja vode na izvoru Mrđenovac usko je povezana s prihranjivanjem izvora, prirodom istjecanja vode na površinu (limnokreni izvor) te s klasifikacijom riječnog hidrološkog režima rijeke Like (Glazier 2009, Čanjevac 2013). Voda istječe iz duboke depresije stvarajući ujezerenje u udubini (sifonu) iz koje se voda prelijeva i istječe. Riječni režim je bujičan i isprekidan (s razdobljima presušivanja), što se očituje i na istraživanom izvoru kroz znatne sezonske razlike koje potvrđuju kako je na temelju provednih analiza režima protoka rijeka Lika definirana kao rijeka sa Sredozemnim kišno – snježnim režimom (Čanjevac 2013) koji je karakterističan za gotovo sve rijeke Jadranskog slijeva, a obilježava ga maritimni pluviometrijski režim (Šegota i Filipčić 1996, preuzeto iz Čanjevac 2013). Ekstremne vrijednosti igraju važnu ulogu u definiranju prisutnosti vodenih beskralješnjaka i zauzimanju sezonski raspoloživih ekoloških niša.

Rijeku Liku karakteriziraju nagle promjene vrijednosti protoka, posebice njihove minimalne i maksimalne vrijednosti, s nerijetkim presušivanjem dijelova toka, što su karakteristike krških tokova bujičnog hidrološkog režima (Rimmer i Salingar 2006, Bonacci i Andrić 2008). Najniže vrijednosti protoka 2012. godine ograničene su na kolovoz koji je najtopliji mjesec. Ekstremne ljetne suše tijekom 2012. godine dovode gotovo do presušivanja toka na mjernoj postaji 8005 (kod Bilaja). Najviše vrijednosti zabilježene su gotovo isključivo u prosincu. Tijekom 2013. godine nastavlja se trend najnižih vrijednosti protoka u kolovozu, ali vrijedi izdvojiti promjenu mjeseca s najvišim vrijednostima. To je u 2013. bio siječanj, a maksimalne vrijednosti su znatno više od prethodne godine. Tijekom 2014. godine nije zabilježeno sušno ljetno razdoblje na izvoru

Mrđenovac, već je bila izrazito kišna ljetna sezona. Niti rijeka Lika niti izvor Mrđenovac te godine nisu presušili, a maksimumi vrijednosti protoka utvrđeni su u veljači 2015. godine. Razdoblje nižih vrijednosti protoka bilo je u lipnju. Uobičajena hidrološka situacija s niskim protocima i presušivanjem izvora Mrđenovac tijekom ljetnih mjeseci, pa čak i ranih jesenskih mjeseci utvrđena je godinu kasnije, kada se vraćaju minimumi protoka i ograničavaju na kolovoz kojeg (zajedno s rujnom) obilježavaju razdoblja presušivanja gornjih dijelova toka rijeke Like i pritoka (Čanjevac 2013), uključivo izvor Mrđenovac. Najviše vrijednosti protoka 2015. godine zabilježene su u siječnju i veljači. Opisana dinamika pojavnosti razdoblja suše i velike količine padalina uvelike utječe na strukturu prisutnih zajednica vodenih beskralješnjaka koji su osjetljivi na promjene navedenih parametara protoka zbog dinamike životnog ciklusa povremene vodene faune, kao što su vodeni kukci (Boulton 1989, Larned i sur. 2010, Stubbington i sur. 2017).

Najzastupljenije su zajednice vodenih beskralješnjaka s organskog supstrata koji je uključivao mozaičan raspored devet evidentiranih vrsta makrofitske vodene vegetacije i jednu vrstu mahovine (Tablica 3). Limnokreni izvor Mrđenovac i voda koja istječe na površinu stvorili su u nizvornim dijelovima toka izvorišni tok s močvarnim obilježjima kojeg opasuje riparijska šuma crne joha (*Alnus glutinosa*). Crna joha je brzorastuća vrsta, a s obzirom na zahtjev prema toplini, vodi, tlu i svjetlu, ima široku ekološku valenciju, tj. široki raspon vrijednosti navedenih ekoloških čimbenika, u kojem je moguć opstanak i razmnožavanje ovog listopadnog drveta, izrazito močvarnih terena. Raste na humusnim i vlažnim tlima. Nerijetko oblikuje čiste sastojine (joške) na zamočvarenim terenima, većinom panjače, gdje se voda duže ne zadržava, ali gdje je razina podzemne vode visoka (URL2). Ova vrsta svojom listopadnom prirodom i značajnom biomasom listinca uvelike dirigira unos organske tvari u vodno tijelo, a time i ekologiju zajednica vodenih beskralješnjaka.

Od rakušaca je najzastupljenija vrsta je *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846) što je dobar indikator hidrologije izvora i poklapa se s činjenicom da Mrđenovac povremeno presušuje. Porodica Crangonyctidae zastupljena je u Hrvatskoj jedino ovom vrstom koja nastanjuje podzemne i nadzemne vode, a pojavljuje se u stigofilnoj i stigobiontnoj formi (Gottstein Matočec i sur. 2002a). Činjenica da se ova vrsta može pronaći u površinskim vodama koje povremeno presušuju je primijećena i potvrđena u dosadašnjim radovima (Gottstein i sur. 2000, Mihaljević i sur. 2000, Gottstein Matočec i sur. 2002a, b, Arbačiauskas 2008). Smatra se vrstom široke ekološke valencije zbog rasprostranjenosti u različitim tipovima staništa Hrvatske te se ubraja u kategoriju stigofilnih vrsta budući da je prilagođena provoditi dio svog života u podzemlju (Gottstein i sur. 2000,

Mihaljević i sur. 2000, Gottstein Matočec i sur. 2002a, b, Arbačiauskas 2008). Kroz istraživano razdoblje veće zastupljenosti jedinki zabilježene su na organskom supstratu (mahovina i makrofit), a manje na anorganskom. Isto tako, očita je i obrnuta proporcija zastupljenosti s redom Gastropoda, i to u siječnju i svibnju 2015. Ove razlike u zastupljenosti ove dvije skupine organizama mogu se povezati sa zauzimanjem različitih ekoloških niša.

Vrste roda *Gammarus* su široko rasprostranjene u različitim tipovima slatkovodnih staništa i mogu biti dominantan dio mnogih zajednica vodenih beskralješnjaka u bentosu tekućica. U slatkovodnim ekosustavima abiotski čimbenici poput temperature, saliniteta, dostupnosti kisika, alkaliniteta i onečišćenje utječu na distribuciju vrsta roda *Gammarus* (Jeffries i Mills 1990, Whitehurst i Lindsey 1990). Vrste roda *Gammarus* često nalazimo u velikim broju u ili ispod supstrata koji pruža zaklon od grabežljivaca i opskrbu organskim detritusom. Nalazimo ih ispod stijena ili u grubom supstratu te među živom i mrtvom vegetacijom (Fitter i Manuel 1994, citirano iz MacNeil i sur. 1997). Vrsta *Gammarus balcanicus* (Schäferna, 1923) jedina je vrsta ovog roda u našim uzorcima, a pojavila se isključivo u listopadu 2014. Ova vrsta u pravilu ne naseljava izvore koji presušuju pa je u podlozi pretpostavke njezinog pojavljivanja uzvodna migracija koja je uslijedila nakon uspostave snažnijeg toka nakon sušnih razdoblja. Isto tako, valja naglasiti kako ovaj rod nije po prehranbenim navikama isključivi usitnjivač (engl. *shredder*), jer su zabilježene populacije u kojima je prisutan kanibalizam i grabežljivost (MacNeil i sur. 1997) te time mogu dovesti do značajnih promjena unutar slatkovodnih zajednica.

Prvi puta je u okviru ovog istraživanja na izvoru Mrđenovac zabilježena vrsta *Echinogammarus acarinatus* (S. Karaman, 1931). Žganec i sur. (2016) navode rasprostranjenost ove vrste od izvora Krke do donjeg toka (sedrenih kaskada Roški slap i Skradinski buk), a pronađena je čak i u Visovačkom jezeru. Vrsta je također zabilježena i u središnjem dijelu toka rijeke Une nizvodno od Bihaća, što može ukazivati na širok ekološku valenciju ove vrste i potencijalno može ukazivati na otpornost na nižu kvalitetu vode (Žganec i sur. 2016).

Vrsta *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) (obična vodenbabura) jedini je jednakonožni rak u našim uzorcima. Široko je rasprostranjena Paleartička vrsta koja nastanjuje površinska i polupodzemna slatkovodna staništa, pa čak i blago bočate vode (Sworobowicz i sur. 2015) s velikom količinom organskog materijala i slabim strujanjem (Novaković i sur. 2015). Rasprostranjenost i ekologija vrste istraživana je do sada uglavnom izvan krških područja, pri čemu je istaknuto kako izbjegava oligotrofne tekuće vode i stajačice (Novaković i sur. 2015;

Sworobowicz i sur. 2015). Međutim vrsta je na području Dinarida Hrvatske u prethodnim istraživanjima zabilježena upravo u oligotrofnim ekosustavima tj. krškim izvorima kao što su izvori rijeke Gacke (Matić i sur. 2016). Zbog visoke otpornosti na organska i kemijska onečišćenja, vrsta se učestalo koristi kao bioindikator α – mezosaprobnih voda (Novaković i sur. 2015). Osim toga vrsta ima sposobnost i bioakumulacije teških metala (Lafuente i sur. 2021). Iako je obična vodenabura široko rasprostranjena u tekućicama obje regije Hrvatske (Panonska i Dinaridska), u Dinaridskoj regiji taksonomski status vrste nije riješen. Recentna istraživanja pokazuju da ova vrsta rasprostranjena u Dinaridskoj ekoregiji ima drugačije ekološke zahtjeve te se označava kao *A. aquaticus* (karstic type) (Matić i sur. 2016). Nalaz vrste u izvoru Mrđenovac potvrđuje da je riječ o populaciji s krša Dinarida koja nastanjuje isključivo oligotrofne vode i još jednom je dokaz kako korekcije vezane uz ovu vrstu i spuštanje vrijednosti saprobnog indeksa za ove populacije, učinjene tijekom adaptacije Hrvatskog saprobnog indeksa standardima WFD EU, predstavljaju vrlo značajnu aktivnost u sustavu vrednovanja površinskih voda Hrvatske.

Zastupljenost puževa u našim uzorcima može se pratiti kroz kombinaciju vrijednosti protoka i supstrata uzorkovanja. Gastropoda izvora Mrđenovac preferiraju stabilan tok vode s vrijednostima protoka ispod prosjeka te anorganski supstrat. Najnižoj zastupljenosti svjedočili smo u kolovozu i listopadu (nemamo podatke za rujun) 2014. godine. U kolovozu 2014. smo zabilježili daleko najveći koeficijent varijabilnosti protoka za taj mjesec (u vremenu istraživanja), a i prethodili su mu mjeseci s natprosječnim protocima za sušni dio godine.

U kolovozu 2014. godine veslonošci (Copepoda) su bili iznimno visoko zastupljeni (65,4 % vodene faune) na uzorku mahovine. Njihova pojavnost s tako velikim brojem može se povezati s činjenicom da 2014. godine izvor Mrđenovac nije presušio već je upravo u kolovozu protok bio iznimno visok.

Bonada i sur. (2007) su pretpostavili da se veza između broja ETP skupina (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) i OCH skupina (Odonata, Coleoptera, Hemiptera) mijenja po gradijentu kontinuiteta protoka. Zaključno, sa smanjenjem udjela EPT skupina i popratnim povećanjem broja OCH skupina, stalnost toka se smanjuje. Promjene strukture zajednica na početku sušnog razdoblja iz EPT skupina (reofili) k OCH skupinama (limnofili) je indikacija trenda opadanja protoka i nastajanja manjih bazena slatke vode (Feminella 1996, Boulton 2003). Zato se predlaže razvijanje novih metoda mjerenja u svrhu definiranja granica između stalnih i povremenih vodotoka koja bi

koristila upravo EPT/OCH omjere. U slučaju izvora Mrđenovac interesantan je izostanak svojti vretenaca (Odonata) koje bismo u teoriji očekivali jer govorimo o povremeno presušujućem izvoru. Promjene zastupljenosti povremene i stalne faune kroz vremenski period istraživanja očite su i ukazuju na nejednolike uvjete u 2014. i 2015. godini. Također, godišnja dinamika zastupljenosti i pojavnosti EPT redova, vezana za emergenciju ovih skupina, uvelike se razlikuje između 2014. i 2015. godine. Uzorak popunjavanja niša tijekom zimskih mjeseci evidentiran je 2014. godine kada izvor ne presušuje u ljetnom dijelu godine. Presušivanje koje je na Mrđenovcu trajalo gotovo tri mjeseca tijekom ljeta 2015. godine onemogućilo je naseljavanje i uspostavu očekivane zajednice EPT predstavnika u mjesecima hladnijeg dijela godine. EPT indeks je, u kombinaciji sa zastupljenošću svojti, pokazatelj kvalitete vode. Njegovim opadanjem pada i udio svojti koji su indikatori dobrog ekološkog stanja vodenih staništa (Hrvatske vode 2015). Red obalčara često je izrazito osjetljiv na povećanje organske materije u ovim staništima, ali su zahtjevni za determinirati u nižim razvojnim fazama ličinačkog stadija, što je bio značajna problem tijekom naših istraživanja. Determinacija do nižih sistematskih razina bi, u sklopu budućih istraživanja, pomogla u detaljnijoj analizi ekologije zajednica vodenih beskralješnjaka izvora Mrđenovac.

Grupiranje zajednica prema sličnosti u odnosu na sezone i mikrostaništa povezana je i s dinamikom protoka koja značajno utječe na održivost mahovina i makrofitske vodene vegetacije. Sezonalnost u odnosu na organsko mikrostanište naročito je izraženo kod makrofitske vodene vegetacije koja značajno stagnira u hladnijem dijelu godine, dok mahovine nemaju tako izraženu stagnaciju. Tijekom provedenog istraživanja tijekom 2014. godine jasno je vidljiva sezonalnost u obraštaju izvora, iako je protok bio stalan, što je također dokaz adaptacije zajednica organskog supstrata povremenih izvora na sezonsko presušivanje. Recentna istraživanja povremenih vodotoka na području Mediterana i na našim prostorima u okviru EU projekta IRES ukazuje na iznimno veliku važnost istraživanja povremenih vodotoka zbog nadolazećih klimatskih promjena i osobito ekstremnih protoka (Datry i sur. 2016, 2017), na što ukazuju i istraživanja u okviru ovog rada s iznimno velikim razlikama u protocima i dinamici proticanja vode tijekom istraživanih mjeseci i godina. Riparijska vegetacija igra ključnu ulogu u očuvanju zajednica povremenih vodotoka (Datry i sur. 2017), što se može potvrditi i na izvoru i izvorišnom toku Mrđenovac s riparijskom šumom crne johe te vrbicima, jer su takova mjesta zasjenjena, sprečavaju isparavanje vode u koritima povremenih vodotoka tijekom ljetnih ekstrema i predstavljaju refugij u vidu malih bazenčića u koritu, koji omogućavaju brže uspostavljanje raznolikije zajednice nakon uspostavljenog protoka.

Naše istraživanje je potvrdilo kako cjelogodišnji protok omogućava rekolonizaciju faune iz nizvodnih dijelova toka čak i one koja je stalna i dokaz stalnosti protoka u vodotoku kao što su predstavnici rakušaca (Gammaridae) (Sarremejane i sur. 2019).

6. ZAKLJUČAK

- Temperatura vode izvora Mrđenovac tijekom trogodišnjeg istraživanja ukazuje na raspon godišnjih vrijednosti od 1,1 °C (< 2 °C) što potvrđuje istraživanu zonu eukrenala.
- Velike razlike u gustoći populacija (pojedinačno i/ili masovno pojavljivanje) nekih predstavnika vodenih beskralješnjaka (Copepoda, Gastropoda i Hydrachnidia) posljedica su ekstrema (niskih ili izrazito visokih vrijednosti) u protokama kojima smo svjedočili tijekom 2014. godine (cjelogodišnji protok bez ljetnog presušivanja) i 2015. godine.
- Faunistički je za ovo istraživanje izuzetno značajan prvi nalaz vrste *Echinogammarus acarinatus* u porječju rijeke Like, eurivalentne vrste rakušca do sada zabilježene u porječjima Krke, Une i Zrmanje.
- Zajednice vodenih beskralješnjaka pokazuju izrazitu sezonalnost u zastupljenosti pojedinih redova i gustoći jedinki, što ukazuje na prilagođenost predstavnika povremene vodene faune (ličinke kukaca) na režim presušivanja izvora tijekom ljetnih mjeseci i oscilacije u protokama.
- Zastupljenost i dinamika skupina na istraživanim mikrostaništima pokazuje uglavnom očekivani uzorak s obzirom na ekologiju zabilježenih svojti, osim izostanka predstavnika reda Odonata što ukazuje da u izvoru Mrđenovac korito u potpunosti presuši bez formiranja manjih bazena vode.
- Naglašene su promjene zastupljenosti povremene i stalne faune tijekom istraživanja, ali i neočekivano prevladavajuća zastupljenost stalne vodene faune (osobito predstavnika roda *Gammarus*), što je u skladu sa sezonalnim vrijednostima protoka i izostanka presušivanja tijekom ljeta 2014. godine te mogućnost uzvodne rekolonizacije izvora.
- Godišnja dinamika zastupljenosti i pojavnosti EPT redova vezana je za emergenciju ovih skupina, ali i mogućnost prilagodbe na nejednolike hidrološke ekstreme rijeke Like. Duže razdoblje presušivanja pod utjecajem trenda klimatskih promjena može radikalno utjecati na rijetke ili ključne vrste u zajednici.
- Zajednice vodenih beskralješnjaka povremenog izvora Mrđenovac grupirale su prema sezonama i mikrostaništima.
- Ovo istraživanje je potvrdilo kako je uvid u dinamiku zajednica vodenih beskralješnjaka na razini mikrostaništa kroz veći broj sezona iznimno značajan u smislu budućih predviđanja negativnih utjecaja na vodne resurse zbog klimatskih promjena i eksploatacije za potrebe proizvodnje električne energije i vodoopskrbu.

7. LITERATURA

1. Adis J., Junk W. J. 2002. Terrestrial invertebrates inhabiting lowland river floodplains of Central Amazonia and Central Europe: a review. **Freshwater Biology** 47, 711–731.
2. Allan J. D., Castillo M. M. 2007. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Springer, Dordrecht.
3. Anonymus 2006. Određivanje cjelina podzemnih voda na jadranskom slivu prema kriterijima Okvirne direktive o vodama EU. Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb.
4. Anonymus 2012. Izvješće o stanju okoliša Ličko-Senjske županije za razdoblje od prosinca 2007. do prosinca 2011. godine. J. U. zavod za prostorno uređenje Ličko-Senjske županije, Gospić.
5. Anonymus 2015a. Metodologija monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja. Hrvatske vode, Zagreb.
6. Anonymus 2015b. Izvješće o stanju površinskih voda u Republici Hrvatskoj u 2013. godini. Hrvatske vode, Zagreb.
7. Anonymus 2015c. Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza I određivanje omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće. Hrvatske vode, Zagreb.
8. Anonymus 2018. Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata za okoliš. Ekotop d.o.o., Zagreb.
9. Anonymus 2020. Unaprjeđenje monitoringa stanja voda u RH (Plan upravljanja vodama za 2019., Studija izvodljivosti). Elektroprojekt d.d., Zagreb.
10. Arbačiauskas K. 2008. *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846), a new native amphipod species of Lithuanian waters. **Acta Zoologica Lituanica** 18(1), 66–68.
11. Argyroudi A., Chatzinikolaou Y., Poirazidis K., Lazaridou M. 2009. Do intermittent and ephemeral mediterranean rivers belong to the same river type?. **Aquatic Ecology** 43(2), 465–476.
12. Arscott D. B., Larned S. T., Scarsbrook M., Lambert P. 2010. Aquatic invertebrate community structure along an intermittence gradient: Selwyn River, New Zealand. **Journal of the North American Benthological Society** 29(2), 530–545.

13. Babić J. 2013. Dinamika populacija vrste *Synurella ambulans* (Crustacea, Amphipoda) u povremenom izvoru Krčić. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
14. Benac Č. 2016. Rječnik pojmova u općoj i primijenjenoj geologiji. Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka, str. 197.
15. Bonacci O. 2015. Hidrološka analiza krškog izvora Rumin Veliki. **Hrvatske vode** 93, 201–210.
16. Bonacci O. 2015. Surface Waters and Groundwater in Karst. U: Stevanović, Z. (ur.) Karst Aquifers-Characterization and Engineering. Berlin, Springer Verlag, str. 149–167.
17. Bonacci O., Andrić I. 1987. Sinking Karst Rivers Hydrology: Case of the Lika and Gacka (Croatia), **Acta Carsologica** 37(2), 185–196.
18. Bonacci O., Andrić I. 2008. Sinking karst rivers hydrology: case of the Lika and Gacka (Croatia). **Acta Carsologica** 37(2-3), 185–196.
19. Bonacci O., Andrić I. 2009. Zajednička hidrološka analiza Like i Gacke. **Hrvatske Vode** 67, 1–12.
20. Bonacci O., Jelin J. 1988. Identification of a karst hydrological system in the Dinaric karst (Yugoslavia). **Hydrological Sciences Journal** 33(5), 483–497.
21. Bonacci O., Trninić D., Roje-Bonacci T. 2008. Analyses of the water temperature regime of the Danube and its tributaries in Croatia. **Hydrological Processes** 22(7), 1014–1021.
22. Bonacci O., Željковиć I., Galić A. 2013. Karst rivers' particularity: an example from Dinaric karst (Croatia/ Bosnia and Herzegovina). **Environmental Earth Sciences** 70(2), 963–974.
23. Bonacci O., Terzić J., Roje-Bonacci T. 2018. Hydrological analysis of the karstic Čikola River. **Hrvatske Vode** 26(106), 281–292.
24. Bonada N. 2003. Ecology of the macroinvertebrate communities in Mediterranean rivers at different scales and organization levels, Doktorski rad, Universitat de Barcelona, Departament d'Ecologia, Barcelona.
25. Bonada N., Rieradevall M., Prat N. 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. **Hydrobiologia** 589, 91–106.
26. Boulton A. J. 1989. Over-summering refuges of aquatic macroinvertebrates in two intermittent streams in central Victoria. **Royal Society of South Australia** 31, 23–34.

-
27. Boulton A. J. 2003. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. **Freshwater Biology** 48, 1173–1185.
28. Boulton A. J., Lake P. S. 1992. The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. **Freshwater Biology** 27, 123–138.
29. Boyles W. 1997. The Science of Chemical Oxygen Demand (Technical Information Series). Hach Company, Loveland.
30. Brkić Ž., Kuhta M., Larva O., Gottstein S. 2019. Groundwater and connected ecosystems: an overview of groundwater body status assessment in Croatia. **Environmental Sciences Europe** 31(1), 1–20.
31. Brkić Ž., Kuhta M., Hunjak T., Larva O. 2020. Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. **Water** 12(7), 1983.
32. Cantonati M., Füreder L., Gerecke R., Jüttner I., Cox E. J. 2012. Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. **Freshwater Science** 31, 463–480.
33. Carroll T. M., Thorp J. H. 2014. Ecotonal shifts in diversity and functional traits in zoobenthic communities of karst springs. **Hydrobiologia** 738, 1–20.
34. Clarke K. R., Gorley R. N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). PRIMER-E, Plymouth.
35. Clescerl, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver.
36. Čalić J. 2011. Karstic uvala revisited: toward a redefinition of the term. **Geomorphology** 134(1-2), 32–42.
37. Čanjevac, I. 2013. Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj. **Croatian Geographical Bulletin** 75(1), 23–42.
38. Datry T., Larned S.T. 2008. River flow controls ecological processes and invertebrate assemblages in subsurface flowpaths of an ephemeral river reach. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 65, 1532–1544.
39. Datry T., Larned S. T., Scarsbrook M. 2007. Responses of hyporheic invertebrate assemblages to large-scale variation in flow permanence and surface subsurface exchange. **Freshwater Biology** 52, 1452–1462.

-
40. Datry T., Bonada N., Boulton A. 2017. Intermittent rivers and ephemeral streams – Ecology and management. Elsevier & Academic Press, London.
41. Datry T., Pella H., Leigh C., Bonada N., Hugueny B. 2016. A landscape approach to advance intermittent river ecology. **Freshwater biology** 61(8), 1200–1213.
42. Đermek D. 2017. Sklonost vodenih beskralješnjaka izvorišnog toka rijeke Zrmanje prema mikrostaništima. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
43. Erman N. A., Erman D. C. 1995. Spring permanence, Trichoptera species richness and the role of drought. **Journal of the Kansas Entomological Society** 68, 50–64.
44. Feminella J. W. 1996. Comparison of benthic macroinvertebrate assemblages in small streams along a gradient of flow permanence. **Journal of the North American Benthological Society** 15(4), 651–669.
45. Fitter R., Manuel R. 1994. Collins Photo Guide to Lakes, Rivers, Streams and Ponds. Harper Collins, London.
46. Gallart F., Prat N., Garcia – Roger E. M., Latron J., Rieradevall M., Llorens P., Barbera G. G., Brito D., De Girolamo A. M., Lo Porto A., Buffagni A., Erba S., Neves R., Nikolaidis N. P., Perrin J. L., Querner E. P., Quinonero J. M., Tournoud M. G., Tzoraki O., Skoulikidis N., Gomez R., Sanchez – Montoya M. M., Froebrich J. 2012. Novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. **Hydrology and Earth System Sciences** 16, 3165–3182.
47. Giginyak Yu. G., Moroz M.D. 2000. Ecological and biotopical features of the relict amphipod *Synurella ambulans* from springs of Belarus. **Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus** 44(5), 81–83.
48. Glavan P. 2022. Učinak presušivanja na zajednice vodenih beskralješnjaka hiporeičke zone izvorišnog toka Rječine. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
49. Glazier D. S. 2009. Springs. U: Likens, G. E. (ur.) *Encyclopedia of inland waters*. Oxford, Academic Press, str. 734–755.
50. Gordon N., McMahon T. A., Finlayson B. L. 1992. *Stream hydrology. An introduction for ecologists*. John Wiley and Sons, New York.

-
51. Gottstein S. 2010. Priručnik za određivanje podzemnih staništa u Hrvatskoj prema Direktivi o staništima EU. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb.
52. Gottstein Matočec S., Ozimec R., Jalžić B., Kerovec M., Bakran-Petricioli T. 2002. Raznolikost i ugroženost podzemne faune Hrvatske. Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb.
53. Gottstein Matočec S., Bakran-Petricioli T., Bedek J., Bukovec D., Buzjak S., Franičević M., Jalžić B., Kerovec M., Kletečki E., Kralj J., Kružić P., Kučinić M., Kuhta M., Matočec N., Ozimec R., Rađa T., Štamol V., Ternjej I., Tvrtković N. 2002. An overview of the cave and interstitial biota of Croatia. **Natura Croatica** 11(1), 1–112.
54. Hayashi M., Rosenberry D. O. 2002. Effects of ground water exchange on the hydrology and ecology of surface water. **Ground Water** 40, 309–316.
55. Hickin E. J. 1995. River Geomorphology. Wiley Press, Hoboken.
56. Illies J. 1952. Die Mölle. Faunistisch-ökologische Untersuchungen an einem Forellenbach im Lipper Bergland. **Archiv für Hydrobiologie** 46, 424–612.
57. Illies J., Botosaneanu L. 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. **Internationale Verein Limnologie** 12, 1–57.
58. Jeffries M., Mills D. 1990. Freshwater Ecology: Principles and Applications. Belhaven Press, London.
59. Jenkins K. M., Boulton A. J. 2003. Connectivity in a dryland river: short-term aquatic microinvertebrate recruitment following floodplain inundation. **Ecology** 84, 2708–2727.
60. Karr J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries** 6, 21–27.
61. Kaufmann G. 2009. Modelling karst geomorphology on different time scales. **Geomorphology** 106, 62–77.
62. Klimchouk A. 1998. The typology of gypsum karst according to its geological and geomorphological evolution. **International Journal of Speleology** 25(3-4), 49–60.
63. Kovač E. 2019. Raznolikost riba i vodozemaca krških izvora Hrvatske. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
64. Lafuente, E., Lürig, M. D., Rövekamp, M., Matthews, B., Buser, C., Vorburger, C., Räsänen, K. 2021. Building on 150 years of knowledge: the freshwater isopod *Asellus aquaticus* as an integrative eco-evolutionary model system. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 699.

-
65. Larned S. T., Datry T., Arscott D. B., Tockner K. 2010. Emerging concepts in temporary – river ecology. **Freshwater Biology** 55(4), 717–738.
66. Leibold M. A., Holyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chase J. M., Hoopes M. F., Holt R. D., Shurin J. D., Law R., Tilman D., Loreau M., Gonzalez A. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. **Ecology Letters** 7, 601–613.
67. Logan P., Furse M. 2002. Preparing for the European Water Framework Directive – making the links between habitat and aquatic biota. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems** 12, 425–437.
68. MacNeil C., Dick J. T. A., Elwood R. W. 1997. The trophic ecology of freshwater *Gammarus* spp. (Crustacea: Amphipoda): problems and perspectives concerning the functional feeding group concept. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society** 72, 349–364.
69. Magoulick D. D., Kobza R. M. 2003. The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis. **Freshwater Biology** 48, 1186–1198.
70. Manga M. 2001. Using springs to study groundwater flow and active geologic processes. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences** 29, 201–228.
71. Matić N., Maldini K., Tomas D., Čuk R., Milović S., Miklavčić I., Širac S. 2016. Geochemical characteristics of the Gacka River karstic springs (Dinaric karst, Croatia) with macroinvertebrate assemblages overview. **Environmental Earth Sciences** 75, 1308.
72. Matijašec I. 2016. Makrozoobentos krenala rijeke Zrmanje. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
73. McAbendroth L., Foggo A., Rundle S. D., Bilton D. T. 2005. Unravelling nestedness and spatial pattern in pond assemblages. **Journal of Animal Ecology** 74, 41–49.
74. Mišerić I. 2017. Usporedba krenobiocenoza dvaju izvora rijeke Gacke. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
75. Novaković B., Ilić M., Kračun – Kolarević M., Tubić B., Marinković N., Đuknić J., Marković V. 2015. Recent Distribution of the Freshwater Crustacean *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) (Isopoda; Crustacea) in Serbia (2007–2013 Period). **Water Research and Management** 5(2), 43–46.
76. Obermann M., Froebrich J., Perrin J. L., Tournoud M. G. 2007. Impact of significant floods on the annual load in an agricultural catchment in the Mediterranean. **Journal of Hydrology** 334, 99–108.

-
77. Patil P. N. 2012. Physico-chemical parameters for testing of water-A review. **International Journal of Environmental Sciences** 3(3), 1194–1207.
78. Rađa B., Puljaš S. 2010. Do Karst Rivers „deserve” their own biotic index? A ten years study on macrozoobenthos in Croatia. **International Journal of Speleology** 39, 137–147.
79. Reiss M., Chiffard P. 2015. Hydromorphology and Biodiversity in Headwater-An Eco Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. U: Lo Y. H., Blanco J. A., Roy S. (ur.) Biodiversity in Ecosystems – Linking Structure and Function. London, InTech, str. 223–258.
80. Rimmer A., Salinger Y. 2006. Modelling precipitation-streamflow processes in karst basin: The case of the Jordan River sources. **Journal of Hydrology** 33, 524–542.
81. Sarremejane R., Stubbington R., Dunbar M. J., Westwood C. G., England J. 2019. Biological indices to characterize community responses to drying in streams with contrasting flow permanence regimes. **Ecological Indicators** 107, p.105620.
82. Savić A., Dmitrović D., Pešić V. 2017. Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera assemblages of karst springs in relation to some environmental factors: a case study in central Bosnia and Herzegovina. **Turkish Journal of Zoology** 41, 119–129.
83. Sertić Perić M., Matoničkin Kepčija R., Miliša M., Gottstein S., Lajtner J., Dragun Z., Filipović Marijić V., Krasnići N., Ivanković D., Erk M. 2018. Benthosdrift relationships as proxies for the detection of the most suitable bioindicator taxa in flowing waters – a pilot – study within a Mediterranean karst river. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 163, 125–135.
84. Sheldon F., Bunn S. E., Hughes J. M., Arthington A. H., Balcombe S. R., Fellows C. S. 2010. Ecological roles and threats to aquatic refugia in arid landscapes: dryland river waterholes. **Marine and Freshwater Research** 61, 885–895.
85. Springer A. E., Stevens L. E. 2008. Spheres of discharge of springs. **Hydrogeology Journal** 17, 83–93.
86. StatSoft, Inc. 2012. Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft.
87. Stubbington R., England J., Wood J. P., Sefton C. 2017. Temporary streams in temperate zones: recognizing, monitoring and restoring transitional aquatic-terrestrial ecosystems. **WIREs Water** 4(4), p.e1223.

-
88. Sworobowicz L., Grabowski, M., Mamo, T., Burzynski, A., Kilikowski, A., Sel, J., Wysocki, A. 2015. Revisiting the phylogeography of *Asellus aquaticus* in Europe: insights into cryptic diversity and spatiotemporal diversification. **Freshwater Biology** 60(9), 1824–1840.
89. Taylor C. M. 1997. Fish species richness and incidence patterns in isolated and connected stream pools: effects of pool volume and spatial position. **Oecologia** 110, 560–566.
90. von Fumetti S., Nagel P., Baltes B. 2007. Where a springhead becomes a springbrook—a regional zonation of springs. **Fundamental and Applied Limnology (Archiv für Hydrobiologie)** 169(1), 37–48.
91. Ward J. V., Bretschko G., Danielopol D., Gibert J., Gonser T., Hildrew A. G. 1998. The boundaries of river systems: the metazoan perspective. **Freshwater Biology** 40(3), 531–569.
92. White W. B. 1988. Geomorphology and hydrogeology of karst terrains. Oxford University Press, Oxford.
93. Whitehurst I. T., Lindsey B. I. 1990. The impact of organic enrichment on the benthic macroinvertebrate communities of a lowland river. **Water Research** 24(5), 625–630.
94. Žganec K., Lunko P., Stroj A., Mamos T., Grabowski M. 2016. Distribution, ecology and conservation status of two endemic amphipods, *Echinogammarus acarinatus* and *Fontogammarus dalmatinus*, from the Dinaric karst rivers, Balkan Peninsula. **Annales de Limnologie** 52(1), 13–26.

Korištene internet stranice

URL1: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-used-national-aquatic-resource-surveys>

URL2: <https://www.agroportal.hr/zanimljivosti/12328>

PRILOZI

PRILOG 1. Opisna statistika protoka rijeke Like kod Bilaja (mjerna postaja 8005) za razdoblje od 1.1.2012 do 31.12.2015. izračunata je na temelju dnevnih protoka (Qd) za svaki analizirani mjesec: min-minimum; max-maksimum; R-raspon vrijednosti, SD-standardna devijacija; SP-standardna pogreška; KV-koeficijent varijabilnosti. **Najniže vrijednosti su istaknute crveno, a najviše vrijednosti su masno otisnute.**

GODINE	OPISNA STATISTIKA	MJESECI											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2012	min	1,73	1,19	1,88	1,65	2,64	0,71	0,04	0,01	0,01	0,09	4,45	7,27
	max	3,92	2,51	6,11	53,50	10,00	2,99	0,65	0,04	0,45	19,30	38,90	82,00
	R	2,19	1,32	4,23	51,85	7,36	2,28	0,61	0,03	0,44	19,21	34,45	74,73
	SV	2,49	1,59	3,63	9,07	4,77	1,73	0,19	0,02	0,08	3,43	15,55	21,41
	SD	0,61	0,35	1,20	13,31	1,75	0,61	0,17	0,01	0,12	4,65	9,91	17,00
	SP	0,11	0,06	0,22	2,43	0,31	0,11	0,03	0,00	0,02	0,83	1,81	3,05
	KV	0,24	0,21	0,33	1,44	0,36	0,35	0,86	0,41	1,46	1,33	0,63	0,78
2013	min	5,33	8,98	11,10	3,47	2,38	1,66	0,15	0,04	0,02	1,05	2,95	10,50
	max	160,00	29,90	83,60	57,80	6,93	35,30	1,52	0,14	1,26	19,60	46,10	11,90
	R	154,67	20,92	72,50	54,33	4,55	33,64	1,37	0,09	1,24	18,55	43,15	1,40
	SV	29,20	15,00	25,42	15,54	3,35	6,97	0,73	0,08	0,29	7,36	16,51	10,92
	SD	37,88	5,06	15,89	13,59	1,00	7,92	0,43	0,03	0,37	5,30	11,06	0,53
	SP	6,80	0,96	2,85	2,48	0,18	1,45	0,08	0,01	0,07	0,95	2,02	0,10
	KV	1,28	0,33	0,61	0,86	0,29	1,12	0,58	0,40	1,24	0,71	0,66	0,05
2014	min	10,50	12,00	4,03	4,18	2,73	1,10	0,81	2,03	2,42	2,91	4,33	4,30
	max	34,20	81,40	15,20	14,40	19,80	2,62	56,30	42,50	40,30	11,60	34,10	20,60
	R	23,70	69,40	11,17	10,22	17,07	1,52	55,49	40,47	37,88	8,69	29,77	16,30
	SV	12,15	28,70	9,54	6,89	8,04	1,70	5,94	7,93	14,85	5,83	12,68	10,40
	SD	4,16	16,84	3,46	2,60	5,02	0,44	10,21	8,63	9,65	2,74	7,48	4,94
	SP	0,75	3,18	0,62	0,48	0,90	0,08	1,83	1,55	1,76	0,49	1,37	0,89
	KV	0,34	0,58	0,36	0,37	0,61	0,25	1,69	1,07	0,64	0,46	0,58	0,47
2015	min	2,26	3,54	3,26	2,07	1,25	1,00	0,09	0,01	0,01	0,39	1,74	2,02
	max	70,50	56,70	31,40	3,97	17,50	2,77	0,93	0,14	0,96	74,90	7,07	3,44
	R	68,24	53,16	28,14	1,90	16,25	1,77	0,84	0,12	0,95	74,51	5,33	1,42
	SV	6,53	15,46	9,51	2,57	3,35	1,65	0,36	0,04	0,14	10,49	3,08	2,73
	SD	12,45	16,59	7,56	0,52	3,43	0,45	0,25	0,03	0,29	17,29	1,19	0,40
	SP	2,24	3,14	1,36	0,09	0,62	0,08	0,04	0,01	0,05	3,11	0,22	0,07
	KV	1,88	1,05	0,78	0,20	1,01	0,27	0,68	0,65	1,98	1,62	0,38	0,14

ŽIVOTOPIS

Rođen sam 16. 05. 1991. godine u Zadru. Završio sam Osnovnu školu Šime Budinića te potom matematičku gimnaziju Franje Petrića u Zadru s odličnim uspjesima. Preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu završio sam 2020. godine. Temu završnog rada preddiplomskog studija pod naslovom „Onečišćenje prometnom bukom: izloženost, utjecaj na zdravlje i metode kontrole onečišćenja“ napisao sam pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Nenada Buzjaka. Nakon stjecanja naziva prvostupnika (univ. bacc. oecol.) upisao sam diplomski studij na istom fakultetu, smjer Znanosti o okolišu te se učlanjujem u Udrugu studenata biologije – BIUS u okviru koje sam bio aktivan unutar sekcije za istraživanje mekušaca.

Sudjelovao sam aktivno u funkciji volontera na projektu „Sinekološka STEM EDUKacija u Klinči“ voditeljice dr. sc. Renate Kobetić, predsjednice Udruge civilnog društva Eduka, centar socijalnog razvoja financiranog iz Europskog socijalnog fonda.