

Sklonost vodenih beskralješnjaka izvorišnog toka rijeke Zrmanje prema mikrostaništima

Đermek, Doris

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:217:765703>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Doris Đermek

Sklonost vodenih beskralješnjaka izvorišnog toka rijeke Zrmanje prema mikrostaništima

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

Ovaj rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta pod stručnim vodstvom izv. prof. dr. sc. Sanje Gottstein. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Znanosti o okolišu.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

Sklonost vodenih beskralješnjaka izvorišnog toka rijeke Zrmanje prema mikrostanjštima

Doris Đermek

Rooseveltovo trg 6, 10 000 Zagreb

Zajednice krških izvora su jedne od najraznolikijih i kompleksnih sastavnica izvorišnih ekosustava s velikim utjecajem protoka. Tijekom ekoloških istraživanja izvora rijeke Zrmanje tijekom travnja 2016. godine prikupili smo 20 poduzoraka u brzjoj i 20 poduzoraka u sporjoj struji vode na dominantnim mikrostanjštima. Koristeći standardnu metodologiju istraživanja prema AQEM protokolu koristeći ručnu bentos mrežu (veličine oka 200 μm) prikupili smo stalnu i povremenu faunu beskralješnjaka. Pripadnici porodice Chironomidae su bili dominantna fauna, sa najvećim brojem jedinki na mahovini spore struje vode. EPT indeks je pokazao najveći broj EPT svojiti u mahovini na makrolitalu i megalitalu brze struje vode. Analizom funkcionalnih hranidbenih skupina smo utvrdili dominantnost detritofaga s pretežno sakupljačima pobiračima unutar skupine dvokrilaca (Chironomidae). Na vrhu hranidbene mreže spore struje vode utvrđeni su pripadnici skupine Plecoptera (Perlidae), dok su u brzjoj struji vode na vrhu hranidbene mreže pripadnici skupine Trichoptera (Rhyacophyllidae). Skupina Hydrachnellae kao ključna izvorišna fauna, iako slabo zastupljena, nastanjivala je većinom mikrostanjšta spore struje vode na mikrolitalu.

(50 stranica, 18 slika, 5 tablica, 40 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: krški izvor / makroskopski beskralješnjaci / brzina strujanja / substrat / hranidbene mreže

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

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

Izv. prof. Sandra Radić Brkanac

Prof. dr. sc. Jasenka Sremac

Izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić

Zamjena: Izv. prof. dr. sc. Alan Moro

Rad je prihvaćen: 2. studenog 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

Microhabitat preferences by aquatic invertebrates in the Zrmanja River springbrook

Doris Đermek

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Karstic spring communities are the most diverse and complex ecosystem with huge impact of discharge. During the ecological research of macroinvertebrates on the Zrmanja River spring in April 2016 we collected 20 subsamples in the high velocity and 20 subsamples in the low flow velocity of the dominant microhabitats. Using standard methodological procedure according to AQEM by hand net (200 µm mesh size) we collected permanent and temporal invertebrate fauna. The dominant temporal fauna was Chironomidae with the highest number of specimens on the moss substrate in the low flow velocity. EPT index was showed the highest number of EPT taxa in moss substrate on the macrolithal and megalithal in the high flow velocity. Analysis of functional feeding groups recorded the dominance of detritophages with prevalence of collector gathers inside of dipterans fauna (Chironomidae). At the top of the food web of the low flow velocity microhabitats was plecopterans (Perlidae) while in the high flow velocity microhabitats at the top of the food web was trichopterans (Rhyacophyllidae). Hydrachnellae as a key spring fauna was inhabited mostly microhabitats with the low flow velocity inside the microlithal.

(50 pages, 18 figures, 5 tables, 40 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Keywords: karstic spring / macroinvertebrates / flow velocity / substrate / food web

Supervisor: Sanja Gottstein, Assoc. Prof., Ph.D.

Reviewers: Sanja Gottstein, Assoc. Prof., Ph.D.

Sandra Radić Brkanac, Assoc. Prof., Ph.D.

Jasenka Sremac, Full Prof., Ph.D.

Danijel Orešić, Assoc. Prof., Ph.D.

Replacement: Alan Moro, Assoc. Prof., Ph.D.

Thesis accepted: 2nd November 2017

ZAHVALA

Veliku zahvalnost dugujem mentorici izv. prof. dr. sc. Sanji Gottstein na ukazanom povjerenju, pomoći, strpljivosti te vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i baki koji su mi velika podrška u životu i bez njih sve ovo što sam do sada postigla ne bi bilo moguće.

Neizmjerno se zahvaljujem svojoj sestri Luciji na velikoj pomoći i ohrabrenju.

Zahvaljujem se svom dečku Dinku koji je uvijek uz mene, bilo da se radi o dobrim ili lošim trenucima, te mi je bio velika potpora tijekom studiranja i pisanja ovog diplomskog rada.

Još jednom hvala vam za sve jer bez vas ništa ne bi bilo moguće!

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Tipizacija i klasifikacija krških izvora	1
1.2. Izvori kao vruće točke biološke raznolikosti.....	3
1.3. Preferencija mikrostaništa vodenih beskralješnjaka u krškim izvorima.....	4
1.4. Protoke i brzina strujanja vode kao ključni ekološki čimbenici krških izvora	5
1.5. Ciljevi istraživanja.....	7
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	8
3. MATERIJALI I METODE	18
3.1. Materijali i metode terenskih istraživanja	18
3.1.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka	18
3.1.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode.....	18
3.2. Materijali i metode laboratorijskih istraživanja.....	21
3.3. Analiza podataka	21
3.3.1. Analiza zajednica bentoskih beskralješnjaka	21
4. REZULTATI.....	25
4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode u mikrostaništima	25
4.2. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka brze i spore struje vode	26
4.2.1. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima brze struje vode	27
4.2.2. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima spore struje vode	27
4.3. Struktura i raznolikost zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima brze i spore struje vode.....	30
4.4. EPT indeks	31
4.5. Udio permanentne i temporalne fauna	33
4.6. Udjeli funkcionalnih skupina u hranidbenoj mreži	35
4.7. Sličnost zajednica makrozoobentosa u različitim mikrostaništima izvorišnog toka rijeke Zrmanje	39
5. RASPRAVA.....	40
6. ZAKLJUČAK	46
7. LITERATURA	47
ŽIVOTOPIS	1

1. UVOD

1.1. Tipizacija i klasifikacija krških izvora

Izvori su autohtoni vodeni ekotoni sa složenim funkcionalnim svojstvima i heterogenim strukturama (Reiss i sur., 2016). Smatraju se važnim sastavnicama bioraznolikosti riječnog sustava (Cantonati i sur., 2012). Izvori su mjesta na kojima podzemna voda izbija na Zemljinu površinu, često formirajući jezero, tok ili močvaru. Mogu se javiti ispod velikih vodenih tijela, uključujući rijeke, jezera i oceane. Oborinska voda u obliku kiše i otopljenog snijega procjeđuju se kroz tlo gdje se sakuplja kao podzemna voda u poroznom mediju (vodonosniku) koji se nalazi iznad relativno nepropusnog sloja stijene (Glazier, 2009). Temeljem Zakona o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) prema Članku 3. (I. Opće odredbe) vodonosnik je: „podzemni sloj ili slojevi stijena ili drugih geoloških naslaga dovoljne poroznosti i propusnosti koji omogućuje značajan protok podzemnih voda ili zahvaćanje znatnih količina podzemnih voda“ (URL 1). Pod utjecajem gravitacije i tlaka podzemna voda pronalazi put najmanjeg otpora do površine Zemlje u obliku izvora. Općenito, vodonosnici dobivaju vodu oborinama, a gube ju preko izvora. Postoji vremenska razlika između ta dva procesa zbog podzemne pohrane vode. Veliku varijabilnost protoka pokazuju izvori koji imaju male, plitke vodonosnike s niskim kapacitetom skladištenja vode, dok izvori s velikim, dubokim vodonosnicima s visokim kapacitetom skladištenja vode pokazuju puno manje varijabilnosti. Kroz relativno dugo vrijeme količina protočne vode varira zavisno o veličini vodonosnika i ravnoteže između taloženja i evapotranspiracije tog područja (Glazier, 2009).

Izvori su osobito važni za donošenje i transport otopljenih tvari. Svojim biološkim i kemijskim sastavom mijenjaju lokalni krajolik. Podzemna voda prvo ima kemijsku i fizičku interakciju s podzemnim stijenama, a zatim izlazi na površinu i dolazi u doticaj sa zrakom i različitim organizmima. Kao rezultat toga nekoliko važnih geoloških fenomena može biti istraženo u izvorskim sustavima, uključujući geotermalne procese, podzemnu hidrogeologiju, mineralno taloženje i geomikrobiologiju. Ključna tipizacija izvora temelji se na termici podzemnih voda koja istječe na njima (Glazier, 2009).

Izvor možemo podijeliti na dvije glavne ekološke zone: eukrenal i hipokrenal. Eukrenal je mjesto izviranja vode (Glazier, 2009) s obiljem detritusa i bogato razvijenom vegetacijom, koju uglavnom čini mahovina (Gerecke i sur., 1997). Granica između eukrenala i hipokrenala

1.UVOD

definirana je kao točka u kojoj godišnje varijacije temperature ne prelaze 2 °C (Erman i Erman 1995, citirano iz Smith i sur., 2003). Hipokrenal sadrži malo ili nimalo vegetacije, a obilježava ga supstrat sa više šljunka i kamenja (Gerecke i sur., 1997).

Izvori su vrlo raznoliki i upravo zbog toga se klasificiraju na različite načine. Klasificiraju se na temelju njihove geologije, hidrologije, kemizma vode, temperature vode, ekologije, morfologije i ljudske upotrebe. Geološka podloga određuje kemizam izvora, stoga izvori na različitim podlogama imaju različit omjer kationa i aniona. Izvorska voda često sadrži znatne količine silicijevog dioksida, a neki izvori mogu sadržavati i male koncentracije radioaktivnih izotopa. Otopljeni plinovi u izvorskoj vodi su dušik, kisik, ugljični dioksid, sumporovodik, radon, helij te ostali plemeniti plinovi. Imena izvorima često se daju prema njihovom kemijskom sastavu (npr. mineralni i sumporni izvor). U nekim izvorima koncentracija otopljenog ugljikovog dioksida (CO₂) je toliko visoka da značajno povećava i koncentraciju ugljikovog dioksida u zraku, te time indirektno utječe na pojačan rast okolne vegetacije. O geologiji također ovise i hidrološka obilježja izvora, stoga postoje izvori koji imaju stabilan protok vode dok je kod drugih veoma promjenjiv. Približna temperatura vode mnogih izvora je srednja godišnja temperatura zraka određenog područja. Međutim, postoje izvori koji imaju nešto nižu temperaturu od srednje godišnje temperature zraka, te se nazivaju „hladnim izvorima“. Nasuprot tome, postoje i tzv. „vrući izvori“ čija je temperatura značajno viša od srednje godišnje temperature zraka područja u kojem se nalaze. Biolozi su dodatno klasificirali i okarakterizirali izvore prema vrsti vodenog staništa kojeg stvaraju, na reokrene, limnokrene i helokrene izvore (Glazier, 2009).

1. Reokreni izvori pod pritiskom izbijaju na površinu iz podzemlja, neposredno tvoreći turbulentan izvorski tok. To su izvori sa stjenovitom podlogom i jakim prozračivanjem vode, najbolje razvijeni u planinskim područjima.

2. Limnokreni izvori su izvori u kojima voda teče iz velike i duboke depresije formirajući ujezerenje u udubini u koju neprestano ulazi izvorišna voda. Kod limnokrenih izvora vodonosnik je viši od podloge. Izvorišno područje najčešće je s muljevito-pjeskovitim sedimentom, a dno bazena se može sastojati od sitnih vapnenačkih čestica koje su prekrivene mikrofitskom ili makrofitskom vegetacijom.

3. Helokreni izvori su specifični izvori kod kojih se voda difuzno procjeđuje kroz tlo, šljunak ili propusnu stijenu tvoreći zamočvareno područje, bez jasnih granica izviranja vode (URL 2).

1.2. Izvori kao vruće točke biološke raznolikosti

Izvori su mjesta koja povezuju površinske i podzemne vode te vodeni i terestrički okoliš (Kubíková i sur., 2012). Upravo zbog toga su idealni za ispitivanje odnosa između faune zajednica i parametara okoliša koji utječu na njihovu distribuciju (Smith i sur., 2003). Često su vrlo mali ekosustavi, ali su mnogobrojni (Cantonati i sur., 2012). Osim toga smatraju se vrućim točkama biološke raznolikosti (Scarsbrook i sur., 2007, Ilmonen i sur., 2012, citirano iz Cantonati i sur., 2012) te je upravo zbog toga nužna njihova zaštita, kako bi se očuvala rijetka staništa i zajednice organizama (Cantonati i sur., 2012; Reiss i Chiffard, 2015). Na izvorima pronalazimo vrste koje su ograničene na samo područje izvora (krenobionti), zatim vrste koje se većinom javljaju na izvorima, ali i u nizvodnim dijelovima toka (krenofili) te vrste koje se povremeno pojavljuju na izvorima, a također su pronađene i u drugim vodenim staništima (krenokseni) (Glazier, 2009). Relativno konstantna temperatura vode i brzina protoka mnogih izvora značajno su uključeni u određivanje njihovog biološkog sastava. Izvori pokazuju tek male promjene temperature na dnevnoj, sezonskoj ili godišnjoj razini. Kao rezultat toga, organizmi su aktivni tijekom cijele godine u različitim tipovima izvora (Savić i sur., 2017). Izvori imaju različita fizička, kemijska i biološka svojstva koja se mijenjaju nizvodno (Gerecke i sur., 1998). Nekoliko znanstvenika je utvrdilo da broj makroskopskih vodenih beskralješnjaka raste nizvodno od izvora, što upućuje na činjenicu kako su sami izvori siromašni faunom, a izvorišni tokovi su ti koji su vruće točke biološke raznolikosti (Erman, 1992, Bonettini i Cantonati, 1996, Kiss i Schmera, 1996, citirano iz Cantonati i sur., 2012). Veća je raznolikost vrsta u izvorima sa silikatnom podlogom i umjereno varijabilnim čimbenicima, za razliku od izvora na karbonatnoj podlozi koji imaju veću varijabilnost čimbenika koji su rezultat brže struje vode (Cantonati i sur., 2006, citirano iz Cantonati i sur., 2012). 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. Izvori pružaju mnoge prednosti za život vodenim i kopnenim organizmima, uključujući vlagu, pitku vodu, hranu, minerale i sklonište. Na sastav i brojnost beskralješnjaka u izvorišnom području mogu utjecati različiti čimbenici u okolišu, uključujući fizikalno-kemijske čimbenike, hidrološke uvjete, supstrat i nadmorsku visinu (Savić i sur., 2017). U mnogim izvorima gdje je autohtona primarna produkcija prirodno niska, unos listinca s okolne vegetacije čini važan izvor organske tvari i može biti primarni izvor energije za

zajednicu beskralješnjaka (Ros-Marshall & Wallace, 2002, citirano iz Smith i sur., 2003). Izvori s najvećim bogatstvom vrsta su najstabilniji izvori koji imaju male promjene u protoku vode i oscilacijama temperature. To su izvori s najvećom koncentracijom kalcija i magnezija te imaju veliku specifičnu električnu provodnost i pH (Erman, 2002). Većina izvora ima vrlo visoku produktivnost, međutim, neki izvori kao što su kiseli ili sumporni izvori mogu imati štetne utjecaje na lokalnu zajednicu. Kod kiselih izvora dolazi do ispiranja teških metala koji negativno utječu na nizvodna staništa, a sumporni izvori imaju povećanu koncentraciju sumporne kiseline koja oštećuje lokalnu vegetaciju (Glazier, 2009).

1.3. Preferencija mikrostaništa vodenih beskralješnjaka u krškim izvorima

Upotreba podataka o vodenim beskralješnjacima u biomonitoringu naglašava potrebu za boljim razumijevanjem odnosa preferencije mikrostaništa od strane beskralješnjaka i kako bi te preferencije mogle utjecati na biotičke indekse. Uspoređivanje mikrostaništa je također važno prilikom analize podataka beskralješnjaka kako bi se uvidjeli i dokazali razni epizodni poremećaji (Gregory, 2005). Istraživanja ponašanja životinja i odabir njihovog mikrostaništa može se provesti *in situ* zahvaljujuću čistoći vode i stabilnosti mnogih izvora, dok je to mnogo teže izvedivo kod drugih nestabilnih vodenih staništa (Savić i sur., 2017). Na sastav zajednica u izvorima najviše utječe brzina strujanja vode (Kubíková i sur., 2012), a u nekim slučajevima i sastav supstrata (njegova veličina i heterogenost) te prisutnost vodene vegetacije (Williams & Williams, 1999, citirano iz Smith i sur., 2003). Heterogenost supstrata ponekad može biti važnija od tipa supstrata, te može pozitivno utjecati na pojavu brojnih vrsta (Kubíková i sur., 2012). Na staništima s manje supstrata, gdje je sporiji protok vode prevladavaju svojite iz skupine Diptera (osobito predstavnici porodice Chironomidae), za razliku od staništa sa sitnim šljunkom i bržim protokom vode gdje prevladavaju svojite iz skupina Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera i Megaloptera (Gregory, 2005). Zajednice na organskom supstratu imaju veći udio tipičnih vrsta krenala, dok se vrste koje preferiraju tvrđi supstrat nalaze nizvodno u hipokrenalu (Schröder i sur., 2006, citirano iz Cantonati i sur., 2012).

1.4. Protoke i brzina strujanja vode kao ključni ekološki čimbenici krških izvora

Jedan od najvažnijih ekoloških čimbenika koji utječe na razvoj i opstanak biocenoza u krškim tekućicama je brzina strujanja vode. U području krša oborinske vode ne protječu direktno po površini, već znatna količina vode prodire kroz pukotine u vodonosnike, koji su nastali fizičko-kemijskim djelovanjem voda. U vodonosnicima se gomilaju velike količine vode, koja ili nalazi podzemni put do mora ili izbija na površinu jakim mlazom i u velikim količinama u vidu različitih tipova izvora. Zbog toga tekućice u kršu u svom izvorišnom području imaju velike protoke, koji nisu isključivo uvjetovani nagibom terena, kao što je to slučaj u ostalim tekućicama kontinentalnog područja. Upravo zbog toga je brzina strujanja vode odraz hidrologije i hidrogeologije krša. Brzina strujanja vode u krškim rijekama s jedne strane ima erozijsko djelovanje, a s druge strane ima taložni karakter. Erozijsko djelovanje vode udubljuje riječno korito. Ukoliko je podloga vapnenačka, nastaju duboki kanjoni, jer voda koja sadrži određene količine ugljične kiseline djeluje kao otapalo na vapnenca, a ako se radi o dolomitnoj podlozi nastaju široke doline. Na dolomitnoj podlozi erozijsko djelovanje vode je većinom mehaničko zbog lakšeg trošenja dolomitnih stijena. Ukoliko je povoljna brzina strujanja vode, imat će taložni karakter, te nastaju sedrene naslage u riječnom koritu. U vapnenačkim vodama nastaje tzv. vodopadna sedra, jer je za njezin nastanak vrlo važno prozračivanje. Kada se voda prozračuje, tada velika površina vode dolazi u kontakt s atmosferom, što omogućuje lakšu difuziju ugljikovog dioksida (CO_2) iz atmosfere te time dolazi do cijepanja bikarbonatnih molekula u netopivi kalcijev karbonat, koji se taloži u obliku sitnih čestica vapnenca. Rastom tih naslaga dolazi do postepenog stvaranja barijera koje uspore riječne tokove (Matoničkin i sur., 1966).

Trajnost i varijabilnost protoka također su važne odrednice sastava zajednice beskralješnjaka u izvorima. Neki beskralješnjaci su potencijalni pokazatelji trajnosti protoka u izvorima (Scarsbrook i sur., 2007, citirano iz Cantonati i sur., 2012). Dobri pokazatelji stabilnosti protoka su organizmi koji su osjetljivi na sušu, npr. među makroskopskim vodenim beskralješnjacima to su rakovi i vodengrinje (Gerecke i sur., 2009a, citirano iz Cantonati i sur., 2012). Unatoč relativno stabilnim uvjetima koji vladaju u izvorima, može doći do hidroloških poremećaja. Suša i velika količina oborina, osobito u povremenim krškim izvorima, snažno utječu na sastav beskralješnjaka. Takvi efekti također ovise o geologiji i podrijetlu podzemne vode. Sastav vodenih beskralješnjaka najviše ovisi o tome da li je izvor stalan ili povremen. Manje bogatstvo vrsta nalazi se u izvorima s većim hidrološkim poremećajima, tj. na mjestima sa većom varijabilnošću protoka. Višegodišnje populacije vodenih beskralješnjaka u izvorima

1.UVOD

nisu prilagođene na hidrološke promjene, a ponajmanje na isušivanje samog izvora (von Fumeti i Nagel, 2012).

Brzina vode u znatnoj mjeri utječe i na sastav biocenoza. Mnogi organizmi nisu prilagođeni uvjetima pri većem strujanju vode. Organizmi koji su prilagođeni većem strujanju vode moraju biti sposobni održati se pod utjecajem jakog vodenog pritiska u smjeru strujanja vode, te također i pod uvjetima taloženja čestica kalcijevog karbonata. Postoji znatan broj organizama koji naseljavaju takva staništa, a ne pokazuju neke posebne prilagodbe na brzinu strujanja vode. Takvi organizmi većinom nastanjuju zaštićena staništa. Takva staništa nastaju pod utjecajem vegetacije ili djelovanjem abiogenih čimbenika (nanošenje čestica kamenja, razni oblici erozijskog djelovanja vode, tektonske promjena u koritu rijeke i sl.). Voda svojim mehaničkim djelovanjem najviše utječe na vegetaciju. Razvija se vegetacija koja se može pričvrstiti na tvrdu kamenu ili stjenovitu podlogu (bentoske alge ili neki drugi hidrofiti), te se time može suprotstaviti brzini strujanja vode (Matoničkin i sur., 1966).

1.5. Ciljevi istraživanja

Ciljevi ovog diplomskog rada usmjereni su na određivanje sastava, raznolikosti i strukture zajednica bentoskih beskralješnjaka izvorišnog toka rijeke Zrmanje na najzastupljenijim tipovima mikrostaništa dvaju paralelnih 100 m dugih odsječaka vodotoka, od kojih je jedan brze struje vode, a drugi spore struje vode.

Pojedinačni ciljevi rada su sljedeći:

- utvrditi sastav i raznolikost zajednica te zastupljenost skupina bentoskih beskralješnjaka u brzjoj i sporij struji vode;
- izračunati sličnost zajednica bentoskih beskralješnjaka brze i spore struje vode;
- izračunati EPT (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera) indeks za pojedine odsječke vodotoka različite brzine strujanja vode te za pojedina mikrostaništa;
- utvrditi zastupljenost temporalne i permanentne faune u pojedinim uvjetima mikrostaništa;
- provesti analizu funkcionalnih skupina i izraditi sheme hranidbene mreže

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

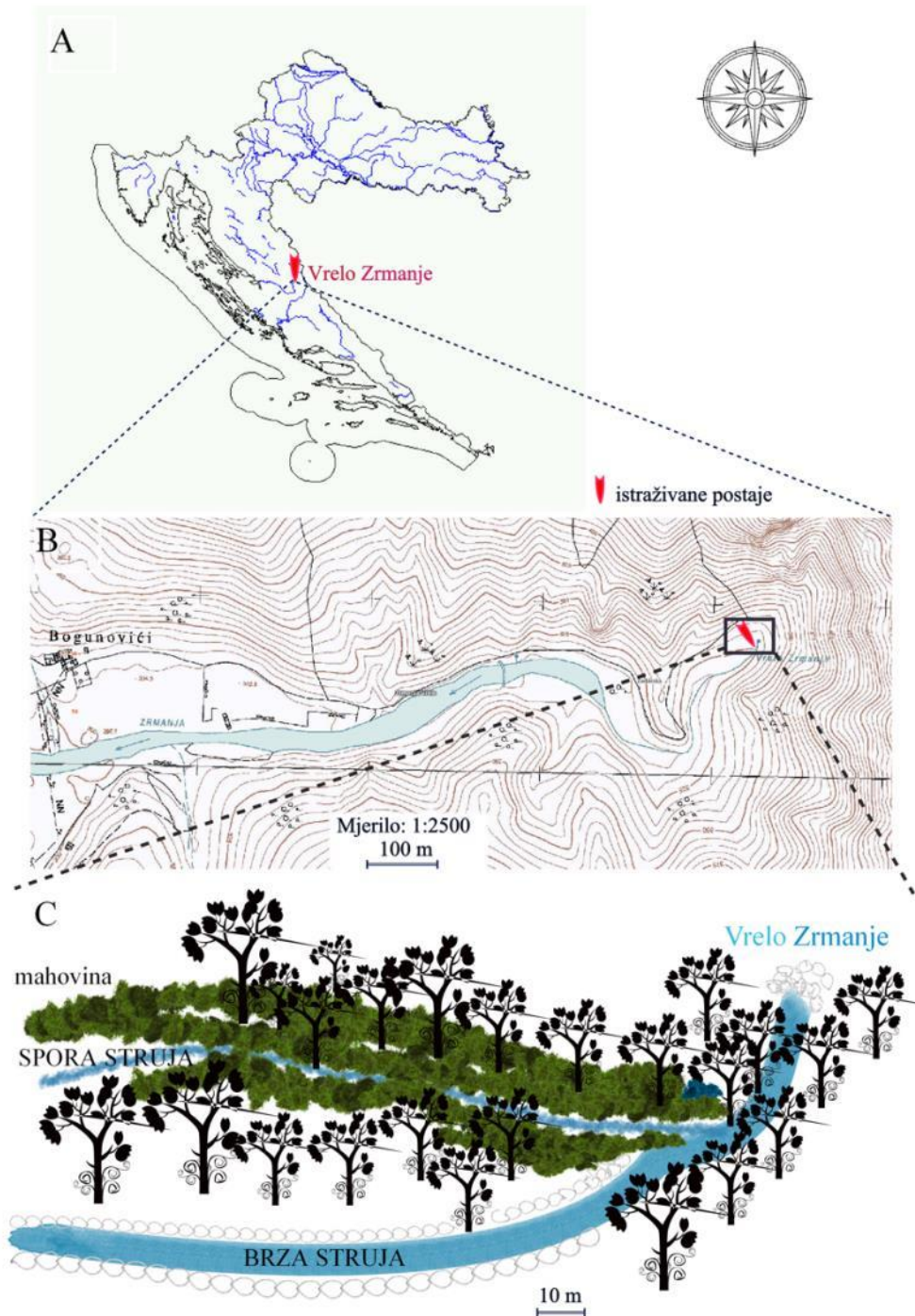
2.1. Opis područja istraživanja

Istraživanje je provedeno na širem području Zrmanja Vrelo, ispod područja Nadvrela na samom vrelu Zrmanje oko 1,5 km uzvodno od zaselka Bogunovići i oko 500 m uzvodno od brane na rijeci Zrmanji te dvadesetak metara nizvodno od samog mjesta izviranja vode na površinu. Odabrana su dva transekta u dužini od 100 m u dva odvojena odsječka toka rijeke različite brzine strujanja vode:

- **brza struja vode** u glavnom koritu s velikim pločama megalitala (>40 cm promjera), dominantnim makrolitalom (blokovi stijena 20-40 cm promjera) te uz obalu sitnijim mezolitalom (valutice 6-20 cm promjera);
- **spora struja vode** u paralelnom sedotvornom odsječku toka na desnoj strani obale, koja teče kroz busenove mahovine i sitne čestice supstrata s dominacijom mikrolitala (2-6 cm promjera) te galerijsku šumu bijelog graba i vrbe.

Početna točka istraživane trase smještena je na nadmorskoj visini od 325 m (HTRS96/TM koordinate: E 466803; N 4896183) (Slika 1).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA



Slika 1. Prikaz područja istraživanja: A-karta Hrvatske s osnovnom hidrološkom mrežom; B-osnovna topografska karta Hrvatske (URL 3); C- detaljniji prikaz istraživanih postaja u brzjoj i sporij struji vode na izvoru rijeke Zrmanje (crtež S. Gottstein).

2.2. Geografska obilježja rijeke Zrmanje

Zrmanja, uz Krku i Cetinu, jedna je od najvećih rijeka Dalmacije (Štih i sur., 2015) te se nalazi u središnjem dijelu Dinarskog krša između $44^{\circ}00'$ i $44^{\circ}25'$ sjeverne geografske širine i $15^{\circ}35'$ i $16^{\circ}20'$ istočne zemljopisne dužine (Bonacci, 1999). Geografski položaj Zrmanje najjednostavnije je povezati s položajem planine Velebit. Njome se često definira krajnja, jugoistočna granica Velebita. Međutim, geografski položaj rijeke mijenjao se kroz prošlost. U geološkoj prošlosti otjecala je u rijeku Krku, dok danas između tih dviju rijeka postoji samo podzemna veza. Podzemne vode Zrmanje koje izvire kod slapa Miljacka na rijeci Krki znatno utječu na vodni režim srednjeg toka rijeke Zrmanje. Upravo zbog toga dio toka od Mokrog polja do Crnog bunara te nizvodno prema Žegarskom polju za vrijeme ljetnih suša potpuno je bez vode (URL 4). Zrmanja je krška rijeka smještena na granici dvije velike regije, Like i Dalmacije. Ukupna dužina toka rijeke iznosi 69 km, što je čini jednom od najduljih rijeka Hrvatske, dok je površina porječja 907 km^2 (Statistički ljetopis, 2009). Područje izvora rijeke smješteno je između dvaju velikih planinskih masiva, Velebita i Dinare. Izvor se nalazi na 395 m nadmorske visine (URL 4) podno vrha Poštak (1425 m n. m) (Slika 2), u blizini sela Zrmanja Vrelo (Slika 3), na rubu istočnog Velebita (Štih i sur., 2015). Rijeka Zrmanja teče u smjeru jugoistoka sve do otprilike 4 km nizvodno od sela Pađane. Ispod Kravljeg mosta, naglo mijenja smjer toka u pravcu zapada, gdje naizmjenično vijuga kroz manja krška polja (Mokro polje, Ervenik i Žegarsko polje) i kanjone. Nizvodno od grada Obrovca skreće u smjeru jugozapada sve do ušća gdje se ulijeva u Novigradsko more (URL 4). Rijeka Zrmanja ima dva značajna pritoka, Krupu i Dobarnicu (Štih i sur., 2015). Najveći prtok Krupa u Zrmanju se ulijeva podno Paninog kuka (URL 4), dok se manji prtok Dobarnica ulijeva blizu Berberovog buka (Štih i sur., 2015).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA



Slika 2. Pogled prema izvoru Zrmanje podno vrha Poštak s prikazom okomitih stijena Misije u travnju 2016. godine (foto: S. Gottstein).



Slika 3. Pogled od izvora Zrmanje nizvodno prema Zrmanja Vrelu s rijekom koja teče kroz galerijsku šumu bijelog graba i vrbe u travnju 2016. godine (foto: S. Gottstein).

2.3. Klimatska i hidrografska obilježja područja rijeke Zrmanje

Izvorišno područje rijeke Zrmanje je pod utjecajem kontinentalne klime dok je nizvodno prema ušću mediteranska klima (Štih i sur., 2015). Ljeta su vrlo topla s temperaturom zraka i do 35 °C, dok su zime hladne s temperaturom i do -10 °C. Srednja godišnja količina oborina je 1 600 mm godišnje, a može varirati od 1 100 mm do 2 100 mm (Bonacci, 1999). Količina padalina utječe na hidrološko stanje u toku i porječju Zrmanje. U kišnom razdoblju i u vrijeme topljenja snijega na okolnim planinama, u tok Zrmanje slijeva se velika količina vode koja kroz jame i špilje izbija na površinu (Pelivan, 2008). Prema tipologiji tekućica Zrmanja pripada kišno-snježnom režimu (mediteranska varijanta). Porječje Zrmanje uglavnom je pod maritimnim utjecajem, a prema Köppenovoj klasifikaciji to pripada Csa i Cfa tipu klime (Čanjevac, 2013). Csa je sredozemna (mediteranska) klima, a Cfa umjereno topla vlažna klima (Šegota i Filipčić, 2003). Porječje Zrmanje prihranjuje se iz gorskog i visokogorskog prostora sa snježno-šumskom klimom koja pripada klimatskom razredu D (Čanjevac, 2013). Kod klimatskog razreda D srednja temperatura najhladnijeg mjeseca niža je od -3 °C, a srednja temperatura najtoplijeg mjeseca viša je od 10 °C (Šegota i Filipčić, 2003). Vegetacija prati klimatske uvjete osim na mjestima gdje je pod antropogenim utjecajem. To je glavni razlog zašto na pojedinim mjestima nedostaju prirodne šume. Danas ih zamjenjuju makija i garig, te šikare i kameniti travnjaci (Štih i sur., 2015).

Hidrološki režim krških izvora uglavnom ovisi o interakciji između podzemnih i površinskih voda. Zrmanja ima izrazito složena i varijabilna hidrološka i hidrogeološka obilježja kao rezultat okršavanja (Bonacci, 1999). Mjestimično je nestalna toka (URL 4). Zrmanja prima najveći dio vode iz planine Poštak. Također je znatan utjecaj voda koje poniru na rubovima polja kod Gračaca koje se javljaju u obliku izvora i pritoka (URL 4). Prosječni protok rijeke Zrmanje iznosi 5,2 m³/s, a uzvodno od Obrovca na donjem dijelu toka kod Janković buka iznosi čak 40 m³/s (Štih i sur., 2015), što je posljedica pritoka Krupe i brojnih izvora (URL 4). Primarni maksimum protoka javlja se u zimskim mjesecima, najčešće u prosincu, kada se vrijednosti modulnih koeficijenta kreću do 2,81 (Zrmanja-Jankovića buk), a sekundarni maksimum javlja se u travnju s vrijednosti do 1,84 (Zrmanja-Ervenik) (Čanjevac, 2013). Prosječni godišnji ukupni koeficijent otjecanja iznosi 0,5, te je definiran kao odnos ukupnog godišnjeg otjecanja u promatranoj točki i godišnjih količina padalina na slivu (Bonacci, 1999). Zbog djelovanja voda rijeke Zrmanje, u njezinoj blizini nalazi se mnoštvo različitih krških oblika, kao što su rasjedi, špilje i jame (Pelivan, 1998) koje pospješuju otjecanje oborina u podzemlje, te upravo zbog toga je relativno visok godišnji koeficijent otjecanja

(Bonacci i Roje-Bonacci, 2015). U dolini rijeke Zrmanje zanimljiva je špilja Čavle, u kojoj je izrazito vidljivo erozijsko djelovanje vode. Speleolozi su na primjeru te špilje zaključili da voda podzemno od Like ispod masiva jugoistočnog Velebita dotječe u Zrmanju (Pelivan, 1998).

Izvor Zrmanje ljevkastog je oblika na dnu kojega voda bogato izbija. Sve do Kravlje Drage rijeka teče kroz usko korito omeđeno poljima. Odavde ulazi u duboki kanjon kojim teče do podno ruševina Keglević gradine, gdje se ponovo širi dolinom Mokrog Polja. Velike količine vode Zrmanje nestaju u krškom podzemlju na zapadnom kraju Mokrog polja. U ljetnim mjesecima to rezultira izrazito niskim vodostajem pa i potpunim isušivanjem riječnog korita. Nadzemni tok rijeke u ljetnim mjesecima javlja se tek kod Crnog vrela podno sela Vujanić. Zrmanja se dalje probija plitkim kanjonom do Žegarskog polja. Na Paninom kuku, podno kojega prima svoj pritek Krupu, Zrmanja mijenja svoja obilježja zbog izrazitog sedrotvornog karaktera Krupe. Nizvodno od pritoka Krupe nalazi se Visoki buk, najviši slap na rijeci Zrmanji. Obli kuk javlja se nizvodno od Visokog Buka. Zanimljiva je pojava desetak sedrenih slapova koji su smješteni na dijelu toka od Visokog buka do sela Ogari. Kanjon prestaje kod Ogarovog buka te rijeka teče uz polja do slapa Muškovci prema Berberovom buku. Prima pritek Dobarnicu gdje se rijeka širi u akumulacijsko jezero reverzibilne hidroelektrane „Velebit“ (URL 4), koja koristi i vode Opsenice, Ričice, Krivke i Otuče (URL 5). Reverzibilna hidroelektrana „Velebit“ sa svojim radom značajno je utjecala na promjene prirodnog hidrološkog režima rijeke Zrmanje (Bonacci i Roje-Bonacci, 2015). Prosječna godišnja proizvodnja hidroelektrane je 374 GWh (URL 5). Ispod brane teče blagim kanjonom te pada niz Jankovića buk (posljednji slap) (URL 4). Nizvodno od Jankovića buka voda je bočata (Štih i sur., 2015). Razina vode se mijenja ovisno o plimi i oseki, unatoč tome što do ušća ima još 17 km toka. Ispod tankog sloja slatke vode osjeća se slana morska voda. Prije samog ušća u Novigradsko more rijeka Zrmanja u posljednjih 2 km toka ulazi u uzak tjesnac (URL 4).



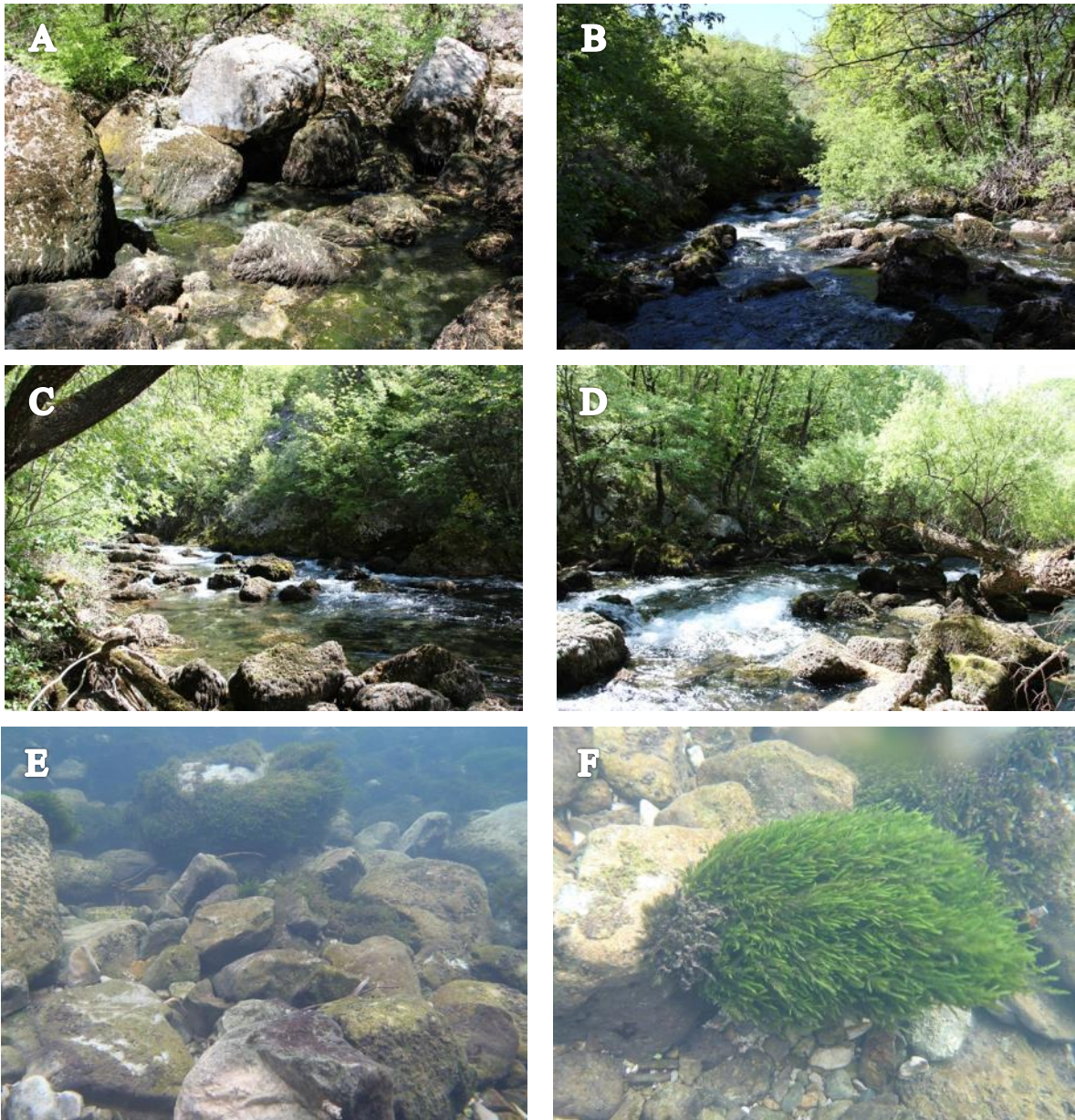
Slika 4. Brana na rijeci Zrmanji nizvodno od izvora (foto. S. Gottstein).

2.4. Geologija područja rijeke Zrmanje

Geološki razvoj ovisan je o djelovanju tektonike. Na početku oblikovanja toka rijeke Zrmanje, djelovale su endogene sile (Pelivan, 1998). Nakon orogeneze Pirineja, u gornjem Eocenu pa sve do prijelaza Oligocena u Miocen, počela se razvijati dolina rijeke Zrmanje (Bonacci i Roje-Bonacci, 2015). Tisućljećima je stvarala svoj put prema moru, a prije oko 40 000 godina utjecala je u Krku (URL 4). Orogenetski pokreti doveli su do razlamanja stijena i podloge, te su stvorili dobre uvijete za nastajanje krških pojava. Djelovanjem egzogenih procesa odvijalo se neprestano okršavanje. Reljef područja rijeke Zrmanje u najvećoj mjeri oblikovala je voda svojim korozijskim i erozijskim djelovanjem (Pelivan, 1998). U razdoblju od 40 000 godina do unatrag otprilike 8 000 godina geolozi smatraju da se odvijala najsnažnija erozija koja je formirala današnje korito rijeke Zrmanje (URL 4). U vrijeme snažnih erozija klima je bila izuzetno hladna i vlažna, tako da je dolazilo do neprestanih zamrzavanja i odmrzavanja, čime je erozija bila još razornija jer je fizički razarala stijene (Pelivan, 1998). Nakon posljednjeg ledenog doba, koje je uzrokovalo podizanje razine morske vode, nastalo je današnje ušće rijeke Zrmanje (URL 4). Geološki slojevi u slivu rijeke Zrmanje nastajali su u različitim geološkim

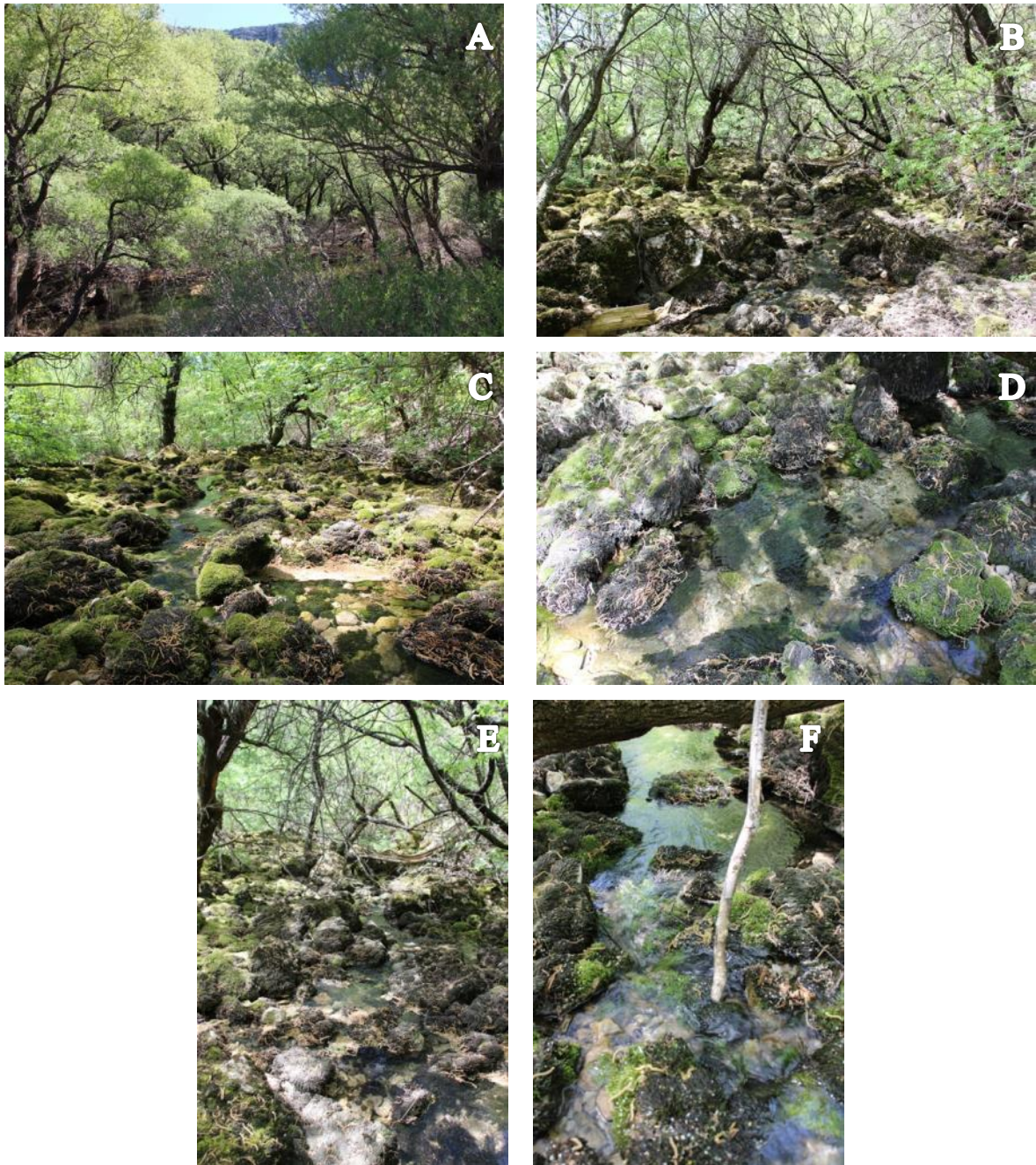
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

razdobljima, od Paleozoika pa sve do Kvartara (Pelivan, 2008). Slivno područje izgrađeno je uglavnom od dolomita i vapnenca. Od vapnenca izgrađene su vodopropusne stijene iz geološkog razdoblja Mezozoika (Trijas, Jura, Kreda). Od dolomita i pločastih vapnenaca izgrađene su malo propusne stijene koje pripadaju geološkom razdoblju Juri (Bonacci, 1999). Dolomiti su debelo uslojeni do gromadasti, često krupnozrnati te se troše u dolomitni pijesak (Fritz, 1972). Vodonepropusne stijene su klastične, a sastavljene su od dolomita, lapora, škriljavca i pješčenjaka (Bonacci, 1999). Dolomitne stijene čine vododijelnicu između pojedinih rijeka i njihovih slivova jer usmjeruju tok podzemnih voda (Pelivan, 1998). Postoje četiri velika polja u kršu i mnoštvo malih i srednjih depresija od 0,1 do 0,2 km². Pokriveni su obradivim i nepropusnim tlom, uglavnom crvenicom. Pogodna su područja za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju i ljudsko stanovanje (Bonacci, 1999).



Slika 5. Izvor rijeke Zrmanje – **mikrostaništa u brzoj struji vode:** A – mjesto izviranja vode iz podzemlja s megalitalom obraslim suhom mahovinom zbog promjene visine vode; B – kameni blokovi megalitala u brzoj struji vode okruženi šumom; C – mozaični rapored mikrostaništa organskog i anorganskog supstrata; D – slapište; E – kameni blokovi mezolitala i megalitala (podvodni snimak); F – mahovina roda *Cinclidotus* u brzoj struji vode (podvodni snimak) (foto. S. Gottstein).

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA



Slika 6. Izvor rijeke Zrmanje – segment toka s mikrostanjima u sporij struji vode: A – galerijska šuma i šikara bijelog graba; B – paralelni spori tok u obliku malih kaskada; C – sedotvorni segment sporog toka s mezolitalom potpuno prekrivenim sedrom i mahovinom (7220 izvor uz koje se taloži sedra - Cratoneurion); D – mozaični raspored mikrostanja; E – segment izrazito spore struje u sedotvornom dijelu toka; F – segment toka s laganim laminarnim strujama iznad mikrolitala i mezolitala s mahovinom (foto. S. Gottstein).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali i metode terenskih istraživanja

3.1.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka

Prikupljeno je ukupno 40 poduzoraka (20 poduzoraka u brzom i 20 poduzoraka u sporom struji vode) vodenih makroskopskih beskralješnjaka. Uzorkovanje je provedeno po modificiranom AQEM protokolu koji obuhvaća primjenu bentos mreže 25x25 cm, promjera oko 200 μm na dominantnim mikrostaništima duž 100 m paralelnih odsječaka toka različite brzine strujanja vode. Uzorci su prikupljeni na način da je otvor Surberove mreže usmjeren prema uzvodnom dijelu toka. Sediment s makrofitskom vegetacijom podizan je s dna izvorišnog toka rijeke Zrmanje uz pomoć specifično dizajnirane metle te snažnim kružnim pokretima čizme unutar okvira mreže uzvodno od otvora. Na taj način je fauna strujom vode otplavljena u mrežu. Prikupljeni materijal je konzerviran 96%-tnim etanolom i pohranjen u plastične bočice na koje je predhodno napisan naziv lokaliteta, datum uzorkovanja i tip supstrata (Slika 7).

3.1.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode

Na terenu primjenom digitalnog WTW multi-instrumenta 3430 F izmjereni su osnovni fizikalno-kemijski parametri vode. Električna provodnost vode (μScm^{-1}) mjerena je digitalnom sondom TetraCon 925, pH vode mjereno je digitalnom pH elektrodom SenTix 940. Količina otopljenog kisika u vodi (mgL^{-1}) i zasićenje vode kisikom (%) mjereno su optičkom sondom FDO 925. Dostmann electronic P600 brzinomjerom mjerena je brzina strujanja vode (m/s). Alkalinitet vode (mgL^{-1}) izmjereno je titracijom 100 ml uzorka vode s 0,1 M kloridnom kiselinom (HCl) uz „metil oranž“ (methyl orange) kao indikator (Slika 8).

3. MATERIJALI I METODE



Slika 7. Prikaz metodologije prikupljanja uzoraka makrozoobentosa tijekom terenskog istraživanja: A- kracer mreža 25×25 cm u struji vode; B- uznemiravanje sedimenta uzvodno od otvora mreže; C – prikupljeni uzorak u kracer mreži; D – uzorak se istrese u kantu s vodom kako bi se fauna isprala s vegetacije; E - uklanjanje većeg kamenja iz uzorka kako se fauna ne bi oštetila.

3. MATERIJALI I METODE



Slika 8. Prikaz metodologije prikupljanja podataka i mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode: A – ispunjavanje terenskog formulara; B – titriranje vode kloridnom kiselinom tijekom određivanja količine kalcij-karbonata u vodi; C - higrometrijsko krilo za mjerenje brzine strujanja vode; C – mjerenje pH, količine otopljenog kisika u vodi i električne provodnosti vode WTW sondama.

3.2. Materijali i metode laboratorijskih istraživanja

U laboratoriju je sakupljeni materijal pregledan na binokularnoj lupi. Izolirane su jedinke makroskopskih beskralješnjaka i razvrstane po skupinama. Jedinke su pohranjene u epruvete s 85%-tnim etanolom u koje je predhodno stavljena kartica s nazivom lokaliteta, datumom uzorkovanja, tipom supstrata te nazivom sistematske kategorije. Posebno u bilježnicu zabilježen je broj jedinke svake skupina. Uz pomoć determinacijskih ključeva provedena je determinacija jedinki do razine porodica. Pritom je korištena sljedeća literatura za pojedine skupine: Amphipoda (Karaman, 1965, 1993), Coleoptera (Kriska, 2013), Ephemeroptera (Kriska, 2013), Plecoptera (Zwick, 2004) i Trichoptera (Waringer i Graf, 2011), te općeniti ključevi za makroskopske vodene beskralješnjake (Nilsson, 1996). Zatim su jedinke determinirane do najniže moguće sistematske kategorije te je broj jedinki preračunat na m².

3.3. Analiza podataka

3.3.1. Analiza zajednica bentoskih beskralješnjaka

Kvalitativna i kvantitativna analiza zajednica bentoskih beskralješnjaka se provodila u računalnim programima Microsoft Excel 16, Primer v.6.1 (Clarke i Gorley, 2006) i Asterics 4.0.4. Podaci o brojnosti jedinki pojedinih skupina uneseni su u Microsoft Excel 16 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 mikrostaništima i u različitim odsječcima izvorišnog toka (brza i spora struja vode).

Relativna zastupljenost predstavnika makroskopskih vodenih beskralješnjaka ocijenjena je prema Reissu i sur. (2016) (Tablica 1).

Tablica 1. Relativna zastupljenost pojedinih redova bentoskih beskralješnjaka na mikrostaništima izvorišnog toka definirana prema Reissu i sur. (2016).

Klasifikacija		Relativna zastupljenost
1	izrazito zastupljeni	> 75 %
2	zastupljeni	50 - 75 %
3	česti	25 - 49 %
4	rijetki	< 25 %

Za utvrđivanje raznolikosti zajednica u različitim područjima izvorišnog toka s obzirom na brzinu strujanja vode te na pojedinim mikrostaništima izračunati su sljedeći indeksi: Margalefov indeks bogatstva vrsta (d), Shannon-Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ) te Pielouov indeks ujednačenosti (J'), koristeći se programskim paketom Primer v.6.1 (Clarke i Gorley, 2006).

Margalefov indeks bogatstva vrsta (d)

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

N – ukupan broj jedinki svih vrsta na uzorkovanom mikrostaništu.

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

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

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

$\lambda = \sum (n_i / N)$, gdje je: n_i - ukupni broj jedinki vrste i i N -ukupni 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 index 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: $J' = H' / \ln(S)$, gdje je: H' - Shannon-Wienerov indeks, S - ukupni broj vrsta u zajednici.

3. MATERIJALI I METODE

Koristeći se programskim paketom Primer 6.1 provedena je analiza multidimenzionalnog skaliranja (MDS - engl. „multidimensional scaling analysis) temeljena na Bray-Curtis-ovom indeksu sličnosti, kako bi se utvrdila sličnost zajednica makrozoobentosa na istraživanim mikrostaništima.

Zastupljenost funkcionalnih grupa vodenih beskralješnjaka utvrđena je primjenom programa Asterics 4.0.4. Skupine makrozoobentosa razvrstane su s obzirom na izvor hrane i način hranjenja u deset osnovnih funkcionalnih hranidbenih skupina (Moog, 2002):

1. usitnjivači (SHR eng. *shredders*) – hrane se krupnim česticama detritusa (CPOM), usitnjavaju listinac i biljna tkiva;

2. strugači (GRA eng. *grazers*) – hrane se obraštajem (alge) i usitjenom organskom tvari u obraštaju;

3. aktivni procjeđivači (AFIL eng. *active filterers*) – procjeđuju suspendirane čestice usitnjene organske tvari iz struje vode koju sami aktivno stvaraju;

4. pasivni procjeđivači (PFIL eng. *passive filterers*) - procjeđuju organske čestice iz struje vode;

5. detritivori ili sakupljači (DET eng. *detritivores*) – hrane se česticama usitnjene organske tvari (FPOM) koje se talože na dnu;

6. bušači (MIN eng. *miners*) – buše kroz tkiva biljaka i algi nakon čega se hrane njihovim tkivom;

7. ksilofagi (XYL eng. *xylophagous*) – hrane se drvenim ostacima;

8. grabežljivci (PRE eng. *predators*) - hrane se drugim bentičkim beskralješnjacima;

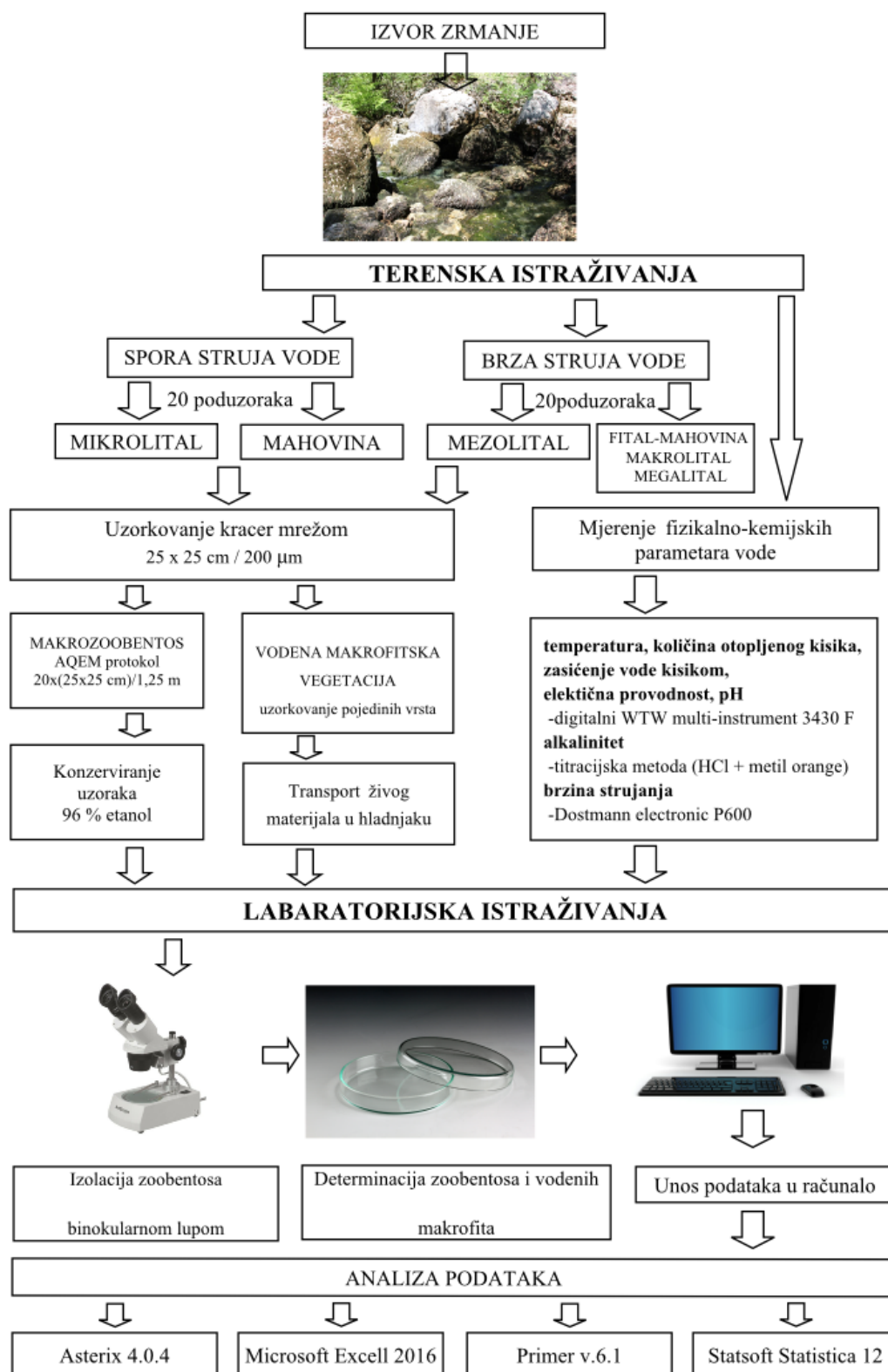
9. nametnici (PAR eng. *parasites*) – parazitiraju na domaćinu;

10. ostali (OTH eng. *others*)

Shema hranidbene mreže za pojedini odsječak izvorišnog toka s obzirom na brzinu strujanja vode izrađena je u programu Sherif Draw Plus Starter Edition.

Cjelovita shema metodologije istraživanja prikazana je na Slici 9.

3.MATERIJALI I METODE



Slika 9. Shema metodologije istraživanja i analize podataka s izvora rijeke Zrmanje.

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode u mikrostaništima

Tijekom razdoblja istraživanja brze i spore struje vode na izvoru rijeke Zrmanje nisu zabilježene razlike u temperaturi vode i zraka. Naime, temperatura vode na dan istraživanja (21.4.2016.) iznosila je 8,8 °C, a temperatura zraka 14,8 °C, neovisno da li se radi o podacima za sporu ili brzu struju vode. Postoje razlike u vrijednosti zasićenja vode kisikom. Za razliku od spore struje vode gdje vrijednost zasićenja vode kisikom iznosila 99,1 %, u brzjoj struji voda je više zasićena kisikom te je utvrđena vrijednost od 101,7 %. Razlika u pH vrijednosti brze i spore struje vode nije utvrđena. U sporij struji vode vrijednost pH iznosi 7,5, a u brzjoj 7,54. Prema izmjerenim podacima za električnu provodnost vode (μScm^{-1}), alkalinitet ($\text{CaCO}_3 / \text{mgL}^{-1}$) i koncentraciju otopljenih organskih tvari u vodi (KPK) u sporij i brzjoj struji vode nema statistički značajne razlike. Električna provodnost vode iznosila je $344 \mu\text{Scm}^{-1}$, alkalinitet 170mgL^{-1} te KPK iznosi $0,94 \text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ (Tablica 2).

Tablica 2. Usporedba vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara za brzu i sporu struju vode na izvoru rijeke Zrmanje.

Vrelo Zrmanje 21.04.2016.	Temp. zraka (°C)	Temp. vode / °C	O ₂ / mgL ⁻¹	O ₂ / %	pH	$\sigma / \mu\text{Scm}^{-1}$	CaCO ₃ / mgL ⁻¹	KPK (mg O ₂ /L)
Spora struja vode	14,8	8,8	10,25	99,1	7,5	344	170	0,94
Brza struja vode	14,8	8,8	11,45	101,7	7,54	344	170	0,94

4.1.1. Brzina strujanja vode

Vrijednosti brzine strujanja vode razlikuju se u brzjoj i sporij struji vode. Minimalna brzina strujanja za sporu struju vode iznosila je 0,05 m/s, a za brzu 0,08 m/s. Maksimalna brzina strujanja iznosila je 0,25 m/s za sporu struju vode i 0,57 m/s za brzu struju vode. Prosječna

vrijednost brzine strujanja vode u sporoj struji iznosila je 0,15 m/s, a u brzjoj struji vode 0,21 m/s. Čime razlika u brzini strujanja između brze i spore struje vode iznosi 0,06 m/s (Tablica 3).

Tablica 3. Raspon vrijednosti minimalne, maksimalne i prosječne brzine strujanja vode u brzjoj i sporoj struji vode izvora rijeke Zrmanje.

Vrelo Zrmanje 21.04.2016.	Spora struja vode	Brza struja vode
minimum (m/s)	0,05	0,08
maksimum (m/s)	0,25	0,57
prosjeak (m/s)	0,15	0,21

4.2. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka brze i spore struje vode

Tijekom analize sastava zajednice bentoskih beskralješnjaka svi brojevi jedinki za sve uzorke su preračunati na m², kako bi se svi uzorci mogli međusobno uspoređivati. Na dan istraživanja (21.4.2016.) na izvoru rijeke Zrmanje prikupljeno je ukupno 40 poduzoraka (20 poduzoraka u brzjoj struji vode i 20 poduzoraka u sporoj struji vode) na temelju kojih je utvrđeno 11 skupina makrozoobentosa. Uzorkovanje je provedeno na dominantnom organskom i anorganskom supstratu različitih veličinskih frakcija (akal do megalital).

Zastupljenost pojedinih skupina bentoskih beskralješnjaka razlikuje se između brze i spore struje vode. Najveći broj skupina zabilježen je u sporoj struji vode. Pripadnici skupina makroskopskih vodenih beskralješnjaka koji su utvrđeni su Amphipoda, Diptera, Ephemeroptera, Gastropoda, Hydrachnidia, Oligochaeta, Plecoptera i Trichoptera, a bili su prisutni i u brzjoj i u sporoj struji vode. U brzjoj struji vode dominiraju obalčari (Plecoptera), dok su vodencvjetovi (Ephemeroptera) dominantniji u sporoj struji vode. Također, u sporoj struji vode dominiraju rakušci (Amphipoda). Veća zastupljenost tulara (Trichoptera) nalazi se u brzjoj struji vode. Dvokrilci (Diptera) su podjednako zastupljeni u brzjoj i sporoj struji vode. Iako su utvrđeni u brzjoj i sporoj struji vode, maločetinaši (Oligochaeta), puževi (Gastropoda) i vodengrinje (Hydrachnidia) ne predstavljaju veliki udio zajednice makrozoobentosa. Predstavnici Oligochaeta su najbrojniji u sporoj struji vode. Kornjaši (Coleoptera), oblići

(Nematoda) i skokuni (Colembolla) prisutni su samo u sporoj struji, dok ih u brzoj struji vode nema. Raznokrilci (Heteroptera) se nalaze samo u brzoj struji vode.

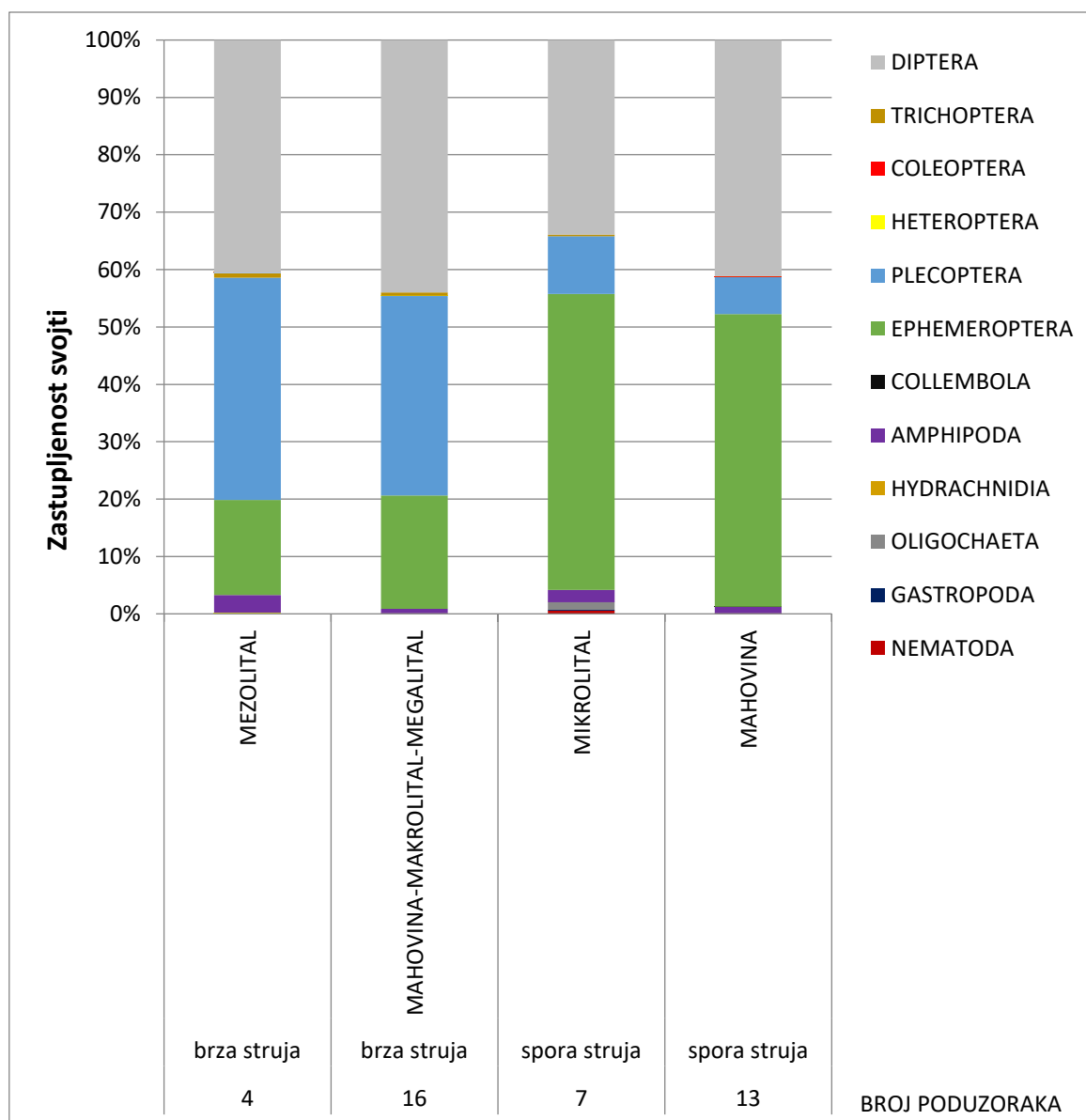
4.2.1. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima brze struje vode

Najveća zastupljenost u sastavu zajednice bentoskih beskralješnjaka brze struje vode nalazi se na organskom supstratu – mahovini obrasloj na makrolitalu i megalitalu. Pripadnici skupine Diptera zauzimaju najveći udio na mahovini s makrolitalom i megalitalom (44,01 %), te na mezolitalu s nešto manjim udjelom od 40,54 %. Zastupljenost Plecoptera veća je na mezolitalu (38,81 %), nego na mahovini s makrolitalom i megalitalom (34,77 %), dok je s druge strane veća zastupljenost Ephemeroptera na mahovini s makrolitalom i megalitalom, nego na mezolitalu (19,76 %). Na mezolitalu su također prisutni Amphipoda s 3,08 % zastupljenosti, dok ih na mahovini s makrolitalom i megalitalom ima znatno manje (0,77 %). Prema klasifikaciji od Reiss i sur. (2016) zastupljenost pripadnika skupine Diptera i Plecoptera je česta, jer im je relativna zastupljenost između 25 – 49 %, dok pripadnici skupine Ephemeroptera i Amphipoda su rijetki, pošto im je relativna zastupljenost manja od 25 %. (Slika 10).

4.2.2. Sastav zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima spore struje vode

Za razliku od brze struje vode, u sporoj struji najveću zastupljenost imaju pripadnici skupine Ephemeroptera. Podjednako su zastupljeni na mikrolitalu i mahovini (51 %), što znači da su prema relativnoj klasifikaciji od Reiss i sur. (2016) definirani kao zastupljeni. Dvokrilci (Diptera) imaju veću zastupljenost na mahovini (41,15 %), nego na mikrolitalu (33,93 %). Za razliku od brze struje vode, na mikrostaništima spore struje vode puno je manji udio obalčara (Plecoptera). Više su zastupljeni na mikrolitalu s 10,06 %, nego na mahovini s 6,55 %. Veći je udio predstavnika skupine Amphipoda na mikrolitalu spore struje vode (2,12 %), nego na mahovini s 1,15 %. Zastupljenost pripadnika skupine Diptera prema relativnoj zastupljenosti klasificirana je kao česta, dok pripadnici skupine Plecoptera i Amphipoda definirani su kao rijetki, jer im je relativna zastupljenost manja od 25 % (Reiss i sur., 2016) (Slika 10).

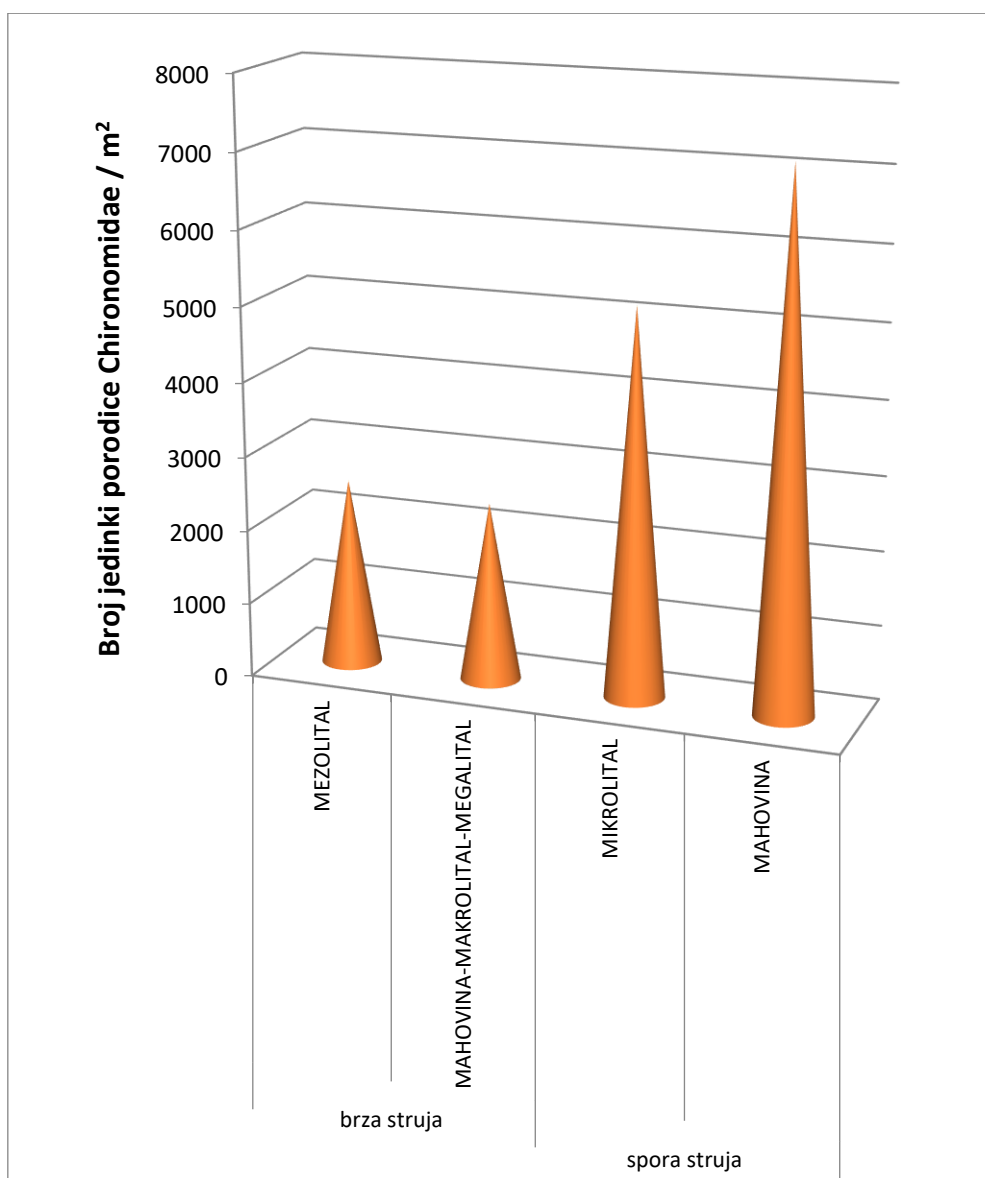
4.REZULTATI



Slika 10. Prikaz zastupljenosti svojti makrozoobentosa na različitim supstratima brze i spore struje vode tijekom provedenog istraživanja (21.4.2016.).

4.REZULTATI

Najzastupljenija porodica Diptera na svim istraživanim mikrostaništima brze i spore struje vode su ličinke trzalaca (Chironomidae). Više su zastupljeni u sporij struji vode, nego u brzij struji. Najveću prosječnu gustoću jedinki od 7.135 m^{-2} imaju u mahovini te na mikrolitalu (5.179 m^{-2}) spore struje vode. U brzij struji vode malo su više zastupljeni na mezolitalu s prosječnom gustoćom od 2.496 m^{-2} , a nešto manje u mahovini na makrolitalu i megalitalu (2.400 m^{-2}) (Slika 11).



Slika 11. Broj jedinki porodice Chironomidae na različitim mikrostaništima brze i spore struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje.

4.3. Struktura i raznolikost zajednica bentoskih beskralješnjaka u mikrostaništima brze i spore struje vode

Vrijednosti indeksa raznolikosti izračunate su na temelju prikupljenih uzoraka makrozoobentosa na izvoru rijeke Zrmanje te dobivenih podataka o brojnosti i zastupljenosti pojedinih svojti. Na pojedinim mikrostaništima podjednak je broj svojti utvrđen na mahovini, mikrolitalu te u mahovini na makrolitalu i megalitalu (19), a najmanji na mezolitalu (13). Margalefov indeks bogatstva vrsta (d) najveći je u mahovini na makrolitalu i megalitalu (2,09), a najmanji na mezolitalu (1,37). Srednja vrijednost Pielouovog indeksa ujednačenosti (J') najveća je na mezolitalu (0,61), podjednaka na mikrolitalu te u mahovini na makrolitalu i megalitalu (0,47) te najmanja na mahovini (0,30). Srednja vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H') također je najveća na mezolitalu (1,57), podjednaka na mikrolitalu i mahovini (makrolital, megalital) (1,39), a najmanja na mahovini (0,89). Srednja vrijednost Simpsonov indeksa raznolikosti (λ) najveća je na anorganskom supstratu (mezolitalu) (0,73), a najmanja na organskom supstratu (mahovina) (0,53) (Tablica 4).

Tablica 4. Prikaz prosječnih vrijednosti broja svojti (S), broja jedinki po m^2 (N), Margalefov indeks bogatstva vrsta (d), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ). po mikrostaništima u izvorišnom toku rijeke Zrmanje.

UZORCI - MIKROSTANIŠTA	S	N	d	J'	H'	1- λ
MEZOLITAL	13	6228	1,37	0,61	1,57	0,73
MAHOVINA-MAKROLITAL- MEGALITAL	19	5546	2,09	0,47	1,39	0,69
MIKROLITAL	19	16018	1,86	0,47	1,39	0,65
MAHOVINA	19	16481	1,85	0,30	0,89	0,53

Veći broj svojti je utvrđen u sporij struji vode (29) nego u brzij struji vode (19). Margalefov indeks bogatstva vrsta (d) veći je u sporij struji (2,37) od brzije struje vode, gdje iznosi 2,07. Srednja vrijednost Pielouovog indeksa ujednačenosti (J') veća je u brzij struji (0,51), nego u sporij struji vode (0,37), kao i srednja vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H') koja je veća u brzij struji (1,50), nego u sporij struji vode (1,18) te srednja

4.REZULTATI

vrijednost Simpsonovog indeksa raznolikosti (λ) koja je veća u brzjoj struji vode (0,71), nego u sporij struji vode (0,59) (Tablica 5).

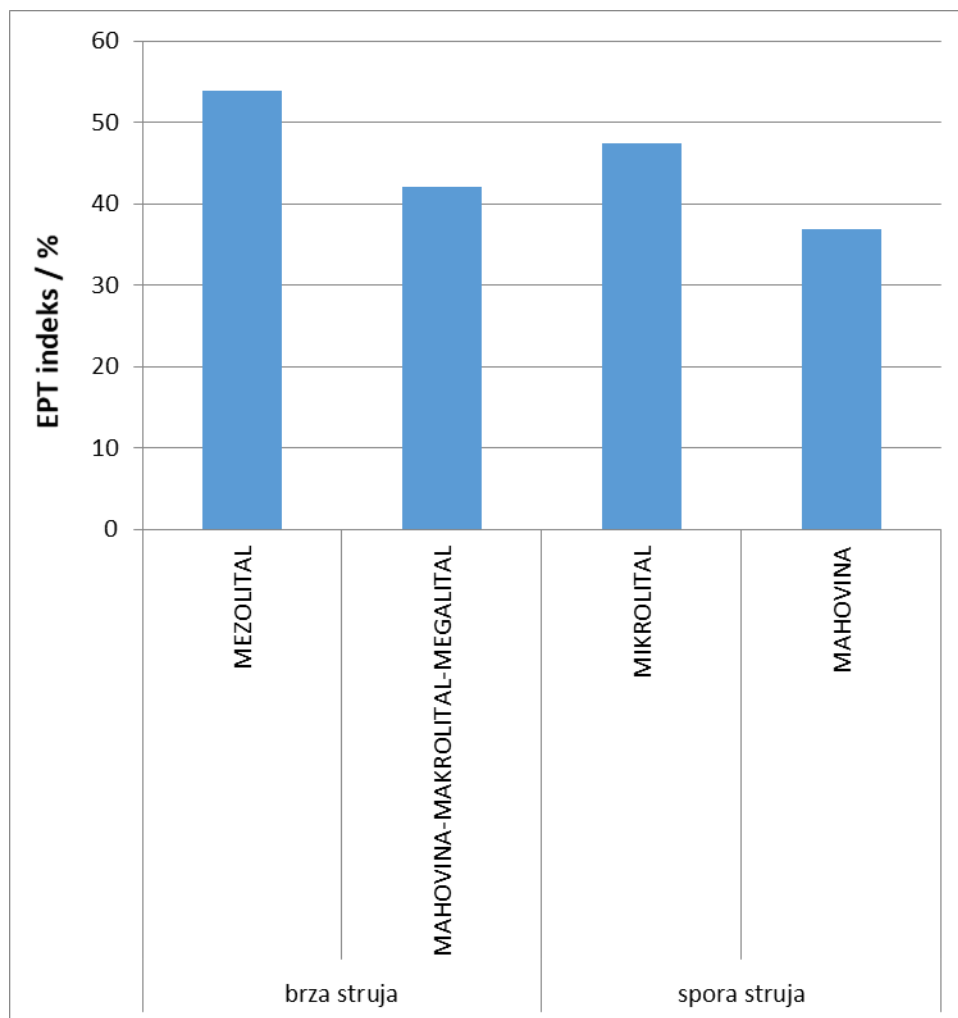
Tablica 5. Prikaz prosječnih vrijednosti broja svojiti (S), broja jedinki po m² (N), Margalefov indeks bogatstva vrsta (d), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') i Simpsonov indeks raznolikosti (λ) u mikrostaništima brze i spore struje vode u izvorišnom toku rijeke Zrmanje.

EKOLOŠKI UVJETI STANIŠTA	S	N	d	J'	H'	1- λ
brza struja	19	5887	2,07	0,51	1,50	0,71
spora struja	24	16250	2,37	0,37	1,18	0,59

4.4. EPT indeks

Vrijednosti EPT (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera) indeksa na različitim mikrostaništima je različita. Najveća je zastupljenost EPT skupina na mezolitalu brze struje vode (53,58 %), zatim na mikrolitalu spore struje vode (47,37 %) te u mahovini na makrolitalu i megalitalu brze struje vode (42,11 %), a najmanja na mahovini spore struje vode, sa zastupljenošću od 36,84 %. Vrijednost EPT indeksa na mezolitalu brze struje vode prema klasifikaciji relativne zastupljenosti definirana je kao zastupljena, dok je česta na mikrolitalu i mahovini spore struje vode te u mahovini na makrolitalu i megalitalu brze struje vode (Reiss i sur., 2016) (Slika 12).

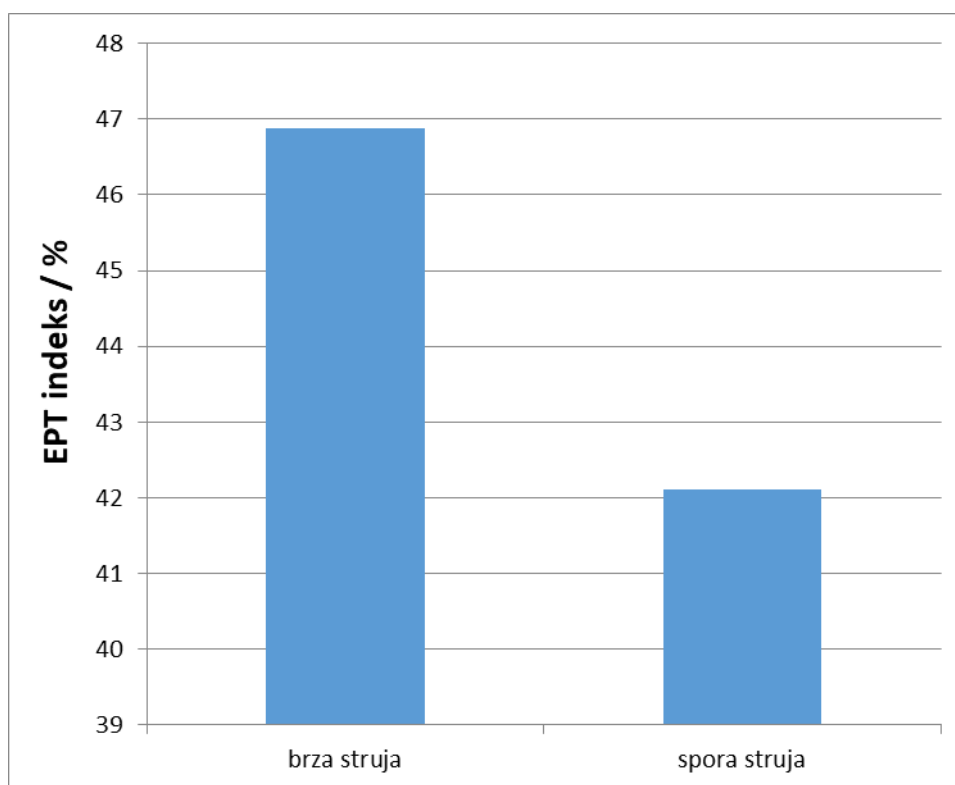
4.REZULTATI



Slika 12. EPT (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera) indeks na pojedinim mikrostaništima brze i spore struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje.

EPT (Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera) indeks ukazuje na razlike s obzirom na brzinu strujanja vode, te je veća zastupljenost EPT skupina u brzjoj struji vode (46,88 %), za razliku od spore struje vode, gdje iznosi 42,11 % (Slika 13).

4.REZULTATI

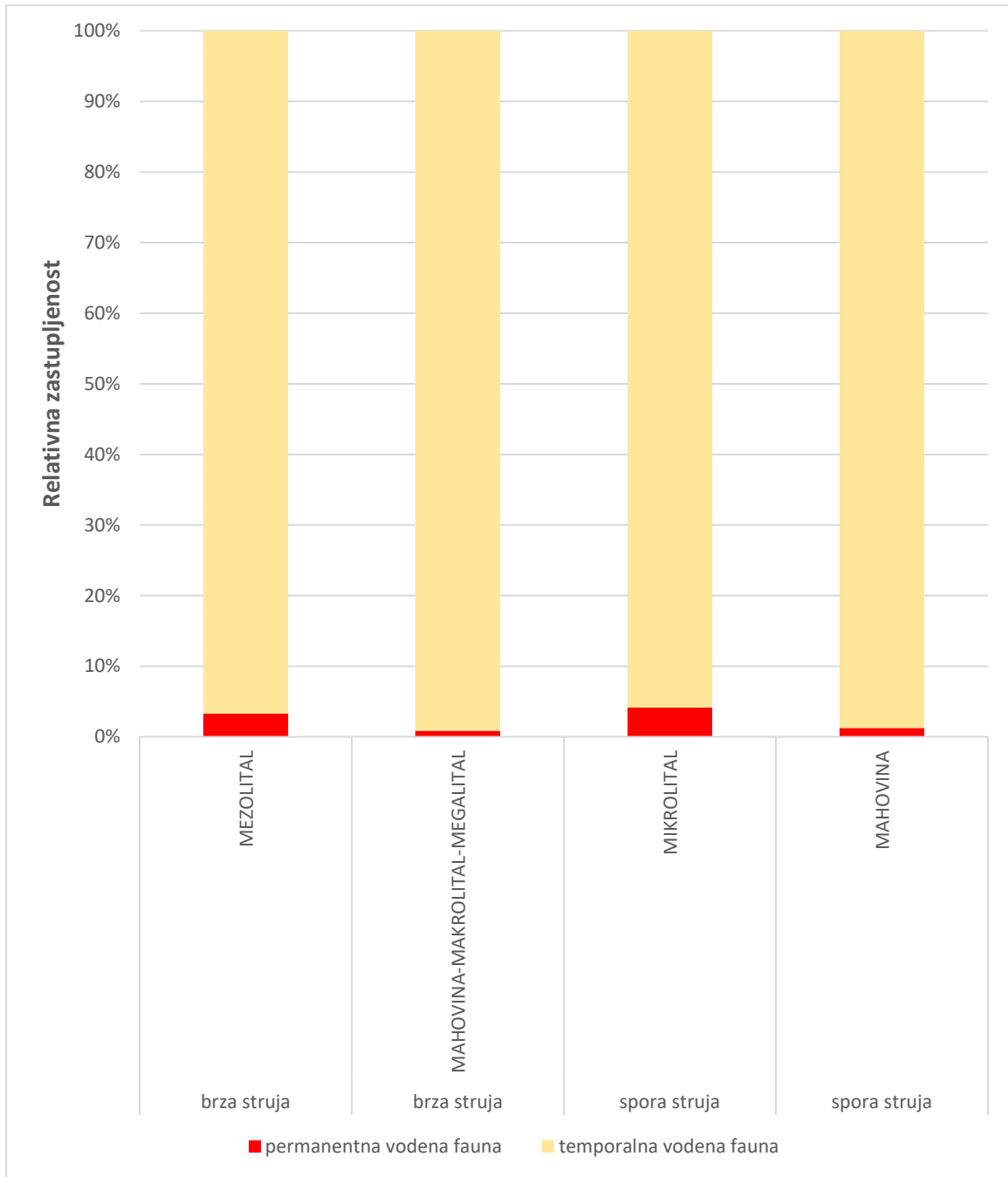


Slika 13. EPT (Ephemerotera, Plecoptera i Trichoptera) indeks u brzjoj i sporjoj struji vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje.

4.5. Udio permanentne i temporalne fauna

Temporalna fauna zauzima puno veći udio nego permanentna vodena fauna. Najveća zastupljenost temporalne faune je u brzjoj struji vode u mahovini na makrolitalu i megalitalu s udjelom od 99,14 %, a neznatno manje je zastupljena na mikrolitalu spore struje vode (98,87 %). Prema relativnoj zastupljenosti temporalna fauna klasificirana je kao izrazito zastupljena u mahovini na mikrolitalu i megalitalu brze struje vode i na mikrolitalu spore struje vode (Reiss i sur., 2016). Najveća zastupljenost permanentne vodene faune je na mikrolitalu spore struje vode (4,13 %), a najmanje u mahovini na makrolitalu i megalitalu (0,86 %). Permanentna vodena fauna prema relativnoj zastupljenosti klasificirana je kao rijetka, jer je ima manje od 25 % (Reiss i sur., 2016) (Slika 14).

4.REZULTATI

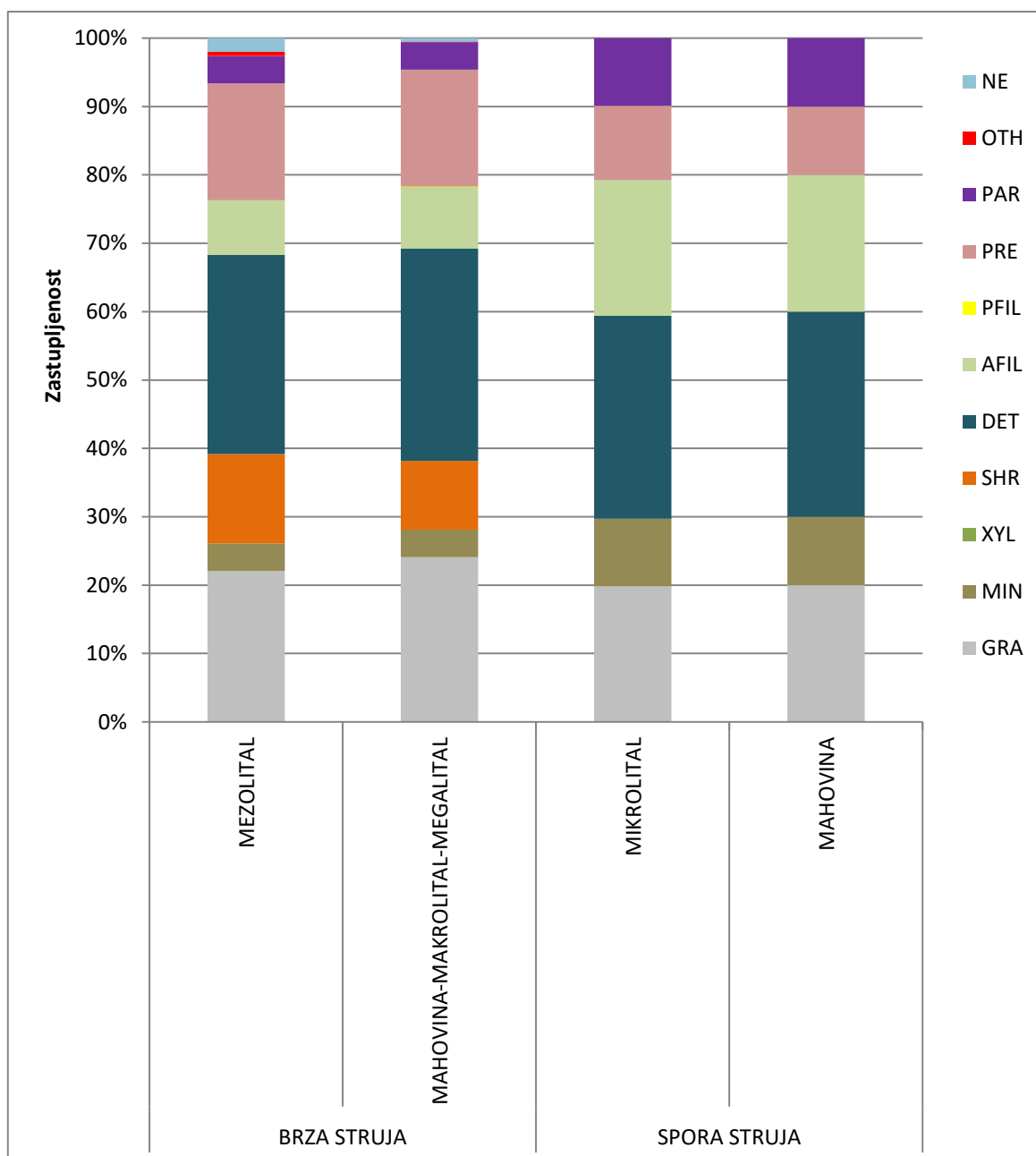


Slika 14. Odnos temporalne i permanentne vodene faune na različitim mikrostanjima brze i spore struje vode u izvorišnom toku rijeke Zrmanje.

4.6. Udjeli funkcionalnih skupina u hranidbenoj mreži

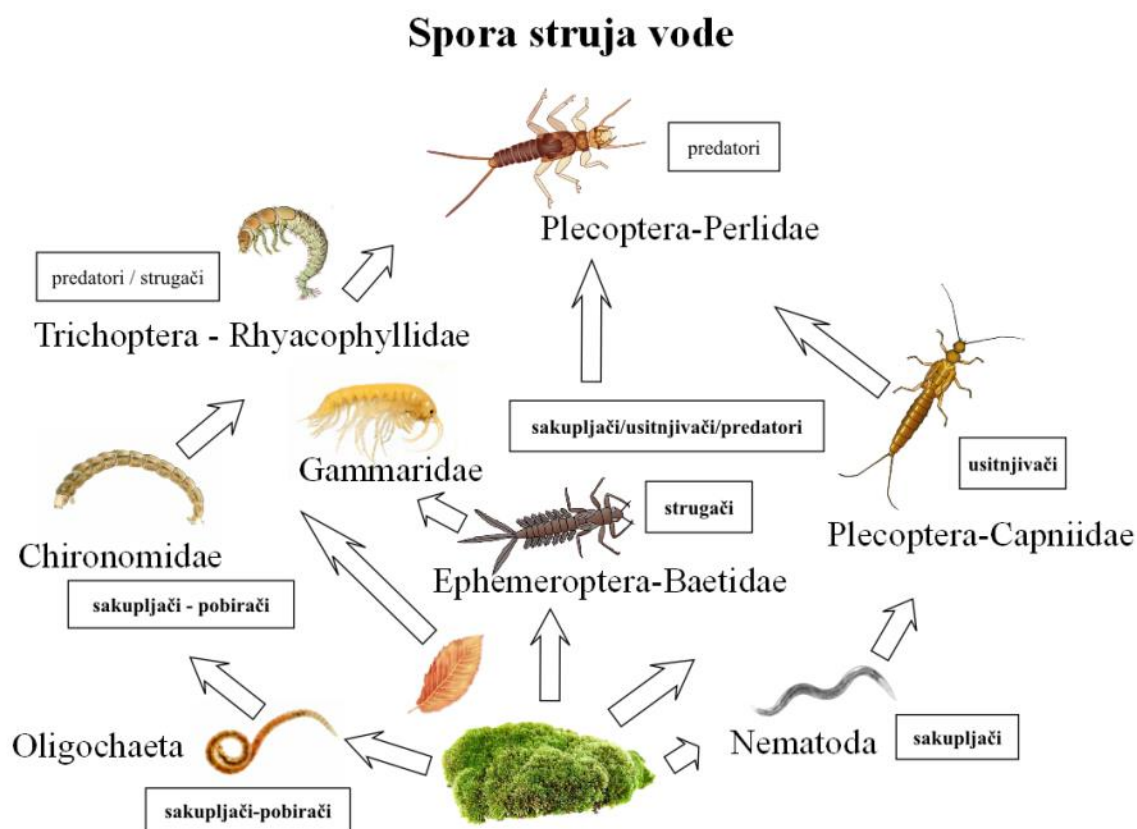
Uspoređujući funkcionalne skupine brze i spore struje vode utvrđena je najveća zastupljenost sakupljača-pobirača (DET). Najveća im je zastupljenost u brznoj struji vode u mahovini na makrolitalu i megalitalu s udjelom od 30,61 %, a najmanja na mezolitalu (29,26 %) brze struje vode. Veliku zastupljenost zauzimaju i strugači (GRA) u mahovini na makrolitalu i megalitalu brze struje vode (24,49 %), a podjednako su zastupljeni na mikrolitalu i mahovini spore struje s udjelom od 20 %. U brznoj struji veliku zastupljenost zauzimaju usitnjivači (SHR), dok ih u sporjoj struji vode nema. Malo su više zastupljeni na mezolitalu (13,30 %), nego u mahovini na makrolitalu i megalitalu (9,95 %) brze struje vode. S druge strane u sporjoj struji vode ima puno više aktivnih procjeđivača (AFIL), te su podjednako zastupljeni na mikrolitalu i mahovini (20 %). U brznoj struji ih ima puno manje s neznatno većom zastupljenošću u mahovini na makrolitalu i megalitalu (8,76 %), nego na mezolitalu (8,04 %). U sporjoj struji vode također ima više nametnika (PAR) s podjednakom zastupljenošću na mikrolitalu i mahovini (10 %), a u brznoj struji zauzimaju udio od 4 % s podjednakom zastupljenošću na mezolitalu i u mahovini na makrolitalu i megalitalu. Što se tiče grabežljivaca više ih ima u brznoj struji vode s podjednakim udjelom na mezolitalu i u mahovini na makrolitalu i megalitalu (17 %), dok su u sporjoj struji vode malo više zastupljeni na mikrolitalu (10,53 %), nego na mahovini (10 %) (Slika 15).

4.REZULTATI



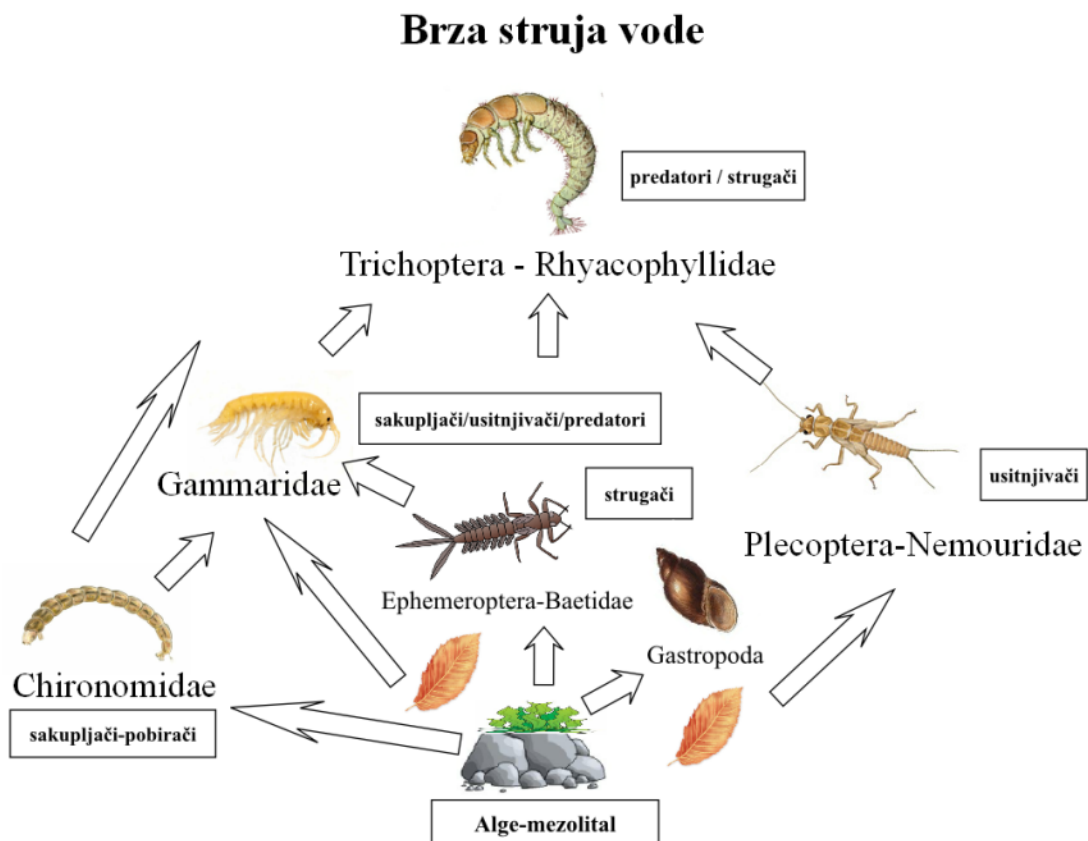
Slika 15. Analiza funkcionalnih skupina makroskopskih vodenih beskralješnjaka u mikrostanjima brze i spore struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje (GRA- strugači, MIN- bušaći, XYL- ksilofagi, SHR- usitnjivači, DET- detritivori ili sakupljači, AFIL- aktivni procjeđivači, PFIL- pasivni procjeđivači, PRE- grabežljivci, PAR- nametnici, OTH-ostali, NE- nepoznati).

Unutar hranidbene mreže spore struje vode dominira supstrat mahovina. Predstavnici porodice Chironomidae su većinom oportunisti (svejedi), međutim u sporjoj struji vode dominiraju kao sakupljači-pobirači zajedno sa skupinom Oligochaeta, gdje prikupljaju detritus biljnog i životinjskog podrijetla. Skupina Ephemeroptera (Baetidae), jedna od dominantnijih skupina spore struje vode, a unutar hranidbenog lanca su strugači. Predstavnici porodice *Gammaridae* imaju višestruku ulogu u hranidbenoj mreži i kao usitnjivači i kao sakupljači, no vrlo često i kao predatori. Predatori/strugači su predstavnici Trichoptera-Rhyacophyllidae. Predstavnici Plecoptera-Capniidae su usitnjivači, dok su Plecoptera-Perlidae glavni grabežljivci u sporjoj struji vode (Slika 16).



Slika 16. Shema hranidbene mreže spore struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje (interpretacija prema Merritt i Cummins, 2007).

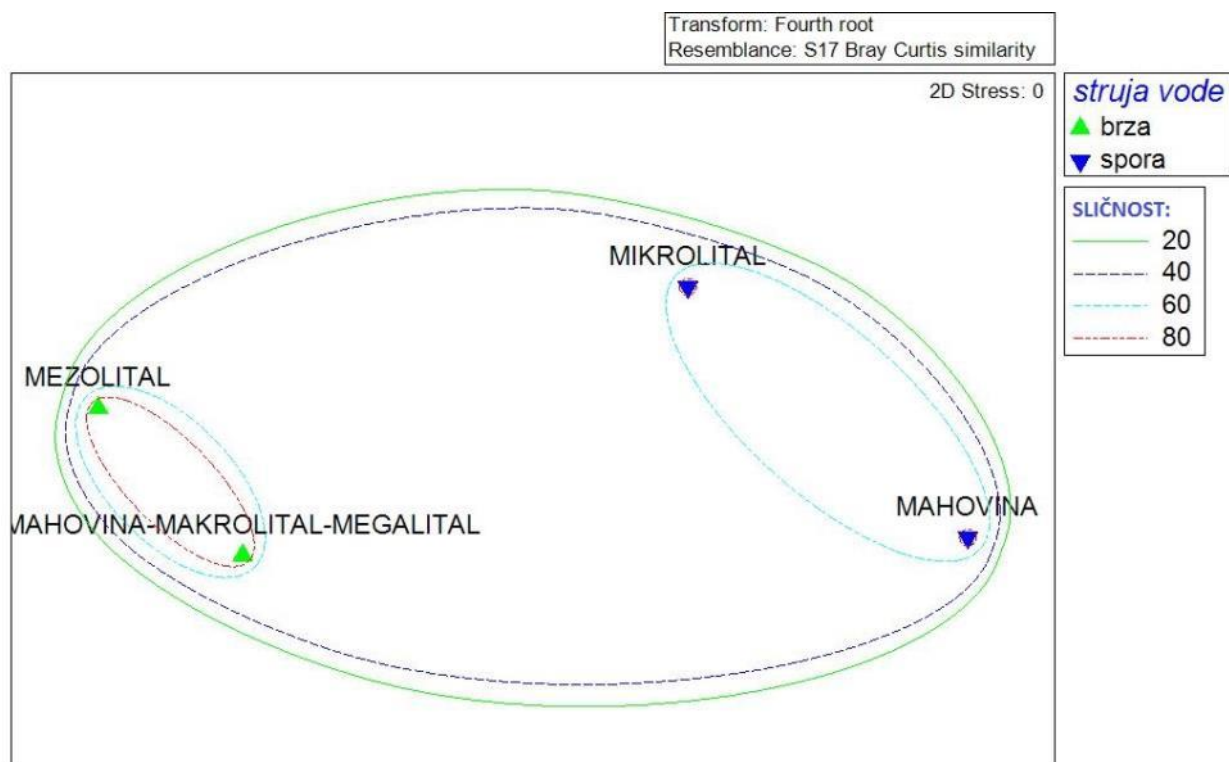
U brzjoj struji vode na suspratu mezolital skupine iz porodice Chironomidae su sakupljači-pobirači, dok su predstavnici skupine Ephemeroptera-Baetidae zajedno sa skupinom Gastropoda strugači. U brzjoj struji su dominantniji usitnjivači predstavnici skupine Plecoptera-Neumoridae, za razliku od spore struje gdje više dominiraju predstavnici Plecoptera-Capniidae. Na samom vrhu hranidbene mreže su predstavnici skupine Trichoptera-Rhyacophyllidae kao predatori (Slika 17).



Slika 17. Shema hranidbene mreže brze struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje (interpretacija prema Merritt i Cummins, 2007).

4.7. Sličnost zajednica makrozoobentosa u različitim mikrostaništima izvorišnog toka rijeke Zrmanje

Prema rezultatima multidimenzionalnog skaliranja (MDS) možemo uočiti da se zajednice mikrostaništa brze i spore struje vode grupiraju sa 60 % sličnosti, dok se sva mikrostaništa zajedno grupiraju s 40 % sličnosti (Slika 18).



Slika 18. Analiza multidimenzionalnog skaliranja (MDS) sličnosti zajednica makrozoobentosa na mikrostaništima brze i spore struje vode izvorišnog toka rijeke Zrmanje tijekom travnja 2016. god.

5. RASPRAVA

Zbog izoliranosti i relativno stabilnih uvjeta okoliša izvori se smatraju jedinstvenim slatkovodnim ekosustavima. Ta činjenica je osobito izražena kod izvora koji su u izoliranim područjima izvan utjecaja čovjeka (npr. izvori u planinskim šumskim područjima), kao što je slučaj i s izvorom Zrmanje, na kojem se djelovanje čovjeka očituje u izgradnji brane i prisutnošću obaloutvrda u izvorišnom toku oko 500 m nizvodno od samog mjesta izviranja vode. Opažanjem zajednica u izvorima mogu se utvrditi potencijalni utjecaji na podzemne vode, promjene u atmosferi i razna onečišćenja koja proizlaze iz ljudske aktivnosti. Schingler (1987) zagovara da su promjene u sastavu vrsta najraniji i najpouzdaniji pokazatelji degradacije okoliša (Staudacher i Füreder, 2007). Ovaj diplomski rad nije usmjeren na utvrđivanje promjena u okolišu temeljem zajednica makroskopskih beskralješnjaka, već primarno na utvrđivanje raznolikosti zajednica na različitim mikrostaništima izvorišnog toka rijeke Zrmanje, što je također neizostavni segment u ekološkom vrednovanju površinskih voda.

U mnogim objavljenim radovima autori su proučavali razlike u sastavu zajednica makrozoobentosa između izvora i izvorišnog toka te su zaključili da su temperatura i podloga najznačajnije varijable u okolišu koje određuju sastav zajednica (Erman i Erman, 1995, Bonettini i Cantonati, 1996, citirano iz Spitale i sur., 2012). Temeljem ključnog cilja ovog diplomskog rada, koji je bio utvrđivanje sastava zajednica makroskopskih beskralješnjaka u dominantnim tipovima mikrostaništa izvorišnog toka rijeke Zrmanje u ekološki različitim uvjetima (brza i spora struja vode), nakon što je već od ranije poznat sastav zajednica u izvorišnom toku (hipokrenalu) na udaljenosti od oko 1 km nizvodno od izvora sezonskim praćenjem tijekom 2014. godine (Matijašec, 2016), utvrđene su značajne razlike u sastavu i zastupljenosti svojti vodenih beskralješnjaka ne samo u različitim mikrostaništima s obzirom na podlogu, već i s obzirom na još jednu ključnu varijablu u izvorišnim područjima, a to je brzina strujanja vode. Dodatnim istraživanjem na samom izvoru na razini mikroskale (mikrostaništa), bez analiziranja sezonalnosti, ali uzevši u obzir optimalno razdoblje uzorkovanja, pokušala se dobiti brža, ali preciznija informacija o razlikama naseljavanja makroskopskih organizama u različitim uvjetima dominantnih mikrostaništa i time rasvijetliti dosadašnje loše razumijevanje razlika u sastavu zajednica makroskopskih vodenih beskralješnjaka između izvora i izvorišnog toka. Istraživanja provedena u okviru ovog diplomskog rada dovela su do novih spoznaja o složenosti izvorišnih staništa na razini mikroskale i pokazala razliku u sastavu i zastupljenosti fauna vodenih beskralješnjaka između

staništa izvorišta (eukrenala) i izvorišnog toka (hipokrenala), uspoređujući rezultate dobivene u okviru prethodnog diplomskog rada od Matijašec (2016). I dok su u staništima mahovine brze struje vode hipokrenala bili dominantni predstavnici reda Amphipoda gotovo u svim sezonama (Matijašec, 2016), ovim istraživanjem samo u proljeće je u eukrenalu mahovine brze struje vode utvrđena najveća zastupljenost jedinki reda Diptera, točnije predstavnika porodice Chironomidae, koji su u prethodnom istraživanju dominirali samo tijekom ljeta (kolovoza) u mezolitalu s mikrolitalom, dok su u ostalim sezonama bili relativno dobro zastupljeni, no ne i dominantni na spomenutom supstratu. Osim toga, u zoni hipokrenala prethodnih istraživanja u rijeci Zrmanji (Matijašec, 2016) utvrđena je manja abundancija unutar reda Diptera (Chironomidae, Empididae, Simuliidae i Tipulidae), nego u zoni eukrenala u okviru ovog istraživanja, kada je utvrđena tri puta veća gustoća jedinki po m² predstavnika reda Diptera, s dominacijom porodice Chironomidae. Najnovija istraživanja izvorišnih područja Dinarida na području Bosne i Hercegovine (izvori porječja rijeke Cvrčke) također ukazuju kako je u zoni eukrenala veća abundancija ovih predstavnika, a u zoni hipokrenala veća ujednačenost unutar reda Diptera (Płóciennik i sur. 2016).

Rezultati dobiveni u okviru istraživanja ovog diplomskog rada potvrđuju kako različite vrste pronalaze optimalne uvjete za rast u različitim dijelovima izvorišnog sustava, jer različite vrste različito reagiraju na abiotičke uvjete (Spitale i sur., 2012). Rezultati multidimenzionalnog skaliranja (MDS) brojnosti makroskopskih beskralješnjaka prema mikrostaništu i brzini strujanja vode ukazuju kako je brzina strujanja vode puno značajnija u definiranju strukture i brojnosti zajednica od mikrostaništa. Što znači da su promjene u zastupljenosti skupina makrozoobentosa više bile povezane s razlikama u brzini strujanja vode nego s razlikama u sastavu supstrata, dok istraživanja zajednica na krškim izvorima u drugim područjima Europe ukazuju kako su razlike u zastupljenosti pojedinih skupina više povezane s varijacijama u sastavu supstrata nego s promjenama u strujanju ili kemizmu vode (Bonettini i Cantonati, 1996, citirano iz Spitale i sur., 2012). Pojedine svojte reagiraju na različite načine na prostorne (položaj) i vremenske (sezonske) varijacije. U okviru ovih istraživanja se pokazalo kako su za makrozoobentos puno značajnije prostorne (mikrostanišne) varijacije u specifičnim ekološkim uvjetima, kao što je brzina strujanja vode. Kod sakupljanja makrozoobentosa treba pronaći ravnotežu između spomenutih varijacija kako bi se dobio odgovor organizama na sezonske promjene. Postoje različita mišljenja u pogledu važnosti biotičkih i abiotičkih čimbenika, ali oba su podjednako važna (Spitale i sur., 2012).

Visoka heterogenost supstrata zajedno s nepromjenjivošću okolišnih uvjeta smatra se razlogom visoke raznolikosti vodenih beskralješnjaka u izvorima (von Fumetti i Blattner, 2016). Odnos između sastava faune izvorišnog staništa, dostupnosti te složenosti supstrata je pozitivno koreliran. Zbog toga je velika varijacija mikrostaništa odgovorna za visoku biološku raznolikost (Staudacher i Füreder, 2007). Supstrat je vrlo važan jer utječe na zastupljenost zajednica, njihovu prilagodbu, preživljavanje i reprodukciju. Na vrstu supstrata i njegov sastav utječe geneza izvorne stijene, položaj, nagib, tip izvora, površinska hrapavost, tekstura podloge i sastav vegetacije. Provedene su studije o ulozi supstrata na bogatstvo vrsta u izvorima, stavljajući u obzir i preferenciju supstrata od strane mnogih vrsta. Uspoređivanjem rezultata dobivenih tijekom ovog istraživanja sa rezultatima od Matijašec (2016) utvrđene su razlike u brojnosti i zastupljenosti pojedinih svojti na određenim mikrostaništima. Prema vrijednostima bogatstva svojti, najmanji broj svojti u okviru ovog istraživanja je utvrđen na mezolitalu (13), a najveći na mikrolitalu i fitalu (19), dok Matijašec (2016) navodi da je najveći broj svojti utvrđen na mezolitalu (42), a manji na fitalu (37), što potvrđuje kako je zona eukrenala siromašnija svojtima nego zona hipokrenala (Cantonati i sur., 2012). Istraživanje izvora na karbonatnoj podlozi u Alpama Austrije pokazalo je različitu gustoću i sastav vrsta na različitim tipovima supstrata (Gerecke i sur., 1998). Naime veća heterogenost supstrata uvjetuje veću biološku raznolikost. Također su to potvrdila i mnoga druga istraživanja provedena na izvorima Sjeverne Amerike (Gregory, 2005). To nije potvrđeno u okviru rezultata istraživanja ovog diplomskog rada u usporedbi s prethodnim istraživanjima u rijeci Zrmanji (Matijašec, 2016), jer očito zona eukrenala ima drugačiju zakonitost zajednica nego zona hipokrenala. Nakon fizikalno-kemijskih parametara, supstrat je svakako vrlo bitan kod određivanja sastava vodene faune.

Životne strategije organizama vodene faune su raznolike te prilagođene na pojedina staništa, a za većinu vrsta mikrostaništa predstavljaju i odgovarajući izvor hrane (Reiss i Chiffard, 2015). Za krenobionte (tipični stanovnici izvora) se smatralo da su ograničeni na izvore zbog toplinske stabilnosti, međutim nova istraživanja pokazuju da su stabilnost staništa i dostupnost supstrata jednako važni (von Fumetti i Blattner, 2016). Izvori pozitivno utječu na ekološku stabilnost krajolika te unatoč njihovoj maloj veličini, pružaju značajna staništa za brojne vrste koje povećavaju biološku raznolikost cijelog riječnog sustava. Često su staništa brojnim ugroženim vrstama (Kubíková i sur., 2012). Osim supstrat, tip izvora i blizina izvora imaju veliki utjecaj na sastav zajednice (Barquín i Death, 2009). Upravo zbog toga kod interpretacije prisutnosti i bioraznolikosti vrsta na izvoru vrlo je važan i tip izvora (reokreni, limnokreni i helokreni) jer on određuje da li će u izvoru biti više zastupljena lotička staništa

(staništa brze struje vode) ili lentička staništa (staništa spore struje vode). U skladu s tim određena je brzina strujanja vode u izvorišnim područjima (Reiss i Chiffard, 2015). Izvor rijeke Zrmanje je reokrenog tipa s dominacijom lotičkih staništa. Međutim u razdobljima niskog vodostaja, kao što je bio slučaj u vrijeme provedenog istraživanja u okviru ovog diplomskog rada (travanj 2016), pojavljuju se mozaična staništa lentičkih obilježja, što značajno utječe na ukupnu raznolikost u eukrenalu rijeke Zrmanje i ukazuje na važnost obuhvaćanja različitih mikrostaništa u istraživanjima izvorišta krških rijeka.

U provedenom istraživanju dominiraju vrste iz skupine vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) te dvokrilaca (Diptera). Unutar skupine dvokrilaca (Diptera) najveći broj jedinki zauzimaju ličinke iz porodice trzalaca (Chironomidae). Najzastupljenije su na supstratu mahovine spore struje vode s prosječnom gustoćom od 7 135 m². Za razliku od ostalih skupina, ličinke Chironomidae slabo su proučene u izvorima zbog velikih poteškoća tijekom njihove determinacije (Płóciennik i sur., 2016). Unatoč tome, poznato je da različiti okolišni čimbenici, osobito antropogeni, mogu utjecati na njihovu zastupljenost u izvorima (Lencioni i sur., 2011, Mori i Brancelj, 2006, citirano iz Płóciennik i sur., 2016). Ličinke porodice Chironomidae naseljavaju zonu eukrenala i zonu hipokrenala, međutim zajednice u eukrenalu pokazuju veću zastupljenost ličinki, dok zajednice hipokrenala imaju veću ujednačenost i veći gradijent u sastavu vrsta. Alge su važan čimbenik koji utječe na sastav pojedinih vrsta ličinki porodice Chironomidae (Płóciennik i sur., 2016). Samim time prisutnost mahovine čini se da je osobito važan čimbenik zbog izvora hrane i staništa (Gereke & Di Sabatino, 1966, Di Sabatino i sur., 2000, Wigger i sur., 2015, citirano iz von Fumetti, 2017), jer mahovine mogu nakupiti detritus i pružati dobro stanište za razvoj algi (Barquín i Death, 2004, citirano iz Płóciennik i sur., 2016). Osim zastupljenosti algi, kao jednog od važnih čimbenika koji utječe na sastav pojedinih vrsta porodice Chironomidae, Płóciennik i sur. (2016) su utvrdili da pojedine vrste više preferiraju kamenito dno koje sadrži više minerala. Utvrđeno da tip kamenitog supstrata s obzirom na veličinske frakcije te okolna, uzdignuta podloga također utječu na sastav zajednica. Čimbenici poput prisutnosti tvrdog dna, temperatura, struja vode i trajnost protoka imaju posredan utjecaj na sastav zajednice. Visina i temperatura su čimbenici koji utječu na sastav vrsta porodice Chironomidae na široj geografskoj skali. U talijanskim Alpama postoji velika pozitivna korelacija između kvalitete staništa i raznolikosti predstavnika porodice Chironomidae s nadmorskom visinom. Ličinke porodice Chironomidae dobri su pokazatelji kakvoće staništa, osobito na razini vrsta (Płóciennik i sur., 2016).

Tip supstrata jedan je od najvažnijih čimbenika koji kontrolira osnovne funkcionalne hranidbene skupine makrozoobentosa (von Fumetti i Nagel, 2011). Postoji nekoliko studija koje opisuju trofičke odnose u pojedinim izvorima, posebno limnokrenim (npr. Odum, 1957, Teal, 1957, Tilly, 1968, citirano iz von Fumetti i Nagel, 2011) te smatraju da je unos alohtonog lišća glavna hrana za biljojede (Minschall 1968, Stern & Stern, 1969, Teal, 1957, citirano iz von Fumetti i Nagel, 2011). Postoji veza između krupno partikulirane organske tvari (CPOM-čestice veće od 0,5 mm) i usitnjivača, fino partikulirane organske tvari (FPOM) i sakupljača te perifitona i strugača. Na mjestima gdje je veliki utjecaj obalne vegetacije dominiraju sakupljači i usitnjivači. U gornjem djelu riječnog ekosustava gdje je visok unos alohtonog materijala, osobito se očekuju usitnjivači, jer im je alohtoni materijal najvažniji izvor hrane za drobljenje (von Fumetti i Nagel, 2011). Tijekom provedenih istraživanja u eukrenalu rijeke Zrmanje koja je okružena šumskom vegetacijom s velikom količinom alohtonog materijala ipak ne dominiraju usitnjivači, među kojima važnu ulogu u izvorima imaju predstavnici porodice *Gammaridae*. Međutim rakušci su usitnjivači raspadnutog alohtonog materijala (Iversen, 1988, Glazier, 1991, Barquin & Death, 2004, citirano iz von Fumetti i Nagel, 2011), koji u izvorišnom dijelu nije dostatno razgrađen za ove predstavnike, za razliku od zone hipokrenala. Sakupljače filtratore većinom nalazimo u izvorima sa slabijim protokom, gdje dominira organski supstrat i glina. Na takvim izvorima je vrlo važan unos alohtonog materijala. Takav materijal se zatim pretvara u CPOM i na kraju u FPOM (Cummins & Klug, 1979, citirano iz von Fumetti i Nagel, 2011). U provedenom istraživanju u sporoj struji vode pripadnici skupine Ephemeroptera-Baetidae, unutar hranidbenog lanca, dominiraju kao strugači za koje je izuzetno važna stabilnost protoka s obzirom da su specijalizirani i osjetljivi strugači većinom osjetljivi na onečišćenje i poremećaje, za razliku od sakupljača filtratora i sakupljača pobirača (Merritt & Cummins, 1984, Rawe-Jost i sur., 2000, citirano iz von Fumetti i Nagel, 2011). U brznoj struji vode kao predatori dominiraju pripadnici skupine Trichoptera-Rhyacophillidae, dok u sporoj struji vode su to pripadnici skupine Plecoptera-Perlidae. Razlog tome je što se na kamenitoj podlozi ličinke pripadnika skupine Trichoptera mogu održati i u najvećoj struji vode. Brzu struju vode mogu naseljavati vrste koje posjeduju posebne prilagodbe za zadržavanje u struji vode (Matoničkin, 1959). Osim toga poznato je kako se povećava broj grabežljivaca sa smanjenjem struje vode, budući da se povećava količina plijena (Álvarez i Pardo, 2007). U izvorištu rijeke Zrmanje u brznoj struji vode je mnogo manje aktivnih filtratora i predatora nego u sporoj struji vode, jer se te skupine organizama u sporoj struji vode mogu nesmetano izlagati struji vode. Arimed i sur. (2007a) predložili su nekoliko hipoteza u kojima veličina tijela i temperatura okoline utječu na

5.RASPRAVA

duljinu hranidbenog lanca (Glazier, 2012). Međutim, u ovom istraživanju presudnu ulogu imaju supstrat i brzina strujanja vode.

6. ZAKLJUČAK

- Tijekom provedenih istraživanja u zoni krenala rijeke Zrmanje utvrđene su značajne razlike u strukturi zajednica makroskopskih vodenih beskralješnjaka pojedinih mikrostaništa brze i spore struje vode.
- Kvalitativna i kvantitativna analiza zajednica ukazuje na najveće bogatstvo vrsta u mahovini megalitala i makrolitala brze struje vode zbog velike raznolikosti predstavnika Plecoptera.
- Najveća ujednačenost zajednica je na mezolitalu brze struje vode, zbog manjeg broja svojti i njihove podjednake zastupljenosti, što ukazuje kako manji broj svojti ima mogućnost prilagoditi se ekstremnijim uvjetima u brznoj struji vode.
- Najveća je brojnost jedinki predstavnika porodice Chironomidae na mahovini spore struje vode, budući da je riječ o sakupljačima pobiračima detritusa koji se zadržava u većoj količini u sporij struji vode među organskim supstratom kakav je mahovina.
- Najpogodniji supstrat i uvjeti mikrostaništa za skupine Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT indeks) su mezolital i brza struja vode.
- Na svim supstratima i u svim uvjetima strujanja vode dominira temporalna fauna tj. vodeni kukci, kao najznačajniji predstavnici mikrostaništa krenala rijeke Zrmanje.
- Analizom funkcionalnih skupina utvrđena je dominacija predstavnika detritivora, odnosno sakupljača pobirača, među kojima ključnu ulogu imaju predstavnici porodice Chironomidae.
- Na vrhu hranidbene mreže spore struje vode su predstavnici Plecoptera, dok su u brznoj struji vode na vrhu hranidbene mreže predstavnici Trichoptera.

7. LITERATURA

1. Álvarez M., Pardo I., 2007. Do temporary streams of Mediterranean islands have a distinct macroinvertebrate community? The case of Majorca. *Archiv für Hydrobiologie* **168**, 55-70.
2. Barquín J., Death R. G., 2009. Physical and chemical differences in karst springs of Cantabria, northern Spain: do invertebrate communities correspond? *Aquatic Ecology* **43**, 445-455.
3. Bonacci O., 1999. Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Sciences* **44**, 373-386.
4. Bonacci O., Roje-Bonacci T., 2015. Drastic hydrological change caused by hydroelectrical development in karst: a case of the karst river Zrmanja (Croatia). *Environmental Earth Sciences* **74**, 6767-6777.
5. 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
6. Clarke K. R., Gorley R. N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 189 str.
7. Čanjevac I., 2013. Tipologija protočnih režima rijeka Hrvatske. *Hrvatski geografski glasnik* **75/1**, 23-42.
8. Erman A. N., 2002. Lessons from a Long-term Study of Springs and Spring Invertebrates (Sierra Nevada, California, U.S.A.) and Implications for Conservation and Management. Conference Proceedings. Spring-fed Wetlands: Important Scientific and Cultural Resources of the Intermountain Region, Department of Wildlife, Fish, and Conservation Biology, University of California, Davis, str. 1-13.
9. Fritz F., 1972. Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje (Morphological evolution of the upper Zrmanja course). *Carsus Iugoslaviae* **8/1**, JAZU, Zagreb 1-16.
10. Gerecke R., Meisch C., Stoch F., Acri F., Franz H., 1998. Eucrenon-hypocrenon ecotone and spring typology in the Alps of Berchtesgaden (Upper Bavaria, Germany). A study of microcrustacea (Crustacea: Copepoda, Ostracoda) and water mites (Acari: Halacaridae, Hydrachnellae) U: Botosaneanu L. (ur.), Studies in crenobiology. The biology of springs and springbrooks. Backhuys Publishers, Leiden, str. 167-182.
11. Glazier D. S., 2012. Temperature affects food-chain length and macroinvertebrate species richness in spring ecosystems. *Freshwater Science* **31** (2), 575-585.
12. Glazier D.S., 2009. Springs. U: Likens, G.E. (ur.), Encyclopedia of Inland Waters, Vol. 1. Elsevier, Oxford, str. 734-755.

7. LITERATURA

13. Gregory B. M., 2005. Microhabitat preferences by aquatic invertebrates influence bioassessment metrics in piedmont streams of Georgia and Alabama. U: Hatcher K. J. (ur.) Proceedings of the 2005 Georgia Water Resources Conference, April 25–27, 2005. Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, Georgia, str. 1-6.
14. Karaman G. S., 1965: Über die Gattung Fontogammarus S. Karaman in Jugoslawien. *Fragmanta Balcanica* **13**, 81–89.
15. Karaman G. S., 1993. Fauna d'Italia. Crustacea Amphipoda diacqua dolce. Edizioni Calderini, Bologna, str. 1-166.
16. Kriska Gy., 2013. Freshwater Invertebrates in Central Europe - A Field Guide. Springer–Verlag, Wien Heidelberg New York Dordrecht London, 411 str.
17. Kubíková L., Simon P. O., Tichá K., Douda K., Maciak M., Bílý M., 2012. The influence of mesoscale habitat conditions on the macroinvertebrate composition of spring in a geologically homogeneous area. *Freshwater Science* **31** (2), 668-679.
18. Matijašec, I., 2016. Makrozoobentos krenala rijeke Zrmanje. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 64 str.
19. Matoničkin I., 1959. Trihopteraska fauna i njen odnos prema brzini vode na sedrenim slapovima i njihovim pripadnim brzicama. *Biološki glasnik* **12**, 97-104.
20. Matoničkin I., Pavletić Z., Taučar V., 1966. Brzina vode kao ekološki faktor u krškim vodama tekućicama. *Biološki glasnik* **19**, 51-63.
21. Merritt R.W., Cumminis K.W. 2007. Trophic Relationships of Macroinvertebrates. U: Hauer R., Manberti G.A. (ur.) Methods in Stream Ecology. Elsevier, Academic Press, Amsterdam, str. 585-610.
22. Moog O., 2002. Fauna Aquatica Austriaca. Wasserwirtschaftskataster Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 684 str.
23. Nilsson A., 1996. Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook, Ephemeroptera - Plecoptera - Heteroptera - Neuroptera - Megaloptera - Coleoptera - Trichoptera - Lepidoptera. Apollo Books Aps. Stenstrup, Denmark, 274 str.
24. Pelivan A., 1998. Malo poznate ljepote rijeke Zrmanje. *Ekološki glasnik* **6** (8), 6-19.
25. Pelivan A., 2008. Rijeka Zrmanja. *Ekološki glasnik* **16** (6), 3-18.
26. Płóciennik M., Dmitrović D., Pešić V., Gadawski P., 2016. Ecological patterns of Chironomidae assemblages in Dynaric karst springs. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* **417** (11), str. 1-19.
27. Reiss M., Chiffard P., 2015. Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters - An Eco-Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. Chapter 9. U: Lo Y-H., Blanco J. A., Roy S. (ur.) Biodiversity in Ecosystems - Linking Structure and Function. InTech, DOI: 10.5772/59072, str. 223–258.

7. LITERATURA

28. Reiss M., Martin P., Gerecke R., von Fumetti S., 2016. Limno-ecological characteristics and distribution patterns of spring habitats and invertebrates from the Lowlands to the Alps. *Environmental tEarth Sciences* **75**, 2-11.
29. 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.
30. Smith H., Wood P. J., Gunn J., 2003. The influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* **510**, 53-66.
31. Spitale D., Lencioni V., Cantonati M., 2012. Relative importance of space and time in determining the biotic structure in the upper part of spring-fed streams. *Freshwater Science* **31** (2), 586-598.
32. Statistički ljetopis 2009. Geografski i meteorološki podaci. Državni zavod za statistiku, Republika Hrvatska, str. 1-57.
33. Staudacher K., Füreder L., 2007. Habitat Complexity and Invertebrates in Selected Alpine Springs (Schütt, Carinthia, Austria). *International Review of Hydrobiology* **92** (4-5), 465-479.
34. Šegota T., Filipčić A., 2003. Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria* **8** (1), 17-37.
35. Štih A., Koren T., Bobinec A., Matejčić M., Franković M., 2015. The River Zrmanja-Another Hotspot of Dragonfly Diversity in the Dinaric Karst, Croatia. *Entomologia Croatica* **19**, 43-57.
36. von Fumetti S., Blattner L., 2017. Faunistic assemblages of natural springs in different areas in the Swiss National Park: a small-scale comparison. *Hydrobiologia* **793** (1), 175-184.
37. Von Fumetti S., Nagel P., 2011. A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups. *Journal of Limnology* **70** (Suppl. 1), 147-154.
38. von Fumetti S., Nagel P., 2012. Discharge variability and its effect on faunistic assemblages in springs. *The Society for Freshwater Science* **31** (2), 647-656.
39. Zwick P., 2004. Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* **34**, 315-348.
40. Waringer J., Graf W., 2011. Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Publishers, Dinkelscherben, str. 1-468.

7. LITERATURA

Korištene internet stranice:

URL 1: <https://www.zakon.hr/z/124/Zakon-o-vodama>

URL 2: http://www.dzpz.hr/dokumenti_upload/20100527/dzpz201005271405280.pdf

URL 3: <https://geoportal.dgu.hr>

URL 4: http://www.crorivers.com/popis-rijeka_zrmanja.php

URL 5: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=67480>

ŽIVOTOPIS

Rođena sam u Zagrebu 19. studenoga 1991. godine. Nakon osnovne škole u Oroslavju, pohađala sam Opću gimnaziju Oroslavje koju sam završila 2010. godine. Iste godine upisujem Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Preddiplomski studij završila sam u srpnju 2015. godine. Nakon stjecanja naziva prvostupnice, univ. bacc. oecol. Znanosti o okolišu nastavljam studij i upisujem diplomski studij na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Znanosti o okolišu.

Uz studij aktivno radim preko Student servisa u Stradivariusu od listopada 2014. godine.