

# Usporedba krenobiocenoza dvaju izvora rijeke Gacke

---

Mišerić, Ivana

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:217:704987>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

Ivana Mišerić

# USPOREDBA KRENOBIOCENOZA DVAJU IZVORA RIJEKE GACKE

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 Eksperimentalne biologije.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

## Usporedba krenobiocenoza dvaju izvora rijeke Gacke

Ivana Mišerić

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Krški izvori jedinstvenog su sastava zajednica beskralježnjaka, specifične strategije kruženja hranjivih tvari te različite morfologije. Zbog svega navedenog, unutar recentnih ekoloških koncepcija, smatramo ih zasebnim ekosustavima. Oba istraživana izvora Gacke, Majerovo i Tonkovića vrilo, pripadaju krškim limnokrenim ili ujezerenim tipovima izvora. Jednogodišnje sezonsko istraživanje provedeno je od siječnja do listopada 2014. godine te su prikupljeni uzorci prema modificiranom AQEM protokolu u svrhu određivanja sastava zajednica i abundancije makrozoobentosa. Ukupno je prikupljeno 70 poduzoraka na dominantnom anorganskom i organskom supstratu duž 100 metara izvorišnog područja svakog izvora. Osnovni fizikalno-kemijski parametri stabilni su na oba izvora i značajno se razlikuju. Godišnje oscilacije temperature vode u oba izvora ne prelaze 1 °C, potvrdivši tipične uvjete eukrenala. Dominantni organski supstrat bio je fital s makrofitskom vodenom vegetacijom, dok je dominantni anorganski supstrat bio psamopelal. Analiza sastava zajednica makrozoobentosa pokazuje dominantnost skupina jednakonožnih rakova (Isopoda) i rakušaca (Amphipoda) na oba istraživana izvora. Prema sastavu, gustoći i raznolikosti makrozoobentosa i analiziranim fizikalno-kemijskim parametrima vode oba izvora su ocijenjena s dobrom kvalitetom vode. Podaci o istraživanim i susjednim izvorima esencijalni su za procjenu bogatstva vrsta i produktivnosti u cijelom porječju kao i izoliranim porječjima rijeke Gacke.

(65 stranica, 23 slike, 20 tablica, 75 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: krški izvori, makrozoobentos, rijeka Gacka, Majerovo Vrilo, Tonkovića Vrilo

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

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

doc. dr. sc. Duje Lisičić

prof. dr. sc. Božena Mitić

Zamjena: izv. prof. dr. sc. Petar Kružić

Rad je prihvaćen: 4. svibnja 2017.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

### **Comparison of crenobiocoenosis of two Gacka River springs**

Ivana Mišerić

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Karstic springs are unique in their composition of invertebrate communities, having specific strategies of nutrient cycling, as well as having diverse morphology. For all of these reasons, within recent ecological concepts, they are considered to be separate independent ecosystems. Both investigated karstic springs of the Gacka River, Majerovo and Tonkovića Vrilo, are characterized as limnocrenous or lake-like springs. A year-round seasonal investigation was conducted from January to October 2014 and samples were taken according to modified AQEM protocol in order to assess the macrozoobenthos community assemblages and abundance. In total 70 subsamples of macrozoobenthos were collected at dominant inorganic and organic substrates along the 100 meters of the each spring head. All physicochemical parameters were significantly different between springs. Annual water temperature oscillations in both springs did not exceed 1 °C, confirmed typical eucrenal conditions. The dominant organic substrate was phytal with submerged macrophytes, while the dominant inorganic substrate was psamopelal. Macroinvertebrate community composition indicates a clear domination of isopod and amphipod crustaceans on both springs. According to macroinvertebrate composition, abundance, species diversity and analyzed physicochemical water properties, the water quality of the both springs was assessed as a good. Information on researched and neighboring springs are essential for estimates species richness and productivity in the whole Gacka River catchment as well as in the each subcatchment.

(65 pages, 23 figures, 20 tables, 75 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Keywords: karst springs, macrozoobenthos, river Gacka, Majerovo vrilo, Tonkovića vrilo

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

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

Duje Lisičić, Assist. Prof., Ph.D.

Božena Mitić, Full Prof., Ph.D.

Replacement: Petar Kružić, Assoc. Prof., Ph.D.

Thesis accepted: 4<sup>th</sup> May 2017

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici, profesorici Sanji Gottstein, na prenesenom znanju, strpljenju i pomoći oko pisanja rada. Posebno hvala i asistentici Ivani Pozojević na velikoj podršci i pomoći.

Hvala mojoj obitelji, prijateljima i svima koji su u nekom trenutku bili uz mene.

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
1.1. Opće značajke izvora .....	1
1.2. Sinekološka koncepcija izvora .....	2
1.3. Ekološka obilježja krških izvora.....	4
1.4. Osobitost zajednica vodenih beskralježnjaka krških izvora .....	5
1.5. Uloga vodenih beskralježnjaka u bioindikaciji izvora .....	7
1.6. Ciljevi istraživanja .....	8
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	9
2.1. Opis područja istraživanja .....	9
2.2. Geografske značajke izvorišnog područja rijeke Gacke.....	11
2.3. Klima i hidrografske prilike .....	11
2.4. Hidrogeološke značajke slivnog područja rijeke Gacke.....	11
2.5. Ekološki status rijeke Gacke.....	12
2.6. Opis istraživanih lokaliteta .....	13
3. MATERIJALI I METODE .....	16
3.1. Materijali .....	16
3.2. Dinamika terenskih istraživanja .....	16
3.3. Metode terenskih istraživanja.....	16
3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka .....	16
3.3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode .....	18
3.4. Metode laboratorijskih istraživanja .....	18
3.5. Analiza podataka .....	19
3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode .....	19
3.5.2. Analiza zajednica vodenih beskralježnjaka .....	19
3.5.3. Ocjena ekološkog stanja na temelju makroskopskih beskralježnjaka .....	20
4. REZULTATI.....	23
4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode Majerovog i Tonkovića vrila.....	23
4.1.1. Temperatura .....	23
4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika .....	24

4.1.3. Zasićenje vode kisikom.....	25
4.1.4. pH vrijednost vode .....	26
4.1.5. Alkalitet vode.....	27
4.1.6. Električna provodnost vode .....	28
4.1.7. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi .....	30
4.1.8. Brzina strujanja vode .....	31
4.2. Vegetacija vodenih makrofita Majerovog i Tonkovića vrila.....	33
4.3. Sastav i gustoća zajednica makrozoobentosa Majerovog i Tonkovića vrila .....	34
4.3.1. Zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa .....	35
4.3.2. Gustoća jedinki pojedinih skupina makrozoobentosa.....	39
4.4. Rezultati kvalitativne analize sastava zajednica makrozoobentosa Majerovog i Tonkovića vrila.....	41
4.5. Ocjena ekološkog stanja Majerovog i Tonkovića vrila temeljem analize makrozoobentosa .....	47
5. RASPRAVA.....	50
6. ZAKLJUČAK .....	57
7. LITERATURA.....	58
ŽIVOTOPIS .....	66



# 1. UVOD

## 1.1. Opće značajke izvora

Izvori ili vrela su mjesta prirodnog istjecanja podzemnih voda na granici zemlje i atmosfere ili zemlje i vode po stopi dovoljno visokoj kako bi se stvorio tok na površini Zemlje (Bryan, 1919; Glazier, 2009; Springer i Stevens, 2009; Webb i sur. 1995;). Oborinska voda u obliku kiše i otopljenog snijega ulazi u zemlju i nakuplja se u poroznom materijalu (vodonosniku) smještenom iznad nepropusne podloge. Pod utjecajem gravitacije, pritiska i (ili) druge sile teče putem manjeg otpora te često izbija na površinu u obliku izvora. Pojavljivanje izvora na površini Zemlje uvjetovano je kontaktom propusnog i nepropusnog geološkog sloja na površini ili postojanjem pukotina u stijeni koja je povezana sa sabirnim i izlaznim područjem podzemnih voda, a ovisi i o konfiguraciji terena te razini podzemnih voda (Herak, 1990).

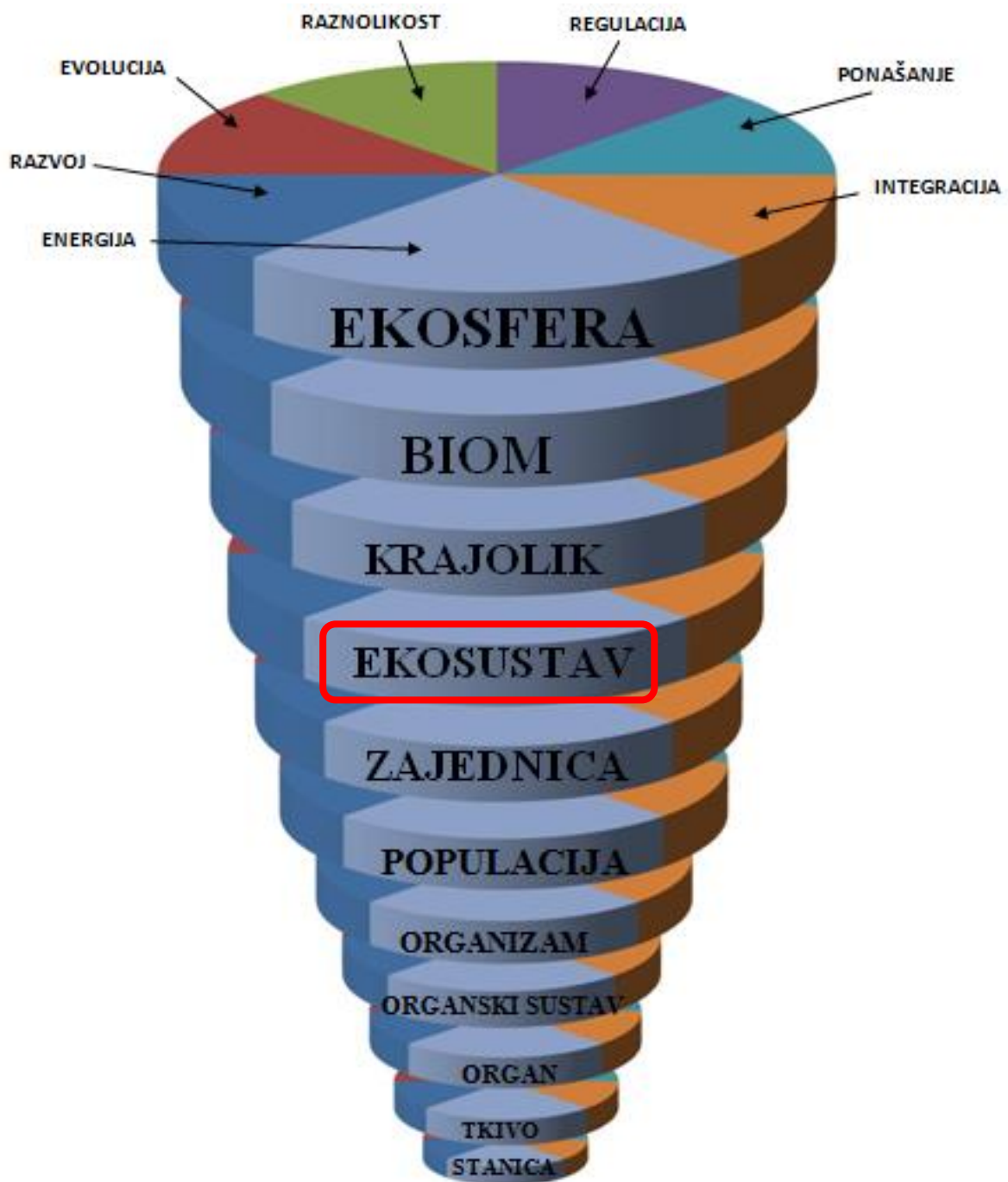
Dugo vremena izvori su se smatrali okolišem sličnom otocima sa stabilnim zajednicama organizama (Gerecke i sur., 1998), iako su mnogi konceptualni ekolozi u drugoj polovici 20. stoljeća već ukazivali da su izvori zasebni, složeno ustrojeni ekosustavi (Hynes, 1970; Odum, 1971; van der Kamp, 1995) neuobičajenih ekoloških obilježja, pa su stoga Illies i Botosaneanu (1963) predložili krenobiologiju kao novo područje limnologije koje se bavi istraživanjem izvora. Danas su izvori kao zasebni ekosustavi opće prihvaćena sinekološka hijerarhija u svim recentnim radovima (Cantonati i sur., 2006, 2012; Reiss i Chiffard, 2015; von Fumetti i sur., 2007; von Fumetti, 2008; von Fumetti i Nagel, 2011). Postoje mnogobrojne podjele i tipizacije izvora prema različitim konceptualnim modelima, kao što su podjele prema geologiji, hidrologiji, hidrogeologiji, kemizmu vode, temperaturi vode, ekologiji, ljudskoj upotrebi i dr. (Bryan, 1919; Glazier, 2009; Krešić, 2010; Springer i Stevens, 2009). Dosadašnje najčešće korištene klasifikacije izvora bazirale su se na 6 osnovnih kriterija: 1) hidrologiji (Bonacci, 2015; Bryan, 1919; Krešić, 2010), 2) hidrogeologiji (Bryan, 1919; Herak, 1990; Krešić, 2010), 3) fizikalno-kemijskim čimbenicima (Bryan, 1919; Cantonati i sur., 2016; Krešić, 2010), 4) obimu i varijabilnosti protoka (Bonacci, 2015; Meinzer, 1923), 5) sastavu faune (Erman i Erman, 1995; Martin i Brunke, 2012; Springer i Stevens, 2009; Zollhöfer i sur., 2000) te 6) glacijalnoj prošlosti (Williams i Williams, 1998). No općenito mogu biti tipizirani prema „top-down“ principu, korištenjem geomorfoloških obilježja ili „bottom-up“ principu koji se bazira na vodenim zajednicama koje obitavaju u izvoru (Lorenz i sur., 2004). Prema najčešćoj biološkoj klasifikaciji pojavljuju se u tri osnovna morfološka oblika s obzirom na način

istjecanja vode na površinu Zemlje i formiranje specifičnog tipa nadzemnog vodenog staništa: reokreni, limnokreni i helokreni (Hynes, 1970), što je prihvaćeno i u okviru Nacionalne klasifikacije staništa Republike Hrvatske (Narodne Novine, 119/09).

Oba izvora Gacke, Majerovo vrilo i Tonkovića vrilo, koja će biti obrađivana u ovom radu pripadaju limnokrenim ili ujezerenim tipovima izvora. Izraz limnokreni izvori prvi puta je upotrijebio Bornhauser (1913), a preuzeo ga je Hynes (1970) u općoj klasifikaciji izvora s ekološkog aspekta. Limnokreni izvori istječu iz velike duboke depresije, gdje je ograničeni ili neograničeni vodonišnik viši od podloge, tvoreći tako jedno ili više ujezerenja u udubini u koju neprestano ulazi izvorišna voda koja dalje može teći u obliku vodotoka (Hynes, 1970; Springer i Stevens, 2009). Ovaj tip izvora je prisutan i u koncepcijskim modelima močvarnog kontinuiteta (eng. wetland continuum) i klasifikacijskom sustavu prema konceptu EOPV (GWDE – groundwater dependent ecosystems). Podloga im je najčešće s muljevito-pjeskovitim sedimentom (Hynes, 1970; Narodne Novine, 119/09). Izvori su vrlo značajni dijelovi okoliša i pružaju jedinstvena staništa za vodenu faunu i floru (Galas, 2005). Prijelazna su zona između kopnenih i vodenih staništa te podzemnih i nadzemnih voda, te predstavljaju kompleksna ekotonska područja sa specifičnim tranzicijskim zonama (Carroll i Thorp, 2014; Martin i Brunke, 2012; Reiss i Chiffard, 2015). Smatraju se „vrućim točkama“ bioraznolikosti te jedinstvenim staništima koja su ugrožena (Cantonati i sur., 2016) i zahtijevaju posebnu zaštitu zbog krhkosti i iznimne osjetljivosti na poremećaje (Carroll i Thorp, 2014). Zbog vrlo malih varijacija u temperaturi i ostalim fizikalno-kemijskim parametrima, idealni su za *in situ* istraživanja (Glazier, 2009).

## **1.2. Sinekološka koncepcija izvora**

Sinekologija je grana ekologije koja se bavi proučavanjem interakcija između vrsta unutar određene životne zajednice. Sinekološka koncepcija izvora zasniva se na povezanosti i interakciji krenobionata i ostali skupina organizama koje dolaze u izvorima te različitih biotičkih i abiotičkih čimbenika. Sinekološka koncepcija obuhvaća sedam zajedničkih svojstava (energija, evolucija, razvoj, regulacija, ponašanje, raznolikost i integracija) na svim sinbiološkim razinama (stanica, tkivo, organ, ..., biom, ekosfera), a izvori se prema sinekološkom konceptu smatraju zasebnim ekosustavima (Knight i Notestein, 2008) (Slika 1).



**Slika 1.** Prikaz sinekološke hijerarhije i položaj izvora kao ekosustava s prikazom zajedničkih svojstava svih razina.

Stalni fizikalno-kemijski uvjeti u izvorima povoljni su organizmima koji se asinkrono razmnožavaju tijekom godine, a također ti uvjeti omogućili su izvorima da djeluju kao refugiji za velik broj vrsta (Carroll i sur., 2016). Tipična hranidbena mreža u izvorima uključuje velik broj primarnih producenata, a manji broj primarnih i sekundarnih konzumenata te su stoga

izvori visoko produktivni ekosustavi. Također, uvelike su ovisni o lokalnim, regionalnim i čak globalnim značajkama područja u kojima se nalaze (Knight i Notestein, 2010). Bitan dio hranidbene mreže u izvorima čini makrozoobentos koji razlaže organsku tvar te tako prenosi hranjive tvari na višu trofičku razinu. Makrozoobentos se prema tipu ishrane može podijeliti na detritivore, herbivore i karnivore, a obzirom na način ishrane mogu se podijeliti na usitnjivače (eng. shredders), sakupljače (eng. collectors), strugače (eng. grazers) i predatore. Skupini usitnjivača pripadaju organizmi koji se hrane krupnom usitnjenom organskom tvari (CPOM, eng. coarse particulate organic matter). Sakupljači se hrane fino usitnjenom organskom tvari (FPOM, eng. fine particulate organic matter) i vrlo fino usitnjenom organskom tvari (UPOM, eng. ultrafine particulate organic matter). Skupina strugača hrani se perifitonom kojeg struže s kamenja i makrofita na kojima se nakuplja (Hauer i Lamberti, 2007).

Odum (1917) je među prvim znanstvenicima predložio proučavanje izvora kao zasebnih ekosustava, obzirom da izvori zbog svojih konstantnih fizikalno-kemijski uvjeta utječu na sastav zajednica u izvoru, ali i na sastav zajednica na kopnenim staništima u njihovoj neposrednoj blizini. Također izvori se trebaju promatrati kao zasebni ekosustavi, obzirom da izvore nastanjuje jedinstvena i specifična fauna, a ne samo fauna susjednih preklapajućih ekosustava s kojima su izvori vertikalno, horizontalno i lateralno povezani (von Fumetti i Blattner, 2016).

### **1.3. Ekološka obilježja krških izvora**

Krš je po definiciji Fielda (2002) podloga razvijena na vapnencima i dolomitima, s topografijom koja se većinom formirala otapanjem stijena, a neka od obilježja krškog reljefa su brojne ponornice, estavele i špilje. Područje krša u Hrvatskoj dio je Dinarskog krša te zauzima površinu od otprilike 46% teritorija Republike Hrvatske. Krški izvori obično su dio sustava speleološkog objekta na kojem ponornica izvire na površinu. Voda kroz krš prolazi relativno brzo te su zato krški izvori bitni za proučavanje hidrologije i hidrogeologije podzemnih voda (Lukač Reberski i sur., 2009).

Krški vodonosnici odlikuju se velikom raznolikošću toka i mogućnostima skladištenja vode te se tretiraju kao statički sustavi koji se koriste kao rezerve pitke vode važne za ljudsko zdravlje, osiguravaju hranu te su važni u gospodarskom sektoru. Krški izvori obično imaju veću karbonatnu tvrdoću i više klorida (zbog otapanja vapnenca prolaskom vode kroz podzemlje), a

manje sulfata od drugih izvora. Također, imaju i manje količine slobodnog CO<sub>2</sub> i manju električnu provodnost (Komac, 2001). Obzirom da zrak u podzemnim šupljinama ima niži parcijalni tlak od CO<sub>2</sub>, prolaskom vode kroz podzemne krške šupljine CO<sub>2</sub> prelazi u plinovito stanje (Gottstein Matočec i sur., 2002).

Veličina vodonosnika određena je njegovim granicama koje mogu biti lateralne ili horizontalne i vertikalne, a s obzirom na propusnost vode te granice mogu biti propusne, polupropusne ili nepropusne (Stevanović, 2015). Brzina protoka voda u izvorima mijenja se ovisno o veličini vodonosnika te količini padalina na geografskom području vodonosnika. S obzirom na brzinu protoka vode i retencijske sposobnosti vodonosnika izvori mogu biti sa konstantnim protokom ili mogu presušivati u razdobljima sa manjom količinom (Biondić i sur., 2015).

Onečišćenja nastala ljudskim aktivnostima (otpadne vode iz kućanstava i industrije, odlagališta otpada, prometnice i poljoprivredne aktivnosti), brzo se šire kroz podzemlje te predstavljaju sve veću prijetnju kvaliteti krških voda. Specifična strukturna i hidrološka obilježja čine krške krajolike vrlo osjetljivima zbog lakoće kojom zagađivači ulaze u sustav. Smjerovi i obilježja podzemnog toka vode te transport zagađivala u njemu značajno utječu na hidrološke prilike područja (Biondić i sur., 2015). Krška planinska područja su najosjetljivija na onečišćenje zbog nedostatka biljnog pokrova te relativno brzog protoka vode tijekom maksimalnih vodostaja (Komac, 2001).

#### **1.4. Osobitost zajednica vodenih beskralježnjaka krških izvora**

Krenobiologija je grana biologije koja se bavi proučavanjem izvora. Vrste koje nastanjuju isključivo zonu krenala nazivaju se krenobionti, a vrste koje preferiraju zonu krenala, ali mogu nastanjivati i nizvodne dijelove toka, nazivaju se krenofili. Krenal se, s obzirom na varijabilnost fizikalno – kemijskih parametara vode tijekom godine, dijeli na eukrenal, zonu gdje podzemna voda izlazi na površinu (izvor) i hipokrenal (izvorišni tok). Fauna koja nastanjuje eukrenal naziva se eukrenon (Glazier, 2009). Izvori se smatraju višestrukim ekotonima, odnosno, prijelazna su područja između podzemnih i nadzemnih voda, kopnenih i vodenih staništa te izvora s relativno konstantnim uvjetima i ostatka vodenog toka s oscilirajućim parametrima (Cantonati i sur., 2012). S obzirom na navedeno, eukrenon je zajednica organizama sastavljena od vrsta koje nastanjuju podzemlje (stigobioni), krenobionata

i vrsta nizvodnih dijelova vodotoka ili drugih ekosustava s kojima je izvor povezan (Mori i Brancelj, 2006).

Bentos je zajednica organizama koja živi na površini ili u sedimentu nekog vodenog staništa, a sastoji se od fitobentosa i zoobentosa. Bentos se prema veličinskoj kategoriji dijeli na mikrobentos (< 0.063 mm), mejobentos (0.063 mm – 1.0 mm) i makrobentos (> 1.0 mm) (Tagliapietra i Sigovini, 2010). Važan su dio vodenih ekosustava jer promjene u biotičkim ili abiotičkim čimbenicima se odražavaju kao promjene u sastavu zajednice (Glazier, 2009). Tipične skupine organizama koje nalazimo kao makrozoobentos su virnjaci (Turbellaria), puževi (Gastropoda), školjkaši (Bivalvia) i rakovi (Crustacea). U slatkovodnim ekosustavima bitan dio makrozoobentosa čine kukci (Insecta), a neke od najvažnijih skupina su ličinke vodencvjetova (Ephemeroptera), tulara (Trichoptera), obalčara (Plecoptera), dvokrilaca (Diptera) i vretenaca (Odonata) (Giller i Malmquist, 1998). Makrozoobentos ima važnu ulogu u obogaćivanju dna vodenih tijela kisikom, razlaganju hranjivih tvari te je važan izvor hrane za veće organizme u hranidbenoj mreži (Tagliapietra i Sigovini, 2010).

Fizikalno-kemijski uvjeti značajno utječu na raznolikost i sastav zajednica vodenih ekosustava. Pripadnici skupina rakova (Crustacea) i mekušaca (Mollusca) brojniji su u vodenim ekosustavima s vodom veće tvrdoće, dok u vodenim ekosustavima s manjom tvrdoćom vode prevladavaju pripadnici skupine kukaca (Insecta) (Glazier, 2009). Osim fizikalno-kemijskih uvjeta, tip supstrata i gustoća makrofita u izvoru imaju bitnu ulogu u raznolikosti i sastavu zajednica makrozoobentosa. Supstrat i makrofiti osiguravaju prostor za razmnožavanje, skrivanje od predatora, hranu, te prostor za odmor mnogim skupinama makrozoobentosa (Glazier, 2009; Throp i Covich, 2009). Raznolikost vrsta povezana je i s raznolikošću mikrostaništa u izvorima, odnosno, veća raznolikost mikrostaništa utječe na veću raznolikost vrsta (Cantonati i sur., 2016; Glazier, 2009). Mnoge vrste koje nalazimo u izvorima, a i ostalim krškim fenomenima, kao što su to špilje, jame, polja, ponikve i slično, su endemi i/ili rijetke i ugrožene vrste. Bitni okolišni faktori koji utječu na veliku bioraznolikost izvora su konstantna temperatura tijekom cijele godine, niža razina kompeticije s obzirom na kraće hranidbene lance i manji broj „top predatora“ (Cantonati i sur., 2011). Također, morfologija krškog reljefa i putovi toka vode koji prihranjuju izvore odgovorni su za raspodjelu zajednica beskralježnjaka u krškim izvorima (Barquín i Death, 2009).

## 1.5. Uloga vodenih beskralježnjaka u bioindikaciji izvora

Kod utvrđivanja kvalitete vode koriste se fizikalno-kemijski parametri i biomonitoring, odnosno, da bi se odredila kvaliteta vode potrebno je ispitati ekološko i kemijsko stanje vode. Ekološko stanje vode određuje se pomoću analize bioloških elemenata kakvoće (BEK), a kemijsko stanje pomoću osnovnih fizikalno-kemijski parametara (Vučković i sur., 2011). Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara ukazuje na trenutno stanje vodnog tijela, a biomonitoringom se može utvrditi, osim trenutnog ekološkog statusa, i prošla stanja zbog kumulativnog učinka (Li i sur., 2010). Biomonitoring je sustavno praćenje strukture zajednica organizama i njihovog odgovora kako bi se utvrdilo stanje ili promjene u okolišu, a najčešće se koristi makrozoobentos koji je ključna komponenta vodenih hranidbenih mreža. Osim makrozoobentosa, u određivanju bioloških elemenata kakvoće koriste se i perifiton, makrofiti, fitoplankton i ribe (Vučković i sur., 2011).

Metode analize i procjene kvalitete vode u tekućicama, temeljene na sastavu zajednica makrozoobentosa, mnogobrojne su i raznovrsne. Neke se temelje na identifikaciji vrsta, neke na omjeru određenih skupina, a u analizama zajednica koristi se cijeli niz matematičkih modela (Mandville, 2002). Neke svojste se koriste u procjeni kvalitete zbog tolerancije na povećane koncentracije organske tvari te su najčešće prilagođene i na uvjete niske koncentracije kisika otopljenog u vodi (npr. svojste iz skupina Oligochaeta, Diptera i Hirudinea). Neke svojste unutar skupina Trichoptera, Ephemeroptera i Plecoptera nisu tolerantne na onečišćenja te njihovo odsustvo može ukazivati na eventualno organsko onečišćenje vode (Abida i sur., 2012). Također, manja raznolikost faune izvorskih ekosustava često je rezultat narušenih okolišnih uvjeta, kao što su velike oscilacije u protokama vode (von Fumeti i Nagel, 2012).

Unatoč velikom porastu znanstvenog interesa za izvore, još uvijek ne postoji standardizirana metoda uzorkovanja makrozoobentosa u izvorima, već se primjenjuju metode koje se koriste kod uzorkovanja u tekućicama (Rosati i sur., 2016). Najveći izazov u definiranju standardizirane metode uzorkovanja makrozoobentosa u eukrenalu su relativno male dimenzije izvora i velika heterogenost mikrostaništa (Gerecke i sur., 2007).

## 1.6. Ciljevi istraživanja

Ciljevi ovog diplomskog rada usmjereni su na utvrđivanje sezonskih promjena sastava zajednica vodenih beskralježnjaka i ekoloških uvjeta eukrenala dvaju izvora Gacke, Majerovog vrila i Tonkovića vrila, na temelju sezonskih istraživanja. Glavni ciljevi rada bili su:

I. odrediti sastav i abundanciju svojti na svakom od istraživanih izvora u ovisnosti o:

- i. Fizikalno-kemijskim čimbenicima vode
- ii. Sastavu i pokrovnosti vodene vegetacije
- iii. Dominaciji i obilježjima mikrostaništa
- iv. Degradaciji i potencijalnim negativnim utjecajima na pojedine izvore.

II. usporedivši rezultate oba istraživana izvora:

- i. Utvrditi razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode;
- i. Utvrditi razlike u ukupnom broju svojti (UBS);
- ii. Utvrditi ekološko stanje na temelju modula saprobnosti koristeći bodovni indeks (BMWP) i prošireni biotički indeks (PBI);
- iii. Utvrditi ekološko stanje na temelju modula opće degradacije koristeći se EPT-S indeksom, analizom broja porodica (BP) i udjelom predstavnika Oligochaeta (OLI%).

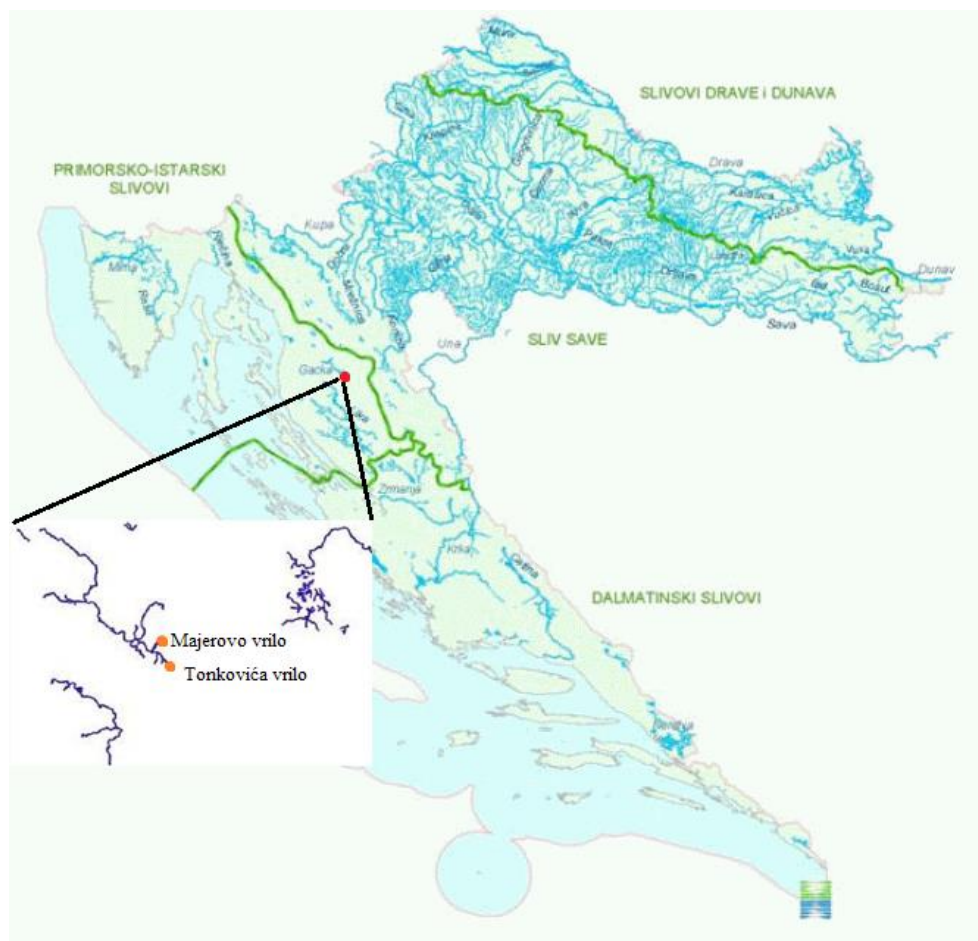
III. utvrditi ključan čimbenik (čimbenike) koji potencijalno utječe na sastav zajednica vodenih beskralježnjaka dvaju izvora Gacke.



## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Opis područja istraživanja

Krš Dinarida najveći je kontinuirani krški krajolik u Europi na 60.000 km<sup>2</sup>. Dinaridi se nalaze između Panonskog bazena na sjeveroistoku i Jadranskog mora na jugozapadu te se dijele na različite prirodne zone. Neke od karakteristika krškog dijela su: velika količina oborina, relativno niska retencijska sposobnost podzemlja i brzi podzemni tokovi, povremena plavljenja krških polja, pojave velikih krških izvora, višestruko izviranje i poniranje vode u istom vodnom tijelu podzemne vode te visoki stupanj prirodne ranjivosti vodonosnika (Narodne novine, 66/16). Geomorfološke razlike nastale su zbog različite litologije, pa se na krajevima krških područja javljaju brojni izvori (Mihevc i sur., 2010). Ovo istraživanje fokusirano je na dva limnokrena, krška izvora rijeke Gacke, Majerovo vrilo i Tonkovića vrilo (Slika 2).



**Slika 2.** Prikaz položaja istraživanog područja s označenim lokalitetima, izvor Majerovo vrilo i izvor Tonkovića vrilo

Teritorij Republike Hrvatske hidrografski pripada slivu Jadranskog mora i slivu Crnog mora te je tako podijeljen na dva vodna područja, a rijeka Gacka pripada slivu Jadranskog mora. Rijeka Gacka protječe kroz Gacku dolinu na čijem jednom kraju izvire, a na drugom ponire. Po duljini smatra se trećom ponornicom u svijetu, a ukupna duljina sa svim pritocima iznosi 61 km, iako je prije izgradnje HE Senj bila duga 100 km. Izvorišno područje sastoji se od više manjih izvora, a četiri su najjača: Majerovo vrilo, Tonkovića vrilo, Klanac i Pećina (Lukač Reberski i sur., 2013).

Iako oba izvora Gacke, Majerovo i Tonkovića vrilo, u načelu imaju stalni protok tijekom godine, oba ne pripadaju stalnim izvorima. Tonkovića vrilo je stalan izvor oscilirajućeg protoka, međutim Majerovo vrilo je periodični izvor dugih razdoblja protoka prema klasifikaciji Bryana (1919) o stalnosti protoka. Zadnje presušivanje Majerovog vrila bilo je 1957. godine, a prethodno zabilježeno 1949. godine (*pers. com.* lokalno stanovništvo). Dinamika presušivanja na takovim tipovima izvora ne ovisi o fluktuacijama oborina, već je u ovisnosti o postojanju podzemnih šupljina i definiraju se još i kao cjevasti izvori u topljivim stijenama ili kavernozi izvori ili izvori povezani sa šupljinama u kršu (Bonacci, 2015; Bryan, 1919; Krešić, 2010). Oba izvora su s velikim protokom i s vodom visoke kvalitete te je zbog toga slivno područje rijeke Gacke navedeno u Strategiji upravljanja vodama (Narodne novine, 91/08) kao područje sa strateški važnim rezervama pitke vode za Republiku Hrvatsku (Lukač Reberski i sur., 2013). Također, oba izvora zaštićena su kao hidrološki spomenici prirode (Zwicker i sur., 2008).

Izvori se međusobno razlikuju u sastavu vrsta zbog razlika u stabilnosti podloge, količini dostupne hrane i heterogenosti staništa (Barquin i Death, 2011), a veliki broj istraživanja ukazuje i na brojna druga još nedovoljno klasificirana i neutvrđena obilježja koja se odnose na tip i intenzitet antropogenog utjecaja na vodene ekosustave (Couceiro i sur., 2012) te na spektar velikog broja drugih kemijskih i fizičkih sastavnica izvora lokalnog i/ili regionalnog značaja (Cantonati i sur., 2016; Springer i Stevens, 2009). Stoga je istraživanje u okviru ovog rada na izvorima Gacke, za koja postoje brojne dostupne informacije o hidrologiji, hidrogeologiji, kemizmu i dr., od osobitog značaja za interdisciplinarno sagledavanje problema procjene stanja izvora, primijenivši biološke principe u okviru multimetričkog koncepta ocjene stanja.

## **2.2. Geografske značajke izvorišnog područja rijeke Gacke**

Gacko polje je uz središnji lički prostor geografski najvažniji dio Like. Mjesto Sinac, u čijem okrugu se nalaze Majerovo i Tokovića vrilo, nalazi se na jugoistočnom kraju Gackog polja na 460 m apsolutne visine, a ponor rijeke na visini od 415 m, što je svega 45 m visinske razlike. Dugačko je 26 km, a najveće je širine 16 km. Sa sjeveroistoka i jugozapada zatvoreno je planinskim okvirom sjevernog Velebita te Kapele i Plješivice. Prosječna visina vrhova koji okružuju Gacko polje je iznad 1000 m (Bognar i sur., 1975).

## **2.3. Klima i hidrografske prilike**

Na području Dinarida veliku ulogu u klimatskim prilikama ima reljef koji utječe na količinu padalina i niže temperaturne vrijednosti zraka (Šegota i Filipčić, 2003). U Gackoj dolini dominira umjereno kontinentska klima sa svježim ljetima. Srednja siječanjska temperatura u području Gackog polja iznosi  $-2^{\circ}\text{C}$ , a srednja srpanjska temperatura iznosi  $18^{\circ}\text{C}$ . Ljeti se dolina ispuni toplim zrakom te apsolutna maksimalna temperatura može doseći i do  $35^{\circ}\text{C}$ , međutim, temperature nakon zalaska sunca značajno opadaju (Bognar i sur., 1975). Unatoč velikim oscilacijama u temperaturi zraka na izvorišnom području rijeke Gacke, u dosadašnjim istraživanjima temperatura vode u Majerovom i Tonkovića vrilu nije pokazivala značajnije oscilacije (Lukač Reberski i sur., 2009). U periodu od 1964. do 2005. godine kontinuirano je mjerena temperatura vode u rijeci Gackoj kod Čovića te je izmjerena minimalna temperatura u iznosu od  $6,4^{\circ}\text{C}$ , srednja vrijednost u iznosu od  $9,1^{\circ}\text{C}$  te maksimalna temperatura vode u iznosu od  $11,6^{\circ}\text{C}$ . Male temperaturne oscilacije ukazuju na velike vodonosnike, odnosno vrijeme koje voda provodi u krškom podzemlju je relativno dugo (Bonacci i Andrić, 2008).

## **2.4. Hidrogeološke značajke slivnog područja rijeke Gacke**

Gacko polje zatvoreno je planinskim okvirom građenim od donjokredskih brečastih naslaga, a samo polje sastavljeno je od debelogsloja pleistocenskih šljunaka na kojima se nalaze mlađi slojevi pijeska i gline. Uz tok Gacke širi se i pojas novijeg aluvijalnog materijal kojeg najviše ima uz izvor u Sincu, prema ponoru se sužava, a zatim se opet širi kod Otočca, nakon

kojeg se gubi (Bognar i sur., 1975). Slivno područje izvorišnog dijela rijeke Gacke obuhvaća 487 km<sup>2</sup>, od čega je 94 % podzemna voda, a 6 % je površinska (Lukač Reberski i sur., 2009).

U Majerovom vrilu utvrđena je veća količina magnezijevih iona nego u ostalim izvorima Gacke, a također, utvrđene su i vrlo niske koncentracije nitrata i fosfata, što ukazuje na visoku kvalitetu podzemnih voda (Lukač Reberski i sur., 2009). Također, protok vode u dosadašnjim istraživanjima nije pokazivao značajnije oscilacije, odnosno relativno je ujednačen tijekom godine, neovisno o količini padalina (Lukač Reberski i sur., 2009).

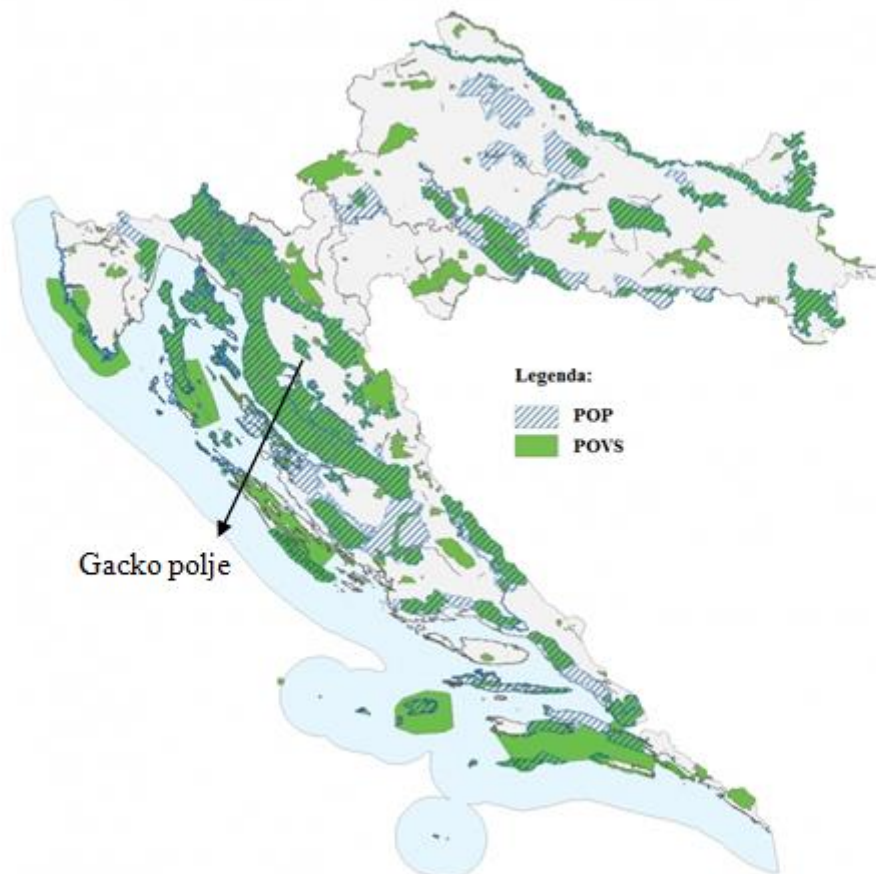
Gacka se zajedno s rijekom Likom smatra najtipičnijom ponornicom Gorske Hrvatske, a slivno područje obuhvaća južne padine Male Kapele. Voda izvire u stalnim krškim vrelima u istočnom dijelu Gackog polja, a ponire na vapnenačkom rubu Kompolja i Gusić-polja. Gacka je hidrološki mnogo povoljnijih osobina od rijeke Like s kojom zajedno čini jedinstven hidroenergetski sustav (Bognar i sur., 1975).

## **2.5. Ekološki status rijeke Gacke**

Gacko polje pripada Ekološkoj mreži Republike Hrvatske (Natura 2000) koju čine područja očuvanja značajna za ptice (POP) i područja očuvanja značajna za vrste i stanišne tipove (POVS), a Gacko polje prepoznato je i kao POP i kao POVS (Slika 3). Također, upisano je i u Upisnik zaštićenih područja kao značajni krajobraz (URL 3, URL 4).

U Planu upravljanja vodnim područjima Republike Hrvatske iz 2013. godine (Narodne novine, 82/13) za procjenu rizika kemijskog onečišćenje i procjene rizik količinskog stanja, rijeka Gacka je navedena kao ne rizična. Protok vode koji je relativno visok i konstantan, ujednačena temperatura vode, kemizam vode, miran i ujednačen tok i laporasto glinsko dno omogućili su razvoj raznolike vodene flore i faune. Zbog povoljnih ekoloških uvjeta za pastrve (optimalna temperatura vode s malim godišnjim oscilacijama, visoke vrijednosti otopljenog kisika u vodi, blago alkalna voda i bogatstvo raznolike hrane) rijeka Gacka poznata je po brzom dinamici rasta pastrvi (Jadan i sur, 2007). Prema izvješću o stanju površinski voda u Republici Hrvatskoj u 2013. godini rijeka Gacka je na području Tonkovića vrila ocjenjena u lošem stanju za ekološko stanje. U lošem stanju ocjenjena je i prema biološkim elementima kakvoće, a prema fiziklano-kemijskim elementima kakvoće ocjenjena je u dobrom stanju. Prema specifičnim onečišćujućim tvarima stanje vode je ocjenjeno kao vrlo dobro. Stupanj pouzdanosti ocjene

navodi se kao srednji obzirom da nije proveden monitoring pratećih hidromorfoloških elemenata (Hrvatske vode, 2013).



**Slika 3.** Prikaz Ekološke mreže Republike Hrvatske (Natura 2000) s označenim položajem Gackog polja (slika preuzeta s internetske stranice DZZP-a; URL 1). POP označava područja očuvanja značajna za ptice, a POVS označava područja očuvanja značajna za vrste i stanišne tipove.

## 2.6. Opis istraživanih lokaliteta

Oba istraživana izvora, Majerovo i Tonkovića vrilo pripadaju limnokrenom tipu izvora i nalaze se u neposrednoj blizini naselja. Majerovo vrilo speleološki je značajno i dugi niz godina se speleološki istražuje. Tijekom istraživanja 2005. godine proronjeno do dubine od - 104 m te je zabilježeno kao najdublji sifon u Republici Hrvatskoj (Garašić i Watz, 2005).

Tonkovića vrilo koristi se kao vodocrpilište od 1918. godine (Medić, 2016). Oba izvora su zajedno sa izvorom Klanac određena kao područja sanitarne zaštite (Županijski glasnik, 23/10).



**Slika 4.** Majerovo vrilo tijekom provedenog razdoblja istraživanja: A) ljeto, B) jesen, C) zima i D) proljeće.



**Slika 5.** Tonkovića vrilo tijekom provedenog razdoblja istraživanja: A) ljeto, B) jesen, C) zima i D) proljeće.

## **3. MATERIJALI I METODE**

### **3.1. Materijali**

Tijekom sezonskih uzorkovanja makrozoobentosa na oba istraživana izvora (Majerovo i Tonkovića vrilo) prikupljeno je ukupno 140 poduzoraka, odnosno 70 poduzoraka na svakom izvoru zasebno.

### **3.2. Dinamika terenskih istraživanja**

Terenska istraživanja u svrhu prikupljanja uzoraka makrozoobentosa i vodene vegetacije te mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode provedena su tijekom 2014. i 2015. godine. Uzorci makrozoobentosa prikupljeni su sezonski (zima, proljeće, ljeto i jesen) tijekom 2014. godine, a fizikalno-kemijski parametri praćeni su na mjesečnoj razini tijekom 2014. i 2015. godine. Svi podaci zapisani su na terenskom protokolu za istraživanje izvora.

### **3.3. Metode terenskih istraživanja**

#### **3.3.1. Uzorkovanje i pohrana bioloških uzoraka**

Uzorkovanje makrozoobentosa 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 istraživanog segmenta izvora i izvorišnog toka. Uzorci su prikupljeni kracer mrežom 25x25 cm, promjera oka 200  $\mu\text{m}$  te u dužini od 100 m na području izvora i izvorišnog toka. Tijekom uzorkovanja faune mjerena je minimalna i maksimalna dubina vode na pojedinim istraživanim izvorimana mjestima uzorkovanja makrozoobentosa. Uzorkovana površina sezonskih uzoraka na svakom izvoru zasebno iznosila je 1,25 m<sup>2</sup> (20 poduzoraka), osim u siječnju kada je iznosila 0,625 m<sup>2</sup> (10 poduzoraka). Uzorkovanje na Majerovom vrilu provedeno je na sljedećim supstratima: fital (submerzne alge, mahovine i makrofiti), mikrolital (srednji i krupni šljunak, tj. valutice, 2 cm – 6,3 cm) i argilal (anorganski mulj, glina, 6  $\mu\text{m}$ ). Na Tonkovića vrilu uzorkovanje je provedeno na sljedećim supstratima: fital (submerzne alge, mahovine i makrofiti), mikrolital



(srednji i krupni šljunak, tj. valutice, 2 cm – 6,3 cm) i akal (sitni šljunak, 0,2 – 2 cm) (Tablica 1). Uzorci prikupljeni na terenu pohranjeni su u plastične bočice na koje je prethodno napisan naziv lokaliteta, tip supstrata, datum uzorkovanja i broj poduzoraka te su konzervirani u 96% alkoholu. Izolacija i determinacija jedinki provedena je naknadno u laboratoriju.

**Tablica 1.** Prikaz razdoblja istraživanja te tipova i broja poduzoraka makroskopskih vodenih beskraljježnjaka s organskog i anorganskog supstrata na Majerovom i Tonkovića vrilu s obzirom na procijenjenu relativnu zastupljenost pojedinog tipa mikrostaništa (supstrata).

<b>Datum uzorkovanja</b>	<b>Lokacija</b>	<b>Broj poduzoraka s organskog i anorganskog supstrata</b>		
<b>22.1.2014.</b>	Majerovo vrilo	-	10 x FITAL - MIKROLIT	-
	Tonkovića vrilo	-	10 x FITAL - MIKROLIT	-
<b>14.4.2014.</b>	Majerovo vrilo	20 x FITAL	-	-
	Tonkovića vrilo	20 x FITAL	-	-
<b>12.7.2014.</b>	Majerovo vrilo	18 x FITAL	2 x MIKROLIT	-
	Tonkovića vrilo	6 x FITAL	4 x MIKROLIT- AKAL	10 x FITAL (ispod brane)
<b>8.10.2014.</b>	Majerovo vrilo	14 x FITAL	6 x MIKROLIT- ARGIL	-
	Tonkovića vrilo	20 x FITAL	-	-
<b>UKUPNI BROJ PODUZORAKA:</b>		98 poduzoraka	32 poduzorka	10 poduzoraka
<b>UKUPNO:</b>		<b>140 poduzoraka</b>		

Makrofitska vodena vegetacija uzorkovana je u cilju određivanja kvalitativnog sastava zajednice. Uzorkovanje se provodilo uzvodno duž lijeve i desne obale izvora. Za ocjenu učestalosti pojedinih vodenih makrofita na terenu se koristila peterostupanjska skala po Kohleru (Tablica 2). Procjene po Kohleru su provedene samo za submerze i emerzne vodene makrofitske vrste biljaka, dok za hidrofite u poplavnoj zoni izvora nisu rađene procjene. Vodene biljke su u živom stanju transportirane u plastičnim vrećicama s oznakom naziva lokaliteta, datumom i točkom uzorkovanja nakon čega se u laboratoriju provodila precizna determinacija uz pomoć stereo lupe, mikroskopa i determinacijskih ključeva.

**Tablica 2.** Skala po Kohler-u (1978.) za procjenu brojnosti vodenih makrofita

Ocjena brojnosti vrsta	Opis	Objašnjenje
1	Vrlo rijetko, pojedinačno	Samo pojedinačne biljke, do 5 jedinki
2	Rijetko	Od 6 do 10 jedinki, rahlo razdijeljenih po istraživanoj površini ili do 5 pojedinačnih sastojina (10%)
3	Rašireno	Ne može se previdjeti, ali nije česta vrsta; "može se naći a da se posebno ne traži" (10 - 25%)
4	Često	Česta vrsta, ali ne masovna; nepotpuna pokrovnost s velikim prazninama (25 - 50%)
5	Vrlo često, masovno	Dominantna vrsta, manje-više posvuda; pokrovnost znatno veća od 50%

### 3.3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode

Od osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode mjereni su: temperatura, pH, električna provodnost, salinitet, količina otopljenog kisika, zasićenje vode kisikom, kemijska potrošnja kisika (KPK), alkalinitet i brzina strujanja vode. Mjereni su pomoću digitalnog WTW multi-instrumenta 3430 F. Temperatura vode ( $^{\circ}\text{C}$ ), količina otopljenog kisika u vodi ( $\text{mg L}^{-1}$ ) te zasićenje vode kisikom (%) mjereni su optičkom sondom FDO 925, pH vode mjeren je digitalnom pH elektrodom SenTix 940, a električna provodnost vode ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) i salinitet (‰) digitalnom sondom TetraCon 925. Titracijom uzorka vode (100 mL) s 0,1 M kloridnom kiselinom (HCl) uz „metil oranž“ (*methyl orange*) kao indikator mjeren je alkalitet vode ( $\text{mg L}^{-1}$ , preračunat u  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) prema standardnom protokolu (APHA, 1995). Brzina strujanja vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) mjerena je brzinomjerom Dostmann electronic P600. U laboratoriju je analizirana i kemijska potrošnja kisika (KPK). KPK se određivao oksidacijom nečistoća u vodi kalijevim bikromatom ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) u kiselom mediju, a izražava se u jedinicama  $\text{mg/L O}_2$  ekvivalentnog potrošenom bikromatu (APHA, 1995).

### 3.4. Metode laboratorijskih istraživanja

Materijal prikupljen na terenskim istraživanjima u laboratoriju je pregledan pomoću binokularne lupe. Jedinke pojedinih skupina vodenih beskralježnjaka su prebrojane i odvojene po skupinama u epruvete s 80 %-tnim etanolom u koje je prethodno stavljen paus papir s osnovnim podacima (naziv lokaliteta, datum uzorkovanja, naziv supstrata, broj poduzoraka i naziv skupine organizama). Jedinke pojedinih skupina su naknadno determinirane do najniže

moгуće sistematske kategorije (porodice, roda ili vrste) uz pomoć odgovarajućih determinacijskih ključeva. Za determinaciju jedinki do razine skupine korišten je determinacijski ključ Kerovec (1986) i Sansoni i Ghetti (1992), za determinaciju skupine obalčara (Plecoptera) korišten je determinacijski ključ Zwick (2004), a za determinaciju ličinki iz skupine tulara (Trichoptera) do razine porodice korišten je determinacijski ključ Waringer i Graf (2011).

### **3.5. Analiza podataka**

#### **3.5.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara vode**

Fizikalno-kemijski parametri unešeni su u program Microsoft Excel 2016 te su u istom programu za svaki parametar izračunate vrijednosti opisne statistike: minimum (min), maksimum (maks), raspon (R), srednja vrijednost (SV), standardna devijacija (s), standardna pogreška (SE) i koeficijent varijabilnosti (V).

#### **3.5.2. Analiza zajednica vodenih beskraljčnjaka**

Analiza sastava zajednica makroskopskih beskraljčnjaka 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 16 gdje je izračunata gustoća jedinki po 1 m<sup>2</sup>. Rezultati su prikazani pomoću stupičastih grafova kako bi se usporedila brojnost jedinki i relativni udjeli po skupinama na različitim supstratima. Za utvrđivanje raznolikosti zajednice na pojedinim istraživanim izvorima rijeke Gacke tijekom istraživanih sezona izračunati su sljedeći indeksi: Shannon-Wienerov (H') i Simpsonov indeks raznolikosti ( $\lambda$ ), te Pielouov indeks ujednačenosti (J'), koristeći programski paket Primer v.6 (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:

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

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

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

**Pielouov 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:  $J' = H'/\log(S)$ , gdje je: H' - Shannon-Wienerov indeks, S - ukupni broj vrsta u zajednici.

### **3.5.3. Ocjena ekološkog stanja na temelju makroskopskih beskralježnjaka**

Ocjena ekološkog stanja izvora rijeke Gacke provodila se na temelju određivanja dva modula za biološke elemente kakvoće:

Saprobnost: određivanje razine opterećenja tekućice organskim tvarima

Opća degradacija - određivanje ukupnih antropogenih promjena

Za ocjenu razine opterećenja organskim tvarima računali su se sljedeći indeksi:

Hrvatski saprobni indeks (SIHR) - indeks koji ukazuje na opterećenje lako razgradljivim organskim tvarima, odnosno na saprobnost.

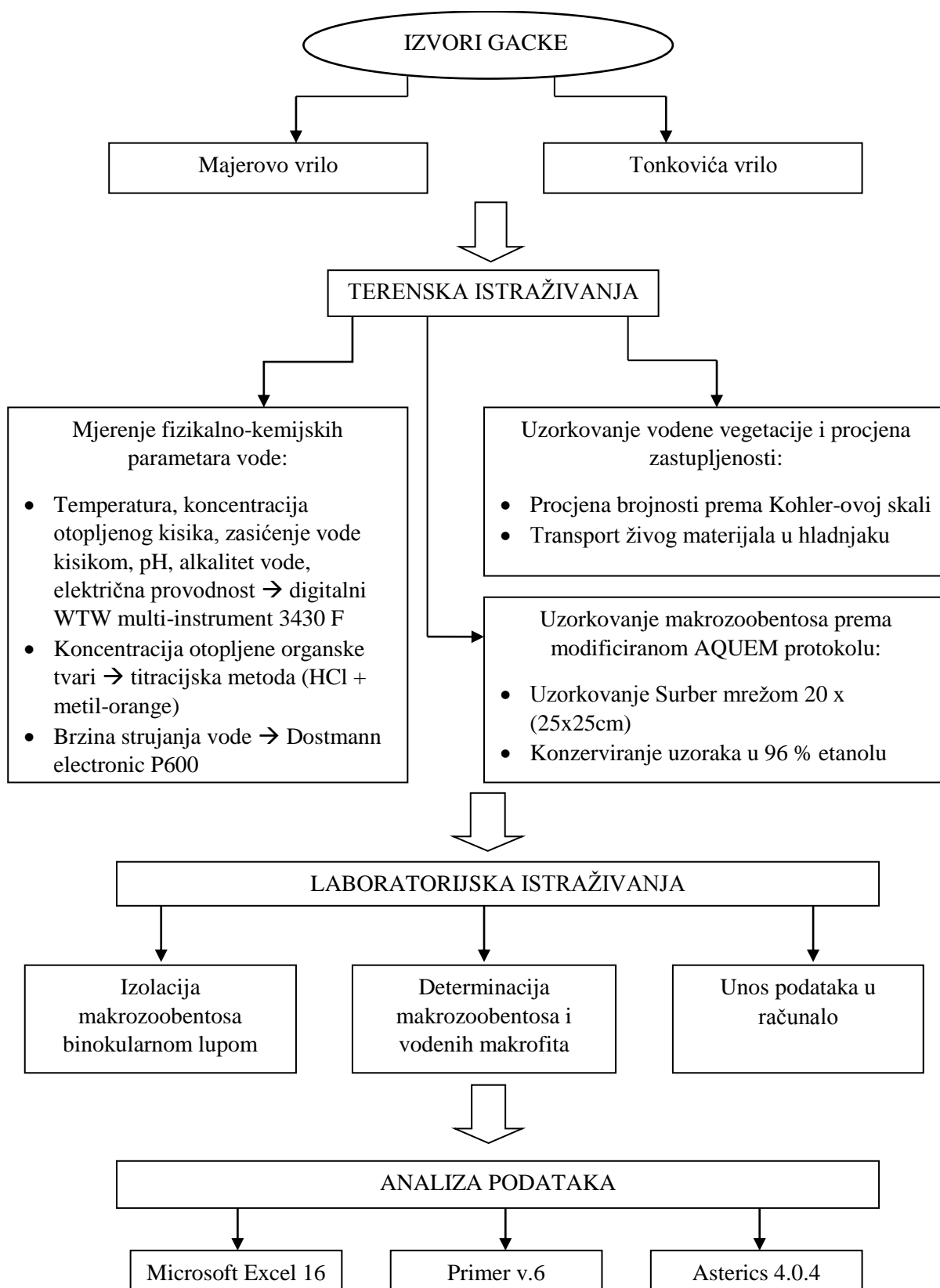
BMWP bodovni indeks (BMWP) - indeks koji uzima u obzir toleranciju prema onečišćenju pojedinih porodica prisutnih u uzorku, a vrijednost mu se dobiva zbrajanjem bodova pojedinih porodica.

Prošireni biotički indeks (PBI) - biološki indeks čija vrijednost ovisi o prisutnosti predstavnika pojedinih skupina različite osjetljivosti na organsko onečišćenje, počevši od onih najosjetljivijih prema tolerantnim te o broju svojti u uzorku.

Za ocjenu opće degradacije staništa računali su se sljedeći indeksi:

Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT-S) - indeks koji ukazuje na ukupnu degradaciju vodotoka jer su skupine Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera svojte osjetljive na različite degradacije i onečišćenja, a posebno na smanjenje količine kisika i smanjenje brzine strujanja vode.

Kako bi se odredilo ekološko stanje u obzir je bilo potrebno uzeti tip tekućice kojem pripadaju izvorišni tokovi rijeke Gacke i činjenicu da zbog prirodnih obilježja izvora vrijednosti nekih indeksa mogu biti niske. Za izračun pojedinih indeksa korišten je računalni program ASTERICS 4.0.4.. Zatim su dobivene vrijednosti normalizirane prema formulama za izračun omjera ekološke kakvoće ( $OEK = \frac{\text{vrijednost indeksa} - \text{najlošija vrijednost}}{\text{referentna vrijednost} - \text{najlošija vrijednost}}$ ) svakog indeksa kako bi se na temelju toga izračunale vrijednosti potrebnih modula za odgovarajući tip tekućice. Referentne vrijednosti propisane su u „Metodologiji uzorkovanja, laboratorijskih analiza i izračunavanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće“ (Hrvatske vode, 2015). Međutim, vrijednosti pojedinih indeksa nisu precizne, jer nisu sve skupine determinirane do dovoljno niskih sistematskih kategorija (rod ili vrsta) (Slika 6).



**Slika 6.** Prikaz metodologije istraživanja i analize podataka u Majerovom i Tonkovića vrilo.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode Majerovog i Tonkovića vrila

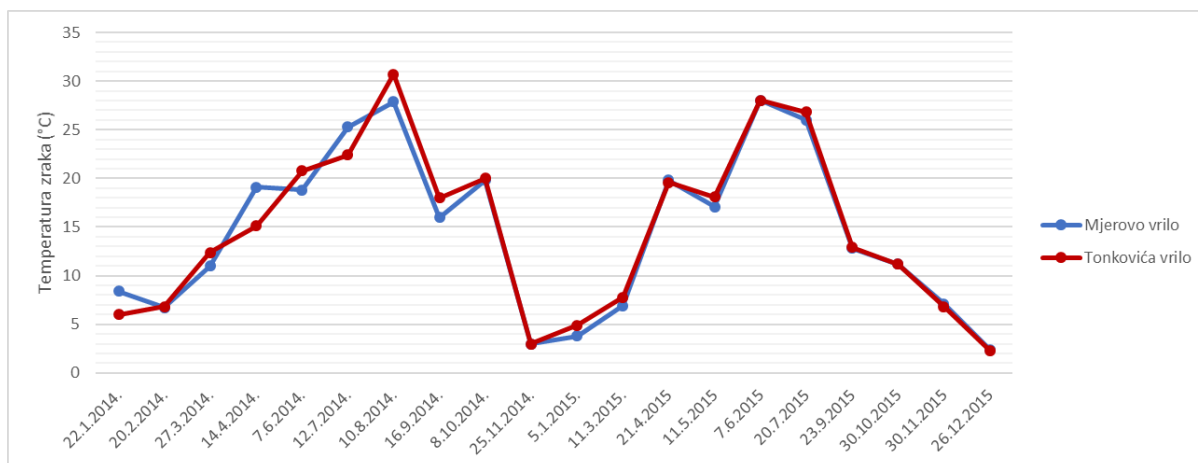
#### 4.1.1. Temperatura

Temperatura zraka na oba izvora pokazuje velikakolebanja tijekom godine. Maksimalna izmjerena temperatura zraka na Majerovom vrilu iznosila je 28 °C i izmjerena je u lipnju 2015. godine. Minimalna temperatura zraka izmjerena je u prosincu 2015. godine, a iznosila je 2,4 °C. Na Tonkovića vrilu maksimalna izmjerena temperatura zraka iznosila je 30,7 °C u kolovozu 2014. godine, a minimalna 2,3 °C u prosincu 2015. godine. Raspon između minimalne i maksimalne izmjerene temperature za Majerovo vrilo je 25,6 °C, a za Tonkovića vrilo 28,4 °C. Srednja vrijednost temperature zraka za Majerovo vrilo je 14,56 °C, a za Tonkovića vrilo je 14,68 °C (Tablica 3; Slika 7; Slika 8).

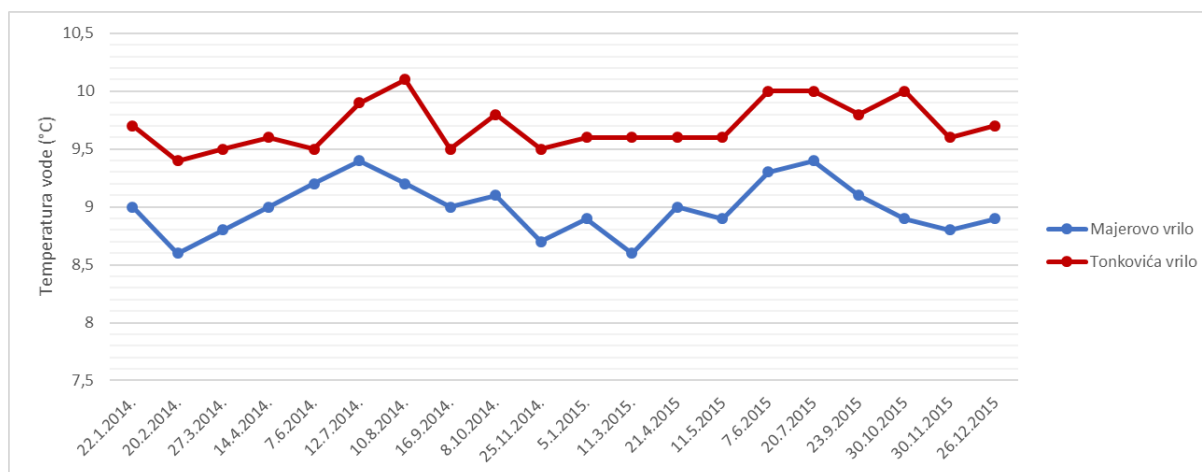
Temperatura vode na oba izvora je tijekom istraživanog razdoblja oscilira unutar 1 °C. Minimalna temperatura vode izmjerena na Majerovom vrilu iznosila je 8,6 °C u veljači 2014. godine i ožujku 2015. godine. Maksimalna temperatura na Majerovom vrilu izmjerena je u srpnju 2014. godine i srpnju 2015. godine, a iznosila je 9,4 °C. Na Tonkovića vrilu maksimalna izmjerena temperatura iznosila je 10,1 °C u kolovozu 2014. godine, a minimalna temperatura iznosila je 9,4 °C u veljači 2014. godine. Srednja vrijednost temperature vode za Majerovo vrilo je 8,99 °C, a za Tonkovića vrilo 9,7 °C (Tablica 3; Slika 6; Slika 7).

**Tablica 3.** Podaci opisne statistike za temperaturu zraka (°C) i temperaturu vode (°C) na Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimlnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	T zraka (°C)	2,4	28	25,6	14,56	8,41	1,88	57,81
	T vode (°C)	8,6	9,4	0,8	8,99	0,23	0,05	2,60
<b>Tonkovića vrilo</b>	T zraka (°C)	2,3	30,7	28,4	14,68	8,60	1,92	58,60
	T vode (°C)	9,4	10,1	0,7	9,70	0,21	0,05	2,12



**Slika 7.** Temperatura zraka (°C) na Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.



**Slika 8.** Temperatura vode (°C) u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

#### 4.1.2. Koncentracija otopljenog kisika

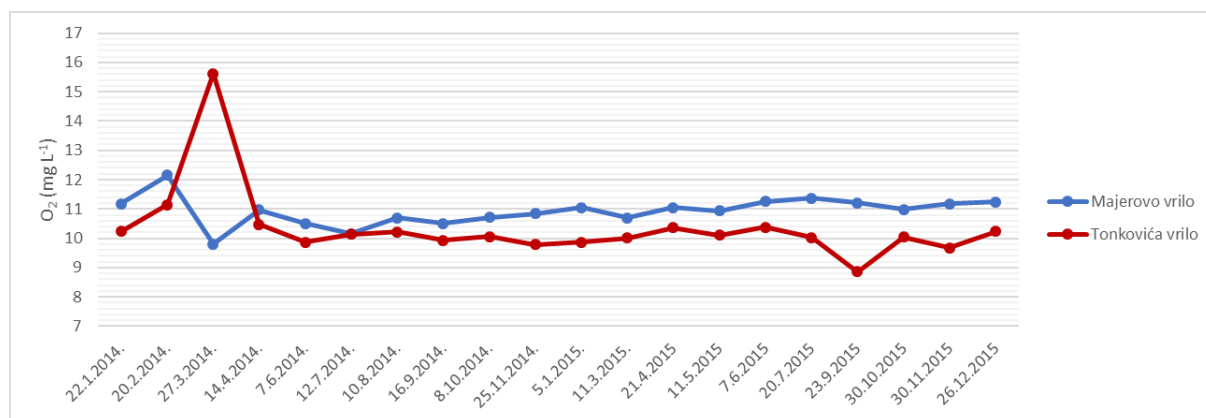
Tijekom razdoblja istraživanja izmjerena su veća kolebanja vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u Tonkovića vrilu, dok su u Majerovom vrilu zabilježena manja kolebanja. U Majerovom vrilu raspon između minimalne i maksimalne izmjerene vrijednosti koncentracije otopljenog kisika je  $2,35 \text{ mg L}^{-1}$ , a u Tonkovića vrilu  $6,76 \text{ mg L}^{-1}$ . Minimalna izmjerena vrijednost na Majerovom vrilu iznosila je  $9,8 \text{ mg L}^{-1}$  u ožujku 2014. godine, a maksimalna izmjerena vrijednost bila je  $12,15 \text{ mg L}^{-1}$  u veljači 2014. godine. Na Tonkovića vrilu minimalna izmjerena vrijednost bila je  $8,86 \text{ mg L}^{-1}$  u rujnu 2015. godine, a maksimalna  $15,62 \text{ mg L}^{-1}$  u



ožujku 2014. godine. Srednja vrijednost koncentracije otopljenog kisika u Majerovom vrilu iznosila je  $10,92 \text{ mg L}^{-1}$ , a u Tonkovića vrilu iznosila je  $10,35 \text{ mg L}^{-1}$  (Tablica 4; Slika 9).

**Tablica 4.** Podaci opisne statistike za vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u vodi ( $\text{mg L}^{-1}$ ) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	$\text{O}_2 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$	9,8	12,15	2,35	10,92	0,49	0,11	4,47
<b>Tonkovića vrilo</b>	$\text{O}_2 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$	8,86	15,62	6,76	10,35	1,31	0,29	12,66



**Slika 9.** Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika ( $\text{mg L}^{-1}$ ) u vodi u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

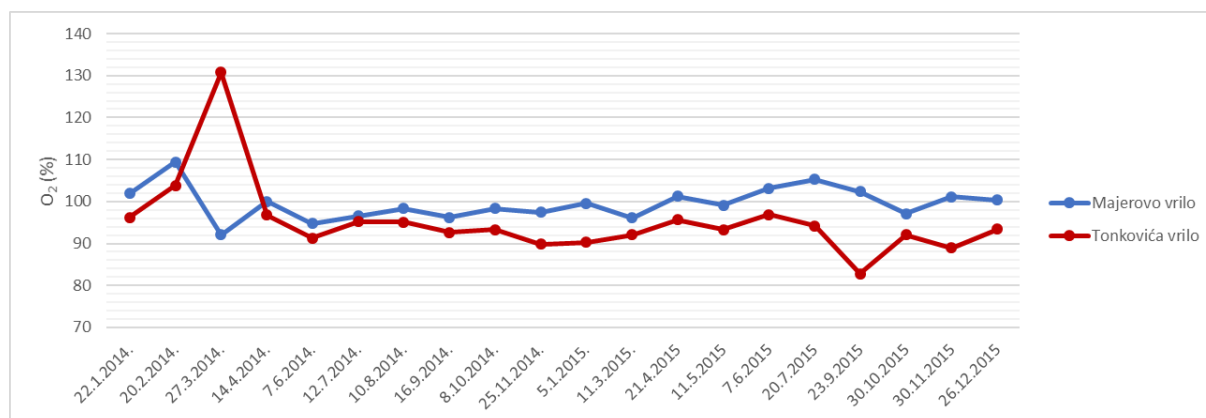
#### 4.1.3. Zasićenje vode kisikom

Zabilježene su veće oscilacije vrijednosti zasićenja vode kisikom na Tonkovića vrilu nego na Majerovom vrilu. Minimalna zabilježena vrijednost na Majerovom vrilu iznosila je 92,1 % u ožujku 2014. godine, a maksimalna zabilježena vrijednost iznosila je 109,4 % u veljači 2014. godine. Na Tonkovića vrilu izmjerena je minimalna vrijednost od 82,8 % u rujnu 2015. godine, a maksimalna vrijednost je iznosila 130,8 % u ožujku 2014. godine. Srednja vrijednost

zasićenja vode kisikom u Majerovom vrilu iznosila je 99,53 %, a u Tonkovića vrilu 95,23 % (Tablica 5; Slika 10).

**Tablica 5.** Podaci opisne statistike za vrijednosti zasićenja vode kisikom (%) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	O <sub>2</sub> (%)	92,1	109,4	17,30	99,53	3,88	0,87	3,90
<b>Tonkovića vrilo</b>	O <sub>2</sub> (%)	82,8	130,8	48,00	95,23	9,31	2,08	9,78



**Slika 10.** Vrijednosti zasićenja vode kisikom (%) izmjerene u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

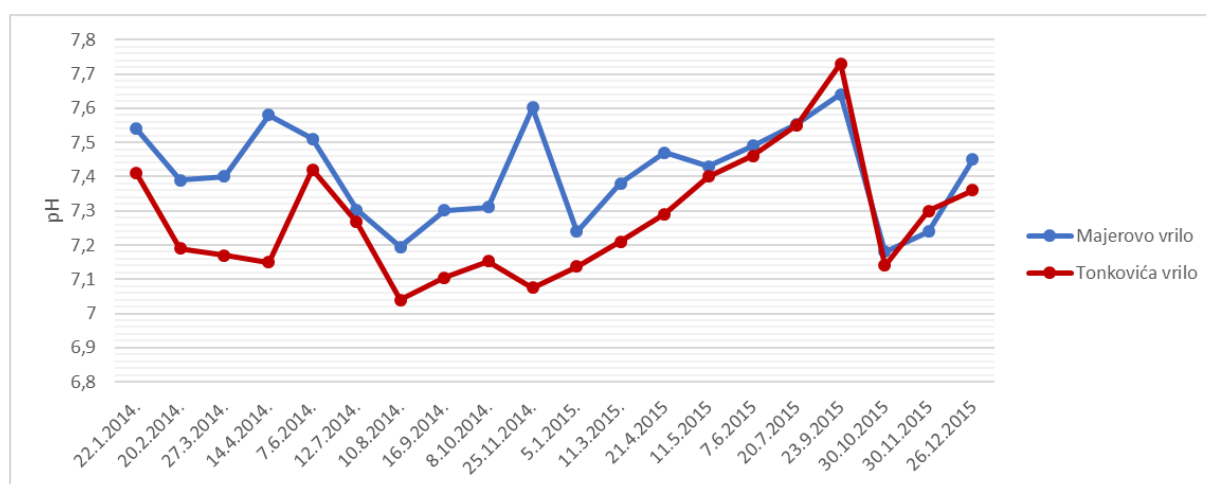
#### 4.1.4. pH vrijednost vode

Oba izvora Gacke su blago lužnata, a kolebanja nisu velika. Minimalna izmjerena pH vrijednost na Majerovom vrilu iznosila je 7,18 u listopadu 2015. godine, a maksimalna vrijednost je iznosila 7,64 u rujnu 2015. godine. Na Tonkovića vrilu minimalna pH vrijednost iznosila je 7,04 u kolovozu 2014. godine, a maksimalna vrijednost je iznosila 7,73 u rujnu 2015.

godine. Srednja vrijednost pH vode za Majerovo vrilo iznosila je 7,41, a za Tonkovića vrilo iznosila je 7,28 (Tablica 6; Slika 11).

**Tablica 6.** Podaci opisne statistike za pH vrijednosti vode u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	pH	7,18	7,64	0,46	7,41	0,14	0,03	1,88
<b>Tonkovića vrilo</b>	pH	7,04	7,73	0,69	7,28	0,18	0,04	2,43



**Slika 11.** pH vrijednosti vode u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

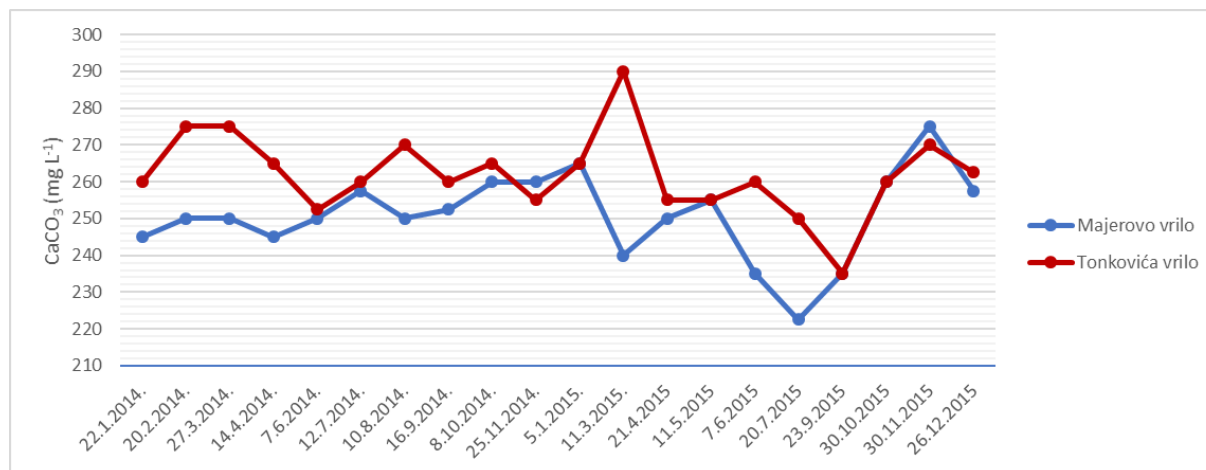
#### 4.1.5. Alkalitet vode

Tijekom razdoblja istraživanja nisu primijećene značajnije oscilacije u alkalitetu vode ni jednog od izvora, a u Tonkovića vrilu zabilježen je malo veći alkalitet vode nego u Majerovom vrilu. Minimalna zabilježena vrijednost za Majerovo vrilo iznosila je 222,5 mg L<sup>-1</sup> u srpnju 2015. godine, a maksimalna zabilježena vrijednost iznosila je 275 mg L<sup>-1</sup> u studenom 2015.

godine. Za Tonkovića vrilo minimalna vrijednost iznosila je 235 mg L<sup>-1</sup> u rujnu 2015. godine, a maksimalna zabilježena vrijednost iznosila je 290 mg L<sup>-1</sup> u ožujku 2015. godine. Srednja vrijednost za Majerovo vrilo iznosila je 250,75 mg L<sup>-1</sup>, a srednja vrijednost za Tonkovića vrilo iznosila je 262 mg L<sup>-1</sup> (Tablica 7; Slika 12).

**Tablica 7.** Podaci opisne statistike za alkalitet vode (mg L<sup>-1</sup>) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	222,5	275	52,50	250,75	11,78	2,64	4,70
<b>Tonkovića vrilo</b>	CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	235	290	55,00	262,00	11,26	2,52	4,30



**Slika 12.** Koncentracija CaCO<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>) u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

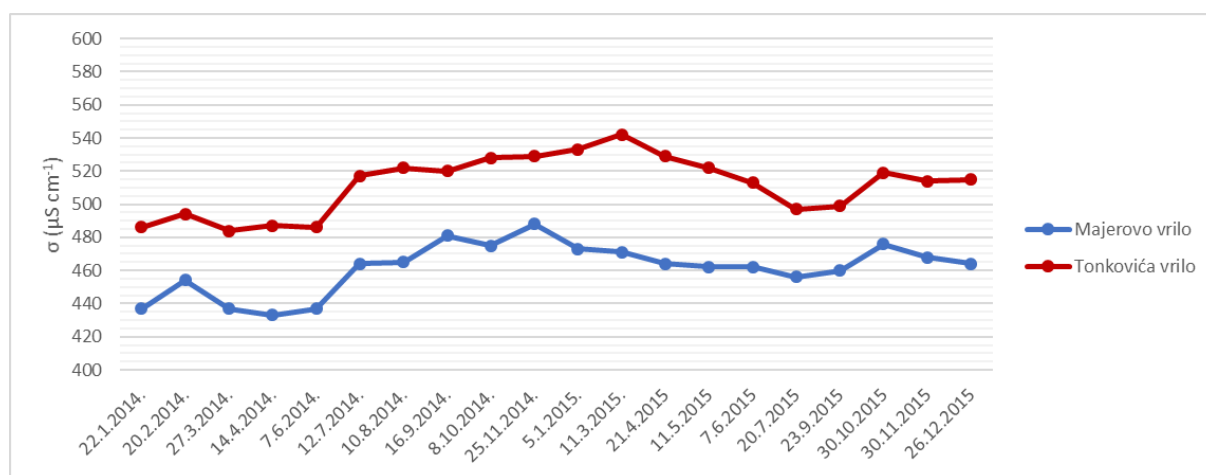
#### 4.1.6. Električna provodnost vode

Tijekom razdoblja istraživanja nisu zabilježena značajna kolebanja u električnoj provodnosti vode niti za jedan izvor. Minimalna vrijednost za Majerovo vrilo iznosila je 433

$\mu\text{S cm}^{-1}$  u travnju 2014. godine, a maksimalna vrijednost iznosila je  $488 \mu\text{S cm}^{-1}$  u studenom 2014. godine. Na Tonkovića vrilu minimalna zabilježena vrijednost iznosila je  $484 \mu\text{S cm}^{-1}$  u ožujku 2014. godine, a maksimalna zabilježena vrijednost je iznosila  $542 \mu\text{S cm}^{-1}$  u ožujku 2015. godine. Srednja vrijednost električne provodnosti vode za Majerovo vrilo iznosila je  $461,35 \mu\text{S cm}^{-1}$ , a za Tonkovića vrilo iznosila je  $511,80 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Tablica 8; Slika 13).

**Tablica 8.** Podaci opisne statistike za električnu provodnost vode ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	$\sigma$ ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	433	488	55,00	461,35	15,34	3,43	3,33
<b>Tonkovića vrilo</b>	$\sigma$ ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	484	542	58,00	511,80	17,78	3,98	3,47



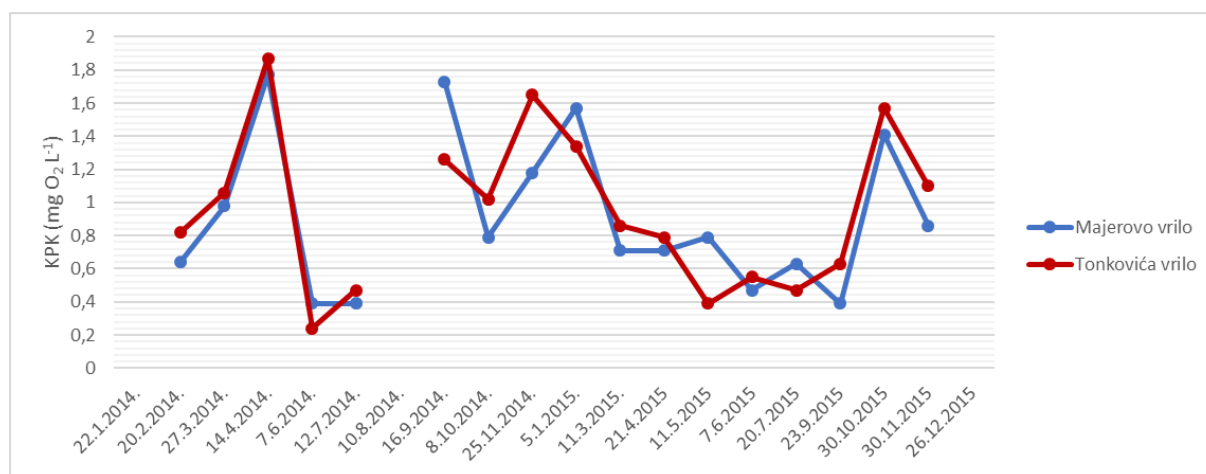
**Slika 13.** Električna provodnost vode ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) izmjerena u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

#### 4.1.7. Koncentracija otopljene organske tvari u vodi

Koncentracija otopljenje organske tvari u vodi izračunava se preko kemijske potrošnje kisika (KPK). Tijekom razdoblja istraživanja zabilježene su veće oscilacije u koncentraciji otopljenje organske tvari. Za Majerovo vrilo minimalna izmjerena koncentracija iznosila je 0,39 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> u lipnju i srpnju 2014. godine te rujnu 2015. godine, a maksimalna izmjerena koncentracija iznosila je 1,77 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> u travnju 2014. godine. U Tonkovića vrilu minimalna izmjerena vrijednost iznosila je 0,24 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> u lipnju 2014. godine, a maksimalna izmjerena vrijednost je iznosila 1,87 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> u travnju 2014. godine. Srednja vrijednost koncentracije otopljene organske tvari u vodi za Majerovo vrilo iznosila je 0,91 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, a za Tonkovića vrilo iznosila je 0,95 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (Tablica 9; Slika 14).

**Tablica 9.** Podaci opisne statistike za vrijednosti koncentracije otopljene organske tvari u vodi (mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	KPK (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	0,39	1,77	1,38	0,91	0,46	0,11	51,17
<b>Tonkovića vrilo</b>	KPK (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	0,24	1,87	1,63	0,95	0,47	0,12	50,12



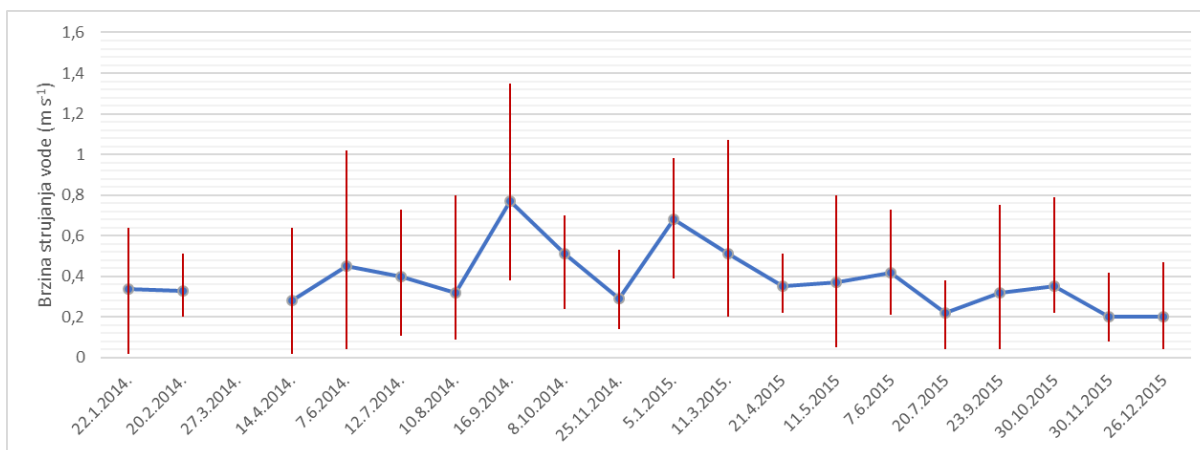
**Slika 14.** KPK (mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) vrijednosti izmjerene u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

#### 4.1.8. Brzina strujanja vode

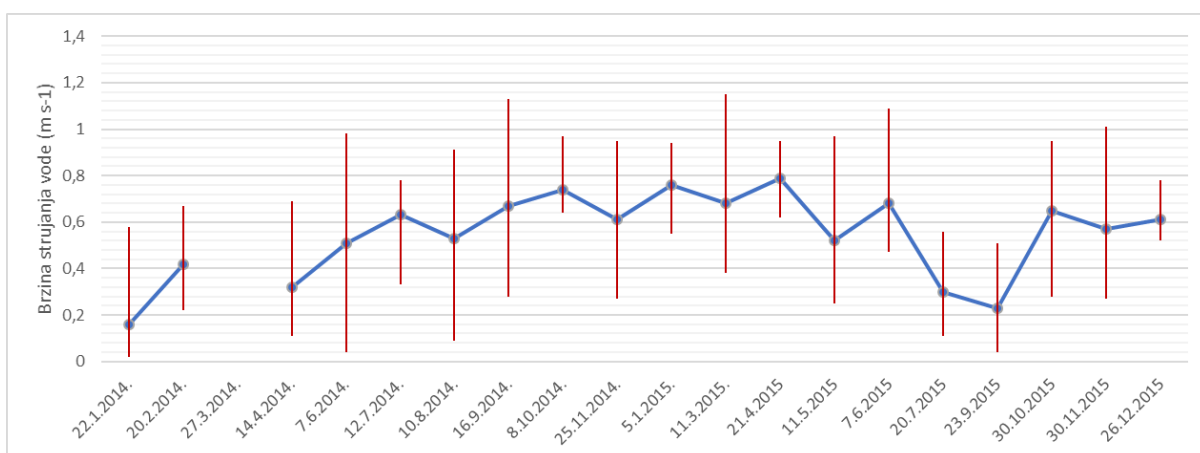
Za oba izvora su zabilježene značajnije oscilacije u brzini strujanja vode tijekom razdoblja istraživanja. Za Majerovo vrilo minimalna vrijednost iznosila je  $0,02 \text{ m s}^{-1}$ , a izmjerena je u siječnju i travnju 2014. godine, a maksimalna vrijednost iznosila je  $1,35 \text{ m s}^{-1}$  u rujnu 2014. godine. Minimalna vrijednost brzine strujanja vode u Tonkovića vrilu zabilježena je u siječnju 2014. godine, a iznosila je također  $0,02 \text{ m s}^{-1}$ . Maksimalna vrijednost za Tonkovića vrilo iznosila je  $1,15 \text{ m s}^{-1}$  u ožujku 2015. godine. Najveća srednja vrijednost za Majerovo vrilo iznosila je  $0,77 \text{ m s}^{-1}$  u rujnu 2014. godine, a za Tonkovića vrilo je iznosila  $0,79 \text{ m s}^{-1}$  u travnju 2015. godine (Tablica 10; Slika 15, Slika 16, Slika 17).

**Tablica 10.** Podaci opisne statistike za vrijednosti brzine strujanja vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) u Majerovom i Tonkovića vrilu (MIN označava minimalnu dobivenu vrijednost, MAKS maksimalnu dobivenu vrijednost, R raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne dobivne vrijednosti, SV srednju vrijednost, s standardnu devijaciju, SE standardnu pogrešku aritmetičke sredine, a V koeficijent varijabilnosti).

		MIN	MAKS	R	SV	s	SE	V
<b>Majerovo vrilo</b>	$\text{m s}^{-1}\text{min}$	0,02	0,39	0,37	0,14	0,12	0,03	80,14
	$\text{m s}^{-1}\text{max}$	0,38	1,35	0,97	0,73	0,25	0,06	33,99
	$\text{m s}^{-1}$ average	0,2	0,77	0,57	0,38	0,15	0,03	38,94
<b>Tonkovića vrilo</b>	$\text{m s}^{-1}\text{min}$	0,02	0,64	0,62	0,29	0,20	0,05	68,45
	$\text{m s}^{-1}\text{max}$	0,51	1,15	0,64	0,87	0,19	0,04	22,12
	$\text{m s}^{-1}$ average	0,16	0,79	0,63	0,55	0,18	0,04	33,40

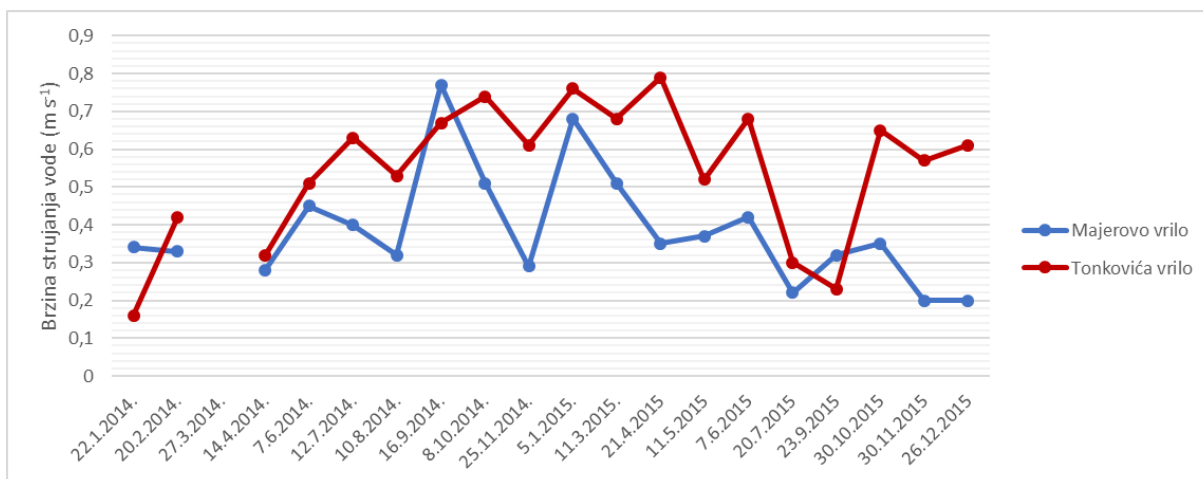


**Slika 15.** Prosječna brzina strujanja vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) (plava linija) s rasponom (min-maks) izmjerena u Majerovom vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.



**Slika 16.** Prosječna brzina strujanja vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) (plava linija) s rasponom (min-maks) izmjerena u Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.





**Slika 17.** Usporedba prosječne brzine strujanja vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) izmjerene u Majerovom i Tonkovića vrilu u razdoblju od siječnja 2014. godine do prosinca 2015. godine.

#### 4.2. Vegetacija vodenih makrofita Majerovog i Tonkovića vrila

Na Tonkovića vrilu zabilježena je veća raznolikost makrofita i mahovina nego na Majerovom vrilu. Na Tonkovića vrilu zabilježeno je ukupno 12 vrsta makrofita, 6 vrsta hidrofita i 6 vrsta mahovina. Na Majerovom vrilu zabilježeno je ukupno 6 vrsta makrofita, 3 vrste hidrofita i 5 vrsta mahovina. Samo jedna vrsta makrofita zabilježena je na Majerovom vrilu, a nije zabilježena na Tonkovića vrilu i to je vrsta *Potamogeton crispus*. Od hidrofita je također samo jedna vrsta zabilježena na Majerovom vrilu, a nije zabilježena na Tonkovića vrilu i to je vrsta *Poa annua*. Vrste makrofita koje su zabilježene na Tonkovića vrilu, a nisu zabilježene na Majerovom vrilu su: *Apium repens*, *Lemna minor*, *Mentha aquatica*, *Mentha longifolia*, *Potamogeton natans*, *Sparganium erectum* i *Veronica beccabunga*. Vrste hidrofita zabilježene na Tonkovića vrilu nisu zabilježene na Majerovom vrilu su: *Cardamine amara*, *Epilobium hirsutum*, *Galium palustre* i *Myosotis scorpioides*. Od mahovina vrsta koja je zabilježena samo na Tonkovića vrilu je *Brachythecium rivulare*. Na Majerovom vrilu najzastupljenija vrsta makrofita je vrsta *Berula erecta*, a od mahovina je najzastupljenija vrsta *Cinclidotus aquaticus*. Na Tonkovića vrilu najzastupljenije vrste makrofita su vrste *B. erecta* i *Ranunculus fluviatilis*. Od mahovina na Tonkovića vrilu najzastupljenije su vrste *C. aquaticus* i *Fontinalis antipyretica*. Ostale vrste mahovina su manje zastupljene, ali u podjednakom omjeru.

**Tablica 11.** Popis vrsta vodenih makrofita i mahovina na Majerovom i Tonkovića vrilu s procjenom učestalosti prema Kohleru (1978) te prisutnost hidrofita (crveno označene vrste).

POPIS VRSTA	Majerovo vrilo	Tonkovića vrilo
<b>Makrofitska vodena vegetacija i hidrofiti</b>		
<i>Agrostis stolonifera</i> L., 1753	●	●
<i>Apium repens</i> (Jacq.) Lag., 1821		3
<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville, 1893	5	4
<i>Callitriche obtusangula</i> Le Gall, 1852	2	3
<i>Cardamine amara</i> L., 1753		●
<i>Epilobium hirsutum</i> L., 1753		●
<i>Galium palustre</i> L., 1753		●
<i>Juncus articulatus</i> L., 1753	●	●
<i>Lemna minor</i> L., 1753		2
<i>Mentha aquatica</i> L., 1753		3
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds., 1762		2
<i>Myosotis scorpioides</i> L., 1753		●
<i>Nasturtium officinale</i> R. Br., 1812	3	3
<i>Poa annua</i> L., 1753	●	
<i>Potamogeton crispus</i> L., 1753	3	
<i>Potamogeton natans</i> L., 1753		3
<i>Ranunculus fluitans</i> Lam., 1779	4	4
<i>Sparganium erectum</i> L., 1753		1
<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L., 1753	3	3
<i>Veronica beccabunga</i> L., 1753		2
<b>Mahovine</b>		
<i>Brachythecium rivulare</i> Schimp., 1853		3
<i>Cinclidotus aquaticus</i> (Hedw.) Bruch & Schimp., 1842	5	5
<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruc., 1867	3	3
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw., 1801	3	5
<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.) Warnst., 1906	3	3
<i>Platyhypnidium riparioides</i> (Hedw.) Dixon, 1934	3	3

#### 4.3. Sastav i gustoća zajednica makrozoobentosa Majerovog i Tonkovića vrila

Broj jedinki pojedini skupina makrozoobentosa preračunat je na broj jedinki po m<sup>2</sup> kako bi se sastav i gustoća jedinki pojedinih uzoraka s različitim brojem poduzoraka mogli međusobno uspoređivati. Sastav i gustoća zajednica makrozoobentosa temelji se na relativnim

udjelima pojedinih skupina makrozoobentosa prema sezonskim uzorcima i prema mikrostaništima.

#### **4.3.1. Zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa**

U razdoblju istraživanja na Majerovom vrilu zabilježeno je ukupno 18 skupina makrozoobentosa, a na Tonkovića vrilu zabilježeno je ukupno 17 skupina makrozoobentosa. Skupina koja je zabilježena samo na Majerovom vrilu je red Megaloptera (muljari) u listopadu 2014. godine s ukupno 2 jedinke po m<sup>2</sup> u uzorku koji je uzorkovan na fitalu.

Na Majerovom vrilu najviše je zabilježenih skupina makrozoobentosa u travnju 2014. godine kada je zabilježeno ukupno 17 skupina. Najmanje skupina zabilježeno je u siječnju 2014. godine kada je utvrđeno 14 skupina. Na Tonkovića vrilu najviše je zabilježenih skupina makrozoobentosa u travnju i srpnju 2014. godine kada je zabilježeno ukupno 16 skupina. Najmanje skupina zabilježeno je u listopadu 2014. godine kada je utvrđeno 14 skupina makrozoobentosa.

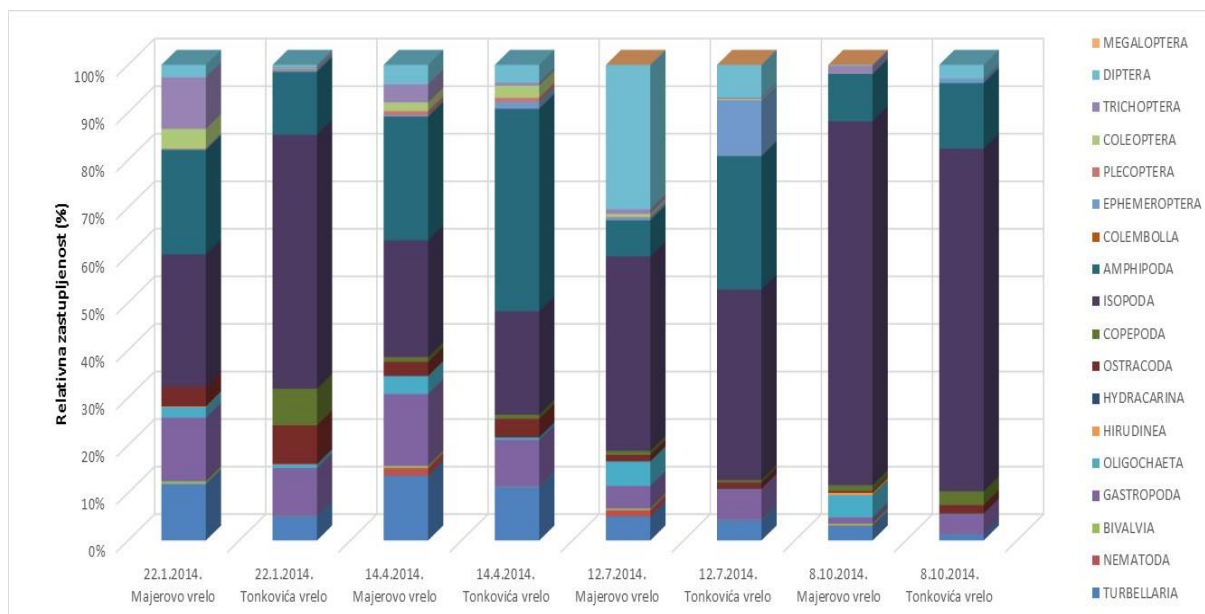
Relativni udjeli pojedinih skupina organizama razlikuju se po sezonama, međutim, dominantna skupina na oba izvora u siječnju, travnju i listopadu 2014. godine su jednakonožni rakovi (Isopoda), a u travnju 2014. godine na oba izvora dominantna skupina su rakušci (Amphipoda). U listopadu 2014. dominacija jednakonožnih rakova (Isopoda) je najizraženija, a njihov relativni udio na Majerovom vrilu iznosi 76,49 %, dok na Tonkovića vrilu iznosi 72,02 %. Relativni udio rakušaca (Amphipoda) u travnju 2014. godine na Majerovom vrilu iznosi 25,98 %, a na Tonkovića vrilu iznosi 42,58 %. Osim jedinki iz skupina jednakonožnih rakova (Isopoda) i rakušaca (Amphipoda), najdominantnije su jedinke iz skupine puževa (Gastropoda) te jedinke iz skupine virnjaka (Turbellaria). Najujednačenija raznolikost skupina za oba izvora zabilježena je u travnju 2014. godine. Od povremene faune izvora dominantne skupine zabilježene na oba izvora su ličinke tulara (Trichoptera), ličinke vodencvjetova (Ephemeroptera) i ličinke dvokrilaca (Diptera). Relativni udio skupine vodencvjetova (Ephemeroptera) i skupine dvokrilaca (Diptera) na oba izvora najveći je u srpnju 2014. godine. Najveći relativni udio skupine tulara u Majerovom vrilu zabilježen je u siječnju 2014. godine, kada je iznosio 10,85 %, a u Tonkovića vrilu u travnju 2014. godine kada je iznosio 0,56 % (Tablica 12; Tablica 13; Slika 18).

**Tablica 12.** Prikaz relativnog udjela (%) dominantnih skupina stalne faune izvora na Majerovom i Tonkovića vrilu tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine.

DATUM	LOKACIJA	SKUPINA			
		ISOPODA	AMPHIPODA	GASTROPODA	TURBELLARIA
		%	%	%	%
<b>22.1.2014.</b>	Majerovo vrilo	27,87	21,96	13,42	11,90
	Tonkovića vrilo	53,42	13,21	9,82	5,31
<b>14.4.2014.</b>	Majerovo vrilo	24,59	25,98	15,14	13,62
	Tonkovića vrilo	21,73	42,58	9,84	11,24
<b>12.7.2014.</b>	Majerovo vrilo	40,90	7,61	4,75	5,09
	Tonkovića vrilo	40,04	28,08	6,36	4,32
<b>8.10.2014.</b>	Majerovo vrilo	76,49	10,00	1,31	3,05
	Tonkovića vrilo	72,02	13,81	4,15	1,31

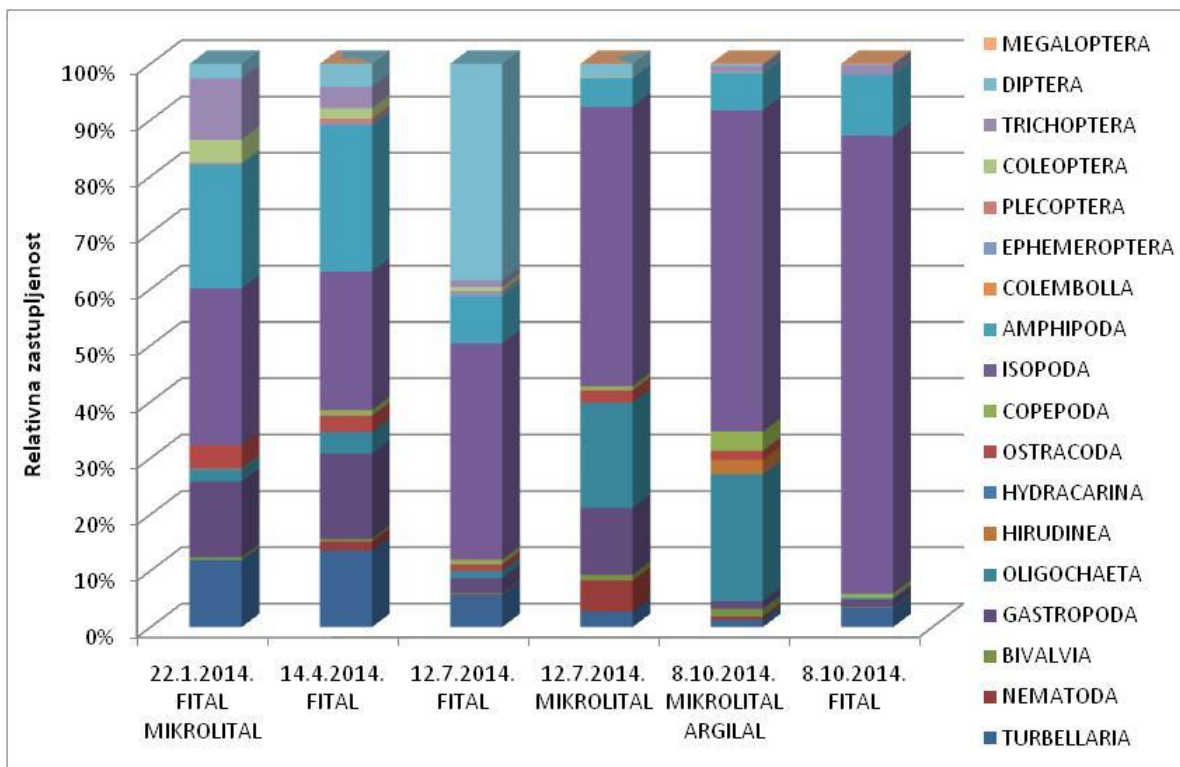
**Tablica 13.** Prikaz relativnog udjela (%) dominantnih skupina povremene faune izvora na Majerovom i Tonkovića vrilu tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine.

DATUM	LOKACIJA	SKUPINA		
		EPHEMEROPTERA	TRICHOPTERA	DIPTERA
		%	%	%
<b>22.1.2014.</b>	Majerovo vrilo	0,12	10,85	2,61
	Tonkovića vrilo	0,44	0,17	0,51
<b>14.4.2014.</b>	Majerovo vrilo	0,27	3,79	4,12
	Tonkovića vrilo	1,44	0,56	3,78
<b>12.7.2014.</b>	Majerovo vrilo	0,54	0,95	30,39
	Tonkovića vrilo	11,74	0,32	6,86
<b>8.10.2014.</b>	Majerovo vrilo	0,01	1,59	0,18
	Tonkovića vrilo	0,86	0,07	2,87



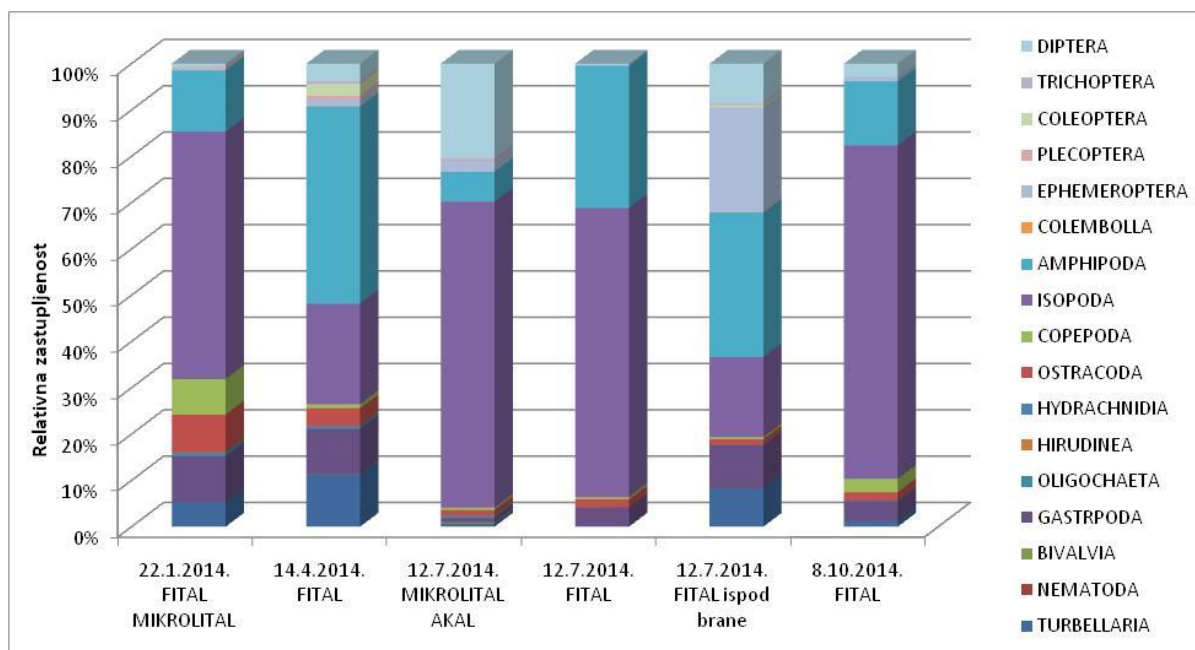
**Slika 18.** Relativna zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa u Majerovom i Tonkovića vrilu tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine.

Na svim tipovima supstrata u Majerovom vrilu na kojima je provedeno istraživanje prevladavaju jedinice iz skupine jednakonožnih rakova (Isopoda). Najveći broj skupina makrozoobentosa uočena je u poduzorcima koji su uzorkovani na fitalu. Najmanji broj skupina makrozoobentosa uočen je u poduzorcima koji su uzorkovani samo na mikrolitalu (Slika 19).



**Slika 19.** Relativna zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa na Majerovom vrilu na različitim tipovima supstrata.

Na svim tipovima supstrata u Tonkovića vrilu na kojima je provedeno istraživanje prevladavaju jedinke iz skupine jednakonožnih rakova (Isopoda). Najveći broj skupina makrozoobentosa uočena je u poduzorcima koji su uzorkovani na supstratu koji se sastojao od fitala. Najmanji broj skupina makrozoobentosa uočena je u poduzorcima koji su uzorkovani na supstratu koji se sastojao od mikrolitala i akala (Slika 20).



**Slika 20.** Relativna zastupljenost pojedinih skupina makrozoobentosa na Tonkovića vrila na različitim tipovima supstrata.

#### 4.3.2. Gustoća jedinki pojedinih skupina makrozoobentosa

Prosječna gustoća jedinki makrozoobentosa u Majerovom vrilu iznosila je 6435 jedinki po m<sup>2</sup>, a na Tonkovića vrilu je iznosila 13069 jedinki po m<sup>2</sup>. Najveća gustoća jedinki u Majerovom vrilu zabilježena je u siječnju 2014. godine, kada je iznosila 8284 jedinke po m<sup>2</sup>, a najmanja gustoća jedinki zabilježena je u srpnju 2014. godine, kada je iznosila 4730 jedinki po m<sup>2</sup> (Tablica 14). Najveća gustoća jedinki u Tonkovića vrilu zabilježena je u srpnju 2014. godine kada je iznosila 21147 jedinki po m<sup>2</sup>, a najmanja gustoća jedinki zabilježena je u listopadu 2014. godine kada je iznosila 7573 jedinki po m<sup>2</sup> (Tablica 15).

**Tablica 14.** Popis utvrđenih skupina makrozoobentosa na Majerovom vrilu s prikazom gustoće jedinki po m<sup>2</sup> tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine. Crveno označeni brojevi predstavljaju dominantne skupine prema broju jedinki u uzorcima.

<b>SKUPINE</b>	<b>22.1.2014.</b> (10 poduzoraka)	<b>14.4.2014.</b> (20 poduzoraka)	<b>12.7.2014.</b> (20 poduzoraka)	<b>8.10.2014.</b> (20 poduzoraka)
TURBELLARIA	986	876	241	192
NEMATODA	0	103	60	6
BIVALVIA	43	29	17	23
GASTROPODA	1112	974	225	82
OLIGOCHAETA	178	241	244	295
HIRUDINEA	14	2	0	33
HYDRACARINA	8	2	1	0
OSTRACODA	334	189	64	20
COPEPODA	0	64	38	81
ISOPODA	2309	1582	1934	4814
AMPHIPODA	1819	1671	360	630
COLEMBOLLA	0	2	0	0
EPHEMEROPTERA	10	18	26	1
PLECOPTERA	14	55	8	0
COLEOPTERA	342	118	30	3
TRICHOPTERA	899	244	45	100
DIPTERA	216	265	1437	11
MEGALOPTERA	0	0	0	2



**Tablica 15.** Popis utvrđenih skupina makrozoobentosa u Tonkovića vrilu s prikazom gustoće jedinki po m<sup>2</sup> tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine. Crveno označeni brojevi predstavljaju dominantne skupine prema broju jedinki u uzorcima.

<b>SKUPINE</b>	<b>22.1.2014.</b> (10 poduzoraka)	<b>14.4.2014.</b> (20 poduzoraka)	<b>12.7.2014.</b> (20 poduzoraka)	<b>8.10.2014.</b> (20 poduzoraka)
TURBELLARIA	534	1517	913	99
NEMATODA	11	1	2	5
BIVALVIA	0	8	7	0
GASTROPODA	989	1327	1346	314
OLIGOCHAETA	77	65	14	6
HIRUDINEA	5	0	2	1
HYDRACARINA	0	17	5	1
OSTRACODA	821	517	291	138
COPEPODA	774	116	102	218
ISOPODA	5379	2932	8467	5454
AMPHIPODA	1330	5745	5938	1046
COLEMBOLLA	2	6	6	0
EPHEMEROPTERA	45	194	2482	65
PLECOPTERA	21	114	0	0
COLEOPTERA	13	348	54	2
TRICHOPTERA	18	75	67	6
DIPTERA	51	510	1451	218
MEGALOPTERA	0	0	0	0

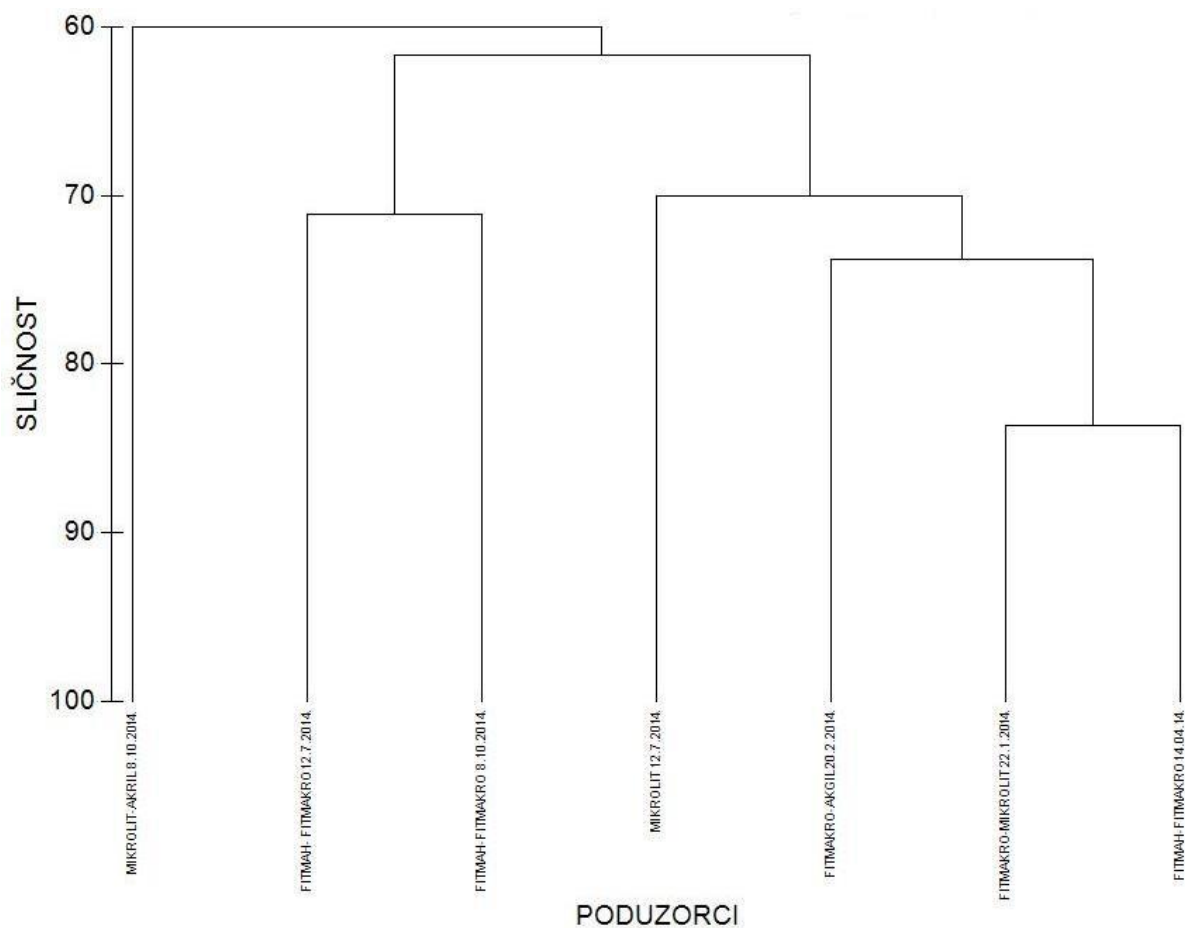
#### **4.4. Rezultati kvalitativne analize sastava zajednica makrozoobentosa Majerovog i Tonkovića vrila**

Na temelju podataka o brojnosti i zastupljenosti pojedinih svojiti izračunate su vrijednosti indeksa raznolikosti. Najveći broj svojiti (S) u Majerovom vrilu utvrđen je na fitalu s mozaičnom strukturom zajednica mahovina i makrofitske vodene vegetacije (fitmah-fitmakro) u travnju 2014. godine u iznosu od 27 svojiti, a najmanji na mikrolitalu u srpnju 2014. godine u

iznosu od 17 svojti. Vrijednost Margalefovog indeksa bogatstva svojiti najviša je za uzorak prikupljen na fitalu u srpnju 2014. godine, a najniža za uzorak prikupljen na mikrolitalu također u srpnju 2014. godine. Vrijednost Pielouovog indeksa ujednačenosti ( $J'$ ) najviša je za uzorak prikupljen na fitalu i mikrolitalu u siječnju 2014. godine, a najniža u listopadu 2014. godine također na fitalu. Vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) najveća je za uzorak prikupljen na fitalu i mikrolitalu u siječnju 2014. godine, a najniža je na fitalu u listopadu 2014. godine. Vrijednost Simpsonovog indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) također je najviša za uzorak prikupljen na fitalu i mikrolitalu u siječnju 2014. godine, a najniža je na fitalu u listopadu 2014. godine (Tablica 16). Prema Bray Cutis-ovom indeksu sličnosti u Majerovom vrilu se jasno odvajaju stanište mikrolitala i argilala, na kojem je makrozoobentos uzorkovan u listopadu 2014. godine, od svih ostalih analiziranih staništa (Slika 21).

**Tablica 16.** Prikaz vrijednosti broja svojti (S), Margalefovog indeksa (d), Pielouovog indeksa ujednačenosti ( $J'$ ), Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) i Simpsonovog indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) utvrđenih za Majerovo vrilo tijekom provedenog razdoblja istraživanja 2014. godine.

<b>PODUZORCI</b>	<b>S</b>	<b>d</b>	<b>J'</b>	<b>H'</b>	<b><math>\lambda</math></b>
FITMAKRO-MIKROLIT 22.1.2014.	26	4,32	0,69	2,24	0,85
FITMAH-FITMAKRO 14.04.14.	27	4,73	0,65	2,15	0,84
FITMAH-FITMAKRO 12.7.2014.	26	5,27	0,53	1,72	0,68
MIKROLIT 12.7.2014.	17	2,72	0,57	1,63	0,65
MIKROLIT- ARGIL 8.10.2014.	23	4,38	0,51	1,59	0,61
FITMAH- FITMAKRO 8.10.2014.	20	3,37	0,25	0,74	0,32



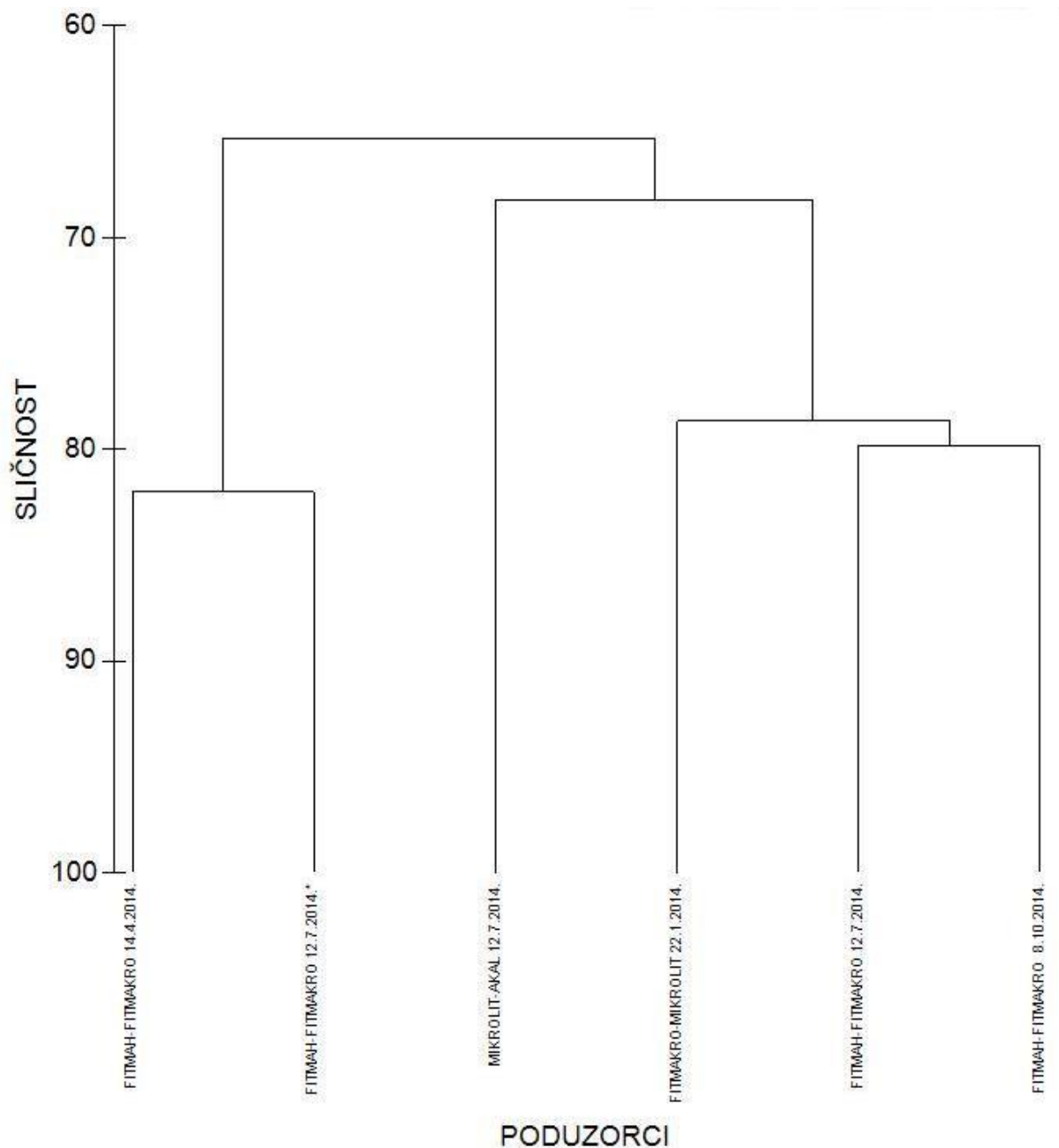
**Slika 21.** Prikaz vrijednosti Bray-Curtisovog indeksa sličnosti supstrata (mikrostaništa) prema sastavu i abundanciji svojiti makrozoobentosa u Majerovom vrilu tijekom istraživanog razdoblja na logaritamski transformiranim podacima ( $x+1$ ).

Najveći broj svojiti (S) za Tonkovića vrilo utvrđen je na fitalu u travnju 2014. godine, a najmanji na fitalu u srpnju 2014. godine. Vrijednost Margalefovog indeks bogatstva svojiti najviša je na fitalu u travnju 2014. godine, a najniža također na fitalu u srpnju 2014. godine. Vrijednost Pielouovog indeksa ujednačenosti ( $J'$ ) najviša je na fitalu uzorkovanom ispod brane u srpnju 2014. godine, a najniža na fitalu u listopadu 2014. godine. Vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) najveća je na fitalu u travnju 2014. godine, a najniža je na fitalu u srpnju 2014. godine. Vrijednost Simpsonovog indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) najviša je na fitalu uzorkovanom ispod brane u srpnju 2014. godine, a najniža je na fitalu u listopadu 2014. godine (Tablica 17). Prema Bray Curtis-ovom indeksu sličnosti unutar Tonkovića vrila jasno se odvaja uzorak fitala prikupljen u travnju 2014. godine i uzorak fitala prikupljen ispod brane na izvoru u srpnju 2014. godine od svih ostalih uzoraka (mikrostaništa). Također, ta dva

mikrostaništa su prema sastavu zajednica makrozoobentosa i najsličnija unutar Tonkovića vrila, a sličnost iznosi preko 80 % (Slika 22).

**Tablica 17.** Prikaz vrijednosti broja svojti (S), Margalefovog indeksa (d), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H') i Simpsonovog indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) za Tonkovića vrilo (\*uzorak je prekupljen ispod brane).

PODUZORCI	S	d	J'	H'	$\lambda$
FITMAKRO- MIKROLIT 22.1.2014.	19	3,02	0,52	1,53	0,67
FITMAH-FITMAKRO 14.4.2014.	30	4,63	0,56	1,90	0,76
MIKROLIT-AKAL 12.7.2014.	20	3,06	0,38	1,13	0,52
FITMAH-FITMAKRO 12.7.2014.	16	2,18	0,34	0,95	0,53
FITMAH-FITMAKRO 12.7.2014.*	27	3,87	0,57	1,86	0,80
FITMAH- FITMAKRO 8.10.2014.	19	3,17	0,36	1,05	0,46



**Slika 22.** Prikaz vrijednosti Bray-Curtisovog indeksa sličnosti supstrata (mikrostaništa) prema sastavu i abundanciji svojiti makrozoobentosa u Tonkovića vrilu tijekom istraživanog razdoblja na logaritamski transformiranim podacima ( $x+1$ ).

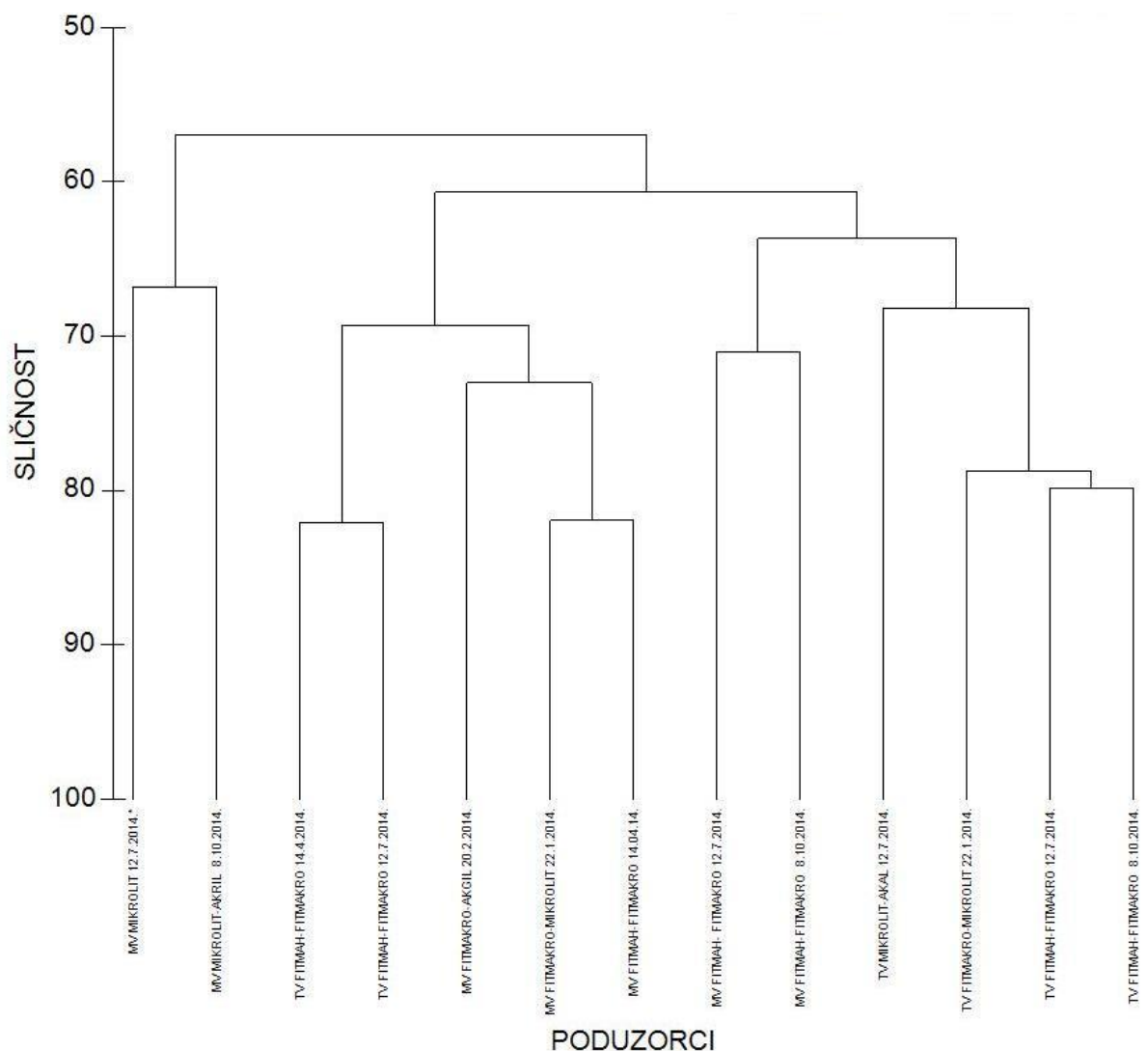
Maksimalna vrijednost broja svojiti ( $S$ ) nešto je viša u Majerovom vrilu (39) nego u Tonkovića vrilu (38). Srednja vrijednost Margalefovog indeksa bogatstva svojiti ( $d$ ), Pielouovog indeksa ujednačenosti ( $J'$ ), srednja vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) i srednja vrijednost Simpsonovog indeksa raznolikosti ( $\lambda$ ) veće su za Majerovo vrilo nego za Tonkovića vrilo (Tablica 18). Prema Bray Curtis-ovom indeksu

sličnosti uočljivo je jasno grupiranje i odvajanje Majerovog i Tonkovića vrila. Također, jasno se odvaja i stanište mikrolitala u Majerovom vrilu i stanište mikrolitala i argilala također u Majerovom vrilu od svih ostalih staništa. Uočljivo je i grupiranje dominantnih mikrostaništa tijekom uzorkovanja u srpnju i listopadu 2014. godine (Slika 23).

**Tablica 18.** Prikaz prosječnih vrijednosti za broj svojti (S), Margalefovog indeksa (d), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H') i Simpsonov indeks raznolikosti ( $\lambda$ ) za Tonkovića i Majerovo vrilo.

IZVORI	S	d	J'	H'	$\lambda$
MAJEROVO VRILO	39	6,81	0,55	2,00	0,74
TONKOVIĆA VRILO	38	5,81	0,46	1,67	0,71

Na oba izvora ukupno je najveći broj svojti Oligochaeta, 6 vrsta. Na Tonkovića vrilu utvrđene su tri vrste puževa (Gastropoda), dok su na Majerovom vrilu utvrđene dvije vrste, od toga samo je jedna zajednička vrsta. Na oba izvora je utvrđena identična struktura zajednica EPT svojti: 1 vrsta vodencvjetova iz porodice Baetidae (Ephemeroptera), 3 porodice tulara (Trichoptera) te dvije vrste obalčara iz porodica Nemouridae i Taeniopterygidae (Plecoptera). Osim spomenutih svojti, na Majerovom vrilu je utvrđena još jedna vrsta vodencvjetova iz porodice Heptageniidae. Na oba izvora s iznimno velikom brojnošću je prisutna vodenbabura *Asellusa quaticus* te rakušac *Synurella ambulans*.



**Slika 23.** Prikaz vrijednosti Bray-Curtisovog indeksa sličnosti supstrata (mikrostaništa) prema sastavu i abundanciji svojiti makrozoobentosa u Majerovom i Tonkovića vrilu tijekom istraživanog razdoblja na logaritamski transformiranim podacima (x+1).

#### 4.5. Ocjena ekološkog stanja Majerovog i Tonkovića vrila temeljem analize makrozoobentosa

Za određivanje razine opterećenja organskim tvarima (modula saprobnosti) dvaju izvora rijeke Gacke bilo je potrebno izračunati BMWP bodovni indeks, Hrvatski saprobni indeks (SI<sub>HR</sub>) te prošireni biotički indeks (PBI) na temelju četiri sezonska uzorkovanja na oba izvora (ukupno 140 poduzoraka). Referentne vrijednosti gledane su s obzirom na tip tekućice, a Majerovo i Tonkovića vrilo klasificiraju se kao izvori gorskih i prigorskih srednje velikih tekućica krških polja (HR tip 12 B). Prosječne vrijednosti izračunatih indeksa za Majerovo

Vrilo su sljedeće: BMWP iznosi 93,  $SI_{HR}$  iznosi 1,71, a prošireni biotički indeks (PBI) 6. Prosječne vrijednosti izračunatih indeksa za Tonkovića Vrilo su sljedeće: BMWP iznosi 114,  $SI_{HR}$  iznosi 1,82 a prošireni biotički indeks (PBI) 4. Dobivene vrijednosti normalizirane su prema formuli za izračunavanje omjera ekološke kakvoće (OEK) za svaki pojedini indeks te su njihove vrijednosti u rasponu od 0,48 do 0,72 za Majerovo vrilo te u rasponu od 0,32 do 0,79 za Tonkovića vrilo. Na temelju izračunatih omjera ekološke kakvoće (OEK) za navedene indekse, modul saprobnosti za Majerovo vrilo iznosi 0,62 te se prema tome karakterizira kao izvor u dobrom ekološkom stanju, dok za Tonkovića vrilo modul saprobnosti iznosi 0,59 te ga kategorizira kao izvor umjerenog ekološkog stanja (Tablica 19).

**Tablica 19.** Srednje vrijednosti (SV) i omjeri ekološke kakvoće (OEK) pojedinih indeksa te modul saprobnosti na Majerovom i Tonkovića vrilu od siječnja do listopada 2014. godine.

Indeksi saprobnosti	Majerovo Vrilo			Modul saprobnosti	Tonkovića Vrilo			Modul saprobnosti
	$SI_{HR}$	BMWP	PBI		$SI_{HR}$	BMWP	PBI	
SV	1,71	93	6		1,82	114	4	
Referentna vrijednost	1	145	12,5		1	145	12,5	
Najlošija vrijednost	3,5	0	0		3,5	0	0	
<b>OEK</b>	0,72	0,64	0,48	0,62	0,67	0,79	0,32	0,59

Za određivanje ukupnih antropogenih promjena (modul opće degradacije), s obzirom na tip tekućice / izvorišta i zonu korišten je broj svojiti Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT-S) i udio organizama koji preferiraju tip supstrata Akal + Lital + Psamal (ALP %) na temelju četiri sezonska uzorka sa oba istraživana izvora. Omjer ekološke kakvoće (OEK) izračunat je za ALP i EPT-S indekse. Prosječna vrijednost OEK za EPT-S Majerovog vrila iznosi 0,58, dok je OEK za prosječni udio organizama koji preferiraju Akal+Lital+Psamal tip supstrata (ALP %) 0,35. Opća ekološka kakvoća prema EPS-S indeksu iznosi 0,63, a prema ALP (%) indeksu 0,5 za Tonkovića vrilo. Indeks opće degradacije Majerovog, kao i Tonkovića vrila ukazuje na umjereno stanje (Tablica 20).



**Tablica 20.** Srednje vrijednosti (SV) i omjer ekološke kakvoće (OEK) pojedinih indeksa za izračunavanje modula opće degradacije na Majerovom i Tonkovića vrilu od siječnja do listopada 2014.

	Majerovo Vrilo			Tonkovića Vrilo		
Indeksi opće degradacije	EPT-S	ALP (%)	Modul opće degradacije	EPT-S	ALP (%)	Modul opće degradacije
SV	0,49	7		0,53	10	
Referentna vrijednost	0,78	20		0,78	20	
Najlošija vrijednost	0,1	0		0,1	0	
<b>OEK</b>	<b>0,58</b>	<b>0,35</b>	<b>0,46</b>	<b>0,63</b>	<b>0,5</b>	<b>0,56</b>

## 5. RASPRAVA

### Razlike u fizikalno-kemijskim obilježjima vode u Majerovom i Tonkovića vrilu

Osnovni fizikalno-kemijski parametri vode rijeke Gacke prate se već dugi niz godina obzirom da se slivno područje rijeke smatra područjem sa strateški važnim rezervama pitke vode (Lukač Reberski i sur., 2013). Tijekom ovog istraživanja fizikalno-kemijski parametri mjereni su u duljem vremenskom rasponu nego što su provedena uzorkovanja makrozoobentosa kako bi se dobio što bolji uvid u stanje voda. Također, osim osnovnih parametara mjerena je i kemijska potrošnja kisika (KPK), brzina strujanja vode te temperatura zraka.

Unatoč velikim sezonskim kolebanjima u temperaturi zraka, temperatura vode na oba izvora varira unutar 1 °C, što odgovara vrijednostima oscilacije temperature za noviju definiciju eukrenala, koja je manja od 1 °C (Martin i Brunke, 2012). Temperatura vode u izvoru trebala bi odgovarati srednjoj godišnjoj temperaturi zraka područja na kojem se izvor nalazi (Glazier, 2009). Na temelju mjerenja srednjih godišnjih temperatura zraka na meteorološkoj postaji Ličko Lešće u razdoblju od 2000. do 2008. godine, utvrđen je raspon od 8,6 do 10,8 °C (Medvedović i sur., 2009). Prosječna godišnja količina oborina na istoj meteorološkoj postaji iznosila je 1165 mm za razdoblje od 1951. do 2005. godine, što je unutar najnižeg raspona za cijelo područje Like, za razliku od izvorišnog područja rijeke Like koje je sa znatno višim prosječnim godišnjim vrijednostima količine oborina s rasponom od 1750 do 2000 mm (Bonacci, 2008). Osim toga značajno je spomenuti kako istraživani izvori imaju različito vrijeme unutar kojeg dolazi do reakcije na povećanje količine oborina, pri čemu Majerovo vrilo reagira unutar tri dana, dok je na Tonkovića vrilu povećanje protoka tek nakon 5 do 11 dana (Lukač Reberski i sur., 2013), iako su oba izvora u istoj zoni s obzirom na količinu oborina (Bonacci, 2008). Razlog tome leži u činjenici da je prosječna nadmorska visina područja napajanja Majerovog vrila značajno viša i iznosi 1020 m n.m., dok je prosječna nadmorska visina područja napajanja Tonkovića vrila 760 m n.m. (Lukač Reberski i sur., 2013). Tijekom provedenih istraživanja od siječnja 2014. do prosinca 2015. godine, u Majerovom vrilu izmjerena je srednja godišnja temperatura vode od 8,99 °C, a u Tonkovića vrilu srednja godišnja temperatura vode nešto je viša i iznosi 9,70 °C, što je unutar spomenutih raspona srednjih godišnjih temperatura zraka za lokalno područje (Medvedović i sur., 2009). Iako je temperatura vode na oba izvora uvijek mjerena istoga datuma, utvrđena prosječna razlika u temperaturi vode

između Tonkovića i Majerovog vrila u iznosu od 0,93 °C može se objasniti time što je podrijetlo voda tj. područje napajanja izvora različito (Bonacci, 2008; Bonacci i Andrić, 2008; Lukač Reberski i sur., 2013). Kao što je već napomenuto za količinu oborina, podrijetlo voda na Majerovom vrilu je u prosjeku s viših nadmorskih visina, pa je stoga temperatura vode u prosjeku niža nego na Tonkovića vrilu, što je zabilježeno i tijekom prethodnih istraživanja oba izvora, kada je u razdoblju od 2008. do 2010. godine na Majerovom vrilu utvrđena prosječna vrijednost temperature vode u iznosu od 9,1 °C, dok je na Tonkovića vrilu utvrđena viša vrijednost u iznosu od 9,7 °C (Lukač Reberski i sur., 2013), odnosno razlika je 0,6 °C, što je nešto niže nego što je zabilježeno tijekom istraživanja u okviru ovog rada. Osim toga, dio podzemne vode u Tonkovića vrilu potječe od rijeke Like (Bonacci i Andrić, 2008) te sumarno gledano rijeka Gacka ima tri podporiječja: Majerovo vrilo, Tonkovića vrilo i Klanac te podporječje Pećine (Lukač Reberski i sur., 2013). U istraživanjima tijekom 1946. i 1947. godine temperatura vode u Majerovom i Tonkovića vrilu bila je sličnih vrijednosti, ali s većim oscilacijama u Tonkovića vrilu. Tada je najniža izmjerena temperatura vode na Tonkovića vrilu iznosila 9 °C, a najviša 11 °C, dok je u Majerovom vrilu temperatura vode i u srpnju iznosila 9 °C (Plančić i sur., 1953).

Koncentracija otopljenog kisika u vodi u korelaciji je s temperaturom vode, odnosno, veća koncentracija otopljenog kisika bit će u hladnijoj vodi nego u toplijoj zbog boljeg otapanja kisika pri nižim temperaturama te su stoga rezultati za koncentraciju otopljenog kisika u vodi, dobiveni ovim istraživanjem, očekivani. U Majerovom vrilu, čija je temperatura vode niža u odnosu na Tonkovića vrilo, srednja vrijednost koncentracije otopljenog kisika je viša i iznosi 10,92 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, dok za Tonkovića vrilo je ta vrijednost nešto niža, obzirom da je temperatura vode viša te iznosi 10,35 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. Zasićenje vode kisikom ukazuje na postotak kisika koji je otopljen u vodi s obzirom na normalne vrijednosti koncentracije kisika pri trenutnim uvjetima. Niže vrijednosti zasićenja ukazuju na povećanu potrošnju kisika, a vrijednosti više od 100 % ukazuju na veću proizvodnju kisika od strane primarnih producenata, nego što je potrošnja kisika. Srednja vrijednost za oba izvora viša je od 95 %, iako je za Majerovo vrilo viša nego za Tonkovića te također Majerovo vrilo ima manje oscilacije u vrijednosti zasićenja vode kisikom od Tonkovića vrila. Slična zakonitost utvrđena je i tijekom prethodnih istraživanja na oba izvora u razdoblju od 2008. do 2010. godine, kada je također utvrđena prosječno viša vrijednost količine otopljenog kisika u vodi na Majerovom vrilu u iznosu od 9,9 mg L<sup>-1</sup>, dok je na Tonkovića vrilu utvrđeno 9,0 mg L<sup>-1</sup> (Lukač Reberski i sur., 2013). Također su tada utvrđene veće oscilacije u količini otopljenog kisika u vodi na Tonkovića vrilu (6,1 do 11,7 mg L<sup>-1</sup>), nego li na Majerovom vrilu (8,2 do 11,7 mg L<sup>-1</sup>).

Izmjerene pH vrijednosti u oba izvora ukazuju na neutralnu do blago lužnatu vodu. U Tonkovića vrilu zabilježene su nešto veće oscilacije nego u Majerovom vrilu, a vrijednosti pH vode u izvorima povezane su s podlogom na kojoj se nalazi vodonosnik te veličinom vodonosnika (Glazier, 2009). CO<sub>2</sub> iz atmosfere vode zakiseljava podzemnu vodu, međutim, voda prolaskom kroz krš otapa vapnenac te neutralizira vodu. Alkalitet vode mjera je za pufersku sposobnost vode. Majerovo vrilo ima nešto nižu srednju vrijednost alkaliteta vode od Tonkovića vrila, međutim, raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne zabilježene vrijednosti im je podjednak. Viši alkalitet vode omogućuje da uslijed velikih kiša te većih otapanja CO<sub>2</sub> u vodi, pH vode se ne smanji i ne dođe do zakislijevanja. Izvori na karbonatnim podlogama imaju viši alkalitet vode (Cantonati i sur., 2006) te je karbonatna podloga razlog za blago lužnatu vodu u Majerovom i Tonkovića vrilu. U usporedbi s prethodnim istraživanjima iz razdoblja od 2008. do 2010. godine (Lukač Reberski i sur., 2013), utvrđen je identičan odnos pH vrijednosti za istraživane izvore, pri čemu je prosječna vrijednost na Majerovom vrilu gotovo ista kao u okviru istraživanja ovog rada te iznosi 7,40, dok je na Tonkovića vrilu nešto viša, a iznosi 7,35, što je u korelaciji s alkalitetom vode.

Električna provodnost ukazuje nam na količinu otopljenih tvari (iona) u vodi. Veća električna provodnost povezuje se s većim vodnosnicima, obzirom da je u većim vodonosnicima voda dulje razdoblje u kontaktu s geološkom podlogom te je količina otopljenih karbonatnih iona veća (Caroll i Thorp, 2014). Na Majerovom vrilu električna provodnost je nešto niža nego na Tonkovića vrilu, međutim, raspon vrijednosti između minimalne i maksimalne zabilježene vrijednosti je podjednak za oba izvora. U usporedbi s prethodnim istraživanjima iz razdoblja od 2008. do 2010. godine (Lukač Reberski i sur., 2013), na Majerovom vrilu je tijekom istraživanja provedenih u okviru ovog rada utvrđena viša električna provodnost na oba istraživana izvora, pri čemu je na Majerovom vrilu u prethodnim istraživanjima utvrđena prosječna vrijednost električne provodnosti u iznosu od 437  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , dok je u okviru ovog rada utvrđena vrijednost od 461  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Na Tonkovića vrilu je u prethodnim istraživanjima utvrđena prosječna vrijednost električne provodnosti u iznosu od 422  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , dok je u okviru ovog rada utvrđena vrijednost od 511  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Utvrđene razlike mogu se objasniti razlikama u količini oborina i protoka na pojedini izvorima tijekom pojedinih razdoblja istraživanja i ponajprije u činjenici da je tijekom provedenih istraživanja u okviru ovog rada količina oborina tijekom ljetnih mjeseci bila iznimno velika i značajno iznad prosjeka, što se zasigurno odrazilo ne samo na povećanje električne provodnosti, nego i na sveukupan pregled kemizma vode na istraživanim izvorima.

Koncentracija otopljene organske tvari u vodi, koja se računa preko kemijske potrošnje kisika (KPK) može nam ukazati na eventualno organsko onečišćenje vode. Na oba izvora zabilježene su veće oscilacije u vrijednostima, međutim vrijednosti su i dalje niske te u ovom slučaju ne možemo govoriti o organskom onečišćenju voda. Tonkovića vrilo ima nešto veći raspon između minimalne i maksimalne izmjerene vrijednosti nego Majerovo vrilo iako je srednja vrijednost koncentracije otopljene organske tvari podjednaka za oba izvora, a najviša vrijednost izmjerena je na Tonkovića vrilu te iznosi  $1,87 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ .

Brzina strujanja vode izravno utječe na supstrat i sastav zajednica u vodenom ekosustavu (Barquin i Death, 2009). Prosječna brzina strujanja vode nešto je veća na Tonkovića vrilu nego na Majerovom vrilu, što je povezano s razlikama u promjenama protoka i pojavi vršnih protoka u različitim vremenskim intervalima nakon oborina, kako je već prethodno obrazloženo (Lukač Reberski i sur., 2013).

### **Usporedba sastava i gustoće makrozoobentosa i makrofita na Majerovom i Tonkovića vrilu**

Uzorkovanjem makrozoobentosa na dominantnim tipovima supstrata tijekom 4 sezone i unutar jedne godine na Majerovom i Tonkovića vrilu utvrđeno je 18, odnosno 17 skupina makrozoobentosa. Sastav zajednice makrozoobentosa čvrsto je povezan sa abiotičkim čimbenicima u kojima je ključan faktor u određivanju sastava stabilnost fizikalno-kemijski obilježja vode, posebice temperature i protoka vode (Smith i sur., 2003.). U Majerovom i Tonkovića vrilu izrazito je uočljiva dominacija skupine Crustacea, pogotovo skupine Isopoda i Amphipoda na svim tipovima supstrata i tijekom sve 4 sezone. Stabilni fizikalno-kemijski parametri, konstantnost protoka vode i bogata makrofitska zajednica pogoduju razvoju tih skupina. Veća brojnost jedinki iz skupina Crustacea karakteristična je za krške izvore obzirom da su krški izvori bogati karbonatnim ionima kojeg jedinke iz tih skupina koriste za strukturalnu izgradnju (Glazier, 2009). Također, veća brojnost jedinki iz skupina Isopoda i Amphipoda obično se povezuje s izvorima koji imaju velike vodnosnike, stalni protok, konstantnu temperaturu i veću tvrdoću vode što se poklapa sa rezultatima dobivenim ovim istraživanjem. Makrofiti, osim što su bitan izvor hrane u vodenim ekosustavima, također su i bitni mnogim skupinama organizama kao zaštita od predatora (Glazier, 2009). U Tonkovića vrilu utvrđena je dvostruko veća raznolikost vrsta makrofita i hidrofita nego u Majerovom vrilu. Na Tonkovića vrilu nije zabilježena dominacija niti jedne vrste makrofita, dok je na Majerovom vrilu izražena

dominacija vrste *Berula erecta*. Od mahovina na Tonkovića vrilu utvrđeno je 6 vrsta, a na Majerovom 5 vrsta te je na oba izvora izrazito raširena vrsta *Cinclidotus aquaticus*. Vrsta *Fontinalis antipyretica* zabilježena je kao dominantna vrsta na Tonkovića vrilu i to je u suglasju s podacima dobivenim tijekom istraživanja 1946. i 1947. godine, kada je ova vrsta također zabilježena kao vrlo raširena na Tonkovića vrilu (Plančić, 1953).

Sastav zajednice izvora uvelike je određen tipom i veličinom izvora (Barquín i Death, 2009), a Majerovo i Tonkovića vrilo pripadaju limnokrenom tipu izvora.

Razlike u indeksima raznolikosti za Majerovo i Tonkovića vrilo ukazuju na veću raznolikost makrozoobentosa u Majerovom vrilu iako je prosječna brojnost jedinki po m<sup>2</sup> u Tonkovića vrilu duplo veća te ukazuje na izraženu dominaciju određenih svojiti. Izvori u kojima je izražena dominacija pojedinih vrsta često se povezuju sa degradacijom staništa, dok se izvori s velikom bioraznolikošću i u kojima nije izrazito naglašena dominacija određenih skupina povezuju sa vrlo stabilnim uvjetima (Erman, 2002).

Detaljno ribarsko – biološko istraživanje rijeke Gacke provedeno je tijekom 1946. i 1947. godine, a makrozoobentos je uzorkovan cijelom dužinom rijeke te su se dobiveni podaci odnosili na cijelo istraživano područje pa se ne podudaraju u potpunosti s rezultatima dobivenim ovim istraživanjem. Istraživanjem 1946. i 1947. godine utvrđena su 72 vrste, a skupina Diptera je zabilježena s najvećom raznolikošću svojiti. Prema broju utvrđenih vrsta slijedile su skupine Oligochaeta, Turbellaria, Mollusca, Trichoptera, Coleoptera, Crustacea, Ephemeroptera i Megaloptera. Tada je također bila uočena dominantnost jedinki iz skupine Crustacea na Tonkovića vrilu, a utvrđene su 4 vrste: *Asellus aquaticus* i *Synurella ambulans* te dvije podzemne vrste, *Asellus cavaticus* i *Niphargus sp.* (Plančić, 1953). Tijekom sezonskih istraživanja 2014. godine rod *Niphargus* je također utvrđen samo na Tonkovića vrilu, a dominantnost jedinki vrsta *Asellus aquaticus* i *Synurella ambulans* je također izrazito uočljiva na oba izvora. Dominantnost skupine Crustacea može se objasniti time što jedinke iz ove skupine ne dolaze samo na jednom određenom tipu staništa, nego, osim na fitalu, jedinke iz skupine Crustacea zabilježene su i na ostalim tipovima staništa. Također, jedinke iz skupine Crustacea imaju asinkrono razmnožavanje te se zbog stabilnosti fizikalno-kemijskih uvjeta vode mogu razmnožavati tijekom cijele godine.

Podaci dobiveni ovim istraživanjem podudaraju se i s podacima dobivenim nedavnim istraživanjem geokemijskih karakteristika triju izvora Gacke (Tonkovića vrilo, Klanac i Majerovo vrilo), a uzorkovanje makrozoobentosa provedeno je samo jednom tijekom

istraživanja, u kolovozu 2014. godine (Matić i sur., 2016). U oba istraživanja utvrđena je izrazita dominacija skupine Crustace, utvrđena je samo jedna vrsta iz skupine Ephemeroptera, te je utvrđena veća brojnost jedinki skupine Trichoptera na Majerovom vrilu nego na Tonkovića vrilu. Broj utvrđenih svojti u istraživanju od Matić i sur. (2016) veći je za Tonkovića vrilo, što nije bio slučaj u istraživanju vezanom u okviru ovog rad, međutim, u oba istraživanja dobivena vrijednost Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti veća je za Majerovo vrilo nego za Tonkovića vrilo.

### **Ekološko stanje Majerovog i Tonkovića vrila**

Stanje površinskih voda utvrđuje se na temelju ekološkog i kemijskog stanja voda. Ekološko stanje ocjenjuje se prema biološkim elementima, hidrološkim i osnovnim fizikalno-kemijskim i kemijskim elementima. Ocjenjivanje ekološkog stanja voda podrazumijeva mjerenje promjene stanja i funkcije ekosustava u odnosu na prirodno (referentno) stanje te se u odnosu na veličinu promjene svrstavaju u jednu od 5 kategorija ekološkog stanja (vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše) (Narodne novine, 73/13). Od svih bioloških elemenata, makrozoobentos se najčešće koristi u izračunu kakvoće vode. Obično se koristi za procjenu organskog opterećenja, jer postoji jasna veza između organskog opterećenja i reakcije zajednice makrozoobentosa. Indeksi organskog opterećenja (saprobnosti) ukazuju na količinu hranjivih tvari u vodenom ekosustavu. Saprobnostni indeksi korišteni u ovom radu daju različite ocjene na istraživanim lokalitetima te Majerovo i Tonkovića vrilo svrstavaju u kategoriju dobrog, odnosno umjerenog ekološkog stanja. Međutim, vrijednosti ovog, kao i pojedinih drugih indeksa nisu u potpunosti precizne, jer nisu sve skupine determinirane do dovoljno niskih sistematskih kategorija (rod ili vrsta).

Istraživani lokaliteti, Majerovo i Tonkovića vrilo, prema općim i hidrološkim obilježjima pripadaju abiotičkom tipu HR tip 12B, odnosno rijeka Gacka pripada srednje velikim tekućicama krških polja (Kerovec i sur., 2008) te su dobivene vrijednosti pojedinih indeksa uspoređivane sa referentnim vrijednostima tog tipa tekućica. Umjereno ekološko stanje u smislu opće degradacije u Majerovom vrilu i Tonkovića vrilu upućuje na negativni utjecaj dugogodišnjeg antropogenog prisustva i eksploatacije vode ovih izvora koji su stoljećima lokalnom stanovništvu služila kao izvor pitke vode, pokretačke snage za mlinice, mjesto za napajanje stoke i slično. BMWP bodovni indeksi uzimaju u obzir toleranciju

pojedinih porodica prisutnih u vodenom ekosustavu prema onečišćenju. U svim korištenim oblicima ukazuju na veću toleranciju prema onečišćenju zajednice makrozoobentosa u Tonkovića vrilo.

EPT-indeks ukazuje na ukupnu degradaciju vodotoka preko broja svojti skupina vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera). Što je ETP-indeks veći, ekološko stanje vode smatra se boljim. Pojedine svojte navedenih skupina osjetljive su na različite degradacije i onečišćenja, a posebno na smanjenje količine kisika i smanjenje brzine strujanja vode. Prema izračunatim ETP-indeksima prednost, odnosno bolje ekološko stanje ima Tonkovića vrilo. Vrste iz ovih skupina, uz nisku toleranciju na onečišćenje, su ujedinjene u EPT indeks koji pomaže u određivanju kvalitete vode pošto svaka od tih skupina kukaca pripada drugoj funkcionalnoj skupini te njihov ujednačeniji omjer znači dostupnu veću količinu različite hrane. EPT-S indeks ukazuje na umjerenu (Majerovo vrilo), odnosno dobru (Tonkovića vrilo) kvalitetu vode unatoč relativno niskoj razini determinacije skupina Plecoptera i Trichoptera, kao ključnog ulaznog parametra za ocjenu kvalitete vode i ekološkog stanja.

Na izvore se često gleda kao na izolirane i dobro očuvane sustave (Galzier 2009), međutim, sve više se uočava potreba za njihovom zaštitom, obzirom da na kvalitetu i količinu podzemne vode koja prihranjuje izvore, izravno utječu brojni čimbenici poput primjerice izgradnje prometnica i intenzivna poljoprivreda (Smith i Wood, 2002). Onečišćenja tla, a time i podzemnih voda može relativno brzo utjecati na velike promjene u fizikalno-kemijskim uvjetima izvora te tako značajno promijeniti sastav zajednica unutar izvora. Obzirom na povećan broj endema i reliktnih skupina organizama u izvorima važnost zaštite izvora zbog očuvanja bioraznolikosti je vrlo bitna (Galzier 2009).



## 6. ZAKLJUČAK

- Na oba istraživana izvora Gacke, Majerovo i Tonkovića vrilo, utvrđeni su stabilni fizikalno-kemijski uvjeti vode tijekom godine za većinu parametara. Temperature oscilacije tijekom istraživanog razdoblja bile su unutar 1 °C, što potvrđuje da je istraživanje provedeno u zoni eukrenala.
- Rezultati mjerenja osnovnih fizikalno-kemijskih parametara vode potvrđuju prethodne rezultate istraživanja na izvorima Gacke te utvrđene razlike među pojedinim izvorima, što potvrđuje različito podrijetlo vode na izvorima.
- Fital je dominantno mikrostanište na oba istraživana izvora, što utječe na sastav i brojnost jedinki vodenih beskralješnjaka.
- Jedinke iz skupina jednakonožnih rakova (Isopoda) i rakušaca (Amphipoda) dominiraju na oba izvora i na svim tipovima mikrostaništa, što je povezano sa tipom supstrata, fizikalno-kemijskim uvjetima vode te prilagodbama na ishranu.
- Najveći broj svojti određen je za skupinu Oligochaeta, njih ukupno 6.
- Među EPT skupinama najveću dominaciju na Majerovom vrilu imaju jedinke iz skupine Trichoptera, a na Tonkovića vrilu imaju jedinke iz skupine Ephemeroptera.
- Majerovo vrilo ocjenjeno je dobrim ekološkim stanjem, a Tonkovića vrilo ocjenjeno je umjerenim ekološkim stanjem.

## 7. LITERATURA

- APHA (1995). Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (19th edition).  
*Byrd Prepress Springfield*, Washington D. C.
- Bognar, A., Pavić, R., Riđanović, J., Rogić, V., Šegota, T., (1975). Geografija SR Hrvatske,  
Knjiga 4. Školska Knjiga, Zagreb.
- Bonacci, O. (2015). Surface Waters and Groundwater in Karst. Chapter 5. U: Stevanović, Z.  
(ur.) Karst Aquifers – Characterization and Engineering. Professional Practice in Earth  
Sciences, Springer, str. 149-169.
- Bonacci, O., Andrić, I. (2008). Sinking karst rivers hydrology: case of the Lika and Gacka  
(Croatia). *Acta Carsologica*, 37(2), 185-196.
- Bornhauser, K. (1913). Die Tierwelt der Quellen in der Umgebung Basels. *Int. Revue ges  
Hydrobiol. Hydrogr. Suppl* 5(3),1–90.
- Bryan, K. (1919). Classification of Springs. *Journal of Geology* 27(7): 522-561.
- Cantonati, M., Gerecke, R., Bertuzzi, E. (2006). Springs of the Alps – sensitive ecosystems to  
environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies.  
*Hydrobiologia* 562, 59–96.
- 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. U:  
Cantonati, M., Füreder, L., Jüttner, I., Cox, E.J. (ur.), The Ecology of Springs.  
*Freshwater Science* 31, 463–480.
- Cantonati, M., Segadelli, S., Ogata, K., Tran, H., Sanders, D., Gerecke, R., Rott, E., Filippini,  
M., Gargini, A., Celico, F. (2016). A global review on ambient Limestone-Precipitating  
Springs (LPS): Hydrogeological setting, ecology, and conservation. *Science of The  
Total Environment*, 568, 624-637.
- Carroll, T. M., Thorp, J. H. (2014). Ecotonal shifts in diversity and functional traits in  
zoobenthic communities of karst springs. *Hydrobiologia*, 738(1), 1-20.
- Carroll, T. M., Thorp, J. H., Roach, K. A. (2016). Autochthony in Karst Spring Food Webs.  
*Hydrobiologia*, 776(1), 173-191.

- Clarke, K. R., Gorley, R. N. (2006). PRIMER V6: User manual-tutorial. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 192 str.
- Cohen, M. (2008). Springshed nutrient loading, transport and transformations. *Summary and synthesis of the effects of nutrient loading on spring ecosystems and organisms. Florida Department of Environmental Protection*, str. 53-134.
- Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Forsberg, B. R., Pimentel, T. P., Luz, S. L. B. (2012). A macroinvertebrate multimetric index to evaluate the biological condition of streams in the Central Amazon region of Brazil. *Ecological Indicators*, 18, 118-125.
- Erman, N. A. (2002). Lessons from a long-term study of springs and spring invertebrates (Sierra Nevada, California, USA) and implications for conservation and management. U: Conference proceedings. Springfed Wetlands: Important Scientific and Cultural Resources of the Intermountain Region, Las Vegas, NV, str. 1-13.
- Erman, N. A., Erman, D. C. (1995). Spring Permanence, Trichoptera Species Richness, and the Role of Drought. *J. Kans. Entomol. Soc.* 68, 50-64.
- Field, M. S. (2002) A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology. USEPA, Washington, DC.
- Galas, J. (2005). Human impact on physical and chemical properties of springs from Cracow-Częstochowa Upland (Southern Poland). *Pol. J. Ecol.* 53(3), 329-341.
- Garašić, M., Watz, B. (2005). Najnovija ronjenja u Majerovom vrelu. U: Bočić, N. (ur.) 6. Skup speleologa Hrvatske „Kamanje 2005“. Zbornik sažetaka. Speleološko društvo Karlovac, Karlovac, str. 5-6.
- Gerecke, R., Meisch, C., Stoch, F., Acri, F., i Franz, H. (1998). Eucrenon – Hypocrenon ecotone and spring typology in the Alps of Berchtesgaden. U: Botosaneanu, L (ur.) *Studies in crenobiology. Blackhuys Publishers, Leiden*, str. 167-182.
- Gerecke, R., Maiolini, B., Cantonati, M. (2007). Collecting meio-and macrozoobenthos in springs. The spring habitat: biota and sampling methods. *Monografie del Museo Tridentino di Scienze naturali*, 4, 265-274.
- Gerecke, R., Cantonati, M., Spitale, D., Elisabeth, S. T. U. R., Wiedenbrug, S. (2011). The challenges of long-term ecological research in springs in the northern and southern Alps:

- indicator groups, habitat diversity, and medium-term change. *Journal of Limnology*, 70(1), 168-187.
- Glazier, D. S. (2009). Springs. U: Likens, G.E. (ur.) *Encyclopedia of inland waters*, vol. 1, str. 734-755.
- 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, str. 1-82.
- Hauer, F. R., Lamberti G. A. (2007). *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, str. 1-896.
- Herak, M. (1990) Geologija. Postanak, tektonika i dinamika Zemlje. Razvojni put Zemlje i Života. Geološka građa kontinenta i oceana. Školska knjiga, Zagreb, str. 1-433.
- Hrvatske vode (2013). Izvješće o stanju površinskih voda u Republici Hrvatskoj u 2013. godini. Hrvatske vode, Zagreb, str. 1-87.
- Hrvatske vode (2015). Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanje omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće, Hrvatske vode, Zagreb, str. 1-237.
- Hynes, H. B. N. (1970). *The ecology of running waters*. University of Toronto Press, Toronto, str. 1-543.
- 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. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 12, 1-57.
- Jadan, M., Čož-Rakovac, R., Topić Popović, N., Strunjak-Perović, I. (2007). Presence of unexpected phylogenetic lineages of brown trout *Salmo trutta* L. in Gacka River, Croatia. *Aquaculture Research*, 38(15), 1682-1685.
- Kerovec, M. (1986) Priručnik za upoznavanje beskralješnjaka naših potoka i rijeka. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 127.
- Kerovec, M., Ternjej, I., Mihaljević, Z., Gottstein, S., Lajtner, J., Popijač, S., Žganec, K., Kralj, K., Stanković, I., Slavikovski, A., Jelenčić, M., Bartovsky, V. (2008). Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u Hrvatskoj prema kriterijima okvirne direktive

- o vodama: Makrozoobentos kao pokazatelj ekološkog stanja tekućica. Biološki odsjek, PMF, Zagreb.
- Knight, R. L., Notestein, S. K., (2008). Springs as Ecosystems. U: Brown, M. T., Reiss, K. C., Cohen, M. J., Evans, J., Reddy, K. R., Inglett, P. W., Inglett, K. S., Frazer, T. K., Jacoby, C. A., Phlips, E. J., Knight, R. L., Notestein, S. K., McKee, K. A. (ur.) Final Report: Summary and Synthesis of the Available Literature on the Effects of Nutrient on Spring Organisms and Systems. University of Florida Water Institute, Gainesville, str. 1-52.
- Komac, B., (2001). Kraški izviri pod kaninskim pogorjem. *Geografski zbornik*, **41**, 4-15.
- Krešić, N. (2010). Types and classifications of springs. Chapter 2. U: Krešić, N., Stevanović, Z. (ur.) Groundwater Hydrology of Springs. Engineering, Theory, Management and Sustainability. Elsevier, Oxford, str. 31-85.
- Li, L., Zheng, B., Liu, L., 2010. Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. *Procedia Environmental Sciences*, **2**, 1510–1524.
- Lorenz, A., Feld, C. K., Hering, D. (2004). Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: Ecoregions, zonation, geology and substrate. *Limnologica. Ecology and Management of Inland Waters*, **34**(4), 379-389.
- Lukač Reberski, J., Kapelj, S., Terzić, J. (2009). An estimation of groundwater type and origin of the complex karst catchment using hydrological and hydrogeochemical parameters: A case study of the Gacka river springs. *Geologia Croatica*, **62**(3), 157-178.
- Lukač Reberski, J., Marković, T., Nakić, Z. (2013). Definition of the river Gacka springs subcatchment areas on the basis of hydrogeological parameters. *Geologia Croatica*, **66**(1), 39-53.
- Mandaville, S. M. (2002). Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters – Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols, Project H-1. Nova Scotia: Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, 128.
- Martin, P., Brunke, M. (2012). Faunal typology of low land spring in northern Germany. *Freshwater Science* **31**, 542-562.
- Matić, N., Maldini, K., Tomas, D., Ćuk, 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(19), 1308.
- Medić, V. (2016). Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš. Institut IGH d. d., Zagreb, 196 str.
- Meinzer, O. E. (1923). The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 489, Washington, DC.
- Mihevc, A., Prelovšek, M., Zupan Hajna, N.(2010). Introduction to the Dinaric Karst. Karst Research Institute at ZRC SAZU, Postojna, Slovenia, 71 str.
- Minelli, A., Ruffo, S., Stoch, F., Bracco, F., Lapini, L., Muscio, G., Paradisi, S., Sburlino, G. (2002). Springs and spring watercourses - Springs in the Northern Italian plains. U: Minelli A. (ur.) Italian Habitats. Udine, Museo Friulano di Storia Naturale, 155 str.
- Mori, N., Brancelj, A.(2006). Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquat Ecol*, 40, 69-83.
- Narodne novine, (1998). Uredba o klasifikaciji voda. Narodne novine d.d., 77, Zagreb.
- Narodne novine, (2008). Strategija upravljanja vodama. Narodne novine d.d., 91, Zagreb.
- Narodne novine, (2009). Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o vrstama stanišnih tipova, karti staništa, ugroženim i rijetkim stanišnim tipovima te o mjerama za očuvanje stanišnih tipova. Narodne novine d.d., 119, Zagreb.
- Narodne novine (2013). Uredba o standardu kakvoće voda. Narodne novine d.d., 73, Zagreb.
- Narodne novine (2013). Odluka o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima. Narodne novine d.d., 82, Zagreb.
- Odum, E. P. (1971). Fundamentals of Ecology. W.B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto, str. 1-574.
- Plančić, J., Stanić-Mayer, D., Mark, S. (1953): Prilog ribarsko-biološkom istraživanju rijeke Gacke. *Ribarstvo Jugoslavije*, 8, 1, 1-9.
- 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.
- Rosati, M., Cantonati, M., Fenoglio, S., Segadelli, S., Levati, G., Rossetti, G. (2016). Is there an ideal protocol for sampling macroinvertebrates in springs?. *Journal of Freshwater Ecology*, 31(2), 199-209.
- Sansoni, G., Ghetti, P. F., (1992). Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani. Stazione sperimentale agraria forestale (Trento, Italia). Servizio protezione ambiente. Trento, 190 str.
- 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.
- 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.
- Springer, A.E., Stevens, L.E. (2009). Spheres of discharge of springs. U: Hancock, P.J., Hunt, R.J., Boulton, A.J. (gostujući ur.) Hydrogeocology and Groundwater Ecosystems, *Hydrogeology Journal*, 17(1): 83–93.
- Šegota, T., Filipčić, A. (2003). Köppenova podjela klima i hrvatskonazivlje. *Geoadria*, 8(1), 17-37.
- Tagliapietra, D., Sigovini, M., (2010). Benthic fauna: collection and identification of macrobenthic invertebrates. *Terre et Environnement*, 88: 253-261.
- van der Kamp, R.O. (1995). The hydrogeology of springs in relation to the biodiversity of spring fauna: A review. *J. Kansas Entomol. Soc.* 68 (Suppl. 2): 4–17.
- von Fumetti, S., Nagel, P., Baltes, B. (2007). Where a springhead becomes a springbrook- a regional zonation of springs. *Fund. Appl. Limnol* 169, 37–48. von Fumetti, S. (2008). Distribution, discharge and disturbance: new insights into faunal spring ecology. Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, Doktorska disertacija, Besel, str. 1-89.
- von Fumetti, S., Blattner, L. (2016). Faunistic assemblages of natural springs in different areas in the Swiss National Park: a small-scale comparison. *Hydrobiologia* 793 (1): 175-184.

- von Fumetti, S., Nagel, P. (2011). A first approach to a faunistic crenon typology based on functional feeding groups. *Journal of Limnology Suppl.* 70(1), 147–154.
- Vučković, I., Ćuk, R., Stanković, I., Žižić, A., Miličić, M., Alegro, A. (2011). The results of biological quality elements of water on surveillance monitoring stations. *Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo*, 19(76), 139-144.
- Waringer, J., Graf, W., (2011). Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven – Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Verlag Dinkelscherben, 468 str.
- Webb, D. W., Wetzel, M. J., Reed, P. C., Phillippe, L. R., Harris, M. A. (1995). Aquatic Biodiversity in Illinois Springs. U: Ferrington, Jr. L. C. (ur.). Biodiversity of Aquatic Insects and Other Invertebrates in Springs. *Journal of the Kansas Entomological Society*, Supplement 69(2): 93-107.
- Williams, D. D., Williams, N. E. (1998). Invertebrate communities from freshwater springs: what can they contribute to pure and applied ecology. U: Botosaneanu, L. (ur.) Studies in Crenobiology. The biology of springs and springbrooks. Backhuys Publishers, Leiden, str. 251-261.
- Zollhöfer, J. M., Brunke, M., Gonser T. (2000). A typology of springs in Switzerland by integrating habitat variables and fauna. *Hydrobiologia*, 121: 3-4.
- Zwick, P. (2004). Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Lirnnologica* 34, 315-348.
- Zwicker, G., Žeger Pleše, I., Zupan, I. (2008). Zaštićena geobaština Republike Hrvatske. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, str. 1-80.
- Županijski glasnik (2010). Odluka o zonama zaštite izvorišta rijeke Gacke – Tonkovića vrila, Majerovog vrila i vrila Klanac. Ličko-Senjska županija , Gospić, *Županijski glasnik* 18 (23): 1216-1219.

Korištene internetske stranice:

URL 1: <http://www.dzsp.hr/ekoloska-mreza/natura-2000/ekoloska-mreza-rh-natura-2000-1300.html> (pristupila 20.4.2017.)

URL 2: [http://www.crorivers.com/popis-rijeka\\_gacka-priroda.php](http://www.crorivers.com/popis-rijeka_gacka-priroda.php) (pristupila 20.4.2017.)



URL 3: <http://www.biportal.hr/gis/> (pristupila 26.4.2017.)

URL 4: <http://www.zastita-prirode.hr/Propisi-upisnici-natjecaji/Upisnik-zasticenih-podrucja>  
(pristupila 26.4.2017.)

## ŽIVOTOPIS

Rođena sam 11.3.1992. godine u Zagrebu gdje sam, uz osnovnu školu, završila i Osnovnu glazbenu školu Zlatka Balokovića. Nakon osnovne škole upisala sam XV. Gimnaziju u Zagrebu koju sam završila 2010. godine. Iste godine upisala sam preddiplomski studij, smjer Biologija, na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Diplomski studij Eksperimentalne biologije, modul Zoologija, upisala sam 2014. godine.

Od 2010. godine članica sam Udruge studenata biologije – BIUS i Kluba studenata elektrotehnike (KSET). Od 2015. godine članica sam Planinarskog društva Sveučilišta Velebit gdje sam iste godine završila i speleološku školu, a od 2016. godine članica sam Hrvatskog biospeleološkog društva (HBSD).

U sklopu BIUS-a sudjelovala sam u realizaciji projekta „Noć biologije“ (2012., 2013., 2015. i 2016.) i u pet istraživačko-edukacijskih projekta („Dinara 2012.“, „Apsyrtides 2013.“, „Grabovača 2014.“, „Papuk 2015.“ i „Mura-Drava 2016.“). Također, organizirala sam istraživačko-edukacijski projekt „Insula Tilagus 2017.“. Od 2014. godine voditeljica sam Sekcije za gljive te sam također aktivni član Biospeleološke sekcije.

U sklopu KSET-a sudjelovala sam u organizaciji i realizaciji nekoliko projekata: „Brucošijada FER-a“ (2011.-2016.), „Planinarska školica“ (2013.-2015.) i „Elektroplaninarski pješački rally“ (2011.-2016.). Bila sam voditeljica Planinarske sekcije (2013./2014.).

Dobitnica sam Posebne Rektorove nagrade iz područja prirodnih znanosti (2014./2015.) kao sudionik u istraživačko-edukacijskom projektu „Grabovača 2014.“