

# Utjecaj okolišnih čimbenika na raspodjelu zooplanktona u mediteranskim lokvama

---

Kahriman, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:160122>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-18**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Kristina Kahrman

UTJECAJ OKOLIŠNIH ČIMBENIKA NA RASPODJELU ZOOPLANKTONA  
U MEDITERANSKIM LOKVAMA

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za beskraljješnjake na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Marie Špoljar. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### UTJECAJ OKOLIŠNIH ČIMBENIKA NA RASPODJELU ZOOPLANKTONA U MEDITERANSKIM LOKVAMA

Kristina Kahriman

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Istočnojadranske semipermanentne lokve, specifična su i neistražena staništa unutar mediteranskih lokvi, a u svrhu doprinosa poznavanju njihovih biocenoza, ciljevi ovog rada bili su analizirati: (i) raznolikost, brojnost i trofičku strukturu zooplanktona; (ii) utjecaj okolišnih čimbenika na sastav zooplanktona; (iii) utjecaj predacijskog pritiska riba i bentoskih beskralježnjaka na sastav zooplanktona. Istraživanje zooplanktona provedeno je tijekom svibnja 2017. godine na deset lokaliteta Dugog otoka. Determinirano je 56 vrsta, čemu su najviše doprinijeli kolnjaci (40 vrsta). U prozirnim i makrofitima prekrivenim lokvama zabilježena je veća bioraznolikost, brojnost populacija semiplanktonskih vrsta zooplanktona, kao i taktilnih bentoskih predatora. Lokve s malo ili bez makrofitskog pokrova, smanjene prozirnosti i visokom biomasom fitoplanktona obilježavale su izrazito brojne populacije zooplanktona, u kojima su veću brojnost postigli euplanktonski kolnjaci, mikrofiltratorski rašljoticalci i predatorski veslonošci. Predacijski pritisak riba najviše se odrazio na smanjenje brojnosti makrofiltratorskih rašljoticalaca. Analize su ukazale da su taktilni predatori iz skupine vodengrinja i ličinki dvokrilaca kao plijen konzumirali rašljoticalce, dok su ličinke vretenaca te adulti polukrilaca i kornjaša preferirali kolnjake. Rezultati rada ukazuju na važnost zooplanktona u hranidbenim mrežama krških lokvi te su prilog očuvanju ovih specifičnih ekosustava s cijem održivog razvoja otoka i očuvanja bioraznolikosti i pejzažne heterogenosti.

(42 stranice, 9 slika, 4 tablice, 79 literaturnih navoda, 2 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: Rotifera/Cladocera/Copepoda/submerzni makrofiti/predatori/Dugi otok

Voditelj: Dr.sc. Maria Špoljar, red. prof.

Neposredni voditelj: Dr.sc. Tvrtko Dražina, doc.

Ocijenitelji: Dr.sc. Jasna Hrenović, red. prof.

Dr.sc. Sandra Radić Brkanac, izv. prof.

Dr.sc. Mirela Sertić Perić, doc.

Rad prihvaćen: 13. veljače 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### IMPACT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ZOOPLANKTON STRUCTURE IN MEDITERRANEAN PONDS

Kristina Kahrman

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Eastern Adriatic semi-permanent ponds, as part of a Mediterranean pond group, are mostly unknown habitats with specific communities. Therefore, in order to assess their ecological functioning, the goals of this study were to analyze: (i) diversity, abundance and trophic structure of zooplankton; (ii) the influence of environmental factors on the composition of zooplankton; (iii) the influence of fish and macroinvertebrate predators on the zooplankton assemblage. The research of zooplankton was conducted in May 2017 in ten ponds on Dugi otok island. Altogether 56 different species were determined, most of which were rotifers (40 species). The greatest diversity was observed in ponds with dense macrophyte coverage, where semiplanktonic species and benthic macroinvertebrates were most abundant. Planktonic rotifers, detritivorous cladocerans and predatory copepods were most abundant in turbid ponds with low macrophyte coverage, and high phytoplankton biomass. The fish preying upon zooplankton significantly affected algivorous cladocerans, decreasing their abundance. Macroinvertebrates, water mites and larval phantom midges mostly fed over cladocerans, while larval dragonflies and adult hemipterans and beetles fed over rotifers. The results suggested significant importance of zooplankton in the food webs of karst ponds, and important contribution to the essential preservation of these specific ecosystems supporting the sustainable development of the island and the preservation of species and landscape diversity.

(42 pages, 9 figures, 4 tables, 79 references, 2 appendices, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: Rotifera/Cladocera/Copepoda/submerged macrophytes/predators/Dugi otok

Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Prof.

Assistant Supervisor: Dr. Tvrtko Dražina, Asst. Prof.

Reviewers: Dr. Jasna Hrenović, Prof.

Dr. Sandra Radić Brkanac, Assoc. Prof.

Dr. Mirela Sertić Perić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 13<sup>th</sup> February, 2019.

*Zahvaljujem svojoj mentorici prof. Mariji Špoljar, za pomoć pri izradi ovog rada, od izbora teme do samog pisanja. Posebno hvala na velikom razumijevanju i strpljenju te na poticajima i savjetima tijekom pisanja ovog rada.*

*Također, zahvaljujem neposrednom voditelju dr.sc. Tvrtku Dražini za pomoć pri determinaciji i pisanju ovog rada.*

*Hvala svim mojim prijateljima koji su mi uljepšali studentske dane te ih učinili uistinu nezaboravnima.*

*Posebno hvala mojoj mami na beskrajnoj potpori i strpljenju tijekom studija.*

## Lista kratica

AFDM - (eng. *ash free dry mass*) vrijednost gubitka mase pri tarenju

Chl *a* - klorofil *a*

CV – koeficijent varijacije

DM – (eng. *dry mass*) suha biomasa

DO1 - DO10 – deset istraživanih lokaliteta na Dugom otoku

DOM - (eng. *dissolved organic matter*) koncentracija otopljene organske tvari

FFG – (eng. *Functional Feeding Guilds*) funkcionalne trofičke skupine

GR – (eng. *guild ratio*) omjer trofičkih skupina

K – konstantnost ili učestalost vrste

KPK – kemijska potrošnja kisika

Max – maksimalne vrijednosti

Min – minimalne vrijednosti

POM - (eng. *particulate organic matter*) suspendirane organske tvari

SD - standardna devijacija

SV – srednja vrijednost

TN – (eng. *Total Nitrogen*) ukupni dušik

TP – (eng. *Total Phosphorus*) ukupni fosfor

WM – (eng. *wet mass*) mokra biomasa

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zooplankton povremenih stajaćica .....	2
1.2. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na zooplankton povremenih stajaćica .....	2
1.3. Značaj hidroperioda za biocenoze lokvi .....	5
1.4. Ciljevi istraživanja .....	7
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	8
3. MATERIJALI I METODE .....	11
3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona i makrozoobentosa .....	11
3.2. Sakupljanje i analiza limnoloških čimbenika .....	12
3.3. Obrada podataka .....	13
4. REZULTATI .....	15
4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici .....	15
4.2. Obilježja zooplanktona u lokvama Dugog otoka .....	16
4.3. Trofička struktura zooplanktona u lokvama Dugog otoka .....	20
4.4. Predatori u lokvama Dugog otoka .....	22
4.5. Interakcije biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima Dugog otoka .....	23
5. RASPRAVA .....	26
6. ZAKLJUČAK .....	31
7. LITERATURA .....	32
8. PRILOZI .....	40
ŽIVOTOPIS .....	41



# 1.UVOD

Povremene stajaćice su plitka vodena tijela koja su dovoljno dugo tijekom godine ispunjene vodom, čime je omogućen razvoj akvatičke biocenoze (Zacharias i sur., 2007; Céréghino i sur., 2008). Prema Ramsarskoj konvenciji (2002) povremene stajaćice definirane su kao mala, plitka vodena tijela (površine do 10 ha), relativne dubine do 3m (Scheffer i sur., 2007), izolirana od velikih vodenih tijela, u kojima se periodički i ciklički izmjenjuju vlažna i sušna razdoblja. Nastaju djelovanjem raznih geomorfoloških procesa kao što su: otapanje vapnenca u krškim područjima, glacijacija, vulkanska aktivnost, u udubljenjima pješćanih dina te u meteorskim kraterima. Također mogu biti i antropogenog podrijetla npr. pojila za stoku, tragovi kotača, napušteni kamenolomi (Oertli i sur., 2005; Kuczynska-Kippen i sur., 2013; Sahuquillo i Miracle, 2013). Nastale depresije (udubljenja) najčešće se pune oborinama, istjecanjem vode sa slivnog područja i/ili se pune podzemnim vodama (Sahuquillo i Miracle, 2013).

Povremene stajaćice rasprostranjene su na svim geografskim širinama, no najviše ih ima, zbog evaporacije kod visokih temperatura, u semiaridnim i aridnim područjima (Williams i sur., 2004). Upravo zbog velike brojnosti i geografske rasprostranjenosti, ova staništa značajno doprinose bioraznolikosti u svjetskim razmjerima, sa specijaliziranim i brojnim rijetkim i endemskim vrstama (de Meester i sur., 2005). Temeljem istraživanja organiziranih od strane organizacije *European Pond Conservation Network* (EPCN), izrađena je preliminarna klasifikacija povremenih stajaćica bazirana na rasprostranjenosti vrsta i njihovim specifičnim biološkim obilježjima. Prema navedenoj klasifikaciji u Europi se mogu razlikovati četiri biogeografske regije: kontinentalna, atlantska, mediteranska i alpska, a najveća raznolikost i endemizam vrsta utvrđeni su upravo u mediteranskim lokvama (Sahuquillo i Miracle, 2013).

Povremene stajaćice su najreprezentativniji slatkovodni lentički sustavi Mediteranske regije, a njihova vrijednost se najviše očituje u ekološkom (u kontekstu bioraznolikosti i funkcioniranja ekosustava) te socioekonomskom (mogućnost rekreacije, sportskog ribolova i poljoprivrede) smislu. Međutim, zbog pojačanog antropogenog utjecaja koji se očituje u eutrofikaciji, hidromorfološkoj degradaciji te unosu stranih vrsta, ova su staništa danas izrazito ugrožena (Sahuquillo i sur., 2012). Osim poljoprivrede, danas je sve veći problem ovih staništa turizam i urbanizacija.

## **1.1. Zooplankton povremenih stajaćica**

Nestabilni uvjeti i brze promjene okolišnih čimbenika u povremenim stajaćicama omogućuju razvoj specifične faune s brojnim prilagodbama (brza reprodukcija, otporni mirujući stadiji, kratki životni ciklus) na ekstremne oscilacije okolišnih čimbenika (Brendonck i De Meester, 2003; Marrone i sur., 2006; Frisch i Green, 2007). Upravo tri glavne skupine zooplanktonskih organizama: kolnjaci (Rotifera), rakovi rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda) posjeduju navedene značajke i sposobni su u vrlo ekstremnim uvjetima i u kratkom razdoblju razviti populacije velike brojnosti.

Zahvaljujući velikoj sposobnosti adaptacije, kolnjaci (Rotifera) su prisutni u gotovo svim slatkovodnim ekosustavima. Uglavnom su filtratori detritusa, bakterija i algi, a neki su i predatori (Wallace i sur., 2006). Podijeljeni su u tri skupine: Seisonidea (morski), Bdelloidea i Monogononta (vode na kopnu) od kojih su Monogononta najbrojniji vrstama i njihovom morfološkom raznolikošću (Segers, 2007). Razmnožavaju se uglavnom partenogenetski (Bdelloidea) ili heterogonijom (Monogononta), gdje se partenogenetska faza izmjenjuje sa spolnom. Stvaranje tzv. zimskih jaja zaštićenih otpornim ovojnica omogućuje im preživljavanje u nepovoljnim uvjetima kao što su duga sušna razdoblja (Ricci, 2001). Rašljoticalci (Cladocera) su planktonski rakovi koji su primarno slatkovodni, a neke vrste žive u moru i boćatim vodama (Forró i sur., 2008). Uglavnom su filtratori, ali ima i predatorskih vrsta koje se hrane drugim, manjim rašljoticalcima, malim veslonošcima i nauplijima. Za razliku od prethodne dvije skupine, veslonošci (Copepoda) dominiraju u morskom, no važan su dio i slatkovodnog zooplanktona. Dije se u tri skupine: Calanoida, Cyclopoida i Harpacticoida, a razmnožavaju se spolnim načinom. S obzirom na način prehrane mogu biti algivori ili predatori, a zabilježene su i parazitske i poluparazitske vrste. Iz oplođenih jaja se razvijaju ličinke naupliji, koje zatim prolaze kroz šest kopepoditskih ličinačkih stadija.

## **1.2 Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na zooplankton povremenih stajaćica**

Okolišni čimbenici, abiotički i biotički, mogu pozitivno ili negativno utjecati na sastav populacije, odnosno na životne funkcije, rast, razmnožavanje i prehranu jedinki u zajednici.

U povremenim stajaćicama abiotički (fizikalni i kemijski) čimbenici mogu znatno varirati i pomaknuti biološke granice koje organizmi mogu izdržati (Angélibert i sur., 2004; Eitam i sur., 2004). Temperatura, kao primarni čimbenik najznačajnije utječe na biocenoze povremenih

stajaćica. S obzirom da je u plitkim stajaćicama solarna energija važan izvor topline, prisutne su i dnevne i sezonske varijacije u temperaturi koje zbog velikog omjera površine prema volumenu mogu biti vrlo ekstremne. Istraživanja su pokazala da povišenjem temperature dolazi do pojačane i ranije reprodukcije u ribljim populacijama, brže stope rasta i kraćeg životnog ciklusa što uzrokuje pomak u ribljim zajednicama prema manjim veličinama i većoj brojnosti (Brönmark i Hansson, 2005; Blanck i Lammouroux, 2007; Jeppesen i sur., 2010). Jačanjem predacije riba prema zooplanktonu, smanjuje se brojnost velikih algivornih filtratora koji kontroliraju razvoj fitoplanktona, što dovodi do povećane mutnoće vode (Meerhoff i sur., 2007).

Do zamućenja vode može doći i povećanim unosom hranjivih tvari (nutrijenata) u jezero, što uzrokuje pojačani razvoj fitoplanktona te onemogućuje prodor svjetlosti čime je onemogućen i rast makrofita (Meerhoff i sur., 2007). Naime, makrofiti su važni u sprečavanju resuspenzije sedimenta u kojem se talože hranjive tvari, a ujedno ih i koriste za izgradnju vlastite biomase, te one postaju nedostupne fitoplanktonu, čime se sprečava njihov nekontrolirani rast (Jeppesen i sur., 1999). Značajan utjecaj na količinu hranjivih tvari u plitkim ekosustavima imaju: podrijetlo vode kojom se depresije pune (oborine, podzemna voda), dubina, veličina slivnog područja, pokrivenost makrofitima te ljudska aktivnost (npr. ispiranje s poljoprivrednih površina). U plitkim lokvama koje se pune oborinama te imaju kratak hidroperiod, veća je koncentracija fosfata, dok je u dubljim, trajnim jezerima veća koncentracija nitrata (Sahuquillo i sur., 2012). S obzirom na malu dubinu ovih staništa značajan je utjecaj vjetrova koji uzrokuje resuspenziju sedimenta te se nutrijenti konstantno recikliraju što može dovesti do eutrofikacije.

Fotosinteza i respiracija snažno utječu na pH vode te mijenjaju količinu ugljikovog dioksida i kisika u vodi. Vrijednost pH je kontrolirana bikarbonatnim sustavom te smanjenje koncentracije ugljikovog dioksida može uzrokovati povećanje pH za 2-3 jedinice u samo nekoliko sati (Angélibert i sur., 2004; Zacharias i sur., 2007). S druge strane smanjenje pH uslijed zakiseljavanja uzrokovano ljudskim djelovanjem (emisije ugljičnog dioksida) danas predstavlja veliku opasnost za organizme jer im je smanjena mogućnost reprodukcije, a time i smanjenje brojnosti (Brönmark i Hansson, 2005). Kod zooplanktona je uočena manja brojnost većih rašljoticalaca, naročito vrsta roda *Daphnia*, dok se brojnost velikih veslonožaca kao što je *Eudiaptomus* sp. povećava (Brönmark i Hansson, 2005).

U plitkim stajaćicama izloženim utjecaju mora važan čimbenik je salinitet. Povećanje saliniteta osim direktnog utjecaja mora, može nastati uslijed podizanja razine mora, prekomjernog korištenja slatke vode za navodnjavanje i industriju te povišene temperature koja ubrzava

procesu evapotranspiracije (Williams, 2001; Schallenberg i sur., 2003). Jeppesen i sur., (2007) te Bruce i sur., (2009) utvrdili su da uslijed isparavanja vode tijekom sušnog razdoblja dolazi do povećanja saliniteta, što mijenja trofičke odnose i strukturu životinjskih zajednica u plitkim jezerima. Istraživanjem boćatih laguna Katalonije (Španjolska), kod nižeg saliniteta zabilježena je dominacija velikih rašljoticalaca, dok su kod višeg saliniteta dominirali mali rašljoticalci i veslonošci (Bruce i sur., 2009).

Kompeticija i predacija su biotički čimbenici koji najznačajnije utječu na strukturu vodenih zajednica. S obzirom da kolnjaci i rašljoticalci zauzimaju istu ekološku nišu, te su dvije skupine u kompeticiji za hranu i prostor (Wickham i Gilbert, 1980; Fernandez-Rosado i Lucena, 2001; Špoljar i sur., 2005; Habdija i sur., 2011). Veličina tijela jedinice određuje koju veličinu čestica hrane će konzumirati. Tako veće vrste, poput rašljoticalaca, filtriraju čestice hrane većih, ali i manjih dimenzija pa je time ograničen izvor hrane za manje vrste zooplanktona, kao što su kolnjaci. Na to ukazuju i istraživanja koja su proveli Habdija i sur. (2011) prema kojima je vrsta *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) potisnuta od strane planktonskih rakova (*Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848) i *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785).

Predatori se mogu podijeliti u dvije skupine: vizualni i taktilni. Za vizualne predatore kao što su ribe, važni su veličina, oblik te boja plijena kako bi bili uspješni u njegovom hvatanju. Ribama su kolnjaci teže uočljivi zbog male veličine tijela i prozirnosti, dok veslonošce teže mogu uhvatiti zbog dobre pokretljivosti. Rašljoticalci su, radi većih dimenzija i slabe pokretljivosti, osobito ranjivi te predstavljaju glavni izvor hrane planktivornim ribama (Burks i sur., 2002; Romo i sur., 2004; Compte i sur., 2011; Anton-Pardo i Armengol, 2014). Kod intenzivnije predacije riba može doći do smanjenja brojnosti zooplanktona većih dimenzija tijela, kao što su rašljoticalci, dok se povećava brojnost manjih vrsta. Tada u pelagijalu svojom brojnošću prevladavaju kolnjaci i veslonošci, dok su veliki rašljoticalci brojniji u litoralnoj zoni s makrofitima (Jeppesen i sur., 1999; Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2012). U uvjetima velike mutnoće vode, zbog smanjene vidljivosti smanjen je i predacijski pritisak vizualnih predatora te je zooplankton homogeno raspoređen od litorala do pelagijala (Castro i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011). Međutim, taktilne predatore, kao što su ličinke kukaca, ne ometa slaba osvjetljenost jer se prilikom hvatanja oslanjaju na detekciju pokreta plijena. Oni uzimaju za hranu i manje jedinice zooplanktona te u litoralnoj zoni mogu smanjiti njihove populacije. S druge strane, taktilni predatori mogu biti plijen manjih riba u litoralu, što ponovno dovodi do povećanja brojnosti manjih jedinki zooplanktona (Burks i sur., 2002).

U uvjetima dobre prozirnosti vode, izbjegavanje predatora uzrok je dnevnim migracijama zooplanktona koje mogu biti horizontalne i vertikalne, a podrazumijevaju bijeg zooplanktona od vizualnih predatora tijekom razdoblja dobre osvjetljenosti, stoga se i nazivaju dnevne migracije. Vertikalne migracije odnose se na kretanje zooplanktona iz površinskih slojeva vode u dublje, a obilježavaju duboka stratificirana jezera. Međutim, novija istraživanja su ukazala da su vertikalne migracije zooplanktona, u pridnene slojeve vode i ukopavanje u sediment, prisutne i u plitkim jezerima (Burks i sur., 2002; Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007; Jensen i sur., 2010). Horizontalne migracije se odnose na kretanja zooplanktona između pelagijala i litoralne zone s makrofitima, a u slobodnu vodu isplivaju samo noću. Takve migracije obilježavaju plitka jezera (Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007).

Makrofiti su makroskopski fotoautotrofi koji su prilagođeni životu u vodi ili pored nje. Dije se na emerzne (rastu u vodi, ali pojedini dijelovi se nalaze iznad površine vode), submerzne (u cijelosti pod vodom) i flotantne (lišće im pluta na površini vode, dok korijenje slobodno pliva u stupcu vode ili je zakorijenjeno u sedimentu) (Chambers i sur., 2007). Makrofitske sastojine imaju višestruku ulogu u strukturiranju ekosustava: stabiliraju sediment i smanjuju njegovu resuspenziju, smanjuju koncentraciju hranjivih tvari, produkciju fitoplanktona i stupnja trofije te osiguravaju zooplanktonu i bentoskim beskralješnjacima zaklon od vizualnih predatora kao i različite i bogate izvore hrane (Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2012). Efikasnost makrofita kao zaklona ovisi o njihovoj veličini, gustoći, složenosti građe te su submerzni makrofiti, kompleksne građe najefikasniji (Jeppesen i sur., 1998; Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007; Gonzalez Sagrario i sur., 2009). Upravo prisutnost predatora kao što su beskralješnjaci i male planktivorne ribe unutar makrofitskih sastojina umanjuju njihovu ulogu efikasnog skloništa zooplanktona. To potvrđuju i rezultati istraživanja koja su proveli Romo i sur. (2004); Gonzalez Sagrario i sur. (2009); Špoljar i sur. (2017) te utvrdili unutar makrofitskih sastojina smanjenje brojnosti planktonskih rakova, naročito rašljoticalaca.

### **1.3. Značaj hidroperioda za biocenoze lokvi**

Mediterranske lokve izrazito su varijabilne s obzirom na duljinu zadržavanja vode (hidroperioda), ali i samog početka vlažnog razdoblja (Zacharias i sur., 2007). Propusnost i nagib supstrata određuje količinu vode koja može ispuniti lokvu što ima utjecaj na duljinu (trajanje ispunjenosti bazena vodom) i raspon (frekvencija između isušenog i vodom ispunjenog razdoblja) hidroperioda kao jednog od najvažnijih čimbenika u strukturiranju faune povremenih

stajaćica (Boix i sur., 2001; Vanschoenwinkel i sur., 2009; Zacharias i sur., 2010). Sahuquillo i Miracle (2013) podijelili su povremene stajaćice prema duljini hidroperioda u pet kategorija (Tablica 1).

Tablica 1. Kategorije povremenih stajaćica prema duljini i rasponu hidroperioda (prema Sahuquillo i Miracle, 2013)

Kategorija lokve	Hidroperiod
Povremene s kratkim hidroperiodom (eng. <i>temporary short</i> , TS)	< 3 mjeseca
Povremene sa srednjim hidroperiodom (eng. <i>temporary intermediate</i> , TM)	Od 3 do 6 mjeseci
Povremene s dugim hidroperiodom (eng. <i>temporary long</i> , TL)	Od 6 do 9 i više mjeseci s godišnjim ljetnim isušivanjem
Semipermanentne (polustalne) (eng. <i>semi-permanent</i> , SP)	Presuše svakih nekoliko godina
Stalne (eng. <i>permanent</i> , P)	Stalne

Ovisno o prisutnosti i duljini zadržavanja vode, raspon hidroperioda može odrediti relativnu važnost biotičkih i abiotičkih čimbenika u organizaciji vodene zajednice (Arnott i Vanni, 1993). Kraći hidroperiod može onemogućiti sezonsku sukcesiju te na taj način spriječiti neka staništa u postizanju ravnoteže (Williams, 1987). S druge strane, dulji hidroperiod omogućuje promjenu okolišnih uvjeta te su Serrano i Fahd (2005) istraživanjima ukazali na povećanje brojnosti zooplanktona s duljinom hidroperioda.

Također, hidroperiod utječe i na procese u sedimentu. Tijekom sušnog razdoblja, djelovanjem svjetlosti i aerobnih procesa smanjuje se količina organske tvari u sedimentu (Serrano, 1994). Stoga dok se u stalnim stajaćicama organska tvar tijekom godina akumulira na dnu, kod povremenih stajaćica organska tvar se razgradi tijekom sušnog razdoblja te izostaje akumulacija sedimenta kao i značajne promjene u dubini (Williams i sur., 2001). Ta je pojava naročito značajna u lokvama s kraćim hidroperiodom i duljim sušnim razdobljem (TS).

#### **1.4. Ciljevi istraživanja**

Ranija istraživanja pokazala su da duljina i raspon hidroperioda (Boix i sur., 2001; Serrano i Fahd, 2005), salinitet (Jeppesen i sur., 2007; Brucet i sur., 2009), prisutnost makrofita (Gonzalez Sagrario i sur., 2009; Špoljar i sur., 2017) i predatorski pritisak (Castro i sur., 2007) imaju značajan utjecaj na strukturu zooplanktona u mediteranskim lokvama. Podaci o zooplanktonu mediteranske regije su vrlo rijetki ili ne postoje. U područjima južnog Mediterana s većom učestalošću povremenih lokvi, kao što su Španjolska i Portugal, provedena su opsežna istraživanja biocenoza povremenih lokvi, ali pretežno makrozoobentosa (Boix i sur., 2001; Brucet i sur., 2009; Anton-Pardo i Armengol, 2014). Međutim, za područje istočnog Jadrana gdje su temperature niže, a lokve manje zaslanjene, podataka ima vrlo malo. S obzirom da je zooplankton važan pokazatelj ekološkog stanja vodenog sustava, potrebna su istraživanja kako bi se utvrdilo trenutno stanje, za zaštitu i očuvanje istočnojadranskih lokvi.

Stoga, kako bi se doprinijelo boljem razumijevanju i poznavanju funkcioniranja ovih ekosustava, ciljevi rada bili su analizirati:

1. raznolikost, brojnost i trofičku strukturu zooplanktona otočnih lokvi;
2. utjecaj okolišnih čimbenika na sastav zooplanktona;
3. utjecaj predacijskog pritiska riba i beskralježnjaka na sastav zooplanktona

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje provedeno je na nekoliko lokaliteta Dugog otoka (Slika 1, Tablica 2). Dugi otok je najveći (113,3 km<sup>2</sup>) i najduži (44,4 km) otok zadarske otočne skupine, a prema razvedenosti obalne linije (indeks razvedenosti je 4,5) drugi je na Jadranu. Zbog usporednog pružanja otoka u odnosu na reljefne i geološke strukture susjednog kopna svrstan je u tip kontinentskih otoka s jasno izraženim dinarskim pravcem pružanja SZ-JI (Džaja, 2003).



Slika 1. Prikaz istraživanih lokaliteta na Dugom otoku (DO1 - DO10)



Otokom dominira krški reljef na karbonatnoj litološkoj podlozi. Geološki sastav čine vapnenci i dolomiti u kojima su se razvili različiti egzo- i endokrški reljefni oblici (grizine, žljebovi, škrape, ponikve, špilje, jame). Marinski tip reljefa karakterističan je za JZ dio otoka koji je otvoren utjecaju vjetrova s pučine i djelovanju abrazijskih procesa na temelju kojih su nastali strmci (dugootočke „stene“). Upravo zbog geoloških i geomorfoloških fenomena te iznimno vrijednog biljnog i životinjskog svijeta, južni dio otoka je 1988. godine proglašen Parkom prirode Telašćica.

Visoke temperature zraka tijekom ljeta, mala količina padalina te kontinuirani vjetar tijekom toplijeg dijela godine utječu na jaku evapotranspiraciju i izrazitu sušnost cijelog otoka, a vegetacijski pokrov čine šume bora i crnike, makija i garig. S obzirom da ljudi na tom području borave još od pretpovijesti, zbog stvaranja pašnjačkih i obradivih površina, uništavanjem vegetacijskog pokrova utjecali su na smanjivanje tankog pedološkog pokrova i izbijanje krške podloge na površinu. Stoga danas goli i polupokriveni krš dominira mnogim dijelovima otoka. Za vodoopskrbu, navodnjavanje polja i napajanje stoke, građene su lokve koje su danas, zbog neodržavanja, u znatnoj mjeri zapuštene. Na dijelovima s poljoprivredno pogodnijim tlom izgrađeni su suhozidi i terasasta polja sa brojnim maslinicima, vinogradima, poljima i vrtovima.

Istraživanje slatkovodnih biocenoza provedeno je na deset lokvi Dugog otoka: tri lokve smještene su na sjevernoj, DO1 - DO3, a sedam na južnoj strani otoka, DO4 – DO10 (Slika 1). Lokva DO9 nalazi se unutar Parka prirode Telašćica. Osnovna hidromorfometrijska obilježja istraživanih lokvi kao i pokrivenost dna makrofitima te antropogeni utjecaj prikazani su u Tablici 2. Makrofiti prisutni u istraživanim lokvama, submerznog su tipa. U većini lokvi bile su prisutne alge parožine (*Chara* sp.) i vaskularne cvjetnice uglavnom vrste roda *Potamogeton* (mrijesnjak) i tankolisni žabnjak (*Ranunculus trichophyllus*). Od ostalih makrofita zabilježena je prisutnost vaskularnih, emerznih cvjetnica koje rastu u plićim dijelovima lokvi. Od ihtiofaune, zabilježena je invazivna vrsta gambuzija (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859), prisutna samo u Žmanskome jezeru. Gambuzija je nativna vrsta u južnom dijelu Sjeverne Amerike, a početkom 20. st. unesena je i u Europu kojom je danas široko rasprostranjena. Hrani se uglavnom ličinkama kukaca i zooplanktonom, a također i ribljim jajima i mlađi te ličinkama vodozemaca. Time je značajno utjecala na populacije autohtonih vrsta riba, vodozemaca i vodenih beskralješnjaka.

Tablica 2. Morfometrijska obilježja i okolišni čimbenici istraživanih lokvi na Dugom otoku

Lokaliteti	Kratice	Koordinate	Duljina (m)	Širina (m)	Dubina (Z <sub>max</sub> , m)	Pokrivenost makrofitima (%)	Vrsta makrofita	Tip makrofita	Ribe +/-	Okolna staništa
Veli rat, svjetionik	DO1	44°08'51.4356" N 14°49'57.0720" E	10,54	6,8	0,22	100	<i>Potamogeton pectinatus</i> ; <i>Chara</i> sp.	submerzni submerzni	-	šuma, makija, neposredna blizina mora
Veli rat	DO2	44°08'30.0012" N 14°50'38.0004" E	8,8	8,06	0,37	20	<i>Veronica anagalis-</i> <i>aquatica</i> ; <i>Eleocharis palustris</i> ; <i>Chara</i> sp.	emerzni emerzni submerzni	-	maslinik
Dragove	DO3	44°06'41.1120" N 14°55'45.6708" E	12,88	11,04	0,7	0	nema		-	maslinik
Dolac	DO4	43°56'02.6304" N 15°08'54.8088" E	10,5	9	0,715	95	<i>Zannichellia palustris</i> ; <i>Ranunculus trichophyllus</i> ; <i>Chara</i> sp.	submerzni submerzni submerzni	-	vinograd, maslinik
Dugo polje 1	DO5	43°56'11.2812" N 15°07'02.8596" E	15,7	16,8	3,2	90	<i>Potamogeton trichoide</i> ; <i>Ranunculus trichophyllus</i>	submerzni submerzni	-	poljoprivredno zemljište, livade
Dugo polje 2	DO6	43°56'11.8608" N 15°07'01.4124" E	7,4	5,5	1,5	95	<i>Potamogeton</i> sp. ; <i>Chara</i> sp.	submerzni submerzni	-	poljoprivredno zemljište, livade
Dugo polje 3	DO7	43°56'12.6960" N 15°07'00.0264" E	10,8	10,6	1,2	0	nema		-	poljoprivredno zemljište, livade
Dugo polje 4	DO8	43°56'12.7968" N 15°07'00.8508" E	12,3	5,4	1,27	50	<i>Drepanocladus aduncus</i>	submerzni	-	poljoprivredno zemljište, livade
Kruševo polje, Sali	DO9	43°55'00.4980" N 15°10'03.6588" E	15,7	11,2	1,6	100	<i>Potamogeton trichoides</i> ; <i>Ranunculus trichophyllus</i>	submerzni submerzni	-	vinogradi
Žmansko jezero	DO10	43°56'53.9556" N 15°05'59.9136" E	17,3	15,6	2,78	40	<i>Oenanthe fistulosa</i> ; <i>Ranunculus trichophyllus</i>	emerzni submerzni	Gambuzija ( <i>Gambusia</i> <i>holbrooki</i> )	poljoprivredno zemljište, livade

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona i makrozoobentosa

Uzorci zooplanktona, makrozoobentosa i riba sakupljeni su tijekom svibnja 2017. godine na 10 lokaliteta Dugog otoka (Slika 1). Uzorci zooplanktona, ukoliko je bilo moguće zbog velike pokrovnosti makrofitima, uzimani su na horizontalnom profilu lokve uključujući tri točke uzorkovanja: bez makrofita (pelagijal), uz rub makrofita prema slobodnoj vodi te unutar makrofitskih sastojina. Na svakom lokalitetu uzimani su triplicati filtrirajući 10 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$ . Svaki triplikat (volumena 100 mL) je konzerviran u 4%-tnom formalinu. U svrhu koncentriranja volumena na 10 do 15 mL, uzorci su centrifugirani (3000 rpm, u trajanju 5 minuta; EBA-20, Hettich). Svaki je uzorak izbrojan u tri poduzorka korištenjem svjetlosnog mikroskopa oznake JenaVal (Carl Zeiss Jena, 125 $\times$  i 400 $\times$ ), a brojnost zooplanktona izražena je kao srednja vrijednost triplikata brojem jedinki po litri (jed/L). Za determinaciju vrsta korišteni su sljedeći ključevi: Voigt i Koste (1978) za Rotifera, Amoros (1984) za Cladocera i Einsle (1993) za Copepoda.

Biomase zooplanktona izračunate su koristeći jednadžbe bazirane na geometrijskim formulama koje najviše odgovaraju obliku tijela pojedinih vrsta (Ruttner-Kolisko, 1977). Dobivena vrijednost biovolumena je uzeta kao mokra masa, WM (eng. *wet mass*) iz koje je izračunata suha biomasa DM (eng. *dry mass*), koja je iznosila 10% mokre biomase (Radwan, 2007).

Za podjelu zooplanktona u ekološke skupine prema zahtjevima staništa, korištena je podjela na: semiplanktonske (SP) i planktonske (P) vrste. Semiplanktonske vrste vezane su uz dno jezera ili makrofite, dok planktonske vrste životni ciklus provode u vodenom stupcu.

Provedena su mjerenja veličine tijela jedinki rašljoticalaca te su svrstane u odgovarajuće kategorije. U kategoriju malih, svrstani su rašljoticalci veličine tijela < 1mm, dok su velikima smatrane jedinke veličine > 1 mm.

Za raspodjelu zooplanktona u funkcionalne prehrambene ili trofičke skupine, FFG (eng. *Functional Feeding Guilds*) korištena je podjela na: mikrofiltratore (detritivori), makrofiltratore (algivori) i predatore (Špoljar i sur., 2018). Mikrofiltratori (MiF) se hrane suspenzijom čestica detritusa, bakterija i jednostaničnih alga, veličine 15 – 20  $\mu\text{m}$ . Makrofiltratori (MaF) se hrane česticama veličine od 5  $\mu\text{m}$  do 50  $\mu\text{m}$ , uglavnom algama, uključujući i nitaste alge, a ponekad i praživotinjama. Predatori (P) se hrane uglavnom drugim zooplanktonom i praživotinjama.

Omjer trofičkih skupina, GR (eng. *guild ratio*) kreće se u rasponu od -1 do +1, a izračunat je na temelju biomasa prema izrazu  $GR = (DM_{(MaF + P)} - DM_{MiF})/DM_{ukupno}$  (Smith i sur., 2011).

Uzorci makrozoobentosa, u kojima su razmatrani taktilni predatori, uzimani su u litoralu Surberovom mrežom (25 × 25 cm) te su konzervirani u 70 % alkoholu, a nakon toga su izolirani po sistematskim skupinama (Nilsson, 1996, 1997). Predatorske vrste izdvojene su prema Moogu (2002).

Od riba, kao vizualnih predatora, jedino u Žmanskome jezeru (DO10) bila je prisutna jedna vrsta, gambuzija (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859). Uzorci su uzeti mrežom te je za analizu zabilježena njihova prisutnost/odsutnost.

### 3.2. Sakupljanje i analiza limnoloških čimbenika

Na terenu su izmjereni osnovni limnološki čimbenici: temperatura (°C), koncentracija otopljenog kisika (mg/L), zasićenje kisikom (%), pH vrijednost (Hatch HQ30d), prozirnost (m, Secchi disk), konduktivitet (μS/cm, Hach sensION5). Salinitet je razmatran preko vrijednosti konduktiviteta i koncentracije klorida.

Paralelno su na odabranim lokalitetima, uzimani i uzorci za kemijsku analizu vode i izvora hrane. U laboratoriju su spektrofotometrijskim metodama određivani sljedeći parametri: ortofosfati (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L), nitriti (mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L), nitrati (mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), amonijak (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L), kloridi (mg Cl<sup>-</sup>/L) i biomasa fitoplanktona izražena kao koncentracija klorofila *a* Chl *a* (μg/L). Ukupni fosfor (mg P/L) i ukupni dušik (mg N/L) određivani su digestivno-spektrofotometrijskim metodama. Volumetrijskim metodama je određivana je otopljena organska tvar, DOM (eng. *dissolved organic matter*) temeljem kemijske potrošnje kisika (KPK, mg O<sub>2</sub>/L), a gravimetrijskim metodama određivana je suspendirana organska tvar, POM (eng. *particulate organic matter*) temeljem gubitka pri žarenju ili AFDM (mg/L, eng. *ash free dry mass*).

Ionskom kromatografijom određene su hranjive tvari: ortofosfati, amonijak, nitriti, nitrati i kloridi (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995).

Ukupni fosfor, TP (eng. *Total Phosphorus*) određen je prevođenjem u ortofosfate, spektrofotometrijski metodom s amonijevim molibdatom (APHA 1995). U kiselom mediju (pH < 1) amonij–molibdat reagira s fosfatima i stvara molibdofosfornu kiselinu. Nastala kiselina

reducira se s kositar–kloridom i daje intenzivno fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjeri se spektrofotometrijski na valnoj duljini 690 nm. Ukupni dušik, TN (eng. *Total Nitrogen*) određen je Kjeldahlovom metodom (APHA 1995).

Koncentracija otopljene organske tvari (DOM) određena je metodom potrošnje kisika iz kalij-permanganata (Špoljar i sur., 2005). Grijanjem otopine kalij-permanganata u kiselom mediju oslobađa se kisik koji oksidira organsku tvar otopljenu u vodi.

Kao potencijalni izvori hrane razmatrani su: koncentracija suspendiranih organskih tvari (POM) i biomasa fitoplanktona Chl *a*. Koncentracija klorofila *a* određena je metodom etanolske ekstrakcije prema Nusch (1980). Koncentracija suspendirane organske tvari određena je postupkom suhog i žarenog ostatka (Špoljar i sur., 2011). Uzorci se najprije suše na 105 °C (suhi ostatak, DM, eng. *dry mass*). Nakon toga se važu te se žare u mufolnoj peći na 600 °C/6 h (žareni ostatak koji sadrži anorgansku tvar). Razlika suhog i žarenog ostatka predstavlja količinu organske tvari, AFDM (mg/L).

### 3.3. Obrada podataka

U prikazu podataka korištene su osnovne statističke mjere kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Koeficijent varijacije (CV) je korišten za usporedbu fizikalno-kemijskih čimbenika između lokvi, a označava omjer vrijednosti standardne devijacije uzorka sa srednjom vrijednosti podataka u uzorku. Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, 2007).

Pojam konstantnosti ili učestalosti vrste (K) uveden je kako bi se vrste povezale sa staništem, a označava stupanj s kojim se jedna vrsta susreće u određenom tipu zajednice (Odum, 1971). Za izračun je korištena slijedeća formula:  $K_n = (u_n/U) \times 100$  ( $u_n$  - broj lokvi u kojem se pojavljuje vrsta; U – ukupan broj lokvi), a kategorije su: eukonstantne vrste (75-100% uzoraka), konstantne (50-75 % uzoraka), akcesorne (25-50 % uzoraka) i akcidentalne ili rijetke (1-25 % uzoraka).

Omjer trofičkih skupina, GR (eng. *guild ratio*) izračunat je na temelju biomasa prema izrazu  $GR = (DM \text{ algivori} + \text{predatori} - DM \text{ mikrofiltratori})/DM \text{ (ukupno)}$ , a kreće se u rasponu od -1 do +1 (Smith i sur., 2011).

Prije statističke analize svi podaci su logaritamski transformirani [ $\log(x+1)$ ] i provedena je provjera raspodjele Shapiro-Wilk's T testom, koji je ukazao na njihovu nepravilnu raspodjelu.

Stoga su za daljnju analizu fizikalno-kemijskih čimbenika, brojnosti, raznolikosti i biomase zooplanktona korištene neparametrijske analize (program Statistica 8). Za utvrđivanje značajnosti interakcija između abiotičkih i biotičkih čimbenika korišten je Spearmanov koeficijent korelacije ( $r, p < 0,05$ ). Za izračunavanje Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) korišten je programski paket Primer 6 (PRIMER-E, Ltd). U navedenom programu provedena je i multivarijantna analiza sličnosti (ANOSIM). ANOSIM daje  $r$  vrijednost koja se može kretati u rasponu od -1 do +1, dok 0 ukazuje da nema razlike između setova podataka (Clarke i Warwick, 2001). Vrijednosti za  $r > 0,75$  protumačene su kao potpuno različite,  $r > 0,5$  kao sličnije, ali još uvijek jasno različite te  $r < 0,25$  kao slabo različite (Dražina i sur., 2013). Za utvrđivanje sličnosti između lokvi temeljem fizikalno-kemijskih parametara korišteno je nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS). Kanonička analiza korespondencije (CCA) korištena je za pojašnjavanje odnosa između zooplanktona (brojnost 23 dominantne planktonske svojte) i 9 okolišnih čimbenika (konduktivitet, klorofil  $a$ , suspendirana organska tvar, makrozoobentos, ribe, ukupni dušik, dubina, prozirnost, makrofiti). Za obje analize korišten je programski paket Canoco 5.

## 4. REZULTATI

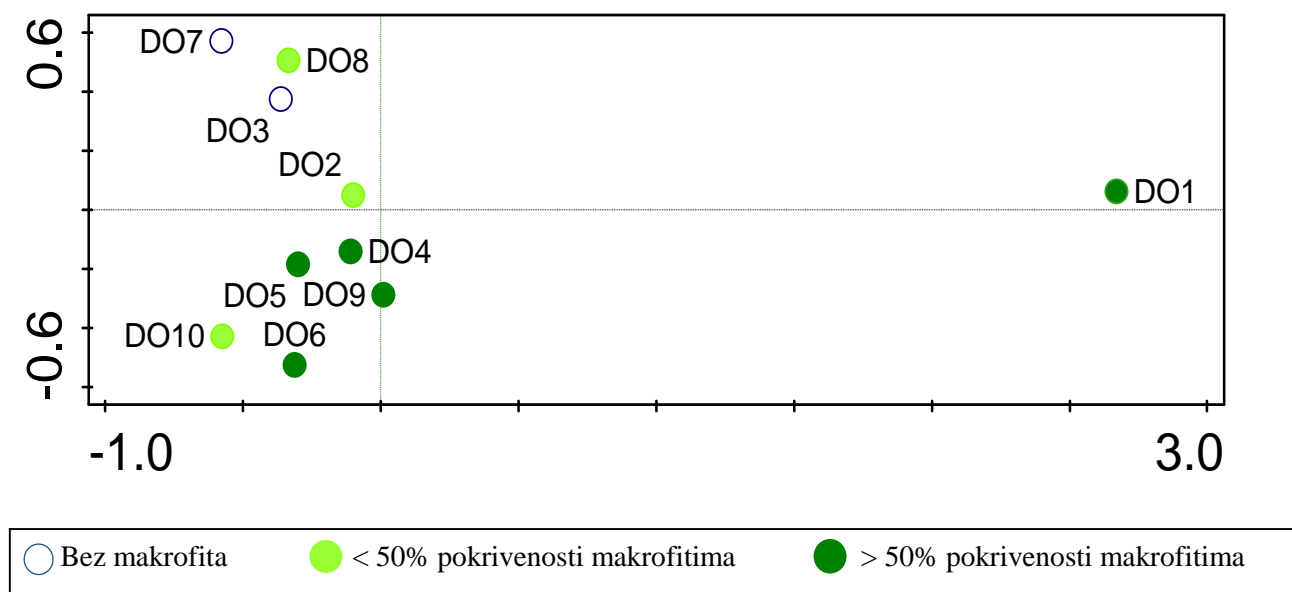
### 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici

Analizirani fizikalno-kemijski čimbenici u deset istraživanih lokvi Dugog otoka prikazani su u Prilogu 1, a njihove vrijednosti između lokaliteta statistički su se značajno razlikovale (ANOSIM,  $R = 0,556$ ;  $p < 0,05$ ). Najmanje oscilacije čimbenika okoliša između lokvi zabilježene su u temperaturi (CV = 17 %), pH vrijednosti (CV = 13 %) i koncentraciji otopljenih organskih tvari, DOM (CV = 20 %) (Tablica 3).

Tablica 3. Minimalne (Min), maksimalne (Max), srednje vrijednosti (SV) i standardna devijacija (SD) fizikalno – kemijskih čimbenika u istraživanim lokvama Dugog otoka

Limnološki čimbenici	Min	Max	SV	±	SD
Temperatura (°C)	18,4	29,6	22,6	±	3,9
Prozirnost <sub>SD</sub> (m)	0,2	2,1	0,9	±	0,7
Otopljeni kisik (mg/L)	3,7	21,6	12,5	±	5,4
Zasićenje kisikom (%)	42	238	148,3	±	65,1
pH	7,6	10,8	9,5	±	1,2
Konduktivitet (μS/cm)	128,5	2590	475,5	±	745,6
Kloridi (mg Cl <sup>-</sup> /L)	32,9	753,6	129,4	±	224
Ortofosfati (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	0,05	0,8	0,204	±	0,271
Ukupni P (mg P/L)	0,05	1,01	0,334	±	0,322
Nitriti (mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	0,013	1,293	0,189	±	0,416
Nitrati (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,033	0,371	0,168	±	0,112
Amonijak (mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0,0001	3,285	0,475	±	1,042
Ukupni N (mg N/L)	0,875	4,817	1,869	±	1,257
DOM (mg O <sub>2(Mn)</sub> /L)	19,592	30,494	24,364	±	4,990
Fitoplankton (μg Chl <i>a</i> /L)	0,474	5,2096	2,351	±	2,415
POM (mg AFDM/L)	0,051	0,261	0,136	±	0,069

Rezultati NMDS analize ukazuju na udruživanje lokvi prema njihovoj pokrivenosti makrofitima u dvije skupine (Slika 2). Okolišni čimbenici bili su sličniji u skupini lokvi s manjom pokrovnošću makrofitima, nižom koncentracijom kisika te višim konduktivitetom (DO2, DO3, DO7, DO8) u odnosu na skupinu lokvi s većom pokrovnošću makrofita, višom koncentracijom kisika te nižim konduktivitetom (DO4, DO5, DO6, DO9) (Prilog 1). Lokva DO1 bila je potpuno pokrivena makrofitima, ali visokog konduktiviteta i saliniteta te je zasebno je izdvojena iz obje skupine lokvi (Tablica 2).

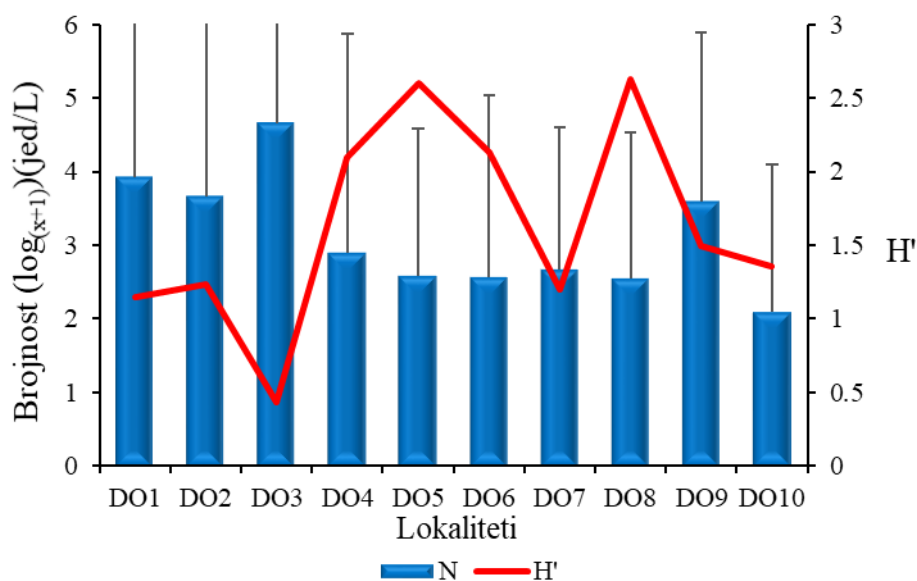


Slika 2. Nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS) lokvi Dugog otoka s obzirom na pokrivenost makrofitima i fizikalno-kemijske čimbenike

#### 4.2. Obilježja zooplanktona u lokvama Dugog otoka

U zooplanktonu istraživanih deset lokvi Dugog otoka zabilježeno je 56 vrsta. Najveća raznolikost zabilježena je u kolnjaka, 40 vrsta, zatim u rašljoticalaca, 10 vrsta, a najmanja u veslonožaca, 6 vrsta (Prilog 2).





Slika 3. Oscilacije ukupne brojnosti (N) i raznolikosti (H') zooplanktona u istraživanim lokvama Dugog otoka

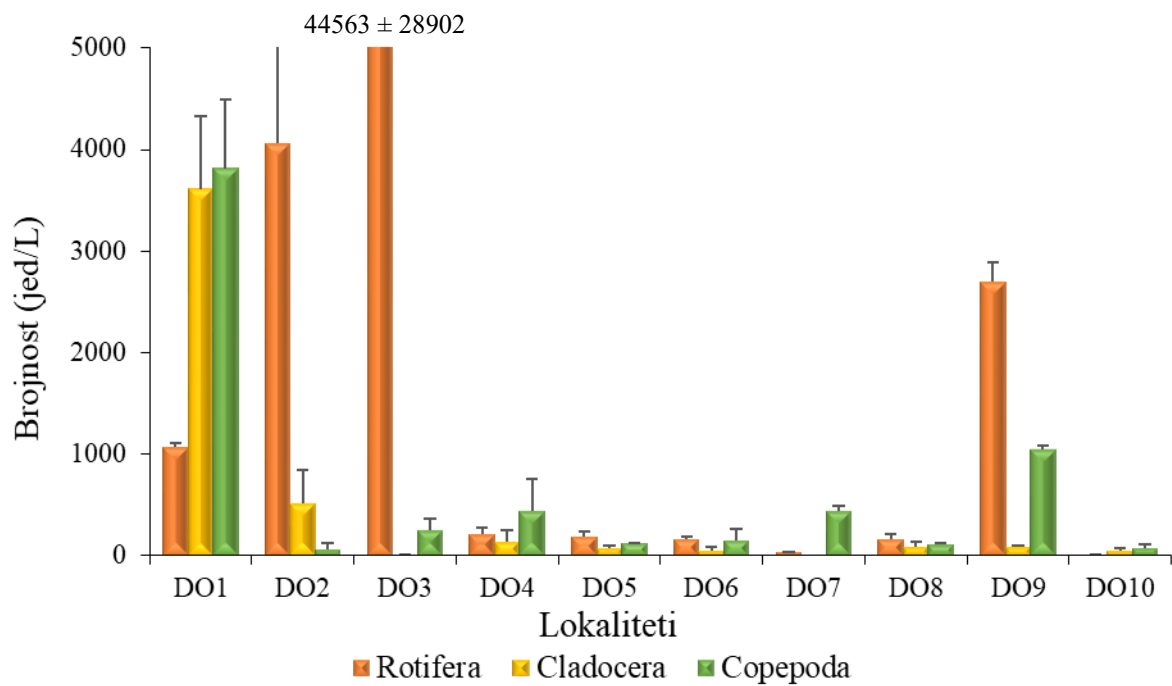
Vrijednosti Shannonovog indeksa raznolikosti kretale su se u rasponu od 0,43 do 2,6 (Slika 3). Raznolikošću zooplanktona isticala su se lokve DO8 ( $H' = 2,625$ ) i DO5 ( $H' = 2,602$ ) koje su smještene na vrlo maloj udaljenosti (nekoliko metara) te su bile umjereno do znatno pokrivena makrofitima. Najmanja je raznolikost ( $H' = 0,43$ ) zabilježena u lokvi bez makrofita, DO3 (Slika 3). Konstantno u svim lokvama bili su prisutni ličinački razvojnim stadiji veslonožaca, naupliji (100 %), a nešto manje kopepoditi (90 %) i adulti vrste *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (80 %). Od rašljoticalaca konstantne su bile vrste *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776) (80 %) te *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller, 1776) (70 %), a od kolnjaka *Lecane bulla* (Gosse, 1851) i *Lepadella ovalis* (Müller, 1786) (obje 70%). Bioraznolikosti su uvelike pridonijele i rijetke vrste, s učestalošću od 10 do 25 %. Od prisutnih rašljoticalaca i veslonožaca većina vrsta se pojavljivala sporadično i s malom brojnošću populacija (< 10 jed/L). Kod kolnjaka polovica zabilježenih vrsta, njih 20, bile su rijetke. Najviše vrsta niske učestalosti i brojnosti zabilježeno je u lokvama sa slabom pokrivenošću makrofitima, DO2 (9 vrsta) i DO8 (12 vrsta) (Prilog 2).

Brojnosti zooplanktona u istraživanim lokvama su se statistički značajno razlikovale (ANOSIM,  $R = 0,6$ ;  $P = 0,01$ ), a značajna je razlika bila i između lokvi s visokom pokrivenošću makrofitima i onih slabo pokrivenih ( $R = 0,9$ ;  $P = 0,05$ ).

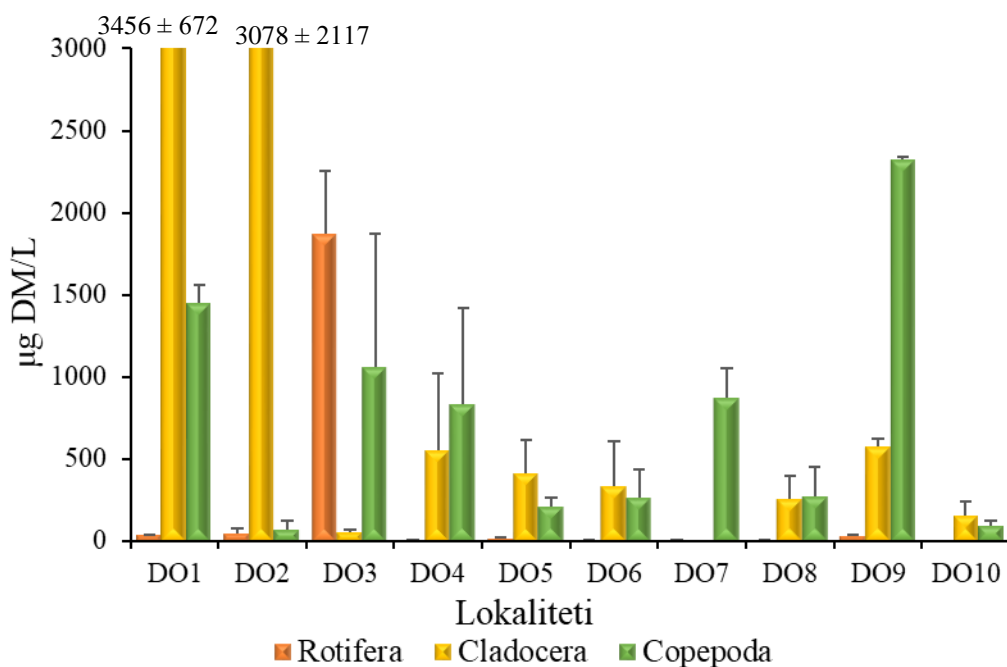
Visoke brojnosti zooplanktona, kretale su se oko 3500 jed/L (DO1, DO2, DO9), a najveća je vrijednost,  $44826 \pm 28792$  jed/L, zabilježena u lokvi DO3. Navedene lokve obilježavala je

visoka biomasa fitoplanktona (4 - 5 Chl *a* µg/L). Najmanja brojnost, 125 ± 97 jed/L, bila je u povremenoj lokvi DO10, s vrlo niskom biomasom fitoplanktona (Slika 3, Prilog 1).

Kolnjaci su u ukupnoj brojnosti zooplanktona prevladavali u 6 lokvi, s udjelom od 45 % do najviše 99 % u lokvi DO3 bez makrofita, gdje je ujedno zabilježena i njihova najveća brojnost (Slika 4). Tri vrste kolnjaka ostvarile su visoke brojnosti (> 1000 jed/L), svaka na zasebnom lokalitetu, dok su se brojnosti ostalih vrsta kretale uglavnom oko nekoliko desetaka jed/L, po lokalitetu (Prilog 2). Visoku brojnost kolnjaka postigle su tri vrste: planktonska detritivorna *Anuraeopsis fissa* (Gosse, 1851) u DO3 (41383 ± 28021 jed/L), planktonska omnivorna *Trichocerca pusilla* (Jennings, 1903) u DO2 (1984 ± 1697 jed/L) i semiplanktonska detritivorna *Lecane closterocerca* (Schmarda, 1859) u DO9 (2294 ± 320 jed/L). Brojnost rašljoticalaca je u većini lokvi bila < 100 jed/L te udjelom nisu prevladavali niti u jednoj lokvi. Izrazito niske brojnosti rašljoticalaca zabilježene su u lokvama bez makrofita, DO3 (10 ± 3 jed/L) i DO7 (0,2 ± 0,1 jed/L) dok je njihova najveća brojnost, 3612 ± 1013 jed/L, zabilježena u slanoj lokvi s makrofitima, DO1 (Slika 4). Dvije vrste rašljoticalaca istakle su se brojnošću populacija: *Alona rectangula* Sars, 1861, 3600 ± 1018 jed/L, u DO1 i *Moina brachiata* (Jurine, 1820), 488 ± 481 jed/L, u DO2, dok se brojnost ostalih vrsta kretala oko nekoliko desetaka jed/L, po lokalitetu (Prilog 2). Veslonošci su u 4 lokve bili najbrojnija skupina zooplanktona, s udjelom u rasponu od 45 % do 92 %. U slanoj lokvi DO1, zabilježena je najveća brojnost veslonožaca, 3821 ± 956 jed/L, u dvije lokve postigli su brojnost > 1000 jed/L, dok su se u ostalim lokvama njihove brojnosti kretale od ≤ 100 do 450 jed/L (Slika 4, Prilog 2). Najveći udio u brojnosti veslonožaca zauzimali su razvojni stadiji naupliji i kopepoditi (Prilog 2). Glavni predstavnik ove skupine bila je vrsta *E. serrulatus*, s brojnošću 226 ± 15 jed/L u makrofitima prekrivenoj lokvi DO9, dok je u ostalim lokvama brojnost ove vrste bila dvostruko manja. Ostale vrste veslonožaca su se pojavile u jednoj ili dvije lokve s brojnošću populacija oko 100 jed/L (Prilog 2).



Slika 4. Oscilacije brojnosti pojedinih skupina zooplanktona na istraživanim lokalitetima Dugog otoka



Slika 5. Oscilacije biomasa pojedinih skupina zooplanktona na istraživanim lokalitetima Dugog otoka

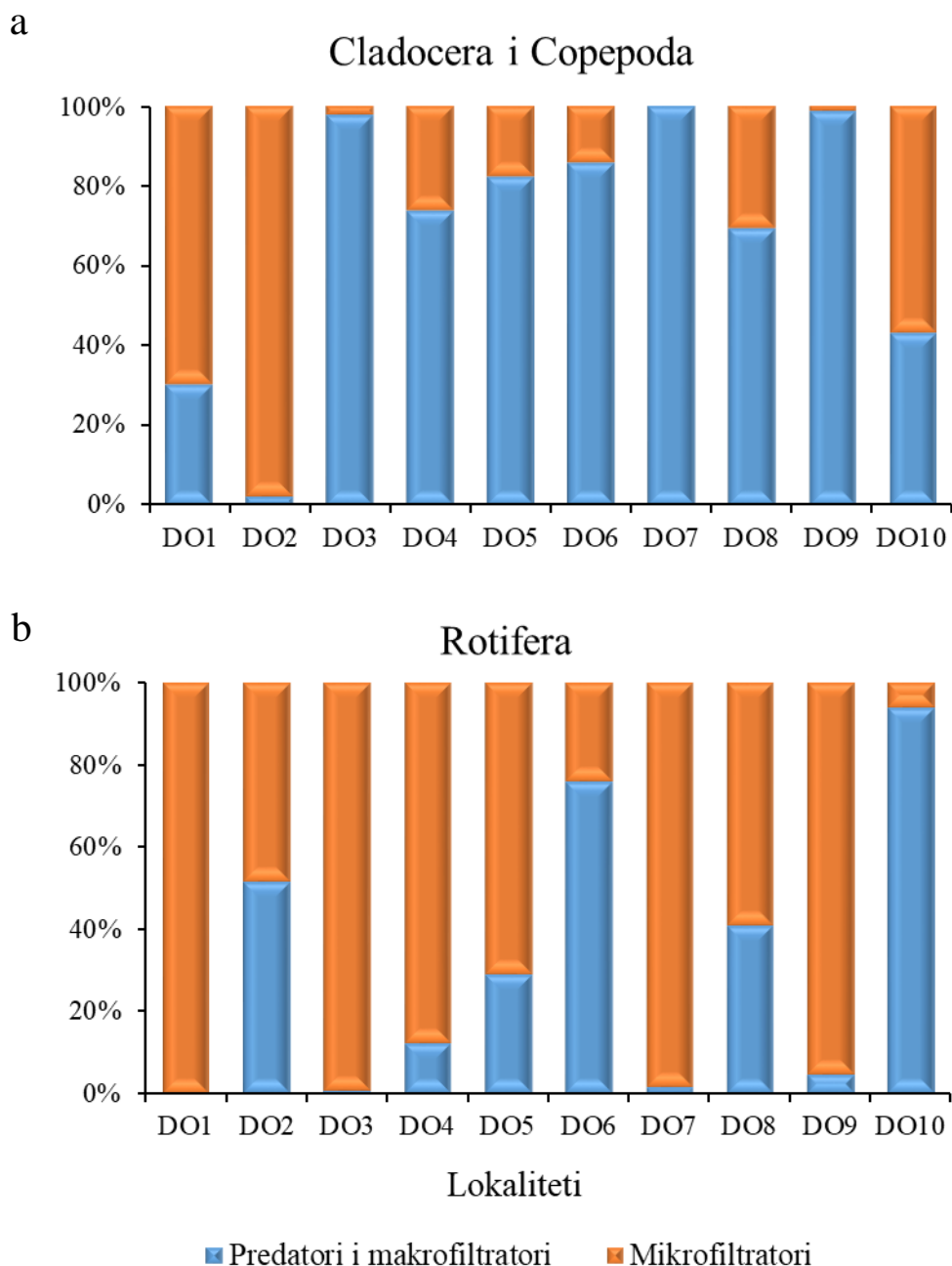
Biomasa zooplanktona se u istraživanim lokvama statistički značajno razlikovala (ANOSIM,  $R = 0,6$ ;  $P = 0,005$ ). Značajna razlika zabilježena je između lokvi s velikom pokrovnošću makrofitima i onih sa srednjom pokrovnošću ( $R = 0,5$ ;  $P = 0,04$ ), te između velike i slabe pokrivenosti ( $R = 0,9$ ;  $P = 0,05$ ).

Rašljoticalci i veslonošci izmijenjivali su se u prevladavanju biomasom zooplanktona u svim lokvama, osim u lokvi DO3 gdje su dominirali kolnjaci s biomasom  $1869 \pm 382 \mu\text{g DM/L}$ , a najveću biomasu imale su jedinke vrste *Epiphanes senta* (Müller, 1773) ( $1539 \pm 511 \mu\text{g DM/L}$ ) (Slika 5). U ostalim lokvama vrijednosti biomase kolnjaka nisu prelazile  $50 \mu\text{g DM/L}$ . Rašljoticalci su u dvije sjeverne lokve postigli biomasu veću od  $3000 \mu\text{g DM/L}$  (DO1, DO2), u dvije lokve biomasa im je bila  $< 50 \mu\text{g DM/L}$  (DO3, DO7), a u ostalim su se lokvama vrijednosti kretale u rasponu od 100 do  $500 \mu\text{g DM/L}$ . Biomasi rašljoticalaca najviše je pridonijela vrsta *A. rectangula* ( $3420 \pm 967 \mu\text{g DM/L}$ ). Veslonošci su visoku biomasu postigli u tri lokve (Slika 5), s najvećom vrijednosti u lokvi DO9 ( $> 2000 \mu\text{g DM/L}$ ), u kojoj se najviše isticala vrsta *E. serrulatus* s  $1382 \pm 94 \mu\text{g DM/L}$ . U ostalim lokvama su se biomase veslonožaca kretale oko nekoliko stotina  $\mu\text{g DM/L}$  (Slika 5).

#### 4.3. Trofička struktura zooplanktona u lokvama Dugog otoka

Predatorske vrste rakova su bile zastupljene populacijama veslonožaca (adulti i kopepoditi Cyclopoida), dok su ličinački stadiji veslonožaca, naupliji, predstavljali makrofiltratore. Populacije većih rašljoticalaca (*Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Simocephalus*) pripadale su makrofiltratorima, a manjih (*Chydorus*, *Alona*), mikrofiltratorima (Prilog 2).

U lokvi DO9, prekrivenoj makrofitima, zabilježena je najveća biomasa makrofiltratorskih rakova ( $542 \pm 60 \mu\text{g DM/L}$ ), s rašljoticalcem, *S. vetulus* ( $537 \pm 67 \mu\text{g DM/L}$ ) i predatora ( $2256 \pm 13 \mu\text{g DM/L}$ ), s veslonošcem, *E. serrulatus* ( $1382 \pm 94 \mu\text{g DM/L}$ ). Mikrofiltratorski rakovi su najveći udio postigli u lokvi DO2, dok su najveću biomasu ostvarili u makrofitima prekrivenoj i slanoj lokvi DO1 ( $3895 \pm 967 \mu\text{g DM/L}$ ) s populacijom vrste *A. rectangula* (Slika 6a). U lokvi DO7 zabilježeni su samo predatori veslonožaca ( $> 90 \%$ ) i njihovi ličinački stadiji naupliji kao predstavnici makrofiltratora (Slika 6a).

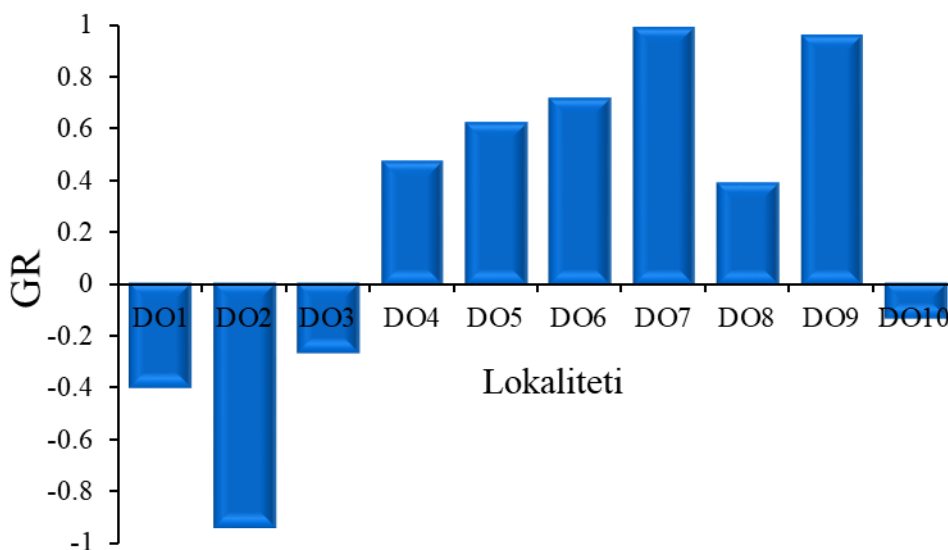


Slika 6. Udjeli biomase trofičkih skupina predatori i mikrofiltratori: a) planktonskih rakova (Cladocera, Copepoda) i b) kolnjaka (Rotifera) na lokalitetima Dugog otoka

Kod kolnjaka, mikrofiltratori su dominirali u trofičkom sastavu i udjelu, a najveći udio (100 %) ostvarili su u lokvama DO1 i DO3 (Slika 6b). Biomasa mikrofiltratora bila je ujedno i najveća u lokvi DO3, bez makrofita ( $1860 \pm 657 \mu\text{g/L}$ ). Najveću biomasu makrofiltratorski kolnjaci ( $24 \mu\text{g/L}$ ) postigli su u lokvi s visokom biomasom fitoplanktona, DO2 (Slika 6b). Tomu je uglavnom pridonijela vrsta *Trichocerca pusilla* ( $22 \pm 19 \mu\text{g/L}$ ). Predatori nisu značajno

pridonijeli ukupnoj biomasi kolnjaka (maksimalno  $2 \pm 3 \mu\text{g/L}$ ), a najveći udio ( $> 90\%$ ) postigli su u malobrojnem zooplanktonu lokve s ribama, DO10 (Slika 6b).

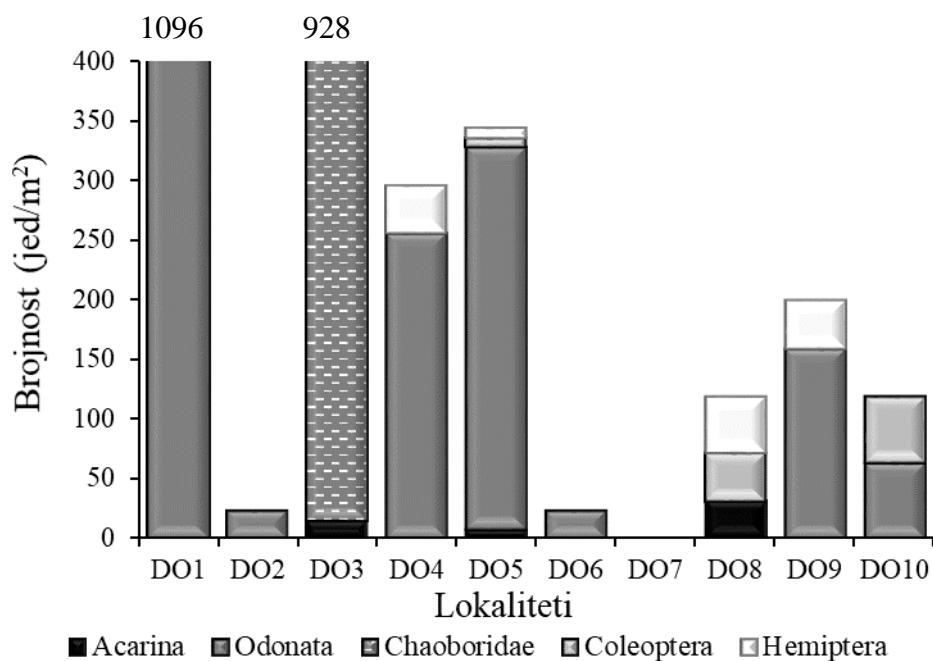
GR vrijednosti su u većini lokvi bile pozitivne što ukazuje na dominaciju predatorskih vrsta i algivora. U ostalim lokvama (DO1, DO2, DO3, DO10) je ta vrijednost bila negativna te su u njima dominirali mikrofiltratori (Slika 7).



Slika 7. Oscilacije biomasenih omjera trofičkih skupina zooplanktona (GR) na lokalitetima Dugog otoka

#### 4.4. Predatori u lokvama Dugog otoka

U makrozoobentosu istraživanih lokvi Dugog otoka taktilni predatori bili su predstavljeni beskralježnjacima iz skupina Acarina (vodengrinje), ličinačkim stadijima iz skupina Odonata (vretenca) i Diptera (dvokrilci) iz porodice Chaoboridae te odraslim jedinkama iz skupina Hemiptera (polukrilci) i Coleoptera (kornjaši). Od vizualnih predatora, riba, zabilježena je samo prisutnost gumbuzije, u lokvi DO10, dok u lokvi DO7 uopće nije zabilježena prisutnost predatora.



Slika 8. Promjene brojnosti predatorskog makrozoobentosa na lokalitetima Dugog otoka

Najveća ukupna brojnost predatora zabilježena je na lokalitetu DO1 (1096 jed/m<sup>2</sup>) s populacijama vrsta reda Odonata (*Sympetrum fonscolombii* (Selys, 1840), *Sympetrum striolatum* (Charpentier, 1840), *Chalcolestes viridis* (Vander Linden, 1825)). Visoku brojnost ostvarile su i vrste iz porodice Chaoboridae, zabilježene samo u lokvi DO3 (928 jed/m<sup>2</sup>), dok su se predatori iz ostalih skupina makrozoobentosa pojavljivali na pojedinim lokalitetima s brojnošću  $\leq 50$  jed/m<sup>2</sup> (Slika 8).

#### 4.5. Interakcije biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima Dugog otoka

Glavnina statistički značajnih interakcija (Spearmanov koeficijent korelacije,  $p < 0,05$ ) biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima Dugog otoka prikazana je u Tablici 4. Povećanje biomase fitoplanktona ( $r = -0,24$ ;  $p > 0,05$ ) i koncentracije suspendirane organske tvari negativno je utjecalo na prozornost. Povećanju prozirnosti vodenih tijela doprinijelo je prisustvo makrofita ( $r = 0,39$ ;  $p > 0,05$ ) koji su ujedno pozitivno utjecali i na koncentraciju kisika (Tablica 4). Viša vrijednost saliniteta negativno je utjecala na bioraznolikost ( $r = -0,47$ ;  $p > 0,05$ ). U lokvama veće dubine, prozirnosti i pokrovnosti makrofitima bioraznolikost je pokazivala rastuće vrijednosti ( $r = 0,34$ ;  $p > 0,05$ ). Makrofiti su također pogodovali povećanju brojnosti populacija rašljoticalaca i biomase njihovih većih, algivornih makrofiltratorskih

predstavnik. Nadalje, proizlazi da se u uvjetima visoke biomase fitoplanktona i manje prozirnosti povećavala brojnost zooplanktona kao i biomasa mikrofiltratorskih kolnjaka (Tablica 4). Biotički odnosi bolje su prikazani u multivarijantnoj analizi, CCA.

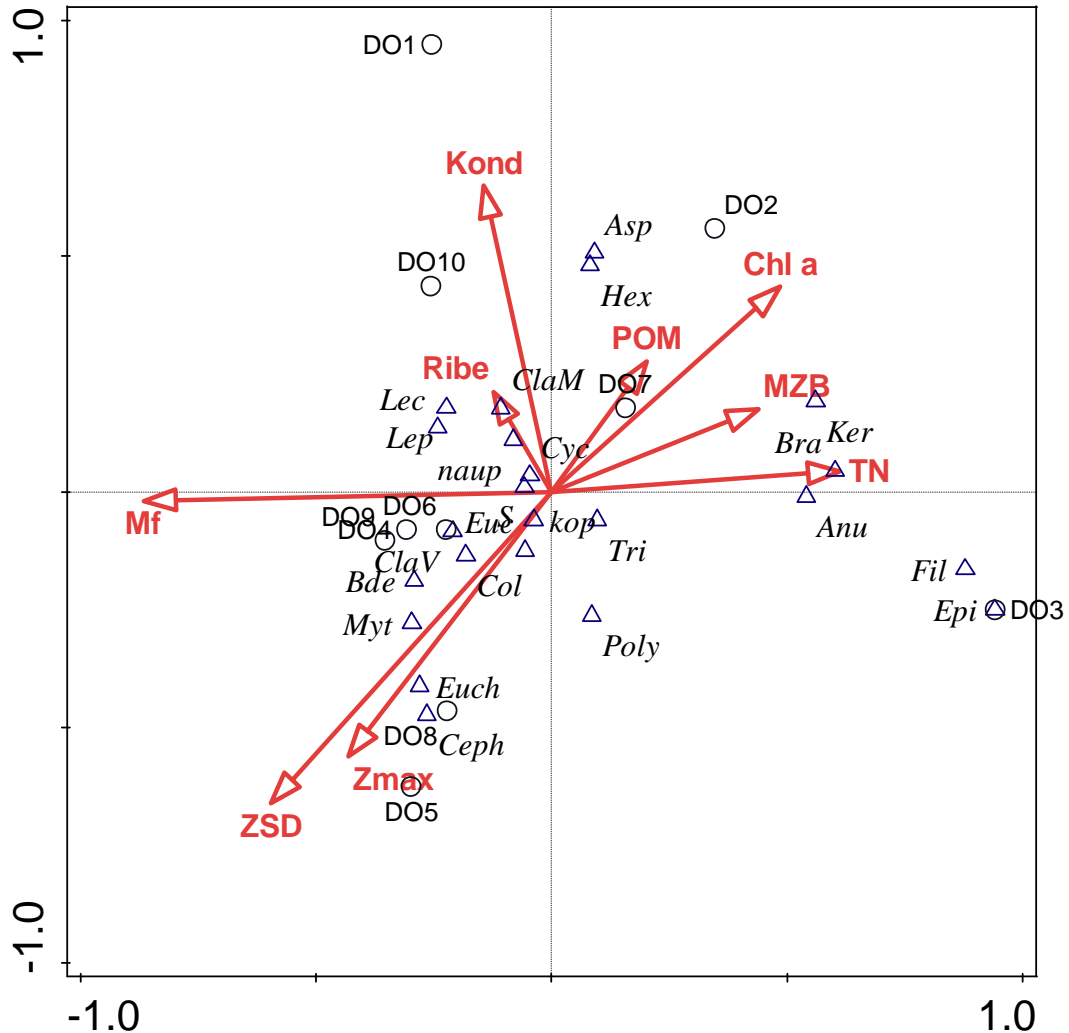
Tablica 4. Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije,  $r$  ( $p < 0,05$ ;  $n = 10$ ) u interakcijama abiotičkih i biotičkih čimbenika na istraživanim lokalitetima Dugog otoka

Abiotički i biotički čimbenici	Prozirnost (m)	Fitoplankton (Chl <i>a</i> $\mu\text{g/L}$ )	POM (mg AFDM/L)	Pokrivenost makrofitima (%)	Bioraznolikost (H')
Dubina (m)	0.78				0.64
Prozirnost (m)			-0.67		0.84
Otopljeni kisik (mg/L)				0.65	
POM (mg AFDM/L)	-0.67				
Ukupna brojnost (jed/L)		0.86			-0.71
Brojnost Cladocera (jed/L)				0.64	
Brojnost Rotifera (jed/L)		0.91			
Biomasa MaF-Cladocera ( $\mu\text{g/L D.W.}$ )	0.81			0.75	
Biomasa MiF-Rotifera ( $\mu\text{g/L D.W.}$ )		0.77			
Biomasa MaF-Rotifera ( $\mu\text{g/L D.W.}$ )			-0.70		

U provedenoj multivarijantnoj analizi, CCA, prve dvije osi objašnjavaju 62 % interakcija, posebno predacijske odnose, u istraživanim lokvama. Makrofiti objašnjavaju 36 % varijance ( $p = 0,002$ ) te su pozitivno utjecali na brojnost semiplanktonskih kolnjaka (*Lecane*, *Lepadella*, *Cephalodella*), velikih, algivornih rašljoticalaca i veslonožaca (Slika 9). Drugi značajni čimbenik je bila biomasa fitoplanktona kao izvora hrane, objašnjava 17 % varijance. Iz grafa proizlazi da se u uvjetima bez makrofita i visoke biomase fitoplanktona povećavala brojnost prvenstveno planktonskih konjaka (*A. fissa*, *Brachionus*, *Keratella*; Slika 9). Potencijalne predatorske skupine, ribe i makrozoobentos, su u CCA analizi pokazale dvojak utjecaj u odnosu na zooplankton: makrozoobentos je negativno utjecao na semiplanktonske kolnjake, rašljoticalce i veslonošce tj. skupine koje su preferirale makrofitske sastojine, dok su ribe negativno utjecale na euplanktonsku zajednicu (Slika 9). Makrofitske sastojine održavale su prozirnost što je bilo značajno za lokve veće dubine te je indiciralo veću brojnost



makrofiltratorskih rašljoticalaca. Povećanje koncentracije suspendirane organske tvari negativno je utjecalo na prozirnost, ali je pozitivno utjecaj imalo na mikrofiltratorske planktonske kolnjake i rašljoticalce (Slika 9).



Slika 9. CCA analiza zooplanktona, biotičkih i abiotičkih čimbenika u istraživanim lokvama Dugog otoka. Okolišni čimbenici: Chl *a* - klorofila *a*; Kond - konduktivitet; Mf - makrofiti; MZB - makrozoobentos; POM - suspendirana organska tvar; TN - ukupni dušik; Zmax - dubina; ZSD – prozirnost mjerena Secchi diskom. Zooplankton: Anu - *Anuraeopsis fissa*; Asp - *Asplanchna* spp; Bde - Bdelloidea; Bra - *Brachionus* spp.; Ceph - *Cephalodella* spp.; Col - *Colurella* spp.; Epi - *Epiphanes senta*; Euch - *Euchlanis dilatata*; Fil - *Filinia dilatata*; Hex - *Hexarthra* spp.; Ker - *Keratella* spp.; Lec - *Lecane* spp.; Lep - *Lepadella* spp.; Myt - *Mytilina brevispina*; Poly - *Polyarthra dolichoptera*; Tri - *Trichocerca* spp.; Euc - *Eucyclops serrulatus*; kop - kopepoditi; naup - naupliji; Cyc - ostali Cyclopoida; ClaV - veliki, makrofiltratorski rašljoticalci; ClaM – sitni, mikrofiltratorski rašljoticalci; S – broj svojti

## 5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada su doprinos poznavanju neistraženog sastava zooplanktona u specifičnim staništima – jadranskim semipermanentnim lokvama, koje predstavljaju zaštićena staništa mediteranskih lokvi. Sastav zooplanktona u lokvama razmatran je s obzirom na pokrivenost makrofitima, utjecaj saliniteta i predaciju. Rezultati interakcija zooplanktona s abiotičkim i biotičkim čimbenicima ukazuju na značajnu ulogu makrofita u strukturiranju zooplanktonske zajednice čija je prisutnost, odnosno odsutnost, utjecala na ostale okolišne čimbenike (prozirnost, koncentracija kisika), povećavala raznolikost zooplanktona te brojnost rašljoticalaca koji su u makrofitskim sastojinama nalazili zaklon od predatora. Ujedno su makrofiti i algivorni rašljoticalci održavali prozirnost tih lokvi, smanjujući biomasu fitoplanktona i koncentraciju suspendirane organske tvari. S obzirom da se radi o otočnim lokvama, ihtiofauna se rijetko pojavljuje te prevladavaju taktilni predatori čiji se najznačajniji učinak odrazio na smanjenje populacija malih vrsta zooplanktona koji obitavaju u makrofitima.

Veću prozirnost zabilježenu u lokvama objašnjavam prisutnošću submerznih makrofita koji sprečavaju resuspenziju sedimenta i smanjuju koncentraciju hranjivih tvari potrebnih za produkciju fitoplanktona koji uvelike utječe na smanjenje prozirnosti (Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2012). Veća biomasa fitoplanktona navodi se kao glavni uzrok mutnoće jezera, ali je u ovom istraživanju u pojedinim lokvama istovremeno zabilježena velika prozirnost i visoka biomasa fitoplanktona. Prema istraživanjima koja su proveli Jeppesen i sur. (1999) i Špoljar i sur. (2016) moguća je veća vrijednost biomase fitoplanktona uz izraženu prozirnost, ukoliko zajednicu zooplanktona čine vrste koje se prvenstveno hrane suspendiranom organskom tvari te nisu utjecale na smanjenje fitoplanktona. Pojavu veće koncentracije klorofila *a*, u blizini makrofitskih sastojina, spominju i Kuczynska-Kippen i Nagengast (2006) u svom istraživanju. Autori ukazuju na prisutnost gustog perifitona koji prekriva makrofite te uzrokuje povećanje koncentracije klorofila *a*. Malu prozirnost u lokvama bez ili s malo makrofita (DO3, DO7 i DO10) objašnjavam visokom biomasom fitoplanktona u lokvi DO3, dok su kod druge dvije lokve zabilježene veća koncentracija otopljene i suspendirane organske tvari (Špoljar i sur., 2011). Navedeni čimbenici onemogućili su prodor svjetlosti koja se navodi kao jedan od najvažnijih čimbenika odgovornih za pokrivenost dna makrofitima (Meerhof i sur., 2007). Stoga su u lokvama DO3 i DO7 makrofiti potpuno izostali, dok su u lokvi DO10 razvili mali postotak pokrovnosti. Također, u lokvi DO10, kao jedinoj lokvi s prisutnom ihtiofaunom, mutnoća je, vjerojatno, dodatno potaknuta bioturbacijom koju su uzrokovale ribe

svojim kretanjem. Rezultati ovog istraživanja su ukazali da se prozirnost povećavala i s dubinom lokvi, a pretpostavljam da je uzrok tomu manja resuspenzija sedimenta u dubljim lokvama.

U plitkim jezerima značajna je interakcija sedimenta i stupca vode, tj. resuspenzija sedimenta, naročito uslijed djelovanja vjetra, što uzrokuje oslobađanje nutrijenata iz sedimenta. Sahuquillo i sur. (2012) u svom istraživanju povremenih lokvi u Španjolskoj, ukazuju na više koncentracije ukupnog fosfora i ukupnog nitrata, kao tipične za povremene lokve zbog intenzivne resuspenzije sedimenta na čije čestice je vezan fosfor. Nadalje, navode da su koncentracije fosfata veće u lokvama s kraćim hidroperiodom jer prilikom sušnog razdoblja nitrati ispare, dok se fosfati talože u sedimentu, što znači da se s duljim hidroperiodom, omjer nitrata i fosfata povećava, tj. koncentracija nitrata značajno je veća u odnosu na koncentraciju fosfata. Rezultati dobiveni u ovom istraživanju ukazuju na značajno veću koncentraciju ukupnog dušika u odnosu na fosfor, što pretpostavljam ukazuje na dulji hidroperiod istraživanih lokvi.

U istraživanim lokvama, najučestalije vrste makrofita bile su *Chara* sp., *Potamogeton* spp. i *Ranunculus trichophyllus*. Navedene vrste mogu se naći u staništima različitih stupnjeva trofije te su istraživanja ukazala da se *Chara* sp. uglavnom pojavljuje u prozirnim jezerima s malo hranjivih tvari, dok se *Potamogeton* i *Ranunculus* češće javljaju u jezerima s višim stupnjem trofije (Søndergaard i sur., 2010; Pelechaty i sur., 2013). Rezultati dobiveni izračunom GR-a, ukazali su na dominaciju mikrofiltratora u četiri istraživane lokve (DO1 - DO3, DO10), što je pokazatelj višeg stupnja trofije u tim lokvama, a u njih dvije (DO1, DO2) je zabilježena prisutnost upravo vrste *Chara* sp. S obzirom da je navedena vrsta zabilježena i u lokvama s malo hranjivih tvari, što je u skladu s ranijim istraživanjima, njezino pojavljivanje u lokvama višeg stupnja trofije moglo bi ukazivati na potencijalno buduće smanjenje trofije. Slične rezultate dobili su i Hargeby i sur. (2007) u istraživanjima provedenim na dva plitka jezera u Švedskoj, gdje je u uvjetima veće mutnoće zabilježena prisutnost vrste *Potamogeton pectinatus*, koju je postepeno zamijenila vrsta *Chara* sp., uz povećanje prozirnosti vode.

Zbog eolske salinizacije i blizine mora u krškom reljefu, salinitet je značajan čimbenik koji utječe na brojnost i raznolikost vrsta (Kaya i sur., 2010; Malekzadeh Viayeh i Špoljar, 2012). Najviši salinitet zabilježen je u lokvi DO1 koja je u neposrednoj blizini mora te je izložena njegovom izravnom utjecaju. Rezultati ovog istraživanja ukazali su na manju bioraznolikost, ali veću ukupnu brojnost zooplanktona u navedenoj lokvi. Povećanje brojnosti zooplanktona s povećanjem saliniteta u skladu je s prijašnjim istraživanjima koja su proveli Brucet i sur. (2009, 2010) u Španjolskoj i Jensen i sur. (2010) u Danskoj. Provedena istraživanja su ukazala na

tendenciju pojavljivanja malih vrsta zooplanktona i dominaciju kolnjaka. Navedeni autori su identificirali nekoliko vrsta planktonskih rakova tipičnih za jezera povišeg saliniteta: *Megacyclops viridis* (Jurine, 1820), *Chydorus sphaericus*, *Alona rectangula*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia* sp., dok su Kaya i sur., (2010) proučavajući kolnjake zabilježili prisutnost vrsta *Brachionus plicatilis* Müller, 1786, *Synchaeta oblonga* Ehrenberg, 1831, *Hexarthra fennica* (Levander, 1892), *Lecane bulla*, *Lepadella ovalis*. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na povećanje brojnosti populacija ili broja malih vrsta rašljoticalaca i kolnjaka, ali također i suprotno ranijim istraživanjima, najveću brojnost su razvili veslonošci, uglavnom ličinački stadiji naupliji. Također, vrste zabilježene u ovom istraživanju, djelomično odgovaraju ranije spomenutima. Drugačija struktura zooplanktona u ovim lokvama mogla bi se pripisati specifičnosti ovih staništa, u kojima salinitet ipak nije toliko izražen kao u aridnijim područjima, ali isto tako, potrebno je intenzivirati istraživanja kako bi se prikupilo više podataka i donijeli točniji zaključci. Na dominaciju planktonskih rakova u odnosu na kolnjake ukazali su Horvath i sur. (2014) i Toth i sur. (2014) u istraživanjima provedenim u povremenim lokvama diljem Panonske nizine (Austrija, Mađarska, Srbija). U navedenim lokvama nije bilo ihtiofaune koja bi utjecala na smanjenje brojnosti planktonskih rakova te su oni nesmetano mogli vršiti pritisak i kompeticiju na kolnjake i tako ih spriječiti da razviju visoku brojnost.

Kao potencijalni izvori hrane zooplanktona, razmatrani su biomasa fitoplanktona i suspendirana organska tvar. U većini istraživanih lokvi udjelom su prevladavali makrofiltratori i predatori, uglavnom u lokvama s niskom biomasom fitoplanktona, što vjerojatno ukazuje na intenzivan grejzing. Veća biomasa fitoplanktona zabilježena je u lokvama s većom brojnošću mikrofiltratorskih kolnjaka (DO1, DO2, DO3, DO9). Iako se mikrofiltratori primarno hrane detritusom, mogu također konzumirati i fitoplankton manjih dimenzija (Pourriot, 1977). Pretpostavljam da je u tim lokvama fitoplanktonska zajednica sastavljena upravo od sitnih algi, što je uzrokovalo i veću brojnost mikrofiltratora.

Ukupna brojnost i raznolikost pozitivno su vezani uz prisutnost makrofitskih sastojina. Veća raznolikost zabilježena je u lokvama sa submerznim makrofitima koji zooplanktonu zbog kompleksnosti habitusa pružaju raznovrstan izbor staništa, veću količinu hrane te osiguravaju veću zaštitu od predatora, što je u skladu s drugim istraživanjima o utjecaju makrofita na vodene biocenoze (Jeppesen i sur., 1999; Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2012). Također, u lokvama s makrofitima zabilježena je veća brojnost semiplanktonskih kolnjaka (*Lecane*, *Lepadella*) i rašljoticalaca (*Alona*, *Chydorus*) koji makrofitske sastojine koriste kao podlogu s kojom su povezani te nalaze u epifitonu značajan izvor hrane kao i znatne količine suspendirane

organske tvari. S druge strane euplanktonske vrste brojnije su u lokvama s malo ili bez makrofita, homogeno raspoređene u stupcu vode (Kuczynska-Kippen i Nagengast, 2006).

Ribe, kao vizualni predatori, hrane se prvenstveno planktonskim rakovima većih dimenzija te time smanjuju kompeticiju i/ili predaciju rakova nad kolnjacima, čime se brojnost kolnjaka povećava (Brooks i Dodson, 1965; Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2012). U ovom istraživanju je u jednoj lokvi (DO10) zabilježena prisutnost riblje populacije koja je promijenila strukturu zooplanktona u odnosu na ostale lokve gdje ribe nisu prisutne. Rezultati su ukazali na izrazito nisku ukupnu brojnost zooplanktona, naročito rašljoticalaca koji su većinom bili zastupljeni mikrofiltratorima, dok su veslonošci kao pokretljiviji od rašljoticalaca, a time i brži u bijegu od predatora, zabilježili veće brojnosti (Burks i sur., 2002; Romo i sur., 2004). Međutim, brojnost kolnjaka se u lokvi s ribama, gambuzijama, suprotno ranijim istraživanjima, nije povećala nego se smanjila, a također i u odnosu na planktonske rakove. Dobivene rezultate objašnjavam time da su ribe zbog nedostatka većeg zooplanktona, počele konzumirati makrozoobentoske predatore u makrofitskim sastojinama (Odonata, Coleoptera) te uzrokovale smanjenje brojnosti taktilnih predatora, što je ujedno smanjilo i pritisak na planktonske rakove. Zbog smanjenog predacijskog pritiska, planktonski rakovi su bili u mogućnosti održati dovoljno visoku brojnost da onemoguće dominaciju kolnjaka. Rezultati istraživanja koje su proveli Romo i sur. (2004) ukazali su na negativan učinak odraslih stadija i ličinki veslonožaca u odnosu na kolnjake. Ličinke naupliji s kolnjacima su u kompetitivnom odnosu za hranu, dok su adultni veslonošci predatori i smanjuju brojnost kolnjaka, što bi moglo objasniti rezultate ovog istraživanja.

Glavni predatori u istraživanim lokvama bili su taktilni, bentoski beskralješnjaci. Rezultati provedenih analiza ukazali su na pozitivnu interakciju između brojnosti makrozoobentosa, biomase fitoplanktona i prisutnosti makrofitskih sastojina. Pretpostavljam da je uzrok tome da se povećanjem biomase fitoplanktona i pokrivenosti dna makrofitima, povećava brojnost zooplanktona, glavnog plijena za predatore iz makrozoobentosa (Cattaneo i sur., 1998). Također, raznolike i guste sastojine makrofita daju širok raspon niša za predatore te bogat izvor hrane (Burks i sur., 2002; Florencio i sur., 2013). Ranija istraživanja ukazala su na smanjenje brojnosti zooplanktona, naročito rašljoticalaca i kolnjaka, kada su u većoj brojnosti u makrofitima bili prisutni taktilni predatori (Gonzalez Sagrario i sur., 2009; Brucet i sur., 2010; Špoljar i sur., 2017), što se podudara s rezultatima ovog istraživanja. S druge strane, u lokvi DO3 bez makrofita, zabilježena je velika brojnost porodice Chaoboridae, predatora pelagijala te je tu zabilježena vrlo mala brojnost rašljoticalaca. Istraživanja koja su proveli MacKay i sur.

(1990) i Jäger i sur. (2011) ukazala su na veći predacijski pritisak porodice Chaoboridae prema planktonskim rakovima, naročito rašljoticalcima, u odnosu na kolnjake. Prema dobivenim rezultatima, rašljoticalci su bili primarni plijen ovih predatora te su zabilježili najmanju brojnost, dok su veslonošce počeli konzumirati tek kada je u jezeru ponestalo rašljoticalaca. Općenito, izrazito visoku brojnost ostvarili su planktonski sitni, mikrofiltratorski kolnjaci *Anuraeopsis*, *Keratella*, *Brachionus* s različitim obrambenim mehanizmima (lorika, tjelesni nastavci) što je, pretpostavljam, dodatno onemogućilo jači predatorski pritisak taktilnih predatora.

Rezultati ovog rada ukazuju na raznoliku i bogatu zajednicu koja sudjeluje u strukturiranju ovih izrazito specifičnih staništa. Analize provedene tijekom ovog istraživanja dale su uvid u trenutno stanje ovih staništa te se pokazalo da je većina lokvi u prilično dobrom stanju, s prisutnim makrofitima, većom biomasom makrofiltratora i nižeg stupnja trofije. S obzirom da je provedno samo jedno uzorkovanje, u proljeće, potrebna su još dodatna istraživanja za detaljnije procjene ekološkog stanja ovih lokvi i po potrebi poduzeti mjere za njihovo očuvanje.

## 6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zooplanktona, kao i abiotičkih i biotičkih čimbenika, na deset lokaliteta Dugog otoka, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Zooplankton u mediteranskim lokvama obilježava velika raznolikost i brojnost populacija, a na njegovu strukturu najviše su utjecali biotički čimbenici (makrofiti, biomasa fitoplanktona, predatori).
- Raznolikost zooplanktona bila je veća u lokvama s većom pokrovnošću makrofitima, koje pružaju širok izbor staništa, hrane i zaklon od predatora. Povećani salinitet negativno je utjecao na bioraznolikost. U bočatoj lokvi su veću brojnost postigli planktonski rakovi u odnosu na kolnjake te ukazali na veću sposobnost adaptacije na zaslanjenje.
- Brojem vrsta dominirali su kolnjaci s 40 vrsta, a prevladavali su i u brojnosti te u većini lokvi razvili mnogobrojne populacije u odnosu na planktonske rakove, što ih obilježava kao otporne i konstansne vrste u nestabilnim okolišnim uvjetima.
- U trofičkoj strukturi zooplanktona detritivori su prevladavali u lokvama s većom biomasom fitoplanktona te su u njima udjelom prevladavali kolnjaci. Planktonski rakovi su većinom bili zastupljeni predatorima i algivorima te su prevladavali u lokvama s niskom biomasom fitoplanktona što znači da su bili efikasni u njegovom filtriranju.
- Prisutnost predatora negativno je utjecala na brojnost zooplanktona. Ribe su svojom predacijom uzrokovale smanjenje brojnosti makrofiltratorskih rašljoticalaca, dok je prisutnost makrozoobentoskih predatora smanjila brojnost mikrofiltratora.
- Rezultati analiza ukazali su na niži stupanj trofije u većini istraživanih lokvi, dok je u njih četiri zabilježen veći udio detritivora koji se povezuju s povišenom trofijom. Makrofiti i predatori značajno su utjecali na zooplankton i njegovu važnost u hranidbenim mrežama krških lokvi te su prilog neophodnom očuvanju ovih specifičnih ekosustava.

## 7. LITERATURA

Angélibert S., Marty P., Céréghino R., Giani N. (2004). Seasonal variations in the physical and chemical characteristics of ponds: Implications for biodiversity conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14: 439–456.

Anton-Pardo M., Armengol X. (2014). Aquatic invertebrate assemblages in ponds from coastal Mediterranean wetlands. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 50: 217–230.

APHA (1985). *Standard methods for the examination of water and wastewater* 16th. Ed. Amer. Pub. Health Assoc, New York.

Arnott S.E., Vanni M.J. (1993). Zooplankton assemblages in fishless bog lakes: influence of biotic and abiotic factors. *Ecology* 74: 2361–2380.

Blank A., Lamouroux N. (2007). Large-scale intraspecific variation in life-history traits of European freshwater fish. *Journal of Biogeography* 34: 862–875.

Boix D., Sala J., Moreno-Amich R. (2001). The faunal composition of Espolla pond (NE Iberian peninsula): the neglected biodiversity of temporary waters. *Wetlands* 21: 577–592.

Brendonck L, De Meester L. (2003). Egg banks in freshwater zooplankton: evolutionary and ecological archives in the sediment. *Hydrobiologia* 491: 65–84.

Brooks J.H., Dodson S.I. (1965). Predation, body size, and composition of plankton. *Science* 150: 28–35.

Brönmark C., Hansson L.A. (2005). *The Biology of Lakes and Ponds*. Oxford University. Press Inc, New York.

Brucet S., Boix, D., Gascón S., Sala J., Quintana X., Badosa A., Søndergaard M., Lauridsen T.L., Jeppesen E. (2009). Species richness of crustacean zooplankton and trophic structure of brackish lagoons in contrasting climate zones: north temperate Denmark and Mediterranean Catalonia (Spain). *Ecography* 32: 692–702.



Brucet S., Boix D., Quintana X.D., Jensen E., Nathansen L.W., Trochine C., Meerhoff M., Gascón S., Jeppesen E. (2010). Factors influencing zooplankton size structure at contrasting temperatures in coastal shallow lakes: Implications for effects of climate change. *Limnology and Oceanography* 55: 1697–1711.

Burks R.L., Lodge D.M., Jeppesen E., Lauridsen T.L. (2002). Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* 47: 343–365.

Castro B.B., Marquesç S.M., Gonçalves F. (2007). Habitat selection and diel distribution of the crustacean zooplankton from a shallow Mediterranean lake during the turbid and clear water phases. *Freshwater biology* 52: 421–433.

Cattaneo A., Galanti G., Gentinetta S., Romo S. (1998). Epiphytic algae and macroinvertebrates on submerged and floating-leaved macrophytes in an Italian lake. *Freshwater Biology* 39: 725–740.

Céréghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S. (2008). The ecology of European ponds: Defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597: 1–6.

Chambers P.A., Lacoul P., Murphy K.J., Thomaz S.M. (2007). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 9–26.

Clarke K.R., Warwick R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E. Plymouth.

Compte J., Gascón S., Quintana X.D., Boix D. (2011). Fish effects on benthos and plankton in a Mediterranean salt marsh. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 409: 259–266.

De Meester L., Declerck S., Stoks R., Louette G., Van de Meutter F., De Bie T., Michels E., Brendonck L. (2005). Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 715–725.

Dražina T., Špoljar M., Primc B., Habdija I. (2013). Small-scale patterns of meiofauna in a bryophyte covered tufa barrier (Plitvice Lakes, Croatia). *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* 43: 405–416.

Džaja K. (2003). Geomorfološke značajke Dugog otoka. *Geoadria* 8: 5–44.

- Eitam A., Noren C., Blaustein L. (2004). Microturbellarian species richness and community similarity among temporary pools: relationships with habitat properties. *Biodiversity and Conservation* 13: 2107–2117.
- Estlander S., Nurminen L., Olin M., Vinni M, Horppila J. (2009). Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 605: 109–120.
- Fernandez-Rosado M.J., Lucena J. (2001). Space-time heterogeneities of the zooplankton distribution in La Concepcion reservoir (Istan, Malga, Spain). *Hydrobiologia* 455: 157–170.
- Florencio M., Díaz-Paniagua C., Gómez-Rodríguez C., Serrano L. (2014). Biodiversity patterns in a macroinvertebrate community of a temporary pond network. *Insect Conservation and Diversity* 7: 4–21.
- Forro L., Korovchinsky N.M., Kotow A.A., Petrussek A. (2008). Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 177–184.
- Frisch D., Green A. (2007). Copepods come in first: Rapid colonization of new temporary ponds. *Fundamental and Applied Limnology* 168: 289–297.
- González-Sagrario M.A., Balseiro E., Ituarte R., Spivak E. (2009). Macrophytes as refuge or risky area for zooplankton: a balance set by littoral predacious macroinvertebrates. *Freshwater Biology* 54: 1042–1053.
- Habdija I., Primc-Habdija B., Špoljar M., Perić, M.S. (2010). Ecological determinants of rotifer vertical distribution in a coastal karst lake (Vrana Lake, Cres Island, Croatia). *Biologia* 66: 130–137.
- Hargeby A., Blindow I., Andersson G. (2007). Long-term Patterns of Shifts between Clear and Turbid States in Lake Krankesjön and Lake Tåkern. *Ecosystems* 10: 28–35.
- Horváth Z., Vad C.F., Tóth A., Zsuga K., Boros E., Vörös L., Ptacnik R. (2014). Opposing patterns of zooplankton diversity and functioning along a natural stress gradient: when the going gets tough, the tough get going. *Oikos* 123: 461–471.

- Jäger I.S., Hölker F., Flöder S., Walz N. (2011). Impact of *Chaoborus flavicans* -Predation on the Zooplankton in a Mesotrophic Lake – a Three Year Study. *International Review of Hydrobiology* 96: 191–208.
- Jensen E., Brucet S., Meerhoff M., Nathansen L., Jeppesen E. (2010). Community structure and diel migration of zooplankton in shallow brackish lakes: role of salinity and predators. *Hydrobiologia* 646: 215–229.
- Jeppesen E., Jensen J.P., Søndergaard M., Lauridsen T.L. (1999). Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408/409: 217–231.
- Jeppesen E., Søndergaard M., Pedersen A.R., Jürgens K., Strzelczak A., Lauridsen T.L., Johansson, L.S. (2006). Salinity Induced Regime Shift in Shallow Brackish Lagoons. *Ecosystems* 10: 48–58.
- Jeppesen E, Meerhoff M, Holmgren K., Gonzalez-Bergonzoni I., Teixeira-de Mello F., Declerck S.A.J., De Meester L., Søndergaard M., Lauridsen T.L., Bjerring R., Conde-Porcuna J.M., Mazzeo N., Iglesias C., Reizenstein M., Malmquist H.J., Liu Z., Balaya D., Lazzaro X. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential ecosystem effects. *Hydrobiologia* 646: 73–90.
- Kaya M., Fontaneto D., Segers H., Altındağ A. (2010). Temperature and salinity as interacting drivers of species richness of planktonic rotifers in Turkish continental waters. *Journal of Limnology* 69: 297–304.
- Kuczyńska-Kippen N.M., Nagengast B. (2006). The influence of the spatial structure of hydromacrophytes and differentiating habitat on the structure of rotifer and cladoceran communities. *Hydrobiologia* 559: 203–212.
- Kuczyńska-Kippen N., Basińska A.M., Świdnicki K. (2013). Specificity of zooplankton distribution in meteorite crater ponds (Morasko, Poland). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 409: 08.
- MacKay N.A., Carpenter S.R., Soranno P.A., Vanni M.J. (1990). The impact of two *Chaoborus* species on a zooplankton community. *Canadian Journal of Zoology* 68: 981–985.

- Malekzadeh Viayeh R., Špoljar M. (2012). Structure of rotifer assemblages in shallow water bodies of semi-arid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia* 686: 73–89.
- Marrone F., Barone R., Naselli Flores L. (2006). Ecological characterization and cladocerans, calanoid copepods and large branchiopods of temporary ponds in a Mediterranean island (Sicily, southern Italy). *Chemistry and Ecology* 22: 181–190.
- Meerhoff M., Iglesias C., De Mello F. T., Clemente J. M., Jensen E., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2007). Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* 52: 1009–1021.
- Moog O. (2002). *Fauna Aquatica Austriaca*. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.
- Nilsson A. (1996): *Aquatic insects of North Europe 1*. Apollo Books, Stenstrup.
- Nilsson A. (1997): *Aquatic insects of North Europe 2*. Apollo Books, Stenstrup.
- Nusch E.A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 14: 14–36.
- Odum P.E. (1971). *Fundamentals of ecology*. W.B. Saunders company. Philadelphia, London, Toronto.
- Oertli B., Biggs J., Céréghino R., Grillas P., Joly P., Lachavanne J.-B. (2005). Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 15: 535–540.
- Pełechaty M., Pronin E., Pukacz A. (2013). Charophyte occurrence in *Ceratophyllum demersum* stands. *Hydrobiologia* 737: 111–120.
- Pourriot R. (1977). Food and feeding habits of Rotifera. *Archiv für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 8: 243–260.
- Radwan S. (2004). Rotifers (Rotifera). *The Freshwater Fauna of Poland*. 32. Polish Hydrobiological Society, University of Łódź.

- Ricci, C. (2001). Dormancy patterns in rotifers. *Hydrobiologia* 446: 1–11.
- Romo S., Miracle M.R., Villena M.-J., Rueda J., Ferriol C., Vicente E. (2004). Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate. *Freshwater Biology* 49: 1593–1607.
- Ruttner-Kolisko A. (1977). Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Archiv für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 8: 71–76.
- Sahuquillo M., Miracle M.R., Morata S.M., Vicente E. (2012). Nutrient dynamics in water and sediment of Mediterranean ponds across a wide hydroperiod gradient. *Limnologica* 42: 282–290.
- Sahuquillo M., Miracle M.R. (2013). The role of historic and climatic factors in the distribution of crustacean communities in Iberian Mediterranean ponds. *Freshwater Biology* 58: 1251–1266.
- Schallenberg M., Hall C.J., Burns C.W. (2003). Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecology-Progress Series* 251: 181–189.
- Scheffer M., van Nes E. (2007). Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584: 455–466.
- Segers H. (2007). Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 49–59.
- Serrano L. (1994). Sources, abundance and disappearance of polyphenolic compounds in temporary ponds of Donana National Park (South-western Spain). *Marine and Freshwater Research* 45: 1555–1564.
- Serrano L., Fahd K. (2005) Zooplankton communities across a hydroperiod gradient of temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain). *Wetlands* 25: 101–111.
- Smith H.A., Ejsmont-Karabin J., Hess T.M., Wallace R.L. (2009). Paradox of planktonic rotifers: Similar structure but unique trajectories in communities of the Great Masurian Lakes (Poland). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 30: 951–956.

Søndergaard M., Johansson L.S., Lauridsen T.L., Jørgensen T.B., Liboriussen L., Jeppesen E. (2010). Submerged macrophytes as indicators of the ecological quality of lakes. *Freshwater Biology* 55: 893–908.

Špoljar M., Habdija I., Primc-Habdija B., Sipos L. (2005). Impact of environmental variables and food availability on Rotifer assemblage in the karstic barrage lake Visovac (Krka River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 90: 555–579.

Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M., Grčić Z. (2011): Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96: 175–190.

Špoljar M., Dražina T., Šargač J., Kralj-Borojević K., Žutinić P. (2012): Submerged macrophytes as a habitat for zooplankton development in two reservoirs of a flow-through system (Papuk Nature Park, Croatia). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 48: 161–175.

Špoljar M., Tomljanović T., Dražina T., Lajtner J., Štulec H., Matulić D., Fressl J. (2016). Zooplankton structure in two interconnected ponds: similarities and differences. *Croatian Journal of Fisheries* 74: 6–13.

Špoljar M., Lajtner J., Dražina T., Malekzadeh-Viayeh R., Radanović I., Zrinščak I., Fressl J., Matijašec D. (2017). Disentangling food webs interactions in the littoral of temperate shallow lakes. *Natura Croatica* 26: 145–166.

Špoljar M., Dražina T., Lajtner L., Kovačević G., Pestić A., Matijašec D., Tomljanović, T. (2018). Impact of water level fluctuation in shaping of zooplankton assemblage in shallow lake. *Croatian Journal of Fisheries* 76: 175–186.

Tóth A., Horváth Z., Vad C.F., Zsuga K., Nagy S.A., Boros E. (2014). Zooplankton of the European soda pans: Fauna and conservation of a unique habitat type. *International Review of Hydrobiology* 99: 255–276.

Vanschoenwinkel B., Hulsmans A., De Roeck E.R., De Vries C., Seaman M., Brendonck L. (2009). Community structure in temporary freshwater pools: disentangling effects of habitat size and hydroregime. *Freshwater Biology* 54: 1487–1500.

Wallace R.L., Snell T.W., Ricci C., Nogrady T. (2006). Rotifera. Vol. 1. Biology, ecology and systematics, 2nd edition. U: Dumont H. J. F. (ur.) Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Kenobi Productions, Ghent.

Wickham S.A., Gilbert J.J. (1991). Relative vulnerability of natural rotifer and ciliate communities to cladocerans: laboratory and field experiments. *Freshwater Biology* 26: 77–86.

Williams D. D. (1997). Temporary ponds and their invertebrate communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 7: 105–117.

Williams P., Biggs J., Fox G., Nicolet P., Whitfield M. (2001). History, origins and importance of temporary ponds. *Freshwater Forum* 17: 7–15.

Williams P., Whitfield M., Biggs J., Bray S., Fox G., Nicolet P. (2004). Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation* 115: 329–341.

Williams W.D. (2001). Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia* 466: 329–337.

Zacharias I., Dimitriou E., Dekker A., Dorsman E. (2007). Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: threats, management and conservation issues. *Journal of environmental biology* 28: 1–9.

## 8. PRILOZI

1. Limnološki čimbenici na lokalitetima Dugog otoka
2. Brojnost, raznolikost, konstantnost (%), trofičke skupine (FFG, eng *Functional Feeding Guilds*) zooplanktona: MiF-mikrofiltratori; MaF-makrofiltratori; P-predatori i ekološki tipovi: P-planktonski; SP-semiplanktonski; na lokalitetima Dugog otoka



Prilog 1. Limnološki čimbenici na lokalitetima Dugog otoka

Lokaliteti	DO1 Veli rat, svjetionik	DO2 Veli rat	DO3 Dragove	DO4 Dolac	DO5 Dugo polje 1	DO6 Dugo polje 2	DO7 Dugo polje 3	DO8 Dugo polje 4	DO9 Kruševo polje, Sali	DO10 Žmansko jezero
Limnološki čimbenici										
Temperatura (°C)	20	24,3	18,4	28,9	19,7	21	21,5	19,5	29,6	22,9
Prozirnost <sub>SD</sub> (m)	0,2	0,3	0,3	0,7	2,1	1,5	0,3	1,3	1,6	0,7
Otopljeni kisik (mg/L)	21,6	17,1	9,6	13,3	12,4	13,7	3,7	5,0	15,8	13,3
Zasićenje kisikom (%)	238	204,5	103,9	177,5	146	153	42	53,9	210,4	153,9
pH	10,2	10,3	8,8	10,8	9,9	10	8,0	7,6	10,7	8,4
Konduktivitet (μS/cm)	2590	268	291	239	226	169,6	275	352	215,6	128,5
Kloridi (mg Cl <sup>-</sup> /L)	753,6	62,5	46,5	39,1	36,5	37,2	45,5	54,2	32,9	186,6
Ortofosfati (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	0,05	0,564	0,05	0,055	0,055	0,05	0,05	0,318	0,8	0,05
Ukupni P (mg P/L)	0,108	0,7	0,401	0,112	0,05	0,093	0,315	0,513	1,01	0,075
Nitriti (mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	1,293	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,492	0,013	0,013	0,013
Nitrati (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,129	0,065	0,061	0,132	0,215	0,061	0,310	0,165	0,371	0,033
Amonijak (mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0,0001	0,0001	0,181	0,001	0,147	0,0001	3,285	0,0001	0,050	1,084
Ukupni N (mg N/L)	2,141	1,296	3,151	0,875	1,961	0,945	4,817	0,875	1,19	1,436
DOM (mg O <sub>2Mn</sub> /L)	19,592	30,494	29,23	29,23	14,536	22,436	21,804	23,7	25,438	27,176
Fitoplankton ( <i>Chl a</i> μg/L)	4,9728	4,736	5,210	4,736	0,166	0,142	0,047	0,118	3,315	0,07104
POM (mg AFDML)	0,17	0,088	0,147	0,132	0,096	0,051	0,221	0,141	0,052	0,261

Prilog 2. Brojnost, raznolikost, konstantnost (%), trofičke skupine (FFG, eng *Functional Feeding Guilds*) zooplanktona: MiF-mikrofiltratori; MaF-makrofiltratori; P-predatori i ekološki tipovi: P-planktonski; SP-semiplanktonski; na lokalitetima Dugog otoka

Svojta/Vrsta	DO1	DO2	DO3	DO4	DO5	DO6	DO7	DO8	DO9	DO10	Konstantnost (%)	FFG	Ekološki tip
	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD			
<b>Rotifera</b>													
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)		1924 ± 1624	41383 ± 28021		1 ± 2			14 ± 18			40	MiF	P
<i>Asplanchna herricki</i> Guerne, 1888		1 ± 1									10	P	P
<i>Asplanchna</i> sp.										1 ± 1	10	P	P
<b>Bdelloidea</b>				1 ± 2				9 ± 16	14 ± 3	1 ± 1	40	MiF	SP
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851		16 ± 23	611 ± 175								20	MiF	P
<i>Brachionus urceolaris</i> Müller, 1773			28 ± 48				26 ± 1				20	MiF	P
<i>Cephalodella auriculata</i> (Müller, 1773)								1 ± 2			10	P	SP
<i>Cephalodella catellina</i> (Müller, 1786)					9 ± 16			11 ± 18			20	P	SP
<i>Cephalodella forficata</i> (Ehrenberg, 1832)				1 ± 2							10	P	SP
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)								3 ± 5			10	P	SP
<i>Colurella adriatica</i> Ehrenberg, 1831								1 ± 2			10	MiF	SP
<i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)		12 ± 17		5 ± 2	3 ± 5	5 ± 9		9 ± 5	36 ± 6		60	MiF	SP
<i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773)					9 ± 10	1 ± 2		1 ± 2	2 ± 3		40	MiF	SP
<i>Epiphanes senta</i> (Müller, 1773)			697 ± 232								10	MiF	P
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1830					44 ± 45	3 ± 5		7 ± 8	4 ± 6		40	MiF	SP
<i>Filinia brachiata</i> (Rousselet, 1901)		1 ± 1	336 ± 346								20	MiF	P
<i>Hexarthra fennica</i> (Levander, 1892)	4 ± 6										10	MiF	P
<i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871)		72 ± 57				6 ± 5					20	MiF	P
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	8 ± 11		267 ± 83								20	MiF	P
<i>Keratella testudo</i> (Ehrenberg, 1832)		36 ± 6	573 ± 220								20	MiF	P
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)	828 ± 40	4 ± 6		20 ± 12	1 ± 2	1 ± 2			46 ± 8	1 ± 1	70	MiF	SP
<i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)		4 ± 6		7 ± 2	8 ± 4	3 ± 5			2294 ± 320	1 ± 1	60	MiF	SP
<i>Lecane flexilis</i> (Gosse, 1886)								4 ± 7			10	MiF	SP
<i>Lecane hamata</i> (Stokes, 1896)								4 ± 7			10	MiF	SP
<i>Lecane inermis</i> (Bryce, 1892)				1 ± 2					2 ± 3		20	MiF	SP
<i>Lecane ludwigii</i> (Eckstein, 1883)				3 ± 2					4 ± 0		20	MiF	SP
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)				4 ± 4	1 ± 2						20	MiF	SP
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)					8 ± 7			1 ± 2			20	MiF	SP
<i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)					1 ± 2						10	MiF	SP
<i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786)	236 ± 85	8 ± 0		3 ± 2		22 ± 33		3 ± 2	94 ± 65	2 ± 2	70	MiF	SP
<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)				48 ± 11	1 ± 2			3 ± 5	19 ± 27	1 ± 1	50	MiF	SP

Prilog 2. nastavak Brojnost, raznolikost, konstantnost (%), trofičke skupine (FFG, eng *Functional Feeding Guilds*) zooplanktona: MiF-mikrofiltratori; MaF-makrofiltratori; P-predatori i ekološki tipovi: P-planktonski; SP-semiplanktonski; na lokalitetima Dugog otoka

Svojta/Vrsta	DO1	DO2	DO3	DO4	DO5	DO6	DO7	DO8	DO9	DO10	Konstantnost (%)	FFG	Ekološki tip
	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD	SV ± SD			
<i>Mytilina brevispina</i> (Ehrenberg, 1830)				43 ± 37	35 ± 26	3 ± 5		8 ± 14	38 ± 3		50	MiF	SP
<i>Plationus patulus</i> (Müller, 1786)									6 ± 3		10	MiF	SP
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925		1 ± 1	60 ± 71	1 ± 2	23 ± 14	105 ± 68		9 ± 16			60	MaF	P
<i>Squatinella lamellaris</i> f. <i>mutica</i> (Ehrenberg, 1832)								1 ± 2			10	MiF	SP
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832					9 ± 9	5 ± 9					20	MaF	P
<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)		4 ± 6		1 ± 2							20	MiF	SP
<i>Trichocerca cavia</i> (Gosse, 1886)				68 ± 59	33 ± 20	9 ± 10			142 ± 37		40	MaF	SP
<i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)								3 ± 5			10	MaF	SP
<i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)		1984 ± 1697	607 ± 219				10 ± 3	64 ± 101			40	MaF	P
<b>Rotifera ukupno</b>	<b>1076 ± 40</b>	<b>4067 ± 3376</b>	<b>44563 ± 28902</b>	<b>207 ± 117</b>	<b>188 ± 90</b>	<b>163 ± 43</b>	<b>37 ± 3</b>	<b>157 ± 88</b>	<b>2701 ± 276</b>	<b>5 ± 1</b>			
<b>Cladocera</b>													
<i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Müller, 1776)				7 ± 11					38 ± 9		20	MiF	SP
<i>Alona rectangula</i> Sars, 1861	3600 ± 1018	26 ± 17									20	MiF	SP
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)								29 ± 44			10	MiF	SP
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)	12 ± 6							1 ± 2			20	MaF	SP
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)						1 ± 2			2 ± 2		20	MaF	SP
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1776)		1 ± 1	8 ± 4	89 ± 124	35 ± 10	27 ± 37	0.1 ± 0.1	43 ± 38		44 ± 40	80	MiF	SP
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Müller, 1776)					20 ± 23						10	MaF	P
<i>Dunhevedia crassa</i> King, 1853				24 ± 42							10	MiF	SP
<i>Moina brachiata</i> (Jurine, 1820)		488 ± 481									10	MiF	P
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)			2 ± 3	17 ± 27	16 ± 16	22 ± 32		8 ± 7	48 ± 6	1 ± 2	70	MaF	SP
<b>Cladocera ukupno</b>	<b>3612 ± 1013</b>	<b>515 ± 465</b>	<b>10 ± 3</b>	<b>137 ± 187</b>	<b>71 ± 46</b>	<b>50 ± 68</b>	<b>0.2 ± 0.1</b>	<b>81 ± 88</b>	<b>88 ± 13</b>	<b>45 ± 43</b>			
<b>Copepoda</b>													
<i>Cyclops vicinus</i> Uljanin, 1875							98 ± 49				10	P	P
<i>Diacyclops</i> sp.	160 ± 45	1 ± 1							12 ± 16		30	P	SP
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)		2 ± 3	70 ± 73	111 ± 174	19 ± 21	12 ± 19		3 ± 6	226 ± 15	10 ± 5	80	P	SP
<i>Eudiaptomus</i> sp.									4 ± 1		10	P	P
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)								35 ± 59			10	P	SP
<i>Tropocyclops prasinus</i> (Fischer, 1860)		1 ± 1	90 ± 156	1 ± 2	1 ± 1	5 ± 5				1 ± 1	60	P	P
nauplij	3652 ± 1001	42 ± 59	68 ± 76	297 ± 387	71 ± 36	81 ± 121	260 ± 41	58 ± 65	549 ± 53	58 ± 44	100	MaF	
kopepoditi		18 ± 25	25 ± 11	35 ± 32	26 ± 32	50 ± 66	80 ± 12	10 ± 9	256 ± 4	6 ± 10	90	P	
<b>Copepoda ukupno</b>	<b>3812 ± 956</b>	<b>62 ± 83</b>	<b>253 ± 189</b>	<b>445 ± 530</b>	<b>117 ± 12</b>	<b>148 ± 201</b>	<b>438 ± 84</b>	<b>106 ± 38</b>	<b>1047 ± 57</b>	<b>75 ± 57</b>			
<b>Ukupna brojnost</b>	<b>8500 ± 1590</b>	<b>4644 ± 3750</b>	<b>44826 ± 28792</b>	<b>788 ± 932</b>	<b>377 ± 99</b>	<b>361 ± 297</b>	<b>475 ± 83</b>	<b>344 ± 99</b>	<b>3835 ± 205</b>	<b>125 ± 97</b>			

# ŽIVOTOPIS

## Osobni podaci

Ime Kristina Kahrman  
e-mail kristina.kahrman@gmail.com  
Spol Ž

## Obrazovanje

2016 – 2019 Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet - PMF  
Diplomski studij ekologije i zaštite prirode – mag. oecol. et prot. nat  
2011 – 2016 Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet - PMF  
Sveučilišni prvostupnik biologije – bacc. univ. biol.  
2007 – 2011 Prva gimnazija Varaždin, Varaždin

## Stručna edukacija

10/2017 - 1/2018 Demonstrator, kolegij Primjenjena limnologija, PMF, Zagreb  
3/2016 – 6/2016 Laboratorijska stručna praksa, Zoologijski zavod, PMF, Zagreb

## Znanstveni rad u zborniku međunarodnog skupa

2019 Špoljar, Maria; Dražina, Tvrtko; **Kahrman, Kristina**; Medić, Nikola; Cvetnić, Matija. The impact of invasive eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859) on zooplankton in small Mediterranean ponds. 54st Croatian & 14th International Symposium on Agriculture, Vodice, Croatia 2019.  
(u postupku objavljivanja)

## Znanstvena sudjelovanja (4 kongresnih prezentacija)

2018 Dražina, Tvrtko; Špoljar, Maria; **Kahrman, Kristina**; Cvetnić, Matija; Štih, Ana. Zooplankton in small fishless Adriatic ponds (Mediterranean Sea). *8th European Pond Conservation Network Workshop (EPCN)* Toroella de Montgri, Španjolska, 2018. str. 48 (poster, međunarodna recenzija, sažetak znanstveni)

2018 Dražina, Tvrtko; Špoljar, Maria; **Kahrman, Kristina**; Štih, Ana. Zooplankton – zanemaren ali važan segment u biocenozi mediteranskih lokvi. *Zbornik sažetaka 13. hrvatskog biološkog kongresa* Kružić, Petar; Caput Mihalić, Katarina; Gottstein, Sanja; Pavoković, Dubravko; Kučinić, Mladen (ur.). Zagreb: Hrvatsko biološko društvo

(Croatian Biological Society), 2018. str. 63-64 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak znanstveni)

- 2018 Dražina, Tvrtko; Špoljar, Maria; **Kahriman, Kristina**; Cvetnić, Matija; Štih, Ana. Rotifers in small Mediterranean ponds. *XVth International Rotifer Symposium. Book of Abstracts* University of Texas, El Paso, SAD, 2018. str. 100 (poster, međunarodna recenzija, sažetak znanstveni)
- 2018 Špoljar, Maria; Dražina, Tvrtko; Fressl, Jelena; **Kahriman, Kristina**; Sertić Perić, Mirela; Miliša, Marko; Polović, Luka; Cvetnić, Matija. Comparison of zooplankton assemblage between Adriatic vs. inland ponds (Croatia). *8th European Pond Conservation Network* Toroella de Montgri, Španjolska, 2018. str. 13 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak znanstveni)

### Ostalo

- Engleski jezik – aktivno korištenje u govoru i pismu
- Njemački jezik – pasivno korištenje u govoru i pismu
- Talijanski jezik – osnovno poznavanje
- Francuski jezik – osnovno poznavanje
- Poznavanje rada na računalu, korištenje Microsoft Office programa
- Poznavanje rada u programu QGIS
- Vozačka dozvola B kategorije