

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Valjbone Rama

**Zooplankton kao pokazatelj stupnja trofije
plitkih jezera**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Valjbone Rama

**Zooplankton as an indicator of the trophic
status in shallow lakes**

Master thesis

Zagreb, 2021.

Ovaj je rad izrađen u Laboratoriju za beskralješnjake na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Marije 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

Zooplankton kao pokazatelj stupnja trofije plitkih jezera Valjbone Rama

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Zooplanktonski organizmi zauzimaju središnji položaj u hranidbenim mrežama plitkih jezera te su poznati indikatori ekoloških promjena temeljem njihovih strukturalnih (raznolikost, brojnost, biomasa) i funkcionalnih (način prehrane) obilježja. Plitka jezera umjereno kontinentalne i mediteranske klime razlikuju se s obzirom na utjecaj čimbenika okoliša, što uzrokuje razlike u interakcijama abiotičkih i biotičkih čimbenika. Cilj je ovog rada bio utvrditi: (i) raznolikost, brojnost i trofičku strukturu zooplanktona; (ii) indekse zooplanktona i usporediti ih s indeksima stupnja trofije; (iii) prijedlog mjera upravljanja i očuvanja plitkih vodenih tijela u dvije različite klimatske zone (umjereno kontinentalnoj i mediteranskoj) Hrvatske. U devet lokvi determinirano je 48 vrsta zooplanktona, a kolnjaci su dominirali s 36 vrsta. Kompleksnost habitusa, pokrovnost makrofita i koncentracija hranjivih tvari pokazali su se kao značajni čimbenici u strukturiranju zooplanktona plitkih vodenih tijela obaju geoklimatskih područja. Zooplankton u plitkim vodenim tijelima umjereno kontinentalne klime obilježavaju populacije veće raznolikosti, a u mediteranskoj klimi zooplankton su obilježile populacije veće brojnosti, posebno vrsta rodova *Lecane* i *Brachionus*. Rezultati rada potvrđuju važnost zooplanktona kao dobrog indikatora u procjeni trofičkog i ekološkog stanja plitkih vodenih tijela te pružaju osnovu u određivanju smjernica očuvanja i upravljanja tim osjetljivim i ugroženim ekosustavima.

(59 stranica, 10 slika, 4 tablice, 68 literaturnih navoda, 4 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: kolnjaci, rašljoticalci, veslonošci, umjereno kontinentalna regija, mediteranska regija, stupanj trofije, ekološko stanje

Voditelj: prof. dr. sc. Maria Špoljar

Ocjenitelji: prof. dr. sc. Maria Špoljar

izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner

doc. dr. sc. Tvrtko Dražina

Rad je prihvaćen 2. rujna 2021.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Master Thesis

Zooplankton as an indicator of the trophic status in shallow lakes

Valjbone Rama

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Zooplankton organisms occupy a central role in the food webs of shallow water bodies, and are known indicators of ecological changes based on their structural (diversity, abundance, biomass) and functional (feeding) traits. Shallow lakes of temperate-continental and Mediterranean climates differ related to the effects of environmental factors, which cause differences in the interactions of abiotic and biotic factors. The aim of this study was to determine: (i) the diversity, abundance and trophic structure of zooplankton; (ii) zooplankton indices in comparison to the trophic state indices; (iii) a proposal for measures in the management and conservation of shallow water bodies in two different climates of Croatia. In nine ponds, 48 species of zooplankton were determined, and rotifers dominated with 36 species. Habitat complexity, macrophyte coverage, and nutrient concentrations were indicated as significant factors in the structuring of zooplankton in shallow water bodies of both geoclimate regions. Zooplankton in the temperate-continental climate was characterized by populations of higher diversity, while in the Mediterranean climate zooplankton was characterized by populations of higher abundance, particularly species of genera *Lecane* and *Brachionus*. Results of this study support the importance of zooplankton as a sentinel indicator in assessing the trophic and ecological status of shallow water bodies and provide a basis for determining guidelines in the conservation and management of these sensitive and endangered ecosystems.

(59 pages, 10 figures, 4 tables, 68 references, 4 appendices, original in: Croatian)

This thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: rotifers, cladocerans, copepods, continental region, Mediterranean region, trophic degree, ecological state

Supervisor: Prof. dr. sc. Maria Špoljar

Reviewers: Prof. dr. sc. Maria Špoljar

Izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner

Doc. dr. sc. Tvrtko Dražina

This thesis accepted: 2nd September, 2021.

*Hvala mojoj mentorici prof. dr. sc. Mariji Špoljar što me poticala i bila strpljiva tijekom svih
faza nastajanja ovog rada.*

*Velika hvala mojoj obitelji na neizmjernoj potpori tijekom cijelog studija.
Na kraju bih htjela zahvaliti i svom dečku na svim poticajima, strpljenju i najljepše
provedenih pet godina ovog putovanja.*

Lista kratica

A – algivori

AFDM – (eng. *Ash Free Dry Mass*) vrijednost gubitka mase pri žarenju

Chl *a* – klorofil *a*

CLA – Cladocera (rašljoticalci)

COP – Copepoda (veslonošci)

D – detrivori

DM – (eng. *Dry Mass*) suha biomasa

DOM – (eng. *Dissolved Organic Matter*) otopljene organske tvari

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

K1 - K5 – pet istraživanih lokaliteta umjereno kontinentalne regije

M1- M4 – četiri istraživana lokaliteta mediteranske regije

P – predatori

PEG – (eng. *Plankton Ecology Group*)

POM – (eng. *Particulate Organic Matter*) suspendirane organske tvari

ROT – Rotifera (kolnjaci)

SD – standardna devijacija

SV – srednja vrijednost

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

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

TSI – (eng. *Trophic State Index*) indeks stupnja trofije

WM – (eng. *Wet Mass*) mokra masa

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Strukturalna i funkcionalna obilježja zooplanktona u plitkim vodenim tijelima	2
1.2. Utjecaj ekoloških čimbenika na zooplankton plitkih jezera u umjerenom i mediteranskom klimatskom području.....	3
1.3. Zooplanktona kao indikator u slatkovodnim ekosustavima	5
1.4. Ciljevi istraživanja.....	5
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	7
3. MATERIJALI I METODE	12
3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona.....	12
3.2. Analiza limnoloških čimbenika.....	12
3.3. Obrada podataka.....	13
4. REZULTATI.....	15
4.1. Promjene fizikalno-kemijskih čimbenika plitkih jezera umjereno-kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja.....	15
4.2. Obilježja zooplanktona plitkih jezera umjereno-kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja.....	18
4.3. Funkcionalna obilježja zooplanktona plitkih jezera umjereno-kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja	21
4.4. Interakcije zooplanktona s abiotičkim i biotičkim čimbenicima.....	22
4.5. Procjena ekološkog stanja istraživanih plitkih vodenih tijela i prijedlog mjera očuvanja	26
5. RASPRAVA.....	29
6. ZAKLJUČAK	37
7. LITERATURA.....	38
8. PRILOZI.....	45
9. ŽIVOTOPIS	46

1. UVOD

Plitka vodena tijela su najučestaliji vodeni ekosustavi od polarnih do tropskih područja, a glavno im je obilježje da koncentracija soli u njima ne prelazi vrijednost od 0,05‰ (Lukacs i sur. 2013; Wetzel 2001). U njihovu postanku sudjeluju razni geomorfološki procesi kao što su: vulkanska aktivnost, glacijacija, otapanje vapnenca u krškim područjima i potresi.

Plitka jezera, relativne dubine do tri metra, polimiktička su (obilježava ih učestalo miješanje cijelog stupca vode), nemaju ljetnu termičku stratifikaciju i u velikoj su mjeri bogata makrofitima (Wetzel 2001). Time, posebno plitka jezera s makrofitima, pridonose krajobraznoj raznolikosti, sadrže veliku raznolikost mikrostaništa i bioraznolikost te ostvaruju brojne usluge ekosustava: izvori pitke vode, navodnjavanje i ostale poljoprivredne aktivnosti, akvakultura (ribnjaci) te sportske i rekreacijske aktivnosti (Kuczyńska-Kippen i Pronin 2018; Špoljar i sur. 2018a).

Postojanost plitkih jezera mogu narušiti razni antropogeni utjecaji: klimatske i hidromorfološke promjene, eutrofikacija (povećanje koncentracija hranjivih tvari ili nutrijenata te posljedično organskih tvari), onečišćenje toksičnim tvarima (npr. pesticidima, teškim metalima, poliaromatskim ugljikovodicima, lijekovima, mikroplastikom), zakiseljavanje, unos invazivnih vrsta (Špoljar 2013; Beklioglu i sur. 2016). Jezera povećanog stupnja trofije (produkcije) narušenog su ekološkog stanja, a obilježavaju ih povećana mutnoća, dominacija fitoplanktona, smanjena bioraznolikost te izostanak submerznih makrofita (Moss i sur. 2004). Tijekom prošlog stoljeća brojnost plitkih stajaćica i kvaliteta njihove vode dramatično su se smanjile, što posljedično dovodi i do globalnog pogoršanja stanja slatkovodnih sustava.

1.1. Strukturalna i funkcionalna obilježja zooplanktona u plitkim vodenim tijelima

Tri su glavne skupine zooplanktona u vodama na kopnu: kolnjaci (Rotifera), rakovi rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda). S obzirom na veličinu tijela, kolnjaci pripadaju veličinskoj kategoriji mikrozooplanktona (50 - 500 μm), a rašljoticalci i veslonošci makrozooplanktonu (0,5 - 5 mm). Prema načinu prehrane, kolnjaci i rašljoticalci su prvenstveno filtratori detritusa i bakterija (detrivori) ili algi (algivori), a neke su vrste i predatorske, dok su veslonošci algivori ili predatori (Wallace i sur. 2006).

Zooplanktonski organizmi predstavljaju jedan od ključnih bioloških elemenata za ocjenu trofičkog i ekološkog stanja slatkih voda (Špoljar i sur. 2011a; Ejsmont-Karabin 2012; Špoljar 2013; Stamou i sur. 2021). Trofičko stanje ukazuje na produktivnost sustava i određeno je čimbenicima kao što su: prozirnost, biomasa, koncentracija klorofila *a* i ukupna koncentracija dušika i fosfora. Ekološko stanje slatkovodnih sustava određuje se u odnosu na biološke, hidromorfološke te osnovne fizikalno-kemijske i kemijske elemente koji prate biološke elemente kakvoće slatkih voda (fitoplankton, makrozoobentos, makrofiti, ribe).

Nestabilni uvjeti u plitkim vodenim tijelima omogućavaju razvoj specifične faune, s brojnim prilagodbama (kratki životni ciklus, otporni mirujući stadiji, brza reprodukcija) na ekstremne oscilacije okolišnih čimbenika. Prilagodba zooplanktona na periodične promjene u okolišu, odnosno adaptacija na nepovoljne uvjete, uključujući ekstremno visoke ili niske temperature, je dijapauza (Copepoda i Rotifera u obliku dormantnih jaja, a kod Cladocera u obliku čvrstog ovoja jajašaca, efipija). Dijapauza također može pružiti privremeni bijeg od nepovoljnog saliniteta, olakšavajući prijenos slatkovodnih vrsta u sediment balastnih voda (Bailey i sur. 2004).

Zooplankton je u složenim interakcijama razvio oblike ponašanja s ciljem izbjegavanja predatora kao što su horizontalna (plitka vodena tijela) i vertikalna (duboka vodena tijela) migracija. U plitkim jezerima umjerenog klimatskog pojasa učestale su dnevne horizontalne migracije, tijekom dana iz pelagijala u litoral, često pokriven submerznim makrofitima, a noću u suprotnom smjeru (Špoljar i sur. 2012a). U navedenim migracijama najviše sudjeluju veći rašljoticalci (npr. vrste roda *Daphnia*), koji su spori plivači i dobro uočljiv plijen te kao zaklon od vizualnih predatora odnosno riba koriste sastojine submerznih makrofita (Meerhoff i sur. 2007; Špoljar i sur. 2011b; Kuczyńska-Kippen i sur. 2020). Novija istraživanja ukazuju da u plitkim jezerima veći zooplankton traži sklonište od predacije u pridnenim slojevima vode, blizu sedimenta ili u sedimentu (Špoljar i sur. 2018c). Tavşanoğlu i suradnici (2012) su u istraživanju plitkih mediteranskih jezera potvrdili da planktonski rakovi (npr. *Daphnia magna* (Straus, 1820)) koriste sediment kao zaklon od predacije omnivornih riba iz porodice Cyprinidae.

1.2. Utjecaj ekoloških čimbenika na zooplankton plitkih jezera u umjerenom i mediteranskom klimatskom području

Klimatski uvjeti snažno utječu na ekosustav, trofiju i funkcioniranje plitkih jezera, pri čemu topliji klimatski uvjeti mogu pojačati učinke eutrofikacije i salinizacije (Jeppesen i sur. 2015, Beklioglu i sur. 2016).

Umjerenu kontinentalnu klimu obilježavaju oštre zime s toplim i vlažnim ljetima. Ova klima obilježava unutrašnjost kontinenata, a obuhvaća područje od 40° do 70° sjeverne geografske širine. Mediteransko klimatsko područje obuhvaća oko 8° geografske širine (32° do 40° sjeverno od ekvatora) i ima dvije jasno odvojene sezone: zimsku kišnu sezonu i sušno ljeto bez oborina s velikim isparavanjima (Bolle 2003). Za razliku od plitkih jezera umjerenog pojasa, mediteranska jezera se, uglavnom svake godine, susreću s promjenama u hidrologiji (hidroperiodi) zbog velikih oscilacija razine vode i vremena zadržavanja vode (Beklioglu i sur. 2011). Pojava presušivanja plitkih vodenih tijela umjerenog kontinentalne klime je manje učestala, dok je u mediteranskim vodenim tijelima učestalija i sve više postaje pravilo.

Nadalje, postoje i intraklimatske razlike, na primjer u sklopu umjerene klime na sjeveru Europe (Poljska) plitka vodena tijela svake godine imaju ledeni pokrivač, no u području umjerene klime na jugu Europe (Hrvatska) tijekom zime vodena se tijela ne smrzavaju ili su vrlo kratko prekrivena ledom (Kuczyńska-Kippen i sur. 2020).

Dva su temeljna načina kontrole akvatičkih populacija: kontrola hranjivim tvarima (*bottom-up*) i kontrola predatorima (*top-down*) (Meerhoff i sur. 2007; Špoljar i sur. 2018b). Nadalje, *top-down* kontrola izraženija je u mediteranskim jezerima, a *bottom-up* kontrola izraženija je u kontinentalnim plitkim vodenim tijelima (Moustaka-Gouni i sur. 2014).

Temperatura, koncentracija kisika i nutrijenti (ortofosfati, nitrati) značajno utječu na stupanj trofije ekosustava. Povećane koncentracije nutrijenata potiču razvoj i produkciju ekosustava, najprije primarnih producenata, odnosno fitoplanktona koji je hrana primarnim konzumentima, odnosno zooplanktonu. Istraživanje koje su proveli Kuczyńska-Kippen i suradnici (2020) u plitkim vodenim tijelima umjerenog pojasa u sjevernoj (Poljska) i južnoj (kontinentalna Hrvatska) Europi ukazuje da su ekološka i trofička funkcionalna svojstva zooplanktona tijekom prijelaznih razdoblja (proljeće-jesen) rezultat utjecaja morfometrijskih svojstava bazena i stupnja trofije (produkcije ekosustava). Nadalje, odlučujući pokretač strukture zooplanktona na višim geografskim širinama, u hladnijoj klimi, uglavnom je koncentracija klorofila *a*, dok su na nižim geografskim širinama, u toplijoj klimi, to temperatura i prozirnost vode.

Uz to, Meerhoff i suradnici (2007) su pri uspoređivanju zooplanktona danskih i urugvajskih plitkih jezera utvrdili značajne razlike u strukturi zooplanktona: u jezerima umjerene klime

pojavljivale su se brojnije zajednice rašljoticalaca velikog tijela (*Daphnia* spp.), a rašljoticalci malog tijela (*Bosmina*, *Moina*, *Ceriodaphnia*) obilježavali su subtropska jezera. U mediteranskim plitkim jezerima Brucet i suradnici (2010) uočili su pozitivnu korelaciju temperature i brojnosti malih planktivornih riba koje su posljedično određivale veličinsku kategoriju i brojnost zooplanktona. Osim temperature i predacije, autori su istaknuli salinitet kao jedan od glavnih čimbenika koji je utjecao na razlike u strukturi zooplanktona dviju različitih geoklimatskih regija. Naime, povećanjem saliniteta došlo je do izmjene u dominaciji zooplanktona te je rasla brojnost veslonožaca i rašljoticalaca malog tijela u odnosu na rašljoticalce velikog tijela koji preferiraju manje vrijednosti saliniteta.

Model *Plankton Ecology Group* (PEG) uključuje sve ključne abiotičke i biotičke čimbenike jezera (svjetlo, temperaturu, nutrijente, fitoplankton, zooplankton, ribe) koji objašnjavaju sezonske promjene planktonskih zajednica, odnosno dinamiku jezera (Sommer i sur. 1986). Principi modela (najniže vrijednosti biomase fitoplanktona zimi nakon čega slijedi proljetno povećanje biomase uzrokovano većim osvjetljenjem, a završava pojačanim filtriranjem zooplanktona ljeti, što dovodi do faze čiste vode u kasno proljeće ili rano ljeto) vrijede za jezera u kontinentalnim područjima s umjerenom klimom, ali ne i za područja s toplijom klimom. Stoga su Moustaka-Gouni i suradnici (2014) proširili osnovni model PEG i proveli istraživanje u toplijem klimatskom području, u jezerima s mediteranskom klimom (Grčka), i usporedili ih s osnovnim principima modela. Prema dobivenim rezultatima, jezera mediteranske klime imaju visoku insolaciju zimi i manje izražene sezonske varijacije predacije riba te je stoga zooplankton izložen znatno većoj predaciji riba nego u hladnijim jezerima, a zimi se javlja porast abundancije fitoplanktona. Također, na manjim geografskim širinama (Grčka) hranjive tvari mogu ograničiti biomasu fitoplanktona tijekom cijele godine, a na većim geografskim širinama (Njemačka) učinci hranjivih tvari na fitoplankton su raspoređeni pretežno sezonski (proljeće/jesen).

Makrofiti imaju ključnu ulogu u modifikaciji abiotičkih i biotičkih čimbenika plitkih jezera (Celewicz-Goødyn i Kuczyńska-Kippen 2017; Špoljar i sur. 2017b). Makrofitske sastojine imaju višestruku ulogu u strukturiranju ekosustava: stabiliziraju sediment i smanjuju njegovu resuspenziju, smanjuju koncentraciju hranjivih tvari, produkciju fitoplanktona i stupanj trofije te osiguravaju zooplanktonu i bentoskim beskralješnjacima zaklon od vizualnih predatora kao i različite i bogate izvore hrane (Špoljar i sur. 2012a). Naime, prema Brucet i suradnicima (2010), prilikom dominacije planktivornih riba malog tijela koje su vezane uz sastojine makrofita, makrofiti ne pružaju adekvatno sklonište zooplanktona tijekom dana jer je koncentracija predatora u njihovim sastojinama znatno gušća.

U plitkim jezerima umjerenog klimatskog područja predacija nad većim algivornim zooplanktonskim rakovima u prozirnim, plitkim jezerima se smanjuje zbog prisutnosti velikih

piscivornih riba koje istodobno održavaju brojnost manjih planktivornih riba (Burks i sur. 2001). Održavanjem optimalne brojnosti zooplanktonskih rakova smanjuje se biomasa i održava ravnoteža fitoplanktona u jezeru, a nutrijenti postaju dostupni i makrofitima, što im omogućava nesmetani razvoj (Špoljar i sur. 2012b). Suprotno tome, u plitkim jezerima mediteranskog područja povišena temperatura utječe na brže spolno sazrijevanje riba i veću stopu razmnožavanja, što posljedično dovodi do veće brojnosti planktivornih riba koje svojom prehranom reduciraju brojnost rašljoticalaca velikog tijela, čime smanjuju njihovu efikasnost u kontroliranju biomase fitoplanktona, a to u konačnici utječe na povećanje zamućenosti vode i veći stupanj trofije (Brucet i sur. 2010).

1.3. Zooplankton kao indikator kvalitete vode slatkovodnih ekosustava

Provedbom Okvirne direktive o vodama Europske unije (WFD, eng. *Water Frame Directive*, 2000), države članice dužne su klasificirati ekološki status vodenih tijela prema standardiziranim postupcima, ali, nažalost, zooplankton nije uključen kao element biološke kvalitete vode u procjenu ekološkog stanja. Unatoč tome što niz parametara (brojnost, biomasa, omjer biomase zooplanktona i riba, omjer biomase zooplanktona i fitoplanktona itd.) ukazuje na važnost zooplanktona kao konzumenta (npr. fitoplanktona) i plijena (npr. ribama) u raspodjeli tvari i energije, izostavljen je iz navedenih procjena ekološkog statusa stajaćica na području Europske unije (Jeppesen i sur. 2011). Sastav zooplanktona ukazuje na potencijalni poremećaj u hranidbenoj mreži ili na pogoršanje ekološkog statusa jezera (Karpowicz i Ejsmont-Karabin 2021). Iako je zooplankton zanemaren kao biološki element kvalitete voda, u mnogim istraživanjima, posebno izvan Europske unije (Wallace i sur. 2006), njegove zajednice uzimaju u obzir pri procjeni trofičkih i ekoloških stanja kvalitete vode, što upućuje na njegovu iznimnu važnost u istraživanjima različitih aspekata slatkovodnih ekosustava (Stamou i sur. 2019; Karpowicz i Ejsmont-Karabin 2021). Za održavanje i zaštitu plitkih vodenih tijela nužni su zakonodavni okviri, dugotrajno praćenje (biomonitoring), restauracija te podizanje svijesti svih zainteresiranih za njihovo očuvanje (Orteli i sur. 2009).

1.4. Ciljevi istraživanja

Međusobne interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika imaju različiti ishod na funkcioniranje biocenoza i ekosustava plitkih jezera u različitim klimatskim područjima (Beklioglu i sur. 2011). Razlike u klimatskim obilježjima između kontinentalne i mediteranske regije Hrvatske mogu uzrokovati i razlike u sastavu zooplanktona. Dominacija pojedinih vrsta zooplanktona i njihovih funkcionalnih obilježja značajan je pokazatelj ekološkog stanja vodenih tijela, što daje

osnovu za određivanje smjernica o očuvanju ekosustava ovisno o klimatskim uvjetima u kojima se nalaze. Najviše rezultata u istraživanju mediteranskih lokvi temelji se na istraživanjima provedenim u Španjolskoj, ali odnose se uglavnom na makrozoobentos, dok su radovi koji doprinose spoznajama o biotičkim interakcijama i ekologiji zooplanktona u različitim klimatskim uvjetima rijetki (Brucet i sur. 2009). U novije vrijeme, ipak, pojavljuju se radovi koji se temelje isključivo na zooplanktonu i njegovoj ulozi u plitkim jezerima kontinentalne hladnije klime (Špoljar i sur. 2011a; Špoljar i sur. 2012a; Špoljar i sur. 2017b; Zhang i sur. 2018; Kuczyńska-Kippen i sur. 2020). Nekada je lokalno stanovništvo intenzivno koristilo lokve te su bile redovno održavane. Međutim, broj stanovnika danas je znatno smanjen i stvorila se potreba uključivanja institucija u očuvanje ovih vrlo važnih staništa. Rezultati ovog istraživanja će, temeljem utvrđenog stanja, pridonijeti saznanjima o zooplanktonu plitkih vodenih tijela u umjereno kontinentalnom i mediteranskom klimatskom području Hrvatske te predložiti potencijalne mjere upravljanja i očuvanja. Kako bi se pridonijelo razumijevanju zooplanktona kao indikatora ekološkog stanja u različitim klimatskim područjima, kontinentalnom i mediteranskom, ciljevi ovog rada bili su utvrditi:

1. raznolikost, brojnost i trofičku strukturu zooplanktona plitkih vodenih tijela u različitim klimatskim regijama Hrvatske
2. usporediti indekse zooplanktona koji ukazuju na ekološko stanje s indeksima stupnja trofije sustava
3. osnovu prijedloga mjera upravljanja i očuvanja plitkih vodenih tijela u različitim klimatskim zonama Hrvatske

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

U ovom je radu razmatranje funkcioniranja plitkih vodenih tijela i zooplanktona umjerene kontinentalne klime provedeno na tri lokaliteta u sklopu Parka prirode Papuk: rezervoarima potoka Jankovac: Jankovac 1 (K1), Jankovac 2 (K2) i Zvečevo (K3), dok su rezervoari Kutjevo 1 (K4) i Kutjevo 2 (K5) smješteni na južnom rubu granice Parka. Uzorci zooplanktona mediteranske klime sakupljeni su na četiri lokaliteta: dva lokaliteta na sjevernom Jadranu, na poluotoku Istra: Kukuletošica (M1) i Antička rimska cisterna (M2), te dva lokaliteta na južnom Jadranu, priobalne lokve Majkovi 1 (M3) i Majkovi 2 (M4), u Slanom blizu Dubrovnika (Slika 1, Tablica 1) .

Tablica 1. Morfometrija i biotički čimbenici istraživanih plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalne (a) i mediteranske klimatske regije (b)

a)

Obilježja	K1	K2	K3	K4	K5
Toponim	Jankovac 1	Jankovac 2	Zvečevo	Kutjevo 1	Kutjevo 2
Koordinate	45° 31' 13,03" N	45° 31' 15,65" N	45° 32' 56,15" N	45° 26' 29" N	45° 26' 32" N
	17° 41' 8,91" E	17° 41' 8,18" E	17° 30' 53,41" E	17° 53' 06" E	17° 53' 06" E
Duljina _{max} (m)	168	130	229	130	45
Širina _{max} (m)	52	51	154	25	12
Dubina _{max} (m)	3	1,9	7	1,5	1
Prozirnost (m)	0,1	1,9	0,1		
Ribe	+	+	+	+	+
Pokrovnost makrofitima (%)	95	98	10	0	0
Tip vodenih makrofita	submerzni, flotantni	submerzni, flotantni	emerzni	-	-
Vrsta vodenih makrofita	<i>Potamogeton natans</i> L.	<i>Potamogeton natans</i> L.	<i>Typha latifolia</i> L.		
	<i>Potamogeton crispus</i> L. <i>Hippuris vulgaris</i> L.	<i>Potamogeton crispus</i> L. <i>Hippuris vulgaris</i> L.	<i>Phragmites australis</i> Cav. <i>Carex</i> sp.	-	-

Tablica 1 nastavak. Morfometrija i biotički čimbenici istraživanih plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalne (a) i mediteranske klimatske regije (b)

b)

Obilježja	M1	M2	M3	M4
Toponim	Kukuletovica	Antička rimska cisterna	Majkovi 1	Majkovi 2
Koordinate	45° 03' 43" N	45° 02' 16" N	42,77° 35' 48" N	42,77° 38' 51" N
	13° 41' 29" E	13° 41' 29" E	17,91° 20' 15" E	17,91° 02' 41" E
Duljinamax (m)	25,03	17,64	16	20
Širinamax (m)	16,21	4	13	20
Dubinamax (m)	0,6	0,7	3	1
Prozirnost (m)	0,1	0,1	0,5	0,5
Ribe	+ G	-	+ G	+ G
Pokrovnost makrofitima (%)	97	100	100	100
Tip vodenih makrofita	submerzni, emerzni	flotantni	submerzni	submerzni
Vrsta vodenih makrofita	<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.)	<i>Wolffia arrhiza</i> L.	<i>Chara</i> sp.	<i>Chara</i> sp.

U Parku prirode Papuk nalaze se dva plitka ujezerenja maksimalne dubine do tri metra, smještena na sedimentnoj karbonatnoj podlozi što predstavlja rijetki nalaz krša u Panonskoj Hrvatskoj (Špoljar i sur. 2011a). Potok Jankovac, kao i većina potoka koji se s Papuka slijevaju prema sjevernom nizinskom području, pripada Dravskom, odnosno Crnomorskom slivu (Jankovac - Kovačica - Šumečica - Vojlovica - Klokočevac - Karašica - Drava - Dunav). Temeljem prethodnih istraživanja fizikalno-kemijski pokazatelji ukazuju da rezervoari pripadaju oligotrofnoj do mezotrofnoj kategoriji (Špoljar i sur. 2012a). Također, ujezerenja su intenzivno prekrivena submerznim makrofitima, posebice običnim borkom (*Hippuris vulgaris* (Linnaeus, 1753)) i plivajućim mrijesnjakom (*Potamogeton natans* (Linnaeus, 1753)). Dosadašnjim istraživanjima ihtiofaune jankovačkih ujezerenja utvrđene su sljedeće vrste riba: potočna pastrva (*Salmo trutta*, (Linnaeus, 1758)), potočna mrena (*Barbus balcanicus* (Kotlik, Tsigenopoulos, Rab i Berrebi 2002)) i kalifornijska pastrva (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)).

Jezero Zvečevo je akumulacija rječice Brzaje na sjeverozapadu Papuka. To je plitko vodeno tijelo koje na sjevernom dijelu ima razvijenu emerznu makrofitsku vegetaciju trske (*Phragmites australis* ((Cav.) Trin. Ex Steud.)) i šaša (*Carex* sp.). Jezero Zvečevo je krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina XX. stoljeća imalo ulogu rekreacijskog centra, no danas je više u funkciji sportskog ribolova. Kutjevo 1 i Kutjevo 2 su akumulacije Kutjevačke rijeke koje su također poribljene, a utvrđene su sljedeće vrste riba: potočna pastrva (*S. trutta*) i crvenperka (*Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758)).

Istraživanja zooplanktona u mediteranskom području provedena su na sjevernom Jadranu, na poluotoku Istri, u lokvi Kukuletošica i Rimskoj cisterni (u antičko doba služila je kao izvor pitke vode), obje južnije od Rovinja. U lokvi Kukuletošica dominira potopljena invazivna biljna vrsta divlji troskot (*Paspalum paspalodes* ((Michx.) Scribn.)), a u Rimskoj cisterni je to flotantna (slobodno plutajuća) neukorijenjena vrsta, sitna leća (*Wolffia arrhiza* ((L.) Horkel ex Wimm., 1857)).

Na samom jugu Hrvatske provedeno je istraživanje zooplanktona u Dubrovačko-neretvanskoj županiji na području sela Majkovi, nedaleko od Slanog, u dvije lokve koje su stanište strogo zaštićene riječne kornjače (*Mauremys rivulata* (Valenciennes, 1833)). Prisutni makrofiti u istraživanim lokvama su alge parožine (*Chara* sp.) i mrijesnjak (*Potamogeton* sp.), a u okolnoj vegetaciji dominira invazivna biljna vrsta divlji troskot (*P. paspalodes*). Sva su vodena tijela, osim Rimske cisterne, poribljena i obilježava ih prisutnost invazivne ribe gambuzije (*Gambusia holbrooki* (Baird i Girard, 1853)).



Slika 1. Prikaz istraživanih lokaliteta umjereno kontinentalnog (K1-K5) i mediteranskog klimatskog područja (M1-M4)

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona

Svi uzorci na lokalitetima Jankovac, Zvečevo i Kutjevo su uzimani za analizu u srpnju i rujnu 2014. godine. Uzorci u lokvama Istre (sjeverni Jadran) i u lokvama kod Stona (južni Jadran) uzimani su u srpnju 2017. godine. Na svim su lokalitetima, ako je to bilo moguće, uzorci uzimani u: zoni otvorene vode (pelagijal), zoni na granici pelagijala i makrofita te unutar makrofitskih sastojina (litoral).

Uzorci za analizu zooplanktona uzimani su u triplicatu, a dobiveni su filtracijom 10 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26 μm . Filtrati su sakupljeni u bočice u volumenu od 150 mL i fiksirani 4-postotnim formalinom. U svrhu koncentriranja volumena na 10 do 15 mL, uzorci su centrifugirani (3000 rpm, u trajanju pet minuta; EBA-20, Hettich).

Uzorci za kvalitativnu i kvantitativnu analizu pregledavani su u cijelosti u Petrijevoj zdjelici pod invertnim mikroskopom Opton Axiovert (povećanja 200 \times do 400 \times) te je brojnost zooplanktona izražena kao srednja vrijednost triplikata brojem jedinki po litri (jed/L). Za determinaciju zooplanktonskih vrsta korišteni su sljedeći ključevi: Rotifera (Voigt i Koste 1978), Cladocera (Amoros 1984) i Copepoda (Einsle 1993).

Za izračun biomase zooplanktona korištene su jednadžbe temeljene na geometrijskim formulama koje odgovaraju obliku tijela pojedinih vrsta (Ruttner-Kolisko, 1977) te je dobivena vrijednost biovolumena uzeta kao mokra biomasa, WM (eng. *Wet Mass*), iz koje se izračunala suha biomasa, DM (eng. *dry mass*), kao 10 posto mokre biomase (Radwan, 2004).

Nadalje, provedena je raspodjela zooplanktona u funkcionalne prehrabene ili trofičke skupine, FFG (eng. *Functional Feeding Guilds*): detrivore (mikrofiltratore), algivore (makrofiltratore) i predatore (Špoljar i sur. 2018c). Detrivori (D) se hrane suspenzijom čestica detritusa, bakterija i jednostaničnih alga, veličine 2 – 20 μm . Algivori (A) se hrane česticama veličine od 5 μm do 50 μm , uglavnom algama, uključujući i nitaste alge, a ponekad i praživotinjama. Predatori (P) se hrane uglavnom drugim zooplanktonima i praživotinjama.

3.2. Analiza limnoloških čimbenika

Na terenu su izmjereni standardni limnološki čimbenici: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), koncentracija otopljenog kisika (mg/L), pH vrijednost (Hatch HQ30d), konduktivitet ($\mu\text{S}/\text{cm}$, Hach sensION5) i prozirnost (m, Secchi disk).

Usporedno, uz uzorke zooplanktona, uzimani su i uzorci vode za kemijsku analizu. Ionskom kromatografijom određene su hranjive tvari: ortofosfati (PO_4^{3-}), amonij (NH_4^+), nitriti (NO_2^-), nitrati (NO_3^-) (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995). Digestivno-spektrofotometrijskim metodama određivani su ukupni fosfor (TP, eng. *Total Phosphorus*; mg P/L) i ukupni dušik (TN, eng. *Total Nitrogen*; mg N/L). Volumetrijskim metodama je određivana otopljena organska tvar, DOM (eng. *Dissolved Organic Matter*), temeljem kemijske potrošnje kisika (KPK, mg O_2/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*) (Špoljar i sur. 2011b). Etanolska ekstrakcija korištena je za određivanje koncentracije osnovnog fotosintetskog pigmenta većine autotrofnih organizama klorofila *a* (Chl *a*), kao indikatora biomase fitoplanktona (Nusch 1980).

Makrofiti su, ovisno o kompleksnosti habitusa, podijeljeni u tri kategorije te su im dodijeljeni sljedeći faktori: E – emerzni, jednostavni (1); F – flotantni, umjereno kompleksni (2) i S – submerzni, kompleksni (3).

3.3. Obrada podataka

Indeksi za određivanje stupnja trofije i ekološkog stanja

Vrijednosti indeksa stupnja trofije iskazane su kroz TSI (prema Carlsonu, 1977): < 30 – 40 oligotrofija; 40 – 50 mezotrofija; 50 – 70 eutrofija; > 70 – 100 hipertrofija. TSI_{ZOO} korišten u ovom radu zapravo je izvedenica dvaju indeksa stupnja trofije (TSI_{ROT} ; TSI_{CR}) koji su opisali Ejsmont-Karabin (2012) i Ejsmont-Karabin i Karabin (2013) pri utvrđivanju stupnja trofije u jezerima sjeveroistočne Poljske i utvrđen je prema sljedećoj klasifikaciji: $\text{TSI}_{\text{ZOO}} < 45$ - mezotrofija; $45 < \text{TSI}_{\text{ZOO}} < 55$ - mezoeutrofija; $55 < \text{TSI}_{\text{ZOO}} < 65$ – eutrofija i $\text{TSI}_{\text{ZOO}} > 65$ - hipertrofija (Stamou i sur. 2019).

Za procjenu ekološkog stanja lokvi uzeti su parametri koji se razmatraju za ocjenu kakvoće vode (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine 96, 2019) s dodanim obilježjima zooplanktona, a svim parametrima dodijeljeni su rangovi: kompleksnosti habitusa makrofita: E – emerzni, jednostavni (1), F – flotantni, umjereno kompleksni (2) i S – submerzni, kompleksni (3); pokrovnost makrofitima (%): (1) od 0 do 20% pokrovnosti, (3) od 30 do 60% i (5) od 70 do 100%; prisutnost (- 1)/odsutnost (0) riba; bogatstvo vrsta (1) od 3 do 6, (2) od 7 do 12 i (3) od 13 do 17; Shannonov indeks H' zooplanktona, vrijednosti od 1 do 3; omjer biomasa algivora i detritivora u skupinama Rotifera i Cladocera: (0) za izjednačen omjer skupina, (-1) dominacija detritivora, (1) dominacija algivora.

Analiza podataka

U prikazu podataka korištene su osnovne statističke mjere kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, 2007).

Prije statističke analize provedena je provjera raspodjele podataka Shapiro-Wilkovim W testom (netransformiranih i logaritamski transformiranih podataka [$\log(x+1)$]), koji je u oba slučaja ukazao na odstupanje od normalne raspodjele i nužnost korištenja neparametrijskih statističkih metoda. Mann-Whitney U test ($p < 0,05$) je korišten za usporedbu čimbenika između dva nezavisna uzorka, a Kruskal-Wallis test ($p < 0,05$) između više nezavisnih uzoraka. Za izračunavanje Shannon-Wienerova indeksa raznolikosti (H') korišten je programski paket Primer 6 (PRIMER-E, Ltd). U navedenom programu provedena je multivarijantna analiza sličnosti (ANOSIM) i SIMPER analiza (postotak sličnosti između zadanih skupina plitkih jezera temeljem sastava zooplanktona). 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). Kanonička analiza korespondencije (CCA, eng. *Canonical Correlation Analysis*) korištena je za utvrđivanje odnosa između zooplanktona (brojnost osam dominantnih planktonskih svojti u umjereno kontinentalnoj i brojnost šest dominantnih planktonskih svojti u mediteranskoj regiji) i okolišnih čimbenika: TN - ukupni dušik, TP - ukupni fosfor, T - temperatura, pH - pH vrijednost, O₂ - koncentracija otopljenog kisika, NO₃⁻ - nitrati, NO₂⁻ - nitriti, NH₄⁺ - amonij, CHL *a* - klorofil *a*, POM - suspendirana organska tvar, DOM - otopljena organska tvar, PO₄³⁻ - ortofosfati, Mtip - tip makrofita, MF(%) - postotak pokrovnosti makrofitima.

4. REZULTATI

Rezultati prikazuju promjene fizikalno-kemijskih čimbenika, raznolikosti, brojnosti i funkcionalno prehrambene skupine zooplanktona, zdravlje ekosustava temeljem trofičkih i ekoloških indeksa te prijedlog mjera zaštite plitkih vodenih tijela u dva klimatski različita (umjereno kontinentalno i mediteransko) područja Hrvatske.

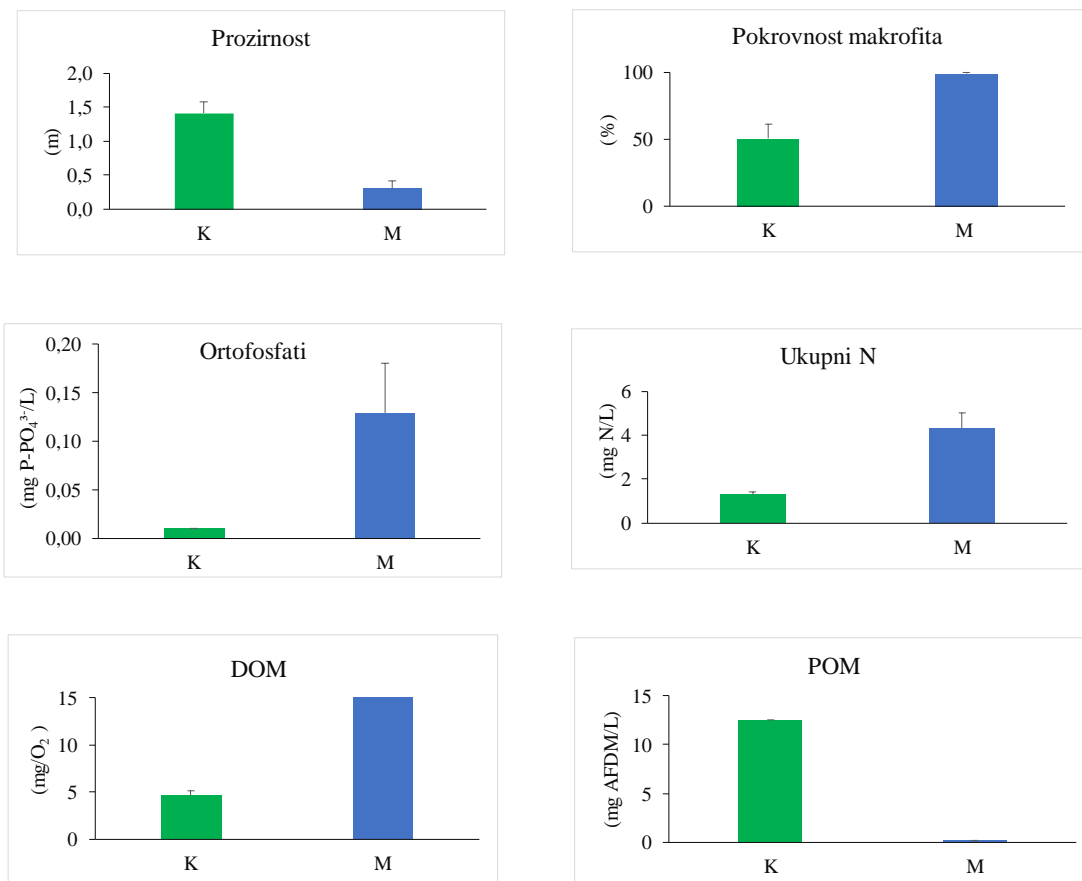
4.1. Promjene fizikalno-kemijskih čimbenika plitkih jezera umjereno kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja

U devet istraživanih plitkih vodenih tijela analizirano je 15 fizikalno-kemijskih čimbenika (Prilog 1). Rezultati statističkih analiza ukazali su da razlike razmatranih limnoloških čimbenika nisu bile statistički značajne između lokvi istoga klimatskog područja (Kruskal-Wallis test, $p > 0,05$). Za devet analiziranih limnoloških čimbenika zabilježene su statističke značajne razlike u istraživanim plitkim vodenim tijelima između kontinentalnog i mediteranskog područja (Mann-Whitney U test, $p < 0,05$; Slika 2, Tablica 2).

Tablica 2. Razlike limnoloških čimbenika (SV ± SD) plitkih vodenih tijela u područjima umjereno kontinentalne i mediteranske klime (Mann-Whitney U test, p < 0,05)

	Kontinentalno područje SV ± SD	Mediteransko područje SV ± SD	Z	p
Limnološki čimbenici				
Pokrovnost makrofitima (%)	50,7 ± 10,69	99,2 ± 0,75	-2,761	0,003
Prozirnost _{SD} (m)	1,42 ± 0,163	0,30 ± 0,11	2,491	0,008
Temperatura (°C)	17,4 ± 0,72	23,4 ± 0,50	-2,931	0,001
Otopljeni kisik (mg/L)	11,6 ± 0,5	6,58 ± 0,97	2,854	0,001
pH	8,6 ± 0,1	8,25 ± 0,42	1,149	0,262
Konduktivitet (μS/cm)	306,9 ± 43,8	272,2 ± 20,6	0,111	0,915
DOM (mg O ₂ (Mn)/L)	4,6 ± 0,53	19,82 ± 3,5	-2,931	0,001
Ortofosfati (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	0,01 ± 0	0,12 ± 0,05	-4,820	0,000
Ukupni P (mg P/L)	0,133 ± 0,01	0,54 ± 0,40	-0,556	0,592
Nitrati (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,53 ± 0,09	2,07 ± 1,52	-0,630	0,543
Nitriti (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,01 ± 0	0,01 ± 0	-2,010	0,057
Amonijak (mg N-NH ₄ ⁺ /L)	0,07 ± 0,01	1 ± 0,47	-1,530	0,132
Ukupni N (mg N/L)	1,28 ± 0,12	4,31 ± 0,67	-3,077	0,000
Fitoplankton (Chl <i>a</i> μg/L)	8,3 ± 1,67	47,5 ± 20,74	-1,520	0,132
POM (mg AFDM/L)	12,54 ± 3,26	0,15 ± 0,03	2,781	0,002

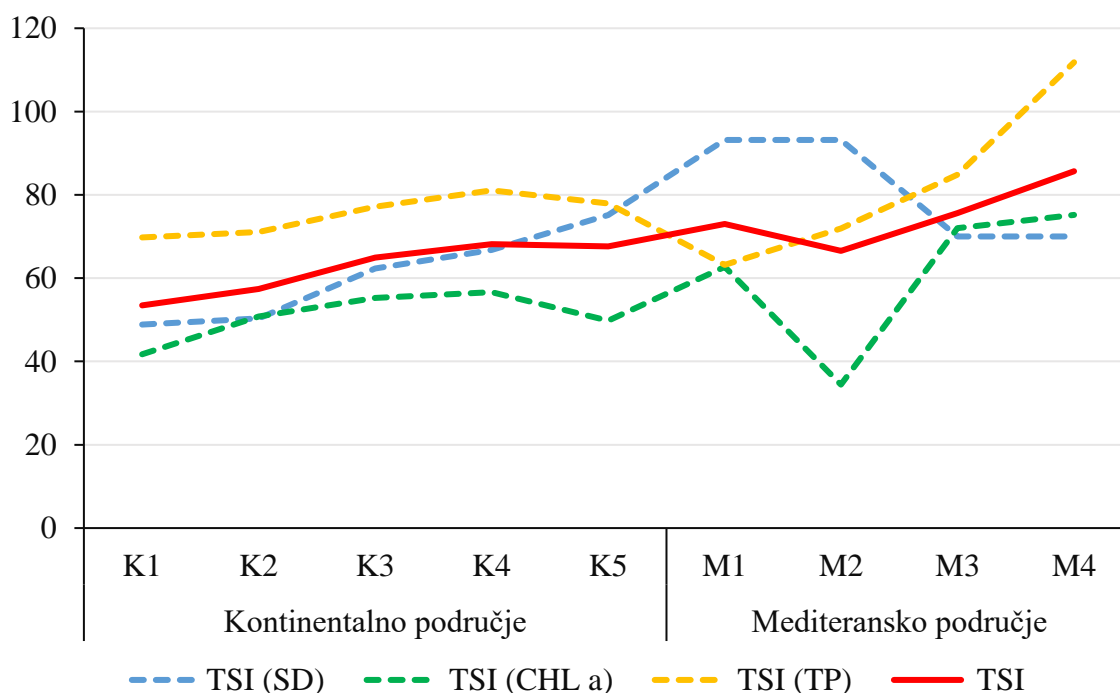
Značajno veće vrijednosti prozirnosti vode, koncentracije otopljenog kisika i POM zabilježeni su u plitkim vodenim tijelima kontinentalnog područja (Mann-Whitney U test, $p < 0,05$; Tablica 2). Nasuprot tome, pokrovnost makrofitna, temperatura vode, koncentracije ortofosfata, ukupnog dušika i DOM značajno su se razlikovali i bili su veći u mediteranskom području (Mann-Whitney U test, $p < 0,05$), kao i koncentracija Chl *a* čije vrijednosti nisu bile statistički značajne (Mann-Whitney U test, $p > 0,05$; Slika 2, Tablica 2).



Slika 2. Statistički značajne (Mann-Whitney U test, $p < 0,05$) promjene analiziranih čimbenika između istraživanih plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog (K) i mediteranskog (M) klimatskog područja. Kratice: DOM - koncentracija otopljene organske tvari, POM - suspendirane organske tvari

Odnosi pojedinačnih čimbenika u kontinentalnoj regiji ukazuju na veću stopu taloženja otopljenog fosfora i veću mutnoću koja ne potječe od algi, što prate i veće vrijednosti TSI_{SD} u odnosu na vrijednosti TSI_{CHLa} . Suprotno tome, u lokalitetima mediteranskog područja M3 i M4 zabilježene su veće vrijednosti TSI_{CHLa} u odnosu na TSI_{SD} , što ukazuje na povećanu stopu konzumacije algi od strane zooplanktona te na povećano taloženje otopljenog fosfora. Općenito, vrijednosti trofičkog indeksa (TSI) kretale su se u rasponu od 50 do 85 i ukazuju na

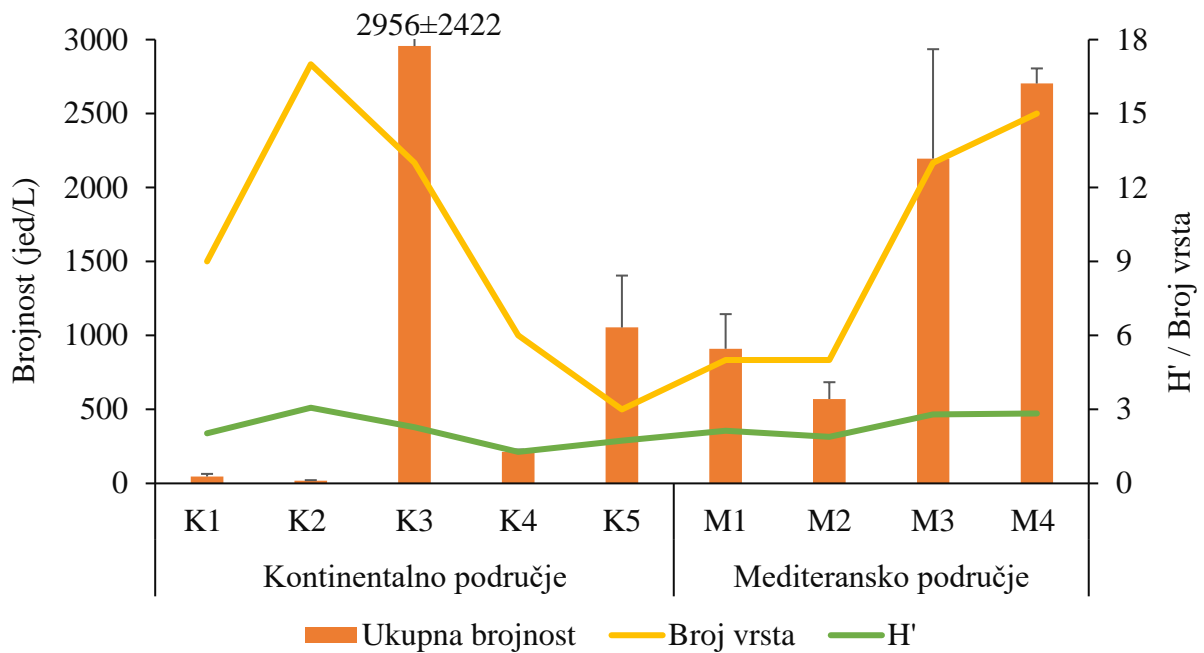
eutrofno stanje kod većine plitkih vodenih tijela (K1 - K5 i M2), s izuzetkom tri hipertrofna lokaliteta mediteranskog područja (M1, M3, M4) (Slika 3).



Slika 3. Vrijednosti indeksa stupnja trofije (TSI) u istraživanim plitkim vodenim tijelima. Kratice: SD – prozirnost, CHL_a – klorofil *a*, TP – ukupni fosfor, TSI – ukupni indeks stupnja trofije

4.2. Obilježja zooplanktona plitkih jezera umjereno kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja

U sastavu zooplanktona istraživanih plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog (pet lokaliteta) i mediteranskog područja (četiri lokaliteta) Hrvatske zabilježeno je 48 vrsta. Najveću su raznolikost postigli kolnjaci, 36 vrsta, a višestruko manje veslonošci, sedam vrsta, i rašljoticalci, pet vrsta. (Prilog 2, Slika 5).



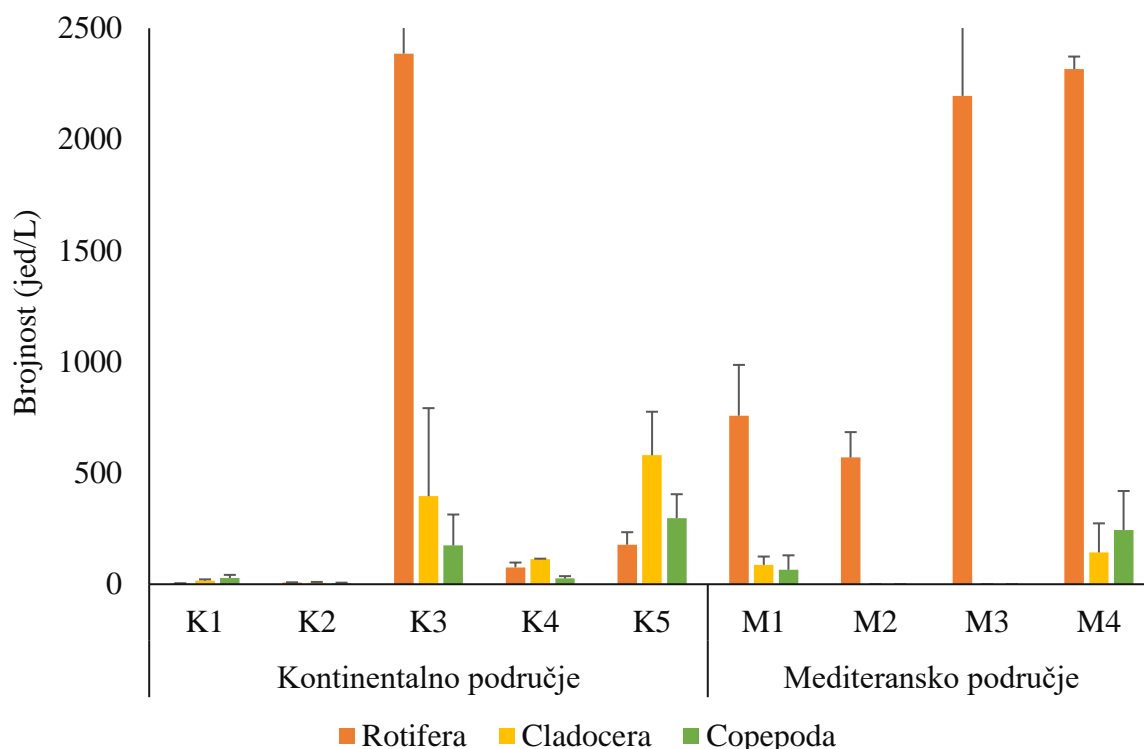
Slika 4. Oscilacije brojnosti zooplanktona na istraživanim lokalitetima umjereno kontinentalnog (K) i mediteranskog područja (M); Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (H')

Na kontinentalnom području s umjerenom klimom zabilježene su 32 vrste zooplanktona. Najviše je vrsta zabilježeno u ujezerenju Jankovac (K2) sa submerznim makrofitima - (17 vrsta), a najmanje u jezeru Kutjevo 2 (K5) bez makrofita - (tri vrste). Slične su oscilacije pokazivale i vrijednosti Shannonova indeksa raznolikosti (H'). Veća je raznolikost zooplanktona zabilježena u vodenim tijelima umjereno kontinentalne klime, znatno prekrivenim makrofitima ($H'_{K2} = 3,1$; $H'_{K3} = 2,3$), a najmanja je raznolikost ($H' = 1,3$) zabilježena u jezeru bez makrofita, K4. U zooplanktonu mediteranskog područja identificirano je upola manje, odnosno 16 vrsta, od kojih najviše u lokvi južnog Jadrana, M4 (15 vrsta), dok je u lokvama sjevernog Jadrana, M1 i M2, utvrđeno u svakoj samo pet vrsta (Slika 4).

Ukupna brojnost zooplanktona u plitkim vodenim tijelima kontinentalnog područja oscilirala je u velikom rasponu, od desetak u rezervoaru Jankovac - K2 (19 ± 3 jed/L) do nekoliko tisuća jedinki u litri vode (2956 ± 2422 jed/L) u jezeru Zvečevo – K3, što je ujedno bila i najveća vrijednost brojnosti zooplanktona na istraživanim lokalitetima (Slika 4). Vrste koje su se isticalle brojnošću u umjereno kontinentalnom području su kolnjak *Keratella tecta* (Gosse, 1851) (1570 ± 702 jed/L) u K3 i rašljoticalac *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785) (691 ± 251 jed/L) na lokalitetima K4 i K5 (Prilog 2).

Brojnosti zooplanktona u plitkim vodenim tijelima mediteranskog područja kretale su od 1000 do 2000 jed/L, a najveća je vrijednost zabilježena u lokvi Majkovi (M4), 2703 ± 1786 jed/L. Značajnije brojnosti u lokalitetima mediteranske klime postigli su kolnjaci: *Bdelloidea* ($1435 \pm$

184 jed/L), *Lecane bulla* (Gosse, 1851) (1240 ± 477 jed/L), *Polyarthra* spp. (911 ± 339 jed/L) i *Lecane closteroerca* (Schmarda, 1859) (657 ± 146 jed/L).



Slika 5. Oscilacije brojnosti pojedinih skupina zooplanktona (Rotifera, Cladocera, Copepoda) na istraživanim lokalitetima kontinentalnog (K1-K5) i mediteranskog klimatskog područja (M1-M4)

Plitka vodena tijela unutar umjereno kontinentalnog klimatskog područja međusobno su se razlikovala u sastavu zooplanktona, na što ukazuju niske vrijednosti sličnosti od 20% (SIMPER analiza, Tablica 3). Dvostruko je veća sličnost sastava zooplanktona, 40%, bila između mediteranskih lokaliteta (SIMPER analiza, Tablica 3). Općenito, različitost sastava zooplanktona plitkih vodenih tijela umjerene i mediteranske klime bila je visoka, 93% (SIMPER analiza), a tome su većinski pridonijeli kolnjaci *L. closteroerca*, *Brachionus patulus* (O. F. Müller, 1786) i *Lepadella patella* (O. F. Müller, 1786), a od rašljoticalaca *B. longirostris* (Tablica 3).

Tablica 3. Sličnosti i različitosti u sastavu zooplanktona plitkih vodenih tijela (SIMPER analiza) umjereno kontinentalnog i mediteranskog geoklimatskog područja

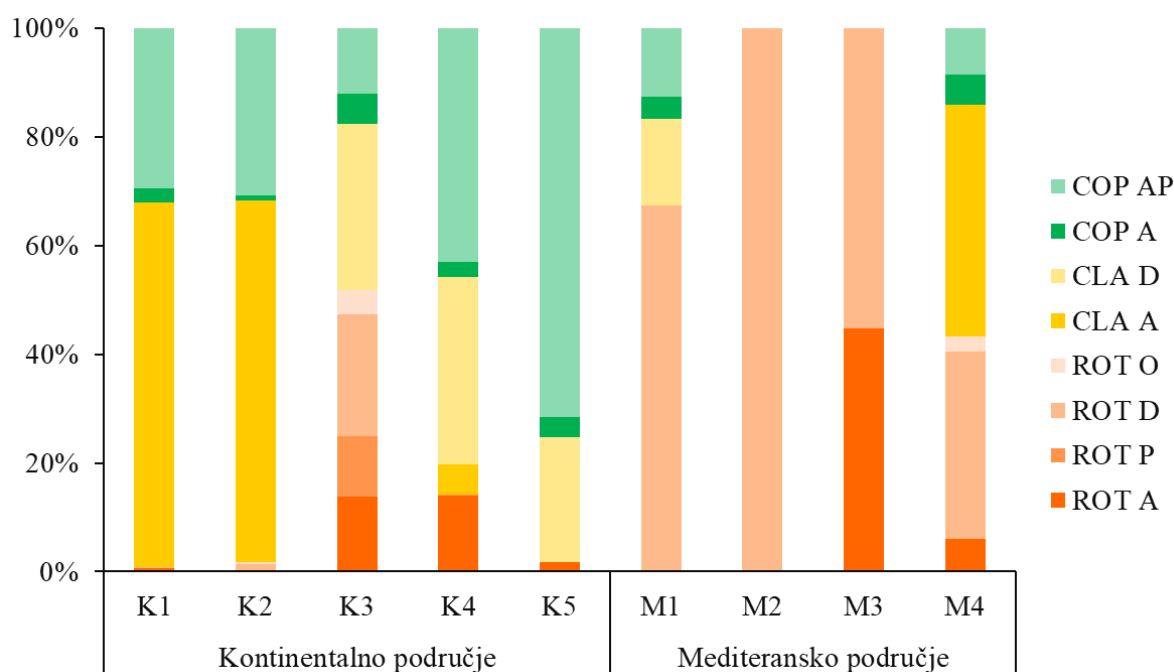
	Kontinentalno područje		
Sličnost (%)	20		
Vrste (doprinos %)	<i>Cyclops</i> sp. (35) <i>Simocephalus vetulus</i> (16)	<i>Bosmina longirostris</i> (14) <i>Trichocerca similis</i> (7)	
	Mediteransko područje		
Sličnost (%)	39		
Vrste (doprinos %)	Bdelloidea (36) <i>Lecane closterocerca</i> (14)	<i>Brachionus patulus</i> (12) <i>Lepadella patella</i> (11)	<i>Lecane clara</i> (9)
	Kontinentalno područje	vs.	Mediteransko područje
Različitost (%)	92		
Vrste (doprinos %)	<i>Bosmina longirostris</i> (4)		Bdelloidea (10) <i>Lecane closterocerca</i> (7) <i>Brachionus patulus</i> (6) <i>Lepadella patella</i> (5) <i>Lecane quadridentata</i> (4)

4.3. Funkcionalna obilježja zooplanktona plitkih jezera umjereno kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja

Trofičke skupine (Prilog 2) izmjenjivale su se u biomasi zooplanktona od dominacije algivornih rašljoticalaca (K1 i K2) preko detrivornih rašljoticalaca (K3) do algivorno-predatorskih veslonožaca (K4 i K5) u kontinentalnoj regiji te apsolutne dominacije detrivornih kolnjaka u svim lokalitetima mediteranske regije. U ujezerenjima Parka prirode Papuk (K1 i K2) umjereno kontinentalnog područja dominirala je vrsta algivornog rašljoticalca *Simocephalus vetulus* (Müller, 1776) s biomasom od $232 \pm 67 \mu\text{g DM/L}$ (K1) i $86 \pm 24 \mu\text{g DM/L}$ (K2), čineći na oba lokaliteta 67% ukupne zabilježene biomase zooplanktona ($475 \pm 187 \mu\text{g DM/L}$). Na lokalitetu K3 biomase detrivornih rašljoticalaca (31%; $392 \pm 113 \mu\text{g DM/L}$), s dominantnom vrstom *Bosmina coregoni* (Baird, 1857) ($390 \pm 111 \mu\text{g DM/L}$) i kolnjaka (22% ; $286 \pm 103 \mu\text{g DM/L}$), posebice vrste *K. tecta* ($243 \pm 75 \mu\text{g DM/L}$), činile su više od 50% ukupne zabilježene biomase zooplanktona ($678 \pm 378 \mu\text{g DM/L}$), dok je u plitkim vodenim tijelima K4 i K5 dominirala algivorno-predatorska svojta veslonošca *Macrocyclops* sp. čineći 43% ukupne biomase

zooplanktona u K4 ($139 \pm 47 \mu\text{g DM/L}$) i 72% u K5 ($1809 \pm 349 \mu\text{g DM/L}$). Vrijednosti biomasa detritivnih kolnjaka rodova *Lecane* i *Brachionus* ($2187 \pm 421 \mu\text{g DM/L}$) dominirale su na lokalitetima mediteranskog područja i iznosile od 35% u M4 do 100% u M2 (Slika 6).

Na postaji M1, uz već spomenutu dominaciju detritivnih kolnjaka, značajniji su udio u biomasi zooplanktona imali i planktonski rakovi (detritivni rašljoticalac *Alona costata* (Sars, 1862) (16% ; $82 \pm 19 \mu\text{g DM/L}$) te kopepoditi (13% ; $65 \pm 11 \mu\text{g DM/L}$), dok su na lokalitetu M3 biomasu zooplanktona upotpunjavali algivorni kolnjaci roda *Polyarthra* s 45% ($447 \pm 183 \mu\text{g DM/L}$). Suprotno ostalim mediteranskim lokalitetima, algivorni rašljoticalci roda *Ceriodaphnia* dominirali su čineći 43% ($860 \pm 217 \mu\text{g DM/L}$) sveukupne biomase u odnosu na 35% biomase detritivnih kolnjaka ($695 \pm 167 \mu\text{g DM/L}$) (Slika 6).



Slika 6. Udjeli biomasa funkcionalnih prehrambenih skupina zooplanktona: Rotifera (ROT), Copepoda (COP) i Cladocera (CLA) u istraživanim plitkim vodenim tijelima kontinentalnog i mediteranskog klimatskog područja. Kratice: A – algivori; D – detritivori; P – predatori; O – omnivori

4.4. Interakcije zooplanktona s abiotičkim i biotičkim čimbenicima

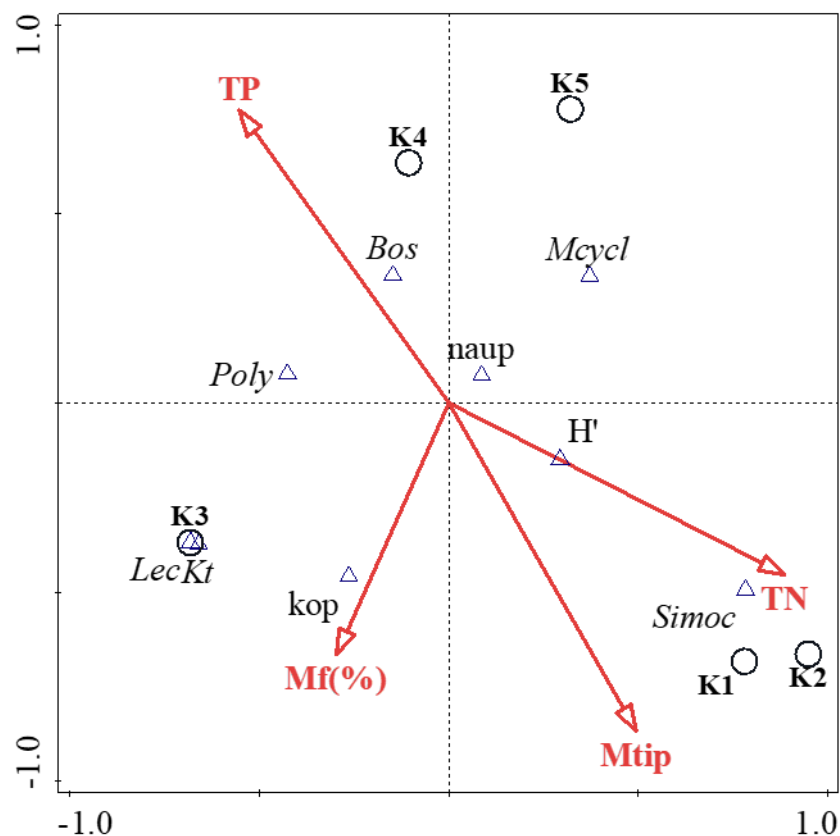
Statistički značajne korelacije (Spearmanov koeficijent korelacije, $p < 0,05$) biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima obiju geoklimatskih regija prikazane su u Tablici 4 i Prilogu 3. Rezultati analiza ukazuju da su submerzni makrofiti kompleksnijeg habitusa i dubina pozitivno utjecali na bogatstvo vrsta ($r = 0,65$, $p < 0,05$; $r = 0,78$, $p < 0,05$) i raznolikost zooplanktona ($r = 0,74$, $p < 0,05$; $r = 0,69$, $p < 0,05$) dok je prisutnost submerznih makrofita

negativno utjecala na prisutnost vizualnih predatora, tj. riba ($r = -0,67$, $p < 0,05$). Nadalje, višim vrijednostima ekološkog indeksa značajno je pridonijela raznolikost zooplanktona ($r = 0,77$, $p < 0,05$) dok je prisutnost riba smanjivala vrijednosti ekološkog indeksa ($r = -0,70$, $p < 0,05$). Uz to je prisutnost riba negativno utjecala na bogatstvo vrsta ($r = -0,75$, $p < 0,05$) i raznolikost zooplanktona ($r = -0,82$, $p < 0,05$). Povećanje biomase fitoplanktona i temperature pozitivno je utjecalo na brojnost zooplanktona, posebno populacija vrsta rodova *Lecane* ($r = 0,65$, $p < 0,05$) i *Polyarthra* ($r = 0,68$, $p < 0,05$). Povišenje temperature pratile su i povećane vrijednosti stupnja trofije plitkih vodenih tijela ($r = 0,71$, $p < 0,05$) (Tablica 4, Prilog 3).

Tablica 4. Statistički značajne vrijednosti Spearmanova koeficijenta korelacije, r ($p < 0,05$, $n = 9$) u interakcijama abiotičkih i biotičkih čimbenika na istraživanim lokalitetima obiju geoklimatskih regija

	Makrofiti tip	Dubina (m)	H' (raznolikost zooplanktona)	Zooplankton (ukupna brojnost)
Ribe (prisutnost)	-0,67		-0,82	
Rotifera (jed/L)				0,93
Bogatstvo vrsta (S)	0,65	0,78		
H' (raznolikost zooplanktona)	0,74			
Ekološki indeks	0,94	0,71	0,77	

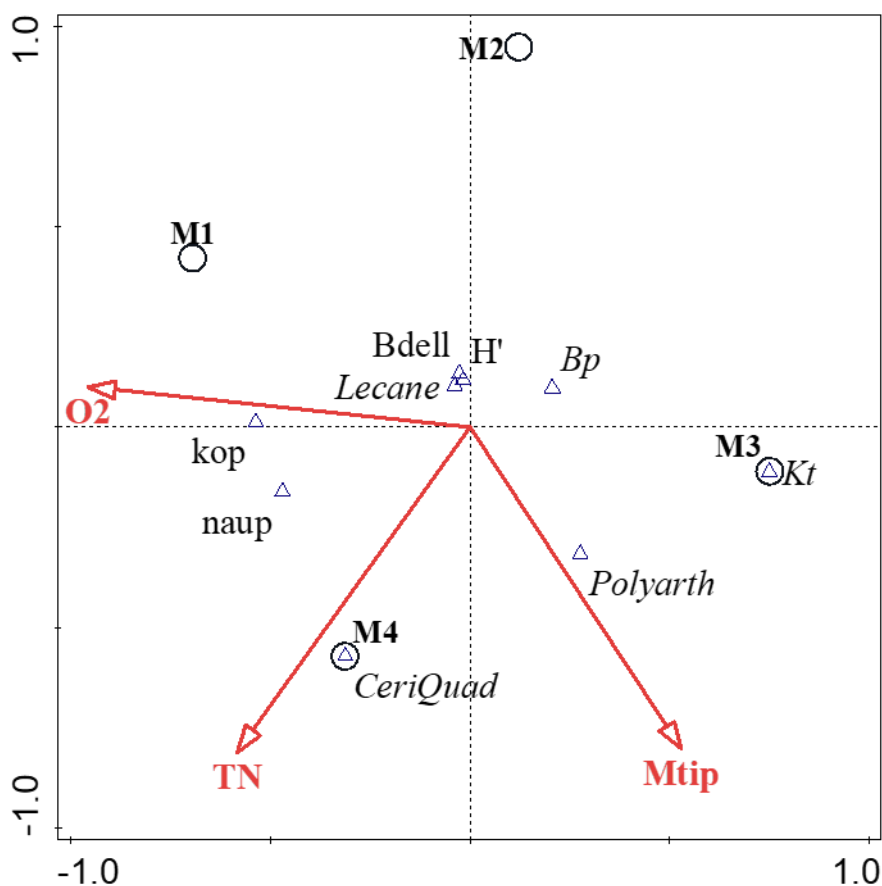
Rezultati multivarijantne analize (CCA) za interakcije između brojnosti dominantnih svojiti zooplanktona i limnoloških čimbenika objašnjavali su 87% interakcija (Os 1 56%, Os 2 31%) u plitkim vodenim tijelima umjereno kontinentalnog klimatskog područja, a značajan utjecaj indicirali su kompleksnost ($F = 3,1$, $p = 0,014$) i pokrovnost makrofitita ($F = 2.8$, $p = 0,028$) te koncentracije ukupnog dušika ($F = 2.6$, $p = 0,022$) i fosfora ($F = 2.5$, $p = 0.018$). Proizlazi da su razgranatiji i kompleksniji tip makrofitita (submerzni) te visok postotak pokrovnosti makrofititima ($> 95\%$) pozitivno utjecali na brojnost (posebice na K1 i K2) i raznolikost zooplanktona (u lokalitetima K1-K3) te na povećanje brojnosti litoralnih vrsta roda *Lecane* i kopepodita u K3. Izmjerene su veće koncentracije ukupnog dušika na lokalitetima K1 i K2, blizu izvora potoka Jankovac u Parku prirode Papuk. Razgranate i guste sastojine običnog borka pogodovale su porastu brojnosti algivorne vrste *S. vetulus* na lokalitetima K1 i K2. Također, povećane koncentracije ukupnog fosfora na lokalitetima K4 i K5 pozitivno su korelirale s algivornim vrstama roda *Polyarthra*, *Macrocyclus* te nauplijima. Vrste roda *Bosmina* razvile su populacije veće brojnosti u jezerima K4 i K5, bez makrofitita.



Slika 7. CCA analiza zooplanktona, abiotičkih i biotičkih čimbenika u plitkim jezerima umjereno kontinentalne regije. Kratice: Okolišni čimbenici – TP – ukupni fosfor; TN – ukupni dušik; Mtip – tip makrofitita; Mf(%) – postotak pokrovnosti makrofititima. Zooplankton – Bos – *Bosmina* spp; Poly – *Polyarthra* spp; naup – naupliji; Mcycl – *Macrocyclus* spp.;

Lec – *Lecane* spp.; Kt – *Keratella tecta*; kop – kopepoditi; Simoc – *Simocephalus vetulus*; H' – Shannonov indeks raznolikosti zooplanktona. Lokaliteti – K1-K5 (lokaliteti umjereno kontinentalne regije).

U plitkim vodenim tijelima mediteranskog klimatskog područja rezultati CCA analize u razmatranju odnosa brojnosti dominantnih svojiti zooplanktona i limnoloških čimbenika objašnjavali su 82% interakcija (Os 1 57%, Os 2 25%). Značajan su utjecaj indicirali kompleksnost makrofita ($F = 2.6$, $p = 0,028$) te koncentracije ukupnog dušika ($F = 2.3$, $p = 0,052$) i otopljenog kisika ($F = 2.1$, $p = 0.086$). Uočljivo je kako je tip makrofita (submerzni makrofiti u plitkim jezerima M3 i M4) pozitivno utjecao na brojnost i raznolikost vrsta zooplanktona, posebno na razvoj populacija većih algivornih rašljoticalaca roda *Ceriodaphnia*, kao i nauplija te kopepodita u odnosu na lokalitete M1 i M2 na kojima su dominirali jednostavniji makrofiti – emerzni i flotantni. Na lokalitetima M1 i M2 dominirali su detritivorni kolnjaci roda *Lecane*.

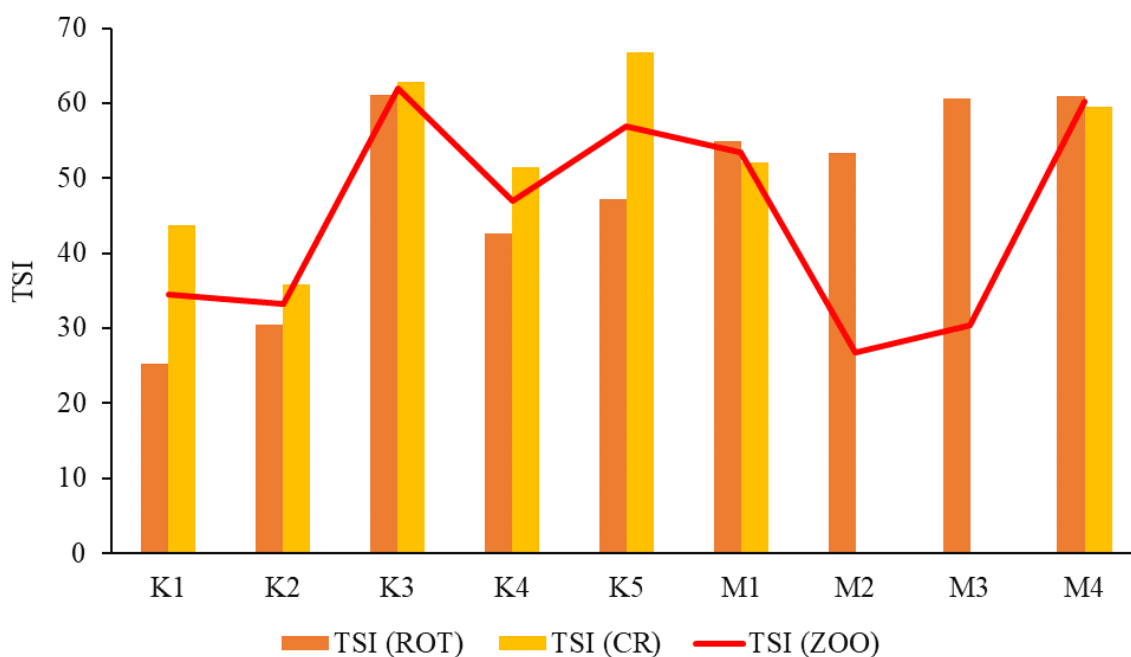


Slika 8. CCA analiza zooplanktona, abiotičkih i biotičkih čimbenika u plitkim jezerima mediteranske regije. Kratice: Okolišni čimbenici – TN – ukupni dušik; O2 – koncentracija otopljenog kisika; Mtip – tip makrofita. Zooplankton – Bdell – Bdelloidea; Lecane – *Lecane*

spp.; Bp – *Brachionus patulus*; kop – kopepoditi; naup – naupliji; CeriQuad – *Ceriodaphnia quadrangula*; Polyarth – *Polyarthra* spp.; Kt – *Keratella tecta*; H' – Shannonov indeks raznolikosti zooplanktona. Lokaliteti – M1-M4 (lokaliteti mediteranske regije)

4.5. Procjena ekološkog stanja istraživanih plitkih vodenih tijela i prijedlog mjera očuvanja

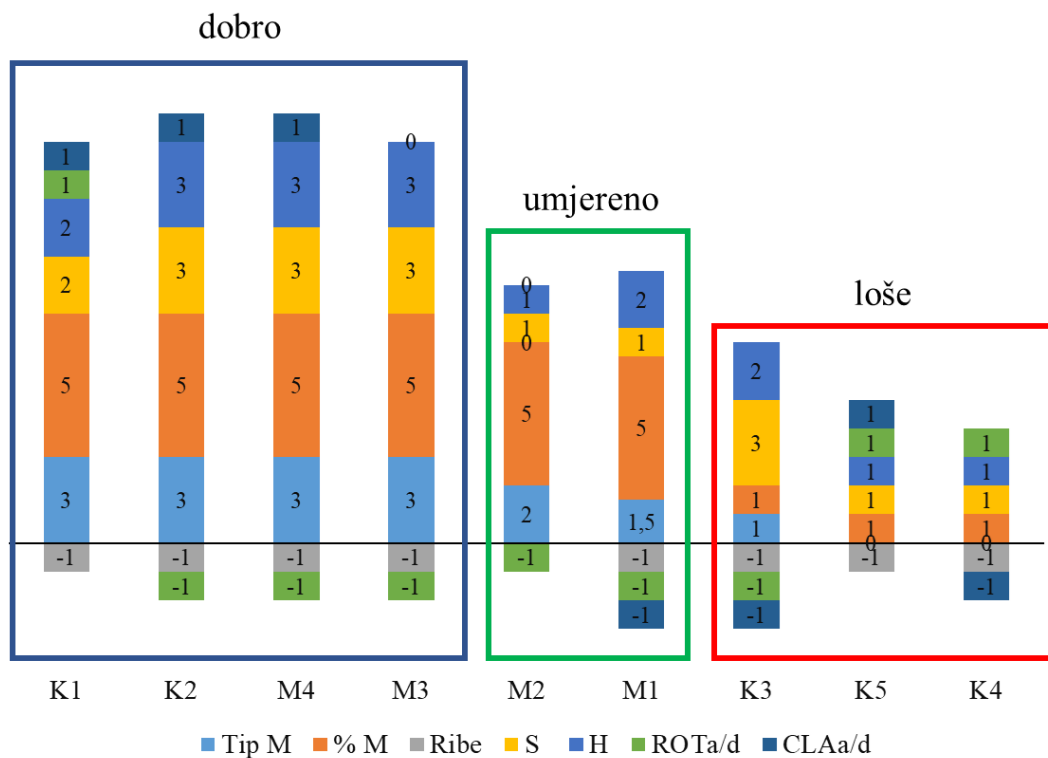
Vrijednosti TSI_{ROT} kretale su se od 25 do 61, a vrijednosti TSI_{CR} od 0 do 67, dok je vrijednost trofičkog indeksa ukupnog zooplanktona, $TSI_{(ZOO)}$, oscilirala u rasponu od 27 do 62 (Slika 9). Vrijednosti $TSI_{(ZOO)}$ ukazivale su na stanje mezotrofije unutar plitkih vodenih tijela K1 i K2 umjereno kontinentalnog područja te M2 i M3 mediteranskog područja. Na lokalitetima K4 i M1 zabilježena su prijelazna stanja mezoeutrofije, a na lokalitetima K3 i M4 eutrofije (Slika 9).



Slika 9. Vrijednosti indeksa stupnja trofije temeljem sastava kolnjaka (TSI_{ROT}), planktonskih rakova (TSI_{CR}) i zooplanktona ($TSI_{(ZOO)}$) u istraživanim plitkim vodenim tijelima. Kratice: ROT – Rotifera; CR – Crustacea, $TSI_{(ZOO)}$ – trofički indeks ukupnog zooplanktona

Ekološko stanje plitkih vodenih tijela ocijenjeno je s obzirom na obilježja biološke komponente u tri kategorije: dobro, umjereno i loše ekološko stanje (Slika 10; Prilog 4). Staništa s većom pokrovnošću makrofita te ona s makrofitima kompleksnijeg habitusa (većinom submerzni makrofiti) uglavnom podržavaju dobro ekološko stanje. Umjereno ekološko stanje podržavaju

staništa koja posjeduju emerznu i flotantnu vodenu vegetaciju, dok su staništa s odsutnošću makrofita, niskom raznolikošću zooplanktona i visokom stopom predacije definirana lošim ekološkim stanjem.



Slika 10. Procjena ekološkog stanja temeljem obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika. Kratice: TipM – kompleksnost habitusa makrofita; %M – pokrovnost makrofitima; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; ROTa/d – omjer biomasa algivora i detrivora Rotifera; CLAA/d – omjer biomasa algivora i detrivora Cladocera

Temeljem dobivenih rezultata indeksa stupnja trofije, limnoloških čimbenika i biomase zooplanktona te procjene ekološkog stanja istraživanih lokaliteta umjereno kontinentalne i mediteranske regije predlažu se sljedeće mjere očuvanja i zaštite:

- kontrola antropogenih utjecaja na vodena tijela, posebno turističkih i poljoprivrednih aktivnosti
- provedba posebnih mjera očuvanja u zaštićenim područjima (npr. Park prirode Papuk), npr. spriječiti ili ublažiti štetne zahvate ljudi u prirodi kao posljedice tehnološkog razvoja i obavljanja djelatnosti
- uspostavljanje i održavanje sastojina submerznih makrofita (npr. redukcijom ihtiofaune)

- kontrola raznolikosti i brojnosti ihtiofaune, kao i njihove funkcionalne trofičke skupine, izbjegavanje unosa planktivornih (negativno utječu na algivorni zooplankton), bentivornih (potiču resuspenziju sedimenta i mutnoću vode) i invazivnih vrsta (kompetitivnije su, a ponekad i predatorske nad autohtonim vrstama riba) riba
- poticanje očuvanja bioloških svojti značajnih za stanišni tip
- postavljanje poučnih ploča na kojima se naglašava važnost staništa te prisutnih biljnih i životinjskih vrsta
- poticanje aktivnosti sa školskim uzrastom djece i lokalnim stanovništvom, koje imaju za cilj jačanje svijesti, edukaciju i obrazovanje s područja ekologije i očuvanja plitkih vodenih tijela
- kontrola aktivnosti i broja posjetitelja u zaštićenim područjima (npr. Park prirode Papuk).

5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada ukazuju da su raznolikost staništa (kompleksnost habitusa makrofita) i koncentracije hranjivih tvari značajni pokretači u strukturiranju zooplanktona plitkih vodenih tijela u umjereno kontinentalnom i mediteranskom području Hrvatske. Prvo, pokrovnost makrofita kompleksnog habitusa, tj. submerznih makrofita, općenito povećava heterogenost staništa, raznolikost izvora hrane, a time je pozitivno utjecala i na raznolikost zooplanktona. Također, submerzni makrofiti u oba su klimatska područja omogućili razvoj populacija algivornih rašljoticalaca, koji su značajni u kontroli i redukciji fitoplanktona. Drugo, prema provedenim multivarijantnim analizama vidljivo je da je od hranjivih tvari, u umjereno kontinentalnom području, koncentracija ukupnog fosfora pozitivno utjecala na brojnost algivornih vrsta zooplanktona, posebno rašljoticalaca koji u većoj mjeri ugrađuju fosfor u svoju biomasu. U mediteranskoj su regiji koncentracije ukupnog dušika imale pozitivan utjecaj na juvenilne jedinke veslonožaca (nauplije i kopepodite).

U umjereno kontinentalnoj regiji, u prozirnim ujezerenjima K1 i K2 zabilježeni su submerzni, a na lokalitetu K3 emerzni makrofiti, dok su preostala dva lokaliteta (K4 i K5) bila bez makrofita, što je bilo praćeno i većom mutnoćom. Lokalitete mediteranske regije također definira dominacija submerznih makrofita, osim lokaliteta M2 (flotantni makrofiti). Međutim, na lokalitetu M1 submerzna vrsta je invazivna *P. paspalodes* koja nema tipičan razgranati habitus, što objašnjava i manju raznolikost vrsta u toj lokvi. U obje je geoklimatske regije, u ovom radu, uočena pozitivna korelacija između dominacije submerznih makrofita (npr. *H. vulgaris* u K1 i K2, *Chara* sp. u M3 i M4) i veće raznolikosti zooplanktona istraživanih plitkih vodenih tijela.

Makrofiti, posebno submerzni, imaju najveću važnost u održavanju dinamičke ravnoteže i prozirnog stanja plitkih vodenih tijela (Scheffer i Nes, 2007). Njihova indikatorska vrijednost može ukazivati na stupanj trofije i ekološko stanje ekosustava. U ujezerenjima K1 i K2, koja se nalaze u zaštićenom području Parka prirode Papuk, svi okolišni čimbenici ukazuju na niži stupanj trofije i dobro ekološko stanje. To je povezano s gustim sastojinama običnog borka (*H. vulgaris*), što je u skladu i s prethodnim istraživanjima ovog ekosustava (Špoljar i sur. 2017a). Nadalje, vrstu *H. vulgaris* u kasno ljeto na tim lokalitetima zamjenjuju submerzne sastojine roda *Potamogeton* koje ukazuju na povišeni stupanj trofije (Søndergaard i sur. 2010). Pretpostavlja se da su veće koncentracije hranjivih tvari krajem ljeta, nastale nakon raspadanja stabljika običnog borka, i dovoljne količine svjetla omogućile razvoj sastojina mriješnjaka. Naime, kako su na tim lokalitetima zabilježeni više sastojina makrofita i najniži stupanj trofije

od svih istraživanih lokaliteta, hipoteza koju su postavili Hilt i suradnici (2006) podupire rezultate ovog rada. Spomenuti autori zaključili su da prisutnost više različitih vrsta makrofita bolje održava ravnotežu između biocenoza i hranjivih tvari, čija povećana koncentracija povećava stupanj trofije, nego kada na lokalitetima dominira samo jedna vrsta makrofita. Submerzni makrofiti u kompeticiji su s fitoplanktonom za hranjive tvari koje ugrađuju u svoju biomasu te su tako u mogućnosti spriječiti nekontrolirani rast alga i povećati prozirnost (Jeppesen i sur. 1999; Špoljar i sur. 2012a). Također, na lokalitetima M3 i M4 zabilježena je submerzna vrsta *Chara* sp. koja se uglavnom pojavljuje u prozirnijim plitkim vodenim tijelima s malo hranjivih tvari (Hargeby i sur. 2007; Søndergaard i sur. 2010). Suprotno tome, na lokalitetima M3 i M4 zabilježene su najveće vrijednosti stupnja trofije i navedena submerzna vrsta koja inače preferira vodene ekosustave nižeg stupnja trofije (Lambert-Servien i sur. 2006). Ova odstupanja od literaturnih navoda vjerojatno su posljedica trenutačno povećane resuspenzije sedimenta prilikom uzorkovanja te posljedično izmjerenih najviših koncentracija hranjivih tvari i Chl *a*, što nadalje ukazuje na važnost učestalijih i točno provedenih uzorkovanja.

Ihtiofauna nije kvantitativno analizirana, ali ribe su bile prisutne na svim lokalitetima, osim na lokalitetu Rimska cisterna (M2), te je njihova predacija zasigurno utjecala na smanjenje raznolikosti i brojnosti zooplanktona, posebno algivornih rašljoticalaca. Ihtiofauna značajno utječe na funkcioniranje plitkih vodenih tijela, posebice na interakcije između fitoplanktona, zooplanktona, hranjivih tvari i makrofita (Jeppesen i sur. 1997; Špoljar i sur. 2018b). Prisutnost predacije riba vjerojatno je bila uzrok smanjenja brojnosti algivora te povećavanja brojnosti fitoplanktona i mutnoće u kontinentalnim lokalitetima K3, K4 i K5 te mediteranskom lokalitetu M1. Ovi su rezultati u skladu s prethodno utvrđenim rezultatima u recentnim radovima (Špoljar i sur. 2018; Kuczyńska-Kippen i sur. 2021). Naime, Meerhoff i suradnici (2007) zaključili su da se brojnost algivornih filtratora smanjuje zbog povećane predacije riba, što u konačnici može dovesti do povećanja brojnosti fitoplanktona i povećane mutnoće vode. Nasuprot tome, na lokalitetima M4 i K1, unatoč predaciji riba, u biomasi zooplanktona (također i u brojnosti u K1) dominirali su upravo veliki algivorni rašljoticalci (*S.vetulus* – K1; M4 – *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller, 1785)). Do njihove je dominacije došlo zato što su ovi lokaliteti imali veliku pokrovnost submerznim makrofitima koji služe kao sklonište upravo velikim rašljoticalcima tijekom izbjegavanja vizualnih predatora, odnosno riba (Špoljar i sur. 2012a). Naime, prisutnost predacije riba, npr. invazivne gambuzije (*G. holbrooki*) u plitkim jezerima mediteranske regije (M1, M3) te babuške (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) i klena (*Squalis cephalus* (Linnaeus 1758)) u plitkim jezerima umjereno kontinentalne regije (lokaliteti s malo makrofita ili bez njih, K3-K5), posljedično je dovela do smanjenja brojnosti planktonskih

rakova, posebice rašljoticalaca velikog tijela (*S. vetulus*, *C. quadrangula*). Smanjenje brojnosti algivornih rašljoticalaca dovelo je do povećanja brojnosti algivornih i detrivornih kolnjaka u obje geoklimatske regije (algivorne vrste *Polyarthra longiremis* (Carlin, 1943) i *Trichocerca similis* (Wierzejski, 1893) te detrivorne vrste *K. tecta* u kontinentalnoj regiji i detrivornih vrsta *Brachionus quadridentatus* (Hermann, 1783), *B. patulus* te *L. bulla* i *Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1832) u mediteranskoj regiji. Ovi su rezultati u skladu s istraživanjima u plitkim i dubokim jezerima gdje ribe smanjuju kompeticiju i predaciju rakova nad kolnjacima, čime se brojnost kolnjaka povećava (Špoljar i sur. 2005, 2011; Habdija i sur. 2011).

Razlike limnoloških čimbenika plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalne i mediteranske regije

Očekivano, više vrijednosti temperature zabilježene su u mediteranskoj regiji. Naime, prema Jeppesen i suradnici (2010), veće temperature dovode do ranije spolne zrelosti riba i brže reprodukcije, što utječe na njihov intenzitet predacije. Budući da su planktivornim ribama primarni izvor hrane veći rašljoticalci (npr. vrste roda *Daphnia*), dolazi do smanjenja njihove brojnosti u područjima viših temperaturnih vrijednosti, npr. u mediteranskoj klimi, na što ukazuju i rezultati ovog rada.

Zabilježene su značajne razlike u prozirnosti između dvaju geoklimatskih područja. Prozirnost je u mediteranskim plitkim jezerima bila niža jer su ti lokaliteti plići u odnosu na one u umjereno kontinentalnoj regiji te su resuspenzija sedimenta i bioturbacija uzrokovana ribama najvjerojatnije uzroci veće zamućenosti ovih vodenih tijela. Smanjena prozirnost pozitivno je utjecala na brojnost i raznolikost kolnjaka, posebno detrivornih, što je u skladu s rezultatima istraživanja plitkih eutrofnih jezera u Portugalu koje su proveli Castro i suradnici (2005). Povećana mutnoća rezultat je veće raspršenosti i dostupnosti suspendirane organske tvari, što je uzrokovalo porast brojnosti detrivornih vrsta, posebno kolnjaka. Naime, uz dominaciju detrivornih kolnjaka (u brojnosti i biomasi) u mediteranskoj regiji, na lokalitetima K3, K4 i K5 uz izrazitu mutnoću i visoku koncentraciju suspendirane organske tvari zabilježene su i visoke brojnost i biomasa detrivornih rašljoticalaca, npr. vrste roda *Bosmina*.

Osim prozirnosti, zabilježene su značajne razlike otopljene organske tvari (DOM) između istraživanih geoklimatskih područja. U mediteranskom području zabilježene su i do nekoliko puta veće koncentracije otopljene organske tvari, što je moglo pridonijeti zamućenju vode. Ovaj nalaz ujedno može biti i važan čimbenik kojim se objašnjavaju velike razlike ukupne brojnosti zooplanktona. Naime, uzorci u mediteranskoj regiji uzimani su isključivo sredinom srpnja, u

uvjetima viših temperatura, što se u ovom slučaju može povezati s višim izmjerenim vrijednostima DOM-a, većom biomasom fitoplanktona i većom zabilježenom brojnosti zooplanktona koji, također, metaboliziranjem i ugibanjem otpuštaju DOM (Robarts i Carr 2009).

Razlike biocenoloških obilježja plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog i mediteranskog područja

Razlike u bioraznolikosti dvaju geoklimatskih područja (32 vrste u umjereno kontinentalnoj i 16 vrsta u mediteranskoj regiji) može se objasniti iz nekoliko aspekata. Plitka vodena tijela mediteranskog područja plića su u odnosu na ona umjereno kontinentalnog područja, što im je onemogućilo formiranje raznolikijih zajednica zbog manjeg broja dostupnih ekoloških niša. Također, više temperature utječu na veću brojnost malih planktivornih riba (Jeppesen i sur. 2010), što kao rezultat ima pojačanu predaciju, a samim time i manju raznolikost zooplanktona.

U mediteranskom su području prisutne veće brojnosti i biomase kolnjaka u odnosu na umjereno kontinentalno područje gdje su, pak, zabilježene veće brojnosti i biomase rašljoticalaca i veslonožaca. Te razlike nisu bile signifikantne, ali su prisutne. Chen (2021) je tijekom istraživanja urbanih plitkih vodenih tijela jezera Lingnan (Kina) dokazao da su u toplijim krajevima najzastupljenije vrste (49%) upravo kolnjaci rodova *Lecane*, *Branchionus* i *Trichocerca*. U ovom se istraživanju također opaža takav obrazac zastupljenosti jer su različitosti sastava zooplanktona plitkih vodenih tijela umjerene i mediteranske klime većinski pridonijele povećanoj brojnosti kolnjaka *L. closterocerca* i *B. patulus* upravo u toplijoj, mediteranskoj klimi Hrvatske.

Rezultati ovog rada ukazali su na iznimno niske postotke sličnosti između plitkih vodenih tijela unutar istoga geoklimatskog područja. Naime, antropogeni utjecaj na plitka vodena tijela umjereno kontinentalnog područja (posebice K3-K5) mogao bi objasniti dobivene rezultate jer se jedna skupina plitkih vodenih tijela ovog područja nalazi u zaštićenom području s kontroliranim antropogenim utjecajem (K1 i K2) dok se ostali lokaliteti i danas koriste kao sportsko-rekreativni ribnjaci. Mala sličnost između mediteranskih plitkih vodenih tijela mogla bi se protumačiti s geografskog aspekta jer se jedna skupina istraživanih lokaliteta nalazi na sjevernom Jadranu (M1, M2), a druga na južnom (M3, M4). Također, različiti tipovi makrofita i njihova pokrovnost zasigurno su pridonijeli različitosti sastava zooplanktona između lokvi istoga geoklimatskog područja (Kuczyńska-Kippen i sur. 2021).

S obzirom na funkcionalne skupine zooplanktona, u umjereno kontinentalnom području svojim su biomasama dominirali planktonski rakovi, posebice algivorni i detrivorni rašljoticalci. Algivorni rašljoticalac *S. vetulus* prevladavao je svojom biomasom (67%) u ujezerenjima na Papuku, K1 i K2, s bogatim i gustim sastojinama submerznih makrofita, čime su izbjegavali predacijski pritisak riba. Na lokalitetima K3-K5 s emerznim makrofitima ili bez njih zbog pojačane predacije riba izostale su populacije velikih algivornih rašljoticalaca. U tim plitkim jezerima umjereno kontinentalnog područja dominirale su detrivorne vrste rašljoticalaca roda *Bosmina*, koje su zbog male veličine tijela slabije uočljive ribama (Kuczyńska-Kippen 2003; Špoljar i sur. 2011b.). Nadalje, lokaliteti K4 i K5 bili su i izrazito mutni, stoga su također pružali zaštitu navedenim rašljoticalcima od predacije riba. U svojim su istraživanjima Špoljar i suradnici (2011b) tijekom istraživanja sastava zooplanktona u mrtvicama nastalim meandriranjem rijeke Krapine utvrdili da sitniji rašljoticalci (vrste roda *Bosmina*) nisu pod direktnim predacijskim pritiskom planktivornih riba, zbog manje veličine tijela u odnosu na algivorne vrste, te im je omogućen razvoj populacija veće brojnosti koje također potvrđuje i Kuczyńska-Kippen (2003). U mediteranskom području, s obzirom na funkcionalne skupine zooplanktona, biomasom su se isticali detrivorni i algivorni kolnjaci već spomenutih rodova *Lecane*, *Branchionus* i *Trichocerca* (Chen 2021).

Razlike trofičkog i ekološkog stanja plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog i mediteranskog područja

Veće vrijednosti stupnja trofije zabilježene su u plitkim vodenim tijelima mediteranskog područja.

U prilog tome govore izmjerene manje vrijednosti prozirnosti te više vrijednosti temperature, TP, TN i biomase fitoplanktona u odnosu na plitka vodena tijela kontinentalnog područja. Pozitivnu korelaciju između većih vrijednosti stupnja trofije i prozirnosti, koncentracije Chl *a* te temperature također opisuju i drugi autori (Moss i sur. 2011; Laspidou i sur. 2017). Najveće su vrijednosti stupnja trofije temeljem Chl *a* i TP izmjerene na lokalitetima M3 i M4, koji su ujedno i lokaliteti s najvećim ukupnim stupnjem trofije (hipertrofija), ali i s gotovo najvišim sveukupnim vrijednostima brojnosti i raznolikosti zooplanktona. Na tim su lokalitetima izmjerene veće vrijednosti TSI_{TP} u odnosu na TSI_{CHLa} i TSI_{SD} ($TSI_{TP} > TSI_{CHLa} > TSI_{SD}$) koje, prema Carlson i Havens (2005), ukazuju da je filtriranje zooplanktona limitiralo bujanje fitoplanktona. Pretpostavlja se da je do razlika između rezultata ovog istraživanja u odnosu na literaturu (García-Chicote i sur. 2019) došlo jer je na lokalitetima M3 i M4 predacijski pritisak riba bio manji, što je značajno povećavalo raznolikost zooplanktona (M4), algivornih rašljoticalaca te ukupnu brojnost i raznolikost kolnjaka (M3). U skladu s povećanom brojnošću

i raznolikošću zooplanktona, submerzni makrofiti povećavaju heterogenost i kompleksnost staništa te tako heterogena staništa pružaju veću količinu i izbor hrane i staništa, a time i sigurniju zaštitu od predatora (Špoljar i sur. 2012a; Špoljar i sur. 2017a).

U kategoriziranju stupnja trofije plitkih vodenih tijela temeljem indeksa TSI i TSI_{ZOO} uočena su odstupanja. Naime, TSI je ukazivao na eutrofiju u svim istraživanim lokalitetima, dok je TSI_{ZOO} pretežno kategorizirao plitka vodena tijela unutar raspona vrijednosti mezotrofije (K1, K2, M2, M3) preko mezoeutrofije (K4, M1) do eutrofije (K3, K5, M4). Razlike u izmjerenim indeksima stupnja trofije (TSI i TSI_{ZOO}) mogu biti posljedica načina uzorkovanja i trenutnog zatečenog stanja koje može biti narušeno zbog povećane resuspenzije sedimenta ili mehaničke erozije epifitona u korist većih vrijednosti TSI. Također, TSI_{ZOO} zbog navedenih bi razloga ipak mogao prikazivati stvarniju situaciju u istraživanim lokalitetima jer su u izračunu TSI_{ZOO} korištene biocenološke komponente koje su dulje vrijeme izložene promjeni ekoloških uvjeta na određenom području, a nisu u tolikoj mjeri podložne kratkoročnim promjenama, uzrokovanim mehaničkim utjecajem, tijekom uzorkovanja.

Zabilježena mezotrofija u navedenim lokalitetima rezultat je najmanje zabilježene biomase kolnjaka u kontinentalnim lokalitetima K1 i K2. Na lokalitetima K1 i K2 zabilježene su niske vrijednosti stupnja trofije koje upućuju na donju granicu eutrofije (prema TSI) i mezotrofiju (prema TSI_{ZOO}) i u skladu su s prethodnim istraživanjima i usporedbama Špoljar i suradnika (2011a; 2013; 2017a) te Zhang i suradnika (2018), koji su ukazali na najniže indekse stupnja trofije upravo na istraživanim lokalitetima Parka prirode Papuk u odnosu na ostale istraživane lokalitete. Za točniju procjenu i precizniji uvid u trenutno trofičko stanje plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog i mediteranskog područja preporučeno je uzastopno praćenje i uzorkovanje svih lokaliteta. Povezanost manje raznolikosti zooplanktona i povećanog stupnja trofije u skladu je s istraživanjima (osim na lokalitetima M3 i M4) koje su proveli García-Chicote i suradnici (2019) u 20 mediteranskih plitkih vodenih tijela tijekom četverogodišnjeg monitoringa. Spomenuti su autori utvrdili da je raznolikost zooplanktona obrnuto proporcionalna indeksu stupnja trofije.

Kod utvrđivanja ekološkog stanja istraživanih lokvi praćeni su parametri koji se uzimaju za procjenu ekološkog stanja u jezerima prema Direktivi o vodama (WFD 2000), uz prilagodbu parametara za plitka jezera. Analize rezultata upućuju da je većina lokvi bila dobrog i umjerenog ekološkog stanja. Lokve dobrog ekološkog stanja sadržavale su guste i kompleksne sastojine makrofita te veliku raznolikost zooplanktona i bogatstvo vrsta. Suprotno tome, kontinentalne lokve K3 - K5 kategorizirane su kao lokve s lošim ekološkim stanjem zbog

intenzivnije predacije riba te malo ili potpunog izostanka makrofita, što je najčešće uzrokovalo nisku raznolikost zooplanktona. Rezultati ovog istraživanja u skladu su s istraživanjima koje su proveli Kuczyńska-Kippen i Joniak (2016) te Špoljar i suradnici (2018a) te zaključili da su kompleksnost makrofita i njihova pokrovnost, prisutnost riba i raznolikost zooplanktona glavni indikatori u utvrđivanju ekološkog stanja plitkih vodenih tijela.

Ekološko stanje pojedinih istraživanih plitkih vodenih tijela moglo bi se uvelike poboljšati adekvatnim mjerama upravljanja, posebno u kontroli invazivne ihtiofaune, npr. invazivnih planktivornih vrsta riba roda *Gambusia*, u mediteranskim lokvama, kao što su i istaknuli mnogi autori (Jeppesen i sur. 2002; Castro i sur. 2005; Stamou i sur. 2021). Zooplankton je dobar indikator stanja plitkih vodenih tijela i važan je u strukturiranju i dinamici vodenih ekosustava zbog svog položaja u hranidbenoj mreži, a s druge strane ima indikatorsku vrijednost u funkciji pokazatelja zdravlja ekosustava.

Zaštita i obnova plitkih vodenih tijela umjereno kontinentalnog i mediteranskog područja od iznimne je važnosti jer se radi o staništima visoke bioraznolikosti kojima pridonose brojne vrste autotrofnog (fitoplankton) i heterotrofnog (zooplankton) planktona, makrofiti, bentoski beskralješnjaci, ribe, vodozemci, gmazovi i ptice vodarice (Beklioglu i sur. 2016; Mullins i Doyle, 2019). Također, plitka vodena tijela pružaju iznimno velik broj usluga ekosustava (primjerice, navodnjavanje, izvor pitke vode, odredišta brojnih sportsko-rekreacijskih aktivnosti) (Beklioglu i sur. 2016).

Rezultati ovog rada ukazuju na raznolikost staništa i biocenoza plitkih vodenih tijela dvaju različitih klimatskih područja te uvid u njihovo trofičko i ekološko stanje. Analize provedene tijekom ovog istraživanja ukazuju da je većina plitkih vodenih tijela dobrog ekološkog stanja, posebno oni lokaliteti s kompleksnim makrofitima i većom biomasom algivora, unatoč povišenim vrijednostima stupnja trofije. Istraživanje plitkih vodenih tijela u ovom radu u potpunosti potvrđuje pretpostavku da postoje varijacije u sastavu zooplanktona u različitim klimatskim područjima, ali znatan utjecaj ipak je imao stupanj trofije (Stamou i sur. 2019; Ejsmont-Karabin 2012; Kuczyńska-Kippen i Joniak 2016). S obzirom na to da je proveden relativno mali broj uzorkovanja (jedno uzorkovanje (srpanj) u mediteranskom i dva uzorkovanja (srpanj i rujana) u umjereno kontinentalnom području), potrebna su dodatna istraživanja kako bi se što bolje mogle utvrditi razlike i funkcioniranje ekosustava plitkih vodenih tijela između ovih iznimno jedinstvenih geoklimatskih područja. Također, potrebna su dodatna istraživanja radi točnijeg utvrđivanja abiotičkih i biotičkih čimbenika te procjene stupnja trofije i ekološkog stanja plitkih vodenih tijela, kao i uspostavljanja adekvatnih

programa mjera za zaštitu i očuvanje takvih staništa jer će negativan antropogeni utjecaj i posljedice klimatskih promjena najprije utjecati na ova staništa izrazito malih dimenzija i ranjivih biocenoza.

6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zooplanktona, kao i abiotičkih i biotičkih čimbenika, na devet lokaliteta umjereno kontinentalnog (pet lokaliteta) i mediteranskog (četiri lokaliteta) klimatskog područja, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Zooplankton u umjereno kontinentalnom području obilježavaju populacije velike raznolikosti, a na strukturu su utjecali tip i postotak pokrovnosti makrofita te ukupni fosfor i dušik.
- Zooplankton u mediteranskom području obilježavaju populacije velike brojnosti, a na strukturu su najviše utjecali biotički čimbenici (kompleksnost habitusa makrofita, biomasa fitoplanktona) te abiotički čimbenici (koncentracija otopljenog kisika, ukupni dušik).
- U sastojinama submerznih makrofita u obje geoklimatske regije raznolikost zooplanktona bila je veća dok je prisutnost riba negativno utjecala na brojnost zooplanktona, smanjujući brojnost velikih planktonskih rakova, posebice algivornih rašljoticalaca.
- Brojem vrsta dominirali su kolnjaci u objema geoklimatskim regijama i u većini lokaliteta su razvili brojne populacije, što ih čini konstantnim vrstama u svim uvjetima neovisno o klimatskom aspektu.
- Rezultati analiza ukazali su na visok stupanj trofije u svim lokalitetima s tendencijom povećavanja trofije prema južnijim lokalitetima.
- Plitka vodena tijela bez makrofita, vrlo male raznolikosti zooplanktona i s pojačanom predacijom procijenjena su kao staništa lošeg ekološkog statusa.
- Pri predlaganju metoda i mjera očuvanja i zaštite plitkih vodenih tijela te procjene ekološkog stanja plitkih vodenih tijela treba uzeti u obzir sastav i strukturu zooplanktona kao jednog od pokazatelja ekološkog stanja, održavanje sastojina submerznih makrofita te sastav ihtiofaune.

7. LITERATURA

Amoros C. (1984): Crustacees cladoceres. Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon 3/4: 1-63.

Bailey S. A., Duggan I. C., Van Overdijk C. D. A., Johengen T. H., Reid D. F., Macisaac H. J. (2004): Salinity tolerance of diapausing eggs of freshwater zooplankton. Freshwater Biology 49: 286-295.

Beklioğlu M., Meerhoff M., Søndergaard M., Jeppesen E. (2011): Eutrophication and restoration of shallow lakes from a old temperate to a warm mediterranean and a (sub) tropical climate. U: Ansari A. A., Singh G. S., Lanza G. R. Rast W. (ur.). Eutrophication: Causes, Consequences and Control. 1st Springer, Dordrecht, str. 91-129.

Beklioğlu M., Meerhoff M., Davidson T. A., Ger K. A., Havens K., Moss B. (2016): Preface: Shallow lakes in a fast changing world. Hydrobiologia 778: 9-11.

Bolle H. J. (2003): Climate, climate variability, and impacts in the Mediterranean area: an overview. Mediterranean Climate 7: 5-86.

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 effect of climate change. Limnology and Oceanography 55: 1697-1711.

Burks R. L., Jeppesen E., Lodge D. M. (2001): Littoral zone structures as *Daphnia* refugia against fish predators. Limnology and Oceanography 46: 230-237.

Carlson R. E. (1977): A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography 22: 361-369.

Castro B. B., Antunes S. C., Pereira R., Soares A. M. V. M., Gonçalves F. (2005): Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. Hydrobiologia 543: 221-232.

Celewicz-Góldyn S., Kuczyńska-Kippen N. (2017): Ecological value of macrophyte cover in creating habitat for microalgae (diatoms) and zooplankton (rotifers and crustaceans) in small field and forest water bodies. *PLoS One* 12: e0177317.

Chen G. (2021): Analysis on the distribution of zooplankton in tropical shallow urban lakes. *E3S Web of Conferences* 257: 03057.

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

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.

Einsle U. (1993): Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. U: Schwoerbel J., Zwick P. (ur.). *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*, Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Ejsmont-Karabin J. (2012): The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 60: 339-350.

Ejsmont-Karabin J., Karabin A. (2013): The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 61: 561-573.

García-Chicote J., Armengol X., Rojo C. (2019): Zooplankton species as indicators of trophic state in reservoirs from Mediterranean river basins. *Inland Waters* 9: 113-123.

Habdija I., Primc-Habdija B., Špoljar M., Perić, M. S. (2011): 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.

Hilt S., Gross E. M., Hupfer M., Morscheid H., Mählmann J., Melzer A., Poltz J., Sandrock S., Scharf E. M., Schneider S., van de Weyer K. (2006): Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes - a guideline and state of the art in Germany. *Limnologica* 36: 155-171.

Jeppesen E., Brucet S., Naselli-Flores L., Papastergiadou E., Stefanidis K., Nöges T., Nöges P., Attayde J. L., Zohary T., Coppens J., Bucak T., Menezes R. F., Freitas F. R. S., Kernan M., Søndergaard M., Beklioglu M. (2015): Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia* 750: 201-227.

- Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T., Pedersen L. J., Jensen L. (1997): Top-down control in fresh water lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342: 151-164.
- 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: 217–231.
- 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.
- Jeppesen E., Nøges P., Davidson T. A., Haberman J., Nøges T., Blank K., Amsinck, S. L. (2011): Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676: 279-297.
- Jeppesen E., Søndergaard M., Søndergaard M., Christoffersen K., Theil-Nielsen J., Jürgens K. (2002): Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsholm; Denmark *Arch. Hydrobiologia* 153: 533-555.
- Karpowicz M., Ejsmont-Karabin J. (2021): Diversity and Structure of Pelagic Zooplankton (Crustacea, Rotifera) in NE Poland. *Water* 13: 456.
- Kuczyńska-Kippen N. (2003): The distribution of rotifers (Rotifera) within a single Myriophyllum bed. *Hydrobiologia* 506: 327-331.
- Kuczyńska-Kippen N., Joniak T. (2016): Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. *Hydrobiologia* 774: 39-51.
- Kuczyńska-Kippen N., Pronin M. (2018): Diversity and zooplankton species associated with certain hydroperiods and fish state in field ponds. *Ecological Indicators* 90: 171-178.
- Kuczyńska-Kippen N., Špoljar M., Mleczek M., Zhang C. (2021): Elodeids, but not helophytes, increase community diversity and reduce trophic state: Case study with rotifer indices in field ponds. *Ecological Indicators* 128: 107829.
- Kuczyńska-Kippen N., Špoljar M., Zhang C., Pronin M. (2020): Zooplankton functional traits as a tool to assess latitudinal variation in the northern-southern temperate European regions during spring and autumn seasons. *Ecological Indicators* 117: 1-9.

- Lambert-Servien, E., Clemenceau G., Gabory O., Douillard E., Haury J. (2006): Stoneworts (*Characeae*) and associated macrophyte species as indicators of water quality and human activities in the Pays-de-la-Loire region, France. U: Caffrey, J. M. (ur.) *Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management*. Springer, Dordrecht, str. 107-115.
- Laspidou C., Kofinas D., Mellios N., Latinopoulos D., Papadimitriou T. (2017): Investigation of factors affecting the trophic state of a shallow Mediterranean reconstructed lake. *Ecological Engineering* 103: 154-163.
- Lukacs B. A., Sramko G., Molnar A. V. (2013): Plant diversity and conservation value of continental temporary pools. *Biological Conservation* 158: 393-400.
- 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.
- Moss B., Kosten S., Meerhoff M., Battarbee R. W., Jeppesen E., Mazzeo N., Havens K., Lacerot G., Liu Z., De Meester L., Paerl H., Scheffer M. (2011): Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1: 101-105.
- Moss B., Stephen D., Balayla D. M., Becares E., Collings S. E., Fernandez-Alaez C., Fernandez-Alaez M., Ferriol C., Garcia P., Goma J., Gyllstrom M., Hansson L. A., Hietala J., Kairesalo T., Miracle M. R., Romo S., Rueda J., Russell V., Stahl-Delbanco A., Svensson M., Vakkilainen K., Valentin M., Van de Bund W. J., Van Donk E., Vicente E., Villena M. J. (2004): Continental-scale patterns of nutrient and fish effects on shallow lakes: synthesis of a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology* 49: 1633-1649.
- Moustaka-Gouni M., Michaloudi E., Sommer U. (2014): Modifying the PEG model for Mediterranean lakes—no biological winter and strong fish predation. *Freshwater Biology* 59: 1136-1144.
- Mullins M. L., Doyle R. D. (2019): Big things come in small packages: why limnologists should care about small ponds. *Acta Limnologica Brasiliensia* 31: e105.
- Nusch E. A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 14: 14-36.
- Oertli B., Cereghino R., Hull A., Miracle R. (2009): Pond conservation: from science to practice. U: Oertli, B., Cereghino R., Biggs J., Declerck S., Hull A., Miracle M. R. (ur.) *Development in Hydrobiology* 210. Springer, Dordrecht, str. 157-165.

- 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.
- Robarts R. D., Carr G. M. (2009): Bacterioplankton. U: Likens, G. E. (ur.) *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier, str. 193-200.
- Ruttner-Kolisko A. (1977): Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Archiv für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 8: 71-76.
- 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.
- Sommer U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A. (1986): The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie* 106: 433-471.
- 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.
- Stamou G., Katsiapi M., Moustaka-Gouni M., Michaloudi E. (2019): Trophic state assessment based on zooplankton communities in Mediterranean lakes. *Hydrobiologia* 844: 83-103.
- Stamou G., Katsiapi M., Moustaka-Gouni M., Michaloudi E. (2021): The neglected zooplankton communities as indicators of ecological water quality of Mediterranean lakes. *Limnetica* 40: 359-373.
- Špoljar M. (2013): Microaquatic communities as indicators of environmental changes in lake ecosystems. *Journal of Engineering Research* 1: 29-42.
- Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M., Grčić Z. (2011b): 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., Kahriman K., Medić N., Cvetnić M. (2018b): The impact of invasive eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859) on zooplankton in small Mediterranean ponds. U: Mioč, B., Širić I. (ur.) *Proceedings 54th Croatian & 14th International Symposium on Agriculture*. Zagreb, str. 411-416.
- Špoljar M., Dražina T., Lajtner J., Duić Sertić M., Radanović I., Wallace R. L., Matulić D., Tomljanović T. (2018c): Zooplankton assemblage in four temperate shallow waterbodies in association with habitat heterogeneity and alternative states. *Limnologica* 71: 51-61.

- Špoljar M., Dražina T., Lajtner J., Kovačević G., Pestić A., Matijašec D., Tomljanović T. (2018a): Impact of water level fluctuation in the shaping of zooplankton assemblage in a shallow lake. *Croatian Journal of Fisheries* 76: 27-34.
- Špoljar M., Dražina T., Šargač J., Kralj Borojević K., Žutinić P. (2012a): 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., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z. (2012b): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Acta Botanica Croatica* 71: 125-138.
- 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., Lajtner J., Dražina T., Malekzadeh-Viayeh R., Radanović I., Zrinščak I., Fressl J., Matijašec D. (2017b): Disentangling food webs interactions in the littoral of temperate shallow lakes. *Naturalis Croatici* 26: 145-166.
- Špoljar M., Štafa D., Ostojić A., Dražina T., Matoničkin Kepčija R., Kralj Borojević K., Primc B. (2011a): Tufa deposition in a karst stream as an indicator of water quality (Papuk Nature Park, Croatia). *Croatian Journal of Fisheries* 69: 137-151.
- Špoljar M., Zhang C., Dražina T., Zhao G., Lajtner J., Radonić G. (2017a): Development of submerged macrophyte and epiphyton in a flow-through system: Assessment and modelling predictions in interconnected reservoirs. *Ecological Indicators* 75: 145-154.
- Tavşanoğlu Ü. N., Çakiroğlu A. I., Erdoğan Ş., Meerhoff M., Jeppesen E., Beklioglu M. (2012): Sediments, not plants, offer the preferred refuge for *Daphnia* against fish predation in 48 Mediterranean shallow lakes: an experimental demonstration. *Freshwater Biology* 57: 795-802.
- Voigt M., Koste W. (1978): *Die Rädertiere Mitteleuropas*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- 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.
- Wetzel R. G. (2001): *Limnology: Lake and river ecosystems*. 3rd edn. Academic press.

Zhang C., Huang Y., Špoljar M., Zhang W., Kuczyńska-Kippen N. (2018): Epiphyton dependency of macrophyte biomass in shallow reservoirs and implications for water transparency. *Aquatic Botany* 150: 46-52.

8. PRILOZI

1. Fizikalno-kemijski čimbenici na lokalitetima kontinentalnog (K1-K5) i mediteranskog područja (M1-M4)
2. Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. *Functional Feeding Guilds*) zooplanktona: P – predatori, D – detrivori, A – algivori, O – omnivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni
3. Statistički značajne korelacije (Spearmanov koeficijent korelacije, $p < 0,05$) biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima istraživanih geoklimatskih regija
4. Rangiranje funkcionalnih obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika za procjenu ekološkog stanja lokvi. (TipM – kompleksnost habitusa makrofita; %M – pokrovnost makrofitima; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; ROTa/d – omjer algivora i detrivora Rotifera; CLAA/d – omjer algivora i detrivora Cladocera)

Prilog 1. Fizikalno-kemijski čimbenici na lokalitetima kontinentalnog (K1-K5) i mediteranskog područja (M1-M4)

Lokaliteti	Kontinentalno područje					Mediteransko područje			
	K1 SV ± SD	K2 SV ± SD	K3 SV ± SD	K4 SV ± SD	K5 SV ± SD	M1 SV ± SD	M2 SV ± SD	M3 SV ± SD	M4 SV ± SD
Fizikalno-kemijski čimbenici									
Prozirnost _{SD} (m)	2,166 ± 0,206	1,96 ± 0,207	0,850 ± 0,327	0,625 ± 0,247	0,35 ± 0,070	0,1 ± 0	0,1 ± 0	0,5 ± 0,07	0,5 ± 0,07
Temperatura (°C)	15,3 ± 2,802	16,36 ± 3,617	19,233 ± 3,209	19,75 ± 1,909	19,35 ± 2,474	22,5 ± 1,12	24,7 ± 1,39	23,9 ± 1,12	22,8 ± 1,13
Otopljeni kisik (mg/L)	14,51 ± 0,632	12,85 ± 1,543	9,988 ± 0,550	9,965 ± 0,728	7,17 ± 1,640	9 ± 0,83	5,65 ± 0,88	4,5 ± 0,0711	7,2 ± 0,63
pH	8,465 ± 0,059	8,55 ± 0,262	9,213 ± 0,094	8,495 ± 0,855	8,09 ± 0,551	7,4 ± 0,64	7,86 ± 0,73	9,39 ± 0,98	8,36 ± 0,87
Konduktivitet (μS/cm)	497 ± 14,324	482,4 ± 28,307	68,483 ± 2,133	180,45 ± 7,990	140,25 ± 56,214	294 ± 13,2	230 ± 12,9	246 ± 11,3	319 ± 14,17
KPK (mg/O ₂)	2,593 ± 0,371	2,812 ± 0,568	5,885 ± 0,281	7,821 ± 3,575	8,176 ± 3,184	24,174 ± 1,4	9,954 ± 0,78	19,434 ± 1,002	25,754 ± 1,29
PVI (%)	95 ± 0	98 ± 0	1,00 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	97 ± 9,21	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0
Ortofosfati (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	0,01 ± 0	0,01 ± 0	0,010 ± 0	0,01 ± 0	0,01 ± 0	0,05 ± 0	0,05 ± 0	0,265 ± 0,04	0,151 ± 0
Ukupni P (mg P/L)	0,095 ± 0,038	0,104 ± 0,023	0,158 ± 0,033	0,207 ± 0,008	0,167 ± 0,049	0,06 ± 0	0,11 ± 0	0,27 ± 0,054	1,75 ± 0,4
Nitrati (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,986 ± 0,052	0,915 ± 0,104	0,076 ± 0,070	0,094 ± 0,106	0,096 ± 0,080	0,02 ± 0	0,128 ± 0	6,512 ± 0,9	1,649 ± 0,203
Nitriti (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,012 ± 0,004	0,0117 ± 0,003	0,009 ± 0,000	0,004 ± 0	0,008 ± 0,005	0,013 ± 0	0,013 ± 0	0,013 ± 0	0,013 ± 0
Amonijak (mg N-NH ₄ ⁺ /L)	0,038 ± 0,039	0,0285 ± 0,035	0,163 ± 0,034	0,034 ± 0,043	0,087 ± 0,0001	0,483 ± 0,08	0,0001 ± 0	1,439 ± 0,33	2,098 ± 0,012
Ukupni N (mg N/L)	1,519 ± 0,300	1,593 ± 0,477	0,948 ± 0,704	1,005 ± 0,739	1,078 ± 0,810	4,67 ± 0,78	2,8 ± 0,06	3,81 ± 0,612	5,99 ± 0,79
Izvori hrane (Chl <i>a</i> μg/L)	3,108 ± 0,788	7,844 ± 11,799	12,304 ± 5,492	14,256 ± 9,978	7,056 ± 5,928	26,344 ± 1,5	1,48 ± 0,31	68,08 ± 2,11	94,128 ± 9,998
POM (mg AFDM/L)	6,366 ± 0,902	8,439 ± 1,711	3,000 ± 1,684	40,000 ± 11,313	42,499 ± 12,020	0,239 ± 0,05	0,069 ± 0	0,144 ± 0	0,172 ± 0

Prilog 2. Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. Functional Feeding Guilds) zooplanktona: P – predatori, D – detritivori, A – algivori, O – omnivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni

	Kontinentalno područje					Meditransko područje				FFG	EG	
	K1 SV ± SD	K2 SV ± SD	K3 SV ± SD	K4 SV ± SD	K5 SV ± SD	M1 SV ± SD	M2 SV ± SD	M3 SV ± SD	M4 SV ± SD			
Rotifera												
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)			283 ± 234	1 ± 2							P	P
Bdelloidea	0 ± 0	3 ± 1	3 ± 6			217 ± 209	228 ± 114	379 ± 270	612 ± 193		D	L
<i>Brachionus</i> sp.			11 ± 8								D	P
<i>Brachionus patulus</i> (Müller, 1773)							76 ± 132	97 ± 12	59 ± 27		D	P
<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)							114 ± 197	8 ± 14			D	L
<i>Brachionus urceolaris</i> (O.F.Müller, 1773)								20 ± 35	27 ± 46		D	P
<i>Cephalodella forficata</i> (Ehrenberg, 1832)									8 ± 14		O	L
<i>Cephalodella</i> sp.		1 ± 1									O	L
Collothecacea	1 ± 1										D	P
<i>Colurella adriatica</i> (Ehrenberg, 1831)		1 ± 1									D	L
<i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)		0 ± 0									D	L
<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)		0 ± 0									D	P
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)		1 ± 0	24 ± 23								D	P
<i>Keratella quadrata</i> (O.F. Müller, 1786)			10 ± 8					15 ± 25			D	P
<i>Keratella tecta</i> (Gosse, 1851)	0 ± 0		1570 ± 1346					222 ± 147			D	P
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)								233 ± 196	1007 ± 41		D	L
<i>Lecane clara</i> (Bryce, 1892)						22 ± 38		25 ± 23	42 ± 33		D	L
<i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)		0 ± 0					152 ± 174	355 ± 144	150 ± 38		D	L
<i>Lecane flexilis</i> (Gosse, 1886)		0 ± 0									D	L
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)		0 ± 0	7 ± 12								D	L
<i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg, 1832)						390 ± 172		32 ± 28			D	L
<i>Lepadella ovalis</i> (O.F. Müller, 1786)		0 ± 0									D	L
<i>Lepadella patella</i> (O.F. Müller, 1786)	2 ± 0	1 ± 0				130 ± 130		64 ± 61	37 ± 46		D	L

Prilog 2. nastavak Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. Functional Feeding Guilds) zooplanktona: P – predatori, D – detrivori, A – algivori, O – omnivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni

	Kontinentalno područje					Meditransko područje					FFG	EG
	K1 SV ± SD	K2 SV ± SD	K3 SV ± SD	K4 SV ± SD	K5 SV ± SD	M1 SV ± SD	M2 SV ± SD	M3 SV ± SD	M4 SV ± SD			
<i>Monommata longiseta</i> (O.F.Müller, 1786)											D	L
<i>Mytilina brevispina</i> (Ehrenberg, 1830)		0 ± 0									D	L
<i>Polyarthra longiremis</i> (Carlin, 1943)			224 ± 168	74 ± 23							A	P
<i>Polyarthra</i> sp.								717 ± 246	195 ± 86		A	P
<i>Pompholyx sulcata</i> (Hudson, 1885)			19 ± 24								D	P
<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)	1 ± 1										A	P
<i>Testudinella elliptica</i> (Ehrenberg, 1834)		1 ± 0									D	L
<i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1903)	0 ± 0		80 ± 82								O	L
<i>Trichocerca longiseta</i> (Schrank, 1802)								29 ± 51			A	L
<i>Trichocerca porcellus</i> (Gosse, 1851)		0 ± 0									O	L
<i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)									29 ± 51		A	P
<i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)			156 ± 107		178 ± 56						A	P
<i>Trichocerca</i> sp.									152 ± 39		O	L
Rotifera ukupno	3 ± 2	8 ± 1	2386 ± 1959	76 ± 21	178 ± 56	758 ± 228	570 ± 114	2196 ± 739	2316 ± 57			
Cladocera												
<i>Alona costata</i> (Sars, 1862)						87 ± 38					D	L
<i>Bosmina coregoni</i> (Baird, 1857)			395 ± 343								D	P
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)				111 ± 3	580 ± 196						D	P
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)									63 ± 55		A	L
<i>Ceriodaphnia</i> sp.									80 ± 80		A	L
<i>Pleuroxus truncatus</i> (O.F. Müller, 1785)			1 ± 2								D	L
<i>Simocephalus vetulus</i> (Müller, 1776)	17 ± 5	6 ± 4		1 ± 2							A	L
Cladocera ukupno	17 ± 5	6 ± 4	396 ± 341	113 ± 2	580 ± 196	87 ± 38			143 ± 131			
Copepoda												
<i>Cyclops</i> sp.			18 ± 11								A,P	P
<i>Cyclops strenuus</i> (Fischer, 1851)	4 ± 5										A,P	P
<i>Eudiaptomus</i> sp.									15 ± 12		A,P	P
<i>Macrocyclus</i> sp.				8 ± 5	106 ± 64						A,P	L
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)	4 ± 0	2 ± 2									A,P	L
kopepoditi	2 ± 3		13 ± 18			22 ± 38			8 ± 14		A,P	P
naupliji	18 ± 10	3 ± 1	142 ± 116	17 ± 6	190 ± 65	43 ± 38			220 ± 176		A	P
Copepoda ukupno	28 ± 14	5 ± 2	174 ± 139	26 ± 10	297 ± 108	65 ± 65			244 ± 175			
Ukupna brojnost	47 ± 17	19 ± 3	2956 ± 2423	214 ± 15	1054 ± 351	910 ± 234	570 ± 114	2196 ± 739	2703 ± 102			

Prilog 3. Statistički značajne korelacije (Spearmanov koeficijent korelacije, $p < 0,05$) biotičkih i abiotičkih čimbenika na lokalitetima istraživanih geoklimatskih regija

	Otopljeni kisik (mg/L)	Temperatura (°C)	Fitoplankton (Chl <i>a</i> µg/L)	Makrofiti tip	Ribe (prisutnost)	H' (raznolikost zooplanktona)	Zooplankton (ukupna brojnost)
Ribe (prisutnost)				-0,67		-0,82	
Rotifera (jed/L)							0,93
Bogatstvo vrsta (S)				0,65	-0,75		
H' (raznolikost zooplanktona)				0,74	-0,82		
Ekološki indeks				0,94	-0,70	0,77	
TSI	-0,70	0,71					
<i>Lecane</i> spp.		0,76	0,65				0,64
<i>Polyarthra</i> spp.			0,68				0,69

Prilog 4. Rangiranje funkcionalnih obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika za procjenu ekološkog stanja lokvi. (TipM – kompleksnost habitusa makrofita; %M – pokrovnost makrofitima; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; ROTa/d – omjer algivora i detrivora Rotifera; CLAA/d – omjer algivora i detrivora Cladocera)

	Tip M	% M	Ribe	S	H	ROTa/d	CLAA/d	Sum
K1	3	5	-1	2	2	1	1	13
K2	3	5	-1	3	3	-1	1	13
M4	3	5	-1	3	3	-1	1	13
M3	3	5	-1	3	3	-1	0	12
M2	2	5	0	1	1	-1	0	8
M1	1,5	5	-1	1	2	-1	-1	6,5
K3	1	1	-1	3	2	-1	-1	4
K5	0	1	-1	1	1	1	1	4
K4	0	1	-1	1	1	1	-1	2

9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 23. listopada 1995. godine u Splitu. Osnovnu i srednju školu (Opća gimnazija Ploče) završila sam u Pločama, a 2015. godine upisala sam preddiplomski studij Biologije i ekologije mora na Sveučilišnom odjelu za studije mora u Splitu koji sam završila 2018. godine. Iste akademske godine upisala sam diplomski studij Ekologije i zaštite prirode – modul Kopno na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Tijekom studija na PMF-u u Zagrebu sudjelovala sam u predstavljanju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta na Smotri Sveučilišta 2018. godine. U prosincu 2019. godine položila sam Tečaj za osposobljavanje osoba koje rade s pokusnim životinjama (LabAnim A kategorija) pri Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

Aktivno se služim engleskim i albanskim jezikom u govoru i pismu te posjedujem osnovno poznavanje talijanskog jezika. Također, aktivna sam u korištenju Microsoft Office programa, QGIS programa i programskog jezika R.