

Utjecaj ekstremnih meteoroloških uvjeta na zooplankton plitkih jezera

Debogović, Izabela

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:140565>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

**Utjecaj ekstremnih meteoroloških uvjeta na
zooplankton plitkih jezera**

**Extreme weather impact on shallow lakes
zooplankton**

Završni rad

Izabela Debogović

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: prof.dr.sc. Maria Špoljar

Zagreb, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OBILJEŽJA PLITKIH JEZERA.....	2
3. JEZERSKI ZOOPLANKTON	3
3.1. Rotifera (kolnjaci).....	4
3.2. Cladocera (rašljoticalci).....	4
3.3. Copepoda (veslonošci).....	5
4. EKSTREMNI METEOROLOŠKI UVJETI.....	6
4.1. Utjecaj poplava i povećanja razine vode na zooplankton plitkih jezera.....	6
4.2. Utjecaj smanjenja razine vode i presušivanja na zooplankton plitkih jezera.....	10
5. ZAKLJUČAK	14
6. LITERATURA.....	15
7.0. SAŽETAK.....	19
8.0. SUMMARY.....	19

1. UVOD

Ekstremni meteorološki uvjeti se definiraju kao neuobičajene, neočekivane i nesezonalne vremenske prilike, a u njih se ubrajaju: olujni vjetrovi, suša, iznadprosječne količine oborina, hladni i toplinski valovi. Svi ekstremni meteorološki uvjeti nisu posljedica samo klimatskih promjena, izazvanih antropogenim utjecajem, nego su i rezultat specifičnosti atmosfere, kao kompleksnog i dinamičnog sustava na koji utječu različiti čimbenici: nagutost Zemljine osi, apsorpcija i refleksija Sunčevog zračenja, kretanja zračnih masa i hidrološki ciklus. Zbog utjecaja prethodno navedenih čimbenika, pojava ekstremnih meteoroloških uvjeta se može djelomično tumačiti prirodnom varijabilnošću klime na Zemlji (Trenberth 2011).

Klimatske promjene, najčešće inducirane antropogenim utjecajem (povećanje koncentracije stakleničkih plinova i aerosola u atmosferi,), utječu na pojavu ekstremnih meteoroloških uvjeta. One su definirane kao dugotrajna promjena klime koja uključuje promjene obrazaca temperature, padalina i vjetra kroz razdoblje od nekoliko desetljeća i dulje (Leiserowitz i sur. 2014). Rezultati istraživanja klimatskih promjena koje su proveli Meehl i sur. (2000) ukazali su sljedeće:

- 1) povećanje toplinskog indeksa kao posljedica povišenja dnevnih i noćnih temperatura zraka tijekom dvadesetogodišnjeg razdoblja;
- 2) u dvadesetogodišnjem razdoblju temperature su se najviše povisile u središnjim i jugoistočnim dijelovima Sjeverne Amerike te srednjoj i jugoistočnoj Aziji;
- 3) povećanje količine oborina je primijećeno na zapadnoj obali Sjeverne Amerike

Plitka jezera, u odnosu na duboka, su posebno osjetljiva na utjecaje ekstremnih meteoroloških uvjeta (olujni vjetrovi, suša, iznadprosječna količina oborina). Osim što ekstremni uvjeti mogu drastično povećati razinu vode i promijeniti abiotičke uvjete, također dovode do promjene staništa i narušavanja životnih ciklusa za mnoge vrste, posebno za one koje nastanjuju priobalnu (litoralnu) zonu. U ovom radu će procjena utjecaja ekstremnih meteoroloških uvjeta biti prikazana na ekosustavima plitkih jezera te zooplanktonu kao biocenozi kao komponenti, a razlozi su višestruki: kozmopolitska rasprostranjenost zooplanktonskih vrsta, uključenost u različite hranidbene mreže, uključeni su u više trofičkih razina, brz reagiraju na promjene ekoloških čimbenika, relativno lako određivanje koje je posebno korisno u slučajevima kada se osjetljivost zajednice može odrediti na temelju veličine tijela ili grube taksonomske klasifikacije (Jeppesen i sur. 2011).

2. OBILJEŽJA PLITKIH JEZERA

Plitkim jezerima se smatraju ona jezera čija je relativna dubina $\leq 3\text{m}$ (Beklioglu i sur. 2011). Mogu biti prirodna, umjetna, trajna ili povremena. Procjenjuje se da ova staništa obuhvaćaju oko 30% površine svih stajaćica na Zemlji (Jeppesen i sur. 2009). Prema termohidrodinamičkim svojstvima, plitka jezera pripadaju kategoriji polimiktičkih jezera, što znači da miješanje stupca vode ovisi o dnevnom zagrijavanju i noćnom hlađenju (Riđanović 1992).

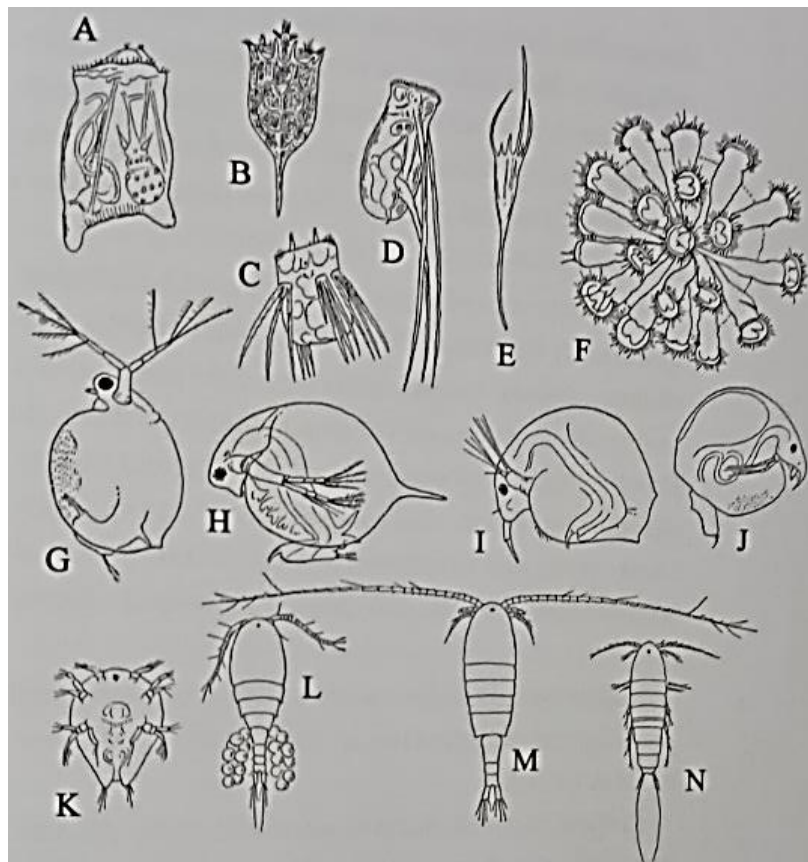
Razni antropogeni utjecaji npr. eutrofikacija (povećanje koncentracija hranjivih tvari ili nutrijenata) klimatske i hidromorfološke promjene, onečišćenje alohtonim tvarima (npr. pesticidima, teškim metalima, lijekovima), acidifikacija, unos invazivnih vrsta, mogu narušiti otpornost i funkcioniranje plitkih jezera (Riley i sur. 2018). Jezera s narušenim ekološkim stanjem (povećani stupanj trofije) su obilježena povećanom mutnoćom, dominacijom fitoplanktona, smanjenom bioraznolikošću, izostanak submerznih makrofita te smanjena bioraznolikost (Moss i sur. 2011).

Prema teoriji alternativnih stabilnih stanja, plitka jezera se mogu nalaziti u stanju prozirne ili u stanju mutne vode (Scheffer i sur. 1993). Jezera mogu naglo prijeći iz prozirnog u mutno stanje, međutim povratak u prozirno stanje najčešće zahtijeva velike napore i provođenje restauracijskih metoda kao što su drenaža sedimenta, biomanipulacija ribama ili uspostava submerznih makrofita (Moss i sur. 1996). Rezultati istraživanja su ukazali na to da su u oba stanja prisutni stabilizacijski mehanizmi (Scheffer i Jeppesen 1998). Na primjer, u stanju mutne vode, ribe pospješuju razvoj fitoplanktona tako da recikliraju nutrijente i kontroliraju populaciju zooplanktona koja se hrani fitoplanktonom. Ribe i valovi doprinose zadržavanju jezera u stanju mutne vode, zato jer resuspendiraju sediment posebno u jezerima u kojima nema submerzne vegetacije ili je ona slabo razvijena. U tom slučaju, ograničena količina svjetlosti i visoka koncentracija suspendiranih tvari otežavaju razvoj submerznih makrofita. S druge strane, kada je razvijena submerzna vegetacija, ona fiksira sediment, smanjuje koncentracije hranjivih tvari (nitrata, fosfata) i kontrolira brojnost algi, što rezultira povećanjem prozirnosti (Nes i Scheffer 2007). Plitka vodena tijela značajno pridonose heterogenosti staništa i raznolikosti vrsta te su kao najrasprostanjeniji slatkovodni ekosustavi izuzetno značajni u ravnoteži biogeokemijskih ciklusa (Habdija i Primc 2019; Kuczyńska-Kippen i sur. 2021).

3. JEZERSKI ZOOPLANKTON

Plankton je zajednica organizama, autotrofnih (fitoplankton) i heterotrofnih (protozooplankton i zooplankton), koji više ili manje pasivno lebde u slobodnoj vodi nošeni vodenim strujanjima. Raspon veličina planktonskih organizama se kreće od 2 μm (pikoplankton) i do nekoliko milimetara (makrozooplankton), a zooplanktonski organizmi najčešće su veličine tijela od 20 do 200 μm . Održavanje u stupcu vode omogućile su različite morfološke i fiziološke prilagodbe. Tako npr. različiti tjelesni nastavci povećavaju površinu tijela, a time i otpor tonjenju, dok kapljice masti, ulja, mjehurići plinova i visoki postotak vode u tijelu smanjuju specifičnu tjelesnu težinu (Habdića i Primc 2019).

Jezerskom zooplanktonu pripadaju kolnjaci (Rotifera) i rakovi (Crustacea) iz skupina rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda) (slika 1). To su heterotrofni organizmi čija prehrana obuhvaća: detritus, fitoplankton, bakterioplankton i druge zooplanktonte.



Slika 1. Predstavnik jezerskog zooplanktona: Rotifera: A) *Asplanchna*, B) *Keratella*, C) *Polyarthra*, D) *Filinia*, E) *Kellicottia*, F) kolonija *Conochilus*; Cladocera: G) *Ceriodaphnia*, H) *Daphnia*, I) *Bosmina*, J) *Chidorus*; Copepoda: K) ciklopoidna ličinka nauplij, L) ciklopoidni *Cyclops*, M) kalanoidni *Diaptomus*, N) harpaktikoidni *Canthocamptus* (preuzeto iz Habdića i Primc 2019).

3.1. Rotifera (kolnjaci)

Kolnjaci su, uglavnom, kozmopolitski rasprostranjeni organizmi, veličine tijela najčešće od 20 do 200 μm (maksimum do 1 mm). Prema načinu prehrane dijele se na algivore, detritivore i predatore, a za sakupljanje i uzimanje hrane su razvili posebne anatomske i morfološke prilagodbe. Ime su dobili prema trepetljivom vijencu (trepčanik, rotatorni organ ili *corona*) (slika 2) koji se nalazi na glavi i okružuje usta, a služi za pokretanje, filtraciju i usmjeravanje čestica hrane prema ustima. Drugo važno obilježje kolnjaka je žvačnjak (*trophi*), koji se nalazi u ždrijelu i prilagođen je određenom načinu prehrane (induktalni i forcipatni - predatori, maleatni i ramatni - detritivori, virgatni i uncinatni - algivori). U planktonu su u kompeticiji za prostor i hranu s veslonošcima i rašljoticalcima (Wallace i Snell 2010)



Slika 2. Rotatorni organ vrste *Epiphanes senta* (preuzeto iz Habdija i Primc, 2019).

Razmnožavaju se cikličkom partenogenezom i stvaraju više generacija u jednoj godini. Tijekom svog životnog vijeka, koji iznosi 1-3 tjedna, ženke produciraju oko 20 jaja koja se razvijaju od jednog do nekoliko dana. Spolnim razmnožavanjem nastaju trajna jaja čija je uloga preživljavanje nepovoljnih uvjeta. Ako su temperatura i drugi ekološki čimbenici (periodičke promjene u intenzitetu svjetlosti, količina i vrste izvora hrane) povoljni, nove jedinke su za nekoliko dana spolno zrele (Habdija i Primc 2019).

3.2. Cladocera (rašljoticalci)

Rašljoticalci su najbrojnija skupina iz razreda škrgonožaca (Branchiopoda). Najpoznatija porodica iz ove skupine su vodenbuhe (Daphnidae), čije ime potječe od rašljastog oblika drugih, dugih, ticala pomoću kojih se kreću. Prema načinu prehrane se dijele na filtratore detritivore (*Bosmina*) i algivore (*Daphnia*) te predatore (*Leptodora*). Kod filtratora, u prostor između dvodijelnog karapaksa ulazi voda, na četinama prsnih nogu se zaustavljaju čestice hrane i dalje

prenose peristaltičkim pokretima preko žlijeba na ventralnoj strani tijela do usta. Kada su uvjeti okoliša povoljni, životni ciklus rašljoticalaca je kratak (5-10 dana). Razmnožavaju se cikličkom partenogenezom (neke vrste imaju obligatnu partenogenezu). Ženke produciraju nekoliko generacija tijekom godine. Spolnim razmnožavanjem nastaju trajna jaja koja su otporna na nepovoljne uvjete i mogu desetljećima mirovati u sedimentu sve dok uvjeti ne postanu povoljni. Zahvaljujući partenogenezi, rašljoticalci, kao i kolnjaci, mogu tijekom povoljnih uvjeta brzo povećati brojnost populacija (Habdija i Primc 2019; Habdija i sur. 2011)

3.3. Copepoda (veslonošci)

Copepoda većinom žive u planktonu mora, ali veliki broj vrsta obitava i u slatkim vodama. Prema načinu prehrane mogu biti algivori, omnivori, i predatori. Imaju manji broj generacija od Rotifera i Cladocera tijekom jedne godine, jer se razmnožavaju isključivo spolno. Juvenilne jedinke postaju adultne nakon šest nauplijskih i pet kopepoditnih stanja. Trajna jaja Copepoda mogu dugo mirovati sve dok uvjeti u okolišu ne postanu povoljni (Habdija i sur. 2011).

4.0. EKSTREMNI METEOROLOŠKI UVJETI

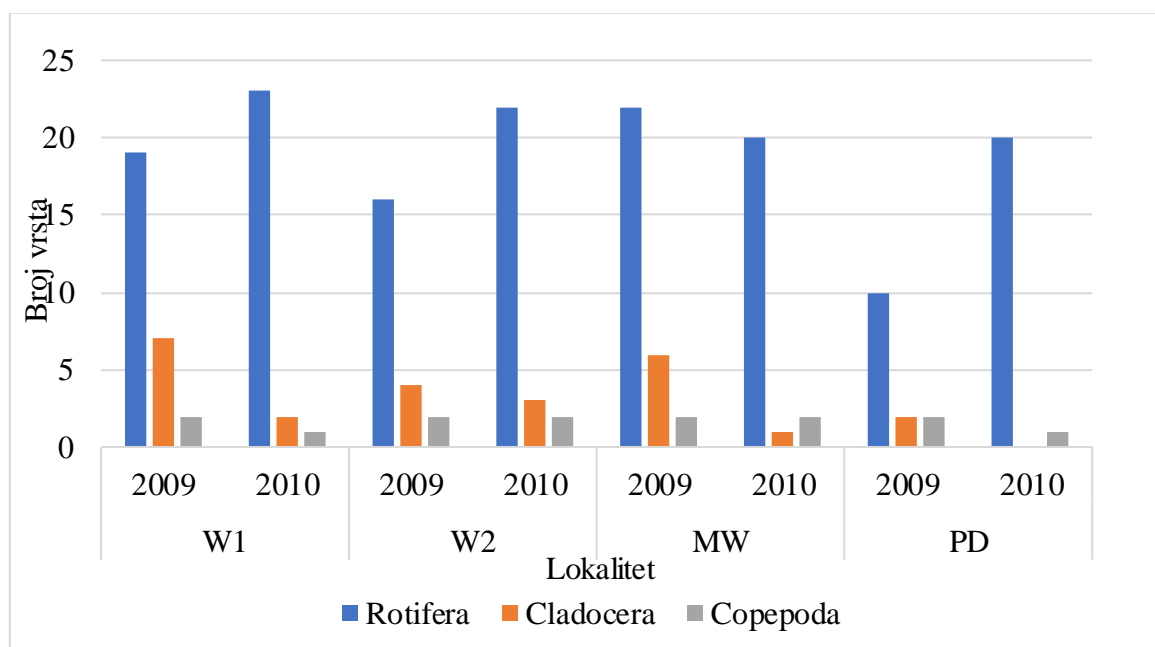
U ekstremne meteorološke uvjete se ubrajaju toplinski valovi, oluje, iznenadne i intenzivne oborine, olujni vjetrovi i suša. Oni uzrokuju znatne oscilacije razine vode, ispriranje organskih tvari i toksikanata te mijenjaju staništa, dostupnost hrane i općenito životne cikluse vrsta. U ovom radu će se razmatrati utjecaj poplave i suše na zooplankton plitkih jezera.

4.1. Utjecaj poplava i povećanja razine vode na zooplankton plitkih jezera

Koncept poplavnog područja (FPC, eng. *flood pulse concept*) definira poplave kao pokretačku silu koja određuje povezanost i fluktuacije tvari i organizama te interakcije biocenoza između rijeke i poplavnog područja (Junk i sur. 1989). Tockner i sur. (2000) su dodatno proširili koncept poplavnog područja te su definirali protočni i poplavni puls kao faze u kojima riječna voda utječe u kanale i jezera ili kada rijeka poplavljuje okolno područje. Poplavna jezera tijekom izolacijske faze postaju slična plitkim eutrofnim jezerima. Kako se povezanost s rijekom povećava, riječni režim više utječe na stanje jezera (Junk i sur. 2013). Poplavna jezera su prepoznata kao područja iznimne bioraznolikosti (Dickerson i sur. 2010). Intenzitet i trajanje poplave imaju značajnu ulogu u razvoju zooplanktonske zajednice, kao i brzina strujanja i vrijeme zadržavanja vode (Schöll i sur. 2012). Utjecaji poplava i povećanja razine vode istraživani su češće u dubokim jezerima, npr. Bodensko jezero (Njemačka) i jezero Biwa (Japan) (Zohary i Ostrovsky 2011) nego u plitkim plitkim jezerima. U posljednje vrijeme ova istraživanja intenziviraju se i u plitkim jezerima, kao na primjer u porječju rijeke Warta u Poljskoj (Juszczak i sur. 2007), u Irskoj (Evtimova i Donohue 2016), a u ovom pregledu posebno će biti predstavljeni rezultati istraživanja u poplavnim jezerima, u Parku prirode Kopački rit, jezero Sakadaš, Hrvatska (Galir-Balkić 2013), poplavnim jezerima rijeke Visle u Poljskoj (Napiorkowski i Napiorkowska 2014) te u mrtvajama u porječju rijeke Krapine u Hrvatskoj (Špoljar i sur. 2018).

U radu Napiorkowski i Napiorkowska (2014) je istraživan utjecaj poplave (svibanj 2010) na strukturu zooplanktonske zajednice rukavaca u donjem toku rijeke Visle prije i poslije poplave. Uzorci su uzeti na 4 lokaliteta koje su se međusobno razlikovala u pokrovnosti i kompleksnosti habitusa makrofita W₁-Winnica 1 (rukavac sa submerznim makrofitima), W₂-Winnica 2 (cijela površina prekrivena plutajućom vegetacijom), MW- Martwa Visla (rukavac sa submerznim makrofitima i jedini rukavac koji je preko kanala povezan s Vislom) te PD- Port Drzewny (rukavac s nerazvijenim litoralom). Mjerenjem fizikalno-kemijskih parametara prije i nakon poplave je ustanovljeno slijedeće stanje: nakon poplave se na 3 od 4 lokaliteta smanjila

prozirnost, električna vodljivost je smanjena na svim lokalitetima, a pH vrijednost, koncentracija otopljenog kisika i temperatura su porasle. Prije poplave, ukupno je determinirano 48 zooplanktonskih vrsta: 36 vrsta Rotifera, 10 vrsta Cladocera i 2 vrste Copepoda. Nakon poplave, ukupno je determinirana 41 vrsta: 35 Rotifera, 4 Cladocera i 2 Copepoda. Na lokacijama W1 i MW (rukavci sa submerznim makrofitima i razvijenim litoralom,) je primijećeno smanjenje ukupnog broja vrsta, dok se na lokacijama W2 (gotovo cijela površina prekrivena plutajućom vegetacijom) i PD (rukavac s nerazvijenim litoralom) ukupan broj vrsta povećao. Broj vrsta Rotifera se povećao na svim lokalitetima (osim MW), dok se broj vrsta Cladocera smanjio na svim lokalitetima. Kod Copepoda se broj vrsta smanjio na lokacijama W1 (rukavac sa submerznim makrofitima i razvijenim litoralom) i PD (rukavac s nerazvijenim litoralom) (slika 3). Iz istraživanja je vidljivo da je poplava uništila submerzne makrofite i uzrokovala resuspenziju sedimenta što je dovelo do promjene abiotičkih uvjeta u poplavnim jezerima. Zbog promjene abiotičkih uvjeta je došlo do promjene strukture zooplanktonske zajednice. Poplava je uzrokovala povećanje brojnosti vrsta, osobito kolnjaka, dok se broj rašljoticalaca smanjio. Najveće promjene su se dogodile u jezerima koja su mala veliku pokrivenost makrofitima (Napiorkowski i Napiorkowska 2014).



Slika 3. Broj zooplanktonskih vrsta prije (2009) i nakon poplave (2010) (prema podacima iz Napiorkowski i Napiorkowska 2014)

U radu Galir-Balkić (2012) je istraživana utjecaj poplava na strukturu zooplanktonske zajednice jezera Sakadaš tijekom četverogodišnjeg razdoblja (2007-2011). Jezero Sakadaš je najdublja depresija u Parku prirode Kopački rit (45° 32' i 45° 47' N, 18° 45' i 18° 59' E) koja je spojena

Hulovskim kanalom s rijekom Dunav. Kopački rit se ubrajaja među najveće fluvijalno-močvarne nizine u Europi. Prostire se sjeverno od rijeke Drave, između nasipa Zmajevac-Kopačevo i rijeke Dunav, te uzvodno od Dunava do nekadašnjeg pristaništa Kazuk. Istočnu granicu parka određuje državna granica s Republikom Srbijom (Galir-Balkić 2012). Život u Kopačkom ritu ovisi o prirodnim procesima plavljenja. Ovisno o količini vode koja uđe ili izađe iz Rita, mozaično raspoređeni dijelovi vodenih i kopnenih staništa mijenjaju svoj izgled i funkciju. Izgled reljefa Kopačkoga rita rezultat je djelovanja voda koje svojom aktivnošću na tome poplavnom terenu oblikuju bare (udubljenja) i grede (povišenja). Uske i dugačke bare i grede pružaju se stotinama metara jedne pokraj drugih, a njihova zakrivljenost daje ovom području specifičan izgled. Cijelo poplavno područje Rita poprima izgled delte, a doista je jedinstveno to što rijeka Dunav u svome srednjem toku, uz pomoć rijeke Drave, stvara tzv. unutarnju deltu, što daje ovom području svjetski značaj (<https://pp-kopacki-rit.hr/poplavno-podrucje/>). Jezero Sakadaš (površina 0,12 km², dubina ≈7 m tijekom srednjeg vodostaja) nastalo je 1926. godine zadržavanjem poplavnih voda Dunava koje su probile nasip Zmajevac-Kopačevo, a zatim je 1969. godine dodatno produbljeno i prošireno radi rekonstrukcije nasipa. Tijekom istraživanog razdoblja jezero se nalazilo u 3 faze: faza protočnog pulsa, faza poplavnog pulsa i faza izolacije. U razdoblju 2007-2011 ukupno je determinirano 137 zooplanktonskih vrsta od kojih su najbrojniji bili kolnjaci (114 vrsta) nakon kojih slijede rašljoticalci (15 vrsta) i veslonošci (8 vrsta). U Sakadaškom jezeru je najveća bioraznolikost kolnjaka među hidrološkim stanjima utvrđena tijekom izolacije, iako je broj akcidentalnih vrsta u vrijeme poplave bio veći, što sugerira na postojanje većeg broja vrsta koji stalno koegzistiraju u stabilnom stanju jezera. Osim povoljnih čimbenika okoliša, nedostatak izravne kompeticije s efikasnijim filtratorima (vrste roda *Daphnia*) (njihov udio u biomasi tijekom ove faze je bio oko 1%) i odsutnosti predatora (velikih ciklopodnih veslonožaca) pogodovali su razvoju kolnjaka. Vrsta *Daphnia longispina* Müller, 1776, kao i ostali predstavnici većih formi rašljoticalaca, utvrđeni su samo tijekom faze poplavnoga pulsa. Najznačajnije su vrste pozitivno korelirale s koncentracijama ukupnog dušika indicirajući ovisnost o degradaciji organske tvari. Najbrojnija vrsta rašljoticalaca tijekom svih hidroloških faza jezera bila je vrsta *Bosmina longirostris* Baird, 1845 koja je činila oko 1 - 2 % ukupne biomase uzorka u vrijeme izolacije i protočnoga pulsa, dok joj se za vrijeme poplava udio u biomasi povećao na 17%. Osim vrste *Chydorus sphaericus* Müller, 1776, koja je bila zastupljenija u fazama većeg protoka vode, sve ostale zabilježene vrste rašljoticalaca su se u uzorcima pojavljivale sporadično. *B. longirostris* je vjerojatno najvažnija vrsta rašljoticalaca u poplavnim područjima (Heiler i sur. 1994). Bolje je prilagođena heterogenom okolišu nego što su to primjerice vrste roda *Daphnia*, te su zbog

male veličine izložene manjem riziku od predatora (Keckeis i sur. 2003). Iako neki smatraju rod *Daphnia* neefikasnim filtratorima poglavito bakterija (Tóth i Kato 1997), ipak je ovaj rod poznat kao efikasni algivor te može konzumirati i veće čestice hrane (Kuczynska-Kippen i sur. 2020). Brojnost i biomasa skupine veslonožaca oscilirale su jednako kao i u slučaju skupine rašljoticalaca pa je tako biomasa veslonožaca bila najveća u fazi poplavnoga pulsa. Postotni udio veslonožaca u biomasi ukupnog metazooplanktona tijekom poplavnog pulsa kretao se oko 80 %, dok je u vrijeme protočnoga pulsa bio znatno manji, te je iznosio 44%. Najveća bioraznolikost kao i najveći broj akcidentalnih vrsta planktonskih rakova u ovoj fazi (čak 18) podupire teoriju o unosu stranih vrsta s povećanjem stupnjem povezanosti s osnovnim koritom rijeke. Vrsta *Thermocyclops crassus* Fischer, 1853 je bila jedina vrsta stalno prisutna u svim hidrološkim fazama, dok je povećanje brojnosti većih veslonožaca, kao što su vrste roda *Cyclops* i kalanoidni veslonošci, utvrđeno u vrijeme poplavnoga pulsa. U vrste *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875 uočena je veća brojnost u pridnenim slojevima vode te su isti pokazali jaču tendenciju u prostornoj razdijeljenosti populacije negoli je to u vrste *T. crassus*. U veslonožaca je uočena sezonska dinamika pa je tako vrsta *T. crassus* bila zastupljenija tijekom toplijih, a vrsta *C. vicinus* tijekom hladnijih mjeseci, što su zabilježili i drugi autori (Kobari i Ban, 1998; Santer i Lampert, 1995). Moguće je da tijekom ljetne faze, poglavito u vrijeme veće brojnosti vrste *B. longirostris*, vrsta *C. vicinus* ulazi u fazu dijapauze kako bi izbjegao kompeticiju nauplija s efikasnijim filtratorima. Ipak, u nekim je jezerima zabilježena prisutnost vrste *C. vicinus* tijekom cijele godine, iako autori naglašavaju da se tijekom različitih godina sezonske sukcesije organizama mogu razlikovati među istim sezonama (Rettig i sur. 2006).

Špoljar i sur. (2018) istraživali su utjecaj fluktuacije razine vode na zooplanktonsku zajednicu mrtvaje Škrčev kut, na desnoj obali rijeke Krapine (45°51'45'' N, 15°49'29'' E) u razdoblju 2012-2013. Tijekom 2012. godine 30-40% površine Škrčevog kuta bilo je prekriveno žutim lokvanjem (*Nuphar lutea* Linnaeus). Tijekom 2013. godine je došlo do porasta razine vode za 2 m. Nakon porasta razine vode, pokrivenost površine žutim lokvanjem se smanjila na 0-3%. Smanjenje populacije žutog lokvanja je uzrokovalo oslobađanje hranjivih tvari iz sedimenta i njegovu resuspenziju što je za posljedicu imalo povećanje razvoja fitoplanktona i mutnoće. Populacije kolnjaka i veslonožaca su povećale brojnost proporcionalno s razinom vode, što ukazuje da su otporni i manje osjetljivi na fluktuacije razine vode. Također, kolnjaci zbog male veličine tijela nisu primarni plijen ribama kao vizualnim predatorima, što je također doprinijelo povećanju brojnosti njihovih populacija. Veslonošci su dovoljno brzi da mogu pobjeći ribama, a povećana mutnoća tijekom visokog vodostaja je dodatno smanjila predaciju riba kao vizualnih

predatora. Populacija rašljoticalaca se smanjila zbog povećane predacije riba. Naime, smanjenje pokrovnosti makrofitima smanjilo je mogućnost zaklona rašljoticalcima, koji su spori plivači, od predacije riba (Špoljar i sur. 2018).

4.2. Utjecaj smanjenja razine vode i presušivanja na zooplankton plitkih jezera

Globalno zagrijavanje uzrokuje promjene jezerskih procesa (smanjenje koncentracije kisika, oslobađanje fosfora iz sedimenta, promjene u nitrifikaciji i denitrifikaciji) i trofičke strukture biocenoza (promjene veličine različitih organizama, njihovog sastava i prehrambenih skupina) (Yang i sur. 2008). Nadalje, ono povećava učestalost sušnih razdoblja, naročito u područjima sa semiaridnom klimom (Mediteran, srednjoazijske pustinje) (Trenberth i sur. 2014). Postojeći klimatski modeli za semiaridno područje Mediterana prognoziraju drastične promjene dostupnosti pitke vode zbog predviđenog smanjenja količine oborina (Christensen i sur 2013). Povišenje temperature i učestala sušna razdoblja će uzrokovati povećanu potražnju za vodom (voda za piće i navodnjavanje) što će za posljedice imati konstantno snižavanje razine vode u jezerima i drastične redukcije vode (Leblanc 2009). Slijedom analiza predviđnja ukazuju da bez obzira na smanjenje alohtonog unosa nutrijenata uzrokovanog redukcijom oborina, proces eutrofikacije će se intenzivirati zbog pojačane evaporacije i smanjene precipitacije (Coppens 2016). Eutrofikacija bi mogla biti dodatno intenzivirana oslobađanjem hranjivih tvari iz jezerskog sedimenta u anoksičnim uvjetima (Beklioglu i sur. 2010). Salinitet kao abiotički čimbenik može utjecati na promjenu strukture zooplankton u plitkim vodenim tijelima. Rezultati istraživanja vodenih tijela većeg sliniteta u plitkim vodenim tijelima semiaridnog područja Irana ukazuju na vrlo visoku abundanciju holobiontskih vrsta kolnjaka iz rodova *Brachionus*, *Hexarthra*, *Synchaeta* i *Notholca* (Malekzadeh Viayeh i Špoljar 2012). Boros i sur. 2014 istraživali su rasprostranjenost, brojnost i raznolikost zooplanktona u 110 slanih lokvi karpatskog bazena. Dokazali su da se povišenjem saliniteta povećava brojnost kolnjaka, a njihova raznolikost se istovremeno smanjuje. U ovom pregledu posebno će biti predstavljeni rezultati istraživanja na jezeru Waihola (Novi Zeland, Schallenberg i sur. 2003) te na mediteranskim lokvama Dugog otoka (Hrvatska, Kahrman 2019, Špoljar i sur. 2019)

Na mediteranske povremene lokve značajno utječe duljina i raspon hidroperioda (razdoblje zadržavanja vode) te se ubrajaju u izrazito varijabilna staništa (Zacharias i sur., 2007). Količinu vode koja može ispuniti lokvu određuju nagib supstrata i propusnost. Oni utječu na raspon (izmjena sušnog razdoblja i razdoblja ispunjenosti vodom) i duljinu (razdoblje u kojem je bazen ispunjen vodom) hidroperioda kao najznačajnijeg čimbenika koji definira sturkturu faune

povremenih stajaćica. Povremene stajaćice se prema duljini trajanja hidroperioda dijele u pet kategorija (tablica 1) (Sahuquillo i Miracle 2013).

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

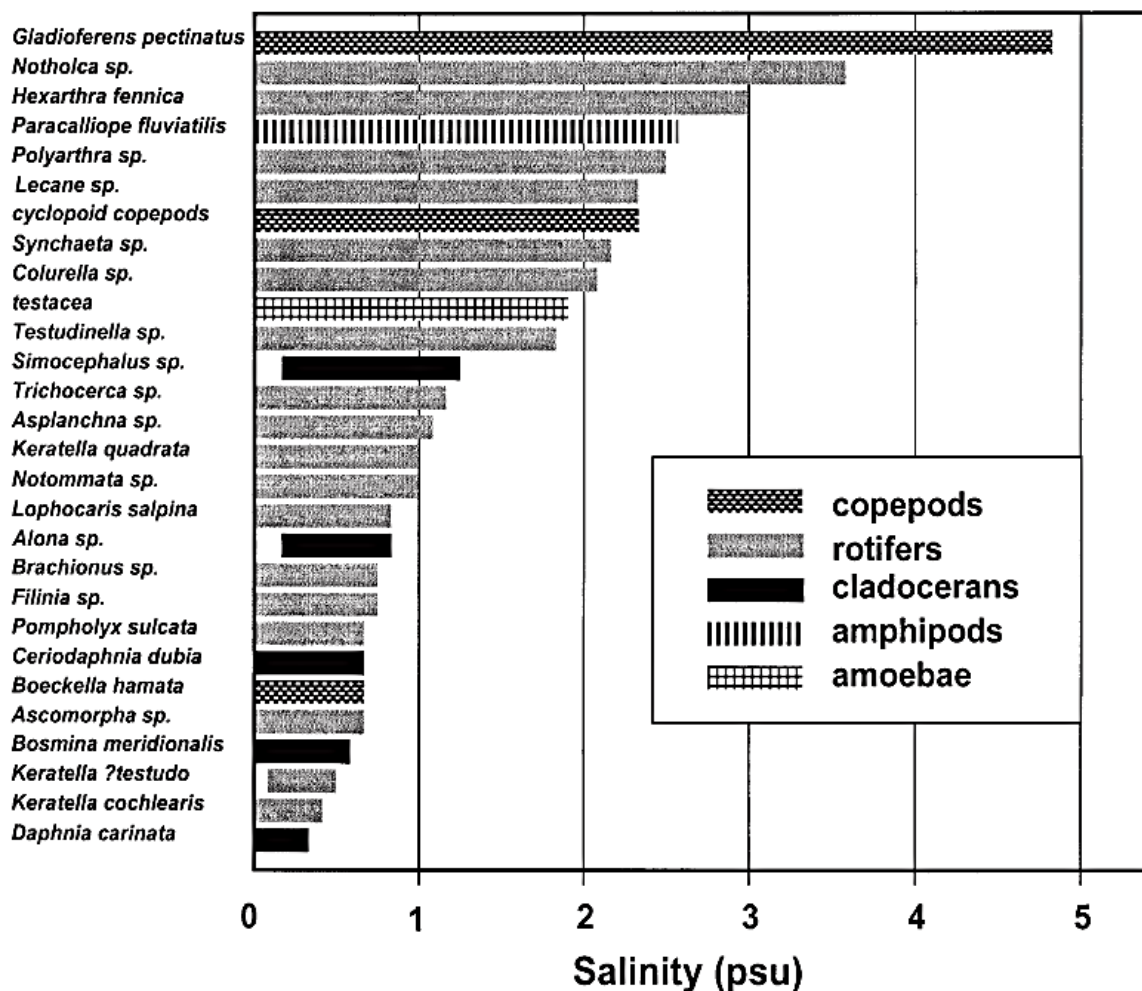
Kategorija lokve	Hidroperiod
Povremene s kratkim hidroperiodom (eng. <i>temporary short</i> , TS)	< 3 mjeseca
Povremene sa srednjim hidroperiodom (eng. <i>temporary intermediate</i> , TM)	Od 3 do 6 mjeseci
Povremene s dugim hidroperiodom (eng. <i>temporary long</i> , TL)	Od 6 do 9 i više mjeseci s godišnjim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

Raspon hidroperioda može odrediti važnost abiotičkih i biotičkih čimbenika u strukturiranju vodene zajednice ovisno o duljini zadržavanja vode i njezinoj prisutnosti (Arnott i Vanni 1993). Kraći hidroperiod može onemogućiti sezonsku sukcesiju te na taj način spriječiti postizanje ravnoteže u nekim staništima (Williams 1997). Dulji hidroperiod omogućava promjenu okolišnih uvjeta, a rezultati istraživanja Fahd i Serrano (2005) su ukazali da se brojnost zooplanktona povećava s duljinom trajanja hidroperioda. Prosesi u sedimentu također su pod utjecajem hidroperioda. U stalnim stajaćicama se organska tvar tijekom godine akumulira na dnu, a u povremenim stajaćicama dolazi do razgradnje organske tvari tijekom sušnog razdoblja, izostanka akumulacije i značajnih promjena u dubini (Williams i sur. 2001). Prethodno spomenuta pojava je značajna kod lokvi s duljim sušnim razdobljem (TS) i kraćim hidroperiodom.

U radu Kahrman (2019) je istraživao utjecaj okolišnih čimbenika na zooplankton mediteranskih lokvi tijekom 2017 godine. Istraživanje je provedeno na deset lokvi koje se nalaze na Dugom otoku. Lokve DO1-3 se nalaze na sjevernoj, a DO4-10 na južnoj stani, a lokva DO9 se nalazi u Parku prirode Telašćica. Geološku podlogu otoka čine vapnenci i dolomiti (krški reljef). Istraživano područje karakteriziraju male količine oborina, visoke temperature i

kontinuirani vjetar tijekom toplijeg dijela godine. Zbog prethodno nabrojanih čimbenika, otok karakterizira visoka evaporacija i izrazita sušnost. Lokve su bile u funkciji vodoopskrbe, navodnjavanja polja i napajanje stoke, ali su one danas većinom zapuštene zbog neodržavanja. Istraživanje je ukazalo na to da lokve s većom pokrivenošću makrofitima imaju veću raznolikost zooplanktona, zato jer makrofiti pružaju sklonište od predatora i izvor su hrane. U većini lokvi su brojem vrsta i brojnošću dominirali kolnjaci, što ukazuje da su otporni na promjenjive i nestabilne uvjete u okolišu. U bočatim lokvama su prevladavali planktonski rakovi zbog bolje prilagođenosti na zaslanjenje. U lokvama s većim vrijednostima fitoplanktona (indicirnog temeljem koncentracije klorofila *a*) su prevladavali kolnjaci (detritivori), dok su u lokvama s manjom biomasom fitoplanktona prevladavali planktonski rakovi (algivori i predatori), što ukazuje na njihovu učinkovitost filtracije fitoplanktona. Prisutnost predatora, tj. riba, se negativno odrazila na brojnost zooplanktona, što je uzrokovalo smanjenje brojnosti makrofiltratorskih rašljoticalaca, dok je predacija makrozoobentoskih predatora utjecala na smanjenje brojnosti mikrofiltratora (Kahrman 2019).

Schallenberg i sur. (2003) istraživali su utjecaj prodora morske vode na sastav zooplanktonske zajednice jezera Waihola u razdoblju 1997-2000. Waihola je srednje veliko (površina 5.4 km²) i plitko (srednja dubina 1.15 m) jezero koje je preko rijeke Taiheri povezano s morem. Tijekom sušnog razdoblja, kada je vodostaj rijeke Taiheri nizak, dolazi do prodora slane vode u jezero. Tijekom ljeta 1998 je došlo do izraženog prodora slane vode u jezero, dok 2000 godine taj prodor nije bio tako izražen. Posljedično, salinitet je u razdoblju 1997-1998 postigao vrijednost 4.7 psu (praktična jedinica saliniteta), dok je u razdoblju 1999-2000 iznosio 1.2 psu. Zooplanktonke vrste u jezeru su rangirane s obzirom na svoju toleranciju prema promjenama vrijednosti saliniteta (slika 4). Kada su vrijednosti saliniteta bile >1.3 psu, rašljoticalci su bili gotovo odsutni. Iako su neki kolnjaci pokazivali optimum i toleranciju prema srednjim vrijednostima saliniteta, bilo je i onih koji su bili prisutni pri većim vrijednostima saliniteta (*Hexarthra fennica* Levander, 1892).



Slika 4. Tolerantnost zooplanktonskih vrsta prema salinitetu (preuzeto iz Schallenberg i sur. 2003)

Rezultati istraživanja ukazuju na to da će povećanje vrijednosti saliniteta dovesti do promjene u broju vrsta. U slučaju povećanja vrijednosti saliniteta, u planktonu će biti prisutni samo kolnjaci i veslonožac *Gladioferens pectinatus* Brady, 1899. To nam ukazuje da će se porastom saliniteta povećati broj marinskih i estuarijskih vrsta koje imaju veću toleranciju na povišene vrijednosti saliniteta (Schallenberg i sur. 2003).

5.0. ZAKLJUČAK

Iz prethodno navedenih istraživanja se može utvrditi da ekstremni meteorološki uvjeti, kao što su polava i suša, utječu na zooplanktonske zajednice plitkih jezera. Intenzivne oborine uzrokuju poplave koje smanjuju pokrivenost površine makrofitima, a posljedice su povećanje mutnoće plitkih jezera zbog resuspenzije sedimenta, oslobađanja hranjivih tvari iz sedimenta i povećanja biomase fitoplanktona. Brojnost kolnjaka i veslonožaca se povećava, a rašljoticalaca se smanjuje (gubitak zaklona, sporo kretanje, povećana predacija riba). Sušu uzrokuje dugotrajno razdoblje visokih temperatura i manjak oborina. Dugotrajno sušno razdoblje povećava evaporaciju, a jedna od posljedica je i povećanje saliniteta. Kod niskih vrijednosti saliniteta u plitkim jezerima dominiraju kolnjaci, a pri višim vrijednostima saliniteta dominiraju veslonošci, što ukazuje da imaju veću toleranciju na povišeni salinitet.

6.0. LITERATURA

Arnott, S. E., & Vanni, M. J. (1993): Zooplankton assemblages in fishless bog lakes: influence of biotic and abiotic factors. *Ecology*, 74(8), 2361-2380.

Baumgärtner, D., Mörtl, M., & Rothhaupt, K. O. (2008): Effects of water-depth and water-level fluctuations on the macroinvertebrate community structure in the littoral zone of Lake Constance. In *Ecological Effects of Water-Level Fluctuations in Lakes* (pp. 97-107). Springer, Dordrecht.

Beklioglu, M., Meerhoff, M., Søndergaard, M., & Jeppesen, E. (2010): Eutrophication and restoration of shallow lakes from a cold temperate to a warm mediterranean and a (sub) tropical climate. In *Eutrophication: causes, consequences and control* (pp. 91-108). Springer, Dordrecht.

Boros, E., Horváth, Z., Wolfram, G., & Vörös, L. (2014): Salinity and ionic composition of the shallow astatic soda pans in the Carpathian Basin. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 50, No. 1, pp. 59-69). EDP Sciences.

Christensen, J. H., Kanikicharla, K. K., Aldrian, E., An, S. I., Cavalcanti, I. F. A., de Castro, M., ... & Zou, L. (2013): Climate phenomena and their relevance for future regional climate change. In *Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1217-1308). Cambridge University Press.

Dickerson, K. D., Medley, K. A., & Havel, J. E. (2010): Spatial variation in zooplankton community structure is related to hydrologic flow units in the Missouri River, USA. *River Research and Applications*, 26(5), 605-618.

Evtimova, V. V., & Donohue, I. (2016): Water-level fluctuations regulate the structure and functioning of natural lakes. *Freshwater Biology*, 61(2), 251-264.

Galir-Balkić, A. (2013): Utjecaj vodnog režima Dunava na strukturu i dinamiku metazooplanktona Sakadaškog jezera (Park prirode, Kopački rit). Doctoral thesis, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. Department of Biology

Habdija, I., Primc Habdija, B., Radanović, I., Špoljar, M., Matoničkin Kepčija, R., Vujčić Karlo, S., Miliša, M., Ostojić, A. i Sertić Perić, M. (2011): Protista-Protozoa i Metazoa-Invertebrata : Strukture i funkcije. Zagreb. Alfa d.d.

Habdija, I., Primc, B. (2019): Limnologija, Zagreb, Alfa d.d.

Heiler, G., Hein, T., & Schiemer, F. (1994): The significance of hydrological connectivity for limnological processes in Danubian backwaters. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 25(3), 1674-1679.

<https://pp-kopacki-rit.hr/poplavno-podrucje/>

Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K. M., Andersen, H. E., ... & Olesen, J. E. (2009): Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and

lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of environmental quality*, 38(5), 1930-1941.

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Søndergaard, M., Hoffmann, C. C., ... & Özkan, K. (2011): Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, 663(1), 1-21.

Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989): The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), 110-127.

Junk, W. J., An, S., Finlayson, C. M., Gopal, B., Květ, J., Mitchell, S. A., Mitsch, W. J., & Robarts, R. D. (2013): Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences*, 75(1), 151-167. doi:10.1007/s00027-012-0278-z.

Juszczak, R., Lesny, J., & Olejnik, J. (2007): Ecological quality and degradation of small post-peat water bodies situated on the wetlands of the Wyskoc catchment. *Wetlands: Monitoring, Modelling and Management*, 77.

Kahrman, K. (2019): Utjecaj okolišnih čimbenika na raspodjelu zooplanktona u mediteranskim lokvama. Master's thesis, University of Zagreb. Faculty of Science. Department of Biology.

Keckeis, S., Baranyi, C., Hein, T., Holarek, C., Riedler, P., & Schiemer, F. (2003): The significance of zooplankton grazing in a floodplain system of the River Danube. *Journal of Plankton Research*, 25(3), 243-253.

Kobari, T., & Ban, S. (1998): Life cycles of two limnetic cyclopoid copepods, *Cyclops vicinus* and *Thermocyclops crassus*, in two different habitats. *Journal of Plankton research*, 20(6), 1073-1086.

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, 106629

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.

Leblanc, M. J., Tregoning, P., Ramillien, G., Tweed, S. O., & Fakes, A. (2009): Basin-scale, integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia. *Water resources research*, 45(4).

Leiserowitz, A., Smith, N., & Marlon, J. R. (2011): American teens' knowledge of climate change. *Yale University. New Haven, CT: Yale Project on Climate Change Communication*, 5.

Malekzadeh-Viayeh, R. M., & Špoljar, M. (2012): Structure of rotifer assemblages in shallow waterbodies of semi-arid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia*, 686(1), 73-89.

Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., & Whetton, P. (2000): Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 427-436.

Moss B, Kosten S, Meerhoff M, Battarbee RW, 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. doi 10.5268/IW-1.2.359

Napiórkowski, P., & Napiórkowska, T. (2014): The Impact of Catastrophic Flooding on Zooplankton. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2).

Rettig, J. E., Schuman, L. S., & McCloskey, J. K. (2006): Seasonal patterns of abundance: do zooplankton in small ponds do the same thing every spring–summer. *Hydrobiologia*, 556(1), 193-207.

Riđanović, J. (1992): Hidrogeografija, Zagreb, Školska knjiga d.d.

Riley WD, Potter ECE, Biggs J, Collins AL, Jarvie HP, Jones JI, Kelly-Quinn M, Ormerod SJ, Sear DA, Wilby RL, Broadmeadow S, Brown CD, Chanin P, Copp GH, Cowx IG, Grogan A, Hornby DD, Huggett D, Kelly MG, Naura M, Newman JR, Siriwardena GM (2018): Small water bodies in Great Britain and Ireland: ecosystem function, human-generated degradation, and options for restorative action. *Science of the Total Environment* 645: 1598-1616. doi 10.1016/j.scitotenv.2018.07.243

Sahuquillo, M., & Miracle, M. R. (2013): The role of historic and climatic factors in the distribution of crustacean communities in Iberian Mediterranean ponds. *Freshwater Biology*, 58(6), 1251-1266.

Santer, B., & Lampert, W. (1995): Summer diapause in cyclopoid copepods: adaptive response to a food bottleneck. *Journal of Animal Ecology*, 600-613.

Schallenberg, M., Hall, C. J., & Burns, C. W. (2003): Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine ecology progress series*, 251, 181-189.

Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M. L., Moss, B., & Jeppesen, E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in ecology & evolution*, 8(8), 275-279.

Scheffer, M., & Jeppesen, E. (1998): Alternative stable states. In *The structuring role of submerged macrophytes in lakes* (pp. 397-406). Springer, New York, NY.

Scheffer M, van Nes E.H. (2007) Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584: 455-466

Schöll, K., Kiss, A., Dinka, M., & Berczik, Á. (2012): Flood-Pulse Effects on Zooplankton Assemblages in a River-Floodplain System (Gemenc Floodplain of the Danube, Hungary). *International Review of Hydrobiology*, 97(1), 41-54.

Serrano, L., & Fahd, K. (2005): Zooplankton communities across a hydroperiod gradient of temporary ponds in the Donana National Park (SW Spain). *Wetlands*, 25(1), 101-111.

- Špoljar, M., Dražina, T., Lajtner, J., Kovačević, G., Pestić, A., Matijašec, D., & Tomljanović, T. (2018): Impact of water level fluctuation in the shaping of zooplankton assemblage in a shallow lake. *Croatian Journal of Fisheries*, 76(1), 27-34.
- Špoljar, M., Dražina, T., Kahrman, K., Medić, N., & Cvetnić, M. (2019): The impact of invasive eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859) on zooplankton in small Mediterranean ponds. *sa54*, 411.
- Trenberth, K. E. (2011): Attribution of climate variations and trends to human influences and natural variability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 925-930.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014): Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.
- Tockner, K., Malard, F., & Ward, J. V. (2000): An extension of the flood pulse concept. *Hydrological processes*, 14(16-17), 2861-2883.
- Tóth, L. G., & Kato, K. (1997): Size-selective grazing of bacteria by *Bosmina longirostris*—an image-analysis study. *Journal of plankton research*, 19(10), 1477-1493.
- Wallace, R. L., & Snell, T. W. (2010): Rotifera. In *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates* (pp. 173-235). Academic Press.
- Williams, D. D. (1997): Temporary ponds and their invertebrate communities. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 7(2), 105-117.
- Williams, P., Biggs, J., Fox, G., Nicolet, P., & Whitfield, M. (2001): History, origins and importance of temporary ponds. In *Freshwater Forum* (Vol. 17, pp. 7-15).
- Yang, X., Anderson, N. J., Dong, X., & Shen, J. I. (2008): Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: their relationships and implications for assessing long-term eutrophication. *Freshwater Biology*, 53(7), 1273-1290.
- Zacharias, I., Dimitriou, E., Dekker, A., & Dorsman, E. (2007): Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: threats, management and conservation issues. *Journal of environmental biology*, 28(1), 1-9.
- Zohary, T., & Ostrovsky, I. (2011): Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland waters*, 1(1), 47-59.

7.0. SAŽETAK

Uobičajena relativna dubina plitkih jezera je ≤ 3 m. Mogu biti prirodna, umjetna, trajna i povremena. Procjenjeno je da ova staništa obuhvaćaju oko 30% površine svih stajaćica na Zemlji. Prema teoriji alternativnih stabilnih stanja, plitka jezera se mogu nalaziti u stanju prozirne ili u stanju mutne vode. Jezerskom zooplanktonu pripadaju kolnjaci, rašljoticalci i veslonošci. U ovom radu je dan pregled utjecaja poplave, fluktuacije razine vode te suše nazooplankton plitkih jezera.

Ključne riječi: Rotifera, Cladocera, Copepoda, poplavna jezera, mrtvaje, mediteranske lokve

8.0. SUMMARY

Mean depth of shallow lakes is typically <3 m. They can be natural, man-made, permanent and temporary. According to alternative stable states theory, shallow lakes can be in clear water or turbid state. Rotifers, cladocerans and copepods are shallow lakes zooplankton species. In this work, a short review of flood, water level fluctuations and drying out impacts on shallow lakes zooplankton has been presented.

Key words: rotifers, cladocerans, copepods, floodplain lakes, oxbow lakes, Mediterranean ponds