

# Struktura i dinamika zajednice ličinki trzalaca (Chironomidae, Diptera) u slivu rijeke Dobre

---

Koh, Miran

Master's thesis / Diplomski rad

2016

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:840804>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



**ODJEL ZA  
BIOLOGIJU**  
Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA BIOLOGIJU

Diplomski sveučilišni studij Biologija; smjer: znanstveni

Miran Koh

Struktura i dinamika zajednice ličinki trzalaca (Chironomidae,  
Diptera) u slivu rijeke Dobre

Diplomski rad

Osijek, 2016.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Odjel za biologiju

Diplomski sveučilišni studij Biologija; smjer: znanstveni

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

### STRUKTURA I DINAMIKA ZAJEDNICE LIČINKI TRZALACA (CHIRONOMIDAE, DIPTERA) U SLIVU RIJEKE DOBRE

Miran Koh

**Rad je izrađen:** Zavod za ekologiju voda

**Mentor:** Dr. sc. *Dubravka Čerba*, docent

**Komentor:** Dr. sc. *Krešimir Žganec*, docent

#### Kratak sažetak diplomskog rada:

Istraživanje kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednice ličinki trzalaca (Diptera, Chironomidae) u Gojačkoj Dobri provedeno je u periodu od 2007. do 2016. godine. Uzorkovanje je provedeno na postaji nizvodno od brane hidroelektrane Lešće na mikrostaništima s mahovinom, prije i poslije početka rada hidroelektrane u lipnju 2010. g. Tijekom istraživanja utvrđene su promjene u strukturi i gustoći zajednice trzalaca. NMDS i PERMANOVA (pseudo-f = 6.4778, p = 0.001) analize pokazale su statistički značajnu razliku u gustoći jedinki unutar zajednice prije i poslije izgradnje brane, a IndVal analiza pokazala je da su svojte *Nilotanytus dubius* i *Tanytarsus* sp. značajne za strukturu zajednice u razdoblju prije 2010. godine, te *Cricotopus triannulatus* agg. i *Orthocladius (Orthocladius)* sp. za razdoblje nakon 2010. godine. Ukupno, *C. triannulatus* agg. (Orthoclaadiinae) je imao najveću gustoću. Brojnost ličinki pokazala je najveću pozitivnu korelaciju s koncentracijom kisika u vodi, temperaturom vode i pH.

**Broj stranica:** 46

**Broj slika:** 32

**Broj tablica:** 5

**Broj literaturnih navoda:** 107

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** Trzalci, Chironomidae, sastav zajednice, kvaliteta vode, Dobra, krška rijeka, mahovine

**Datum obrane:** 27.10.2016.

#### Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Dr. sc. *Nataša Turić*, docent
2. Dr. sc. *Krešimir Žganec*, docent
3. Dr. sc. *Dubravka Čerba*, docent
4. Dr. sc. *Alma Mikuška*, docent

**Rad je pohranjen u:** knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, u elektroničkom obliku, te je objavljen na web stranici Odjela za biologiju.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek

MS thesis

Department of Biology

Graduate university study programme in Biology

Scientific Area: Natural science

Scientific Field: Biology

THE STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE NON BITING MIDGE COMMUNITY (CHIRONOMIDAE, DIPTERA) IN THE RIVER DOBRA BASIN

Miran Koh

**Thesis performed at:** Subdepartment of water ecology

**Supervisor:** *Dubravka Čerba*, PhD, Assistant Professor

**Cosupervisor:** *Krešimir Žganec*, PhD, Assistant Professor

**Short abstract:**

The research of the qualitative and quantitative community structure of the non biting midge (Diptera, Chironomidae) was conducted in the period from 2007 to 2016. The sampling was carried out on area with large stones covered with moss, downstream the hydroelectric power plant Lešće, before and after it was put in operation in June 2010. During the research changes in Chironomidae community structure and density were determined. NMDS and PERMANOVA (pseudo-f = 6.4778, p = 0.001) analyses have shown statistically significant differences in community structure before and after the dam was completed, IndVal analysis has shown that the *Nilotanytus dubius* and *Tanytarsus* sp. taxa were the significant representatives in the community in the period before 2010, and that the *Cricotopus triannulatus* agg. i *Orthocladius* (*Orthocladius*) sp. taxa prevailed in the the period after 2010. In total *C. triannulatus* agg. (Orthoclaadiinae) had the greatest density. The abundance of larvae had the greatest positive correlation with the oxygen concentration in water, the temperature of water and pH.

**Number of pages:** 46

**Number of figures:** 32

**Number of tables:** 5

**Number of references:** 107

**Original in:** Croatian

**Key words:** midges, Chironomidae, community structure, water quality, Dobra, carstic river, moss

**Date of the thesis defence:** 27.10.2016.

**Reviewers:**

1. *Nataša Turić*, PhD, Assistant Professor
2. *Krešimir Žganec*, PhD, Assistant Professor
3. *Dubravka Čerba*, PhD, Assistant Professor
4. *Alma Mikuška*, PhD, Assistant Professor

**Thesis deposited in** Library of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek and in National university library in Zagreb in electronic form. It is also disposable on the web site of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek

## **Sadržaj**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Uvod</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Značajnost vodenih ekoloških sustava                                     | 1         |
| 1.2. Vrijednost biota i bioraznolikosti                                       | 2         |
| 1.3. Ekologija trzalaca   | 4         |
| 1.4. Životni ciklus trzalaca  | 6         |
| 1.5. Anatomija i morfologija trzalaca   | 7         |
| 1.6. Cilj istraživanja  | 12        |
| <b>2. Materijal i metode</b>  | <b>13</b> |
| 2.1. Područje istraživanja  | 13        |
| 2.2. Terenska i laboratorijska istraživanja                                   | 15        |
| 2.3. Obrada podataka  | 16        |
| <b>3. Rezultati</b>   | <b>18</b> |
| 3.1. Sastav zajednica ličinki trzalaca u mahovini na postaji D7 Gojačke Dobre | 18        |
| 3.2. Analiza promjena u strukturi zajednica trzalaca                          | 25        |
| 3.2.1. Utjecaj HE Lešće   | 28        |
| 3.3. Fizikalno-kemijski parametri vode  | 30        |
| <b>4. Rasprava</b>  | <b>32</b> |
| <b>5. Glavni rezultati i zaključak</b>  | <b>36</b> |
| <b>6. Literatura</b>  | <b>37</b> |

# 1. Uvod

## 1.1. Značajnost vodenih ekoloških sustava

Vodeni ekološki sustavi čine dinamičnu cjelinu koja je od izrazite važnosti za cjelokupnu biosferu, što ih čini izrazito složenim i zanimljivim za istraživanje. Istraživanje spomenutih sustava je dovelo do daljnjega teorijskog razvoja ideje ekološkoga sustava, pronalaska mnogih metoda kontroliranja širenja bolesti te prepoznavanja i remedijacije zagađenja, zaštite vrijednih i rijetkih vrsta, uspostavljanje boljih metoda upravljanja uzgajalištima raznih vodenih organizama i dr. (Dodds i sur., 2010). Također je proučavanjem vodenih ekoloških sustava dobivena slika njihove važnosti za šire društvo, zbog usluga koje pružaju. Osim direktne uporabe, vodeni ekosustavi imaju i neposrednu vrijednost. Tako bi za usluge ekoloških sustava dobivenih iz vlažnih područja vrijednost iznosila  $3.2 \times 10^{12}$  (bilijun) američkih dolara (USD) godišnje te  $1.7 \times 10^{12}$  USD godišnje za rijeke i jezera (Costanza i sur., 1997). Te vrijednosti će vjerojatno rasti kako istraživači budu otkrivali nove usluge (Dodds i sur., 2008). Jedan od važnijih problema prilikom određivanja vrijednosti tih usluga je kako ih kvantificirati. Jedan od najprihvatljivijih sustava za određivanje vrijednosti usluga ekosustava je onaj razvijen uz pomoć Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2003). Ovaj sustav prepoznaje uslužne (snabdjevajuće, regulatorne te podržavajuće) te neuslužne vrijednosti (etičke, religijske, kulturalne i filozofske). Same se uslužne mogu razdvojiti na direktne, indirektne te neobvezne. Direktni uključuju potrošne vrijednosti (iskorištavanje ribljega fonda ili vodenih biljaka) te nepotrošne (rekreacija). Indirektna vrijednost obuhvaća pročišćavanje voda, snabdijevanje vodom te druge procese ekoloških sustava koji pogoduju društvu. Nepotrošne vrijednosti se mogu odrediti na temelju količine novca koji ljudi troše na određene aktivnosti te preispitivanjem koliko su spremni platiti kako bi se ta aktivnost nastavila (Wilson i Carpenter, 1999). To uključuje i rast cijena nekretnina koje su u blizini jezera visoke kvalitete (Michael i sur., 1996). Indirektna vrijednost se kvantificira preko primjerice troška saniranja mogućega onečišćenja, ukoliko takva opasnost postoji ili štete od poplava koje bivaju spriječene zbog vlažnih područja. Spomenuti servisi su ranjivi na paletu različitih čimbenika poput eutrofikacije, kemijskog i toplinskog onečišćenja i zagađenja, unosa patogena i invazivnih vrsta, uništavanje staništa te globalnih klimatskih promjena.

## 1.2. Vrijednost biota i bioraznolikosti

Biološka komponenta ekoloških sustava ima ključnu ulogu u oblikovanju samih ekosustava i time oblikovanju ekoloških interakcija unutar sustava. Točna determinacija tih organizama je temelj za razumijevanje njihove uloge u sustavu. Prisutnost ili odsutnost nekih svojti može indicirati onečišćenje ili zagađenje. Takve procjene se oslanjaju na pronalazak osjetljivih ili tolerantnih svojti pomoću čega se određuje kvaliteta vode (Palmer i sur., 1997; Covich i sur., 1999). Kako bi se odredilo stanje nekog ekološkog sustava potrebno je izmjeriti i usporediti promjenu stanja i funkcije sa referentnim tj. prirodnim. Elementi koji se mjere uključuju biološke elemente te hidromorfološke i fizikalno-kemijske (Web 1). S obzirom na stupanj promjene vodna tijela se svrstavaju u jednu od 5 kategorija ekološkog stanja (Tablica 1).

Tablica 1. Kategorije ekološkog stanja (Web 1)

| Kategorije ekološkog stanja | Boja       |
|-----------------------------|------------|
| Vrlo dobro                  | Plava      |
| Dobro                       | Zelena     |
| Umjereno                    | Žuta       |
| Loše                        | Narančasta |
| Vrlo loše                   | Crvena     |

Jedan od važnijih elemenata koji određuju zdravlje nekog ekološkog sustava je bioraznolikost. Najjednostavnije mjere biološke raznolikosti su bogatsvo vrsta, odnosno ukupan broj vrsta pronađen u određenom području te odnos zastupljenosti određene vrste u zajednici. Osim određivanja ovog kvalitativnog sastava važno je odrediti i kvantitativan, odnosno odrediti brojnost identificiranih svojti. Kako bi se dobila puna slika potrebno je odrediti i dominantnost tj. odnos brojnosti populacije jednog svojti u odnosu na ukupnu brojnost i učestalost, odnosno stopu prisutnosti svojti na staništu. Uz navedene metode, koriste se i indeksi diverziteta kao što su Simpsonov indeks, Indeks ravnomjernosti rasporeda

svojtj, Margalefov i dr., te indeksi sličnosti poput Sorensonova indeksa, Indeksa sličnosti po Jaccard-u, indeksa postotaka sličnosti zajednica i dr. (Simić i Simić, 2012)

Osim navedenih antropogenih pitanja, biološka raznolikost je od iznimne važnosti za normalno funkcioniranje svih ekoloških sustava (Beveridge i sur., 1994). Zbog trenutne „krize“ bioraznolikosti, uzrokovane većinom direktnim i indirektnim antropogenim djelovanjem, istraživači sve više daju naglasak na vezu između bioraznolikosti i funkcioniranja ekosustava (Schulze i Mooney, 1994). Ta bi povezanost mogla senzibilizirati javnosti na važnost i vrijednost ekoloških sustava te doprinijeti smanjenju njihove degradacije.

Funkcije ekosustava uključuju osnovne procese poput fotosinteze, respiracije, denitrifikacije, retencije fosfora i dr., ili kao manje općenite procese poput proizvodnje biomase za biljojede. Najbitnije pitanje ovih istraživanja je koji su svojtj funkcionalno suvišni, tj. može li neka vrsta nestati bez narušavanja funkcije ekološkoga sustava. Robusnost određenoga ekološkoga procesa se naravno povećava sa stopom biološke raznolikosti. Sama funkcionalna suvišnost je u ovisnosti o procesu, staništu te sezonalnosti (Dodds, 2010).

Iako je "taksonomski" pristup organizmima od izuzetne važnosti, sve se više daje naglasak na opisivanje funkcionalne uloge i definiranje funkcionalnih skupina. Takva klasifikacija uključuje opis kako organizmi pribavljaju ugljik, koje stanište nastanjuju te kakvu interakciju imaju s drugim organizmima. Jedna važna podjela je podjela na funkcionalne hranidbene skupine (Moog, 2002). Beskralježnjaci čine najbrojniju, najraznolikiju te najrašireniju skupinu životinja s vrlo visokom stopom rasta populacija i jedinki, što ih čini od visoke važnosti za sve ekološke sustava (Wallace i Webster, 1996). Nastanjuju gotovo sve vodene sustave te vezana mikrostaništa. Makrozoobentos je zajednica makroskopskih beskralježnjaka koji naseljavaju pridnene supstrate (sediment, nanose, makrofite, filamentozne alge i dr.) barem jednim dijelom svog životnog ciklusa (Rosenberg i Resh, 1993.).

Beskralježnjaci bentosa čine jednu od ključnih elemenata za procjenu kakvoće vode. Zbog njihovog relativno dugog životnog vijeka i male pokretljivosti, promjene ekoloških uvjeta u okolišu imaju direktni utjecaj na strukturu ove zajednice. Beskralježnjaci bentosa čine odličnu grupa modelnih organizama i zbog relativno lakog uzorkovanja te razvrstavanja, zbog veličine jedinki. Brojni su i široko rasprostranjeni te im je determinacija relativno brza zbog dobre istraženosti (web 1).



Organizmi bentosa mogu imati snažan utjecaj na procese izmjene tvari između stupca vode i zone bentosa (Covich i sur., 1999). Zanimljivo je kako su opažene biomase beskralježnjaka kod sekundarnih i drugih viših redova potrošača više nego li one primarnih. Takva obrnuta piramida biomase se naziva Allenov paradoks, za koji je također vezano opažanje kako je potražnja ihtiofaune za plijenom iz bentosa u potocima sto puta veća nego li količina dostupnih organizama (Allen, 1951). Allenov paradoks je primjer problema koji proizlazi kada se produkcija direktno poveže samo s trenutnom biomasom, budući da je brzina produkcije (rast, razvoj) primarnih potrošača po jedinici biomase visoka, ona može podupirane ostale potrošače (Benke, 1984).

Kukci tvore velik dio makrozoobentosa. Kod većine vodenih kukaca ličinke i kukuljice borave u vodi dok odrasli izlaze iz vode gdje se razmnožavaju. Dvokrilci (Diptera) čine 40 % svih vodenih kukaca (Hilsenhoff, 1991). U samoj grupi dominira porodica trzalaca (Chironomidae) koja uključuju jednu trećinu svih vodenih dvokrilaca, te koja može doseći gustoće od 10 000 jedinki po m<sup>2</sup> u slatkovodnim sustavima. Osim trzalaca važno je napomenuti i druge skupine poput komaraca (Culicidae), braničevki (Simuliidae), komarčića (Ceratopogonidae), te obade (Tabanidae), zbog važnosti kao izvor hrane te vektore bolesti kao i Chaoboridae kao važne predatore zooplanktona.

### **1.3. Ekologija trzalaca**

Chironomidae, trzalci, su porodica kukaca (Insecta), koja pripada redu dvokrilaca (Diptera) te podredu dugoticalaca (Nematocera). Osim što su Chironomidae jedna od najčešćih i najbrojnijih skupina u svim slatkovodnim ekološkim sustavima, u područjima s određenim nepogodnim ekološkim faktorima poput niskih koncentracija otopljenog kisika ličinke trzalaca su često jedini kukci prisutni u sedimentu. Također pronađene su i u staništima s drugim ekstremima poput niskog pH (Jernelöv i sur., 1981), visokog saliniteta (Hassell i sur., 2006), visoke koncentracije teških metala (Gillis i sur., 2008) i dr. Nastanjuju zaleđena područja visokih planina, uključujući Himalaje na nadmorskoj visini od 5600 m, te su aktivni na temperaturama do -16°C (Kohshima, 1984; Sxther i Willassen, 1987). Ličinke roda *Sergentia* pronalazimo i na 1000 m dubine u abisalu Bajkalskog jezera (Linevich, 1963). Biogeografski gledano, trzalci su najšire distribuirana vrsta slobodnoživućih kukaca s potpunom preobrazbom. Pronađene su na krajnjemu sjeveru jezera Hazen (81 ° 49' N) (Oliver

i Corbett, 1966), kao i na krajnjemu jugu, gdje na Antartici postoje dvije vrste, koje su izrazito dobro istražene *Parochlus steinenii* (Gercke) i *Belgica antarctica* (Jacobs) (Usher i Edwards, 1984; Edwards i Usher, 1985) za koju se veže najmanji pronađeni genom kukca (Kelley, 2014).

Ukupan broj vrsta trzalaca bi mogao biti oko 15000 te kao sa svakom skupinom kukaca sjeverna hemisfera je temeljitije istražena, iako i tamo nerijetko nove vrste bivaju pronađene. Također važno je spomenuti prisutnost kriptičkih vrsta koje se ne mogu razdvojiti na temelju morfoloških razlika već samo na genetskoj. Izvan Paleoarktika broj novih vrsta je vrlo teško točno predvidjeti ponajviše zbog nedovoljne istraženosti. Sama staništa uključuju razne lotičke (rijeke, potoci) te lentičke (jezera, bare) sustave kao i neke neuobičajene poput povremenih bara formiranih kišama, vode u biljkama (phytotelmata), plitke filmove vode na ledenjacima visokih nadmorskih visina (Kohshima, 1984) te špilje (Anderson i sur., 2016). Neke vrste trzalaca toleriraju zaslanjenost boćatih voda te slanih bazena na obalama, čak postoje i neke morske vrste. Ličinke nisu ograničene samo za bentos ili druge površine izložene vodi te se neke mogu razviti i u intersticialnim te marginalnim vodenim ekološkim sustavima, također poznate su i vrste koje su isključivo kopnene. Ličinke kopnenih trzalaca najčešće obitavaju humusna tla, vegetaciju u raspadu te živu vegetaciju. Jedan od neobičnijih biotopa na koji su se trzalci adaptirali je sviježi kravlji izmet, jedino stanište ličinki *Camptocladius stercorarius* DeGeer.

Trzalci su ekološki najvažniji, najraznolikiji i najbrojniji element zajednice u mahovinama (Hynes, 1961; Linhart i sur. 2002a), gdje mogu imati udio više od 50% kukaca tamo prisutnih (Brusven i sur., 1990). Kao takvi, tvore važan izvor hrane ihtiofauni, primjerice prehrana *Salvelinus fontinalis* Mitchell se gotovo isključivo temelji na njima (Johannsen, 1969).

Najveća raznolikost trzalaca mahovine je zabilježena u blizini izvora potoka, te se vrsni sastav mijenjao s tokom. Potpuno uronjena mahovina sadrži oko pet puta više ličinki od one koja je samo dijelom uronjena, s najvećom zabilježenom gustoćom od 830 ličinki po 10 cm<sup>2</sup> (Nolte, 1991). Studija na Arktičkim potocima (Lee i Hershey, 2000), pokazuje kako se gustoća populacije trzalaca povećava s gustoćom mahovina, uzrok čega je povećavanje mikrostaništa, a ne izvora hrane (jedino je *Psectrocladius psilopterus* zabilježen kako se isključivo hrani mahovinom roda *Sphagnum*). Prema Kalachova i sur. (2011), mahovina može služiti kao izvor hrane i drugim vrstama kada primarni izvor hrane nije dostupan.

#### 1.4. Životni ciklus trzalaca

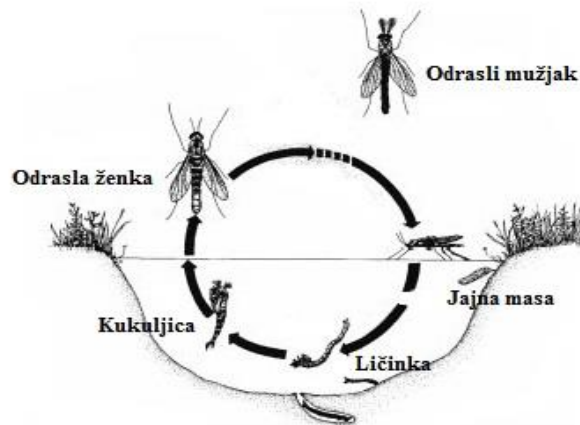
Životni ciklus trzalaca je podijeljen u četiri stadija: jaje, ličinka, kukuljica te odrasla jedinka (Slika 1). Unatoč velikom broju vrsta, svi dijele određene slične karakteristike kao što su relativno kratko trajanje zadnja dva stadija, dok je trajanje stadija ličinke i jaja vrsno specifično. Kao i kod vodencvjetova (Ephemeroptera) i obalčara (Plecoptera), za svoga relativno kratkoga života, odrasli Chironomidae se oslanjaju na energiju uskladištenu tijekom ličinačkog stadija kako bi se uspješno parili. Prehranjivanje u odraslome stadiju postoji, no ono je u pogledu stjecanja energije neznatno. Spomenuto opažanje navodi na zaključak kako su prijašnji razvojni stadiji, pogotovo ličinački od najveće važnosti za trzalce. Sam broj generacija godišnje, voltinizam (eng. *voltinism*), varira od jedne generacije svakih sedam godina (Butler, 1982b) do pet (LeSage i Harrison, 1980a) ili više (sedam generacija kod *Chironomus riparius* Kieffer u zagađenoj Engleskoj rijeci (Learner i Edwards, 1966)). Većinom su zabilježene voltinizmi od 1 (33%) ili 2 (44%), iako je važno napomenuti kako navedeni podaci mogu biti pristrani zbog nerazmjerno višeg proučavanja hladnijih područja (Armitage i sur., 1995). Sam voltinizam je određen redovnim proučavanjem ličinačkih populacija i bilježenjem izlijetanja odraslih.

Jedan od važnijih elemenata koji određuje razvojne stadije je geografska širina, zbog uvjetovanja fotoperioda i temperature. Vrste u nižim geografskim širinama općenito imaju brži rast te više generacija u godini, iako suše i visoke temperature mogu djelovati negativno. U lotičkim ekološkim sustavima su najčešće zabilježeni voltinizmi od 1-5 (Drake, 1982) dok su u lentičkim od 1-3 (Potter i Learner, 1974). I sam izbor mikrostaništa može dovesti do različite stope voltinizma, kao i veličina ličinki (Armitage i sur., 1995).

Osim voltinizma važno je i vrijeme izlijetanja, budući da vrste koje imaju isti broj generacija godišnje ne moraju izlijetati u isto vrijeme. Chironomidae kao skupina imaju vrlo raznovrsno vrijeme izlijetanje, koje se može protezati kroz čitavu godinu (Pinder, 1974). Kod univoltnih vrsta (jedna generacija godišnje ili manje) vrijeme izlijetanja je u ljeto, to su najčešće arktičke i subarktičke vrste (Moore, 1979b). Osim ljetnog izlijetanja zabilježena su i proljetna te rijeđe jesenska (Gerstmeier, 1989b). Period izlijetanja kod univoltnih vrsta traje oko mjesec danas s intenzivnim periodom od jednog do dva tjedna. Najrašireniji obrazac izlijetanja kod bivoltnih vrsta je proljeće i kasno ljeto-rana jesen, te je zanimljivo napomenuti sinkroniziranost među vrstama manja nego li kod univoltnih. Multivoltne izlijeću najčešće

tijekom proljeća i jeseni te imaju izražene maksimume izlijetanja. Navedena ponašanja su uvjetovana različitim ekološkim čimbenicima koji određuju rast i razvoj organizama, većinom ličinki. Izlijeganje iz jaja traje od nekoliko dana do mjesec dana (Hilsenhoff, 1966) te najviše ovisi o temperaturi. Ličinke prolaze kroz četiri stadija (neprovjereni peti kod Tanypodinae) te im rast također ovisi o temperaturi, tj. stopa rasta je veća prilikom viših temperatura (Menzie, 1981). Kao i kod drugih vrsta dostupnost i kvaliteta hrane ima direktan utjecaj na stopu rasta kod trzalaca (Stout i Taft, 1985). Zanimljivo je napomenuti kako i intra- i inter-specijska kompeticija utječu na rast i razvoj, većinom preko smanjivanja količine dostupne hrane. Ostali elementi su koncentracija kisika u vodi, pH, prisutnost toksičnih tvari, fotoperiod.

Dijapauza i estivacija kod Chironomidae je opažena kod jaja, ličinki te kukuljica, što je za očekivati zbog kratkotrajnosti životnoga vijeka odraslih jedinki.



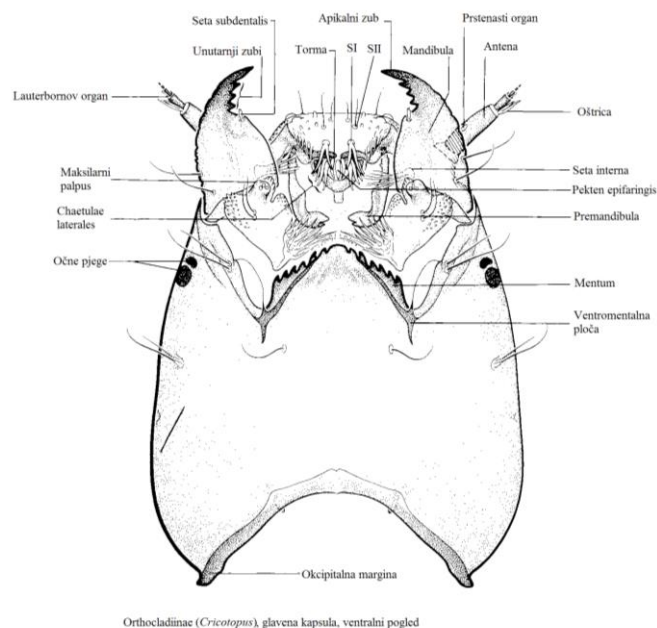
Slika 1. Razvojni stadiji trzalaca (Web 2.)

## 1.5. Anatomija i morfologija trzalaca

Ličinke imaju dobro razvijenu, izloženu, potpunu te neuvlačivu glavenu kapsulu s mandibulom koja se horizontalno pomiče. Tijelo im je duguljasto te segmentirano bez spojenih torakalnih nogu. Od ostalih dugoticalaca (Nematocera) se razlikuju prema tome što su većinom apneustni (nedostaje sifon, spirakul te trahealne cjevčice). Usni aparati su istureni te anteriorno usmjereni. Iako su sve morfološke karakteristike prisutne i kod ranijih stadija, najizraženije su u četvrtome (Olafsson, 1992), iako se omjeri veličina između različitih morfoloških karakteristika razlikuju (Mozley, 1979).

Glavena kapsula se sastoji od potpuno skleratiziranog kranija s dorzalnim apotomom te parom lateralnih ploča koji su odvojeni šavovima koji pucaju tijekom presvlačenja. Anteriorni kraj sadrži pet pari seta, S1 i S2 na labrumu, S3 na klipeusu, te S4 i S5 na frontalmom apotomu. Na lateralnim pločama je smješteno još šest, S6 (suborbitalna), S7(supraorbitalna), S8 (parietalna), S9, S10 (genalna), S11 i S12 (coronalna). Sete S9, S10 su važne za determinaciju ličinki potporodice Tanypodinae.

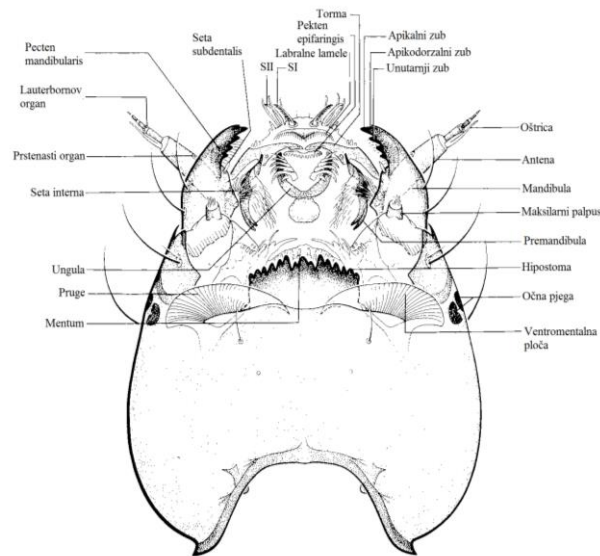
Za razliku od ličinki drugih dvokrilaca, trzanci imaju vrlo malo unutrašnje potpore unutar glavene čahure. Posteriorno te ventralno od usnih aparata se nalazi najčešće nazubljena ploča zvana mentum (Craig, 1969), koji se sastoji od dva sloja - ventromentuma i dorzomentuma (Slika 2).



Slika 2. Morfološke značajke glavene čahure ličinke iz potporodice Orthoclaadiinae (Oliver i Roussel, 1983)

Kod nekih vrsta potporodice Tanypodinae, ventromentum je hijalin, dok je dorzomentum red zuba koji se nalazi sa strane ventromentuma. Ventromentalne ploče su nastavci mentuma koji se nalaze lateralno te posteriorno. Kod ličinki potporodice Orthoclaadiinae mogu biti dobro razvijene ili nezamjetne (Slika 2), dok su kod predstavnika potporodice Chironominae prugaste s unutrašnje strane, često s kukama ili sličnim strukturama iz kojih se razvijaju lepezaste ploče (Slika 3). Suprotna strana prugastih tvorbi na ventromentalnim pločama se nalazi na zglobu maksile te pomaže prilikom pravilnog

otpuštanja svilenih niti. Posteriorno od submentalnih ploča se nalazi gula ili submentum. Labrum je anteriorni nastavak prednjeg apoptoma koji može na svome ventralnom dijelu sadržavati epifarinks ili palatum na kojemu su osjetilne dlačice.



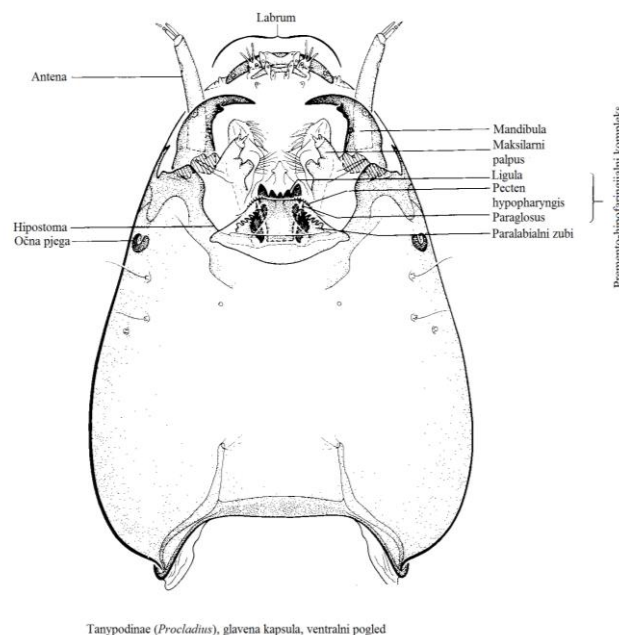
Chironominae (*Chironomus*), glavna kapsula, ventralni pogled

Slika 3. Morfološke značajki glavene čahure ličinke iz potporodice Chironominae (Oliver i Roussel, 1983)

Anteriorna labralna seta SI je važna za determinaciju, posebno kod predstavnika Orthoclaadiinae, te može biti jednostavna, bifidna, rasperjana ili češljasta. Anterolateralna labralna margina sadrži čekinje, dok anteromedijalno može postojati jedna ili dvije ploče zvane labralna lamela. Za determinaciju najvažniji dio ventralne labralne površine su premandibule ili palatum, koje nedostaju kod Tanypodinae, Podonominae i Aphroteniinae te pekten epifaringis koji se sastoji od spojenih pločica.

Najprominentniji dio usnoga aparata su mandibule, koje se sastoje od dominantnog apikalnog zuba te najčešće dva ili tri unutrašnja (Slika 3). Na mandibuli su prisutne tri skupine seta, češljaste na mezalnoj subapikalnoj površini, subdentalne te razgranate unutarnje sete na unutarnjem dijelu površine mandibula. Svrha tih seta, zajedno sa setama na epifarinksu je usmjeravanje hrane u usta. Maksila leži dorzoventralno na mentumu te se sastoji od baze čija je veličina vrsno specifična te na kojoj se nalaze ventrolateralni maksilarni palpi, dorzomentralna galea te posteromedialna lacinia (Slika 2, 3). Sve navedene tvorbe imaju određenu taksonomsku vrijednost (Mozley, 1971).

Jedna od istaknutijih tvorbi, je premento-hiperfaringijalni kompleks, koji se nalazi dorzalno od mentuma. Sastoji se od para ventralnoga prementuma te dorzalnog hipofarinksa te od žlijezde slinovnice koja se nalazi između. Prementum je najbolje razvijen kod ličinki potporodice Tanypodinae koje imaju središnju nazubljena ploču ligulu te bočni par nazubljenih ploča paraligula (Slika 4). Iza ligule, s dorzalne strane, nalazi se pločasti nastavak (engl. *M appendage*) na kojem se nalazi pseudoradula.

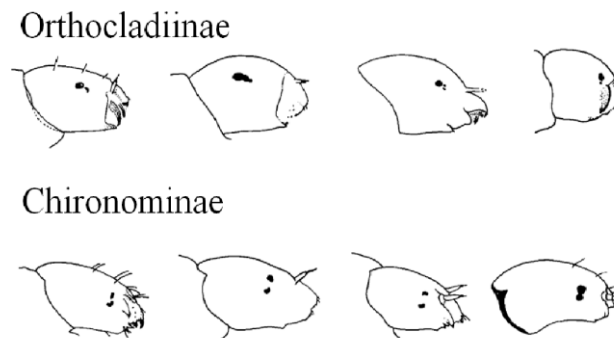


Slika 4. Morfološke značajki glavene čahure ličinke iz potporodice Tanypodinae (Oliver i Roussel, 1983)

Ličinke Chironomidae većinom imaju dobro razvijene više segmentirane antene. Primarni broj antenalnih segmenata je bio pet, te postoje varijacije sa od 3 do 7 segmenata. Na

vrhu prvoga segmenta nalazi se "oštrica" (engl. *blade*), dok drugi sadrži parove Lauterbornovih organa koji mogu biti reducirani ili naglašeni (Slika 3).

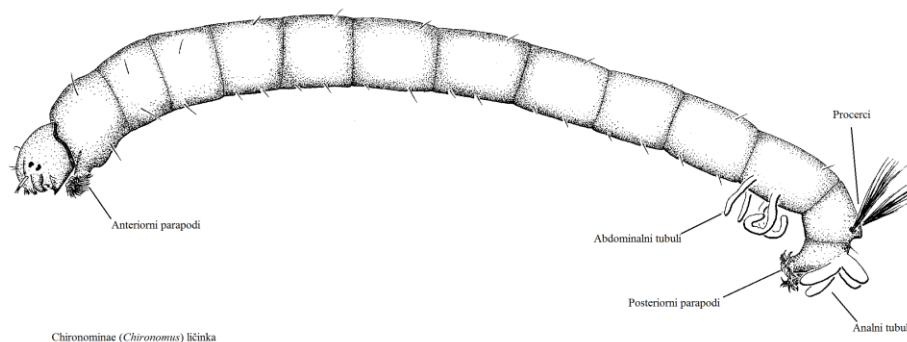
Oči su jednostavna polja pigmenta koji se nalaze ispod kutikule. Broj para očiju te njihov smještaj je od taksonomske važosti, tako Chironominae imaju najčešće dva para smještenih jedno ispod drugog, dok su parovi kod Orthocladinae jedna ispred drugog. Tanypodinae i Diamesinae imaju jedan par (Slika 5). A mogu imati i više pigmentiranih polja koja mogu biti spojena.



Slika 5. Položaj očnih pjega kod potporodica Orthocladinae i Chironominae (Nilsson, 1997)

Tijelo ličinki je podijeljeno na 3 većinom šira torakalna segmenta te 9 abdominalnih. Posljednji stadij se može prepoznati po zadebljanom torakalnom segmentu. Torakalni i abdominalni segmenti ličinki trzalaca su prekriveni dlakama, čiji je broj, smještaj i vrsta važan za determinaciju. Na prvom torakalnom segmentu se nalazi par mesnatih lažnih nožica zvanih prednji parapodi, s redovima kukastih nastavaka. Vrlo slične posteriorne parapode pronalazimo ventrolateralno na posljednjem abdominalnom segmentu. Parapodi su prisutni kod gotovo svih ličinki, iako kod nekih mogu biti spojeni. Još jedna uočljiva tvorba su procerci, koji se nalaze dorzalno na preanalnom dijelu. Procerci se sastoje od para tuberkula iz kojih izlazi pramen dlaka. Kod baze zadnjih parapoda kod trzalaca su prominentni parovi analnih tubula, kojih može biti od jedan do tri. Funkcija analnih tubula je ionska regulacija (Strenzke i Neumann, 1960), duljina i broj im je vrsno specifičan (Slika 6).





Slika 6. Morfološke karakteristike tijela ličinki potporodice Chironominae (Epler, 2001)

Kod ličinki roda *Chironomus* i nekih srodnih svojti, prisutni su abdominalni tubuli ispunjeni hemolimfom, čija je uloga vezana za respiraciju. Uobičajeno su prisutna dva para na osmom abdominalnom segmentu.

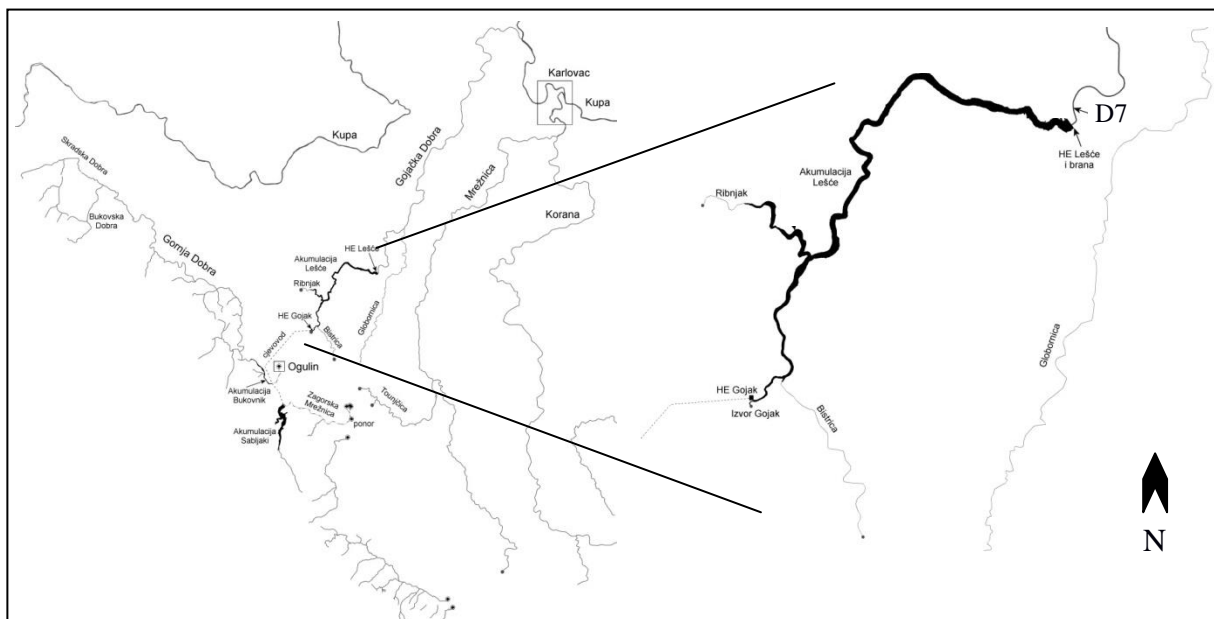
### 1.6. Cilj istraživanja

S obzirom da je porodica Chironomiade jedna od najzastupljenijih skupina unutar makrozoobentosa slatkovodnih ekosustava, no nema mnogo podataka o strukturi i sastavu zajednice trzalaca na ovakvim mikrostaništima u krškim rijekama, jedan od ciljeva istraživanja bi je utvrditi kvalitativnu i kvantitativnu strukturu zajednice ličinki porodice Chironomidae u rijeci Gojačkoj Dobri. Osim toga, cilj je bio utvrditi postoje li i kakve su bile vremenske promjene sastava i strukture zajednice trzalaca promjena staništa nastalih nakon zatvaranja brane hidroelektrane Lešće, te kakav je odnos tih promjena s promjenama fizikalno-kemijskih čimbenika vode. Ovim istraživanjem po prvi puta će se utvrditi kakav je utjecaj izgradnje brane na zajednice trzalaca jedne krške rijeke u Hrvatskoj.

## 2. Materijal i metode

### 2.1. Područje istraživanja

Područje istraživanja je smješteno u središnjoj Hrvatskoj te pripada kontinentalnim Dinaridima, koji su većinom sastavljeni od dolomitnih stijena i vapnenca. Hidrogeologiju područja obilježavaju brze poniruće rijeke i potoci. Dobra je rijeka crnomorskog sliva koja svojim tokom od 108 km pripada pritoku rijeke Kupe te je jedna od najduljih rijeka ponornica u Hrvatskoj i Europi. Tok rijeke podijeljen je na tri dijela, a središnji dio je podzemni tok koji protječe kroz složeni sustav krških terena i povezuje Gornju i Donju Dobru (Bonacci i Andrić, 2010) (Slika 7). Prema veličini sliva, nadmorskoj visini te vrsti geološke i litološke podloge pripada skupini gorskih i prigrorskih srednje velikih tekućica krških polja (web 1). Izvori se nalaze kod Skrada te Bukova Vrha koji se spajaju u Ogulinsku ili Gornju Dobru. Uzvodni dio, dio Gornje Dobre je dužine 50 km te nestaje u Đulinom ponoru. Od 1959. godine tok Gornje Dobre je preusmjeren u hidroelektranu Gojak, te samo manji dio odlazi u Đulin ponor. Ponornica Gornja Dobra izlazi na površinu na oko 4.5 km SZ kao izvor kod mjesta Gojak kao Gojačka, odnosno Donja Dobra. Rijeka nastavlja tok, međuostalom i kroz kanjon dužine 15 km, do rijeke Kupe u koju utječe u blizini Karlovca (Šafarek i Šolić, 2011). Osim hidroelektrane Gojak, na Dobri postoji još i hidroelektrana Lešće kod mjesta Gorinci, puštena u pogon 2010. godine (Slika 7).



Slika 7. Sliv rijeke Dobre i lokalitet uzorkovanja D7 (Karta: Krešimir Žganec)

Postaja na kojoj su provedena uzorkovanja (Oznaka D7) se nalazi nizvodno od HE Lešće. Uzorkovano je na području umjetno izgrađenog slapa u različitim dijelovima struje rijeke (Slika 8). Sama podloga se sastoji od krupnog kamenja, gusto prekrivenog mahovinom (Slika 9).



Slika 8. Postaja D7 na rijeci Dobri (Snimila: Dubravka Čerba)



Slika 9. Krupna kamena podloga prekrivena mahovinom, postaja D7 rijeka Dobra (Snimila: Dubravka Čerba)

## 2.2. Terenska i laboratorijska istraživanja

Uzorci makrozoobentosa su prikupljeni u periodu od 2007. do 2016. godine (2007., 2009., 2010., 2011. i 2016.) u rijeci Dobri, na lokalitetu nizvodno od HE Lešće, neposredno ispod brane, pomoću mrežica veličine pora 200  $\mu\text{m}$  i 500  $\mu\text{m}$ . Na području uzorkovanja izmjerena je temperatura vode, otopljeni kisik i zasićenje kisikom, električna provodljivost te pH pomoću WTW 340i prijenosnoga mini laboratorija. Zbog tehničkih poteškoća, navedeni abiotički faktori mjereni su samo tijekom 6 uzorkovanja (28.6.2009., 21.7.2010., 12.8.2010., 23.10.2010., 2.7.2011., 9.7.2016.)

Sveukupno je bilo 8 uzorkovanja, gdje je prikupljeno po pet uzoraka makrozoobentosa u mahovini (MAH 1 – 5), ukupno 40 uzoraka. Mikrostaništa uključuju pokrove mahovine na velikom kamenju u različitim dijelovima rijeke. Površina prikupljene mahovine je iznosila 64  $\text{cm}^2$ , odnosno 100  $\text{cm}^2$  (2010. i 2016.) po uzorku. Prikupljeni uzorci su sačuvani u 70%-tnoj otopini etanola ili u 4%-tnoj otopini formaldehida. U laboratoriju su mahovine dobro isprane pod mlazom vode, na situ velične pora 200  $\mu\text{m}$  (Slika 10), kako bi se od njih odvojila fauna. Prikupljena fauna je razdvojena od mineralnog i organskog materijala pomoću zasićene otopine kalcijevog klorida (Hynes, 1954) te pomoću mikropinceta.



Slika 10. Prikupljena fauna na situ veličine pora 200  $\mu\text{m}$  (Snimio: Miran Koh)

Pod lupom (Olympus SZX9) su izolirane ličinke trzalaca te determinirane do najniže moguće taksonomske kategorije pomoću mikroskopa (Olympus BX51) i ključeva za determinaciju: Cranston (1982), Wiederholm (1983), Schmid (1993), Nilsson (1997), Brooks i sur. (2007),

Moller Pillot (2009a, 2009b, 2013) te Bitušik i Hamerlik (2014). Brojnost ličinki trzalaca je izražena brojem ličinki na 10 cm<sup>2</sup>.

### 2.3. Obrada podataka

Podaci su tabelarno i grafički prikazani pomoću programa Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010), dok je za grafičku i statističku obradu podataka korišten Primer 6 (Clarke i Gorley, 2006).

Kvantitativni sastav je izražen kao broj jedinki na 10 cm<sup>2</sup>, te je određen brojčani udio svojiti te dominantnost (Odum, 1971).

\*Vrlo brojne – eudominantne = udio > 10%

\*Brojne – dominantne = udio 5,1 – 10%

\*Manje brojne – subdominantne = udio 2,1 – 5%

\*Rijetke – recedentne = udio 1- 2%

\*Vrlo rijetke – subrecedentne = udio <1%

Kako bi se utvrdila raznolikost zajednice trzalaca korišten je program Primer 6 (Clarke i Gorley, 2006.) te su izračunati Shannon-ov ( $H'$ ) i Simpson-ov ( $1-\lambda'$ ) indeks raznolikosti. Shannon-ov ( $H'$ ) indeks je osjetljiviji na brojnost rijetkih vrsta dok je Simpson-ov osjetljiviji na brojnost dominantnih vrsta.

$$H' = - \sum_i p_i \log(p_i)$$

$$1 - \lambda' = 1 - (\sum p_i^2)$$

\*  $p_i$  – udio jedinki vrste  $i$  u zajednici

Također su korišteni Margalef-ov ( $d$ ) indeks koji objašnjava odnos broja prisutnih vrsta u odnosu na ukupan broj jedinki,

$$d = (S - 1) / \log N$$

\*  $S$  – broj vrsta,  $N$  – broj jedinki

te Pielou-ova ujednačenost, koja prikazuje koliko ujednačeno su jedinke raspoređene među različitim vrstama.

$$J' = H' / H'_{\max} = H' / \log S$$

\*  $H'_{\max}$  – najveća moguća vrijednost Shannon-ovog indeksa, tj. kada bi sve vrste bile jednako zastupljene.

Za prikaz promjena u strukturi zajednica ličinki porodice Chironomidae između datuma uzorkovanja te razdoblja prije i poslije izgradnje brane HE Lešće 2010. godine korištena je ordinacijska metoda nemetričkog višedimenzijanskog grupiranja NMDS (eng. *non-metric multidimensional scaling*), na temelju Bray-Curtis matrice sličnosti. Za obradu podataka, primijenjene su transformacije square root i presence/absence. Permutacijska analiza varijance (PERMANOVA) primijenjena je kako bi se utvrdila značajnost utjecaja godine uzorkovanja, tj. izgradnje brane, na strukturu zajednica ličinki trzalaca. Ova analiza je primijenjena na Bray-Curtis matrici sličnosti square root transformiranih podataka. Kako bi se utvrdili moguće indikatorske svojte osjetljive na promjene uzrokovane izgradnjom brane, provedena je analiza indikatorskih vrijednosti (IndVal) (Dufrière i Legendre, 1997). Značajne indikatorske vrste testirane su korištenjem Monte Carlo testom (1000 permutacija). Sve svojte s IndVal vrijednošću iznad 25% pri  $p < 0.05$ , su određene kao značajne. Te indikatorske svojte u okviru svojih grupa imaju gustoću i frekventnost veću od 50%

Utjecaj abiotičkih čimbenika na brojnost ličinki trzalca objašnjen je pomoću BIO-ENV analize u PRIMER-u 6.0 koja određuje neparametrijsku korelaciju različitih kombinacija abiotičkih čimbenika i matrice sličnosti sastava zajednice. Korišteni abiotički čimbenici uključuju temperaturu vode, koncentraciju otopljenoga kisika u vodi, zasićenost vode kisikom, konduktivitet te pH.

### 3. Rezultati

#### 3.1. Sastav zajednica ličinki trzalaca u mahovini na postaji D7 Gojačke Dobre

Tijekom istraživanja uzorkovane su 9552 jedinke, od čega su 9434 ličinke i 118 kukuljice. Najviše jedinke je uzorkovano 9.7.2016. godine (2699), nakon čega slijedi 21.7.2010. s 2465 jedinke, dok je samo 70 jedinki 20.9.2009. Pronađene su 4 potporodice Tanypodinae, Diamesinae, Orthocladinae te Chironominae. Najbrojnija svojta je *Cricotopus triannulatus* agg. s 993 jedinke, nakon čega slijedi rod *Tanytarsus* s 629 te *Synorthocladus semivirens* s 374 jedinke. Najveći broj ličinki je pronađen u uzorku MAH 1, uzorkovanom 28.6.2009.

Ukupno su pronađena 54 svojti, odnosno 18 vrsta (Tablica 2). Najveća raznolikost je utvrđena za potporodicu Orthoclaadiinae s 37 svojti, nakon čega slijedi potporodica Chironominae s 8 (Chironomini 2, Tanytarsini 6), Tanypodinae sa 7 te Diamesinae 2 potporodice (Slika 11). Najčešće pronađena svojta je *Tanytarsus* sp. koja se nalazi u 29 od 40 uzoraka, slijedi *Cricotopus triannulatus* agg. u 24 uzorka. *Thienemaniella clavicornis/vittata* i *Orthocladus* (*Orthocladus*) sp. su pronađeni u 22 uzorka te *Pothastia longimana* gr. koja je utvrđena u 19.

Tablica 2. Taksonomska raznolikost zajednice ličinki trzalaca zabilježenih u zajednici s mahovinom u Gojačkoj Dobri, u razdoblju 2007. – 2016. godine

---

#### Tanypodinae

*Ablabesmyia* (*Ablabesmyia*) *longistyla* Fittkau, 1962

*Arctopelopia* sp.

*Conchapelopia* agg.

*Monopelopia tenuicalcar* cf.

*Nilotanypus dubius* (Meigen, 1804)

*Trissopelopia* sp.

Tanypodinae spp.

---

#### Diamesinae

*Pothastia gaedii* (Meigen, 1838)

*Pothastia longimana* gr.

---

\*nastavak Tablice 2.

**Orthoclaadiinae**

*Bryophaenocladus/ Gymnometriocnemus* sp.

*Chaetocladus* sp.

*Corynoneura scutellata* gr. Winner, 1846, *sensu* Schmid 1993

*Cricotopus (Cricotopus)* sp.

*Cricotopus bicintus* (Meigen, 1818)

*Cricotopus fuscus* gr.

*Cricotopus* gr. *cylindraceus/festivellus / C. vierrensis*

*Cricotopus (Isocladus) intersectus* agg.

*Cricotopus* sp.

*Cricotopus tremulus* (Linnaeus, 1758)

*Cricotopus triannulatus* agg *sensu* Moller Pillot 2009a

*Cricotopus trifascia* cf.

*Cricotopus/ Orthocladus* sp.

*Eukiefferiella devonica* Lehman, 1972

*Eukiefferiella ilkleyensis* Edwards, 1929

*Nanocladus rectinervis* (Kieffer, 1911)

*Orthocladus (Euorthocladus) rivulorum* Kieffer, 1909

*Orthocladus (Euorthocladus)* sp.

*Orthocladus (Orthocladus)* sp.

*Orthocladus* sp.

*Orthocladus thienemanni* agg.

*Paracricotopus* sp. A *sensu* Schmid 1993

*Paralimnophyes* sp.



\*nastavak Tablice 2.

*Parametrioctonus stylatus* (Kieffer, 1924)

*Rheocricotopus fuscipes* (Kieffer, 1909)

*Synorthocladus semivirens* (Kieffer, 1909)

*Thienemaniella clavicornis/ vittata*

*Thienemaniella majuscula* (Edwards, 1924)

*Thienemaniella* sp.

*Thienemaniella* sp. D sensu Schmitd

*Tvetenia bavarica* (Goetghebuer, 1934)

*Tvetenia calvescens* agg.

*Tvetenia discoloripes* agg.

*Tvetenia* sp.

*Tvetenia veralli* (Edwards, 1929) sensu Bitušik 2000

Orthocladinae spp.

---

## **Chironominae**

### **Chironomini**

*Polypedilum convictum* (Walker, 1856)

*Polypedilum cultellatum* (Goetghebuer, 1931)

### **Tanytarsini**

*Micropsectra* sp.

*Paratanytarsus dissimilis* agg.

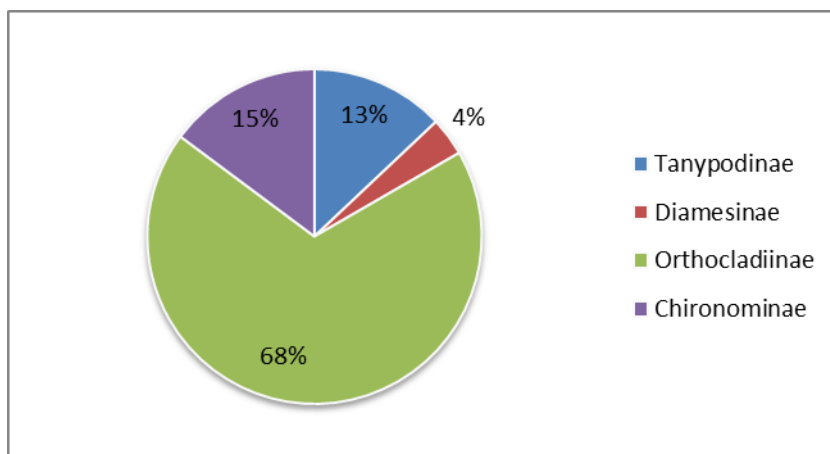
*Paratanytarsus lauterborni* (Kieffer, 1909)

*Rheotanytarsus* sp.

*Tanytarus* sp.

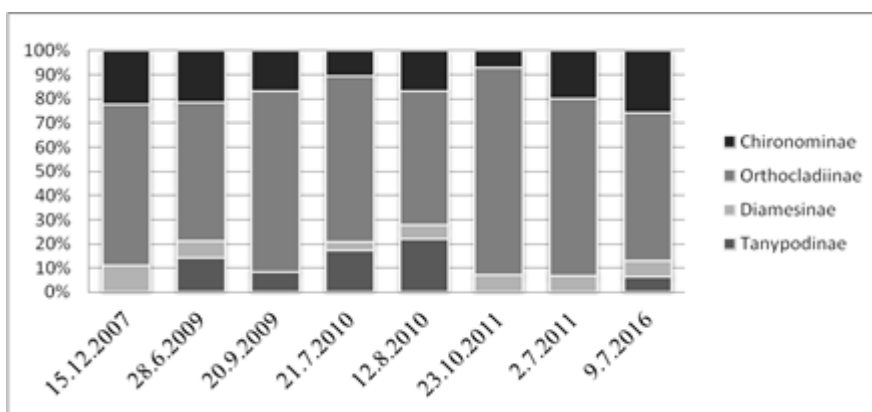
Tanytarsini spp.

---

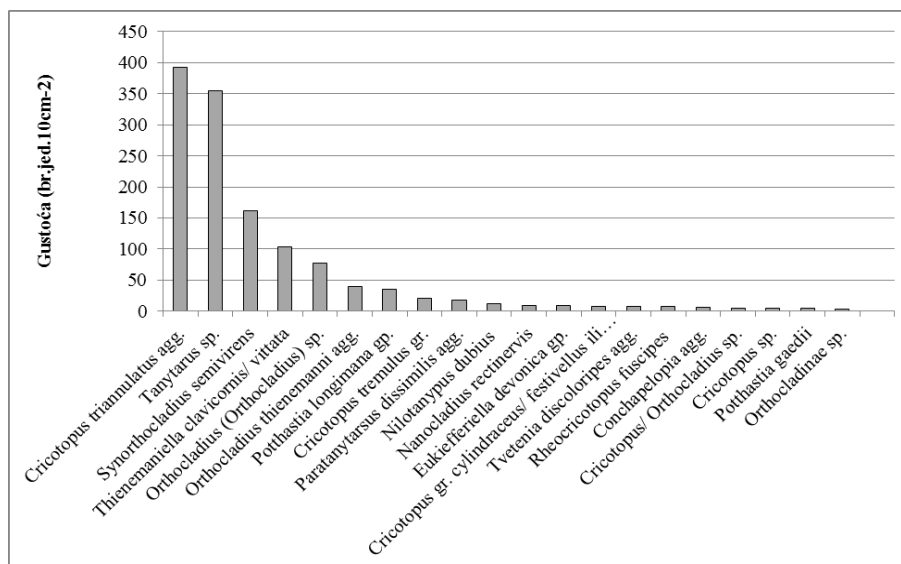


Slika 11. Udio potporodica trzalaca uzorkovanih tijekom istraživanja u Gojačkoj Dobri na postaji D7 u periodu od 2007. do 2016. godine

Tijekom perioda od 2007. do 2016. sami udjeli različitih uzorkovanih potporodica trzalaca se nisu znatno mijenjali. Potporodica Orthoclaadiinae dominira kroz čitav period istraživanja, Chironominae su prisutne u svim uzorcima, dok potporodice Tanypodinae i Diamesinae nisu uzorkovane u svim godinama (Slika 12).

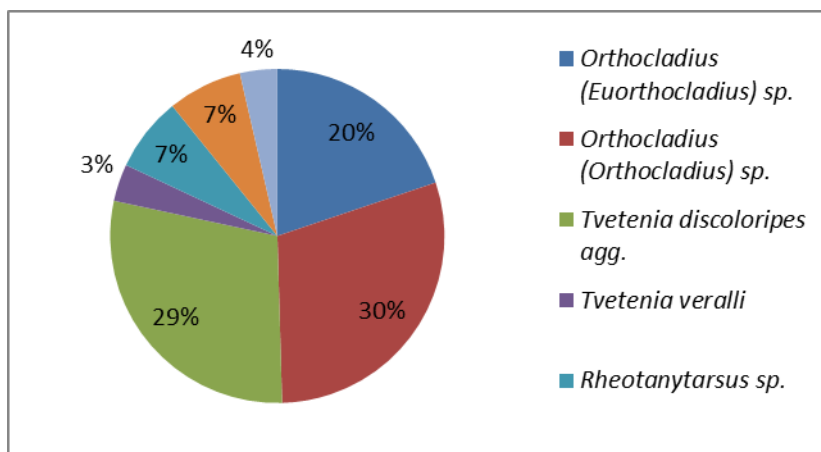


Slika 12. Promjena strukture zajednice trzalaca na postaji D7 u rijeci Gojačkoj Dobri tijekom cijelog razdoblja istraživanja

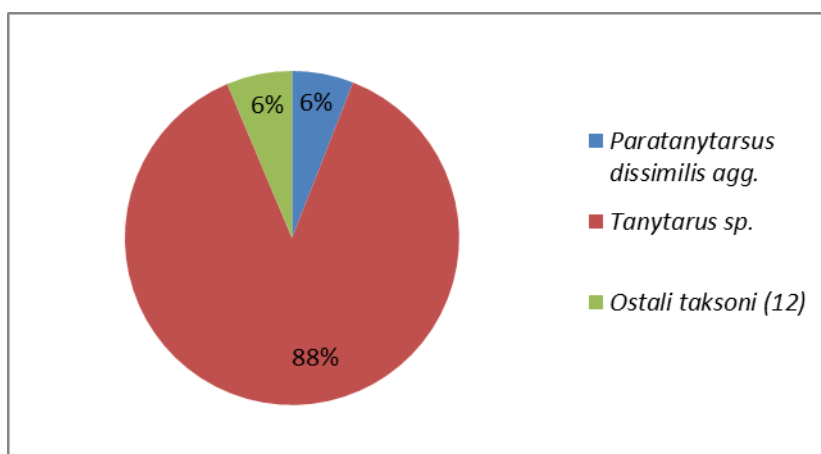


Slika 13. Prosječna gustoća (br. jed. 10 cm<sup>-2</sup>) eudominantnih i dominantnih vrsta/svojtii trzalaca tijekom cijelog razdoblja istraživanja na postaji D7 Gojačke Dobre od 2007. do 2016. godine

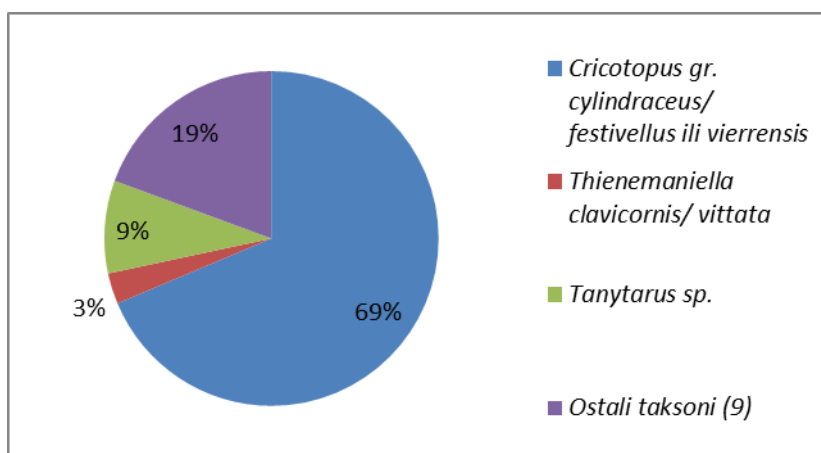
Zajednica trzalaca na postaji D7, 15.12.2007. se sastojala od 9 svojti, od kojih su najdominantniji *Orthocladius* (*O.*) sp. s 30% te *Tvetenia discoloripes* agg. s 29% i *Orthocladius* (*Euorthocladius*) sp. s 20% (Slika 14). U uzorku uzetom 28.6.2009. pronađeno je 14 svojti od kojih je rod *Tanytarsus* bio najdominantniji s 88%. (Slika 15). Zajednica trzalaca na 20.9.2009. na postaji D7 je uključivala 12 svojti, *Cricotopus* gr. *cylindraceus/festivellus* ili *C. vierrensis* je najdominantnija sa 69% (Slika 16). Najzastupljenija svojta na postaji D7 21.7.2010. je bila *C. triannulatus* agregacija sa 21%, nakon čega slijedi rod *Synorthocladius semivirens* s 16 % te *T. clavicornis/ vittata* s 13%. Ukupno je pronađeno 32 svojti (Slika 17). Zajednica Chironomidae postaje D7 12.8.2010. je sadržavala 22 svojte, od kojih je *C. triannulatus* agregacija bila najdominantnija s 37%. Vrsta *S. semivirens* je zastupljena s 29% (Slika 18). 2.7.2011. na postaji D7 uzorkovano je 14 svojti, od kojih su *Orthocladius* (*O.*) sp. i *C. triannulatus* agregacija najdominantniji s 41% (Slika 19.). Zajednica postaje D7 23.10.2011. je sadržavala 16 svojti te je *Orthocladius* (*O.*) sp bio najdominantniji s 34%, nakon čega slijedi *C. triannulatus* agregacija s 31% (Slika 21). Zajednica postaje D7 9.7.2016. je uključivala 25 svojti, od kojih je najdominantnija *C. triannulatus* agg. s 57% nakon čega slijedi *Orthocladius* (*O.*) sp. s 19%, slijedi (Slika 22).



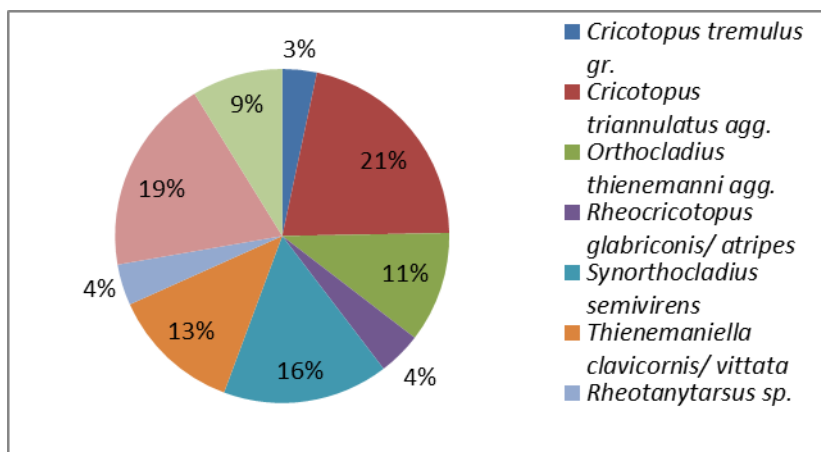
Slika 14. Udio eudominantnih i dominantnih svojti u zajednici trzalaca zabilježenih na postaji D7 u Gojačkoj Dobri, 15.12.2007.



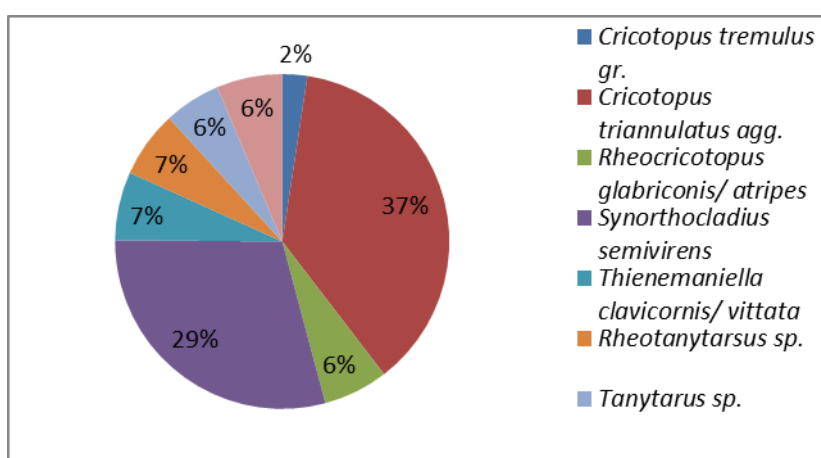
Slika 15. Udio eudominantnih i dominantnih svojti trzalaca na postaji D7, 28.6.2009



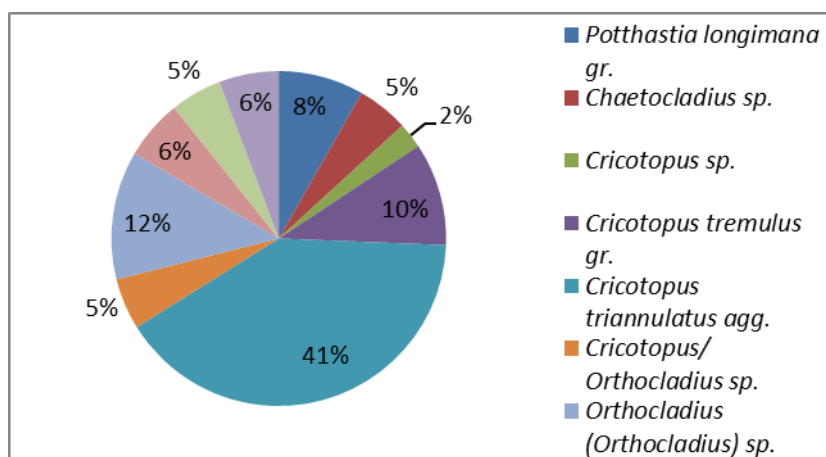
Slika 16. Udio eudominantnih i dominantnih svojti trzalaca na postaji D7, 20.9.2009



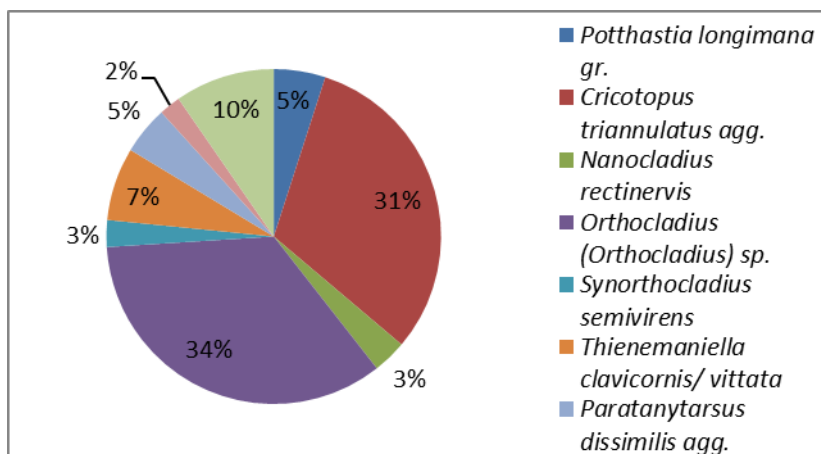
Slika 17. Udio eudominantnih i dominantnih svojiti trzalaca na postaji D7, 21.7.2010



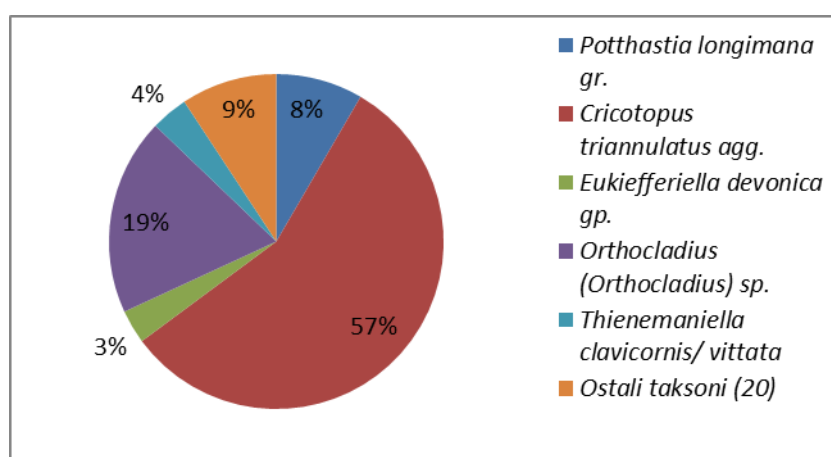
Slika 18. Udio eudominantnih i dominantnih svojiti trzalaca na postaji D7, 12.8.2010



Slika 19. Udio eudominantnih i dominantnih svojiti trzalaca na postaji D7, 2.7.2011



Slika 20. Udio eudominantnih i dominantnih svojiti trzalaca na postaji D7, 23.10.2011



Slika 21. Udio eudominantnih i dominantnih svojiti trzalaca na postaji D7, 9.7.2016

### 3.2. Analiza promjena u strukturi zajednica trzalaca

Uočene su promjene u strukturi i raznolikosti unutar zajednica ličinki trzalaca između različitih datuma uzorkovanja te je provedena detaljnija analiza tih promjena, posebice s obzirom na vrijeme puštanja u rad HE Lešće, tj. zatvaranja brane.

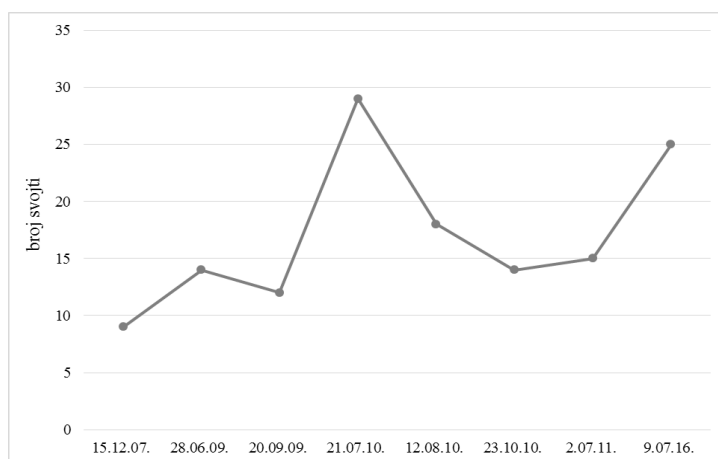
Najviša vrijednost Shannon-ovog indeksa raznolikost zabilježena je uzorcima uzorkovanim 23.10.2010.  $H' = 2,018.$ , kao i Simpson-og indeksa  $1-\lambda' = 1,077.$  Najniže vrijednosti svih indeksa zabilježene su u uzorku prikupljenom 28.06.2009. (Tablica 3).

Tablica 3. Indeksi raznolikosti faune trzalaca na postaji D7

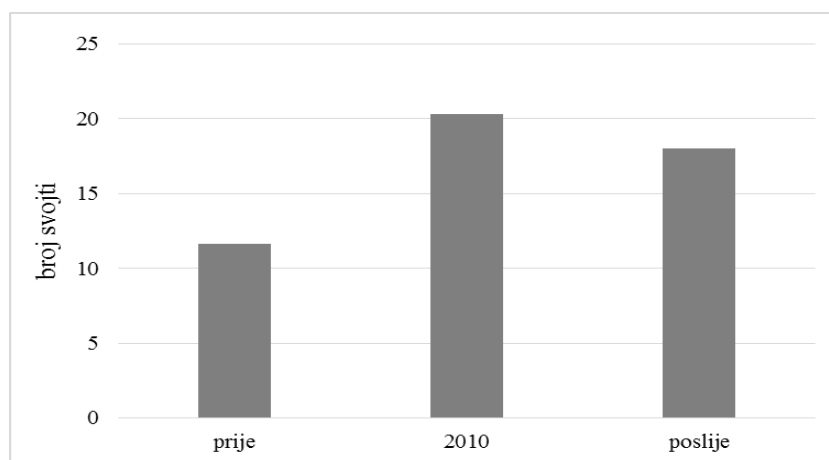
|          | 15.12.2007. | 28.06.2009. | 20.09.2009. | 21.7.2010. | 12.8.2010. | 23.10.2010. | 2.7.2011. | 9.7.2016. |
|----------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| d        | 6,432       | 3,279       | 14,89       | 6,467      | 3,888      | 9,774       | 8,533     | 6,023     |
| J'       | 0,772       | 0,225       | 0,513       | 0,596      | 0,536      | 0,765       | 0,690     | 0,479     |
| H'(loge) | 1,696       | 0,5934      | 1,275       | 2,007      | 1,548      | 2,018       | 1,913     | 1,545     |
| 1-λ'     | 1,092       | 0,231       | 0,981       | 0,838      | 0,721      | 1,077       | 0,931     | 0,647     |

d - Margalef-ov indeks; J' - Pielou-ov indeks; H<sup>ˆ</sup> - Shannon-ov indeks; 1-λ' - Simpson-ov indeks

Tijekom istraživanja zabilježene su i promjene u broju svojti utvrđenih tijekom svakog datuma uzorkovanja (Slike 22 i 23).

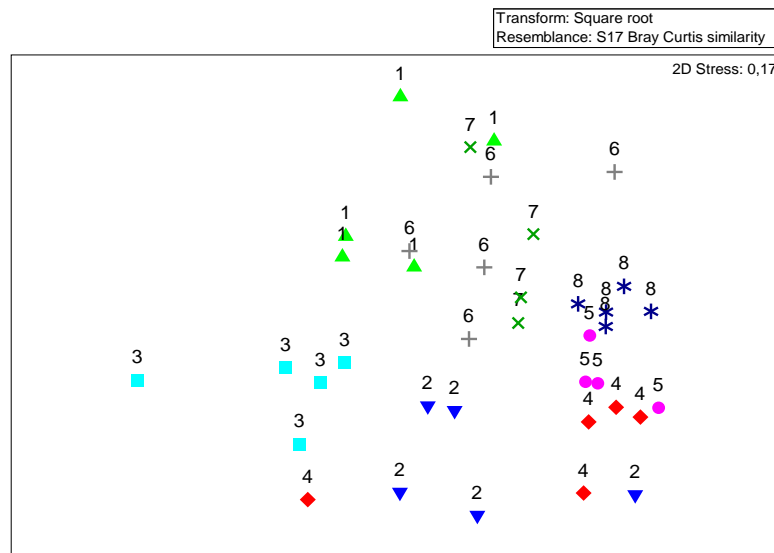


Slika 32. Promjene broja svojti trzalaca na postaji D7 Gojačke Dobre od 2007. do 2016. godine

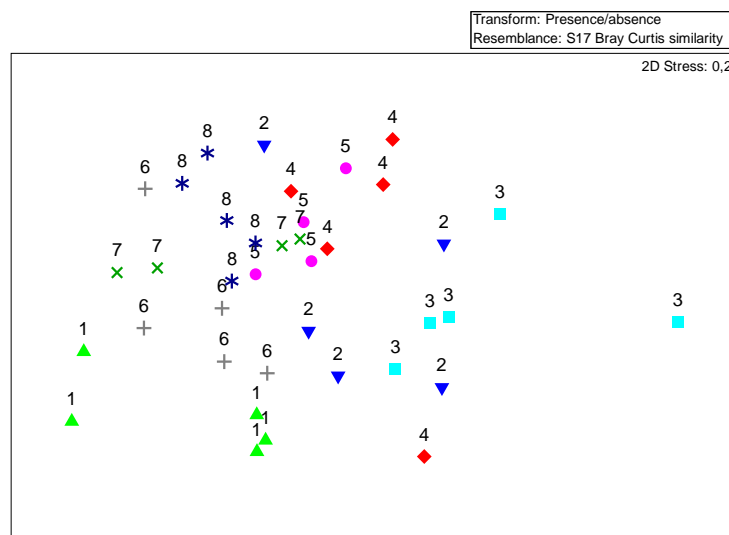


Slika 23. Prosječan broj svojti trzalaca zabilježen u razdoblju prije izgradnje HE Lešće, 2010. godina - godina puštanja u rad i razdoblje nakon, na postaji D7 Gojačke Dobre

Analiza nemetričkog više-dimenzijskog grupiranja (NMDS), provedena na temelju brojnosti ličinki trzalaca (Bray-Curtis matrica sličnosti;  $\sqrt{\quad}$  transformacija) te prisutnosti pojedinih svojti (Bray-Curtis matrica sličnosti; presence/absence transformacija) ukazuje na razlike između pojedinih datuma uzorkovanja, otkrivajući veliku sezonsku varijabilnost koju pokazuje zajednica trzlaca (Slike 24 i 25).



Slika 24. Grupiranje datuma uzorkovanja nakon NMDS analize (eng. *non-metric multidimensional scaling*) na temelju brojnosti trzalaca (oznake predstavljaju pet uzoraka prikupljenih na 8 različitim datumima: 1 - 15.12.2007.; 2 - 28.06.2009.; 3 - 20.09.2009.; 4 - 21.7.2010.; 5 - 12.8.2010.; 6 - 23.10.2010.; 7 - 2.7.2011.; 8 - 9.7.2016.)



Slika 25. Grupiranje datuma uzorkovanja nakon NMDS analize (eng. *non-metric multidimensional scaling*) na temelju prisutnosti svojti trzalaca (oznake predstavljaju pet uzoraka prikupljenih na 8 različitim datumima: 1 - 15.12.2007.; 2 - 28.06.2009.; 3 - 20.09.2009.; 4 - 21.7.2010.; 5 - 12.8.2010.; 6 - 23.10.2010.; 7 - 2.7.2011.; 8 - 9.7.2016.)



BIO-ENV analiza pokazuje da kombinacija faktora: temperature vode, koncentracija otopljenoga kisika i pH imaju najveći utjecaj na strukturu zajednice (Tablica 4).

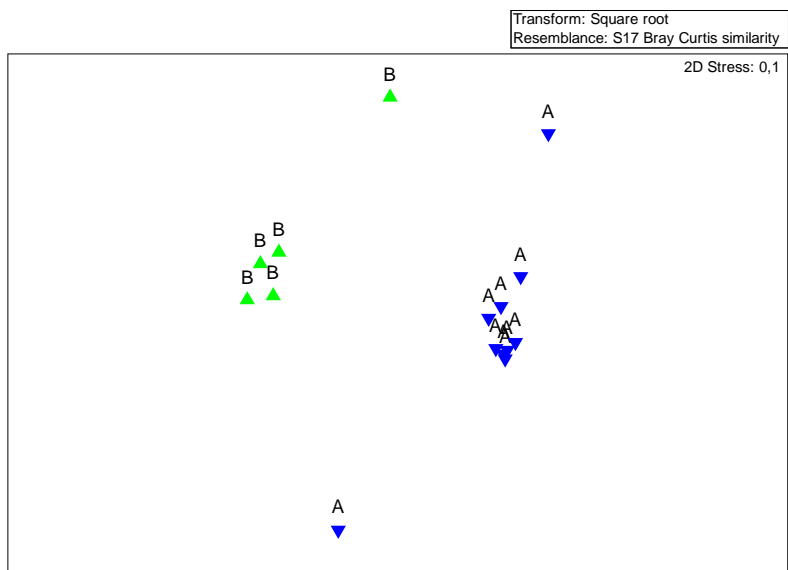
Tablica 4. BIO-ENV analiza

| Broj faktora | Korelacija | Fizikalno-kemijski faktori |
|--------------|------------|----------------------------|
| 2            | 0.743      | 1;2;5                      |
| 1            | 0.682      | 1;2                        |
| 3            | 0.681      | 1                          |
| 2            | 0.668      | 1;5                        |
| 2            | 0.336      | 1;4                        |
| 2            | 0.336      | 2;4                        |
| 3            | 0.336      | 1;2;4                      |
| 3            | 0.336      | 1;4;5                      |
| 4            | 0.336      | 1;2;4;5                    |
| 1            | 0.325      | 4                          |

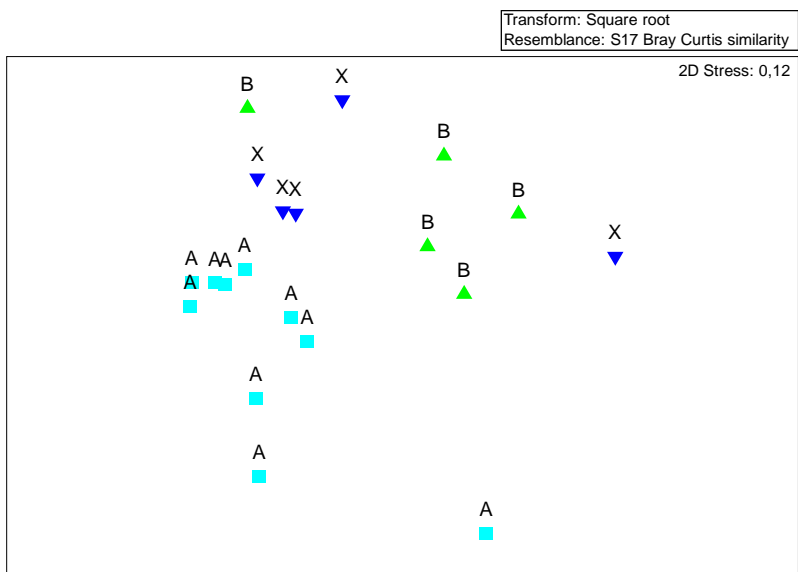
1. Temperatura vode (°C), 2. Koncentracija kisika (mg/l), 3. Zasićenost kisikom (%), 4. Električna provoljivost (μS/cm), 5. pH

### 3.2.1. Utjecaj HE Lešće

Kako bi se isključio utjecaj vremenske (sezonske) varijabilnosti koji je izražen u zajednicama porodice Chironomidae (Slike 24 i 25) i prikazao utjecaj izgradnje akumulacije HE Lešće, uspoređeni su podaci uzorkovanja provedenih u srpnju 2009., 2010., 2011. i 2016. godine. Utvrđena je statistički značajna razlika između razdoblja prije i nakon izgradnje akumulacije (Slika 26), dok se struktura zajednice prisutne 2010. godine može okarakterizirati kao prijelazni oblik (Slika 27).



Slika 26. NMDS analiza podataka o brojnosti trzalaca prije i poslije izgradnje brane HE Lešće  
(oznake: ▲ B - prije brane; ▼ A – poslije)



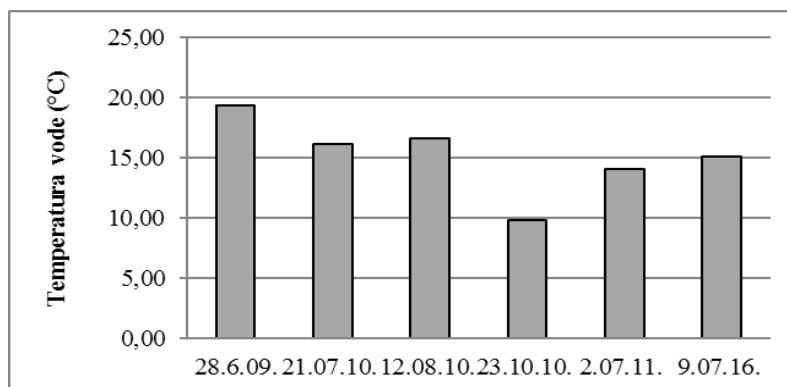
Slika 27. NMDS analiza podataka o brojnosti trzalaca prije i poslije izgradnje brane HE Lešće  
(oznake: ▲ B - prije brane; ■ A - poslije; ▼ x – mjesec dana nakon puštanja HE u rad)

NMDS analiza je pokazala tendenciju grupiranja podataka u dvije skupine s obzirom na vrijeme uzorkovanja prije, odnosno nakon izgradnje akumulacije za potrebe HE Lešće. Statistički značajnu razliku između ta dva razdoblja (Slika 26)

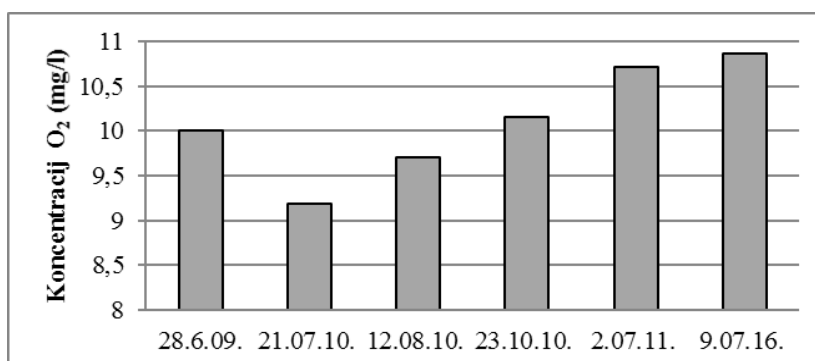
potvrdila je PERMANOVA analiza (pseudo-f = 6.4778, p = 0.001). Od utvrđenih 45 svojti, IndVal je izdvojio 4 značajne svojte. *Nilotanytus dubius* (IndVal = 78.6, p = 0.0056) i *Tanytarsus* sp. (IndVal = 99.5, p = 0.001) za razdoblje prije 2010. godine, te *Cricotopus triannulatus* agg. (IndVal = 89.8, p = 0.0052) i *Orthocladius* (*Orthocladius*) sp. (IndVal = 88.2, p = 0.006) za razdoblje nakon 2010. godine.

### 3.3. Fizikalno-kemijski parametri vode

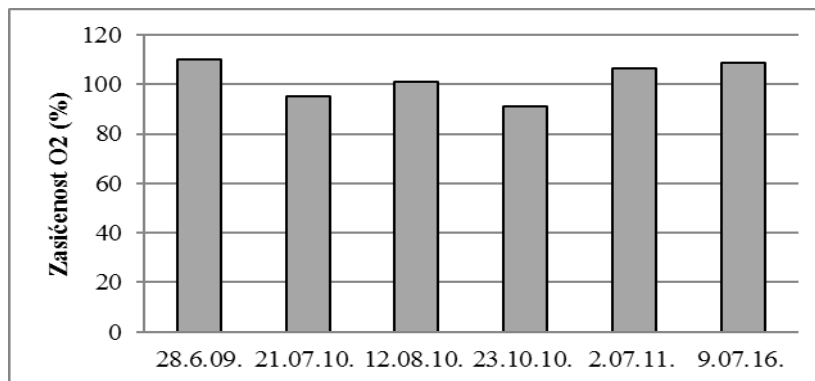
Najniža izmjerena temperatura vode je bila 9.8 °C 23.10.2010., dok je najviša bila 19.3 °C 28.6.2009. (Slika 28). Najniža koncentracija otopljenog kisika je iznosila 9.19 mg/l 21.7.2010, dok je najviša izmjerena 10.86 mg/l 9.7.2016 (Slika 29). Najmanja izmjerena zasićenost vode kisikom je bila 23.10. 2010 te je iznosila 91 %, dok je najveća iznosila 110.1% izmjerena 28.6.2009. (Slika 30). Najmanji izmjereni konduktivitet je bio 9.7.2016. te je iznosio 326 µS/cm. Najveća razina konduktivitet od 408 µS/cm je izmjeren 23.10.2010. (Slika 31). Najniži pH je iznosio 6.53 te je izmjeren 21.7.2010., dok je najviši izmjeren 9.7.2016. te je iznosio 8.17 (Slika 32).



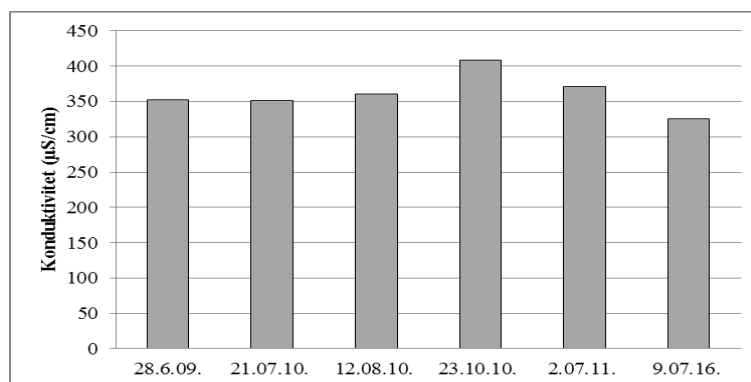
Slika 28. Temperatura vode izmjerena tijekom uzorkovanja na postaji D7 na Gojačkoj Dobri



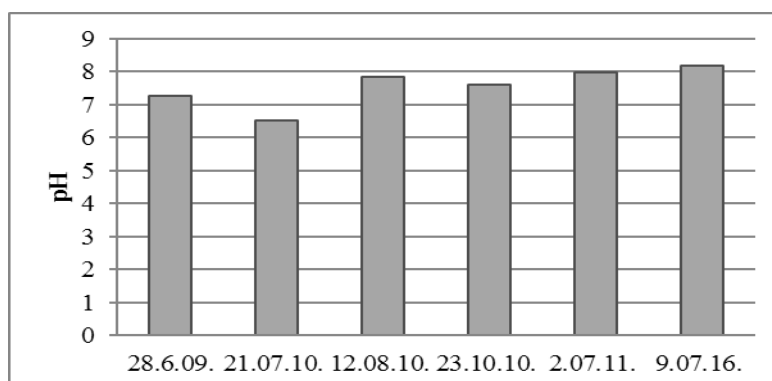
Slika 29. Koncentracija otopljenog kisika u vodi izmjerena tijekom uzorkovanja na postaji D7 na Gojačkoj Dobri



Slika 30. Zasićenost vode kisikom izmjerena tijekom uzorkovanja na postaji D7 na Gojačkoj Dobri



Slika 31. Konduktivitet izmjeren tijekom uzorkovanja na postaji D7 na Gojačkoj Dobri



Slika 32. pH izmjeren tijekom uzorkovanja na postaji D7 na Gojačkoj Dobri

## 4. Rasprava

Zbog svojih iznimnih hidroloških i hidrogeoloških karakteristika, rijeka Dobra čini izrazito važno područje za istraživanje. Na njenom toku, dužine 104 km, izmjenjuju se različita hidrogeološka obilježja kao što su poniranje, tok u kanjonu, stvaranje slapova i akumulacija. Posljedica toga su brojna različita mikrostaništa s različitim zajednicama bioloških organizama. Akumulacije mogu znatno promijeniti hidrološki režim rijeke, što može dovesti do promijene fizikalno-kemijskih te bioloških karakteristika nekih mikrostaništa ili čak njihov nestanak. Vrlo često, nestanak mikrostaništa dovodi do homogenizacije životnih zajednica nekoga područja, odnosno gubitak biološke raznolikosti (Đurić, 2012). Istraživanje rijeke Dobre je značajno zbog određivanja utjecaja hidroelektrana i akumulacija na zajednice vodenih organizama, kvalitetu vode te funkcije ekosustava. Odgovorom na ta pitanja dobiva se prava cijena tih projekata, koji su od velike ekonomske i socijalne važnosti za širu zajednicu (Bonacci i Andrić, 2010).

Dosadašnja istraživanja makrozobentosa rijeka Dobre su brojna, no izostavljala su porodicu Chironomidae, iako je često činila najbrojniju skupinu organizama (Zrinščak, 2015). Zajednica rakušaca je najbolje istražena zbog prisutnosti ugrožene endemske vrste *Echinogammarus cari*, na koju je izgradnja akumulacije djelovala negativno (Žganec i sur., 2013). Nakon izgradnje akumulacije, ukupna brojnost trzalaca se nije značajno smanjila, što ukazuje na otpornost i prilagodljivost skupine. Prema nekim izvorima (Zrinščak, 2015) gustoća trzalaca nakon izgradnje akumulacije se čak i povećala, za razliku od populacija nekih drugih beskralježnjaka (Coleoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Amphipoda i Gastropoda). Iako nisu prisutni indikatori organskog zagađenja, došlo je do promjene u sastavu i brojnosti pojedinih vrsta. Uočljiva promjena u strukturi zajednice trzalaca je početak dominacije *C. triannulatus* agregacije nakon izgradnje hidroelektrane 2010. godine. Ta promjena je vjerojatno posljedica promijenjenih fizikalno-kemijskih parametara vode, kao i količine organske tvari, tj. dostupnih hranjivih tvari (Čerba i sur., 2011). S druge strane, dostatna količina kiska i hrane te povoljna temperatura, osigurale su održanje stabilne zajednice. Od mjerenih fizikalno-kemijskih parametara, najveća korelacija s brojnošću ličinki trzalaca utvrđena je za temperaturu vode i zasićenost vode kisikom. Temperatura vode je ovisila o sezonalnosti, no nije se znatno mijenjala te je karakteristična za tip rijeke kakva je Dobra. Koncentracija kisika u vodi se povećavala tijekom perioda istraživanja, no i dalje je ostala u očekivanom rasponu za prigrorsku tekućicu poput Dobre. Zasićenost kisikom se

pomalo povećavala tijekom perioda istraživanja te je ovisila o godišnjem dobu, kao i temperatura.

Svojtá s najvećim brojem jedinki je bila *Cricotopus triannulatus* agregacija *sensu* Moller Pilot (2009a). Prema svim vidljivim parametrima determinacije, uzorkovane jedinki najvjerojatnije pripadaju vrsti *Cricotopus triannulatus*. Vrsta *Cricotopus triannulatus* je prisutna u cijeloj Europi (Saether i Spies, 2010). *C. triannulatus* godišnje ima od 2 do 4 (moguće 5) generacija godišnje te juvenilne ličinke ulaze u dijapauzu u kasnu jesen. U prehrani prevladavaju diatomeje te alge bentosa (Klink i bij de Vaate, 1994). Idealno mikrostanište za ličinke *C. triannulatusa* je šljunak prekriven filamentoznim algama i diatomejama (LeSage i Harrison, 1980). Većinom nastanjuju tekućice no mogu se pronaći u stajaćicama planinskih i borealnih područja (Michiels, 2004) te boćatim vodama Baltičkog mora (Paasivirta, 2000). Ličinke ove vrste su česte u staništima s višom koncentracijom kisika. Visoka aeracija zbog protoka te mahovina kao mikrostanište, osigurali su povoljne uvjete za razvoj ove vrste. Osim u vodenim tijelima s visokom koncentracijom kisika, prisutni su i u tekućicama s visokom razinom organske tvari ili čak organskim zagađenjem (Milošević i sur., 2012), što ukazuje na moguće promjene životnih uvjeta na postaji istraživanja nakon izgradnje brane, koje su rezultirale povećanjem količine organske tvari.

Još jedna brojna vrsta utvrđena tijekom istraživanja *Synorthocladius semivirens*, koja je zabilježena na području cijele Europe (Saether i Spies, 2010). Izlijetanje normalno započinje u ožujku ili travnju te traje sve do kolovoza (Michiels, 1999), no postoje podaci o izlijetanju zimi (Drake, 1985). Promatranjem organizama u eksperimentalnom potoku dobiveno je trajanje ličinačkog stadija od 93 dana (Ladle i sur., 1984). Broj generacija u godini ovisi o geografskom smještaju populacije, tako su primjećene 3 generacije u centralnoj Njemačkoj i 2 u južnoj Švedskoj (Reiff, 1994: 130). Prehrana kod *Synorthocladius semivirens* se sastoji od detritusa (Mackey, 1979) te diatomeja i filamentoznih algi (A. Kink, osobni podaci). Ličinke se mogu pronaći u želatinoznim tuljcima, ponekad napravljenim od detritusa ili pijeska na kamenju i vegetaciji, u lotičkim i lentičkim sustavima (Lindergaard- Petersen, 1972; Becker, 1995). *Synorthocladius* se u velikim brojevima može pronaći u nizvodnim dijelovima brzih potoka i velikih rijeka (Garcia i Laville, 2001). Unutar brzih potoka su najbrojniji u područjima gdje se stvaraju bazeni, zbog većeg izvora detritusa kojim se hrane (Syrovátka i sur., 2009). Karakteristika tih tekućica je mala zagađenost te visoka koncentracija otopljenog kisika, iako su nađeni i u zagađenim vodenim tijelima s nikom koncentracijom kisika

(Wilson, 1989). Vrsta se može pronaći i u oligotrofnim te eutrofnim jezerima sjevernih te podplaninskih područja (Brundin, 1949).

*Thienemaniella clavicornis* i *Thienemaniella vittata* se ne mogu sa sigurnošću razdvojiti, no pristni su u više od polovine uzoraka. Obje vrste se mogu naći u čitavoj Europi, na sedimentu planinskih potoka kao i na vegetaciji blizu površine. Biologija i ekologija *T. vittata* je bolje poznata, no rasprostranjenost i izbor mikrostaništa je vrlo slična. Prehrana *T. vittata* se temelji na detritusu i diatomejama u proljeće te samo na detritusu na ljeto. Prisutna je gotovo samo u tekućim vodama (Langton, 1991) te preferira staništa s malim organskim zagađenjem (Ruse, 2002).

*Potthastia longimana* gr. je vrlo raširena u uzorcima te se može pronaći u velikom dijelu Europe (Saether i Spies, 2010). Izlijetanje odraslih jedinki se odvija u periodu od ožujka do listopada, te najvjerojatnije postoje 2 generacije godišnje. U probavili su nađene alge i detritus (Moog, 1995) iako su primjećene i dlake maločetinaša iz porodice Naididae (A. Klink, unpublished). Usne tvorbe kod *P. longimana* gr. navode na predatornu ishranu te pronađene alge i detritus mogu biti iz plijena. Za mikrostaništa neki autori navode pijesak (Orendt, 2002) ili vegetacija i kamenje (Brodersen i sur., 1998). Većinom se mogu pronaći u tekućicama te sam optimum ovisi o brzini strujanja, koncentraciji kisika te izvoru hrane. *P. longimana* gr. je tipični predstavnik eutrofnih stajaćica (Brundin, 1949) i tekućica s većim ili manjim stupnjem trofije, iako mogu preferirati tekućice s manjim stupnjem trofije ukoliko je brzina protoka manja. Pronađene su i u bočatim vodama Botničkog zaljeva (Paasivirta, 2000).

Mnogo uzorkovanih jedinki pripada rodovima *Tanytarsus* i *Orthocladius* (*Orthocladius*), no budući da navedene svojite imaju širok raspon staništa i ekoloških niša, nije moguće na osnovu brojnosti jedinki roda donijeti zaključak o stanju ekološkog sustava u kojem obitavaju.

Zbog velike površine koje zauzimaju na istraživanom lokalitetu mahovine čine vrlo važan supstrat na kojemu se razvijaju zajednice beskralježnjaka. Položaj mahovine u tekućici ima najveći utjecaj na raznolikost zajednice trzalaca, jer biomasa te razvoj same mahovine također ovisi o tome. Elementi koji to određuju su konstantnost protoka, temperatura te sedimentacija detritusa. Trzalci kao skupina su prisutni tijekom cijele godine, no sastav vrsta se mijenja (Rosa i sur., 2011). Mahovine čine odlična mikrostaništa i zbog zaštite organizama od parazitskih Hydroacarina (Stur i sur., 2005). Trzalci su ekološki najvažniji, najraznolikiji i

najbrojniji element zajednice u mahovinama (Hynes, 1961; Linhart i sur., 2002a), gdje mogu imati udio više od 50% kukaca tamo prisutnih (Brusven i sur., 1990; Žganec, osobno priopćenje;).

Osim utvrđivanja posljedica antropogenog utjecaja na ovu kršku rijeku te opisivanja ekologije uzorkovanih svojti s obzirom na mjerene fizikalno-kemijske čimbenike, rezultat ovog istraživanja je i širenje taksonomske i zoogeografske slike Hrvatske. Utvrđivanje ukupnog bogatstva vrsta je važno zbog omogućavanja stvaranja metoda i sustava odgovarajuće zaštite ekoloških sustava, kao i zbog olakšavanja te ubrzavanja budućih istraživačkih projekata vezanih za bioraznolikost, ekologiju te zaštitu prirode.



## 5. Glavni rezultati i zaključak

U Gojačkoj Dobri, unutar razvijene mahovine, tijekom desetogodišnjeg razdoblja, utvrđen je razvoj i prisutnost stabilne zajednice ličinki porodice Chironomidae (Insecta, Diptera). Ukupno je tijekom osam uzorkovanja zabilježeno 54 svojti (18 vrsta) ličinki trzalaca koja pripadaju četirima potporodicama: Tanypodinae, Diamesinae, Chironominae te Orthoclaadiinae. Potporodica Orthoclaadiinae je imala najveću zabilježenu raznolikost i gustoću. Svojta s najvećom gustoćom bio je *Cricotopus triannulatus* agg. (Orthoclaadiinae), koji je počeo dominirati nakon izgradnje HE Lešće, što je vjerojatno posljedica povećanja organske tvari na postaji istraživanja, a IndVal analiza izdvojila ju je kao jednu od važnih svojti za razdoblje nakon izgradnje brane. NMDS i PERMANOVA analize pokazale su statistički značajnu razliku u gustoći jedinki unutar zajednice prije i poslije izgradnje brane. Temperatura vode, koncentracija kisika i pH su pokazale najveću korelaciju s gustoćom ličinki trzalaca.

## 6. Literatura

- Allen KR. 1951. The Horokiwi Stream: a study of a trout population. No. 10. New Zealand Marine Department.
- Andersen T, i sur. 2016. Blind Flight? A New Troglobiotic Orthoclad (Diptera, Chironomidae) from the Lukina Jama–Trojama Cave in Croatia. PloS one 11.4: e0152884.
- Anderson NH, i Sedell JR. 1979. Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. Annual review of entomology 24.1: 351-377.
- Armitage PD, Cranston PS, Pinder LCV. 1995. The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-biting Midges. London: Chapman & Hall, Print. 14, 152-158 pp.
- Armitage PD, Pinder LC, Cranston P. 1995. The Chironomidae: biology and ecology of non-biting midges. Springer Science & Business Media, 570 pp.
- Baker AS, McLachlan AJ. 1979. Food preferences of Tanypodinae larvae (Diptera: Chironomidae). Hydrobiologia 62, 283-8.[7][12]
- Becker C. 1995. Ein Beitrag zur Zuckmückenfauna des Rheins:(Diptera: Chironomidae). Shaker.
- Benke AC. 1984. Secondary production of aquatic insects
- Beveridge MCM, Ross LG, Kelly LA. 1994. Aquaculture and biodiversity. Ambio 23, 497–502.
- Bitušik P, Hamerlik L. 2014. Príručka na určovanie lariev pakomárov (Diptera: Chironomidae) Slovenska. Časť 2. Tanypodinae. (Identification key for Chironomidae of Slovakia. Part 2. Tanypodinae), Belianum, Vydavateľstvo Univerzity Matej Bela v Banskej Bystrici:96 pp
- Bonacci O, Andrić A. 2010. Hidrološka analiza krške rijeke Dobre. Hrvatske vode Zagreb: 72 127-138
- Brodersen KP, Dall PC, Lindegaard C. 1998. The fauna in the upper stony littoral of Danish lakes: macroinvertebrates as trophic indicators. Freshwater Biology 39.3: 577-592.

Brooks SJ, Langdon PG, Heiri O. 2007. The identification and use of palaeartic Chironomidae larvae in palaeoecology, QRT Technical Guide No. 10: 276 pp.

Brundin L. 1949. Chironomiden und andere Bodentiere der südschwedischen Urgebirgsseen: ein Beitrag zur Kenntnis der bodenfaunistischen Charakterzüge schwedischer oligotropher Seen. No. 30. Carl Bloms Boktr.

Brusven MA, Meehan WR, Biggam RC. 1990. The role of aquatic moss on community composition and drift of fish-food organisms. *Hydrobiologia* 196.1: 39-50.

Butler MG. 1982b. A 7-year life cycle for two *Chironomus* species in arctic Alaskan tundra ponds (Diptera: Chironomidae). *Canadian Journal of Zoology*: 60, 58-70. [9][10]

Caspers H, Cranston PS. 1983. A key to the larvae of the British Orthoclaadiinae (Chironomidae).-Freshwater Biological Association Scientific Publication No. 45.-With 57 figs., 152 pp.-Ambleside: The Freshwater Biological Association 1982. ISBN 0 900386 43 6.£ 4.50." *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 68.2: 291-291.

Costanza R, D'Arge R, Groot RD, Farber S, Grasso M, Hannon B, i sur. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*: 387, 253–260.

Covich AP, Palmer MA, Crowl TA. 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience* 49.2: 119-127.

Craig DA. 1969. The embryogenesis of the larval head of *Simulium venustum* Say (Diptera: Nematocera). *Canadian Journal of Zoology*: 47, 495-503.[2]

Cummins KW. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*: 18, 183-206. [7]

Čerba D, Mihaljević Z, Vidaković J. 2011. Colonisation trends, community and trophic structure of chironomid larvae (Chironomidae: Diptera) in a temporal phytoplankton assemblage. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie* 179.3: 203-214.

Dodds WK, Whiles MR. 2010. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology*. Burlington, MA: Academic, Print, 811 pp.

Dodds WK, i sur. 2008. Eutrophication of US freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environmental Science & Technology* 43.1: 12-19.

Drake CM. 1985. Emergence patterns of Diptera in a chalk stream. *Aquatic insects* 7.2: 97-109.

Drake CM. 1982. Seasonal dynamics of Chironomidae (Diptera) on the Bulrush *Schoenoplectus lacustris* in a chalk stream. *Freshwater Biology*: 12, 225- 240.

Dufrêne M, Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67.3: 345-366.

Đurić P. 2012. Ekologija i rasprostranjenost ugrožene endemske vrste rakušca *Echinogammarus cari* (Amphipoda: Gammaridae) u slivu rijeke Dobre. Doktorski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Edwards M, Usher MB. 1985. The winged Antarctic midge *Parochlus steinenii* (Gerke)(Diptera: Chironomidae) in the South Shetland Islands. *Biological Journal of the Linnean Society* 26.1: 83-93.

Epler JH. 2001. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. A guide to the taxonomy of the midges of the southeastern United States, including Florida. Special Publication SJ2001-SP13. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Raleigh, NC, and St. Johns River Water Management District, Palatka, 526 pp.

Garcia XF, Laville H. 2001. Importance of floodplain waters for the conservation of chironomid (Diptera) biodiversity in a 6th order section of the Garonne river (France). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. Vol. 37. No. 1. EDP Sciences.

Gerstmeier R. 1989b. Phenology and bathymetric distribution of the profundal chironomid fauna in Starnberger See (F. R. Germany). *Hydrobiologia*: 184, 29-42. [1 OJ

Gillis PL, Wood CM. 2008. The effect of extreme waterborne cadmium exposure on the internal concentrations of cadmium, calcium, and sodium in *Chironomus riparius* larvae. *Ecotoxicology and environmental safety* 71.1: 56-64.

Goedkoop W, Åkerblom N, Demandt MH. 2006. Trophic fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in *Chironomus riparius* reared on food of aquatic and terrestrial origin. *Freshwater Biology* 51.5: 878-886.

Hassell KL, Kefford BJ, Nugegoda D. 2006. Sub-lethal and chronic salinity tolerances of three freshwater insects: *Cloeon* sp. and *Centroptilum* sp. (Ephemeroptera: Baetidae) and *Chironomus* sp. (Diptera: Chironomidae). *Journal of Experimental Biology* 209.20: 4024-4032.

Hilsenhoff WL. 1966. The biology of *Chironomus plumosus* (Diptera: Chironomidae) in Lake Winnebago, Wisconsin. *Annals of the Entomological Society of America*, : 59,465-73. [5][7][9][10]

Hilsenhoff WL. 1991. Diversity and classification of insects and Collembola. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, San Diego, California, USA: 911.

Hynes HBN. 1954. The ecology of *Gammarus duebeni* Lilljeborg and its occurrence in fresh water in western Britain. *The Journal of Animal Ecology*: 38-84.

Hynes HBN. 1961. The invertebrate fauna of a Welsh mountain stream. *Arch. Hydrobiol.*: 57: 344-388.

Jernelöv A, Nagell B, Svenson A. 1981. Adaptation to an acid environment in *Chironomus riparius* (Diptera, Chironomidae) from Smoking Hills, NWT, Canada. *Ecography* 4.2: 116-119.

Johannsen OA. 1969. Aquatic Diptera. Entomological Reprint Specialists, East Lansing, MI. 5 parts.

Johannsson OE. 1980. Energy dynamics of the eutrophic chironomid *Chironomus plumosus* f. *semireductus* from the Bay of Quinte, Lake Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*: 37, 1254-65.[7][10][11]

Johnson RK Pejler B. 1987. Life histories and coexistence of the two profundal Chironomus species in Lake Erken, Sweden. Entomologica Scandinavica Supplement: 29,233-8.[7][9](10)(11)[12]

Kalachova GS, Gladyshev MI, Sushchik NN, Makhutova ON. 2011. Water moss as a food item of the zoobenthos in the Yenisei River. Central Eur. J. Biol. : 6: 236-245.

Kelley JL, i sur. 2014. Compact genome of the Antarctic midge is likely an adaptation to an extreme environment. Nature communications 5.

Klink A, Bij de Vaate B. 1994. De Tisza, een ecologische referentie voor makro-evertebraten in nevengeulen langs de Rijn. Hydrobiologisch Adviesburo Klink Rapp. Med 50: 31.

Kohshima S. 1984. A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier: 225 227.

Ladle M, Welton JS, Bass JAB. 1984 Larval growth and production of three species of Chironomidae from an experimental recirculating stream. Archiv für Hydrobiologie 102.2: 201-214.

Langton PH. 1991. A key to pupal exuviae of West Palaearctic Chironomidae. Langton, Learner MA, Edwards RW. 1966. The distribution of the midge Chironomus riparius in a polluted river system and its environs. Air and Water Pollution: 10, 757-68. [9][1 0]

Lee JO, Hershey AE. 2000. Effects of aquatic bryophytes and long-term fertilization on arctic stream insects. Journal of the North American Benthological Society 19.4: 697-708.

LeSage L, Harrison AD. 1980. The biology of Cricotopus (Chironomidae: Orthocladiinae) in an algal enriched stream: 1. Normal biology. Archiv für Hydrobiologie Supplementband, . LeSage, L., and Harrison A. D.. The biology of Cricotopus (Chironomidae: Orthocladiinae) in an algal-enriched stream: Part II. Effects of parasitism. Arch. Hydrobiol./Suppl 58.1: 2.

Lindgaard-Petersen C. 1972. An ecological investigation of the Chironomidae (Diptera) from a danish lowland stream (Linding a). Archiv für hydrobiologie, vol 69, no 4, p 415-507, 1972. 11 fig, 3 tab, 66 ref.

- Linevich AA. 1963 Biology of Invertebrates of Lake Baikal. Tr. Limnologicheskogo instituta SO RAN: 1-48.
- Linhart J, Fiurásková M, Uvíra V. 2002a. Moss- and mineral substrata-dwelling meiobenthos in two different low-order streams. Arch. Hydrobiol.: 154: 543-560.
- Menzie A. 1981. Production ecology of *Cricotopus sylvestris* (Fabricius) (Diptera: Chironomidae) in a shallow estuarine cove. Limnology and Oceanography: 26,467-81. [10][11]
- Michael HJ, Boyle KJ, Bouchard R. 1996. Miscellaneous Report 398, Maine Agricultural and Forest Experiment Station, Orono, ME .
- Michiels S. 2004. Die Zuckmücken (Diptera: Chironomidae) der Elz—ein Beitrag zur Limnofauna des Schwarzwaldes. Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, NF 3: 111-128.
- Michiels S. 1999. Die Chironomidae (Diptera) der unteren Salzach."Lauterbornia 36: 45-53.
- Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Washington: Island Press, 2003.
- Milošević Dj, i sur. 2013. Patio-temporal pattern of the Chironomidae community: toward the use of non-biting midges in bioassessment programs. Aquatic Ecology 47.1: 37-55.
- Moller Pillot HKM. 2013. Chironomidae Larvae, Vol. 3: Orthocladiinae: Biology and Ecology of the Aquatic Orthocladiinae. Vol. 3. Hotei Publishing.
- Moller Pillot HKM. 2009a. A Key to the Larvae of the Aquatic Chironomidae of the North-west European Lowlands. Private print, not published: 77 pp.
- Moller Pillot HKM. 2009b. Chironomidae Larvae II – Biology and Ecology of the Chironomini KNNV uitgeverij, Zeist: 288pp.
- Monakov AV. 1972. Review of studies on feeding of aquatic invertebrates conducted at the Institute of Biology of Inland Waters, Academy of Science, USSR. Journal of the Fisheries Board of Canada 29.4 363-383.

- Moog O. 2002. Fauna Aquatica Austriaca.-Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft. Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna .
- Moog O. 1995. Fauna aquatica austriaca.Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Wien .
- Moore JW. 1979b. Some factors influencing the distribution, seasonal abundance and feeding of subarctic Chironomidae (Diptera). Archiv for Hydrobiologie: 85, 302-25. [71][10J
- Mozley SC. 1979. Neglected characters in larval morphology as tools in taxonomy and phylogeny of Chironomidae (Diptera). Entomologica Scandinavica Supplement: 10,27-36. [2lf3lf5J
- Mozley SC. 1971. Maxillary and premental patterns in Chironominae and Orthoclaadiinae (Diptera: Chironomidae). Canadian Entomologist: 103, 298- 305.[2J
- Nilsson A. (ed.). 1979. Aquatic insects of North Europe 2. Appolo Books, Stenstrup,; 440pp.
- Nolte U. 1991. Seasonal dynamics of moss-dwelling chironomid communities. Hydrobiologia, 222: 197-211.
- Odum EP, Gary WB. 1971. Fundamentals of ecology. Vol. 3. Philadelphia: Saunders,
- Olafsson JS. 1992. A comparative study on mouthpart morphology of certain larvae of Chironomini (Diptera: Chironomidae) with reference to the larval feeding habits. Journal of Zoology, London: 228, 183--204. [2][3]
- Oliver DR, Roussel ME. 1983. The insects and arachnids of Canada. Part 11. The genera of larval midges of Canada. Diptera: Chironomidae. Minister of Supply and Services, .
- Oliver DR, Corbet PS. 1966. Aquatic habitats in a high arctic locality: The Hazen Camp study area, Ellesmere Island, NWT. Defence Research Board, Department of National Defence.
- Orendt C. 2002. Die Chironomidenfauna des Inns bei Mühldorf (Oberbayern). Lauterbornia 44: 109-120.



- Paasivita L. 2000. Chironomidae (Diptera) of the northern Baltic sea. – In:Hoffrichter, E.O. (ed.): late 20th century research on Chironomidae. Shaker Verlag, Aachen: 589-598
- Palmer MA, Ambrose RF, Poff NL. 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration ecology* 5.4: 291-300.
- Pinder LCV. 1974. The Chironomidae of a small chalk-stream in southern England. *Entomologisk Tidskrifti (Supplementum: 95, 195-202. [9][1 0][12][15J*
- Potter DWB, Learner MA. 1974. A study of the benthic macroinvertebrates of a shallow eutrophic reservoir in South Wales with emphasis on the Chironomidae (Diptera); their life-histories and production. *Archiv for Hydrobiologie: 74, 186-226. [9][1 Olf11]*
- Rasmussen JB. 1984. Comparison of gut contents and assimilation efficiency of fourth instar larvae of two coexisting chironomids, *Chironomus riparius* Meigen and *Glyptotendipes paripes* (Edwards). *Canadian Journal of Zoology* 62.6: 1022-1026.
- Reiff N. 1994. Chironomiden (Diptera: Nematocera) oberbayerischer Seen und ihre Eignung zur Trophieindikation. na.
- Rieradevall M, Brooks SJ. 2001. An identification guide to subfossil Tanypodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation. *J. Paleolimnol.* 25: 81-99.
- Rosa BFJV, Silva MVD, Oliveira VCD, Martins RT, Alves RDG. 2011. Macroinvertebrates associated with Bryophyta in a first-order Atlantic Forest stream. *Zoologia (Curitiba): 28: 351-356.*
- Rosenberg DM, Vincent HR. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
- Ruse LES. 2002. Chironomid pupal exuviae as indicators of lake status. *Archiv für Hydrobiologie* 153.3: 367-390.
- Sæther OA, Willassen E. 1987. 4 new species of *Diamesa* meigen, 1835 (diptera, chironomidae) from the glaciers of nepal. *Entomologica Scandinavica: 189-203.*
- Saether OA, Spies M. 2010 Fauna Europaea: Chironomidae. In: Beuk,, P.& T. Pape (eds.) *Fauna Europaea: Diptera, Nematocera. Fauna Europaea version 2.4, <http://www.faunaeur.org>*

Schmid PE. 1993. A key to the larval Chironomidae and their instars from Austrian Danube Region streams and rivers, Part I: Diamesinae, Prodiamesinae and Orthocladiinae. *Wasser und Abwasser*: Suppl 3: 1-514.

Schulze ED, Mooney HA. 1994. Ecosystem function of biodiversity: a summary. *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Berlin Heidelberg: 497-510.

Simić SB, Simić VM. 2012. *Ekologija kopnenih voda (Hidrobiologija I)*, Beograd: Biološki fakultet; Kragujevac: Prirodno- matematički fakultet (Zemun: Alta Nova), (2012) -291 pp.

Stout R, Taft WH. 1985. Growth patterns of a chironomid shredder on fresh and senescent tag alder leaves in two Michigan streams. *Journal of Freshwater Ecology*: 3, 147-53. [7][10]

Strenzke K, Neumann D. 1960. Die Variabilität der abdominalen Körperanhänge aquatischer Chironomidenlarven in Abhängigkeit von der Ionenzusammensetzung des Mediums. *Biologisches Zentralblatt*: 79, 199-225. [2][6]

Stur E, Martin P, Ekrem T. 2005. Non-biting midges as hosts for water mite larvae in spring habitats in Luxembourg. *Ann. Limnol. – Internat. J. Limnol.*: 41: 225-236.

Syrovátka V, Schenková J, Brabec K. 2009. The distribution of chironomid larvae and oligochaetes within a stony-bottomed river stretch: the role of substrate and hydraulic characteristics. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie* 174.1 : 43-62.

Šafarek G, Šolić T. 2011. *Rijeke Hrvatske*. Veda.

Usher MB, Mario NE. 1984. A dipteran from south of the Antarctic Circle: *Belgica antarctica* (Chironomidae) with a description of its larva. *Biological Journal of the Linnean Society* 23.1: 19-31.

Van Der Velde G, Hiddink R. 1987. Chironomidae mining in *Nuphar lutea* (L.) Sm. (Nymphaeaceae). *Entomologica Scandinavica Supplement*: 29,255--64. [6][7]

Wallace JB, Jackson RW. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual review of entomology* 41.1: 115-139.

Wiederholm T. (Ed.). 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part Larvae. Entomologica Scandinavica (suppl.): 19: 1-457.

Wilson MA, Stephen RC. 1999. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States: 1971–1997. Ecological applications 9.3: 772-783.

Wilson RS. 1989. The modification of chironomid pupal exuvial assemblages by sewage effluent in rivers within the Bristol Avon catchment, England. Acta Biol. Debr. Oecol. Hung 3: 367-376.

Zrinščak I. 2015. Sastav i struktura zajednica beskralješnjaka u rijeci Dobri nakon početka rada hidroelektrane Lešće. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Ribarstvo i lovstvo: 48 pp.

Žganec K, i sur. 2013. Population and distribution changes of two coexisting river amphipods after the closure of a new large dam. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters 43.6: 460-468.

### **Internetski/ web izvori:**

Web 1.

[http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_uzorkovanja\\_laboratorijskih\\_analiza\\_i\\_ostredivanja\\_omjera\\_ekoloske\\_kakvoce\\_bioloskih\\_elementa\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_uzorkovanja_laboratorijskih_analiza_i_ostredivanja_omjera_ekoloske_kakvoce_bioloskih_elementa_i_odluka.pdf) (10. lipanj. 2016.)

Web 2.

<https://www.ces.ncsu.edu/depts/ent/notes/Urban/midges.htm> (10. lipanj. 2016.)