

Vretenca kao pokazatelji ekološkog stanja slatkih voda

Lukšić, Gea

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:217:402372>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Gea Lukšić

**Vretenca kao pokazatelji ekološkog stanja
slatkih voda**

Završni rad

Zagreb, 2023.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Gea Lukšić

**Odonata as ecological indicators of fresh
waters**

Bachelor thesis

Zagreb, 2023.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Zlatka Mihaljevića.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Završni rad

Vretenca kao pokazatelji ekološkog stanja slatkih voda

Gea Lukšić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Vodeni ekosustavi se smatraju najugroženijim tipom ekosustava. To utječe na brojne organizme vezane uz njih, ali i na čovjeka koji ovisi o vodnim resursima. Kako bi se moglo kontrolirati i pratiti stanje slatkih voda potrebno je razviti sustave praćenja te metodologiju kojom bi se moglo utvrditi trenutno stanje. Biološke metode su neke od metoda koje se koriste u tu svrhu. Vretenca svojim životnim ciklusom objedinjuju kopnena i vodena staništa te su vrlo osjetljivi na promjene u okolišu. Trenutno se koriste kao pokazatelji u kombinaciji s drugim biološkim metodama, no uz dodatna istraživanja vretenca bi nam mogla pružiti i više informacija o ekološkom stanju slatkih voda nego što je to danas.

Ključne riječi: biološke metode, kakvoća vode, kukci, bioindikatori

(21 stranica, 4 slika, 4 tablica, 28 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski).

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: Prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

Odonata as ecological indicators of fresh waters

Gea Lukšić

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Freshwater ecosystems are the most endangered ecosystems today. This affects not only numerous organisms that depend on them, but also humans, as we rely on water resources. In order to control and monitor freshwater, we need methodologies to determine its current status and develop monitoring systems. One of the methods used for this purpose are biological methods. The insect order Odonata combines terrestrial and aquatic habitats in its life cycle and is very sensitive to environmental changes. Currently, they are used in combination with other biological methods as bioindicators, but with more research, they could provide us with even more information about the ecological status of freshwater than we have today.

Keywords: biological methods, water quality, insects, bioindicators

(21 pages, 4 figures, 4 tables, 28 references, original in: Croatian language)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Biologija vretenaca.....	1
2.1. Životni ciklus.....	2
2.1.1. Ličinački stadij.....	2
2.1.2. Odrasli stadij i parenje.....	3
2.2. Stanište.....	4
2.3 Trofički odnosi.....	6
3. Biološki elementi kakvoće i ocjena ekološkog stanja slatkih voda.....	6
3.1. Ugroženost i ocjena ekološkog stanja.....	6
3.2. Biološki elementi kakvoće slatkih voda.....	7
3.2.1. Makrozoobentos.....	8
3.2.2. Indeksi za ocjenu ekološkog stanja.....	10
4. Vretenca kao pokazatelji ekološkog stanja slatkih voda.....	12
4.1. Utjecaj okolišnih uvjeta na vretenca.....	13
4.2. Procjene ekološkog stanja.....	14
4.2.1. Hrvatski saprobni indeks (SI _{HR}).....	14
4.2.2. Dragonfly Biotic Index.....	16
4.2.3. Croatia Conservation Odonatological Index (CCOI).....	16
5. Zaključak.....	17
6. Literatura.....	18
7. Životopis.....	21

1. UVOD

Vretenca (Odonata) su hemimetabolični i merolimnički red kukaca (Insecta) koja kroz svoj osebujan životni ciklus povezuju vodene i kopnene ekosustave (Vilenica i sur., 2022). Ličinački stadij vretenaca razvija se isključivo u vodi, dok se odrasle jedinke zadržavaju u zračnom i kopnenom prostoru. Vodeni ekosustavi u kojima borave u ličinačkom razdoblju najbitniji su za njihov opstanak (Belančić i sur., 2008). Osjetljivost ličinki i odraslih jedinki na promjene uvjeta u okolišu ih čini izvrsnim biološkim pokazateljima u istraživanjima vodenih ekosustava i sustavu upravljanja vodenim staništima (Vilenica i sur., 2022). Prepoznati su i od strane Ministarskog vijeća Europske unije o zaštiti vretenaca i njihovih staništa te preporučeni kao bioindikatorske vrste vodenih ekosustava. Zaštitom vodenih ekosustava ne zaštićujemo samo vretenca nego i druge biljne i životinjske vrste i zajednice, koje su međusobno u tim sustavima povezana prirođenim zakonitostima o kojima i mi potpunosti ovisimo (Belnačić i sur., 2008).

2. BIOLOGIJA VRETENACA

Pravretenca su se pojavila za vrijeme karbona, prije više od 300 milijuna godina te stoga vretenca nazivamo drevnim redom kukaca (Grgić, 2016). Današnja vretenca dijelimo na tri podreda: Zygoptera ili tankostruka vretenca (Slika 1a), Anisoptera ili debelostruka vretenca (Slika 1b) te Anisozygoptera sa samo dvije žive vrste u Aziji.



Slika 1. a) Zygoptera ili tankostruko vretence (*Platychnemis pennipes* (Pallas, 1771))
(foto: Gea Lukšić)



b) Anisoptera ili debelostruko vretence (*Libellula fulva* Muller, 1764)
(foto: Gea Lukšić)

2.1. Životni ciklus

Vrhunac evolucijskog razvoja vretenca su dosegli prije pojave potpune preobrazbe, pa im stoga životni ciklus karakterizira nepotpuna preobrazba, što znači da im izostaje stadij nepokretne kukuljice (Grgić, 2016).

2.1.1. Ličinački stadij

Razvoj od jaja do ličinke traje različito te ovisi od vrste do vrste, od nekoliko dana do nekoliko mjeseci. Iz jaja se izliježu predličinke koje se nakon kratkog vremena presvlače i prelaze u ličinački stadij. Ličinke se ovisno o vrsti presvlače od 9 do 16 puta, a razdoblja između presvlačenja popraćena su rastom i razvojem (Belančić i sur., 2008). Prijeko potreban im je vodeni medij u kojemu se one razvijaju, hrane, presvlače i rastu te su vodeni ekosustavi u kojima vretenca u tom razdoblju životnog vijeka borave izuzetno bitni (Bogadanović i Franković, 2009). Ličinke za disanje koriste kisik u vodenom mediju koji se potom difuzira kroz tijelo gdje je kutikula stanjena, kako bi se olakšala razmjena plinova do traheja. Tankostruka vretenca (Zygoptera) (Slika 2b) imaju vanjske škrge, tj. zatčane nastavke koje im služe i za plivanje. Debelostruka vretenca (Anisoptera) (Slika 2a) imaju škrge s unutarnje strane rektuma koja je prožeta trahejama te plivaju naglim izbacivanjem vode iz rektuma. Ličinke imaju prilagođene usne organe za grizenje, te karakteristično preobraženu donju usnu, lovnu krinku, koja je prilagođena na njihov način predacije. Pasivni su predatori, te čekaju u zasjedi sakriveni u mulju, pijesku ili vegetaciji da im se plijen približi. Mlađim ličinkama su ticala vrlo bitna za detekciju pokreta i plijena, dok starijim ličinkama je vid puno bitnije osjetilo pri lovu. Razdoblje ličinačkog stadija traje od nekoliko mjeseci do više godina, što ovisi o vrsti. Ličinka se zatim preobražava u odraslog kukca (Belančić i sur., 2008). Kako se približava zadnji dio ličinačke faze ličinke počinju prilagođavati ponašanje i izgled za emergenciju, proces izlaska ličinke iz vode i posljednjeg presvlačenje. Ličinke se povremeno izlažu zraku kako bi imale dovoljno kisika potrebnog za metamorfozu, te također prestaju s hranjenjem. Naposljetku ličinka napušta vodeni medij te izlazi na kopno, na podlogu za koju se može zakačiti, poput grančica, travki, šljunčanih obali i slično, što zavisi od vrste do vrste (Askew, 2004).



Slika 2. a) Ličinka debelostrukog vretenca
(foto: Gea Lukšić)



b) Ličinka tankostrukog vretenca
(izvor: <https://bugguide.net/node/view/260736>)

2.1.2. Odrasli stadij i parenje

Odrasle su jedinke nakon emergencije spolno nezrele, s mekanom kutikulom i blijedim bojama te se nazivaju teneralne jedinke. Čim im krila dovoljno očvrstnu, odlete od vode gdje su boravili kao ličinke, tankostruka češće samo nekoliko metara dalje, dok debelostruka mogu imati duže migracije. Razlog tome je da mlade jedinke mogu započeti daljnji razvoj i sazrijevanje bez uznemiravanja drugih spolno zrelih mužjaka i raznih predatora uz vodu. Proces spolnog sazrijevanja može trajati od nekoliko dana do nekoliko tjedana. Mužjaci sazrijevaju nešto ranije od ženki, pa stoga i ranije dolaze na mjesto gdje će doći do parenja. Izrazito su teritorijalni, patrolirajući lokaciju gdje će se pariti i posjećujući je nekoliko puta dnevno (Askew, 2004).

Vretenca imaju jedinstven način reprodukcije. Mužjak izabranu ženku uhvati na karakterističan način, za čelo i iza glave (Anisoptera) ili između stražnjeg dijela prvog prsnog kolutića, upotrebljavajući svoje zadčane nastavke (Zygoptera) (Slika 3). Sjeme u mužjaka nastaje u primarnim kopolatornim organima, u devetom kolutiću te ga prenose do sekundarnih genitalija, koje su na drugom kolutiću zatka, od kuda se prenosi na ženku. Ženska savije svoj zadak, dok ju mužjak drži za glavu te upravo zbog toga vretenca u kopulaciji, položajem tijela, zauzimaju karakteristični oblik srca. Jaja se oplođuju tek nakon polaganja, zbog čega mužjak oblijeće ženku dok ne položi jaja jer postoji mogućnost da drugi mužjaci ukloni sjeme sa ženke koja se već parila. To objašnjava izraženu teritorijalnost i kompeticiju među mužjacima (Dijkstra i Lewington, 2020).



Slika 3. Tanskostruko vretenca *Ischnura elegans* u kopulaciji (foto: Gea Lukšić)

2.2 Stanište

Vretenca, ovisno o načinu života i okolišnim uvjetima, naseljavaju raznolika staništa koje su vezana uz vodena tijela, od velikih rijeka (Slika 4a) do šumskih lokvih (Slika 4b). Vretenca često preferiraju određeni tip staništa koje im nudi optimalne ekofiziološke uvjete za razmnožavanje i održavanje populacije, poput određene morfologije, strukture i kemijskog sastava staništa. Najveća raznolikost vrsta pronalazi se na području sa velikim brojem mikrostaništa te visoka brojnost na nekome području ukazuje na dobru kvalitetu vode. Primjerice, pokazalo se kako su ostatci debla (trupci) vrlo bitni kao mikrostanište te se ne bi trebali uklanjati prilikom odražavanja slatkovodnih staništa (Vilenica i Mihaljević, 2022). Ličinke nastanjuju lotička staništa, poput rijeka i potoka te lentička staništa poput jezera, lokvi i močvara. Karakter supstrata, submerzivna vodena vegetacija i prozirnost vode su među najvažnijim uvjetima koji su potrebni ličinkama te utječu na njihovu prisutnost i brojnost. Odraslima je prilikom biranja staništa najvažnija struktura vodene i riparijske vegetacije te sjenovitost područja (Vilenica, 2017). Većini vretenaca je za polaganje jaja potrebna vodena vegetacija. Zahvaljujući njihovoj mobilnosti i mogućnosti za otkrivanje novih staništa odrasle jedinke, posebice debelostruka vretenca, često naseljavaju nova staništa, različita od onih gdje su boravili kao ličinke (Vilenica i sur., 2020).

a)



b)



Slika 4. Staništa vretenaca: a) Rijeka Drava; b) Lokva Rovožna u Parku prirode Učka (foto: Gea Lukšić)

2.3 Trofički odnosi

Odrasle jedinke kao i ličinke su predatori generalisti koji se većinski hrane manjim beskralježnjacima. Također, važan su izvor hrane za raznolike organizme u slatkim vodama i za kopnene predatore (Vilenica, 2017). Ličinke vretenaca se hrane raznim vodenim organizmima, odgovarajuće veličine, poput praživotinja, maločetinaša, kolnjaka, kopepodnih račića, ličinki trzalaca, vodencvjetova pa i drugih vretenaca te punoglavcima i ribljom mlađi. Odrasle jedinke love živi, leteći plijen - kukce poput komaraca, obrada, mušica, vodencvjetova, leptira pa i drugih mladih jedinki vretenaca. Ribama, pticama močvaricama te nekim vodenim kukcima, ličinke vretenaca služe kao izvor hrane dok se odraslim vretenacima hrane ptice, vodozemci, pauci i muhe grabežnice (Ailidae). Od prirodnih neprijatelja tu su još i nametnici poput Mymaridae (Hymenoptera), Drosophilidae (Diptera) koji se hrane jajima, Gregarinidae (Protozoa) koji napadaju ličinke te Filaridae i Gordidae (Nematoda) koji parazitiraju u odraslim jedinkama. Ličinke kao međudomadari služe nekim vrstama metilja, trakavica i oblića, dok neki poput Prosthogonimus (Trematoda) mogu u odraslim potaknuti seobe (Belančić i sur., 2008).

3. BIOLOŠKI ELEMENTI KAKVOĆE I OCJENA EKOLOŠKOG STANJA SLATKIH VODA

3.1. Ugroženost slatkih voda i ocjena ekološkog stanja slatkih voda

Vodeni ekosustavi se smatraju najugroženijim ekosustavima i onima koji su se najviše promijenili zbog ljudske djelatnosti. Tome je tako zbog mnogih dobrobiti koje vodeni resursi pružaju, poput pitke vode, proizvodnje električne energije, transporta. Nadalje, bitni su za razvoj poljoprivrede i stočarstva te su recipijenti otpadnih voda iz kućanstva i industrije. Gubitak i degradacija staništa te smanjenje bioraznolikosti posljedica su brojnih pritisaka na vodene ekosustave.

U Zakonu o vodama (Narodne novine, br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14) ističe se da je jedan od ciljeva upravljanja vodama postizanje i očuvanje dobrog stanja površinskih voda. Ocjenjivanjem ekološkog stanja površinskih voda mjeri se promjena stanja i funkcije ekosustava u odnosu na prirodno tj. referentno. S obzirom na veličinu promjene ekološko stanje razvrstava se

u jednu od 5 kategorija te se potom prikazuje na kartama koje sadrže prikaz ekološkog stanja svakog vodnog tijela površinske vode odgovarajućom bojom (Hrvatske vode, 2016) (Tablica 1)

Tablica 1. Kategorije ekološkog stanja

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

Kako bi se vodeni ekosustavi zaštitili potreban je redoviti biomonitoring kopnenih voda. Monitoring podrazumijeva programirani proces uzimanja uzoraka, analiziranja, zapisivanja i razmjene podataka o značajkama voda te se provodi s ciljem utvrđivanja stanja voda i eventualnih odstupanja od dozvoljenih graničnih vrijednosti. Biomonitoring ima za cilj pravovremeno i učinkovito uklanjanje neželjenih posljedica onečišćenja vodenih ekosustava. Kako bi se moglo pratiti ekološko stanje vodenih ekosustava potrebno je imati klasifikaciju ekološkog stanja rijeka (tekućica) i jezera koja se provodi na temelju: bioloških elemenata (brojnost i raznolikost vodenih organizama), hidromorfoloških elemenata (dinamika toka, dubina i slično) i fizikalno-kemijskih elemenata (temperaturni režim, koncentracija kisika, salinitet i drugo) (Mihaljević i sur., 2019/2020)

3.2. Biološki elementi kakvoće slatkih voda

Kako bi se dobila ocjena stanja površinske vode na temelju bioloških elemenata primjenjuju se omjeri ekološke kakvoće (OEK) svakog biološkog elementa (Mihaljević i sur., 2019/2020). Biološki elementi koji se koriste za procjenu kakvoće površinskih slatkih voda prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Biološki elementi kakvoće za površinske vode

Biološki elementi kakvoće			
Rijeke	Jezera	Prijelazne vode	Priobalne vode
Fitoplankton	Fitoplankton	Fitoplankton	Fitoplankton
Fitobentos	Fitobentos	Makrofita - morske cvjetnice	Makroalge
Makrozoobentos	Makrozoobentos	Makrozoobentos	Morske cvjetnice
Makrofita	Makrofita	Ribe	Makrozoobentos
Ribe	Ribe		

3.2.1. Makrozoobentos

Prilikom utvrđivanja ekološkog stanja slatkih voda nezaobilazni dio bioloških elemenata su sastav i struktura zajednice makrozoobentosa (Habdija i sur., 2008). Makrozoobentos je pojam koji podrazumijeva raznoliku skupinu makroskopskih beskralješnjaka koji su vezani uz dno kopnenih voda, a vidljivi su golim okom ili pomoću lupe. Zajedno sa biljnim organizmima i algama čine raznovrsnu životnu zajednicu dna te su pod direktnim utjecajem ekoloških čimbenika staništa koji utječu na njihov sastav, dinamiku, gustoću i zonalan raspored. Važan su dio hranidbenih lanaca te predstavljaju bitnu komponentu unutar biocenotičkih struktura i ciklusa nutrijenata. Veliki broj vodenih beskralješnjaka su kukci čije su ličinke vezane uz vodu, a odrasle jedinke žive na kopnu (Milić, 2020). Često preko 70% biomase i brojnosti akvatičke faune pripada akvatičkim ličinkama kukaca što ih čini praktičnim za utvrđivanje kakvoće vode. Najčešće skupine su Trichoptera (tulari), Ephemeroptera (vodencvjetovi), Plecoptera (obalčari), Odonata (vretenca), Coleoptera (kornjaši) i neke porodice Diptera (dvokrilci) (Grozić, 2012).

Relativno dugi životni vijek, ograničena pokretljivost te promjena u sastavu i brojnosti zajednica uslijed veće ili manje promjene ekoloških uvjeta u okolišu govori nam kako je sastav zajednice makrozoobentosa odraz ekoloških prilika koje vladaju na staništu uključujući i različite stresore. Promjene ekoloških uvjeta mogu biti promjene fizikalnih svojstava vode (brzina strujanja vode, temperatura, svjetlo), kemijskog sastava vode i dnevne promjene režima protoka vode, dok stresori mogu biti organsko i anorgansko onečišćenje, toksične tvari, promjena kiselosti ili morfološke i hidrološke promjene vodotoka. Još jedan od razloga zašto je makrozoobentos

ključan biološki element jesu brojne prednosti u istraživanju, poput relativno lakog prikupljanja uz pomoć različitih tipova bentos mreža, relativno su veliki što olakšava prikupljanje, razvrstavanje i determinaciju, žive dovoljno dugo da je njihovo prisustvo ili odsustvo iz zajednice posljedica promjena u okolišu, a ne izmjena generacija ili posljedica specifičnih životnih ciklusa te su ograničeno pokretni pa ne mogu napustiti stanište prilikom loših ekoloških uvjeta. Također dobro su poznate reakcije i stupanj tolerancije mnogih uobičajenih vrsta na različite tipove onečišćenje te su mnoge vrste široko rasprostranjene i brojne što omogućava usporedbu rezultata na širem području. Prisutnost, odnosno odsutnost pojedinih vrsta koristi se kao pokazatelj kakvoće slatkih vode iz razloga što nisu svi bentoski makroskopski beskralješnjaci jednako osjetljivi na različite biotičke i abiotičke čimbenike u okolišu. Razne promjene u broju, morfologiji, fiziologiji i ponašanju ukazuju na to da su fizikalni i/ili kemijski čimbenici izvan optimalnih granica. Na primjer, velika brojnost pojedinih porodica s izuzetno otpornim organizmima ukazuje na lošu kakvoću vode (Lehunšek, 2014).

Kada se proučava makrozoobentos, važno je za znati da je vrlo bitan čimbenik u njihovom razvoju podloga ili supstrat, njihovo stanište na kojem se hrane, sklanjanju od grabežljivaca, polažu jaja, prihvaćaju na podlogu ili pužu po njoj. Struktura i sastav makrozoobentosa te njihova funkcionalna organizacija uvelike ovisi o karakteru i vrsti supstrata na kojem se nalaze. Različiti tipovi supstrata predstavljaju različita mikrostraništa sa svojstvenim zajednicama te je stoga uzorkovanje na svim mikrostaništima neophodno za dobivanje primjerenih podataka o sastavu i strukturi makrozoobentosa (Habdija i sur., 2008). Kada se govori o ljudskom utjecaju na slatkovodne ekosustave bitno je za napomenuti kako je promjena i poremećaj supstrata jedan od većih problema. Homogeniziranje staništa smanjuje njegovu bioraznolikost i uzrokuje promjenu u prirodnoj ravnoteži bioloških zajednica. Uklanjanje riparijske vegetacije pojačava ovaj utjecaj tako što uzrokuje povećanje količine sedimenta koji ulazi u vodena tijela te se odsustvom riparijske vegetacije također smanjuje količina organskih ostataka i tvari koje pronalazimo u supstratu slatkovodnih staništa. Posljedično, povećava se brzina protoka vode i prodiranje svjetlosti što pogoduje primarnoj produkciji, dovodeći do povećanja plijena za predatorske kukce poput vretenaca (Barros Miguel i sur., 2017) .

3.2.2. Indeksi/pokazatelji za ocjenu ekološkog stanja

Prilikom izračunavanja ocjene ekološkog stanja na temelju bioloških elemenata makrozoobentosa potrebno je odrediti dva modula (Mihaljević i sur., 2019/2020):

- Saprobnost - određivanje razine opterećenja tekućica organskim tvarima
- Opća degradacija - određivanje ukupnih antropogenih promjena

Pokazatelji/indeksi za ocjenu ekološkog stanja na temelju makrozoobentosa prikazani su raspoređeni po modulima kojim pripadaju u Tablici 3.

Tablica 3. Pokazatelji/indeksi i moduli za ocjenu ekološkog stanja rijeka na temelju makrozoobenotsa (Mihaljević i sur., 2019/2020)

Element kakvoće	Pokazatelj /indeks	Opterećenje na koje ukazuje pojedini biološki indeks	Modul
Makrozoobentos	Hrvatski saprobni indeks (SI _{HR})	Opterećenje organskim tvarima	Saprobnost
	Indeks riječne faune (RFI) Margalef indeks raznolikost (D); Ritron indeks (RI); Udio pobirača/sakupljača (P/S%): Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Bivalvia i Odonata (EPTCBO); Udio predstavnika skupina Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera u makrozoobentosu (EPT%); Prosječna ocjena po svojti (ASPT)	Hidromofološke promjene/opća degradacija	Opća degradacija

Hrvatski saprobni indeks (SI_{HR}) je biološki indeks koji ukazuje na opterećenje lako razgradljivim organskim tvarima odnosno na saprobnost te je prilagođeni saprobni indeks prema Pantle-Buckovom (P-B) indeksu saprobnosti:

$$SI_{HR} = \frac{\sum SIu_i}{\sum u_i}$$

gdje je:

- SI_{HR} - P-B indeks saprobnosti
- SI - indikatorske vrijednost pojedine vrste
- u_i - broj jedinki preračunat na 1 m^2

Pokazatelji odabrani za ocjenu ekološkog stanja jezera, odnosno izračun omjera ekološke kakvoće su: % Chironomini (trzalci), Margaler indeks raznolikosti (D) i broj porodica te EPT (%). Referentne vrijednosti za ocjenu ekološkog potencijala izračunavaju se za svaki pokazatelj u svakom tipu stajaćica s granicama referentnih uvjeta koji su određeni modelom višestruke linearne regresije (Gligora Udovič i sur., 2020). Vrijednosti OEK svrstane su u pet kategorija ekološkog potencijala, navedenih u Tablici 1.

Pokazatelji odabrani za ocjenu ekološkog stanja umjetnih stajaćica i akumulacija isti su kao i kod jezera, ali je izostavljen EPT (%). Konačna ocjena ekološkog potencijala izračunava se kao srednja vrijednost OEK sve tri metrike.

$$OEK = \frac{OEK \text{ N porodica} + OEK \text{ Margalef} + OEK \% \text{ Chironomini}}{3}$$

Predloženi multimetrički indeks reagira na način da se u uvjetima povećanih pritisaka (eutrofikacija i poribljavanje) smanjuje vrijednost pokazatelja tj. broj (N) porodica i Margalefov indeks raznolikosti, a u uvjetima višeg stupnja eutrofikacija povećava se udio tolerantne skupine Chironomini (Diptera-Chironomidae) (Mihaljević i sur., 2018).

4. VREtenca KAO POKAZATELJI EKOLOŠKOG STANJA SLATKIH VODA

Upotreba makrozoobentosa kao bioloških pokazatelja je potkrijetpljena brojnim istraživanjima i koristi se kao metoda za monitoring u raznim državama. Kada se koristi makrozoobentos mora se uzeti u obzir da se jedinke često ne određuju do razine vrste te se ne mogu dobiti informacije o endemičnim ili reliktni vrstama čiji nestanak može biti prvi pokazatelj naruštavanja kakvoće staništa (Smith i sur., 2006). Također da oni reagiraju više na kvalitetu vode nego na općenite promjene koje uključuju i promjene u obali te se iz tog razloga preporučuje korištenje određenih indikatorskih skupina koje se mogu odrediti do vrste, poput vretenaca, kako bi se mogle dobiti točnije informacije o ekološkom stanju okoliša vodenog tijela (Martin i Maynou, 2016). Vretenca su popularna skupina kukaca u konzervacijskoj biologiji sa ulogom kišobrana, služeći kao zaštita brojnih drugih vrsta flore i faune (Vilenica i Mihaljević, 2022). Razumijevanje uzroka i povezanosti raznolikosti vrsta u relaciji s kakvoćom okoliša važno je za ispravno definiranje strategija u konzervacijskoj biologiji (Miguel i sur., 2017). Heterogenost staništa pozitivno je povezana s bogatstvom vrsta te se najveća raznolikost pronalazi se na području sa velikim brojem mikrostaništa (Vilenica i sur., 2022)

Vretenca su utvrđena kao žarišni organizmi za zaštitu slatkovodnih staništa te kao jednako dobri pokazatelji za lokve, jezera, rijeke i potoke. Široko se koriste kao vrijedni pokazatelji ekološkog stanja slatkih voda i kvantificiranja okolišnih promjena uslijed ljudskog utjecaja, jer kompozicija i struktura njihovih zajednica upućuje na ekološko stanje i integritet nekog staništa (Vilenica i sur., 2022). Za razliku od kemijskih testova za određivanje kvalitete vode prednost je to što raznolikost vretenaca uključuje određeni period, nije skupo i nema negativnih utjecaja na okoliš (Martin i Maynou, 2016). Kao bioindikatori vretenca se koriste u Europi, Japanu, SAD-u, Australiji i južnoj Africi. Još neke prednosti korištenja vretenaca kao bioindikatora su:

- Imaju nekoliko generacija godišnje
- Pokazuju visoku osjetljivost na prve promjene u okolišu te brzo reagiraju na njih pružajući kontinuirane informacije o štetnim okolišnim promjenama (ličinke i odrasli)
- Široko su rasprostranjeni i povijesno su najistraženija skupina kukaca (dobro znanje o ekološkim uvjetima velikog broja vrsta, njihovoj rasprostranjenosti i sezonalnosti)

- Relativno su laki za promatranje i determinaciju, odrasli se relativno lako sakupljaju i determiniraju do vrste
- Ovisni su o ekološkim uvjetima okoliša

Neki autori ukazuju da korištenje ličinki kao pokazatelja ekološkog stanja nije jednako učinkovito kao korištenje odraslih. Ističu to iz nekoliko razloga: kriptička obojenost i preferiranje različitih mikrostaništa ovisno o vrsti što zahtjeva korištenje različitih metoda pri sakupljanju i otežava usporedbu rezultata. Također nije uvijek lako determinirati ličinke u ranom stadiju. S druge strane, korištenje odraslih jedinki može biti jeftinije i lakše za istraživanja što ih čini boljim za brzu procjenu i preliminarni pregled staništa (Martin i Maynou, 2016). S druge strane aktivnost odraslih jedinki ovisi o temperaturi i vremenskim prilikama, pa se istraživanja i monitoring ograničava samo na dane s dobrim uvjetima.

Unutar skupine vretenaca također postoje razlike u osjetljivosti na promjene u okolišu. Neka istraživanja pokazuju da su Anisoptera osjetljiviji na promjene u vanjskom okolišu na kopnu od Zygoptera, zbog veće tendencije za rasprostranjivanje i migracije. Zygoptera su s druge strane više pod utjecajem lokalnih čimbenika uz vodu, poput pokrivenosti površine vode vegetacijom. Uklanjanje riparijske vegetacije ima izravan utjecaj na populacije odraslih vretenaca, s obzirom da promjena temperature u okolišu ima neposredan utjecaj na učestalost vrsta i njihov reproduktivni ciklus (Miguel i sur., 2017).

4.1. Utjecaj okolišnih uvjeta na vretenca

Promjenom okolišnih uvjeta mijenja se i raznolikost i rasprostranjenost vretenaca. Varijable koje imaju značajan utjecaj na populacije vretenaca su električna vodljivost, prozirnost i količina otopljenog kisika u vodi. Poznato je da razina otopljenog kisika utječe na ponašanje, metabolizam i stopu preživljavanja ličinki vretenaca na određenoj temperaturi i tlaku. Nadalje, uvjeti poput prozirnosti i vodljivosti vode na odrasla vretenca mogu utjecati pri odluci gdje će polagati jaja. Razlog tome je što ove varijable često služe kao udaljeni vizualni znakovi odraslim koji otkrivaju polarizaciju i reflektirano svjetlo odgovarajućih staništa. Električna vodljivost na ličinke može imati utjecaj jedino ako je promjena toliko jaka da utječe na osmoregulaciju, što im može poremetiti uobičajene fiziološke procese (Jaboc i sur., 2017).

4.2. Procjena ekološkog stanja

Postoji jasna povezanost između određenih tipova staništa i prisutnih vrsta vretenaca na njima. No, osim vrsta prisutnih na nekom području, za bioindikaciju je bitno i s kojim svojstvima u okolišu su povezana i koliko su neke vrste ovisne o tim svojstvima (Corbet, 1993). Brojne vrste vretenaca su generalisti, no mnogi su i visoko specijalizirani te osjetljivi na promjene u okolišu, kako vodenom tako i kopnenom. Na primjer, *Ischnura elegans* je široko rasprostranjena vrsta vretenca za koju se čini da trpi i vode manje kvalitete što ju ne čini jednako dobrim indikatorom kao što su to neke druge vrste (Corbet, 1993). Euritropne vrste, one koje imaju široku ekološku valenciju i rasprostranjenost, su vrste rodova *Anax*, *Crocothemis*, *Ischnura*, *Orthetrum* i *Sympetrum*, te one prve naseljavaju neko područje. S druge strane, stenotropne vrste, one s uskom ekološkom valencijom se pojavljuju na staništu nakon što je došlo do određene razine sukcesije. Uslijed promjena ekoloških uvjeta, poput zagađenja ili degradacije okoliša, na staništa se vraćaju euritropne vrste, koje su prvotono bile tamo prije procesa sukcesije (Corbet, 1993).

4.2.1. Hrvatski saprobni indeks (SI_{HR})

Jedan od indeksa pomoću kojeg vretenca mogu kategorizirati vrste voda je Hrvatski saprobni indeks (SI_{HR}) koji je objašnjen u prethodnom poglavlju. Za izračun SI_{HR} potrebna je indikatorska vrijednost pojedine vrste (SI). SI vrijednost može biti u rasponu od jedan do četiri, gdje jedan predstavlja iznimno čiste vode, a četiri jako organski opterećene vode. U Tablici 5 nalaze se određene vrste vretenaca zabilježene u Hrvatskoj kojima je pridodana saprobna indikatorska vrijednost (SI). Pomoću Tablice 4 možemo zaključiti kojim vrstama voda pripadaju vrste vretenca navedene u njoj. Najniži SI ima vrsta *Cordulegaster bidentata*, SI=1.4, što znači da ovu vrstu možemo pronaći u vodama I vrste. Tekućice voda I vrste su prozračne, tekuće vode s malom koncentracijom organskih i anorganskih hranjivih tvari, dok su stajaćice voda I vrste prozračne i oligotrofne (NN, 107/95). Vodama I vrste još pripada i vrsta *Calopteryx virgo*. Obje vrste preferiraju i mogu se pronaći na bržim potocima kroz šumu i brdovita područja. Sve ostale vrste koje su navedene pripadaju vodama II vrste. Tekućice vode II vrste mogu biti malo onečišćene organskim i anorganskim hranjivim tvarima, imaju malo povećanu primarnu produkciju i raspon koncentracije otopljenog kisika, dok stajaćice II vrsta imaju smanjenu prozirnost i mezotrofne su. Niti jedna vrsta ne pripada vodama III ili IV vrste.

Tablica 4. Indikatorske vrijednosti svojiti Odonata (SI) zabilježenih u Hrvatskoj (Preuzeto iz Mihaljević i sur., 2019/2020)

Rod	Vrsta	Saprobna indikatorska vrijednost (SI)
<i>Aeshna</i>	<i>affinis</i>	2
<i>Aeshna</i>	<i>cyanea</i>	2.2
<i>Aeshna</i>	<i>grandis</i>	2.2
<i>Aeshna</i>	<i>mixta</i>	2
<i>Aeshna</i>	sp.	2
<i>Anax</i>	<i>imperator</i>	2
<i>Anax</i>	<i>parthenope</i>	2
<i>Anax</i>	sp.	2
<i>Calopteryx</i>	<i>splendens</i>	2.2
<i>Calopteryx</i>	<i>virgo</i>	1.8
<i>Calopteryx</i>	sp.	2.2
<i>Coenagrion</i>	<i>puella</i>	2
<i>Coenagrion</i>	<i>pulchellum</i>	2.2
<i>Coenagrion</i>	<i>scitulum</i>	2
<i>Coenagrion</i>	sp.	2
<i>Cercion</i>	<i>lindenii</i>	2
<i>Enallagma</i>	<i>cyathigerum</i>	2.1
<i>Erythromma</i>	<i>najas</i>	2
<i>Erythromma</i>	sp.	2
<i>Erythromma</i>	<i>viridulum</i>	2
<i>Ischnura</i>	<i>elegans</i>	2
<i>Ischnura</i>	<i>pumilio</i>	2
<i>Ischnura</i>	sp.	2
<i>Pyrrhosoma</i>	<i>nymphula</i>	2
<i>Cordulegaster</i>	<i>bidentata</i>	1.4
<i>Somatochlora</i>	<i>metallica</i>	2.1
<i>Gomphus</i>	<i>flavipes</i>	2.2
<i>Gomphus</i>	<i>vulgatissimus</i>	2
<i>Gomphus</i>	sp.	2
<i>Onychogomphus</i>	<i>forcipatus</i> <i>forcipatus</i>	1.9
<i>Ophiogomphus</i>	<i>cecilia</i>	1.9
<i>Chalcolestes</i>	<i>viridis</i>	2.2
<i>Lestes</i>	sp.	2.1
<i>Libellula</i>	<i>depressa</i>	2.2
<i>Libellula</i>	<i>quadrimaculata</i>	2.1
<i>Libellula</i>	sp.	2.2
<i>Sympetrum</i>	<i>pedemontanum</i>	2.1
<i>Sympetrum</i>	<i>striolatum</i>	2.1
<i>Sympetrum</i>	<i>vulgatum</i>	2.1
<i>Sympetrum</i>	sp.	2.1
<i>Platycnemis</i>	<i>pennipes</i>	2

4.2.2. Dragonfly Biotic Index

Dragonfly Biotic Index (DBI) je mjera za bioraznolikost, koja se temelji na stručnom poznavanju ključnih vrsta i kvantitativne procjene. Osnova DBI-a je prepoznati potencijal vretenaca kao pokazateljskih vrsta (Samaik i Samways, 2009). Koristi se za procjenu ekološkog integriteta i zdravlja slatkovodnih ekostava pomoću zajednica vretenaca. Ovaj indeks daje prednost geografski ograničenim vrstama, onima s određenim konzervacijskom statusom i s crvenih lista te osjetljivim vrstama. DBI indeks za određene vrste je zbroj vrijednosti tri podkategorije u rasponu od 0 do 9. Na primjer, široko rasprostranjene vrste, vrste koje nisu ugrožene i vrste koje podnose ljudsko uznemiravanje boduju se s 0 bodova (0+ 0 + 0), dok vrste sa ograničenom distribucijom, ugrožene vrste i one visoko osjetljive na uznemiravanja boduju se s brojem 9 (3 + 3 + 3).

4.2.3. Croatia Conservation Odonatological Index (CCOI)

Indeks Croatia Conservation Odonatological Index (CCOI) izveden je iz indeksa Tunisian Stream Odonatological Index (TSOI) i temelji se na prisutnosti tj. odsutnosti podataka te objedinjuje taksonomski i konzervacijski prioritet određenih zajednica. Računa se na sljedeći način:

$$CCOI = \frac{(F + G)}{\frac{2 \times (3E + 3S + R + \sum RTD + \sum RLC)}{N}}$$

gdje je:

- F i G - broj porodica i rodova
- E - broj endemskih vrsta,
- S - broj semivoltinih vrsta;
- R - broj preostalih vrsta (ukupan broj manje endemske i semivoltine vrste);
- RTD - relativna taksonomska različitost
- RLC - zbroj bodova dodijeljenih lokalno ugroženim vrstama;
- N - ukupan broj vrsta

CCOI je predstavljen u radu *Odonata Assemblages as a Tool to Assess the Conservation Value of Intermittent Rivers in the Mediterranean* (Vilenica i sur., 2022).

5. ZAKLJUČAK

Prilikom određivanja ekološkog stanja slatkih voda biološke metode su izvrsne za procjenu prosječnog stanja nekog staništa. Vretenca zahvaljujući svojem životnom ciklusu, kojim objedinjuju kopno i vodu, čine dobre pokazatelje za procjenu ekološkog stanja. Visoka osjetljivost, relativno laka determinacija do vrste, široka rasprostranjenost i poznavanje skupine samo su neke od prednosti korištenja vretenaca kao pokazatelja.

Osim vretenaca i druge skupine makrozoobentosa mogu biti korištene kao pokazatelji, od kojih su neki i podložniji promjenama uslijed najmanjih poremećaja u vodi, poput predstavnika reda Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT), no one često ukazuju samo na kakvoću vode, dok vretenca preslikavaju ekološko stanje cijelog staništa.

Sve više istraživanja se bavi ovom problematikom te se razvijaju indeksi koji pomažu pri određivanju ekološkog stanja pomoću ove skupine kukaca. No i dalje nema radova koji se bave samo vretencima kao bioindikatorima, te je pokrivenost informacijama slaba po pitanju koja vretenca ukazuju na koje promjene u okolišu. Korištenje više metoda u kombinaciji sa vretencima kao pokazateljima je i dalje najbolje rješenje za potpuni prikaz ekološkog stanja slatkih voda na nekome području.

6. LITERATURA

Askew, R.R. (2004): The Dragonflies of Europe. Colchester, Harley Books (B. H. & A. Harley Ltd).

Belančić, A., Bogdanović, T., Franković, M., Ljuština, M., Mihoković, N., Vitas B. (2008): Crvena knjiga vretenaca Hrvatske. Ministarstvo kulture, Državni zavod za zaštitu prirode. Zagreb.

Corbet P.S. (1993): Are Odonata useful as bioindicators? *Libellula* 12 (3/4): 91-102.

Dijkstra, K-D., Schröter, A., Lewington, R. (2020): Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe: 2nd edition. London, Bloomsbury Publishing, Bloomsbury wildlife.

Franković, M., Bogdanović, T. (2009): Vretenca - priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Zagreb, Državni zavod za zaštitu prirode.

Gligora Udovič, M., Mihaljević, Z., Plenković-Moraj, A., Žutinić, P., Kulaš, A., Ternjej, I., Gottstein, S., Lajtner, J., Ivković, M., Previšić, A., Pozojević, I., Dorić, V., Grgić, I., Vučković, N., Dimnjaković, M. (2020): Analiza bioloških metoda ocjene ekološkog stanja za fitoplankton, fitobentos i makrozoobentos u jezerima; Analiza utjecaja okolišnih čimbenika i antropogenih opterećenja. Završno izvješće s predloženom metodologijom uzorkovanja i laboratorijskim analizama te pregledom dostupnih podataka i nedostataka. Biološki odsjek, Prirodoslovno - matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Grgić, I. (2016): Utjecaj klimatskih promjena na rasprostranjenost vretenca. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.

Grozić, D. (2012): Akvatičke ličinke kukaca kao pokazatelji kakvoće vode. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.

Habdija, I. (2009): Ekološko istraživanje površinskih kopnenih voda u Hrvatskoj prema kriterijima okvirne direktive o vodama (Sinteze i zaključci). Hrvatske vode, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i Elektroprojekt d.d., Zagreb. Elaborat/studija.

Hrvatske vode (2016): Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće.

Jacob, S., Thomas, A. P., Manju, E. K. (2017): Odonata (Dragonflies and Damselflies) as Bio Indicators of Water Quality. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology* 6(9).

Lehunšek, J. (2014): Kvaliteta kopnenih voda u Hrvatskoj temeljena na organizmima indikatorima. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Biljne znanosti, Zagreb.

Maoduš, I. V., Pozojević, I., Vilenica, M., Mihaljević, Z. (2022): Longitudinal dynamics of Odonata assemblages in an anthropogenically impacted lotic system. *International Journal of Limnology* 58: 7.

Martín, R., Maynou, X. (2016): Dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of habitat quality in Mediterranean streams and rivers in the province of Barcelona (Catalonia, Iberian Peninsula). *International Journal of Odonatology* 19(3): 107–124.

Miguel, T. B., Oliveira-Junior, J. M. B., Ligeiro, R., Juen, L. (2017): Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators* 81: 555–566.

Mihaljević, Z., Alegro, A., Kerovac, M., Ternjej, I., Gottstein, S., Miliša, M., Matoničkin Kepčija, R., Lajtner, J., Hršak, V., Previšić, A., Gligora Udovič, M., Šegota, V., Vuković, N., Pozojević, I., Rimac, A., Dorić, V., Dimnjaković, V., Bartovsky, V. (2018): Klasifikacijski sustav ekološkog potencijala za umjetna i znatno promijenjena tijela površinskih voda – I. dio: Stajačice Panonske ekoregije. Biološki odsjek, Prirodoslovno - matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Mihaljević, Z., Alegro, A., Gligora Udovič, M., Ternjer, I., Gottstein, S., Miliša, M., Lajtner, J., Previšić, A., Ivković, M., Žutinić, P., Vuković, N., Pozojević, I., Vučković, N., Šegota, Rimac, A., V., Koletić, N., Dimnjaković, M., Bartovsky, V. (2019/2020): Analiza bioloških metoda ocjene ekološkog stanja za fitobentos, makrofita i makrozoobentos u europskim interkalibracijskim tipovima rijeka Panonske ekoregije; Analiza utjecaja okolišnih čimbenika i antropogenih opterećenja na biološke elemente kakvoće (elaborat). Biološki odsjek, Prirodoslovno - matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Milić, M. (2020): Makrozoobentos kao biološki element za procjenu ekološkog stanja rijeke Lištice i Radobolje. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.

NN 77/1998 (1998): Uredba o klasifikaciji voda. Narodne novine, 77/1998.

NN 107/1995 (1995): Zakon o vodama. Narodne novine, 107/1995.

Smith, J., Samways, M.J., Taylor, S. (2007): Assessing Riparian Quality Using Two Complementary Sets of Bioindicators. *Biodiversity and Conservation* 16: 2695–2713.

Simaika, J. P., Samways, M. J. (2009): An easy-to-use index of ecological integrity for prioritizing freshwater sites and for assessing habitat quality. *Biodiversity and Conservation* 18(5): 1171–1185.

Vilenica, M. (2017): Ecological traits of dragonfly (Odonata) assemblages along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 53: 377–389.

Vilenica, M., Pozojevic, I., Kerovec, M., Mihaljević, Z. (2020): Odonata assemblages in anthropogenically impacted lotic habitats. *Journal of limnology* 80.

Vilenica, M., Pozojević, I., Vučković, N., Mihaljević, Z. (2020): How suitable are man-made water bodies as habitats for Odonata? *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems* 421: 13.

Vilenica, M., Rebrina, F., Ružanović, L., Gulin, V., Brigić, A. (2022): Odonata Assemblages as a Tool to Assess the Conservation Value of Intermittent Rivers in the Mediterranean. *Insects* 13(7).

Vilenica, M., Mihaljević, Z. (2022): Odonata Assemblages in Anthropogenically Impacted Habitats in the Drava River—A Long-Term Study. *Water (Switzerland)* 14(19).

7. ŽIVOTOPIS

Moje ime je Gea Lukšić. Rođena sam 26. kolovoza 2000. u Rijeci. Pohađala sam Osnovnu školu Milan Brozović Kastav, a zatim Gimnaziju Andrije Mohorovičića Rijeka gdje sam završila opći smjer. Trenutno sam studentica preddiplomskog studija Znanosti o okolišu na Prirodoslovno - matematičkom fakultetu u Zagrebu. Svoje zanimanje i znanje u području biologije produbila sam volontirajući u raznim udrugama i sudjelujući na brojnim projektima. Tijekom studija aktivno sam sudjelovala u Udruzi Hyla i Udruzi studenata biologije - BIUS gdje sam stekla puno terenskog i uredskog iskustva. U Udruzi BIUS sam prve dvije godine bila član Sekcije za herpetofaunu, a trenutno vodim Sekciju za vretenca.