Akvatičke ličinke kukaca kao pokazatelji kakvoće vode

Grozić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2012

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:240650

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

Akvatičke ličinke kukaca kao pokazatelji kakvoće vode

Aquatic insects larvae as water quality indicators

Seminarski rad

Dino Grozić

Preddiplomski studij znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: Doc. dr. sc. Marko Miliša

Zagreb, 2012.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1 POVJEST BIOMONITORINGA 1

1.2 OSNOVNE POSTAVKE BIOMONITORINGA 1

2. BIOLOŠKE METODE ANALIZE VODE 2

2.1. PREDNOSTI I NEDOSTACI BIOLOŠKIH METODA U ANALIZI VODE 2

3. KORIŠTENJE MAKROSKOPSKIH BESKRALJEŽNJAKA KAO POKAZATELJA KAKVOĆE VODE 4

3.1 INDEKSI TEMELJENI NA MAKROSKOPSKIM BESKRALJEŽNJACIMA 4

3.2 AKVATIČKE LIČINKE KUKACA KAO POKAZATELJI KAKVOĆE VODE 5

3.2.1 EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA I TRICHOPTERA 6

3.2.1.1 BIOLOGIJA EPHEMEROPTERA 6

3.2.1.1.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA 7

3.2.1.1.2 STANIŠTA 8

4.2.1.1.3 TROFIČKI ODNOSI 9

3.2.1.2 BIOLOGIJA PLECOPTERA 9

3.2.1.2.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA 10

3.2.1.2.2 STANIŠTA 11

3.2.1.2.6 TROFIČKI ODNOSI 11

3.2.1.3 BIOLOGIJA TRICHOPTERA 11

3.2.1.3.1 ŽIVOTNI CIKLUSI I FENOLOGIJA 12

3.2.1.3.3 KUĆICE LIČINKI I STANIŠTA 13

3.2.1.4 METODE SAKUPLJANJA 15

4. ZAKLJUČCI 17

5. LITERATURA 18

6. SAŽETAK 20

7. SUMMARY 20

1. UVOD

1.1 POVJEST BIOMONITORINGA

Povijest biomonitoringa može se pratiti sve od vremena Aristotela, koji je slatkovodne ribe stavljao u morsku vodu i promatrao reakcije. Prva istraživanja toksičnosti objavljena su 1816. godine, te opisuju dulje preživljavanje nekolicine vrsta slatkovodnih mekušaca u 2% naspram u 4% slanoj otopini. Studije preživljavanja slatkovodnih beskralježnjaka izloženih metalima i organskim tvarima pojavile su se sredinom 1890-ih dok je korištenje struktura zajednica slatkovodnih organizama za biomonitoring poznato iz pionirskih radova dvaju njemačkih znanstvenika, R. Kolkwitza i M. Marssona ranih 1900-ih. Njihove objave na temu saprobnosti dovele su do razvoja koncepta indikatorskih organizama.

Zanimljiv je primjer savezne države New York u kojoj se biomonitoring počeo koristiti 1972. godine kao dopuna kemijskom monitoringu i procjeni stanja rijeka i potoka. Od tog vremena, biomonitoring je nadmašio kemijski monitoring u mogućnosti motrenja najvećeg broja vodnih tijela u državi. Biomonitoring se također pokazao neprocjenjivim u promatranju trendova kakvoće voda kroz vrijeme, te danas pridonosi kompilaciji tridesetogodišnjih trendova kakvoće voda (Mandaville, 2002).

1.2 OSNOVNE POSTAVKE BIOMONITORINGA

Mandaville (2002) navodi kako je biomonitoring sistematsko korištenje živih organizama ili njihovog odgovora kako bi se odredila kakvoća okoliša, te daje usporedbu u kojoj navodi da su kemijska mjerenja kao fotografiranje ekosustava, dok su biološka mjerenja nalik snimanju videozapisa. Isti autor zaključuje kako je konačna svrha okolišnih procjena i propisa održavanje biološkog integriteta te bi zbog toga, uz kemijski, u procjenama svakako trebao biti prisutan i biološki kriterij.

Biomonitoring je danas prepoznat kao jedan od najvrjednijih alata stručnjaka koji se bave okolišem. Biomonitorig se temelji na jednostavnoj pretpostavci da su živući organizmi izvrstan indikator kakvoće okoliša. Biomonitoring ima i sekundarnu korist kroz inspiriranje pojedinaca, posebno mladih ljudi, prema znanosti i istraživanju prirode. Postoji malo područja u kojima proučavanje prirode nudi toliko izravan utjecaj na očuvanje proučavanog staništa.

2. BIOLOŠKE METODE ANALIZE VODE

2.1. PREDNOSTI I NEDOSTACI BIOLOŠKIH METODA U ANALIZI VODE

U studiji Hrvatski indikatorski saprobni sustav (HRIS) iz 2005. godine prema Thienemannu (1926) navode se sljedeće prednosti i nedostaci bioloških i kemijskih metoda u analizi vode:

(1) Kemijska analiza pokazuje trenutnu kakvoću vode u vrijeme uzorkovanja. To znači da voda u ponovljenom uzorku, koji je uzet kasnije, može imati sasvim drugačija fizikalna i kemijska obilježja. Suprotno, zahvaljujući osjetljivosti i ekološkoj multidimenzionalnosti živog svijeta, biološke analize ukazuju na prosječnu kakvoću vode u duljem razdoblju. Npr. ako se u rijeku ili jezero izliju određene količine otpadnih tvari, nastaju biocenotičke promjene u zajednici koje su primjetljive duže vrijeme nakon onečišćenja, iako zbog otplavljivanja otpadne tvari više nisu prisutne u vodi.

(2) Biološke analize ukazuju na prosječno stanje kakvoće vode, dok je za utvrđivanje prosječnih vrijednosti nekog parametra kemijskom metodologijom potrebno izvesti veći broj opetovanih mjerenja.

(3) Uzimajući u obzir cijenu izvedbe, biološko vrednovanje voda uvijek je znatno jeftinije od kemijskog..

U istoj studiji navode se i ograničenja bioloških metoda analiza vode:

(1) Rezultati biološke analize značajno ukazuju na stupanj nepovoljnog djelovanja otpadnih voda, ali se njihovom primjenom ne mogu ustvrditi vrste tvari koje su bile sadržane u otpadnoj vodi. Samo za neke tvari (sumporovodik, željezo i natrijev klorid) postoje biološki indikatori.

(2) Biološka analiza ne može nikada pružiti točne numeričke vrijednosti za količinu tvari s nepovoljnim djelovanjem, jer organizmi nisu kemijski reagensi koji bi pod istim uvjetima reagirali istovrsno na određene tvari sadržane u otpadnim vodama.

Veliki nedostatak biološkog vrednovanja voda, temeljim indikatorskih sustava, leži u međudjelovanju fiziografskih čimbenika (temperatura, svijetlo, brzina strujanja vode, akumulacija organskog detritusa, vrsta supstrata itd.). To znači da iste koncentracije otpadnih

tvari u pojedinim biotopima s različitim fiziografskim čimbenicima nemaju iste posljedice za biocenotičku strukturu zajednice.

Fore i sur. (2001) proveli su procjenu uspješnosti nestručnih volontera u monitoringu odabranih tokova. Zaključeno je da nema razlike u terenskim uzorcima koje su sakupili volonteri i stručnjaci te da je uspješnost stručnjaka u determinaciji svojti bila samo 13 % veća od one kod volontera. Volonteri su koristili jednostavne generalizirane indekse temeljene na određivanju do razine porodice, stoga je zaključeno da takve metode ne mogu dati zadovoljavajuću razlučivost na mjestima s malo antropogenog utjecaja, gdje se razlike mogu otkriti tek na razini roda ili vrste. U istom radu pokazano je i kako često uzorkovanje na istim mjestima može dati netočnu sliku o stanju vodnog tijela, zbog poremećaja stvorenih prijašnjim uzorkovanjima. Rezultati tog istraživanja pokazali su da volonteri mogu pridonijeti nadopuni procjene stanja vodnog tijela, te uz iskustvo i stručno vodstvo mogu sakupiti terenske uzorke slične kvalitete kao i stručnjaci. Također, laboratorijske analize volontera ne mogu parirati onima profesionalaca.

3. KORIŠTENJE MAKROSKOPSKIH BESKRALJEŽNJAKA KAO POKAZATELJA KAKVOĆE VODE

Makroskopski beskralježnjaci danas su najpopularnija skupina organizama za korištenje u biomonitoringu. U prilog tome, Mandaville (2002) navodi sljedeće argumente:

(1) Svugdje su prisutni te na njih utječu poremećaji u mnogo različitih staništa.

(2) Veliko bogatstvo vrsta dovodi do većeg raspona odgovora na okolišne uvjete.

(3) Razmjerno su slabo pokretljivi što omogućuje određivanje prostorne raširenosti poremećaja.

(4) Dugoživući su što omogućuje praćenje promjena pojavnosti i dobne strukture kroz vrijeme.

(5) Kao i sve druge skupine živog svijeta nude dokaze o okolišnim uvjetima kroz dulje razdoblje.

Mandaville (2002) navodi kako se nedostaci korištenja makroskopskih beskralježnjaka uglavnom mogu izbjeći pažljivim osmišljavanjem pokusa, odnosno uzorkovanja.

3.1 INDEKSI TEMELJENI NA MAKROSKOPSKIM BESKRALJEŽNJACIMA

Indeksi omogućuju istraživaču da koristi značajna indikatorska svojstva u procjeni sastava zajednica kao odgovora na poremećaje u okolišu. Da bi indeks bio koristan on mora biti:

(1) Ekološki značajan za biološku grupu ili zajednicu koja se promatra te mora biti značajan za ciljeve istraživanja.

(2) Osjetljiv na stresore i pokazivati odgovore koji se mogu razlikovati od prirodnih varijacija.

Većina indeksa koristi „vrijednosti tolerancije“ koje su dobivene iz velikih baza podataka objavljenih i neobjavljenih studija znanstvenika koji se bave proučavanjem određenih skupina organizama, te su razvijeni biotički indeksi koji daju brojčanu vrijednost pojedinom indikatorskom organizmu na određenoj taksonomskoj razini. Takvi organizmi imaju specifične fizičke i kemijske zahtjeve. Promjene u prisutnosti, broju, morfologiji, fiziologiji ili ponašanju tih organizama mogu ukazivati da su fizički i/ili kemijski parametri izvan odgovarajućeg raspona. Prisutnost velikog broja porodica visokotolerantnih organizama

uglavnom ukazuje na lošu kakvoću vode. Broj indeksa temeljenih na makroskopskim beskralježnjacima vjerojatno je oko pet puta veći od broja indeksa temeljenih na bilo kojoj drugo grupi organizama. Trenutno postoji pedesetak indeksa i njihov broj još raste.

Tipične metode bioprocjena temelje se na brojnim kvantitativnim uzorcima koji zahtijevaju mnogo vremena, rada, novca i stručnosti za identificiranje svih organizama. U posljednje vrijeme dolazi do kombiniranja kvantitativnih i kvalitativnih pristupa, a rezultat je pristup znan kao brza procjena ili brzi biomonitoring. Takav pristup koristi se za inicijalne procjene vodnih tijela kao temelj za moguća daljnja istraživanja. Zbog toga recentni trendovi teže prema brzim tehnikama bioprocjena kao što je korištenje semi-kvantitativnih metoda sakupljanja (npr. kick-sample metoda), te nasumično odabiranje i određivanje samo prvih 100 organizama u uzorku. Npr. u SAD-u je agencija za zaštitu okoliša (eng. – EPA: Environmental Protection Agency) razvila 5 protokola za brzu bioprocjenu od čega se prva tri odnose na makroskopske beskralježnjake, a ostala dva na ribe.

Danas su relativno dobro istražene tolerancije akvatičkih beskralježnjaka na organsko opterećenje, ali potrebno je još mnogo istraživanja na području određivanja tolerancije na razne druge vrste onečišćivača i zagađivača, kao što su metali, pesticidi i kiselost. Također, bitna je i sposobnost određivanja organizama na razini vrste kada se za biomonitoring koriste akvatički beskralježnjaci jer se vrijednosti tolerancije mogu razlikovati i na razini roda (Mandaville, 2002).

3.2 AKVATIČKE LIČINKE KUKACA KAO POKAZATELJI KAKVOĆE VODE

Akvatičke ličinke kukaca praktične su za utvrđivanje kakvoće vodenih tijela jer vrlo često preko 70% biomase i brojnosti akvatičke faune pripada upravo njima. Najčešće skupine su Trichoptera (tulari), Ephemeroptera (vodencvjetokrilaši), Plecoptera (obalčari), Odonata (vretenca), Coleoptera (kornjaši) i određene porodice Diptera (dvokrilci). Faunistički sastav Ephemeroptera Hrvatske bazira se na temelju nalaza i determinacije ličinačkih stadija (Mihaljević i sur., 2011).

3.2.1 EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA I TRICHOPTERA

Predstavnici skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT) općenito su poznati kao osjetljive svojte čija je prisutnost i brojnost u izravnoj i snažnoj vezi sa mnogim stresorima. Posebno su osjetljive na smanjenje količine kisika kao posljedicu organskog onečišćenja, ali i smanjenja brzine strujanja vode. Indeksi temeljeni na ovim skupinama dobri su pokazatelji organskog onečišćenja i hidromorfološke degradacije, kao i ukupne degradacije vodotoka. Također, dobro je poznato da udio predstavnika navedenih skupina drastično pada uslijed gubitka staništa na koja su prilagođeni, poput stabilnog krupnog supstrata pokrivenog mahovinama, ostacima lišća i slično.

Dobar primjer obuhvatnosti ljudskog djelovanja je intervencija u tok pregradnjom tekućica što ima za posljedicu porast brojnosti vrsta koje naseljavaju fini sediment, a koji uglavnom ne odgovara predstavnicima skupina EPT. Smanjenje udjela EPT svojti posljedica je smanjenja produktivnosti zajednice makrozoobentosa zbog taloženja finog supstrata. Slična je situacija i u prirodnim nizinskim tekućicama sporog toka gdje je u makrozoobentosu udio EPT skupina mali.

Primjeri indeksa temeljenih na EPT korištenih u studiji „Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije“ koju je proveo Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2011 su: (1) Broj svojti koje pripadaju skupinama Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT-S); (2) Udio predstavnika EPT skupina u makrozoobentosu (EPT %) (Mihaljević i sur., 2011).

U većini slučajeva smatra se da su vrste reda Plecoptera najosjetljivije na organsko zagađenje i nedostatak kisika (Woodwiss, 1964; 1982; Armitage i sur., 1983; Lenat, 1988; Friedrich, 1990) dok se red Ephemeroptera smatra drugom najosjetljivijom svojtom (Timm, 1997).

3.2.1.1 BIOLOGIJA EPHEMEROPTERA

Ephemeroptera (Slika 1.) predstavljaju jedan od dva živuća reda unutar podrazreda Palaeopterygota i sadrži nešto više od 2100 vrsta smještenih u otprilike 200 rodova i 22 porodice. Ličinke se mogu pronaći u gotovo svim vrstama slatkih voda na planeti, uz Arktik i Antarktiku kao iznimke. Ephemeroptera su slabo zastupljeni na oceanskim otocima, izoliranim planinskim vrhovima, te mnogi rodovi i vrste ne uspijevaju premostiti relativno

male fiziogeografske prepreke kao što su male ravnice. Smatra se da je to posljedica njihove slabe sposobnosti raspostranjenja, dok se njihova odsutnost u polarnim područjima veže uz termotoleranciju. Fauna Ephemeroptera najraznolikija je u tekućicama umjerenih područja gdje predstavljaju važne članove bentičkih zajednica (Williams i sur., 1992).



Slika 1. Odrasla jedinka i ličinka Ephemeroptera

(http://zoology.fns.uniba.sk)

3.2.1.1.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA

Životni ciklus Ephemeroptera uključuje četiri stadija: jaje, ličinka i dvije odrasle faze subimago i imago. Životni ciklus se odvija nepotpunom metamorfozom, s obzirom da nedostaje stadij kukuljice, a kao iznimka, u sjevernoj Europi ženke roda *Prosopistoma* nikad ne dostižu stadij imaga. Životni raspon jedinki proteže se od 6 tjedana (npr. *Centroptilum*) do 3 godine (npr. *Ephemera*) u stadiju ličinke koja pritom prolazi kroz 20 do 30 presvlačenja. Životni ciklus može biti semivoltni (ličinke provode 2 do 3 godine u vodi), univoltni (jedna generacija prezimuje u obliku jajeta ili ličinke) ili bivoltni (sa dvije do tri generacije u godini, ovisno o temperaturi vode). Semivoltne vrste poznate su u rodu *Ephemera*, dok je većina drugih rodova univoltna. Bivoltne vrste poznate su unutar porodica Baetidae i Caenidae. Subimago se pojavljuje ispod vode te otpliva na površinu (*Ecdyonurus lateralis*) ili se zrela ličinka popne na vrh travke ili kamena iznad površine vode prije pojavljivanja subimaga (*Siphlonurus*). Međutim, ličinke većine vrsta plivaju na površinu gdje neko vrijeme plutaju, nakon čega dolazi do pojavljivanja subimaga. Stadij subimaga traje 1 do 2 dana u većine

vrsta, ali može trajati i samo nekoliko minuta kao u porodice Caenidae. Trajanje metamorfoze imaga iz subimaga može jako varirati. U vrste *Cloeon inscriptum* traje 20 sati, dok kod vrste *C.schoenemundi* traje 60 sati. Subimago i imago se ne hrane. *Baetis rhodani* te polivoltni *Centroptilum luteolum* imaju najduže razdoblje leta koje može trajati od travnja do studenoga. Rojevi muških imaga javljaju se iznad vode (*Heptagenia sulphurea*), iznad grmlja i trave (*Cloeon*), iznad krošnji drveća (*Ephemerella*), ili visoko u zraku (*Siphlonurus*), ali ne udaljavajući se više od 500 m od vode. Rojenje se uglavnom događa za vrijeme dana, ali se gustoća rojeva povećava prema večeri. Rojevi mogu biti sačinjeni od nekoliko jedinki (*Centroptilum*), ili od nekoliko milijuna jedinki formirajući oblak (*Caenis*). *Heptagenia dalecarlica* može formirati rojeve u ponoć, a neki predstavnici roda *Caenis* i kasnije u noći. Neke vrste čak formiraju rojeve za vrijeme padanja kiše i snijega. Glavni obrazac ponašanja tijekom leta mužjaka je ritmično uzletavanje i spuštanje. Ženke imaju ravniji i odlučniji let od grmlja prema roju, natrag u grmlje, te zatim prema mjestu polaganja jaja. Parenje se odvija u letu. Nakon parenja, mužjaci se ponekad vraćaju u roj, ali u većini slučajeva umiru. Ženke koje žive u tekućicama tipično lete uzvodno na polaganje jaja. Lentičke vrste ispuštaju svoja jaja u blizini mjesta parenja. Većina vrsta ispušta jaja na površinu vode, ali neke vrste roda *Baetis* pričvršćuju ih na podvodno kamenje. Jaja mogu biti ispuštena u jednoj nakupini kao u roda *Siphlonurus ili Ephemerella*, ali većina vrsta ih ispušta u više nakupina. Razvoj jaja i ličinki ovisi o temperaturi vode i može se razlikovat i kod geografski bliskih vodnih tijela (Engblom, 1996).

3.2.1.1.2 STANIŠTA

Ephemeroptera se javljaju u svim slatkovodnim okolišima. Neke vrste, npr. *Caenis spp.* i *Baetis fuscatus*, također nastanjuju bočate vode. Većina vrsta je reofilna, iako neke od njih nastanjuju i obale jezera (*Ephemera danica* i *Heptagenia sulphurea*). Rijetke vrste su ograničene samo na jezera (*Cloeon dipterum*, *Caenis robusta* te *Ephemera glaucops*). Većina jezerskih vrsta preferira plitke litoralne zone bogate vegetacijom. *Cloeon simile* i *C. praetextum* se često mogu naći u sastojinama alga *Chara* i *Nitella* na dubini od 0.5 do 1.5 m. Jedino *Caenis* i *Ephemera spp.* nastanjuju zonu profundala gdje se ličinke roda *Caenis* nalaze na površini silta, dok se ličinke roda *Ephemera* ukopavaju u mulj. U tekućicama se često mogu pronaći jedinke vrste *Ephemerella ignita* kako se penju na *Myriophyllum* te *Baetis spp.* Kako se penju na stabljike *Fontinalis*. Neke vrste, kao *Heptagenia sulpharea*, borave ispod kamenja. Ličinke Ephemeroptera se mogu razvijati u vrlo malim vodnim tijelima. U malim

nizinskim barama bez stalnih utoka česta je vrsta *Cloeon inscriptum*, dok je vrsta *Baetis bundyae* česta u barama na većim nadmorskim visinama, iznad granice rasta drveća. Neke vrste, kao *Heptogenia fuscogrisea*, mogu se pronaći na samim izvorima tokova. Privremene lokve stvorene plavljenjem rijeka u proljeće nastanjene su mnogim vrstama. Ličinke *Cloeon inscriptum* i *Leptophlebia spp.* pronađene su u napuštenim, poplavljenim rudnicima. Mnoge vrste su osjetljive na zakiseljavanje i zagađenje voda (Engblom, 1996).

4.2.1.1.3 TROFIČKI ODNOSI

Ličinke Ephemeroptera uglavnom žive u nezagađenim jezerima, potocima i rijekama gdje s gustoćama do 10000/m^2 značajno pridonose sekundarnoj produkciji (Williams & Feltmate, 1992). Međutim, male količine organskog zagađenja mogu ponekad isprva pridonijeti povećanju broja i produkcije određenih vrsta. Vrste roda *Baetis* pokazuju najveću toleranciju na zagađenje, te se uz ostale vrste koriste kao indikatori kakvoće vode.

Ličinke su uglavnom herbivorne ili detritivorne. Sadržaji probavnog sustava uobičajeno sadrže dijatomeje, te fragmente filamentoznih algi i biljaka. Nekoliko vrsta je karnivorno, hrane se ličinkama Chironomidae i Oligochaeta. Većina slatkovodnih predatora uključuje Ephemeroptera u svoju prehranu, pogotovo salmonidne vrste riba. Njima se još hrane šišmiši, ptice i pauci. Metilji riba koriste vrste roda *Ephemera* kao drugog međudomadara. Ephemeroptera sudjeluju u životnom ciklusu većeg broja nametnika (Engblom, 1996).

3.2.1.2 BIOLOGIJA PLECOPTERA

Plecoptera (Slika 2.) je mali red kukaca raspostranjen u većem djelu svijeta, od tropa do Arktika. Međutim, najveća raznolikost vrsta prisutna je u umjerenim područjima. Red broji više od 1700 vrsta smještenih u dva podreda: Antarctoperlaria ograničen samo na južnu hemisferu i Arctoperlaria, na obje hemisfere. Podred Arctoperlaria dijeli se u dvije skupine, Systellognatha i Euholognatha (Brittain i sur., 1996).



Slika 2. a) Odrasla jednika Plecoptera (http://lesinsectesduquebec.com) i b) ličinka Plecoptera (http://zoology.fns.uniba.sk)

3.2.1.2.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA

Većina vrsta iz reda Plecoptera ima univoltni životni ciklus s relativno kratkim razdobljem razvitka jaja tijekom ljeta i dugim razdobljem rasta ličinki tijekom jeseni i zime, uz moguće produženje u proljeće sljedeće godine. Međutim, neke vrste (*Leuctra fusca*), imaju dugo razdoblje inkubacije jaja tijekom zime s izlijeganjem u proljeće, nakon čega slijedi brzi rast ličinki tijekom ljeta. Veći broj vrsta ima semivoltni životni ciklus. Kod dvogodišnjih ciklusa (*Diura bicaudata*) postoji dijapauza jaja tijekom prve zime te se rast ličinki odvija uglavnom tijekom ljeta, a odrasli se pojavljuju nakon otapanja leda sljedeće proljeće. Poznate su i razlike u trajanju životnog ciklusa unutar iste vrste. Neke vrste iz porodice Nemouridae mogu preći iz univoltnog na dvogodišnji ciklus u višim nadmorskim visinama i geografskim širinama (Brittain i sur., 1996).

Razvoj jaja Plecoptera dobro je proučavan, pogotovo u odnosu na temperaturu vode. Dijapauza je česta za vrijeme razvoja jajeta, posebice u Plecoptera koji pripadaju skupini Systellognatha. Izravni razvoj je najčešći način razvoja. Trajanje inkubacije je kratko pri visokim temperaturama vode te se smanjenjem temperature produljuje (Brittain i sur., 1996).

Ličinke mnogih Plecoptera podnose (pa i preferiraju) vrlo niske temperature, što im omogućuje iskorištavanje dugog razdoblja niskih temperatura u višim geografskim širinama. Vrsta supstrata ima značajan utjecaj na rasprostranjenje ličinki. Najveće bogatstvo vrsta prisutno je na kamenitom dnu tekućica, dok pjeskovite supstrate nastanjuje samo nekoliko vrsta (Brittain i sur., 1996).

Preobrazba se odvija nakon što odrasle ličinke izađu na obalu. Tek preobraženi odrasli su u početku svijetlo obojani, te postepeno postaju tamniji dok se suše. Nakon sušenja odrasli odlaze u zaklon, najčešće vegetaciju ili kamenje. Odrasli se okupljaju zbog hranjenja, odmaranja i kopulacije. Ženke zatim odlijeću prema vodi na polaganje jaja. Duljina života odraslih varira od nekoliko dana do nekoliko tjedana (Brittain i sur., 1996).

3.2.1.2.2 STANIŠTA

Plecoptera su tipični za tekućice bogate kisikom, međutim, određeni broj vrsta pojavljuje se u jezerima i barama. Lentičke vrste su najčešće u oligotrofnim vodnim tijelima na višim nadmorskim visinama, iako se neke vrste iz porodice Nemouridae javljaju i u nizinskim lentičkim staništima. Slabi su letači što smanjuje njihove mogućnosti disperzije, te potiče razvoj lokalnih populacija koje se međusobno razlikuju po morfološkim i ekološkim karakteristikama (Brittain i sur., 1996).

3.2.1.2.6 TROFIČKI ODNOSI

Većina ličinki Plecoptera su detritivori. Ostaci lišća su glavni izvor hrane, međutim, većina vrsta iz skupine Systellognatha su omnivorne ili karnivorne. Euholognatha se hrane u svojoj odrasloj fazi i to algama, lišajevima, mahovinom i lišćem te mogu živjeti i do nekoliko tjedana pri povoljnim uvjetima, dok Systellognatha imaju reduciran usni aparat te se ne hrane u odrasloj fazi. Njihov životni vijek je stoga kratak i uobičajeno ne prelazi tjedan dana (Brittain i sur., 1996).

3.2.1.3 BIOLOGIJA TRICHOPTERA

Trichoptera (Slika 3.) je red kukaca s 10500 opisanih vrsta diljem svijeta, međutim procjenjuje se da bi na svijetu moglo biti 50000 vrsta s time da u Europi ima 900 do 1000 vrsta. Trichoptera predstavlja jednu od najraznolikijih skupina akvatičkih kukaca čiji broj vrsta nadilazi jedino skupina akvatičkih Diptera. Uz nekoliko iznimki, nezreli stadiji žive u podvodnim slatkovodnim staništima, te njihova respiracija ne ovisi o atmosferskom kisiku. Prvotni Trichoptera nastanjivali su hladne tekućice. S takvih staništa su se proširili te danas

nastanjuju lentička staništa i privremena vodna tijela. Imaju potpunu preobrazbu i prolaze kroz četiri životna stadija: jaje, ličinka, kukuljica i odrasla faza.



Slika 3. a) Odrasla jedinka Trichoptera (http://www.lesinsectesduquebec.com), b) kukuljica Trichoptera (http://www.mdfrc.org.au) i c) ličinka Trichoptera (http://www.aquatax.ca/trichoptera.html)

3.2.1.3.1 ŽIVOTNI CIKLUSI I FENOLOGIJA

Ženke Trichoptera polažu nakupine jaja jednom ili više puta tijekom svoga života. U jednoj nakupini može se nalaziti 10-20 pa i do nekoliko stotina jaja. Nakupine su okružene želatinoznim matriksom koji bubri u doticaju s vlagom. Mogu se razlikovati tri načina polaganja jaja:

(1) jaja se polažu na površinu vode (npr. Leptoceridae)

(2) ženke ulaze u vodu te polažu jaja na određenim objektima ispod površine (Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae, Philopotamidae, Hydropsychidae, Phryganeidae, Brachycentridae te Sericostomatidae)

(3) jaja se polažu na razne objekte ili vegetaciju iznad vode, što je najčešći slučaj u Limnephilidae.

Postoje dvije vrste nakupina jaja. Ženke polažu jaja u jednom sloju cementirana za površinu podvodnog supstrata s vrlo malo želatinoznog matriksa prisutno između pojedinih jaja (Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae, Philopotamidae, Psychomyiidae, Hydropsychidae). U ostalih porodica Trichoptera, između jaja je umetnuta veća količina matriksa koji bubri na veličinu nekoliko puta veću od početne nakon upijanja vode (Limnephilidae, Phryganeidae, Sericostomatidae, Molannidae, Leptoceridae). Takve nakupine mogu biti raznih oblika, npr. sferične, eliptične, zavojite itd. Jaja se tipično izlegu nakon 2 do 3 tjedna osim kod vrsta koje su u fazi leta u kasnu jesen ili ranu zimu. U tome slučaju jaja se neće izleći do proljeća (Solem i sur., 1996).

Trichoptera imaju jednu do nekoliko generacija u godini (univoltni ili multivoltni), ili mogu producirati jednu generaciju svakih dvije ili više godina (semivoltni). Neke vrste imaju čvrsto određen životni ciklus dok je kod drugih životni ciklus promjenjiv, te se mogu izmjenjivati univoltinizam i semivoltinizam. Semivoltni i univoltni životni ciklus često se izmjenjuju kod vrsta koje nastanjuju nizinska i planinska područja. Većina vrsta je krepuskularna ili noćna (Solem i sur., 1996).

3.2.1.3.3 KUĆICE LIČINKI I STANIŠTA

Mreže i kućice koje grade ličinke Trichoptera dobro su poznate. Svilenkasta tvar koju ispuštaju kroz usni aparat važan je građevni materijal ili sredstvo za sljepljivanje zrnaca pijeska i dijelova bilja pri izgradnji prijenosne kućice. Kućica ima barem dvije svrhe, pruža zaštitu ličinki i pomaže u ventilaciji škrga kada ličinka proizvodi undulirajuće pokrete. Učestalost undulacije povećava se kako koncentracija kisika opada. Kućice koje ličinke izgrađuju razlikuju se u dizajnu (Slika 4.), materijalima i funkciji, ali se uglavnom podudaraju na razini roda. Na temelju različitih kućica i ekoloških uloga, ličinke se mogu grupirati u sljedeće kategorije:

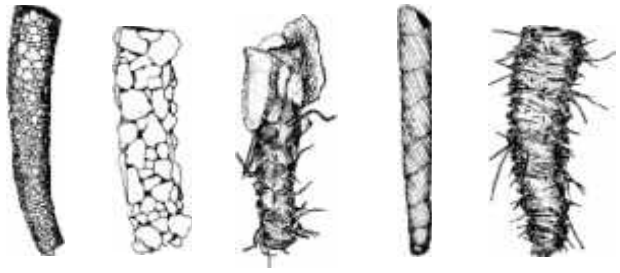
(1) Slobodnoživući oblici. Ličinke iz porodice Rhyacophilidae pokretni su grabežljivci koji nastanjuju tekućice. Kada su spremne za fazu kukuljice, zatvaraju se u kućicu od zrnaca pijeska cementiranih svilenkastom tvari. U takvoj kućici, cementiranoj za kamen, izgrađuju smeđu kukuljicu u kojoj se odvija preobrazba.

(2) Tvorci sedlastih kućica. U porodici Glossosomatidae ličinka izgrađuje prenosivu kućicu koja se sastoji od manjih kamenčića sa stožastim gornjim i plosnatim donjim djelom. Žive u tekućicama, hraneći se dijatomejama i ostalom organskom tvari na stjenkama kamenja. Kada su spremni za pupanje, cementiraju kućicu za veći objekt i stvore smeđu kukuljicu.

(3) Tvorci kućica oblika torbe. Ličinke Hydroptilidae vrlo su male i slobodnoživuće do zadnjeg (petog) presvlačenja kada izgrađuju pokretnu kućicu oblika torbe, boce ili bačve. Žive u svim vrstama trajnih vodnih tijela, stajaćih i tekućih, oligotrofnih i eutrofnih. Hrane se uglavnom staničnim sadržajem nitastih algi.

(4) Tvorci mreža i nepokretnih kućica. Porodice Philopotamidae, Psychomyiidae, Ecnomidae, Polycentropodidae, Hydropsychidae i Arctopsychidae. Uglavnom su slabo pokretne vrste koje konstruiraju kućice s mrežom za filtriranje i hvatanje čestica hrane u tekućicama..

(5) Tvorci kućica oblika cijevi. Porodice Limnephilidae, Goeridae, Phryganeidae, Brachycentridae, Lepidostomatidae, Beraeidae, Sericostomatidae, Odontoceridae, Molannidae i Leptoceridae. Ličinke grade pokretne cjevaste kućice različitog dizajna. Mogu se pronaći u tekućim i stajaćim vodama. Većina vrsta se hrani dijelovima raspadajućeg tkiva vaskularnih biljaka i pripadajućom mikroflorom i faunom, ali prisutni su i drugi oblici prehrane pa i predatorstvo.



Slika 4. Primjer izgleda kućica ličinki Trichoptera

U usporedbi s drugim redovima potpuno akvatičkih kukaca, Trichoptera je taksonomski bogata skupina. To je posljedica široke ekološke raznolikosti i raznolikosti u načinu hranjenja, iskorištavanja staništa i oblika kućica. Mnogo vrsta se može pronaći i u bočatim vodama, te u svim vrstama vodenih tijela, od morske razine do najviših planinskih predjela. Kameniti supstrat malih i srednje velikih potoka pruža stanište za ličinke na, između i ispod kamenja, u perifitonu pa i u hiporeičkoj zoni. Uz iznimke, većina ličinki živi na površini ili vrlo blizu površine supstrata ili vegetacije. Također, većina vrsta ograničena je na plitke vode te uglavnom ne podnose kiselu okolinu. Tolerancija na zagađenje bitna je za shvaćanje raspostranjenja vrsta. Isto tako, privremena vodna tijela imaju ograničenu faunu Trichoptera jer su povremene suše vrlo zahtjevne za tempiranje i usklađivanje životnog ciklusa. Odrasli se u najvećem broju nalaze u blizini lokacija gdje se mogu pronaći i ličinke, ali mnogi odrasli prelijeću i velike udaljenosti od vode (Solem i sur., 1996).

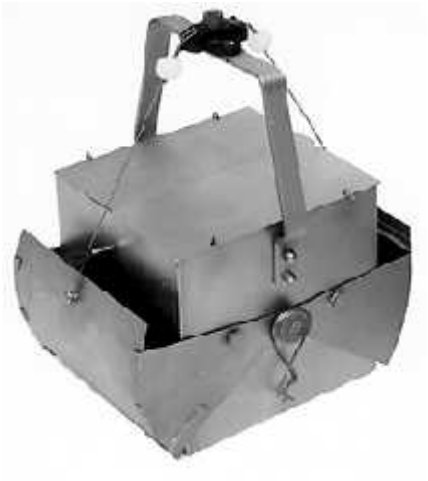
3.2.1.4 METODE SAKUPLJANJA

Ličinke se najbolje sakupljaju kick-sample metodom (Slika 5.). Materijal sa dna se resuspendira udarcem noge ispred otvora mreže, a zatim struja vode ponese podignuti materijal s ličinkama u mrežu.



Slika 5. Primjena kick-sample metode (http://www.oart.org.uk)

S obzirom da je ova metoda ponekad pregruba za neke krhkije vrste, posebice ako su potrebni živi primjerci za daljnje proučavanje u akvariju, preporučaju se neke manje grube metode. Jedna od takvih metoda je ispiranje stijena i vegetacije u posudi napola punoj vodom. Zatim se ličinke odvajaju usisavanjem kroz plastičnu cjevčicu i prebacuju u posudu sa svježom vodom. Sakupljanje sublitoralnih i intersticijskih vrsta zahtjeva korištenje Ekmanovog grabila (Slika 6.).



Slika 6. Ekmanovo grabilo (http://www.rickly.com)

Subimaga, koji se mogu pronaći u grmlju u blizini vode, najbolje je sakupljati ručno. Neki primjerci se mogu pronaći i u paukovim mrežama duž obale. S obzirom da se većina vrsta Ephemeroptera preobražava u stadij subimaga na površini vode, njih je također moguće sakupljati izravno. Imaga u rojevima i na vegetaciji najlakše je sakupiti pomoću mreža za kukce. Noćne vrste, posebica roda *Caenis*, privučene su na svijetlo što se može iskoristiti za postavljanje zamki (Engblom, 1996).

Ličinke Plecoptera mogu se sakupljati u jezerima i tekućicama kroz veći dio godine. Koristi se veliko raspon metoda sakupljanja. Jednostavna kick-sample metoda zadovoljavajuća je za kvalitativna istraživanja, dok bi se za istraživanja pojavnosti i produkcije trebale koristiti kvantitativne metode kao što je upotreba Surberove mreže. Moguće je i korištenje zamki (Brittain i sur., 1996).

Najčešće kvalitativne metode sakupljanja ličinki i kukuljica Trichoptera su ručno sakupljanje ili sakupljanje pomoću mreže. U stajačicama mreža se može vući po dnu supstrata, dok je u tekućicama najbolje koristiti kick-sample metodu.. Umjetni supstrati, kao što su žičane košare ispunjene kamenjem i lišćem, također se mogu koristiti. Kvantitativno uzorkovanje u stajačicama može se napraviti pomoću Ekmanovog ili Petersenovog grabila. Za sakupljanje odraslih mogu se koristiti različite tehnike kao što su zamke sa UV-svijetlom ili sakupljanje pomoću mreže. Determinacija ličinki i kukuljica može biti teška, ali se problem može pojednostaviti uzgojem do odrasle faze (Solem i sur., 1996).

4. ZAKLJUČCI

Za razliku od kemijske koja pokazuje samo trenutno stanje u staništu, procjena stanja okoliša, a posebno tekućica biološkim metodama daju prosječnu sliku u određenom razdoblju. O kojem se razdoblju radi ovisi o promatranoj vrsti organizma. Slika dobivena temeljem stanja zajednice makroskopskih beskralježnjaka smatra se optimalnom zbog obilježja životnih ciklusa kao i osjetljivosti ovih organizama. Prednosti biološkog vrednovanja su i povoljnija cijena, a prednost je i što relativno pouzdane rezultate može dobiti i nestručno osoblje. Nadalje, makroskopski beskralježnjaci su: kozmopolitski rasprostranjeni, dolaze s velikim bogatstvom vrsta, razmjerno slabo pokretljivi te ih se lako hvata. Ipak njihovom primjenom teško se i nikako ne mogu ustvrditi vrste i količine onečišćivača. Nedostaci korištenja makroskopskih beskralježnjaka za procjenu stanja vodnih tijela u smislu različitih utjecaja iste vrste stresa u različitim fiziografskim uvjetima uglavnom se mogu izbjeći pažljivim osmišljavanjem pokusa, odnosno uzorkovanja.

Akvatičke ličinke kukaca najpraktičniji su dio faune beskralježnjaka za utvrđivanje kakvoće vodnih tijela jer uvijek čine većinu akvatičke faune. Od njih, najčešće se koriste skupine Trichoptera (tulari), Ephemeroptera (vodencvjetovi), Plecoptera (obalčari), a u manjoj mjeri ili kao nadopuna Odonata (vretenca), Coleoptera (kornjaši) i određene porodice Diptera (dvokrilci).

U većini slučajeva smatra se da su vrste reda Plecoptera najosjetljivije na organsko zagađenje i nedostatak kisika.

Iako biomonitoring pomoću akvatičkih ličinki kukaca ima svoje značajne prednosti, preporuča se njegovo korištenje u sprezi sa biomonitoringom temeljenim na drugim skupinama organizama kao što su dijatomeje i ribe, te mikrobiološkim i kemijskim analizama kako bi se dobila potpuna slika kvalitete vode nekog vodnog tijela.

5. LITERATURA

Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (1983). The performace of a new biological water quality score system based on a wide range of unpolluted running-water sites. Water Research.17: 333-347.

Primc Habdija, B., & Kerovec, M. (2005). Biološka valorizacija voda - Studija II: Primjena hrvatskog indikatorskog sustava. Prirodoslovno-matematički fakultet. Zagreb.

Brittain, J. E., & Saltveit, S. J. (1996). Plecoptera, Stoneflies. U: A. N. Nilsson (Ur.), Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook (str. 55 - 75). Apollo Books. Stenstrup. Danska.

Engblom, E. (1996). Ephemeroptera, Mayflies. U: A. N. Nilsson (Ur.), Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook (str. 13 - 53). Apollo Books. Stenstrup. Danska.

Fore, L. S., Paulsen, K., & O'Laughlin, K. (2001). Assessing the performance of volunteers in monitoring streams. Freshwater Biology 46: 109-123.

Friedrich, G. (1990). Eine Revision des Saprobiensystems. Zeitschrift fur Wasser und Abwasser - Forschung. 23: 141-152.

Lenat, D. R. (1988). Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. Journal of North American Benthological Society. 7: 222-233.

Mandaville, S. M. (2002). Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters- Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Kanada.

Mihaljević, Z., Kerovec, M., Mrakovčić, M., Plenković, A., Alegro, A., & Primc-Habdija, B. (2011). Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije. Prirodoslovno-matematički fakultet. Zagreb.

Solem, O. J., & Gullefors, B. (1996). Trichoptera, Caddisflies. U: N. A. Nilsson (Ur.), Aquatic Insects of North Europe - A Taxonomic Handbook (str. 223 - 255). Apollo Books. Stenstrup. Danska.

Thienemann, A. (1926). Das Leben des Süßwassers. Eine Einführung in die biologischen Probleme der Limnologie. Hirt Verlag. Wroclaw/Breslau.

Timm, H. (1997). Ephemeroptera and Plecoptera larvae as environmental idicators in running waters of Estonia. U: P. Landolt i M. Sartori (Ur.) Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics. MTL (Mauron,Tinguely & Lacht) SA, Fribourg, Švicarska. 247-253.

Williams, D., & Feltmate, B. W. (1992). Aquatic insects. Cab international. Wallingford, UK.

Woodwiss, F. S. (1964). The biological system of stream classifiation used by the Trent River Broad. Chemical industry. 11: 443 - 447.

http://lesinsectesduquebec.com: http://lesinsectesduquebec.com/insecta/8-plecoptera/Plecoptera.htm

http://www.aquatax.ca: http://www.aquatax.ca/trichoptera.html

http://www.cals.ncsu.edu: http://www.cals.ncsu.edu/course/ent425/library/compendium/trichoptera.html

http://www.lesinsectesduquebec.com: http://www.lesinsectesduquebec.com/insecta/26-trichoptera/trichoptera.htm

http://www.mdfrc.org.au: http://www.mdfrc.org.au/bugguide/view.asp?PhotoID=4884

http://www.oart.org.uk: http://www.oart.org.uk/biological/index.htm

http://www.rickly.com: http://www.rickly.com/as/bottomgrab.htm

http://zoology.fns.uniba.sk: http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/images/i01_Ephemera_vulgata.jpg

http://zoology.fns.uniba.sk: http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/images/i03_larva_Plecoptera.jpg

6. SAŽETAK

Biomonitoring je korištenje živih organizama ili njihovog odgovora na okolišne promjene za određivanje kakvoće okoliša. Strukture zajednica slatkovodnih organizama u svrhu biomonitoringa koristite se od početaka 20 st. Za razliku od kemijske, biološka analiza kakvoće vode je jeftinija i ukazuje na prosječnu kakvoću vode u dužem razdoblju. Njezini su nedostaci nemogućnost određivanja vrste i količine određene zagađujuće tvari. Akvatičke ličinke kukaca praktične su za utvrđivanje kvalitete vodenih tijela jer često sačinjavaju i preko 70 % akvatičke faune. Ističu se predstavnici skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT) kao osjetljive svojte čija je prisutnost i brojnost u izravnoj vezi s mnogim stresorima. Posebice smanjenjem količine kisika i brzine strujanja vode što ih čini dobrim pokazateljima organskog onečišćenja i hidromorfološke degradacije. Iako biomonitoring pomoću akvatičkih ličinki kukaca ima svoje značajne prednosti, za dobivanje potpune slike kvalitete vode nekog vodnog tijela preporučljivo je u sprezi koristiti i biomonitoring temeljen na drugim skupinama organizama kao što su dijatomeje i ribe, te mikrobiološke i kemijske analize

7. SUMMARY

Biomonitoring can be defined as using living organisms, or their responses to environmental changes, to assess the quality of the environment. First noted use of freshwater communities in biomonitoring is known from early 1900´s. Opposite to chemical methods, biological analyses are cheaper and provide insight to average water quality during longer time intervals rather than the current (acute) state. Its deficiencies are inability to provide information on quality and quantity of specific pollutant. Aquatic insects larvae often contribute to aquatic fauna with more than 70 %, which makes them suitable to use in water quality analyses. Species of insect orders Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) are well known for their presence and abundance in correspondence with various stressors in the environment, especially oxygen deficiency and reduction of flow intensity. These properties make them good indicators of organic contamination and hydromorphological degradation. Although biomonitoring based on aquatic insects larvae has its advantages, it is recommended to use it in combination with analyses based on other organisms groups, such as diatoms and fish and microbiological and chemical analyses, to get a complete picture of water quality.