

# Akvatičke ličinke kukaca kao pokazatelji kakvoće vode

---

**Grožić, 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/um:nbn:hr:217:240650>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-25**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEU ILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO – MATEMATI CI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**Akvati ke li inke kukaca kao pokazatelji kakvo e vode**

**Aquatic insects larvae as water quality indicators**

**Seminarski rad**

Dino Grozi

Preddiplomski studij znanosti o okolišu  
(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: Doc. dr. sc. Marko Miliša

Zagreb, 2012.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 POVJEST BIOMONITORINGA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OSNOVNE POSTAVKE BIOMONITORINGA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. BIOLOŠKE METODE ANALIZE VODE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. PREDNOSTI I NEDOSTACI BIOLOŠKIH METODA U ANALIZI VODE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. KORIŠTENJE MAKROSKOPSKIH BESKRALJEŽNJAKA KAO POKAZATELJA KAKVO JE VODE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 INDEKSI TEMELJENI NA MAKROSKOPSKIM BESKRALJEŽNJACIMA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 AKVATIČKE LIJEKE KUKACA KAO POKAZATELJI KAKVO JE VODE .....</b>	<b>5</b>
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
3.2.1.1.3 TROFIČKI ODNOSSI.....	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 ODNOSSI.....	11
3.2.1.3 BIOLOGIJA TRICHOPTERA.....	11
3.2.1.3.1 ŽIVOTNI CIKLUSI I FENOLOGIJA .....	12
3.2.1.3.3 KUICE LIJEKE KUKACA I STANIŠTA .....	13
3.2.1.4 METODE SAKUPLJANJA .....	15
<b>4. ZAKLJUCI.....</b>	<b>17</b>
<b>5. LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>6. SAŽETAK.....</b>	<b>20</b>
<b>7. SUMMARY .....</b>	<b>20</b>

## **1. UVOD**

### **1.1 POVJEST BIOMONITORINGA**

Povijest biomonitoringa može se pratiti sve od vremena Aristotela, koji je slatkovodne ribe stavljaо u morsku vodu i promatrao reakcije. Prva istraživanja toksi nosti objavljena su 1816. godine, te opisuju dulje preživljavanje nekolicine vrsta slatkovodnih mukušaca 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 mogunosti motrenja najvećeg broja vodnih tijela u državi. Biomonitoring također pokazao neprocjenjivim u promatranju trendova kakvo je voda kroz vrijeme, te danas pridonosi kompilaciji tridesetogodišnjih trendova kakvo je voda (Mandaville, 2002).

### **1.2 OSNOVNE POSTAVKE BIOMONITORINGA**

Mandaville (2002) navodi kako je biomonitoring sistematsko korištenje živilih organizama ili njihovog odgovora kako bi se odredila kakvo je okoliš, te daje usporedbu u kojoj navodi da su kemijska mjerena kao fotografiranje ekosustava, dok su biološka mjerena nalik snimanju videozapisa. Isti autor zaključuje kako je konačna svrha okolišnih procjena i propisa održavanje biološkog integriteta tebi 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. Biomonitoring se temelji na jednostavnoj pretpostavci da su životni organizmi izvrstan indikator kakvo je okoliš. Biomonitoring ima i sekundarnu korist kroz inspiriranje pojedinaca, posebno mladih ljudi, prema znanosti i istraživanju prirode. Postoji malo podataka 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 saprobeni 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 i osjetljivosti i ekološkoj multidimenzionalnosti živog svijeta, biološke analize ukazuju na prosječnu kakvoću vode u duljem razdoblju. Npr. ako se u rijeku ili jezero izliju odredene količine otpadnih tvari, nastaju biocenoti koje promjene u zajednici koje su primjetljive duže vrijeme nakon one iščekivanja, iako zbog otplavljanja 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 mjeranja.
- (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 znaju ukazati 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, temeljem indikatorskih sustava, leži u tome udjelovanju fiziografskih imbenika (temperatura, svjetlo, brzina strujanja vode, akumulacija organskog detritusa, vrsta supstrata itd.). To znači da iste koncentracije otpadnih

tvari u pojedinim biotopima s različitim fiziografskim imbenicima nemaju iste posljedice za biocenotiku 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 svojih 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 zadovoljavajuće rezultate na mjestima s malo antropogenog utjecaja, gdje se razlike mogu otkriti tek na razini roda ili vrste. U istom radu pokazano je i kako estestvo uzorkovanje na istim mjestima može dati neto nusliku 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 kvalitetu kao i stručnjaci. Također, laboratorijske analize volontera ne mogu parirati onima profesionalaca.

### **3. KORIŠTENJE MAKROSKOPSKIH BESKRALJEŽNJAKA KAO POKAZATELJA KAKVO E VODE**

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

- (1) Svugdje su prisutni te na njih utje u poreme aji u mnogo razli itih staništa.
- (2) Veliko bogatstvo vrsta dovodi do ve eg raspona odgovora na okolišne uvjete.
- (3) Razmjerno su slabo pokretljivi što omogu uje odre ivanje prostorne raširenosti poreme aja.
- (4) Dugoživu i su što omogu uje pra enje 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 izbjje i pažljivim osmišljavanjem pokusa, odnosno uzorkovanja.

#### **3.1 INDEKSI TEMELJENI NA MAKROSKOPSKIM BESKRALJEŽNJACIMA**

Indeksi omogu uju istraživa u da koristi zna ajna indikatorska svojstva u procjeni sastava zajednica kao odgovora na poreme aje u okolišu. Da bi indeks bio koristan on mora biti:

- (1) Ekološki zna ajan za biološku grupu ili zajednicu koja se promatra te mora biti zna ajan za ciljeve istraživanja.
- (2) Osjetljiv na stresore i pokazivati odgovore koji se mogu razlikovati od prirodnih varijacija.

Ve ina indeksa koristi „vrijednosti tolerancije“ koje su dobivene iz velikih baza podataka objavljenih i neobjavljenih studija znanstvenika koji se bave prou avanjem odre enih skupina organizama, te su razvijeni bioti ki indeksi koji daju broj anu vrijednost pojedinom indikatorskom organizmu na odre enoj taksonomskoj razini. Takvi organizmi imaju specifi ne fizi ke i kemijske zahtjeve. Promjene u prisutnosti, broju, morfologiji, fiziologiji ili ponašanju tih organizama mogu ukazivati da su fizi ki i/ili kemijski parametri izvan odgovaraju eg raspona. Prisutnost velikog broja porodica visokotolerantnih organizama

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

Tipi ne metode bioprocjena temelje se na brojnim kvantitativnim uzorcima koji zahtijevaju mnogo vremena, rada, novca i stru nosti 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 mogu a daljnja istraživanja. Zbog toga recentni trendovi teže prema brzim tehnikama bioprocjena kao što je korištenje semi-kvantitativnih metoda sakupljanja (npr. kick-sample metoda), te nasumi no odabiranje i odre ivanje 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 ega se prva tri odnose na makroskopske beskralježnjake, a ostala dva na ribe.

Danas su relativno dobro istražene tolerancije akvati kih beskralježnjaka na organsko optere enje, ali potrebno je još mnogo istraživanja na podru ju odre ivanja tolerancije na razne druge vrste one iš iva a i zaga iva a, kao što su metali, pesticidi i kiselost. Tako er, bitna je i sposobnost odre ivanja organizama na razini vrste kada se za biomonitoring koriste akvati ki beskralježnjaci jer se vrijednosti tolerancije mogu razlikovati i na razini roda (Mandaville, 2002).

### **3.2 AKVATI KE LI INKE KUKACA KAO POKAZATELJI KAKVO E VODE**

Akvati ke li inke kukaca prakti ne su za utvr ivanje kakvo e vodenih tijela jer vrlo esto preko 70% biomase i brojnosti akvati ke faune pripada upravo njima. Naj eš e skupine su Trichoptera (tulari), Ephemeroptera (vodencvjetokrilaši), Plecoptera (obal ari), Odonata (vretenca), Coleoptera (kornjaši) i odre ene porodice Diptera (dvokrilci). Faunisti ki sastav Ephemeroptera Hrvatske bazira se na temelju nalaza i determinacije li ina kih stadija (Mihaljevi i sur., 2011).

### **3.2.1 EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA I TRICHOPTERA**

Predstavnici skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT) općenito su poznati kao osjetljive svoje vrste i to 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 sl. no.

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 svojih 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 svojih kojih 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 svojom (Timm, 1997).

#### **3.2.1.1 BIOLOGIJA EPHEMEROPTERA**

Ephemeroptera (Slika 1.) predstavljaju jedan od dva života 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 životne bentičke zajednice (Williams i sur., 1992).



**Slika 1.** Odrasla jedinka i lišinka Ephemeroptera

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

### **3.2.1.1.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA**

Životni ciklus Ephemeroptera uključuje četiri stadija: jaje, lišinku 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 lišinke koja pritom prolazi kroz 20 do 30 presvlačenja. Životni ciklus može biti semivoltini (lišinke koje provode 2 do 3 godine u vodi), univoltini (jedna generacija prezimuje u obliku jajeta ili lišinke) ili bivoltini (sa dvije do tri generacije u godini, ovisno o temperaturi vode). Semivoltne vrste poznate su u rodu *Ephemera*, dok je većina drugih rodova univoltina. Bivoltne vrste poznate su unutar porodica Baetidae i Caenidae. Subimago se pojavljuje ispod vode te otplova na površinu (*Ecdyonurus lateralis*) ili se zrela lišinka popne na vrh travke ili kamena iznad površine vode prije pojavljivanja subimaga (*Siphlonurus*). Međutim, lišinke 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 polivoltini *Centroptilum luteolum* imaju najduže razdoblje leta koje može trajati od travnja do studenoga. Rojevi muških imagi javljaju se iznad vode (*Heptagenia sulphurea*), iznad grmlja i trave (*Cloeon*), iznad krošnji drveća (*Ephemerella*), ili visoko u zraku (*Siphlonurus*), ali ne udaljavaju i se više od 500 m od vode. Rojenje se uglavnom događa za vrijeme dana, ali se gusto i rojeva povećava prema večeri. Rojevi mogu biti sa injeni od nekoliko jedinki (*Centroptilum*), ili od nekoliko milijuna jedinki formirajući oblak (*Caenis*). *Heptagenia dalecarlica* može formirati rojeve u ponosu, a neki predstavnici roda *Caenis* i kasnije u noći. Neke vrste ak 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* prije vršuju ih na podvodno kamenje. Jaja mogu biti ispuštena u jednoj nakupini kao u rodu *Siphlonurus* ili *Ephemerella*, ali većina vrsta ih ispušta u više nakupina. Razvoj jaja i ličinki ovisi o temperaturi vode i može se razlikovati 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*, takođe nastanjuju bočne vode. Većina vrsta je reofilna, iako neke od njih nastanjuju i obale jezera (*Ephemerella danica* i *Heptagenia sulphurea*). Rijetke vrste su ograničene samo na jezera (*Cloeon dipterum*, *Caenis robusta* te *Ephemerella glaucops*). Većina jezerskih vrsta preferira plitke litoralne zone bogate vegetacijom. *Cloeon simile* i *C. praetextum* se mogu naći u sastojinama alga *Chara* i *Nitella* na dubini od 0.5 do 1.5 m. Jedino *Caenis* i *Ephemerella spp.* nastanjuju zonu profundala gdje se ljučine roda *Caenis* nalaze na površini silta, dok se ljučine roda *Ephemerella* ukopavaju u mulj. U tekućicama se mogu pronaći jedinke vrste *Ephemerella ignita* kako se penju na *Myriophyllum* te *Baetis spp.* Kako se penju na stabljike *Fontinalis*. Neke vrste, kao *Heptagenia sulphurea*, borave ispod kamenja. Ličinke Ephemeroptera se mogu razvijati u vrlo malim vodnim tijelima. U malim

nizinskim barama bez stalnih utoka esta je vrsta *Cloeon inscriptum*, dok je vrsta *Baetis bundyae* esta u barama na ve im nadmorskim visinama, iznad granice rasta drve a. Neke vrste, kao *Heptogenia fuscogrisea*, mogu se prona i na samim izvorima tokova. Privremene lokve stvorene plavljenjem rijeka u prolje e nastanjene su mnogim vrstama. Li inke *Cloeon inscriptum* i *Leptophlebia spp.* prona ene su u napuštenim, poplavljениm rudnicima. Mnoge vrste su osjetljive na zakiseljavanje i zaga enje voda (Engblom, 1996).

#### **4.2.1.1.3 TROFI KI ODNOSI**

Li inke Ephemeroptera uglavnom žive u nezaga enim jezerima, potocima i rijekama gdje s gusto ama do  $10000/m^2$  zna ajno pridonose sekundarnoj produkciji (Williams & Feltmate, 1992). Me utim, male koli ine organskog zaga enja mogu ponekad isprva pridonijeti pove anju broja i produkcije odre enih vrsta. Vrste roda *Baetis* pokazuju najve u toleranciju na zaga enje, te se uz ostale vrste koriste kao indikatori kakvo e vode.

Li inke su uglavnom herbivorne ili detritivorne. Sadržaji probavnog sustava uobi ajeno sadrže dijatomeje, te fragmente filamentoznih algi i biljaka. Nekoliko vrsta je karnivorno, hrane se li inkama Chironomidae i Oligochaeta. Ve ina slatkovodnih predatora uklju uje Ephemeroptera u svoju prehranu, pogotovo salmonidne vrste riba. Njima se još hrane šišmiši, ptice i pauci. Metilji riba koriste vrste roda *Ephemera* kao drugog me udomadara. Ephemeroptera sudjeluju u životnom ciklusu ve eg broja nametnika (Engblom, 1996).

#### **3.2.1.2 BIOLOGIJA PLECOPTERA**

Plecoptera (Slika 2.) je mali red kukaca raspostranjen u ve em djelu svijeta, od tropske do Arktika. Me utim, najve a raznolikost vrsta prisutna je u umjerenim podru jima. Red broji više od 1700 vrsta smještenih u dva podreda: Antarctoperlaria ograni en 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) li inka Plecoptera (<http://zoology.fns.uniba.sk>)

### 3.2.1.2.1 ŽIVOTNI CIKLUS I FENOLOGIJA

Većina vrsta iz reda Plecoptera ima univoltini 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. Već i broj vrsta ima semivoltini 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 univoltinog 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 estaza 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 znatan utjecaj na rasprostranjenje ličinki. Najveće bogatstvo vrsta prisutno je na kamenitom dnu rečica, dok pjeskovite supstrate nastanjuje samo nekoliko vrsta (Brittain i sur., 1996).

Preobrazba se odvija nakon što odrasle liinke iza u na obalu. Tek preobraženi odrasli su u po etku svjetlo obojani, te postepeno postaju tamniji dok se suše. Nakon sušenja odrasli odlaze u zaklon, naj eše vegetaciju ili kamenje. Odrasli se okupljaju zbog hranjenja, odmaranja i kopulacije. Ženke zatim odlije u 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 tipi ni za teku ice bogate kisikom, međutim, određeni broj vrsta pojavljuje se u jezerima i barama. Lenti ke vrste su naj eše u oligotrofnim vodnim tijelima na višim nadmorskim visinama, iako se neke vrste iz porodice Nemouridae javljaju i u nizinskim lenti kima staništima. Slabi su leta i što smanjuje njihove mogu nosti disperzije, te potiče razvoj lokalnih populacija koje se međusobno razlikuju po morfološkim i ekološkim karakteristikama (Brittain i sur., 1996).

### **3.2.1.2.6 TROFI CI ODNOŠI**

Većina inki Plecoptera su detritivori. Ostaci liša 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 lišem te mogu živjeti i do nekoliko tjedana pri povoljnim uvjetima, dok Systellognatha imaju reducirani 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 iji 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 tekuice. S takvih staništa su se proširili te danas

nastanjuju lenti ka staništa i privremena vodna tijela. Imaju potpunu preobrazbu i prolaze kroz etiri životna stadija: jaje, li inka, kukuljica i odrasla faza.



Slika 3. a) Odrasla jedinka Trichoptera (<http://www.lesinsectesduquebec.com>), b) kukuljica Trichoptera (<http://www.mdfrc.org.au>) i c) li inka 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 na ina polaganja jaja:

- (1) jaja se polažu na površinu vode (npr. Leptoceridae)
- (2) ženke ulaze u vodu te polažu jaja na odre enim 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 naj eš i slu aj u Limnephilidae.

Postoje dvije vrste nakupina jaja. Ženke polažu jaja u jednom sloju cementirana za površinu podvodnog supstrata s vrlo malo želatinoznog matriksa prisutno izme u pojedinih jaja (Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae, Philopotamidae, Psychomyiidae, Hydropsychidae). U ostalih porodica Trichoptera, izme u jaja je umetnuta ve a koli ina matriksa koji bubri na veli inu nekoliko puta ve u od po etne nakon upijanja vode (Limnephilidae, Phryganeidae, Sericostomatidae, Molannidae, Leptoceridae). Takve nakupine mogu biti raznih oblika, npr. sferi ne, elipti ne, zavojite itd. Jaja se tipi no izlegu nakon 2 do 3 tjedna osim kod vrsta koje su u fazi leta u kasnu jesen ili ranu zimu. U tome slu aju jaja se ne e izle i do prolje a (Solem i sur., 1996).

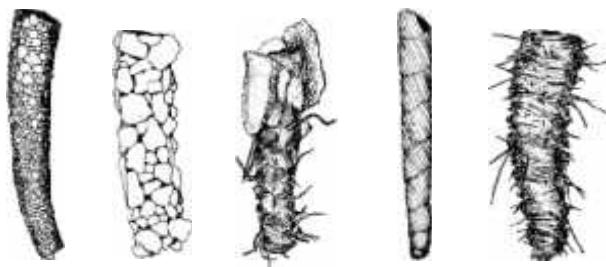
Trichoptera imaju jednu do nekoliko generacija u godini (univoltini ili multivoltini), ili mogu producirati jednu generaciju svakih dvije ili više godina (semivoltini). Neke vrste imaju vrsto određen životni ciklus dok je kod drugih životni ciklus promjenjiv, te se mogu izmjenjivati univoltinizam i semivoltinizam. Semivoltini i univoltini životni ciklus esto se izmjenjuju kod vrsta koje nastanjuju nizinska i planinska područja. Većina vrsta je krepuskularna ili nočna (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 kuće. Kućica ima barem dvije svrhe, pruža zaštitu ličinkama i pomaže u ventilaciji škrge kada ličinka proizvodi undulirajuće pokrete. U estalost undulacije povećava se kako koncentracija kisika opada. Kućice koje ličinke izgrađuju razlikuju se u dizajnu (Slika 4.), materijalima i funkcijama, ali se uglavnom podudaraju na razini roda. Na temelju različitih kućica i ekoloških uloga, ličinke se mogu grupirati u sljedeće kategorije:

- (1) Slobodnoživu i oblici. Ličinke iz porodice Rhyacophilidae pokretne su grabežljivci koji nastanjuju tekućice. Kada su spremne za fazu kukuljice, zatvaraju se u kućicu od zrnaca pijeska cementiranih svilenkastom tvari. U takvoj kući, cementiranoj za kamen, izgrađuju se u kukuljicu u kojoj se odvija preobrazba.
- (2) Tvorci sedlastih kućica. U porodici Glossosomatidae ličinka izgrađuje prenosivu kućicu koja se sastoji od manjih kamenih i sa stožastim gornjim i plosnatim donjim djelom. Žive u tekućicama, hrane i se dijatomejama i ostalom organskom tvari na stjenkama kamenja. Kada su spremni za pupanje, cementiraju kućicu za veći objekt i stvore smještaju u kukuljicu.
- (3) Tvorci kućica oblika torbe. Ličinke Hydroptilidae vrlo su male i slobodnoživu će do zadnjeg (petog) presvlačenja kada izgrađuju pokretnu kućicu oblika torbe, boce ili bačve. Žive u svim vrstama trajnih vodnih tijela, staja ih 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 kuće s mrežom za filtriranje i hvatanje estica hrane u tekućicama..

(5) Tvorci ku ica oblika cijevi. Porodice Limnephilidae, Goeridae, Phryganeidae, Brachycentridae, Lepidostomatidae, Beraeidae, Sericostomatidae, Odontoceridae, Molannidae i Leptoceridae. Li inke grade pokretne cjevaste ku ice razli itog dizajna. Mogu se prona i u teku im i staja im vodama. Ve ina vrsta se hrani dijelovima raspadaju eg tkiva vaskularnih biljaka i pripadaju om mikroflorom i faunom, ali prisutni su i drugi oblici prehrane pa i predatorstvo.



**Slika 4.** Primjer izgleda ku ica li inki Trichoptera

U usporedbi s drugim redovima potpuno akvati kih kukaca, Trichoptera je taksonomski bogata skupina. To je posljedica široke ekološke raznolikosti i raznolikosti u na inu hranjenja, iskorištavanja staništa i oblika ku ica. Mnogo vrsta se može prona i i u bo atim vodama, te u svim vrstama vodenih tijela, od morske razine do najviših planinskih predjela. Kameniti supstrat malih i srednje velikih potoka pruža stanište za li inke na, izme u i ispod kamenja, u perifitonu pa i u hiporei koj zoni. Uz iznimke, ve ina li inki živi na površini ili vrlo blizu površine supstrata ili vegetacije. Tako er, ve ina vrsta ograni ena je na plitke vode te uglavnom ne podnose kiselu okolinu. Tolerancija na zaga enje bitna je za shva anje raspostranjenja vrsta. Isto tako, privremena vodna tijela imaju ograni enu faunu Trichoptera jer su povremene suše vrlo zahtjevne za tempiranje i uskla ivanje životnog ciklusa. Odrasli se u najve em broju nalaze u blizini lokacija gdje se mogu prona i li inke, ali mnogi odrasli prelje u i velike udaljenosti od vode (Solem i sur., 1996).

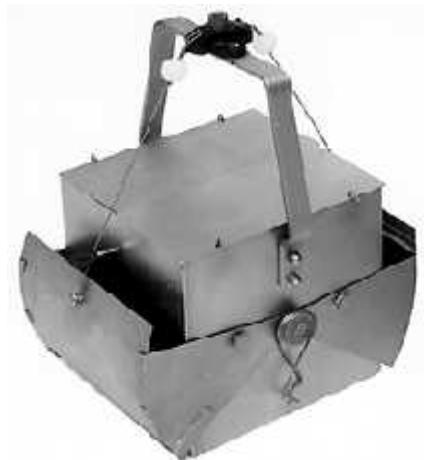
### **3.2.1.4 METODE SAKUPLJANJA**

Li inke 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 li inkama 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 primjerici za daljnje prouavanje u akvariju, preporučuju se neke manje grube metode. Jedna od takvih metoda je ispiranje stijena i vegetacije u posudi napola punoj vodom. Zatim se li inke odvajaju usisavanjem kroz plastičnu cjev 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 prona i u grmlju u blizini vode, najbolje je sakupljati ru no. Neki primjerici se mogu prona i i u paukovim mrežama duž obale. S obzirom da se ve ina vrsta Ephemeroptera preobražava u stadij subimaga na površini vode, njih je tako er mogu e sakupljati izravno. Imaga u rojevima i na vegetaciji najlakše je sakupiti pomo u mreža za kukce. No ne vrste, posebica roda *Caenis*, privu ene su na svjetlo što se može iskoristiti za postavljanje zamki (Engblom, 1996).

Li inke Plecoptera mogu se sakupljati u jezerima i teku icama kroz ve i dio godine. Koristi se veliko raspon metoda sakupljanja. Jednostavna kick-sample metoda zadovoljavaju a je za kvalitativna istraživanja, dok bi se za istraživanja pojavnosti i produkcije trebale koristiti kvantitativne metode kao što je upotreba Surberove mreže. Mogu e je i korištenje zamki (Brittain i sur., 1996).

Naj eš e kvalitativne metode sakupljanja li inki i kukuljica Trichoptera su ru no sakupljanje ili sakupljanje pomo u mreže. U staja icama mreža se može vu i po dnu supstrata, dok je u teku icama najbolje koristiti kick-sample metodu.. Umjetni supstrati, kao što su ži ane košare ispunjene kamenjem i liš em, tako er se mogu koristiti. Kvantitativno uzorkovanje u staja icama može se napraviti pomo u Ekmanovog ili Petersenovog grabila. Za sakupljanje odraslih mogu se koristiti razli ite tehnike kao što su zamke sa UV-svijetlom ili sakupljanje pomo u mreže. Determinacija li inki i kukuljica može biti teška, ali se problem može pojednostaviti uzgojem do odrasle faze (Solem i sur., 1996).

## **4. ZAKLJU CI**

Za razliku od kemijske koja pokazuje samo trenutno stanje u staništu, procjena stanja okoliša, a posebno teku ica biološkim metodama daju prosje nu sliku u odre enom 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 nestru no 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 koli ine one iš iva a. Nedostaci korištenja makroskopskih beskralježnjaka za procjenu stanja vodnih tijela u smislu razli itih utjecaja iste vrste stresa u razli itim fiziografskim uvjetima uglavnom se mogu izbjeg i pažljivim osmišljavanjem pokusa, odnosno uzorkovanja.

Akvati ke li inke kukaca najprakti niji su dio faune beskralježnjaka za utvr ivanje kakvo e vodnih tijela jer uvijek ine ve inu akvati ke faune. Od njih, naj eš e se koriste skupine Trichoptera (tulari), Ephemeroptera (vodencyjetovi), Plecoptera (obal ari), a u manjoj mjeri ili kao nadopuna Odonata (vretenca), Coleoptera (kornjaši) i odre ene porodice Diptera (dvokrilci).

U ve ini slu ajeva smatra se da su vrste reda Plecoptera najosjetljivije na organsko zaga enje i nedostatak kisika.

Iako biomonitoring pomo u akvati kih li inki kukaca ima svoje zna ajne prednosti, preporu a 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 performance 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 für 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 Bentholological 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 indicators in running waters of Estonia. U: P. Landolt i M. Sartori (Ur.) *Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics.* MTL (Mauron, Tingueley & 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 classification 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/poznavacka/images/i01_Ephemera_vulgata.jpg)

<http://zoology.fns.uniba.sk>: [http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/images/i03\\_larva\\_Plecoptera.jpg](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 kakvo je okoliša. Strukture zajednica slatkovodnih organizama u svrhu biomonitoringa koristite se od po etaka 20 st. Za razliku od kemijske, biološka analiza kakvo je vode je jeftinija i ukazuje na prosječnu kakvo u vode u dužem razdoblju. Njezini su nedostaci nemogućnost određivanja vrste i količine određene zagađujuće tvari. Akvatički invertebrati ne su za utvrđivanje kvalitete vodenih tijela jer imaju sa inaktivacijom i preko 70 % akvatičke faune. Isti u se predstavnici skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera (EPT) kao osjetljive svoje imaju je prisutnost i brojnost u izravnoj vezi s mnogim stresorima. Posebice smanjenjem količine kisika i brzine strujanja vode što ih imaju dobri pokazatelji organskog onesnaženja i hidromorfološke degradacije. Iako biomonitoring pomoći u akvatičkim invertebratima imaju svoje avantatne, za dobivanje potpune slike kvalitete vode nekog vodnog tijela preporučljivo je u spremu koristiti i biomonitoring temeljen na drugim skupinama organizama kao što su dijatomice 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.