

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Akvatički makrobeskralješnjaci u biološkoj procjeni

Aquatic macroinvertebrates in bioassessment

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Erasmus + Project No ECOBIAS_609967-EPP-1-2019-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP
Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs

Course objective: This course will focus on acquiring knowledge on the morphological properties and ecological traits of common macroinvertebrate taxa in the Balkan Peninsula and the role of the benthic community structure in the bioassessment process. Benthic macroinvertebrates are probably the most complex part of the biotic quality elements (BQE) required in the freshwater bioassessment, due to their diversity, abundance, ecological traits and life cycle. This course will provide the state of the art knowledge on these topics, and provide adequate taxonomical/systematical features necessary in the process of identification of macroinvertebrates. Finally, we will address the specialties of the Balkan macroinvertebrate fauna and habitats. Course outcome: students will be able to identify main macroinvertebrate groups, which will enable them to construct adequate databases and calculate some of the indices used in freshwater bioassessment both in lotic and lentic habitats. Reading list: Hauer, F.R. & Resh, V.H. (1996). Benthic Macroinvertebrates, In: *Methods in Stream Ecology*, F.R. Hauer & G.A. Lamberti (eds), pp. 339-369, Academy Press, New York, USA.

Sadržaj

Uvod.....	4
Makrozoobentos i antropogeni utjecaji na akvatička staništa.....	6
Životni ciklusi akvatičkih kukaca.....	16
Ephemeroptera.....	18
Plecoptera.....	23
Trichoptera.....	29
Izračunavanje indeksa.....	36
Literatura.....	41

Uvod

Slatkovodni ekosustavi su pod višestrukim pritiscima uzrokovanim izravnom i neizravnom ljudskom intervencijom. Neizravne ljudske intervencije odnose se na klimatske promjene i porast temperatura i promjene vodnih režima, a izravno pokrivaju sve vrste promjena u prirodnom okolišu zbog iskorištavanja prirodnih vodnih resursa. Pojačano isparavanje, koje dovodi do isušivanja vodotoka uslijed porasta temperature, ili betoniranje tla tijekom drenaže samo su neke od posljedica izmijenjenih hidromorfoloških svojstava slatkovodnih ekosustava. Međutim, s ekonomskog, turističkog i urbanističkog stajališta, korištenje resursa i modifikacija slatkovodnih ekosustava moraju održavati barem približno stanje kvalitete vode i staništa kao u nepromijenjenom sustavu. Kvaliteta vode i staništa učinkovito se prati prisutnošću i sastavom zajednica flore i faune.

Procjena kvalitete vode i staništa vjerodostojno se čita kroz praćenje različitih skupina biljnih i životinjskih organizama, a jedan od najširih i najbolje proučenih raspona odgovora na stres pripada makrozoobentosu. Makrozoobentos se sastoji od makroskopskih beskralježnjaka većih od 500 μm koji naseljavaju dno slatkovodnog ekosustava. Makrozoobentos karakterizira velik broj taksonomskih skupina koje se razlikuju po toleranciji na uvjete okoliša. Dakle, redovi Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera predstavljaju uglavnom stenovalentne svojte koje su osjetljive na onečišćenje i anoksiju koje često perzistiraju zbog promjena brzine protoka i promjena u supstratu.

Organizmi se mogu naći unutar biološki relevantnog raspona ovih čimbenika, između njihovih minimalnih i maksimalnih vrijednosti, što se naziva ekološka važnost ili valencija. Prostorna i vremenska raspodjela svakog organizma usko je povezana s njegovim fiziološkim odgovorima na varijacije u razinama tih čimbenika okoliša. Ako su ti odgovori poznati, distribucija određenog organizma može se koristiti za određivanje razine tih okolišnih čimbenika.

Tolerancija pojedinih svojti makrozoobentosa dobro je istražena i određena zahvaljujući relativno lakom uzorkovanju i identifikaciji ovih životinja. Ovi su beskralješnjaci dovoljno veliki za identifikaciju bez skupe i sofisticirane optičke opreme i dovoljno mali da gusto

napune relativno malo područje supstrata koje je lako prikupiti i pohraniti. U prosjeku, makroskopski beskralješnjaci žive oko godinu dana, što je dovoljno dugo da njihova prisutnost u određenom staništu nije slučajna, već dovoljno kratko da reagiraju na trenutnu kvalitetu vode i staništa. Osim poznavanja tolerancije pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa na različite oblike antropogenog pritiska, koje određuju težine indikatora svojti, utvrđena su ekološka i funkcionalna svojstva različitih taksonomskih svojti/skupina makrozoobentosa.

S obzirom na važnost makrozoobentosa kao poveznice u prijenosu energije između primarnih proizvođača i vršnih grabežljivaca, prehrambene i funkcionalne skupine ovih beskralježnjaka vrlo su dobro proučene. Funkcionalne hranidbene skupine temelje se na unosu hrane i veličini čestica hrane. Poznavanje skupina hranjivih tvari pruža širi ekološki kontekst utoliko što također pokazuje status i moguće pritiske. Na primjer, strugači, koji se prvenstveno hrane biofilmom, i usitnjivači, koji se hrane grubim organskim česticama, uglavnom će ukazivati na prirodna staništa koja ljudi nisu mijenjali. S druge strane, pasivni filteri koji se hrane finim organskim česticama brojniji su u slučaju organskog opterećenja ili umjetnog smanjenja brzine protoka.

Makrozoobentos i antropogeni utjecaji na akvatička staništa

Makrozoobentos čine svi beskralješnjaci koji nastanjuju staništa dna kopnenih voda. Vidljivi su golim okom, i najčešće su veći od 0,5 mm te se sukladno u njihovom uzorkovanju koriste alati (mreže) koji propuštaju sve manje frakcije. Oni su vrlo vrijedna i najznačajnija spona između primarnih proizvođača odnosno fotosintetskih organizama, prvenstveno bentoskih algi i obraštajne zajednice općenito i/ili organske tvari u procesu razlaganja i viših konzumenata u energetske odnosno hranidbenim mrežama vodenih staništa. Važna odrednica ove zajednice je sveprisutnost, naime ne postoje odnosno ekstremno su rijetka staništa (najčešće transaprobne vode u kojima općenito nema živog svijeta) u kojima nema makrobekralježnjaka, a s obzirom na izuzetnu bioraznolikost izvrsni su pokazatelji stanja u okolišu. S obzirom na njihovu sveprisutnost izuzetno su dobro istraženi te se za veliku većinu vrsta dobro poznaje njihova biologija i ekologija odnosno sklonost ili osjetljivost prema uvjetima u okolišu. Dio vrsta makrozoobentosa je eurivalentan – te vrste podnose široke raspone pojedinih ili više svojstava okoliša. Primjerice velike raspone temperature, količine otopljenog kisika, soli (iona), a posljedično i drugih antropogenih utjecaja kao što je povećano organsko opterećenje (Slika 1b). Radi se o predstavnicima dvokrilača (**Diptera**) maločetinaša (*Oligochaeta*) i slično. Takve vrste nisu bitan element u biološkoj procjeni stanja voda osim ako su jedino takvi organizmi prisutni u staništu – tada njihova brojnost i dominantnost ukazuje na loše stanje okoliša odnosno narušeno stanje u odnosu na prirodno odnosno tzv. referentno stanje. Referentno je stanje ono stanje zajednice u smislu broja vrsta i brojnosti pojedinih vrsta odnosno bioraznolikosti koje se očekuje u vodama na određenom reljefu, nadmorskoj visini, geološkoj podlozi, količini protoka nagibu i prirodnoj veličini čestica supstrata (granulometriji podloge) bez utjecaja čovjeka. Napominjem da i u ovim skupinama postoje vrste koje su stenovalentne – zato je odsudno dobro poznavati odnosno razlikovati pojedine skupine makrozoobentosa. Važno svojstvo makrozoobentosa je vrlo precizno razlučivanje raspodjele ekoloških niša pa će tako na pojedinoj veličini čestica podloga primjerice većem kamenju dolaziti pojedine vrste koje imaju prilagodbe na sprečavanje otplavlivanja (tulari – Trichoptera se svilom pričvršćuju na podlogu, vodencvjetovi-Ephemeroptera poprimaju dorzoventralno spljošteni –

hidrodinamični oblik, a neki puževi kombiniraju ove dvije prilagodbe. S druge strane u finijem sedimentu očekujemo organizme koji oblikom tijela ali i prilagodbama za kopanje mogu prodrijeti u prostor intersticija – Oligochaeta, Ephemeroptera, juvenilni odnosno rani ličinački stadiji velikog broja skupina makrozoobentosa (čak i obalčari – Plecoptera) itd.

Vjerojatno najvažnije obilježje makrozoobentosa je osjetljivost odnosno razina osjetljivosti prema onečišćenju. Što se tiče antropogenog onečišćenja radi se najvećim dijelom o povećanju količine organskih spojeva u vodi. Prvenstveno otpadnih komunalnih voda naselja, ali i poljoprivrednih područja. Osim toga antropogeno onečišćenje s obrađenih površina mogu i vrlo često uzrokuju neravnotežu iona (dušikovih i fosforovih spojeva, ali i drugih minerala koji potiču proliferaciju autotrofnih organizama, a posljedično i proces eutrofizacije. Na ove promjene makrozoobentos odnosno pojedine skupine reagiraju vrlo brzo što se očituje u osiromašenju zajednice. Tako narušena struktura zajednice jasan je pokazatelj u biološkoj procjeni stanja voda da se određeno vodno tijelo udaljava od svojeg optimalnog stanja te da je potrebno intervenirati s ciljem povratka u stanje što bliže već spomenutom referentnom stanju. Skupine koje su najosjetljivije su prvenstveno Plecoptera. Prema jednom od najstarijih i najjednostavnijih indeksa za procjenu stanja voda – tzv. Biotičkom indeksu čim u uzorku bentala (staništa dna vodnog tijela) uočimo 2 ili više svojte tj taksa (vrste/roda) Plecoptera možemo zaključiti da se radi o vodama vrlo dobrog stanja – laički 'čistim' vodama. Osim Plecoptera među osjetljive skupine ubrajaju se i predstavnici ili barem značajan dio predstavnika Trichoptera te i Ephemeroptera.

Važno je posebno istaknuti da makrozoobentos nije važan samo u detektiranju kemijskog onečišćenja vode nego i fizikalnog. Naime poznato je da ljudske djelatnosti mijenjaju i fizikalna svojstva vode – primarno temperaturu. Već 70-ih godina 20. stoljeća američki istraživači zabilježili su negativan učinak hidroelektrana na život nizvodno od brana. Ne samo na životne zajednice nego i na socioekonomsku situaciju ljudi na tim prostorima. Nametnula se ideja o stalnom protoku vode u dovoljnim količinama da se održi opstojnost tekućice. Mjera najnižeg protoka koji bi podržavao opstojnost akvatičkih organizama nazvan je biološki minimum. Međutim ovisno o tome odakle se prelijevala voda nizvodno bila bi ili pretopla (ako bi se ispuštala s površine akumulacije) ili prehladna

(ako bi se ispuštala s pridnenog sloja akumulacije na brani). Na taj način fizikalna promjena stanja vode dovela bi do lokalne značajne promjene sastava zajednice.

Također je zabilježeno zatrpavanje korita sedimentima iz pritoka uz stvaranje izoliranih bara i zapunjavanje pora sedimenta te čak i stvaranje vegetacijskih otoka unutar korita rijekenekontrolirano bujanje mahovina i alga uz pretjerano množenje rakušaca (*Gammarus fossarum*) kao posljedica stabilnosti toka i smanjene kako brzina strujanja vode tako i stabiliziranje toka koji bi prirodno bio kolebljiv tj. mijenjao se u skladu s količinom padalina taljenjem snijega i slično. Naposljetku događalo se i postizanje kemijskih uvjeta sličnijih onima u nizinskim rijekama ispuštanjem relativno hladne vode koja je bogata mineralnim solima.

Hidrotehnički zahvati katkad onemogućuju transport čestica nizvodno zadržavajući ekstremne količine mulja i drugog sedimenta. U suglasju s općim industrijskim i inim razvojem, dio sedimenta koji se erodira u rijeke posebice je kontaminiran pesticidima, teškim metalima i sličnim onečišćivačima. Na ovaj način velike količine tih onečišćivača ostaju raspoložive u akvatičkom ekosustavu.

Naposljetku, u nas je još uvijek važan način upravljanja vodnim resursima tzv. uređenje vodotoka koje podrazumijeva kanaliziranje, obaloutvrđivanje, betoniranje dna i obala, izgradnju ustava (Slika 1). Makrozoobentos je baš u ovim situacijama presudan pokazatelj odnosno bioindikator promjena. Naime alge ne razlikuju obaloutvrdu ili betonsku podlogu od prirodnog supstrata jednostavno zbog svoje veličine i ekoloških potreba – treba im čvrsta podloga i dovoljno svjetla. Stoga alge mogu prvenstveno poslužiti u indikaciji kemijskih promjena u vodi – čak su u principu često i termoeurivalentne tj. podnose veća kolebanja temperature vode. Slično je i s ribama – one su izrazito pokretne te mogu dnevno prelaziti velike udaljenosti ne bi li došle do povoljnog (prirodnog staništa). Makrozoobentos pak ima već spomenuto jasno razdvajanje niša po pojedinim taksa (rod/vrsta) s obzirom na fizikalna i kemijska svojstva vode, ali i s obzirom na stanje staništa u smislu hidroloških promjena ali i morfoloških promjena – makrozoobentos je dakle sveobuhvatan biološki element ekosustava koji na promjene odgovara relativno brzo, a to se vrlo jasno očituje u sastavu i biocenološkoj strukturi zajednice.

Brzina toka je važan okolišni faktor strukturiranja zajednice tekućica, a određena je reljefnim (geomorfološkim) karakteristikama staništa u sklopu vodnog tijela. Brzina vodeneog toka se razlikuje duljinom korita (gornji, srednji, donji tok) (Giller i Malmqvist, 1998.). Osim što izravno utječe na organizme, posredno utječe i na veličinu sedimenta u podlozi odnosno u bentalu, utječe i na dostupnost hrane donoseći, ali i odnoseći kako čestice organske tvari tako i organizme (plijena). Optimalna brzina vode obično varira za svaku vrstu i njihove životne faze. Predstavnici akvatičkog makrozoobentosa su razvili su niz morfoloških i etoloških prilagodbi na različite brzine vode u svom staništu. Primjerice spljošteni oblik ili hidrodinamički oblik tijela, stabilizirajuće strukture (škrge, cerci) ili strukture za pričvršćivanje uz podlogu. Brzina vode može utjecati na distribuciju različitih stadija ličinki jer kod nekih vrsta starije ličinke migriraju na mjesta s većom brzinom vode ili se skupljaju u plitkim dijelovima rijeke u blizini obala.

Na temelju njihove preferencije prema brzini vode, kategorizirali su makrozoobentos (prvenstveno ličinke i akvatička imaga kukacka) u nekoliko skupina:

Reobiontske taksa – u pravilu žive u staništima s izuzetno brzom strujom vode

Reofilne taksa – skloni su nastanjivanju staništa brzih ali podnose i umjerene brzine vodenih struja

Reo-limnofilne i/ili Limno-reofilne taksa sklone su sporijim strujama vode, ali mogu se naći i u stajaćim i staništima s umjereno brzim strujama

Limnofilne taksa – u stajaćim vodama ili staništima iznimno slabog strujanja

Indiferentne taksa – brzina strujanja vode nije glavni faktor odabira (eurivalentne vrste).

Svaka promjena u okolišu, primjerice promjene u količini nutrijenata, organskog opterećenja, hidroloških uvjeta i hidromorfološkog stanja izravno i brzo utječe na sastav i strukturu zajednice beskralježnjaka bentala. Promjenama ovih zajednica mijenja se ravnoteža vodenih ekosustava.



a)



b)



c)



d)



e)



Slika 1. antropogene promjene u vodotocima (nizinske male tekućice)ž. a) Prirodno (referentno) stanje Slapnica (Krašić), b) Mala Huba (Istra) organski opterećen vodotok (ispust komunalnih voda) s vidljivom proliferacijom autotrofa – nitastih alga i makrofita, c) Kanalizirani vodotok Mirna, Motovun (zamućenje uslijed ubrzanog toka u kanaliziranom dijelu toka); obaloutvrde, d) Potpuno betonirano korito uz komunalne ispuste – proliferacija nitastih alga, Raša u mjestu Raša, e) Veličanka u mjestu Velika - revitalizacija turbulentnog toka koje je narušeno kanaliziranjem, f) Umjetno proširenje

korita Jankovačkog potoka u kojem je izražen proces eutrofikacije i bujanja vodene vegetacije (*Hippuris vulgaris*).

Najbrojnije i najzastupljenije skupine u zajednici beskralježnjaka u vodenim ekosustavima su kukci i to prvenstveno u ličinačkom obliku kao što su, Diptera (najbrojniji među njima Chironomidae i Simuliidae), Coleoptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera i Neuroptera. Neki od njih (Coleoptera i Hemiptera) mogu u akvatičkom staništu provesti i cijeli životni ciklus dok ostali izlijeću u terestričke ekosustave radi pronalaženja partnera i parenja, ali i rasprostranjivanja i drugih migracija. Ostale skupine koje katkad mogu i dominirati u akvatičkom ekosustavu su kolutičavci maločetinaši (Oligochaeta) i pijavice (Hirudinea), mekušci kao što su puževi (Gastropoda) i školjkaši (Bivalvia), rakovi jednakonošci (Isopoda) i rakušci (Amphipoda), rašljonošci (Mysida).

Na sastav i strukturu zajednice makrozoobentosa utječu mnogi abiotički faktori kao što su fizikalno-kemijska svojstva vode, tip supstrata i vegetacija te biotički faktori kao što su kompeticija i predatorstvo.

Prostorni raspored i sastav makrozoobentosa određuju abiotički čimbenici (npr. vrsta podloge, brzina strujanja vode, intezitet osvjetljenja, koncentracija kisika u prirodnim slojevima, alkalinitet) i biotički čimbenici (npr. interspecijska i intraspecijska kompeticija).

Sastav zajednice makrozoobentosa ovisi i o tipu staništa. Različita staništa nude resurse koji odgovaraju pojedinim vrstama pa čak i pojedinim razvojnim stadijima iste vrste, primjerice zaštitu od predatorskog pritiska ili izvora hrane. Brojnost i raznolikost jedinki je manja na sitnijem supstratu budući da takav supstrat ima manju površinu za pričvršćivanje životinja. Najveća brojnost jedinki makrozoobentosa je na mikrostaništima mahovinama i makrovegetacijom koje služe za zaštitu i kao izvor hrane.

Makrozoobentos, u odnosu na druge biološke elemente biomonitoringa ima nekoliko komparativnih prednosti u procjeni ekološkog stanja voda:

- relativno se lako prikupljaju upotrebom jednostavnih alata (različitih tipova bentos-mreža)

- s obzirom da su vidljivi golim okom pa je olakšano prikupljanje, razvrstavanje i determinacija. Neki protokoli biomonitoringa čak i ne zahtjevaju korištenje optičkih alata (lupa) - premda je ipak uputno koristiti ih jer se time dobiva precizna i maksimalno jasna slika stanja zajednice,
- pripadnici makrozoobentosa (posebno kukci i rakovi) su brojni i široko rasprostranjeni što omogućava usporedbu rezultata na širem području,
- s obzirom na rasprostranjenost postoji velika količina istraživanja ovih organizama što omogućuje da se relativno brzo mogu determinirati zbog postojanja prikladnih priručnika,
- dobra istraženost omogućuje i da su dobro poznate reakcije mnogih uobičajenih vrsta na onečišćenja te stupanj njihove tolerancije prema onečišćenju,
- žive dovoljno dugo da je njihovo prisustvo ili odsustvo iz zajednice posljedica promjena u okolišu, a ne izmjene generacija ili posljedica specifičnih životnih ciklusa,
- ograničeno su pokretni pa ne mogu napustiti stanište kod pogoršanja ekoloških prilika u vodi.

Do sada je makrozoobentos bio najčešće korištena skupina vodenih organizama za praćenje promjena vodnog okoliša u rijekama, dok je u monitoringu jezera bio manje zastupljen. Strukturalni elementi koji su najpouzdaniji i koji se najčešće koriste za određivanje trofičkog stanja jezera su broj i bogatstvo vrsta indikatora te njihova relativna brojnost. U jezerima je prisutna manja raznolikost svojiti u odnosu na rijeke, a u zajednici dominiraju predstavnici Oligochaeta i Diptera-Chironomidae. Budući da je eutrofikacija (antropogenog ili prirodnog uzroka) najznačajniji utjecaj u našim jezerima, analizira se zajednica profundala stratificiranih jezera, jer ona najbolje ukazuje na navedeni utjecaj.

Neki redovi makrobekralježnjaka, kao što su Diptera (dvokrilci), Oligochaeta (maločetinaši) općenito su tolerantni na veće razine onečišćujućih tvari u potocima. Ostali redovi, kao što su Ephemeroptera, Plecoptera i Tricoptera vrlo su osjetljivi na mnoge antropogene pritiske od kemijskog onečišćenja do fizikalnih promjena (kao što

su zagrijavanje ili rashlađivanje), izmjene podloge i protoka (promjene vodnog režima unifoprmiranjem toka, potpuno isušivanje uslijed eksploatacije vodnih resursa, ili neprikladnim ispuštima i stvaranjem bujičnih tokova).

Važnost ovih faktora se mijenja kako se iz umjerenog pojasa areali mijenjaju s obzirom na geografsku širinu, nadmorsku visinu, oblik reljefa, klimazonalne promjene u meteorološkim uvjetima i vegetaciji.

Longitudinalna promjena uvjeta definira su tri limnološki različita područja: gornji, srednji i donji tok. Sve karakteristike vode, uključujući i količinu vode i sastav supstrata, kao najvažnije faktore za makrozoobentos, mijenjaju se. Longitudinalni gradijent je jasan. Na primjer brzina vode se u pravilu smanjuje, što za posljedicu ima i postizanje gradijenta veličine granulometrijskih karakteristika podloge od većih ka sitnijem sedimentu. Sto ga postoje eukrenalna zona (izvor u užem smislu), hipokrenalna zona (manji odsječak u kojem temperatura i dalje ne koleba znatno), ritralna zona (relativno turbulentni i brzi tok), potamalni (dio toka u kojem se uspostavlja tzv. laminarno strujanje vode).

Stajaća vodna tijela podijeljena su na litoralni pojas (uz obalnu liniju) i profundalni dio (dno dubokih jezera). Uzdužna dinamika odnosno promjene u sastavu zajednice makrobekralježnjaka, odražava utjecaj sprege svih navedenih okolišnih faktora. To je razlog zašto su, bez iznimke, promjene u sastavu zajednice makrozoobentosa makrobekralježnjaka kao neizostavan dio koriste za monitoring stanja odnosno degradacije staništa voda na kopnu.

Životni ciklusi akvatičkih kukaca

Za razumijevanje slatkovodnih ekosustava, presudno je poznavanje biologije živog svijeta koji u njemu živi. Poznavanje biologije podrazumijeva životni ciklus pojedine svoje ili vrste čime se nadalje stječe znanje o interakcijama i odnosima unutar ekosustava. Većina detaljnijih ekoloških istraživanja, kao što je procjena sekundarne proizvodnje ili istraživanje populacijske dinamike, suvremena istraživanja o strukturi i funkciji vodenih zajednica i ekosustava, ne mogu se izvršiti bez poznavanja životnog razvoja vrsta na pojedinoj geografskoj lokaciji. Također, sa stajališta očuvanja bioraznolikosti, važno je da razumijemo životne cikluse te primjereno provodimo nadzor i oblikujemo planove očuvanja temeljenih na podacima o životnim ciklusima vrsta. U kontekstu živog svijeta koji čini slatkovodne ekosustave, od velike važnosti je kategorija makrozoobentosa, beskralješnjaka koji obitavaju na, u i pri dnu vodenih staništa. Makrozoobentos ima središnju ulogu u toku energije bentičkih hranidbenih mreža. S jedne strane glavna je karika od primarnih producenata ka višim trofičkim razinama, a s druge sudjeluje u razgradnji i ponovnom metaboliziranju odumrle tvari (detritusa). Značajan, a najčešće i dominantan udio u makrozoobentosu čine vodeni ili akvatički kukci, kako brojnošću, tako i biomasom. Većina akvatičkih kukaca su prije svega specifični po tome što samo dio svog životnog ciklusa provode u vodi, i to onaj u ličinačkoj fazi. Daljnjim sazrijevanjem i rastom, akvatička ličinka bliži se procesu preobrazbe u odrasli stadij i prelasku u kopneni ekosustav procesom izlijetanja (emergencije). U odraslom stadiju jedinke se pare te se ciklus završava polaganjem oplođenih jajašaca u vodu.

Tijek životnog ciklusa ovih kukaca vođen je različitim okolišnim promjenama ili događajima, poglavito razdobljima poplava ili suša, dostupnošću hrane ili sezonskim obrascima u promjeni temperature. Kolikogod pojam akvatičkih kukaca bio prije svega taksonomski heterogen, zajedničko svojstvo većine kukaca u umjerenom pojasu je uvjetovanost životnog ciklusa temperaturom vode. Temperatura je ključan je čimbenik za embrionalni razvoj, rast ličinke, emergenciju, metabolizam i konačno, preživljavanje. Fotoperiod, odnosno dužina dana također značajno utječe na životne cikluse vodenih kukaca, utječe na ličinačku dijapauzu, odnosno količinu vremena potrebnu za kompletan razvoj ličinke i emergenciju. U okolišu s temperaturom koja je konstantna tijekom cijele godine, fotoperiod je glavni okidač za sezonske promjene ključne za promjenu stadija

životnog ciklusa, odnosno glavni podražaj za početak ili kraj bioloških procesa kao što su izlijeganje iz jajeta ili emergencija.

Najzastupljeniji organizmi u bentalu slatkovodnih ekosustava su 'pravi akvatički kukci'. U ovih skupina sve vrste (samo su rijetke iznimke) žive u ličinačkom stadiju životnog ciklusa i u stadiju kukuljice (ako se radi o holometabolnim kukcima) u staništima slatkovodnih ekosustava. To su dominantno vodencvjetovi (Ephemeroptera), Tulari (Trichoptera), obalčari (Plecoptera) i vretenca (Odonata).

Ephemeroptera

Ephemeroptera su, jedan od evolucijski najstarijih redova kukaca (290 milijuna godina). Postojeću faunu Ephemeroptera predstavlja više od 3300 vrsta. Nastanjuju cijelu cijelu Zemlju izuzev Antarktike i nekih izoliranih otoka. Vrlo su dobro istraženi, a gotovo 75 % poznatih vrsta su razvrstani u 5 porodica: Leptophlebiidae, Baetidae, Heptageniidae, Caenidae i Ephemerellidae. Najraznolikiji su rodovi Baetis, Caenis, Rhithrogena, Epeorus, Cloeon, Thraulodes, Ephemera, Ecdyonurus, Pseudocloeon, Paraleptophlebia, Ameletus, Tricorythodes.

Često su pionirske vrste u naseljavanju, ali se smatralo se da imaju slabu sposobnost raspršivanja preko oceana ili planinskih lanaca. Međutim, nedavne studije su pokazale da je moć raspršivanja Ephemeroptera uvelike podcijenjena.

Ephemeroptera nastanjuju sva slatkovodna staništa, osim u onečišćenih i podzemnih voda.

Kod Ephemeroptera dominantan je stadij ličinke koje žive u vodenom okolišu. S obzirom da nastanjuju mnoga mikrostaništa, te su izloženi raznim okolišnim uvjetima, i njihove morfološke karakteristike su raznolike. Ličinke se razlikuju od odraslih jedinki po tome što imaju potpuno razvijene i funkcionalni usni aparat i abdominalne škrge.

Tijelo može biti različitog oblika, od cilindričnog kao u porodice Baetidae do spljoštenog kao u porodice Heptageniidae. Važna morfološka karakteristika je građa abdomena. Zadak (abdomen) se sastoji od deset segmenata. Na prvih sedam segmenata prisutne su škrge koje mogu biti različitih veličina i oblika (jednostruke ili dvostruke, u obliku listića ili filamenata) (Slika 2). Pokretne su kod svih vrsta osim vrsta roda Baetis. Zadak završava sa dva bočna cerka i jednim terminalnim filamentom (paracerkus) koji je ponekad reduciran. Razlikovna karakteristika (prvenstveno u odnosu na Plecoptera je i broj pandžica na vrhovima nogu – Ephemeroptera imaju jednu a Plecoptera dvije (Slika 2 i 3).

Najvažnije karakteristike za determinaciju ličinki Ephemeroptera su: usni privjeci, noge, škrge, te građa prsa i zatka. Odlikuju se velikim složenim očima lateralno ili dorzalno, i obično tri ocele (jednostavni fotoreceptori) smještene između očiju. Usni privjeci se razlikuju s obzirom na funkcionalne/hranidbene karakteristike.

Postoje tri torakalna segmenta: protoraks s prednjim nogama, mezotoraks sa srednjim nogama i razvijajućim prednjim krilima kod starijih ličinki i metatoraks sa stražnjim nogama i stražnjim krilima u razvoju (nedostaju kod vrsta sa samo prednjim krilima). Dorsalne površine ova tri segmenta poznate su kao pronotum, mesonotum i metanotum (Slika 2).



a)



b)



c)

Slika 2. Ephemeroptera a) Ličinka (por. Heptageniidae), dorzoventralno spljoštenog tijela, listićavih škrga i s jednom terminalnom pandžicom na nogama, b) intersticijska vrsta (etološka prilagodba za kopanje u finom sedimentu) cjevastog tijela i perastih škrga, c) imago s karakteristično uspravno sklopljenim krilima.

Odrasli obično ne žive više od jednog dana, s ekstremima koji žive samo nekoliko minuta ili nekoliko dana. Nemaju razvijene usne privjeske niti usni otvor, jer se ne hrane. Kao i kod ostalih akvatičkih kukaca bitna uloga imaga je razmnožavanje. Budući žive kratko nisu bili evolucijski izloženi selekcijskom pritisku pa su imaga vrlo slična i nisu dobar stadij za determinaciju.

Ephemeroptera su hemimetabolni kukci čiji razvitak uključuje: jaja, ličinke (nimfe), subimaga i imaga. Posebnost u ovom ciklusu je postojanje stadija subimaga, koji se principijelno smatra odraslim stadijem iako ovaj oblik nema razvijene sve organe odraslog kukca. Subimago nije reproduktivno zreo već je stadij u kojem krilata jedinka prelazi na kopno te se nakon kratkog razdoblja mirovanja (nekoliko minuta do više od jednog dana) presvlači i preobražava spolno zreli imago. Početak emergencije je, kao i kod ostalih vodenih kukaca, primarno utjecan temperaturom vode i intenzitetom osvjetljenja. Izlijetanje može započeti i u vodi ali i iznad vode gdje nimfe prelaze u krilati stadij (subimago).

Ephemeroptera mogu imati i najčešće imaju jedan rasplodni ciklus godišnje i to s prezimljavanjem u stadiju ličinke (zimski) ili prezimljavanjem u stadiju jaja (ljetni). Otprilike trećina vrsta ima i više generacija, a rijetke vrste imaju generacijske cikluse dulje od jedne godine.

Ephemeroptera su sklone nastanjanju lotičkih staništa (umjerene, ali i brze struje vode). U tim staništima su najraznolikije zajednice. Naravno, kao i većina akvatičkih redova kukaca lako naseljavaju i stajaće ili sporo tekuće vode staništa no raznolikost vrsta na takvim staništima je obično mala. Obzirom na longitudinalni gradijent fizikalno-kemijskih čimbenika u tekućicama, različite vrste vodencvjetova su karakteristične za određene dijelove toka. Većina vrsta preferira područja ritrala, ali i ekološki prirodna (bez narušavanja ekološke i kemijske ravnoteže) područja potamala. Temperatura, količina kisika, brzina vode i tip supstrata su najvažniji faktori u

okolišu za strukturiranje zajednice Ephemeroptera. Negativan utjecaj imaju veća opterećenja hranjivim solima i organskim spojevima te morfološke promjene u koritu.

Plecoptera

Plecoptera su red vodenih kukaca koji predstavljaju važnu komponentu, kako biomasom tako i ekološkom ulogom, unutar zajednice bentoskih beskralješnjaka rijeka i potoka (Hynes, 1970.; Stewart i Stark, 1993.). Plecoptera su mali do srednje veliki kukci koji su, unatoč tome što u odraslom stadiju imaju dva para opnatih krila, loši letači i stoga se rijetko udaljuju od vode. Prednja su krila uska i duga, dok su stražnja široka i lepezasta. U stanju mirovanja, krila su položena duž tijela. Ticala su im duga i nitasta, a na kraju tijela imaju dva nitasta, člankovita cerka. Na krajevima svih triju pari nogu imaju po dvije pandžice. Plecoptera su hemimetabolni kukci, tj. imaju nepotpunu preobrazbu što znači da ličinke nalikuju odraslim jedinkama, ali s obzirom na to da žive u vodi, za razliku od odraslih, nemaju krila i imaju uzdušničke škrge na bazi nogu (slika 3).

Ličinke najčešće žive ispod kamena u pretežito hladnim (s temperaturom koja ne prelazi 25 °C), prirodnim i čistim potocima s visokom koncentracijom otopljenog kisika, dok se odrasle jedinke zadržavaju na vegetaciji uz tekuće i stajaće vode. Životni ciklus Plecoptera može trajati od manje od godine dana do nekoliko godina, s variranjem koje uglavnom ovisi ili o pojedinoj vrsti ili o temperaturi vode. Ženka leti iznad vode i polaže jaja u vodu ili na obližnji kamen ili granu; jajašaca, kojih može biti i do tisuću, omotana su sluzi u formi grudice kako bi bolje prijanjala uz podlogu i oduprla se potencijalnom otplavlivanju. Prve ličinke izlegu se obično nakon dva do tri tjedna, uz iznimku nekih vrsta koje prolaze dijapauzu tijekom sušne sezone i izliježu se tek kada uvjeti postanu dovoljno povoljni. U ličinačkom stadiju, jedinke mogu provesti do 4 godine, ovisno o vrsti, te se do faze emergiranja i odraslog stadija presvlače 10 do 30 puta. Rast tijekom ličinačkog razdoblja otprilike je konstantan cijelo vrijeme, osim na kraju, kada se stopa rasta poveća (Tiziano i sur., 2009.). Prije nego što prijeđu u odrasli stadij, ličinke napuštaju vodu, nalaze stabilnu podlogu te se presvlače posljednji put. Odrasli kukci žive samo nekoliko tjedana. Emergiranje se uglavnom odvija od ranog proljeća do ljeta, u vrijeme postizanja najpovoljnijih uvjeta za izlazak iz vode. Plecoptera u pravilu imaju jednu generaciju potomaka godišnje iako ima i multivoltnih i češće vrsta koje imaju dulji razvojni proces (dvije godine). Temperatura te kvantiteta i kvaliteta hrane, ali i fotoperiod ključni su faktori za stopu rasta i trajanje životnog ciklusa.



a)



b)



c)



d)



e)

Slika Plecoptera: a) Ličinka *Protonemura* sp. s karakterističnim cjevastim škragama (tri para) na prvom prsnom kolutiću, b) karakteristični uzorak na glavi ličinke predstavnika roda *Perla*, c) busenaste škrge na prsnim kolutićima (bazama nogu) roda *Siphonoperla*, važno je uočiti dvije pandžice na vrhu nogu, d) Odrasla jedinka roda *Isoperla* s karakterističnim položajem krila preklopljenih uzduž tijela, e) jedinke Plecoptera uhvaćene u paukovu mrežu u vrijeme rojenja (parenja).

Globalna raznolikost vrsta unutar reda Plecoptera ukazuje na više od 3497 opisanih vrsta rasprostranjenih u 16 porodica, razvrstanih u 286 rodova. Većina istraživanja provedena su u Sjevernoj Americi i Europi, gdje je zabilježeno 650 vrsta. Najzastupljenije porodice su: Nemouridae, Leuctridae, Perlidae i Perlodidae Taeniopterygidae i Chloroperlidae.

S obzirom na to da su poznati po tome što su stenovalentni s obzirom na većinu ekoloških parametara koji su pokazatelj poremećaja (npr. smanjena količina otopljenog kisika u vodi) i opterećenja vode stranim tvarima (veći udio hranjivih soli koji za posljedicu ima eutrofizaciju ili količina toksina ili količine otopljene organske tvari) dobri su indikatori kakvoće vode. Uslijed izrazite osjetljivosti Plecoptera, kolebanje abiotičkih čimbenika može vrlo lako dovesti do lokalnog ili čak globalnog izumiranja svojite, na što ukazuje i sama činjenica da Plecoptera pokazuju visok postotak endemizma. Sve u svemu, Plecoptera su jedna od najugroženijih grupa vodenih kukaca, čime još više

dobivaju na lokalnoj i globalnoj važnosti.

Plecoptera imaju usne organe za grizenje, ali se način prehrane i vrsta hrane koju uzimaju, mijenja tijekom života. Odrasle jedinke su biljojedi ili se uopće ne hrane. Ličinke su po načinu na koji uzimaju hranu znatno kompleksnije. Najčešće su detritivori, usitnjivači, strugači i u čistim vodama katkad i vršni grabežljivci (ako nema riba – primjerice u presušujućim vodotocima rod *Isoperla*). Naravno, rijetko se hrane isključivo jednim načinom te i tijekom života, ali i u odnosu na raspoloživost hrane mijenjaju navike.

Plecoptera (Insecta, Plecoptera) su se prvi put pojavili u donjem Permu te se uz vodencvjetove (Ephemeroptera) ubrajaju među najstarije leteće kukce. Za razliku od ličinki vodencvjetova ličinke Plecoptera nemaju škrge na zatku, a na kraju zatka imaju samo dva cerka i nemaju terminalni filament. Stadij ličinke traje od jedne do tri godine i obuhvaća 12 do 33 presvlačenja. Ličinke najčešće nalazimo u tekućicama s kamenitom i valutičastom podlogom, a samo mali broj vrsta dolazi na pijesku te u oligotrofnim jezerima.

Plecoptera prolaze proces nepotpune (hemimetabolne) preobrazbe koja obuhvaća 3 stadija, i to redom: jaje (česta dijapauza), ličinka i odrasli stadij.

Općenito su izraziti reofili i hladni stenotermi s vodenim jajima i ličinkama te kopnenim odraslim stadijem, no postoje i vrste koje žive u jezerima i u tropima, kao i one čije ličinke žive u tlu, a ne u vodi. Vrste ovog reda imaju izražene sklonosti za određene okolišne uvjete (stenovalentni su organizmi) zbog čega je rasprostranjenost ličinki ograničena na točno određene dijelove toka.

Odrasle jedinke Plecoptera (Slika 3) kopneni su organizmi veličine tijela od 10 do 50 mm koji žive svega nekoliko dana ili tjedana. Danju se zadržavaju u blizini vode, gdje odmaraju među grmljem i drvećem, ili su skriveni u travi ili ispod kamenja, gdje je relativna vlažnost dovoljno visoka. Uglavnom su sivo ili smeđe obojene, a prepoznatljive su po dugačkim nitastim antenama (preko pola dužine tijela) i po slaganju krila preko tijela. Međutim, poznate su i vrste bez krila ili s jako reduciranim krilima. Osim toga, odrasle su jedinke loši letači pa Plecoptera imaju visoku stopu endemizma i jedna su od najugroženijih skupina kukaca uopće. Determiniraju se s obzirom na razlike u spolnom aparatu čiji kompleks zauzima i nekoliko zadnjih kolutića abdomena.

Plecoptera su važna komponenta ekosustava potoka i rijeka u kojima su primarni i sekundarni konzumenti, ali i plijen drugim makroinvertebratima i ribama. Budući da su

izrazito osjetljivi na promjene okolišnih uvjeta koje se odražavaju u promjenama brojnosti i sastava zajednica Plecoptera jedan su od najboljih bioindikatora kvalitete vode i zagađenja slatkovodnih ekosustava.

Trichoptera

Trichoptera su prema broju vrsta najraznolikiji red vodenih kukaca s 16267 opisanih vrsta svrstanih u 63 porodice i 632 roda. Osim recentnih vrsta opisana je 521 fosilna vrsta svrstana u 20 porodica i 133 roda. Odrasle jedinke Trichoptera su kopnene životinje koje obitavaju u blizini vode, a ostali životni stadiji: jaja, ličinka i kukuljica nastanjuju vodena staništa.

Jaja odlažu u nakupinama jednom ili više puta te tako mogu imati nekoliko generacija (kohorti) tijekom godine. Ovisno o temperaturi vode ličinke se u razvijaju dva do tri tjedna. Jaja koja budu položena u nepovoljnije doba godine ulaze u dijapauzu te prezimljuju bez razvoja ličinki. Dijapauza traje dok se ne postignu povoljni(ji) uvjeti okoliša – najčešće uslijed povišenja temperature i produljenja trajanja dana (fotoperioda). Ličinke, koje imaju niz prilagodbi na ekološke prilike u staništu, u vodi žive nekoliko mjeseci do dvije godine. Tijekom svog razvitka ličinke Trichoptera se u pravilu presvlače pet puta nakon čega prelaze u stadij kukuljice prije nego izlete kao odrasle jedinke.

Osnovna značajka ličinki je izgradnja kućica, odnosno mrežica pomoću izlučevina/svile (slične svili leptira koji su bliski evolucijski srodnici) donjousnenih (labijalnih) žlijezda, a služe im za zaštitu od predatora, ali i za zaštitu odnosno veću otpornost od odnosa jakom strujom vode. Kućice povećavaju masu jedinke te ih je time i teže otplaviti. Kućice mogu biti izgrađene od zrnca sitnijeg šljunka (1-2 mm), pijeska, bilnog materijala (dijelova lišća ili grančica koje sami nalaze ili izrezuju čeljustima (mandibulama). Svila također služi i za čvrsto pričvršćivanje kućica uz kamenje na dnu korita. Nekolicina vrsta izgrađuje potpuno svilene kućice bez uklapanja stranih čestica.

Još je nekoliko važnih razlikovnih obilježja ličinaka Trichoptera. S obzirom da kućica štiti abdominalni dio tijela – na njemu nema jače razvijene hitinske kutikule te je cijeli abdomen, a u nekih vrsta i metathorax i mesothorax reducirano hitiniziran. Posljedica ovakvog reduciranja kutikule je i smještaj uzdušničkih (trahejalnih) škraga na kolutićima abdomena ili (rijeđe) njihova redukcija te izmjena plinova preko površine tijela. Na samom kraju abdomena postoje dva nastavka na čijim su vrhovima kukice za prihvaćanje stražnjeg dijela tijela za podlogu (najčešće za kamenje ili mahovine).



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)

Slika 4. Značajke Trichoptera. a) Ličinka *Hydropsiche* sp. S karakterističnim

neikutiliziranim abdomenom i busenastim škrhama te terminalnim kukicama na abdomenu, b) ličinka Limnephilidae s tipičnim većim anorganskim česticama kojima gradi kućicu i ličinka s kućicom od biljnih ostataka, c) *Agapetus* sp. – ličinka bez škrge na abdomenu, d) Ličinka bez škrge i s kućicom bez uklopina, *Ortotrichia* sp., e) mreže za hvatanje hrane razapete između grančica koje su pričvršćene u busen mahovine – rod *Hydropsyche* (izrazito reofilni), f) mreže za hvatanje hrane u obliku slova U, karakteristične za umjereni i mirniji tok - rod *Neureclipsis*, g) i h) odrasli Trichoptera s karakterističnim položajem krila nad abdomenom u obliku krova.

Neke vrste koje u ličinačkom stadiju ne grade kućice, prilikom zakukuljivanja ipak, koristeći iste mehanizme (svila i dostupan materijal, primjerice sitni šljunak) izgrade skloništa koja pričvrste uz podlogu i tako zaštite osjetljivi stadij kukuljice. Vrste koje imaju kućice prilikom zakukuljivanja jednostavno zatvore otvore na kućici. Stadij kukuljice traje nekoliko tjedana, a potom odrasla jedinka izlijeće u kopneno stanište.

Tijelo i krila su im prekrivena dlačicama. Važna determinacijsko svojstvo u odraslih je postojanje odnosno izostanak jednostavnih očiju (ocela). Nitasta ticala su u pravilu dugačka i sastavljena od homonomnih članaka. Usni organi su slabo razvijeni i služe za uzimanje vode i tekuće hrane u vrsta u kojih se odrasli hrane. Determiniraju se s obzirom na razlike u spolnom aparatu čiji kompleks zauzima i nekoliko zadnjih kolutića abdomena.

Većinom imaju jednogodišnji razvojni ciklus, ali kako je spomenuto jedna ženka može polagati jaja više puta te se time omogućuje više različitih razvojnih stadija u istoj populaciji. Kao i u drugih kukaca neke vrste se razmnožavaju i više puta godišnje, a neke vrste imaju dvogodišnji ciklus odnosno razmnožavaju se jednom tijekom dvije godine. I u Trichoptera umjerenog pojasa najvažniji otonac za prijelaze iz jedne u drugu fazu životnog ciklusa je temperatura i fotoperiod.

Najznačajniji ekološki čimbenici koji uvjetuju pojavljivanje Trichoptera na određenom području su značajke podloge, temperatura i brzina vode ako se radi o tekućici te različiti izvori hrane koji Trichopterama stoje na raspolaganju. Ličinke tulara razvile su raznolike načine prehrane tako da možemo različite nekoliko osnovnih skupina Trichoptera: filtratore, usitnjivače, strugače, sakupljače, bušače i grabežljivce. Jedan od specifičnih staništa su izvori i gornji tokovi planinskih tekućica u kojima dolaze i neke vrlo specifične skupne Trichoptera, a većini je zajednička osjetljivost na organsko opterećenje izmjenu hidroloških uvjeta i sastava podloge.

Izračunavanje indeksa

Za procjenu stanja okoliša koristi se niz indeksa koji se izračunavaju u skladu s biocenološkom slikom zajednice makrozoobentosa. Za izračunavanje se može koristiti računalni program Asterics <http://www.aqem.de/> ili neki od njegovih nasljednika.

Program služi za izračun velikog broja indeksa (manji dio je naveden u popisu niže) osmišljen je za procjenu ekološke kvalitete europskih tipova vodotoka i to na temelju popisa svojti makrobekralježnjaka i s njima povezanih svojstava svake pojedine vrste ili više taksonomske kategorije (najčešće roda) tzv. Operativnih popisa taksa. Operativni popis taksa služi kao važna radna osnova za riječna istraživanja u praksi i ima za cilj osigurati da svi oni koji rade na njemu poštuju minimalnu razinu determinacije koju on definira.

Dio indeksa važnih za definiranje stanja vodnih tijela:

Broj taksa

Indeks koji ukazuje na bogatstvo odnosno broj vrsta / taksa u uzorku. Manji broj sugerira degradaciju staništa, ali karakterističan je i za čiste izvorske vode.

Udio oligosaprobni indikatora (OSI%)

Viši postotak oligosaprobni taksa u ukupnoj zajednici indicira vrlo dobro i dobro stanje, niži na pogoršanje stanja.

BMWP bodovni indeks

Bodovni indeks u kojem se razmatra otpornost odnosno Indeks koji uzima u obzir izdržljivost prema onečišćenju.

Prošireni biotički indeks (PBI)

Biotički indeks koji razmatra prisutnost/odsutnost predstavnika pojedinih skupina beskrležnjaka sukladno njihovoj osjetljivosti na organsko onečišćenje. Spomenut je u poglavlju Makrozoobentos i antropogeni utjecaji na akvatička staništa i zasniva se na principu odnosno pristupu analize biocenološke slike redosljedno od prisutnosti/odsutnosti prvo najosjetljivijih pa prema

tolerantnim taksa, a uzimajući u obzir ukupan broj taksa.

Shannonov indeks raznolikosti (H)

matematički indeks koji pokazuje vjerojatnost da će nasumce odabrana jedinka pripadati drugoj vrsti od one koja je prethodno nasumce odabrana, zasnovana je na udjelu odnosno brojnosti taksa. Niže su u ekološki narušenim ili onečišćenim staništima ali kao i ukupna brojnost taksa – i u čistim staništima primjerice izvorima indeksa također može biti nizak.

Ritron indeks (RI) (Rhithron Type Index)

Indeks koji u obzir uzima sklonost taksa prema brzini strujanja vode ritrona, tj. dijelove tekućica s većom brzinom strujanja vode, uglavnom njihove gornje tokove. Više vrijednosti karakteristične su za brze vodotoke u referentnom stanju – dakle bez izraženih opterećenja.

Udio svojti koje preferiraju šljunak, litoral i pjeskoviti tip supstrata Akal+Lit+Psa (ALP%)

Ovaj indeks pokazuje morfološku odnosno hidromorfološku promjenu u staništu, a može ukazivati i na kemijsko opterećenje. Niža vrijednost pokazuje lošije stanje staništa u odnosu na referentno.

Broj svojti Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera

i/ili

Udio skupina Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera u makrozoobentosu (EPT%)

Indeks podrazumijeva da su Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera načelno i većinom osjetljive svojte i dobri bioindikatori na različite promjene u, a posebno na smanjenje količine kisika, promjene u sastavu podloge i smanjenje brzine strujanja vode. Niže vrijednosti postotka EPT svojti mogu ipak biti i očekivane u nekim tipovima vodotoka npr. u prirodnim nizinskim tekućicama.

Indeks bogatstva EPT procjenjuje kvalitetu vode relativnom brojnošću tri glavna reda akvatičkih kukacakoji imaju nisku toleranciju na onečišćenje vode. EPT se može izraziti kao postotak

osjetljivih redova (E = Ephemeroptera, P = Plecoptera, T = Tricoptera) u odnosu na ukupno pronađene svojte. Veliki postotak EPT stope ukazuje na visoku kvalitetu vode.

Hrvatski saprobni indeks (SI_{HR})

Indeks u upotrebi u Republici Hrvatskoj koji u obzir uzima indikatorske vrijednosti s obzirom na osjetljivost taksa prema organskom opterećenju (niža vjednost znači osjetljiviji organizam). U obzir uzima brojnost odnosno udio svake pojedine taksa.

To je modifikacija indeksa prema Pantle-Bucku:

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

Gdje je:

SI_{HR} = indeks saprobnosti

SI = indikatorska vrijednost vrste

u_i = udio jedinki vrste u uzorku

Softver se dalje razvija u drugim projektima. Sada se zove PERLODES i dostupan je kao online alat.
<http://www.fliessgewaesserbewertung.de/en/download/berechnung/>

Indikatorske vrijednosti svojti makrozoobentosa (SI) nalaze se u Operativnoj listi svojti makrozoobentosa koja je u izradi.

<https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/index.php/perlodes-online.html>

ASTERICS

Country: Croatia

Taxa list (196)

Import Save... Save as... Samples Char. Calculate

Autecological info

ID Art	Taxon name	ShortCode	Una kod izvorišta	Rađa, most	Populacija	Kanal	Krpaqar
8825	<i>Hydrobia Gen. sp.</i>	hydrobia	67	0	0	0	0
9346	<i>Amphipoda Gen. sp.</i>	amphigen	0	0	0	0	0
21761	<i>Echrogammarus acarinatus</i>	echacar	6307	0	0	0	0
21792	<i>Echrogammarus pungens</i>	echpung	0	5520	0	0	0
12230	<i>Gammarus balcanicus</i>	gammbalc	58	0	0	0	0
6127	<i>Niphargus sp.</i>	nipharg	0	0	0	0	0
9349	<i>Decapoda Gen. sp.</i>	decapen	0	0	0	0	0
7791	<i>Austropotamobius palipes</i>	autpal	0	0	0	0	0
21850	<i>Palaeomonetes antennarius</i>	palante	0	0	0	0	0
10540	<i>Isopoda Gen. sp.</i>	isogen	0	0	0	0	0
8703	<i>Proseflus cavalis</i>	proscava	0	0	106	0	0
9811	<i>Copepoda Gen. sp.</i>	copegen	0	0	0	0	0
10628	<i>Cladocera Gen. sp.</i>	cladgen	0	0	0	0	0
8706	<i>Bivalvia Gen. sp.</i>	bivagen	0	0	0	0	0
9991	<i>Microcorydalis compressa</i>	microcomp	0	0	0	0	0
6425	<i>Pisidium sp.</i>	casep	14	643	0	0	0
21965	<i>Ulna elongatulus</i>	urnelon	0	2	0	0	0
9338	<i>Gastropoda Gen. sp.</i>	gastgen	0	0	0	0	0
4205	<i>Acrostus lacustris</i>	acrolacu	0	0	0	0	0
4462	<i>Bithynia tentaculata</i>	bithtent	0	19	0	0	0
5354	<i>Gyraulus albus</i>	gyraalbu	0	0	0	0	0
6396	<i>Physella acuta</i>	physacu	0	0	21	0	0
1618	<i>Hydrobiidae Gen. sp.</i>	hydrobi	360	0	0	0	0
8251	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	potant	0	2472	0	0	0
6673	<i>Radix sp.</i>	radsp	0	0	0	0	0
9197	<i>Stagnicola sp.</i>	stagen	0	0	0	0	0
7025	<i>Theodoxus fluviatilis sp.</i>	theoflu	0	0	0	0	0
8719	<i>Hydrulea Gen. sp.</i>	hyregen	0	0	0	0	0
7106	<i>Trocheta bykovskii</i>	trobyko	0	0	0	0	0
7109	<i>Trocheta sp.</i>	trocp	0	0	0	0	0
9413	<i>Helobdella stagnalis</i>	helostag	0	0	10	0	0
8736	<i>Oligochaeta Gen. sp.</i>	olichgen	0	0	0	0	0
6068	<i>Naididae Gen. sp.</i>	naidgen	0	0	0	0	0
6071	<i>Nais bretschnei</i>	naidret	0	0	0	0	0
8853	<i>Nais christinae</i>	naidchr	0	0	0	0	0
6072	<i>Nais communis</i>	naidcomm	0	0	0	0	0
6073	<i>Nais elingus</i>	naideli	0	0	3946	0	0
6074	<i>Nais pardalis</i>	naidpard	0	0	0	0	0
6075	<i>Nais pseudobusca</i>	naidpseu	0	0	0	0	0
6078	<i>Nais variabilis</i>	naidvari	0	0	0	0	0
6185	<i>Ophidionea serpentina</i>	ophiserp	0	0	0	0	0
7117	<i>Tubificoides Gen. sp.</i>	tubigen	0	0	0	0	0
6890	<i>Embiocephalus velutinus</i>	emvclu	5	0	0	0	0
5862	<i>Limnodrilus claparedianus</i>	limdrclap	0	0	0	0	0

a)

ASTERICS

Country: Croatia

Taxa list (196)

Import Save... Save as... Samples Char. Calculate

Autecological info

ID Art	Taxon name	ShortCode	Una kod izvorišta	Rađa, most	Populacija	Kanal	Krpaqar
8825	<i>Hydrobia Gen. sp.</i>	hydrobia	67	0	0	0	0
9346	<i>Amphipoda Gen. sp.</i>	amphigen	0	0	0	0	0
21761	<i>Echrogammarus acarinatus</i>	echacar	6307	0	0	0	0
21792	<i>Echrogammarus pungens</i>	echpung	0	5520	0	0	0
12230	<i>Gammarus balcanicus</i>	gammbalc	58	0	0	0	0
6127	<i>Niphargus sp.</i>	nipharg	0	0	0	0	0
9349	<i>Decapoda Gen. sp.</i>	decapen	0	0	0	0	0
7791	<i>Austropotamobius palipes</i>	autpal	0	0	0	0	0
21850	<i>Palaeomonetes antennarius</i>	palante	0	0	0	0	0
10540	<i>Isopoda Gen. sp.</i>	isogen	0	0	0	0	0
8703	<i>Proseflus cavalis</i>	proscava	0	0	106	0	0
9811	<i>Copepoda Gen. sp.</i>	copegen	0	0	0	0	0
10628	<i>Cladocera Gen. sp.</i>	cladgen	0	0	0	0	0
8706	<i>Bivalvia Gen. sp.</i>	bivagen	0	0	0	0	0
9991	<i>Microcorydalis compressa</i>	microcomp	0	0	0	0	0
6425	<i>Pisidium sp.</i>	casep	14	643	0	0	0
21965	<i>Ulna elongatulus</i>	urnelon	0	2	0	0	0
9338	<i>Gastropoda Gen. sp.</i>	gastgen	0	0	0	0	0
4205	<i>Acrostus lacustris</i>	acrolacu	0	0	0	0	0
4462	<i>Bithynia tentaculata</i>	bithtent	0	19	0	0	0
5354	<i>Gyraulus albus</i>	gyraalbu	0	0	0	0	0
6396	<i>Physella acuta</i>	physacu	0	0	21	0	0
1618	<i>Hydrobiidae Gen. sp.</i>	hydrobi	360	0	0	0	0
8251	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	potant	0	2472	0	0	0
6673	<i>Radix sp.</i>	radsp	0	0	0	0	0
9197	<i>Stagnicola sp.</i>	stagen	0	0	0	0	0
7025	<i>Theodoxus fluviatilis sp.</i>	theoflu	0	0	0	0	0
8719	<i>Hydrulea Gen. sp.</i>	hyregen	0	0	0	0	0
7106	<i>Trocheta bykovskii</i>	trobyko	0	0	0	0	0
7109	<i>Trocheta sp.</i>	trocp	0	0	0	0	0
9413	<i>Helobdella stagnalis</i>	helostag	0	0	10	0	0
8736	<i>Oligochaeta Gen. sp.</i>	olichgen	0	0	0	0	0
6068	<i>Naididae Gen. sp.</i>	naidgen	0	0	0	0	0
6071	<i>Nais bretschnei</i>	naidret	0	0	0	0	0
8853	<i>Nais christinae</i>	naidchr	0	0	0	0	0
6072	<i>Nais communis</i>	naidcomm	0	0	0	0	0
6073	<i>Nais elingus</i>	naideli	0	0	3946	0	0
6074	<i>Nais pardalis</i>	naidpard	0	0	0	0	0
6075	<i>Nais pseudobusca</i>	naidpseu	0	0	0	0	0
6078	<i>Nais variabilis</i>	naidvari	0	0	0	0	0
6185	<i>Ophidionea serpentina</i>	ophiserp	0	0	0	0	0
7117	<i>Tubificoides Gen. sp.</i>	tubigen	0	0	0	0	0
6890	<i>Embiocephalus velutinus</i>	emvclu	5	0	0	0	0
5862	<i>Limnodrilus claparedianus</i>	limdrclap	0	0	0	0	0

Sample characterization

Set for all samples

Country: Croatia

Stream type: Standard

Stressor: Organic Pollution

Apply to All

Samples	Country	Stream type	Stressor
Una kod izvorišta	Croatia	Standard	Organic Pollution
Rađa, most	Croatia	Standard	Organic Pollution
Kanal	Croatia	Standard	Organic Pollution

Export to Excel Export to csv,txt Copy Delete OK Cancel

b)

Sample scores

Summary Metrics

Metrics results

Metric	Una kod izvora	Raša, most Poljevan	Kanal Krapanj
Abundance [ind/m ²]	12965	17176	63811
Number of Taxa	40	35	15
Saprobic Index (Zelinka & Navara)	1.858	2.731	2.775
Saprobic Index	-	-	-
-xeno [%]	0.131	0	0.009
-oligo [%]	2.009	0.229	0.638
-beta-meso [%]	3.555	6.637	1.396
-alpha-meso [%]	1.617	6.357	3.205
-poly [%]	0	2.989	1.258
-no data available [%]	92.688	83.768	93.404
-xeno [%] (scored taxa = 100%)	1.793	0	0.138
-oligo [%] (scored taxa = 100%)	27.479	1.41	9.675
-beta-meso [%] (scored taxa = 100%)	22.11	39.364	49.952
-xeno [%] (abundance classes) (scored taxa = 100%)	6.829	0	1.481
-oligo [%] (abundance classes) (scored taxa = 100%)	32.195	13.056	6.296
German Saprobic Index (old version)	1.884	2.003	2.64
-Dispersion	0.118	0.117	0.238
-Sum of abundance classes	29	21	21
-Number of indicator taxa	7	6	5
-Water Quality Class	II	II	II-III
German Saprobic Index (new version)	1.625	2.109	2.892
-Dispersion	0.105	0.131	0.214
-Sum of abundance classes	53	35	23
-Number of indicator taxa	14	11	6
-Water Quality Class	I-II	II	III
Dutch Saprobic Index	0.14	0.446	0.183
Czech Saprobic Index	1.379	2.171	3.709
Romanian Saprobic Index	1.609	2.908	2.948
Slovakian Saprobic Index	1.788	2.202	2.763
BMIIP Score	114	62	22
-Titania	18	12	7
Average score per Taxon	6.333	5.167	3.143
BMIIP Score (Spanish version)	114	73	22
-Titania	19	16	7
BMIIP Score (Hungarian version)	112	70	20
-Titania	17	14	7

Export to Excel Warning not all metrics are suitable for classification. Export to csv, txt Back to Main

c)

Sample scores

Summary Metrics

Results Individual Samples

Sample	Una kod izvora	Raša, most Poljevan	Kanal Krapanj
Country	Croatia	Croatia	Croatia
Stream type	Standard	Standard	Standard
Stressor	Organic Pollution	Organic Pollution	Organic Pollution
Results	3 (High)	3 (Moderate)	3 (Moderate)
	Croatia Saprobic Index WEG: 63.784	Croatia Saprobic Index WEG: 62.387	Croatia Saprobic Index WEG: 62.524
	Croatia Saprobic Index HRIS-G: 1.734	Croatia Saprobic Index HRIS-G: 2.4	Croatia Saprobic Index HRIS-G: 2.726

Export to Excel Export to csv, txt Back to Main

d)

Slika Sučelje programa Asterics u analizi stanja s obzirom na sastav zajednice makrozoobentosa na tri lokacije u Hrvatskoj (Una, Raša i kanal Krapanj). a) dio biocenološkog popisa vrsta unesenog u tablicu, b) odabir tipa i pritiska, c) dio izračunatih indeksa, d) vrijednosti SI_{HR} i ocjena stanja Plavo – vrlo dobro, zeleno – dobro i žuto – umjereno svanje vodotoka. Napomena: cilj je da sve vode u Europi postignu dobro stanje – kanali će kao izrazito izmijenjena vodna tijela biti ili već jesu izuzeti u pojedinim zemljama EU.

Literatura

Allan, J. Castillo, M.(2007). Stream Ecology: Structure and function of running waters second edition.

AQEM CONSORTIUM (2002) Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February 2002.

Blinn, W., Shannon, J. P., Stevens, L. E., & Carder, J. P. (1995). Consequences of the fluctuating discharge for lotic communities. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 14(2), 233–248. doi: 10.2307/1467776

Bauernfeind E, Moog O (2000) Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia* 422: 71–83.

Bauernfeind E, Humpesch UH (2001) Die Eintagsfliegen Zentraleuropas - Bestimmung und Ökologie. Verlag NMW, Wien.

Bauernfeind E, Soldán T (2012) The mayflies of Europe (Ephemeroptera). Apollo Books. Ollerup, Denmark.

Chambers, D. B., & Messinger, T. (2001). Benthic invertebrate communities and their responses to selected environmental factors in the Kanawha River basin, West Virginia, Virginia, and North Carolina. USGS Numbered Series - Water-Resources Investigations Report. doi: 10.3133/wri014021

Chiu, M.-C., & Kuo, M.-H. (2012). Application of r/K selection to macroinvertebrate responses to extreme floods. *Ecol. Entomol.* 37, 145-154. doi: 10.1111/j.1365-2311.2012.01346.x

Costa, S. S., & Melo, A. S. (2008). Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. *Hydrobiologia*, 598(1), 131-138.

Cummins, K. W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annu. Rev. Entomol.* 18(1), 183-206. doi: 10.1146/annurev.en.18.010173.001151

Cummins, K. W., & Klug, M. J. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 10, 147-172. doi: 10.1146/annurev.es.10.110179.001051

DIN EN 15843 (2010). Water Quality – Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology, European standard CEN/TC 230

Flotemersch, J. E., Muniz Saavedra, J., Laffitte, L., Laurenzano, B., Abelli Bonardi, M., & Blocksom,

- K. A. (2017). Benthic macroinvertebrate field sampling effort required to produce a sample adequate for the assessment of rivers and streams of Neuquén Province, Argentina. *Limnologica* 65, 55-60. doi: 10.1016/j.limno.2017.05.004
- Fochetti R., Tierno de Figueroa J.M. (2008): Global diversity of stoneflies (Plecoptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 365-377.
- Furse, M. T., Hering, D., Brabec, K., Buffagni, A., Sandin, L., Verdonschot, P. F. M. (2006). The ecological status of European rivers: evaluation and intercalibration of assessment methods. *Hydrobiologia* 566(1). doi: 10.1007/s10750-006-0113-4.
- Graf W., Schmidt-Kloiber A. (2003): Plecoptera – Steinfliegen. Skriptum zum “Spezialpraktikum Plecoptera. Anleitung zur Bestimmung für Fortgeschrittene”. Institute für Hydrobiologie and Gewässermanagement, Boku, Wien, WS2002/2003, 160 str.
- Hauer, C., Leitner, P., Unfer, G., Pulg, U., Habersack, H., & Graf, W. (2018). The role of sediment and sediment dynamics in the aquatic environment. In Schmutz, S., & Sendzimir, J. (Eds.), *Riverine ecosystem management. Aquatic Ecology Series 8*. Springer, Cham
- Hauer, F.R. & Resh., V.H. (1996). Benthic Macroinvertebrates, In: *Methods in Stream Ecology*, F.R. Hauer & G.A. Lamberti (eds), pp. 339-369, Academy Press, New York, USA.
- Hering, D., Johnson, R. K., & Buffagni, A. (2006a). Linking organism groups – major results and conclusions from the STAR project. In Furse, M. T., Hering, D., Brabec, K., Buffagni, A., Sandin, L., & Verdonschot, P. F. M. (Eds.), *The ecological status of European rivers: Evaluation and intercalibration of assessment methods* (pp. 109-113). Springer, Netherlands.
- Illies, J. (1978). *Limnofauna Europaea* (pp 1–532). Gustav Fischer, New York.
- Ivković, M., Miliša, M., Previšić, A., Popijač, A., Mihaljević, Z., (2013) Environmental control of emergence patterns: case study of changes in hourly and daily emergence of aquatic insects at constant and variable water temperatures. *International review of hydrobiology*, 98, 2; 104-115 doi:10.1002/iroh.201301483
- Kennen, J. G., Riskin, M. L., & Charles, E. G. (2014). Effects of streamflow reductions on aquatic macroinvertebrates: linking groundwater withdrawals and assemblage response in southern New Jersey streams, USA. *Hydrolog. Sci. J.* 59, 545-561. doi: 10.1080/02626667.2013.877139
- Mangadze, T., Wasserman, R. J., Froneman, P. W., & Dalu, T. (2019). Macroinvertebrate functional feeding group alterations in response to habitat degradation of headwater Austral streams. *Sci. Total Environ.* 695. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133910

Miliša, M., Habdija, I., Primc, B., Radanović, I., & Matoničkin Kepčija, R. (2006). The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice lakes (Croatia). *Hydrobiologia* 553, 231-243. doi: 10.1007/s10750-005-1220-3

Mondy, C. P., Villeneuve, B., Archambault, V., & Usseglio-Polatera, P. (2012). A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecol. Indic.* 18, 452-467. doi: 10.1016/j.ecolind.2011.12.013

Poikane, S., Zohary, T., & Cantonati, M. (2019). Assessing the ecological effects of hydromorphological pressures on European lakes. *Inland Waters*. doi: 10.1080/20442041.2019.1654800

Popijač A., Sivec I. (2009): Diversity and distribution of stoneflies in the area of Plitvice Lakes National Park and along the Mediterranean river Cetina (Croatia). *Aquatic Insects* 31: 731-742.

Ramirez, A., & Gutierrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 62, 155-167. doi: 10.15517/rbt.v62i0.15785

Rice, W. R. (1989). Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43, 223–225. doi: 10.2307/2409177

Sartori M, Brittain JE (2015) Order Ephemeroptera. In: Thorp J, Rodgers DC (Eds.) Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology, 4th Edition, Academic Press, New York, 873-891.

Schmedtje, U. & M. Colling, 1996. Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft* 4/96: 1-543.

Schmidt-Kloiber, A., & Hering, D. (2015). www.freshwaterecology.info - an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecol. Indic.* 53: 271–282. doi:10.1016/j.ecolind.2015.02.007

Southwood, T. R. E. (1977). Habitat, the templet for ecological strategies? *J. Anim. Ecol.* 46, 336–365.

Solimini, A. G., Cardoso, A. C., & Heiskanen, A. S. (2006). Indicators and methods for the ecological status assessment under the Water Framework Directive. Linkages between chemical

and biological quality of surface waters Joint Research Centre, European Commission, 1-262.

Sweeney, B.W., Vannote, R.L. (1978) Size variation and the distribution of hemimetabolous aquatic insects: two thermal equilibrium hypotheses. *Science*. 200(4340):444-6. doi: 10.1126/science.200.4340.444.

Šegota, T., & Filipčić, A. (2003). Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria* 8(1), 17–37 [in Croatian]. doi: 10.15291/geoadria.93

Špoljar, M., Šneller, D., Miliša, M., Lajtner, J., Sertić Perić, M., & Radanović, I. (2012). Entomofauna of Submerged Macrophyte Stands in Reservoirs (Papuk Nature Park). *Entomol. Croat.* 16(1-4), 7-20.

Taylor, B. R., & Chauvet, E. (2013). Relative influence of shredders and fungi on leaf litter decomposition along a river altitudinal gradient. *Hydrobiologia* 721(1). doi: 10.1007/s10750-013-1666-7

Ter Braak, C., & Šmilauer, P. (2012). CANOCO reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0).

TIBCO Software Inc. (2017). Statistica (data analysis software system), version 13. <http://statistica.io>.

Urbanič, G., Mihaljević, Z., Petkovska, V., & Pavlin Urbanič, M. (2020): Disentangling the Effects of Multiple Stressors on Large Rivers Using Benthic Invertebrates—A Study of Southeastern European Large Rivers with Implications for Management. *Water* 12, 621. doi:10.3390/w12030621

Urbanič, G., Mihaljević, Z., Petkovska, V., & Pavlin Urbanič, M. (2020). Disentangling the effects of multiple stressors on large rivers using benthic invertebrates—a study of Southeastern European large rivers with implications for management. *Water*, 12(3), 621.

Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., & Tachet, H. (2000). Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biol.* 43, 175-205. doi: 10.1046/j.1365-2427.2000.00535.x

Valente-Neto, F., Koroiva, R., Fonseca-Gessner, A. A., & Roque, F. O. (2015). The effect of riparian deforestation on macroinvertebrates associated with submerged woody debris. *Aquat. Ecol.* 49, 115-125. doi: 10.1007/s10452-015-9510-y

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130–137.

Vilenica M., Ivković M., Sartori M., Mihaljević Z. (2017): Mayfly emergence along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem: spatial and temporal patterns, and species–environment relationship. *Aquatic Ecology* 51: 417-433.

Wallace, J. B. & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 41, 115-139. doi: 10.1146/annurev.en.41.010196.000555

Zwick, P. (2004). Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica*, 34(4), 315-348.

Zwick P., Becker G., Wagner R., Reidelbach J., Christl H. (2011): The Fauna of the Breitenbach: Plecoptera. U: Wagner R., Marxsen J., Zwick P., Cox E.J. (ur.) *Central European Stream Ecosystems: The Long Term Study of the Breitenbach*. Wiley-Blackwell, Weinheim, str. 254-308.

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Erasmus + Project No ECOBIAS_609967-EPP-1-2019-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP
Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

