

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA BIORAZNOLIKOST
SLATKOVODNIH KUKACA
THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON BIODIVERSITY OF
FRESHWATER INSECTS

SEMINARSKI RAD

Marko Marić

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

Mentor: doc. dr. sc. Marija Ivković

Zagreb, 2019.

Sadržaj

1. UVOD	2
2. BIORAZNOLIKOST SLATKOVODNIH KUKACA.....	3
3. KLIMATSKE PROMJENE.....	9
3.1 Klimatske promjene.....	9
3.2 Utjecaj klimatskih promjena na bioraznolikost slatkovodnih kukaca.....	11
4. PRILAGODBE KUKACA NA PROMJENE ABIOTSKIH ČIMBENIKA.....	13
5. LITERATURA	16
6. SAŽETAK	19
7. SUMMARY	20

1.UVOD

Biološku raznolikost definira varijabilnost među živim organizmima, uključujući genetsku i strukturalnu različitost unutar i između pojedinaca pojedinih vrsta, te time u konačnici utječe na okoliš i klimu.

Ovaj seminar se uglavnom fokusira na važnost biološke raznolikosti i posljedice s kojima se suočavaju zajednice slatkovodnih kukaca zbog klimatskih promjena te na moguća ublažavanja i prilagodbe u pogledu očuvanja biološke raznolikosti.

Zemljina klima se zagrijala za oko 0,68 °C u 100 godina, u dva glavna razdoblja zagrijavanja koja su promatrana, između 1910. i 1945. i od 1976. pa do danas (Abir i sur. 2018). Među 8,7 milijuna organizama, samo kukci čine više od polovice svih poznatih vrsta organizama (Abir i sur. 2018).

Pad brojnosti kukaca, tj. biomase kukaca, koji je zabilježen analizom podataka za posljednjih 27 godina iznosi, naime, alarmantnih 76 % sezonski, do čak 82 % u sredini ljeta (Morse 2017).

Kukci igraju ključnu ulogu u našem ekosustavu. Oni osiguravaju oprašivanje biljaka te su odgovorni i za velik dio ciklusa kruženja hranjivih tvari kao što je razlaganje organskih tvari, opskrbljujući biljke hranom. Ovo ima posljedice i za nas ljude, zato što se velik dio naše proizvodnje hrane oslanja na oprašivanje (Morse 2017).

Klimatskim promjenama, koje se događaju uslijed "zarobljavanja" Sunčeve energije u Zemljinoj atmosferi zbog povećane emisije stakleničkih plinova, mijenja se prosječna temperatura zraka i vodenih površina (Hannah 2015). To utječe na količinu otopljenog kisika u vodi, stupanj trofije, učestalost padalina te niz drugih čimbenika (Bonada i sur. 2007), što čini vodene ekosustave osjetljivima na velike klimatske promjene.

Budući da je većina vodenih organizama ektotermna, mnogi od njih toleriraju mali raspon temperaturnih vrijednosti što im ograničava područje rasprostranjenosti (Burgmer i sur. 2007). Stoga je i najčešći odgovor organizama na klimatske promjene pomicanje areala rasprostranjenosti (Feehan i sur. 2009), no svakako prijeti i ono najgore: izumiranje pojedinih vrsta (Morse 2017).

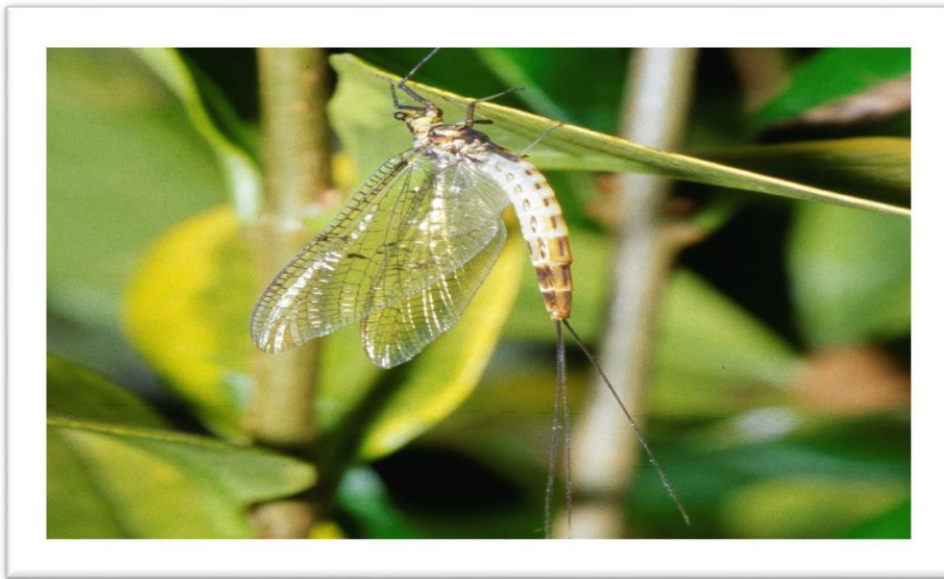
2. BIORAZNOLIKOST SLATKOVODNIH KUKACA

Voda je ključna za život na Zemlji. Živi organizmi se uglavnom sastoje od vode i zahtijevaju vodu za većinu njihovih metaboličkih funkcija. Mnogi organizmi, međutim, žive potpuno potopljeno u vodenim staništima. S obzirom na količinu soli razlikujemo slatkovodna i morska vodena staništa. Slatkovodna staništa mogu se široko grupirati u tekuća (lotička) i stajaća (lentička), a većina vodenih vrsta kukaca ograničena je na jedno ili drugo stanište. Relativno kratki geološki životni vijek stajaćih voda omogućuje smanjivanje broja lentičkih vrsta, dok staništa tekućih voda geološki su stabilnija i stoga različite vrste kukaca mogu biti više raspršene (Morse 2017).

Vodeni kukci prisutni su u većini slatkovodnih staništa i često pokazuju veliku raznolikost. U vodenim hranidbenim mrežama oni služe kao namirnice za gotovo cijeli spektar predatora kraljeznjaka i beskraljeznjaka, a mnogi su i sami grabežljivci. Budući da većina vodenih kukaca barem dio svoga života ostaje ispod površine vode, rijetko ih se vidi, tako da je velika raznolikost kukaca koji obitavaju u slatkovodnim ekosustavima slabo poznata većini ljudi. Zajedno s drugim malim beskralješnjacima, vodeni kukci su neizostavan dio prehrambene mreže i kruženja hranjivih tvari u slatkovodnim ekosustavima. Zbog specifičnih varijacija tolerancije različitih vrsta kukaca oni imaju širok raspon vrijednosti ekoloških čimbenika zbog čega se koriste kao pokazatelji razine onečišćenja u vodama koje mi konzumiramo i koristimo u mnoge praktične svrhe (Barbour i sur. 1999).

Slatkovodne vode sadrže brojne redove kukaca od kojih su najčešći: dvokrilci (Diptera), vodencvjetovi (Ephemeroptera), vretenca (Odonata), obalčari (Plecoptera), polukrilci (Hemiptera), muljari (Megaloptera), tulari (Trichoptera), opnokrilci (Hymenoptera), kornjaši (Coleoptera), leptiri (Lepidoptera), itd. (Morse 2017).

Vodencvjetovi (Ephemeroptera) (slika 1) žive u u lotičkim i lentičkim staništima. Životni ciklus uključuje jaje, ličinku, subimago (krilati nezreli oblik) te imago (odrasli). Jaja i ličinke tipično se javljaju u vodi dok su subimago i imago kopneni, obično leteći ili se nalaze u vegetaciji blizu staništa jaja i ličinke. Obično se završava jedan životni ciklus godišnje, ali neke vrste imaju više od jednog ciklusa svake godine. Jaja obično zahtijevaju nekoliko tjedana za razvitak. Ličinke obično jedu komadiće organske tvari sakupljene ili strugane s podloge. Subimago leti u obližnju vegetaciju gdje se razvija u imago u roku od nekoliko minuta do nekoliko sati. Odrasli žive nekoliko minuta do nekoliko dana (Morse 2017).



Slika 1. Vrsta *Ephemera danica* (<https://hr.wikipedia.org>)

Vretenca (Odonata) (slika 2) su široko rasprostranjeni kukci i žive u gotovo svim trajnim slatkovodnim i bočatim vodama. Osobito nastanjuju tople vode poput onih u nizinama tropskih i subtropskih regija. Nekoliko vrsta su poluvodne i žive u mahovini, vlažnom lišću ili u rupama stabla. Životni ciklus uključuje jaje, ličinke i odraslu fazu, s jajima i ličinkama obično potopljenim u vodi. Ličinke žive na dnu i do tri godine, presvlačeći se 9 – 16 puta, a nakon zadnjeg presvlačenja ispužu van i pričvrste se za biljku ili stijenu (Tennessen 2008). Odrasle jedinke ostaju blizu vode (npr. porodica Cordulegastridae) ili lete daleko na jedan ili više tjedana, a kasnije se vraćaju u svoje specifično stanište za hranjenje, parenje i lijevanje jaja (npr. porodica Aeshnidae). Odrasli su grabežljivci te se hrane drugim letećim kukcima koje hvataju tokom leta (Morse 2017).



Slika 2. Podred Anisoptera (<https://svartberg.org>)

Obalčari (Plecoptera) (slika 3) su globalno rasprostranjeni kukci, uglavnom u hladnim planinskim potocima, no oko 1/3 vrsta se pojavljuje i u tropima (Zwick 2003). Životni ciklus uključuje jaje, ličinku i odraslu fazu. Jaja se polažu iznad vode ili na površini vode. Obično se izlegu nakon 3-4 tjedna, dok su ličinke općenito s jednom generacijom svake godine, no ponekad svake dvije ili tri godine. Ličinke se kreću po podlozi ili prijanjaju uz stijene u vodi te se uglavnom hrane detritusom ili su grabežljivci na malim člankonošcima (Stewart i Stark 2008). Pojava odraslih oblika slična je odraslim vretencima. Odrasli žive 1-4 tjedna i hrane se epifitskim algama, mladim listovima ili pupoljcima (Stewart i Stark 2008).



Slika 3. Vrsta *Taeniopteryx burksi* (<http://plecoptera.speciesfile.org>)

Polukrilci (Hemiptera) su red kukaca od 90000 vrsta svrstanih u 140 porodica. Najčešće obitavaju na biljkama koje imaju malu ili nikakvu povezanost s površinom voda. Međutim, nekoliko porodica u podredu Heteroptera su blisko povezani sa slatkovodnim staništima. Najveći dio raznolikosti vodenih vrsta su kod Gerromorpha (slika 4) i Nepomorpha (slika 5) (Morse 2017). Jaja se obično postavljaju ispod ili na površinu vode, u biljkama ili pijesku, pričvršćujući se na podlogu jednim krajem sa ljepljivom tvari ili vitkom stabljikom. Ličinke nalikuju odraslima po općem obliku tijela, iako im nedostaju krila i reproduktivne strukture. Sve ličinke Hemiptera i odrasli oblici imaju usni aparat za sisanje. Heteroptera su vrlo varijabilni među porodicama i rodovima, ali najčešće obitavaju u bujnoj vegetaciji plitkih slatkih voda. Ostala staništa uključuju obale površinskih slatkih voda (mnoge svojte), morske međuplimne zone (neke vrste porodice Saldidae), površine otvorenog mora (rod *Halobate* u porodici Gerridae), oceanske plaže, ušća, bočata i alkalna lentička staništa, visoka planinska jezera, privremena vodna tijela, močvare i tekuća slatkovodna staništa (Polhemus 2008).



Slika 4. *Hygrotechuis conformis* (Gerromorpha) **Slika 5.** *Nepa cinerea* (Nepomorpha)
(<https://en.wikipedia.org/wiki>)

Kornjaši (Coleoptera) (slika 6) se pojavljuju u širokom rasponu lentičkih, lotičkih te morskih staništa (White i Roughley 2008). Veličinom se jako razlikuju, od malenih, prostim okom jedva vidljivih, do tropskih divova, dugih 18 cm. Neke vodene skupine imaju samo vodena jaja i ličinke, s kopnenim jedinkama (npr. Porodica Psephenidae). Kod drugih porodica samo odrasli su vodeni (npr. Dryopidae, Hydraenidae). Navike hranjenja su promjenjive, ličinke i odrasli se ponekad razlikuju u hrani koju konzumiraju. Mogu biti grabežljivci ,biljojedi (bilo vaskularno biljke ili alge strugane sa stijena), detritivori, itd. (White i Roughley 2008).



Slika 6. *Dytiscus sp* (<https://www.biodiversidadvirtual.org>)

Tulari (Trichoptera) (slika 7) su samo vodeni kukci. Njihova jaja i ličinke javljaju se u širokom rasponu slatkovodnih staništa, a odrasli lete na obližnja kopnena staništa. Ličinke se obično razvijaju kroz pet stadija, dovršavajući rast od dva mjeseca do dvije godine, u većini životnih ciklusa. Odrasli žive nekoliko dana do tri mjeseci (Unzicker i sur. 1982). Najčešće lete rano uvečer nakon zalaska sunca, ali osim noćnih vrsta postoje i dnevne vrste (Morse 2017).



Slika 7. *Limnephilus externus* (<http://www.troutnut.com>)

Dvokrilci (Diptera) su među najrazličitijim skupinama kukaca s približno 150 000 opisanih vrsta. Pripadaju holometaboličkim kukcima s potpunom metamorfozom i sa sva 4 razvojna stadija: jaja, ličinka, kukuljica i odrasli stadij. Ovi kukci žive u gotovo svakom tipu vodenog staništa uključujući i morske i bočate vode (Dahl 1997).

Raznolikost staništa dvokrilaca djelomično je odraz različitih ekoloških uloga ličinki i odraslih jedinki, pri čemu su ličinke općenito prilagođene za hranjenje i rast, a odrasli za reprodukciju i širenje (Dahl 1997). Dvokrilci često imaju ključnu ulogu u hranidbenim mrežama kao potrošači velike količine detritusa i kao primarni izvor hrane za ostale slatkovodne organizmi (Morse 2017). Pripadaju kozmopolitima, uspješno su kolonizirali gotovo sva staništa i sve kontinente, uključujući Antarktiku. Većinom imaju krila i aktivni su. Ličinke dvokrilaca su bez nogu i nalaze se u raznim kopnenim i vodenim staništima, dok su sve odrasle jedinice kopnene i sposobne za let (Dahl 1997).

Rojenje je vjerojatno primitivna značajka dvokrilaca, što bi moglo objasniti rasprostranjenost ovog ponašanja u podredu Nematocera. Ova skupina dvokrilaca ima brojne tjelesne strukture prilagođene za rojenje, uključujući povećane složene oči i krila s dobro razvijenim analnim režnjevima. Ličinke dvokrilaca kolonizirale su razna staništa, uključujući vodu (npr. Simuliidae (slika 8), Culicidae (slika 9), Chironomidae), tla i vlažni sediment (npr. Tipulidae, Ceratopogonidae, Tabanidae), trulo drvo (npr. Tipulidae, Mycetophilidae), voće (npr., Tephritidae, Drosophilidae), organski materijal koji propada (npr. Muscidae, Sarcophagidae) i tkiva živih organizama (npr. Sciomyzidae (slika 10), Oestridae, Tachinidae) (Dahl 1997).

Kukuljica ličinke obično je tanka, mekana i osjetljiva na isušivanje. Javljaju se u rijekama, potocima, priobalju morske, slane i estuarijske vode, plitkim i dubokim jezerima, barama, hladnim i vrućim vrelima, podzemnim vodama (Dahl 1997).

Vodne vrste najrasprostranjenije su kod ličinki podreda Nematocera, uključujući većinu Culicidae, Simuliidae i Chironomidae. Među podredom Brachycera vodene porodice su najčešće Ephydriidae (slika 11), Sciomyzidae, Tabanidae i Empididae (Dahl 1997).



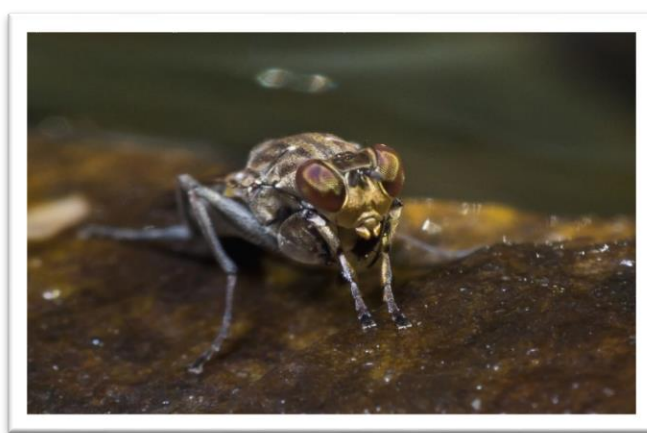
Slika 8. *Simulium* sp. (www.wikipedia.org)



Slika 9. *Aedes aegypti* (<https://bugguide.net>)



Slika 10. *Tetanocera* sp. (www.wikimedia.org)

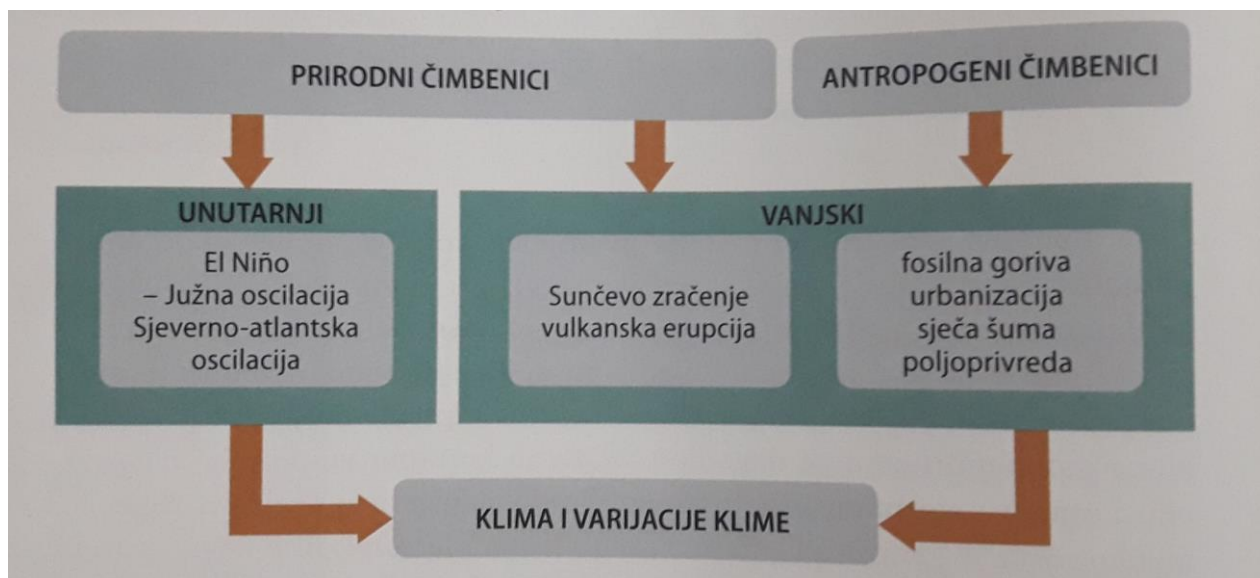


Slika 11. *Ochthera* sp. (www.flickr.com)

3. KLIMATSKE PROMJENE

3.1 Klimatske promjene

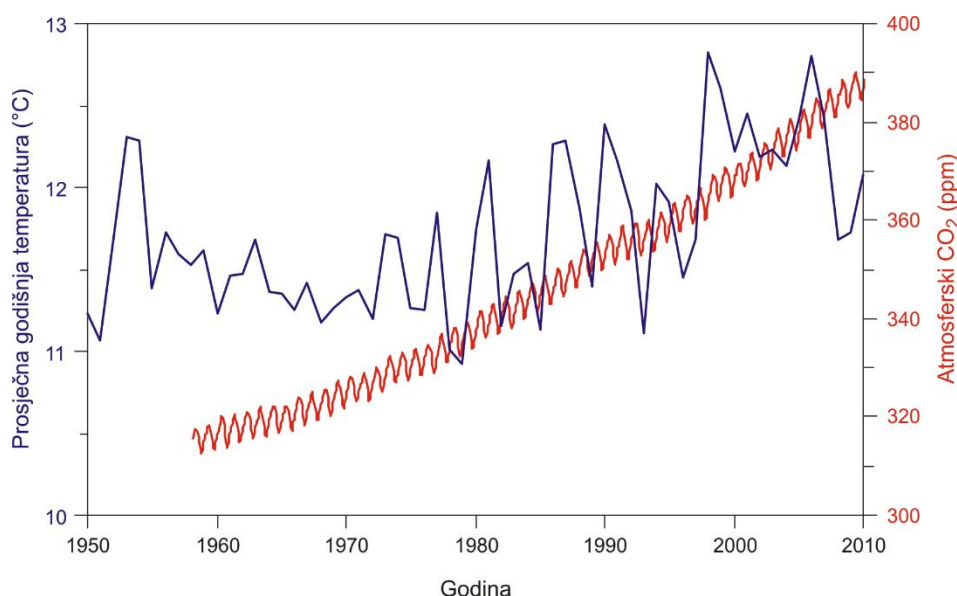
Klimatske promjene predstavljaju statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina (temperatura zraka, oborine, vjetrovi i dr.) koje traju desetljećima i duže, a izražene su na globalnoj ili pak regionalnoj razini. Varijabilnost klima može biti uzrokovana prirodnim i antropogeno uvjetovanim čimbenicima unutar samoga klimatskog sustava, koji označava djelovanje atmosfere, hidrosfere, kriosfere, tla i biosfere nekog područja, ili izvan njega (slika 12) (Herceg i sur. 2018).



Slika 12. Prirodne klimatske promjene (Herceg i sur. 2018)

Velike promjene klimatskih čimbenika koje se događaju u kratkom vremenu ne ostavljaju prostor za prilagodbu vrsta brzim promjenama unutar ekosustava te mogu biti katastrofične i dovesti do masovnih izumiranja. Globalno zatopljenje ima posljedice ne samo na položaj i veličinu areala već i na promjenu fenotipskih osobina (Herceg i sur. 2018).

Ljudi mijenjaju uvjete okoliša na mnogo načina istodobno kroz izgaranje fosilnih goriva, industrijske otpadne vode, vodu zapljene i preusmjeravanja, primjene pesticida i prakse korištenja zemljišta. Globalne atmosferske koncentracije CO₂ i drugih stakleničkih plinova se jasno povećavaju, a globalna klima pokazuje trend zagrijavanja (slika 13) (Keeling i sur. 1995).



Slika 13. Globalni trend porasta temperature i koncentracije CO₂ (<https://www.periodni.com>)

Samo u zadnjih 50 godina koncentracija ugljičnog dioksida se u zemljinoj atmosferi povećala za više od 20 %. Danas ona iznosi više oko 385 dijelova na milijun, dok je prije industrijske revolucije bila na razini od 280 dijelova na milijun. Rezultat svega toga je porast globalne temperature u zadnjih 50 godina za više od 0,5°C (Keeling i sur. 1995).

Kisele oborine uvelike smanjuju pH mnogih vodenih ekosustava u sjevernim umjerenim zemljama, s dramatičnim učincima. Krčenje šuma, dezertifikacija i druge promjene u regionalnim krajolicima fragmentiraju staništa i mijenjaju pogodnost staništa za organizme širom svijeta. Promijenjena drenaža utječe na temperaturu i kemijske uvjete vodenih ekosustava te na mogućnost organizama da se rasprostranjuju uzvodno ili nizvodno (Schowalter 2006).

Sve navedene promjene itekako utječu i mogle bi utjecati u bliskoj budućnosti na čitave zajednice vodenih kukaca. Pretpostavlja se povišenje temperature od 4°C na globalnoj razini što je jedan od najbitnijih ekoloških čimbenika kod većine organizama, pa tako i slatkovodnih kukaca. Najvjerojatnije je pomicanje biogeografskog područja obitavanja, no kako će to dugoročno utjecati na opstanak pojedinih vrsta sa sigurnošću se ne može reći (Sweeney 1992).

3.2 Utjecaj klimatskih promjena na bioraznolikost slatkovodnih kukaca

Klimatske promjene svakako utječu na sve organizme pa tako i slatkovodne kukce. Utjecaj je vidljiv u više segmenata, no najveći utjecaj ima porast temperature, abiotskog čimbenika koji utječe na više razina. Tako je npr. produljeno vrijeme parenja termofilnih kukaca (leptira i vretenca) koji produciraju više generacija godišnje (Herceg i sur. 2018). Znatno gori scenarij očekuje vrste koje se uslijed korištenja i fragmentacije staništa neće moći prilagoditi promjenama ili migrirati u prikladna područja. Posljedica bi mogla biti opadanje europske i globalne bioraznolikosti. Zbog izoliranosti, fragmentiranosti i antropogenog utjecaja kopnene vode se smatraju osobito osjetljivim na klimatske promjene. Ti ekosustavi izloženi su različitim pritiscima poput otapanja leda u planinama, promjena vodnog režima, povišenja temperature vode i saliniteta te opadanja kvalitete vode (Herceg i sur. 2018.)

Vode na kopnu čine 0.8 % površine Zemlje, ali su stanište za otprilike 10 % poznatih vrsta čija je bioraznolikost stavljena na rizik u globalnoj razini (Herceg i sur. 2018). Predviđa se povećanje temperature što označava promjenu rasprostranjenosti vrsta, posebno hladno – stenotermnih organizama koji će migrirati u hladnija sjeverna područja i na više nadmorske visine. Kako većina vrsta ima točno određeni areal prijete im izumiranje zbog

nepronalaska novog staništa (Herceg i sur. 2018).

Nadalje, biološka invazija vrsta toplijih područja, povišena koncentracija hranjivih tvari u vodama uslijed jačega ispiranja s kopna, povećana primarna produkcija i ostali poremećaji u hranidbenim lancima, pojačana eutrofikacija te smanjena koncentracija kisika u vodama su samo neki od poremećaja s kojima će se takvi ekosustavi u budućnosti boriti. Postoji dovoljno dokaza da klimatsko zagrijavanje utječe na distribuciju organizama, a mnoge studije pretpostavljaju postojanje izravnog odnosa između klimatskih promjena i bioloških invazija (Schowalter 2006).

Globalno zagrijavanje omogućuje nekim vrstama širenje svoje rasprostranjenosti. Nadalje, globalne klimatske promjene narušavaju strukturu zajednice i povećavaju gubitak autohtonih vrsta. Nedavna istraživanja dokazala su da su mnoge invazivne vrste dijele osobine koje im omogućuju iskoristiti različite elemente globalnih promjena. Na primjer, vjerojatnije je da će biti invazivnih vrsta generalista nego specifista, pa bi ih stoga moglo biti više u stanju prilagoditi se novim klimama. Biološke invazije su među glavnim uzrocima gubitka biološke raznolikosti, a trenutno predstavljaju drugi uzrok izumiranja životinja. Mnogo je primjera uspješnih invazija na unutarnjim vodama, ponajviše zato što su u slatkovodnim okruženjima mnoge ljudske aktivnosti, poput sporta i komercijalni ribolov, akvakulturne prakse, trgovina kućnim ljubimcima, i uzgoj krzna doveli do uvoza alohtonih vrsta (Fenoglio i sur. 2010).

Kukci su posebno osjetljivi na promjene temperature, dostupnost vode, i kemijski sadržaj zraka ili vode zbog njihovih relativno velikih omjera površine i volumena tijela. Uska ekološka valencija takvih organizama predstavlja najveći problem u daljnjem opstanku (Schowalter 2006).

Stoga održavanje optimalne tjelesne temperature, sadržaja vode i ostali kemijski procesi predstavljaju izazov za preživljavanje u promjenjivim sredinama. Kukci posjeduju izuzetnu raznolikost fizioloških i bihevioralnih mehanizama za preživljavanje u promjenjivim okruženjima (Herceg i sur. 2018).

4. ODGOVOR NA PROMJENU ABIOTSKIH ČIMBENIKA

Ponašanje predstavlja fleksibilniji način reagiranja na okolišne promjene u usporedbi s fiziologijom jer životinja može aktivno reagirati senzorne informacije kako bi se izbjegli ili ublažili smrtonosni uvjeti. Mobilni kukci imaju prednost nad sesilnim vrstama u izbjegavanju ili ublažavanju izloženosti ekstremnim temperaturama, dostupnosti vode ili kemijskim uvjetima. Neki se kukci također moraju boriti s varijabilnošću u kemijskim ili drugim abiotičkim uvjetima (Schowalter 2006).

Kukci kao i drugi beskralježnjaci općenito su heterotermički što znači da su njihove temperature tijela prvenstveno određene temperaturom okoline. Stope metaboličke aktivnosti (dakle, energije i fluksa ugljika) općenito se povećavaju s temperaturom (Schowalter 2006).

Viša temperatura povezana s globalnim zagrijavanjem može povećati metaboličke stope vodenih kukaca što zauzvrat može utjecati na ukupnu energiju pojedinog kukca. Na primjer, primijećen je značajan (> 50 %) gubitak tjelesne težine povezan s dijapauzom ličinke pojedinih vodenih kukaca tijekom ljetnih mjeseci. Ovaj gubitak težine tijekom razdoblja bez hranjenja i malo ili nimalo razvoja ukazuje na znatnu metaboličku potrošnju pohranjenih rezervi. Pod pretpostavkom da brzina metaboličke potrošnje raste s porastom temperature i da količina skladištene energije je fiksna na početku dijapauze, zagrijavanje od 4 ° C tijekom dijapauze može povećati metaboličku potražnju za 40 % i za posljedicu ima smrt zbog iscrpljenosti zaliha energije. Dakle, više temperature mogu uzrokovati fiziološke nevolje zbog povećanja metabolizma (Sweeney 1992).

Kopneni i vodeni kukci reagiraju na nakupljanje toplinskih jedinica (zbroy stupanjskih dana iznad temperature praga). Antropogeni uvjeti mogu značajno mijenjati toplinske uvjete, posebno u vodenim staništima. Pražnjenje zagrijane vode, umjetno miješanje toplinskih slojeva, odlaganje, preusmjeravanje, regulacija razine i protoka vode, te otvaranje krovne konstrukcije u priobalnim zonama, kroz žetvu ili ispašu, ozbiljno modificiraju toplinsko okruženje za vodene vrste i pogoduju vrstama otpornim na toplinu, dok negativno utječu na vrste koji nisu tolerantni na toplinu (Ward i Stanford 1982).

Termoregulacija se također može postići i ponašanjem. Različite studije pokazuju raznolikost kukaca sposobnih za termoregulaciju kroz aktivnosti koje generiraju metaboličku toplinu kao što je širenje krila i savijanje trbuha (Casey 1988). Let može povisiti tjelesnu

temperaturu za 10–30 ° C iznad okoline. Vodeni kukci se kreću vertikalno i vodoravno unutar gradijenta temperature za odabir optimalnog položaja temperature (Ward 1992). Na primjer, vrsta koja obično leti poslijepodne, ako temperatura nije unutar gradijenta, poseže za letom ranije ili kasnije kada je temperatura hladnija ili, u ekstremnim slučajevima, let može biti potpuno spriječen. Suprotno tome, razdoblja leta (sezona) nekih vrsta koje su često ograničene hladnim temperaturama (npr. noću, u ranim satima ujutro ili u rano proljeće) mogu se proširiti zbog toplije temperature. Te promjene u periodičnosti leta mogle bi utjecati na mnoge aspekte reproduktivnog ponašanja, uključujući vremenske barijere koje doprinose reproduktivnoj izolaciji usko povezanih vrsta (Casey 1988).

Održavanje homeostatske ravnoteže vode također je izazov za organizam s visokim omjerima površina prema volumenu. Veći, jako sklerotizirani člankonošci manje su podložni isušivanju, ali su manje osjetljive vrste (Kharboutli i Mack 1993). Čuvanje vode je pod hormonalnom kontrolom kod nekih vrsta. Kukci i ostali člankonošci su najranjiviji na isušivanje u vrijeme kada formira se novi egzoskelet (tijekom izlučivanja iz jaja i tijekom dijapauze). Ravnoteža vode također se može održati u ponašanju, do određene mjere, povlačenjem na hladnija ili vlažnija područja kako bi se spriječilo isušivanje (Schowalter 2006).

Kemija zraka i vode utječe na fiziologiju kukaca. Opskrba kisikom je od ključne važnosti pod određenim uvjetima. Kemikalije mogu utjecati na disanje i razvoj. PH može utjecati na tlo, vodu, funkciju egzoskeleta i druge fiziološke procese. Promjene koncentracija raznih kemikalija, osobito pogođenih industrijskim aktivnostima, utječu na mnoge slatkovodne kukce. Opskrba kisikom može ograničiti aktivnost i opstanak vodenih vrsta. Manje kisika može ostati otopljen u toploj vodi nego u hladnoj. Neke vrste kukaca koje žive u okolišu siromašnim kisikom imaju učinkovitije sustave za dovod kisika, kao povećana opskrba trahejama, škrgama., itd. (Schowalter 2006).

Za razliku od većine tvari, topivost plinova (uključujući kisik) u vodi općenito opada kako temperatura vode raste. Ličinke pokazuju razna ponašanja kao odgovor na niske koncentracije kisika. Povišenje temperature od 4 °C povezano s globalnim zagrijavanjem rezultirat će relativno malim smanjenjem koncentracije otopljenog kisika (približno 10 %) (Sweeney 1992).

Čini se da povećani atmosferski CO₂ ima mali izravni učinak na kukce. Međutim, razmotreno je relativno malo vrsta u pogledu obogaćivanja CO₂. Fluoridi, spojevi sumpora, dušik oksidi i ozon izravno utječu na mnoge vrste kukaca stvarajući poremećaje epikutikularnih ili spirakutikularnih tkiva (Heliövaara 1986). PH tla i vode utječe na različite kemijske reakcije,

uključujući enzimsku aktivnost. Promjene u pH vrijednostima zakiseljavanjem (npr. iz vulkanske ili antropogene aktivnosti) utječu na osmotsku razmjenu, škrge i probavne procese u kukaca. Promjene u pH često su povezane s drugim kemikalijama kao što je povećanje dušika ili sumpora (Schowalter 2006).

Iz svega navedenoga nužno je zaključiti da slatkovodni kukci kao i svi organizmi reagiraju na klimatske promjene, bilo one izazvane čovjekom ili prirodom. Od svih abiotskih čimbenika najviše utječe porast temperature, koji utječe na sve razvojne stadije, pogotovo stadij ličinke. Promjene ponašanja koje su stekli evolucijski su odgovor na promjenu abiotskih čimbenika. No, promjena ponašanja koja nije u okviru njihove ekološke valencije svakako utječe na njihovu bioraznolikost. Smanjenje broja pojedinih skupina slatkovodnih kukaca koje se ne uspiju prilagoditi navedenim promjenama u budućnosti će utjecati na čitav ekosustav s obzirom na njihovu bitnu ekološku ulogu.

LITERATURA

Abir M.A.S., Ali S., Urme S.R.A., Poly I.J.K., 2018. Impact of climate change on insect biodiversity: a review. *Global Change Biology* 26, 13-16.

Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D., Stribling J.B., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. EPA/841-B-99-002. U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C., pp. 197-234.

Bonada N., Dolédec S., Statzner B., 2007. Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology* 13, 1658-1671.

Brigham W.U., 1982. Aquatic Neuroptera. In A.R. Brigham, W. U. Brigham and A. Gnilka (eds). *Aquatic Insects and Oligochaetes of North and South Carolina*. Midwest Aquatic Enterprises, Mahomet, Illinois, pp. 181-203.

Burgmer T., Hillebrand H., Pfenninger M. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151, 93-103.

Casey T.M., 1988. Thermoregulation and heat exchange. *Advances in Insect Physiology* 20, 119-146.

Dahl.C., 1997. Diptera Culicidae, Mosquitoes. In A. Nilsson (ed.): *The Aquatic Insects of North Europe* 2, Apollo Books, Stenstrup, pp. 67-83.

Feehan J., Harley M., Minnen J., 2009. Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrialecosystems and biodiversity. A review. EDP Sciences, *Agronomy for Sustainable Development* 29, 409-421.

Fenoglio S. , Bo T., Cucco M., Mercalli L., Malacarne G., 2010. Effects of global climate change on freshwater biota: A review with special emphasis on the Italian situation, *Italian Journal of Zoology* 77, 374-383

Hannah L. 2015. The climate system and climate change. Second Edition. Climate Change Biology, Academic Press, London, pp. 13-50.

Heliovaara K., 1986. Occurrence of *Petrova resinella* (Lepidoptera: Tortricidae) in a gradient of industrial air pollutants. *Silva Fennica* 20, 83-90.

Herceg N., Stanić-Koštrovan S., Šiljeg M., 2018. Čovjek i okoliš. Hrvatska akademija za znanost i umjetnost Bosne i Hercegovine, Mostar; Sveučilište Sjever, Koprivnica, pp. 180-183.

Keeling C.D., Whorf T. P., Wahlen M., Plicht J.D., 1995. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980, *Nature* 375, 666-670.

Kharboutli M.S., Mack P., 1993. Effect of Temperature, Humidity, and Prey Density on Feeding Rate of the Striped Earwig (Dermaptera: Labiduridae). *Environmental entomology* 20, 11-192.

Morse J.C., 2017. Biodiversity of Aquatic Insects. *Insect Biodiversity*, pp. 205-227.

Polhemus J.T., 2008. Aquatic and semiaquatic Hemiptera. In Merritt R.W., Cummins K.W., Berg M.B. (eds). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, pp. 385-423.

Schowalter T.D., 2006. Responses to Abiotic Conditions. *Insect Ecology* 2, 17-52.

Stewart K.W., Stark B.P., 2008. Plecoptera. In R. W. Merritt, K. W. Cummins and M. B. Berg (eds). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, pp. 311-384.

Sweeney B.W., Jackson J.K., Newbold J.D., Funk D.H., 1992. Climate Change and the Life Histories and Biogeography of Aquatic Insects in Eastern North America. Firth and S. G. Fisher (editors). *Global climate change and freshwater ecosystems*. Springer-Verlag, New York, New York, pp. 143-176.

Tennessen K.J., 2008. Odonata In R. W. Merritt, K. W. Cummins and M. B. Berg (eds). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, pp. 237-294.

Unzicker J.D., Resh V.H., Morse J.C., 1982. Trichoptera. In A. R. Brigham, W. U. Brigham and A. Gnilka (eds). Aquatic Insects and Oligochaetes of North and South Carolina. Midwest Aquatic Enterprises, Mahomet, Illinois, pp. 91-113.

Ward J.V., Stanford J.A., 1982. Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects, *Annual Review of Entomology* 27, 97-117.

White D.S., Roughley R.E. 2008. Aquatic Coleoptera. In R. W. Merritt, K. W. Cummins and M. B. Berg (eds). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 4th edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa. pp. 571–669.

Zwick P., 2003. 8. Ordnung Plecoptera, Steinfliegen, Frühlingsfliegen, Uferfliegen. In A. Kaestner (ed). Lehrbuch der Speziellen Zoologie, 2. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin., pp. 144 -154.

<https://www.biodiversidadvirtual.org>

<https://www.bugguide.net>

<https://www.flickr.com>

<https://www.en.wikipedia.org>

<https://www.hr.wikipedia.org>

<https://www.periodni.com>

<https://www.plecoptera.speciesfile.org>

<http://www.svartberg.org>

<http://www.troutnut.com>

<https://www.wikimedia.org>

SAŽETAK

Vode na kopnu čine 0.8 % površine Zemlje, ali su stanište za otprilike 10 % poznatih vrsta čija je bioraznolikost stavljena na rizik u globalnoj razini. Veliku većinu takvih staništa sačinjavaju slatkovodni kukci. Najčešće susrećemo dvokrilce, vodencvjetove, vretenca, obalčare, polukrilce, muljare, tulare, opnokrilce, kornjaše i leptire. Oni su pod utjecajem abiotičkih uvjeta koji odražavaju gradijente širine, temperature i vlage te kemijskih karakteristika zraka i tla. Vodeni biomi se razlikuju po veličini, dubini, brzini protoka i morskom utjecaju (npr. jezera, potoci, rijeke, ušća). Uvjeti okoline nisu statični, već se mijenjaju sezonski i godišnje. Mnogi kukci imaju u velikoj mjeri neočekivanu fiziološku sposobnost za borbu s ekstremnim temperaturama i relativnom vlažnošću u najtežim ekosustavima planeta. Mnoge vrste pokazuju najmanje ograničenu homeostatsku sposobnost (tj. sposobnost reguliranja unutarnje temperature i sadržaja vode). Neke su vrste sposobne brzo regulirati tjelesnu toplinu ili sadržaj vode kontrakcijom mišića, uzdizanjem tijela iznad vrućih površina, traženjem sjene ili iskopavanjem. Biološka invazija vrsta toplijih područja, povišena koncentracija hranjivih tvari u vodama uslijed jačega ispiranja s kopna, povećana primarna produkcija i ostali poremećaji u hranidbenim lancima, pojačana eutrofikacija te smanjena koncentracija kisika u vodama su samo neki od poremećaja s kojima će se takvi ekosustavi u budućnosti boriti. Pred slatkovodnim ekosustavima dolazi velik izazov suprotstavljanju klimatskim promjenama koje se događaju zadnjih 100 godina, a i nastavljaju sve većim intenzitetom kroz neodređeni period pod pretpostavkom povećanja temperature za 4 °C, abiotskog čimbenika na koji su kukci najviše osjetljivi.

SUMMARY

Onshore waters make up to 0.8 % of the Earth's surface, but they are home to approximately 10 % of known species whose biodiversity is at risk globally. The vast majority of such species are freshwater insects. Most often we find flies, mayflies, odonates, shorebirds, true bugs, megalopterans, caddisflies, hymenopterans, beetles and butterflies. They are influenced by abiotic conditions that reflect the gradients of latitude, temperature and humidity, and the chemical characteristics of air and soil. Aquatic habitats vary in size, depth, flow rate, and marine impact (e.g. lakes, streams, rivers, estuaries). Environmental conditions are not

static, but change seasonally and annually. Many insects have a largely unexpected physiological ability to cope with extreme temperatures and relative humidity in the planet's most difficult ecosystems. Many species exhibit at least limited homeostatic ability (i.e. ability to regulate internal temperature and water content). Some of them are capable of quickly regulating body heat or water content by contracting muscles, lifting the body above hot surfaces, seeking shade, or excavating. Biological invasion of warm-area species, higher concentrations of nutrients in water followed by strong flushes with land, increased primary production and other disturbances in food chains, eutrophication occurred and decreased oxygen concentration in water are some of the disturbances that will such ecosystems face in future. Freshwater ecosystems face the great challenge of confronting climate change that has been occurring for the past 100 years, and continues to increase in intensity over an indefinite period with prediction of 4 °C temperature rise, abiotic condition that has most effects on insects.