

Protok energije između vodenih i kopnenih ekosustava: leteća izmjena igrača

Čulig, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:217:012567>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEU ILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATI CI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

**PROTOK ENERGIJE IZME U VODENIH I KOPNENIH
EKOSUSTAVA: LETE A IZMJENA IGRA A**

**ENERGY FLOW BETWEEN AQUATIC AND TERRESTRIAL
ECOSYSTEMS: FLYING SUBSTITUTION OF PLAYERS**

SEMINARSKI RAD

Petra ulig

Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: doc. dr. sc. Marko Miliša

Zagreb, 2014.

Sadržaj

1. UVOD	2
2. ORGANSKA TVAR U RIJECI.....	3
2.1. Porijeklo organske tvari.....	3
2.1.1. Alohtoni unos.....	3
2. 1. 2. Zadržavanje i odlaganje	4
2. 2. Razgradnja organske tvari	5
2.2.1. Ispiranje.....	5
2. 2. 2. Omekšavanje.....	6
2. 2. 3. Fragmentacija.....	7
3. VODENI KUKCI	8
3. 1. Emergencija kukaca.....	8
3. 2. Vodeni kukci kao izvor hrane.....	9
3. 3. Utjecaj kakvo e liš a na emergenciju	10
4. ZAKLJU AK	12
5. LITERATURA.....	14
6. SAŽETAK.....	18
7. SUMMARY	18

1. UVOD

Dinamika procesa u nekom ekosustavu rijetko je ograničena samo na njegove unutrašnje imbenike. Ekosustav je heterogena skupina staništa koja se razlikuju prema ekološkim obilježjima kao što su vrsta i oblik podloge, temperatura, svjetlost, nutrijenti, produktivnost i raznolikost vrsta. Protok tvari i energije između staništa i ekosustava može znatno utjecati na lokalne populacije, biocenozu te hranidbenu mrežu.

Pojedine hranidbene mreže unutar staništa usko su povezane s protokom energije koja prelazi granice staništa. Prijenos tvari i organizama preko dodirne linije staništa može imati ključan utjecaj na strukturu zajednice. Energija naravno kola u svim smjerovima, ali općenito se može ustvrditi da neto izmjena energije teže od produktivnijih prema manje produktivnim staništima (sustavima). Unos resursa u neko stanište povećava produktivnost tog staništa.

Istraživanja se uglavnom bave jednosmјernim gibanjem energije. Međutim, sezonski vrhunci produktivnosti razlikuju se među staništima te se neto protok energije među njima može obrnuti. Dva staništa tako mogu uzajamno izmjenjivati resurse (Nakano i Murakami 2000).

Recipročne izmjene energije od velike su važnosti za tekuće u šumskim područjima umjerenih pojasa. Glavne okolišne odrednice tih staništa, svjetlost i temperatura, znatno variraju tijekom godine, a s njima i smjer kretanja resursa. Gorski (šumski) vodotoci uglavnom su oligotrofna staništa s niskom primarnom proizvodnjom i uvelike ovise o alohtonom unosu organske tvari (Vannote i sur. 1980). Najveći dio unesenog materijala čini otpalo lišće s okolnih stabala koje osigurava hranu i stanište za vodene beskralježnjake (Petersen i Cummins 1974.; Vannote i sur. 1980). S druge strane, vodeni kukci koji izlaze iz rijeke predstavljaju hranu za priobalne predatore ptice, (šišmiše, guštare, pauke u određeno doba godine (Compson i sur. 2013). Na taj način rijeka i okolno područje trofici su povezani, a sezonske promjene u dotoku resursa mogu znatno utjecati na njihove konzumente.

Postoje brojna istraživanja o razgradnji otpalog lišća u vodi, no malo je poznato kako kakvo je otpalog lišće utječe na obrasce izljetanja kukaca na površinu. Ovaj će rad dati pregled nekih dosadašnjih saznanja o porijeklu i sudsudbini otpalog lišća u rijeci, okolišnim

imbenicima koji utje u na izlijetanje vodenih kukaca te pokušati povezati kvalitetu liš a s dinamikom emergencije.

2. ORGANSKA TVAR U RIJECI

Velik dio prou avanja ekologije zajednica loti kih ekosustava otpada na istraživanje unosa, na ine zadržavanja i nakupljanja organske tvari te procese razgradnje detritusa u vodotocima. Najzna ajnije spoznaje tih istraživanja odnose se na povezanost kopna i vode te važnosti održavanja produktivnosti u malim šumskim tokovima koji ve inu energije dobivaju unosom materijala s produktivnijeg kopna.

Dva su mogu a izvora organske tvari u slatkovodnim ekosustavima: autohtona proizvodnja fotosintezom unutar korita ili alohtoni unos tvari iz okolnih staništa. Šumski vodotoci uglavnom su zasjenjeni krošnjama stabala te imaju nisku i konstantnu temperaturu što ograni ava primarnu proizvodnju. U tom slu aju, autohtoni izvori organske tvari minimalno doprinose energetskim zalihama u rije nom koritu. Me utim, primarni proizvo a i mogu imati utjecaja na funkcioniranje tih ekosustava kroz složene odnose razлага a i detritivora (Danger i sur. 2013).

2.1. Porijeklo organske tvari

2.1.1. Alohtoni unos

Unesena organska tvar je biljnog podrijetla - liš e i fragmenti liš a, cvjetni dijelovi, kora, drvo, plodovi i ostali biljni dijelovi. Iako sastav alohtone organske tvari varira s tipom vegetacije i lokacijom, najve i dio ini otpalo liš e, odnosno listinac. On služi kao temeljni izvor energije za vodenu hranidbenu mrežu. Koli ina unesene organske tvari iz šume u vodotok zna ajno koleba te ovisi o ekološkim i biološkim imbenicima kao što su klima, vegetacija, vrsta tla, vrsta priobalne vegetacije, starost biljaka (prvenstveno stabala), i morfološke karakteristike rije nog korita.

Najve a koli ina alohtone organske tvari u e u rijeku u odre eno doba godine što ovisi o fenologiji dominantne vrste drve a. U listopadnim šumama umjerenog pojasa godišnji unos najve i je u jesen (Abelho 2001).

Unos alohtone organske tvari u vodotok ne ovisi samo o koli in i liš a otpalog s obližnje krošnje ve i o fizi kim obilježjima obalnog podru ja i rije nog toka te o veli in i toka. Ve a koli ina alohtone organske tvari u e u rije ni tok u slu aju kad rijeka protje e kroz šumu tj. kad je priobalna zona uža. Koli ina alohtone organske tvari koja ulazi u rijeku s priobalne zone je manja (Campbell i sur. 1992). Manji vodotoci primaju relativno ve u koli inu alohtone organske tvari nego ve i vodotoci (Benfield 1997). U ve i vodotok ulazi manji postotak liš a dok je postotak drva ve i u ve im vodotocima (Cillero i sur. 1999).

2. 1. 2. Zadržavanje i odlaganje

Zbog jednosmjernog protoka vode kroz loti ki ekosustav, listinac se transportira u nizvodne dijelove rijeke. Nakon što otpalo liš e bude uneseno u vodotok kre e se zajedno s vodom te je tako od male koristi za stanovnike rijeke osim ako se nekako ne zadrži (Dobson i Fried 1998). Zadržavanjem, listinac postaje dostupan za korištenje živom svijetu u vodi.

Zadržavanje unesene alohtone organske tvari u vodotoku ovisi i o hidrološkim prilikama i obilježjima podloge. Zadržavanju organske tvari doprinose ve e nepravilnosti i vijugavost korita, nakupine organskih krhotina, broj slapišta odnosno ujezerenja, ve a izloženost podlozi te manji protok vode (Raikov i sur. 1995; Diez i sur. 2000). Kanalizirani tokovi imaju nizak kapacitet zadržavanja organske tvari zbog malo sredstava zadržavanja (Haapala i Muotka 1998).

Mjesta su zadržavanja listinca u vodotoku brane nastale od nanosa krhotina organskog podrijetla (Chergui i sur. 1993). Brane pove avaju u inkovitost procesiranja listinca u manje frakcije što pove ava broj korisnih izvora energije. Raznolikost i brojnost mikrostaništa nastalih na akumilacijama krhotina doprinose ve oj gusto i makrozoobentosa i raznolikosti vrsta (Gerhard i Reich 2000).

U gornjim dijelovima toka gdje ima više brana i granica u vodi lakše se zadržava fleksibilno i široko liš e dok se u donjim dijelovima toka s više oblutaka lakše zadržava tvrdo liš e (Chergui i sur. 1993). To zna i da u inkovitost zadržavanja ovisi o me udjelovanju izme u vrste liš a i strukture na kojoj se zadržava (Abelho 2001).

2. 2. Razgradnja organske tvari

Krupna usitnjena organska tvar, CPOM (eng. *coarse particulate organic matter*) nakon što uđe u vodotok u procesu ispiranja (eng. *leaching*) oslobađa otopljeni organski materijal, DOM („dissolved organic matter“). Fizikalnom abrazijom ili biološkom razgradnjom usitnjava se u fino usitnjenu organsku tvar, FPOM (eng. *fine particulate organic matter*) i vrlo finu usitnjenu organsku tvar, UPOM (eng. *ultrafine particulate organic matter*), ugrađuju se u biomasu heterotrofa i/ili metabolizira do CO₂. Većina unesenog CPOM-a pretvori se u FPOM, UPOM ili DOM koji su pogodniji za nizvodni transport (Cuffney i sur. 1990).

Ostaci viših biljaka u vodi se razgrađuju u tri faze: ispiranjem, omekšavanjem i fragmentacijom. Ispiranjem se gube topljive tvari, omekšavanje karakteriziraju kolonizacija mikroorganizama i truljenje, a fragmentacija se odvija fizikalnom abrazijom ili komadanjem beskralješnjaka koji se hrane krupnim esticama.

estice se mogu i okrupniti i to tako da procije iva i koji se hrane ultrafinim esticama probavom stvaraju fekalne pelete (zrnca) većih dimenzija nego što je unesena hrana.

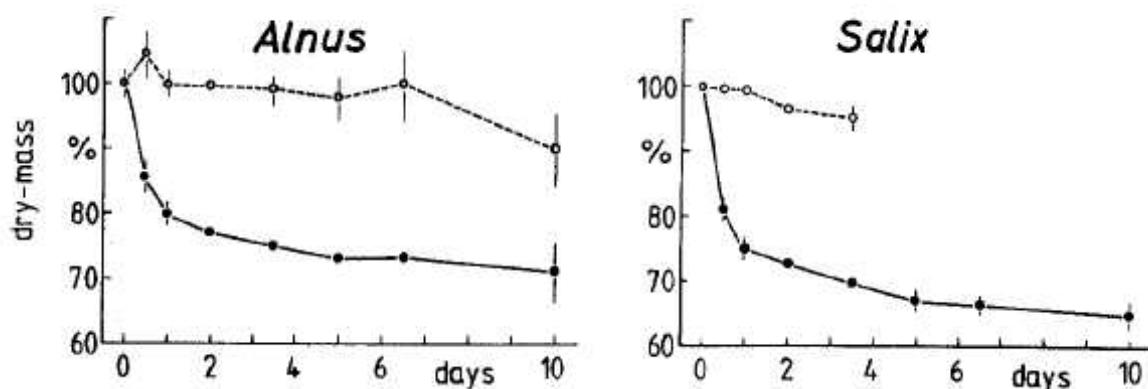
2.2.1. Ispiranje

Ispiranje topivih tvari iz lišća odvija se nakon što ono uđe u vodotok te se odvija uglavnom tijekom prva 24 sata (Nykvist 1933). Trajanje varira do 7 dana te može rezultirati u gubitku 4 - 42% po težine mase (Abelsohn 2001). Proces je potpuno abiotički, a njime se gube jednostavniji organski spojevi kao što su še eri, karboksilne kiseline, aminokiseline te fenolni spojevi (Nykvist 1963; Petersen i Cummins 1974), ali i važni elementi poput fosfora i kalija (Tukey 1970; Jensen 1974).

Većina CPOM-a uglavnom u obliku listinaca, postaje dostupna riječnoj zajednici neposredno nakon otkinutja sa stabla (Fisher 1977; Conners i Naiman 1984), prema tome u svježem stanju. Manji dio lišća u rijeku ulazi već osušen i to uglavnom nošen vjetrom s obale. Rezultati istraživanja ispiranja na svježem i suhom lišću razlikuju se. Suho lišće je puno brže gubi na masi u procesu ispiranja u odnosu na svježe lišće (Gessner i Schwoerbel 1989). Lišće se većine listopadnog drveća nakon apscizije nije mrtvo već zadržava svoju cjelovitost i

vitalnost. Kutikula i epikutikularni voskovi zbog svoje hidrofobne prirode u inkovito štite topljive stani ne sastojke od prodiranja vode. Sušenjem, biljno se tkivo nepovratno ošte uje, a kutikularni se pokrov gubi ili mijenja što dovodi do bržeg ispiranja. Slika 1. prikazuje razliku u gubitku mase između svježeg i suhog lišća johe (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i vrbe (*Salix fragilis* L.). Lišće obiju vrste brže gubi na masi kad je osušeno.

Sprjeavanjem ispiranja topljivih spojeva, lišće zadržava visoku nutritivnu vrijednost. Svježe lišće tako predstavlja dobar izvor hrane slatkovodnim beskralješnjacima i mikroorganizmima te omekšavanje ne mora biti nužno za privlačenje detritivora. Veliku sposobnost zadržavanja hranjivih tvari imaju joha i vrba, najviše drvenaste vrste priobalne zone (Gessner i Schwoerbel 1989). Za razliku od njih, s hrasta i bukve otpada već suho i smeđe lišće koje je sklonije ispiranju (Nykvist 1963).



Slika 1. Kinetika ispiranja svježeg (-----) i suhog (•----•) lišća johe i vrbe (iz Gessner i Schwoerbel 1989)

2. 2. 2. Omekšavanje

Kolonizacija lišća mikroorganizmima kao što su gljive i bakterije može potići i prije unosa u vodotok. Najvažnija skupina gljiva koja naseljava listinac u vodi su hypomicete. Njihovo naseljavanje počinje ubrzo nakon potapanja lišća te one dominiraju u prvoj fazi mikrobne razgradnje. Biomasa gljiva opada odmicanjem procesa nakon postizanja vrhunca naseljavanja (Bärlocher i Kendrick 1974) dok biomasa bakterija konstantno raste, međutim bakterije ne zamjenjuju gljive, već ih samo nadopunjaju svojim djelovanjem (Baldy i sur. 1995). Biomasa gljiva može initi 94 - 100%, a produkcija gljiva može initi 20 - 45% ukupne mikrobne proizvodnje ovisno o obilježjima lišća, vodotoka i vrsti gljiva (Baldy i

Gessner 1997). Važnost bakterija u procesu razgradnje raste što estice organske tvari postaju manje. Mikroorganizmi stimuliraju razgradnju liša izravno, omekšavaju i tkivo, metaboliziraju i ga te ugra uju i ga u vlastitu biomasu putem sekundarne proizvodnje i neizravno, pove avaju i probavlјivost detritusa za kukce usitnjiva e (Bärlocher 1992).

Hyphomycete proizvode enzime za razgradnju biljnog tkiva. Za hidrolizu polisaharida ispuštaju pektinaze, hemicelulaze i celulaze. Međutim, hemiceluloza i celuloza mogu fizički i kemijski biti povezane s ligninom tvore i lignoceluluzu, vrst kompleks koji hemiceluluzu i celuluzu čini manje izloženima djelovanju enzima. Stoga u procesu razgradnje na važnosti dobivaju neke bakterije koje mogu razgraditi lignoceluluzu (Benner i sur. 1985).

Imbenici koji utječu na djelovanje mikroorganizama u procesu razgradnje kemijska su svojstva vode, temperatura vode, kemijska te struktura svojstva liša. Tako kiseli okolišne pogoduje rastu gljiva, dok više otopljenih nutrijenata stimulira rast i razmnožavanje mikroorganizama. Niske razine otopljenog dušika i fosfora ograničuju rast gljiva (Abelho 2001). Viša temperatura pogoduje rastu gljiva (Rowe i sur. 1996). Što se tiče kemijskog sastava liša, fenolni su spojevi odbijaju i za mikroorganizme, a njihovo djelovanje nastavlja se i nakon apscizije listova. Prepreke su mikroorganizmima takoči kutikula i vrsta epiderma (Gessner 1989). Različita površina listova određuje sastav gljiva ovisno kako spore različitih vrsta gljiva prijanjaju za površine različitih vrsta liša (Abelho 2001).

2. 2. 3. Fragmentacija

Fragmentacija odnosno raspadanje listinca na manje dijelove posljedica je fizike abrazije ili djelovanja usitnjiva, a potpomognuta je omekšavanjem. Listinac se može rasprgnuti nošen strujom preko hraptavih površina, a razina raspada ovisi o protoku vode, brzini struje i turbulentnosti, ali i o vrsti liša. Dok je fizika fragmentacija manje istražena uočena je važnost usitnjiva. Usitnjiva je skupina vodenih kukaca koji koloniziraju listinac i hrane se njime. Oni najviše pridonose fragmentaciji tijekom proljeća i ljeta kad je njihova abundancija najveća (Graça i sur. 2001).

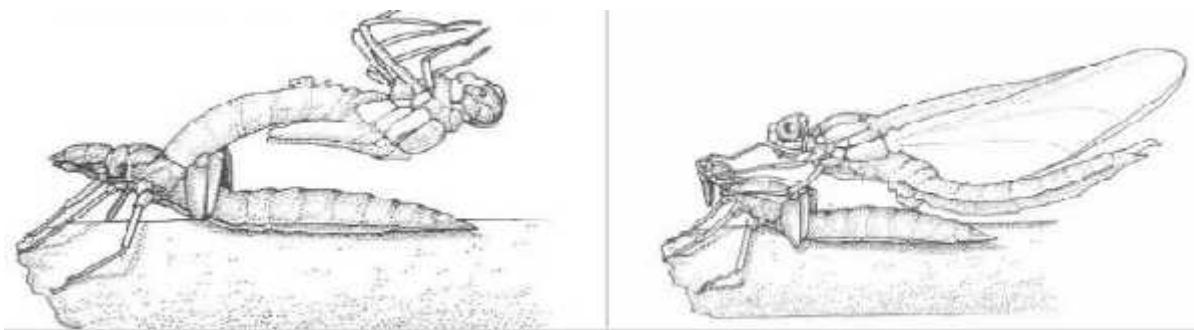
3. VODENI KUKCI

Kukci u vodenim ekosustavima svrstavaju se u hranidbene funkcionalne skupine koje se koriste kao ekološke jedinice umjesto biocenološkog pristupa analiziranjem vrsta. U tim skupinama kukci su kategorizirani prema načinu hranja i funkciji koju imaju u ekosustavu. U nisko produktivnim ekosustavima gdje je razgradnja detritusa glavni izvor energije važnu kariku predstavljaju usitnjiva i, skupina kukaca koja se hrani otpalim biljnim materijalom te ga koristi kao stanište (Hershey i sur. 2009).

3. 1. Emergencija kukaca

Emergencija je proces u kojem se nimfe hemimetaboličkih vodenih kukaca preobražavaju u odrasle jedinke te u kojem iz kukuljica holometaboličkih kukaca izlaze odrasle jedinke i izljev u vodu. Time počinje zadnja faza njihovog života u kojoj se razmnožavaju. Emergencija je vrlo opasan proces u kojem je tijelo kukca izloženo velikim naporima (Graham i Vinebrooke 2007). Kukac izlazi iz vode i ima mekanu kutikulu (Sl. 2.) te mora ekati dok mu se ne osuše krila kako bi mogao poletjeti (Gullan i Cranston 2005). U toj fazi njihova smrtnost najveća, a najveća prijetnja su im priobalni predatori (<http://aps.group.shef.ac.uk/level-4-web-sites/14-students-09/jaggard-sarah/forthyr-dissertation-for-website.pdf>).

Ephemeroptera (vodencvjetovi), Plecoptera (obalačari) i Trichoptera (tulari) (EPT) obično emergiraju od svibnja do lipnja, a Diptera (dvokrilci) u toplijim mjesecima (Baxter i sur. 2005). U prosjeku, 10 000 - 20 000 kukaca po metru kavadratnom emergira godišnje. Nakon emergencije slijedi rasprostranjivanje i osvajanje novih staništa u potrazi za hranom ili partnerom (Malmqvist 2002). Neki se kukci ipak roje vrlo blizu staništa s kojeg su izletjeli – prvenstveno se radi o stenovalentnim kukcima koji obitavaju na izvorišnim područjima. Lateralna disperzija važna je u odnosu prema predatorima jer kad napuste relativnu sigurnost vodenog staništa susreće se s novim predatorima (<http://classes.warnercnr.colostate.edu/fw400/files/2011/09/FW400-Terr-Aquat-Linkages-magazine-2008.pdf>). Na emergenciju kukaca najviše utječe temperatura vode i fotoperiod koji potiče u razvoj ličinka. Na staništima s relativno stalnom temperaturom vode važnu ulogu ima trajanje izloženosti Sunčevu svjetlu (Ivković i sur. 2013).



Slika 2. Emergencija vodencvijeta: rastvaranje kutikule na dorzalnom dijelu i odrasli kukac pred polijetanje (Preuzeto i prilago eno iz Gullan i Cranston 2005).

3. 2. Vodeni kukci kao izvor hrane

Kukci koji emergiraju predstavljaju važan izvor hrane priobalnim grabežljivcima, a posebno su prikladni u odre ena doba godine kad je biomasa kopnenih kukaca manja (Nakano i Murakami 2001). Kao dodatna hrana važni su za ptice, guštere, šišmiše, ali i lankonošce poput pauka i insektivornih kukaca (Paetzhold i sur. 2005). Vodeni kukci mogu initi glavninu prehrane priobalnim paucima te se biomasa pauka smanjuje kako raste udaljenost od rijeke (Baxter i sur. 2005; Burdon i Harding 2008). Gusto a populacija ptica koje se hrane kukcima, bilo u zraku (npr. muharice) bilo skupljaju i ih s liš a, tako er je ve a u priobalnom podru ju. Emergiraju i kukci ine velik dio njihove prehrane (Gray 1993; Iwata 2003). Gušterima su ovi kukci tako er važan plijen. U vrijeme emergencije, gušteri prije u s kopnenih izvora hrane na vodene kukce (Sabo i Power 2002).

Prepletenim se rijekama glavni tok ra va na više manjih tokova koji su odijeljeni šljun anim nanosima. Takve rijeke karakterizira visok omjer površine priobalne zone naspram površine vodotoka. Šljun ane obale naseljavaju insektivorni lankonošci, najve im dijelom pauci, kornjaši iz porodica Staphylinidae (kusokrilci) i Carabidae (tr ci) te mravi (Paetzhold i sur. 2005). Glavninu energije dobivaju konzumiraju i vodene kukce. Vodeni kukci ispužu na šljun ane obale gdje se neko vrijeme zadrže suše i krila te tako bivaju lagan plijen prizemnih lankonožaca. Priobalni lankonošci su pak trofi ka spona s višim trofi kim razinama jer su hrana gušterima, šišmišima, rovkama i pticama (Thiele 1977; Forster i Forster 1999).

Razli ite skupine vodenih kukaca emergiraju u razli ito doba godine te su tako nisu stalan izvor hrane kopnenim predatorima. To utje e i na gusto u predatora duž obale. Potrebe

obalnih predatora za vodenim izvorima hrane tako er variraju tokom godine, no taj fenomen bolje objašnjava razli ita dostupnost kopnenih izvora hrane. Obalni lankonošci najviše koriste vodene izvore hrane u prolje e i jesen što se poklapa s emergencijom vodenih kukaca. Ta injenica se ponajviše odnosi na tr ke ija je abundancija najve a u navedena razdoblja zbog njihovih životnih ciklusa. Pretpostavka je da su njihovi životni ciklusi prilagodba upravo na uzorce emergencije vodenih kukaca (Paetzhold i sur. 2005).

3. 3. Utjecaj kakvo e liš a na emergenciju

Organska tvar alohtonog porijekla glavni je izvor hrane kukcima usitnjiva ima u njihovoj li ina koj fazi. Usto pruža stanište i ostalim vodenim kukcima. Kemijska svojstva i struktura liš a odre uju sastav li ina kih kolonija, njihovu abundanciju i biomasu. Razlike u kvaliteti liš a utje u i na broj emergiraju ih kukaca te vrijeme izlaska. Kukci odabiru liš e prema vrto i, sadržaju nutrijenata i sekundarnih spojeva.

U nedavnom istraživanju, Compson i suradnici (2013) uspore ivali su utjecaj kvalitete liš a dviju vrsta topola, fremontske (*Populus fremontii* S. Watson) i uskolisne (*P. angustifolia* James), na emergenciju kukaca (Sl. 3 i 4.). Iz liš a vrste *P. angustifolia*, koja ima ve i udio obrambenih tvari (tanini, lignin) od vrste *P. fremontii*, izašlo je više kukaca što je bilo suprotno od o ekivanja. Autori su postavili tri hipoteze za objašnjenje tih rezultata. Prva i glavna pretpostavlja da je fizi ka struktura liš a važnija od ostalih svojstava kao što su fitokemija i sadržaj nutrijenata zbog toga što osigurava stanište i zaštitu od predadora. Liš e fremontske topole slijepi se u lisnate naslage kad je mokro, dok liš e uskolisne topole stvara heterogenije strukture osiguravaju i više prostora za naseljavanje. Treba napomenuti da su dominanatna skupina kukaca u ovom slu aju bili skuplja i koji vjerojatno nisu jeli liš e ve su ga koristili za stanište. Druga hipoteza o ve em broju kukaca na liš u uskolisne topole pretpostavlja da se brže razgra uju e liš e fremontske topole prije ispralo te mu je ostalo malo nutrijenata koji bi koristili kukcima. Na fremontskoj je topoli stoga bilo više filtratora dok sakuplja ima i usitnjiva ima više odgovara dulja dostupnost ugljika i struktura vrš e uskolisne topole. Tre a hipoteza isti e razliku u sastavu mikroorganizama na liš u pojedinim vrsta topole. Na uskolisnoj topoli bila je ve a abundancija gljiva koje modificiraju strukturu liš a pove avaju i njegovu kvalitetu što ga ini ukusnijim usitnjiva ima. Gljive osim što omekšavaju listinac mogu i same biti hrana kukcima. Liš e koje se sporo razgra uje

pridonijelo je 25 % većoj stopi emergencije nego lišće kojem je za razgradnju potrebno manje vremena. Duže trajanje razgradnje osigurava izvore hrane tijekom dužeg razdoblja. Lišće koje se brzo razgrađuje ima prednost u većoj raznolikosti kukaca zbog velike količine nutrijenata koja je na raspolaganju kukcima usitnjiva imao (Compson i sur. 2013).



Slika 3. Lišće fremontske topole
(*Populus fremontii* S. Watson) (preuzeto
s <http://calphotos.berkeley.edu>)



Slika 4. Lišće uskolisne topole (*P.
angustifolia* James) (preuzeto s
<http://calphotos.berkeley.edu>)

4. ZAKLJUČAK

Šumski su vodotoci ekosustavi s niskom primarnom proizvodnjom, stoga glavninu energije dobivaju iz alohtonih izvora. Najveći udio alohtone organske tvari je bio otpaljivo i s priobalne vegetacije. Što je više drvenastih vrsta i što su one bliže vodotoku, više je listinca završiti u koritu rijeke.

Manji vodotoci koje natkrivaju krošnje drveća primaju više lišće nego široki vodotoci koji nisu natkriveni krošnjama cijelom površinom. Više je lišće takođe u vodu ako vodotok meandrira, tj. ako je vodom dužinom u doticaju s vegetacijom. U toku ih se zajedno s vodom kreće i organska tvar te su važne nakupine većih ostataka organske tvari na kojima se zadržava uneseni listinac i koji predstavljaju staništa kukaca iz skupine usitnjiva.

Lišće koje se dugo razgrađuje duže opskrbljuje kukce s izvorom nutrijenata, a lišće koje se sporo razgrađuje privlači više vrsta kukaca, stoga je više kukaca emergirati s područja gdje ulazi listinac s različitim biljnim vrstama.

Listinac se u vodi razgrađuje i pomoći mikroorganizama u djelovanju nadopunjuje s aktivnošću usitnjiva. Gljive i bakterije omekšavaju listinac koji je onda kukcima probavljeniji, ali i same privlače kukce koji se njima hrane. Razgradnja listinca složen je proces koji uz abiotičko djelovanje obuhvaća i više trofičkih i evolucijskih razina te je važna dionica u kruženju energije između kopna i vode.

Vodeni kukci koji se hrane listincem varaju dio energije unesene s kopna natrag u kopneni ekosustav osiguravajući egzistenciju njihovim predatorima koji prenose energiju dalje u ekosustav. Važno je razumjeti načine kruženja energije između dvaju ekosustava i shvatiti njihovu povezanost u obliku recipročnih izmjena organske tvari.

Listinac s kopna nije važan samo zbog prehrane vodenih kukaca, već osigurava i stanište ljudima koje se mogu, ali i ne moraju njime hraniti što rezultira brojnjom emergencijom. Za stvaranje staništa značajnije su vrste drveća i to je lišće vršće i teže razgradivo imaju dulje zadržavanje u vodi i stvara heterogeniju nakupine.

Rijeka i njezina priobalna zona trebaju se promatrati kao cjelina i u svrhu njihove zaštite treba nastojati ne odvajati ih. Priobalno drveće je od velike važnosti za vodene kukce nakon nega i za njihove kopnene predatore, stoga je bitno očuvati raznolikost biljnih vrsta uz vodotok. Kako bi se energija iz listinca u vodi maksimalno iskoristila potrebna je veća i

raznolikija podloga zbog čega se korito rijeke ne bi trebalo mijenjati. Najviše štete u funkciranju ekosustava donosi kanaliziranje rijeka pri čemu nedostaje priobalne vegetacije i mikrostaništa u vodi te dolazi do prekida u kruženju tvari i energije. Time nije ugrožen samo vodenim ekosustavima i kopneni koji se prostire na puno većoj površini.

5. LITERATURA

- Abelho M., 2001. From litterfall to breakdown in streams: a review. *TheScientificWorld* **1**, 656-680
- Baldy V., Gessner M.O. 1997. Towards a budget of leaf litter decomposition in a first-order woodland stream. *C. R. Acad. Sci. III-Vie.* **320**, 747–758.
- Baldy V., Gessner M.O., Chauvet E. 1995. Bacteria, fungi and the breakdown of leaf litter in a large river. *Oikos* **74**, 93–102.
- Bärlocher F., Ed. 1992. *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes*. Ecological Studies, Vol. 94. Springer-Verlag, Berlin.
- Barlocher F., Kendrick B. 1974. Dynamics of the fungal populations on leaves in a stream. *J. Ecol.* **62**, 761-791.
- Baxter C. V., Fausch K.D., C, Saunders C.W. 2005. Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. *Freshwater Biology* **50**, 201–220.
- Benfield E. F., 1997. Comparison of litterfall input to streams. *J. N. Am Benthol. Soc.* **16**, 104-108. (U *Stream Organic Matter Budgets*. Webster J R., Meyer J. L., Eds *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16, 3-161.)
- Benner R., Newell S. Y., MacCubbin A. E., Hodson R. E. 1984. Relative contributions of bacteria and fungi to rates of degradation of lignocellulose detritus in salt marsh sediments. *Appl. Environ. Microbial.* **48**, 36-40.
- Burdon F. J., Harding J.S. 2008. The linkage between riparian predators and aquatic insects across a resource spectrum. *Freshwater Biology* **53**, 330-346.
- Campbell I. C., James K. R., Hart B. T., Devereaux A., 1992. allochthonous coarse particulate organic material in forest and pasture reaches of two south-eastern Australian streams. I. Litter accession. *Freshwater Biol.* **27**, 314-352.

Chergui H., Maamri A., Pattee E. 1993. Leaf litter retention in two reaches of a Moroccan mountain stream. *Limnologica* **23**, 29–37.

Cillero C., Pardo I., Lopez E. S., 1999. Comparison of riparian vs. over stream trap location in the estimation of vertical litterfall inputs. *Hydrobiologia* **416**, 171-179.

Compson Z. G., Adams K. J., Edwards J. A., Maestas J. M., Whitham T. G., Marks J. C., 2013. Leaf litter quality affects insect emergence: contrasting patterns from two foundation trees. *Oecologia*, DOI 10.1007/s00442-013-2643-6

Cuffney T.F., Wallace J.B., Lugthart G.T. 1990. Experimental evidence quantifying the role of benthic invertebrates in organic matter dynamics of headwater streams. *Freshwater Biol.* **23**, 281–299.

Danger M., Cornut J., Chauvet E., Chavez P., Elger A., Lecerf A., 2013. Benthic algae stimulate leaf litter decomposition in detritus-based headwater streams: a case of aquatic priming effect? *Ecology*, **94**(7), 1604-1613

Díez J. R., Larrañaga S., Elosegi A., Pozo J., 2000. Effect of removal of wood on streambed stability and retention of organic matter. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **19**, 621-632.

Dobson M., Frid C., 1998. *Ecology of Aquatic systems*. Longman, Essex.

Gerhard M., Reich M. 2000. Restoration of streams with large wood: effects of accumulated and built-in wood in channel morphology, habitat diversity and aquatic fauna. *Int. Rev. Hydrobiol.* **85**, 123–137.

Gessner M.O., Schwoerbel J. 1989. Leaching kinetics of fresh leaf-litter with implications for the current concept of leaf-processing in streams. *Arc. Hydrobiol* **115**, 81-90.

Graça M.A.S., Ferreira R.C.F., Coimbra C.N. 2001. Litter processing along a stream gradient: the role of invertebrates and decomposers. *J. N. Am. Benthol. Soc.* in press.

Gray L. J. 1993. Response of insectivorous birds to emerging aquatic insects in riparian habitats of a tallgrass prairie stream. *American Midland Naturalist* **129**, 288-300.

Haapala A., Muotka T., 1998. Seasonal dynamics of detritus and associated macroinvertebrates in a channelized boreal stream. *Arch. Hydrobiol.* **142**, 171-189.

Hershey, A.E., Lamberti G.A., Chaloner D.T., Northington R.M. 2009. Aquatic insect ecology. U J.H. Thorp and A. P. Covich (Eds.). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates (Third Edition)*. Elsevier, New York. 659-694

Ivković M., Miliša M., Previšić A., Popija 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**, 104-115.

Iwata, T., Nakano S., Murakami M. 2003. Stream meanders increase insectivorous bird abundance in riparian deciduous forests. *Ecography* **26**, 325-337.

Malmqvist, B. 2002. Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater Biology* **47**, 679-694.

McGeorge J.E., Jagoe C.H., Risley L.S., Morgan M.D. 1991. Litter decomposition in low pH streams in the New Jersey Pinelands. *Verh. Int. Verein. Limnol.* **24**, 1711–1714.

Nakano S., Murakami M. 2001. Reciprocal subsidies: Dynamics interdependence between terrestrial and aquatic food webs. *PNAS* **98/1**, 166-170.

Nykqvist N. 1963. Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter. *Stud. For. Suecica* **3**, 1-29.

Paetzold A., Schubert C.J., Tockner K. 2005. Aquatic Terrestrial Linkages Along a Braided-River: Riparian Arthropods Feeding on Aquatic Insects. *Ecosystems* **8**, 748-759.

Petersen R.C., Cummins K.W. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwat. Biol.* **4**, 343-368.

Raikow D. F., Grubbs S. A., Cummins K. W., 1995. Debris dam dynamics and coarse particulate organic matter retention in an Appalachian Mountain stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **14**, 535-546.

Rowe J.M., Meegan S.K., Engstrom E.S., Perry S.A., Perry W.B. 1996. Comparison of leaf processing rates under different temperature regimes in three headwater streams. *Freshwater Biol.* **36**, 277–288.

Sabo, J. L., Power M.E. 2002. River-watershed exchange: effects of riverine subsidies on riparian lizards and their terrestrial prey. *Ecology* **83**, 1860-1869.

Tukey H.B. 1970. The leaching of substances from plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **21**, 305-324.

Vannote, R. L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**, 130-137.

Webster J.R., Benfield E.F., 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **17**, 567-594.

<http://aps.group.shef.ac.uk/level-4-web-sites/l4-students-09/jaggard-sarah/forthyr-dissertation-for-website.pdf>

<http://classes.warnercnr.colostate.edu/fw400/files/2011/09/FW400-Terr-Aquat-Linkages-magazine-2008.pdf>

http://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0110+0637

http://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0110+0240

6. SAŽETAK

Kolanje energije nije ograničeno samo na jedan ekosustav već se na dodiru dvaju ekosustava odvija uzajamna izmjena resursa. Vrhunci produktivnosti razlikuju se između ekosustava te se njihovom izmjenom mijenja i strujanje energije. Oligotrofni loti ki ekosustav glavninu energije dobiva alohtonim unosom organske tvari u obliku listinca. Listinac koriste vodeni kukci za hranu i stanište. Vodeni kukci koji izlije u izvore vode hrana su priobalnim predatorima. Na taj se način dio energije unesen s kopna vraća natrag u vrijeme niske biomase kopnenog plijena. Na brojnost kukaca i njihovu raznolikost utječe i kvaliteta otpalog lišaja. Važno je razumjeti povezanost kopnenih i vodenih ekosustava kako bi se uinkovito provodila njihova zaštita.

7. SUMMARY

The circulation of energy is not confined to a single ecosystem but there is a reciprocal subsidy transfer between adjacent habitats. Peak productivities in adjacent ecosystems can alternate thus changing the direction of energy flow. The most of its energy in an oligotrophic lotic system provides from outside (allochtonus) sources. Mostly in form of leaf-litter. Aquatic insects use leaf-litter as food and habitat. Emerging insects provide food sources for riparian predators. This is the way that energy once entered the stream comes back to the land in a time of low terrestrial prey biomass. The abundance of insects and their diversity is affected by the quality of fallen leaves. It is important to understand the connection between terrestrial and aquatic ecosystems in order to effectively implement their protection.