

Invazivni beskralježnjaci u hrvatskim slatkovodnim ekosustavima kao kontekst poučavanja

Anita Tarandek

Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb, Hrvatska; ORCID: 0000-0001-7362-0049
atarandek@stud.biol.pmf.hr

SAŽETAK

Kopnene vode i njihova bioraznolikost predstavljaju iznimno vrijedan prirodni resurs i imaju važnu ulogu u gospodarstvu, kulturi, estetici, znanosti i obrazovanju. Predstavljaju dom mnogim organizmima, međutim smatra se da su kopnene vode (slatkovodni ekosustavi) među najugroženijim ekosustavima na Zemlji. Ugroženosti slatkovodnih ekosustava uvelike doprinosi antropogeni utjecaj. Biološke invazije jedan su od glavnih uzročnika brzog smanjenja biološke raznolikosti, a posljednjih desetljeća u značajnom su porastu. Invazivna vrsta je strana vrsta unesena na novo područje izvan svog prirodnog areala rasprostranjenosti, gdje se uspijeva nesmetano razmnožavati i širiti, a uzrokuje značajne ekološke i/ili ekonomske štete. Tematika invazivnih vrsta u zadnjih nekoliko desetljeća postaje sve više aktualna. U sprječavanju budućih unosa stranih vrsta bitno je usredotočiti se na edukaciju unutar akademske zajednice i među lokalnim stanovništvom, kroz koju bi se iznijeli detalji o posljedicama unosa stranih vrsta, koje se mogu negativno odraziti na bioraznolikost Hrvatske. U ovom radu kao primjer invazivnih beskralježnjaka Hrvatskih slatkovodnih ekosustava prikazani su sjevernoameričke vrste deseteronožnih rakova *Pacifastacus leniusculus* – signalni rak i *Procambarus viriginialis* – mramorni rak. S obzirom da su deseteronožni rakovi generalisti (s obzirom na njihove prehrambene sklonosti), imaju ključnu ulogu u vodenom staništu prenoseći energiju unutar hranidbene mreže između vodenih i kopnenih hranidbenih mreža, koristeći različite izvore hrane i služeći kao plijen za brojne kralježnjake, od riba do sisavaca. U Hrvatskoj je signalni rak prvi put zabilježen 2008. godine u rijeci Muri, dok je mramorni rak po prvi puta zabilježen u jezeru Šoderica 2014. godine. Tema obrađena u ovom radu može se uklopiti u koncepte koji se poučavaju u sklopu nastavnih predmeta Priroda i Biologija, gdje se organizmi prikazani u ovom radu mogu koristiti kao primjer za ostvarenje brojnih odgojno-obrazovnih ishoda. Jedan od tih ishoda je usporedba uspješnosti prilagodbi organizama na primjerima autohtonih, alohtonih i invazivnih stranih vrsta, pri ostvarenju kojega dolazi i do osvješćivanja nastavnika i učenika o negativnom utjecaju invazivnih vrsta beskralježnjaka na bioraznolikost, zdravlje ljudi i gospodarstvo i o ispravnom postupanju u slučaju rukovanja invazivnim vrstama.

Ključne riječi: slatkovodni ekosustavi; invazivni beskralježnjaci; signalni rak; mramorni rak; primjer za ostvarenje odgojno-obrazovnih ishoda

UVOD

Slatkovodni ekosustavi, iako zauzimaju tek 0,8 % površine Zemlje, među najbogatijim su ekosustavima što se tiče raznolikosti vrsta, odnosno imaju najveći broj vrsta po jedinici površine (Dudgeon i sur., 2005). Kopnene vode i njihova bioraznolikost predstavljaju iznimno vrijedan prirodni resurs i imaju važnu ulogu u gospodarstvu, kulturi, estetici, znanosti i obrazovanju (Dudgeon i sur., 2005). Predstavljaju dom mnogim organizmima, međutim smatra se da su među najugroženijim ekosustavima na Zemlji (Strayer i Dudgeon, 2010). Nažalost, bioraznolikost slatkovodnih sustava još uvijek nije dovoljno istražena, pogotovo što se tiče beskralježnjaka te slatkovodnih ekosustava tropskih područja, koja nastanjuje velik broj vrsta. Stoga se pretpostavlja da je stvarni gubitak bioraznolikosti u slatkovodnim ekosustavima mnogo veći nego što to pokazuju rezultati kojima raspolažemo (Dudgeon, 2005).

Ugroženosti slatkovodnih ekosustava uvelike doprinosi antropogeni utjecaj. Antropogeni pritisci, koji najviše doprinose degradaciji slatkovodnih ekosustava diljem svijeta su: zagađenje putem otpadnih

voda, pretjeran izlov slatkovodnih organizama i unos stranih (invazivnih) vrsta (Dudgeon i sur., 2006; Strayer, 2006). Osobito je značajan i utjecaj organskih zagađivala u vodenim ekosustavima, gdje često nalazimo prisutnost industrijskih kemikalija i kemikalija koje se koriste u poljoprivredi, kao što su pesticidi.

Uz zagađenje, biološke invazije jedan su od glavnih uzročnika brzog smanjenja biološke raznolikosti (Genovesi, 2007). Pripadaju među najznačajnije uzročnike antropogenih promjena u okolišu, a posljednjih desetljeća u značajnom su porastu (Sala i sur., 2000). Invazivne vrste jedna su od dominantnih sastavnica antropogeno-uvjetovanih poremećaja u okolišu te imaju veliki gospodarski i ekološki utjecaj. Invazivna vrsta je strana vrsta unesena na novo područje izvan svog prirodnog areala rasprostranjenosti, gdje se uspijeva nesmetano razmnožavati i širiti, a uzrokuje značajne ekološke i/ili ekonomske štete (Pyšek i sur., 2008). Čovjek je svojim djelovanjem, namjerno ili nenamjerno, mnoge vrste prenio preko velikih udaljenosti. Putevi introdukcije (unos) stranih vrsta su raznoliki. Mnoge su biljke i životinje u nova područja unesene za uzgoj (stočarstvo, akvakulturu, marikulturu) donijevši čovjeku značajnu korist. Na novim područjima neke od tih vrsta su namjerno puštane ili su pobjegle te su uspostavile populacije u prirodi. Također, mnoge vrste su u nova područja unesene slučajno, npr. kao slijepi putnici ili kao kontaminacija robe (HAOP, 2021). Biološke invazije direktna su posljedica brzorastućeg razvoja transporta, trgovine i turizma (Genovesi, 2007). Velik broj vrsta premješten je iz svog prirodnog areala i unesen na novo područje te problem nastaje kada te unesene vrste uspostave populacije koje se zatim počnu širiti (Lockwood i sur., 2013).

Zna se da je brzina invazije mnogo veća u vodenim nego u kopnenim ekosustavima (Thomaz i sur., 2014). Invazivne vrste u vodenim sustavima imaju tendenciju bržeg rasprostranjivanja te ih je teško detektirati, a još ih je teže ukloniti iz sustava i kontrolirati njihovu brojnost. Biološke invazije slatkovodnih ekosustava Europe glavna su prijetnja biološkoj raznolikosti, ljudskom zdravlju i blagostanju te je neophodno smanjiti utjecaj invazivnih vrsta na zavičajne vrste (Genovesi, 2007).

Kategorije puteva unosa invazivnih vrsta

Kategorije puteva unosa propisuje Konvencija o biološkoj raznolikosti (CBD, 2014). Uključuju namjerne i nenamjerne puteve unošenja i širenja te se dijele na: 1. Puštanje (vrste puštene u prirodu u svrhu biokontrola); 2. Bijeg (vrste pobjegle u prirodu iz poljoprivrede ili odbjegli kućni ljubimci i živi mamci); 3. Kontaminacija (vrste unesene u nova područja na drugim životinjama i biljkama); 4. Slijepi putnici (vrste slučajno prenesene na prijevoznim sredstvima u balastnim vodama brodova); 5. Koridore (vrste koje se šire kanalima i drugim umjetnim vodenim putovima, tunelima i mostovima) i 6. Spontano širenje (sekundarno samostalno širenje vrsta nakon prvog unosa u novo područje) (HAOP, 2021).

Invazivne strane vrste slatkovodnih beskrležnjaka u Hrvatskoj

U Hrvatskoj postoje stabilne populacije 29 vrsta invazivnih makrobeskrležnjaka (Žganec i sur., 2020) prikazane u tablici 1. Lako se može uočiti kako je introdukcija (unos) mnogih vrsta zabilježena u 21. stoljeću. Lako postoji mogućnost da je tomu tako zbog nedovoljne istraženosti u prošlosti, u svakom slučaju bitno je usredotočiti se na sprječavanje daljnjeg širenja te novih unosa invazivnih vrsta. Od 29 vrsta, 16 vrsta pripada potkoljenu Crustacea.

Broj invazivnih vrsta beskrležnjaka u Hrvatskim slatkovodnim ekosustavima je velik, a u ovom radu fokus je stavljen na invazivnim vrstama slatkovodnih deseteronožnih rakova i to sjevernoameričke vrste *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) – signalni rak i *Procambarus viriginialis* Lyko, 2017 – mramorni rak (Maguire i sur., 2008; Samardžić i sur., 2014).

Tablica 1. Invazivne vrste slatkovodnih beskralježnjaka u Hrvatskoj i zabilježena godina njihovog unosa (introdukcije) u Hrvatsku (preuzeto i prilagođeno prema Žganec i sur., 2020).

Ime vrste	Taksonomska skupina	Godina introdukcije
1. <i>Dendrocoelum romanodanubiale</i> (Codreanu, 1949)	Platyhelminthes	2015
2. <i>Craspedacusta sowerbii</i> Lankester, 1880	Cnidaria	1993
3. <i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard, 1892	Annelida	1956
4. <i>Potamothenis moldaviensis</i> Vejdovský & Mrazek, 1902	Annelida	2015
5. <i>Hypania invalida</i> (Grube, 1860)	Annelida	2001
6. <i>Caspiobdella fadejewi</i> (Epshtein, 1961)	Annelida	2015
7. <i>Ferrissia fragilis</i> (Tryon, 1863)	Mollusca	2008
8. <i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)	Mollusca	1838
9. <i>Potamopyrgus antipodarum</i> (Gray, 1843)	Mollusca	2007
10. <i>Corbicula fluminea</i> (O.F. Müller, 1774)	Mollusca	2001
11. <i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)	Mollusca	2013
12. <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Mollusca	1990
13. <i>Sinanodonta woodiana</i> (Lea, 1834)	Mollusca	2001
14. <i>Chelicorophium curvispinum</i> (G.O. Sars, 1895)	Crustacea	1968/69
15. <i>Chelicorophium sowinskyi</i> (Martynov, 1924)	Crustacea	1968/69
16. <i>Chelicorophium robustum</i> (G.O. Sars, 1895)	Crustacea	2013
17. <i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)	Crustacea	2001
18. <i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (Eichwald, 1841)	Crustacea	1968/69
19. <i>Dikerogammarus bispinosus</i> Martynov, 1925	Crustacea	2001
20. <i>Echinogammarus ischnus</i> (Stebbing, 1899)	Crustacea	2015
21. <i>Obesogammarus obesus</i> (G.O. Sars, 1896)	Crustacea	2001
22. <i>Jaera istri</i> Veuille, 1979	Crustacea	1968/69
23. <i>Hemimysis anomala</i> G.O. Sars, 1907	Crustacea	2005
24. <i>Katamysis warpachowskyi</i> G.O. Sars, 1893	Crustacea	2005
25. <i>Limnomysis benedeni</i> (Czerniavsky, 1882)	Crustacea	2004
26. <i>Paramysis lacustris</i> (Czerniavsky, 1882)	Crustacea	2001
27. <i>Faxonius limosus</i> (Rafinesque, 1817)	Crustacea	2003
28. <i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)	Crustacea	2008
29. <i>Procambarus virginalis</i> Lyko, 2017	Crustacea	2013

Invazivne strane vrste deseteronožnih rakova

Deseteronožni rakovi imaju ključnu ulogu u održavanju strukture zajednica slatkovodnih ekosustava: među najvećim su beskralježnjacima, dugo žive, agresivni su te bioturbacijom i ukopavanjem u sediment i dno prilikom izrade skloništa (Johnson i sur., 2011) utječu na dinamiku transporta sedimenta i stabilnost obala (Faller i sur., 2016). Nadalje, s obzirom da su generalisti (s obzirom na tip ishrane), invazivni slatkovodni rakovi imaju ključnu ulogu u vodenom staništu - prenoseći energiju unutar hranidbene mreže između vodenih i kopnenih hranidbenih mreža, koristeći različite izvore hrane i služeći kao plijen za brojne kralježnjake, od riba do sisavaca (Crehuet i sur., 2007). U samom ekosustavu invazivne strane vrste slatkovodnih rakova su u kompeticiji za prostor i hranu sa zavičajnim vrstama rakova te tako ih istiskuju. Obično su agresivnije od nativnih vrsta (Söderbäck, 1991), brže rastu, imaju veći fekunditet i ranije spolno sazrijevaju (Huber i Schubart, 2005) te mogu biti vektori bolesti koje su letalne za zavičajne rakove, poput uzročnika račje kuge *Aphanomyces astaci* (Schikora, 1906) (Filipova i sur., 2013).

Signalni rak – *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852)

Signalni rak, porijeklom je iz Sjeverne Amerike, a u Europu je unesen sredinom 20. stoljeća s namjerom nadomještanja autohtonih populacija riječnog raka (*Astacus astacus* (Linnaeus, 1758)) (Holdich, 2002). Vrsta se vrlo brzo prilagodila novim uvjetima staništa, a danas je proširena u vodotocima 27 europskih država (Holdich i sur., 2009), što ovu vrstu čini najrasprostranjenijom invazivnom vrstom slatkovodnih rakova u Europi. Signalni rak je dobio ime prema intenzivnim plavim mrljama na klijestima (Slika 1), po čemu se najlakše razlikuje od naših autohtonih vrsta rakova.



Slika 1 Signalni rak (Foto: Sandra Hudina)

Ova invazivna vrsta predstavlja veliku prijetnju slatkovodnim sustavima diljem svijeta, pa tako i u Hrvatskoj (Twardochleb i sur., 2013). Djeluje negativno na autohtone vrste rakova zato što prenosi smrtonosnu bolest račju kugu, kompetitivnija je i agresivnija od autohtonih vrsta te brzo raste, ima visoku plodnost i rano spolno sazrijevanje (Souty-Grosset i sur., 2006). Uz sve to, signalni rak se brzo širi, posebno u nizvodnom smjeru gdje se može proširiti od 18 do 24,4 km godišnje (Hudina i sur., 2009). Osim na autohtone vrste rakova, signalni rak utječe i na ostale organizme, kao što su makrozoobentos i ribe i uz to može mijenjati fizičko okruženje potoka i rijeka. Ilegalan unos ove vrste najveći je krivac za njeno rasprostranjivanje diljem Europe (Bohman i sur., 2011). Samo u razdoblju od 2006. do 2009. godine, ova je vrsta prenesena u najmanje tri države Europe u kojima je do tada nije bilo (Holdich i sur., 2009). U Hrvatskoj je signalni rak prvi put zabilježen 2008. godine u rijeci Muri (Maguire i sur., 2008), gdje se proširio nizvodnim putem iz Austrije gdje je ilegalno iz Kalifornije unesen 1970-ih godina (Holdich i sur., 2009). 2011. godine zabilježeno je njegovo prisustvo i u rijeci Dravi, otprilike 30 km nizvodno od ušća s rijekom Murom (Hudina i sur., 2013). Iste 2011. godine ova je vrsta pronađena i u rijeci Korani u koju je unesena od strane ljudi (Hudina i sur., 2013).

Mramorni rak – *Procambarus virginalis* Lyko, 2017

Mramorni rak pripada porodici Cambaridae koja uključuje 12 rodova i karakteristična je skupina za Sjevernu Ameriku (Holdich, 2002). Rod *Procambarus* sa svojih 163 vrsta naseljava područje centralnog i istočnog SAD-a, Kubu i Meksiko (Hobbs, 1984). Ovom rodu pripada i relativno nedavno otkrivena invazivna strana vrsta u Europi, mramorni rak *Procambarus virginalis* Lyko, 2017. Dobio je ime „mramorni rak“ prema uzorku na tijelu koji podsjeća na mramor (Slika 2) (Martin i sur., 2010).



Slika 2 Mramorni rak (Foto: Sandra Hudina)

Najprije se mramorni rak smatrao partenogenetskim oblikom vrste *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). Međutim, u istraživanju provedenom 2010. godine predloženo je da mramorni rak dobije status vrste,

ukoliko zadovoljava kriterije koncepta vrste za organizme koje se nespolno razmnožavaju (Martin i sur., 2010), što je potvrđeno istraživanjem Vogt i sur. (2015) te je mramorni rak odvojen kao zasebna vrsta, *Procambarus virginalis* (Lyko, 2017).

Mramorni rak se razmnožava isključivo partenogenetski, te do sada nije pronađen mužjak mramornog raka (Jones i sur., 2009). Također, pokušaj dobivanja mužjaka tretiranjem jaja muškim hormonima je bio neuspješan (Vogt, 2007). Razmnožava se apomiktičkom partenogenezom (Vogt i sur., 2008), što je oblik partenogenetskog razmnožavanja gdje oocite ne prolaze kroz mejozu (Martin i sur., 2015). Ovakav način razmnožavanja omogućuje uspostavljanje populacije pomoću samo jedne jedinke (Jones i sur., 2009). Zbog ove karakteristike, uz visok fekunditet, mramorni rak smatra se kao vrlo uspješna invazivna vrsta (Jones i sur., 2009).

Mramorni rak je prvi put u Europi zabilježen krajem prošlog stoljeća u Njemačkoj, gdje se uzgajao kao akvaristička vrsta. S obzirom da su sve današnje prirodne populacije mramornog raka klonovi onih iz akvaristike, vjeruje se da je u prirodna staništa pušten namjerno ili slučajno od strane akvarista (Faulkes i sur., 2012). Do danas, populacije mramornog raka u prirodi zabilježene su diljem Europe, primjerice u Češkoj, Hrvatskoj, Madagaskaru, Mađarskoj i Ukrajini, Rumunjskoj, Japanu, Estoniji. U Hrvatskoj, mramorni rak je prvi put zabilježen u jezeru Šoderica 2014. god. (Samardžić i sur., 2014) s dosta brojnom populacijom što ukazuje da se je vrsta adaptirala u staništu te se u njemu razmnožava.

PRIMJENA U NASTAVI

Navedena saznanja mogu se na različite načine primijeniti u poučavanju nastavnih sadržaja Prirode i Biologije. Slatkovodni (invazivni) beskralježnjaci, posebice rakovi, njihova građa, načini njihova razmnožavanja i prehrane mogu se uklopiti u poučavanje brojnih bioloških koncepata, odnosno vezati uz ostvarivanje brojnih ishoda učenja kroz vertikalnu biološkog obrazovanja.

U nastavku izdvojeni su odgojno-obrazovni ishodi, koji se mogu ostvariti u sklopu nastavnog predmeta Biologija u prvom razredu gimnazije koristeći egzemplarnu nastavu, odnosno primjere građe i ekološke uloge slatkovodnih beskralježnjaka navedenih u ovom radu. (tablica 2).

Tablica 2 Slatkovodni (invazivni) rakovi kao kontekst poučavanja ishoda 1. razreda gimnazije

Odgojno-obrazovni ishod iz kurikuluma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj (NN, 2019)	Razrada ishoda u zadanom kontekstu
Gimnazija Biologija 1. razred	
BIO SŠ A.1.1. Uspoređuje promjenu složenosti različitih organizacijskih razina biosfere te primjenjuje načela klasifikacije živoga svijeta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Razlikuje na primjerima organizacijske razine biosfere. ▪ Primjenjuje dihotomski ključ za određivanje vrsta iz neposrednoga okoliša. ▪ Razlikuje carstva živoga svijeta i najvažnije skupine živih bića. ▪ Razvrstava predstavnike živih bića u pojedine skupine na temelju morfoloških obilježja.
BIO SŠ B.1.1. Uspoređuje prilagodbe organizama s obzirom na abiotičke i biotičke uvjete okoliša na primjeru zavičajnoga ekosustava	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uspoređuje djelovanje abiotičkih i biotičkih čimbenika na razvoj i preživljavanje organizama. ▪ Objašnjava ekološku valenciju na primjerima. ▪ Uspoređuje uspješnost prilagodbi na primjerima autohtonih, alohtonih i invazivnih stranih vrsta. ▪ Prepoznaje ugrožene vrste na lokalnoj i globalnoj razini procjenjujući razloge njihove ugroženosti.
BIO SŠ B.1.2. Analizira održavanje uravnoteženoga stanja u prirodi povezujući vlastito ponašanje i odgovornost s održivim razvojem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objašnjava na primjerima potrebu zaštite određenih vrsta i pojedinih prirodnih staništa te područja Hrvatske.
BIO SŠ B.1.3. Uspoređuje prilagodbe organizama na specifične životne uvjete	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uspoređuje prilagodbe na specifične uvjete u okolišu. ▪ Opisuje prilagodbe u ponašanju životinja s obzirom na promjene uvjeta okoliša.

Međutim, osim u prvom razredu gimnazije, navedeni organizmi mogu se koristiti kao primjer za ostvarenje odgojno-obrazovnih ishoda i u ostatku gimnazijskog biološkog obrazovanja (tablica 3).

Tablica 3 Neki od mogućih primjena u kojima slatkovodni (invazivni) rakovi mogu biti kontekst poučavanja ishoda ostalih razreda gimnazije

Odgojno-obrazovni ishod iz kurikulumuma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj (NN, 2019)	Razrada ishoda u zadanom kontekstu
Gimnazija Biologija 2. razred	
BIO SŠ A.2.1. Povezuje pojavu novih svojstava s promjenom složenosti organizacijskih razina u organizmu	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Povezuje ključne prilagodbe u građi tijela s uvjetima staništa. ▪ Uspoređuje građu sustava koji obavljaju iste zadaće u čovjeku i drugim organizmima. ▪ Analizira uslozňjavanje i pojavu novih svojstava povezujući princip građe s ekonomičnim funkcioniranjem različitih organizama.
BIO SŠ A.2.2. Uspoređuje specifičnosti građe pojedinih organizama i povezuje ih s razvojnim stablom živoga svijeta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uspoređuje organizme na temelju funkcionalnih i morfoloških značajki. ▪ Razvrstava poznate organizme na razvojnome stablu živoga svijeta.
BIO SŠ B.2.2. Uspoređuje životne cikluse organizama	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uspoređuje rasprostranjivanje, razvoj, sazrijevanje, sustave parenja te brigu za potomstvo različitih organizama.
BIO SŠ B.2.3. Uspoređuje prilagodbe organizama na životne uvjete te ih povezuje s evolucijom živoga svijeta na Zemlji	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stavlja u odnos sposobnost reakcije na podražaje i preživljavanje različitih organizama. ▪ Objašnjava važnost razvoja osjetila i živčanoga sustava u životinja/čovjeka.
BIO SŠ C.2.2. Uspoređuje energetske potrebe organizama u različitim fiziološkim stanjima	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Povezuje obrasce raspolaganja energijom s ponašanjem, načinom života i preživljavanjem različitih organizama.
BIO SŠ B.4.1. Analizira čovjekov utjecaj na održavanje i narušavanje uravnoteženoga stanja u prirodi i bioraznolikost povezujući vlastito ponašanje i odgovornost s održivim razvojem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argumentira važnost očuvanja bioraznolikosti za stabilnost ekosustava i čovjekov opstanak. ▪ Utvrđuje čovjekovu odgovornost u održavanju uravnoteženoga stanja u prirodi i očuvanju bioraznolikosti. ▪ Raspravlja o uzrocima ugroženosti vrsta i populacija.
Gimnazija Biologija 4. razred	
BIO SŠ B.4.3. Analizira utjecaj promjenjivih životnih uvjeta na evoluciju	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Opisuje utjecaj civilizacije na životne uvjete te pojavu i širenje bolesti (npr. račja kuga).

Moguće je organizme predstavljene u ovom radu koristiti i kao primjer za ostvarenje odgojno-obrazovnih ishoda tijekom osnovnoškolskog obrazovanja, u sklopu nastavnih predmeta Priroda i Biologija (tablica 4).

Tablica 4 Neki od mogućih primjena u kojima slatkovodni (invazivni) rakovi mogu biti kontekst poučavanja ishoda Prirode i Biologije u osnovnoj školi

Odgojno-obrazovni ishod iz kurikulumuma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj (NN, 2019)	Razrada ishoda u zadanom kontekstu
Osnovna škola Priroda 5. razred	
OŠ PRI B.5.2. Učenik objašnjava međuodnose životnih uvjeta i živih bića	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objašnjava prilagodbe živih bića u različitim uvjetima u prirodi na temelju promatranja, istraživanja u neposrednom okolišu i praktičnih radova. ▪ Objašnjava kako organizmi bolje prilagođeni određenim uvjetima opstaju. ▪ Proučava utjecaj živih bića na životne uvjete.
Osnovna škola Priroda 6. razred	
OŠ PRI B.6.1. Učenik objašnjava međusobne odnose živih bića s obzirom na zajedničko stanište	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Povezuje zadovoljavanje potreba, ponašanje i preživljavanje živih bića s uvjetima u okolišu. ▪ Objašnjava važnost međusobnih odnosa živih bića (iste vrste i različitih vrsta) koja dijele zajedničko stanište. ▪ Raspravlja o nadmetanju živih bića (iste vrste i različitih vrsta) pri zadovoljavanju životnih potreba. ▪ Analizira utjecaj neumjerene potrošnje ljudi na ostala živa bića i okoliš.
OŠ PRI B.6.2. Učenik raspravlja o važnosti održavanja uravnoteženoga stanja u prirodi i uzrocima njegova narušavanja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Istražuje bioraznolikost te raspravlja o važnosti njezinog očuvanja.
Osnovna škola Biologija 7. razred	
BIO OŠ B.7.1. Uspoređuje osnovne životne funkcije pripadnika različitih skupina živoga svijeta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Osnovne životne funkcije usporediti kod predstavnika glavnih skupina živoga svijeta (arheje, bakterije, protisti, gljive, biljke, životinje).
BIO OŠ B.7.3. Stavlja u odnos prilagodbe živih bića i životne uvjete	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prilagodljivost organizama te međuovisnost živih bića i okoliša.

Odgojno-obrazovni ishod iz kurikuluma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj (NN, 2019)	Razrada ishoda u zadanom kontekstu
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prilagodbe različitim načinima kretanja (simetrija tijela, sustav organa za kretanje, strukture za kretanje – bičevi, trepetljike, lažne nožice, kretanje biljnih organa). ▪ Prilagodbe različitim načinima prehrane (autotrofi, heterotrofi – paraziti, saprofiti, simbionti). ▪ Prilagodbe različitim načinima disanja ovisno o životnim uvjetima okoliša (pluća, škrge, uzdušnice, izmjena plinova preko površine tijela/stanične membrane). ▪ Prilagodbe u prijenosu tvari organizmom (otvoreni i zatvoreni optjecajni sustav, voda kao otapalo, prijenos tjelesnom tekućinom, citoplazmatsko gibanje, kapilarnost, transpiracija). ▪ Prilagodbe za zaštitu tijela (imunski sustav, pokrov tijela). ▪ Prilagodbe organizama na nametnički način života.
Osnovna škola Biologija 8. razred	
<p style="text-align: center;">BIO OŠ A.8.1.</p> <p>Povezuje usložnjavanje građe s razvojem novih svojstava i klasificira organizme primjenom različitih kriterija ukazujući na njihovu srodnost i raznolikost</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Povezuje građu i ulogu organa/organskih sustava ukazujući na njihovu promjenjivost, usložnjavanje i prilagodbe. ▪ Razlikuje najvažnije skupine biljaka i životinja. ▪ Uspoređuje na tipičnim predstavnicima temeljna obilježja pojedine skupine.
<p style="text-align: center;">BIO OŠ B.8.3.</p> <p>Analizira utjecaj životnih uvjeta na razvoj prilagodbi i bioraznolikost</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Povezuje prilagodbe organizama i naseljenost nekog područja sa životnim uvjetima. ▪ Uspoređuje prilagodbe za regulaciju stalnoga sastava tjelesnih tekućina u različitim organizama. ▪ Uspoređuje prilagodbe za razmnožavanje u različitim organizama povezujući ih s uvjetima staništa. ▪ Uspoređuje osjetila i živčani sustav različitih organizama povezujući njihovu razvijenost s načinom života. ▪ Opisuje različite oblike ponašanja tijekom razmnožavanja.
<p style="text-align: center;">BIO OŠ C.8.2.</p> <p>Povezuje hranidbene odnose u biosferi s preživljavanjem organizama</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objašnjava hranidbene odnose, kruženje tvari i protjecanje energije na primjeru hranidbenih mreža.

ZAKLJUČAK

U Hrvatskoj postoje stabilne populacije 29 vrsta invazivnih makrobekralježnjaka (Žganec i sur., 2020). Invazivne (strane) vrste beskrležnjaka zavičajnim vrstama oduzimaju stanište, hranu i druge resurse, mijenjaju stanišne uvjete te prenose bolesti. Primjerice, invazivne strane vrste slatkodvodnih sjevernoameričkih desetonožnih rakova na europske zavičajne vrste slatkodvodnih desetonožnih rakova prenose račju kugu, što doprinosi smanjenju brojnosti zavičajnih rakova. Zahvaljujući ljudskoj aktivnosti, neke vrste prenesene su na područja na koja prirodnim putem nikada ne bi dospjele. Ovakav unos stranih invazivnih vrsta predstavlja veliku prijetnju bioraznolikosti. Ova tematika, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj, u zadnjih nekoliko desetljeća postaje sve veći problem.

Svakako, u sprječavanju budućih unosa vrsta bitna je edukacija unutar akademske zajednice i među lokalnim stanovništvom unutar akademske zajednice i među lokalnim stanovništvom, kroz koju bi se iznijeli detalji o posljedicama unosa stranih vrsta, koje se mogu negativno odraziti na bioraznolikost Hrvatske. Sve su više aktualni edukativni projekti od strane studenata i profesora, čiji je cilj skrenuti pažnju na negativne utjecaje slučajnih i namjernih unosa invazivnih vrsta. Jedino edukacijom možemo utjecati na kontroliranje trenutnih populacija te sprječavanje novih unosa koji mogu negativno utjecati na bioraznolikost Hrvatske.

METODIČKI ZNAČAJ

Tema obrađena ovim radom (invazivni beskrležnjaci) prvenstveno se mogu uklopiti u koncepte koji se poučavaju u sklopu nastavnog predmeta Biologija u prvom razredu gimnazije, gdje je jedan od velikih ciljeva osvijestiti nastavnike i učenike o negativnom utjecaju invazivnih vrsta beskrležnjaka na bioraznolikost, zdravlje ljudi i gospodarstvo. Predstavljanje važnosti beskrležnjaka (koji nisu tako atraktivna skupina poput kralješnjaka) za održavanje zdravog ekosustava te njihove ključne uloge u

hranidbenim mrežama moguće je primijeniti i u osnovnoj školi i u ostalim razredima srednje škole. Pri tome bi trebalo utjecati na ekološku svijest o očuvanju bioraznolikosti i ugroženih vrsta. Uz to, potiče se i kritičko razmišljanje o ispravnom postupanju u slučaju rukovanja invazivnim vrstama.

ZAHVALA

Veliku zahvalnost dugujem doc.dr.sc. Mireli Sertić Perić, koja me potaknula na objavu članka koji je nastao na osnovu seminarskih radova izrađenih u sklopu kolegija Raznolikost faune Hrvatske. Zahvaljujem se na pruženoj prilici, velikom angažmanu i dragocjenoj pomoći pri pisanju članka.

LITERATURA

- Bohman, P., Degerman, E., Edsman, L., & Sers, B. (2011). Exponential increase of signal crayfish in running waters in Sweden – due to illegal introductions? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (401), 23.
- CBD. (2014). The Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/convention/> (pristupljeno 17.05.2021. god.)
- Crehuet, M., Alcorlo, P., Bravo-Utrera, M. A., Baltanás, A., & Montes, C. (2007). Assessing the trophic ecology of crayfish: a case study of the invasive *Procambarus clarkii*. *Biological Invaders in Inland Waters: Profiles, Distribution, and Threats*, 559–576.
- Dudgeon, D. (2005). Last chance to see?: ex situ conservation and the fate of the baiji. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(2), 105–108.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... Sullivan, C. A. (2005). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(02), 163.
- Faller, M., Harvey, G. L., Henshaw, A. J., Bertoldi, W., Bruno, M. C., & England, J. (2016). River bank burrowing by invasive crayfish: Spatial distribution, biophysical controls and biogeomorphic significance. *Science of the Total Environment*, 569-570, 1190–1200.
- Faulkes, Z., Feria, T., & Muñoz, J. (2012). Do Marmorcrebs, *Procambarus fallax f. virginalis*, threaten freshwater Japanese ecosystems? *Aquatic Biosystems*, 8(1), 13.
- Filipová, L., Petrusek, A., Matasová, K., Delaunay, C., & Grandjean, F. (2013). Prevalence of the Crayfish Plague Pathogen *Aphanomyces astaci* in Populations of the Signal Crayfish *Pacifastacus leniusculus* in France: Evaluating the Threat to Native Crayfish. *PLoS ONE*, 8(7), e70157.
- Genovesi, P. (2007). Towards a European strategy to halt biological invasions in inland waters. *Biological Invaders in Inland Waters: Profiles, Distribution, and Threats*, 2, 627–637.
- HAOP. (2021). Invazivne strane vrste. <https://invazivnevrste.haop.hr/> (pristupljeno 17.05.2021. god.)
- Hobbs, H. H. (1984). On the Distribution of the Crayfish Genus *Procambarus* (Decapoda: Cambaridae). *Journal of Crustacean Biology*, 4(1), 12–24.
- Holdich, D. M. (2002). *Biology of freshwater crayfish* (pp. 511–534). Oxford England: Blackwell Science.
- Holdich, D. M., Reynolds, J. D., Souty-Grosset, C., & Sibley, P. J. (2009). A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (394-395), 11.
- HUBER, M. G. J., & SCHUBART, C. D. (2005). DISTRIBUTION AND REPRODUCTIVE BIOLOGY OF AUSTROPOTAMOBIVUS TORRENTIUM IN BAVARIA AND DOCUMENTATION OF A CONTACT ZONE WITH THE ALIEN CRAYFISH PACIFASTACUS LENIUSCULUS. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, (376-377), 759–776.
- Hudina, S., Faller, M., Lucić, A., Klobučar, G., & Maguire, I. (2009). Distribution and dispersal of two invasive crayfish species in the Drava River basin, Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (394-395), 9.
- Hudina, S., Žganec, K., Lucić, A., Trgovčić, K., & Maguire, I. (2013). Recent invasion of the karstic river systems in Croatia through illegal introductions of the signal crayfish. *Freshwater Crayfish*, 19(1), 21–27.
- Johnson, M. F., Rice, S. P., & Reid, I. (2011). Increase in coarse sediment transport associated with disturbance of gravel river beds by signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*). *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(12), 1680–1692.
- Jones, J. P. G., Rasamy, J. R., Harvey, A., Toon, A., Oidtmann, B., Randrianarison, M. H., ... Ravoahangimalala, O. R. (2008). The perfect invader: a parthenogenic crayfish poses a new threat to Madagascar's freshwater biodiversity. *Biological Invasions*, 11(6), 1475–1482.
- Lockwood, J. L., Hoopes, M. F., & Marchetti, M. P. (2013). Invasion Ecology. In *Blackwell Publishers* (2nd ed., pp. 1–304). Blackwell publishing.
- Maguire, I., Klobučar, G., Marčić, Z., & Zanella, D. (2008). The first record of *Pacifastacus leniusculus* in Croatia. *Crayfish News*, 30(4), 4–4.
- Martin, P., Dorn, N. J., Kawai, T., van der Heiden, C., & Scholtz, G. (2010). The enigmatic Marmorcrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). *Contributions to Zoology*, 79(3), 107–118.
- MZO. (2019). Kurikulum nastavnog predmeta Biologija za osnovne škole i gimnazije, Ministarstvo znanosti i obrazovanja, NN 7/2019. <https://mzo.gov.hr/istaknute-teme/odgoji-obrazovanje/nacionalni-kurikulum/predmetni-kurikulumi/> (pristupljeno 17.11.2021. god.)
- NN (Narodne novine). (2019). Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Biologije za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj. NN 7/2019. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_7_149.html (pristupljeno 22.11.2021. god.)

- Pyšek, P., Richardson, D. M., Pergl, J., Jarošík, V., Sixtová, Z., & Weber, E. (2008). Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, *23*(5), 237–244.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... Wall, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, *287*(5459), 1770–1774.
- Samardžić, M., Lucić, A., Maguire, I., & Hudina, S. (2014). The First Record of the Marbled Crayfish (*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*) in Croatia. *Crayfish News*, *36*(4), 4–4.
- Söderbäck, B. (1991). Interspecific dominance relationship and aggressive interactions in the freshwater crayfishes *Astacus astacus* (L.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Canadian Journal of Zoology*, *69*(5), 1321–1325.
- Souty-Grosset, C. (2006). *Atlas of crayfish in Europe* (p. 188). Paris: Muséum National D'histoire Naturelle.
- Strayer, D. L. (2006). Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of the North American Benthological Society*, *25*(2), 271–287.
- Strayer, D. L., & Dudgeon, D. (2010). Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, *29*(1), 344–358.
- Thomaz, S. M., Kovalenko, K. E., Havel, J. E., & Kats, L. B. (2014). Aquatic invasive species: general trends in the literature and introduction to the special issue. *Hydrobiologia*, *746*(1), 1–12.
- Twardochleb, L. A., Olden, J. D., & Larson, E. R. (2013). A global meta-analysis of the ecological impacts of nonnative crayfish. *Freshwater Science*, *32*(4), 1367–1382.
- Vogt, G. (2007). Exposure of the eggs to 17 α -methyl testosterone reduced hatching success and growth and elicited teratogenic effects in postembryonic life stages of crayfish. *Aquatic Toxicology*, *85*(4), 291–296.
- Vogt, G., Falckenhayn, C., Schrimpf, A., Schmid, K., Hanna, K., Panteleit, J., ... Lyko, F. (2015). The marbled crayfish as a paradigm for saltational speciation by autopolyploidy and parthenogenesis in animals. *Biology Open*, *4*(11), 1583–1594.
- Vogt, G., Huber, M., Thiemann, M., van den Boogaart, G., Schmitz, O. J., & Schubart, C. D. (2008). Production of different phenotypes from the same genotype in the same environment by developmental variation. *Journal of Experimental Biology*, *211*(4), 510–523.
- Žganec, K., Lajtner, J., Čuk, R., Crnčan, P., Pušić, I., Atanacković, A., ... Maguire, I. (2020). Alien macroinvertebrates in Croatian freshwaters. *Aquatic Invasions*, *15*(4), 593–615.

Invasive invertebrates in Croatian freshwater ecosystems as a teaching context

Anita Tarandek

University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Biology, Zagreb, Croatia; ORCID: 0000-0001-7362-0049

atarandek@stud.biol.pmf.hr

ABSTRACT

Inland waters and their biodiversity represent an extremely valuable natural resource and play an important role in the economy, culture, aesthetics, science and education. They are home to many organisms, but inland waters (freshwater ecosystems) are considered to be among the most endangered ecosystems on Earth. The anthropogenic impact greatly contributes to the endangerment of freshwater ecosystems. Biological invasions are one of the main causes of the rapid decline in biodiversity and have been on the rise in recent decades. An invasive species is a species introduced into a new area outside its natural range, where it manages to reproduce and spread and causes significant ecological and/or economic damage. The topic of invasive species has become more interesting in the last few decades. In preventing future introductions of alien species, it is important to focus on education within the academic community and among the local population, through which details on the consequences of the introduction of alien species, which may negatively affect the biodiversity of Croatia, would be presented. In this paper, the North American species decapod crayfish *Pacifastacus leniusculus* – signal crayfish and *Procambarus viriginialis* - marble crayfish are presented as an example of invasive invertebrates in Croatian freshwater ecosystems. Since decapod crayfish are generalists (given their dietary preferences), they play a key role in aquatic habitat by transferring energy within the food web between aquatic and terrestrial food webs, using a variety of food sources and serving as prey for many vertebrates, from fish to mammals. In Croatia, the signal crayfish was first recorded in 2008 in the Mura River, while the marble crayfish was first recorded in Lake Šoderica in 2014. The topic covered in this paper can fit into the concepts taught in the subjects Nature and Biology, where the organisms presented in this paper can be used as an example to achieve numerous learning outcomes. One of these outcomes is a comparison of the success of adaptations of organisms on the examples of indigenous, non-indigenous and invasive alien species. Achieving this learning outcome also raises awareness among teachers and students about the negative impact of invasive invertebrate species on biodiversity, human health and the economy, and about the right course of action in the case of invasive species management.

Keywords: *freshwater ecosystems; invasive invertebrates; signal crayfish; marble crayfish; example for the realization of educational outcomes*