

# Reproduktivni ciklus invazivnog mramornog raka *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* u jezeru Šoderica

---

Cvitanić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:135037>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Marija Cvitanić

**Reproduktivni ciklus invazivnog mramornog raka  
*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* u jezeru  
Šoderica**

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za biologiju i ekologiju mekušaca i rakova na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Maguire i neposrednim vodstvom dr. sc. Sandre Hudine. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode.

## ZAHVALE

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Ivani Maguire na mentorstvu, neizmjernej pomoći i brojnim savjetima prilikom izrade i pisanja rada. Veliko Hvala dr. sc. Sandri Hudini na potpori i pomoći koju mi je pružila, te na pozitivnoj atmosferi koju je stvarala tijekom provedbe ovog istraživanja i pisanja rada.

Najveće Hvala mojoj obitelji koja mi je bila najveća podrška tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svim prijateljima koji me podržavaju i vjeruju u mene.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### Reproduktivni ciklus invazivne vrste mramornog raka *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* u jezeru Šoderica

Marija Cvitanić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Mramorni rak (*Procambarus fallax* f. *virginalis*) je relativno nova invazivna vrsta slatkovodnog raka u Europi. Potječe iz Sjeverne Amerike i prijenosnik je uzročnika račje kuge (*Aphanomyces astaci*). Smatra se da je neodgovorno ponašanje u akvaristici bilo glavni put unošenja ove vrste u europske slatkovodne ekosustave. Do danas je mramorni rak zabilježen u prirodi u Njemačkoj, Slovačkoj, Italiji, Nizozemskoj, Mađarskoj i Švedskoj. Uspostavljena populacija mramornog raka nedavno je otkrivena u Hrvatskoj (2013.), u jezeru Šoderica nedaleko Koprivnice. Kako je biologija i ekologija ove vrste još uvijek nedovoljno poznata, s obzirom da je riječ o vrsti s tek nedavno uspostavljenim populacijama u prirodi, cilj ovog istraživanja bio je proučiti uzrasnu strukturu populacije mramornog raka u jezeru Šoderica, reproduktivni ciklus vrste analizom potencijalnog i realiziranog fekunditeta, te istražiti promjene tjelesne i fiziološke kondicije jedinki (korištenjem organosomatskih indeksa kondicije) i njihovu povezanost s reproduktivnim ciklusom. Glavna karakteristika ove vrste je isključivo partenogenetsko razmnožavanje stoga je istraživanje fekunditeta neophodno za procjene brzine rasta uspostavljenih populacija, te utjecaja fekunditeta na invazivni uspjeh mramornog raka.

(56 stranica, 17 slika, 13 tablica, 129 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

**Ključne riječi:** mramorni rak, organosomatski indeksi kondicije, potencijalni i realizirani fekunditet

**Voditelj:** Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

**Neposredni voditelj:** Dr. sc. Sandra Hudina

**Ocjenitelji:** Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

Dr. sc. Božena Mitić, red. prof.

Dr. sc. Ana Galov, doc.

**Rad prihvaćen:** 05.01.2017.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### Reproductive cycle of the invasive marbled crayfish *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* in the Šoderica Lake

Marija Cvitanić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Marbled crayfish (*Procambarus fallax* f. *virginalis*) is a relatively new invasive crayfish species in Europe. It originates from North America and it is carrier of the crayfish plague pathogen (*Aphanomyces astaci*). It is believed that the irresponsible handling of this species by the aquarium hobbyists was the main way to enter European freshwater ecosystems. To date, the marbled crayfish was observed in nature in Germany, Slovakia, Italy, Hungary, the Netherlands and Sweden. An established population of marbled crayfish was discovered recently (in 2013) in Croatia, in the Šoderica Lake near Koprivnica. As the marbled crayfish is relatively new species, biology and ecology of this species is still insufficiently known. The aim of this study was to examine the size structure of the marbled crayfish population in the Šoderica Lake, to analyse reproductive cycle with a focus on the potential and realized fecundity, and to explore the changes of physical and physiological condition of animals (using somatic condition indices) and their relation to the reproductive cycle. The main characteristic of this species is exclusively parthenogenetic reproduction. Therefore, fecundity research is necessary to estimate the growth rate of established populations and to observe how fecundity contributes to invasive success of the marbled crayfish.

(56 pages, 17 figures, 13 tables, 129 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

**Key words:** marbled crayfish, somatic indices of condition, potential and realized fecundity

**Supervisor:** Dr. Ivana Maguire, Assoc. Prof.

**Assistant Supervisor:** Dr. Sandra Hudina

**Reviewers:** Dr. Ivana Maguire, Assoc. Prof.  
Dr. Božena Mitić, Prof.  
Dr. Ana Galov, Asst. Prof.

**Thesis accepted:** 05.01.2017.

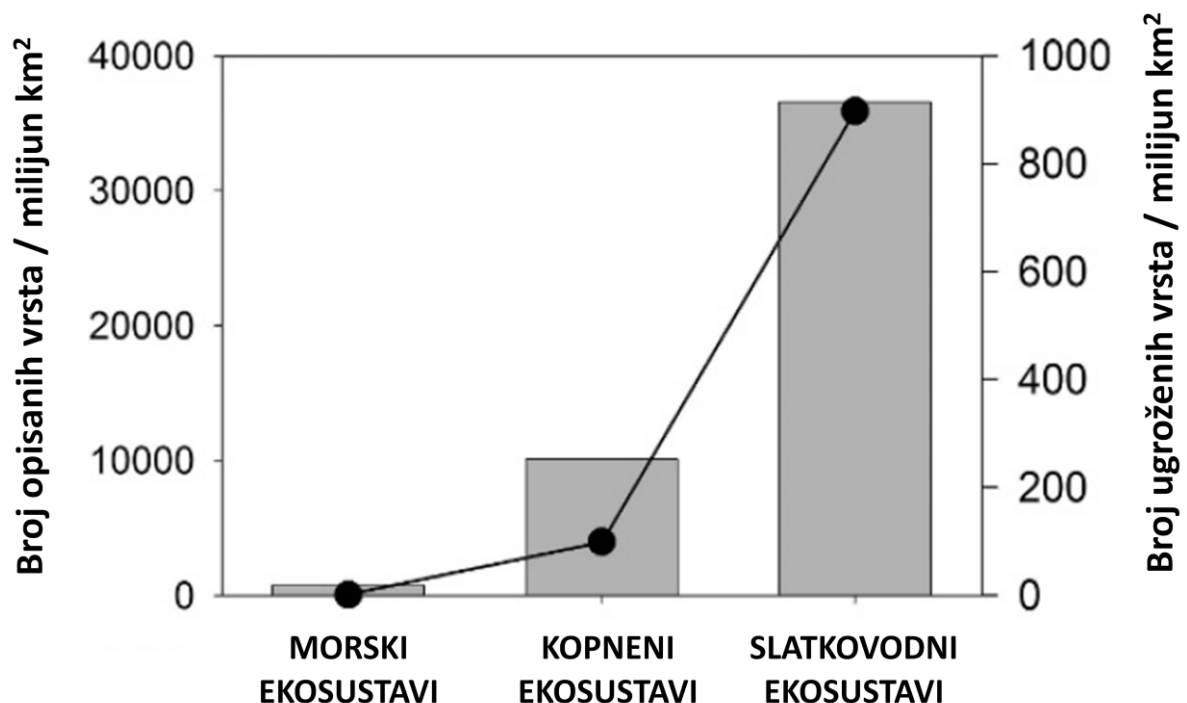
# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Slatkovodni ekosustavi i razlozi njihove ugroženosti .....	1
1.2. Invazivne vrste .....	2
1.2.1. Proces invazije .....	3
1.2.2. Putovi ulaska slatkovodnih invazivnih vrsta .....	5
1.3. Slatkovodni rakovi podreda Astacidea .....	7
1.3.1. Porodica Astacidae .....	7
1.4. Invazivne strane vrste slatkovodnih rakova .....	7
1.4.1. Astakofauna u Europi .....	8
1.4.2. Astakofauna u Hrvatskoj .....	9
1.4.3. Zakonodavstvo .....	10
1.5. Mramorni rak – <i>Procambarus fallax</i> (Hagen, 1870) forma <i>virginalis</i> .....	11
1.5.1. Biologija vrste .....	11
1.5.2. Porijeklo i distribucija vrste .....	13
<b>2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>16</b>
<b>3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>17</b>
<b>4. MATERIJALI I METODE</b> .....	<b>20</b>
4.1. Materijali .....	20
4.2. Metode .....	21
<b>5. REZULTATI</b> .....	<b>25</b>
5.1. Veličinska struktura ulovljene populacije mramornog raka .....	25
5.2. Korelacije među varijablama .....	26
5.3. Reproductivni ciklus mramornog raka .....	28
5.4. Statistička analiza reproductivnog ciklusa mramornog raka .....	29
5.5. Usporedbe varijabli po mjesecima .....	31
5.5.1. Veličinska struktura .....	31
5.5.2. Tjelesno – kondicijski indeksi .....	32
5.5.3. Organosomatski indeksi.....	33
5.5.4. Potencijalni i realizirani fekunditet .....	33
5.6. Usporedba potencijalnog i realiziranog fekunditeta mramornog raka s drugim invazivnim vrstama rakova .....	35
<b>6. RASPRAVA</b> .....	<b>37</b>
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>44</b>
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>45</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>56</b>

# 1. UVOD

## 1.1. Slatkovodni ekosustavi i razlozi njihove ugroženosti

Slatkovodni ekosustavi zauzimaju vrlo mali dio površine Zemlje, oko 0,8% (Dudgeon i sur., 2006). Navodi se da oko 10% do danas opisanih životinjskih vrsta živi u uskoj povezanosti sa slatkovodnim ekosustavima (Balian i sur. 2008) te da slatkovodni ekosustavi imaju najveći broj vrsta po jedinici površine (Dudgeon i sur., 2006) (Slika 1.). Smatra se da su slatkovodni ekosustavi jedni od najugroženijih na svijetu (Strayer i Dudgeon, 2010). Čine životni prostor mnogim živim bićima, međutim, pod velikim su utjecajem čovjeka koji ovisi o ovim ekosustavima. Među brojnim pritiscima koje ljudsko društvo čini na slatkovodne ekosustave upravo su zagađenje, izgradnja brana, pretjeran izlov slatkovodnih organizama, otpadne vode i unos stranih, invazivnih vrsta najviše doprinijeli degradaciji slatkovodnih ekosustava diljem svijeta (Dudgeon i sur., 2006; Strayer, 2006). Međunarodna unija za očuvanje prirode (engl. *International Union for Conservation of Nature*, IUCN) navodi invazivne strane vrste kao jedne od vodećih čimbenika gubitka biološke raznolikosti (Lodge i sur. 2000, IUCN, 2016).



**Slika 1.** Odnos broja opisanih i ugroženih vrsta po jedinici površine (milijun km<sup>2</sup>) u različitim ekosustavima. Stupci prikazuju broj opisanih vrsta eukariota po jedinici površine, dok crna linija označava broj ugroženih vrsta eukariota po jedinici površine (milijun km<sup>2</sup>) u različitim ekosustavima. Slika je preuzeta i prilagođena prema Strayer i Dudgeon, 2010.



## 1.2. Invazivne vrste

Već u 19. stoljeću Charles Darwin u svojim zapisima spominje širenje nekih vrsta na novo, ne nativno, područje i njihov utjecaj na floru i faunu tog područja. Od 19. stoljeća do danas, s rastom ljudske populacije i sve većom globalizacijom svijeta, sve više dolazi do premještanja organizama iz jednog područja u drugo (Keller i sur., 2011). Vrste koje se nalaze na području svoje prirodne rasprostranjenosti nazivaju se nativne ili autohtone vrste. Nasuprot njima postoje strane vrste ili alohtone. Te su vrste slučajno ili namjerno prenesene u novo stanište (HAOP, 2016). Invazivna vrsta je strana vrsta čije naseljavanje i/ili širenje ugrožava biološku raznolikost, zdravlje ljudi ili uzrokuje ekonomsku štetu (Zakon o zaštiti prirode, NN 80/13).

Vjerojatno najpoznatiji primjer slučajno unesene strane vrste je unos slatkovodnog školjkaša – raznolika trokutnjača (*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)) koji je balastnim vodama prenesen iz područja Crnog mora i Kaspijskog jezera (Euroazija) u područje Velikih jezera (SAD, Kanada). Tamo je ovaj školjkaš uspostavio guste populacije i proširio svoj areal djelujući negativno na nativnu faunu bentosa te mijenjajući dinamiku ekosustava filtracijom velikih količina fitoplanktona (Nalepa i Schloesser, 1993; Pullin, 2002).

Unos divljih zečeva i lisica iz Europe u Australiju je primjer namjernog unosa u prehrabene svrhe. S obzirom da se zečevi često razmnožavaju ubrzo su drastično povećali svoje populacije te su postali problem: narušili su malobrojna plodna tla u Australiji, istrijebili su neke biljne vrste, a kako su u kompeticiji s nativnim biljojedima, svojom brojnošću su ih potisnuli i ugrozili njihov opstanak. U svrhu kontrole veličine populacije divljih zečeva u Australiju je unesena lisica. Međutim, lisica nije samo predator divljim zečevima nego i nativnim tobolčarima Australije koji su se pokazali kao njezin primarni izbor hrane. Tako je ovaj primjer namjerne introdukcije ujedno i primjer ekološke katastrofe jer su drastično smanjenje populacije nativnih tobolčara Australije, a populacije divljih zečeva nisu se značajno smanjile (Pullin, 2002).

Osim toga mnogobrojni su primjeri namjernog unosa strane vrste uz koju je slučajno unesena i druga strana vrsta. Sjevernoamerički slatkovodni rak, *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) – signalni rak, unesen je u europske rijeke kroz akvakulturu kako bi nadomjestio populaciju nativnog plemenitog raka, *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758), koji je postao ugrožen zbog izlovljavanja.

Osim što se i sam signalni rak pokazao invazivnim prema drugim nativnim vrstama slatkovodnih rakova u Europi, vektor je patogena *Aphanomyces astacii* Schikora, 1903 koji uzrokuje oboljenje zvano račja kuga (Holdich i sur., 1999). Pokazalo se da su sjevernoameričke vrste rakova

puno otpornije na ovaj patogen od nativnih, europskih vrsta, u kojih patogen izaziva masovne pomore (Diéguez-Uribeondo i sur., 2006).

### 1.2.1. Proces invazije

Kako bi neka strana vrsta postala invazivna mora proći kroz nekoliko stadija invazije od kojih je svaki stadij određen nekakvom biološkom/ekološkom barijerom (Slika 2.). Stoga, izuzetno mali postotak unesenih stranih vrsta uspijeva prijeći sve stadije invazije i postati invazivno (Williamson, 1996).



**Slika 2.** Shematski prikaz stadija invazije. Prilagođeno prema Williamson, 1996.

Prvi korak je namjerno ili slučajno unošenje (introdukcija) vrste u novo područje. Jedinka koja se prenosi na novo područje naziva se propagula (engl. *propagule*). Način kojim se propagula prenosi naziva se vektor širenja (Lockwood i sur., 2007). U literaturi se vjerojatnost uspješnog unosa određenih propagula u novo područje povezuje s brojnošću propagula (broj živih prenesenih jedinki) i učestalošću unosa/prijenosa. Što je veći broj prenesenih jedinki i što se češće prenose (tj. što je jači tzv. pritisak propagula; engl. *propagule pressure*) to je vjerojatnost da će se populacija uspostaviti veća (Blackburn i sur., 2009; Lockwood i sur., 2009).

Vrsta treba opstati na novom području koje se razlikuje od izvornog (Lockwood i sur., 2005). Uneseni organizmi su često generalisti tj. raznoliko se hrane i imaju široku ekološku valenciju (prilagodljive na različite ekološke uvjete). Osim toga često se razlikuju od nativnih vrsta u životnom ciklusu i strategiji razmnožavanja. Imaju brži životni ciklus, ranije dostižu spolnu zrelost, češće se

razmnožavaju i imaju veći fekunditet (Burns, 2006). Navedene značajke im daju prednost u kompeticiji sa nativnim vrstama i pospješuju/olakšavaju prelazak u slijedeći stadij invazije (širenje) (Keller i sur., 2007. i 2011). Nadalje, mnogobrojna istraživanja pokazala su da su invazivne strane vrste agresivnije od nativnih, otpornije su na veća zagađenja vode, a osim toga prenose i razne bolesti koje su vrlo opasne za nativne vrste (Crooks i sur., 2011; Pârvulescu i sur., 2012).

Osim toga, na opstanak nove, strane vrste utječu i karakteristike samog novog područja (Keller i sur., 2011). Nisu sva područja pogodna za uspostavu populacija invazivnih vrsta. Charles Elton, kojeg se smatra utemeljiteljem znanstvenog istraživanja invazivnih vrsta (Keller i sur., 2011) u svojoj knjizi iz 1958. godine navodi da su područja najosjetljivija na invazivne vrste ona koja su pod jakim utjecajem čovjeka i drugih poremećaja (npr. prirodne katastrofe) te koja imaju malu biološku raznolikost. Europski slatkovodni ekosustavi su primjer područja koja podržavaju veliki broj invazivnih stranih vrsta. Razlog tomu je veliki broj međusobno povezanih vodenih površina i veliki utjecaj čovjeka (npr. navodnjavanje, akumulacije, brane, ribolov i rekreacija) (Keller i sur., 2011) koji je rezultirao time da su slatkovodni ekosustavi značajno promijenjeni, a time i pogodniji za biološku invaziju (Koehn, 2004).

I zaključno, kako bi neku vrstu proglasili invazivnom mora činiti nekakvu vrstu ekološke i/ili ekonomske štete ili štete po zdravlje ljudi. Istraživanja su pokazala da troškovi nastali zbog potrebe upravljanja, istraživanja i kontrole invazivnih vrsta značajno nadmašuju prihode koji su namjenjeni za ovu svrhu. U SAD-u se godišnje izdvoji oko 120 milijardi američkih dolara, dok u Europi oko 12,5 milijardi eura (Pimentel i sur., 2005; Keller i sur., 2011) za ublažavanje posljedica nastalih djelovanjem invazivnih vrsta. Školjkaš *Dreissena polymorpha* je primjer invazivne vrste koja uzrokuje ekonomsku štetu, narušava prirodnu bioraznolikost i djelomično ugrožava zdravlje ljudi (Birnbaum, 2011). U Tablici 1. je naveden primjer štete koju uzrokuje ovaj školjkaš.

**Tablica 1.** Primjeri štetnog djelovanja invazivnog školjkaša *Dreissena polymorpha*. Preuzeto iz Birnbaum, 2011.

	<b>Utjecaj <i>D. polymorpha</i></b>
<b>Ekonomska šteta</b>	obraštavanje cijevi; zaraštavanje dokova, brodova, kaveza za akvakulturu itd.
<b>Narušeno zdravlje ljudi</b>	Ljuštore oštirih bridova na plažama
<b>Narušena biološka raznolikost</b>	Kompeticija s drugim školjkašima, promjena zajednica u bentosu (povećane populacije detritivora i makrovegetacije)

Osim negativnog utjecala, invazivne vrste pružaju i određene dobrobiti. Njihovim proučavanjem znanstvenici su dobili uvid u odnose između nativnih i stranih vrsta te kako određene vrste utječu na ekosustav u kojem se nalaze (Keller i sur., 2011). Invazivne vrste postale su korisni model za ekološka, evolucijska i biogeografska istraživanja (Sax i sur., 2005). Osim toga, strana vrsta može pridonositi ekonomiji i zdravlju ljudi umjesto da postane invazivna; primjerice kukuruz koji potječe iz područja Srednje Amerike, riža koja potječe iz Kine i pšenica koja potječe s Bliskog Istoka danas su prisutne u cijelom svijetu i čine prehrambeni fond većine razvijenih zemalja svijeta (Pimentel i sur., 2005).

### **1.2.2. Putovi ulaska slatkovodnih invazivnih vrsta**

Glavni putovi ulaska (introdukcije) slatkovodnih vrsta u nova područja u uskoj su vezi s ljudskim aktivnostima. Jedan od važnijih putova ulaska strane vrste u novo područje su balastne vode (Gherardi i sur., 2009). Brodovi na jednom mjestu u svijetu uzimaju veliku količinu vode, a u njoj se nalaze brojni organizmi i njihove ličinke tog područja. Potom, na nekom drugom mjestu ispuštaju tu vodu i tako u novo područje unesu nove organizme. Osim toga neki organizmi (npr. školjkaši, rakovi vitičari itd.) se pričvršćuju za trup broda te postoji mogućnost da u bilo kojem mjestu ispuste svoje ličinke (Gherardi i sur., 2009).

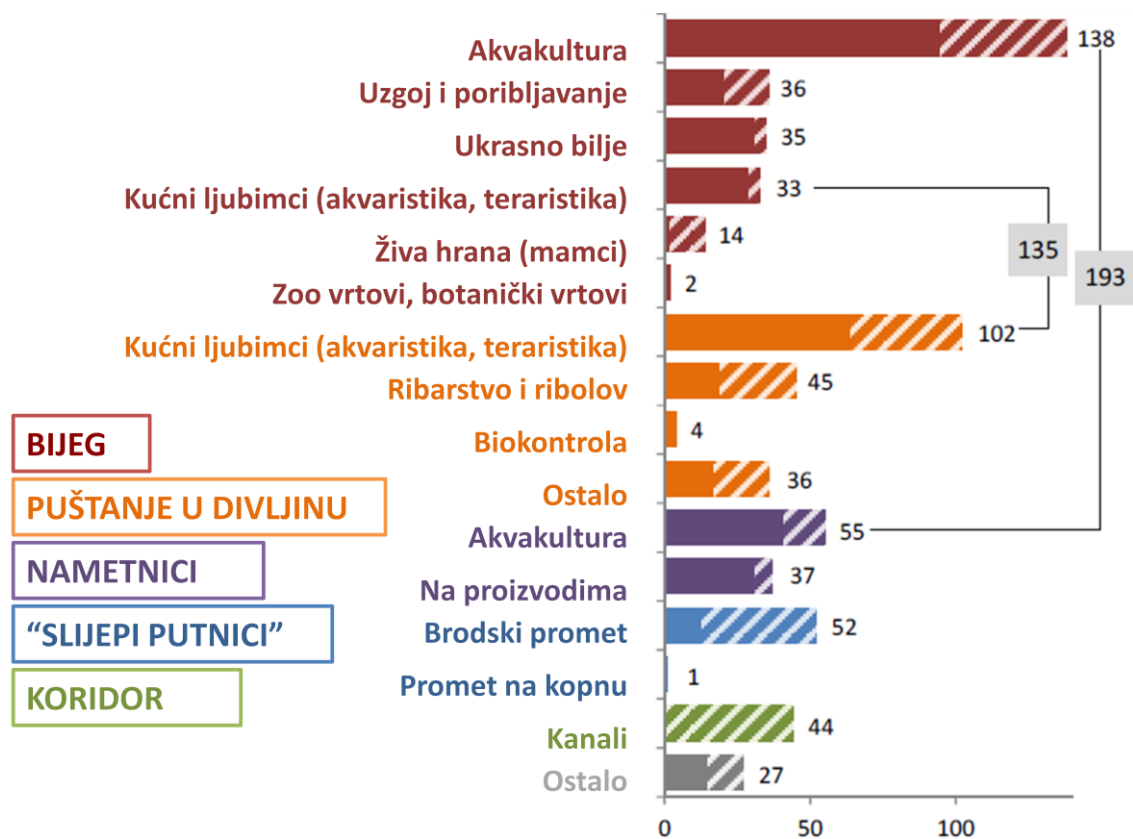
Vrlo važan put ulaska je i akvakultura. Akvakultura u Europi se uglavnom temelji na uzgoju invazivnih stranih vrsta (Turchini i De Silva, 2008) koje su komercijalno isplative poput nekih vrsta šarana i lososa te japanskih i pacifičkih kamenica (Naylor i sur., 2001). S obzirom da uvijek postoji rizik od bijega jedinki iz uzgoja, akvakultura često omogućuje vrstama iz uzgoja ulazak u nova područja i širenje areala.

Isto tako trgovina ornametalnim biljkama i egzotičnim ljubimcima pridonosi unosu i širenju stranih vrsta koje mogu postati invazivne (Strecker i sur., 2011). Pokazalo se da je akvaristika jedan od vrlo zastupljenih hobija, te vrlo često put ulaska strane vrste u novo područje (Faulkes, 2010; Chucholl, 2013), jer se često neodgovorno rukuje kućnim ljubimcima u akvaristici pa oni namjerno ili slučajno budu pušteni u prirodu. Nunes i suradnici (2015) navode da su ova dva puta širenja (akvakultura i akvaristika) u zadnjih nekoliko godina postala značajnija od balastnih voda.

Nadalje, Europa je primjer kontinenta koji je prožet brojnim vodenim tijelima. Izgradnjom kanala, tzv. koridora, čovjek je povezo mora na sjeveru Europe s morima na jugu i time olakšao trgovinu i promet Europom. Međutim, na taj način su brojna izolirana vodena tijela postala povezana i omogućeno je kretanje organizama iz jednog vodenog tijela u drugo (Panov i sur., 2009).

Kao što je prethodno spomenuto, strana vrsta može na različite načina dospjeti na novo područje (Nunes i sur., 2015), a najčešći načini zabilježeni za Europu su prikazani na Slici 3. i uključuju:

- 1) bijeg (npr. bijeg iz uzgajališta, bijeg iz akvarija itd.)
- 2) puštanje u divljinu (npr. poribljavanje, neodgovorno puštanje egzotičnih kućnih ljubimaca u divljinu itd.)
- 3) nametnik (na drugim organizmima ili na proizvodima)
- 4) „slijepi putnik“ (unos neželjenog stranog organizma zajedno s unosom željenog organizma ili balastnim vodama)
- 5) koridori (kanali koji povezuju vodena tijela koja su u prošlosti bila izolirana)



**Broj slatkovodnih invazivnih vrsta u Europi**

**Slika 3.** Prikaz broja slatkovodnih invazivnih vrsta u Europi prema načinu ulaska u novo područje. Kose bijele linije označavaju udio europskih nativnih vrsta koje su se proširile u druge dijelove Europe na jedan od navedenih načina. Posebno su istaknuti (zbroj u sivim kvadratima) podaci vezani za akvakulturu i akvaristiku/teraristiku. Slika je preuzeta i prilagođena prema Nunes i sur., 2015.

### 1.3. Slatkovodni rakovi podreda Astacidea

Slatkovodni rakovi podreda Astacidea su ključne su vrste slatkovodnih ekosustava. Na svijetu je opisano preko 780 vrsta slatkovodnih rakova ovog podreda (De Grave i sur., 2009). Prisutni su nativno na svim kontinentima, osim Afrike i Antarktike (Hobbs, 1988), a zauzimaju široki spektar staništa (Taylor, 2002). Slatkovodni rakovi podreda Astacidea podijeljeni se u 3 porodice: Astacidae koji su rasprostranjeni u Europi, zapadnoj Aziji i zapadnoj Sjevernoj Americi; Cambaridae koji se pojavljuju na samom istoku Azije i u Japanu te u cijeloj Sjevernoj Americi izuzev zapadnog SAD-a i Kanade; i Parastacidae koji nastanjuju gotovo cijelu južnu hemisferu (Australija, južna Amerika, Madagaskar itd.) (Hobbs, 1988). Interes ljudi za ovu skupinu životinja jako je velik jer se koriste u prehrambene svrhe, stoga su slatkovodni rakovi ugroženi zbog prekomjernog izlova, ali su i neki slatkovodni rakovi invazivne vrste koji su zbog prenošenja iz jednog područja u drugo (akvakultura), pobijegli iz uzgajališta, ušli u novo stanište i proširili svoju populaciju (Taylor i sur., 1996).

#### 1.3.1. Porodica Astacidae

Kao što je rečeno, porodica Astacidae je jedina nativna porodica u Europi i zapadnoj Aziji (do Urala), pa tako i u Hrvatskoj. Porodica obuhvaća 3 roda: *Astacus* i *Austropotamobius* koji su nativni za Europu (Gherardi i Holdich, 1999) i rod *Pacifastacus* koji naseljava Sjevernu Ameriku (Starobogatov, 1995). U Europi je rod *Astacus* zastupljen s 3 vrste, a rod *Austropotamobius* s dvije: *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) – riječni ili plemeniti rak; *Astacus pachypus* (Rathke, 1837); *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 – uskoškari, barski ili turski rak; *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) – rak kamenjar ili potočni rak i *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858)– bjelonogi rak (Holdich, 2003). S obzirom da filogenetski odnosi unutar vrsta *A. leptodactylus* i *A. pallipes* nisu još razriješeni govorimo o kompleksima (kompleks *A. leptodactylus* i kompleks *A. pallipes*) (Maguire i sur., 2014; Amouret i sur., 2015).

### 1.4. Invazivne strane vrste slatkovodnih rakova

Iako mali broj stranih vrsta životinja uspije proći sve stadije invazije: unos, uspostava samoodržive populacije i širenje areala, (Williamson, 1996) (Slika 2.) rakovi su se pokazali kao iznimka. Većina stranih vrsta slatkovodnih rakova unesenih u Europu se uspješno prilagodila novom staništu i uspješno savladala sve stadije invazije (Holdich, 2003).

Invazivne strane vrste slatkovodnih rakova u kompeticiji za prostor i hranu istiskuju native vrste rakova. Kompetitivno su snažnije jer su obično agresivnije (Söderbäck, 1991; Usio i sur., 2001) brže rastu, imaju veći fekunditet i ranije spolno sazrijevaju (Huber i Schubart, 2005) te hibridiziraju s autohtonim vrstama i smanjuju genetičku raznolikost (Perry i sur., 2002). S obzirom da su generalisti, imaju veliki utjecaj na cijelu hranidbenu mrežu slatkovodnih ekosustava: predatori su na beskralježnjacima kao što su neki vodeni kukci i puževi, smanjuju brojnost makrofita te imaju negativan utjecaj na populacije vodozemaca i riba (Twardochleb i sur., 2013). Osim toga mogu mijenjati funkciju i strukturu ekosustava kroz biotrubaciju i ukopavanje (Johnson i sur., 2011; Albertson i Daniels, 2016).

Posebno su zanimljivi invazivni rakovi podrijetlom iz Sjeverne Amerike. Naime, ti rakovi su vektori širenja patogena *Aphanomyces astacii* Schikora, 1906, koji uzrokuje bolest nazvanu račja kuga i letalan je organizam za slatkovodne rakove Europe, Azije i Australije (Alderman, 1996).

Međutim, osim negativnog utjecaja invazivnih vrsta rakova na native vrste postoji komercijalna, socio-ekonomska i rekreacijska korist od uspostavljenih stranih vrsta (Westman, 2002).

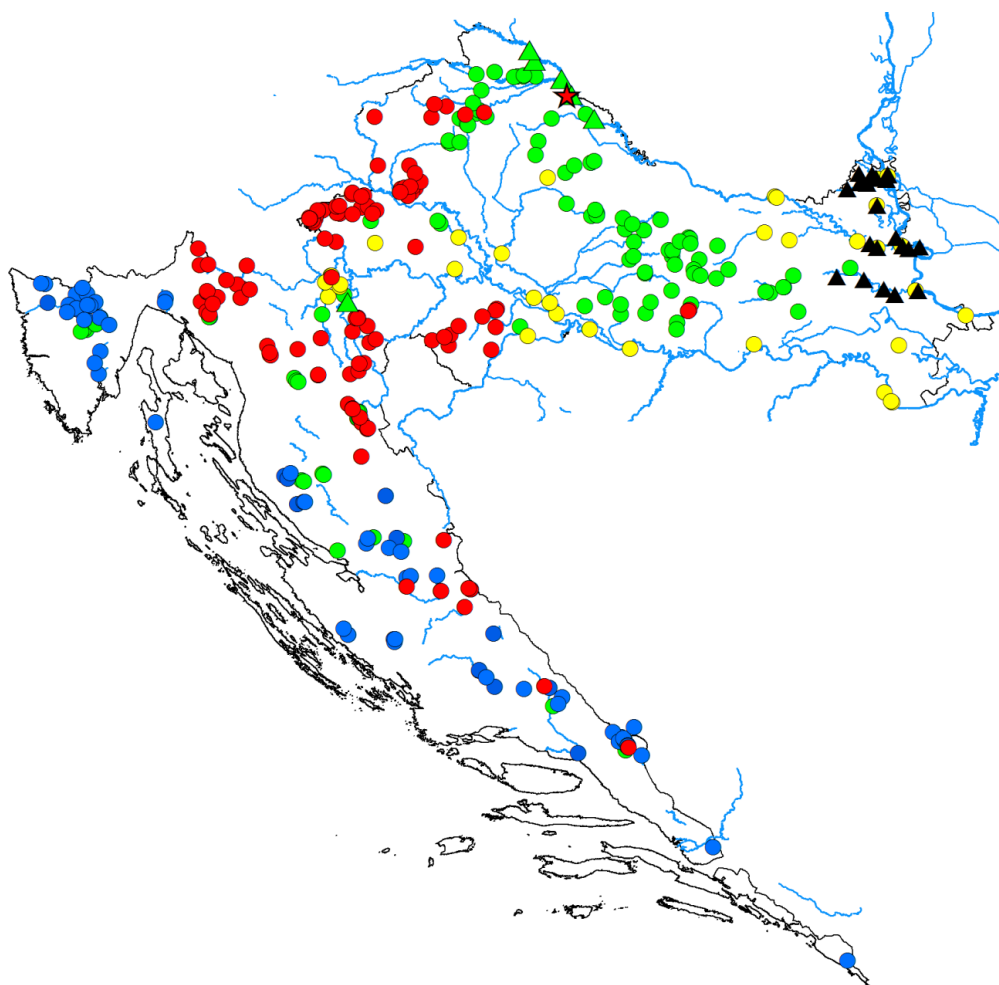
#### **1.4.1. Astakofauna u Europi**

Kao što je već navedeno native rakovi Europe obuhvaćaju 5 vrsta (Holdich, 2003). Nasuprot tomu, barem 11 vrsta stranih slatkovodnih rakova je do danas zabilježeno u Europi (Kouba i sur., 2014). Najbrojnije su vrste koje potječu iz Sjeverne Amerike i većinom su pripadnici porodice Cambaridae: *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817) – bodljobradi rak; *Orconectes immunis* (Hagen, 1870); *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) te *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) – signalni rak, iz porodice Astacidae. Osim sjevernoameričkih vrsta u Europi su prisutne i strane, invazivne vrste iz Australije: *Cherax destructor* Clark, 1936 (Holdich, 2003) i *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Jaklič i Vrezec, 2011).

Uz ove strane, invazivne rakove koji se mogu pronaći u prirodi, postoji još nekoliko vrsta slatkovodnih rakova koji su vrlo popularni u akvaristici te postoji velika vjerojatnost da i one jednom budu unesene (namjerno ili slučajno) u prirodu, primjerice *Procambarus zonangulus* Hobbs i Hobbs 1990 (Holdich, 2003). Isto tako, danas je vrlo tražena akvaristička vrsta, mramorni rak - *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis* koji je upravo kroz akvaristiku unesen u Europske slatkovodne ekosustave 90-ih godina prošlog stoljeća (Chucholl i sur., 2012).

#### 1.4.2. Astakofauna u Hrvatskoj

U Hrvatskoj prirodno obitavaju vrste *A. leptodactylus*, *A. astacus*, *A. torrentium* i *A. pallipes* (Maguire i sur., 2011). Plemeniti rak (*A. astacus*) je prirodno rasprostranjen u vodotocima crnomorskog slijeva, ali je unesen i u neke rijeke jadranskog slijeva (Maguire i Gottstein-Matočec, 2004). Uskoškari rak (*A. leptodactylus*) se također nalazi u rijekama crnomorskog slijeva (Maguire i Gottstein-Matočec, 2004), a zabilježeno je njegovo postupno širenje na zapad i jug Hrvatske pri čemu potiskuje plemenitog raka (*A. astacus*) i raka kamenjara (*A. torrentium*) (Maguire i sur., 2011). U rijekama jadranskog slijeva rasprostranjen je bjelonogi rak (*A. pallipes*), dok je rak kamenjar (*A. torrentium*) prisutan u bržim vodotocima na višim nadmorskim visinama (crnomorski slijev) iako se može pronaći i u nekoliko potoka jadranskog slijeva (Maguire i sur., 2011) (Slika 4.)



**Slika 4.** Rasprostranjenost plemenitog raka označena je zelenim, uskoškarg raka žutim, potočnog crvenim, a primorskog plavim točkama. Zelenim trokutićima označen je rasprostranjenost signalnog



raka, a crnim trokutićima bodljibradog raka. Crvenom zvijezdom označena jerasprostranjenost mramornog raka. Slika je preuzeta i prilagođena prema Maguire i sur., neobjavljeni podaci.

Maguire i suradnici (2011) u svom istraživanju navode da je ugroženost nativnih slatkovodnih rakova Hrvatske uzrokovana uglavnom utjecajem čovjeka na njihovo stanište (kanalizacija rijeka, izgradnja hidroelektrana itd.), sve izraženijim i dužim sušnim razdobljima te unosom invazivnih stranih vrsta rakova.

U Hrvatskoj su danas prisutne 3 invazivne strane vrste rakova: signalni, bodljibradi i mramorni rak. Prvi nalaz invazivne strane vrste rakova potječe iz 2003. godine kada je zabilježen bodljibradi rak (*O. limosus*) u Parku prirode Kopački rit na istoku Hrvatske, na ušću rijeka Dunav i Drava (Maguire i Klobučar, 2003). Bodljibradi rak se proširio uzvodno rijekom Dravom potiskujući nativnu vrstu, uskoškarog raka (*A. leptodactylus*) (Hudina i sur., 2009). Signalni rak (*P. leniusculus*) je prvi put je zabilježen u rijeci Muri 2008. godine te se proširio u Dravu i nastavlja se širiti nizvodno potiskujući plemenitog raka (*A. astacus*) (Hudina i sur., 2009) Zabilježen je i u rijeci Korani 2012. godine (Hudina i sur., 2013) (Slika 4.). Osim ove dvije vrste, 2013. godine u jezeru Šoderica, nedaleko grada Koprivnice (Sjeverna Hrvatska) pronađena je nova vrsta stranog slatkovodnog raka u Hrvatskoj: mramorni rak (*P. fallax* f. *virginalis*) (Samardžić i sur., 2014).

### 1.4.3. Zakonodavstvo

Hrvatsko zakonodavstvo štiti tri od četiri native vrste slatkovodnih rakova (*A. astacus*, *A. pallipes* i *A. torrentium*). U Hrvatskoj se ove tri vrste navode kao (strogo) zaštićene vrste, a njihova zaštita propisana je i regulirana Zakonom o zaštiti prirode te Pravilnikom o strogo zaštićenim vrstama (NN 80/13). Unutar samog Zakona o zaštiti prirode usvojeni su i propisi Europske Unije o zaštićenim vrstama (Direktiva o staništima, Konvencija o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa).

Osim Zakona o zaštiti prirode u Hrvatskoj postoje i Crvene knjige i Crveni popisi ugroženih vrsta koje izrađuje Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP), nekadašnji Državni zavod za zaštitu prirode (DZZP). Gottstein i suradnici su 2011. godine napravili Crveni popis rakova (Crustacea) slatkih i bočatih voda Hrvatske. Na tom popisu nalaze se tri vrste native slatkovodnih rakova podreda Astacidea: *A. astacus* (VU, engl. vulnerable; osjetljiva), *A. pallipes* (EN, engl. endangered; ugrožena) i *A. torrentium* (VU, engl. vulnerable; osjetljiva).

Zakon o zaštiti prirode (NN 80/13) propisuje i regulira ponašanje prema invazivnim stranim vrstama. Uredba Komisije (EU) br. 1141/2016 od 13. srpnja 2016. donijela je popis invazivnih stranih vrsta koje izazivaju zabrinutost u Uniji u skladu s Uredbom (EU) br. 1143/2014 od 22. listopada 2014 ([www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu)) o sprječavanju i upravljanju unošenja i širenja invazivnih stranih vrsta. Na tom popisu prisutne su vrste slatkovodnih rakova: *O. limosus*, *P. leniusculus* i *P. fallax* f. *virginalis* koje su prisutne i u Hrvatskoj. Na popisu se još nalazi i vrsta *O. virilis* i *P. clarkii* ali one nisu zabilježene u Hrvatskoj ([www.invazivnevrste.hr](http://www.invazivnevrste.hr))

### **1.5. Mramorni rak - *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) forma *virginalis***

Mramorni rak pripada porodici Cambaridae koja je najraznolikija skupina slatkovodnih rakova podreda Astacidea. Uključuje 12 rodova i karakteristična je skupina za Sjevernu Ameriku (Taylor, 2002). Rod *Procambarus*, sa svojih 163 vrste naseljava područje centralnog i istočnog SAD-a, Meksiko i Kubu (Hobbs, 1988). Najpoznatija vrsta ovog roda je *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), koja je jedna od najvažnijih komercijalnih vrsta slatkovodnih rakova u svijetu i unesena je na područje Afrike, Azije i Europe gdje se pokazala kao invazivna strana vrsta (Gherardi i Aquistapace, 2007). Ovom rodu pripada i relativno nedavno otkrivena invazivna strana vrsta koja je predmet istraživanja ovog diplomskog rada, mramorni rak *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*.

#### **1.5.1. Biologija vrste**

Ime „mramorni“ dobio je zbog uzorka na tijelu koji podsjeća na mramor (Martin i sur., 2010) (Slika 5.). Odrasle jedinke mramornog raka su dugačke od 4-8 cm (mjereno od vrha rostruma do kraja telzona), a teže od 1,5 do 15 g. Rastu periodički, kroz presvlačenja (oko 25 presvlačenja u životu; Vogt, 2010). Prosječno žive oko 700 dana (Vogt, 2011). Obitavaju u plitkim vodama sa smanjenim strujanjem vode (lentička staništa). Preferiraju mekani supstrat kao što je mulj i puno detritusa (Chucholl i Pfeiffer, 2010). Potrebna su im topla ljeta (Seitz i sur., 2004), međutim, odrasli prežive nisku temperaturu vode (čak i ispod leda) smanjenjem aktivnosti i metabolizma (Pfeiffer, 2005; Bohman i sur., 2013). Mramorni rak može preživjeti i sušna razdoblja kao što je dokazano u istraživanju Jones i suradnici (2009) gdje su jedinke preživjele tri dana bez vode.



**Slika 5.** „Mramorni“ uzorak na tijelu mramornog raka (*P. fallax* f. *virginalis*)  
(Fotografija: Sandra Hudina)

Mramorni rak se razmnožava isključivo partenogenetski. U redu deseteronožnih rakova (Decapoda) osim ove vrste još je kod bodljibradog raka i vrste *P. clarkii* prisutna partenogeneza, ali fakultativna (Burić i sur., 2011, Yue i sur., 2010). Mužjak mramornog raka do sada nije pronađen (Seitz i sur., 2004; Jones i sur., 2009), a neuspješan je bio i pokušaj dobivanja mužjaka tretiranjem jaja muškim hormonima (Vogt, 2007).

Daljnijim istraživanjem genetike ove vrste utvrđeno je da se mramorni rak razmnožava tzv. apomiktičkom partenogenezom (Martin i sur., 2007; Vogt i sur., 2008). Apomiktička partenogeneza je oblik partenogenetskog razmnožavanja gdje oocite ne prolaze kroz mejozu (Martin i sur., 2015). Nadalje, partenogeneza je usko povezana s poliploidijom (Comai, 2005; Lundmark i Saura, 2006), a i poznato je da kod biljaka poliploidija pridonosi drugačijoj reproduktivnoj biologiji (Levin, 2002). Martin i suradnici su 2015. godine u svom istraživanju utvrdili da je mramorni rak triploidni organizam (ima tri seta kromosoma umjesto dva). Iako su Martin i suradnici u radu iz 2010. godine zagovarali mišljenje da mramorni rak nije hibrid nastao križanjem vrste *P. fallax* i druge srodne vrste roda *Procambarus* (mogući uzrok triploidnosti), potrebno je provoditi daljnja istraživanja da bi se ta hipoteza znanstveno utvrdila ili odbacila (Martin i sur., 2015).

Jedinke imaju kratko generacijsko vrijeme, otprilike 6 mjeseci (Faulkes, 2010; Vogt, 2011). To znači da su već u prvoj godini života reproduktivno aktivni što ukazuje na vrlo brz rast nasuprot nativnim vrstama rakova u Hrvatskoj koji spolnu zrelost dostižu u trećoj godini života (Huner, 2002; Holdich, 2003; Jones i sur., 2009). Razmnožavaju se otprilike svaka 3 mjeseca (Chucholl i Pfeiffer 2010), a u životu prođu oko 7 reproduktivnih ciklusa to jest žive oko 4 godine što pokazuje izričito kratak život s obzirom na primjerice vrstu signalnog raka koja može živjeti do 20 godina (Vogt, 2011). Sličan životni ciklus pokazuje i vrsta *P. clarkii* (Chucholl, 2011). Da bi se razmnožavali trebaju temperaturu vode višu od 15 °C, a optimum je 20-25 °C (Seitz i sur., 2004; Chucholl i Pfeiffer, 2010).

Najveći broj juvenilnih jedinki po ženki iznosi oko 430 jedinki (Vogt, 2011), međutim, u laboratorijskim uvjetima uočeno je da postoji njihova visoka smrtnost (Faulkes, 2010). Zbog svih navedenih karakteristika (kao što su brzi rast, razmnožavanje više puta godišnje i veliki broj potomaka) vrsta pripada tzv. vrstama r-strategije u koje se ubrajaju i signalni rak i vrsta *P. clarkii* (IUCN, 2016). Međutim, većina nativnih vrsta rakova pripada vrstama K – strategije (Chucholl i sur., 2012).

Isključivo partenogenetsko razmnožavanje omogućuje ovoj vrsti da uspostavi populaciju pomoću samo jedne jedinke, što također pridonosi većem invazivnom potencijalu/uspjehu ove vrste naspram drugih invazivnih vrsta. Osim toga, sve karakteristike, navedene ranije u tekstu (brzo generacijsko vrijeme, visoki fekunditet, veća tolerancija na promjene uvjeta okoliša itd.), čine ga „vrlo uspješnom invazivnom stranom vrstom“ (Jones i sur., 2009).

Nasuprot tome što se mramorni rak smatra invazivnom stranom vrstom, od 2000. godine ova je vrsta prepoznata kao izvrstan laboratorijski organizam prvenstveno zbog reproduciranja klonova i jednostavnog uzgoja. Genetički identični potomci idealni su za epigenetička istraživanja. Trenutno se koristi kao laboratorijska životinja u nekoliko laboratorija u Europi, Japanu i SAD-u (Vogt, 2011).

### 1.5.2. Porijeklo i distribucija vrste

Mramorni rak se prvi put spominje sredinom 1990-ih kao akvaristička vrsta u Njemačkoj (Lukhaup, 2001). Prvi pronalazak mramornog raka u prirodi bio je 2003. godine u Njemačkoj (Scholtz i sur., 2003) i od tada su započela brojna istraživanja ove vrste koja su bila usmjerena na proučavanje distribucije i genetike vrste (Martin i sur., 2010; Kouba i sur., 2014; Martin i sur., 2015)

S obzirom da su sve današnje prirodne populacije mramornog raka klonovi onih iz akvaristike smatra se da je vrsta dospjela u europske vodotokove puštanjem u prirodu (introdukcija) (Faulkes i sur., 2012). Ono što ostaje zagonetka jest samo porijeklo ove vrste. Mramorni rak pripada rodu *Procambarus* koji potječe iz istočnog dijela Sjeverne Amerike. Genetička istraživanja pokazala su da je najbliži srodnik ove vrste *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) koji nastanjuje istočnu obalu Sjeverne Amerike, točnije države Georgia i Florida (Martin i sur., 2010).

Mramorni rak se trenutno smatra partenogenetskim oblikom vrste *P. fallax*. Od tud dolazi i dodatak „forma *virginialis*“ u imenu vrste. Međutim, ovakvo znanstveno ime nije u skladu s pravilima ICZN-a (engl. *International Code of Zoological Nomenclature*, 1999). Već 2010. godine Martin i suradnici su postavili pitanje: da li je mramorni rak ipak nova vrsta ili možda podvrsta? Prema

biološkoj definiciji vrsta je definirana mogućnošću spolne (seksualne) reprodukcije i genetičke izolacije prema drugim vrstama (Mayr, 2000). Ipak, ovaj koncept nije primjenjiv za nespolno (aseksualno) razmnožavanje. Zbog toga su već 2010. godine Martin i suradnici predložili da mramorni rak dobije status vrste ukoliko se zadovolje kriteriji koncepta kojeg su donijeli Birky i Barraclough 2009. godine za organizme koji se razmnožavaju nespolno. Prema tom konceptu (engl. *Evolutionary Genetic Species Concept*) mramorni rak bi trebao imati reproduktivnu i geografsku izoliranost od vrste *P. fallax*, vrsta bi trebala imati jedinstveno porijeklo i sve populacije bi se trebale grupirati u isti klaster bez obzira na rasprostranjenost. Vogt i suradnici 2015. godine su potvrdili da mramorni rak zadovoljava sve ove uvjete te su predložili znanstveni naziv vrste: *Procambarus virginalis*.

Njihovo istraživanje ukazuje na mogućnost evolucije ove vrste iz vrste *P. fallax* (Vogt i sur., 2015). Međutim, znanstveno nije pokazano je li vrsta evoluirala u prirodi ili je do mutacija došlo u zatočeništvu (akvaristika). Poznato je da su u akvarijima životinje pod većim stresom, a velike gustoće jedinki pridonose razvoju bolesti i mutacija. Osim toga stres pridonosi evoluiranju organizma (Hoffman i Hercus, 2000). Taksonomski položaj mramornog raka naveden je u Tablici 2.

**Tablica 2.** Prikaz taksonomskog položaja vrste (prilagođeno prema Martin i Davis, 2001)

Domena	Eukaryota
Carstvo	Animalia
Podcarstvo	Eumetazoa
Koljeno	Arthropoda
Potkoljeno	Crustacea
Razred	Malacostraca
Podrazred	Eumalacostraca
Red	Decapoda
Podred	Pleocyemata
Porodica	Cambaridae
Rod	<i>Procambarus</i>
Vrsta	<b><i>Procambarus fallax forma virginalis</i></b>

Nadalje, sve vrste slatkovodnih rakova porodice Cambaridae (rodovi *Procambarus* i *Orconectes*) prenosioci su uzročnika račje kuge (*Aphanomyces astacii* Schikora, 1906), a Keller i suradnici (2014) su dokazali prisutvo patogena i u mramornom raku. Zbog svega navedenog; bliske srodnosti s vrstom *P. fallax* i činjenicom da je mramorni rak prijenosnik uzročnika račje kuge, smatra se da i ova vrsta potječe iz Sjeverne Amerike.

Prema Chucholl i suradnici (2012) do danas postoji bar šest uspostavljenih populacija mramornog raka u Europi (Njemačka i Slovačka) te jedna uspostavljena populacija na Madagaskaru (Jones i sur., 2009). Osim toga vrsta je pronađena i u Švedskoj, Italiji i Nizozemskoj (Kouba i sur., 2014) te od 2016. godine prisutna je i u Mađarskoj (Lókkös i sur., 2016). U Hrvatskoj je vrsta prvi put zabilježena 2013. godine u jezeru Šoderica nedaleko Koprivnice (Samardžić i sur., 2014).

## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Mramorni rak je relativno nova invazivna vrsta u Hrvatskoj. Uočen je 2013. godine u jezeru Šoderica. S obzirom da se vrsta razmnožava isključivo partenogenetski i da je prijenosnik uzročnika račje kuge smatra se da posjeduje veliki invazivni potencijal. Svrha ovog istraživanja je proučiti reproduktivni ciklus ove vrste s naglaskom na fekunditet kako bi se utvrdilo da li je partenogenetsko razmnožavanje prednost mramornom raku naspram drugih invazivnih slatkovodnih rakova u kontinentalnoj klimi sjeverozapadne Hrvatske (jezero Šoderica). Bolje razumijevanje biologije i ekologije ove vrste pridonijet će i izradi adekvatnih planova upravljanja i kontroliranja populacija mramornog raka.

Ciljevi ovog istraživanja su sljedeći:

- Proučiti uzrasnu strukturu populacije mramornog raka u jezeru Šoderica
- Proučiti reproduktivni ciklus vrste s naglaskom na usporedbu potencijalnog i realiziranog fekunditeta
- Usporediti kondicijske indekse s reproduktivnim ciklusom vrste

### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Terenska istraživanja su provedena od svibnja 2015. godine do siječnja 2016. godine u jezeru Šoderica. Jezero Šoderica nalazi se u Koprivničko-križevačkoj županiji. Jezero je antropogenog podrijetla i iskorištava se za vađenje pijeska i šljunka (šljunčara). Jezero ima površinu oko 150 hektara te se nalazi na nadmorskoj visini od otprilike 128 metara. Udaljeno je od dravske obale svega 450 metara. Voda iz rijeke Drave je procijednim putem ispunila jezersku depresiju nastalu prilikom vađenja šljunka pa vodostaji Šoderice zavise o vodostajima rijeke Drave. Prosječna dubina sjevernog dijela jezera je oko 8 metara dok dubine u južnom dijelu jezera dosežu i 20 metara. Većina središnjeg dijela jezera je plićak s dubinama od 0,5 do 2 metra. U sjevernom dijelu nalazi se nekoliko otoka koji su obrasli autohtonom šikarom i šumskom vegetacijom. Obala je šljunčana i slabo razvedena. Jezero je okruženo visokim raslinjem ([www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica](http://www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica)) (Slika 6.).



**Slika 6.** Fotografije područja gdje su lovljene jedinke mramornog raka na jezeru Šoderica. (Fotografije: Ivana Maguire)



U zaleđu je smješteno vikend naselje s nekoliko ugostiteljskih objekata i prometnicom. Uz ostale obalne površine jezera postoje poljoprivredna zemljišta, oranice i livade. U blizini jezera nalazi se asfaltirana prometnica i željezničke pruge (industrijski kolosjek i pruga Koprivnica-Budimpešta) ([www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica](http://www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica)).

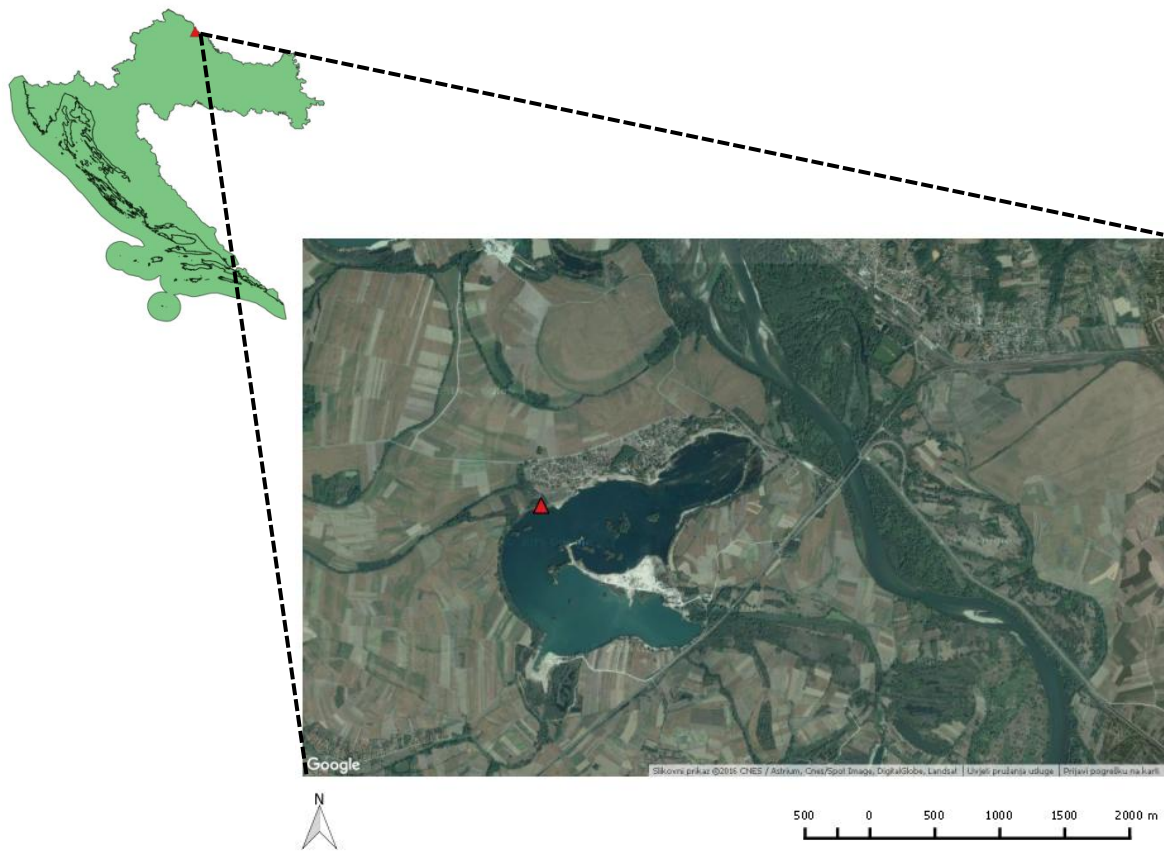
S obzirom da nema podataka o temperaturi vode i vodostaju u jezeru Šoderica preuzeti su podaci o temperaturi i vodostaju rijeke Drave u blizini mjesta Botovo. S obzirom da je Botovo udaljeno svega 1,2 kilometra od sjevernog dijela Šoderice ([www.bioportal.hr/gis](http://www.bioportal.hr/gis)) mjerna postaja „Botovo“ predstavlja mjernu postaju na rijeci Dravi koja je najbliža jezeru Šoderica. Prema podacima iz 2015. i 2016. godine najniže dnevne temperature su u siječnju i iznose oko 2 °C, a najviše dnevne temperature su oko 20 °C. Najniži srednji dnevni vodostaj iznosi oko – 20 cm, a najviši oko 430 cm. U Tablici 3. su prikazani ekstremi dnevnih temperatura i srednjih dnevnih vodostaja rijeke Drave izmjereni na mjernoj postavi Botovo. Podaci su zatraženi od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ).

**Tablica 3.** Ekstremi temperatura i vodostaja rijeke Drave izmjereni na mjernoj postavi „Botovo“ u blizini jezera Šoderica. Podaci za 2015. godinu i prvu polovicu 2016. godine (DHMZ).

TEMPERATURA	Najniža	2,2 °C	1.1.2015.
		1,9 °C	5.1.2016.
	Najviša	23,2 °C	25.7.2015.
		18,2 °C	30.5.2016.
VODOSTAJ	Najniži	-19 cm	31.12.2015.
		-23 cm	4.1.2016.
	Najviši	428 cm	24.5.2015.
		350 cm	4.5.2016.

Šoderica pripada Regionalnom parku Mura-Drava i zaštićeno je područje ([www.bioportal.hr/gis](http://www.bioportal.hr/gis)) što znači da je to „geografski jasno određen prostor koji je namijenjen zaštiti prirode i kojim se upravlja radi dugoročnog očuvanja prirode i pratećih usluga ekološkog sustava“ (NN 80/13). Regionalni park Mura-Drava dio je jednog od najvažnijih europskih riječnih ekosustava poplavnog područja rijeka Drave, Mure i Dunava.

Na Slici 7. je prikazan lokalitet s kojeg su prikupljeni mramorni rakovi (GPS koordinate: N 46°14'40,3" E 16°55'23,4").



**Slika 7.** Geografski smještaj jezera Šoderica u Hrvatskoj (crveni trokut) i lokalitet na jezeru Šoderica s kojeg su prikupljane životinje (crveni trokut). Slike su napravljene u programu QGIS 2.6.1. Brighton (2014).

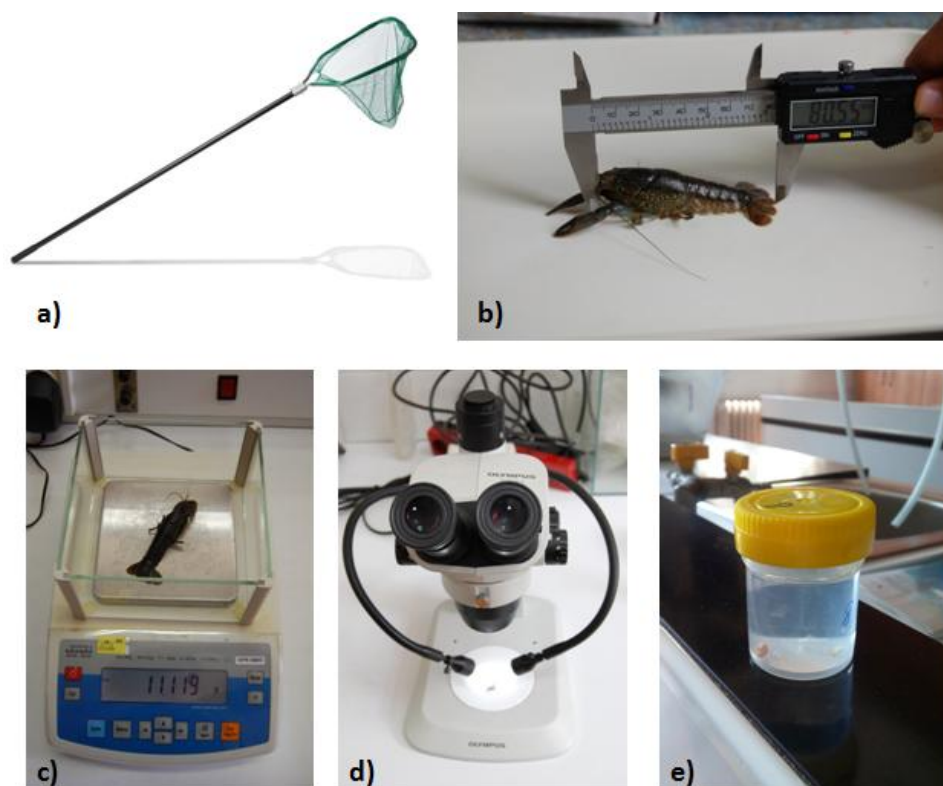
## 4. MATERIJALI I METODE

### 4.1. Materijali

Sav pribor, kemikalije i uređaji koji su korišteni u ovom istraživanju navedeni su u Tablici 4. i prikazani na Slici 8.

**Tablica 4.** Korišteni instrumenti i kemikalije u ovom istraživanju.

UREĐAJ/PRIBOR/KEMIKALIJA	PROIZVOĐAČ	SVRHA
Ručne mreže	/	Hvatanje životinja
Pomična mjerka	Digital caliper Schut (0-150 mm)	Mjerenje morfometrijskih značajki životinja
Vaga	RADWAG	Određivanje mase životinja, njihovih gonada i hepatopankreasa
Lupa	Olympus-SZ61	Brojanje jaja i juvenilnih jedinki
Formaldehid (4%)	Kemika	Konzerviranje gonada, vanjskih jaja i juvenilnih jedinki



**Slika 8.** Korišteni instrumenti i kemikalije u ovom istraživanju: a) ručna mreža (slika je preuzeta s mrežne stranice [www.lakefish.net](http://www.lakefish.net)); b) pomična mjerka; c) vaga; d) lupa i e) gonada pohranjena u 4%-tnom formaldehidu. (Fotografije b - e : Sandra Hudina).

## 4.2. Metode

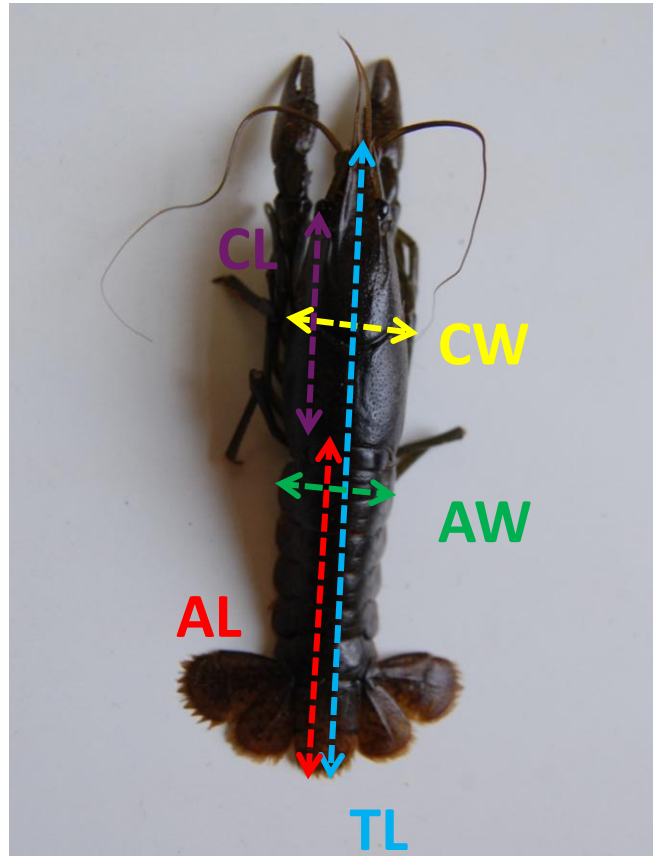
Životinje su prikupljane od svibnja 2015. godine do siječnja 2016. godine u jezeru Šoderica (Slika 7.) jednom mjesečno, noću, ručno i pomoću ručnih mrežica (veličina oka 5 mm). Vrijeme prikupljanja bilo je oko 2 sata.

Ulovljene jedinke su prebačene u laboratorij Zoologijskog zavoda (Biološki odsjek) Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu na daljnju analizu.

Prvo su životinje pothlađene 10 minuta na  $-18^{\circ}\text{C}$  te su im izmjerene osnovne morfometrijske značajke pomoću digitalnog pomičnog mjerila (preciznost 0,05 mm; Tablica 4.; Slika 8. b)).

Morfometrijske značajke su uključivale (Slika 9.):

- a) ukupnu dužinu tijela (od vrha rostruma do vrha telzona; oznaka TL)
- b) dužinu karapaksa (od postorbitalnog ruba do prvog abdominalnog kolutića; oznaka CL)
- c) širinu karapaksa (u najširem dijelu; oznaka CW)
- d) dužinu abdomena (od posterioranog ruba karapaksa do posterioranog ruba zadnjeg abdominalnog kolutića; oznaka AL)
- e) širinu abdomena (širina prvog kolutića abdomena; oznaka AW)



**Slika 9.** Morfometrijske značajke mjerene u ovom istraživanju: **TL** – ukupna duljina tijela (engl. *total lenght*); **CL** – duljina karapaksa (engl. *carapax lenght*); **CW** – širina karapaksa (engl. *carapax widht*); **AL** – duljina abdomena (engl. *abdomen lenght*) i **AW** – širina abdomena (engl. *abdomen width*). (Fotografija: Sandra Hudina).

Isto tako sve su jedinke izvagane (preciznost: 0,001 g, Tablica 4.; Slika 8. c)).

Morfometrijske mjere i masa jedinki su korišteni za izračunavanje dva indeksa kondicije: Fultonov kondicijski faktor prema formuli:

$$FCF = W / TL^3$$

gdje je W - masa, a TL - ukupna dužina jedinke

i konstanta dekapodnog raka (engl. *Crayfish Constant*) (Streissl i Hödl, 2002) prema jednadžbi:

$$CC = W / (TL \times CL \times CW)$$

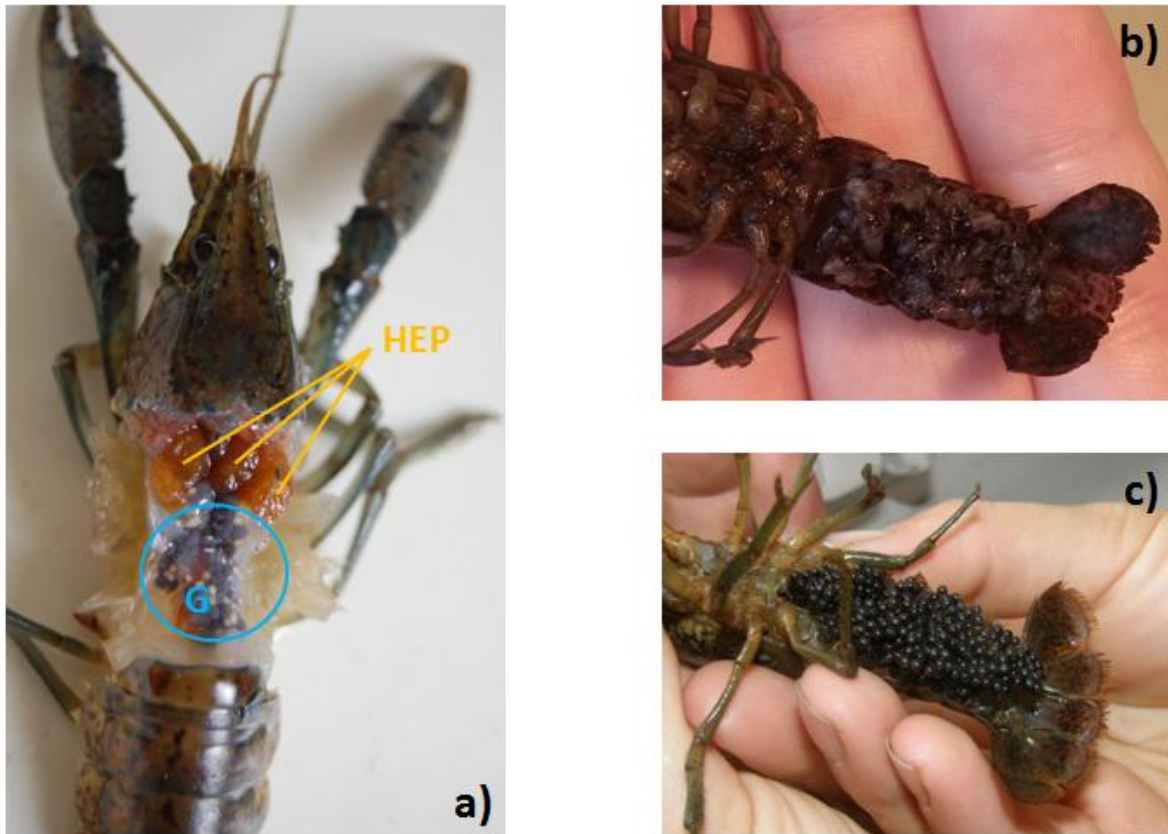
gdje je W - ukupna masa, TL - ukupna dužina, CL - dužina karapaksa i CW-širina karapaksa.

Zatim su jedinke secirane te su im izvađene gonade i hepatopankreas koji su zasebno izvagani (Slika 10. a). Podaci o vrijednosti masa korišteni su za određivanje gonadosomatskog (GSI) i hepatosomatskog (HSI) indeksa kondicije (Rodríguez-González i sur., 2006) prema formuli:

$$GSI (HSI) = W_{gonade} (W_{hepatopankreasa}) / W_{jedinke} \times 100$$

gdje je W – masa.

Ukoliko su jedinke na abdomenu nosile vanjska jaja ili juvenilne jedinke (Slika 10. b), oni su odvojeni i zasebno pohranjeni za daljnje prebrojavanje. Taj broj predstavlja realizirani fekunditet. Isto tako su i gonade zasebno pohranjene u otopinu formaldehida (4%) kako bi se iz njih izdvojila i prebrojala jajašca. Broj jaja unutar gonada predstavlja potencijalni fekunditet.



**Slika 10. a)** Anatomski položaj hepatopankreasa (**HEP**, narančaste linije) i gonada (**G**, plava kružnica). **b)** Juvenilne jedinke prikačene na abdomen ženke. **c)** Zrela, vanjska jaja prikačena na abdomen ženke. (Fotografije: Marija Cvitanić)

Svi prikupljeni podaci statistički su obrađeni pomoću programa Statistica 7.0 (StatSoft, 2004). Prvo je provjereno jesu li podaci normalno distribuirani. S obzirom da podaci nisu pokazali normalnu distribuciju dalje su korištene neparametrijske statističke metode (Zar, 2010). Morfometrijska mjerenja, broj vanjskih i unutrašnjih jaja, broj juvenilnih jedinki te organsomatski i tjelesni indeksi kondicije opisani su standardnim deskriptivnim metodama (srednja vrijednost, standardna devijacija, raspon). Zatim su utvrđene korelacije fiziološke tjelesne kondicije s potencijalnim i realiziranim fekunditetom. Korelacija je mjera za vezu između dviju ili više varijabli, odnosno koliko promjena jedne varijable utječe na promjenu druge varijable (ili drugih varijabli). U ovom radu korišten je Spearman Rho korelacijski koeficijent. Korelacijski koeficijenti imaju vrijednost od -1,00 (savršena negativna korelacija) do +1,00 (savršena pozitivna korelacija). Ukoliko je korelacija pozitivna to znači

da se varijable u korelaciji ponašaju u istom smjeru, npr. ukoliko se povećava ukupna dužina tijela onda se povećava i dužina abdomena. Negativna korelacija, suprotno pozitivnoj korelaciji, ukazuje na suprotno ponašanje dviju varijabli. Vrijednost 0 ukazuje na nepostojanje veze (korelacije) među varijablama. U svim statističkim testovima korištena je razina značajnosti od 5 % ( $p < 0,05$ ). Završno, organosomatski i tjelesni indeksi kondicije te podatci o fekunditetu uspoređeni su između mjeseci korištenjem Kruskal-Wallis ANOVA analize (Zar, 2010). Kako bi se izbjeglo uspoređivanje malih i velikih reproduktivno aktivnih ženki standardiziran je fekunditet (unutrašnja, vanjska jaja, br. juvenilnih) na način da je vrijednost podijeljena s TL ženke.

Uz to, uspoređeni su podaci o potencijalnom i realiziranom fekunditetu mramornog raka s drugim invazivnim rakovima u Hrvatskoj: *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) – signalni rak, i *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817) – bodljobrادي rak. Osim toga uspoređeni su podatci i s vrstom *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) koji još nije zabilježen u Hrvatskoj, ali je prisutan u Italiji (Barbaresi i Gherardi, 2000), a zbog međusobne riječne povezanosti i blizine Italije, Slovenije i Hrvatske, te zbog velike dostupnosti u akvaristici (Chucholl, 2013) postoji mogućnost unosa i u Hrvatsku. U Tablici 5. navedeni su literaturni izvori korišteni za ove usporedbe.

**Tablica 5.** Literaturni izvori podataka o fekunditetu kod četiri analizirane vrste: mramorni rak, signalni rak, bodljobrادي rak i rak vrste *P. clarkii*.

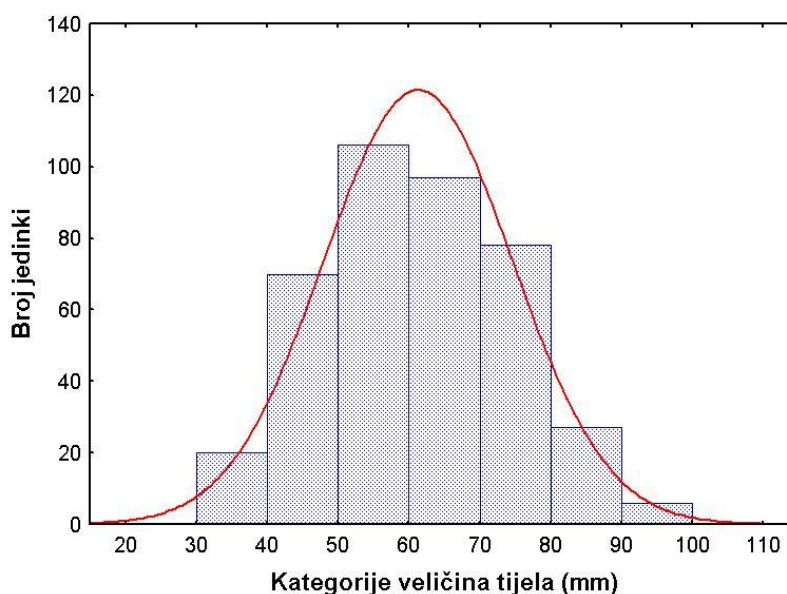
VRSTA	FEKUNDITET	LITERATURA
<b>Mramorni rak (M)</b>	Broj jaja u jajniku	Ovo istraživanje
	Broj jaja na abdomenu	Ovo istraživanje; Jones i sur., 2009
	Broj juvenilnih jedinki	Ovo istraživanje
<b><i>Pacifastacus leniusculus</i> – signalni rak (PL)</b>	Broj jaja u jajniku	Neobjavljeni podaci, Hudina i sur.
	Broj jaja na abdomenu	Chibowsky, 2013
	Broj juvenilnih jedinki	Neobjavljeni podaci, Hudina i sur.
<b><i>Orconectes limosus</i> – bodljobrادي rak (OL)</b>	Broj jaja u jajniku	Kozak i sur., 2006; Pârvuelescu, 2015
	Broj jaja na abdomenu	Kozak i sur.; 2006; Neobjavljeni podaci, Hudina i sur.
	Broj juvenilnih jedinki	Kozak i sur.; 2006; Neobjavljeni podaci, Hudina i sur.
<b><i>Procambarus clarkii</i> (PC)</b>	Broj jaja u jajniku	Neobjavljeni podaci, Giulianini i sur.
	Broj jaja na abdomenu	Eversole i Malzum, 2002; Chucholl, 2011
	Broj juvenilnih jedinki	Yue i sur., 2010

## 5. REZULTATI

Tijekom istraživanja (svibanj 2015 – siječanj 2016) ulovljene su ukupno 404 jedinke mramornog raka. Za analizu fekunditeta iskorištena je 141 jedinka (35% ukupnog ulova); po 20 jedinki iz svakog mjesečnog ulova (svibanj-studenj). Važno je naglasiti da u prosincu 2015. godine niti u siječnju 2016. godine nije uhvaćena ni jedna jedinka mramornog raka. Vjerujemo da su se rakovi povukli u dublje dijelove jezera iz kojih ih nismo mogli uloviti primijenjenom metodom lova zbog niske temperature vode (Tablica 9.).

### 5.1. Veličinska struktura ulovljene populacije mramornog raka

Prosječna ukupna dužina tijela (TL) ulovljenih jedinki iznosila je 61 mm (Slika 11.), dok je najveća uhvaćena jedinka imala 96 mm TL. Ukupna dužina tijela najmanje uhvaćene jedinke iznosila je 32 mm (TL) te je ujedno i najmanja zabilježena reproduktivno aktivna jedinka. Najteža jedinka (W) imala je masu od 23 g, a najlakša jedinka svega 0,6 g.



**Slika 11.** Veličinska struktura uhvaćenih jedinki mramornog raka.

Izmjerene morfometrijske značajke opisane su standardnim deskriptivnim metodama: srednja vrijednost, standardna devijacija, raspon (Tablica 6.).



**Tablica 6.** Standardna deskriptivna statistika morfolometrijskih značajki (N = broj jedinki).

	N	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Minimum	Maksimum
W / g	393	5,909	3,963	0,584	22,589
TL / mm	404	61,067	13,271	31,940	96,040
CL / mm	399	22,859	5,223	11,550	36,420
CW / mm	399	12,114	3,119	1,030	20,510
AL / mm	374	33,819	6,960	16,920	52,350
AW / mm	374	11,817	2,993	5,820	20,710

## 5.2. Korelacije među varijablama

U Tablici 7. su prikazani rezultati korelacija između mjerenih varijabli.

Sve morfolometrijske značajke međusobno su pokazale značajnu pozitivnu korelaciju s FCF indeksom te statistički značajnu negativnu korelaciju s HSI i GSI indeksom. Morfolometrijske značajke nisu pokazale statistički značajnu korelaciju s CC indeksom, osim širine karapaksa (CW) koji je značajno negativno koreliran s CC indeksom. Morfolometrijske značajke nisu pokazale statistički značajnu korelaciju s brojem jaja na abdomenu (zbog malog uzorka od 5 jedinki), ali su pokazale značajnu pozitivnu korelaciju s brojem juvenilnih jedinki i s brojem jaja u jajniku.

Nadalje, CC indeks ne pokazuje statistički značajnu korelaciju s HSI i GSI indeksom te sa brojem jaja na abdomenu, brojem juvenilnih jedinki i brojem jaja u jajniku. FCF indeks je značajno negativno koreliran s HSI, a pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju s brojem juvenilnih jedinki i s brojem jaja u jajniku. FCF i broj jaja na abdomenu ne pokazuju statistički značajnu korelaciju (zbog malog uzorka od 5 jedinki).

**Tablica 7.** Korelacije među varijablama utvrđene Spearmanovom metodom. Oznaka (+) ukazuje na statistički značajnu pozitivnu korelaciju, a (-) na statistički značajnu negativnu korelaciju. XXX označava da nema podataka. Siva polja ukazuju da varijable nisu u statistički značajnoj korelaciji.

	W / g	TL / mm	CL / mm	CW / mm	AL / mm	AW / mm	CC	FCF	HEP* / g	GON* / g	HSI	GSI	A. jaja*	Juv*	U. jaja*
W / g		+	+	+	+	+		+	+	+	-	-		+	+
TL / mm	+		+	+	+	+		+	+	+	-	-		+	+
CL / mm	+	+		+	+	+		+	+	+	-	-		+	+
CW / mm	+	+	+		+	+	-	+	+	+	-	-		+	+
AL / mm	+	+	+	+		+		+	+	+	-	-		+	+
AW / mm	+	+	+	+	+			+	+	+	-	-		+	+
CC				-				+	+						
FCF	+	+	+	+	+	+	+		+	+	-			+	+
HEP* / g	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+			+	+
GON* / g	+	+	+	+	+	+		+	+			+	xxx	+	+
HSI	-	-	-	-	-	-		-	+			+			
GSI	-	-	-	-	-					+	+		xxx		
A. jaja*										xxx		xxx		-	xxx
Juv*	+	+	+	+	+	+		+	+	+			-		+
U. jaja*	+	+	+	+	+	+		+	+	+			xxx	+	

\* HEP = Hepatopankreas; GON = Gonade; A. jaja = broj jaja na abdomenu; Juv = broj juvenilnih jedinki; U. jaja = broj jaja u jajniku.

### 5.3. Reproductivni ciklus mramornog raka

U Tablici 8. su iznijeti podaci o reproductivnom ciklusu mramornog raka prikupljeni od svibnja 2015. do siječnja 2016. godine. U prosincu 2015. i siječnju 2016. godine nisu ulovljene jedinke mramornog raka.

Od svibnja do studenog jedinke mramornog raka uglavnom imaju zrela jaja unutar jajnika te aktivne cementne žlijezde koje ukazuju na reproductivnu spremnost jedinki. Lipanj i rujana su dva „najplodnija“ mjeseca za mramornog raka: nose zrela jaja u jajniku, a osim toga u populaciji su prisutne i ženke koje nose jaja ili juvenilne jedinke na svom abdomenu (Tablica 8.).

**Tablica 8.** Reproductivni ciklus mramornog raka.

Događaj/Mjesec	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studenj
Presvlačenje	-	+	+	+	-	-	+
Aktivne cementne žlijezde	+	-	+	+	+	+	+
Jaja u jajniku	+	+	+	+	+	+	+
Jaja na abdomenu	-	+	-	-	+	-	-
Juvenilne jedinke	-	+	-	-	+	+	+

Oznaka + znači da je događaj prisutan kod nekih ulovljenih jedinki, oznaka - znači da događaj nije zabilježen ni kod jedne ulovljene jedinke.

Kako je reproductivni ciklus mramornog raka određen temperaturom vode prikupljeni su i podaci o temperaturi rijeke Drave u mjernoj postaji „Botovo“ za period prikupljanja životinja u jezeru Šoderica (Tablica 3.). Najtopliji mjesec je srpanj s najvišom izmjerenom srednjom dnevnom temperaturom od 23,2 °C. Najhladniji mjesec je prosinac s najmanjom izmjerenom srednjom dnevnom temperaturom od 3,8 °C. S obzirom da su za reproductivnu mramornog raka potrebne temperature oko 15°C u Tablici 9. su istaknute one temperature koje su dovoljne da mramorni rak započne reproductivni ciklus.

**Tablica 9.** Podatci o temperaturi rijeke Drave u mjernoj postaji „Botovo“ u blizini jezera Šoderica. Podatci su preuzeti od Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda.

2015. godina	Najniža dnevna temperatura (°C)	Najviša dnevna temperatura (°C)
Svibanj	12,6	16
Lipanj	14,8	19,8
Srpanj	17,2	23,2
Kolovoz	17,8	21
Rujan	13,6	20
Listopad	9,6	14,2
Studeni	6,2	10
Prosinac	3,8	7

Crvenom bojom istaknuta je najviša i najniža temperatura u periodu terenskog rada. Ružičastom bojom označena su polja s temperaturama koje su potrebne za razmnožavanje ove vrste.

#### 5.4. Statistička analiza reproduktivnog ciklusa mramornog raka

U analizi reproduktivnog ciklusa korišteno je nekoliko varijabli koje se mogu podijeliti u tri grupe: tjelesno-kondicijski indeksi (CC, FCF), organosomatski indeksi kondicije (masa hepatopankreasa, masa gonada, hepatosomatski i gonadosomatski indeks) (Tablica 10.), realizirani fekunditet (broj vanjskih jaja i juvenilnih jedinki) te potencijalni fekunditet (broj jaja u jajniku) (Tablica 11.).

Iz podataka u Tablici 10. srednja vrijednost CC indeksa iznosi 0,000302, a FCF indeksa 0,000022. Najveća vrijednost HSI indeksa iznosi 34,956, a GSI indeksa 14,788. Najmanja vrijednost HSI indeksa je 0,778, a GSI indeksa 0,081.

**Tablica 10.** Standardna deskriptivna statistika tjelesnih i organosomatskih indeksa kondicije.

	N	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Minimum	Maksimum
CC	387	0,000302	0,000025	0,000200	0,000458
FCF	393	0,000022	0,000002	0,000014	0,000030
HEP* / g	157	0,408	0,272	0,030	1,233
GON* / g	135	0,148	0,297	0,004	2,673
HSI	153	6,203	4,528	0,778	34,956
GSI	131	2,043	2,631	0,081	14,788

\* HEP = Hepatopankreas; GON = Gonade.

Iz podataka u Tablici 11. vidljivo je da je najveći broj jaja na abdomenu bio 556, a juvenilnih jedinki oko 400. Nasuprot tome, najveći broj jaja u jajniku je 860. Prema ovim podatcima vidljivo je da je potencijalni fekunditet viši od realiziranog fekunditeta. Nadalje, Od ukupno 141 jedinke

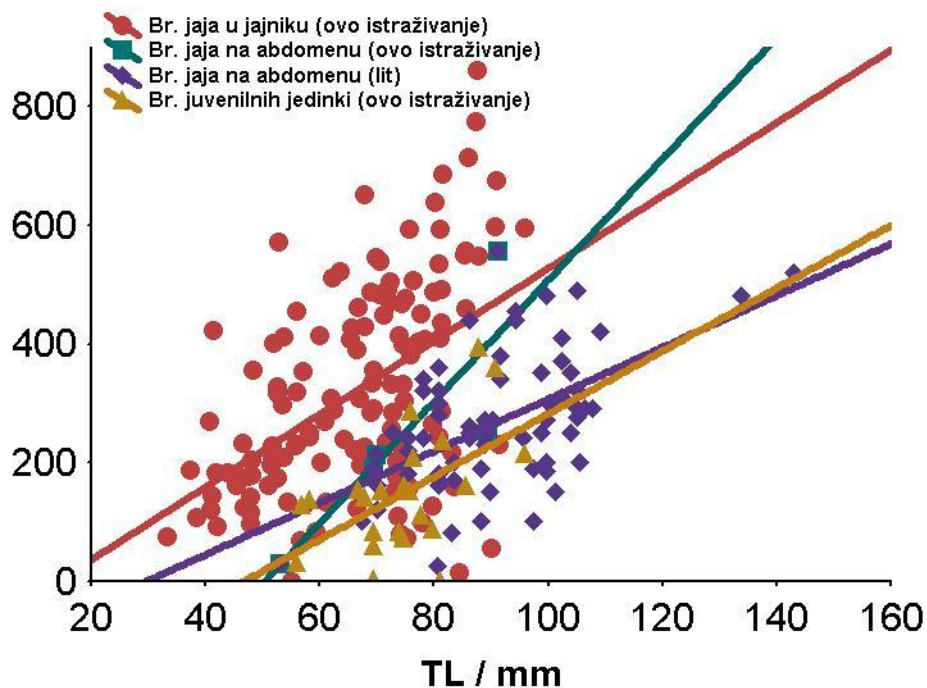
mramornog raka koja je korištena za analizu fekunditeta svega 5 jedinki nosilo je na abdomenu vanjska jaja te su njih 23 nosile juvenilne rakove. To jest, uhvaćeno je svega 28 jedinki koje su korištene za analizu realiziranog fekunditeta. S druge strane, 131 jedinka korištena je za analizu potencijalnog fekunditeta. Broj jaja i juvenilnih jedinki „normaliziran“ je s TL kao što je objašnjeno u poglavlju 4.2. Metode.

**Tablica 11.** Standardna deskriptivna statistika reproduktivnih značajki.

	N	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Minimum	Maksimum
UJ*	131	298	188,191	0	860
AJ*	5	248	191,688	30	556
Juv*	23	149	101,063	1	394
UJ/TL	131	4,790	2,207	0,170	10,820
AJ/TL	5	3,050	1,976	0,560	6,090
Juv/TL	23	1,940	1,160	0,010	4,490

\*UJ= Br. jaja u jajniku, AJ= Br. jaja na abdomenu; Juv= Br. juvenilnih jedinki.

Iz Tablice 8. (Korelacije) vidljivo je da je broj jaja u jajniku i juvenilnih jedinki pozitivno koreliran s ukupnom dužinom tijela – TL na što ukazuje i pozitivan nagib pravaca prikazanih na Slici 12., odnosno vrijednosti pravca regresije u Tablici 12.



**Slika 12.** Odnos vrijednosti fekunditeta s ukupnom tjelesnom dužinom (TL).  
lit – podaci iz literature (Tablica 5.)

**Tablica 12.** Jednadžbe pravaca prikazanih na Slici 12.

Varijabla (y)	Jednadžba pravca
Br. jaja u jajniku (ovo istraživanje)	6,1371 TL – 86,8016
Br. jaja na abdomenu (ovo istraživanje)	10,2266 TL – 515,2864
Br. jaja na abdomenu (lit)	4,3626 TL – 128,8875
Br. juvenilnih jedinki	5,2934 TL – 246,5285

## 5.5. Usporedbe varijabli po mjesecima

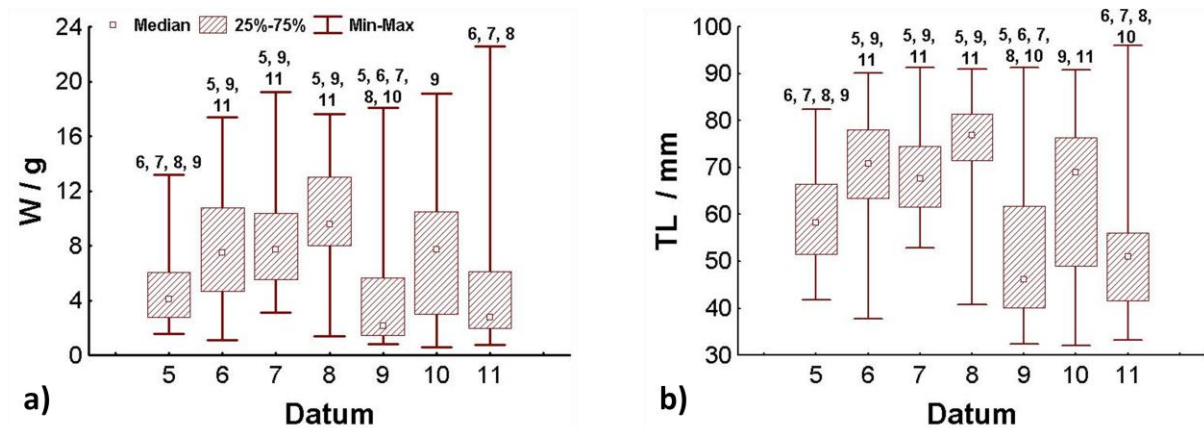
Tjelesno-kondicijski indeksi, organosomatski indeksi kondicije i podatci o fekunditetu uspoređeni su po mjesecima uz pomoć Kruskal – Wallis analize. Osim toga uspoređene su i dvije varijable koje ukazuju na veličinsku strukturu populacije: ukupna dužina tijela (TL) i masa jedinki (W).

### 5.5.1. Veličinska struktura

Na Slici 13. prikazana je statistička usporedba vrijednosti mase i ukupne dužine tijela po mjesecima..

Kruskal – Wallis analiza pokazala je da postoje statistički značajne razlike između mjeseci u ukupnoj težini tijela ( $H(6, N = 404) = 109,0743; p < 0,01$ ) i masi ( $H(6, N = 393) = 100,4847; p < 0,01$ ).

Mase i ukupne dužine tijela izmjerene u rujnu se razlikuju od najvećeg broja ostalih mjeseci. Tada su u ulovu prevladavale značajno manje jedinke (rujan – studeni). Najveći broj jedinki ima masu od 2 do 6 grama, a TL od 40 do 60 mm (Slika 13.). Najteža ženka zabilježena je u studenom (22,589 g), a najlakša u listopadu sa svega 0,584 g. Najduža jedinka zabilježena je u studenom (96,04 mm), a najmanja u listopadu (31,904 mm) (Tablica 6.).

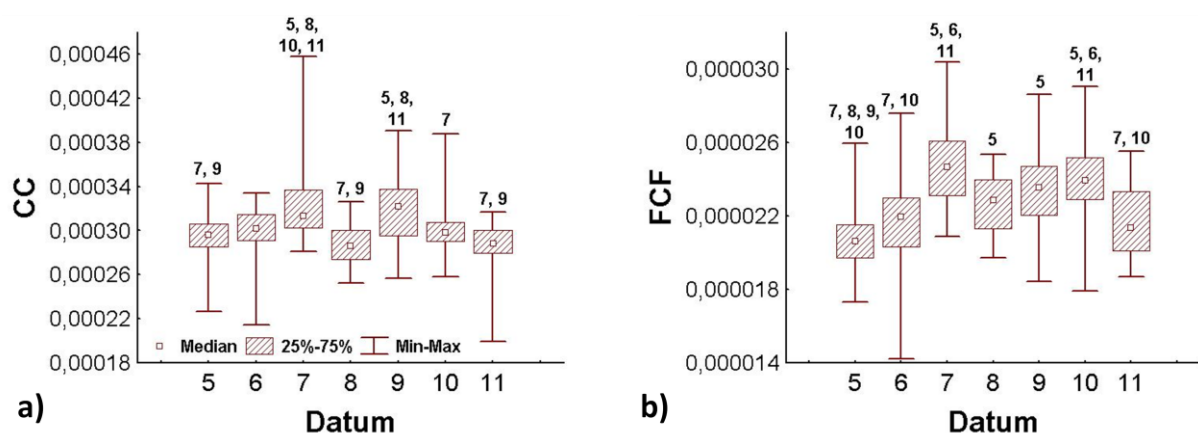


**Slika 13.** Usporedba po mjesecima: **a)** mase (**W**) i **b)** ukupne dužine tijela (**TL**). Brojevi od 5 do 11 predstavljaju mjesece, a brojevi iznad određene „box and whiskers“ jedinice predstavljaju mjesece koji se statistički značajno razlikuju od mjeseca kojeg predstavlja ta jedinica.

### 5.5.2. Tjelesno – kondicijski indeksi

Na Slici 14. prikazna je usporedba CC i FCF indeksa po mjesecima. Kruskal – Wallis analiza pokazala je da postoje statistički značajne razlike između mjeseci u konstanti dekapodnog raka ( $H(6, N = 387) = 77,047; p < 0,01$ ) i Fultonovom kondicijskom faktoru ( $H(6, N = 393) = 153,670; p < 0,01$ ).

FCF i CC vrijednosti su bile najviše u srpnju. FCF vrijednosti izmjerene u svibnju najviše se razlikuju od ostalih mjeseci (Slika 14. b). Najmanja FCF vrijednost zabilježena je u lipnju, a CC u studenom (Tablica 10.).

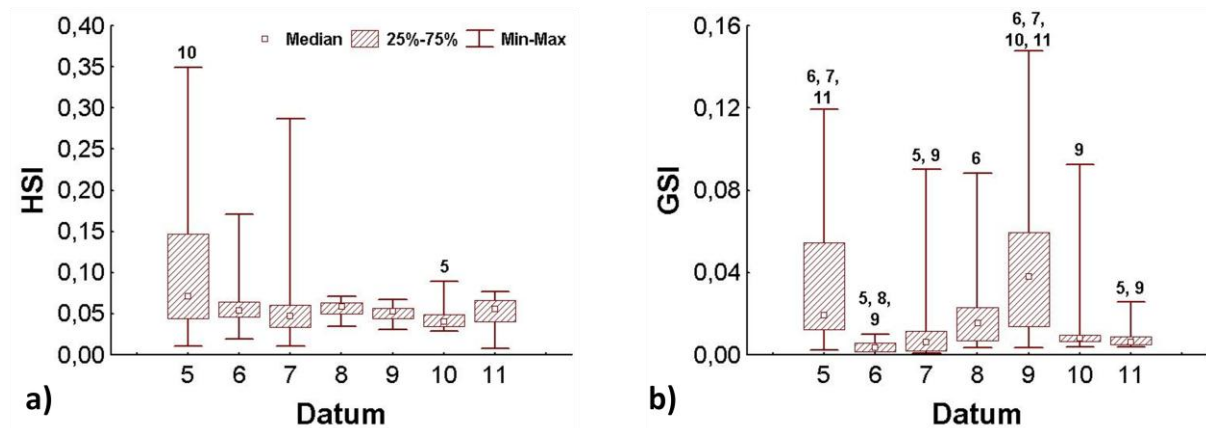


**Slika 14.** Usporedba tjelesno – kondicijskih indeksa po mjesecima: **a)** konstanta dekapodnog raka – **CC** **b)** Fultonov kondicijski faktor – **FCF**. Brojevi od 5 do 11 predstavljaju mjesece, a brojevi iznad određene „box and whiskers“ jedinice predstavljaju mjesece koji se statistički značajno razlikuju od mjeseca kojeg predstavlja ta jedinica.

### 5.5.3. Organosomatksi indeksi

Na Slici 15. prikazana je usporedba HSI i GSI indeksa po mjesecima. Kruskal – Wallis analiza pokazala je da postoje statistički značajne razlike između mjeseci u HSI ( $H(6, N = 153) = 17,334$ ;  $p < 0,01$ ) i GSI indeksu ( $H(6, N = 131) = 46,677$ ;  $p < 0,01$ ).

Vrijednosti HSI izmjerene u svibnju i listopadu statistički se značajno razlikuju (Slika 15. a). Najveća HSI vrijednost zabilježena je u svibnju (34,96). Najmanja vrijednost HSI je u studenom i iznosila je 0,78. GSI vrijednost pokazuje dva izražena perioda veće vrijednosti, u svibnju i u rujnu kad je zabilježena najveća vrijednost od 14,79. Vrijednosti GSI indeksa izmjerene u rujnu najviše se razlikuju od ostalih mjeseci (Slika 15. b). Najmanja GSI vrijednost zabilježena je u srpnju (0,081) (Tablica 10.).



**Slika 15.** Usporedba organosomatskih indeksa po mjesecima: **a)** hepatosomatski (HSI) i **b)** gonadosomatski (GSI) indeks. Brojevi od 5 do 11 predstavljaju mjesece, a brojevi iznad određene „box and whiskers“ jedinice predstavljaju mjesece koji se statistički značajno razlikuju od mjeseca kojeg predstavlja ta jedinica.

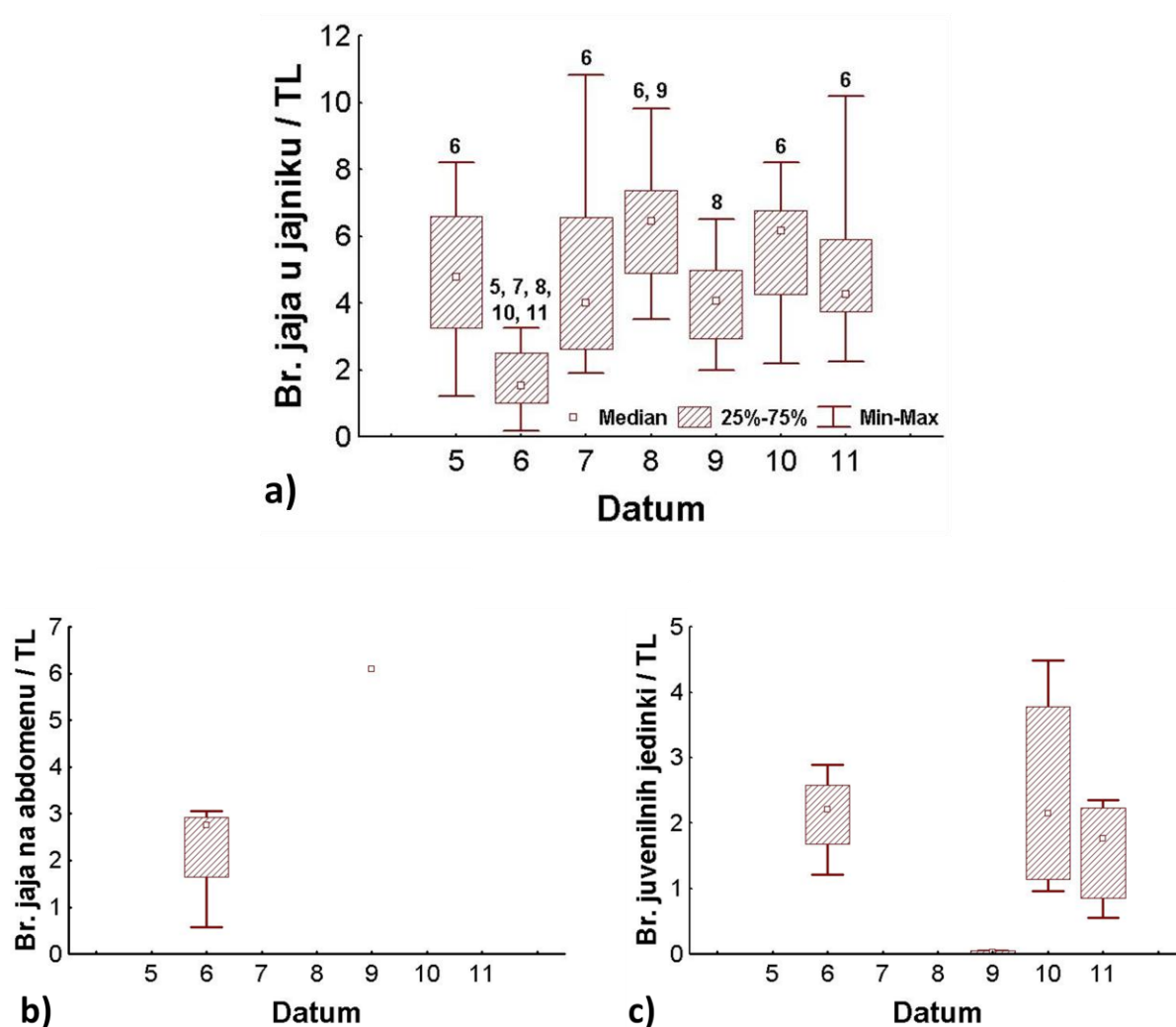
### 5.5.4. Potencijalni i realizirani fekunditet

Na slici 16. prikazana je usporedba broja jaja u jajniku / TL, broja jaja na abdomenu / TL i broja juvenilnih jedinki / TL po mjesecima. Kruskal – Wallis analiza pokazala je da postoje statistički značajne razlike u potencijalnom fekunditetu između mjeseci ( $H(6, N = 131) = 40,418$ ;  $p < 0,01$ ), ali nije pokazala statistički značajnu razliku u realiziranom fekunditetu između mjeseci. Za broj jaja na abdomenu rezultat Kruskal-Wallis analize je ( $H(1, N = 5) = 2,618$ ;  $p = 0,105$ ), a za broj juvenilnih jedinki ( $H(3, N = 23) = 9,274$ ;  $p = 0,059$ ).



Broj jaja u jajniku / TL zabilježen u lipnju statistički se najviše značajno razlikuje od ostalih mjeseci (Slika 16. a). Broj jaja na abdomenu / TL i broj juvenilnih jedinki / TL nisu pokazali nikakvu statistički značajnu razliku između mjeseci (Slika 16. b, c).

Potencijalni fekunditet pokazuje najmanju vrijednost u lipnju kad je zabilježena i najmanja vrijednost. Najveća vrijednost potencijalnog fekunditeta zabilježena je u srpnju. Uhvaćeno je ukupno 5 ženki s jajima na abdomenu i to samo u lipnju i rujnu (Tablica 11.). Ženka s najvećim brojem jaja na abdomenu zabilježena je u rujnu. Uhvaćeno je 23 jedinke s juvenilnim jedinkama na abdomenu (lipanj, rujanj, listopad i studeni).

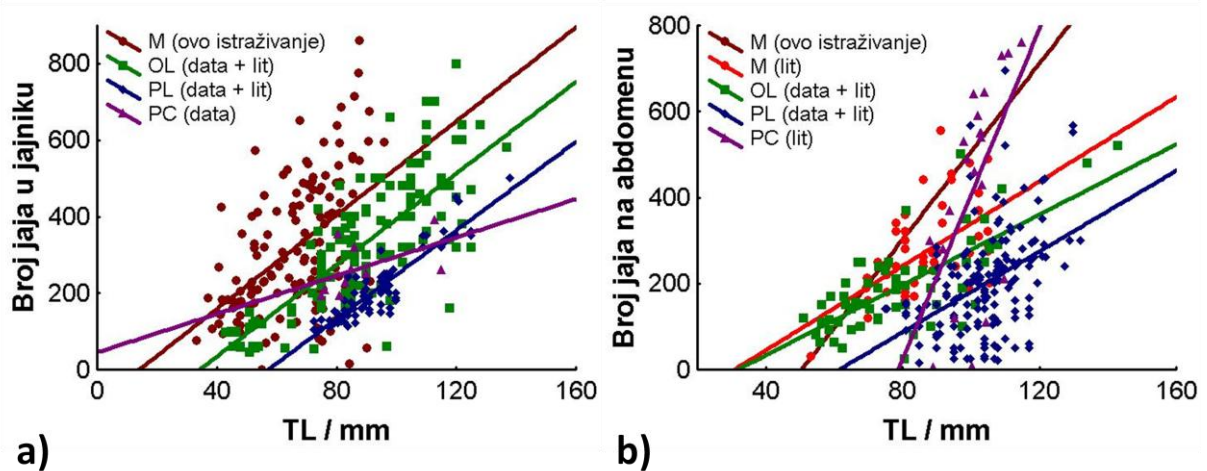


**Slika 16.** Usporedba potencijalnog (a) i realiziranog fekunditeta (b, c) po mjesecima. Brojevi od 5 do 11 predstavljaju mjeseci, a brojevi iznad određene „box and whiskers“ jedinice predstavljaju mjeseci koji se statistički značajno razlikuju od mjeseca kojeg predstavlja ta jedinica.

## 5.6. Usporedba potencijalnog i realiziranog fekunditeta mramornog raka s drugim invazivnim vrstama rakova

Podaci o potencijalnom i realiziranom fekunditetu mramornog raka uspoređeni su s podacima o fekunditetu drugih invazivnih rakova na području Hrvatske: signalnog raka (*Pacifastacus leniusculus*, PL) i bodljobradowog raka (*Orconectes limosus*, OL) te invazivne vrste *P. clarkii* (PC) koji nije rasprostranjen u Hrvatskoj. Uz podatke prikupljene u ovom istraživanju, korišteni su i podaci iz literature (lit) te podaci koji su prikupljeni u drugim istraživanjima, ali se mogu iskoristiti za ovu usporedbu (data). Izvori su navedeni u Tablici 6. u poglavlju 4.2. Metode. Iako je samo 5 jedinki mramornog raka korištenih u ovom istraživanju imalo jaja na abdomenu uzorak je nadopunjen podacima iz literature (vidi 4.2. Metode).

Na Slici 17. vidljivo je da mramorni rak ima veći potencijalni fekunditet (a) i realizirani fekunditet (b) od signalnog i bodljobradowog raka. Najmanji potencijalni i realizirani fekunditet pokazuje signalni rak. Zbog malog broja dostupnih literaturnih podataka ne može se sa sigurnošću utvrditi trend pravca *P. clarkii* za potencijalni i realizirani fekunditet.



**Slika 17. a)** Usporedba potencijalnog fekunditeta (broj jaja u jajniku) i **b)** realiziranog fekunditeta (broj jaja na abdomenu) u ovisnosti o ukupnoj dužini tijela (TL) kod triju invazivnih vrsta slatkovodnih rakova prisutnih u Hrvatskoj: **M** – *P. fallax*, f. *virginalis*, mramorni rak; **PL** – *P. leniusculus*, signalni rak; **OL** – *O. limosus*, bodljobradowi rak; **PC** – *P. clarkii*. **data** – prikupljeni podaci **lit** – podaci iz literature (Tablica 5.)

**Tablica 13.** Jednadžbe pravaca prikazanih na Slici 17.

<b>Varijabla (y)</b>	<b>Jednadžba pravca</b>
Br. jaja u jajniku M (ovo istraživanje)	6,1371 TL – 86,8016
Br. jaja u jajniku OL (data + lit)	5,9849 TL – 205,1609
Br. jaja u jajniku PL (data + lit)	5,7929 TL – 331,1324
Br. jaja u jajniku PC (data)	2,5029 TL + 45,2194
Br. jaja na abdomenu M (ovo istraživanje)	10,2266 TL – 515,284
Br. jaja na abdomenu M (lit)	4,9047 TL – 151,3189
Br. jaja na abdomenu OL (data + lit)	4,0875 TL – 130,2398
Br. jaja na abdomenu PL (data + lit)	4,6903 TL – 288,2221
Br. jaja na abdomenu PC (lit)	19,2604 TL – 1518,229

## 6. RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je proučiti populacijsku strukturu i reproduktivni ciklus mramornog raka u jezeru Šoderica. Proučavan je odnos potencijalnog i realiziranog fekunditeta te sam reproduktivni ciklus populacije u jezeru Šoderica od svibnja 2015. do siječnja 2016. godine. Isto tako usporedili smo podatke prikupljene kroz naše istraživanje s podacima dostupnim iz literature kako bismo uočili sličnosti i razlike ove populacije s drugim populacijama mramornog raka te s drugim stranim invazivnim vrstama: signalnim i bodljobrađim rakom te vrstom *P. clarkii*.

Vogt 2011. godine navodi da populacije mramornog raka proučavane u laboratoriju, imaju prosječan TL od 40 do 80 mm što se podudara s veličinskom strukturom populacije u jezeru Šoderica (Slika 11.). Osim toga mase jedinki mramornog raka zabilježene u tom istraživanju (Vogt, 2011) kreću se od 1,5 do 15 grama, a u našem istraživanju od 0,6 do 22,6 grama (Tablica 6.) što ukazuje na stabilnu populaciju mramornog raka u jezeru Šoderica.

Koliko nam je poznato, ovo je zasada prvo istraživanje gdje su bilježeni podaci o potencijalnom fekunditetu (broju jaja u jajniku) za mramornog raka. Prema Vogtovom istraživanju (2011) mramorni rak postaje spolno zreo sa šest mjeseci, međutim nisu poznati podaci o TL spolno zrelih ženki. U ovom istraživanju najmanja reproduktivno zrela jedinka mramornog raka s jajima u jajniku bila je ukupno duga samo 31,94 mm (CL = 12 mm). U dosadašnjim istraživanjima proučavan je realizirani fekunditet (broj jaja na abdomenu) populacija mramornog raka na Madagaskaru (Jones i sur., 2009.) gdje je utvrđeno da je najmanja jedinka mramornog raka s jajima na abdomenu imala CL oko 25 mm. Dok je u našem istraživanju najmanja jedinka s jajima na abdomenu imala CL svega 19 mm (TL = 53,14 mm). Prema literaturnim podacima, najmanje reproduktivno zrele jedinke vrste *P. clarkii*, čije populacije pokazuju veličinsku strukturu sličnu onoj koju smo mi zabilježili za populaciju mramornog raka u Šoderici (Slika 11.), ulovljene su u južnoj Španjolskoj s TL-om oko 60 mm (ženke) (Alcorlo i sur., 2008), slično kao i u jezeru Naivasha, Kenija (Oluoch, 1990). Međutim, valja naglasiti da ovi podaci mogu biti vrlo nepouzdana zbog ponašanja ovigernih ženki. Naime, ovigerne ženke se često skrivaju i smanjuju svoju aktivnost (hranjenje, kretanje) kako bi zaštitile svoje potomstvo. S obzirom na to za očekivati je da većinu ovigernih ženki (možda i manjeg TL-a) neće biti jednostavno uhvatiti (Vogt, 2015).

Reprodukcija rakova uvelike ovisi o temperaturi vode (Peruzza i sur., 2015). Iako se u literaturi navode optimalne temperature za reprodukciju mramornog raka preko 15 °C (Tablica 9.; Vogt, 2015) u našem istraživanju je zabilježena temperatura rijeke Drave od 6,2°C pri kojoj su ženke bile reproduktivno aktivne. S obzirom da su temperature vode preuzete za postaju Botovo na rijeci Dravi, može se pretpostaviti da je u jezeru Šoderica temperatura vode bila nešto drugačija od

temperature rijeke. Međutim, ipak se može zaključiti da se kod ove populacije mramornog raka reprodukcija događa i na nižim temperaturama od 15 °C nego je dosada zabilježeno u literaturi (Vogt, 2015). U prosincu i siječnju nije ulovljena niti jedna jedinka mramornog raka vjerojatno stoga što je temperatura vode u to doba postala preniska za njegovu normalnu aktivnost (Vogt, 2015). Vjerujemo da su se jedinke mramornog raka povukle u dublje dijelove jezera gdje ih je bilo nemoguće uhvatiti metodom lova korištenom u ovom radu (ručno prikupljanje, ručne mreže).

Reproduktivni ciklus proučavan od svibnja 2015. do siječnja 2016. godine pokazao je da je mramorni rak stalno reproduktivno aktivan (Tablica 8.), na što ukazuju stalna prisutnost jedinke s aktivnim cementnim žlijezdama u ulovu. Naime ove žlijezde nalaze se s ventralne strane abdomena gdje ženka čuva jaja nakon izljetanja i koje tijekom leženja jaja luče sluz koja služi za pričvršćivanje jaja na abdominalne noge (Vogt, 2016). Iznimka je lipanj kada nije uhvaćena ni jedna jedinka s aktivnim cementnim žlijezdama, ali su tada uhvaćene ženke imale nezrela jaja u jajnicima, odnosno jaja na abdomenu i/ili juvenilne jedinke.

S obzirom da u lipnju imamo prisutne ženke koje su izlegle jaja (nose jaja ili juvenilne jedinke na abdomenu) te jedinke kod kojih se ne uočavaju aktivne cementne žlijezde, a u jajnicima imaju jaja u ranoj fazi razvoja možemo pretpostaviti da je odsutnost aktivnih cementnih žlijezdi u ulovu rezultat njihovog reproduktivnog ciklusa te su tada prisutne jedinke koje su već izlegle jaja (imaju jaja/juvenilne jedinke na abdomenu) i one koje tek započinju reproduktivni ciklus (nezrela jaja u jajnicima).

Vogt je 2015. u svom istraživanju u laboratorijskim uvjetima pokazao da populacija mramornog raka koja je ljeti izložena temperaturi vode od oko 25°C, a zimi od 15°C ima dva vrhunca izljetanja: prvi na početku proljeća (travanj, svibanj), a drugi u listopadu. S obzirom da je riječ o nešto višoj temperaturi nego što je pretpostavljeno za jezero Šoderica (Tablica 9.) izljetanja u našem istraživanju pomaknuta su malo kasnije ili se podudaraju s periodom zabilježenom u Vogtovom istraživanju. Prvi period izljetanja smo zabilježili u lipnju, a drugi u rujnu (Slika 16.). Jones i suradnici (2009) proučavajući populacije na Madagaskaru zabilježili su izljetanja od srpnja do rujna i u prosincu (u lipnju nisu vršili istraživanje). S obzirom da reproduktivni ciklus ovisi o temperaturi vode (Peruzza i sur., 2015) drugačiji periodi izljetanja su vjerojatno rezultat drugačijeg geografskog položaja istraživanih populacija mramornog raka, a time i drugačijih klimatskih uvjeta koji su utjecali na periode izljetanja.

U usporedbi s mramornim rakom, vrsta *P. clarkii* koja ima sličan reproduktivni ciklus i životni vijek (spolnu zrelost dostižu u prvoj godini života, imaju 2 – 3 legla godišnje) te joj pogoduju slične temperature (21 – 27 °C) (Chucholl, 2011) u južnoj Njemačkoj (sjeverna granica rasprostranjenja)

pokazuje samo jedan period izljetanja i to u jesen (Chucholl, 2011). Nasuprot tome, u toplijim područjima, kao što su Portugal i središnja Italija, reproduktivna aktivnost pokazuje sličan obrazac kao i ona u populaciji mramornog raka u Hrvatskoj: 2 perioda izljetanja, travanj – lipanj i kolovoz – listopad (Scalici i Gherardi, 2007). Ostale najčešće invazivne strane vrse rakova u Europi (signalni rak i bodljobrادي rak) imaju puno dulji životni vijek te se razmnožavaju uglavnom samo jednom godišnje, a signalni rak još k tomu i kasnije postaje spolno aktivan, oko treće godine života (Holdich, 2003; Kozak i sur., 2006; Hudina i sur., 2013). Bodljobrادي rak, kao i mramorni može postati spolno aktivan već u prvoj godini života, iako to najčešće bude tek u drugoj godini (Kozak i sur., 2006). Stoga, ranije postizanje spolne zrelosti predstavlja prednost mramornom raku nad drugim stranim invazivnim vrstama.

Potencijalni i realizirani fekunditet pozitivno su korelirani s TL (Tablica 7.), što je već zabilježeno u sličnim istraživanjima na bodljobrადom raku (Kozak i sur., 2006). U ovom istraživanju na uzorku od 131 jedinke mramornog raka raspona ukupne dužine od 32 do 96 mm zabilježeni broj jaja u jajniku je bio u rasponu od 96 do 860 jaja (prosječno 298 jaja u jajniku). Broj jaja na abdomenu u prosjeku je iznosio 248 jaja za jedinke ukupne duljine od 53 do 91 mm. Ovi podaci podudaraju se s onima iz literature gdje je, za jedinke mramornog raka ukupne duljine od 53 do 143 mm, prosječni broj jaja na abdomenu bio 266 (Jones i sur., 2009). Prosječni broj juvenilnih jedinki zabilježen na ženka ukupne duljine od 56 do 90 mm je iznosio 149. Prema ovim podacima uočavamo da na relativno ujednačenom uzorku, s obzirom na raspon TL-a, dolazi do opadanja broja juvenilnih rakova (149) u odnosu na prosječni broj jaja u jajniku (298), odnosno na prosječni broj jaja na abdomenu (248) (Slika 12.). To znači da je broj jaja na abdomenu 17% manji od onog u jajniku, a broj juvenilnih jedinki je 40% manji od broja jaja na abdomenu.

Gubitak jaja (engl. „*brood loss*“) već je zabilježen u literaturi (Maguire i Klobučar, 2011). Ovaj gubitak jaja može biti uzrokovan okolišnim stresom kao što su nagle promjene temperatura, ekstremi temperatura, promjene pH i saliniteta te prisutnost nekih štetnih tvari (npr. pesticida). S obzirom da ženka njeguje („prozračuje“) jaja na abdomenu može doći do njihovog otpadanja zbog nedovoljnog prozračivanja ili do kanibalizma juvenilnih jedinki od strane ženke. Moguć je i kanibalizam od strane drugih jedinki u populaciji. Osim toga jaja i juvenilne jedinke na abdomenu često su podložne napadima parazita (npr. gljivice). Međutim, sami uzrok može biti i nemogućnost hvatanja jajašaca za pleopodalne noge majke zbog nepravilno razvijenih vitica (funikula) na jajima kojima se jaja prihvaćaju na abdominalne noge, ali i oštećenja samih pleopodalnih nogu ženke (Kuris, 1990).

U sličnim istraživanja fekunditeta kod drugih invazivnih slatkovodnih rakova prisutnih u Europi prikupljeni su podaci koje možemo iskoristiti za komparaciju s mramornim rakom. Tako je kod

vrste *P. clarkii* zabilježen prosječni broj jaja u jajniku od 292 jaja (raspon TL-a od 75 do 115 mm, veći od proučavane populacije mramornog raka) (Giulianini i sur., neobjavljeni podaci). Chucholl (2011) je u svom istraživanju uočio da je prosječni broj jaja na abdomenu kod vrste *P. clarkii* bio 285 za ženke s prosječnim TL-om od 100 mm. Yue i suradnici (2010) u svom istraživanju na vrsti *P. clarkii* zabilježili su prosječno 248 juvenilnih jedinki, na ženka TL-a od 74 do 119 mm. Za razliku od mramornog raka, prema ovim podacima vrsta *P. clarkii* pokazuje manji gubitak jaja od ovarija do juvenilnih jedinki; 2% jaja je manje na abdomenu u odnosu na ovarijska jaja te je 13% manji broj juvenilnih jedinki u odnosu na broj jaja na abdomenu. Kozak i suradnici (2006) su u svom istraživanju bodljobradow raka zabilježili prosječno 140 jaja u jajniku za ženke TL-a od 43 do 93 mm. Za ženke TL-a od 47 do 96 mm (nešto veće najmanje vrijednosti od populacije mramornog raka) zabilježili su prosječno 224 jaja na abdomenu. Prosječni broj juvenilnih jedinki iznosio je 136 jedinki za ženke TL-a od 47 do 88 mm, što je 40% manje od broja jaja na abdomenu. Za signalnog raka zabilježeno je u uzorku s rasponom TL-a od 72 do 98 mm prosječno 153 jaja u jajniku (Chibowsky, 2013). U uzorku s rasponom TL-a od 81 do 130 mm prosječno oko 330 jaja na abdomenu. S obzirom da je uzorak na kojem je proučavan broj jaja na abdomenu s većim rasponom TL-a od uzorka na kojem je proučavan broj jaja u jajniku ne možemo odrediti gubitak jaja.

Na temelju dostupnih podataka o potencijalnom i realiziranom fekunditetu signalnog raka, bodljobradow raka i vrste *P. clarkii* (Tablica 5.), u odnosu na vrijednosti TL, napravljen je grafički prikaz usporedbe potencijalnog i realiziranog fekunditeta (u vidu broja jaja na abdomenu) mramornog raka s prethodno navedenim vrstama (Slika 17.). Prema Slici 17. mramorni rak prednjači i u potencijalnom i u realiziranom fekunditetu naspram signalnog i bodljobradow raka. S obzirom na jako malo podataka, pravce koji pokazuju potencijalni i realizirani fekunditet vrste *P. clarkii* nisu pouzdani. Prema gore navedenom, jedinke vrste *P. clarkii* u usporedbi s jedinkama mramornog raka sličnih dimenzija pokazuju sličnu brojnost jaja u jajniku te jaja na abdomenu. Međutim, vrsta *P. clarkii* ima značajno manji gubitak broja jaja od jaja u jajniku do juvenilnih jedinki, tako da vrsta *P. clarkii* prema ovim podacima pokazuje veću brojnost juvenilnih jedinki od mramronog raka (konačan fekunditet koji pridonosi povećanju populacije). Međutim zbog malog broja podataka upitna je pouzdanost ovog zaključka. Prema grafičkom prikazu na Slici 17. te prema gore navedenim podacima s obzirom na potencijalni i realizirani fekunditet na prvom mjestu se nalaze mramorni rak i vrsta *P. clarkii*, slijedi ih bodljobradi rak pa konačno signalni rak.

Osim proučavanja populacijske strukture i reproduktivnog ciklusa mramronog raka u jezeru Šoderica, cilj ovog istraživanja bio je i usporediti kondicijske indekse s reproduktivnim ciklusom vrste. Izmjerena su dva tjelesna indeksa: CC i FCF, koji su pokazatelji kondicije i zdravstvenog stanja populacija (Peig i Green, 2010). Ovi su indeksi rezultat odnosa dužinskih i masenih značajki jedinki

(vidi poglavlje 4.2. Metode). U ovom istraživanju CC i FCF vrijednosti su najviše u periodu presvlačenja (Slika 14.), s obzirom da temperature koje su prisutne u tom razdoblju (Tablica 9.) izrazito pogoduju rastu tj. presvlačenju mramornog raka. Presvlačenje rakova ovisi o fiziološkom stanju životinje i o okolišnim uvjetima: temperatura, količina otopljenog kalcija, količina hrane te gustoća populacije. Zbog toga se učestalost i vrijeme presvlačenja razlikuje među vrstama ali i unutar jedne vrste (s obzirom na geografski smještaj i klimatske uvjete) (Westman i sur., 2002).

U ovom istraživanju presvlačenje je zabilježeno od lipnja do kolovoza, ali i u studenom (Tablica 8.). Najniže FCF vrijednosti zabilježene su u svibnju i lipnju, a CC u svibnju, lipnju i studenom. Maksimalne vrijednosti ova dva indeksa zabilježene su u srpnju kad je vjerojatno zabilježena i najviša temperatura vode u jezeru Šoderica (Tablica 9.), te je zbog presvlačenja došlo do porasta dimenzija ulovljenih jedinki (Tablica 8.). Najmanja CC vrijednost zabilježena je u studenom, a FCF vrijednost u lipnju što su početni mjeseci presvlačenja, pa se može zaključiti da nakon što se jedinke presvuku slijedi njihov rast koji pridonosi većim vrijednostima CC i FCF indeksa.

U samoj reprodukciji deseteronožnih rakova važnu ulogu imaju dva organa: gonade koje produciraju spolne stanice te hepatopankreas, organ koji skladišti svu energiju potrebnu za funkcioniranje organizma. Energija koja se nalazi pohranjena u hepatopankreasu prilikom reproduktivne aktivnosti se troši na produkciju jaja. Osim pri reprodukciji, energija pohranjena u hepatopankreasu se koristi i prilikom presvlačenja rakova (Lucić i sur., 2012). Proučavajući reproduktivni ciklus mramornog raka izmjerili smo dva organosomatska indeksa: HSI i GSI. Organosomatski indeksi su pokazatelji kondicije životinja, okolišnog stresa, nutritivnog statusa životinje i energetske rezervi (Jussila i Mannonen, 1997), a kod destereonožnih rakova ovise o sezonskoj dinamici (Yamaguchi, 2001). Visoke vrijednosti organosomatskih indeksa ukazuju na dobro funkcioniranje ključnih fizioloških procesa kao što su pohrana energije (hepatopankreas, mišić) i prijenos energije za reprodukciju (gonade) (Lucić i sur., 2012).

Peruzza i suradnici (2015) su pokazali da su GSI i HSI u negativnoj korelaciji; kad je vrijednost GSI visoka onda je vrijednost HSI niska. Ovakav odnos GSI i HSI smo i mi očekivali u našem istraživanju zbog prethodno opisanog mehanizma ulaganja energije pohranjene u hepatopankreasu tijekom reprodukcije. Međutim, rezultati našeg istraživanja pokazali su suprotno: HSI i GSI su pozitivno korelirani (Tablica 7.). Rosa i Nunes (2003) su zabilježili u svom istraživanju pozitivnu korelaciju GSI i HSI indeksa. Ovakav rezultat su protumačili time što hepatopankreas ne gubi energiju za razvoj jaja već ju gonade dobivaju dovoljno iz same prehrane. Dakle, moguće je da populacija mramornog raka u jezeru Šoderica živi u izobilju hrane te direktno prehranom priskrbljuje dovoljno energije za razvoj jaja u gonadama te se ne troši energija pohranjena u hepatopankreasu.



U usporedbi s drugim stranim invazivnim vrstama, mramorni rak ima više vrijednosti GSI (prosječno 2,04) i HSI (prosječno 6,20) indeksa (Chucholl, 2011; Lucić i sur., 2012) i drukčiju dinamiku godišnjih varijacija što se može objasniti drugačijom biologijom i ekologijom vrsta ili različitim geografskim položajem ispitivanih populacija (npr. temperatura vode na području gdje su populacije istraživane; Peruzza i sur., 2015) s obzirom da na GSI i HSI utječu temperatura, prehrana, gustoća populacije i karakteristike životnog ciklusa (Yamaguchi, 2001).

Ako usporedimo HSI i GSI vrijednosti u periodu istraživanja (Slika 15.) s podacima o presvlačenju (Tablica 8.) može se uočiti da najniža GSI vrijednost (srpanj; 0,081) zabilježene upravo u periodu nakon izljetanja (lipanj), što ukazuje da se energija iz gonada utrošila na razvitak jaja. Najviše GSI vrijednosti zabilježene su u svibnju i rujnu, pred dva perioda izljetanja (najviša vrijednost; 14,79 u rujnu). Najviša HSI vrijednost (34,96) je u svibnju pred prvo izljetanje (lipanj) i pred prvi period presvlačenja (lipanj – kolovoz), a najniža (0,78) u studenom (za vrijeme drugog izljetanja i nakon drugog perioda presvlačenja). Općenito, možemo reći da se HSI indeks smanjuje onda kad nastupa presvlačenje, a GSI kada dolazi do izljetanja jaja što je zabilježeno i u literaturi (Lucić i sur., 2012).

Prema rezultatima ovog istraživanja populacija mramornog raka u jezeru Šoderica pokazuje stabilnu uzrasnu strukturu. Reprodukcijski ciklus pokazuje postojanje 2 perioda izljetanja što potvrđuje rezultate prethodnih istraživanja (Vogt, 2015.) Osim toga mramorni rak se ramnožava kontinuirano ukoliko je temperatura vode viša od 15 °C (Vogt, 2015), a rezultati našeg istraživanja u jezeru Šoderica indiciraju da se ramnožava i na temperaturama nižima nego je dosada zabilježeno (Tablica 9., Vogt, 2015). U usporedbi s druge dvije strane invazivne vrste u Hrvatskoj, signalnim i bodljobračim rakom, mramorni rak pokazuje veći reprodukcijski potencijal u vidu potencijalnog i realiziranog fekunditeta (Slika 17.). Razlike u gubicima jaja između ove četiri vrste ne možemo usporediti zbog nedovoljno podataka.

Mramorni rak je trenutno u Hrvatskoj zabilježen samo u jezeru Šoderica (Samardžić i sur., 2014). Međutim, rijeka Drava je udaljena od jezera Šoderica svega 450 m. S obzirom da tijekom dugih i obilnih kišnih razdoblja može doći do podizanja vodostaja rijeke Drave i jezera Šoderica, postoji mogućnost da se ova kopnena barijera od 450 m preplavi i na taj način stvori koridor od jezera Šoderica do rijeke Drave. Nadalje, rijeka Drava je povezana sa drugim Europskim rijekama u kojima su već prisutne populacije mramornog raka (Kouba i sur., 2014; Lókkös i sur., 2016). Osim toga, mramorni rak je vrlo popularan u akvaristici i neodgovornim rukovanjem može dospjeti u novo, neinvadirano područje (npr. u rijeku Dravu). S obzirom da je mramorni rak partenogenetska vrsta, potrebna je samo jedna jedinka i povoljni uvjeti da bi se uspostavila nova populacija. Zbog svega navedenog postoji velika opasnost od ulaska mramornog raka u nova područja.

U rijeci Dravi je prisutan signalni rak (Maguire i sur., 2011; Slika 4.). S obzirom da mramorni rak ima brži životni ciklus, ranije postiže spolnu zrelost te pokazuje veći reproduktivni potencijal od signalnog raka možemo pretpostaviti da bi brojnošću mogao nadvladati signalnog raka. S druge strane, signalni rak postiže veće dimenzije tijela i ima veća kliješta od mramornog raka te je vjerojatnije da će dominirati u antagonističkim interakcijama nad mramornim rakom (Bergman i Moore, 2003). Možemo pretpostaviti da bi, ukoliko bi došlo do borbe za prostor i hranu, signalni rak dominirao nad mramornim rakom te potisnuo rast njegove populacije. Da bi se ovo potvrdilo potrebno je u budućnosti napraviti istraživanja vezana uz kompetitivne interakcije signalnog i mramornog raka.

Kada je riječ o sprječavanju širenja i kontroli populacija invazivnih vrsta prvo je potrebno educirati širu javnost, naročito ako je invazivna vrsta popularna u akvaristici kao što je mramorni rak. Potom se treba preventivno djelovati tj. pozvati na odgovorno rukovanje u akvaristici ili zabraniti trgovanje ovom vrstom. Osim toga, trebalo bi pratiti populaciju mramornog raka u jezeru Šoderica i populacije drugih vrsta rakova u rijeci Dravi (monitoring) kako bi se na vrijeme uočilo moguće širenje mramornog raka. Poznata metoda kontrole rasta i širenja populacije je izlov. S obzirom da je mramorni rak partenogenetska vrsta koja se razmnožava 2-3 puta godišnje u odgovarajućim uvjetima, velika je vjerojatnost da ne bi došlo do značajnog opadanja brojnosti te da bi se izlovljeni dio vrlo brzo nadomjestio. Osim izlova u kontroli populacija invazivnih vrsta upotrebljavaju se i kemijske metode, međutim one često narušavaju populacije i drugih, neinvazivnih organizama. Novije metode kontrole se svode na onemogućavanje reprodukcije (npr. unos inhibitora spolnih hormona s hranom) (Piazza i sur., 2014) međutim, koliko bi to bilo uspješno za ovu vrstu još je nepoznato i zatijeva daljnja istraživanja.

## 7. ZAKLJUČAK

Svrha ovog diplomskog rada bila je dobiti uvid u reproduktivni ciklus mramornog raka u jezeru Šoderica kako bi se utvrdilo da li isključivo partenogenetsko razmnožavanje pridonosi većem reproduktivnom potencijalu vrste. S obzirom da je mramorni rak uočen u Hrvatskoj relativno nedavno, 2013. godine (Samardžić i sur., 2014), rezultati ovog istraživanja trebali bi pomoći u planiranju kontrole širenja ove vrste, te valjanom procjenom rizika koji ova vrsta predstavlja za native i invazivne rakove Hrvatske. Iako je vrsta trenutno prisutna u Hrvatskoj u samo jednom zatvorenom vodenom tijelu (jezero Šoderica), popularnost mramornog raka među akvaristima predstavlja veliki rizik od njegovog širenja. Upravo su zbog toga podaci o razmnožavanju i invazivnom potencijalu ove vrste neophodni i od velike važnosti.

Zaključci ovog istraživanja su:

- ❖ Populacija mramornog raka u jezeru Šoderica pokazuje stabilnu uzrasnu strukturu.
- ❖ Mramorni rak u jezeru Šoderica je kontinuirano reproduktivno aktivan kroz cijeli period istraživanja (svibanj-studenj). Zabilježena su dva perioda izljetanja (prisutnost jaja na abdomenu): lipanj i rujna, što je u skladu s laboratorijskim podacima.
- ❖ Mramorni rak se odlikuje većim potencijalnim i realiziranim fekunditetom od bodljibradog i signalnog raka, ali ne i od vrste *P. clarkii*.
- ❖ CC i FCF indeksi, koji ukazuju na kondiciju životinje, viši su u srpnju, kolovozu i rujnu što ukazuje na optimalnu temperaturu za rast (presvlačenje) u jezeru Šoderica u tom periodu.
- ❖ Vrijednosti GSI i HSI indeksa međusobno su pozitivno korelirane što ukazuje na veliku dostupnost resursa u jezeru Šoderica i na mogući daljnji rast populacije.
- ❖ GSI i HSI vrijednosti nešto su veće od onih zabilježenih za bodljibradog i signalnog raka što može ukazivati na to da je jezero Šoderica vrlo povoljno stanište za mramornog raka.
- ❖ GSI i HSI indeksi opadaju pred presvlačenje i pred izljetanje što je u skladu s podacima iz literature.

## 8. LITERATURA

1. Albertson, K. L. i Daniels, M. D. (2016): Effects of invasive crayfish on fine sediment accumulation, gravel movement, and macroinvertebrate communities. *Freshwater Science*, 35(2), 644–653.
2. Alcorlo, P., Geiger, W. i Otero, M. (2008): Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South-Western Spain: Implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology*, 173(3), 197–212.
3. Alderman, D. J. (1996): Geographical spread of bacterial and fungal diseases of crustaceans. *Reveu Scientifique et Technique office International des Epizooties*, 15(2), 603-632.
4. Amouret, J., Bertocchi, S., Brusconi, S., Fondi, M., Gherardi, F., Grandjean, F., Chessa, L. A., Tricarico, E. i Souty-Grosset, C. (2015): The first record of translocated white-clawed crayfish from the *Austropotamobius pallipes* complex in Sardinia (Italy). *Journal of Limnology*, 74(3), 491-500.
5. Balian E. V., Segers H., Lévèque C., Martens K. (2008): The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia*, 595, 627-637.
6. Barbaresi, S. i Gherardi, F. (2000): The Invasion of the Alien Crayfish *Procambarus clarkii* in Europe, with Particular Reference to Italy. *Biological Invasions*, 2, 259–264.
7. Bergman, D. A. i Moore, P. A. (2003): Field observations of intraspecific agonistic behavior of two crayfish species, *Orconectes rusticus* and *Orconectes virilis*, in different habitats. *The Biological Bulletin*, 205, 26–35.
8. Birky, C. W. Jr. i Barraclough, T. G. (2009): Asexual speciation. U: Schön, I., Martens, K. i van Dijk, P. (ur.) *Lost Sex: The Evolutionary Biology of Parthenogenesis*. Dordrecht: Springer, 201-216.
9. Birnbaum, C. (2011): NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Dreissena polymorpha*. Preuzeto s [www.nobanis.org](http://www.nobanis.org) (pristupljeno: 4.9.2016.).
10. Blackburn, T. M., Cassey, P. i Lockwood, J. L. (2009): The role of species traits in overcoming the small initial population sizes of exotic birds. *Global Change Biology*, 15(12), 2852 – 2860.
11. Bohman, P., Edsman, L., Martin, P. i Scholtz, G. (2013): The first Marmorkrebs (Decapoda: Astacida: Cambaridae) in Scandinavia. *BiolInvasions Records*, 2, 227-232.

12. Burns, J. H. (2006): Relatedness and environment affect traits associated with invasive and noninvasive introducers *Commelinaceae*. *Ecological Applications*, 16, 1367-1376.
13. Buřič, M., Hulák, M., Kouba, A., Petrusek, A. i Kozák, P. (2011): A successful crayfish invader is capable of facultative parthenogenesis: A novel reproductive mode in decapod crustaceans. *PLoS ONE*, 6(5), e20281.
14. Chucholl, C. i Pfeiffer, M. (2010): First evidence for an established Marmorkrebs (Decapoda, Astacida, Cambaridae) population in Southwestern Germany, in syntopic occurrence with *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817). *Aquatic Invasions*, 5(4), 405–12.
15. Chucholl, C. (2011): Population ecology of an alien “warm water” crayfish (*Procambarus clarkii*) in a new cold habitat. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 29.
16. Chucholl, C., Morawetz, K. i Groß, H. (2012): The clones are coming - Strong increase in Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*] records from Europe. *Aquatic Invasions*, 7(4), 511–519.
17. Chucholl, C. (2013): Invaders for sale: trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biological Invasions*, 15, 125–141.
18. Chybowski, Ł. (2013): Absolute fecundity of two populations of signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Archives of Polish Fisheries*, 21, 357-362.
19. Comai, L. (2005): The advantages and disadvantages of being polyploid. *Nature Reviews Genetics*, 6, 836–846.
20. Crooks, J. A., Chang, A. L. i Ruiz, G. M. (2011): Aquatic pollution increases the relative success of invasive species. *Biological Invasions*, 13, 165 – 176.
21. De Grave, S. N., Pentcheff, D., Ahyong, S. T. i sur. (2009): A classification of living and fossil genera of decapod crustaceans. *Raffles Bulletin of Zoology*, 21, 1–109.
22. Diéguez-Urbeondo, J., Cerenius, L., Dyková, I., Gelder, S. R., Henttonen, P., Jiravanichpaisal, P., Lom, J., Söderhäll, K. (2006): Pathogens, parasites and ectocommensals. U: Souty-Grosset, C., Holdich, D. M., Noël, P. Y., Reynolds, J., Haffner, P. (ur.) Atlas of crayfish in Europe. Muséum National d’Histoire Naturelle, Paris, 133-149.
23. Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O. i sur. (2006): Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, 163–182.

24. Eversole, A. G. i Mazlum, Y. (2002): Comparative fecundity of three *Procambarus* species. *Journal of Shellfish Research*, 21, 255-258.
25. Faulkes, Z. (2010): The spread of the parthenogenetic marbled crayfish, Marmorkrebs (*Procambarus* sp.), in the North American pet trade. *Aquatic Invasions*, 5(4), 447–450.
26. Faulkes, Z., Feria, T. P. i Muñoz, J. (2012): Do Marmorkrebs, *Procambarus fallax* f. *virginalis*, threaten freshwater Japanese ecosystems? *Aquatic Biosystems*, 8, 13.
27. Filipová, L., Petrusek, A., Matasová, K., Delaunay, C. i 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.
28. Gherardi, F. i Holdich, D. M. (ur.) (1999): Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation? A. A. Balkema, Rotterdam
29. Gherardi, F. i Aquistapace, P. (2007): Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake. *Freshwater Biology*, 52, 1249-1259.
30. Gherardi, F., Gollasch, S., Minchin, D., Olenin, S., Panov, V. E. (2009): Alien invertebrates and fish in European inland waters. U: Handbook of Alien Species in Europe. Invading Nature - Springer Series in Invasion Ecology, 3, 81–92.
31. Gottstein, S., Hudina, S., Lucić, A., Maguire, I., Ternjej, I. i Žganec, K. (2011): Crveni popis rakova (Crustacea) slatkih i bočatih voda Hrvatske. Državni zavod za zaštitu prirode
32. Guan, R. Z. i Wiles, P. R. (1999): Growth and reproduction of the introduced crayfish *Pacifastacus leniusculus* in a British lowland river. *Fisheries Research*, 42(3), 245-259.
33. Hobbs, H. H. Jr. (1988): Crayfish distribution, adaptive radiation and evolution. U: Holdich, D. M. i Lowery, R. S. (ur.) *Freshwater Crayfish: Biology, management and exploitation*. Croom Helm, London, UK, 52-82.
34. Hoffmann, A. A. i Hercus, M. J. (2000): Environmental Stress as an Evolutionary Force. *BioScience*, 50(3), 217-226.
35. Holdich, D. M., Ackefors, H., Gherardi, F., Rogers, W. D. i Skurdal, J. (1999): Native and alien crayfish in Europe: some conclusions. U: Gherardi, F. i Holdich, D. M. (ur.) *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* A. A. Balkema, Rotterdam and Brookfield, 281–292.

36. Holdich, D. M. (2003): Crayfish in Europe – an overview of taxonomy, legislation, distribution, and crayfish plague outbreaks. U: Management and conservation of crayfish. Environment Agency, Bristol, 29-48.
37. Holdich, D. M., Haffner, P. i Noël, P. Y. (2006): Species files. U: Souty-Grosset, C., Holdich, D. M., Noël, P. Y., Reynolds, J. D. i Haffner, P. (ur.) Atlas of crayfish in Europe. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 49-131.
38. Huber, M. G. J. I Schubart, C. D. (2005): Distribution and reproductive biology of *Austropotamobius torrentium* in Bavaria and documentation of a contact zone with alien crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 759-776.
39. Huner, J. V. (2002): Crayfish of commercial importance: *Procambarus*. U: Holdich, D. M. (ur.) Biology of Freshwater Crayfish. Blackwell Science, Oxford, 541-584 .
40. Hudina, S., Faller, M., Lucić, A., Klobučar, G. i Maguire, I. (2009): Distribution and dispersal of two invasive crayfish species in the Drava River basin, Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 9, 394-395.
41. 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, 21–27.
42. Jaklič, M. i Vrezec, A. (2011): The first tropical alien crayfish species in european waters: The redclaw *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae). *Crustaceana*, 84 (5-6), 651-665
43. Johnson, M. F., Rice, S. P. i Reid, I. (2011): Increase coarse sediment transport associated with disturbance of gravel river beds by signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*). *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(12), 1680 – 1692.
44. Jones, J. P. G., Rasamy, J. R., Harvey, A., Toon, A., Oidtmann, B., Randrianarison, M. H., i sur. (2009): The perfect invader: A parthenogenic crayfish poses a new threat to Madagascar's freshwater biodiversity. *Biological Invasions*, 11(6), 1475–82.
45. Jussila, J. i Mannonen, A. (1997): Marron (*Cherax tenuimanus*) and noble crayfish (*Astacus astacus*) hepatopancreas energy and its relationship to moisture content. *Aquaculture*, 149 (1–2), 157–161.

46. Keller, R. P., Lodge, D. M. i Finnoff, D. C. (2007): Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 203-207.
47. Keller, R. P., Geist, J., Jeschke, J. M., Kühn, I. (2011): Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe*, 23(1), 1-17.
48. Keller, N. S., Pfeiffer, M., Roessink, I., Schulz, R. i Schrimpf, A. (2014): First evidence of crayfish plague agent in populations of the marbled crayfish (*Procambarus fallax* forma *virginalis*). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 414, 8.
49. Koehn, J. D. (2004): Carp (*Cyprinus carpio*) as a powerful invader in Australian waterways. *Freshwater Biology*, 49, 882–894.
50. Kouba, A., Petrusek, A. i Kozák, P. (2014): Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 5, 413.
51. Kozák, P., Buřič, M. i Policar, T. (2006): The fecundity, time of egg development and juvenile production in spiny-cheek crayfish (*Orconectes limosus*) under controlled conditions. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 380-381, 1171-1182.
52. Kuris, A. (1990): A review of patterns and causes of crustacean brood mortality. U: Kuris, A. (ur.) Crustacean egg production. CRC Press, Science, 194 str.
53. Levin, D. A. (2002): The role of chromosomal change in plant evolution. New York. Oxford University Press.
54. Lockwood, J. L., Cassey, P., Blackburn, T. M. (2005): The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 223-228.
55. Lockwood, J. L., Hoopes, M. F. i Marchetti, M. P. (2007): Invasion ecology. Blackwell Publishing, Oxford.
56. Lockwood, J. L., Cassey, P. i Blackburn, T. M. (2009): The more you introduce the more you get: the role of colonization pressure and propagule pressure in invasion ecology. *Diversity and Distributions*, 15, 904–910.
57. Lodge D. M., Taylor C. A., Holdich D. M., Skurdal J. (2000): Non-indigenous crayfishes threaten North American freshwater biodiversity: Lessons from Europe. *Fisheries*, 25, 7-20.



58. Loo, S. E., Nally, R. M. i Lake, P. (2007): Forecasting New Zealand mudsnail invasion range: model comparisons using native and invaded ranges. *Ecological Applications*, 17, 181-189.
59. Lókkös, A., Müller, T., Kovács, K. Várkonyi, L., Specziár, A. i Martin, P. (2016): The alien, parthenogenetic marbled crayfish (Decapoda: Cambaridae) is entering Kis-Balaton (Hungary), one of Europe's most important wetland biotopes. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 417, 16
60. Lucić, A., Hudina, S., Faller, M. i Cerjanec, D. (2012): A comparative study of the physiological condition of native and invasive crayfish in Croatian rivers. *Biologia*, 67(1), 172—179.
61. Lukhaup, L. (2001): *Procambarus* sp. – Der Marmorkrebs. *Aquaristik aktuell*, 7(8), 48-51.
62. Lundmark, M. i Saura, A. (2006): Asexuality alone does not explain the success of clonal forms in insects with geographical parthenogenesis. *Hereditas*, 143, 23–32.
63. Maguire, I. i Klobučar, G. I. V. (2003): Appearance of *Orconectes limosus* in Croatia. *Crayfish news*, 25(3), 7
64. Maguire, I. i Gottstein-Matočec, S. (2004): The distribution pattern of freshwater crayfish in Croatia. *Crustaceana*, 77(1), 25-47.
65. Maguire, I. i Klobučar, G. (2011): Size structure, maturity size, growth and condition index of stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) in North-West Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* , 401, 12.
66. Maguire, I., Jelić, M. i Klobučar, G. (2011): Update on the distribution of freshwater crayfish in Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 31.
67. Maguire, I., Podnar, M., Jelić, M., Štambuk, A., Schrimpf, A., Schulz, H. i Klobučar, G. (2014): Two distinct evolutionary lineages of the *Astacus leptodactylus* species-complex (Decapoda: Astacidae) inferred by phylogenetic analyses. *Invertebrate Systematics*, 28, 117–123
68. Martin, J. W., Davis, F. E. (2001): An updated classification of the recent Crustacea. Natural history museum of Los Angeles county, Science series
69. Martin, P., Kohlmann, K. i Scholtz, G. (2007): The parthenogenetic Marmorkrebs (marbled crayfish) produces genetically uniform offspring. *Naturwissenschaften*, 94, 843-846.

70. Martin, P., Dorn, N. J., Kawai, T., van der Heiden, C. i Scholtz, G. (2010): The enigmatic Marmorkrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). *Contributions to Zoology*, 79(3), 107–118.
71. Martin, P., Thonagel, S. i Scholtz, G. (2015): The parthenogenetic Marmorkrebs (Malacostraca: Decapoda: Cambaridae) is a triploid organism. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 54(1), 13-21.
72. Mayr, E. (2000): The biological species concept. U: Wheeler, Q. D. i Maier, R. (ur.) *Species Concepts and Phylogenetic Theory*. New York: Columbia University Press, 17-29.
73. Nalepa, T. F. i Schloesser, D. W. (1993): *Zebra mussels: biology, impacts and control*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
74. NN 80/13 Zakon o zaštiti prirode Republike Hrvatske, Narodne novine 80, 2013.
75. NN 105/15 Uredba o izmjenama Uredbe o ekološkoj mreži, Narodne novine 105, 2015.
76. Naylor, R. L., Williams, S. L., Strong, D. R. (2001): Aquaculture: A gateway for exotic species. *Science*, 294, 1655–1656.
77. Nunes, A. L., Tricarico, E., Panov, V. E., Cardoso, A. C. i Katsanevakis, S. (2015): Pathways and gateways of freshwater invasions in Europe. *Aquatic Invasions*, 10(4), 359–370.
78. Oluoch, A. O. (1990): Breeding biology of the Louisiana red swamp crayfish *Procambarus clarkii* Girard in Lake Naivasha, Kenya. *Hydrobiologia*, 208, 85-92.
79. Padilla, D. K. i Williams, S. L. (2004): Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(3), 131–138.
80. Panov, V. E., Alexandrov, B., Arbačiauskas, K., Binimelis, R., Copp, G. H., Grabowski, M., Lucy, F., Leuven, R. S. E. W., Nehring, S., Paunović, M., Semenchenko, V. i Son, M. O. (2009): Assessing the risks of aquatic species invasions via European inland waterways: from concepts to environmental indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5, 110–126.
81. Pârvulescu, L., Schrimpf, A., Kozubíková, E., Cabanillas Resino, S., Vrålstad, T., Petrusek, A., Schulz, R. (2012): Invasive crayfish and crayfish plague on the move: first detection of the plague agent *Aphanomyces astaci* in the Romanian Danube. *Diseases of Aquatic Organisms*, 98, 85– 94.

82. Pârvulescu, L., Pîrvu, M., Moroşan, L. G. i Zaharia, C. (2015): Plasticity in fecundity highlights the females' importance in the spiny-cheek crayfish invasion mechanism. *Zoology*, 118(6), 424-432.
83. Peig, J. i Green, A. J. (2010): The paradigm of body condition: a critical reappraisal of current methods based on mass and length. *Functional Ecology*, 24, 1323-1332.
84. Peruzza, L., Piazza, F., Manfrin, C., Bonzi, L. C., Battistella, S. i Giulianini, P. G. (2015): Reproductive plasticity of a *Procambarus clarkii* population living 10°C below its thermal optimum. *Aquatic Invasions*, 10(2), 199–208.
85. Perry, W. L., Lodge, D. M. i Feder, J. L. (2002): Importance of hybridization between indigenous and nonindigenous freshwater species: An overlooked threat to North American biodiversity. *Systematic Biology*, 51(2), 255 –275.
86. Pfeiffer, M. (2005) Marmorkrebse überleben im Eis. *Fischer & Teichwirt*, 204
87. Piazza, F., Aquiloni, L., Manfrin, C., Simi, S., Duse Masin, M. i sur. (2014): Development of methods for the containment and the capture of *P. clarkii*. U: RARITY. Eradicate invasive Louisiana red swamp and preserve native white clawed crayfish in Friuli Venezia Giulia. Published by the financial contribution of the EC within the RARITY project LIFE10 NAT/IT/000239, 89-99.
88. Pimentel, D., Zuniga, R. i Morrison, D. (2005): Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52, 273-288.
89. Pullin, A. S. (2002): *Conservation Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 108-114.
90. Rodríguez-González, H., Hernández-Llamas, A., Villarreal, H., Saucedo P. E., García-Ulloa, M. i Rodríguez-Jaramillo, C. (2006): Gonadal development and biochemical composition of female crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in relation to the Gonadosomatic Index at first maturation. *Aquaculture*, 254, 637–645.
91. Rosa, R. i Nunes, M. L. (2003): Changes in organ indices and lipid dynamics during the reproductive cycle of *Aristeus antennatus*, *Parapenaeus longirostris* and *Nephros norvegicus* (Decapoda) from the Portuguese south coast. *Crustaceana*, 75(9), 1095-1105.
92. Samardžić, M., Lucić, A., Maguire, I. i Hudina, S. (2014): The First Record of the Marbled Crayfish (*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*) in Croatia. *Crayfish News*, 36(4), 4

93. Sax, D. F., Stachowicz, J. J. i Gaines, S. D. (2005): Species Invasions: Insights into Ecology, Evolution and Biogeography (Prvo izdanje). W. H. Freeman, 480 str.
94. Scalici, M. i Gherardi, F. (2007): Structure and dynamics of an invasive population of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a Mediterranean wetland. *Hydrobiologia*, 583, 309–319.
95. Scholtz, G., Braband, A., Tolley, L., Reiman, A., Mittmann, B., Lukhaup, C, Steuerwald, F. i Vogt, G. (2003): Parthenogenesis in an outsider crayfish. *Nature*, 421, 806.
96. Seitz, R., Vilpoux, K., Hopp, U. Harzsch, S. i Maier, G. (2004): Ontogeny of the Marmorkrebs (Marbled crayfish): a parthenogenetic crayfish with unknown origin and phylogenetic position. *Journal of Experimental Zoology*, 303A, 393-345.
97. 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.
98. Starobogatov, Y. I. (1995): Taxonomy and geographical distribution of crayfishes of Asia and east Europe (crustacea Decapoda Astacoidei). *Arthropoda Selecta*, 4, 3-25.
99. Strayer, D. L. i Dudgeon, D. (2010): Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of North American Benthological Society*, 29(1), 344–358.
100. Strayer D. L. (2006): Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of North American Benthological Society*, 25, 271-287.
101. Strecker, A. L., Campbell, P. M., Olden, J. D. (2011): The aquarium trade as an invasion pathway in the Pacific Northwest. *Fisheries*, 36, 74– 85.
102. Streissl, F. i Hödl, W. (2002): Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia*, 477, 201–208.
103. Taylor, C. A., Warren, M. L. Jr., Fitzpatrick, J. F. Jr. i sur. (1996): Conservation status of crayfishes of the United States and Canada. *Fisheries*, 21, 25-38.
104. Taylor, C. A. (2002): Taxonomy of conservation of native crayfish ctocks. U: Holdich, D. M. (ur.) *Bilogy of freshwater crayfish*. Blackwell Sience Ltd, Nottingham, UK, 236-257.
105. Turchini, G. M., De Silva, S. S. (2008): Bio-economical and ethical impacts of alien finfish culture in European inland waters. *Aquaculture International*, 16, 243–272.

106. Twardochleb, L. A., Olden, J. D. i Larson, E. R. (2013): A global meta-analysis of the ecological impacts of nonnative crayfish. *Freshwater Science*, 32(4), 1367-1382.
107. Usio, N., Konishi, M. i Nakano, S. (2001): Species Displacement Between an Introduced and A 'vulnerable' Crayfish: The Role of Aggressive Interactions and Shelter Competition. *Biological Invasions*, 3(2), 179–185.
108. Vogt, G. (2007): Exposure of the eggs to 17 $\alpha$ -methyl testosterone reduced hatching success and growth and elicited teratogenic effects in postembryonic life stages of crayfish (Marmorkrebs). *Aquatic Toxicology*, 85, 291-296.
109. 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, 510–523.
110. Vogt, G. (2010): Suitability of the clonal marbled crayfish for biogerontological research: a review and perspective, with remarks on some further crustaceans. *Biogerontology*, 11, 643-669.
111. Vogt, G. (2011): Marmorkrebs: Natural crayfish clone as emerging model for various biological disciplines. *Journal of Biosciences*, 36(2), 377-382.
112. Vogt, G. (2015): Bimodal annual reproductive pattern in laboratory-reared marbled crayfish. *Invertebrate Reproduction & Development*, 59(4), 218-223.
113. Vogt, G., Falckenhayn, C., Schrimpf, A., Schmid, K., Hanna, K., Panteleit, J., i sur. (2015): The marbled crayfish as a paradigm for saltational speciation by autoploidy and parthenogenesis in animals. *The Company of Biologists Ltd: Biology Open*, 4, 1583-1594.
114. Vogt, G. (2016): Fate of glair glands and oocytes in unmated crayfish: a comparison between gonochoristic slough crayfish and parthenogenetic marbled crayfish. Preprint, 6 str.
115. Vorburger, C. i Ribi, G. (1999): Aggression and competition for shelter between a native and an introduced crayfish in Europe. *Freshwater Biology*, 42, 111–119.
116. Westman, K. i Savolainen, R. (2002): Growth of the signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus*, in a small forest lake in Finland. *Boreal Environment Research*, 7, 53-61.
117. Westman, K., Savolainen, R. i Julkunen, M. (2002): Replacement of the native crayfish *Astacus astacus* by the introduced species *Pacifastacus leniusculus* in a small, enclosed Finnish lake. *Ecography*, 25, 53-73.

118. Williamson, M. (1996): Biological invasions. Chapman & Hall, London, UK, 244 str.
119. Yamaguchi, T. (2001): Seasonal change of the hepatopancreas index in the males of the fiddler crab, *Uca lactea*. *Crustaceana*, 74(7), 627–634.
120. Yue, G. H., Li, J. L., Wang, C. M., Xia J. H., Wang, G. L. i Feng, J. B. (2010) High prevalence of multiple paternity in the invasive crayfish species, *Procambarus clarkii*. *International Journal of Biological Sciences*, 6, 107-115.
121. Zar, J. H. (2010): Biostatistical Analysis (Peto izdanje). Prentice Hall, USA, 944 str.

**Korištene mrežne stranice:**

[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org); pristupljeno 3.9.2016.

[www.invazivnevrste.hr](http://www.invazivnevrste.hr); pristupljeno 3.9.2016.

[www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu); Uredba Komisije (EU) br. 1141/2016 od 13. srpnja 2016.; pristupljeno 7.9.2016.

[www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica](http://www.hr.wikipedia.org/wiki/Šoderica); pristupljeno 4.9.2016.

[www.bioportal.hr/gis](http://www.bioportal.hr/gis); pristupljeno 4.9.2016.

[www.haop.hr](http://www.haop.hr); Hrvatska agencija za okoliš i prirodu; pristupljeno 7.9.2016.

[www.dzsp.hr](http://www.dzsp.hr); Državni zavod za zaštitu prirode; pristupljeno 7.9.2016.

[www.meteo.hr](http://www.meteo.hr); Državni hidrometeorološki zavod; pristupljeno 4.9.2016.

## 9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 4.7.1992. u Splitu gdje sam završila srednjoškolsko obrazovanje (Opća gimnazija „Marko Marulić“). 2011. godine upisala sam preddiplomski studij molekularne biologije (PMF, Sveučilište u Zagrebu) koji sam završila 2014. godine i stekla akademski naziv Sveučilišna prvostupnica molekularne biologije (univ.bacc.biol.mol.). Te godine upisujem diplomski studij ekologije i zaštite prirode, modul: more (PMF, Sveučilište u Zagrebu). Od listopada do prosinca 2016. godine boravim na stručnoj praksi na Sveučilištu u Trstu (Odsjek za biološke znanosti).

### Nagrade i priznanja

**2012.** - Jedna od dobitnika Posebne Rektorove nagrade za manifestaciju „Noć biologije“

**2014.** - Dobitnica Rektorove nagrade za studentski rad „Indukcija aktivnosti multiksenobiotičke otpornosti nakon izlaganja cinku – usporedba zavičajne vrste *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) i invazivne vrste *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Mollusca, Bivalvia)

**2015.** - Jedna od dobitnika Posebne Rektorove nagrade za istraživačko-edukacijski projekt „Grabovača 2014.“ Udruge studenata biologije - BIUS

**2015.** - Jedna od autora na radu "Differences in tolerance to anthropogenic stress between invasive and native bivalves" koji je objavljen u časopisu *Science of the Total Environment*

### Vještine

Koristim se osnovnim operacijama računalnih programa kao što su: QGis, Primer, Ocean Data View, Statistica, Microsoft Office paket (Word, Excel itd.), R.

Godinu dana sam bila članica Upravnog odbora Udruge studenata biologije – BIUS (2015/2016).

Od 2012. do 2016. sudjelujem u manifestaciji „Noć biologije“.

Strani jezik: engleski (B2) i talijanski (osnove).

### Hobi i interesi

Hobi: Folklor - aktivna plesačica od 2006. do 2011.

Interesi: Znanstveni interes su mi invazivne vrste, mekušci i ekotoksikologija