

# Astakofauna Maksimirskih jezera

---

Njegovan, Vanja

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:217:336837>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet – Biološki odsjek

Vanja Njegovan  
Znanosti o okolišu

**ASTAKOFAUNA MAKSIMIRSKIH  
JEZERA**

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

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 znanosti o okolišu.

## **ZAHVALA**

Prvenstveno bi se htjela zahvaliti svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ivani Maguire na izrazitoj susretljivosti i pomoći te velikom strpljenju prilikom pisanja ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se dr.sc. Sandri Hudini na korisnim savjetima i prijedlozima te velikoj pomoći tijekom terenskog istraživanja.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima koji su mi pružili bezuvjetnu podršku i ljubav.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### **Astakofauna Maksimirskih jezera**

Vanja Njegovan

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

#### SAŽETAK:

Četiri od pet europskih vrsta slatkovodnih rakova iz porodice Astacidae nastanjuje slatkovodna staništa Hrvatske: *Austropotamobius pallipes*, *Austropotamobius torrentium*, *Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*. Rakovi iz porodice Astacidae ključne su vrste u slatkovodnim ekosustavima. Izravno su ugrožene brojnim antropogenim pritiscima poput regulacije vodotoka, crpljenja vode, klimatskih promjena i unosa invazivnih stranih vrsta. S obzirom da na području Parka Maksimir (spomenik parkovne arhitekture, zaštićeno kulturno dobro) nisu provedena istraživanja astakofaune, glavni cilj ovog istraživanja bio je po prvi puta istražiti astakofaunu maksimirskih jezera. Također, cilj je bio procijeniti veličinu i strukturu populacija, kao i omjere spolova, morfometrijske značajke, udio ozljeda i kondiciju jedinki te ih međusobno usporediti. Provedenim istraživanjem utvrđene su dvije vrste rakova u Maksimirskim jezerima: *Astacus astacus* (prisutna u Četvrtom i Petom jezeru) i *Astacus leptodactylus* (prisutna u Drugom i Trećem jezeru). Ustanovljeno je da su populacije obje vrste stabilne te da se međusobno statistički značajno razlikuju u tjelesnoj kondiciji, omjeru spolova, udjelu ozljeda i mjerenim morfometrijskim parametrima. Zabilježene razlike najvjerojatnije su posljedica različitih tehnika lova, predacije stranih invazivnih vrsta kornjača i intraspecijske kompeticije. Dobiveni podaci poslužiti će kao inicijalna baza podataka u svim daljnjim istraživanjima astakofaune na tom području te kao podloga potencijalnim planovima upravljanja rakovima u Parku Maksimir.

(50 stranica, 26 slika, 11 tablica, 38 literaturnih navoda, 1 prilog, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: *Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*, morfometrija, Park Maksimir

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Ivana Maguire  
Neposredni voditelj: dr. sc. Sandra Hudina  
Ocjenitelji: Izv. prof. dr. sc. Ivana Maguire  
Doc. dr. sc. Ana Galov  
Izv. prof. dr. sc. Jasenka Sremac  
Doc. dr. sc. Neven Bočić

Rad prihvaćen: 8. 9. 2016.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### **Crayfish fauna of the Maksimir lakes**

Vanja Njegovan

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

#### SUMMARY:

Four out of five European crayfish species from Astacidae family inhabit Croatian freshwaters: *Austropotamobius pallipes*, *Austropotamobius torrentium*, *Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*. Crayfish species are the keystone species in freshwater ecosystems. Due to the increasing anthropogenic pressures, such as water regulation and water extraction, climate change and the introduction of invasive alien species, indigenous crayfish species are under increasing threat. The aim of this research was to study, for the first time, distribution and presence of crayfish in the urban area (artificial lakes) of Maksimir Park. Additionally, the goal was to estimate population size and structure, morphometric characteristics, the proportion of injuries and crayfish body condition. Two crayfish species were recorded in the Maksimir lakes: *Astacus astacus* (present in the Fourth and Fifth lake) and *Astacus leptodactylus* (present in the Second and Third Lake). Populations of both species are relatively abundant and stable. Significant differences in body condition, sex ratio, the proportion of injuries and measured morphometric parameters were recorded between species. Recorded differences are most likely the result of different trapping techniques applied, predation of alien invasive species of turtles and intraspecific competition. Obtained results will serve as a baseline for further research and monitoring of the crayfish fauna in Maksimir lakes.

(50 pages, 26 figures, 11 tables, 38 references, 1 appendix, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: *Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*, morphometry, Maksimir Park

Supervisor: Assoc. prof. Ivana Maguire  
Associate supervisor: dr. sc. Sandra Hudina  
Reviewers: Assoc. Prof. Ivana Maguire  
                  Assist. Prof. Ana Galov  
                  Assoc. Prof. Jasenka Sremac  
                  Assist. Prof. Neven Bočić

Thesis accepted: September 8th, 2016.

## Sadržaj

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Porodica Astacidae i njezina rasprostranjenost u Europi i Hrvatskoj .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Vrsta <i>Astacus astacus</i> .....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Morfološke značajke vrste <i>Astacus astacus</i> .....	3
1.2.2. Biologija i reproduktivni ciklus .....	4
1.2.3. Stanište.....	4
1.2.4. Ugroženost.....	5
<b>1.3. Vrsta <i>Astacus leptodactylus</i> .....</b>	<b>5</b>
1.3.1. Morfološke značajke vrste <i>Astacus leptodactylus</i> .....	5
1.3.2. Biologija i reproduktivni ciklus .....	6
1.3.3. Stanište.....	7
1.3.4. Ugroženost.....	7
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Obilježja istraživanog lokaliteta.....</b>	<b>9</b>
3.1.1. Opća obilježja Parka Maksimir.....	9
3.1.2. Geološke značajke Parka Maksimir.....	10
3.1.3. Slatkovodni sustavi Parka Maksimir .....	10
3.1.3.1. Jezera.....	10
3.1.3.2. Fauna jezera.....	11
3.1.3.3. Potoci.....	13
<b>4. MATERIJALI I METODE.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Lov i uzorkovanje rakova .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Određivanje vrste, spola i morfometrijskih značajki rakova.....</b>	<b>16</b>
<b>4.3. Mjerenje fizikalno – kemijskih parametara vode jezera i potoka .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4. Statistička obrada podataka .....</b>	<b>19</b>
<b>5. REZULTATI.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. Fizikalno – kemijski parametri istraživanih lokaliteta .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2. Deskriptivna statistika morfometrijskih značajki i kondicijskih indeksa rakova u istraživanim jezerima .....</b>	<b>21</b>
<b>5.3. Omjeri spolova i CPUE (ulov po jedinici napora).....</b>	<b>24</b>

5.3.1.	Omjeri spolova.....	24
5.3.1.1.	Omjeri spolova unutar vrste .....	24
5.3.1.2.	Omjer spolova između vrsta/jezera .....	25
5.3.2.	CPUE (ulov po jedinici napora).....	25
<b>5.4.</b>	<b>Kondicijski indeksi .....</b>	<b>26</b>
5.4.1.	Razlike kondicijskih indeksa među spolovima unutar vrste.....	26
5.4.2.	Razlike kondicijskih indeksa između vrsta/jezera .....	27
<b>5.5.</b>	<b>Ozljede .....</b>	<b>29</b>
5.5.1.	Omjer ozljeda između spolova unutar vrste .....	29
5.5.2.	Omjer ozljeda između vrsta/jezera .....	30
<b>5.6.</b>	<b>Usporedba morfometrijskih značajki rakova.....</b>	<b>31</b>
5.6.1.	Usporedba morfometrijskih značajki unutar vrste .....	31
5.6.2.	Usporedba morfometrijskih značajki između vrsta/jezera.....	33
<b>6.</b>	<b>RASPRAVA .....</b>	<b>37</b>
<b>6.1.</b>	<b>Općenite karakteristike populacija.....</b>	<b>37</b>
<b>6.2.</b>	<b>Usporedbe mjerenih parametara unutar i između vrsta .....</b>	<b>39</b>
6.2.1.	Relativne gustoće istraživanih populacija.....	39
6.2.2.	Kondicija jedinki u istraživanim populacijama .....	39
6.2.3.	Udio ozljeda.....	40
6.2.4.	Morfometrijske značajke istraživanih populacija .....	41
<b>6.3.</b>	<b>Preporuke za upravljanje vrstama <i>A. astacus</i> i <i>A. leptodactylus</i> u maksimirskim jezerima .....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>44</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>9.</b>	<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>49</b>
<b>10.</b>	<b>PRILOZI.....</b>	<b>1</b>



## 1. UVOD

### 1.1. Porodica Astacidae i njezina rasprostranjenost u Europi i Hrvatskoj

Do danas je opisano preko 640 vrsta slatkovodnih deseteronožnih rakova koji su taksonomski smješteni u dvije natporodice. Na području Sjeverne hemisfere rasprostranjena je natporodica Astacoidea, dok na Južnoj hemisferi obitava natporodica Parastacoidea.

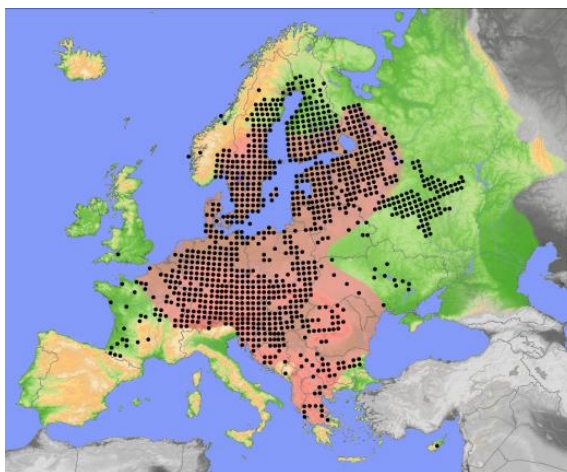
Natporodica Astacoidea sastoji se od dvaju porodica – Cambaridae i Astacidae (Crandall i Buhay, 2008).

Na području Europe prirodno je zastupljena porodica Astacidae sa dva roda: *Astacus* (Fabricius, 1775) i *Austropotamobius* (Skorikov, 1907) te je zabilježena i prisutnost trećeg roda *Pacifastacus* (Bott, 1950) koji je prirodno rasprostranjen na prostoru Sjeverne Amerike, dok se u Europi vodi kao invazivna vrsta (Maguire, 2010).

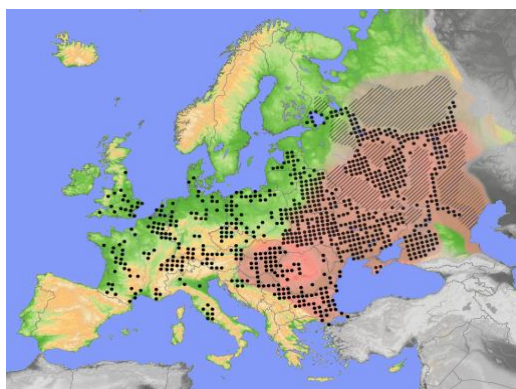
Na prostoru Europe (zapadno od Urala) rasprostranjeno je pet autohtonih vrsta slatkovodnih rakova iz porodice Astacidae (Holdich, 2002); *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) - riječni ili plemeniti rak, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 - uskoškari, turski ili barski rak, *Astacus pachypus* (Rathke, 1837), *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858) - bijelonogi ili primorski rak i *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) - otočni rak ili rak kamenjar. Vrsta *A. pachypus* obitava oko Kaspijskog jezera te Crnog i Azovskog mora, dok je vrsta *A. torrentium* rasprostranjena na području srednje i jugoistočne Europe te vrsta *A. pallipes* naseljava zapadnu i južnu Europu, uključujući i Britansko otočje (Holdich i Lowery, 1988). Vrste *A. astacus* i *A. leptodactylus* obrađivane u ovom diplomskom radu, također su rasprostranjene duž Europe: *A. astacus* na području istočne, srednje i sjeverne Europe (Slika 1), dok vrsta *A. leptodactylus* najviše u Aziji i istočnoj Europi, iako je unesena i u druge zemlje te se širi prema zapadu (Slika 2) (Kouba i sur., 2014). Osim autohtonih vrsta, na prostoru Europe zabilježene su alohtone vrste deseteronožnih slatkovodnih rakova. Strane invazivne vrste slatkovodnih deseteronožnih rakova unesene prije 1980 - tih godina su vrsta *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) koja pripada porodici Astacidae te vrste *Oroconectes limosus* (Rafinesque, 1817) i *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) koje pripadaju porodici Cambaridae. S obzirom da su unesene prije 1980 - tih godina još se i nazivaju stare strane invazivne vrste te su one na području Europe najraširenije. Strane vrste unesene nakon 1980 - tih godina u Europu još se i nazivaju nove strane invazivne vrste, a to su australske vrste *Cherax destructor* (Clark, 1936) i *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) roda *Cherax*. Također su unesene i nove strane invazivne vrste porijeklom iz Sjeverne Amerike roda *Oroconectes*: vrsta

*Orconectes immunis* (Hagen, 1870), *Orconectes juvenilis* (Hagen, 1870) te *Orconectes* cf. *virilis*. Osim roda *Cherax* i *Orconectes* unesene su i 3 strane vrste roda *Procambarus*: *Procambarus* cf. *acutus*, *Procambarus fallax* g. *virginalis* te *Procambarus alleni* (Kouba i sur., 2014).

Prema provedenim istraživanjima u Hrvatskoj su zabilježene četiri autohtone vrste deseteronožnih slatkovodnih rakova: *Austropotamobius pallipes*, *Austropotamobius torrentium*, *Astacus astacus* i *Astacus leptodactylus* (Maguire i Gottstein Matočec, 2004). Vrsta *Astacus astacus* dolazi u rijekama dunavskog sliva. Također je zabilježena u rijekama jadranskog sliva, u koje je antropogeno unesena (Maguire i sur., 2011). Vrsta *Astacus leptodactylus* prirodno je rasprostranjena u rijekama savskog i dravskog sliva te je zabilježeno njezino širenje prema jugu (Maguire, 2010). U posljednje vrijeme u Hrvatskoj su zabilježene i dvije strane invazivne vrste rakova, porijeklom iz Sjeverne Amerike: vrsta *Oroconectes limosus* roda *Orconectes* i vrsta *Pacifastacus leniusculus* roda *Pacifastacus* (Maguire i sur., 2011).



**Slika 1.** Rasprostranjenost vrste *A. astacus* na području Europe (Izvor: Kouba i sur., 2014)



**Slika 2.** Rasprostranjenost vrste *A. leptodactylus* na području Europe (Izvor: Kouba i sur., 2014)

## 1.2. Vrsta *Astacus astacus*

### 1.2.1. Morfološke značajke vrste *Astacus astacus*

Jedinke riječnog raka (Slika 3) prosječno narastu do 15 cm ukupne dužine (TL - od vrha rostruma do kraja telzona). Dorzalna strana tijela najčešće im je tamnosmeđe te maslinastozelene do crne boje, dok je ventralna strana tijela zelenosmeđe boje. Iako je boja rakova jedna od morfoloških karakteristika određene vrste nikako se ne smije uzimati kao determinacijsko svojstvo pri određivanju vrsta zbog svoje izrazite varijacije, često ovisne o adaptaciji jedinke na okoliš (Fureder i Machino, 2002). Za razliku od ostalih vrsta roda *Astacus* karapaks im je gladak, sa malim granularnim izbočenjima na rubovima. Vrste roda *Astacus* karakteriziraju dva para postorbitalnih grebena, gdje je prvi par puno izraženiji od drugog. Iza cervikalne brazde izražen je red sitnih izbočenja, najčešće sa samo jednim izraženim tupim trnom. Rubovi abdominalnih pleura su glatki i zaobljeni bez trnova. Imaju dobro razvijen gladak i ravan rostrum. Svojestven je dugačak izražen apeks rostruma te velika i široka kliješta sa neravnom granuliranom površinom. Nepokretni prst u sredini kliješta ima udubljenje koje je ograničeno sa dva mala zuba. Kod regeneriranih kliješta udubljenje nedostaje, dok je kod ženki i juvenilnih jedinki skoro neprimjetno (Maguire, 2010).



**Slika 3.** *Astacus astacus* – riječni ili plemeniti rak (Foto: Marius-Ioan Groza)

### 1.2.2. Biologija i reproduktivni ciklus

Rakovi vrste *Astacus astacus* su omnivori, te su najaktivniji noću. Primarno se hrane beskralješnjacima bentosa, vodenom i poluvodenom vegetacijom te detritusom. Jedna su od bitnih karika u prehranbenim lancima slatkovodnih ekosustava te su ključni organizmi na prostorima u kojima obitavaju. Rakovi rastu kroz niz presvlačenja oklopa s obzirom da im je površina tijela prekrivena izrazito čvrstim egzoskeletom. Nakon presvlačenja, dok su mekani izloženi su predatorskom pritisku te se u to vrijeme skrivaju ispod vodene vegetacije ili u rupe koje su najčešće sami iskopali. Za to vrijeme rastu u duljinu te opet izgrade čvrsti egzoskelet iz minerala starog okolopa kojeg su nakon presvlačenja pojeli. Spolnu zrelost dosežu između treće i pete godine života kada im ukupna dužina tijela iznosi 6 do 8,5 cm. Proces parenja odvija se u jesen, u rujnu i listopadu. Nakon oplodnje, ženke nose oplođena jaja osam do devet mjeseci, sakrivene ispod repa. Spolno zrele ženke veličine do 9 cm u prosjeku nose do dvjestotinjak jaja. Nakon perioda nošenja jaja izlegu se juvenilni rakovi veličine do 9 mm. Još uvijek su vezani za majku te tek nakon drugog presvlačenja započinju samostalan život. Nakon što mužjaci postignu spolnu zrelost, spolno su aktivni svake godine, dok su ženke spolno neaktivne svaku drugu ili treću godinu (Maguire, 2010). Alometrijski rast kliješta kod mužjaka uzrok je spolnog dimorfizma među spolovima. Ženke u prosjeku imaju manja kliješta te dužinu i težinu tijela od mužjaka (Skurdal i Taugbøl, 2002). Jedno od zajedničkih svojstva svih rakova iz porodice Astacidae je i regeneracija nogu hodalica i plivalice te kliješta prilikom povrede (Maguire, 2010).

### 1.2.3. Stanište

Jedinke vrste *A. astacus* obitavaju u slatkim vodama sa puno kisika te nižim temperaturama (Skurdal i Taugbøl, 2002). Osim što vodotoci u kojima žive imaju puno kisika i niskih su temperatura, izrazito su čisti i nezagađeni. U usporedbi sa vrstom *A. leptodactylus*, vrsta *A. astacus* puno je osjetljivija na fizikalno – kemijske i ostale promjene uvjeta u staništu. Ključni resursi u prirodi su skloništa koje životinje iskopaju same ili traže u staništu te potom hrana i partneri za razmnožavanje. U slučaju velike gustoće populacije te kada jedan od resursa postane ograničavajući faktor intraspecijska kompeticija u populaciji raste. Žive u staništima različitog sastava dna, od ilovaste i šljunkovite podloge do vodenih sustava u kojima dominiraju velike stijene. Najčešće ih se može pronaći uz obalu među vodenom vegetacijom gdje kopaju rupe i zaklone u koje se skrivaju (Maguire, 2010).

#### 1.2.4. Ugroženost

Više je uzroka ugroženosti vrste *A. astacus* na području Hrvatske. Vrsta je primarno ugrožena izgradnjom infrastrukture za regulaciju vodenih tokova poput uređivanja obale te kanaliziranja vodotoka. Također sve veće količine otpadnih tvari koje dospjevaju u slatkovodne ekosustave ispiranjem sa poljoprivrednih i obradivih površina uzrok su smanjena brojnosti populacije. S obzirom da je vrsta *A. astacus* izrazito cijenjena u gastronomiji u prošlosti je bio čest prekomjeren i nekontroliran izlov, iako se on danas kontrolira propisanim zakonima zaštite. Osim navedenih uzroka ugroženosti bitno je naglasiti da invazivne alohtone vrste američkih rakova jako utječu na veličinu i strukturu populacije s obzirom da su te vrste vektori putem kojih se širi račja kuga od koje riječni rakovi ugibaju. Također, američke vrste rakova su puno agresivnije i fertilnije, te u kompeticiji za hranu i prostor istiskuju autohtone vrste, pa tako i vrstu *A. astacus* iz prirodnog staništa u područja koja su nepovoljna za život ove vrste. Prema nedavnim istraživanjima zabilježen je pad brojnosti populacije te nestanak vrste *A. astacus* sa 22 od 122 istraživana lokaliteta na području Hrvatske (Maguire i sur., 2011). Zbog velikog antropogenog pritiska i dosad velikog nestanka populacija na određenim lokalitetima nalazi se na IUCN – ovoj crvenoj listi prema kojoj je proglašena ugroženom vrstom (IUCN, 2016).

Također, na razini Europe zaštićena je Dodatkom III Konvencije o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa (Bernska konvencija) te Dodatkom V Direktive o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore (Edsman i sur., 2010), dok je u Hrvatskoj zaštićena Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13), te Pravilnikom o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/2013) (Maguire, 2010).

### 1.3. Vrsta *Astacus leptodactylus*

#### 1.3.1. Morfološke značajke vrste *Astacus leptodactylus*

Jedinke vrste *A. leptodactylus* (Slika 4) mogu narasti do ukupne dužine od 30 cm, iako češće narastu do 15 cm. Najčešće su žutosmeđe i maslinastozelene boje dok im je ventralna strana bijela. Boja i oblik tijela jedinke varira ovisno o okolišu u kojem se nalazi i na koji se adaptirala. Kao što je rečeno, vrste roda *Astacus* imaju dva postorbitalna grebena. Za razliku od vrste *A. astacus* čiji je karapaks gladak, bez trnova, vrsta *A. leptodactylus* prepoznatljiva je po izrazitoj trnovitosti cijelog tijela, no najviše iza cervikalne brazde. Abdominalne pleure završavaju trnom dok su kod vrsta *A. astacus* zaobljene. Karakterističan je izrazito dugačak



rostrum sa velikim i šiljastim rostralnim trnovima. Rostralna rebra su dobro uočljiva, a mogu biti paralelna ili konkavna. Apeks je dugačak i istaknut. Za vrstu *A. leptodactylus* svojstvena su izrazito uska, dugačka kliješta sa produljenim prstima. Nema udubljenja na nepokretnom prstu kliješta. Izražen je spolni dimorfizam između mužjaka i ženki, mužjaci imaju produljene prste kliješta te su puno duži nego kod ženki (Maguire, 2010).



**Slika 4.** *Astacus leptodactylus* – uskoškari, turski ili barski rak (Foto: Marius-Ioan Groza)

### 1.3.2. Biologija i reproduktivni ciklus

Rakovi ove vrste su također svejedi te konzumiraju vodenu i poluvodenu vegetaciju, beskralješnjake bentosa te detritus. Rakovi vrste *A. leptodactylus* aktivni su i danju i noću za razliku od ostalih vrsta porodice Astacidae te samim time unose više hranjivih tvari u organizam što je uzrok bržeg rasta u usporedbi sa ostalim vrstama porodice Astacidae (Holdich, 2002).

Mušjaci i ženke dosežu spolnu zrelost u trećoj godini života pri čemu dosežu ukupnu dužinu do 8,5 cm. Sezona parenja traje od listopada do prosinca, iako se zbog pomaka u životnom ciklusu mogu pariti i u veljači i ožujku. Ženke nose oplođena jaja (u prosjeku 200 – 800) kraće od ženki vrste *A. astacus*, najčešće 5 do 8 mjeseci. Kao i kod vrste *A. astacus* nakon izlijevanja, juvenilni rakovi ostaju uz majku te nakon prvog presvlačenja započinju samostalan život (Holdich, 2002).

Jednako kao i kod vrste *A. astacus* prisutan je spolni dimorfizam i alometrijski rast pri čemu kliješta mužjaka i abdomen ženki rastu brže od ostalih dijelova tijela (Lowery, 1988; Grandjean i sur., 1997; Streissl i Hödl, 2002; Maguire i Klobučar, 2011).

### 1.3.3. Stanište

Za razliku do vrste *A. astacus*, uskoškari rakovi žive u nizinskim rijekama sa mekanim muljevitim dnom te močvarama. Otporniji su na lošije fizikalno – kemijske uvjete u slatkovodnim ekosustavima te mogu preživjeti pri vrlo lošoj kvaliteti vode, sa velikim oscilacijama kisika i temperature (Holdich, 2002).

### 1.3.4. Ugroženost

Vrsta *A. leptodactylus* je ugrožena antropogenim utjecajem te širenjem alohtonih invazivnih američkih vrsta rakova kao i ostale autohtone vrste rakova u Europi i Hrvatskoj. Najotpornija je i najrobusnija autohtona vrsta slatkovodnog deseternožnog raka na području Europe. Zbog velikog fekunditeta, brzog životnog ciklusa i veličine tijela izrazito je kompetitivna te istiskuje ostale autohtone rakove iz njihovih staništa. Također, u mogućnosti je koegzistirati sa stranim invazivnim vrstama rakova, poput vrste *Orconectes limosus* te ju čak može nadvladati u kompeticiji za resurse staništa. Od svih autohtonih vrsta slatkovodnih rakova vrsta *A. leptodactylus* je najotpornija na bolesti poput primjerice račje kuge (Hudina i sur., 2016). Iako je ugrožena antropogenim utjecajem i pojedinim invazivnim vrstama rakova zbog navedenih karakteristika i širenja areala rasprostranjenosti nije zaštićena na globalnoj i nacionalnoj razini, dok je na IUCN – ovoj crvenoj listi proglašena kao najmanje zabrinjavajuća vrsta (IUCN, 2016).

Prema dosadašnjim istraživanjima ustanovljena je distribucija astakofaune na području Zagreba. U nizinskim predjelima sliva rijeke Save na području Zagreba obitava vrsta *A. astacus*, dok prostor Medvednice naseljava vrsta *Austropotamobius torrentium* te vrsta *A. leptodactylus* nastanjuje sliv donjeg toka rijeke Save na području Lonjskog polja (Maguire i sur., 2011). Na temelju tih saznanja očekivalo se da je na području maksimirskih jezera zastupljena vrsta *A. astacus*.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Slatkovodni rakovi iz porodice Astacidae su ključni organizmi slatkovodnih ekosustava. Svojim trofičkim aktivnostima te fizičkim promjenama staništa izravno utječu na stanište kao i na ostale slatkovodne organizme. Unatoč njihovoj važnosti u slatkovodnim ekosustavima do sada se nisu provodila istraživanja astakofaune na području Parka Maksimir. Stoga je glavni cilj ovog diplomskog rada bio po prvi puta utvrditi prisutnost rakova u svim maksimirskim jezerima te odrediti njihovu vrstu. Također, cilj ovog istraživanja bio je istražiti i usporediti veličinu populacija, njihovu uzrasnu strukturu spolova, te odrediti njihove morfometrijske značajke, udio ozljeda i kondiciju.

Dobiveni podaci poslužiti će kao inicijalna baza podataka u svim daljnjim istraživanjima astakofaune na tom području te će moći biti korišteni u potencijalnim planovima upravljanja rakovima u Parku Maksimir.

Prije samog istraživanja postavljene su tri hipoteze.

Hipoteza 1. U svim jezerima obitava autohtona vrsta *Astacus astacus*

Hipoteza 2. Zastupljenost i brojnost rakova neće biti jednaka u svih pet jezera

Hipoteza 3. Morfometrijske značajke jedinki, omjer spolova te udio ozljeda ovise o brojnosti tj. gustoći populacije



### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Obilježja istraživane lokaliteta

##### 3.1.1. Opća obilježja Parka Maksimir

Područje ovog istraživanja obuhvatilo je pet jezerskih sustava Parka Maksimir (Slika 5). Park Maksimir je jedinstveno područje parkovnog graditeljstva u naslijeđu Grada Zagreba i Republike Hrvatske. Nastao je krajem 18. i početkom 19. stoljeća krčenjem autohtone šume hrasta lužnjaka i običnog graba na južnim obroncima Medvednice. Osnivač parka Maksimir bio je zagrebački biskup Maksimilijan pl. Vrhovac De Ehrenberg et Rakitovec (1752.-1827.) te je u vrijeme osnivanja Park Maksimir bio najvažniji parkovni objekt za vladavine Austro-Ugarske Monarhije, isto kao i prvi javni park na prostoru jugoistočne Europe. Park Maksimir je po prvi puta otvoren za građanstvo 1794. godine te je tom prilikom dobio ime Maksimilijanov mir ili Maksimir prema svome osnivaču. Prvobitna zaštita parka datira još iz 1948. godine kada je proglašen prirodnom rijetkošću od strane tadašnjeg Zemaljskog zavoda za zaštitu prirodnih rijetkosti u Zagrebu. Zbog svojih iznimnih prirodnih vrijednosti Park Maksimir danas je zaštićen Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13) kao spomenik parkovne arhitekture te Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 100/04, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 98/15) kao kulturno dobro.

Područje parka zauzima površinu od 316 hektara na nadmorskoj visini od 120 do 167 metara. Prevladava umjereno topla kišna klima s temperaturama najhladnijeg mjeseca višim od  $-3^{\circ}\text{C}$  i nižim od  $18^{\circ}\text{C}$ , te temperaturama najtoplijeg mjeseca koja iznosi oko  $21^{\circ}\text{C}$ . Oborine su tijekom cijele godine ujednačene iako su za vrijeme ljetnog perioda nešto češće. Glavni smjerovi vjetra su sjever i sjeveroistok koji su posebno dominantni u proljeće (Javna Ustanova Maksimir, 2016).



**Slika 5.** Položaj Parka Maksimir u Republici Hrvatskoj

### **3.1.2. Geološke značajke Parka Maksimir**

Specijalna geološka istraživanja nisu provedena na prostoru Parka Maksimir, no postoje podaci o okolnim geološkim strukturama, poput Medvednice te Savske depresije pomoću kojih se može odrediti geološka podloga te struktura parka. Smješten je na dodiru tih dviju geoloških struktura, gdje južni obronci Medvednice prelaze u Savsku depresiju. Na području parka dominiraju dva geološka člana – pliokvartarni sediment i holocenski nanos. Veći dio parka prekriven je pliokvartarnim sedimentom čija se starost kreće od oko 1,8 milijuna godina. Geološki gledano, ovaj vrlo mlad sediment donesen je s obronaka Medvednice. Odlomljeni dijelovi stijena doneseni su u jezera i močvare koje su se tada nalazile na tom području te su oblikovale slatkovodne naslage koje danas prekrivaju veći dio Parka Maksimir. Drugi geološki član je holocenski nanos, nastao prije 10 000 godina. Erozivnom snagom vode ispran je s povišenih terena te danas tvori tanki sloj na najnižim dijelovima parka. Pliokvartarni sediment i holocenski nanos litološki imaju sličan sastav. Zajedno tvore miješane sedimente sastavljene od nesortiranog šljunka, krupnozrnatog i srednjzrnatog pijeska te siltova i gline. Glavna značajka ovog sedimenta je nepropusnost vode zahvaljujući glini i siltu. Nepropusnost podloge omogućuje održavanje maksimirskih umjetnih jezera. Parkom se protežu tri rasjedna pravca. Dva rasjeda protežu se s istočne i zapadne strane te je njihov smjer pružanja sjever – jug, poprečan na greben Medvednice. Treći ili ilički rasjed koji se proteže od Podsuseda do Zeline prolazi južnom stranom parka. Ilički rasjed je i danas aktivan te se na području parka izdiže brzinom od 1-2 mm na godinu (Javna Ustanova Maksimir, 2016).

### **3.1.3. Slatkovodni sustavi Parka Maksimir**

#### **3.1.3.1. Jezera**

Osim što maksimirski jezerski sustavi imaju estetski i krajobrazni značaj, danas se koriste kao ribnjaci te rekreativne površine namijenjene vožnji čamcima. Danas na prostoru parka postoji pet jezera – Prvo, Drugo, Treće, Četvrto i Peto jezero. Umjetno oblikovana jezera opskrbljuju se vodom iz potoka Bliznec koji direktno utječe u Drugo i Peto jezero. Osim potoka Bliznec, potoci Mirni Dol i Dahlia periodički snabdijevaju jezera vodom (Javna Ustanova Maksimir, 2016). Opće značajke (starost, dubina i površina) svih pet jezera prikazane su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Opće značajke jezera

<b>JEZERO</b>	<b>STAROST(GODINA IZGRADNJE)</b>	<b>DUBINA(m)</b>	<b>POVRŠINA(ha)</b>
<b>Prvo jezero</b>	1839.	3,30	1,5
<b>Drugo jezero</b>	1839.	0,5 – 1,5	0,7
<b>Treće jezero</b>	1911.	1 – 4	2
<b>Četvrto jezero</b>	1853. - 1862.	0,5 - 1	1,1
<b>Peto jezero</b>	1869.	6	3

Prvo jezero smješteno je u južnom dijelu na prostoru gdje prevladavaju šume hrasta lužnjaka, u blizini tadašnje Poštanske ceste, danas Maksimirske ceste. Vodom se snabdijeva iz Drugog jezera koja dotječe iz potoka Bliznec, dok se periodički prihranjuje vodom iz potocića Dahlia kojemu je izvor u samom parku. Drugo jezero nalazi se sjeverno od Prvog jezera smješteno na 122 metra nadmorske visine. Najmanje je jezero Parka Maksimir (Tablica 1). Velika količina suspendiranih anorganskih i organskih tvari unosi se u jezero utjecanjem potoka Bliznec. Također, za vrijeme intenzivnih kišnih razdoblja u jezero se ispiranjem unose i tvari sa okolnih slivnih površina. Prvo i Drugo jezero je povezano pri čemu voda iz Drugog jezera preko slapišta utječe u Prvo jezero. Treće jezero nalazi se zapadno od Prvog i Drugog te je najmlađe jezero parka (Tablica 1). Opskrbljuje se vodom pomoću cjevovoda iz Petog jezera u koje utječe potok Bliznec. Četvrto jezero (bivše Treće) je smješteno u sjeveroistočnom dijelu parka na nadmorskoj visini od 135 metara, u neposrednoj blizini prirodnog toka potoka Bliznec. Snabdijeva se vodom iz Petog jezera. Od 1975. do 2007. godine jezero je bilo isušeno te obnovljeno u sklopu projekta kojeg su financirale Hrvatske vode (Javna Ustanova Maksimir, 2016).

Peto jezero je najveće jezero u parku Maksimir (Tablica 1). Smješteno je na sjevernom dijelu parka na nadmorskoj visini od 142 metra. Jezero se snabdijeva vodom primarno iz novouređenog dovoda iz potoka Bliznec te djelomično iz oborinskog područja potoka Mirni Dol. Peto jezero ima i veliku rekreacijsku ulogu, na njemu se odvija rekreacijsko – športski ribolov. Šesto jezero koje danas više ne postoji imalo je ulogu ribnjaka namijenjenog mriješćenju riba u svrhu uzgoja riblje mladi. Bilo je smješteno kod vojničke streljane u dolini potoka Ivančica (Javna Ustanova Maksimir, 2016).

### **3.1.3.2. Fauna jezera**

U maksimirskim jezerima obitava 81 mikrofitska vrsta, koje pripadaju skupinama (Kerovec i sur., 2004): Cyanobacteria (10 vrste), Euglenophyta (4 vrste), Chrysophyta (39

vrsta) i Chlorophyta (22 vrste) i Dinophyta (6 vrsta). Alge kremenjašice su dominantna skupina u svih 5 maksimirskih jezera. Najveći broj mikrofitskih vrsta utvrđen je u Prvom maksimirskom jezeru, dok najmanje makrofitskih vrsta ima u Petom jezeru.

Faunu makrozooplanktona maksimirskih jezera čini 9 planktonskih vrsta rakova iz redova Cladocera i Copepoda (Kerovec i sur., 2004). Vrste iz reda Cladocera koje obitavaju u jezerima su: *Ceriodaphnia* sp., *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1776), *Chydorus spaericus* (O. F. Müller, 1785), *Diaphanosoma brahyurum* (Liévin 1848), *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776) i *Scapholeberis kingie* G. O. Sars, 1888, dok vrste *Cyclops* sp. 1, *Cyclops* sp. 2 te *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1862) pripadaju redu Copepoda. Raznolikost faune makrozoobentosa u jezerima je vrlo mala. Postoje velike razlike u broju jedinki faune dna između pet maksimirskih jezera. Najviše jedinki makrozoobentosa obitava u Petom jezeru, najmanje u Prvom jezeru, dok je u ostalim jezerima brojnost jedinki podjednaka (Kerovec i sur., 2004).

Struktura ihtiofaune svih maksimirskih jezera osim Četvrtog jezera za koje nema podataka, varira ovisno o njihovoj međusobnoj povezanosti i različitim čovjekovim utjecajem na pojedina jezera. U jezerima utvrđeno je 11 vrsta riba, od kojih je 6 autohtonih vrsta (Tablica 2) i 5 alohtonih vrsta (Tablica 3) (Kerovec i sur., 2004).

**Tablica 2.** Autohtone vrste riba Prvog, Drugog, Trećeg i Petog jezera

<b>AUTOHTONE VRSTE</b>	<b>PRVO JEZERO</b>	<b>DRUGO JEZERO</b>	<b>TREĆE JEZERO</b>	<b>PETO JEZERO</b>
<i>Alburnus alburnus</i> - uklijeva	+	+		
<i>Rutilus rutilus</i> - bodorka	+	+	+	+
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> - crvenperka	+	+	+	
<i>Cyprinus carpio</i> - šaran				+
<i>Perca fluviatilis</i> - grgeč	+		+	+
<i>Sander lucioperca</i> - smuđ			+	+

**Tablica 3.** Alohtone vrste riba Prvog, Drugog, Trećeg i Petog jezera

ALOHTONE VRSTE	PRVO JEZERO	DRUGO JEZERO	TREĆE JEZERO	PETO JEZERO
<i>Carassius auratus</i> – zlatna ribica		+		
<i>Carassius gibelio</i> – babuška	+	+	+	+
<i>Stenopharyngodon idella</i> – amur				+
<i>Ameiurus nebulosus</i> – američki somić	+	+	+	
<i>Lepomis gibbosus</i> – sunčanica	+	+	+	+

Osim alohtonih riba, u jezerima Parka Maksimir zabilježena je velika brojnost invazivnih crvenouhих kornjača - *Trahemys scripta elegans* (Wied-Neuwied, 1839). Najveća brojnost crvenouhих kornjača utvrđena je u Trećem i Petom maksimirskom jezeru gdje izrazito ugrožavaju autohtonu vrstu *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) - barska kornjača. U kompeticiji sa barskom kornjačom za prostor i hranu sve snažnije potiskuju autohtonu vrstu iz njezine prirodne niše (AZO, 2012).

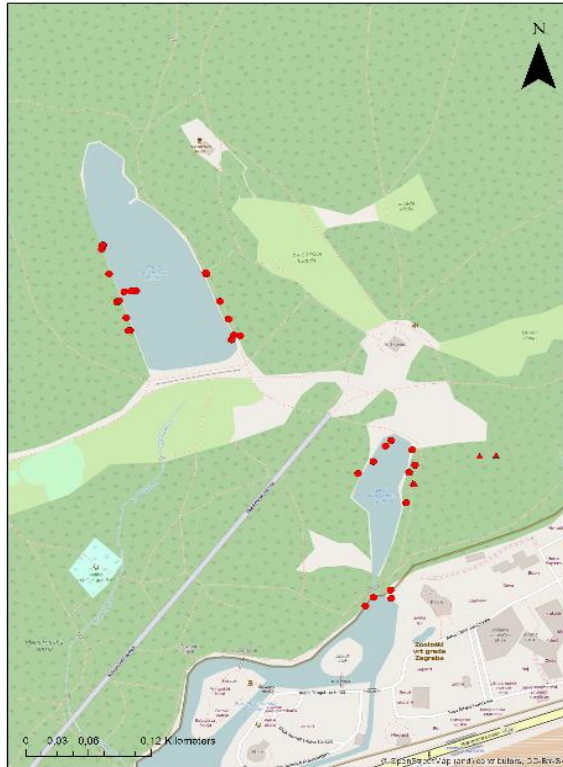
### 3.1.3.3. Potoci

Na području parka Maksimir protječe sedam potoka - Bliznec, Bukovčak, Dahlia, Maksimirec, Mirni Dol, Piškornica i Štefanovec. Potok Bliznec je najvažniji potok u Parku Maksimir. Izvire na području Parka prirode Medvednica te površina njegovog sliva iznosi oko 1250 hektara. Potok Dahlia izvire u Parku Maksimir, a ulijeva se u Drugo jezero. Njegovo slivno područje iznosi oko 43 hektara. Periodički sudjeluje u opskrbi jezera. Potok Maksimirec smješten je uz krajnji zapadni dio parka. Također je periodičkog karaktera te nema ulogu u opskrbi jezera vodom s obzirom da protječe kroz naseljeno područje pa je voda tog vodotoka zagađena. Potok Mirni Dol zauzima slivno područje od oko 61 hektar i ulijeva se u Peto jezero. Izvire u sjevernom dijelu parka te je također periodičkog karaktera. U Treće jezero ulijeva se potok Piškornica. Izvire u Gornjem Bukovcu te mu površina oborinskog sliva iznosi oko 130 hektara. Nakon izgradnje kanalizacijskog sustava skrenut je tok potoka Piškornice kojim su se prije fekalne vode slijevale u Treće jezero (Javna Ustanova Maksimir, 2016).

## **4. MATERIJALI I METODE**

### **4.1. Lov i uzorkovanje rakova**

Kao što je rečeno, područje ovog istraživanja obuhvatilo je svih pet jezerskih sustava Parka Maksimir te pritoku Drugog maksimirskog jezera. Istraživanje je provedeno od 6. - 12. lipnja 2016. godine. Potrebna oprema u svrhu istraživanja uključivala je – vrše za lov rakova, pomično mjerilo (Digital Caliper, raspon 0 – 15 cm, preciznost 0,05 mm), dinamometar (Pesola, max. 300 g, preciznost 1 g, razdioba 2 g) te pH-oksimetar (WTW pH/Oxi 340i) kojim smo bilježili temperaturu vode u jezerima. Svako jezero je fotografirano isto kao i reprezentativne jedinke ulovljenih rakova. Također bilježene su GPS koordinate svake postavljene vrše (Slika 6 i 7) te su svi relevantni podaci bilježeni u terenske protokole. Za lov rakova u potoku koristile su se ručno izrađene vrše (izgrađene od plastičnih boca i mrežice) (Slika 8) (Maguire, 2010), dok su se u jezerskim sustavima koristile LiNi vrše (Slika 9) (Westman i sur., 1978). LiNi vrše su profesionalno izrađene sklopive zamke za lov rakova u većim vodenim tijelima. Napravljene su od mreže (veličine oka od 14 mm) i metalne žice cilindričnog oblika sa dva lijevkasta ulaza. Na svakom istraživanom lokalitetu svakodnevno je postavljen određen broj vrša, ovisno o veličini lokaliteta (Tablica 4). Za mamac su korištene kranjske kobasice. Vrše s mamcem postavljene su uz rub svakog jezera i vodotoka te ostavljene preko noći. Vrše su provjeravane svako jutro, a ulovljeni rakovi stavljani su u posebno označene posude s brojem vrše prije daljnje obrade.



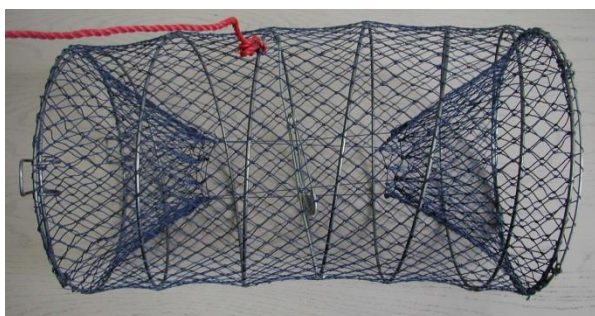
**Slika 6.** Položaj postavljenih vrša u Prvom, Drugom i Trećem jezeru



**Slika 7.** Položaj postavljenih vrša u Četvrtom i Petom jezeru



**Slika 8.** Ručno izrađena vrša (Izvor: Maguire, 2010)



**Slika 9.** Profesionalna LiNi vrša (Izvor: Maguire, 2010)

**Tablica 4.** Broja vrša, ručnog lova te lovnih noći po istraživanim lokalitetima

ISTRAŽIVANI LOKALITET	Broj vrša		Broj dana ručnog lova	Broj lovnih noći
	LiNi vrše	Ručno izrađene vrše		
Prvo jezero	4	-	-	6
Drugo jezero	8	-	-	6
Treće jezero	20	-	2	6
Četvrto jezero	8	-	1	6
Peto jezero	8	-	1	6
Potok	-	4	-	3

#### 4.2. Određivanje vrste, spola i morfometrijskih značajki rakova

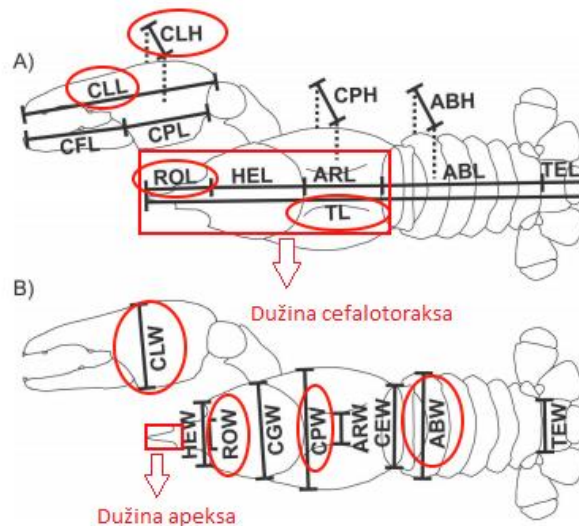
Pomoću ključa za determinaciju rakova porodice Astacidae (Maguire, 2010) svi ulovljeni rakovi determinirani su do razine vrste. Spol rakova određen je prema prisutnosti odnosno odsutnosti prvih začanih nogu. Mužjaci imaju prva dva para pleopodija preobražen u



organe za kopulaciju – gonopode, dok je kod ženki prvi par začanih nogu reduciran (Slika 10). Nakon određivanja spola bilježeni su svi fizički nedostaci jedinke, poput nedostataka pojedinog tjelesnog nastavka, prisutnost nametnika, simptoma bolesti i melanizacije. Također određivali smo fiziološku fazu životnog ciklusa prema tvrdoći karapaksa pri čemu se bilježilo da li su rakovi svježe presvučeni ili pred presvlačenjem te aktivnost cementnih žlijezda u ženki. Masa rakova mjerena je dinamometrom (Pesola, max. 300 g, preciznost 1g). Naposljetku svakoj životinji izmjereno je 10 morfometrijskih značajki: ukupna dužina, dužina cefalotoraksa, širina karapaksa, širina 1. začanog kolutića, dužina rostruma, širina rostruma, dužina apeksa, dužina kliješta, širina kliješta i debljina kliješta (Slike 11 i 12) te je svakom raku uzet uzorak tkiva (prvi pereopod) u svrhu budućih molekularnih analiza. Ovakav način uzorkovanja tkiva ne narušava integritet jedinke jer se tjelesni nastavci regeneriraju nakon presvlačenja. Nakon obavljenih mjerenja sve jedinke puštene su u jezero na isto mjesto gdje su bile ulovljene.



**Slika 10.** Crveno zaokruženi gonopodi mužjaka



**Slika 11.** Deset mjerenih morfometrijskih značajki (crveno označeno) – TL - ukupna dužina, dužina cefalotoraksa, CPW - širina karapaksa, ABW- širina 1. začanog kolutića, ROL - dužina rostruma, ROW - širina rostruma, dužina apeksa, CLL - dužina kliješta, CLW - širina kliješta i CLH - debljina kliješta



**Slika 12.** Mjerenje morfometrijskih značajki pomoću pomičnog mjerila (Foto: vlastiti izvor)

#### 4.3. Mjerenje fizikalno – kemijskih parametara vode jezera i potoka

Od fizikalno – kemijskih parametara vode svaki dan (od 6. lipnja do 12. lipnja 2016. godine) mjerena je temperatura vode svih pet jezerskih sustava te potoka. Temperatura vode izmjerena je pomoću pH-oksometar (WTW pH/Oxi 340i).

#### 4.4. Statistička obrada podataka

Prikupljeni podaci statistički su obrađeni pomoću računalnih programa Microsoft Excel i Statistica 12. U svim statističkim testovima korištena je razina značajnosti od 5 % ( $p < 0,05$ ). Svih 10 izmjerenih morfometrijskih značajki, masa životinja te kondicijski indeksi opisani su deskriptivnom statistikom (srednja vrijednost, standardna devijacija i raspon) za svako pojedino jezero. Prije samih statističkih analiza, testirano je da li dobiveni podaci odgovaraju normalnoj raspodjeli. Podaci nisu odgovarali normalnoj raspodjeli te su obrađeni neparametrijskim metodama.

Omjeri spolova unutar vrste i između vrsta/jezera kao i udio ozljeda, određivani su pomoću  $\chi^2$ -testa. Također određivan je CPUE (eng. catch per unit effort ili ulov po jedinici napora) svakog jezera. Računat je kao broj ulovljenih jedinki po osobi po satu te kao broj ulovljenih jedinki po vrši po broju lovnih noći.

Izračunata su i dva kondicijska indeksa;

Fultonov kondicijski indeks prema formuli:

$$FCF = W/T^3$$

gdje je FCF – Fultonov kondicijski faktor ( $\text{g}/\text{mm}^3$ ), W – masa raka (g) i T – ukupna dužina jedinke (mm)

i konstanta dekapodnog raka (engl. crayfish constant, CC) prema formuli:

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

gdje je CC – konstanta dekapodnog raka ( $\text{g}/\text{mm}^3$ ), W – ukupna masa, TL – ukupna dužina, CL – dužina karapaksa i CW – širina karapaksa.

Nadalje, utvdili smo postoje li značajne razlike između spolova u svim mjerenim i izračunatim parametrima (morfometrijska obilježja i kondicijski indeksi) pomoću Mann-Whitney U testa.

Razlike u svim parametrima između jezera (odnosno vrsta) ispitane su pomoću Kruskal Wallis ANOVA testa.

## 5. REZULTATI

Na području Parka Maksimir prisutne su dvije vrste slatkovodnih deseteronožnih rakova porodice Astacidae:

- riječni rak - *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) koji je prisutan u Četvrtom i Petom jezeru te
- uskoškari rak - *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 koji je prisutan u Drugom i Trećem jezeru

Tijekom istraživanja ulovljeno je više jedinki vrste *Astacus leptodactylus*. Najviše rakova uhvaćeno je u Trećem jezeru a najmanje u Drugom jezeru (Tablica 5).

Rakovi su zabilježeni u četiri od ukupno pet jezera. U Prvom jezeru te u pritoci Drugog jezera tijekom istraživanja nije ulovljena niti jedna jedinka (Tablica 5).

**Tablica 5.** Broj ulovljenih jedinki vrsta *Astacus astacus* i *Astacus leptodactylus* na istraživanim lokalitetima

Istraživani lokaliteti	Broj ulovljenih jedinki	Vrsta
Prvo jezero	0	-
Drugo jezero	6	<i>Astacus leptodactylus</i>
Treće jezero	64	<i>Astacus leptodactylus</i>
Četvrto jezero	16	<i>Astacus astacus</i>
Peto jezero	30	<i>Astacus astacus</i>
Pritoka Drugog jezera	0	-

### 5.1. Fizikalno – kemijski parametri istraživanih lokaliteta

Tijekom istraživanog perioda prosječna temperatura vode bila je vrlo slična u svim jezerima (Tablica 6).

**Tablica 6.** Prosječne temperature svih jezera od 6. lipnja do 12. lipnja 2016. godine

	Prvo jezero	Drugo jezero	Treće jezero	Četvrto jezero	Peto jezero
Prosječna temperatura/°C	20,50	20,99	22,80	21,80	22,74

## 5.2. Deskriptivna statistika morfometrijskih značajki i kondicijskih indeksa rakova u istraživanim jezerima

Rezultati deskriptivne statistike morfometrijskih značajki i kondicijskih indeksa (srednja vrijednost, maksimum, minimum i standardna devijacija) prikazani su u Tablici 7 i 8 za svako istraživano jezero. Podataka za Prvo jezero nema, s obzirom da na njemu nije ulovljena niti jedna jedinka.

Najveći mužjak vrste *Astacus astacus* (masa: 103,00 g, TL: 134,63 mm) ulovljen je u Četvrtom jezeru. Najveća ulovljena ženka vrste *A. astacus* (masa: 44,00 g, TL: 112,59 mm) također je ulovljena na Četvrtom jezeru. Najmanja ulovljena ženka vrste *A. astacus* (masa: 30,00 g, TL: 101,18 mm) ulovljena je na Petom jezeru, dok je najmanji ulovljeni mužjak ove vrste (masa: 14,00 g, TL: 78,25 mm) ulovljen na Četvrtom jezeru (Tablica 7).

**Tablica 7.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfometrijskih značajki, kondicijskih indeksa (FCF - Fultonov kondicijski indeks, CC - konstanta dekapodnog raka) i mase vrste *Astacus astacus* Petog i Četvrtog jezera

Vrsta: <i>Astacus astacus</i>								
ČETVRTO JEZERO	MUŽJACI (broj jedinki = 13)				ŽENKE (broj jedinki = 3)			
Morfometrijske značajke	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.
Masa tijela/g	63,31	14,00	103,00	27,87	38,67	36,00	44,00	4,62
TL/mm	115,22	78,25	134,63	15,25	107,32	103,81	112,59	4,65
Dužina cefalot./mm	59,42	38,69	71,38	9,27	51,92	48,03	56,39	4,21
Širina karapaksa/mm	30,86	18,50	38,56	5,60	27,48	27,20	27,72	0,26
Širina 1. začanog kolutića/mm	24,28	16,02	28,64	3,28	26,64	25,03	28,00	1,50
Dužina rostruma/mm	17,42	12,35	26,69	4,19	13,58	10,15	17,68	3,81
Širina rostruma/mm	7,47	5,70	10,26	1,28	7,24	5,96	8,41	1,23
Dužina apeksa/mm	5,72	4,16	6,83	0,79	4,02	2,11	5,79	1,84
Dužina kliješta/mm	53,25	23,34	75,75	14,64	37,95	35,16	39,77	2,45
Širina kliješta/mm	22,02	10,83	29,26	5,23	16,92	15,40	18,14	1,39
Debljina kliješta/mm	12,39	6,50	15,79	2,88	8,86	8,13	9,66	0,77
Kondicijski indeksi	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.
FCF	0,53	0,18	0,78	0,18	0,36	0,34	0,39	0,03

CC	0,00022	0,00019	0,0002	0,00002	0,0002	0,0002	0,00022	0,00002
<b>PETO JEZERO MUŽJACI (broj jedinki = 26)</b>				<b>ŽENKE (broj jedinki = 4)</b>				
<b>Morfometrijske značajke</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>
Masa tijela/g	55,23	20,00	100,00	26,20	34,50	30,00	40,00	5,26
TL/mm	113,64	88,47	141,31	15,30	104,67	101,18	107,19	2,57
Dužina cefalot./mm	56,61	44,81	74,42	8,64	51,39	48,67	52,97	1,94
Širina karapaksa/mm	30,35	22,28	40,11	5,22	27,99	26,92	29,94	1,34
Širina 1. začanog kolutića/mm	23,97	17,87	31,39	3,51	23,99	23,22	24,82	0,85
Dužina rostruma/mm	15,96	11,08	21,58	2,97	15,81	15,12	16,89	0,77
Širina rostruma/mm	7,15	5,14	9,12	1,02	6,70	6,45	7,18	0,34
Dužina apeksa/mm	5,61	3,28	8,35	1,33	5,76	5,20	6,25	0,51
Dužina kliješta/mm	50,03	29,39	73,08	15,45	33,13	22,42	42,10	8,32
Širina kliješta/mm	20,46	9,79	27,38	5,63	14,65	9,59	17,89	3,63
Debljina kliješta/mm	11,50	5,56	19,13	3,49	8,50	5,08	11,17	2,53
<b>Kondicijski indeksi</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>
FCF	0,465	0,226	0,729	0,166	0,329	0,284	0,373	0,0457
CC	0,0002	0,00015	0,0003	0,00003	0,0002	0,00015	0,00019	0,00002

Najveći mužjak vrste *A. leptodactylus* (masa: 90,00 g, TL: 137,90 mm) ulovljen je u Trećem jezeru, dok je najveća ulovljena ženka (masa: 62,00 g, TL: 128,22 mm) ulovljena u Drugom jezeru. Najmanja ulovljena ženka vrste *A. leptodactylus* (masa: 2,44 g, TL: 46,96 mm) ulovljena je na Trećem jezeru, te je najmanji ulovljeni mužjak (masa: 4,85 g, TL: 56,59 mm) ulovljen također u Trećem jezeru (Tablica 8).

**Tablica 8.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfolometrijskih značajki, kondicijskih indeksa (FCF - Fultonov kondicijski indeks, CC - konstanta dekapodnog raka) i mase vrste *Astacus leptodactylus* Drugog i Trećeg jezera

Vrsta: <i>Astacus leptodactylus</i>								
DRUGO JEZERO		MUŽJACI (broj jedinki = 2)			ŽENKE (broj jedinki = 4)			
Morfometrijske značajke	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.
Masa tijela/g	54,00	54,00	54,00	0,00	39,00	12,00	62,00	21,82
TL/mm	123,63	119,66	127,60	5,61	110,37	81,50	128,22	20,84
Dužina cefalot./mm	123,63	119,66	127,60	5,61	55,16	41,25	63,80	10,62
Širina karapaksa/mm	63,94	62,93	64,95	1,43	28,89	21,15	33,49	5,54
Širina 1. začanog kolutića/mm	34,00	33,63	34,37	0,52	27,81	18,29	35,49	7,29
Dužina rostruma/mm	27,64	27,20	28,07	0,62	16,10	14,52	17,27	1,33
Širina rostruma/mm	17,16	16,47	17,85	0,98	6,54	5,18	7,37	0,97
Dužina apeksa/mm	6,96	6,64	7,27	0,45	6,64	5,72	8,04	1,01
Dužina kliješta/mm	6,90	5,88	7,92	1,44	40,38	32,18	45,55	7,18
Širina kliješta/mm	77,32	53,63	101,00	33,45	15,11	13,99	16,84	1,52
Debljina kliješta/mm	19,47	19,03	19,90	0,62	8,38	7,24	9,71	1,25
Kondicijski indeksi	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.
FCF	0,44	0,42	0,45	0,02	0,33	0,15	0,51	0,15
CC	0,00016	0,00015	0,00017	0,000014	0,00016	0,000125	0,00019	0,00003
TREĆE JEZERO		MUŽJACI (broj jedinki = 30)			ŽENKE (broj jedinki = 34)			
Morfometrijske značajke	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.	Sr.vrije.	Min.	Max.	St. dev.
Masa tijela/g	19,42	4,85	90,00	16,01	13,28	2,44	27,46	5,52
TL/mm	84,10	56,59	137,90	17,45	78,73	46,96	102,22	12,52
Dužina cefalot./mm	34,40	22,10	58,42	7,68	31,26	18,42	40,68	4,85
Širina karapaksa/mm	22,45	10,08	39,97	5,86	20,17	12,13	26,62	3,44
Širina 1. začanog kolutića/mm	4,80	2,85	7,80	1,10	4,59	2,00	6,30	0,86
Dužina rostruma/mm	12,09	7,03	22,53	2,95	11,53	7,43	15,19	1,75

Širina rostruma/mm	5,30	3,75	9,59	1,16	4,90	3,10	6,51	0,76
Dužina apeksa/mm	5,18	3,54	8,47	1,20	5,06	3,08	6,48	0,94
Dužina kliješta/mm	29,29	16,23	81,13	12,91	22,00	11,65	29,91	4,28
Širina kliješta/mm	11,31	5,02	27,70	4,47	9,40	2,17	12,58	2,13
Debljina kliješta/mm	6,04	3,33	12,90	2,11	4,80	2,72	6,61	0,91
<b>Kondicijski indeksi</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>	<b>Sr.vrije.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>St. dev.</b>
FCF	0,21	0,09	0,65	0,11	0,17	0,05	0,27	0,05
CC	0,00016	0,00013	0,00027	0,000024	0,00016	0,000125	0,00024	0,00002

### 5.3. Omjeri spolova i CPUE (ulov po jedinici napora)

#### 5.3.1. Omjeri spolova

##### 5.3.1.1. Omjeri spolova unutar vrste

**Vrsta:** *Astacus astacus*

Iako je broj ulovljenih ženki bio manji od broja ulovljenih mužjaka (Tablica 9),  $\chi^2$  test pokazao je da nema statistički značajne razlike u omjeru spolova vrste *Astacus astacus* ( $\chi^2 = 0,24$ ,  $p > 0,05$ ).

**Tablica 9.** Broj ulovljenih mužjaka i ženki vrste *Astacus astacus* Četvrtog i Petog jezera

Vrsta: <i>Astacus astacus</i>	BROJ MUŽJAKA	BROJ ŽENKI
ČETVRTO JEZERO	13	3
PETO JEZERO	26	4

**Vrsta:** *Astacus leptodactylus*

U slučaju vrste *A. leptodactylus*, broj ulovljenih mužjaka i ženki bio je podjednak (Tablica 10).  $\chi^2$  test pokazao je da nema statistički značajne razlike u omjeru spolova vrste *Astacus leptodactylus* ( $\chi^2 = 0,41$ ,  $p > 0,05$ ).

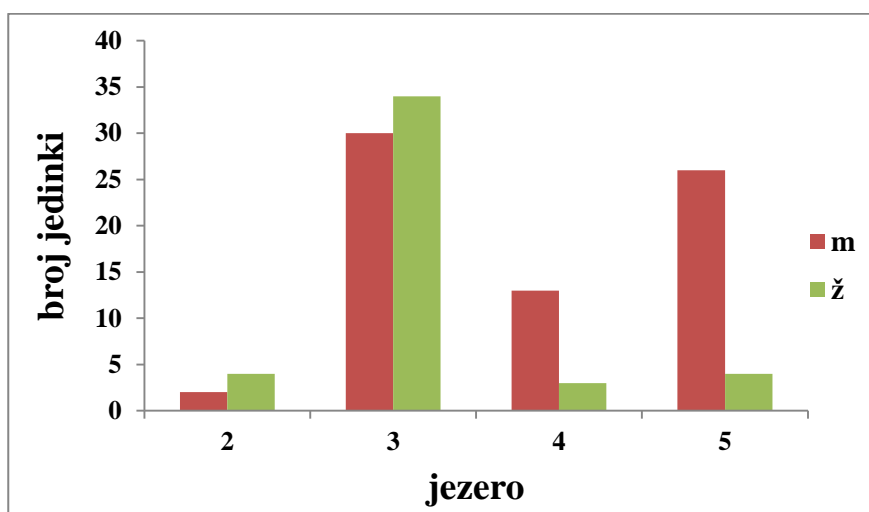
**Tablica 10.** Broj ulovljenih mužjaka i ženki vrste *Astacus leptodactylus* Drugog i Trećeg jezera

Vrsta: <i>Astacus leptodactylus</i>	BROJ MUŽJAKA	BROJ ŽENKI
DRUGO JEZERO	2	4
TREĆE JEZERO	30	34



### 5.3.1.2. Omjer spolova između vrsta/jezera

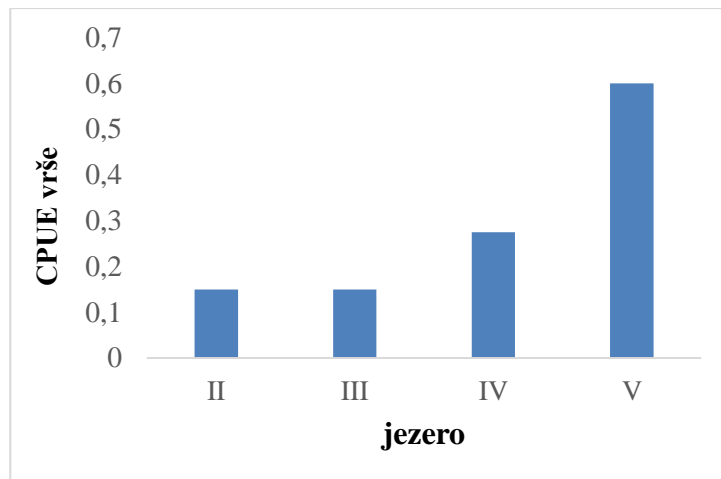
Usporedba razlika u omjeru spolova između jezera/vrsta pokazala je kako postoje statistički značajne razlike omjera spolova među vrstama ( $\chi^2 = 17,84$ ,  $p < 0,05$ ). Zabilježene razlike posljedica su razlika u omjeru spolova unutar vrsta, s obzirom da su u ulovu u Četvrtom i Petom jezeru (gdje je prisutna vrsta *A. astacus*) prevladavali mužjaci, dok je u Drugom i Trećem jezeru (gdje je prisutna vrsta *Astacus leptodactylus*) omjer spolova bio ujednačen (Slika 13).



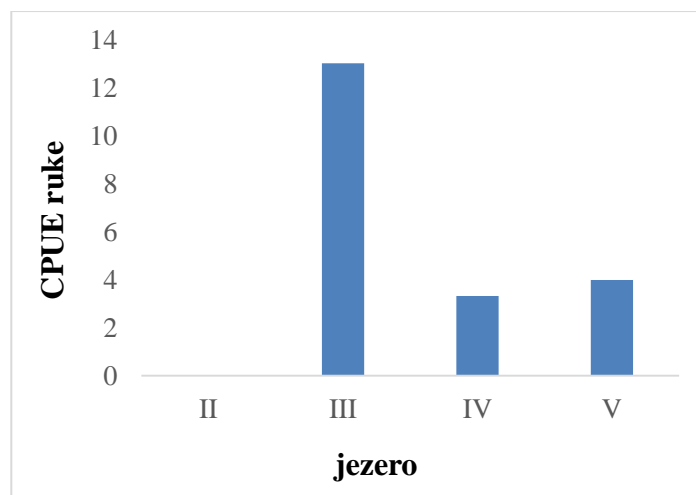
**Slika 13.** Odnos broja jedinki mužjaka (m) i ženki (z) u Drugom, Trećem (vrsta *A. leptodactylus*), Četvrtom i Petom jezeru (vrsta *A. astacus*)

### 5.3.2. CPUE (ulov po jedinici napora)

Ulov po jedinici napora (CPUE) razlikovao se između jezera i metoda lova (Slike 14 i 15). Lovom vršama zabilježen je najveći CPUE u Petom jezeru (Slika 14), dok je lovom rukama najveći CPUE zabilježen u Trećem jezeru (Slika 15).



**Slika 14.** Vrijednosti CPUE vrše za Drugo, Treće, Četvrto i Peto jezero



**Slika 15.** Vrijednosti CPUE ruke za Drugo, Treće, Četvrto i Peto jezero

## 5.4. Kondicijski indeksi

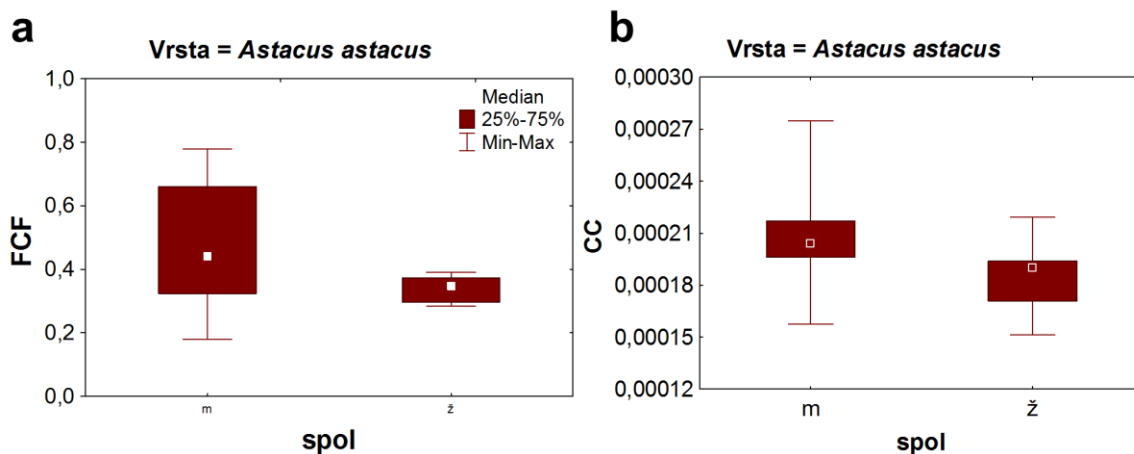
Dobivene vrijednosti kondicijskih indeksa opisane su deskriptivnom statistikom (srednja vrijednost, minimum, maksimum, standardna devijacija) te su prikazane u Tablici 7 i Tablici 8. Također računate su razlike kondicijskih indeksa između spolova unutar vrste i između vrsta/jezera.

### 5.4.1. Razlike kondicijskih indeksa među spolovima unutar vrste

**Vrsta : *Astacus astacus***

Mann -Whitney U test pokazao je da postoje statistički značajne razlike kondicijskog indeksa FCF ( $U = 66,00, p < 0,05, N1 = 39, N2 = 7$ ) te kondicijskog indeksa CC ( $U = 58,00, p < 0,05, N1 = 30, N2 = 7$ ) među spolovima vrste *Astacus astacus* Četvrtog i Petog jezera

(združeni podaci za Četvrto i Peto jezero). Vrijednosti kondicijskih indeksa mužjaka su veće od vrijednosti kondicijskih indeksa ženki (Slika 16).



**Slika 16.** Vrijednosti kondicijskih indeksa a) FCF i b) CC vrste između spolova *Astacus astacus* Četvrtog i Petog jezera

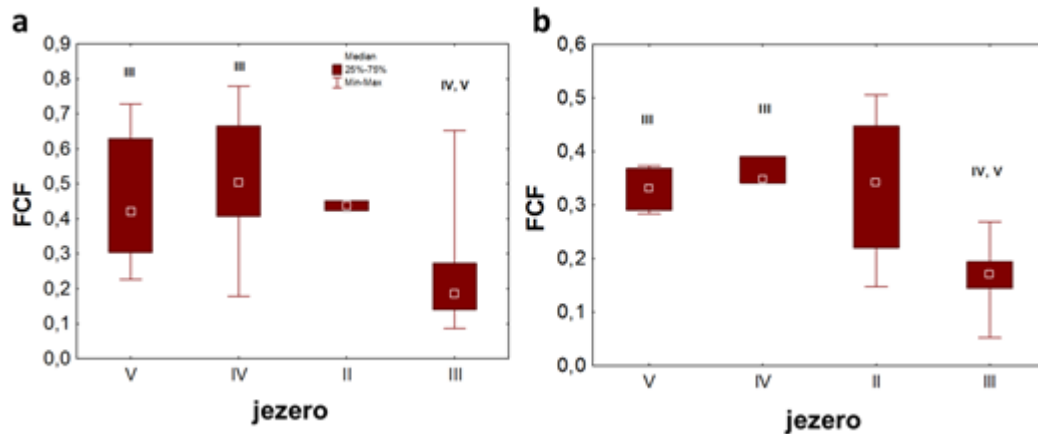
#### Vrsta: *Astacus leptodactylus*

Mann-Whitney U testom dokazano je da nema statistički značajnih razlika u kondicijskim indeksima među spolovima vrste *Astacus leptodactylus* (združeni podaci za Drugo i Treće jezero), iako su općenito prosječne vrijednosti ovih indeksa bile nešto niže kod ženki nego kod mužjaka (Tablica 8).

#### 5.4.2. Razlike kondicijskih indeksa između vrsta/jezera

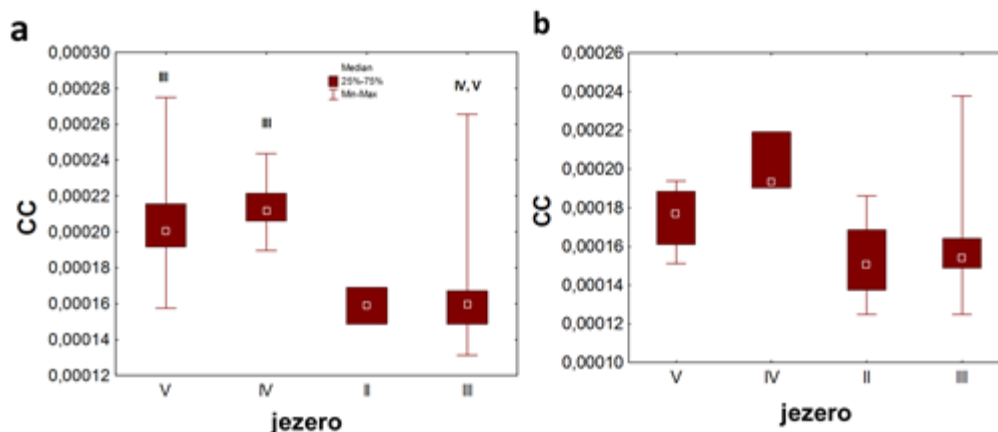
Razlike u kondicijskim indeksima između vrsta/jezera određivane su odvojeno za mužjake i ženke, s obzirom da su kod vrste *Astacus astacus* ustanovljene statistički značajne razlike između spolova u navedenim parametrima.

Zabilježili smo statistički značajne razlike kondicijskog indeksa FCF među vrstama/jezerima (mužjaci  $H_{(3, N=71)} = 38,62$   $p < 0,05$ , ženke  $H_{(3, N=43)} = 18,90$ ,  $p < 0,05$ ). Statistički značajno veći kondicijski indeks FCF imaju mužjaci i ženke iz Četvrtog i Petog jezera (vrsta *A. astacus*) od mužjaka i ženki iz Trećeg jezera (vrsta *A. leptodactylus*), dok se statistički značajno ne razlikuju od mužjaka i ženki Drugog jezera (Slika 17).



**Slika 17.** Razlike kondicijskog indeksa FCF između a) mužjaka i b) ženki Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Statistički značajne razlike označene su rimskim brojem (II - Drugo jezero, III - Treće jezero, IV – Četvrto jezero, V- Peto jezero)

Isto tako, statistički su se značajno razlikovale vrijednosti kondicijskog indeksa CC među vrstama/jezerima između mužjaka ( $H_{(3, N=71)} = 42,61$   $p < 0,05$ ) i ženki ( $H_{(3, N=43)} = 9,83$ ,  $p < 0,05$ ). Mužjaci Trećeg jezera imali su značajno manji kondicijski indeks CC od mužjaka Četvrtog i Petog jezera, dok se nisu statistički značajno razlikovali od jedinki Drugog jezera. (Slika 18). Kod ženki, statistički značajna razlika dobivena Kruskal Wallis ANOVA testom nije bila vidljiva među grupama kada je napravljen post-hoc test (višestruke usporedbe srednjih vrijednosti grupa). Razlog tome vjerojatno leži u činjenici što je u nekim grupama (ženke u Četvrtom i Trećem jezeru) broj jedinki bio vrlo mali. Bez obzira na mali uzorak, iz Slike 18 b) vidljivo je kako su ženke u Drugom i Trećem jezeru (ženke vrste *A. leptodactylus*) bile u lošijoj tjelesnoj kondiciji od ženki u Četvrtom i Petom jezeru (vrsta *A. astacus*).



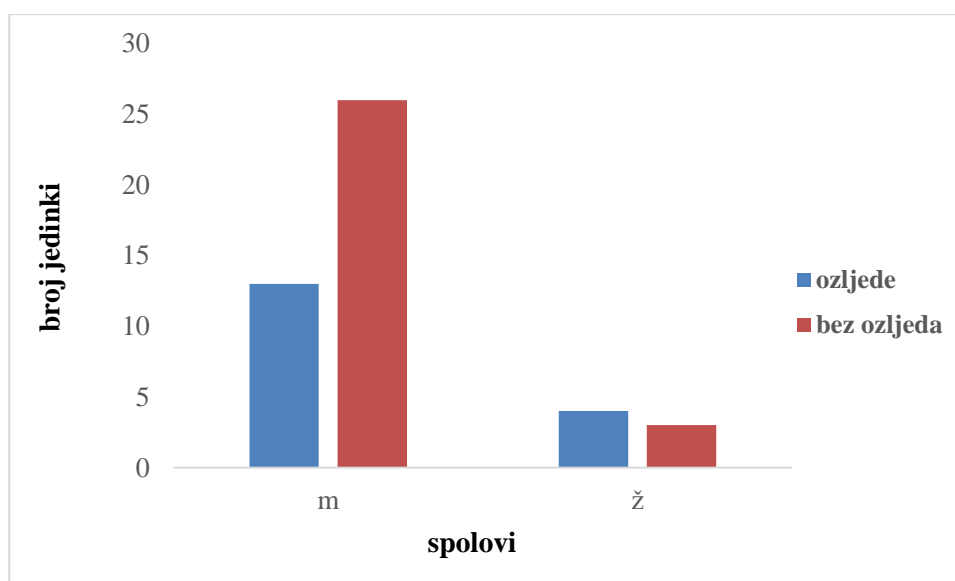
**Slika 18.** Statistički značajne razlike kondicijskog indeksa CC između a) mužjaka i b) ženki Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Statistički značajne razlike označene su rimskim brojem (II - Drugo jezero, III - Treće jezero, IV – Četvrto jezero, V – Peto jezero)

## 5.5. Ozljede

### 5.5.1. Omjer ozljeda između spolova unutar vrste

**Vrsta:** *Astacus astacus*

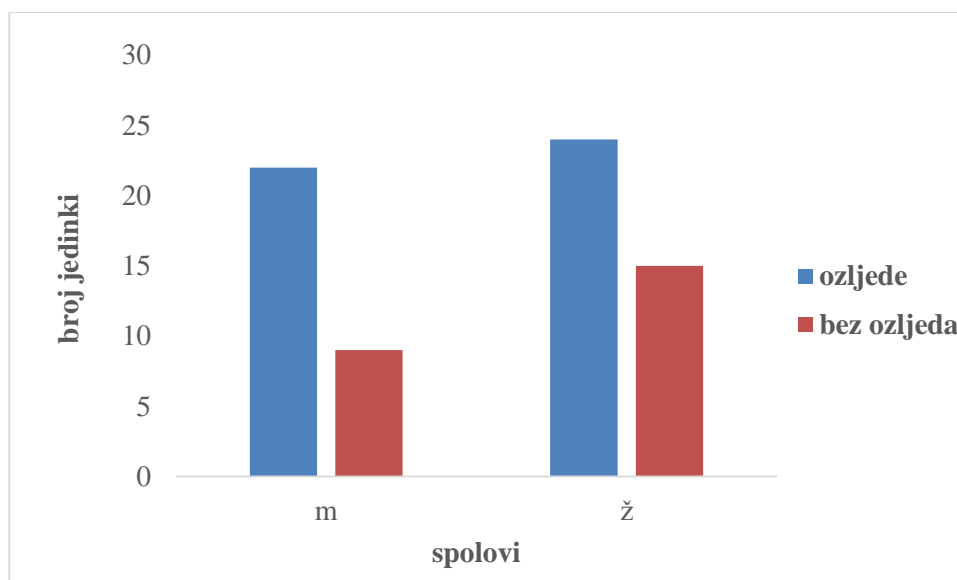
$\chi^2$  testom ustvrđeno je da ne postoje statistički značajne razlike u ozljedama između mužjaka i ženki vrste *Astacus astacus* Četvrtog i Petog jezera, iako je zabilježen nešto veći udio neozlijeđenih mužjaka naspram ženki (Slika 19).



**Slika 19.** Odnos broja ozlijeđenih i neozlijeđenih mužjaka i ženki vrste *Astacus astacus*

### Vrsta: *Astacus leptodactylus*

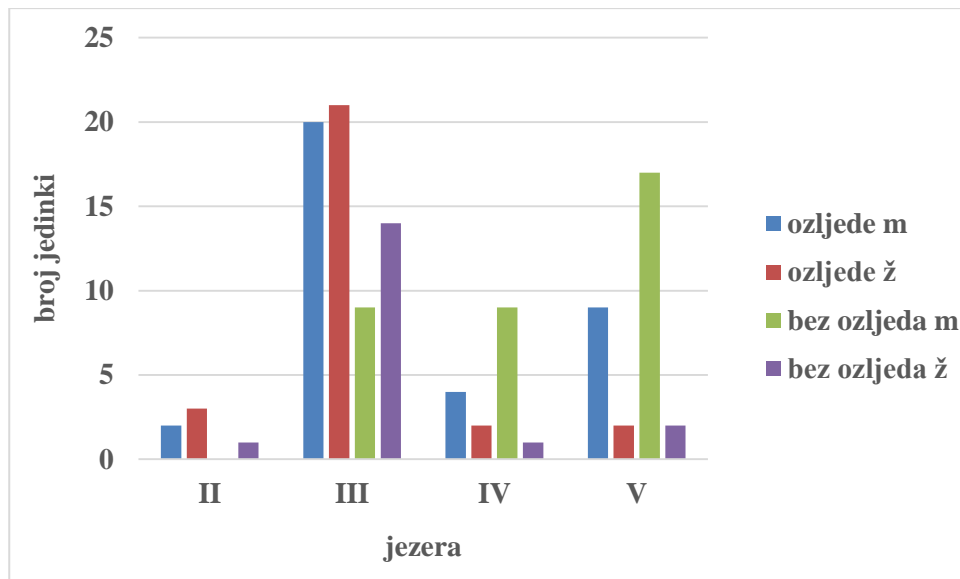
$\chi^2$  testom pokazano je da ne postoje statistički značajne razlike u udjelu ozljeda između spolova vrste *Astacus leptodactylus* Drugog i Trećeg jezera. Slika 20 prikazuje odnos ozljeda mužjaka i ženki vrste *Astacus leptodactylus* Drugog i Trećeg jezera.



**Slika 20.** Odnos broja ozlijeđenih i neozlijeđenih mužjaka i ženki vrste *Astacus leptodactylus*

#### 5.5.2. Omjer ozljeda između vrsta/jezera

Usporedbom udjela ozlijeđenih mužjaka i ženki između svih jezera/vrsta utvrđene su statistički značajne razlike između Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera ( $\chi^2= 30,51$ ,  $p < 0,05$ ). Udio ozlijeđenih mužjaka i ženki bio je najveći u Trećem jezeru, dok je najmanju udio ozlijeđenih životinja bio na Petom jezeru (Slika 21).



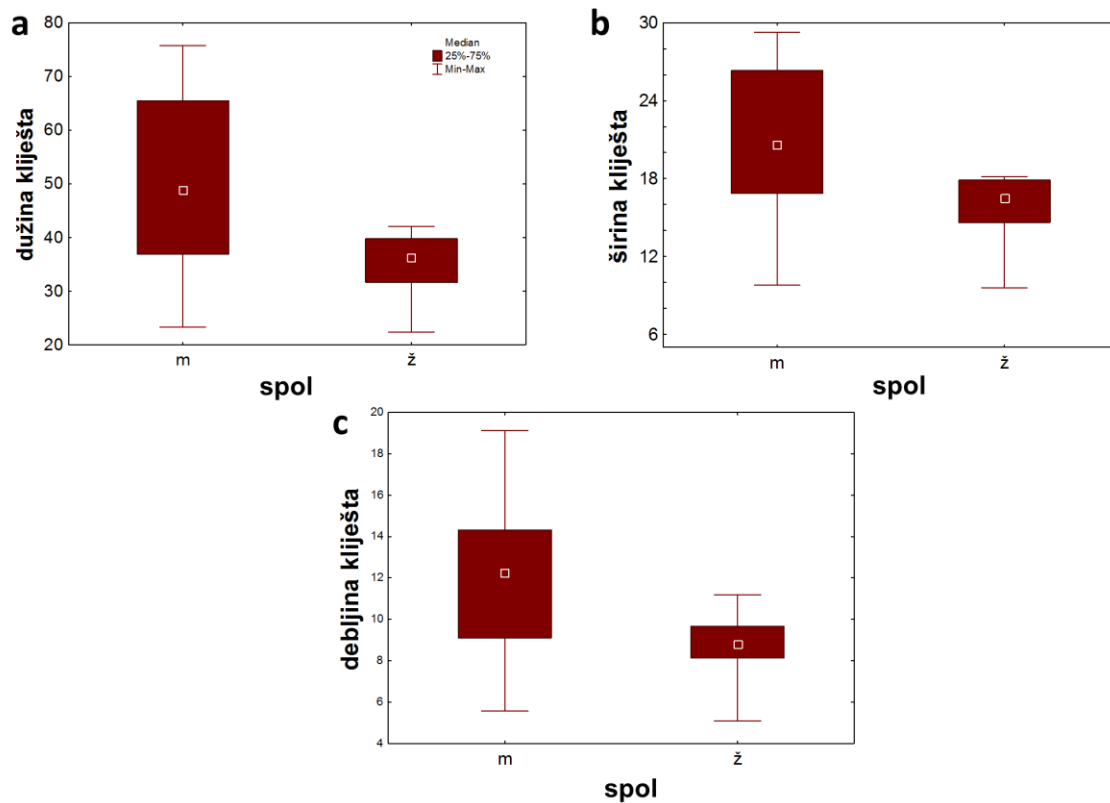
**Slika 21.** Broj ozlijeđenih i neozlijeđenih mužjaka i ženki u pojedinom jezeru

## 5.6. Usporedba morfometrijskih značajki rakova

### 5.6.1. Usporedba morfometrijskih značajki unutar vrste

#### Vrsta: *Astacus astacus*

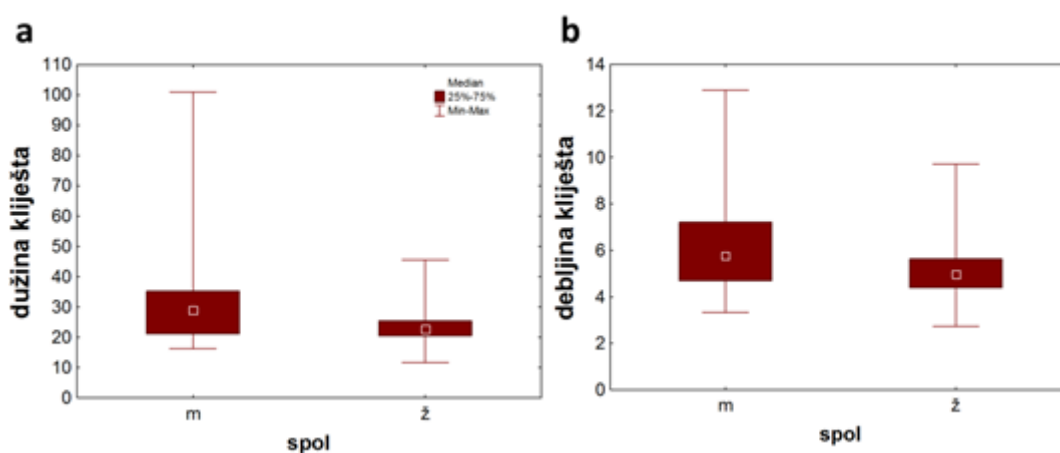
Provedenim Mann-Whitney U testom dokazano je da postoje statistički značajne morfometrijske razlike između spolova vrste *Astacus astacus* (Četvrtog i Petog jezera) u dužini; ( $U = 54,00, p < 0,05, N1 = 39, N2 = 7$ ), širini; ( $U = 54,00, p < 0,05, N1 = 39, N2 = 7$ ) i debljini kliješta; ( $U = 63,00, p < 0,05, N1 = 39, N2 = 7$ ). Mužjaci vrste *A. astacus* imali su značajno veća, šira i deblja kliješta nego ženke iste vrste (Slika 22).



**Slika 22.** Usporedba a) dužine, b) širine i c) debljine klijesta između spolova vrste *Astacus astacus* Četvrtog i Petog jezera

**Vrsta: *Astacus leptodactylus***

Nadalje, Mann-Whitney U Test pokazao je da postoje statistički značajne razlike u dužini klijesta; ( $U = 299,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $N1 = 28$ ,  $N2 = 34$ ) te debljini klijesta; ( $U = 334,50$ ,  $p < 0,05$ ,  $N1 = 28$ ,  $N2 = 35$ ) između mužjaka i ženki Drugog i Trećeg jezera. Ženke su imale značajno kraća i tanja klijesta od mužjaka (Slika 23).



**Slika 23.** Usporedba a) dužine i b) debljine klijesta između spolova vrste *Astacus leptodactylus* Drugog i Trećeg jezera.

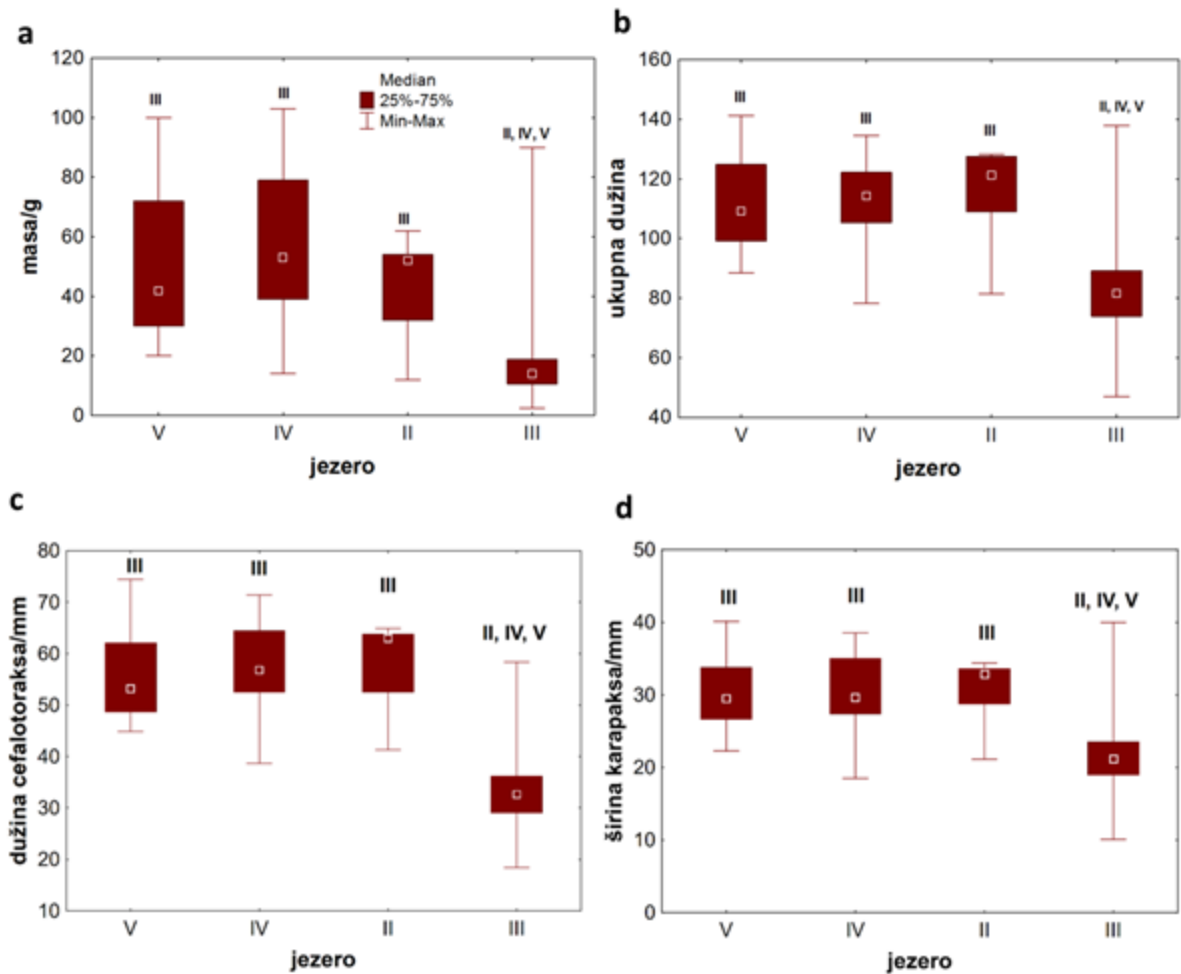


### 5.6.2. Usporedba morfometrijskih značajki između vrsta/jezera

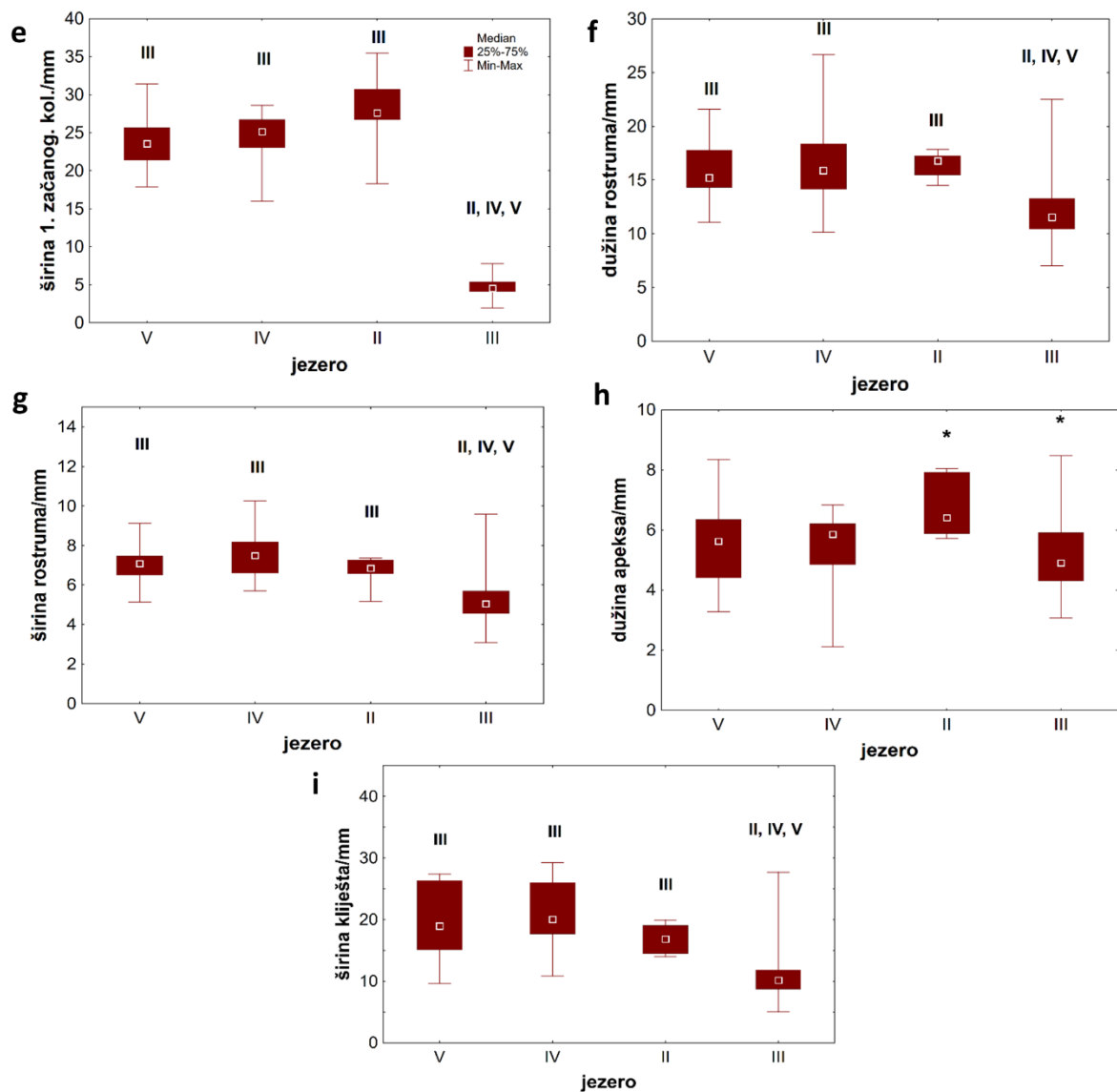
Kada su se objedinili podaci za istu vrstu dva jezera (*A. astacus* – Četvrto i Peto jezero, *A. leptodactylus* – Drugo i Treće jezero) i kada se napravio Mann-Whitney U test utvrđene su statistički značajne razlike u svim morfometrijskim značajkama osim u dužini apeksa (Prilog 1), no cilj je bio pratiti statistički značajne razlike među jezerima. Usporedbe mjerenih morfometrijskih parametara između jezera napravljene su objedinjeno za mužjake i ženke, odnosno oba spola po populaciji (jezeru) su analizirani zajedno (Tablica 11; Slike 24 i 25). Parametri koji su se statistički značajno razlikovali među spolovima pojedine vrste (dužina i debljina kliješta), analizirani su odvojeno prema spolovima (Slika 26). Svi mjereni parametri su se statistički značajno razlikovali među jezerima (Tablica 11; Slika 24 - 26). Jedinke iz Trećeg jezera (*Astacus leptodactylus*) statistički se značajno razlikuju od jedinki iz Drugog (*Astacus leptodactylus*) te Četvrtog i Petog jezera (*Astacus astacus*) u svim mjerenim parametrima, osim u dužini apeksa gdje se jedino statistički značajno razlikuju od jedinki iz Drugog jezera (Slike 24 i 25). Sva mjerena obilježja rakova Trećeg jezera su statistički značajno manja od rakova preostalih jezera.

**Tablica 11.** Statistički značajne razlike mjerenih obilježja

MJERENA OBILJEŽJA	VRIJEDNOST KRUSKAL WALLIS ANOVA TESTA
Masa	$H_{(3, N=116)} = 69,30, p < 0,05$
Ukupna dužina	$H_{(3, N=116)} = 64,54, p < 0,05$
Dužina cefalotoraksa	$H_{(3, N=115)} = 80,45, p < 0,05$
Širina karapaksa	$H_{(3, N=115)} = 58,17, p < 0,05$
Širina 1. začanog kolutića	$H_{(3, N=115)} = 85,67, p < 0,05$
Dužina rostruma	$H_{(3, N=114)} = 55,40, p < 0,05$
Širina rostruma	$H_{(3, N=115)} = 67,45, p < 0,05$
Dužina apeksa	$H_{(3, N=114)} = 10,85, p < 0,05$
Širina kliješta	$H_{(3, N=109)} = 60,45, p < 0,05$



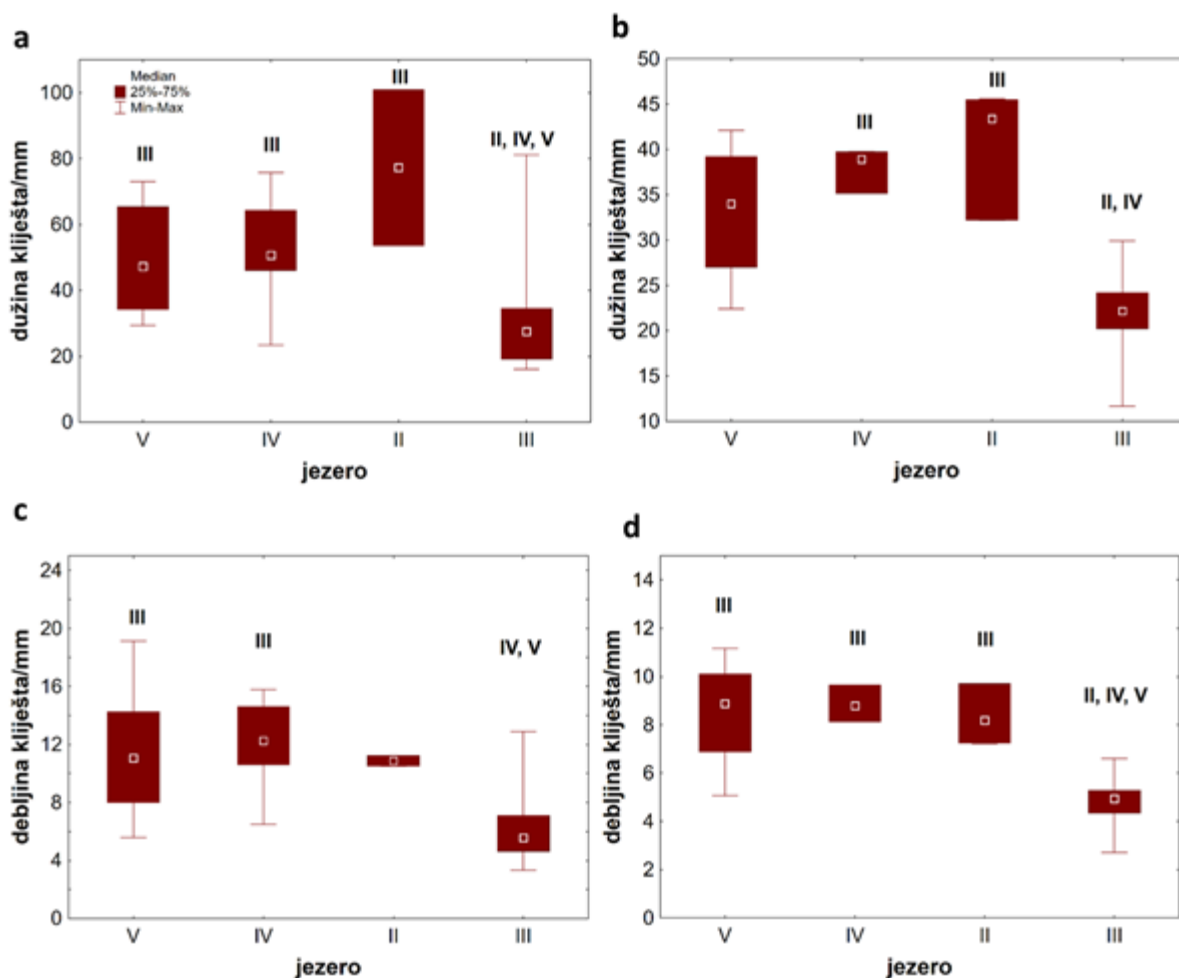
**Slika 24.** Statistički značajne razlike morfolometrijskih značajki jedinki između Drugog, Trećeg (vrsta *A. leptodactylus*), Četvrtog i Petog jezera (vrsta *A. astacus*). Statistički značajne razlike označene su rimskim brojem (II - Drugo jezero, III - Treće jezero, IV – Četvrto jezero, V – Peto jezero)



**Slika 25.** Statistički značajne razlike morfometrijskih značajki između Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Statistički značajne razlike označene su rimskim brojem (II - Drugo jezero, III - Treće jezero, IV – Četvrto jezero, V – Peto jezero) te \* (između dva jezera)

Morfometrijski parametri koji su se statistički značajno razlikovali među spolovima (Poglavlje 5.6.1.), uspoređeni su među vrstama zasebno po spolovima Kruskal Wallis ANOVA testom. I kod mužjaka i kod ženki obje vrste zabilježene su statistički značajne razlike u dužini kliješta između vrsta (mužjaci:  $H_{(3, N=67)} = 29,57 p < 0,05$ , ženke  $H_{(3, N=41)} = 18,96 p < 0,05$ ) te u debljini kliješta (mužjaci:  $H_{(3, N=67)} = 35,96 p < 0,05$ , ženke  $H_{(3, N=41)} = 19,21 p < 0,05$ ), pri tome su razlike opet bile posljedica značajnih razlika jedinki iz Trećeg jezera naspram ostalih jezera (Slike 24 i 25). Dužina kliješta mužjaka Trećeg jezera (*Astacus leptodactylus*) statistički je značajno kraća od mužjaka Drugog (*Astacus leptodactylus*), Četvrtog i Petog jezera (*Astacus*

*astacus*), a debljina značajno tanja od mužjaka Četvrtog i Petog jezera (Slika 26). Isti je slučaj zabilježen i kod ženki. Dužina kliješta ženki Trećeg jezera značajno je kraća od dužine kliješta ženki Drugog i Četvrtog jezera, dok je debljina kliješta ženki Trećeg jezera (*Astacus leptodactylus*) značajno tanja od ženki Drugog (*Astacus leptodactylus*), Četvrtog i Petog jezera (*Astacus astacus*) (Slika 26).



**Slika 26.** Statistički značajne razlike u dužini i debljini kliješta kod a i c mužjaka i b i d ženki između Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Statistički značajne razlike označene su rimskim brojem (II - Drugo jezero, III - Treće jezero, IV – Četvrto jezero, V – Peto jezero)

## 6. RASPRAVA

Na području Parka Maksimir do sada nisu provedena istraživanja astakofaune te je cilj ovog diplomskog rada bio po prvi puta utvrditi prisutnost rakova iz porodice Astacidae u svih pet maksimirskih jezera. Prema dosadašnjim istraživanjima astakofaune na području Zagreba, u maksimirskim jezerima očekivana vrsta bila je *Astacus astacus* koja je rasprostranjena u nizinskim dijelovima sliva rijeke Save (Maguire i Gottstein, 2004). Osim prisutnosti vrste *A. astacus* koja je ustanovljena u skladu s našim očekivanjima, na prostoru Parka Maksimir utvrđena je i vrsta *Astacus leptodactylus* koja na ovom području nije očekivana jer nema prirodnog puta ulaska u jezera. Vrsta *A. leptodactylus* nastanjuje sliv donjeg toka rijeke Save, iako je zabilježeno da se širi na zapad i jug (Maguire i sur., 2011). Stoga je vrlo vjerojatno vrsta *A. leptodactylus* antropogeno unesena iz nepoznatog izvora u maksimirska jezera.

### 6.1. Općenite karakteristike populacija

Jedinke vrste *A. astacus* ulovljene su na Četvrtom i Petom jezeru, dok su na Drugom i Trećem jezeru uhvaćene jedinke vrste *A. leptodactylus*. Na istraživanim lokalitetima Prvo jezero i pritoke Drugog jezera nije ustanovljena niti jedna vrsta rakova. Za vrstu *A. astacus* vrijednost CPUE za metodu lova vršama iznosila je 0,28 – 0,6 jedinki/vrši/noći, a vrijednost CPUE za metodu lova rukama 3,33 – 4 jedinki/osobi/satu. Uspoređujući ove vrijednosti s vrijednostima dobivenim tijekom istraživanja populacija plemenitog raka u Međimurju, gdje je vrijednost CPUE za lov vršama iznosila 0,3 – 6 jedinki/vrši/noći, može se zaključiti da je populacija plemenitog raka na prostoru Međimurja veća, ali treba imati na umu da CPUE varira ovisno o istraživanom lokalitetu (Hudina i sur., 2011). Vrijednost CPUE za lov vršama, za vrstu *A. leptodactylus*, iznosila je 0,15 jedinki/vrši/noći, dok je vrijednost CPUE za metodu lova rukama iznosila 9,7 – 16,4 jedinki/osobi/satu. Poznato je da vrijednosti CPUE variraju tokom godine, ovisno o aktivnosti jedinki i njihovom godišnjem ciklusu koji je povezan s temperaturom vode. Više temperature povećavaju vjerojatnost ulova jer se pri višim temperaturama povećava metabolizam i pokretljivost jedinki (Ackefors, 1999). Primjerice, vrijednosti CPUE (0,06 – 0,46) za populaciju vrste *A. astacus* u rijeci Orplavi varirale su tokom godine, ovisno o promjeni temperature, odnosno veći CPUE zabilježen je tokom toplijeg dijela godine (Faller i sur., 2006). Mužjaci i ženke vrsta *A. astacus* i *A. leptodactylus* najaktivniji su u vrijeme parenja kada su u potrazi za partnerom (Souty-Grosset i sur., 2006). Sezona parenja vrste *A. astacus* započinje u jesen, pri padu temperature, u rujnu i listopadu te traje prosječno dva do tri tjedna (Huner i Lindqvist, 1986; Westin i Gydemo, 1986). Vrijeme parenja vrste *A.*

*leptodactylus* odvija se također u jesen, od listopada do prosinca, iako se zbog pomaka u životnom ciklusu mogu pariti i u veljači i ožujku, te su tih mjeseci jedinke najaktivnije (Holdich, 2002). Uspoređujući procijenjene veličine populacija vrste *A. leptodactylus* maksimirskih jezera s populacijom *A. leptodactylus* iz rijeke Korane (CPUE: 0,2 – 0,8) (Hudina i sur., 2016) te populaciju *A. astacus* maksimirskih jezera s populacijom *A. astacus* na prostoru Međimurja (CPUE: 0,3 – 6) (Hudina i sur., 2011), odnosno populacijom *A. astacus* iz rijeke Orljave (CPUE: 0,06 – 0,46) (Faller i sur., 2006) može se zaključiti da su populacije obje vrste relativno brojne u maksimirskim jezerima.

Sve ulovljene jedinke vrste *Astacus astacus*, bile su iznad granice spolne zrelosti (6,2 – 8,5 cm ukupne dužine) (Holdich, 2002). Mužjaci ove vrste dosežu spolnu zrelost pri ukupnoj dužini od 6,0 – 7,0 cm, dok su ženke spolno zrele pri 7,6 do 9,5 cm ukupne dužine tijela (Abrahamsson, 1966). Ukupna dužina najvećeg ulovljenog mužjaka iz Četvrtog jezera iznosila je 134,63 mm, dok je ukupna dužina najveće ulovljene ženke također iz Četvrtog jezera iznosila 112,59 mm. Veličina ulovljenih jedinki vjerojatno ovisi o načinu lova. Korištene LiNi vrše (Westman i sur., 1978) selektivne su za veličinu životinja (otvor promjera oka iznosi 6 cm) (Hogger, 1988) te su se njima lovile većinom jedinke veće od 6 cm. Jedinke vrste *A. astacus* lovljene su vršama te su zbog toga ulovljene odrasle jedinke, iznad granice spolne zrelosti.

Ulovljene jedinke vrste *A. leptodactylus* bile su ispod i iznad granica spolne zrelosti. Mužjaci i ženke ove vrste postaju spolno zreli pri 7,5 – 8,5 cm ukupne dužine tijela (Holdich, 2002). Ukupna dužina najmanjeg ulovljenog mužjaka Trećeg jezera iznosila je 56,59 mm, a najmanje ulovljene ženke, također iz Trećeg jezera, iznosila je 46,96 mm, što znači da su obje najmanje ulovljene jedinke bile ispod granice spolne zrelosti. Kao što je prije napomenuto veličina jedinki ovisi o načinu lova. Jedinke vrste *A. leptodactylus* lovljene su većinom rukama te su iz toga razloga ulovljene manje životinje.

U populacijama obje vrste nije bilo statistički značajne razlike među spolovima (između broja ulovljenih mužjaka i ženki), što ukazuje na ujednačen omjer spolova i stabilnost samih populacija. No, omjer spolova kod obje vrste ovisi i o godišnjem ciklusu vrsta. Obje populacije istraživane su tijekom lipnja, odnosno u razdoblju nakon što su ženke otpustile mlade.

Otpuštanje juvenilnih, ovisno o temperaturi, odvija se kod vrste *A. astacus* od svibnja do lipnja, a kod vrste *A. leptodactylus* krajem svibnja, iako se može produžiti do kraja lipnja (Holdich, 2002). U ovom su razdoblju oba spola, obje vrste, bila podjednako aktivna. Za dobivanje pravog uvida u omjer spolova unutar promatranih populacija bilo bi poželjno pratiti obje populacije kroz 12 mjeseci.

Iako nisu postojale razlike u omjeru spolova unutar svake vrste, zabilježene su razlike u brojnosti mužjaka i ženki između vrsta. U Četvrtom i Petom jezeru (gdje je prisutna vrsta *Astacus astacus*) ulovljeno je statistički značajno više mužjaka nego u Drugom i Trećem jezeru (gdje je prisutna vrsta *Astacus leptodactylus*). Jedan od mogućih razloga razlika u omjeru spolova između vrsta je razlika u dinamici godišnjih ciklusa vrsta. Razlike u godišnjim ciklusima vrsta najbolje su vidljive u periodima parenja, jedinke vrste *A. astacus* se pare tokom rujna i listopada, dok razdoblje parenja vrste *A. leptodactylus* započinje u kolovozu, iako je zabilježeno da se mogu pariti tokom veljače i ožujka (Holdich, 2002). Drugi mogući razlog uočene razlike u brojnosti mužjaka među vrstama vjerojatno je razlika u načinu lova. Metoda lova vršama je selektivna, te se njom love veće jedinke (Johnsen i sur., 2013). Stoga je moguće da se ulovilo više mužjaka vrste *A. astacus* s obzirom da su se za lov te vrste koristile vrše te su mužjaci kao veći i dominantniji spol prvi ušli u vršu kako bi pojeli mamac (Capelli, 1975; Peeke i sur., 1995; Figler i sur., 1999). S druge strane, vrsta *A. leptodactylus* lovljena je rukama, pa je vjerojatnost ulova mužjaka i ženki bila jednaka.

## **6.2. Usporedbe mjerenih parametara unutar i između vrsta**

### **6.2.1. Relativne gustoće istraživanih populacija**

Ulov po jedinici napora (CPUE) uvelike se razlikovao između jezera i metoda lova. Najveći CPUE za lov vršama zabilježen je u Petom jezeru (CPUE = 0,6 jedinki/vrši/noći) gdje su ulovljene najveće jedinke vrste *A. astacus*, dok je najveći CPUE za lov rukama zabilježen u Trećem jezeru (CPUE = 16,7 jedinki/osobi/satu) pri ulovu jedinki vrste *A. leptodactylus*. Vrsta *A. leptodactylus* lovljena je rukama jer se lov vršama na Trećem jezeru pokazao neučinkovit zbog izražene predacije na ulovljene jedinke *A. leptodactylus* u vršama od strane stranih invazivnih vrsta kornjača (crvenouha kornjača: *Trachemys scripta elegans* (Wied-Neuwied, 1839) i žutouha kornjača: *Trachemys scripta scripta* (Wied-Neuwied, 1839)) koje čine guste populacije u Trećem jezeru. S obzirom na različite metoda lova istraživanih vrsta, na temelju dobivenih vrijednosti ulova po jedinici napora nije moguće usporediti razlike u relativnoj gustoći između istraživanih vrsta/jezera.

### **6.2.2. Kondicija jedinki u istraživanim populacijama**

Rezultati kondicijskih indeksa FCF i CC ukazuju na to da postoje značajne razlike u kondiciji između spolova vrste *A. astacus*. Vrijednosti oba kondicijska indeksa bila su veća kod mužjaka nego kod ženki. Mužjaci su vjerojatno bili u boljoj kondiciji od ženki jer su ženke u prethodnom razdoblju nosile oplođena jaja što je energetska vrlo zahtjevno. Nakon što se

juvenilni rakovi izlegu, ženkama je potreban određen vremenski period „oporavka“, pojačanog hranjenja i obnavljanja zaliha energije (Maguire i sur., 2004). Drugi mogući razlog opaženih razlika je spolni dimorfizam koji se javlja nakon postizanja spolne zrelosti (Souty-Grosset i sur., 2006). Zbog alometrijskog rasta, mužjacima pojačano rastu kliješta te su u konačnici veći i teži od ženki iste starosti. Razlike kondicijskih indeksa FCF i CC između spolova vrste *A. leptodactylus* nisu zabilježene. Razlog tome moguće leži u manjoj prosječnoj veličini ulovljenih jedinki zbog načina lova (lov rukom), pri čemu su lovljene manje jedinke i među njima jedinke koje nisu bile spolno zrele. To znači da te jedinke nisu još imale izraženi spolni dimorfizam, niti smanjenu kondiciju kao posljedicu faze životnog ciklusa (npr. razdoblje nakon otpuštanja jaja kod ženki).

Usporedbe kondicijskih indeksa između vrsta, odnosno jezera, pokazale su kako su mužjaci i ženke Četvrtog i Petog jezera (vrsta *A. astacus*) u značajno boljoj tjelesnoj kondiciji od mužjaka i ženki Trećeg jezera (vrsta *A. leptodactylus*), dok se značajno ne razlikuju od mužjaka i ženki Drugog jezera (vrsta *A. leptodactylus*). Mogući uzrok dobivenih razlika je velika gustoća populacije *A. leptodactylus* u Trećem jezeru što za posljedicu ima veću intraspecijsku kompeticiju koja negativno utječe na kondiciju samih jedinki (Rebrina i sur., 2015). Također, još jedan od razloga mogla bi biti kombinacija intraspecijske kompeticije te predatorskog pritiska stranih invazivnih vrsta kornjača, koje imaju vrlo brojne populacije u Trećem jezeru i za koje je, kao što je već ranije navedeno, ustanovljeno kako napadaju i jedu ulovljene jedinke *A. leptodactylus* u vršama.

### **6.2.3. Udio ozljeda**

Analiza udjela ozljeda pokazala je kako nema statistički značajnih razlika u postotku ozljeda između spolova unutar svake od vrsta zasebno. Međutim, usporedbe udjela ozljeda između vrsta, odnosno jezera, pokazale su kako postoje statistički značajne razlike između broja ozlijeđenih životinja Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Najviše ozljeda u oba spola zabilježeno je u Trećem jezeru (vrsta *A. leptodactylus*), dok je najmanje ozljeda u oba spola zabilježeno u Petom jezeru (vrsta *A. astacus*). Razlog opaženih razlika vjerojatno leži u velikoj brojnosti invazivnih stranih vrsta kornjača u Trećem jezeru naspram ostalih jezera (osobno opažanje), koje kao što je već navedeno mogu značajno ozlijediti i/ili pojesti jedinke *A. leptodactylus*. Također, intraspecijska kompeticija kao posljedica velike gustoće populacije dodatni je mogući razlog povećanog udjela ozljeda kod jedinki *A. leptodactylus* u Trećem jezeru. Dodatna istraživanja su potrebna kako bi se utvrdio koji od ovih čimbenika (predacija



ili kompeticija) ima dominantni učinak na opažene razlike u udjelu ozljeda rakova u Trećem jezeru naspram svih ostalih jezera.

Dobiveni podaci usporedbe morfometrijskih značajki potvrđuju da postoje značajne razlike između spolova unutar vrsta. Morfometrijske razlike mužjaka i ženki posljedica su alometrijskog rasta, koji za posljedicu ima spolni dimorfizam, gdje nakon postizanja spolne zrelosti kliješta mužjaka i abdomen ženki rastu brže od ostalih dijelova tijela (Lowery, 1988; Grandjean i sur., 1997; Streissl i Hödl, 2002; Maguire i Klobučar, 2011). Shodno tome, mužjaci vrste *A. astacus* imali su duža, šira i deblja kliješta od ženki iste vrste, isto kao i mužjaci vrste *A. leptodactylus* koji su imali šira i duža kliješta od ženki svoje vrste.

#### **6.2.4. Morfometrijske značajke istraživanih populacija**

Analizom mjerenih morfometrijskih značajki između vrsta/jezera utvrđeno je da se jedinke iz Trećeg jezera (vrsta *A. leptodactylus*) značajno razlikuju od jedinki iz Drugog (*Astacus leptodactylus*) te Četvrtog i Petog jezera (*Astacus astacus*) u svim mjerenim parametrima, osim u dužini apeksa gdje se jedino statistički značajno razlikuju od jedinki iz Drugog jezera. Jedinke vrste *A. leptodactylus* u Trećem jezeru značajno su manje od jedinki preostalih jezera. Glavni uzrok ovakvih razlika vjerojatno leži u različitoj metodi lova (lov rukom) na Trećem jezeru, naspram ostalih jezera (lov vršama), kojim su hvatane manje jedinke i čak jedinke ispod granice spolne zrelosti. Dodatno, opažene razlike u nekom nepoznatom postotku vjerojatno su i posljedica intraspecijske kompeticije zbog velike gustoće populacije, te predacije invazivnih stranih vrsta kornjača. Usporedbom parametara kliješta između vrsta zasebno po spolovima utvrđeno je kako mužjaci vrste *A. leptodactylus* imaju kraća kliješta od mužjaka Drugog (*A. leptodactylus*), Četvrtog i Petog jezera (*A. astacus*) te tanja kliješta od mužjaka iz Četvrtog i Petog jezera (*A. astacus*). Isto tako, zabilježene su razlike u parametrima kliješta i kod ženki Trećeg jezera (*A. leptodactylus*), gdje su ona kraća nego kod ženki Drugog (*A. leptodactylus*) i Četvrtog jezera (*A. astacus*) te tanja od ženki Drugog, Četvrtog i Petog jezera. Dobiveni podaci o dužini kliješta nisu u skladu s našim očekivanjima s obzirom da vrsta *A. leptodactylus* ima značajno duža kliješta od vrste *A. astacus* (Holdich, 2002). Moguća objašnjenja za ovakav neočekivan rezultat, osim već prije navedene različite tehnike lova, predacije i intraspecijske kompeticije jesu ta što podaci morfometrijskih značajki nisu normalizirani – vrijednosti nisu podijeljene s odgovarajućom posorbitalnom dužinom (dužina karapaksa), te su jedinke iz Trećeg jezera lovljene rukom, pri čemu se najčešće love jedinke manjih veličina, dok su vrše selektivne te se njima love veće jedinke (Hogger, 1988).

### 6.3. Preporuke za upravljanje vrstama *A. astacus* i *A. leptodactylus* u maksimirskim jezerima

Temeljem ovog istraživanja može se zaključiti da su populacije vrsta *A. astacus* i *A. leptodactylus* u maksimirskim jezerima stabilne. Iako je Park Maksimir zaštićen Zakonom o zaštiti prirode (NN 80/13) i Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 100/04, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 98/15), izložen je velikom antropogenom utjecaju i urbanim procesima. Stoga je zanimljiva činjenica da je vrsta *A. astacus* uspjela održati svoju populaciju stabilnom s obzirom da zahtjeva specifične uvjete staništa kao što su slatkovodni sustavi s puno kisika i niskim temperaturama (Skurdal i Taugbøl, 2002). Također, bitno je naglasiti da je vrsta *A. astacus* zaštićena međunarodnim (Dodatak III Konvencije o zaštiti europskih divljih vrsta i prirodnih staništa (Bernska konvencija) te Dodatak V Direktive o zaštiti prirodnih staništa i divlje faune i flore) i nacionalnim zakonodavstvom (Zakon o zaštiti prirode ((NN 80/13)) te Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/2013)), te se na IUCN – ovoj crvenoj listi vodi kao osjetljiva vrsta (IUCN, 2016) pa je izrazito bitno očuvati populacije koje obitavaju na području Parka Maksimir. U skladu s time, potrebno je provoditi redoviti monitoring populacija vrste *A. astacus* u maksimirskim jezerima, kako bi se pratila vijabilnost ovih populacija, te donijeti mjere zaštite populacije vrste *A. astacus* u maksimirskim jezerima. Nadalje, potrebna su detaljnija istraživanja kojima bi se detaljnije utvrdio predacijski pritisak stranih invazivnih vrsta kornjača na jedinke vrste *A. astacus*, u cilju sprečavanja eventualnih smanjenja brojnosti populacije uslijed takvog pritiska.

Iako je vrsta *A. leptodactylus* autohtona na našim prostorima, zbog velikog fekunditeta, brzog životnog ciklusa potencijalna je kriptična invazivna vrsta (Hudina i sur., 2016). Zbog velikog fekunditeta, brzog rasta i aktivnosti tokom dana te zimskog perioda u budućnosti bi mogla u kompeticiji za resurse staništa istisnuti vrstu *A. astacus* na području Parka Maksimir ako bude namjerno ili nenamjerno prenesena u Četvrto i/ili Peto jezero. Stoga je potreban monitoring koji bi pratio rasprostranjenost i potencijalno širenje vrste *A. leptodactylus* na području Parka Maksimir. Također, potrebna je edukacija ljudi, kako ne bi došlo do daljnjeg prijenosa ove vrste u druga jezera od strane čovjeka. Završno, nužno je istražiti eventualne putove prirodnog širenja jedinki *A. leptodactylus* iz Trećeg jezera u Četvrto i Peto jezero. Isto tako preporuča se stalan monitoring Četvrtog i Petog jezera te aktivno uklanjanje vrste *A. leptodactylus* ako bi tamo bila zapažena.

Osim što je Park Maksimir vrijedna kulturna i prirodna baština grada Zagreba, najpopularnije je mjesto za rekreaciju i opuštanje, stoga je on idealno mjesto za educiranje i senzibiliziranje javnosti na temu invazivnih i zakonom zaštićenih vrsta.

Podaci dobiveni ovim istraživanjem smjernice su za daljnja istraživanja i potencijalne planove upravljanja populacijama obje zabilježene vrste rakova na području maksimirskih jezera u cilju kontrole populacija *A.leptodactylus* (Drugo i Treće jezero), te dugoročnog opstanka populacija vrste *A.astacus* (Četvrto i Peto jezero).

## 7. ZAKLJUČAK

Ovim istraživanjem utvrđena je prisutnost dvije vrste slatkovodnih deseteronožnih rakova porodice Astacidae u maksimirskim jezerima: riječni rak (*Astacus astacus*) zabilježen je u Četvrtom i Petom jezeru te uskoškari rak (*Astacus leptodactylus*) u Drugom i Trećem.

Relativna brojnost populacija procijenjena CPUE metodom pokazala je da su populacije obje vrste u maksimirskim jezerima relativno brojne.

Obje populacije imaju ujednačen omjer spolova što ukazuje na stabilnost populacija. Zabilježene su statistički značajne razlike u brojnosti mužjaka i ženki između istraživanih vrsta koje su najvjerojatnije posljedica razlike u dinamici godišnjih ciklusa između vrsta i načinu lova.

Provedenim statističkim analizama utvrđeno je da su mužjaci i ženke Trećeg jezera u najlošijoj tjelesnoj kondiciji u usporedbi s jedinkama iste vrste (Drugo jezero), ali i jedinkama vrste *A. astacus* (Četvrto i Peto jezero). Razlike u kondiciji posljedica su kombinacije intraspecijske kompeticije i predatorskog pritiska stranih invazivnih vrsta kornjača na jedinke Trećeg jezera (vrsta *A. leptodactylus*).

Analizom udjela ozljeda između jezera/vrsta utvrđeno je kako postoje statistički značajne razlike između broja ozlijeđenih rakova Drugog, Trećeg, Četvrtog i Petog jezera. Najmanje ozljeda u oba spola zabilježeno je u Petom jezeru (vrsta *A. astacus*), dok je najviše ozljeda zabilježeno u Trećem jezeru (vrsta *A. leptodactylus*). Povećani udio ozljeda jedinki u Trećem jezeru vjerojatno je posljedica predatorskog pritiska stranih invazivnih vrsta kornjača i intraspecijske kompeticije.

Statističkom analizom morfometrijskih značajki utvrđeno je da postoje značajne razlike između spolova unutar vrsta koje su posljedica spolnog dimorfizma. Jedinke iz Trećeg jezera (vrsta *A. leptodactylus*) statistički su se značajno razlikovale od jedinki iz Drugog (vrsta *A. leptodactylus*), Četvrtog i Petog jezera (vrsta *A. astacus*) u gotovo svim mjerenim morfometrijskim parametrima. Ulovljene jedinke *A. leptodactylus* oba spola u Trećem jezeru imale su tanja i kraća kliješta od jedinki iste vrste (Drugo jezero) i od vrste *A. astacus* (Četvrto i Peto jezero). Zabilježena razlika najvjerojatnije je posljedica različitih tehnika lova, predacije stranih invazivnih vrsta kornjača i intraspecijske kompeticije te činjenice da u statističkim analizama morfometrijske značajke nisu normalizirane.

Preporuča se redoviti monitoring populacija, kod vrste *A. astacus* u svrhu zaštite i održavanja stabilnosti populacije, dok kod vrste *A. leptodactylus* u svrhu kontrole i praćenja potencijalnog širenja na okolne prostore.

## 8. LITERATURA

Abrahamsson, S.A.A. 1966. Dynamics of an isolated population of the crayfish *Astacus astacus* Linné. *Oikos*, 17, 96-107.

Ackefors, H. 1999. Observations on the yearly life cycle of *Astacus astacus* in a small lake in Sweden. *Freshwater crayfish*, 12, 413-429.

Agencija za zaštitu okoliša. <http://www.azo.hr/PracenjeBrojnostiCrvenouhih>, pristupljeno: 29. kolovoza 2016.

Capelli, G.M. 1975. Distribution, life history and ecology of crayfish in northern Wisconsin, with emphasis on *Orconectes propinquus* (Girard). Doctoral dissertation. University of Wisconsin, Madison.

Crandall, K.A., Buhay, J.E. 2008. Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae and Parastacidae – Decapoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 295-301.

Edsman, L., Füreder, L., Gherardi, F., Souty-Grosset, C. 2010. *Astacus astacus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T2191A9338388.

<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T2191A9338388.en>, pristupljeno: 31. kolovoza. 2016.

Faller, M., Maguire, I., Klobučar, G. 2006. Annual activity of the noble crayfish (*Astacus astacus*) in the Orjava River (Croatia). *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture*, 383, 23-40.

Figler, M.H., Cheverton, H.M., Blank, G.S. 1999. Shelter competition in juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*): the influences of sex differences, relative size, and prior residence. *Aquaculture*, 178, 63-75.

Füreder, L., Machino, Y. 2002. A revised determination key of freshwater crayfish in Europe. *Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen vereins in Innsbruck*, 89, 169-178.

Grandjean, F., Romain, D., Avila-Zarza, C., Bramard, M., Souty-Grosset, C., Mocquard, J.P. 1997. Morphometry, sexual dimorphism and size at maturity of the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes pallipes* (Lereboullet) from a wild French population at DeuxSèvres (Decapoda, Astacidae), *Crustaceana*, 70, 31-44.

Hogger, J. B. 1988. Ecology, population biology and behaviour. U: Holdich D. M. i Lowery R. S. (ur.) *Freshwater crayfish: Biology, Management and Exploitation*. The University Press, Cambridge, 114–144.

Holdich, D.M., Lowery, R.S. 1988. *Freshwater crayfish – biology, management and exploitation*. University Press, Cambridge, 498.

Holdich, D.M. 2002. *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science, Oxford, 720.

Hudina, S., Janković, S., Lucić, A., Žganec, K. 2011. The status of *Astacus astacus* in the northernmost part of Croatia (Međimurje County) in the face of invasion by *Pacifastacus leniusculus* (Crustacea: Astacidae). *Lauterbornia*, 72, 31-44.

Hudina, S., Hock, K., Radović, A., Klobučar, G., Petković, J., Jelić, M., Maguire, I. 2016. Species-specific differences in dynamics of agonistic interactions may contribute to the competitive advantage of the invasive signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) over the native narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 49 (3), 147-157.

Hunter, J.V., Lindqvist, O.V., 1986. A stunted crayfish *Astacus astacus* population in central Fin-land. *Freshwater Crayfish*, 6, 156-16.

International Union for Conservation of Nature. Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/2191/0>, pristupljeno: 29. kolovoza 2016.

International Union for Conservation of Nature. Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/153745/0>, pristupljeno: 29. kolovoza 2016.

Javna ustanova Maksimir. [http://www.parkmaksimir.hr/Maksimir\\_hr/Maksimir\\_HR.html](http://www.parkmaksimir.hr/Maksimir_hr/Maksimir_HR.html), pristupljeno: 29. kolovoza 2016.

Johnsen, S. I., Sandodden, R., Museth, J., Skurdal J. 2013. Mark-recapture experiments with baited traps and toxic chemicals. *Freshwater crayfish*, 19 (1), 63-68.

Kerovec, M., Meštrov, M., Stilinović, B., Mrakovčić, M., Plenković-Moraj, A., Hršak, V., Ternjej, I., Mihaljević, Z., Gottstein Matočec, S., Popijač, A., Mustafić, P., Žganec, K., Previšić, A., Gligora, M., Kralj, K., Bartovsky, V., Horvat, R., Vajdić, S. 2004. Detaljni istražni radovi u svezi ispitivanja kakvoće voda u maksimirskim jezerima. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 107.

Kouba, A., Petrusek, A., Kozák, P. 2014. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 31.

Lowery, R. S. 1988. Growth, moulting and reproduction. U: Holdich D. M. i Lowery R. S. (ur.) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, Croom Helm, London, 83-113.

Maguire, I., Gottstein-Matočec, S. 2004. The distribution pattern of freshwater crayfish in Croatia. *Crustaceana*, 77 (1), 25-49.

Maguire, I., Hudina S., Klobučar, G., Štambuk A. 2004. Godišnji ciklus riječnog raka (*Astacus astacus* L.) u potoku Velika Paklenica. *Paklenički zbornik*, 2, 75-81.

Maguire, I. 2010. Slatkovodni rakovi, Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 44.

Maguire, 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.

Maguire, I., Jelić, M., Klobučar, G. 2011. Update on the distribution of freshwater crayfish in Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 31-41.

NARODNE NOVINE, 2013. Zakon o zaštiti prirode, 80/13

NARODNE NOVINE, 2013. Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama, 144/13

NARODNE NOVINE, 2014. Zakonom o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara (NN 69/99, 151/03, 157/03, 100/04, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 98/15)

Peeke, H.V.S., Sippel, J., Figler, M.H. 1995. Prior residence effects in shelter defense in adult signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*), results in same- and mixed-sex dyads. *Crustaceana*, 68, 873-881.

Rebrina, F., Skejo, J., Lucić, A., Hudina, S. 2015. Trait variability of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in a recently invaded region reflects potential benefits and trade-offs during dispersal. *Aquatic invasion*, 10 (1), 41-50.

Skurdal, J., Taugbøl, T. 2002. *Astacus*. U: Holdich, D.M. (ur.) *Biology of freshwater crayfish*. Blackwell Science, Oxford, 467-510.

Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noel, P.Y., Reynolds, J.D., Haffner, P. 2006. (ur.) *Atlas of crayfish in Europe*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, France, 187.

Streissl, F., Hödl, W. 2002. Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia*, 477, 201-208.

Westin L., Gydemo R. 1986. Influence of light and temperature on reproduction and moulting frequency in the crayfish, *Astacus astacus*. *Aquaculture* 52, 43-50

Westman, K., Pursiainen, M., Vilkmann, R. 1978. A new folding trap model which prevents crayfish from escaping. *Freshwater Crayfish*, 4, 235–242.



## 9. ŽIVOTOPIS

### Osobni podaci:

Ime i prezime: Vanja Njegovan

Datum rođenja: 26. 03. 1993.

Adresa stanovanja: 1. Gajnički vidikovac 27, 10090, Zagreb

Broj mobilnog telefona: 091 893 0066

E-mail adresa: [vanja.njegovan@jrm.hr](mailto:vanja.njegovan@jrm.hr)

Nacionalnost: Hrvatica

### Obrazovanje:

2011 – 2016: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, Znanosti o okolišu

Ukupni prosjek ocjena – 4,504

2007 – 2011: Opća gimnazija Tituša Brezovačkog, Zagreb

### Ostale edukacije:

2015 – Položen tečaj za vodećeg auditora u ISO 14001 ( Sustav upravljanja zaštitom okoliša ) ( odobreno od strane Bureau Veritas – a)

Obzirom da sam zainteresirana naučiti kako se principi upravljanja zaštitom okoliša implementiraju u organizacijama uspješno sam završila tečaj za vodećeg auditora prema ISO 14001:2004 u Bureau Veritas u 2015 godini.

Kao član tima (u ulozi pratitelja), sudjelovala sam na 4 audita koje je Bureau Veritas provodio i nadalje se usavršavam u tom pogledu prema programu Bureau Veritasa.

### Ostale aktivnosti i interesi:

Volontiranje u nevladinoj, neprofitnoj udruzi Noina Arka

Volontiranjem u nevladinoj udruzi Noina arka razvila sam moralne, emotivne te društvene vrijednosti i norme koje su me obogatile u svim aspektima života.

Prisustvovanje u projektu Noć biologije organiziranog od strane Prirodoslovno – matematičkog fakulteta

1.godine – vodič

2.godine - edukator u zoološkom vrtu Maksimir

3.godine – voditeljica radionice

4.godine – voditeljica radionice

Kroz sudjelovanje u naučno – popularnoj manifestaciji Noć biologije koja se održava na Prirodoslovno – matematičkom faultetu stekla sam brojne socijalne i komunikacijske vještine. Putem interaktivnih radionica naučila sam i usvojila brojne načine prenošenja znanja i informacija različitim generacijama.

S obzirom da sam bila voditeljica više radionica stekla sam brojne organizacijske i prezentacijske vještine te unaprijedila svoje djelovanje u timskom radu.

Kroz kreiranje ideja i organizaciju samih radionica, otvorenu suradnju i komunikaciju sa članovima na projektu Noć biologije naučila sam kako uspješno, na obostrano zadovoljstvo, inicijalne ideje oblikovati i usavršiti do željenog cilja.

Kroz stručnu i laboratorijsku praksu te terensku nastavu u sklopu obrazovanja na Prirodoslovno - matematičkom fakultetu usvojila sam glavna načela ophođenja u laboratoriju, pravilno i dosljedno izvođenje pokusa te analizu dobivenih i relevantnih rezultata istih.

Nakon 4 godine obrazovanja kroz multidisciplinarni smjer Znanosti o okolišu, odlučila sam se detaljnije baviti konzervacijskom biologijom te za temu diplomskog rada koji trenutno pišem odabrala sam određivanje nultog stanja slatkovodnog raka *Astacus leptodactylus* u Maksimirskim jezerima u Zagrebu.

Osim određivanja distribucije i brojnosti, kroz rad obraditi ću i mogući plan uspravljanja populacijom iste.

Trenutno sam u sustavu stručnog osposobljavanja u tvrtci J.R.M.d.o.o. kao savjetnica za implementaciju sustava upravljanja zaštitom okoliša.

**Ostale vještine:**

Poznavanje jezika: Engleski (aktivan)

Njemački (pasivan)

Kompjuterski programi: MS Office (Word, Excel, PowerPoint)

GIS softver

Vozačka dozvola: B kategorija

Aktivno bavljenje odbojkom 10 godina te plesom 2 godine

## 10. PRILOZI

**Prilog 1.** Rezultati Mann-Whitney U testa za razlike u morfometrijskim značajkama između vrsta *A.astacus* i *A.leptodactylus* zasebno za mužjake i ženke

<b>MUŽJACI</b>	<b>Rank Sum</b>	<b>Rank Sum</b>	<b>U</b>	<b>Z</b>	<b>p-value</b>	<b>Z</b>	<b>p-value</b>	<b>Valid</b>	<b>Valid</b>
<b>Značajka</b>	<i>A. astacus</i>	<i>A. leptodactylus</i>						<b>N</b>	<b>N</b>
Masa/g	1900,50	655,50	127,50	5,73	0,00	5,73	0,00	39,00	32,00
Uk.duž.	1862,50	693,50	165,50	5,29	0,00	5,29	0,00	39,00	32,00
Duž.cef.	1940,00	616,00	88,00	6,19	0,00	6,19	0,00	39,00	32,00
Šir.kar.	1807,00	749,00	221,00	4,65	0,00	4,65	0,00	39,00	32,00
Šir.l.z.kol.	1964,00	592,00	64,00	6,47	0,00	6,47	0,00	39,00	32,00
Duž.ros.	1828,00	728,00	200,00	4,89	0,00	4,89	0,00	39,00	32,00
Šir.ros.	1896,00	660,00	132,00	5,68	0,00	5,68	0,00	39,00	32,00
Duž.apex.	1524,00	1032,00	504,00	1,38	0,17	1,38	0,17	39,00	32,00
Duž.kl.	1692,00	586,00	180,00	4,65	0,00	4,65	0,00	39,00	28,00
Šir.kl.	1748,00	530,00	124,00	5,36	0,00	5,36	0,00	39,00	28,00
Deblj.kl.	1771,00	507,00	101,00	5,65	0,00	5,65	0,00	39,00	28,00
<b>ŽENKE</b>	<b>Rank</b>	<b>Rank Sum</b>	<b>U</b>	<b>Z</b>	<b>p-value</b>	<b>Z</b>	<b>p-value</b>	<b>Valid</b>	<b>Valid</b>
<b>Značajka</b>	<i>Sum A. astacus</i>	<i>A. leptodactylus</i>						<b>N</b>	<b>N</b>
Masa/g	278,00	757,00	16,00	3,65	0,00	3,65	0,00	7,00	38,00
Uk.duž.	259,00	687,00	21,00	3,44	0,00	3,44	0,00	7,00	36,00
Duž.cef.	269,00	721,00	18,00	3,56	0,00	3,56	0,00	7,00	37,00
Šir.kar.	267,00	723,00	20,00	3,50	0,00	3,50	0,00	7,00	37,00
Šir.l.z.kol.	268,00	722,00	19,00	3,53	0,00	3,53	0,00	7,00	37,00
Duž.ros.	229,00	717,00	51,00	2,45	0,01	2,45	0,01	7,00	36,00
Šir.ros.	269,00	721,00	18,00	3,56	0,00	3,56	0,00	7,00	37,00
Duž.apex.	151,50	794,50	123,50	-0,07	0,95	-0,07	0,95	7,00	36,00
Duž.kl.	236,00	625,00	30,00	3,07	0,00	3,07	0,00	7,00	34,00
Šir.kl.	241,00	662,00	32,00	3,04	0,00	3,04	0,00	7,00	35,00
Deblj.kl.	252,00	651,00	21,00	3,41	0,00	3,41	0,00	7,00	35,00