

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ivan Rubelj

**Rast riječnih rakova u različitim uvjetima uzgoja tijekom treće  
godine života**

Diplomski rad

Zagreb, 2015.

Ovaj rad je izrađen u uzgajalištu Hrvatskog centra za autohtone vrste riba i rakova krških voda u Otočcu te Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Gorana Klobučara i neposrednim vodstvom dr. sc. Andreje Lucić. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja diplomiranog inženjera molekularne biologije.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

## RAST RIJEČNIH RAKOVA U RAZLIČITIM UVJETIMA UZGOJA TIJEKOM TREĆE GODINE ŽIVOTA

Ivan Rubelj

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Akvakultura predstavlja uzgoj i prirod biljaka i životinja u svim oblicima vodenih okoliša. Ona uključuje kontrolu reprodukcije i rasta, te eliminaciju uzroka prirodnog mortaliteta.

U ovom istraživanju korištene su različite kombinacije temperature, gustoće juvenilnih jedinki i vrste hrane kako bi se utvrdilo koji su od tih parametara i u kojoj kombinaciji najpovoljniji za rast juvenilnih rakova vrste *Astacus astacus* u njihovoj trećoj godini života. Tijekom razdoblja od pet mjeseci (od svibnja do listopada 2014. g.) prikupljani su podaci o masi, duljini i spolu jedinki te temperaturi vode. Uz to su na kraju istraživanog razdoblja utvrđeni fiziološki parametri uvjetovani zadanim tretmanima, a u tu svrhu su primijenjeni hepatosomatski i mišićni indeksi kondicije. Utvrđeno je da je najveći prirast u ukupnoj masi tijela (134,07%) postignut u tretmanu: plastenik (viša temperatura), hrana životinjskog podrijetla, manja gustoća jedinki (21 jedinke/m<sup>2</sup>), a najveći prirast u duljini tijela (27,87%) postignut je u tretmanu: plastenik (viša temperatura), hrana životinjskog podrijetla, veća gustoća jedinki (42 jedinke/m<sup>2</sup>). Također, ustanovljene su statistički značajne razlike među tretmanima u kondicijskim indeksima juvenilnih jedinki, a pokazalo se da su za njihov energetska status najznačajniji čimbenici temperatura i hrana.

(52 stranice, 21 slika, 22 tablice, 73 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: riječni rak, *Astacus astacus*, prirast mase, prirast duljine, indeksi kondicije, hepatosomatski indeks, mišićni indeks

Voditelj: Dr. sc. Goran Klobučar, red. prof.

Neposredni voditelj: Dr. sc. Andreja Lucić, stručni savjetnik u znanosti i visokom obrazovanju

Ocjenitelji: Dr. sc. Goran Klobučar, red. prof.

Dr. sc. Željka Vidaković-Cifrek, izv. prof.

Dr. sc. Domagoj Đikić, izv. prof.

Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

Rad prihvaćen: 09.09.2015.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Graduation Thesis

Faculty of Science

Division of Biology

### GROWTH OF THE NOBLE CRAYFISH IN DIFFERENT AQUACULTURE CONDITIONS DURING THIRD YEAR OF LIFE

Ivan Rubelj

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Aquaculture represents breeding and harvesting of plants and animals in all types of water environments.

It includes the control of reproduction and growth and the elimination of the causes of natural mortality. In this study different combinations of temperature, density of juvenile specimens and type of food were used to determine which parameters and in which combination were most favourable for the growth of juvenile crayfish *Astacus astacus* in their third year of life. During period of five months (between May and October 2014), data on weight, length and sex of individuals were collected, as well as water temperature data. In addition, at the end of the research period physiological parameters which were dependent on aquaculture treatments were identified and for this purpose hepatosomatic and muscle indexes have been applied. It was found that the largest increase in the total body mass (134,07%) was achieved in the next treatment: greenhouse (higher temperature), meat diet, lower density (21 specimens/m<sup>2</sup>) and largest increase in total length (27,87%) was achieved in the next treatment: greenhouse (higher temperature), meat diet, higher density (42 specimens/m<sup>2</sup>). Also, some statistically significant differences in condition indexes between treatments were found. It turned out that food and temperature were the most significant factors that affected energy status of juvenile specimens.

(52 pages, 21 figures, 22 tables, 73 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: noble crayfish, *Astacus astacus*, juvenile crayfish growth, condition indexes, hepatosomatic indexes, muscle indexes

Supervisors: Dr. sc. Goran Klobučar, Full prof.; Dr. sc. Andreja Lucić, Expert Associate in Science and Higher Education

Reviewers: Dr. sc. Goran Klobučar, Full prof.  
Dr. sc. Željka Vidaković-Cifrek, Assistant prof.  
Dr. sc. Domagoj Đikić, Assistant prof.  
Dr. sc. Ivana Maguire, Assistant prof.

Thesis accepted: September 9th, 2015

## **ZAHVALA**

Od srca se zahvaljujem svojim mentorima prof. dr. sc. Goranu Klobučaru te dr. sc. Andreji Lucić na strpljenju, stručnoj pomoći, konstruktivnim savjetima i kritikama koje su mi pružili tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Također bih se želio zahvaliti i prof. dr. sc. Ivani Maguire na pomoći, pogotovo na terenskom dijelu rada.

Veliko hvala svim djelatnicima uzgajališta Hrvatskog centra za autohtone vrste riba i rakova krških voda u Otočcu na svakodnevnoj brizi o rakovima. Bez njih ovaj diplomski rad ne bi bio moguć.

Hvala mojoj obitelji na podršci i potpori koju su mi pružili tijekom cijeloga studija.

Hvala i svima drugima koji su posredno ili neposredno pomogli u ostvarivanju ovog rada.

## SADRŽAJ:

### 1. UVOD

1.1. Porodica Astacidae.....	1
1.2. Sistematika riječnog ili plemenitog raka.....	2
1.3. Biologija i ekologija riječnog raka.....	3
1.3.1. Životni ciklus vrste <i>A. astacus</i> .....	5
1.4. Rasprostranjenost vrste <i>A. astacus</i> .....	6
1.5. Akvakultura i njen gospodarski značaj.....	7
1.6. Akvakultura slatkovodnih rakova.....	8
1.6.1. Postupak uzgoja slatkovodnih rakova.....	10
1.7. Kondicijski indeksi.....	12
1.8. Ugroženost riječnog raka.....	13
1.9. Ciljevi istraživanja.....	14

### 2. MATERIJALI I METODE

2.1. Odabir riječnih rakova za uzgoj i transport u uzgajalište.....	15
2.2. Pokusni uzgoj rakova.....	15
2.3. Određivanje kondicijskih indeksa.....	18
2.4. Statistička obrada podataka.....	21

### 3. REZULTATI

3.1. Prirast duljine i mase.....	23
3.1.1. Statistička analiza utjecaja temperature vode na ukupni prirast duljine i mase rakova.....	28
3.1.2. Statistička analiza utjecaja gustoće rakova na ukupan prirast duljine i mase rakova.....	29
3.1.3. Statistička analiza utjecaja vrste hrane na ukupan prirast duljine i mase rakova.....	31

3.2. Korelacija prosječne temperature vode i prirasta duljine i mase rakova.....	33
3.3. Organosomatski indeksi kondicije.....	34
3.3.1. Udio mase probavne žlijezde u ukupnoj masi tijela ( $H_{i_{wet}}$ ).....	34
3.3.2. Udio vlage u probavnoj žlijezdi (HM).....	35
3.3.3. Udio mokre mase začanog (repnog) mišića u ukupnoj masi tijela ( $M_{i_{wet}}$ ).....	37
3.3.4. Udio vlage u začanom mišiću (MM).....	38
4. RASPRAVA	
4.1. Utjecaj tretmana na ukupni prirast duljine i mase.....	40
4.2. Indeksi kondicije.....	42
5. ZAKLJUČCI.....	45
6. LITERATURA.....	46
7. ŽIVOTOPIS.....	i

# 1. UVOD

## 1.1. Porodica Astacidae

Porodici Astacidae pripadaju slatkovodni rakovi koji su prirodno rasprostranjeni u slatkovodnim ekosustavima Europe i zapadne Sjeverne Amerike. Predstavnici porodice Astacidae naseljavaju tekućice i stajaćice, podzemne i bočate vode (Maguire, 2010). U Europi je ova porodica zastupljena s dva roda: *Astacus* i *Austropotamobius*, dok je u Sjevernoj Americi prisutan rod *Pacifastacus*.

Na području Europe, zapadno od Urala, danas živi pet autohtonih vrsta slatkovodnih rakova iz porodice Astacidae (Holdich, 2002): *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858) - bjelonogi ili primorski rak, *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) - potočni rak ili rak kamenjar, *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) - riječni ili plemeniti rak, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) - uskoškari, turski ili barski rak i *Astacus pachypus* (Rathke, 1837). Danas je vrsta *A. astacus* rasprostranjena u istočnim, središnjim i sjevernim dijelovima Europe, vrsta *A. leptodactylus* uglavnom u Aziji i istočnoj Europi, iako je unesena i u druge europske zemlje i širi se prirodnim vodenim putovima na zapad, vrsta *A. pachypus* se zadržava oko Kaspijskog jezera, Crnog i Azovskog mora, vrsta *A. torrentium* u središnjoj i jugoistočnoj Europi, a vrsta *A. pallipes* se pojavljuje u južnoj i zapadnoj Europi, uključujući i Britansko otočje (Holdich i Lowery, 1988; Maguire, 2010).

Osim autohtonih vrsta rakova, europske slatkovodne ekosustave danas nastanjuju i alohtone vrste. To su ponajprije američke vrste *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) (porodica Astacidae), *Oroconectes limosus* (Rafinesque, 1817) i *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (obje vrste pripadaju porodici Cambaridae) te neke vrste australskog roda *Cherax* (Maguire, 2010).

U Hrvatskoj su dosadašnjim istraživanjima utvrđene četiri autohtone europske vrste: *Austropotamobius pallipes*, *Austropotamobius torrentium*, *Astacus astacus* i *Astacus leptodactylus* (Maguire i Gottstein-Matočec, 2004) te dvije alohtone invazivne vrste: *Pacifastacus leniusculus*-signalni rak i *Oroconectes limosus*-bodljobrادي rak, oba podrijetlom iz Sjeverne Amerike (Maguire i Klobučar, 2003; Maguire i sur., 2008; Faller i sur., 2009).



## 1.2. Sistematika riječnog ili plemenitog raka

Do danas je otkriveno i opisano oko 640 vrsta slatkovodnih desetonožnih rakova (s 5 do 10 novih vrsta opisanih svake godine) iz infrareda Astacidae (Crandall i Buhay, 2008; Maguire 2010). Sistematska pripadnost riječnog raka je sljedeća:

Domena: Eukaryota (Whittaker & Margulis, 1978)

Carstvo: Animalia (Linnaeus, 1758)

Podcarstvo: Eumetazoa (Butschli, 1910)

Koljeno: Arthropoda (Latreille, 1829)

Potkoljeno: Crustacea (Brunnich, 1772)

Razred: Malacostraca (Latreille, 1802)

Podrazred: Eumalacostraca (Grobber, 1892)

Nadred: Eucarida (Calman, 1904)

Red: Decapoda (Latreille, 1802)

Podred: Pleocyemata (Burkenroad, 1963)

Infrared: Astacidea (Latreille, 1802)

Nadporodica: Astacoidea (Latreille, 1802)

Porodica: Astacidae (Latreille, 1802)

Rod: *Astacus* (Fabricius, 1775)

Vrsta: *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758)

### 1.3. Biologija i ekologija riječnog raka

Vrsta *Astacus astacus* (Slike 1 i 2) rijetko naraste više od 15 cm (ukupna duljina od vrha rostruma do kraja telzona), ali zabilježene su i jedinke duge 17 cm i teške 270 g (Westman i sur., 1992). Procijenjeno je da mogu živjeti i dulje od 20 godina. Životinje su dorzalno obično tamnosmeđe boje (maslinasto zelena do crna, ponekad plavičasta ili crvenkasta), dok im je ventralna strana zeleno-smeđe boje (Klobučar i Maguire, 2011). Vrsta *A. astacus* živi samo u slatkim, hladnijim vodama s dovoljno kisika (Skurdal i Taugbøl, 2002). Budući da je noćna životinja, preko dana se zadržava u skloništima pod kamenjem, korijenjem ili rupama koje izbuši u obalama potoka, rijeka, jezera. U skloništu se postavlja glavom prema izlazu, a kliješta drži ispružena prema naprijed kako bi se lakše obranio od uljeza. Tijekom noći izlazi iz skloništa i traži hranu. Noćna je aktivnost, prema nekim autorima (Cukerzis, 1988), prilagodba životinja da izbjegnu predatore koji se oslanjaju na vid, premda nije isključena mogućnost da rakovi love noću jer je tada aktivan i njihov plijen (Gherardi, 2002).

Ova vrsta je važan konzument u mnogim prehranbenim lancima i može dominirati biomasom životnih zajednica dna u jezerima i potocima. Deseteronožni rakovi su predatori, herbivori i detritivori i najčešće se hrane kolutićavcima, vodenim kukcima, mekušcima i raznim biljem. Glavni grabežljivci koji se njima hrane su kune, jegulje, grgeči, štuke, vidre i bizamski štakori te razne ptice močvarice. Upravo stoga, rakovi su često ključni organizmi mnogih hranidbenih mreža i važan katalizator obrta organske tvari (imaju sposobnost jake asimilacije dušika biljnog i životinjskog podrijetla) (Maguire, 2010).

Rast rakova nije kontinuiran proces, nego se presvlače tijekom toplijih dana u godini. Rast može biti izometrijski (obično kod juvenilnih jedinki) ili alometrijski, pri čemu neki dijelovi tijela rastu neproporcionalno u odnosu na druge dijelove tijela. Vanjski spolni dimorfizam postaje vidljiv tek pri dostizanju spolne zrelosti – kliješta mužjaka i abdomen ženke rastu brže od ostalih dijelova tijela (Rhodes i Holdich, 1979).

Ženke dostižu spolnu zrelost pri duljini 6,2 cm do 8,5 cm što odgovara dobi od 3 – 5 godina, a mužjaci pri duljini 6 do 7 cm (Abrahamsson, 1966). Sjemenici i jajnici sazrijevaju između srpnja

i rujna, a mužjaci se, nakon postizanja spolne zrelosti, razmnožavaju svake godine, dok su ženke obično svaku drugu ili treću godinu reproduktivno neaktivne (Taugbøl i sur., 1988).



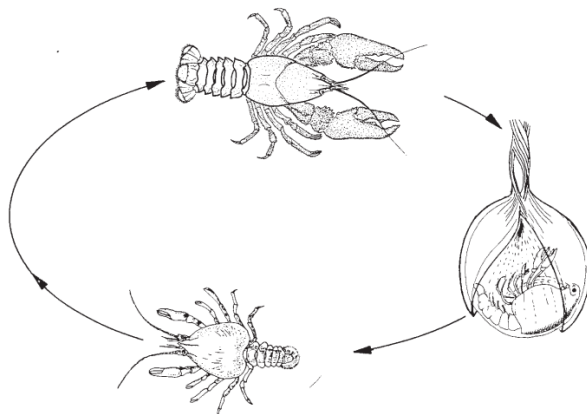
**Slika 1.** Vanjski izgled juvenilnih jedinki riječnog raka, *Astacus astacus* L.



**Slika 2.** Vanjski izgled odrasle jedinke mužjaka riječnog raka, *Astacus astacus* L. (Slika je preuzeta sa mrežne stranice-<https://commons.wikimedia.org>)

### 1.3.1. Životni ciklus vrste *A. astacus*

Razmnožavanje ove vrste odvija se u jesen, a reprodukcijski ciklus ovisi o klimatskim uvjetima i uvjetima staništa. Parenje započinje s padom temperature u rujnu ili listopadu (Gydemo i Westin, 1989). Mužjaci i ženke su u to doba aktivniji, a čak je zabilježena i dnevna aktivnost (Skurdal i Taugbøl, 2002). Primijećeno je da povišena temperatura odgađa početak parenja. Sezona parenja obično traje dva do tri tjedna, a izbacivanje i oplodnja jaja uslijedi nekoliko sati do šest tjedana nakon toga. Do izlijevanja juvenilnih rakova mora proći osam do devet mjeseci, a s porastom temperature to razdoblje se može skratiti. Broj jaja ovisi o veličini ženke-veće ženke nose više jaja (Taugbøl i sur., 1988). Juvenilni rakovi su nakon izlijevanja dugi oko 8,5 do 9 mm (Cukerzis, 1988). Nakon prvog presvlačenja dosežu duljinu od 12 mm i slični su odraslim rakovima, jedino im nedostaje repna peraja. Nakon drugog presvlačenja dugački su 13-15 mm, potpuno nalikuju odraslim jedinkama i započinju sa samostalnim životom. U prvoj godini narastu do 23 mm, u drugoj 25-48 mm, u trećoj 50-70 mm, a u četvrtoj 60-80 mm (Cukerzis, 1988). U povoljnim uvjetima rakovi mogu doseći duljinu tijela 95 mm tijekom četiri godine (Gydemo, 1989). Kako je izlijevanje pod utjecajem temperature, hladna proljeća ga odgađaju do ljeta, što znači da će sezona rasta biti skraćena i da je mala vjerojatnost da će juvenilni rakovi preživjeti iduću zimu (Pursiainen i Erkamo, 1991). Mužjaci postaju spolno zreli prije ženki. Općenito, udio spolno zrelih ženki u populaciji raste s povećanjem njihove veličine (Maguire, 2010).

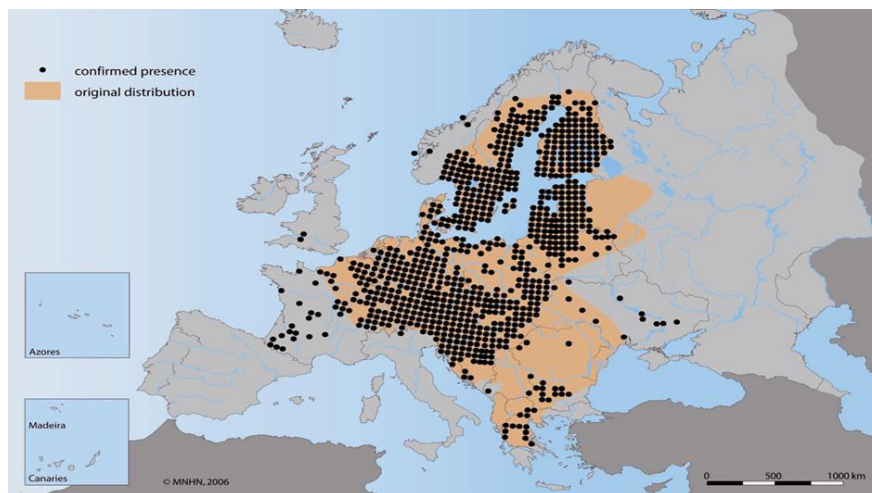


**Slika 3.** Životni ciklus vrste *A. astacus* (Wickins i Lee, 2002).

#### 1.4. Rasprostranjenost vrste *A. astacus*

Ova vrsta autohtona je europska vrsta i smatra se najčešćom autohtonom vrstom u Europi. Rasprostranjena je od Rusije i Ukrajine na istoku, do Finske, Švedske, Norveške na sjeveru, pa sve do Grčke na jugu i Ujedinjenog Kraljevstva i Francuske na zapadu. Nedavno je nekoliko subpopulacija uneseno izvan Europe, npr. u Maroko. Prisutnost riječnog raka u Andori, Cipru, Ujedinjenom Kraljevstvu, Lihtenštajnu, Luksemburgu, Maroku te najvjerojatnije Crnoj Gori i Italiji rezultat je unošenja vrste iz susjednih europskih zemalja (Slika 4). U Hrvatskoj je riječni rak rasprostranjen u vodama savskog i dravskog slijeva, a unesen je i u pojedine rijeke jadranskog slijeva (Souty-Grosset i sur., 2006).

Zemlje u kojima je do sada zabilježen riječni rak su: Andora; Austrija; Belgija; Bjelorusija; Bosna i Hercegovina; Bugarska; Cipar; Crna Gora; Češka Republika; Danska; Estonija; Finska; Francuska; Gruzija; Grčka; Hrvatska; Italija; Latvija; Lihtenštajn; Litva; Mađarska; Makedonija; Maroko; Moldavija; Nizozemska; Norveška; Poljska; Rumunjska; Rusija (Kalinjgradska oblast); Srbija; Slovačka; Slovenija; Švedska; Švicarska; Ujedinjeno Kraljevstvo. Ukrajina (Souty-Grosset i sur., 2006).



**Slika 4.** Točke označavaju potvrđenu prisutnost riječnih rakova u kvadrantima 50x50 km, a ružičasto/narančasto područje pokazuje najvjerojatniju prirodnu rasprostranjenost (Souty-Grosset i sur., 2006).

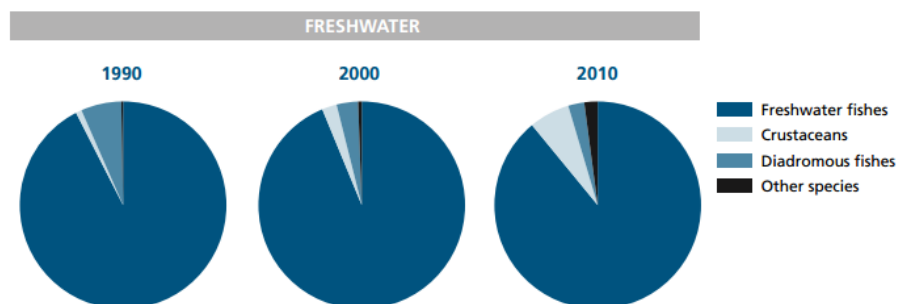
## 1.5. Akvakultura i njen gospodarski značaj

Oko 560 vodenih vrsta životinja trenutno se uzgaja diljem svijeta. Akvakulturom se bave, kako najsiromašnije zemlje svijeta, tako i multinacionalne kompanije. Osamdeset posto trenutne proizvodnje potječe od životinja koje se nalaze nisko u prehrambenom lancu kao što su ribe biljojedi i svejedi, te mekušci.

Pojam akvakultura podrazumijeva razmnožavanje, uzgajanje te iskorištavanje biljaka i životinja u svim tipovima voda, uključujući bare, rijeke, jezera i oceane. Akvakultura predstavlja biomanipulaciju životnog ciklusa uzgajanih organizama i uvjeta okoliša. Ona uključuje kontrolu reprodukcije i rasta te eliminaciju uzroka prirodnog mortaliteta (Katavić, 2006).

U slatkovodnoj akvakulturi uzgajaju se vrste koje obitavaju u rijekama, jezerima i potocima. Vrste se primarno uzgajaju u ribnjacima i umjetnim bazenima (NOAA).

Akvakultura je sve značajnija gospodarska grana u svijetu kojom se nadomještaju umanjeni potencijali hrane iz prirodnih izvora. Ona je u znatnom porastu od 1980. g., u iznosu od oko 8 % godišnje. Primjerice, 1950. g. akvakulturom je proizvedeno 640 000 tona, 1980. g. 7,4 milijuna tona, a 2013. g. čak 97 milijuna tona vodenih organizama. U Hrvatskoj je tijekom 2013. g. proizvedeno oko 13 700 tona. Slatkovodna akvakultura važna je gospodarska aktivnost i najzastupljenija je na dva kontinenta: 65 % akvakulture odvija se u Aziji, a 24 % u Africi (Katavić, 2006).



**Slika 5.** Razvoj slatkovodne akvakulturne proizvodnje u Europi u razdoblju od 1990.-2010. g. prema grupama organizama; tamnoplavo - slatkovodne ribe, blijedoplavo-rakovi, svijetloplavo-diadromne ribe, crno-ostale vrste (FAO, 2014).

## 1.6. Akvakultura slatkovodnih rakova

Slatkovodni rakovi u Europi se proučavaju od davnina, a koriste se i u prehrani. Aristotel ih spominje već 300. g. pr.n.e., a Linné (17.st.) ih smatra kukcima neprikladnima za prehranu (Westman, 1991). Zbog toga što su ljudima zanimljivi, kako oblikom tako i ponašanjem, ostavili su tragove diljem svijeta. Po njima su nazivana mjesta, imena vodotoka, predmet su raznih mitova i basni, a zbog svoje simetrične građe bili su inspiracija i umjetnicima. Sve do 19. stoljeća slatkovodni rakovi korišteni su kao lijek protiv mnogih bolesti, uključujući i rak (Skurdal i Taugbøl, 2002).

U srednjem vijeku povećao se interes za slatkovodne rakove te je objavljen veliki broj recepata i opisa načina lova rakova. U početku su služili kao hrana bogatašima i plemićima, a tek kasnije ih je počela konzumirati srednja klasa. U europskoj povijesti postoje dokumentirani primjeri konzumacije vrlo velike količine rakova. Tako je npr. 1392. g. na vjenčanju poljske princeze Jadvice i princa Jerzya tijekom 8 dana konzumirano 75 000 rakova (Kulesh i sur., 1999). Iako su ljudi u kontinentalnoj Europi jeli slatkovodne rakove od 1200.-tih g., Nordijci slatkovodne rakove nisu smatrali primjerenima za ljudsku prehranu sve do 1500.-tih godina, štoviše smatrali su ih otrovnima (Westman, 1991).

Potražnja za slatkovodnim rakovima se povećala te je komercijalni lov rakova postao velika industrijska grana u 19. stoljeću. Do tada su rakovi postali popularna hrana među pariškim bogatašima i srednjim slojem društva drugih većih europskih gradova. U razdoblju između 1853. i 1879. g. samo u Parizu konzumirano je više od 5 milijuna rakova (Ackefors i Lindqvist, 1994). Potražnja za slatkovodnim rakovima se povećavala, ali su nažalost zbog krivolova, onečišćenja i širenja račje kuge, pogoršane uvozom rakova iz Amerike, prirodne populacije počele naglo opadati. Popularnost rakova u gastronomiji najvjerojatnije je razlog povećanom znanstvenom zanimanju za rakove tijekom 19. stoljeća. Znanstveno proučavanje rakova započeo je Huxley 1879. g. kada je objavio prvo izdanje knjige "The crayfish – An Introduction to the study of zoology". Klasičan rad o biologiji rakova autora Huxleya te ranija proučavanja tkiva rakova koja



je proveo Ernst Haeckel samo su dva primjera znanstvenog proučavanja rakova (Skurdal i Taugbøl, 2002).

Današnji ukupni godišnji ulov slatkovodnih rakova u Europi procjenjuje se na 7000 do 8000 tona (Westman i sur., 1990). Od ove količine, vrsta *A. astacus* čini samo 220 tona ili oko 2-3 % ukupnog europskog ulova. Međutim, zbog visoke cijene (trenutno, 35 do 50 € po kilogramu), vrsta *A. astacus* daje čak 10 – 20 % ukupnog prihoda od ulova rakova (Skurdal i Taugbøl, 2002). Bitno je napomenuti da je vodeći uzgajivač slatkovodnih rakova SAD, točnije savezna država Lujzijana s čak 90 % udjela u svjetskoj proizvodnji, a 70 % proizvedenih rakova konzumira lokalno stanovništvo. Većinom je to vrsta *Procambarus clarkii* (oko 80 %) te vrsta *Procambarus zonangulus* (oko 20 %). Slatkovodni rakovi su danas iznimno popularni u gastronomiji Švedske i Finske te Rusije i Ukrajine gdje postoji i stara poslovice “Kada nema ribe, svaki rak je riba”.

Najraniji pokušaji uzgoja slatkovodnih rakova zabilježeni su u istočnoj Europi, Njemačkoj i Francuskoj krajem 19. stoljeća te su prvenstveno bili usmjereni na uzgoj juvenilnih rakova za repopulaciju jezera iz kojih su bili izlovljeni (Ackefors i Lindqvist, 1994).

Vrsta *A. astacus* poznata je kao vrsta koja relativno sporo raste, ali je unatoč tome, tijekom jedne godine u kontroliranim uvjetima akvakulture uspješno postignuta stopa rasta koju jedinke u prirodi dosegnu za 4-8 godina (Hessen i sur., 1987).

Rast rakova reguliran je raznim biotičkim i abiotičkim čimbenicima (Reynolds, 2002) s time da se temperatura pokazala kao ključni abiotički čimbenik rasta (Lowery, 1988).

Najveći problem pri uzgoju riječnog raka njegovo je moguće agonističko ponašanje i kanibalizam koji su najčešće povezani s presvlačenjem. Kako je vrsta tada vrlo ranjiva i trebaju joj minerali i proteini za izgradnju egzoskeleta jedinke postaju vrlo agresivne. Također, ova vrsta osim niske stope prirasta ima i relativno niski fekunditet, što je u kombinaciji s visokom stopom smrtnosti juvenilnih jedinki otežavajuća okolnost uzgoja. Nadalje, vrsta *A. astacus* je bentički organizam koji ne koristi cijeli stupac vode te je stoga, za komercijalnu proizvodnju, potrebno osigurati područja s velikom površinom dna, što u konačnici poskupljuje proizvodnju zbog dodatnih troškova održavanja (Taugbøl, 1987).



### 1.6.1. Postupak uzgoja slatkovodnih rakova

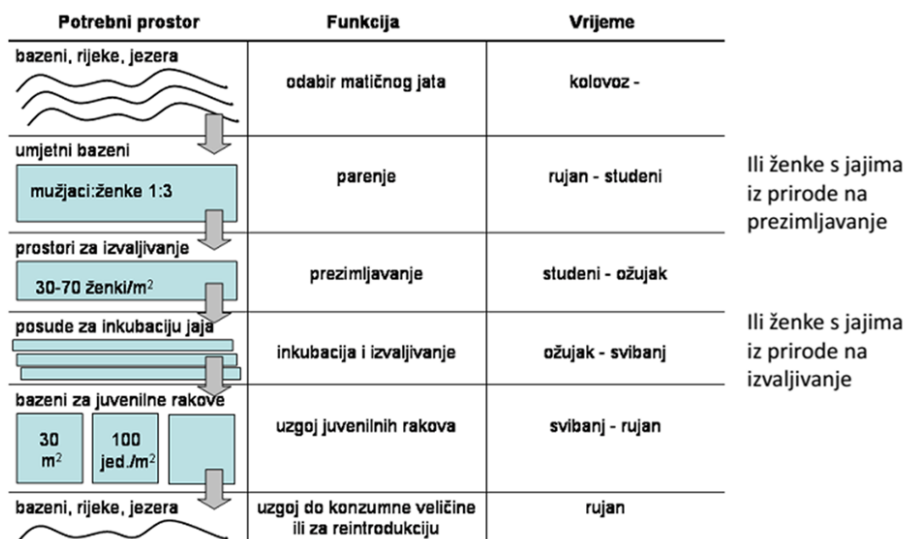
Postoje različite metode uzgoja slatkovodnih rakova; ekstenzivna, poluintenzivna i intenzivna.

**Ekstenzivan uzgoj** odvija se u prirodnim ili umjetnim zemljanim bazenima ili kanalima. Hrana se dodaje samo kao dodatak prirodnim izvorima hrane. Razmnožavanje se odvija u bazenima u kojima postoji prirodna struktura populacije. Takva vrsta uzgoja zahtjeva minimalna ulaganja i brigu. Gotovo cjelokupni svjetski uzgoj slatkovodnih rakova danas je ekstenzivnog tipa. Uspostava samoodržive populacije rakova u nekom vodenom ekosustavu gdje ih prije nije bilo traje između 5 i 10 godina (Huner i Lundqvist, 1986).

**Poluintenzivan uzgoj** se također provodi na otvorenome u nešto specijaliziranijim bazenima ili kanalima. Oni su obično konstruirani tako da se voda iz njih može ispustiti kako bi se olakšalo upravljanje uzgojem i skupljanje (izlov) rakova. Kada ne postoji mogućnost ispuštanja vode iz bazena stvaraju se mješovite populacije različite starosne strukture što smanjuje produkciju (veliki mužjaci mogu kontrolirati brojnost mlađih jedinki, odnosno usporiti njihov rast). Rakove se u poluintenzivnom uzgoju hrani, odnosno dohranjuje. Razmnožavanje se može odvijati pod nadzorom i kontrolom uzgajivača. Ako se izvaljivanje juvenilnih rakova odvija u zatvorenim prostorima, stadiji 2 i 3 juvenilnih rakova prenose se u vanjske bazene ili kanale gdje se uzgajaju do konzumne veličine. Poluintenzivan način uzgoja zahtijeva veća ulaganja i više radne snage u usporedbi s ekstenzivnim uzgojem, ali je bolji nadzor nad uzgojem i u pravilu daje više prinose (Klobučar i Maguire, 2011).

**Intenzivan uzgoj** podrazumijeva kontrolirane uvjete cjelokupnog životnog ciklusa rakova koji se odvija u zatvorenom prostoru. Ova metoda zahtijeva visoka ulaganja i veći broj zaposlenika. Do danas nije razvijen cjeloviti intenzivni uzgojni sustav koji bi bio pouzdan i isplativ (Klobučar i Maguire, 2011).

Juvenilni stadiji rakova (2. i 3. stadij) i jednoljetnici (engl. „summerlings“) dobivaju se kombinacijom intenzivne i poluintenzivne metode uzgoja (Klobučar i Maguire, 2011). Shematski prikaz uzgoja rakova prikazan je na Slici 6.



**Slika 6.** Shematski prikaz uzgoja rakova od uzimanja jedinki iz prirode do krajnje točke uzgoja (Klobučar i Maguire, 2011).

Najpraktičniji i najjeftiniji način uzgoja podrazumijeva donošenje ženki s jajima iz prirodne populacije te njihovo unošenje u izolirane prostore do izvaljivanja juvenilnih rakova. Trideset do pedeset ženki riječnog raka s jajima može dati otprilike 6000-10 000 juvenilnih rakova. Postoje tri glavne metode brige o oplodjenim jajima u razdoblju neposredno prije izvaljivanja juvenilnih rakova:

1. U odvojenim posudama/prostorima na mrežastoj podlozi kroz koju juvenilni rakovi mogu proći i izbjeći moguću predaciju od strane majke.
2. U pojedinačnim odvojenim posudama iz kojih se ženke maknu nakon što se juvenilni rakovi odvoje (Klobučar i Maguire, 2011).

Ako se pak u uzgajalište donose i mužjaci i ženke, idealan omjer spolova je 1M : 3Ž. Iz prirode ih se donese u zatvorene prostore mrjestilišta gdje se odvija parenje. U tu svrhu služe veći (10-20 m<sup>2</sup>) betonski, kao i manji, plastični bazeni iz kojih se mužjaci uklanjaju nakon parenja. Vrlo je bitno da temperatura vode za vrijeme parenja i tijekom slijedeća dva mjeseca bude ispod

8-10 °C. Za to vrijeme ženke treba čuvati od bilo kakvog stresa koji za posljedicu može imati gubitak jaja (Klobučar i Maguire, 2011).

Temperatura vode zimi treba biti što niža što ima za posljedicu smanjeno hranjenje i slabiju aktivnost ženki što također smanjuje gubitak jaja.

Juvenilni rakovi se nakon izlijevanja prebacuju u posude sa zaklonima. Gustoća od 100-200 izvaljenih rakova po m<sup>2</sup> daje dobre rezultate preživljavanja (do 80 % preživljavanja tijekom ljeta). Porastom gustoće raste i postotak smrtnosti juvenilnih rakova.

Jednoljetnici (jedinke starosti godinu dana) se prebacuju u prirodne ili veće bazene – rakogojilišta za daljnji uzgoj.

## **1.7. Kondicijski indeksi**

Kondicija životinje odnosi se na njeno energetske stanje. Za životinje koje su u dobroj kondiciji smatra se da imaju više energetske zaliha nego životinje koje su u lošijoj kondiciji. Primjerice, jedinke s većim energetske zalihama imaju veću izdržljivost i veću stopu preživljavanja od jedinki s manjim energetske zalihama (Millar i Hickling, 1990). Uvjeti koji pozitivno utječu na kondiciju životinja mogu ubrzati rast populacije (Burton i sur., 2010; Phillips i sur., 2010), ubrzati stopu rasta jedinki (Gutowsky i Fox, 2012) ili povećati njihov reproduktivni uspjeh (Bøhn i sur., 2004; Lopez i sur., 2012). Stoga je jedan od ciljeva akvakulture postići uvjete kojima se poboljšava kondicija životinja u uzgoju. Kondicija rakova ovisi o sezonskoj dinamici, odnosno o fazi godišnjeg ciklusa vrste (Yamaguchi, 2001). Pri određivanju kondicije rakova, učinaka stresa u okolišu i procjeni nutritivnog statusa i energetske zaliha rakova koriste se organosomatski indeksi (Huner i sur., 1990; Mannonen i Henttonen, 1995; Jussila, 1997; Mackeviciéné i sur., 1999; Yamaguchi, 2001; Carmona-Osalde i sur., 2004). Organosomatski indeksi ukazuju na kondiciju jedinke, odnosno njezinu energetske učinkovitost, a ona ovisi i o fiziologiji promatranog organizma i o njegovoj sposobnosti prilagodbe određenom staništu (Parsons, 2005). Kako je probavna žlijezda (hepatopankreas) glavni organ za pohranu energije kod rakova (Lucić i sur., 2012) udio probavne žlijezde u ukupnoj masi tijela te sadržaj vlage u žlijezdi koristi se kao pokazatelj kondicije prirodnih populacija i populacija rakova u uzgoju

(Mackeviciéné, 1993; Mannonen i Henttonen, 1995; Viikinkoski i sur., 1995; Jussila i Mannonen, 1997; Tsvetnenko i sur., 1999). Dobar pokazatelj kondicije rakova je i udio mase mišića zatka (repa) u ukupnoj masi tijela, odnosno mišićni indeks koji se često koristi kao pokazatelj kondicije rakova koji se uzgajaju u konzumne svrhe (Huner i sur., 1988; Harlioğlu, 2004). Kako je mišić repa, uz mišić kliješta, jedini konzumni dio raka to je od iznimne važnosti za financijski aspekt uzgoja riječnog raka.

### **1.8. Ugroženost riječnog raka**

Izbijanje račje kuge koju uzrokuje gljivica *Aphanomyces astaci* dovelo je do opadanja europskih populacija riječnog raka. Unos američkih vrsta rakova na europski kontinent, između ostalog i signalnog raka *Pacifastacus leniusculus*, koji je nositelj gljivice *A. astaci*, ali je otporan na bolest, dovelo je do daljnjeg širenja račje kuge i izumiranja europskih populacija riječnog raka. Od 1960. g. signalni rak je unesen u više od 20 zemalja u Europi (Kataria, 2004; Füreder i sur., 2006).

Signalni rak raste brže, ranije dostiže spolnu zrelost i agresivniji je u borbi za prostor i hranu. Također, signalni rak ima relativno brži rast populacije u jedinici vremena nego riječni rak. Čak i u vodotokovima gdje nije zabilježena račja kuga, primijećeno je da signalni rak tijekom vremena potiskuje riječnog raka sa staništa (Kataria, 2004). Riječni rak stvara manje potomaka nego signalni rak te brojem jedinki ne može nadjačati signalnog raka.

Ulov riječnog raka opao je na vrlo mali postotak ulova prije izbijanja račje kuge (Westman, 2002; Bohman i sur., 2006). Riječni rak ekstenzivno se uzgajao, ali je kuga doprinijela padu proizvodnje od 95 % tijekom posljednjih 150 godina (Skurdal i Taugbøl, 2002).

Regulacija i razni drugi hidrotehnički zahvati na vodotocima u nekim su područjima dodatno ugrozili riječnog raka s obzirom da dovode do zamućenja vode i narušavaju heterogenost staništa riječnog raka (Füreder, 2006). Kisele kiše također snizuju pH vrijednost i narušavaju kvalitetu vode što dovodi do smanjenja fekunditeta riječnog raka te se opne izleglih jaja ne mogu pravilno formirati (Collins i sur., 1983). Niske koncentracije kalcija također mogu biti čimbenik raspodjele i razvoja riječnog raka u nekim jezerima (Rukke, 2002).

Zbog svih navedenih razloga bitno je razvijati metode koje će pomoći uzgoju i razvoju riječnog raka u kontroliranim uvjetima kako bi se mogao repopulirati u prirodne vodotoke.

### **1.9. Ciljevi istraživanja**

Svrha ovog istraživanja bila je utvrditi optimalnu gustoću jedinki, temperaturu vode i vrstu hrane u uzgoju juvenilnih rakova kako bi se pronašli najpovoljniji uvjeti u kojima juvenilni rakovi postižu najveći prirast. Istraživanja su obuhvatila treću godinu života juvenilnih jedinki i nastavak su prve godine istraživanja kada su također praćeni prirast mase i duljine tijela juvenilnih jedinki tijekom druge godine živote te utvrđeni kondicijski indeksi na kraju razdoblja aktivnosti rakova u listopadu. Dobiveni rezultati dvogodišnjeg istraživanja mogu se primijeniti za optimiziranje uzgoja rakova za konzumne svrhe, kao i za uzgoj za potrebe reintrodukcije ove ugrožene vrste u prirodna staništa. Ukoliko bi financijska isplativost uzgoja bila zadovoljavajuća, to će omogućiti obnavljanje račjeg fonda i buduće poticaje za uzgoj.

Također, cilj istraživanja bio je utvrditi prikladnost organosomatskih indeksa kao pokazatelja kondicije juvenilnih rakova te odrediti njihove vrijednosti u različitim pokusnim uvjetima (gustoća jedinki, vrsta hrane, temperatura) na kraju uzgojnog razdoblja u kontroliranim uvjetima. Cilj je istraživanja također bio odrediti koja kombinacija uvjeta uzgoja optimalno poboljšava kondiciju juvenilnih jedinki u trećoj godini života te time potencijalno povećava stopu prirasta i preživljavanje jedinki, kako u uzgojnim uvjetima, tako i prilikom planirane reintrodukcije u prirodna staništa.

## **2. MATERIJALI I METODE**

### **2.1. Odabir riječnih rakova za uzgoj i transport u uzgajalište**

Prvi dio istraživanja proveden je u uzgajalištu Hrvatskog centra za autohtone vrste riba i rakova krških voda u Otočcu.

Ženke s jajima su donesene iz rijeke Jaruge (Stajničko polje) tijekom svibnja 2012. g. Svaka je zasebno stavljena u svoju posudu sa šupljim dnom, kako bi juvenilni rakovi nakon izvaljivanja bili odvojeni te se na taj način izbjegao kanibalizam. Nakon što su se juvenilni rakovi izlegli, ženke su vraćene natrag u rijeku Jarugu. U 2013. g. završena je prva godina istraživanja na jednogodišnjim račićima, a u 2014. g. započeta je druga godina istraživanja na dvogodišnjim račićima u njihovoj trećoj godini života.

### **2.2. Pokusni uzgoj rakova**

Tijekom prve i druge godine rasta juvenilni rakovi bili su smješteni u osam bazena, od kojih su četiri bila smještena u plasteniku, a četiri na otvorenom. Svaki je bazen bio podijeljen na četiri odjeljka. Tri odjeljka služila su za pokusni uzgoj, a u četvrtom su se nalazili juvenilni rakovi koji su služili za eventualno nadomještanje uginulih jedinki u pokusnim odjeljcima. Dimenzije pojedinih odjeljaka bile su: duljina 1 m; širina 0,6 m, a visina 0,55 m, što znači da je površina jednog odjeljka bila 0,6 m<sup>2</sup> (Basta, 2014).

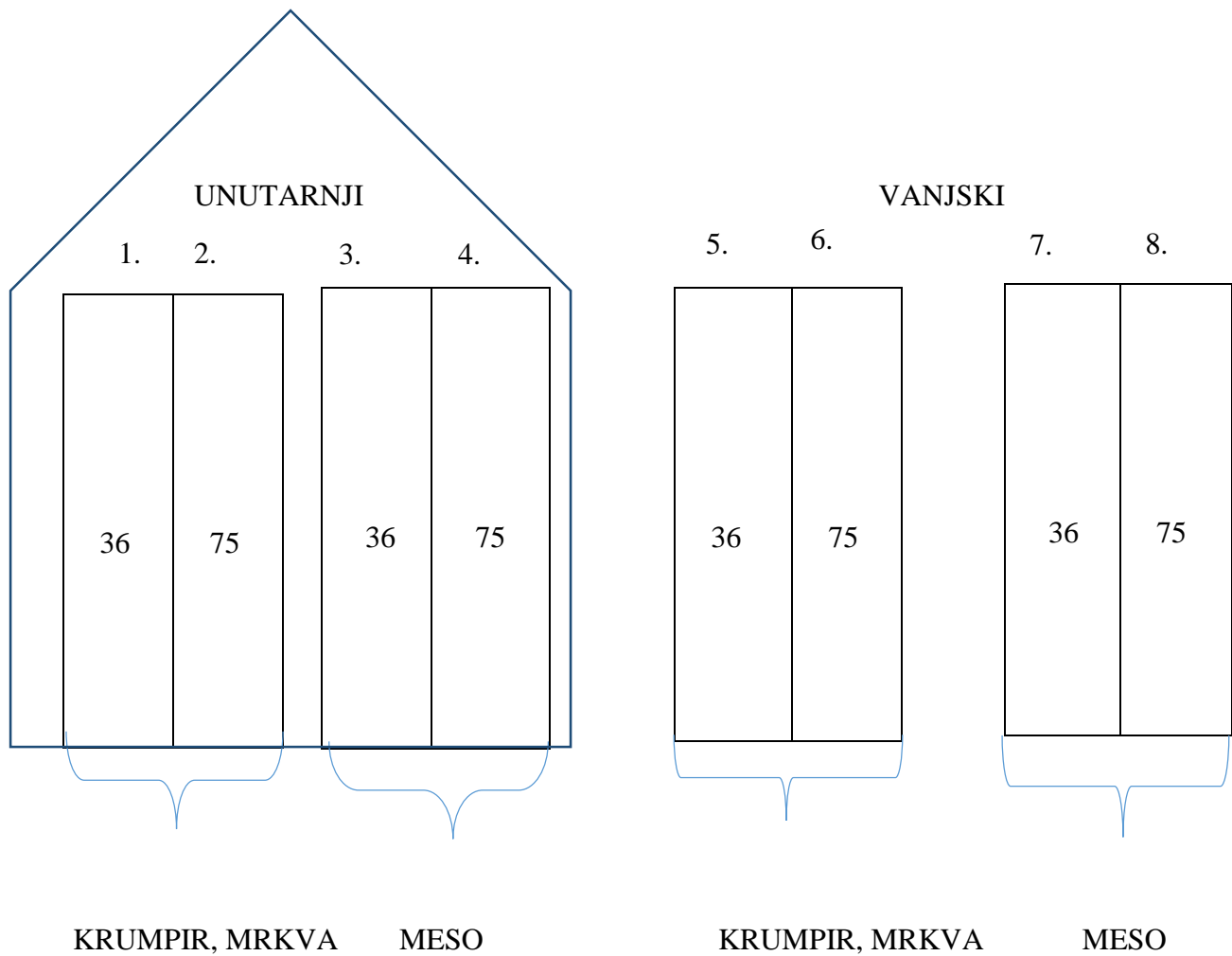
Tijekom druge godine razvoja rakovi koji su bili smješteni u plasteniku bili su izloženi nešto višoj temperaturi od onih koji su bili u vanjskim bazenima. Temperatura nije bila regulirana mehaničkim uređajima već je plastenik poslužio za održavanje više temperature vode, odnosno kao zaštita unutarnjih bazena od vanjskih vremenskih uvjeta (Basta, 2014). Tijekom treće godine razvoja, viša temperatura vode u bazenima unutar plastenika uspostavljena je recirkulacijom vode uz pomoć pumpi. Korištenjem pumpi temperatura vode, ovisno o sezoni je u plasteniku bila za 2-8 °C veća od temperature vani. Unutar svakog temperaturnog režima tijekom dvije godine istraživanja (2. i 3. godina razvoja) korištene su dvije vrste hrane; jedna skupina rakova hranjena je isključivo hranom biljnog podrijetla (krumpir i mrkva), a druga skupina hranom životinjskog

podrijetla (pileća jetra). U prvoj godini uzgoja rakovi su u svakom temperaturnom i prehranbenom režimu bili raspoređeni u dvije različite gustoće; gušći raspored rakova podrazumijevao je 50 jedinki/0,6 m<sup>2</sup>, a rjeđi raspored 25 jedinki/0,6 m<sup>2</sup> (Basta, 2014). U drugoj godini istraživanja uklonjene su pregrade između odjeljaka unutar pojedinih bazena te su sve jedinice skupno boravile u bazenima pa je niža gustoća iznosila 21 jedinki/m<sup>2</sup>, a viša gustoća 42 jedinki/m<sup>2</sup> (Slike 7 i 8). To je napravljeno kako bi se reduciralo agresivno ponašanje i oštećenje jedinki koje sazrijevanjem postaju kompetitivnije.

Svakih mjesec dana, tijekom razdoblja od svibnja do listopada 2014. g., svaki rak iz svakog tretmana je pojedinačno izvagan (digitalna vaga, preciznost 0,001 g), izmjerena mu je ukupna duljina te određen spol (Slika 9).



**Slika 7.** Prilaz bazenima (a), bazeni u plasteniku (b) i bazeni izvan plastenika (c)



**Slika 8.** Plan uzgoja u pokusnim uvjetima i raspored rakova po bazenima u uvjetima različite temperature, gustoće i prehrane (brojke na shemi označavaju ukupni broj jedinki u pojedinom bazenu).





**Slika 9.** Mjerenje duljine (a), vaganje (b) i određivanje spola rakova (c).

### **2.3. Određivanje kondicijskih indeksa**

Drugi dio istraživanja proveden je u laboratoriju Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Kako bi se izbjegla varijabilnost organosomatskih indeksa ovisna o sezonskoj dinamici, odnosno o fazi godišnjeg ciklusa vrste, (Yamaguchi, 2001) juvenilni rakovi za određivanje organosomatskih indeksa su nasumično odabrani iz svakog od pokusnih uvjeta jednokratno, nakon isteka šestog mjeseca istraživanja, u

listopadu 2014. godine. Po deset jedinki nasumično je odabrano iz svakog od osam tretmana te je prevezeno u laboratorij, gdje su stavljene u zasebne označene plastične vrećice i žrtvovane smravanjem na  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Potom su jedinke iz svakog od pokusnih uvjeta odmrznute do stupnja na kojem unutarnji organi zadržavaju određenu razinu konzistencije (oko 30 do 60 minuta odmrzavanja) koja omogućuje uspješno provođenje potrebnih analiza. Na digitalnoj vagi (preciznosti 0,001 g) je zatim izmjerena ukupna mokra tjelesna masa svake jedinke te je pomičnom mjerkom izmjerena ukupna duljina tijela (preciznost 0,01 mm) (Slika 10). Nakon toga svaka je jedinka secirana i u prethodno označene i izvagane aluminijske lađice izdvojena je zasebno probavna žlijezda (hepatopankreas) i začani (abdominalni ili repni) mišić (Slika 11). Svaka je lađica potom ponovno izvagana kako bi se utvrdila mokra masa pojedinog organa i prebačena u termostat na sušenje na  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  gdje je ostavljena tijekom 24 sata (Slika 12). Nakon sušenja, lađice su ponovno izvagane kako bi se utvrdila suha masa pojedinog organa. Dobiveni podaci uvršteni su u jednadžbe i izraženi kao mokri organosomatski indeks ( $O_{i_{\text{wet}}}$ ) i indeks vlažnosti organa (OM):

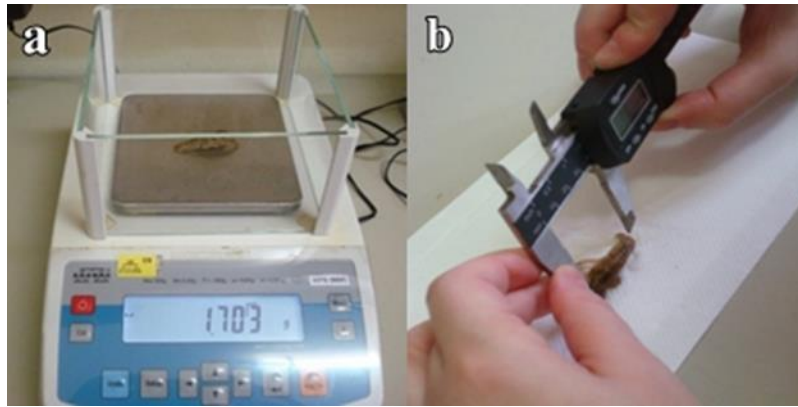
$$O_{i_{\text{wet}}} = W_{\text{wo}} \times 100 / W_{\text{t}},$$

gdje je  $W_{\text{wo}}$  masa mokrog organa (g), a  $W_{\text{t}}$  ukupna tjelesna masa jedinke (g) i

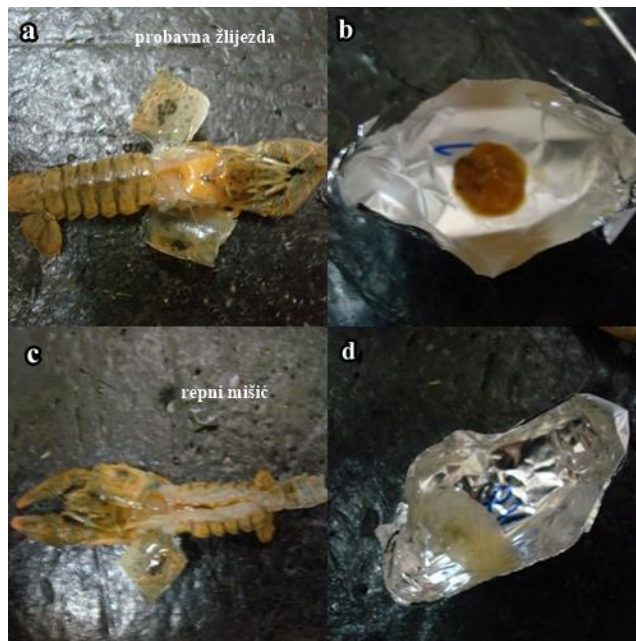
$$\text{OM} = (W_{\text{wo}} - W_{\text{do}}) \times 100 / W_{\text{wo}}$$

gdje je  $W_{\text{wo}}$  masa mokrog, a  $W_{\text{do}}$  masa suhog organa (Lucić i sur., 2012).

Dobivene vrijednosti vlažnosti organa obrnuto su proporcionalne njihovom energetske statusu što znači da manje vrijednosti indeksa vlažnosti ukazuju na bolji energetske status organa, odnosno bolju kondiciju. Kako se smatra da indeksi vlažnosti organa najtočnije ukazuju na energetske zalihe životinja, tj. njihov energetske status (Jussila i Mannonen, 1997; Lucić i sur., 2012), indeksi vlažnosti organa (HM za probavnu žlijezdu i MM za repni mišić) korišteni su u procjeni i usporedbi energetske statusa rakova u različitim uzgojnim uvjetima. Mokri organosomatski indeksi kao pokazatelji kondicije juvenilnih rakova također su uspoređeni između svih uzgojnih bazena.



**Slika 10.** Vaganje (a) i mjerenje dvogodišnje juvenilne jedinke riječnog raka digitalnom pomičnom mjerkom (b).



**Slika 11.** a) sekcija riječnog raka i izdvajanje probavne žlijezde; b) lađica s probavnom žlijezdom; c) sekcija raka i izdvajanje repnog mišića d) aluminijska lađica s repnim mišićem.



**Slika 12.** Termostat s lađicama u kojima se na 80 °C suše izolirani organi juvenilnih rakova.

#### **2.4. Statistička obrada podataka**

Prikupljeni podaci o prirastu mase i duljine tijela te organosomatskim indeksima su zatim obrađeni deskriptivnim statističkim metodama kako bi se utvrdio prosječan prirast mase i duljine tijela rakova po mjesecima u pojedinom tretmanu te prosječne vrijednosti organosomatskih indeksa u svakom od uzgojnih uvjeta tijekom druge godine istraživanja.

Zatim su podaci statistički obrađeni kako bi se utvrdilo postoje li statistički značajne razlike u prirastu i indeksima između različitih tretmana kako bi se utvrdilo pri kojoj temperaturi, gustoći i vrsti hrane juvenilni rakovi najbrže rastu i imaju bolju kondiciju.

Zbog pravilnog odabira metoda analize podataka, testirano je odgovara li raspodjela podataka u uzorku normalnoj raspodjeli i u tu svrhu primijenjen je Shapiro-Wilk's W test normalnosti raspodjele. Postotak ukupnog prirasta po svakom tretmanu je izračunat po sljedećim formulama:

a) % prirasta ukupne duljine tijela od svibnja do listopada = srednja vrijednost duljine u listopadu – srednja vrijednost duljine u svibnju / srednja vrijednost duljine u svibnju x 100

b) % prirasta ukupne mase tijela od svibnja do listopada = srednja vrijednost mase u listopadu – srednja vrijednost mase u svibnju / srednja vrijednost mase u svibnju x 100

Statistička obrada podataka izvedena je pomoću programa Microsoft Excel 2013 (deskriptivna statistika) i Statistica 12.0. (analiza varijanci-ANOVA, korelacije). U svim statističkim analizama korištena je razina značajnosti od 5 % ( $p < 0,05$ ).

Za analizu organosomatskih kondicijskih indeksa korišten je Microsoft Excel 2013 (deskriptivna statistika) te Statistica 12.0 pomoću koje je, nakon što je utvrđena normalna raspodjela podataka, napravljena parametrijska faktorijalna analiza varijanci (ANOVA) kako bi istovremeno analizirali učinak više čimbenika (spol, vrsta hrane, gustoća, temperatura vode) na energetske status jedinki. U svim statističkim analizama korištena je razina značajnosti od 5 % ( $p < 0,05$ ).

### 3. REZULTATI

#### 3.1. Prirast duljine i mase

Svi prirasti duljine i mase izraženi su kao promjena prosječne vrijednosti duljine i mase svih izmjerenih jedinki oba spola u svakom bazenu za svako pojedino razdoblje. Na kraju je izračunat ukupni prirast duljine i mase tijela za cijelo istraživano razdoblje (svibanj-listopad 2014. godine).

Između svibnja i lipnja najveći prirast duljine postignut je u tretmanu: na otvorenom, uz hranu biljnog podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup>, dok je najveći prirast mase zabilježen u plasteniku, uz hranu biljnog podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup> (Tablica 1).

**Tablica 1.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između svibnja i lipnja (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušci, plast-plastenik).

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
Plast	rj	MR	3,25	0,68
Plast	gu	MR	2,09	0,39
Plast	gu	ME	3,53	0,6
Plast	rj	ME	3,19	0,58
Vani	rj	MR	3,87	0,46
Vani	gu	MR	2,85	0,32
Vani	gu	ME	3,52	0,45
Vani	rj	ME	2,77	0,4

Između lipnja i srpnja najveći prirast u duljini i masi postignut je u tretmanu: u plasteniku, uz hranu životinjskog podrijetla i manjoj gustoći od 42 jedinke/m<sup>2</sup> (Tablica 2).

**Tablica 2.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između lipnja i srpnja (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik).

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
plast	rj	MR	3,23	0,24
plast	gu	MR	2,08	0,2
plast	gu	ME	3,47	0,63
plast	rj	ME	2,62	0,45
vani	rj	MR	1,4	0,09
vani	gu	MR	1,15	0,04
vani	gu	ME	0,51	0,3
vani	rj	ME	1,37	0,17

Između srpnja i kolovoza najveći prirast u duljini i masi postignut je u tretmanu: u plasteniku, uz hranu životinjskog podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup> (Tablica 3).

**Tablica 3.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između srpnja i kolovoza (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik).

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
plast	rj	MR	1,12	0,45
plast	gu	MR	1,97	0,34
plast	gu	ME	2,84	0,67
plast	rj	ME	4,15	1,2
vani	rj	MR	2,91	0,52
vani	gu	MR	0,98	0,3
vani	gu	ME	2,78	0,32
vani	rj	ME	2,66	0,42

Između kolovoza i rujna najveći prirast u duljini postignut je u tretmanu: na otvorenom, uz hranu biljnog podrijetla i većoj gustoći od 42 jedinke/m<sup>2</sup>, dok je najveći prirast mase zabilježen u plasteniku, uz hranu životinjskog podrijetla i većoj gustoći od 42 jedinke/m<sup>2</sup> (Tablica 4).

**Tablica 4.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između kolovoza i rujna (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik)

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
plast	rj	MR	-0,36	0,19
plast	gu	MR	-0,69	0,17
plast	gu	ME	0,11	0,6
plast	rj	ME	0,49	0,52
vani	rj	MR	-1,35	0,21
vani	gu	MR	0,81	0,24
vani	gu	ME	-0,56	0,09
vani	rj	ME	0,38	0,35

Između rujna i listopada najveći prirast u duljini postignut je u tretmanu: u plasteniku, uz hranu biljnog podrijetla i većoj gustoći od 42 jedinke/m<sup>2</sup>, dok je najveći prirast mase zabilježen na otvorenom, uz hranu životinjskog podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup> (Tablica 5).

**Tablica 5.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između rujna i listopada (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik).

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
plast	rj	MR	1,76	0,5
plast	gu	MR	2,07	0,21
plast	gu	ME	1,95	0,34
plast	rj	ME	0,2	0,32
vani	rj	MR	2	0,35
vani	gu	MR	1,06	0,24
vani	gu	ME	1,67	0,44
vani	rj	ME	1,28	0,58

Konačno, između početka tretmana u svibnju i kraja u listopadu, najveći prirast u duljini postignut je u tretmanu: u plasteniku, uz hranu životinjskog podrijetla i većoj gustoći od 42 jedinke/m<sup>2</sup>, dok je najveći prirast mase zabilježen u tretmanu: u plasteniku, uz hranu životinjskog



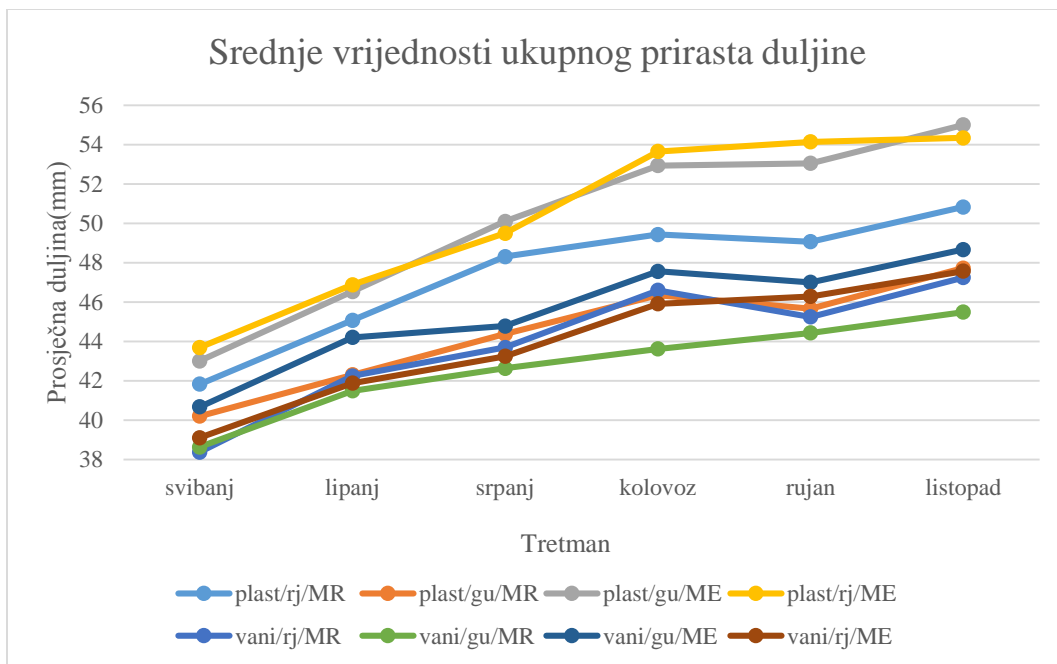
podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup>. Najmanji prirast ukupne mase i duljine postignut je u tretmanu: na otvorenom, uz hranu biljnog podrijetla i manjoj gustoći od 21 jedinke/m<sup>2</sup>. (Slike 13 i 14, Tablice 6 i 7).

**Tablica 6.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta u duljini i masi po svakom tretmanu između svibnja i listopada (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik).

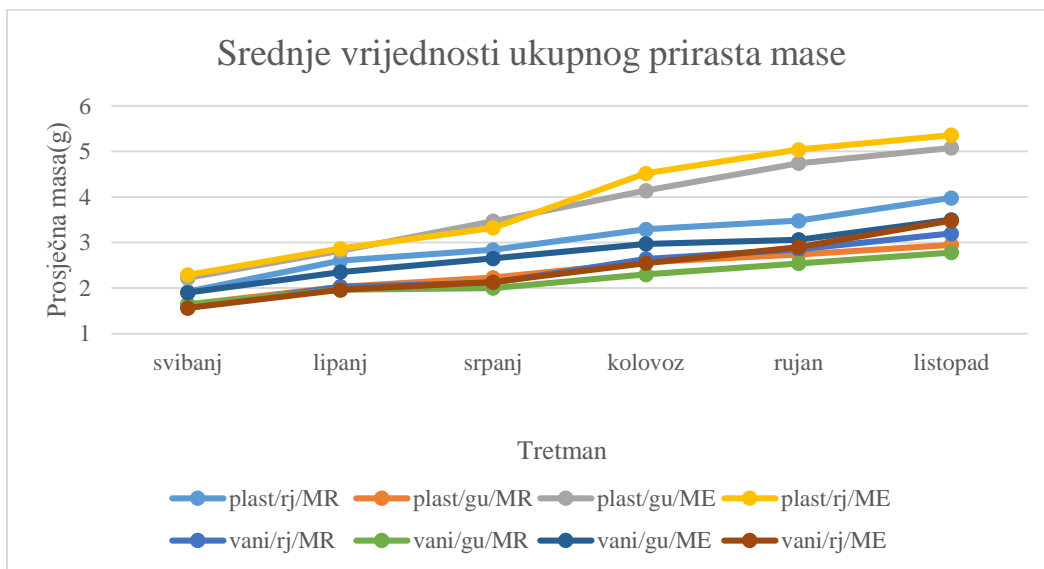
Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (mm)	Masa (g)
plast	rj	MR	9	2,06
plast	gu	MR	7,52	1,31
plast	gu	ME	11,99	2,86
plast	rj	ME	10,65	3,07
vani	rj	MR	8,87	1,63
vani	gu	MR	6,85	1,14
vani	gu	ME	7,99	1,6
vani	rj	ME	8,46	1,92

**Tablica 7.** Srednje vrijednosti ukupnog prirasta izražene u postocima za duljinu i masu po svakom tretmanu između svibnja i listopada (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu- gušći, plast-plastenik).

Temperatura	Gustoća	Hrana	Duljina (%)	Masa (%)
plast	rj	MR	21,51	107,29
plast	gu	MR	18,7	79,87
plast	gu	ME	27,87	128,82
plast	rj	ME	24,37	134,06
vani	rj	MR	23,11	103,82
vani	gu	MR	17,82	69,51
vani	gu	ME	19,64	84,21
vani	rj	ME	21,63	123,07



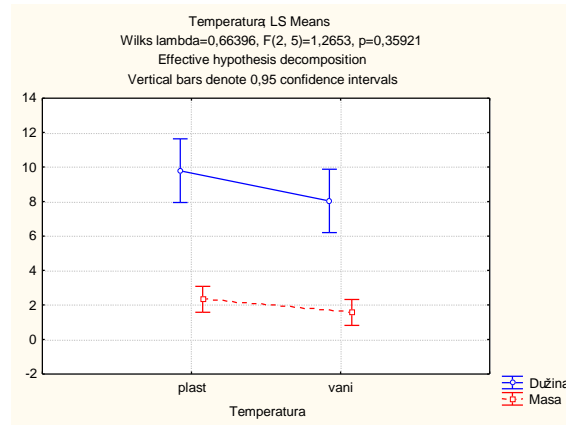
**Slika 13.** Mjesečni prirast duljine tijela od svibnja do listopada (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu-gušći, plast-plastenik).



**Slika 14.** Mjesečni prirast mase tijela od svibnja do listopada (MR-mrkva; ME-meso; rj-rjeđi; gu-gušći, plast-plastenik).

### 3.1.1. Statistička analiza utjecaja temperature vode na ukupni prirast duljine i mase rakova

Temperatura nije znatno utjecala na ukupan prirast duljine i mase (Slika 15, Tablice 8-10).



**Slika 15.** Ukupni prirast duljine i mase između svibnja i listopada pri različitoj temperaturi vode (plast – plastenik; viša temperatura vode; vani – niža temperatura vode).

**Tablica 8.** Vrijednosti dobivene analizom varijance (ANOVA)-razlike u prirastu duljine i mase rakova pri različitim temperaturama vode.

	Test	Vrijednost	F	Učinak - df	Greška - df	p	Parcijalni kvadrat eta	Necentralna distribucija	Zapažena potencija (alpha=0,05)
<b>Sjecište</b>	Wilks	0,011843	208,6032	2	5	0,000015	0,988157	417,2064	1,000000
<b>Temperatura</b>	Wilks	0,663958	1,2653	2	5	0,359213	0,336042	2,5306	0,171613

**Tablica 9.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc testa za prirast duljine pri različitim temperaturama vode.

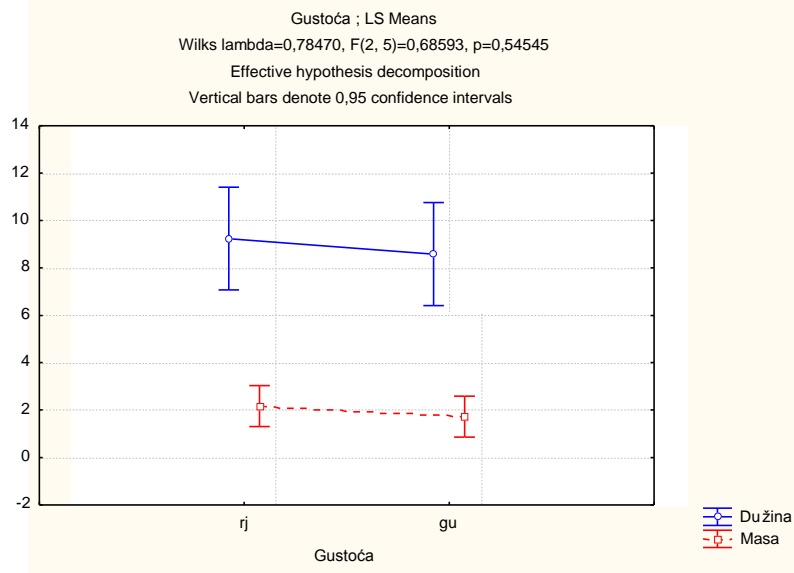
Bonferroni test; varijabla Duljina (Tablica1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 2,2734, df = 6,0000			
	Temperatura	{1}-9,7900	{2}-8,0425
1	Plast		0,152314
2	Vani	0,152314	

**Tablica 10.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc testa za prirast mase pri različitim temperaturama vode.

Bonferroni test; varijabla Masa (Tablica1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 0,37560, df = 6,0000			
	Temperatura	{1}-2,3250	{2}-1,5725
1	Plast		0,133163
2	Vani	0,133163	

### 3.1.2. Statistička analiza utjecaja gustoće rakova na ukupan prirast duljine i mase rakova

Niti gustoća rakova nije statistički značajno utjecala na prirast duljine i mase (slika 16, Tablice 11-13).



**Slika 16.** Ukupni prirast duljine i mase između svibnja i listopada pri različitoj gustoći rakova (rj-rjeđi; gu-gušći).

**Tablica 11.** Vrijednosti dobivene analizom varijance (ANOVA)-razlike u prirastu duljine i mase pri različitim gustoćama jediniki.

	Test	Vrijednost	F	Učinak - df	Greška - df	p	Parcijalni kvadrat eta	Necentralna distribucija	Zapažena potencija (alpha=0,05)
<b>Sjecište</b>	Wilks	0,012307	200,6313	2	5	0,000017	0,987693	401,2626	1,000000
<b>Gustoća</b>	Wilks	0,784699	0,6859	2	5	0,545454	0,215301	1,3719	0,113705

**Tablica 12.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc testa za prirast duljine pri različitim gustoćama.

Bonferroni test; varijabla Duljina (Tablica1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 3,1472, df = 6,0000

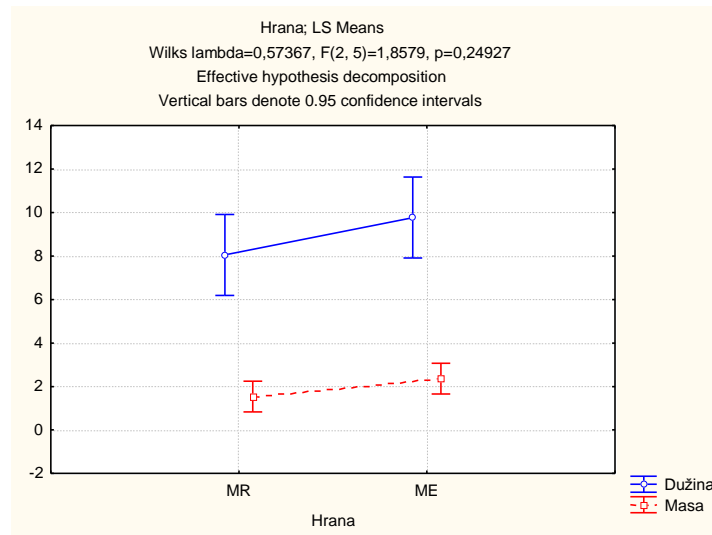
	Gustoća	{1}-9,2450	{2}-8,5875
<b>1</b>	Rjeđi		0,618972
<b>2</b>	Gušći	0,618972	

**Tablica 13.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc test za prirast mase pri različitim gustoćama.

Bonferroni test; varijabla Masa (Tablica1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 0,49908, df = 6,0000			
	Gustoća	{1}-2,1700	{2}-1,7275
1	Rjeđi		0,409811
2	Gušći	0,409811	

### 3.1.3. Statistička analiza utjecaja vrste hrane na ukupan prirast duljine i mase rakova

Na kraju, ni vrsta hrane nije statistički značajno utjecala na prirast duljine i mase. (Slika 17, Tablice 14 do 16).



**Slika 17.** Ukupni prirast duljine i mase između svibnja i listopada pri različitim vrstama hrane (MR-povrće, ME-meso).

**Tablica 14.** Vrijednosti dobivene analizom varijance (ANOVA) razlike u prirastu mase i duljine rakova pri različitim vrstama hrane.

	Test	Vrijednost	F	Učinak - df	Greška - df	p	Parcijalni kvadrat eta	Necentralna distribucija	Zapažena potencija (alpha=0,05)
<b>Sjecište</b>	Wilks	0,012680	194,6619	2	5	0,000018	0,987320	389,3238	1,000000
<b>Hrana</b>	Wilks	0,573674	1,8579	2	5	0,249266	0,426326	3,7158	0,232543

**Tablica 15.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc testa za prirast duljine pri različitoj vrsti hrane.

Bonferroni test; varijabla Duljina (Spreadsheet1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 2,3138, df = 6,0000			
	Hrana	{1}-8,0600	{2}-9,7725
<b>1</b>	Mrkva		0,162457
<b>2</b>	Meso	0,162457	

**Tablica 16.** Vrijednosti Bonferroni post-hoc testa za prirast mase pri različitoj vrsti hrane.

Bonferroni test; varijabla Masa (Tablica1) Vjerojatnost greške za Post Hoc Testove: Između MS = 0,33610, df = 6,0000			
	Hrana	{1}-1,5350	{2}-2,3625
<b>1</b>	Mrkva		0,090074
<b>2</b>	Meso	0,090074	

### 3.2. Korelacija prosječne temperature vode i prirasta duljine i mase rakova

Najniža prosječna temperatura za tretmane unutar plastenika zabilježena je u svibnju i iznosila je 11,96 °C, a najviša u srpnju i iznosila je 18,11 °C. Najniža temperatura za tretmane izvan plastenika zabilježena je u rujnu i iznosila je 10,22 °C, a najviša u srpnju i iznosila je 11,91 °C. Također temperatura unutar plastenika je zbog korištenja cirkulacijskih pumpi bila prosječno veća za 4,5 °C naspram temperature izvan plastenika (Tablica 17).

**Tablica 17.** Prosječne temperature po mjesecima unutar plastenika (temp\_pl) i izvan plastenika (temp\_vani).

mjesec	temp_pl	temp_vani
svibanj	11,95641	10,31538
lipanj	15,02698	11,60317
srpanj	18,11159	11,90582
kolovoz	17,23333	11,405
rujan	15,44394	10,21818
<b>aver</b>	<b>15,55445</b>	<b>11,08951</b>
<b>min</b>	<b>11,95641</b>	<b>10,21818</b>
<b>max</b>	<b>18,11159</b>	<b>11,90582</b>
<b>stev</b>	<b>2,376655</b>	<b>0,772694</b>

Vrijednosti prirasta duljine i mase stavljene su u korelaciju s prosječnom temperaturom vode. Nije utvrđena statistički značajna pozitivna korelacija između ukupnog prirasta duljine tijela i prosječne temperature. Također nije utvrđena statistički značajna pozitivna korelacija između ukupne mase i prosječne temperature (Tablica 18).

**Tablica 18.** Vrijednosti korelacije između prosječne temperature i duljine, odnosno mase.

Var. X & Var. Y	Correlations (obradaprirast.sta) Marked correlations are significant at p < ,05000 (Casewise deletion of missing data)									
	Mean	Std.Dv.	r(X,Y)	r2	t	p	N	Constant dep: Y	Slope dep: Y	Constant dep: X
PROMJENA DUŽINE %	4,08900	3,178428								
temp	13,32198	2,770197	-0,181739	0,033029	-1,13929	0,261715	40	13,96967	-0,158397	6,86691
PROMJENA MASE %	15,45700	8,510195								
temp	13,32198	2,770197	-0,107972	0,011658	-0,66950	0,507227	40	13,86524	-0,035146	19,87583



### 3.3. Organosomatski indeksi kondicije

#### 3.3.1. Udio mase probavne žlijezde u ukupnoj masi tijela ( $H_{i_{wet}}$ )

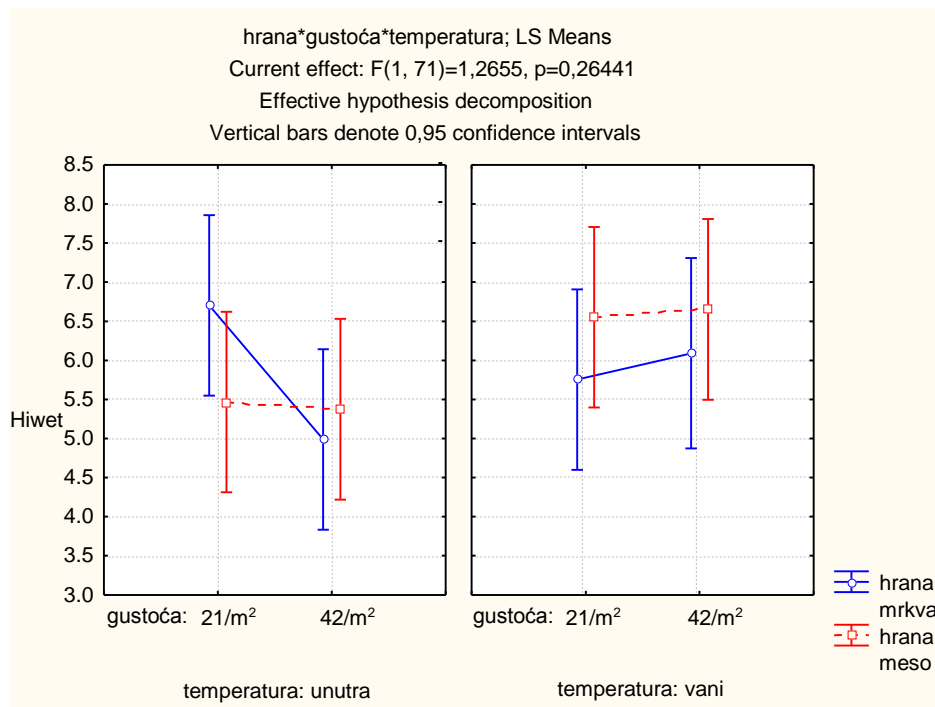
$H_{i_{wet}}$  predstavlja udio mase probavne žlijezde u ukupnoj masi tijela. S obzirom da je probavna žlijezda mjesto probave i skladištenja hranjivih tvari, udio njene mase ukazuje na kondiciju životinje, veći udio žlijezde ukazuje na bolju kondiciju. Napravljena je faktorijalna ANOVA te su rezultati prikazani u tablici 19.

**Tablica 19.** Rezultati faktorijalne ANOVA-e za udio mase probavne žlijezde ovisno o temperaturi, gustoći i ishrani.

	SS	Stupanj Slobode	MS	F	p
hrana	0,325	1	0,325	0,0969	0,756457
gustoća	2,325	1	2,325	0,6931	0,407917
temperatura	7,813	1	7,813	2,3291	0,131417
hrana*gustoća	2,356	1	2,356	0,7024	0,404786
hrana*temperatura	6,017	1	6,017	1,7936	0,184760
gustoća*temperatura	6,187	1	6,187	1,8444	0,178738
hrana*gustoća*temperatura	4,245	1	4,245	1,2655	0,264409

Iz analize se vidi da niti jedan od čimbenika statistički značajno ne utječe na udio mase probavne žlijezde u ukupnoj masi tijela ( $H_{i_{wet}}$ ).

Jedinke raspoređene u manjoj gustoći i hranjene mrkvom u plasteniku pokazuju više  $H_{i_{wet}}$  vrijednosti, dok pri prehrani mesom ni temperatura, ni gustoća nemaju utjecaja na  $H_{i_{wet}}$ , ali vanjska temperatura utječe na više  $H_{i_{wet}}$  vrijednosti (Slika 18).



**Slika 18.** Udio mokre mase probavne žlijezde ( $H_{i\text{wet}}$ ) pri kombinaciji čimbenika hrana, gustoća i temperatura.

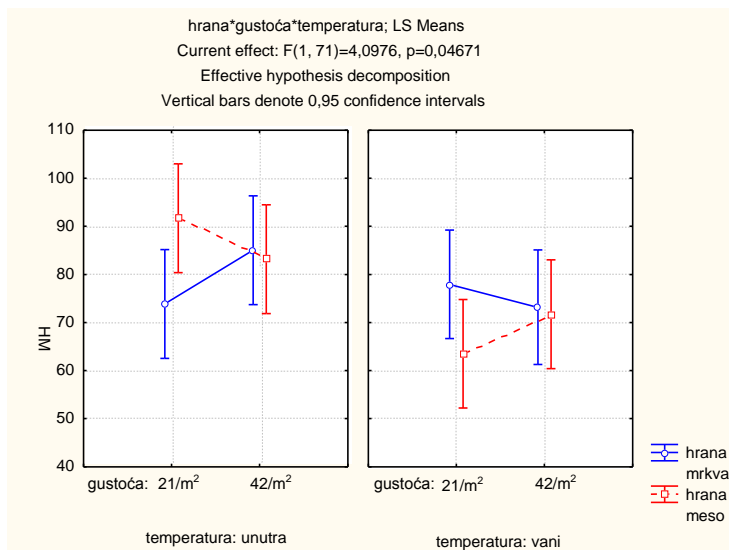
### 3.3.2. Udio vlage u probavnoj žlijezdi (HM)

HM predstavlja udio vlage u probavnoj žlijezdi, manji udio vlage ukazuje na bolji energetski status žlijezde odnosno bolju kondiciju. Napravljena je faktorijalna ANOVA te su rezultati prikazani u Tablici 20.

**Tablica 20.** Rezultati faktorijalne ANOVA-e za udio vlage u probavnoj žlijezdi ovisno o temperaturi, gustoći i ishrani (crvenom bojom su označene statistički značajne vrijednosti).

	SS	Stupanj Slobode	MS	F	P
hrana	0,0	1	0,0	0,000	0,996245
gustoća	46,1	1	46,1	0,144	0,705762
temperatura	2770,8	1	2770,8	8,645	0,004424
hrana*gustoća	55,0	1	55,0	0,171	0,680043
hrana*temperatura	1250,4	1	1250,4	3,901	0,052138
gustoća*temperatura	0,8	1	0,8	0,003	0,960216
hrana*gustoća*temperatura	1313,4	1	1313,4	4,098	0,046707

U unutrašnjim bazenima HM je viši u odnosu na vanjske bazene, a faktorijalna ANOVA također ukazuje na činjenicu da je temperatura čimbenik koji statistički značajno utječe na udio vlage u probavnoj žlijezdi (Tablica 20). Također, kombinacija sva tri čimbenika statistički značajno utječe na HM. Niža temperature također utječe na niži HM pri obje vrste prehrane a gustoća jedinki nema jednoznačni utjecaj na HM pri različitim tretmanima (Slika 19).



**Slika 19.** Udio vlage u probavnoj žlijezdi (HM) pri kombinaciji čimbenika temperatura, gustoća jedinki i hrana.

U unutrašnjim bazenima HM je viši u odnosu na vanjske bazene, a faktorijalna ANOVA također ukazuje na činjenicu da je temperatura čimbenik koji statistički značajno utječe na udio vlage u probavnoj žlijezdi (Tablica 20). Također, kombinacija sva tri čimbenika statistički značajno utječe na HM. Niža temperature također utječe na niži HM pri obje vrste prehrane a gustoća jedinki nema jednoznačni utjecaj na HM pri različitim tretmanima (Slika 19).

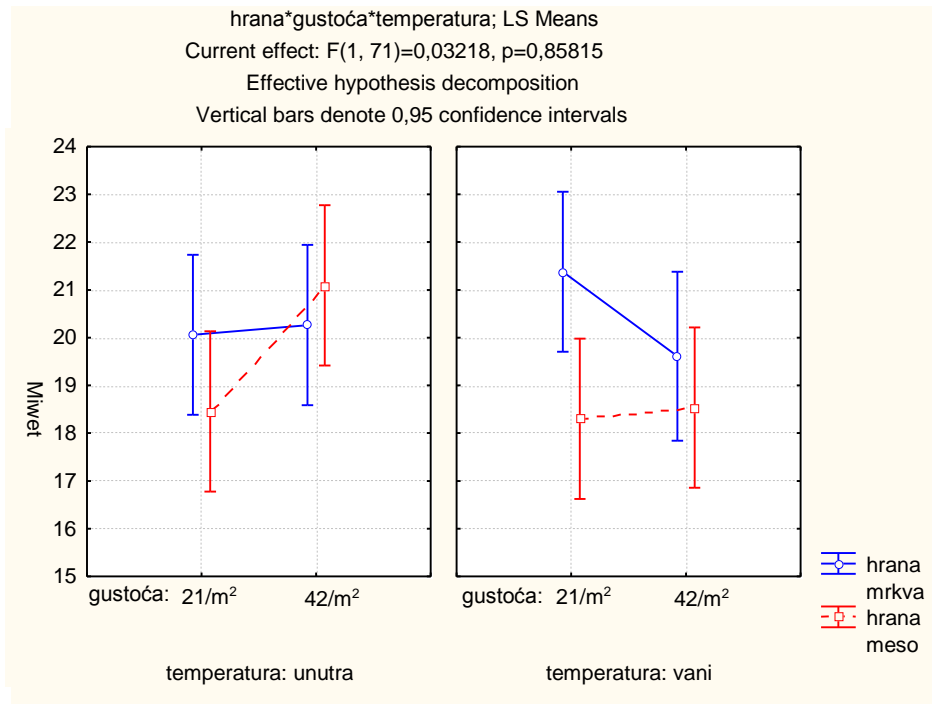
### 3.3.3. Udio mokre mase začanog (repnog) mišića u ukupnoj masi tijela ( $Mi_{wet}$ )

$Mi_{wet}$  predstavlja udio mokre mase začanog, odnosno repnog, mišića u ukupnoj masi tijela, što je važno u uzgoju za konzumnu namjenu rakova, ali je također pokazatelj kondicije. Veći udio mase mišića ukazuje na bolju kondiciju jedinke. Napravljena je faktorijalna ANOVA te su rezultati prikazani u Tablici 21. Hrana je jedini čimbenik koji statistički značajno utječe na  $Mi_{wet}$ .

**Tablica 21.** Rezultati faktorijalne ANOVA-e za udio mase začanog mišića u ukupnoj masi tijela ovisno o temperaturi, gustoći i ishrani (crvenom bojom su označene statistički značajne vrijednosti).

	SS	Stupanj Slobode	MS	F	p
<b>hrana</b>	<b>29,93</b>	<b>1</b>	<b>29,93</b>	<b>4,232</b>	<b>0,043348</b>
<b>gustoća</b>	2,10	1	2,10	0,297	0,587274
<b>temperatura</b>	5,21	1	5,21	0,737	0,393462
<b>hrana*gustoća</b>	24,29	1	24,29	3,435	0,068001
<b>hrana*temperatura</b>	14,05	1	14,05	1,987	0,163014
<b>gustoća*temperatura</b>	23,61	1	23,61	3,339	0,071848
<b>hrana*gustoća*temperatura</b>	0,23	1	0,23	0,032	0,858148

Pri prehrani mrkvom  $Mi_{wet}$  je viši pri nižim temperaturama i manjoj gustoći jedinki, dok je pri prehranom mesom  $Mi_{wet}$  viši pri višim temperaturama i većoj gustoći jedinki (Slika 20).



**Slika 20.** Udio mokre mase začanog mišića u ukupnoj masi tijela ( $Mi_{wet}$ ) pri kombinaciji čimbenika temperatura, gustoća jedinki i hrana.

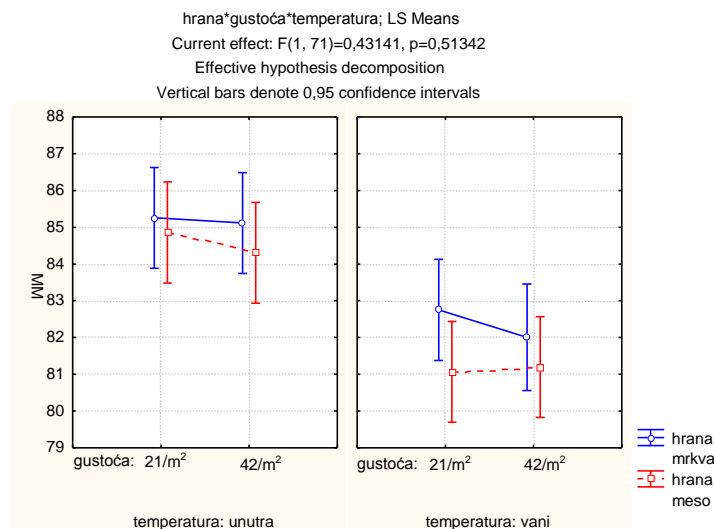
### 3.3.4 Udio vlage u začanom mišiću (MM)

Udio vlage u začanom mišiću (MM) ukazuje na energetske status jedinke, što je udio vlage u mišiću manji, to je bolji energetske status jedinke. Napravljena je faktorijska ANOVA te su rezultati prikazani u Tablici 22. Temperatura je jedini čimbenik koji statistički značajno utječe na vrijednosti MM.

**Tablica 22.** Rezultati faktorijalne ANOVA-e za udio vlage u začanom mišiću (MM) ovisno o temperaturi, gustoći i ishrani (crvenom bojom su označene statistički značajne vrijednosti).

	SS	Stupanj Slobode	MS	F	p
<b>Hrana</b>	16,9	1	16,9	3,6	0,062989
<b>Gustoća</b>	2,1	1	2,1	0,5	0,503353
<b>Temperatura</b>	193,0	1	193,0	40,7	0,000000
hrana*gustoća	0,3	1	0,3	0,1	0,816656
hrana*temperatura	2,1	1	2,1	0,4	0,512222
gustoća*temperatura	0,0	1	0,0	0,0	0,968357
hrana*gustoća*temperatura	2,0	1	2,0	0,4	0,513422

Pri vanjskoj temperaturi udio vlage u začanom mišiću je niži, a time je i energetski status rakova bolji neovisno o ostalim čimbenicima, gustoći i prehrani (Slika 21). Prehrana mesom također dovodi do nižeg udjela vlage u mišiću, neovisno o temperaturi vode i gustoći jedinki (Slika 21).



**Slika 21.** Udio vlage u začanom mišiću (MM) pri kombinaciji čimbenika temperatura, gustoća jedinki i hrana.

## 4. RASPRAVA

### 4.1. Utjecaj tretmana na ukupni prirast duljine i mase

Analize ukupnog prirasta duljine i mase juvenilnih jedinki vrste *Astacus astacus* potvrđuju da su u drugoj godini istraživanja (tj. trećoj godini života račića) prehrana i temperatura, kao i u prvoj godini istraživanja, bile najvažniji čimbenici koji su utjecali na brzinu rasta rakova (Basta, 2014). Rezultati druge godine istraživanja također upućuju na zaključak da testirane gustoće nasada rakova, kao i u prošloj godini nisu imale statistički značajan utjecaj na prirast rakova (Basta, 2014). Kako je tijekom istraživanja zabilježeno učestalo, a energetske vrlo zahtjevno, presvlačenje juvenilnih jedinki, očekivan je, i ujedno zabilježen, veći prirast povezan s mesnom ishranom. Učestalo presvlačenje također iziskuje i više proteina u ishrani. Rezultati ovog istraživanja u skladu su s drugim istraživanjima (Ackefors i sur., 1989) u kojima su također utvrdili da su najveći prirast imale juvenilne jedinke koje su bile prehranjivane mesom. Nadalje, iako su dob i spol najvažniji biotički faktori (Gydemo, 1989; Skurdal i Taugbol, 1994), gustoća (Abrahamsson, 1966; Gydemo i Westim, 1989) te izvor hrane (Ackefors i sur., 1992) su se isto tako pokazali bitnima jer su izrazito bolji rezultati postignuti kada su rakovi bili hranjeni zooplanktonom (González i sur., 2008).

Prema Cukerzisu (1973) optimalna temperatura za rast juvenilnih jedinki vrste *A. astacus* je u rasponu od 15 do 25 °C, dok je Jussila (1997) utvrdio da je optimalni temperaturni raspon za rast riječnih rakova od 17 do 21 °C. Najniža zabilježena temperatura vode pri kojoj jedinke *A. astacus* rastu bila je 10 °C (Söderbäck i sur., 1988), dok je srednja vrijednost letalne (gornje) temperature vode bila 26 °C za jedinke aklimatizirane na nižu temperaturu vode (Kivivuori, 1977).

Na osnovu rezultata analiza provedenih u prvoj godini projekta (na jednogodišnjim jedinkama) utvrđeno je da je najveći prirast u ukupnoj duljini i masi tijela (od lipnja do listopada) postignut u tretmanu: plastenik (viša temperatura vode), hrana životinjskog podrijetla, manja gustoća jedinki (prirast od 48,4% u duljinu i 249,3% u masi) dok je najniži prirast utvrđen u tretmanu: vanjski bazen (niža temperatura vode), hrana biljnog podrijetla, veća gustoća jedinki (prirast od 23,17% u duljinu i 77,19% u masi). Utvrđen je značajan prirast u duljini i masi jedinki

hranjenih mesom te je utvrđena pozitivna korelacija između ukupnog prirasta duljine tijela i temperature vode (Basta, 2014). Već i malo povećanje temperature vode primjenom plasteničkog uzgoja (u prosjeku 1-2 °C u odnosu na vanjske bazene) imalo je za rezultat brži rast juvenilnih rakova (Basta, 2014) te je s namjerom daljnjeg pospješnja rasta jedinki slijedeće godine omogućeno postizanje većih temperatura (razlika 2-8 °C ovisno o mjesecu u godini) uspostavom recirkulacije vode u bazenima unutar plastenika. Rezultati prve godine istraživanja upućuju na zaključak da su u svim kombinacijama primijenjenih uvjeta, prehrana i temperatura bili najvažniji čimbenici koji su utjecali na brzinu rasta rakova dok gustoća nasada nije imala velik utjecaj (Basta, 2014). U prvih godinu dana projekta nije uočena, između različitih uvjeta uzgoja, statistički različita učestalost oštećenja račića uslijed interspecijske kompeticije dok je zdravstveno stanje jedinki bilo zadovoljavajuće (Basta, 2014).

U drugoj godini istraživanja utvrđeno je da je najveći prirast u ukupnoj masi tijela dvogodišnjih račića (134,06 %) postignut u tretmanu: platenik (viša temperatura vode), hrana životinjskog podrijetla, manja gustoća jedinki dok su najvišu duljinu (27,87%) postigle jedinke u tretmanu: platenik (viša temperatura vode), hrana životinjskog podrijetla, veća gustoća jedinki. Najniži prirast u ukupnoj duljini i masi (17,72% i 69,51%) postignut je u tretmanu: vanjski bazen (niža temperatura vode), hrana biljnog podrijetla i veća gustoća jedinki. Tako je potvrđen zaključak iz prve godine istraživanja da su temperatura i vrsta hrane najvažniji čimbenici koji su utjecali na rast rakova.

Gustoća jedinki u nasadu također kao i u prvoj godini istraživanja nije imala statistički značajni utjecaj na prirast iako su Ackefors i sur. (1989) ustanovili da je dobitak na masi 40-90 mg veći kod juvenilnih jedinki koje su bile rjeđe raspoređene u usporedbi sa juvenilnim jedinkama koje su bile gušće raspoređene. Unatoč povećanoj gustoći jedinki, juvenilni rakovi vjerojatno nisu bili u kompeticiji za hranu koje je bilo u dovoljnim količinama za sve jedinke u uzgojnim bazenima.

U drugoj godini istraživanja zabilježena je i veća interindividualna razlika u prirastu jedinki u svim uvjetima što znači da su neke jedinke napredovale brže od drugih. Takve razlike u prirastu jedinki uzrokovale su da uočeno ukupno prosječno povećanje duljine i mase dvogodišnjih rakova nije bilo i statistički značajno. To je, osim genetskim predispozicijama, najvjerojatnije uzrokovano



i pojačanom agresivnošću rakova s njihovim sazrijevanjem gdje agresivnije jedinke uspijevaju doći do više hrane i brže napreduju. Takav odnos s vremenom zasigurno uzrokuje da razlika u brzini rasta odnosno veličini između agresivnijih i manje agresivnih jedinki bude sve veća.

Usprkos zabilježenom dvostrukom povećanju mase rakova od svibnja do listopada 2014. g. usporedbom prve i druge godine uzgoja uočeno je da je ukupan prirast (postotak duljine i mase) dvogodišnjih rakova u 2014. g. bio manji u odnosu na rast jednogodišnjih rakova zabilježen 2013. g. U drugoj godini je tako zabilježeno statistički značajno smanjenje prirasta duljine uzgojenih rakova nego prve godine.

Analizom ukupnih podataka o prirastu u obje istraživane godine dobiven je podatak da je porast mase jedinki hranjenih mesom iz toplije vode statistički značajan u usporedbi s jedinkama hranjenim biljnom hranom (i u bazenima na otvorenom i u plastenicima) što je opet potvrdilo zaključak da su prehrana i temperatura bili najvažniji čimbenici koji su utjecali na brzinu rasta rakova.

## 4.2. Indeksi kondicije

Probavna žlijezda zauzima najveći dio torakalne šupljine rakova i predstavlja glavni energetski izvor za rast i presvlačenje (Vogt, 2002). Ona obavlja funkcije koje u kralježnjaka obavljaju jetra, gušterača i tanko crijevo. Pohranjuje niz metabolita i minerala, luči sve potrebne probavne enzime te je primarno mjesto apsorpcije hranjivih tvari (Vonk, 1960; Hohnke i Scheer, 1970). S obzirom na te uloge, probavna žlijezda je odličan pokazatelj kondicije prirodnih populacija i populacija rakova u uzgoju (Mackeviciene, 1993; Mannonen i Henttonen, 1995; Viikinkoski i sur., 1995; Jussila i Mannonen, 1997; Tsvetnenko i sur., 1999).

Udio mase probavne žlijezde ( $Hi_{wet}$ ) u odraslim jedinkama vrste *A.astacus* utvrđen istraživanjem Lucić (2004) kretao se u rasponu od 5-7 %, dok su u našem istraživanju najviše izmjerene vrijednosti  $Hi_{wet}$  u juvenilnih jedinki tijekom druge godine istraživanja iznosile 6,5 %. Niti jedan od jedan od istraživanih čimbenika statistički značajno ne utječe na  $Hi_{wet}$ , iako je utvrđeno da jedinke hranjene biljnom hranom koje su se nalazile u bazenima pod plastenicima pri većoj gustoći imaju manji  $Hi_{wet}$  što ukazuje na lošiju kondiciju. Pretpostavljamo da su rakovi imali

dovoljno hrane za konzumaciju te u ishrani nije dolazilo do kompeticije. Mora se uzeti u obzir kako vrijednosti  $H_{i_{wet}}$  i  $M_{i_{wet}}$  ovise o ukupnoj masi rakova, a kako su mnogi rakovi izgubili tjelesne privjeske tijekom međusobne borbe prije vaganja, ukupna masa je bila umanjena za masu privjesaka te ta dva parametra nisu u potpunosti pouzdana. Stoga je udio vlage u probavnoj žlijedi (HM) bolji pokazatelj kondicije za koji je utvrđeno da se statistički značajno razlikuje u tretmanima različite temperature i prehrane, ali i pri kombinaciji čimbenika hrane, temperature i gustoće. Manji udio vlage ukazuje na bolji energetske status žlijezde, odnosno bolju kondiciju (Jussila i Mannonen, 1997). Udio vlage je niži pri vanjskoj temperaturi i pri prehrani mesom što ukazuje na to da ovi čimbenici pridonose boljem energetske statusu probavne žlijezde, odnosno poboljšavaju kondiciju juvenilnih rakova u uzgoju. U bazenima pod plastenicima HM je viši, odnosno kondicija lošija, u odnosu na vanjske bazene što je u skladu s rezultatima prošlogodišnjeg istraživanja (Basta, 2014). U suprotnosti s očekivanjima, je podatak da prehrana mesom pri manjoj gustoći umanjuje kondiciju juvenilnih rakova (viši HM) dok je prehrana biljnom hranom pri obje testirane gustoće dovela do bolje kondicije, odnosno nižih HM vrijednosti. Kao i s vrijednostima  $H_{i_{wet}}$ , izgleda da prehrana biljnom hranom pri višim temperaturama (pod plastenicima) doprinosi boljoj kondiciji probavne žlijezde. Iz rezultata istraživanja moglo bi se zaključiti da boljoj kondiciji probavne žlijezde pogoduje prehrana mesom pri nižim temperaturama vode te prehrana biljnom hranom pri višim temperaturama vode. Ipak, moguće je da dobiveni rezultati proizlaze iz činjenice da su u istraživanju testirane juvenilne, a ne odrasle jedinke kao što je to slučaj s većinom ostalih istraživanja (Mackeviciene, 1993; Mannonen i Henttonen, 1995; Viikinkoski i sur., 1995; Jussila i Mannonen, 1997; Tsvetnenko i sur., 1999), a mora se uzeti u obzir i činjenica da je istraživani uzorak od 10 jedinki po tretmanu vjerojatno bio premali za pouzdane rezultate. Nismo žrtvovali veći broj juvenilnih jedinki za analize s obzirom da se radi o zakonom zaštićenoj vrsti i jedinkama koje su uzgojene s primarnom namjenom repopulacije vodotoka Like. Gustoća jedinki testirana u tretmanima nije statistički značajno utjecala na kondicijske parametre probavne žlijezde.

U odraslih jedinki vrste *A. astacus* udio mase mišića zatka u ukupnoj masi tijela kreće se oko 15 % (Lucić, 2004) dok je u juvenilnih jedinki iz našeg istraživanja taj udio bio znatno viši (između 16 i 21 %). Razlog tome može biti ranije spomenuta niža ukupna masa tijela proizašla iz nedostatka tjelesnih privjesaka, ali i znatno manja masa kliješta u juvenilnih nego u odraslih jedinki

što također umanjuje ukupnu masu tijela. Također, kako je u prethodnim istraživanjima utvrđena negativna korelacija između  $M_{i_{wet}}$  i ukupne mase tijela (Huner i sur., 1988; Obradović i sur., 1988) za očekivati je da će juvenilne jedinke imati veći  $M_{i_{wet}}$  nego odrasle jedinke u kojih se s porastom mase tijela  $M_{i_{wet}}$  smanjuje te su stoga rezultati našeg istraživanja u skladu s očekivanjima. Udio začanog mišića u ukupnoj masi tijela ( $M_{i_{wet}}$ ) važan je u uzgoju za konzumnu namjenu rakova, ali je također pokazatelj kondicije, viši udio začanog mišića ukazuje na bolju kondiciju rakova. U našem istraživanju je jedino prehrana statistički značajno utjecala na udio  $M_{i_{wet}}$ , a ostali čimbenici nisu imali statističko značajni učinak. Pri vanjskoj temperaturi i većoj gustoći  $M_{i_{wet}}$  je bio niži, što vjerojatno proizlazi iz pojačanog kretanja u borbi za hranu i prostor koje dovodi do manje mase mišića. Prehrana biljnom hranom u vanjskim bazenima i pri manjoj gustoći jedinki dovela je do viših  $M_{i_{wet}}$  vrijednosti, dok je u istim uvjetima temperature i gustoće uz prehranu mesom  $M_{i_{wet}}$  bio niži. Takvi rezultati bili su u suprotnosti s očekivanjima, tim više što se smatra da juvenilne jedinke riječnih rakova više konzumiraju hranu životinjskog podrijetla, a u kasnijoj dobi prelaze na herbovornu i/ili omnivornu prehranu (Nyström, 2002). Juvenilne jedinke u prirodnom staništu vjerojatno nemaju velik pristup mesnoj hrani bogatoj proteinima jer su jednostavno premale za ubijanje drugih životinja, ali mogu se prehranjivati strvinom, a vjerojatno pribjegavaju i herbivornoj prehrani.

Na udio vlage u mišiću (MM) temperatura je jedini čimbenik koji je doveo do statistički značajnih razlika među tretmanima. Kao i s probavnom žlijezdom, što je MM manji to ukazuje na manje vlage i ujedno bolji energetske status mišića. Pri nižoj temperaturi u vanjskim bazenima MM je bio niži te je stoga energetske status tih jedinki bio bolji. Prehrana mesom također je utjecala na niže MM vrijednosti, bez obzira na ostale čimbenike (temperaturu vode i gustoću jedinki). Kako su rezultati istraživanja organosomatskih indeksa juvenilnih jedinki i u prvoj godini istraživanja (Basta, 2014) također bili nedosljedni i neujednačeni kao i u našem slučaju smatramo da nisu najprikladniji za procjenu kondicije juvenilnih jedinki. Ipak, udio vlage u probavnoj žlijezdi i začanom mišiću (HM i MM) bolji su i pouzdaniji pokazatelji kondicije od udjela mase tih organa u ukupnoj masi tijela ( $M_{i_{wet}}$  i  $H_{i_{wet}}$ ).

## 5. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata istraživanja uzgoja dvogodišnjih juvenilnih rakova vrste *Astacus astacus* možemo zaključiti slijedeće:

- Najveći prirast u ukupnoj masi tijela dvogodišnjih juvenilnih jedinki vrste *A. astacus* postignut je u tretmanu: platenik (viša temperatura vode), hrana životinjskog podrijetla i manja gustoća jedinki (prirast od 134,06%).
- Najveću duljinu postigle su jedinke u tretmanu: platenik (viša temperatura vode), hrana životinjskog podrijetla i veća gustoća jedinki (prirast od 27,87%).
- Najniži prirast u ukupnoj duljini i masi postignut je u tretmanu: vanjski bazen (niža temperatura vode), hrana biljnog podrijetla i veća gustoća jedinki.
- Prehrana i temperatura su najvažniji čimbenici koji su utjecali na brzinu rasta dvogodišnjih riječnih rakova u uzgoju.
- Primjenjene gustoće nasada rakova nisu imale statistički značajan utjecaj na prirast rakova.
- Zabilježena je i veća interindividualna razlika u prirastu jedinki u svim uvjetima uzgoja što ukazuje na to da su neke jedinke napredovale brže od drugih. Takve razlike u prirastu jedinki uzrokovale su da uočeno ukupno prosječno povećanje duljine i mase dvogodišnjih rakova nije bilo i statistički značajno.
- Gubitak tjelesnih privjesaka uslijed međusobnih borbi juvenilnih jedinki onemogućio je pouzdanu analizu kondicijskih indeksa koji uzimaju u obzir ukupnu masu jedinki ( $M_{i_{wet}}$  i  $H_{i_{wet}}$ ).
- Indeksi koji pokazuju udio vlage u probavnoj žlijezdi i začanom mišiću (HM i MM) pokazali su da su za energetske status juvenilnih jedinki najznačajniji čimbenici temperatura i hrana.
- Energetski status bio je bolji u jedinki hranjenih mesom te jedinki koje su boravile u vanjskim bazenima s nižom temperaturom vode.
- Za procjenu kondicije juvenilnih jedinki pouzdaniji su parametri koji ukazuju na udio vlage u organima (MM i HM) od onih koji su utemeljeni na udjelu mase organe u ukupnoj masi tijela.

## 6. LITERATURA

- ABRAHAMSSON S.A.A. (1966) Dynamics of an isolated population of the crayfish *Astacus astacus* Linne. *Oikos* 17: 96–107.
- ACKEFORS H., LINDQVIST O.V. (1994) Cultivation of freshwater crayfishes in Europe. U: J.V. Huner (Ur.) *Freshwater Crayfish Aquaculture*. Food Products Press, The Haworth Press, New York; 157–216.
- ACKEFORS H., GYDEMO R., WESTIN L. (1989) Growth and survival of juvenile crayfish, *Astacus astacus* in relation to food and density, U: De Pauw N. et al. (Ur.) *Aquaculture: a biotechnology in progress*. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium; 1: 365-373.
- ACKEFORS H., CASTELL J.D., BOSTON L.D., RÄTY P., SVENSSON M. (1992) Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacus astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein carbohydrate and lipid. *Aquaculture* 104: 341-356.
- BASTA J. (2014) Utvrđivanje optimalnih uvjeta za rast juvenilnih riječnih rakova. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.
- BOHMAN P., NORDWALL F. AND EDSMAN L. (2006) The effect of the large-scale introduction of signal crayfish on the spread of crayfish plague in Sweden. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*. 380-381: 1291-1302.
- BØHN T, TERJE SANDLUND O, AMUNDSEN P.A., PRIMICERIO R. (2004) Rapidly changing life history during invasion. *Oikos* 106: 138–150.
- BURTON O.J., PHILLIPS B.L., TRAVIS J.M.J. (2010) Trade-offs and the evolution of life-histories during range expansion. *Ecology letters* 13: 1210–1220.
- CARMONA-OSALDE C., RODRÍGUEZ-SERNA M., OLVERA-NOVOA M.A., GUTIÉRREZ-YURRITA P.J. (2004) Gonadal development, spawning, growth and survival of the crayfish *Procambarus llamas* at three different water temperature. *Aquaculture* 232: 305-316.
- COLLINS N.M., PYLE R.M., WELLS, S.M. (1983) *The IUCN Invertebrate Red Data Book*. IUCN, Gland.

- CRANDALL K.A., BUHAY J.E. (2008) Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae, and Parastacidae-Decapoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 295-301.
- CUKERZIS J. (1973) Biologische Grundlagen der Methode der künstlichen Aufzucht der Brut des *Astacus astacus* L. *Freshwater Crayfish* 2: 188-201.
- CUKERZIS J.M. (1988) *Astacus astacus* in Europe. U: Holdich D.M. i Lowery R.S. (Ur.) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Croom Helm, London; 309-340.
- FAO (2014) *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome. 223 str.
- FÜREDER L., EDSMAN L., HOLDICH D., KOZÁK P., MACHINO Y., PÖCKL M., RENAI B., REYNOLDS J., SCHULZ H., SCHULZ R., SINT D., TAUGBOL T., TROUILHÉ M. (2006) Indigenous crayfish habitat and threats. U: Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noel, P.Y., Reynolds, J.D., Haffner, P.H. (Ur.) *Atlas of crayfish in Europe*, pp. 24-47. Publications Scientifiques du Muséum National d'Histoire Naturelle (Collection Patrimoines Naturels Vol. 64), Paris.
- GHERARDI F. (2002) Behaviour. U: Holdich D. M. (Ur.) *Biology of freshwater crayfish*. Blackwell Science, Oxford; 258-291.
- GONZÁLEZ Á., CELADA J.D., GONZÁLEZ R., GARCÍA V., CARRAL J.M., SÁEZ-ROYUELA M. (2008) *Artemia* nauplii and two commercial replacements as dietary supplement for juvenile signal crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Astacidae), from the onset of exogenous feeding under controlled conditions. *Aquaculture* 281: 83-86.
- GUTOWSKY L.F.G., FOX M.G. (2012) Intra-population variability of life-history traits and growth during range expansion of the invasive round goby, *Neogobius melanostomus*. *Fisheries Management and Ecology* 19: 78–88.
- GYDEMO R. (1989) Reproduction and growth in the noble crayfish *Astacus astacus* L. PhD thesis, University of Stockholm, Sweden.
- GYDEMO R., WESTIN L. (1989) Growth and survival of juvenile *Astacus astacus* L. at optimized water temperature, U: De Pauw N. et al. (Ur.) *Aquaculture: a biotechnology in progress* 1: 383-391.
- HARLIOĞLU M.M. (2004) The present situation of freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) in Turkey. *Aquaculture* 230: 181-187.

- HOHNKE L., SCHEER B. T. (1970) Carbohydrate metabolism in crustaceans. U: Florkin M., Scheer B. T. (Ur.) Chemical Zoology Academic Press, New York. 5: 147-164.
- HOLDICH D.M. (2002) Biology of freshwater crayfish, Blackwell Science, Oxford.
- HOLDICH D.M., LOWERY R.S. (1988) Freshwater crayfish-biology, management and exploitation. University Press, Cambridge.
- HESSEN D.O., TAUGBØL T., FJELD E., SKURDAL J. (1987) Egg development and lifecycle timing in the noble crayfish (*Astacus astacus*). *Aquaculture* 64: 77–82.
- HUNER J.V., LINDQVIST O.V., KÖNÖNEN H. (1988) Comparison of morphology and edible tissues of two important crayfishes, the noble crayfish, *Astacus astacus* Linné, and the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard) (Decapoda, Astacidae and Cambaridae). *Aquaculture* 68: 45-57.
- HUNER J.V., LINDQVIST O.V. (1986) A stunted crayfish *Astacus astacus* population in Central Finland. *Freshwater Crayfish* 6:156-165.
- JUSSILA J. (1997) Physiological responses of Astacid and Parastacid crayfishes (Crustacea: Decapoda) to conditions of intensive culture. Doctoral Dissertation, University of Kuopio, Finland; 17-137.
- JUSSILA J., MANNONEN A. (1997) Marron (*Cherax tenuimanus*) and noble crayfish (*Astacus astacus*) hepatopancreas energy and its relationship to moisture content. *Aquaculture* 149: 157-161.
- KATARIA M. (2004) A Cost-Benefit analysis of introducing the non-native species signal crayfish. BioEcon, London.
- KATAVIĆ I. (2006) Akvakultura u svijetu. *Drypis* 2(6): 1.
- KIVIVUORI L. (1977) Temperature acclimation of the motor activity in the crayfish *Astacus astacus*. *Freshwater Crayfish* 4: 265-274.
- KLOBUČAR G., MAGUIRE I. (2011): Studija izvodivosti uzgajališta slatkovodnih rakova vrste *Astacus astacus* i *Austropotamobius pallipes*. Zagreb.
- KULESH V, ALEKHNOVICH A., ABLOV S. (1999) Distribution and size structure of noble crayfish, *Astacus astacus* (L.), populations in Belarus. *Freshwater Crayfish* 12: 835–45.

- LOPEZ D.P., JUNGMAN A.A., REHAGE J.S. (2012) Nonnative African jewelfish are more fit but not bolder at the invasion front: a trait comparison across an Everglades range expansion. *Biological Invasions* 14: 2159–2174.
- LOWERY R. S. (1988) Growth, moulting and reproduction. U: Holdich D.M., Lowery R.S. (Ur) *Freshwater crayfish: biology, management and exploitation*. Chapman & Hall, London; 83-113.
- LUCIĆ A. (2004) Fiziološke osobitosti triju vrsta slatkovodnih rakova iz porodice Astacidae, doktorska disertacija, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb.
- LUCIĆ A., HUDINA S., FALLER M., CERJANEC D. (2012) A comparative study of the physiological condition of native and invasive crayfish in Croatian rivers. *Biologia Section Zoology* 67: 1-8.
- MACKEVICIENĖ G. (1993) Physiological and biochemical fundamentals of ecological characteristics of crayfish in Lithuanian water bodies. Proceedings of the 31<sup>st</sup> meeting of the International working group on the project "Species and its productivity in the distribution area". Vilnius: 21-24
- MACKEVICIENĖ G., MICKĖNIENĖ L., BURBA A., MAŽEIKA V. (1999) Reproduction of Noble Crayfish *Astacus astacus* (L.) in Semi-Intensive Culture. *Freshwater Crayfish* 12: 462-470.
- MAGUIRE I. (2010) Biološka raznolikost Hrvatske - Priručnici za inventarizaciju i praćenje stanja: Slatkovodni rakovi; DZZP Zagreb.
- MAGUIRE I., GOTTSTEIN-MATOČEC S. (2004) The distribution pattern of freshwater crayfish in Croatia. *Crustaceana* 77(1): 25-49.
- MAGUIRE I., KLOBUČAR G. (2003) Appearance of *Orconectes limosus* in Croatia. *Crayfish News* 3(25): 7.
- MAGUIRE I., KLOBUČAR G., MARČIĆ Z., ZANELLA D. (2008) The first record of *Pacifastacus leniusculus* in Croatia. *Crayfish News* 30(4): 4.
- MANNONEN A., HENTTONEN P., (1995) Some observations on the condition of crayfish (*Astacus astacus* L.) in a river affected by peat mining in central Finland. *Freshwater Crayfish* 10: 274-281.
- MILLAR J. S., HICKLING G.J. (1990) Fasting endurance and the evolution of mammalian body size. *Functional Ecology* 4:5–12.
- NYSTRÖM P. (2002) Ecology. U: Holdich D.M. (Ur.) *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science: 192-236.



- OBRADOVIĆ J., SEKULIĆ B., RAC M. (1988) Muscle and hepatopancreas participation in the body weight of the crayfish *Austropotamobius torrentium*. *Aquaculture* 72(3-4): 329-339.
- PARSONS P.A. (2005) Environments and evolution: interactions between stress, resource inadequacy and energetic efficiency. *Biological Reviews*. 80: 589–610.
- PHILLIPS B., BROWN G., SHINE R. (2010) Life-history evolution in range-shifting populations. *Ecology* 91: 1617–1627.
- PURSIAINEN M., ERKAMO E. (1991) Low temperature as limiting factor for the noble crayfish (*Astacus astacus*) populations. *Finnish Fisheries Research* 12: 179-185.
- REYNOLDS J. D. (2002) Growth and reproduction. U: Holdich D.M. (Ur.) *Biology of Freshwater Crayfish*. Oxford: Blackwell Science; 152-191.
- RHODES C.R., HOLDICH D.M. (1979) On size and sexual dimorphism in *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet). A step in assessing the commercial exploitation potential of the native British Freshwater Crayfish. *Aquaculture* 17: 345–358.
- RUKKE, N.A. 2002. Effects of low calcium concentrations on two common freshwater crustaceans, *Gammarus lacustris* and *Astacus astacus*. *Functional Ecology* 16: 357-366.
- SKURDAL J. TAUGBØL T. (1994) Do we need harvest regulations for European crayfish? *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 4: 461–485.
- SKURDAL J., TAUGBØL T. (2002): *Astacus* U: Holdich, D. M. (ed.), *Biology of freshwater crayfish*. Blackwell Science, Oxford; 467-510.
- SÖDERBÄCK B., APPELBERG M., ODELSTRÖM T., LINDQVIST O. (1988) Food consumption and growth of the crayfish *Astacus astacus* L. in laboratory experiments. *Freshwater Crayfish* 8: 145-153.
- SOUTY-GROSSET C., HOLDICH D.M., NOËL P.Y., REYNOLDS J.D., HAFFNER P. (2006) *Atlas of Crayfish in Europe*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- TAUGBØL T. (1987) Crayfish culture in Norway. U: Skurdal J., Westman K., Bergan P. I. (Ur) 1987. *Crayfish culture in Europe. Report from the Workshop on Crayfish Culture, 16-19 Nov. 1987, Trondheim, Norway*; 101-107.
- TAUGBØL T., SKURDAL J., FJELD E. (1988) Maturity and fecundity of *Astacus astacus* females in Norway. *Freshwater crayfish* 7: 107-114.

- TANTULO U., FOTEDAR R. (2006) Comparison of growth, osmoregulatory capacity, ionic regulation and organosomatic indices of black tiger prawn (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798) juveniles reared in potassium fortified inland saline water and ocean water at different salinities. *Aquaculture* 258(1-4): 594-605.
- TSVETNENKO E., BROWN J., GLENCROSS B.D., EVANS L.H. (1999) Measures of condition in dietary studies on western rock lobster post-juvvenuli. Proceedings, International Symposium on Lobster Health Management, Adelaide; 100-109.
- VOGT G. (2002) Functional anatomy. U: D.M. Holdich (Ur.) *Biology of Freshwater Crayfish*. Oxford: Blackwell Science; 53-146.
- VONK H.J. (1960) Digestion and metabolism U: Waterman T.H. (Ur.) *The physiology of crustacea*. Academic Press, New York; 291-316.
- VIKINKOSKI T., HENTONNEN P., MATINVESI J., KÖNÖNEN H., SUNTIOINEN (1995) The physiological condition and edibility of noble crayfish (*Astacus astacus* L.) in warm waste waters of a steel works in northwest Finland. *Freshwater Crayfish* 10: 304-321.
- WESTMAN K. (1991) The crayfish fishery in Finland – its past, present and future. *Finnish Fisheries Research* 12: 187–216.
- WESTMAN K. (2002) Alien crayfish in Europe: negative and positive impacts and interactions with native crayfish. U: Leppakowski, E., Gollasch, S. and Olenin, S. (Ur.) *Invasive aquatic species of Europe: distribution, impacts and management*, pp. 76-95. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- WESTMAN K., ACKEFORS H., NYLUND C. (1992) *Crayfish Biology, Aquaculture and Harvest*. Kiviksgården, Stockholm, Sweden.
- WESTMAN K., PURSIAINEN M., WESTMAN P. (1990) Status of crayfish stocks, fisheries, diseases and culture in Europe. Finnish Game and Fisheries Research Institute, Report No 3, Helsinki, Finland.
- WICKINS J. F., LEE D. O'C. (2002) *Crustacean Farming Ranching and Culture*. Oxford (United Kingdom), Blackwell Science, 2002, 2. ed.
- YAMAGUCHI T. (2001) Seasonal change of the hepatopancreas index in the males of the fiddler crab, *Uca lactea*. *Crustaceana* 74: 627-634.

<http://www.fao.org/aquaculture/en/>

[http://www.nmfs.noaa.gov/aquaculture/what\\_is\\_aquaculture.html](http://www.nmfs.noaa.gov/aquaculture/what_is_aquaculture.html)

## 7. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 18. veljače 1978. godine u Zagrebu gdje sam završio osnovnu i srednju školu (opća gimnazija). 1998. godine upisao sam preddiplomski studij Biologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagreb, smjer diplomirani inženjer molekularne biologije. Odlično se služim engleskim jezikom kojeg sam učio na raznim tečajevima u trajanju od osam godina.