Reproduktivne preferencije gavčice, Rhodeus amarus (Bloch, 1872) prema školjkašima iz porodice Unionidae

Prenz, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:485326

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Petra Prenz

Reproduktivne preferencije gavčice, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) prema školjkašima iz porodice Unionidae

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Ovaj rad, izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Jasne Lajtner i neposrednim voditeljstvom dr.sc. Zorana Marčića, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra eksperimentalne biologije.

Zahvale

Najtoplije se želim zahvaliti mentorici izv. prof. dr. sc. Jasni Lajtner na strpljenju, stručnim savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovog rada. Hvala Vam na posvećenom vremenu i znanju.

Zahvaljujem se pomoćnom voditelju dr. sc. Zoranu Marčiću, prof. biol, na predloženoj temi, brojnim stručnim savjetima i neizmjernom strpljenju tijekom istraživanja. Hvala Vam puno.

Također se puno zahvaljujem Svenu Horvatiću i Romanu Karloviću na velikoj pomoći prilikom sakupljanja uzoraka i Siniši Vajdiću na pomoći prilikom rada u laboratoriju i održavanju riba i školjkaša.

Zahvaljujem se obitelji, a najviše svojoj Majci Suzani, koja mi je omogućila ovaj bezbrižni studentski život, na neizmjernoj podršci i vjerovanju. Hvala mama.

I za kraj zahvaljujem mojim kolegama, prijateljima, i dečku Goranu. Hvala vam na uljepšavanju mojih studentskih dana, ne bi to bilo to bez vas.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek Diplomski rad

Reproduktivne preferencije gavčice, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) prema školjkašima iz porodice Unionidae

Petra Prenz
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

SAŽETAK

Gavčica, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782), je slatkovodna riba široko rasprostranjena u Europi koja koristi školjkaše iz porodice Unionidae za polaganje jaja (ovipoziciju) te embrionalni razvoj. Poznato je da gavčica koristi veći broj vrsta školjkaša iz ove porodice kao domaćine za ovipoziciju, ali s različitom razinom preferencije. Cilj ovog istraživanja bio je pokazati koje vrste školjkaša gavčica izabire kao najprikladnije domaćine, s posebnim naglaskom na autohtone i invazivne vrste školjkaša. Istraživanje je provedeno kroz dva eksperimenta (dugoročni i kratkoročni) sa živim ribama i pet vrsta školjkaša (autohtone vrste *Anodonta anatina, Unio crassus, U. pictorum* i *U. tumidus* te invazivna vrsta *Sinanodonta woodiana*). Dugoročni eksperiment trajao je tri tjedna i korišten je samo za dokazivanje preferencije, a kratkoročni (24 satni) za potvrđivanje preferencije domaćina i isključivanje mogućnosti iskrivljenih rezultata nastalih zbog školjkaševa izbacivanja embrija gavčice. Rezultati oba eksperimenta su pokazali da postoji značajna razlika u odabiru školjkaša. Gavčice su za ovipoziciju odabirale sve autohtone vrste, ali ne i invazivnu vrstu školjkaša. Najveća brojnost jaja i ličinki gavčice zabilježena je kod vrste *Anodonta anatina,* no rezultati iskazani na jedinicu površine škrga pokazali su da je vrsta *Unio crassus* njihov prvi izbor. Unatoč trenutnom konzervacijskom statusu gavčice (najmanje zabrinjavajući), ona potencijalno može postati ugrožena, ako se ne spriječi širenje invazivne vrste *S.woodiana* s kojom su europski autohtoni školjkaši u direktnoj kompeticiji.

(44 stranica, 13 slika, 6 tablica, 64 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: ribe, školjkaši, reprodukcija, parazitizam, ovipozicija, *Rhodeus amarus*

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner
Neposredni voditelj: dr.sc. Zoran Marčić
Ocjenitelji: 1. izv. prof. dr. sc. Jasna Lajtner
2. izv. prof. dr. sc. Ana Galov
3. doc. dr. sc. Renata Šostarić

Rad je prihvaćen: 14. 09. 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

Reproductive preferences of the European bitterling, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782), according to the bivalves of the Unionidae family

PETRA PRENZ
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

ABSTRACT

Bitterling, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872), is a freshwater fish widely spreaded in Europe which uses unionid mussels for oviposition and embryonic development. It has been known that bitterling uses a wider range of species from this family as hosts for oviposition, but with different preference. The point of this study was to show what species of mussels bitterlings choose as the most appropriate hosts, with observations made among native and invasive mussel species. The study conducted two experiments (long-term and short-term experiment) with live fishes and five species of mussels (native species: *Anodonta anatina, Unio crassus, U. tumidus and U. pictorum*, and invasive species *Sinanodonta woodiana*). Long-term experiment lasted for three weeks and was used only to proove existence of preference, and short-term experiment (24 h) to affirmate host preferences and to exlude possible errors in results, due to mussels ability to eject bitterling eggs and embryos. Results of both experiments showed that there is a significant difference in mussel choice. Bitterling spawned only in native species of mussels. The greatest number of bitterling eggs and embryos was noted for A.anatina, but the results shown on the surface unit of the mussels gills showed that they preffered most U.crassus. Despite the current conservation status of bitterling (LC-Least concern), it can potentialy become vunerable if the invasion of S. woodiana, with which the European native mussels are in direct competition, does not get prevented.

(44 pages, 13 figures, 6 tables, 64 references, original in Croatian)
Thesis deposited in Central Biological Library.

Key words: fishes, mussels, reproduction, parasite, oviposition, *Rhodeus amarus*

Supervisor: Jasna Lajtner PhD, Assoc. Prof.
Assistant supervisor: Zoran Marčić, PhD
Reviewers: 1. Jasna Lajtner PhD, Assoc. Prof
2. Ana Galov PhD, Assoc. Prof
3. Renata Šostarić PhD, Asst. prof.

Thesis accepted: 14. 09. 2017.

Sadržaj

1. UVOD ... 1
1.1. RAZNOLIKOST RIBA ... 1
1.2. SLATKOVODNE RIBE ... 2
1.3. SISTEMATIKA VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) ... 3
1.4. PODRUČJE RASPROSTRANJENOSTI VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) ... 5
1.5. OBILJEŽJA VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) ... 5
1.5.1. OBILJEŽJA LIČINKI VRSTE *Rhodes amarus* (Bloch, 1872) ... 7
1.6. RAZNOLIKOST ŠKOLJKAŠA ... 10
1.7. OBILJEŽJA ŠKOLJKAŠA IZ PORODICE UNIONIDAE ... 11
1.7.1. Anodontini – *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) ... 13
1.7.2. *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) ... 13
1.7.3. Unionini – *Unio* spp. ... 14
1.8. ODNOS IZMEĐU GAVČICA I UNIONIDNIH ŠKOLJKAŠA ... 15
1.9. CILJ ISTRAŽIVANJA ... 17
2. MATERIJALI I METODE ... 18
2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA ... 18
2.2. UZORKOVANJE ... 19
2.3. DUGOROČNI EKSPERIMENT ... 20
2.4. KRATKOROČNI EKSPERIMENT ... 21
2.5. METODE ... 21
2.6. STATISTIČKA ANALIZA ... 22
3. REZULTATI ... 23
3.1. REPRODUKTIVNE PREFERENCIJE GAVČICE PREMA UNIONIDNIM ŠKOLJKAŠIMA U DUGOROČNOM EKSPERIMENTU ... 23
3.2. REPRODUKTIVNE PREFERENCIJE GAVČICE PREMA UNIONIDNIM ŠKOLJKAŠIMA U KRATKOROČNOM EKSPERIMENTU ... 26
3.3. RAZVOJNI STADIJI LIČINKI *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) ... 29
3.4. REPRODUKTIVNO PONAŠANJE ... 30
4. RASPRAVA ... 32
5. ZAKLJUČCI ... 36
6. LITERATURA ... 37
7. ŽIVOTOPIS ... 43

1. UVOD

1.1. RAZNOLIKOST RIBA

Ribe su kao skupina, vrstama najbrojnija skupina kralješnjaka. Njihov broj čini više od pola broja svih poznatih vrsta kralješnjaka (Nelson, 2006), a svake godine se taj broj poveća za oko 300 novih vrsta (Kottelat i Freyhof, 2007). Riba, dakle, ima približno koliko i svih ostalih vrsta kralješnjaka zajedno. Prema Holčiku (1989), ribe su s obzirom na višu taksonomiju, sastav vrsta i zoogeografiju najslabije poznata skupina kralješnjaka, što je povezano s njihovom ogromnom raznolikosti. Mnogim skupinama riba brojnost vrsta raste svakodnevno zbog novoopisanih vrsta, dok s druge strane neke vrste vjerojatno izumru i prije nego budu opisane. Do sada je opisano oko 28000 vrsta riba (www.fishbase.org), a procjenjuje se da na svijetu ima ukupno 32500 vrsta riba (Nelson, 2006). „Ribe“ kao pojam ne predstavljaju sistematsku kategoriju, već je to naziv za skupinu životinja koja uključuje dva nadrazreda unutar potkoljena Vertebrata (kralješnjaci) – Agnatha (besčeljusti) i Gnathostomata (čeljustousti). Prema Nelsonu (2006) sve poznate vrste riba su raspoređene unutar 515 porodica i 62 reda, a oko 33% svih vrsta se nalazi u devet najvećih porodica. Bez obzira na njihovu ogromnu raznolikost u morfologiji, biologiji, ekologiji te staništima koja naseljavaju, ribe se definiraju kao poikilotermni kralježnjaci koji žive u vodenom ekosustavu, imaju razvijene škrge kao organe za disanje, a udovi su im u obliku peraja (Nelson, 2006).

Nadalje, ribe su također i vrlo stara skupina kralješnjaka. Široko su rasprostranjene u gotovo svim vodama na Zemlji. Nalazimo ih u visokoplaninskim potocima i jezerima, pa sve do najvećih morskih dubina u Marijanskoj brazdi. Susrećemo ih na temperaturama ispod 0 ° C ispod antarktičkog leda, pa sve do termalnih jezera na 42,5 °C. Mnoge vrste toleriraju velike temperaturne raspone (euritermalne vrste) ili široke raspone saliniteta (eurihaline vrste) (Nelson, 2006).

Među ribama postoji i jako velika raznolikost u morfologiji, pa tako postoje vrste koje u odrasloj dobi dosežu duljinu od samo 8 mm, a neke vrste (hrskavičnjače) dosežu veličine i do 12 m. Velika je raznolikost i u obojenju i obliku tijela. Zbog različitih prilagodbi na uvjete života, postoje vrste koje nemaju oči ili ljuske, a peraje mogu biti različito modificirane ili

katkad i nedostaju. Kao i u morfologiji, ribe se razlikuju i u ponašanju. Neke putuju u plovama, druge su izrazito teritorijalne, a neke vrste pokazuju i brigu za mlade. Također su prilagođene i na različite vrste prehrane, a neke su i paraziti na drugim vrstama ili čak na ženkama vlastite vrste. Za razliku od većine, neke vrste imaju unutarnju oplodnju, a dok neke ribe pokazuju brigu za potomstvo, druge stvaraju milijune jajašaca koje odmah napuštaju bez obzira na predatore (Nelson, 2006). Kod riba postoji mnogo različitih reproduktivnih strategija te sve imaju isti cilj, a to je osiguravanje opstanka što većeg broja potomaka. Neke ribe čuvaju svoje mlade u ustima, neke grade gnijezda različitih oblika, a neke koriste žive organizme kako bi u njima inkubirali svoja jaja. Upravo su najzanimljivije one strategije koje uključuju drugu vrstu ili organizam u simbiozi, bilo samo kao mjesto odlaganja jajašaca ili služe kao prehrana za njihovu mlađ.

1.2. SLATKOVODNE RIBE

U svijetu je trenutno opisano oko 14000 vrsta slatkovodnih riba, zajedno s diadromnim vrstama (Kottelat i Freyhof, 2007), a svake godine u slatkovodnim sustavima se otkrije oko 200 novih vrsta. Iako slatke vode predstavljaju tek mali postotak ukupne vodene površine Zemlje, gotovo polovina riba su primarno slatkovodne vrste. Kada se uzme u obzir taj veliki udio slatkovodnih vrsta u ukupnom broju riba, te da slatke vode zauzimaju samo 0.01 % ukupnog volumena vode na Zemlji (Berra, 2001) očito je da u niti jednom drugom staništu kralješnjaci nisu postigli toliku raznolikost i evoluciju kao ribe u slatkim vodama (Holčik, 1989). Velik broj slatkovodnih vrsta je posljedica veće izoliranosti riječnih sustava i jezera u odnosu na morska staništa (Berra, 2001). Najveći broj slatkovodnih vrsta riba, kao i morskih pojavljuje se u tropskom pojasu. Suprotno od toga ihtiofauna Europe (posebno zapadne), kao i cijelog holarktika je siromašna vrstama zbog utjecaja posljednjeg ledenog doba (Nelson, 2006). Europska slatkovodna ihtiofauna broji ukupno 546 autohtonih vrsta riba, te još 33 unesene vrste (Kottelat i Freyhof, 2007).

Raznolikost hrvatske ihtiofaune, s obzirom na bogatstvo vrsta i endema, svrstava Hrvatsku u jednu od ihtiološki najraznolikijih zemalja Europe. Veliko bogatstvo vrsta u Hrvatskoj omogućeno je geografskim položajem koji obuhvaća dva riječna sustava (jadranski i crnomorski), osebujnim krškim staništima, izoliranosti staništa, te činjenici da južni dio Hrvatske, a posebno dalmatinska regija s jadranskim slijevom nisu bili zahvaćeni procesom

glacijacije (Mrakovčić i sur., 2006). U slatkim vodama Hrvatske živi oko 140 ribljih svojti od kojih je ukupno 52 endema. Stoga Hrvatska ima jednu od najbogatijih slatkovodnih ihtiofauna u Europi. Crnomorski ili dunavski slijev Hrvatske nastanjuje 87 ribljih svojti od čega je 67 zavičajnih (autohtonih) vrsta. Preostalih 20 vrsta su strane (alohtone) vrste, koje su unesene ili su se samostalno proširile u hrvatska slatkovodna staništa. U jadranskom slijevu obitava 80 vrsta. U rijeke ovoga slijeva uneseno je 10 stranih vrsta, ali i 13 vrsta koje su u prošlosti naseljavale samo vode dunavskog slijeva (Ćaleta i sur., 2015).

1.3. SISTEMATIKA VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872)

Sistematika vrste gavčica, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872). Gavčica je prikazana na slici 1.

CARSTVO: Animalia (životinje)

KOLJENO: Chordata (svitkovci)

POTKOLJENO: Vertebrata (kralješnjaci)

RAZRED: Actinopterygii (zrakoperke)

RED: Cypriniformes (šaranke)

PORODICA: Cyprinidae (šarani)

POTPORODICA: Acheilognathinae (gavčice)

ROD: *Rhodeus*



Slika 1. Gavčica, *Rhodeus amarus* (Bloch 1872) (foto Mustafić)

Najveća i najuspješnija skupina riba su Actinopterygii (zrakoperke). Danas postoji preko 44 reda, 453 porodice sa 4289 rodova i preko 26891 vrsta opisanih unutar ovog razreda ali kako istraživanja sve više napreduju mijenja se i taksonomija i broj poznatih vrsta (Nelson, 2006).

Šaranke (Cypriniformes) je red riba iz razreda zrakoperki sa najvećom rasprostranjenosti u jugoistočnoj Aziji. Prirodno su rasprostranjene gotovo na cijelom svijetu osim u Australiji i Južnoj Americi. Red sadrži šest porodica, 321 rod sa oko 3268 vrsta (Nelson, 2006). Ribe ovog reda se izdvajaju od ostalih skupina jer posjeduju Webberov aparat tj. sustav košćica koji omogućuje prenošenje zvuka povezivanjem plivaćeg mjehura i unutarnjeg uha (Berra, 2001). Po svom postanku Webberov aparat čine odijeljeni dijelovi 4-5 prednja kralješka koji omogućuje ovim ribama bolji sluh koji je osobito koristan po noći ili u vrlo mutnim vodama. Upravo Webberov aparat je moguće jedan od glavnih razloga zašto su šaranke dominantne u plitkim slatkim vodama i zašto ih nema u morskim staništima. Ribe ovog reda se također razlikuju od ostalih riba jer nikada nemaju zube u ustima te im je gornja čeljust najčešće pruživa. Većina vrsta nema ljusaka na području glave i imaju tri branhiostegalne šipčice, te u leđnoj i podrepnoj peraji obično imaju bodljaste šipčice, a većina vrsta nema masnu peraju (Nelson, 2006).

Porodicu Cyprinidae (šarani) čine dvije trećine vrsta iz reda šaranki. Ova porodica dominira slatkim vodama Sjeverne Amerike, Afrike i Euroazije (Nelson, 2006). To je najveća porodica uglavnom slatkovodnih riba sa oko 2100 vrsta (Kottelat i Freyhof, 2007) koje se međusobno razlikuju po obliku tijela, staništu u kojem žive te načinu života. Pripadnici ove porodice imaju ždrijelne zube kojima usitnjuju hranu trljajući je o nastavak na zatiljnom dijelu lubanje (Kottelat i Freyhof, 2007). Posebna biološka značajka gotovo cijele skupine jest tolerancija na velike temperaturne raspone, a mnoge vrste dobro podnose i fluktuacije u količini otopljenog kisika u vodi (Billard, 1999). Što se tiče prehrane ova porodica je vrlo raznolika pa se ove ribe hrane na svim trofičkim razinama. Ovisno o vrsti, hrane se višim biljkama, fitoplanktonom, zooplanktonom, zoobentosom, detritusom te čak i drugim ribama (Billard, 1999). Unutar porodice relativno se jasno može razlikovati nekoliko linija, ali srodstveni odnosi, hijerarhija ili sistematski stupanj tih linija još nije u potpunosti jasan. Neki autori koriste sistematski stupanj potporodice kojih unutar porodice Cyprinidae, prema različitim autorima ima različit broj (Kottelat i Freyhof, 2007).

Gavčica pripada potporodici Acheilognathinae. Ova potporodica uključuje 40 vrsta razvrstanih u 3 ili 4 roda, rasprostranjenih u Europi, zapadnoj, istočnoj i jugoistočnoj Aziji (Kottelat i Freyhof, 2007). Danas su dvije vrste prepoznate u Europskim vodama; *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872) i *Rhodeus meridionalis*, Karaman 1924 (Kottelat i Freyhof, 2007). Skupina Acheilognathinae se od drugih potporodica razlikuje tako što imaju složen reproduktivni ciklus koji uključuje školjkaše iz porodice Unionidae. Ribe ove potporodice su male, bočno spljoštene i visokih tijela. Mužjaci imaju pločice sa kvržicama na gubici, dok ženke imaju dugačke i fleksibilne ovipozitore koje ubacuju u izlazni sifon školjkaša gdje polažu jaja na njihove škrge (Kottelat i Freyhof, 2007).

1.4. PODRUČJE RASPROSTRANJENOSTI VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872)

Gavčica živi samo u Europi i Maloj Aziji. Rasprostranjena je od sjeverne i istočne Francuske pa sve do Crnog i Kaspijskog mora. U Europi nije pronađena južno od Alpi i Pireneja, niti u Skandinaviji i Velikoj Britaniji, iako je tamo kasnije introducirana. Nastanjuje porječja Sjevernog i Južnog Baltika, Crnog mora te zapadnog i južnog Kaspijskog i Egejskog mora. U Sredozemnom bazenu dolazi u sjevernoj Roni (Francuska) i Drini (Albanija, Crna Gora, Makedonija). Invazivna je u Francuskoj u južnoj Roni i zapadno od Seine, te u južnoj Rusiji. Introducirana je na Krim, Veliku Britaniju i sjevernu Italiju. Nedostaje u rijeci Ural, Danskoj, Skandinaviji, Iberskom i Apeninskom poluotoku, te većini Jadranskog i Crnomorskog bazena južno od rijeke Kuban (Kottelat i Freyhof, 2007). U Hrvatskoj živi u vodama Crnomorskog slijeva, a unesena je i u neke rijeke Jadranskog slijeva (npr. Zrmanja).

1.5. OBILJEŽJA VRSTE *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872)

Gavčica (*Rhodeus amarus* (Bloch, 1872)) je mala slatkovodna riba veličine 2-10 cm, rasprostranjena u većem dijelu Europe i u zapadnoj Aziji. Najveća gustoća populacije ove vrste može se naći u mirnim vodama sporoga toka s gustom podvodnom vegetacijom i pješčano - muljevitim dnom, te u barama, kanalima, sporotekućim rijekama, rukavcima i riječnim okukama gdje su prisutni školjkaši iz porodice Unionidae (Kottelat i Freyhof, 2007).

Razlikuje se od druge europske vrste *R. meridionalis* po ustima koja su u subinferiornom položaju i rostralnoj kapici koja prekriva više od pola gornje usne (Kottelat i Freyhof, 2007).

Gavčice su relativno male ribe, rijetko prelaze više od 7 cm standardne duljine (od vrha gubice do početka kaudalne peraje). Relativno su visokih tijela, a visina tijela čini 29-45% standardne duljine (Holčik, 1995; Reichard, 1998). Ljuske su im velike. Imaju 32-40 ljusaka na bočnoj strani tijela. Bočna pruga im je nepotpuna i pruža se na 4-7 prvih ljusaka. Leđna peraja ima tri tvrde šipčice i 9-10 mekih, a podrepna 8-10 mekih i dvije tvrde šipčice. Podrepna peraja počinje ispred zadnjeg kraja leđne peraje i to ispod šeste mekane šipčice (Kottelat i Freyhof, 2007).

Gavčice imaju izražen spolni dimorfizam, pogotovo za vrijeme mrijesta kada su mužjaci, na trbušnoj strani obojani ružičasto do crveno, s istaknutom tirkiznom prugom na bočnoj strani tijela i izraženim mrijesnim kvržicama na gubici. Također i leđni dio tijela tada poprimi tamno obojenje. Kada mužjaci postanu spolno zreli šarenica im poprimi crveno obojenje i ostaje takva do kraja života (Smith i sur., 2004). Što se tiče ženki, one se lako prepoznaju po izraženoj dugačkoj leglici (ovipozitoru) koja se može uvlačiti i izvačiti pomoću mišićnog konusnog organa (Smith i sur., 2004). Na slici 2. prikazani su mužjak i ženka gavčice u mrijestu.



Slika 2. Mužjak (gore) i ženka gavčice (dole) u mrijestu. Ženka ubacuje ovipozitor u izlazni otvor školjkaša. (https://leporelo.info/horavka-duhova)

Vrsta *R. amarus* poput drugih vrsta gavčica ima specifičan način razmnožavanja budući da inkubiraju vlastite ličinke u škrgama slatkovodnih školjkaša iz porodice Unionidae. Spolno sazrijevaju oko prve godine života, a prosječno žive oko 5 godina, međutim većina jedinki ne preživi godinu dana od njihove prve reprodukcije (Kottelat i Freyhof, 2007). Općenito se mrijesti u razdoblju između travnja i kolovoza u vodama čija je temperatura gotovo uvijek iznad 15 °C. Mužjaci okupiraju i agresivno brane male teritorije oko jednog ili više školjkaša (većinom rodovi *Unio* spp. i *Anodonta* spp.) (Kottelat i Freyhof, 2007). Zatim mužjaci privlače zainteresirane ženke svojim udvaračkim izgledom i ponašanjem. Ženke gavčice u početku prate i izabiru mužjake, ali njihova završna odluka se zasniva na kvaliteti školjkaša u mužjakovom teritoriju (Mills i sur., 2005). Preferiraju školjkaše koji u sebi već nemaju ličinke gavčice (Smith i sur. 2000b; Candolin i Reynolds, 2001) i koji pumpaju veći volumen vode u jedinici vremena (Mills i Reynolds 2002b). Kada je ženka spremna na mrijest ovipozitor i mišićni konusni organ na njegovoj bazi se produljuju. Nakon što odabere odgovarajućeg školjkaša ženka ubacuje svoj ovipozitor u izlazni školjkašev sifon, konusni organ se kontrahira i mokraća pod pritiskom tjera jajašca van kroz ovipozitor u školjkaševe škrge (Kottelat i Freyhof, 2007). Polažu 2-6 jaja u svakog školjkaša, koja se zatim fertiliziraju tako da mužjak ispusti mliječ vrlo blizu ulaznog sifona školjkaša. Mliječ ulazi u škrge i dolazi do jaja ulaznom respiratornom strujom vode (Duyvene de Wit, 1966). Ličinke gavčice uz pomoć posebnih prilagodbi, kao što su produžeci žumanjčane vreće, prikače se za školjkaševe škrge gdje se inkubiraju i razvijaju 2-4 tjedna. Nakon toga male gavčice napuštaju domaćina kroz izlazni sifon (Reynolds i sur., 1997; Aldridge 1999a). Ličinke ne dobivaju ni hranu ni bilokakve druge tvari potrebne za razvoj od svojih domaćina, te im školjkaši služe isključivo kao zaklon od predatora. Ličinke pokazuju adaptacije na jako niske koncentracije kisika u školjkašima, a to su vrlo brzo izlijeganje iz jajeta (već nakon 36 sati) i povećan kožni respiratorni sustav (Kottelat i Freyhof, 2007).

1.5.1. OBILJEŽJA LIČINKI VRSTE *Rhodes amarus* (Bloch, 1872)

Jaja gavčice su elipsoidna, duljine 2,59 ± 0,04 mm i širine 1,74 ± 0,07 mm, za razliku od većine drugih riba čija su jaja sferična. Jaja gavčice mogu preživjeti u hipoksičnim uvjetima zbog više razloga; jaja i ličinke su izloženi vodi koja je već prošla školjkaševe dišne površine

i u kojoj je vjerojatno već potrošen kisik, školjkaši kada su pod stresom zatvaraju svoje školjke pa njihov unutarnji okoliš postane privremeno hipoksičan; jaja gavčice su neobično velika za šaranke (Cypriniformes) pa je udaljenost za difuziju poprilično dugačka (Aldridge, 1999). Većina jaja ostalih šaranki se zalijepi za vodenu vegetaciju u sporotekućim vodama gdje se granični slojevi kisika mogu lako napuniti, dok se jaja gavčice zakače za interlamelarni prostor u škrgama školjkaša gdje je koncentracija kisika prilično niska. Stoga, pristup kisiku može biti faktor koji ograničava veličinu ribljih jaja (Aldridge, 1999). Općenito vrste koje pokazuju roditeljsku brigu proizvode manje velikih jaja, dok vrste koje napuštaju svoje mlade odmah nakon mrijesta proizvode više malih jaja. Samo kod vrsta koje pokazuju roditeljsku brigu, gdje je mortalitet juvenilnih jedinki malen, selekcija će ići u smjeru proizvodnje manjeg broja većih jaja (Aldridge, 1999). Prema Ware (1975) stopa smrtnosti tijekom ranog razvoja je manja kod vrsta koje proizvode veća jaja. Gavčice ne pokazuju roditeljsku brigu, ali zadržavaju sve evolucijske prednosti povezane sa roditeljskom brigom. To može omogućiti gavčici da uloži dodatne resurse u proizvodnju prilično velikih jaja (Aldridge, 1999). Proizvodnja velikih jaja je povezana s niskim mortalitetom iz razloga što povećanjem veličine broj potencijalnih predatora pada. Proizvodnjom velikih jaja i razvojem unutar školjkaša, juvenilne gavčice se prvi puta izlažu predatorima kada su velike 10,5 mm, radije nego da im se izlažu u trenutku kada se izvale iz jajeta kao kod ostalih šaranki. Elipsoidan oblik jaja gavčice ima veći omjer površine i volumena, pa im to omogućuje relativno brzu stopu difuzije i selekcija takvog jaja vjerojatno reflektira razvoj u hipoksičnom okolišu. Elipsoidno jaje ima dodatne prednosti za razvoj unutar interlamelarnog prostora škržnih listića. Takav oblik pomaže jajetu da se sigurno zadrži na mjestu nakon što se izbaci iz ovipozitora. Ako se jaje ne uspije zakačiti prolazi u izlaznu šupljinu i može biti izbačeno van zajedno sa školjkaševim pseudofecesom izlaznom strujom vode (Aldridge, 1999). Površina jajeta koja je u neposrednom kontaktu sa škržnim lamelama bit će veća kod elipsoidnog jajeta za razliku od sferičnog (Aldridge, 1999). Budući da je interlamelarni prostor relativno uzak, jedini mogući put za proizvodnju većeg jaja jest da se ono produži. Ovakvo jaje također predstavlja i odgovor na morfologiju škrga unionidnih školjkaša i način povećanja zalihe kisika.

Duljina pri kojoj se većina šaranki liježe iz koriona se kreće u rasponu od 4-5 mm kod krškuše (*Gobio gobio* (Linnaeus, 1758)) i klena (*Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)) od 7 do 8 mm (Maitland i Campbell, 1992). Međutim, gavčice se liježu iz koriona puno ranije u ontogeniji (3,3 mm). Korion je poprilično restriktivna barijera difuziji kisika, kao što su

Hayes i sur. (1951) pokazali kod embrija atlanskog lososa (*Salmo salar* Linnaeus, 1758), kada se korion ukloni poveća se potrošnja kisika te njegov rani gubitak kod embrija gavčice povećava dovod kisika (Aldridge, 1999). Primarna funkcija koriona je da pruža zaštitu embriju u razvoju ali ta je zaštita manje važna gavčicama nego ostalim šarankama koje se razvijaju u otvorenoj vodi.

U početku se jaja i ličinke drže na mjestu tako da se zakače za interlamelarni prostor škržnih listića domaćina. Kako dalje ide razvoj ličinke je sve teže istjerati iz domaćinovih škrga jer se potakne ekspanzija gornjeg dijela žumanjčane vreće u dvije proširene trake koje formiraju dva lateralna završetka sa svake strane manje izraženog ventralnog grebena (Aldridge, 1999). Tijekom razvoja žumanjčana vreća se resorbira i polarnost je takva u 99% slučajeva da se rep razvija prema otvorenoj bazi škržnog listića. Gavčice su sposobne razvijati se gotovo cijelom dužinom obiju škržnih listića. Leže jedna kraj druge unutar škržne lamele. Tijekom razvoja ličinke se povećavaju u duljini pet puta i prolaze kroz izrazite promjene koje se mogu podijeliti na nekoliko stadija (Aldridge, 1999). Miotomi se prvi javljaju kada je embrij veličine 2,7 mm, a kada embrio dosegne 2,9 mm kaudalna regija se razvije oko žumanjčane vreće. Karakteristični režnjevi žumanjčane vreće se mogu vidjeti već na 3,3 mm i embrio se izvali iz jajeta tako da se rep produži od tijela. Nepigmentirane oči postanu vidljive prvo na 4,7 mm kada završi segmentacija kaudalne regije. Jednom kada embrio dosegne 6,4 mm krv postane pigmentirana unutar *ducti Cuvieri*. Na 6,7 mm pigmentirana krv se može vidjeti dorzalno od žumanjčane vreće, a na 6,9 mm pigmentirana krv postane vidljiva u srcu. Na 7,40 ± 0,99 mm embriji su sposobni ograničeno se kretati, oči postanu pigmentirane i leđna aorta se produži do gotovo vrha repa. Na 8,15 ± 0,09 mm embriji mogu plivati ako ih se izvadi iz domaćina. Lateralna izbočenja žumanjčane vreće se izgube, omogućujući ličinkama da se oslobode iz interlamelarnog prostora i migriraju u izlaznu šupljinu na bazi škrge. Glava se izravna prema van i donja čeljust postane jasno vidljiva. Žumanjčana vreća se apsorbira postepeno tijekom razvoja i cijela se apsorbira na 10,53 ± 0,08 mm. Na toj duljini gavčica napušta školjkaša i započinje se egzogeno hraniti. Ličinke mogu emergirati prije vremena ako su temperature visoke (iznad 25 °C) i u tom je slučaju žumanjčana vreća još uvijek vidljiva (Aldridge, 1999). Važnost maksimiziranja pristupa kisiku kod ličinki gavčice može također biti objašnjeno relativno ranim formiranjem krvne pigmentacije. Razvoj unutar zaštićenog okoliša školjkaša uklanja rizik direktne predacije na ličinke gavčice i može objasniti relativno kasni razvoj očiju i melanofora: detekcija predatora i kriptička obojenost imaju puno veću

funkciju u ranoj ontogeniji slobodnoživućih ličinki. Jaja i ličinke gavčice u škrgama školjkaša prikazani su na slici 3.



Slika 3. Jaja i ličinke gavčice u intralemelarnom prostoru škrga vrste *Unio crassus* (Prenz, 2017)

1.6. RAZNOLIKOST ŠKOLJKAŠA

Školjkaši (Bivalvia) su razred mekušaca (Mollusca). Svi su školjkaši isključivo vodeni organizmi, a pronalazimo ih u moru i kopnenim vodama. Od ukupno 15000 vrsta školjkaša većina ih živi u moru, a samo mali broj vrsta su slatkovodni školjkaši. Mogu biti veliki od 1 mm do 1 m. Svi poznati školjkaši raspoređeni su u 12 redova i 100-tinjak porodica. Školjkaši su filtratori. Voda struji plaštanom šupljinom školjkaša te iz vode uzimaju kisik i hranjive tvari, a odbacuju vodu, ugljikov dioksid, ekskrecijske i izmetne produkte te gamete (Habdija i sur., 2011). Školjkaši žive sjedilačkim ili polusjedilačkim načinom života, a neki mogu povremeno plivati.

Trenutno je u Europi prepoznato 18 vrsta slatkovodnih školjkaša od kojih 16 pripada redu Unionoida, a 14 porodici Unionidae (Cuttelod i sur., 2011). Slatkovodni školjkaši općenito mogu biti dugoživući i imaju zanimljiv životni ciklus u kojem ženka inkubira jaja u modificiranoj škrgi tzv. marsupij. Fertilizacija se odvija preko površine škrga sa spermom koja je ušla u plaštanu šupljinu ulaznom strujom vode. Oplođena jaja se razvijaju u specijalizirane ličinke (glohidije) koje parazitiraju na ribama. Inkubacijsko ponašanje i selektivnost domaćina varira među vrstama školjkaša (Lopes-Lima i sur., 2016). Slatkovodni

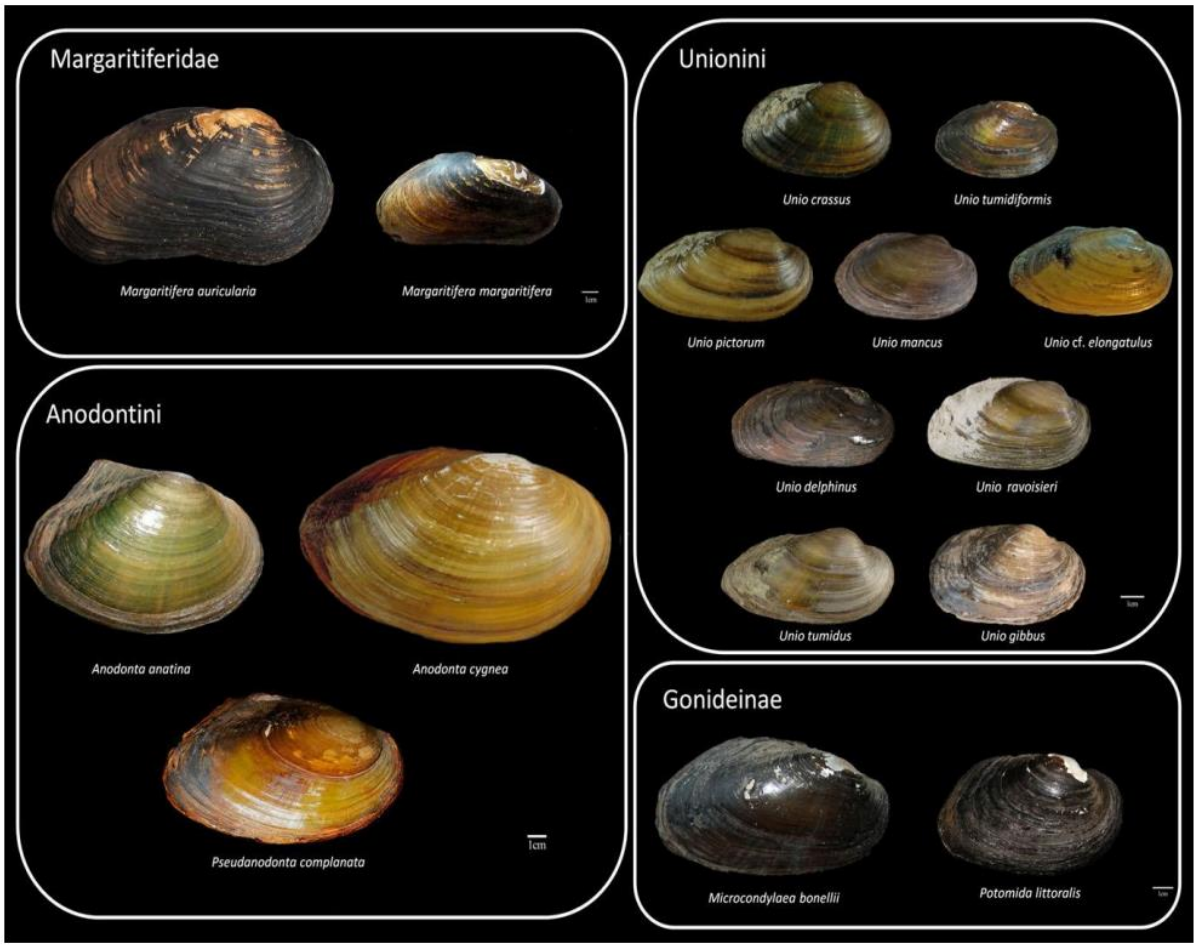
školjkaši iz reda Unionoida su jedinstveni organizmi. Mogu živjeti preko 100 godina (Lopes-Lima i sur., 2014). Slatkovodni školjkaši su također važan dio vodenog ekosustava (Vaughn i Hakenkamp, 2001) ponekad čineći >90% bentičke biomase rijeka (Negus, 1966). Zbog svojih direktnih i indirektnih utjecaja na slatke vode, školjkaši se često opisuju kao inženjeri ekosustava (Gutierrez i sur., 2003). Brojnost školjkaša se drastično smanjuje diljem svijeta (Strayer i sur., 2004). Od 511 vrsta slatkovodnih školjkaša, 224 (44%) je IUCN 2015. godine na svojoj Crvenoj listi zaštićenih životinja klasificirao kao gotovo ugrožene (NT) (eng. Nearly threatened) ili ugrožene (T) (eng. Threatened) (www.iucnredlist.org.).

1.7. OBILJEŽJA ŠKOLJKAŠA IZ PORODICE UNIONIDAE

Red Unionoida je predstavljen u Europi sa dvije porodice: Margaritiferidae, koja se sastoji od samo dvije vrste: *Margaritifera auricularia* (Spengler 1793) i *M. margaritifera*, Linnaeus 1758 te porodice Unionidae koju predstavlja 114 vrsta raspoređenih u pet redova: *Anodonta* Lamarck 1799; *Microcondylaea* Vest 1866; *Potomida* Swainson 1840; *Pseudanadonta* Bourguignat 1877; i *Unio* Philipsson 1788 (Lopes–Lima i sur. , 2016). Porodica Unionidae je predstavljena u Europi sa dvije potporodice: Unioninae i Gonideinae (Graf i Cummings, 2015). Unutar potporodice Unioninae, Europske vrste su podijeljene na dva tribusa: Anodontini, koji uključuju dvije vrste roda *Anodonta* i vrstu *Pseudanodonta complanata* (Rossmassler, 1835) i Unionini koji uključuje sve vrste roda *Unio* (Lopes-Lima i sur., 2016). Vrste porodice Unionidae su prisutne u svim Europskim državama, uključujući Irsku i Veliku Britaniju (Haas, 1969). Školjkaši ove porodice služe gavčicama kao domaćini, budući da one inkubiraju ličinke u njihovim škrgama. Školjkaši iz reda Unionoida su prikazani na slici 4.

Red Unionoidea pripada nadredu Eulamellibranchia kojeg karakteriziraju eulamelibranhijalne škrge. Takve se škrge nazivaju i lamelibranhijalnima jer su građene od dugačkih i izrazito tankih vlakana. Voda koja pomoću ulaznog sifona ulazi u plaštanu šupljinu oplakuje škrge između vlakana te dolazi u suprabranhijalnu šupljinu iz koje izlaznim sifonom napušta školjkaša. Na škrgama imaju trepetljike koje služe za aktivno procjeđivanje hranjivih čestice iz vode. Produljenjem i povećanjem škržnih vlakana, ona su se morala preklopiti kako bi stala u plaštanu šupljinu i posljedično su se od središnje osi razvili silazni krak, čija se vlakna potom uspinju i stvaraju uzlazni krak. Ti krakovi su po dužini jedinstveni i zovu se lamele ili škržni listovi te zajedno čine jednu poluškrgu (demibranchia). Potpuna škrga je u

obliku slova W. Ovakva organizacija škrga pri cirkuliranju vode omogućuje učinkovitu opskrbu hranjivim tvarima, dok bolji stupanj prokrvljenosti osigurava dovoljnu oksigenaciju (Habdija i sur., 2004). Svaka školjkaševa škrga je dorzoventralno podijeljena u vodene cijevi i u tim odijeljcima se gavčica razvija (Mills i Reynolds, 2003). Unutarnja morfologija je slična kod svake vrste iz porodice Unionidae. Unutarnji i vanjski škržni listić svake škrge se septumom razdvajaju jedan od drugoga blizu izlaznog sifona, dok baze dva unutarnja škržna listića zadržavaju zajednički otvor unutar izlazne šupljine sve dok u anteriornom dijelu ne dođu do stopala gdje se dva škržna listića odvajaju. Zbog toga jaja gavčice mogu ući u unutrašnje škržne listiće zajedničkom rutom dok u vanjske listiće ulaze vlastitim diskretnim putem (Aldridge, 1999).



Slika 4. Školjkaši iz reda Unionoida (Lopes–Lima i sur., 2016)

1.7.1. Anodontini – *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758)

Europski Anodontini tipično žive manje od 30 godina i postaju spolno zreli sa 1 do 4 godine. Vrsta *Anodonta anatina* favorizira hermafroditizam u lentičkim staništima i gonohorizam u lotičkim. Svoja jaja i ličinke inkubira dugoročno tj. čuva ih preko zime i otpušta ih u rano proljeće sve do ljeta (Lopes–Lima, 2016). Marsupij im se nalazi isključivo u vanjskom škržnom listiću (Graf i Cummings, 2007; Hinzmann i sur., 2013). Glohidije ispuštaju u mukoznim mrežicama (Hags i Warren, 1997), a otpuštanje može biti potaknuto prisustvom ribljeg domaćina (Jokela i Palohangas, 1993).

Vrsta je široko rasprostranjena u Europi, od Velike Britanije na zapadu, do Rusije na istoku i dolazi u svim državama Južne Europe (Lopes-Lima, 2016). Ima relativno visoku platičnost i toleranciju na različite abiotičke uvijete i stoga ju se lako može pronaći od brzih potoka do lentičkih staništa (Zieritz i Aldridge, 2011). Općenito se niti jedna vrsta ovog roda ne smatra ugroženom ili pred izumiranjem u Europi jer je brojnost populacija izrazito velika, a distribucija jako široka (Hinzmann i sur., 2013). Vrsta *A. anatina* se čini vrlo adaptivnom te je opstala i uspješno kolonizirala mnogo izmijenjenih i degradiranih staništa.

1.7.2. *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834)

Vrsta *Sinanodonta woodiana* je školjkaš iz porodice Unionidae. Autohtona je u jugoistočnoj Aziji te je uspješno kolonizirala nekoliko Europskih država (od Španjolske na jugozapadu do Ukrajine na istoku i Švedske na sjeveru) (Lajtner i Crnčan, 2011). Guste populacije vrste *S. woodiana* mogu biti u direktnoj kompeticiji s autohtonim europskim unionidnim školjkašima za hranu i prostor. Pojačavaju otpornost na glohidije kod potencijalnih domaćina i služe kao vektori introdukcije novih parazita i bolesti (Sousa i sur., 2014). Ova vrsta je izrazito velika, može narasti i do 30 cm, a živi 10 do 15 godina. Jedinke ove vrste postaju spolno zrele u prvoj godini života kada su duge samo 3 do 4 cm. Što se tiče staništa, *S. woodiana* je generalist s niskom tolerancijom, na mulj.

1.7.3. Unionini – *Unio* spp.

Europski Unionini su prisutni u svim europskim državama. Spolno sazrijevaju između druge i četvrte godine života, a žive manje od 30 godina, ali i duže kod nekih jedinki koje obitavaju na višim nadmorskim visinama (Lopes–Lima i sur., 2016). Vrste ovog roda su općenito razdvojena spola, i imaju kapacitet proizvesti više legla tijekom godine u proljetnim i ljetnim mjesecima (Aldridge, 1999).

Vrsta *Unio crassus* Philipsson, 1788 je školjkaš malih dimenzija (4-7 cm). Široko je rasprostranjen u srednjoj, jugoistočnoj i sjevernoj Europi od Francuske na zapadu do Rusije na istoku (Lopes–Lima i sur., 2016). Tipično se pronalazi u potocima s niskom razinom stresa (Zajac i Zajac, 2011), često s velikom količinom finog sedimenta i organske tvari (Denic i sur., 2014). Vrsta *U. crassus* pokazuje neobičnu strategiju infestacije domaćina u kojoj se ženka primiče obali i šprica vodu koja sadrži glohidije izvan vode u zrak, a rezultirajuća uzbrkanost vode privlači ribe domaćine (Vicentini, 2005). Ova vrsta se nekoć smatrala najabundantnijom vrstom porodice Unionidae u Europi, a sada je drastično smanjila brojnost (do 50% u broju jedinki i populaciji) u zapadnoj i srednjoj Europi tijekom druge polovice 20.stoljeća (Lopes-Lima i sur., 2014). Upravo stoga vrsta *U. crassus* je zaštićena i smatra se kritično ugroženom vrstom (CR) (eng. Critically endangered) u nekoliko Europskih država. U 2014. godini IUCN ju je procijenio kao ugroženu vrstu (EN) (eng. Endangered) (www.iucnredlist.org). Populacije *U. crassus* se čine stabilne samo u Baltičkim i istočnoeuropskim državama (Lopes-Lima i sur., 2014). Direktne prijetnje za populacije vrste *U. crassus* jesu predacija invazivnog mošusnog štakora, *Ondatra zibethicus* (Link, 1795*)* (Zahner–Meike i Hanson, 2001), korištenje dredža i nedostatak ribljih populacija koje mogu služiti kao domaćini (Taeubert i sur., 2012).

Vrsta *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) je najraširenija vrsta u Europi, rasprostranjena u srednjoj, jugoistočnoj i sjevernoj Europi od Britanskog otočja na zapadu do Rusije na istoku. Tipično dolaze u sporotekućim velikim rijekama ili lentičkim staništima gdje dominira fini supstrat (Lopes-Lima i sur., 2016). Budući da je najraširenija vrsta unionidnih školjkaša u Europi, procijenjena je kao najmanje zabrinjavajuća vrsta (LC) (eng. Least concern) od strane IUCN-a (Van Damme, 2011).

Vrsta *Unio tumidus* Retzius, 1788 ima sličnu distribuciju i ekološke zahtjeve kao *U. pictorum*, iako nije nikada pronađen u Irskoj. Također dolazi u sporotekućim staništima i procijenjena je kao najmanje zabrinjavajućom vrstom u Europi (Van Damme, 2011).

1.8. ODNOS IZMEĐU GAVČICA I UNIONIDNIH ŠKOLJKAŠA

Gavčice i školjkaši su simbionti po tome što između njih postoji dugoročan intiman odnos (Paracer i Ahmadjian, 2000). Međutim, oblik simbioze, bio on mutualististički, komenzalistički ili parazitski nije još uvijek jasno dokazan. Priroda odnosa ovisi o učinku koji gavčica ima na školjkaše i obrnuto te je ovisna o međusobnim troškovima i prednostima između ova dva organizma. Unionidni školjkaši imaju ličinke poznate kao glohidije, koje su obligatni ektoparaziti na ribama (Dillon, 2000). Kod većine vrsta slatkovodnih školjkaša inficiranje riba je obligatno za razvoj glohidija i smatra se da također služi i njihovoj disperziji (Smith i sur., 2004). Velike stope infekcije glohidijama mogu biti i letalne za ribe (Myers i Millemann, 1977). Prije se odnos između gavčica i školjkaša često popularno smatrao mutualstičkim zbog premise da gavčice koriste školjkaše za mjesto mriješćenja, dok školjkaši koriste gavčice za disperziju glohidija (Wheeler, 1978). Međutim, takvi su dokazi veoma slabi. Holčik i Lohnisky (1958), u svojem istraživanju izvještavaju da se glohidije redovono zakače za vrste riba: *Poecilia reticulata* Peters 1859 i *Xiphophorus helleri* Heckel 1848, ali ne i za gavčice. Aldridge (1997) u svojem istraživanju navodi da je kod drugih ribljih vrsta infekcija glohidijama puno brojnija i dugotrajnija nego kod gavčica (kod gavčica glohidije zakačene 5 dana, kod ostalih vrsta >50 dana). Također istraživanja provedena od strane Bychovskij (1962) su pokazala da su gavčice vrlo rijetko inficirane glohidijama. Osim toga, ne postoje nikakvi dokazi da mužjakova mliječ pruža školjkašima bilokakvu prednost za stopu rasta (Mills i Reynolds, 2003). Dakle, dokazi pokazuju da gavčice ili izbjegavaju infekciju glohidijama ili izgube glohidije ubrzo nakon što su se one zakačile. Postoje dokazi da ribe mogu razviti imunološki odgovor na glohidije koji ih štiti od infekcije (Bauer, 2001; Jansen, Bauer i Zahner-Meike, 2001). Iako ne postoji direktan dokaz za takvu obranu kod gavčica, njihova bliska asocijacija sa školjkašima može učiniti takav odgovor adaptivnim i

može biti objašnjenje za nisku stopu infekcije (Smith i sur., 2004). Zbog svega navedenog teško je govoriti o ovom odnosu kao mutualističkim.

Što se tiče komenzalnog odnosa u kojem gavčice imaju neku korist, a školjkaši ne pate od smanjenja fitnesa, zbog nedostatka istraživanja o učincima koje gavčice imaju na školjkaše, teško ga je izdvojiti od parazitskog odnosa u kojem gavčice dobivaju, a školjkaši gube. Međutim, postoji sve više istraživanja koja pružaju ključne dokaze i predlažu parazitski odnos radije nego komenzalni (Smith i sur., 2004). Embriji gavčice, inhibiraju slobodnu cirkulaciju vode preko školjkaševih škrga što može imati negativan učinak na normalnu filtraciju škrga, a time i na hranjenje i respiraciju školjkaša. Također, ličinke gavčice koje su zakačene za škržni zid pritišću i katkad oštećuju trepetljikavi epitel škrga, što ima štetan učinak za njihovu funkciju (Stadnichenko i Stadnichenko, 1980). Ličinke gavčice u škrgama izrazito povećavaju stopu potrošnje kisika školjkaša te mogu biti u kompeticiji za kisik (Smith i sur., 2001). Iz navedenog se može zaključiti da su ličinke gavčice štetne za školjkaše jer remete njihovu filtraciju vode, smanjuju uspješnost hranjenja i izmjenu plinova te oštećuju trepetljikavi epitel škrga (Reichard i sur., 2011). Kao odgovor na njih školjkaši odbacuju njihova jaja i ličinke, te su gavčice razvile popratne adaptacije kako bi to izbjegle. Kako se vrste školjkaša domaćina razlikuju u anatomiji škrga to vjerojatno također utječe na stopu izbacivanja jaja (Reichard i sur., 2011). Prvi korak kod koevolucijskih odnosa je često evolucija domaćinove obrane protiv parazita. Mills i sur. (2005) predlažu da se gavčica treba smatrati parazitom školjkaša, jer poremećaji stope ventilacije, do kojih dolazi tijekom četiri mjeseca sezone mrijesta gavčice, reduciraju stopu usisavanja hrane i imaju dugoročne poljedice na rast školjkaša, reprodukciju i preživljavanje.

1.9. CILJ ISTRAŽIVANJA

- Istražiti reproduktivne preferencije gavčice, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872), prema pet vrsta školjkaša iz porodice Unionidae koji im služe kao domaćini za inkubaciju ličinki.
- Usporediti reproduktivne preferencije između četiri autohtone vrste školjkaša (*Anodonta anatina, Unio crassus, U. pictorum* i *U. tumidus)* i invazine vrste *Sinanodonta woodiana* s obzirom na veličinu škrga školjkaša..
- Pratiti reproduktivno ponašanje mužjaka i ženke gavčice u laboratorijskim uvjetima za vrijeme sezone mrijesta.
- Procijeniti status ugroženosti gavčice s obzirom na invazivnu vrstu *S. woodiana,* na osnovu dobivenih rezultata.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Ribe i školjkaši su sakupljeni na lokalitetima: potok Lomnica (x = 452.284,627; y = 5.062.563,598) i potok Velika (x = 447.952,603; y = 5.047.988,019) u proljeće 2017. godine u Zagrebačkoj županiji. Oba lokaliteta su prikazana na slici 5. Potok Lomnica se nalazi nedaleko od prigradskog naselja Donja Lomnica u neposrednoj blizini grada Zagreba, u sjevernozapadnoj Hrvatskoj. Potok je širok oko 2 m, a dubok između 0,2 i 0,8 m. Njegova je obala zemljana, riparijsku zonu čini trava, a vodena vegetacija je nadpovršinska. Raznolikost staništa je bila relativno mala, a okolni prostor su sačinjavale poljoprivredne površine. Potok nije bio zasjenjen, vodostaj je bio nizak, a voda je tekla. Dnom potoka je većinom prevladavao šljunak (70%) i mulj u manjoj količini (30%). Potok je kanaliziran te je zbog toga potencijalno ugrožen. Fizikalno-kemijski parametri vode su mjerene s površine i iznosili su: provodljivost 407 µS/cm; TDS 235 mg/l; a temperatura 10,4 °C. Potok je bio bistar s normalnom bojom vode bez mirisa. Na ovom lokalitetu je ulovljeno oko 100 jedinki gavčice krajem ožujka 2017. godine, i isto toliko krajem travnja iste godine. Na istom lokalitetu sakupljeni su i školjkaši, vrste *Anodonta anatina* i u manjoj mjeri *Sinanodonta woodiana* i *Unio crassus*. Na lokalitetu uz potok prevladava nizinski reljef koji obuhvaća livade i poljoprivredne površine. Potok Lomnica je jedan od pritoka rijeke Odre koja teče niz Turopoljsku nizinu, gdje prevladava umjerena kontinentalna klima s toplim ljetima i umjereno hladnim zimama.

Potok Velika se nalazi u općini Pisarovina, u južnom dijelu Zagrebačke županije. Potok je širok oko 2 m i dubok od 0,1 do 0,5 m. Ukupna duljina potoka iznosi 11,1 km. Njegova je obala zemljana, riparijsku zonu čine šuma i livada, a vodena vegetacija je isključivo nadpovršinska. Raznolikost staništa je relativno mala budući da je s jedne strane potoka samo šuma, a s druge livada. Zasjenjenost potoka je mala, samo s jedne strane. Razina vodostaja je bila normalna i voda je tekla. Potok je kanaliziran. Okolni prostor čine poljoprivredne površine i ribnjak.. Dno u potoku je obuhvaćalo kamenje (20 %), šljunak (40 %) i mulj (40 %). Na ovom potoku prikupljeni su samo školjkaši. Vrste koje su prevladavale bile su *S.woodiana* i vrste roda *Unio* sp. Što se tiče fizikalno-kemijskih parametara, provodljivost je iznosila 260 µS/cm, TDS je bio 149 mg/l, temperatura vode je iznosila 11,5 °C. Potok je bio

relativno bistar ali ne poput potoka na prvom lokalitetu te je imao blago neugodan miris koji se širio prilikom sakupljanja školjkaša kada bi se voda uzbrkala a mulj s dna digao na površinu.



Slika 5. Potok Lomnica (lijevo) i potok Velika (desno)

2.2. UZORKOVANJE

Uzorci gavčica s potoka Lomnice su skupljeni uz pomoć elektroribolovnog agregata (Hans Grassl model, IG 2000-1). Elektroribolov se koristi u plitkim rijekama, potocima i jezerima za procjenu populacije, istraživanje zdravstvenog stanja populacije riba, označavanje i eliminaciju nepoželjnih vrsta. Budući da je potok Lomnica relativno plitak, ovo je bila idealna metoda za uzorkovanje. Elektroribolovom se između dvije elektrode (anode i katode) stvara električno polje. Električno polje dijeluje na živčani sustav riba, omamljuje ih, te se one onda sakupljaju mrežicom ili nekim drugim pomagalom. Iako se do devedesetih godina prošlog stoljeća smatralo kako je elektroribolov u potpunosti bezopasan za ribe, pokazalo se da ova tehnika može dovesti do unutarnjih povreda te je zbog toga, ali i radi dobrobiti osobe koja obavlja sakupljanje potrebno pravilno rukovati uređajem (Reynolds, 1996). Školjkaši su sakupljani ručno ili bentoskom mrežicom na oba dva lokaliteta. Također su na oba lokaliteta izmjereni fizikalno-kemijski parametri pomoću sonde WTW Cond 340i. I gavčice i školjkaši su uzorkovani jedanput krajem ožujka i jedanput krajem travnja 2017. godine. Nakon što su životinje sakupljene, stavljene su u kante s vodom u kojima su dopremljene u laboratorij. Gavčice su zatim premještene u zasebni akvarij sa šljunčanom podlogom i umjetnom vegetacijom, te im je omogućena stalna aeracija. U akvarij je postavljen data logger koji je mjerio temperaturu vode, a vrijednost temperature vode u akvariju je namještena na 18 °C. Ribe su hranjene jedanput dnevno sa slatkovodnim račićima vrste *Daphnia* sp., i zaleđenim

ličinkama dvokrilaca iz porodice Chironomidae. Školjkaši su se također premjestili u posebne posude, svaka posuda za jedan lokalitet sa kojeg su sakupljene, te im se omogućila stalna aeracija. Školjkaši su hranjeni Hranile jedanput do dvaput tjedno komercijalno dostupnom mješavinom zelene alge roda *Chlorella*. Životinje su ostavljene nekoliko dana u laboratoriju kako bi se aklimatizirale na eksperimentalne uvjete. Nakon toga su se provodila dva eksperimenta (dugoročni i kratkoročni) koji su uključivali i bihevioralno istraživanje.

2.3. DUGOROČNI EKSPERIMENT

Prije samog početka eksperimenta, temperatura u akvariju s gavčicama povišena je na 22 °C te su ribe hranjene dva puta dnevno, kako bi im se omogućili uvjeti potrebni za mrijest. Nakon nekoliko dana kada se već moglo vidjeti da su jedinke spremne za mrijest, iz akvarija s gavčicama izabrana su četiri najjače obojana mužjaka sa najizraženijim mrijesnim kvržicama i 16 ženki s najduljim ovipozitorima (leglice). Te su ribe zatim premještene u eksperimentalni akvarij volumena 100 litara, na čije je dno postavljena šljunčana podloga, a temperatura se održavala na 22 °C (slika 6.). Dno akvarija je kamenjem pregrađeno na 4 zasebna teritorija, te je u svaki od teritorija postavljena po jedna jedinka od svake vrste školjkaša (*Anodonta anatina, Sinanodonta woodiana, Unio crassus, Unio pictorum* i *Unio tumidus*) tako da je svakom mužjaku gavčice omogućen vlastiti teritorij. Ukupno je postavljeno 20 jedinki školjkaša i 20 jedinki gavčice. Eksperiment je trajao 20 dana i za to vrijeme se svakodnevno pratilo reproduktivno ponašanje. Nakon tog perioda i ribe i školjkaši izvađeni su iz akvarija. Gavčice su stavljene u zasebni akvarij kako se ne bi pomiješale sa jedinkama koje su nakon toga korištene u kratkoročnom eksperimentu. Školjkašima su pomoću digitalne pomične mjerke, s točnošću mjerenja 0,01 mm, izmjerene dimenzije (duljina, visina i širina), a masa je izmjerena na analitičkoj vagi s točnošću mjerenja 0,001 g. Uslijedila je sekcija školjkaša tijekom koje su izvađene škrge koje su pohranjene u plastične posudice sa 70 %-tnim etanolom, za daljnju obradu.



Slika 6. Dugoročni eksperiment (Prenz, 2017)

2.4. KRATKOROČNI EKSPERIMENT

Kratkoročni eksperiment proveden je kako bi provjerili rezultate dugoročnog eksperimenta. U eksperimentalni akvarij volumena 100 litara postavljeno je 100 jedinki gavčica (omjer spolova 1:1). Podloga je u akvariju opet bila šljunčana, temperatura vode održavana je između 20 i 22 °C, a ribe su hranjene dva puta dnevno. Nakon nekoliko dana kada je primjećeno da je većina riba u mrijestu u akvarij je postavljena po jedna jedinka svake vrste školjkaša korištenih u dugoročnom eksperimentu. Nakon 24 sata školjkaši su vađeni i obrađeni na isti način kao i u dugoročnom eksperimentu. Postupak je ponavljan 10 dana.

Po završetku istraživanja ribe su žive vraćene na lokalitet sa kojeg su sakupljene.

2.5. METODE

Uzorci škrga iz dugoročnog eksperimenta su izvađeni iz plastičnih posudica. Škrge su fotografirane, te obrađene kasnije u programu ImageJ u kojem im je izračunata površina unutarnjeg i vanjskog škržnog listića. Zatim su škrge stavljene pod lupu (Olympus SZ61) i uz pomoć histološke iglice i pincete su iz njih izvađene ličinke i jaja koji su prebrojani i spremljeni u plastične epice sa 70 %-tnim alkoholom. Ličinke i jaja su zatim detaljno pregledani pod lupom (Olympus SZ61) i zabilježeni su njihovi razvojni stadiji.

Uzorci škrga kratkoročnog eksperimenta su također fotografirani nakon vađenja iz posudica kako bi im se mogla izračunati površina. Zatim su pod lupom prebrojana jaja i ličinke za svaki škržni listić (slika 7.).



Slika 7. Fotografije školjkaša korištenih u pokusu, školjkaš *S. woodiana* (lijevo), vanjski i unutarnji škržni listić vrste *S. woodiana* (desno).

2.6. STATISTIČKA ANALIZA

Podaci su se statistički obrađivali u programima Microsoft Excell i Statistica. Od statističkih metoda korištena je deskriptivna statistika te $\chi 2$ test i ANOVA s *post hoc* LSH Fisherovim testom.

3. REZULTATI

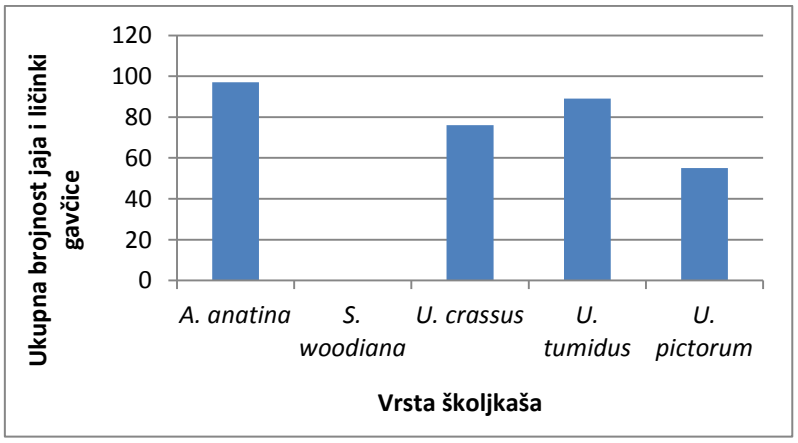
3.1. REPRODUKTIVNE PREFERENCIJE GAVČICE PREMA UNIONIDNIM ŠKOLJKAŠIMA U DUGOROČNOM EKSPERIMENTU

Rezultati dugoročnog eksperimenta prikazani su u tablici 1. te na slici 8.

Tablica 1. Ukupna brojnost jaja i ličinki gavčice u pet vrsta školjkaša u dugoročnom eksperimentu. n je ukupna brojnost jaja i ličinki gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, $\bar{x}$ je srednja vrijednost brojnosti jaja i ličinki gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, SD je standardna devijacija srednje vrijednosti $\bar{x}$, P je udio školjkaša sa barem jednim jajetom ili ličinkom gavčice, N je brojnost jedinki pojedine vrste školjkaša.

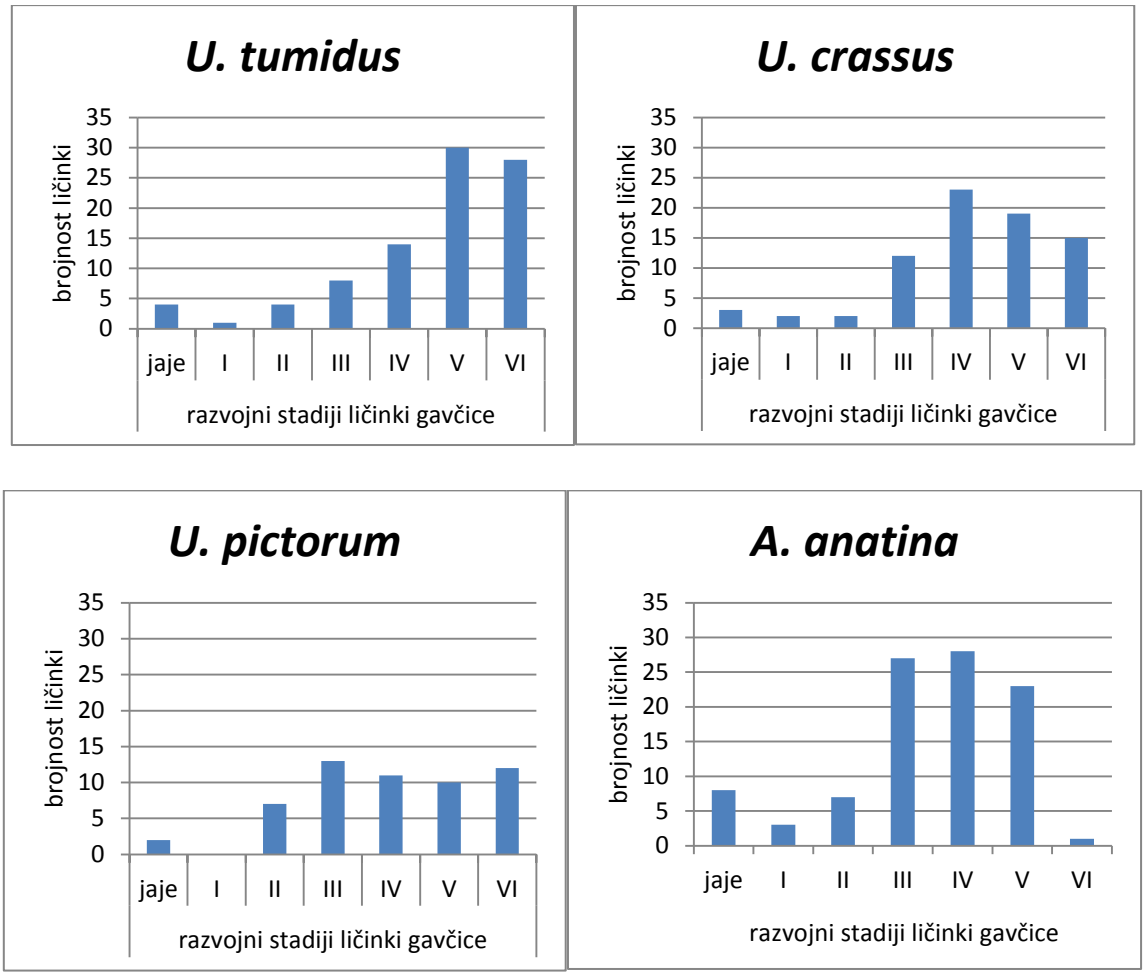
DUGOROČNI EKSPERIMENT				
Vrsta	n	$\bar{x} \pm SD$	N	P (%)
A. anatina	97	24,3±11,4	4	100
S. woodiana	0	0±0	4	0
U. crassus	76	19±1,5	4	100
U. tumidus	89	22,3±5,3	4	100
U. pictorum	55	13,8±5,2	4	100

Najviše jaja i ličinki gavčice utvrđeno je u škrgama vrste *A. anatina*, ukupno 97, zatim slijedi *U. tumidus* s 89, *U. crassus* s 76 te *U. pictorum* s 55. U invazivnoj vrsti *S. woodiana* nije pronađeno niti jedno jaje niti ličinka. Brojnost jaja i ličinki nije bila ravnomjerno raspoređena među vrstama, što je pokazao χ^2 test čija je vrijednost manja od <0,05.



Slika 8. Ukupan broj jaja i ličinki gavčice u pet vrsta školjkaša u dugoročnom eksperimentu.

Brojnost jaja i ličinki gavčice po razvojnim stadijima za svaku vrstu posebnu prikazani su na slici 9. Razvojni stadiji ličinki detaljno su opisani u poglavlju 3.3.



Slika 9. Brojnost ličinki gavčice po razvojnim stadijima za svaku vrstu školjkaša u dugoročnom eksperimentu

Ukupno je najviše ličinki gavčice u zadnjem (VI.) stadiju razvoja utvrđeno u vrsti *U. tumidus*, ukupno 28, zatim slijedi *U. crassus* s 15, *U. pictorum* s 12 i *A. anatina* s 1. U stadiju V. najviše je ličinki zabilježeno u vrsti *U. tumidus* , ukupno 30, zatim slijedi *A. anatina* s 23, *U. crassus* s 19 i *U. pictorum* s 10 ličinki. U IV. i III. razvojnom stadiju najviše ličinki pronađeno je u vrsti *A. anatina*, zatim slijede *U. crassus, U. tumidus* i *U. pictorum* za IV. stadij i *U. pictorum, U. crassus* i *U. tumidus* za III. stadij. U II. stadiju najviše ličinki pronađeno je u *A. anatina* i *U. pictorum*, ukupno 7, zatim slijede *U. tumidus* i *U. crassus*. U I. stadiju najviše je ličinki ponovno utvrđeno u *A. anatina*, ukupno 3, zatim slijedi *U. crassus* s 2 *i U. tumidus* s 1, dok u *U. pictorum* nije nađena niti jedna. Najviše jaja utvrđeno je u vrsti *A. anatina*, zatim slijedi *U. tumidus* pa *U. crassus* i *U. pictorum*. Brojnost jaja i ličinki nije bila ravnomjerno raspoređena među vrstama (χ^2 test<0.05) u svim stadijima, osim stadija II (χ^2 test >0.05).

Budući da je *U. crassus* značajno manjih dimenzija od ostale četiri vrste školjkaša (tablica 2.), uspoređivana je brojnost ličinki i jaja gavčice u odnosu na površinu škrga školjkaša. Gustoća ličinki je izračunata tako da se srednja vrijednost brojnosti ličinki podijelila sa srednjom vrijednosti površine oba škržna listića obje škrge.

Tablica 2. Dimenzije školjkaša korištenih u dugoročnom eksperimentu. Minimum, maksimum, srednja vrijednost i standardna devijacija dužine, širine, visine umba i mase školjkaša. Vrsta *Unio crassus* ima značajno manje dimenzije od ostalih, stoga postoji značajna razlika u veličini školjkaša.

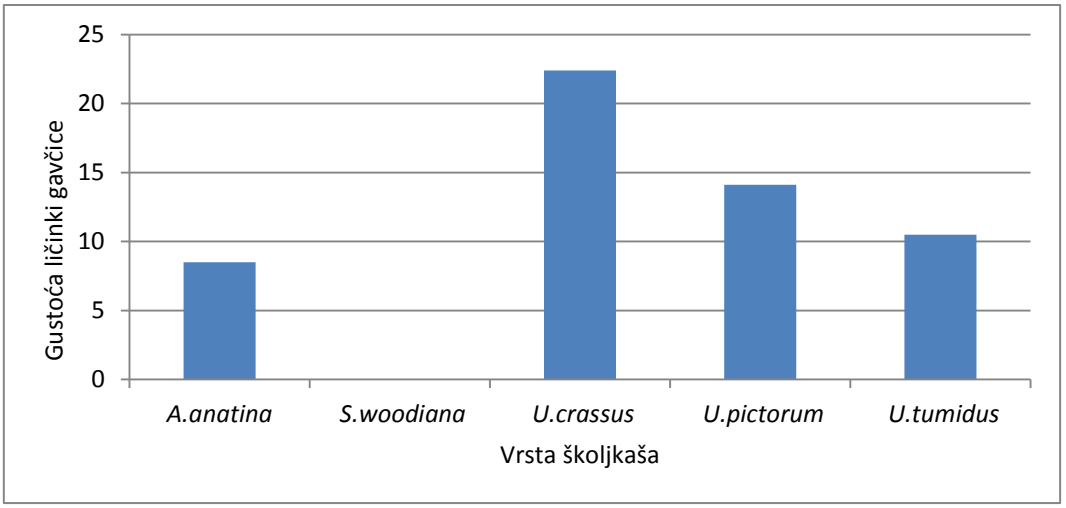
Vrsta	dužina (mm)			širina (mm)			visina (mm)			masa (g)		
	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$
A.anatina	90,6	98,07	94 ± 3,4	29,8	33,7	31,7 ± 1,8	42,2	47,6	44,4 ± 2,5	62,9	75,2	69,4 ± 5,1
S.woodiana	109	140,3	125,7±13,8	50,2	59,7	53,2 ± 4,5	69,6	79,3	75,5 ± 4,2	216	322	275,7 ± 44,2
U.crassus	48	55,86	52,5 ± 3,3	19,7	22,3	21 ± 1,2	25,3	27,5	26,6 ± 1,0	15,5	23,1	19,3 ± 3,1
U.pictorum	80,9	108,9	90,1 ± 12,7	24,1	34,6	27,6 ± 4,9	33,3	40,3	36,2 ± 2,9	43,1	110	63,3 ± 31,4
U.tumidus	52,5	75,03	68 ± 10,4	21,8	29,7	26,4 ± 3,3	26,8	35,8	33 ± 4,2	20	49,9	39,8 ± 13,6

Površina u mm² i gustoća ličinki prikazani su na tablici 3. i slici 10.

Tablica 3. Ukupna gustoća ličinki i jaja gavčice u pet vrsta školjkaša (n je ukupna brojnost jaja i ličinki gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, $\bar{x}$ (n) je srednja vrijednost brojnosti jaja i ličinki gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, P je ukupna površina škrga svih jedinki školjkaša iste vrste, $\bar{x}$ (P) je srednja vrijednost ukupne površine škrga za svaku jedinku školjkaša iste vrste, $\bar{x}$ (n) / $\bar{x}$ (P) je gustoća ličinki i jaja gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša).

Odnos brojnosti ličinki gavčice i površine škrga školjkaša					
Vrsta	n	$\bar{x}$ (n)	P(mm²)	$\bar{x}$ (P)	$\bar{x}$ (n) / $\bar{x}$ (P)
A. anatina	97	24,3	11455,4	2863,9	8,5
S. woodiana	0	0	18991,3	4747,8	0
U. crassus	76	19	3391,5	847,9	22,4
U. pictorum	89	22,3	6324,6	1581,1	14,1
U. tumidus	55	13,8	5212	1303	10,5

Ukupno je najveća gustoća ličinki utvrđena kod vrste *U. crassus*, ukupno 22,4, zatim slijedi *U. pictorum* s 14,1, *U. tumidus* s 10,5 i *A. anatina* s 8,5.



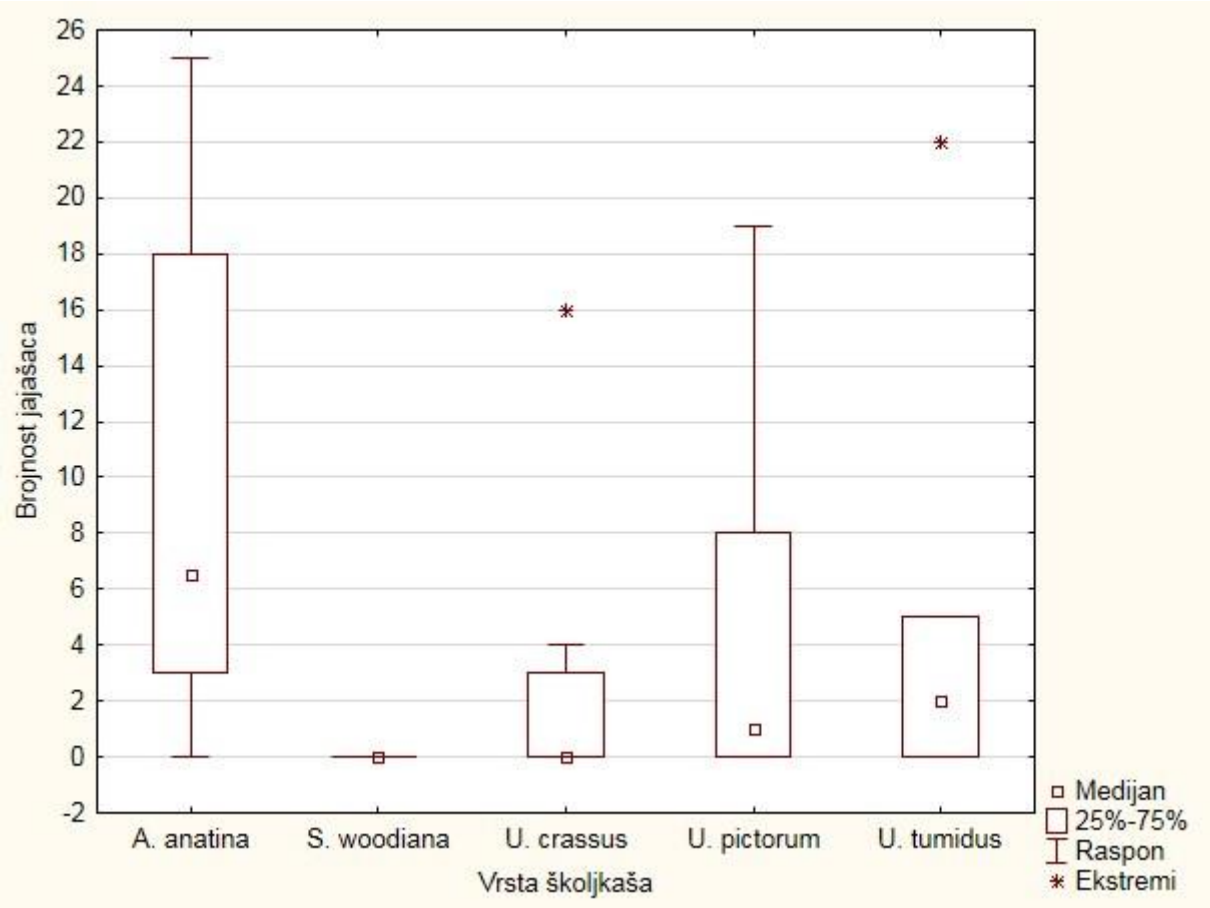
Slika 10. Ukupna gustoća jaja i ličinki gavčice u pet vrsta školjkaša u dugoročnom eksperimentu.

3.2. REPRODUKTIVNE PREFERENCIJE GAVČICE PREMA UNIONIDNIM ŠKOLJKAŠIMA U KRATKOROČNOM EKSPERIMENTU

Rezultati kratkoročnog eksperimenta prikazani su u tablici 4. i na slici 11.

Tablica 4. Ukupan broj jaja gavčice u pet vrsta školjkaša za svaki dan posebno u kratkoročnom eksperimentu.

Kratkoročni eksperiment											
Vrsta	ukupno	dan 1	dan 2	dan 3	dan 4	dan 5	dan 6	dan 7	dan 8	dan 9	dan 10
A. anatina	102	2	8	18	25	12	4	3	25	5	0
S. woodiana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U. crassus	24	0	4	16	0	0	0	3	1	0	0
U. pictorum	43	4	19	1	9	0	0	1	8	1	0
U. tumidus	41	22	2	0	5	2	5	5	0	0	0



Slika 11. *Box & whiskers* dijagram za srednje vrijednosti brojnosti jaja gavčica u kratkoročnom eksperimentu.

Ukupno je najviše jaja gavčice utvrđeno u vrsti *A. anatina*, ukupno 102 jaja, zatim slijedi *U. pictorum* s 43, *U. tumidus* s 41 i *U. crassus* s 24. U invazivnoj vrsti *S. woodiana* nije pronađeno niti jedno jaje. Brojnost jaja gavčice u vrstama školjkaša nije bila ravnomjerno raspoređena što je pokazao $\chi 2$ test čija je vrijednost manja od <0,05. ANOVA analizom se statistički potvrdilo da su srednje vrijednosti brojnosti jaja među vrstama značajno različite ($F_{4,45}$=3,6391, p=0,01186). Fisher LSD *post hoc* test je pokazao da se srednja vrijednost brojnosti jaja u vrsti *A. anatina* značajno razlikuje od ostalih vrsta. Rezultati Fisherovog LSD *post hoc* testa nalaze se u Prilozima.

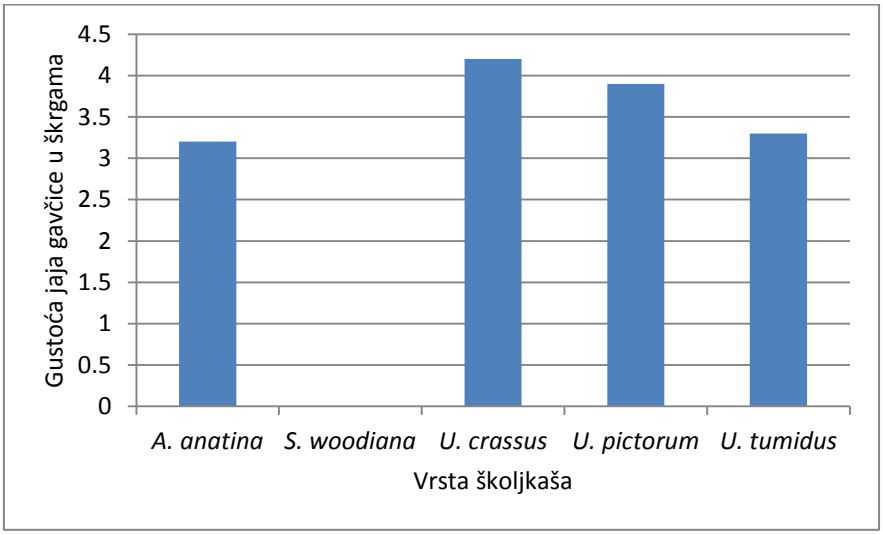
Dimenzije školjkaša prikazane su na tablici 5. Površina škrgi u mm^2 i gustoća jaja u vrstama domaćina prikazani su na tablici 6. i slici 12. Postoji značajna razlika u dimenzijama između vrste *U. crassus* i ostalih vrsta koje su prosječno sličnih veličina.

Tablica 5. Dimenzije školjkaša korištenih u kratkoročnom eksperimentu. Minimum, maksimum, srednja vrijednost i standardna devijacija za dužinu, širinu, visinu umba i masu školjkaša.

Vrsta	dužina (mm)			širina (mm)			visina (mm)			masa (g)		
	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$	min	maks	$\bar{x} \pm SD$
A. anatina	85,9	119,6	106,8 ± 11,3	25,96	41,4	34,5 ± 4,5	42,5	59,4	52,2 ± 4,4	59,4	143,7	106,5 ± 27,4
S. woodiana	105	134,9	119,9 ± 11,8	40,89	48,1	45,4 ± 2,5	62	81,1	72,2 ± 7,2	119,5	271,8	201,5± 52,3
U. crassus	39,2	54,4	49,1 ± 4,2	15,9	20,6	18,9 ± 1,6	20,9	27	25 ± 1,7	8,7	20,7	13,9 ± 3,3
U. pictorum	75,1	121,5	101,8±13,7	25,48	36,4	32,4 ± 3,5	36	44,9	41,1 ± 3	55,9	133,9	95,5± 26,3
U. tumidus	71,5	91,1	72,8 ± 7,3	27,54	35,4	31,9 ± 2,9	34,5	47,1	39,6 ± 3,8	48,1	104	70,9 ± 18,5

Tablica 6. Ukupna gustoća jaja gavčice u pet vrsta školjkaša. n je ukupna brojnost jaja gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, $\bar{x}$ (n) je srednja vrijednost brojnosti jaja gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša, P je ukupna površina škrgi svih jedinki školjkaša iste vrste, $\bar{x}$ (P) je srednja vrijednost ukupne površine škrgi za svaku jedinku školjkaša iste vrste, $\bar{x}$ (n) / $\bar{x}$ (P) je gustoća jaja gavčice u svim jedinkama iste vrste školjkaša.

Odnos brojnosti jaja gavčice i površine škrga školjkaša					
Vrsta	n	$\bar{x}$ (n)	P (mm²)	$\bar{x}$ (P)	$\bar{x}$ (n) / $\bar{x}$ (P)
A. anatina	102	5,1	31587,9	1579,4	3,2
S. woodiana	0	0	21015,5	2101,6	0
U. crassus	24	1,7	5731,8	409,4	4,2
U. pictorum	43	4,3	11124,9	1112,5	3,9
U. tumidus	41	4,1	12437,4	1243,7	3,3



Slika 12. Ukupna gustoća jaja gavčice u pet vrsta školjkaša u kratkoročnom eksperimentu.

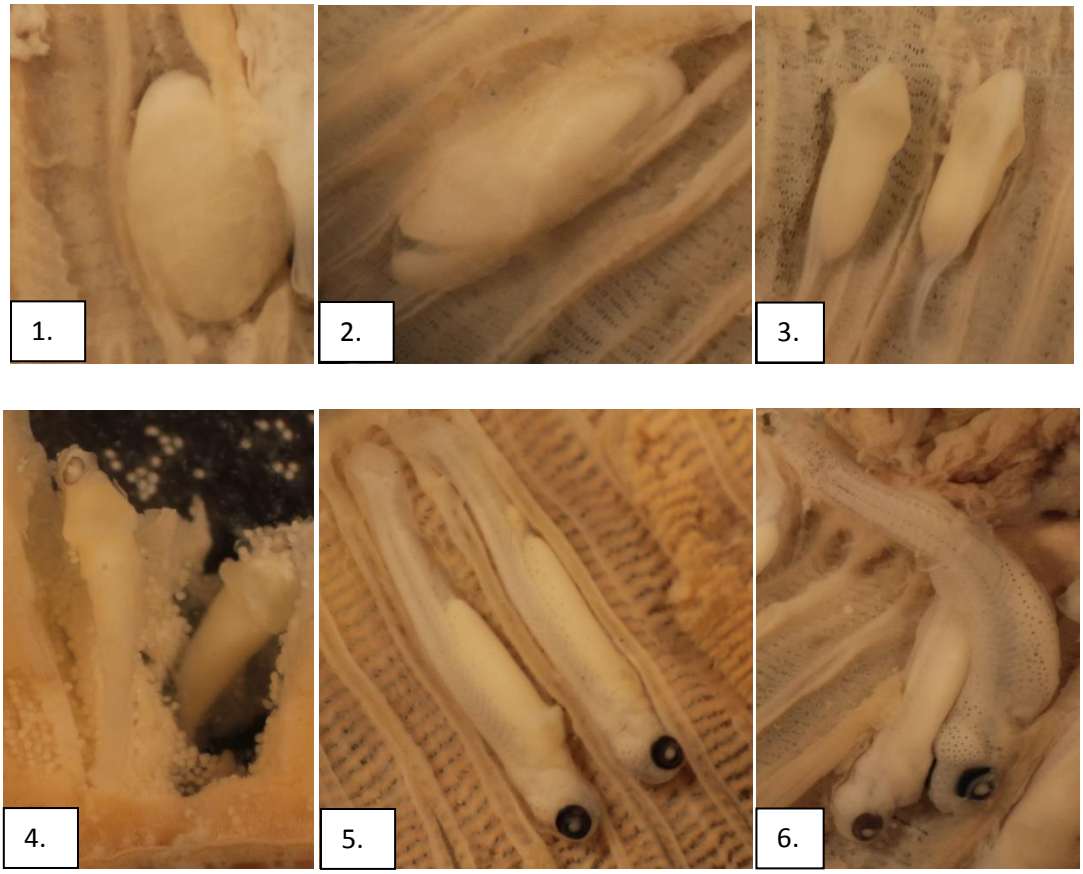
Ukupno je najveća gustoća jaja utvrđena u vrsti *U.crassus*, ukupno 4,2, zatim slijedi *U. pictorum* s 3,9, *U. tumidus* s 3,3 i *A. anatina* s 3,2. Raspodijela jaja se razlikuje od prethodnih rezultata kada se gledala samo ukupna brojnost jaja. Raspodijela jaja gavčice u pet vrsta

školjkaša se nije razlikovala od očekivane, što je pokazao X^2 test čija je vrijednost bila veća od >0,05. ANOVA analizom ($F_{4,45}$ = 8,362098, p = 0,000973) je utvrđeno da se gustoća jaja u pet vrsta školjkaša statistički značajno razlikuje. Fisher LSD *post hoc* test je pokazao da se srednje vrijednost brojnosti jaja između svih vrsta razlikuju. Rezultati Fisherovog LSD *post hoc* testa nalaze se u Prilozima.

3.3. RAZVOJNI STADIJI LIČINKI *Rhodeus amarus* (Bloch, 1872)

Ličinke gavčice su se podijelile na 6 razvojnih stadija. Prvi je stadij (I.) obuhvaćao jaje veličine oko 2,7 mm sa početkom segmentacije miotoma. Drugi stadij (II.) je obuhvaćao ličinku koja se izvalila iz koriona, veličine oko 3,3 mm sa vidljivom kaudalnom regijom i početkom formiranja režnjeva žumanjčane vreće. Treći je stadij (III.) obuhvaćao ličinke veličine 4,7 mm na kojoj je vidljiva pojava nepigmentiranog oka. Četvrti stadij (IV.) je uključivao ličinku veličine 6,4 mm sa razvijenim režnjevima žumanjčane vreće, nepigmentiranim očima i pojavom krvne pigmentacije. Kod petog stadija (V.), kada je ličinka velika oko 6,9 mm oči su pigmentirane, krv je u srcu također pigmentirana, a krvožilni sustav se produžio do vrška repa. U ovom stadiju su bili vidljive i šipčice u repnoj peraji, pojavljuju se melanofori te ličinka postaje pokretna i migrira u suprabranhijalni prostor domaćina gdje nastavlja razvoj. U šestom stadiju (VI.) kada je ličinka velika oko 7,4 mm ili više, plivaći mjehur je ispunjen plinom, vidljiva je bočna pruga, a repna i podrepna peraja su okoštale. Također se apsorbirala čitava žumanjčana vreća i ličinka je spremna slobodno isplivati van domaćina.

Razvojni stadiji ličinki gavčice prikazani su na slici 13.



Slika 13. Razvojni stadiji ličinki gavčice. 1-početak segmentacije miotoma, 2- početak razvoja produžetaka žumanjčane vreće, 3-pojava nepigmentiranog oka, 4-pojava pigmentacije i razvijeni produžetci žumanjčane vreće, 5-krvna pigmentacija i pokretljivost, 6- apsorpcija žumanjčane vreće

3.4. REPRODUKTIVNO PONAŠANJE

Tijekom trajanja dugoročnog eksperimenta praćeno je ponašanje gavčica u mrijestu. Od četiri mužjaka u eksperimentalnom akvariju, dva su bila puno više aktivna za vrijeme eksperimenta, te su također pokazivali jaču teritorijalnost i jače obojenje tijela. Mužjaci su natjeravali ženke po čitavom akvariju i vodili ih do školjkaša. Prilazili su ženkama i školjkašima u naglim zamasima za vrijeme kojih bi raširili svoje peraje i trzali cijelim tijelom, te su u nekoliko navrata ispustili mliječ što je izgledalo kao mali mliječno sivi oblak. Mužjaci

su agresivno branili svoje teritorije od drugih mužjaka, ali primjećeno je da su tjerali i ženke čije leglice još nisu bile dovoljno razvijene koje bi se našle u njihovom teritoriju. Kod ženki koje su bile spremne na mrijest, jasno su se vidjele leglice duge oko 3-4 cm, a u nekima od njih su se mogla vidjeti i jaja mliječno žute boje. Primjećeno je da i ženke i mužjaci ispituju sifone školjkaša kako bi provjerili njihovu kvalitetu, te da mužjaci ispituju školjkaša češće nego ženke, dok ženke ispituju izlazni sifon netom prije nego se odluče položiti jaja. Kako bi ženka položila jaja ona se gubicom pozicionira prema izlaznom sifonu školjkaša (1-5 mm), tako da joj tjelo stoji pod kutom od 75°. Ovipozicija je brza i završava u manje od jedne sekunde. Kao uvod u mrijest, primjećeno je da ženke s produljenim ovipozitorima ponekad pokazuju ponašanje slično samom mrijestu, gdje ovipozitorima dodiruju izlazni sifon ali ga ne ubacuju u njega. Također je primjećeno da prije samog prepoznavanja mjesta za mrijest, ženka utvrđuje mužjakovu kvalitetu, i neće odlaziti do školjkaša u njegovom teritoriju ako ju njegova kvaliteta ne zadovoljava.

4. RASPRAVA

Ovo istraživanje se provodilo kako bi se utvrdila reproduktivna preferencija europske gavčice prema školjkašima iz porodice Unionidae i status ugroženosti gavčice s obzirom na invazivnu vrstu školjkaša *S. woodiana*. Dosadašanja istraživanja su pokazala da gavčice, ako im je omogućen aktivan izbor, neke školjkaše biraju puno češće od ostalih, iako se potencijalno mogu mrijestiti u više vrsta školjkaša iz porodice Unionidae. Utvrđeno je da se gavčica mrijestila u svim školjkašima (*A. anatina, U. tumidus, U. crassus* i *U. pictorum*) osim u vrsti *S. woodiana*. Stoga se europska vrsta gavčice može smatrati generalistom. Najveća brojnost jaja i ličinki gavčice u dugoročnom eksperimentu utvrđena je kod vrste *A. anatina*, zatim slijede *U. tumidus*, *U. crassus* i *U. pictorum*. Međutim to ne znači da je *A. anatina* gavčicama najbolji izbor. Naime, u terenskom istraživanju kojeg su proveli Smith i sur. (2002), ženke gavčice odabiru školjkaše za ovipoziciju na bazi broja ličinki gavčice koje su već prisutne u njima. Velika brojnost već prisutnih ličinki u školjkašima smanjuje stopu ventilacije školjkaša i ličinke gavčice se mogu ugušiti zbog nedostataka kisika. Smith i sur. (2000a) su u svom istraživanju pokazali da ženke gavčice izbjegavaju ovipoziciju u školjkašima koji već sadrže veliki broj ličinki. Kasnija laboratorijska istraživamja su potvrdila da su ovakvi izbori adaptivni jer je mortalitet ličinki gavčice u školjkašima snažno ovisan o gustoći ličinki. Prisutnost ličinki gavčice u škrgama školjkaša značajno pojačava izmjenu kisika između ulaznog i izlaznog sifona (Smith i sur., 2004). Smith i sur. (2001) predlažu da je sadržaj kisika u vodi koja napušta izlazni sifon neposredan pokazatelj kvalitete školjkaša, i da mortalitet ličinki koji ovisi o gustoći proizlazi kroz kompeticiju za kisik. U dugoročnom eksperimentu, iako je ukupno najveća brojnost utvrđena u vrsti *A. anatina*, najveća brojnost ličinki u zadnjem razvojnom stadiju utvrđena je u vrsti *U. tumidus*, zatim slijede *U. crassus, U. pictorum* i *A.anatina.* Kako je utvrđeno da je općenito veća brojnost ličinki u krajnjim razvojnim stadijima u vrstama roda *Unio* spp., a veća brojnost ličinki u ranijim razvojnim stadijima u *A. anatina*, ne možemo isključiti mogućnost da gavčice pokazuju izrazitiju preferenciju prema vrstama roda *Unio* spp. Također ne možemo zaključiti da rezultat dugoročnog eksperimenta pokazuje pravi obrazac preferencije gavčica, zbog toga što ovi školjkaši imaju sposobnost izbacivanja jaja i ličinki gavčice (Smith i sur., 2004). U ovom istraživanju, se ovakvo ponašanje nije ispitivalo, stoga isto tako ne možemo isključiti mogućnost da su pojedine jedinke školjkaša izbacile prijevremeno ličinke. Mills i Reynolds (2002a) su pokazali u svojem istraživanju da je *U. pictorum* najpoželjnija vrsta jer su je

gavčice najčešće birale i to zbog toga jer je u prosjeku izbacivao najmanji broj jaja gavčica i trebalo mu je najdulje vrijeme za izbacivanje, dok je *Anodonta* sp. izbacivala veći broj jaja. Mills i sur. (2005) su utvrdili da *Anodonta* spp. imaju šire vodene kanaliće od *Unio* spp., što otežava ličinkama prihvaćanje za domaćinove škrge, i olakšava školjkaševo izbacivanje ličinki. Smith i sur. (2004) su zaključili da je *R. amarus* generalist, s preferencijom prema *Unio* spp. koji pokazuje jednostavniju anatomiju škrgi za razliku od *Anodonta* spp. koji pokazuju kompleksniju škržnu građu. Školjkaši s jednostavnijim škrgama imaju manju ukupnu stopu respiracije, koju čini se ženke gavčice mogu prepoznati.

Međutim, u dugoročnom eksperimentu najveća gustoća ličinki utvrđena je u vrsti *U. crassus*, zatim slijede *U. pictorum*, *U. tumidus* i *A. anatina*. Ovi rezultati čini se potvrđuju rezultate od Smith i sur. (2004) da gavčice više preferiraju rod Unio. Čini se da gavčice prvo odabiru *U. crassus* i ostale vrste roda *Unio*, te kako su oni manjih dimenzija od *A. anatina* vrlo brzo bivaju popunjeni ličinkima, što ih onda čini ne kvalitetnim odabirom mjesta za ovipoziciju stoga ih gavčice prestaju odabirati i okreću se vrsti *A. anatina*.

Tijekom dugoročnog eksperimenta pratilo se i reproduktivno ponašanje gavčica. Okolišni znakovi koji potiču sazrijevanje gonada u gavčica jesu povećanje temperature i fotoperioda. Prije samog mrijesta primjećeno je da ženke s produljenim ovipozitorima dodiruju izlazni sifon školjkaša ali ne ubacuju ovipozitor u njega. Ovakvo ponašanje je Wiepkema (1961) nazvao“ dodirivanje (eng. *touching*)“, a Smith i sur. (2001) „brzo pregledavanje (eng. *skimming*)“. Funkcija ovog ponašanja nije još poznata. Prvo se mislilo da je to jenostavno pokušaj mrijesta u kojem konični organ ženke promaši izlazni sifon školjkaša. Međutim, Smith i sur. (2001) predlažu da ovo ponašanje služi kao procjena domaćinove kvalitete. Ovipozicija započinje kada ženka gavčice prepozna školjkaša kao potencijalno mijesto za mrijest. Nakon prepoznavanja ženka odlučuje hoće li položiti ili ne jaja u određenog školjkaša, ali prije toga ženka prvo utvrđuje mužjakovu kvalitetu, i neće odlaziti do školjkaša u njegovom teritoriju ako ju njegova kvaliteta ne zadovoljava. Kvaliteta mužjaka dakle, ne utječe na odluku mrijesta već radije ovisi o kvaliteti samog školjkaša. Stoga se ženke gavčice mrijeste u neproporcijalno velikim stopama sa velikim i jače obojenim mužjacima koji čuvaju visokokvalitetne školjkaše u svom teritoriju. Kvaliteta školjkaša konačno determinira izbor ovipozicije, iako se inspekcija školjkaša događa samo kada je mužjak koji ih čuva intenzivno obojan i sposoban je udvarati se ženki bez prekidanja od strane svojih suparnika. Mužjak često brani samo jednog školjkaša, ali ih može imati i nekoliko u svom teritoriju. Čini se da je glavna determinanta mogućnosti posjedovanja teritorija tjelesna veličina. U dugoročnom

eksperimentu, dva veča i jače obojana mužjaka su posjedovala veće teritorije sa više školjkaša u njima. Kada započinje sezona mrijesta mužjaci postaju agresivniji prema drugim ribama. To agresivno ponašanje prema suparnicima uključuje širenje peraja i paralelno plivanje (mužjaci plivaju paralelno jedan uz drugog pokazujući svoje raširene peraje). Mužjaci su također pokušavali gurnuti ili napasti svoje suparnike i to koristeći ili cijelo svoje tijelo ili samo repnu peraju (mužjak proizvodi nagle trzaje repnom perajom ili svojim tijelom). Također mogu napadati suparnike glavom u ponašanju koje se na engleskom naziva „*headbutting behavior*". Često jedan drugog udaraju u slabine što uzrokuje otpadanje ljusaka na tom području (Smith i sur., 2004). Dok pokazuju ovakva agresivna ponašanja boja teritorijalnih mužjaka se često vidljivo poveća. Ako se ženka koja je spremna na mrijest približi njegovom teritoriju mužjak će odmah započeti s udvaralačkim ponašanjem. Plivati će brzo prema ženki i tresti svoje tijelo kombinirajući undulacijske valove niske i visoke amplitude. Za vrijeme ovog ponašanja često su se bočno okretali prema ženki, pokazajući tako svoju lateralnu stranu sa tirkiznom prugom. Mužjak zatim počinje plivati prema školjkašu u svom teritoriju dok se nastavlja tresti i to se ponašanje zove "vođenje (eng. *leading*)" (Smith i sur., 2004). Ako ga ženka slijedi mužjak će ju odvesti direktno do školjkaša. Ako se ženka zaustavi, mužjak će plivati nazad prema njoj, trzati tijelom i pokušati će ju ponovno voditi. Nakon uspiješnog vođenja mužjak zauzme poziciju sličnu kao ženke kada vrše ispitivanje izlaznog sifona, počinje zamahivati tijelim ispred i iznad ulaznog sifona školjkaša, ali bez samog dodirivanja sifona. Dok se kreće prema sifonu mužjak ispusti mliječ. Nakon ove predovipozicijske ejakulacije mužjak se pozicionira blizu školjkaša i nastavlja trzati tijelom. Ako se druga riba približi dok ženka ispituje sifon, mužjak će agresivno napasti suparnika udarajući ga glavom u više navrata. Ako se nakon ispitivanja ženka odluči mrijestiti, mužjak će momentalno ejakulirati u ulazni sifon, ponekad i više puta ako se u blizini nalazi drugi mužjak. Mrijest je završen kada mužjak otjera ženku dalje od školjkaša. Nakon ovipozicije mužjakovo se ponašanje mijenja, postane puno agresivnije i neće tolerirati prisustvo drugih riba blizu školjkaša u svom teritoriju. Drugi mužjaci, čini se, mogu prepoznati da su se jaja ispustila (Smith i sur., 2003) i često odabiru taj trenutak za pokušaj prikradajuće fertilizacije.

U kratkoročnom eksperimentu najveća brojnost jaja ponovno je utvrđena u vrsti *A.anatina*, zatim slijede *U. pictorum, U. tumidus* i *U. crassus*, a u vrsti *S. woodiana* nije pronađeno niti jedno jaje. Budući da se kratkoročni eksperiment provodio kako bi se smanjila mogućnost izbacivanja jaja iz školjkaša, ovi rezultati vjerojatno pokazuju jasniju sliku preferencije gavčice.

Najveća gustoća jaja gavčice u kratkoročnom eksperimentu je utvrđena u vrsti *U. crassus*, zatim slijede *U. pictorum, U. tumidus* i *A. anatina.* Ovi rezultati potvrđuju rezultate dugoročnog eksperimenta da gavčice najviše odabiru *U. crassus,* a najmanje *A. anatina*, a da su *U. tumidus* i *U. pictorum* između ta dva odabira. Međutim brojna istraživanja, Smith i sur. (2000a), su pokazala da je fleksibilnost u preferenciji domaćina adaptivna, jer se mijenja kako bi minimalizirala mortalitet ovisan o gustoći ličinki. Stoga se čini da odabir domaćina ovisi o trenutnoj promjeni u relativnoj domaćinovoj kvaliteti.

Gavčica trenutno pripada kategoriji najmanje zabrinjavajućih vrsta (LC – least concern) (iucnredlist.org). Međutim pojavom invazivne azijske vrste *S. woodiana* u Europi postoji mogućnost buduće ugroženosti gavčice, zbog toga što ova vrsta istiskuje autohtone školjkaše iz porodice Unionidae (Sousa i sur. 2014). Vrsta *S. woodiana* je generalist što se tiče staništa i sazrijeva već u prvoj godini života zbog čega se može relativno brzo proširiti u vodama Europe. Stoga autohtoni školjkaši mogu biti u direktnoj kompeticiji sa ovom vrstom. Kako su rezultati ovog istraživanja pokazali da gavčica ne koristi ovog školjkaša kao ovipozicijsko mjesto, buduće širenje ove vrste može ugroziti status gavčice u Europi, zato što ugrožava ostale školjkaše koje gavčice koriste za mrijest. Trenutno *U. tumidus, U. pictorum* i *A. anatina* nisu ugroženi u Europi, ali populacije *U. crassus* su počele naglo opadati. Jaka ovisnost gavčica o slatkovodnim školjkašima utječe na to da konzervacijski status gavčice mnogo ovisi o situaciji njihovih domaćina (Tatoj i sur., 2014). Također, budući da je gavčica parazit na školjkašima, smanjuje njihovu stopu rasta i ukupni fitnes što isto moguće utječe na status ugroženosti školjkaša i time i na sami status ugroženosti gavčice.

5. ZAKLJUČCI

- Gavčice pokazuju značajnu razliku u odabiru domaćina s preferencijom prema vrstama iz roda *Unio.*
- Gavčice su se mrijestile u svim autohtonim školjkašima, ali ne i u invazivnoj vrsti *S. woodiana.*
- Najveća brojnost jaja i ličinki u odnosu na površinu škrga utvrđena je kod vrste *U. crassus.*
- Vrsta *S. woodiana* predstavlja prijetnju autohtonim školjkašima iz porodice Unionidae pa postoji potencijalna prijetnja smanjenja broja jedinki gavčice u Europi ako se brojnost vrste *S. woodiana* poveća.

6. LITERATURA

Aldridge D. C. ; 1999., Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels, Journal of Fish Biology, 54, 138-151

Aldridge D.C.; 1997., Reproductive ecology of bitterling (*Rhodeus sericeus* Pallas) and unionid mussels, PhD thesis, Cambridge University

Bauer G.; 2001., Factors affecting naiad occurence and abundance, Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida, 155-162

Berra, T. M.; 2001., Freshwater Fish Distribution, Academic Press, USA

Billard, R.; 1999., Carp: biology and culture, Praxis publishing Ltd., Chichester, UK.

Bykhovskii, M.; 1962., Parasites identified in freshwter fishes of the USSR, Moscow, Izvestiya Akademii Nauk SSSR

Candolin U., Reynolds J.D.; 2001., Sexual signaling in the European bitterling: females learn the truth by direct inspection of the resource, Behavioral Ecology, 12, 407–411

Cuttelod A., Seddon M., Neubert E.; 2011., European Red list of Non-Marine Molluscs, Publications Office of the European Union

Ćaleta M., Buj I., Mrakovčić M., Mustafić P., Zanella D., Marčić Z., Duplić A., Mihinjač T., Katanić I.; 2015., Hrvatske endemske ribe. Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb

Denic M., Stoecki K., Gum B., Geist J.; 2014., Physicochemical assessment of *Unio crassus* habitat quality in a small upland stream and implicatons for conservation, Hydrobiologia, 735, 111-122

Dillon R.T.; 2000., The Ecology of Freshwater Molluscs, Cambridge, Cambridge University Press

Duyvene de Wit J.J.; 1966., Some observations on the European bitterling (*Rhodeus amarus*), Suid-Afrikaanse Joernaal van Wetenskap, 51, 249-251

Graf D.L., Cummings K.S.; 2007., Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida), Journal of Molluscan Studies, 73, 291-314

Graf D.L., Cummings K.S.; 2015, The freshwater mussels (Unionoida) of the world (and other less consequential bivalves) MUSSEL Project, mussel-project.uwsp.edu

Gutierrez J.L, Jones C.G., Strayer D.L., Iribarne O.O.; 2003., Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats, Oikos, 101, 79-90

Haag W.R, Warren, M.L.Jr.; 1997., Host fishes and reproduction biology of 6 freshwater mussel species from the Mobile basin streams, USA, Journal of the North American Benthological Society, 16, 576-585

Haas F.; 1969., Sperfamilia Unionacea, Das Tierreich, 88

Habdija, I., Primc Habdija, B., Radanović, I., Vidaković, J., Kučinić, M., Špoljar, M., Matoničkin, R., Miliša, M.; 2004., Protista - Protozoa i Metazoa – Invertebrata, Funcionalna građa i praktikum, Meridijani, Samobor

Hayes F.R., Wilmot J.R., Livingstone D.A.; 1951., The oxygen consumpiton of the salmon egg in relation to development and activity, Journal of Experimental Zoology, 116, 377-395

Hinzmann M., Lopes-Lima M., Teixeira A., Varandas S., Sousa R., Lopes A., Froufe E., Machado J.; 2013., Reproductive cycle and strategy of *Anodonta anatina* (L., 1758): notes on hermaphroditism, Journal of Experimental Zoology, 319A, 378-390

Holčik J., Lohnisky L.; 1958., On the parasitism of glochidia on aquarium fishes, Akvarium Terarium 1, 20-22

Holčik J.; 1995., *Rhodeus sericeus,* Mihulovci petromyzontes a ryby osteichthyes, 208-215

Holčik, J.; 1989., The freshwater fishes of Europe. AULA-Verlag, Wiesbaden

Jansen W., Bauer G., Zahner-Meike L.; 2001., Glochidial mortality in freshwater mussels, Ecology and evolution of the freshwater mussels unionoida, 185-207

Jokela J., Palokangas P.; 1993., Reproductive tactics in *Anodonta* clams: parental host recognition, Animal Behaviour, 46, 618-620

Kottelat, M., Freyhof, J.; 2007., Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany

Lajtner J., Crnčan P.; 2011., Distribution of the invasive bivalve *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) in Croatia, Aquatic invasions 6, S119-S124

Lopes-Lima M., Kebapci U., Van Damme D.; 2014a., Unio crassus IUCN red list of threatened species, Version 2015.2.

Lopes-Lima M., Sousa R., Geist J., Aldridge D.C., Araujo R., Bergengren J., Bespalaya Y., Bodis E., Burlakova L., Van Damme D., Douda K., Froufe E., Georgiev D., Gumpinger C., Karatayev A., Kebapci U., Killeen I., Lajtner J., Larsen B.M., Lauceri R., Legakis A., Lois S., Lundberg S., Moorkens E., Motte G., Nagel K.O., Ondina P., Outeiro A., Paunovic M., Prie V., Proschwitz T., Riccardi N., Rudzite M., Rudzitis M., Scheder C., Seddon M., Sereflisan H., Simić V., Sokolova S., Stoeckl K., Taskinen J., Teixeira A., Thielen F., Trichkova T., Varandas S., Vicentini H., Zajac K., Zajac T., Zogaris S.; 2016., Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges, Biological Reviews, doi: 10.1111/brv.12244, Cambridge Philosophical Society

Lopes-Lima M., Teixeria A., Froufe E., Lopes A.,Varandas S., Sousa R.; 2014b., Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future perspectives, Hydrobiologia, 735, 1-13

Maitland P.S., Campbell R.N.; 1992., Freshwater Fishes, London, Harper Collins

Mills S.C., Reynolds J.D. ; 2002a., Mussel ventilation rates as approximate cue for host selection by bitterling, *Rhodeus sericeus*, Oecologia, 131, 473 - 478

Mills S.C., Reynolds J.D. ; 2002b., Host species preferences by bitterling, *Rhodeus sericeus*, spawning in freshwater mussels and consequences for offspring survival, Animal Behaviour, 63, 1029 – 1036.

Mills S.C., Reynolds J.D. ; 2003., The bitterling – mussel interaction as a test case for co-evolution, Journal of Fish Biology, 63, S84 – S104

Mills S.C., Taylor M.I., Reynolds J.D.; 2005., Benefits and costs to mussels from ejecting bitterling embryos: a test of the evolutionary equilibrium hypothesis, Animal Behaviour, 70, 31-37

Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Ćaleta, M., Mustafić, P., Zanella, D.; 2006., Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske. Ministarstvo kulture Republike Hrvatske, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb

Myers T.R., Millemann R.E.; 1977., Glochidiosis of salmonid fishes. I. Comparative susceptibility to experimental infection with Margaritifera margaritifera (L.) (Pelycypoda: Margaritanidae), Journal of Parasitology, 63, 728-733

Negus C.L.; 1966., A quantity study of growth and production of unionid mussels in the River Thames at Reading, Journal of Animal Ecology, 35, 513-532

Nelson, J.S.; 2006., Fishes of the world, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Paracer S., Ahmadjian V.; 2000., Symbiosis, Oxford, Oxford University Press

Reichard M., Bryja J., Polačik M., Smith C.; 2011., No evidence for host specialization or host – race formation in the European bitterling (*Rhodeus amarus*), a fish that parasitezes freshwater mussels, Molecular Ecology, 20, 3631 -3643

Reichard M.; 1998., A morphological comparison of riverine and oxbow bitterling populations with respect to allometric growth, Folia Zoologica, 47, 65-73

Reynolds J.B.; 1996., Electrofishing *in* Murphy, B. R., Willis, D. W. (ur.): Fisheries techniques, Second edition, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 221-253.

Reynolds J.D., Debuse V.J., Aldridge D.C.; 1997., Host specialization in an unusual symbiosis: European bitterlings spawning in freshwater mussels, Oikos 78, 539-545

Smith C., Reichard M. Jurajda P., Przybylski M.: 2004., The reproductive ecology of the European bitterling (*Rhodeus sericeus*), Journal of zoology, 262, 107-124

Smith C., Reichard M., Jurajda P.; 2003., Assessment of sperm competition by bitterling, Rhodeus sericeus, Behavioural Ecology and Sociobiology, 53, 206-213

Smith C., Reynolds J.D., Sutherland W.J., Jurajda P.; 2000b, Adaptive host choice and avoidance of superparasitism in the spawning decisions of bitterling (*Rhodeus sericeus*), Behavioural Ecology and Sociobiolgy, 48, 29-35

Smith C., Reynolds J.D., Sutherland W.J.; 2000a, The population consenquences of reproductive decisions, Proceeding of the Royal Society London B, 272, 1683-1688

Smith C., Rippon K., Douglas A., Jurajda P.; 2001., A proximate cue for oviposition site choice in the bitterling (*Rhodeus sericeus*), Freshwater Biology, 46, 903-911

Sousa R., Novais A., Costa R., Strayer D.; 2014., Invasive bivalves in freshwaters: impacts from individuals to ecosystems and possible control strategies, Hydrobiologia 735, 233-251

Stadnichenko A.P., Stadnichenko Y.A.; 1980., On the effect of bitterling larvae on the lamellibranchid mollusc Unio rostratus gentilis Haas, Gidrobiologicheski Zhurnal, 1980, 57-61

Strayer D.L., Downing J.A., Haag W.R., King T.L., Layzer J.B., Newton T.J., Nichols S.J; 2004., Changing perspectives on pearly mussels, North America`s most imperiled animals, BioScience, 54, 429-439

Taeubert J.-E., Gum B., Geist J.; 2012., Host-specificy of the endangered thick-shelled river mussel (Unio crassus, Philipsson 1788) and implications for conservation, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 22, 36-46

Tatoj K., Ćmiel A.M., Kwaska D., Lipinska A.M., Zajac K., Zajac T.; 2016., The endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*): a new host species for the European bitterling (*Rhodeus amarus*)

Van Damme D.; 2011., Unio pictorum, IUCN red list of threatened species, Version 2015.2.

Vaughn C.C., Hakenkamp C.C.; 2001., The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems, Freshwater Biology, 46, 1431-1446

Vicentini H.; 2005., Unusal spurting behaviour of the freshwater mussel Unio crassus, Journal of Molluscan Studies 71, 409-410

Ware D.M.; 1975., Relation between egg size, growth, and natural mortality of larval fish, Journal of the Fisheries Research Board of Canada 32, 2503-2512

Wheeler A.; 1978., Key to fishes of northern Europe, London, Warne

Wiepkma P.R.; 1961., An ethological analysis of the reproductive behaviour of the bitterling (*Rhodeus amarus* Bloch), Archives Neerlandaises de Zoologie, 14, 103-199

Zahner-Meike E., Hanson J.M.; 2001., Effect of muskrat predation on naiads, Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida, 163-184

Zajac K., Zajac T.; 2011., The role of active individual movement in habitat selection in the endangered freshwater mussel Unio crassus Philipsson 1788, Journal of Conchology 40, 446-461

Zieritz A., Aldridge D.C.; 2011., Sexual, habitat-constrained and parasite induced dimorphism in the shell of a freshwater mussel (Anodonta anatina, Unionidae), Journal of Morphology 272, 1365-1375

www.fishbase.org, pristupljeno 26. kolovoza 2017.

www.iucnredlist.org, pristupljeno 26. kolovoza 2017.

7. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci

Ime I prezime:	Petra Prenz
Adresa:	Sisačka 6, Pula
Mobitel:	0996000335
E-mail:	petra.prenz@gmail.com
Datum rođenja:	7.10.1993.
Mjesto rođenja:	Pula

Obrazovanje

Razdoblje:	2015 – 201
Zanimanje:	eksperimentalni biolog –mag.biol.exp
Naziv fakulteta:	Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno – Matematički fakultet Eksperimentalna biologija
Razdoblje:	2012 – 2015
Zanimanje:	biolog – univ.bacc.biol
Naziv fakulteta:	Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno – matematički fakultet Biološki odsjek – istraživački smjer
Razdoblje:	2008 - 2012
Naziv škole:	Opća gimnazija Pula
Razdoblje:	2000 - 2008
Naziv škole:	O.Š. Kaštanjer

Volonterstvo i praksa

Razdoblje:	**2007.**
Radno mjesto:	volonter u Crvenom križu u Puli
Glavne aktivnosti:	rad s ljudima, prva pomoć
Razdoblje:	**2012.**
Radno mjesto:	volonter na Sajmu knjiga u Istri
Glavne aktivnosti:	rad u prodaji, rad s ljudima
Razdoblje:	**2013 – 2017**
Radno mjesto:	sudionik u timu studenata povodom manifestacije NOĆI BIOLOGIJE na PMF-u
Glavne aktivnosti:	osmišljavanje i izrada edukativno – kreativnih radionica , rad s ljudima
Razdoblje:	2014.

Radno mjesto:	Stručna praksa na zoologijskom zavodu na PMF-u
Glavne aktivnosti:	Invertariranje mamaloške zbirke zoologijskog zavoda,determinacija i konzervacija materijala
Razdoblje:	2015 - 2017
Radno mjesto:	Član udruge studenata Biologije (BIUS), sekcija za Ribe
	Glavne aktivnosti: rad na terenu, projektima, istraživački rad, edukacijske i kreativne radionice, Biološki istraživački kampovi
Razdoblje:	2015 - 2016
Radno mjesto:	Član udruge RIO ZAGREB, Udruga za zaštitu okoliša i održivi razvoj
Glavne aktivnosti:	organizacija konferencije, edukacija
Razdoblje:	2016 - 2017.
Radno mjesto:	Član udruge studenata Istre Mate Balota
Glavne aktivnosti:	rad na šanku, rad s ljudima, fotografija

Vještine i znanja

Jezici:	Aktivno znanje engleskog jezika u govoru i pismu Pasivno znanje talijanskog, njemačkog i španjolskog u govoru i pismu
Rad na računalu:	MS Office (Word, Excel i Power Point), Internet, mail, statistički programi, programi za filogenetsku rekonstrukciju
Hobiji:	Fotografija,Likovne aktivnosti, pisanje proze i poezije, čitanje, planinarenje, animacija, komunikacija, dramske aktivnosti, izrada herbarijskih i zooloških zbirki

PRILOZI

1. Fisher LSD post hoc test za srednju vrijednost gustoće ličinki u pet vrsta školjkaša u kratkoročnom eksperimentu
2. Fisher LSD post hoc test za srednju vrijednost brojnosti jaja vrste *A. anatina* u kratkoročnom eksperimentu

Prilog 1. Fisher LSD post hoc test za srednju vrijednost gustoće ličinki u pet vrsta školjkaša u kratkoročnom eksperimentu

Vrsta					
A.anatina		0,053808	0,005371	0,860293	0,088851
S. woodiana	0,053808		0,000082	0,074971	0,001387
U. crassus	0,005371	0,000082		0,003720	0,172749
U. pictorum	0,860293	0,074971	0,003720		0,064117
U. tumidus	0,088851	0,001387	0,172749	0,064117	

Prilog 2. Fisher LSD post hoc test za srednju vrijednost brojnosti jaja vrste *A. anatina* u kratkoročnom eksperimentu

Vrsta					
A.anatina		0,000684	0,007709	0,040439	0,034398
S.woodiana	0,000684		0,395243	0,131077	0,149503
U.crassus	0,007709	0,395243		0,50028	0,546241
U.pictorum	0,040439	0,131077	0,50028		0,943293
U.tumidus	0,034398	0,149503	0,546241	0,943293	