

# Akustički repertoar glavočića okrugljaka *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) i Kesslerovog glavočića *Ponticola kessleri* (Günther, 1861)

---

Bem, Lea

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:609538>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno - matematički fakultet  
Biološki odsjek

Lea Bem

Akustički repertoar glavočića okrugljaka (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) i  
Kesslerovog glavočića (*Ponticola kessleri* (Günther, 1861))

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je u laboratoriju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Davora Zanelle. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

## ZAHVALE

...veliko hvala mom mentoru, Davoru Zanelli na pruženoj prilici za izradu ovog rada.

...zahvaljujem asistentu Svenu na velikom strpljenju i trudu te pomoći prilikom nastanka ovog rada.

...zahvaljujem svojim prijateljicama, mom K.T.2 za sve avanture i predivne uspomene koje smo stekle i zajedno stvorile tokom cijelog života. Nadam se da će ih biti još najmanje toliko i da će nam činiti nestvarne kao što nam se čine i ove sada.

...hvala mojoj Ivani, sinonimu za iskrenost, bez čije prisutnosti moj život ne bi bio ono što je danas. Hvala što si uvijek uz mene. Bolju prijateljicu nisam mogla zamisliti.

...hvala mojoj pandici, mojoj Leici, na svakoj neprospavanoj noći, svakoj suzi, svakom ljetu, na svakom savjetu, i potpori koju si mi pružila. Hvala dragom Bogu koji nas je spojio i podario mi takvu družicu, moju sestru blizanku.

...zahvaljujem mom anđelu, mom Ivanu, čija snaga i osmijeh bude samo dobro u ljudima. Hvala što si uz mene svaki dan u dobru i zlu. Hvala na svakom danu koji smo proveli skupa. Bez tebe ništa ne bi imalo smisla.

...zahvaljujem se svojim roditeljima i ostatku obitelji na neizmjerne podršci tokom cijelog života, hvala što ste vjerovali u mene i niste mi nikad dozvolili da odustanem. Hvala mojoj Ivi na ispitivanju pojmova koje nikad neće razumjeti i što je najbolja sestra koju sam mogla imati.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### **Akustični repertoar glavočića okrugljaka *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) i Kesslerovog glavočića *Ponticola kessleri* (Günther, 1861)**

Lea Bem

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Cilj ovog istraživanja bio je snimiti i opisati vokalni repertoar glavočića okrugljaka (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)) i Kesslerovog glavočića (*Ponticola kessleri* (Günther, 1861)) u kontroliranim eksperimentalnim uvjetima uz pomoć akustične opreme potrebne za snimanje zvukova. Osim navedenog, cilj istraživanja bio je kvantitativno usporediti zvukove tih dviju vrsta, bazirajući se na opisana akustična svojstva, te na temelju dobivenih rezultata odrediti stupanj srodnosti istraživanih vrsta i zatim ih usporediti međusobno. Također, dodatni cilj istraživanja bio je odrediti stupanj akustičke sličnosti glavočića okrugljaka i Kesslerovog glavočića s ostalim vokalnim glavočićima iz potporodice Benthophiliane bazirajući se na postojeće literaturne podatke. Analizirajući snimljene zvukove navedenih vrsta u STATISTICA programu dokazali smo da su *P.kessleri* i *N.melanostomus* srodne vrste, ali da su im zvukovi što reproduktivni što agresivni uistinu međusobno razlikuju. Kao najbitnija akustična svojstva istaknule su se dvije varijable: trajanje zvuka i broj ponavljanja pulseva.

(35 stranica, 14 slika, 2 tablice, 34 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: glavočići, akustična svojstva

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Davor Zanella

Ocjenitelji: Dr. sc. Davor Zanella, izv. prof.

Dr. sc. Ines Radanović, izv.prof,

Dr. sc. Vesna Petrović Peroković, izv.prof

Rad prihvaćen: 07.06.2018

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation thesis

### **Vocal repertoirere of the Round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) and Kessler's goby *Ponticola kessleri* (Günther, 1861)**

Lea Bem

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The aim of this study was to record and describe the vocal repertoirere of the Round goby (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)) and Kessler's goby (*Ponticola kessleri* (Gunther, 1861)) in control experimental conditions with the necessary acoustic equipment. Except for the above the aim of the study was to quantitatively compare sounds of these two species with the focus on their acoustic performance and then with the results to determine the stage of affinity between not only these two species but with all vocal gobies from family Benthophilinae. Sounds were analyzed in the program named STATISTIC, we have proved that these two species are similar but they have different aggressive sounds such as reproductive sounds. In this study the most important two vocal variables have been: duration and number of pulses.

(35 pages, 14 figures, 2 tables, 34 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in Central Biological Library

Key words: gobies, acoustic properties

Supervisor: Dr. Davor Zanella, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Davor Zanella, Assoc. Prof.

Dr. Ines Radanović

Dr. Vesna Petrović Peroković

Thesis accepted: 07.06.2018

## Sažetak

Sažetak .....	6
1. UVOD .....	1
1.1 OPĆE KARAKTERISTIKE RECENTNIH KOŠTUNJAČA .....	3
1.1.1 RAZRED ACTINOPTERYGII (ZRAKOPERKE) .....	3
1.1.2 RED PERCIFORMES (GRGEČKE) .....	4
1.1.3 PORODICA GOBIIDAE (GLAVOČI) .....	4
1.1.4 ROD <i>NEOGOBIUS</i> .....	5
1.1.5 <i>NEOGOBIUS MELANOSTOMUS</i> ( GLAVOČIĆ OKRUGLJAK).....	6
1.1.6 <i>PONTICOLA KESSLERI</i> (KESLEROV GLAVOČIĆ) .....	7
1.2 UVOD U BIOAKUSTIKU .....	9
1.3 CILJ ISTRAŽIVANJA .....	11
2. MATERIJALI I METODE .....	12
2.1 UZORKOVANJE I SMJEŠTAJ RIBA.....	12
2.2 OPIS EKPERIMENTA.....	13
2.3 OBRADA AKUSTIČNIH MATERIJALA .....	14
2.4 STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA .....	15
3. REZULTATI.....	16
3.1 <i>Zvukovi vrste Neogobius melanostomus</i> .....	16
3.2 <i>Zvukovi vrste Ponticola kessleri</i> .....	18
3.3 Usporedba zvukova <i>N. melanostomus</i> i <i>P. kessleri</i> .....	20
4. RASPRAVA.....	30
4.1 <i>Neogobius melanostomus</i> .....	32
4.2 Usporedba <i>P. kessleri</i> i <i>N. melanostomus</i> .....	33
4.3 Usporedba vokalnog repertoara istraživanih vrsta sa zvukovima drugih europskih glavoča .....	34
5. ZAKLJUČAK .....	36
6. LITERATURA.....	37

# 1. UVOD

Ribe su najraznolikija i najmnogobrojnija, a ipak slabo istražena skupina kralješnjaka na našem planetu. Do današnjeg dana opisano je oko 32 000 vrsta (Nelson, 2006). Naš planet nazivaju vodenim planetom. Iako voda prekriva veliku većinu našeg planeta (72%) vrlo mali postotak (3%) čini slatka voda. Zanimljivo je da iako slatka voda čini svega nekoliko posto, jedna trećina svih riba živi upravo u slatkoj vodi. Do danas je opisano čak 10 000 vrsta slatkovodnih riba, s tim da se svake godine otkrije dvjestotinjak novih vrsta (Maitland, 2000). Crnomorski ili dunavski slijev Hrvatske zauzima površinu 35 132 km<sup>2</sup>, taj slijev nastanjuje 81 vrsta riba. Osim crnomorskog slijeva, ribe naseljavaju i slatke vode jadranskog slijeva. Jadranski sliv je površinom nešto manji 21 405 km<sup>2</sup> no vrstama bogatiji (88 vrsta). Upravo u te vodotoke unesene su alohtone vrste. Jugozapadni dio Hrvatske je jedan od najvažnijih središta raznolikosti ihtiofaune u Europi. (Mrakovčić i sur., 2006). Upravo zbog nedovoljne istraženosti riba kao skupine, u posljednje vrijeme sve je veći interes znanstvenika za navedeno područje. Kao i kod drugih skupina životinja zvuk igra vrlo važnu ulogu i kod riba. Zvukovi su važno komunikacijsko sredstvo u životinjskom svijetu. Oni kao takvi omogućuju inter- i intraspecijsku komunikaciju, na taj način pospješuju kompeticiju i stvaraju razliku između jedinki pri odabiru partnera za parenje. (Malavasi i sur., 2008; Zeyl i sur., 2016) ). Akustična komunikacija u prošlosti nije se pretjerano istraživala najviše zbog tehnoloških nedostataka. Danas tehnologija vrtoglavo napreduje te upravo u posljednjih 50 godina napreduju i istraživanja u području akustične komunikacije (Horvatić i sur., 2015). Ribe kao i većina životinja proizvode zvukove tijekom reproduktivne sezone, za vrijeme hranjenja, ali i u drugim raznim situacijama (npr. branjenu teritorija, ženke ili vlastitog skloništa) (Zeyl i sur., 2016). Zvukovi im pomažu u međusobnoj komunikacije te su važan čimbenik u ponašanju životinja (Fine i sur., 1977b). Metodom pasivne akustike znanstvenici identificiraju, snimaju te analiziraju zvukove koje zatim povezuju s ponašanjem riba (Rountree i sur., 2006; Luczkovich i sur., 2008). Dakako nisu sve vrste riba jednako vokalne, no glavoči (porodica Gobiidae) definitivno su jedna od danas najistraživijih grupa zbog svoje sposobnosti za stvaranje zvukova. Jedinke su često vokalne tijekom agresivnog ili reproduktivnog konteksta, gdje su najčešće mužjaci oni koji proizvode zvuk iako ponekad mogu biti i ženke (Torricelli i sur., 1990; Lugli i sur., 1997; Lugli i Torricelli, 1999; Malavasi i sur., 2003; Myrberg i Lugli, 2006; Amorim i Neves, 2007). Osim što su vrlo vokalna porodica glavoči su ujedno i jedna od najbrojnijih porodica modernih koštunjača (Hoese, 1984, Miller, 1986). Mediteransko područje naseljava



otprilike 60 vrsta glavoča (Thacker i Roje, 2011). Navedeni znanstvenici su na temelju molekularnih analiza ustanovili postojanje dviju sestrinskih grupa, koje razlikujemo po mjesto gdje obitavaju. Prva grupa obuhvaća glavoče koji naseljavaju istočni Atlantski ocean i područje Mediterana, dok druga grupa obuhvaća glavoča koji naseljavaju Crno i Azovsko more te Kaspijsko i Aralsko jezero (tzv. ponto-kaspijski glavoči). Iako je interes za ovo područje velik, još uvijek je malen broj vrsta za koje je vokalni repertoar zabilježen, uzimajući u obzir brojnost glavoča do danas opisanih (<2% ukupne brojnosti vrsta je akustički testirano; Zeyl i sur., 2016). Glavočić okrugljak (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) naseljava slatkovodna i bočata staništa ponto-kaspijskog zaljeva, kao i Keslerov glavočić (*Ponticola kessleri* (Günther, 1861)). Obje vrste u zadnjih dvadesetak godina, migriraju uzvodno rijekama prema sjeveru Europe (Kottelat i Freyhof, 2007).

**CARSTVO** Animalia (Životinje)

**PODCARSTVO** Eumetazoa

**KOLJENO** Chordata (Svitkovci)

**PODKOLJENO** Vertebrata (Kralježnjaci)

**MEĐUKOLJENO** Gnathostomata (Čeljustouste)

**RAZRED** Actinopterygii (Zrakoperke)

**PODRAZRED** Neopterygii (Novozrakoperke)

**NADRED** Teleostei (Prave kostunjače)

**RED** Perciformes (Grgečke)

**PODRED** Gobioidi

**PORODICA** Gobiidae (Glavoči)

**ROD** *Neogobius*

**ROD** *Ponticola*

**VRSTA** *Neogobius melanostomus*

**VRSTA** *Ponticola kessleri*

Taksonomski položaj Keslerovog glavočića i glavočića okrugljaka prilagođen prema Kottelat i Freyhof (2007) te Neilson i Stepien (2009)

## 1.1 OPĆE KARAKTERISTIKE RECENTNIH KOŠTUNJAČA

### 1.1.1 RAZRED ACTINOPTERYGII (ZRAKOPERKE)

Koštunjače (Osteichthyes), najveći skupina kralješnjaka (Vertebrata), prema starijoj klasifikaciji podijeljen je u dva podrazreda. Zrakoperke ( grč. aktino = zrako , ptero = krilo, peraja ) u koje ubrajamo većinu danas poznatih riba, te mesoperke ( Sarcopterygii). Danas ta dva navedena podrazreda smatramo zasebnim razredima. Zrakoperke smatramo najbrojnijim razredom unutar kralješnjaka te dostižu broj od čak 32 000 vrsta ( Nelson, 2006). Prvi put se javljaju sredinom Devona, geološkog doba koje je počelo prije otprilike 416 milijuna godina te završilo prije 360 milijuna godina. Iz tog razdoblja datiraju prvi fosili navedenog razreda. U početku veličina zrakoperki protezala se od 5 do 25 cm. Posjedovale su jednu dorzalnu i jednu snažnu heterocerkalnu peraju. Pojedine vrste imale su razvijen mišićni sustav unutar prsne peraje. S vremenom zrakoperke počinju mijenjati svoj izgled. Razlike se najviše mogu uočiti u organima za kretanje te hranjenje, ali i veličini. Primitivne zrakoperke bile su uspješne u nastanjivanju slatkih voda jednako dobro kao i slanih voda. Ono što možemo zamijetiti je da je evolucija kod zrakoperki najviše bila usmjerena na povećanju fleksibilnosti i većoj pokretljivosti. To je postignuto razvijanjem koštane perajne šipčice unutar peraja, tako da je svaka peraja bila poduprta s nekoliko navedenih. Osim toga, pokrovni štit paleozojskih zrakoperki se reducirao, a samim time masa zrakoperki se smanjila. Smanjenje mase zrakoperki vjerojatno je prouzročilo razvoj plivaćeg mjehura. Daljnjim razvojem dolazimo do današnjih zrakoperki. One također zauzimaju slane i slatke vode kao i njihove prethodnice. Dijelimo ih na štitonoše (Chondrostei) te novozrakoperke (Neopterygii). U štitonoše, koje su ime dobile upravo po koščatim pločicama na tijelu, ubrajamo primitivnije odnosno prve oblike zrakoperki, dok novozrakoperke čine većinu današnjih koštunjača. Današnje novozrakoperke razlikuju se tjelesnim privjescima i specijaliziranim usnim organima koji im omogućuju život u vlastitom staništu. (Pough i sur., 2007). Iako današnje zrakoperke zauzimaju veliki teritorij, nažalost ugrožene su zbog antropogenog utjecaja na njihova staništa te pretjeranog izlova.

### 1.1.2 RED PERCIFORMES (GRGEČKE)

Grgečke (Perciformes) su red riba koji pripada razredu zrakoperki. One su najbrojniji red kralježnjaka. Oko 40% koštunjača pripada upravo grgečkama. Može ih se naći u svim vodenim staništima diljem našeg planeta (Nelson, 1994). Red grgečki obuhvaća otprilike 20 podredova, 160 porodica, 1539 rodova i oko 10033 recentnih vrsta. Najbrojnije porodice su Gobiidae, Cichlidae, Serranidae, Labridae, Blenniidae, Pomacentridae, Apogonidae i Sciaenidae sa gotovo 5 479 opisanih vrsta. Iako red grgečki naseljava sva staništa ipak većinski dio naseljava obalna plitka područja te oceane, a tek oko 2040 vrsta naseljava područja slatke vode. Sadrže preko 7000 različitih vrsta. Specifična morfološka svojstva ovog reda su vretenasto tijelo, hrapave ljuske na kraju nazubljene, na škržnom poklopcu postoje nazupčane bodlje. One su bezzakovodnice (Physoclista) što znači da im jednjak nije povezan sa zrakovodom. Imaju prsne, leđne, podrepne i jednu repnu peraju. Masnu peraju nemaju niti u jednom trenutku života. Grgečke se međusobno dosta razlikuju s obzirom na veličinu tijela, načina prehrane te općenito načinom života. Mrakovčić i njegovi suradnici ističu važnost slatkovodnih riba u ljudskom životu kao izvor proteina, no također povezuju to i sa sportskim aktivnostima i boravkom u prirodi. Upravo grgečke predstavljaju jednu od najvažnijih skupina riba koja se koristi u rekreativnom i sportskom ribolovu (Nelson, 2006). Njihova rasprostranjenost i velika brojnost ukazuje na izvrsnu adaptaciju vrste na staništa u kojima se nalaze. Nalazimo ih od područja Antartike pa sve do Europe i Afrike (Nelson, 2006). Ljudi su već tolike godine povezani s ribama da je jednostavno jako teško procijeniti što je negativno a što pozitivno tokom njihovog života prouzrokovao čovjek, a što je prirodni proces u smislu njihove rasprostranjenosti i utjecaja na druge vrste (Mrakovčić i sur., 2006).

### 1.1.3 PORODICA GOBIIDAE (GLAVOČI)

Najbrojnijom porodicom zrakoperki smatramo glavoče (Gobiidae). Iako većinom morske vrste, nalazimo ih i u slatkim te bočatim vodama. Slatkovodne vrste najčešće može pronaći u području Sredozemlja te Crnog i Azovskog mora i Kaspijskog jezera. Najčešće su to bentičke vrste koje se skrivaju ispod kamena, u tunelima ili rupama u dnu. (Lugli, 2003). Izgledom to su male ribe koje su bojom prilagođene okolišu. Ono po čemu su glavoči specifični je upravo „trbušni disk“ (Miller, 2003). On predstavlja prijanjaljku koja uz pomoć podtlaka omogućuje ribama održavanje u stupcu vode. Trbušni disk je ustvari preobražena trbušna

peraja. Smješten je uz prsne peraja te uvelike sudjeluje u determinaciji vrsta. Osim navedenih u glavoča postoje i leđne peraje koje su dvodjelne, odnosno sastoje se od dvije peraje. Iako izvorno određene vrste smatramo karakterističnim za Ponto- kaspijsko područje unazad 20 godina primjećuju se promjene. Došlo je do proširivanja areala zbog aktivne migracije vrsta. No kod nekih vrsta razlog je sasvim drugačiji. Razlog je većinom čovjek. Građenjem brana, hidroakumulacija, te samim onečišćenjem rijeka čovjek znatno utječe na život vrste. Osim toga širenje areala može biti i putem slučajne pasivne introdukcije balastnim vodama, gdje se jaja ili ličinke prenesu brodovima izvan originalnog areala vrste (Miller, 2003).

#### 1.1.4 ROD *NEOGOBIUS*

Prema starijoj klasifikaciji rodu *Neogobius* pripadaju 23 vrste (Nelson i Stepien, 2009)). S vremenom provedena su brojna istraživanja što molekularna što temeljena na morfološkim karakteristikama te je došlo do nove grupacije vrsta. Miller (1986) napominje kako upravo prema toj karakteristici možemo uočiti sličnosti između roda *Neogobius* sa Atlantsko-mediteranskim rodом *Gobius*. Osim navedenog, primijećena je i razlika u broju kralježaka kod pojedinih vrsta. Primjerice, *Neogobius* i *Padogobius* (rod sastavljen od dvije endemske slatkovodne vrste tipične za sjevernu i srednju Italiju te istočni dio Jadrana), posjeduju veći broj kralježaka (32 do 36) u odnosu na druge vrste, koje posjeduju prosječno 28 kralježaka (Simonović i sur., 1996). Danas se više ne vodimo po staroj klasifikaciji te rodu *Neogobius* pripada tek četiri vrste (*Neogobius caspius*, *N. melanostomus*, *N. pallasi* i *N. fluvitilis*) (Nelson i Stepien (2009)). Klasifikacija je vrlo problematična te je još i danas u tijeku i podložna promjenama. U prijašnjim klasifikacijama sve četiri vrste spadala su rodu *Neogobius* (Medvedev i sur., 2013.), no međutim danas ih dijelimo na tri plemena (Ponticolini, Benthophilini, Neogobiini). Tu podjelu prvi su predložili Nelson i Stepien (2009), a zatim i potvrdili kasnije Thacker i Roje (2011). Iako su se složili oko podjele ovih vrsta u tri plemena, postoje manje razlike u izgledu položaja filogenetskog stabla. Nakon svih godina potvrđena je bliska srodnost ponto-kaspjskih i mediteranskih vrsta na temelju molekularnih markera te su svrstali zajedno u grupu *Gobius* (Thacker i Roje, 2011; Agoretta i sur., 2013.).

### 1.1.5 *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* ( GLAVOČIĆ OKRUGLJAK)

Glavočić okrugljak (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814.)) invazivna je vrsta koja pripada rodu *Neogobius*, unesena je u Baltičko more balastnim vodama velikih tankera te se tokom godina vrlo brzo uzvodno širi iz svojega prirodnog staništa (Crno i Azovsko more i Kaspijsko jezero) (Miller, 2003; Kottelat i Freyhof, 2007). Njeno latinsko kao i hrvatsko ime govori upravo o njenom izgledu. Okrugljak govori o izgledu njihovih glava, dok latinski epitet *melanostomus* govori o crnoj boji koju možemo uočiti oko njihovih usta. Osim crne boje primijećene oko usta, crna točka na prvoj prsnoj peraji je upravo ono po čemu je ta vrsta prepoznatljiva (Miller, 2003.). Veličinom male ribe, no veličine jedinki se razlikuju ovisno o staništu koje naseljavaju. Primjerci glavočića okrugljaka iz Azovskog, Crnog i Kaspijskog mora duži su od riječnih i jezerskih primjeraka (Corkum i sur., 2004). Nastanjuju umjereno morska staništa, rijeke i jezera. Vrsta je bojom prilagođena okolišu u kojem obitavaju. Tijelo im je sivkasto – smeđe boje što im omogućuje odlično uklapanje s dnom bilo da prevladava kamenje ili pijesak (Miller, 2008). Također boja tijela ovisi i o stresu koji životinja proživljava. Ukoliko su pod velikim stresom, tijelo životinje poprimi tamnu boju koja gotovo prelazi u crnu. Navedena vrsta kao juvenilna jedinka hrani se zooplanktonom, a u kasnijim stadijima bentičkim beskralješnjacima, malim ribama, kao i jajima i larvama velikih riba. Iako je prehrana glavočića okrugljaka svestrana najčešće u ishrani ipak prevladaju *Gastropoda* (Jakšić, 2016). Na ishranu utječe stanište, doba dana, godine i veličina tijela. U jezerima i morima školjkaši su obično primarna hranidbena svojta (Jakšić, 2016). Kao što smo već naveli, glavočić okrugljak je invazivna vrsta te je u Hrvatskoj primijećen negativan utjecaj na brojnost malog vretenca (*Zingel streber*), ali i potencijalno pozitivan utjecaj na zlatnog vijuna (*Sabanejewia balcanica*). Vrsta je bentičkog načina života, te jedinke ne posjeduju plivaći mjehura (Miller, 2003; Zeyl i sur., 2016) . Posjeduju trbušni disk (srasle trbušne peraje), dvije leđne peraje te dvije prsne peraje i snažnu repnu peraju. Sezona razmnožavanja glavočića okrugljaka nastupa početkom proljeća, u travnju te može potrajati sve do listopada, ovisno o temperaturi vodenog staništa. Jedinke se počinju pariti sa tri ili četiri godine, a mužjaci tijekom tog razdoblja potpuno pocrne i postanu iznimno teritorijalni, čuvajući nastambu ili gnijezdo od potencijalnih predatora ili drugih mužjaka. Ženka polaže oplođena jaja na strop nastambe (pukotine, šupljine, ljuštore ili

antropogeni materijal) a mužjak se brine o njima te ih ventilira kako bi im osigurao adekvatne uvijete za razvoj (Miller, 2003; Kottelat i Freyhof, 2007).



**Slika 1.** Glavočić okrugljak (*Neogobius melanostomus*). Slika je preuzeta sa stranice [www.pinterest.co.uk](http://www.pinterest.co.uk)

#### 1.1.6 *PONTICOLA KESSLERI* (KESLEROV GLAVOČIĆ)

Prema staroj klasifikaciji ova vrsta pripadala je rodu *Neogobius*, no danas ju svrstavamo u rod *Ponticola* (Nelson i Stepien, 2009). *Ponticola kessleri* (Günther, 1861) bentička je vrsta te sukladno tome ne posjeduje plivaći mjehur (Miller, 2003). Nastanjuju područja s kamenitim ili pjeskovitim dnom. Češće ćemo ih naći u plićim slatkim vodama te u nižim tokovima velikih rijeke (salinitet manji od 2 ‰) Crnog mora te okolnih pritoka (Kottelat i Freyhof, 2007). Tijelo im je smeđe boje, posjeduju trbušni disk (srasle trbušne peraje), dvije leđne peraje te dvije prsne peraje i snažnu repnu peraju. Tokom reproduktivnog razdoblja mužjaci često promjene boju tijela te postanu gotovo crni. Veličinom su mužjaci ponešto veći od ženki. Maksimalna veličina koju mužjak može doseći je 220 mm ukupne dužine, dok ženka može doseći 180 mm ukupne dužine. Prosječna veličina jedinki je od 12 do 18 cm (Banarescu, 1964; Zambribortsh, 1968; Kalinina, 1976; Miller, 2003). Drugi dio imena ove vrste potječe upravo od osobe koja je opisala ovu vrstu. Ovu vrstu imenovao je poznati ruski

ihnolog koji se bavio ihtiofaunom Crnog i Kaspijskog mora. U zadnjih 20 godina primijećeno je širenje ove vrste na područje Mađarske, Poljske, Srbije te Hrvatske. Šire se uzvodno Dunavom iz Crnog mora. (Mrakovčić sur., 2006; Kottelat i Freyhof, 2007). Smatra se da je za to većim dijelom odgovoran čovjek stvaranjem novih kanala koji omogućuju vrsti dolazak na novi teritorij ili čak nesvjesnim prenošenjem vrste na novi teritorij. *Ponticola kessleri* nova je vrsta za hrvatsko područje te još nije dobila hrvatsko ime no broj jedinki s vremenom raste. Jedinke nalazimo u rijeci Savi ili Dunavu . Pošto je vrsta invazivna, uočen je negativan učinak na brojnost klena (*Squalius cephalus*) ali i mogući pozitivan učinak na brojnost zlatnog vijuna (*Sabanejewia balcanica*) (Jakšić, 2016). Smatra se također da autohtonim glavočima konkuriraju za stanište i hranu. (Mrakovčić i sur., 2006) . Najčešća prehrana navedene vrste su male riba i *Gammarus sp.*. Osim toga dio njihove prehrane su i mekušci, jaja i larve velikih riba (Jakšić, 2016). Parenje *P. kessleri* nastupa početkom proljeća u ožujku, te traje relativno kratko, svega do sredine svibnja ili početka lipnja. Kao i kod ostalih vrsta, mužjaci *P. kessleri* za vrijeme reproduktivne sezone privlače ženke u nastambu te prikazuju izrazito teritorijalno ponašanje, čuvajući nastambu od drugih uljeza. Nakon što ženka položi jaja na strop nastambe, mužjak ih čuva i neprestano ventilira (Miller, 2003; Kottelat i Freyhof, 2007).



**Slika 2.** Keslerov glavočić (*Ponticola kessleri*). Slika je preuzeta sa stranice <http://www.hlasek.com>

## 1.2 UVOD U BIOAKUSTIKU

Akustični signali kod životinja su ključni u doba parenja (Andersson, 1994; Bradbury i Vehrencamp, 1998). U tom razdoblju glasanje mužjaka igra važnu ulogu u prepoznavanju jedinki iste vrste (Charlton i sur., 2007). Prepoznavanje partnera dio je ponašanja životinja koje igra značajnu ulogu u životu jedinki. Svaka promjena unutar signala može stvoriti razdor te čak potaknuti izolaciju u pojedinim populacijama. Upravo na taj način može nastati nova vrsta (Dobzhansky, 1951; Coyne i Orr, 1989,1997). Ribe predstavljaju najveću skupinu kralježnjaka koja se oslanjaju na akustične signale tokom različitih inter- i intraseksualnih interakcija. Upravo to ih čini odličnim modelom za istraživanje važnosti i evolucije akustičnih signala kod kralježnjaka (Ladich 2004). Kod bliskih grupa primjećujemo sličnosti akustičnih signala koja nam može omogućiti lakše utvrđivanje filogenetske srodnosti (Robillard i sur. 2006; Tavares i sur. 2006; Cap i sur. 2008; Gingras i sur. 2013). Ribe su razvile različite načine proizvodnje zvukova (Myrberg i Lugli 2006). Jedan od načina stvaranja zvuka je kontrakcijom i relaksacijom mišića plivaćeg mjehura. Taj način je primijećen kod recentnijih koštunjača (Kastberger 1981, Fine i sur. 2001). Zatim su zabilježeni mehanizmi poput struganja kostiju jednu uz drugu (Tavolga 1971), lupanje zubiju (Parmentier i sur. 2007), vibracija kostiju (Barber i Mowbray 1956; Ladich 1989; Fine i sur. 1997; Parmentier i sur. 2010), te vibraciju tetiva (Kratochvil 1985). Dosada su prikupljeni podaci za tri porodice zrakoperki (Pomacentridae, Batrachoididae i Gobiidae) (Malavasi i sur. 2008; Parmentier i sur. 2009; Rice i Bass 2009). Glavoči (Perciformes; Gobiidae) najistraživija su grupa vokalnih riba. Zabilježeni su zvukovi za gotovo 20 vrsta (Bass i Mckibben 2003; Polgar i sur. 2011; Horvatić i sur., 2015). Te zvukove može podijeliti u nekoliko kategorija:

- (1.) pulsatilni zvukovi koje predstavlja niz pulseva ponovljenih tijekom duljeg vremenskog perioda sporijim tempom s višom frekvencijom,
- (2.) tonalni zvukovi koje karakterizira brza stopa ponavljanja pulseva, čime nastaje relativno kratak zvuk koji formira sinusoidalni val,
- (3.) kompleksni zvukovi koji nastaju kombinacijom pulsatilnih i tonalnih zvukova (Lugli i sur. 1997; Parmentier i sur. 2013).

Bioakustika riba je prilično neistraženo područje. Znanstvenici danas prvenstveno koriste molekularne analize kao temelj svojih filogenetskih istraživanja. Bioakustika iako često rezultatima upravo odgovara filogenetskim odnosima nije još uvijek smatrana dovoljno čvrstim temeljom kao molekularne analize (Malavasi i sur., 2008; Horvatić, 2015). Prema



molekularnim istraživanjima glavoči se dijele na dvije potporodice „Gobiine i „Gobioneline (Thacker, 2009). Nakon nekog vremena rezultati su podvrgnuti provjeri te su Agorreta i sur (2013) potvrdili postojanje tih dviju grupa. Osim toga, rezultati su potvrdili monofiletsko podrijetlo grupe u koju ubrajamo sljedeće porodice: Butidae, Gobiidae, Odontobutidae, i Eleotrididae. Istraživanje filogenetskih odnosa dovelo je podijele svih rodova u tri grupe: Aphia-, Gobius- i Pomatoschistus-. Aphia- i Gobius- spadaju u Gobiine glavoče, dok Pomatoschistus- spadaju u Gobionelline glavoče. Vrste iz zadnje navedene grupe proizvodi samo pulsatilne zvukove (Malavasi i sur., 2008; Polgar i sur., 2011; Amorim i sur., 2013) dok vrste koje pripadaju neformalnoj grupi Gobius- produciraju samo tonalne zvukove (Ladich i Kratochvil 1989, Rollo i sur. 2007, Malavasi i sur. 2008; Horvatić i sur., 2015; Zeyl i sur., 2016). Spomenuto je na koji način nastaje zvuk, no ono što je također zanimljivo jest kontekst u kojem zvuk nastaje. Većina zvukova nastaje u doba parenja. Najčešće su to zvukovi koji nastaju u agresivnom kontekstu (inter- ili intra seksualne interakcije). Teritorijalnost je karakteristično svojstvo za glavoče (Miller, 2003). Vrlo su agresivni kada brane svoje gnijezda ili nastambe u kojima obitavaju ili privlače ženke (Nyman, 1953; Yanagisawa, 1982; Lugli, 1987; Casaretto, 1988; Torricelli et al., 1988a). Tijekom reproduktivnih interakcija dolazi do kontakta mužjaka i ženka te najčešće upravo mužjak svojim glasanjem pokušava ženu uputiti u gnijezdo i na taj način joj se udvara (Zeyl i sur., 2016). Ukoliko žena uđe u gnijezdo znači da je udvaranje bilo uspješno i da će vrlo vjerojatno doći do mrijesta, tj. polaganja jaja na strop nastambe (Miller, 2003). Kroz brojne eksperimente znanstvenici su proučavali ponašanje glavoča prilikom proizvodnje zvukova. Ponašanja su podijeljena u četiri veće grupe. Ponašanja prilikom sukobljavanja, ponašanja prilikom odmora i opreza, ponašanja kada je riba u inferiornom položaju te ponašanje prilikom sukoba. Primijećeno je da se pojedine radnje ponavljaju netom prije ispuštanja zvuka, poput scraping swimming (sc. sw). Scraping swimming je plivanje u kojem riba ubrzano pomiče prsne peraje kružnim pokretima te istovremeno grebe po supstratu. U interakcijama između dvije jedinke u kojoj je jedna „Resident“ (dalje u tekstu domaćin), a druga „Intruder“ (dalje u tekstu uljez) također je primijećeno da u većini slučajeva domaćin izlazi kao pobjednik. Pogotovo ako su u pitanje dvije jedinke približno jednake veličine. Veličina je faktor koji utječe na rezultate navedenih interakcija. Ukoliko je domaćin manji u većini slučajeva uljez preuzima njegovu nastambu ili gnijezdo. Rađeni su brojni etnogrami koji ukazuju na to da je nastanak zvuka itekako povezan s ponašanjem životinje u danom trenutku (Picciulin, 2006).

### 1.3 CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja bio je snimiti i opisati vokalni repertoar glavočića okrugljaka (*Neogobius melanostomus*) i Kesslerovog glavoča (*Ponticola kessleri*) u kontroliranim eksperimentalnim uvjetima. Navedene dvije vrste bile su svrstane prema starijoj sistematici u jedan rod *Neogobius* (Miller, 2003; Kottelat i Freyhof, 2007), te su tek nedavno mnogi autori podijelili ponto-kaspijske vrsta iz navedenog roda u nekoliko skupina koristeći genetske markere (Nelson i Stepien, 2009; Medvedev i sur., 2013). Pretpostavljamo kako će osim genetičke razlike, postojati određen stupanj akustičke različitosti između istraživanih vrsta. Osim navedenog, cilj istraživanja bio je usporediti zvukove tih dviju vrsta, te na temelju dobivenih rezultata odrediti stupanj srodnosti *N.melanostomus* i *P.kessleri*, ali i ostalih vokalnih vrsta iz porodice glavoča. Na taj način istražili bi postoji li preklapanje akustičkih rezultata sa prijašnjim filogenetskim analizama koja naglašavaju kako se nekadašnji rod *Neogobius* treba podijeliti na nekoliko podgrupa (tj. plemena) (Nelson i Stepien, 2009; Medvedev i sur., 2013).

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1 UZORKOVANJE I SMJEŠTAJ RIBA

Ekperimentalni dio istraživanja proveden je u Zagrebu, u razdoblju od početka svibnja do kraja rujna 2017. godine, što se djelomice podudara s reprodukcijском sezonom istraživanih vrsta. Nakon što su bile uhvaćene, 15 jedinki *P.kessleri* (rijeka Drava pokraj grada Osijeka; (GPS koordinate: 45°33'45.73"S, 18°42'1.37"I), te 15 jedinki *N. melanostomus* (rijeka Sava nizvodno od Zagreba; GPS koordinate: 45°44'19.28"S, 16°13'48.40"I) transportirane u laboratorij. Laboratorij se nalazi u sklopu Prirodoslovnog – matematičkog fakulteta, gdje su ribe bile smještene u odgovarajuće akvarije. U svrhu prikupljanja jedinki tokom istraživanja korišten je agregat za elektroribolov, izlazne snaga bila je 7.5 kW. Tijekom prikupljanja jedinke nisu ozlijeđene ili ubijene. Ovakva metoda uzorkovanja omogućuje vraćanje jedinki koje nisu potrebne za ekperimentalni dio istraživanja natrag u vodu. Terenski dio istraživanja proveden je nekoliko puta tijekom navedenog perioda te su jedinke, nakon prebacivanja u laboratorij, smještene u veliki zajednički akvarij (300 l) kako bi se ribama smanjilo izlaganje stresu. Nakon tjedan dana jedinkama je određen spol na temelju urogenitalne papile (Miller, 1984) te su po tri veće jedinke svake vrste (veće od 10 cm ukupne dužine;  $T_L$ ) odvojene u posebne akvarije te tako puštene nekoliko dana prije početka eksperimenta. Akvarij u koji su jedinke prebačene manjeg su kapaciteta (90 l), dok su manje jedinke obje vrste (manje od 10 cm ukupne dužine;  $T_L$ ) bile smještene u četiri akvarija većeg kapaciteta (300 l). Osim navedenog u svaki akvarij postavili smo nekoliko komada crijepa, prerezanih na pola, kako bi glavočima poslužili kao sklonište (Miller, 2003). Glavoči su poznati po svojoj teritorijalnosti te je crijep odigrao veliku ulogu prilikom snimanja kao predmet borbe između dvije jedinke. Svaki akvarij imao je sustav za filtriranje vode, sloj supstrata (pijesak ili šljunak) te aeratore čija je uloga bila održavanje potrebne razine otopljenog kisika u vodi. Pošto je vrlo važno da uvjeti budu konstantni svaki akvarij je također imao i grijač čija uloga je bila održavati temperaturu vode u akvariju na 19-21°C. Tijekom eksperimenta jedinke su hranjene s ličinkama komaraca te ličinkama brašnara svaki drugi dan nakon provedenog eksperimenta kako bi jedinke bile što više motivirane za produkciju zvuka prilikom samog snimanja.

## 2.2 OPIS EKPERIMENTA

Kao što je već navedeno, jedinke su se nalazile u akvarijima smještenima u laboratoriju na fakultetu PMF-a. U kontroliranim laboratorijskim uvjetima snimali smo po tri jedinke *P. kessleri* veličine od 10-18 cm TL te tri jedinke *N.melanostomus* veličine 12-17cm TL. Jedinke domaćini (po tri jedinke svake vrste) postavljeni su i zasebne akvarije te prolaskom kroz aklimatizacijski period, razvili teritorijalno ponašanje. Prije početka samog snimanja, potrebno je bilo izmjeriti jedinku te odrediti njen spol. Jedinki koju smo nasumično izabrali kao uljeza iz velikog zajedničkog akvarija ostavili smo nekoliko minuta u plastičnoj kanti sa vodom iz njezinog akvarija kako bi smanjili stres koji smo uzrokovali vađenjem ribe iz akvarija. Za to vrijeme pripremili smo opremu za snimanje. Svaka jedinka korištena je tijekom eksperimenta i kao domaćin i kao uljez, sa minimalnim periodom između dviju uloga od najmanje tjedan dana kako bi se eliminirao utjecaj prijašnjeg eksperimenta (tj. uloge) na ponašanje jedinki (Sebastianutto i sur., 2008). Također, svaka jedinka iste vrste testirana je u reproduktivnim (mužjak – ženka) ili agresivnim (mužjak – mužjak/ženka – ženka) interakcijama. Prilikom snimanja koristili smo hidrofon, sa pred-pojačalom zvuka (HTI 94 SSQ, osjetljivost: -165 re 1 V $\mu$ Pa-1, raspon frekvencija od 2 Herca (Hz) do 30 kilo herca (kHz)) kako bi se snimljeni zvukovi mogli što bolje vizualizirati prilikom naknadne obrade snimki u namijenjenim softverima. Hidrofonom sa pred-pojačalom bio je spojen na prijenosni audio snimač (ZOOM H4n; wav 16/44.1 k mono) koji je analogni signal digitalizirao na 44.1 Hz i 16 bita. Akustički signali pratili su se u stvarnom vremenu preko slušalica marke Kraun, spojenih direktno na audio snimač. Žica je bila spojena na hidrofon te drugom stranom uronjena u vodu unutar akvarija gdje se snimalo. Uloga žice bila je da ukloni nisko-frekvencijske smetnje, tj. buku koje su mogle utjecati na kvalitetu snimanje. Mrežica oblikovana u valjak služila je da izolira jedinku koju ubacujemo u akvarij ali da ujedno dozvoli vizualni kontakt sa jedinkom domaćinom. Svaka snimka trajala je trideset minuta. Ukoliko u prvih deset minuta snimanja nije došlo do interakcije između dvije jedinke, uklanjali bi mrežicu. Očekivani producirani zvuk bilježio se tijekom intraseksulanih agresivnih interakcija, (ženka-ženka; mužjak-mužjak) ili tijekom interseksualnih reproduktivnih interakcija, tj. u perioda udvaranja (mužjak-ženka interakcija).

## 2.3 OBRADA AKUSTIČNIH MATERIJALA

Akustični materijal od šest jedinki po vrsti te za svaku jedinku po deset zvukova, analiziran je koristeći program Avisoft-SASLab Lite softver. Materijal je filtriran u rasponu od 50 do 500 Hz. Filter omogućuje da se ukloni okolna antropogena buka koja je mogla nastati tokom snimanje. Prilikom obrade koristili smo nekoliko akustičnih svojstava čija je uloga bila što bolje opisati zvuk (Malavasi i sur. 2008)

Akustička svojstva izračunata tijekom provedenog istraživanja:

1. Trajanje zvuka izmjereno u milisekundama (DUR );
2. Broj pulseva (NP);
3. Stopa ponavljanja pulseva izmjerena u hercima (PRR; izračunat dijeljenjem broja pulseva s trajanjem zvuka);
4. Maksimalna vrijednost frekvencije u Hz (PF; dobivena vrijednosti iz spektra snage što nam omogućuje sam program );
5. Maksimalna vrijednost frekvencije u dB (PF; dobivena vrijednost iz spektra snage što sam omogućuje sam program) ;
6. Modulacija frekvencije izmjerena u hercima (FM; izračunata kao razlika između krajnje i početne PRR vrijednosti zvuka).
7. Modulacija frekvencije u prvoj trećini duljine zvuka izmjerena u hercima ( FM1; izračunata kao jedna trećina duljine zvuka unutar koje je prebrojan broj pulseva te zatim broj pulseva podijeljen s brojem koji daje jednu trećinu duljine zvuka te pomnožen s 1000) ;
8. Modulacija frekvencije u drugoj trećini duljine zvuka izmjerena u hercima ( FM2 ; izračunata kao jedna trećina duljine zvuka unutar koje je prebrojan broj pulseva te zatim broj pulseva podijeljen s brojem koji daje jednu trećinu duljine zvuka te pomnožen s 1000) ;
9. Modulacija frekvencije u trećoj trećini duljine zvuka izmjerena u hercima ( FM3; izračunata kao jedna trećina duljine zvuka unutar koje je prebrojan broj pulseva te zatim broj pulseva podijeljen s brojem koji daje jednu trećinu duljine zvuka te pomnožen s 1000);
10. Broj zvukova proizvedenih u jednoj minuti nakon prvog zabilježenog zvuka (SR)

Ova akustična svojstva izmjerena su za sve vokalne jedinke obje vrste (*P. kessleri* = 6 jedinki; *N. melanostomus* = 6 jedinki; sve mužjaci). Navedena akustična svojstva omogućila su usporedbu vrijednosti kod samih jedinki unutar iste vrste (intraspecijska varijabilnost), ali i između obje vrste (interspecijska varijabilnost). U daljnjem tekstu navedena akustična svojstva spominjati ćemo njihovim kraticama.

## 2.4 STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA

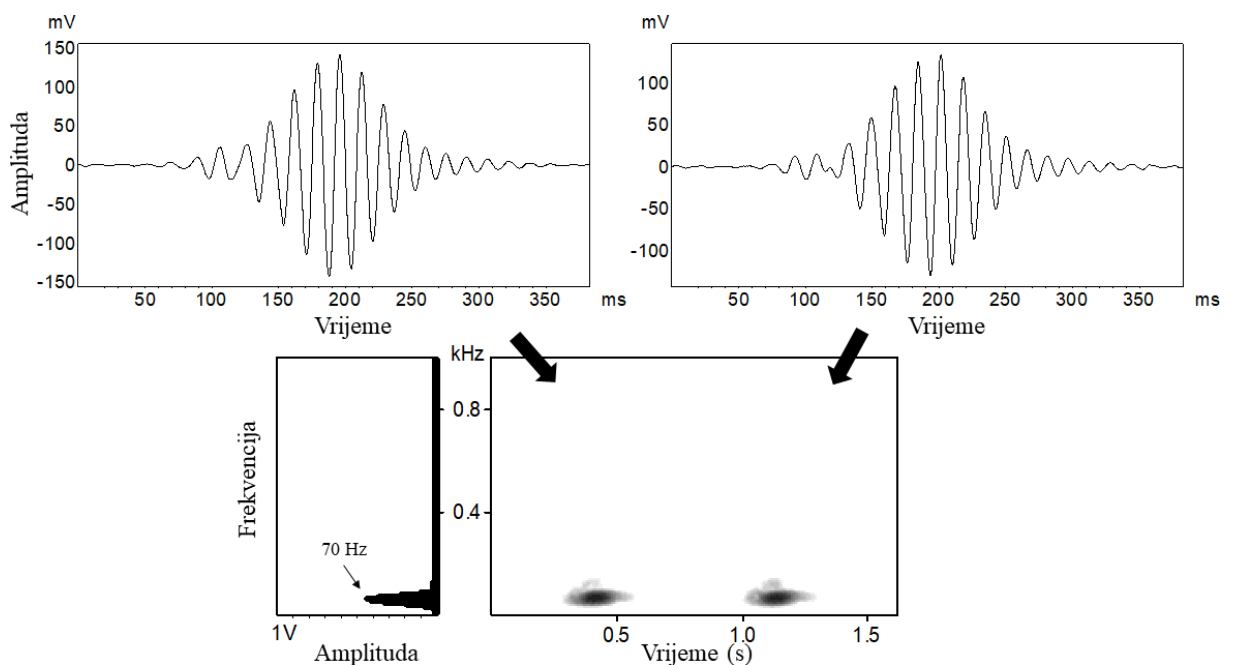
Tokom statističke analize korišten je softver STATISTICA 13 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). Prije samog početka bilo je potrebno provjeriti jesu li podaci (tj. vrijednosti varijabli) normalno distribuirani. U ovom slučaju oni nisu bili normalno distribuirani (Kolmogorov-Smirnov test,  $P < 0.05$ ; sve varijable) te su kroz statističku obradu korišteni neparametrijski testovi. Uz pomoć programa STATISTICA uspoređivane su akustične varijable jedinki iste vrste (razlike u spolu, razlike u temperaturi, razlike u zvukovima domaćina ili uljeza). Kako bi bila uočeno postoji li razlika između maloprije navedenih primjera korišten je Mann-Whitney *U* Test. Osim ovih hipoteza, istraženo je i kakva je ovisnost fizikalnih svojstava poput veličine tijela ribe i temperature vode. Za ovakvu korelaciju korišten je Spearman-ova metoda također uz pomoć programa STATISTICA. Navedeni testovi korišteni su i za drugu vrstu, kao i za usporedbu rezultata za obje vrste međusobno. Bitno je naglasiti da u podacima za vrstu *P. kessleri* sve jedinke su zvuk proizvele u agresivnom kontekstu, dok je kod *N. melanostomus* bilo i agresivnog i reproduktivnog konteksta. Upravo iz tog razloga prilikom uspoređivanja dvije vrste uzeti su za usporedbu zvukovi agresivnog karaktera kod jedne i druge vrste radi što preciznijih rezultata. Osim navedenih testova korišteni su i Kruskal Wallis *H* test kako bi moglo biti uočeno postoji li statistički značajna razlika između zvuka jedinki istih vrsta (*N* za *P. kessleri* = 6; *N* za *N. melanostomus* = 6), uspoređivane su i druge jedinke na temelju zadane varijable da bi tokom istraživanja lakše bilo uočiti koje jedinke se međusobno razlikuju i u kojoj mjeri. U svim testovima,  $p < 0.05$  smatrao se prihvatljivim rezultatom tj. granicom za utvrđivanje statističke različitosti pojedinih akustičkih svojstva.

### 3. REZULTATI

#### 3.1 Zvukovi vrste *Neogobius melanostomus*

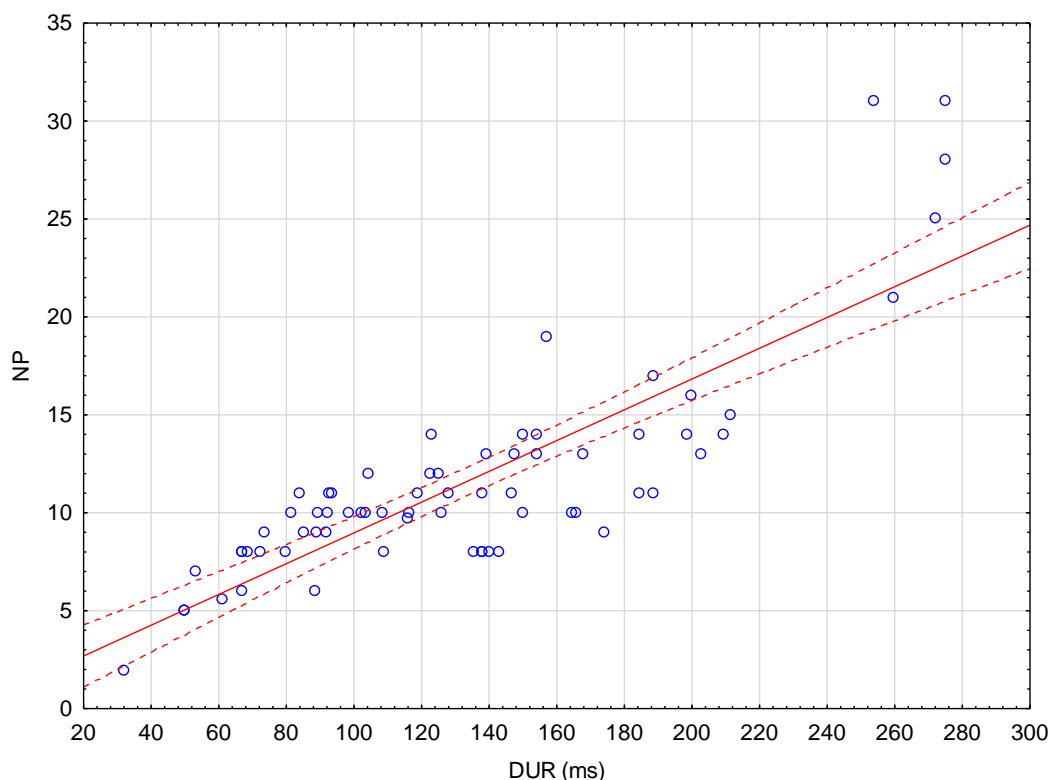
Od 15 jedinki, ukupno 6 mužjaka stvorilo je zvukove tijekom provedenog istraživanja.. Od 6 mužjaka, niti jedan nije stvorio zvuk tijekom eksperimenta u ulozi uljeza već samo kao domaćin. Također, tijekom istraživanja niti jedna ženska jedinka nije stvorila zvuk. Ženke su korištene i u ulozi domaćina kao i ulozu uljeza. Tijekom provedenog istraživanja mužjaci su stvorili zvuk u interakciji sa ženkom (reproduktivni kontekst) kao i u interakciji s drugim mužjacom (agresivni kontekst). Ukupno, od snimljenih šest jedinki, samo su tri mužjaka stvorila zvukove tijekom reproduktivnih interakcija (M – mužjak) Od ta tri mužjaka, dva su stvorila samo reproduktivne zvukove (M1,  $T_L = 125\text{mm}$ ; M2,  $T_L = 144\text{mm}$ ) dok je jedan stvorio agresivne zvukove. Tri mužjaka stvorile su obje vrste zvuka (M3,  $T_L = 155\text{ mm}$ ; M4,  $T_L = 145\text{mm}$ ; M5,  $T_L = 161\text{mm}$ ), dok je jedan mužjak stvorio samo zvukove u agresivnoj interakciji (M6,  $T_L = 135\text{mm}$ ). Proizvedeni zvukovi su kratkog trajanja i tonalnog karaktera, između 49,79 do 274,92 milisekundi (ms) ( $x \pm SD$ ) ( $132.2 \pm 126.8\text{ ms}$ ). Zvuk se sastojao od 5 do 31 broja pulseva ( $11.22 \pm 12.9$ ) (Tablica 2). SR doseže od 1 do čak 31 proizvedenih zvukova u jednoj minuti ( $8.8 \pm 10.9\text{ ms}$ ). Broj zvukova povećavao se što je jednaka bila bliža drugoj jedinci ili što se uljez više približavao nastambi domaćina. Spektrogram (Slika 3.) ukazuje da zvukovi sadrže samo jedan maksimalni vrhunac („peak“) frekvencije koji varira od 52 do 121 Hz ( $88.7 \pm 78\text{ Hz}$ ). Relativna amplituda zvuka kreće se u rasponu od -44.10 do - 10.60 dB. Modulacija frekvencije zabilježena je u rasponu od -49.10 do 37 Hz ( $3.87 \pm 7.09\text{ Hz}$ ), a iz srednje vrijednosti očito je da dolazi do pozitivne modulacije zvuka (frekvencija se povećava kako zvuk završava). Rezultati provedene analize zvukova šest muških jedinki pokazali su da je svaki zvuk poseban te da se međusobno statistički razlikuju. Statistički značajne varijable između jedinki *N. melanostomus* pokazale su se DUR, SR, NP, PF, FM1, FM2 (Kruskal-Wallis test:  $df=5$ ;  $H$  za sve testove  $p<0.05$ ). Statistički značajnost između jedinki nije zabilježena za svojstva zvuka FM i FM3 (Kruskal-Wallis test:  $df=5$ ;  $H=13.60$   $p<0,05$ ; Kruskal-Wallis test:  $df=5$ ,  $H=7.26$   $p<0.05$ ). Agresivni zvukovi se također razlikuju između jedinki od reproduktivnih u NP kao i PF i temperatura koje su se pokazale statistički značajnim varijable (Kruskal- Wallis test:  $df=1$ ,  $H=8.25$   $p<0.05$ ;Kruskal-Wallis test:  $df=1$ ,  $H =14,69$   $p<0,05$ ) (Kruskal-Wallis test  $df=1$ ,  $H=16.52$ ,  $p<0.05$ ). Od svih akustičkih svojstava koje smo obradili u ovom istraživanju primijećeno je da DUR negativno korelira s SR ( $r_s= -0.26$ ,  $P<0.05$ ) kao i sa temperaturom ( $r_s=0.33$ ,  $P<0.05$ ), veličinom tijela ( $r_s=0,33$ ,  $p<0.05$ ) te s brojem pulseva ( $r_s=0.77$ ). DUR također

negativno korelira s PRR ( $r_s = -0.25$ ,  $p < 0.05$ ). Nadalje, SR pozitivno korelira s PF ( $r_s = 0.41$ ,  $p < 0.05$ ) te s FM ( $r_s = 0.32$ ,  $p < 0.05$ ). Valja napomenuti i rezultate dobivene za CV. Akustična svojstva SR (CV=1,02) i NP (CV=1,10) pokazuje veće vrijednosti od jedan. Samim time smatramo ih najvažnijim akustičnim svojstvima jer ukazuje na stereotipičnost zvuka. To je vrlo važno jer upravo ta svojstva zvuk čine zvuk specifičan upravo toj vrsti. Bitno je na to skrenuti pozornost prilikom usporedbe zvukova različitih vrsta.



**Slika 3.** Prikaz strukture dva zvuka *N.melanostomusa* različitih amplituda (gornji dio slike- oscilogram; donji dio slike- spektrogram; strelice pokazuju kojem zvuku pripada koji oscilogram)





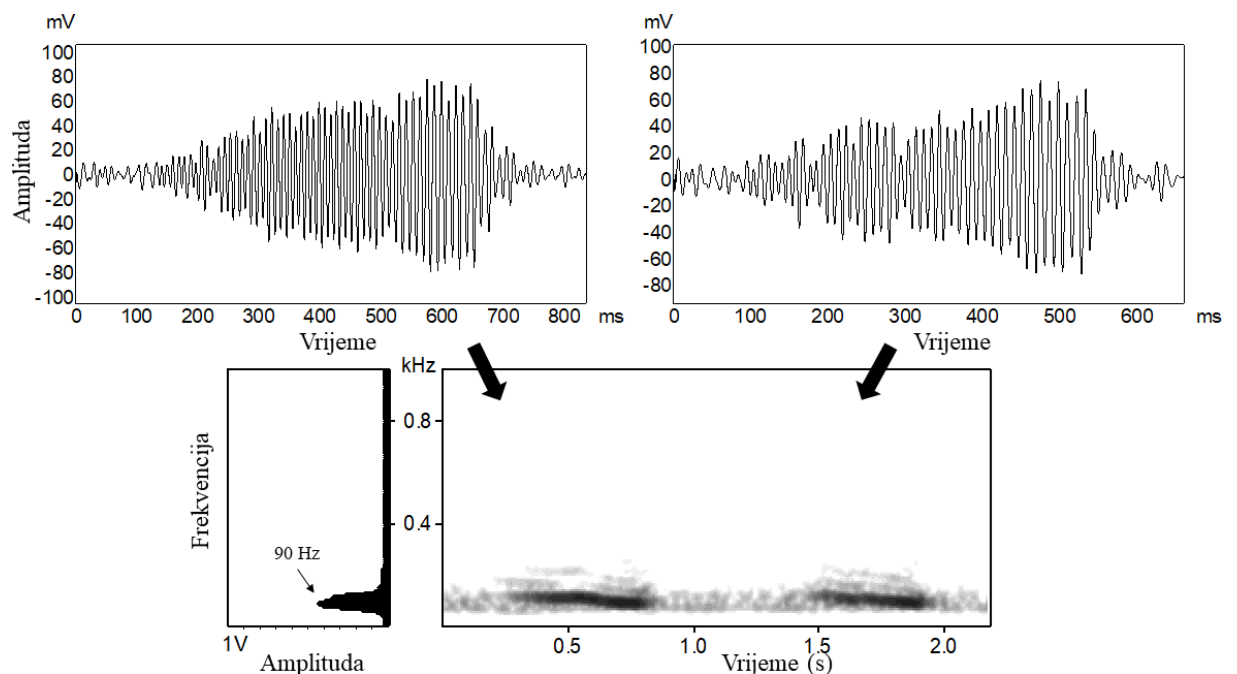
**Slika 4.** Prikaz korelacija između varijabli NP i DUR (ms) kod *N. melanostomus*.

(Ravna linija predstavlja regresijsku liniju dok isprekidana linija predstavlja intervale od 95% pouzdanosti.)

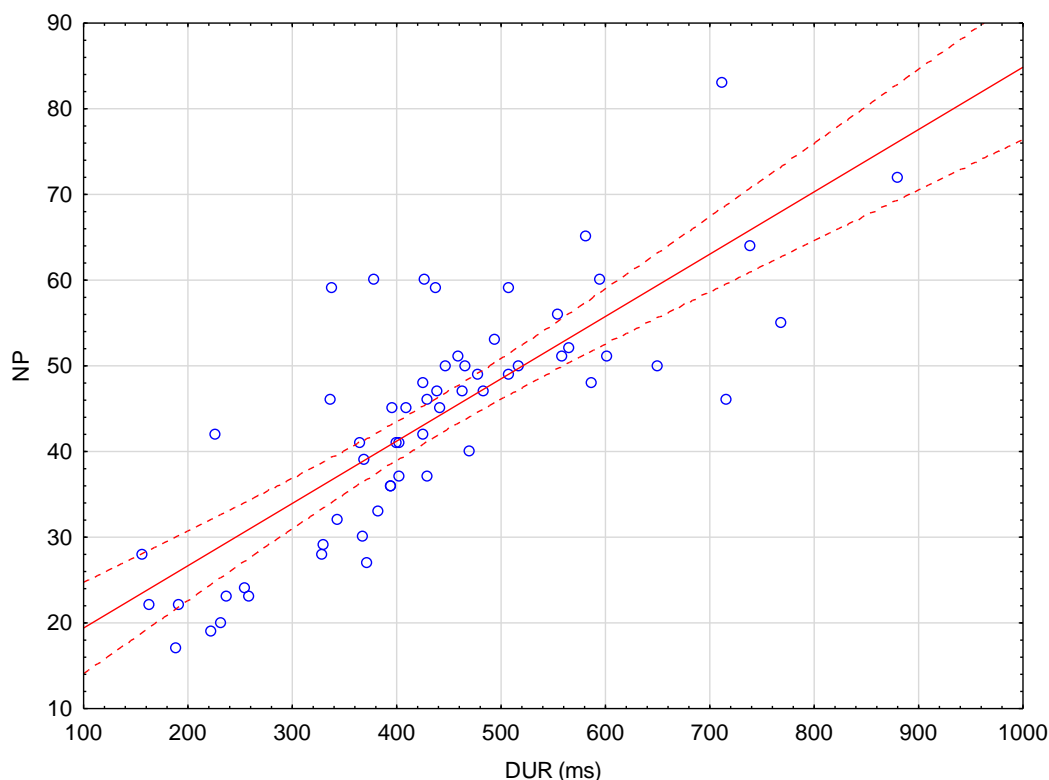
### 3.2 Zvukovi vrste *Ponticola kessleri*

Svih šest vokalnih mužjaka *Ponticola kessleri* stvorili su zvukove tijekom provedenog istraživanja. Mužjaci su stupali u interakcije s ženkaama no prilikom interakcije nije stvoren zvuk. Zvukovi koji su analizirani su isključivo agresivnog konteksta, stvoreni s mužjacima u ulozi uljeza. Zvukovi su stvoreni u pokušaju osvajanja ili obrane gnijezda. Jedinke *P. kessleri* proizvele su zvukove u obje uloge, kao domaćin i kao uljez. Dvije jedinke su stvorile zvuk kao uljez (M6,  $T_L = 171\text{mm}$ ; M5,  $T_L = 176\text{mm}$ ) a četiri jedinke kao domaći (M1,  $T_L = 154\text{mm}$ ; M2,  $T_L = 147\text{mm}$ ; M3,  $T_L = 146\text{mm}$ ; M4,  $T_L = 149\text{mm}$ ). Zvukovi koji su nastali dužeg su trajanja, od 156 do 879 milisekundi ( $x \pm \text{SD}$ ) ( $435.1 \pm 127$ ). SR kreće se od 1 do 5 ( $2.9 \pm 1.5$ ) dok se broj pulseva kreće od 17 do 83 ( $43.8 \pm 11.6$ ) (Tablica 2.). Zvuk je sinusoidalnog oblika te sadrži nekoliko harmonika na višim frekvencijama (slika x). FM se proteže od -34.50 do 110 Hz ( $35.22 \pm 38.3$ ). ektrogram ukazuje na postojanje više vrhunaca („peak“) frekvencije

(harmonika), no samo je jedan glavni i upravo je pri tom zastupljena najviša energiju i maksimalna frekvencija zvuka (Slika 5). PF iznosi od 57.60 do 186.50 Hz ( $101.7 \pm 19.8$ ) odnosno od -50.50 do -23.60 dB. Kruskal-Wallis testom pokazano je da se jedinke međusobno razlikuju po svim akustičnim svojstvima (Kruskal Wallis test: d.f.=5, N=60,  $p < 0.05$  svi testovi) osim za FM2 (Kruskal- Wallis test: d.f.=5,  $H=7.64$ ,  $p > 0.05$ ). Mann-Whitney  $U$  test pokazano je da se jedinke, „igrajući“ različite uloge tijekom snimanja (domaćin/uljez) razlikuju po: DUR, NP, PF, FM (Mann-Whitney  $U$  test:  $U=200$ ,  $N_1=40$ ,  $N_2=20$ ,) (Mann-Whitney  $U$  test;  $N_1=40$ ,  $N_2=20$ ,  $U =251.5$ ) (Mann-Whitney  $U$  test;  $N_1=40$ ,  $N_2=20$ ,  $U=269$ ) (Mann-Whitney  $U$  test;  $N_1=40$ ,  $N_2=20$ ,  $U=241.5$ ) (Mann-Whitney  $U$  test;  $N_1=40$ ,  $N_2=20$ ,  $U=0$ ). Varijabla DUR ukazuje na snažnu pozitivnu korelaciju sa NP (Slika 6) ( $r_s = 0.79$ ,  $P < 0.05$ ) te pozitivno korelira sa PF (Hz) ( $r_s = 0.30$ ,  $p < 0.05$ ) i FM1 ( $r_s = 0.32$ ,  $P < 0.05$ ) kao i FM2 ( $r_s = 0.27$ ,  $p < 0.05$ ). Također, PF korelira pozitivno s temperaturom ( $r_s = 0.34$ ,  $P < 0.05$ ). PRR ukazuje na negativnu korelaciju s FM ( $r_s = -0.34$ ,  $p < 0.05$ ). Izračunate Cv vrijednosti pokazuju da su akustična svojstva NP( $C_v=1,0$ ), PF( $C_v=1,02$ ) te FM( $2,25$ ) veća od jedan što nam govori da su upravo ta svojstva važna za razlikovanja između dvije različite vrste te da su ta svojstva stereospecifična svojstva. Možemo reći da je najvažnije akustično svojstvo kod ove vrste upravo FM. Bitno je spomenuti da su kod SR (0,91) i DUR (0,99) vrijednosti vrlo blizu jedan te i da ta svojstva također možemo uzeti u obzir pri usporedbi vrsta.



**Slika 5.** Prikaz strukture zvuka različitih amplituda kod *P.kessleri* ( gornji dio slike- oscilogram; donji dio slike- spektrogram; strelice prikazuju koji dio oscilograma odgovara kojem od navedenih zvukova)



**Slika 6.** Prikaz korelacije između varijabli NP i DUR kod *P. kessleri*

(Ravna linija predstavlja regresijsku liniju dok isprekidana linija predstavlja intervale od 95% pouzdanosti.)

### 3.3 Usporedba zvukova *N. melanostomus* i *P. kessleri*

*N. melanostomus* i *P. kessleri* uspoređene su na temelju svih akustičnih svojstava izračunatih tijekom ovog istraživanja (Tablica 2). Bitno je također spomenuti da su oba zvuka tonalna, iako je Rolo i sur. (2007) snimio nekoliko zvukova *N. melanostomus* te su ih kvalificirali kao pulsativne s obzirom na akustična svojstva. Izgleda da autori tokom navedenog istraživanja nisu detaljno istražili strukturu zvuka, te analizirajući sonogram bez povećanja, istraživani niz zvukova zaista odaje dojam pulsativnog tipa (Slika 13). Provedenim Mann-Whitney *U* testom pokazano je da su sva akustična svojstva statistički razlikuju između navedenih vrsta (Mann-Whitney *U* test:  $N_1=60$ ,  $N_2=24$ ,  $p<0.05$  svi testovi) osim FM1 (Mann-Whitney *U* test:  $N_1=60$ ,  $N_2=24$ ,  $p>0.05$ ). Generalno, zvukovi proizvedeni od strane jedinki *P. kessleri* traju duže, te imaju veći broj pulseva. Zvukovi *N. melanostomus* kraćeg su trajanja u odnosu na zvukove *P. kessleri*. NP također je manji (5-31) nego kod vrste *P. kessleri* (Slika 7 i 8). Kod obje vrste primijećujemo da dolazi do modulacije zvuka no kod *N. melanostomus* primijećujemo da je FM ipak manja te da je FM pozitivna i velika kod *P. kessleri* (Slika 12).

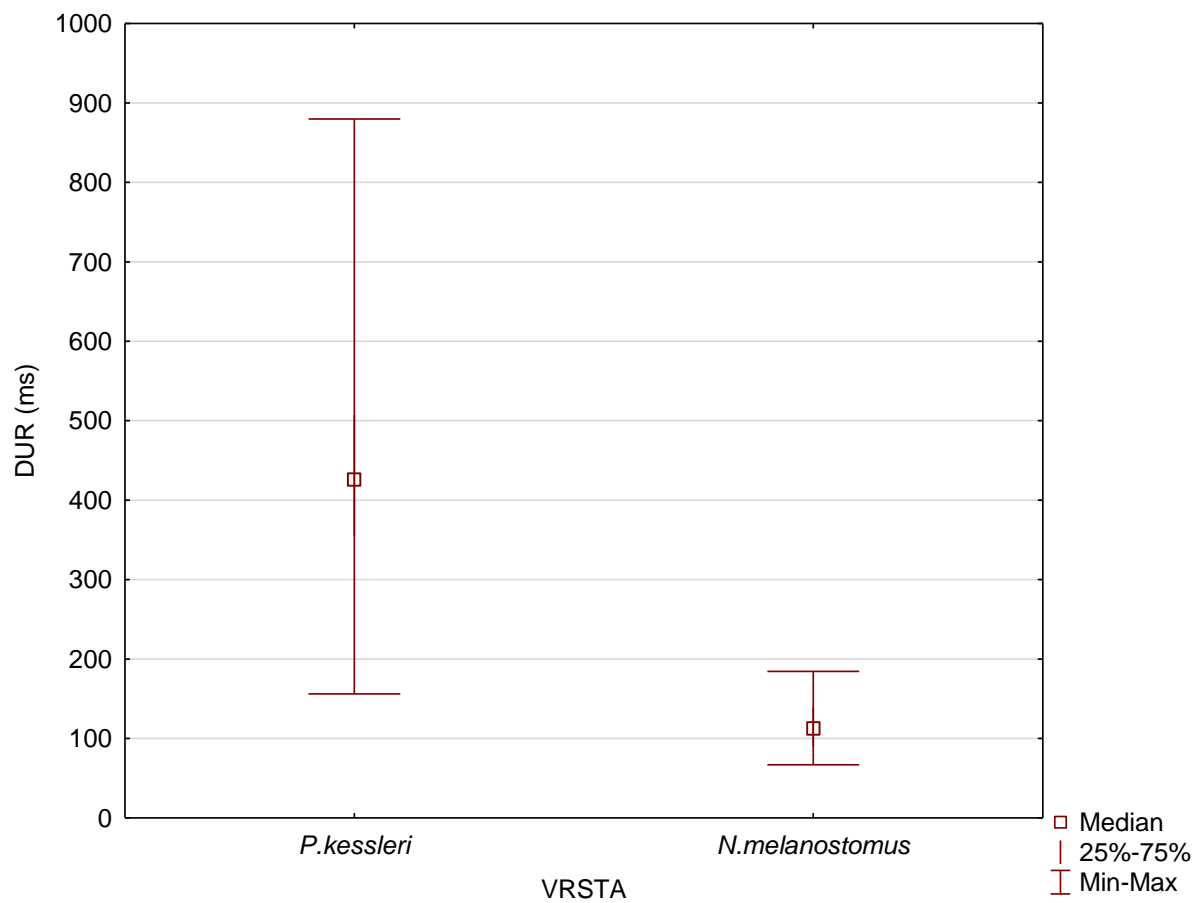
Kada usporedimo SR kod obje vrste primjećujemo da je kod *N.melanostomus* SR poprilično veći (1-31) što možemo povezati s trajanjem zvuka. Zvuk je kraćeg trajanja te je samim time moguće češće ponavljanje zvuka. Upravo iz tog razloga kod *P.kessleri* vidimo da je SR malen i da su zvukovi dužeg trajanja. Osim navedenog vidimo i veliku razliku u PRRR (Hz), kod vrste *P.kessleri* vrijednosti ove varijable su znatno veće što može vidjeti iz samog grafa u kojem su PRR vrijednosti uspoređene kod obje vrste (Slika 9). PF je kod *P.kessleri* (57.60 do 186.50) viša nego kod *N.melanostomusa* (Slika 10). Razlike su jasno vidljive te je očito kako bi baš ova akustična svojstva mogla biti ključna akustička svojstva za razdvajanje dviju vrsta. Tijekom provedenog istraživanja, za sve akustičke varijable izračunali smo koeficijent varijabilnosti zvukova ( $CVb/CVw > 1.0$ ). Navedeni koeficijent daje uvid je li pojedino svojstvo stereotipno, tj. koliko je pojedina akustička varijabla različita unutar ili između pojedinih jedinki iste vrste. Također, navedeni koeficijent ukazuje koja su svojstva korisna u individualnoj diskriminaciji (Christie et al. 2004). Kako bi bilo moguće izračunati CV potrebno je također bilo izračunati koeficijent varijabilnosti zvuka unutar jedinke ( $CVw$ ) koji se izračuna kao omjer srednje vrijednosti standardne varijacije i srednje vrijednosti izračunat za svaki zvuk svake jedinke. Koeficijent je izračunat iz ne transformiranih podataka.. Broj zvukova za svaku jedinku iznosio je deset ( $n=10$ ). Da rezultati bili što točniji i precizniji za svaku varijablu izračunata je srednja vrijednost te standardna devijacija ( $x \pm SD$ ) nakon čega je izračunat koeficijent varijabilnosti također iz srednjih vrijednosti standardne devijacije koja je podijeljena s srednjom vrijednošću svih srednjih vrijednosti u početku za jedinku, a zatim za sve jedinke ( Tablica 1).

**Tablica 1.** Prikaz vrijednosti CVW za vrste *P.kessleri* i *N.melanostomus*

Akustične varijable	<i>Neogobius melanostomus</i>			<i>Ponticola kessleri</i>		
	$CVw$	$CVb$	$CVb/CVw$	$CVw$	$CVb$	$CVb/CVw$
SR	0.5	0.5	<b>1.02</b>	0.29	0.36	<b>1.23</b>
DUR (ms)	0.25	0.29	0.87	0.23	0.23	<b>1.01</b>
NP	0.28	0.26	<b>1.10</b>	0.21	0.20	0.97
PRRR (Hz)	0.20	0.21	0.94	0.09	0.09	0.99
PF (Hz)	0.12	0.19	0.65	0.11	0.11	<b>1.06</b>
FM (Hz)	4.11	1.09	3.77	-1.07	-1.25	<b>1.17</b>

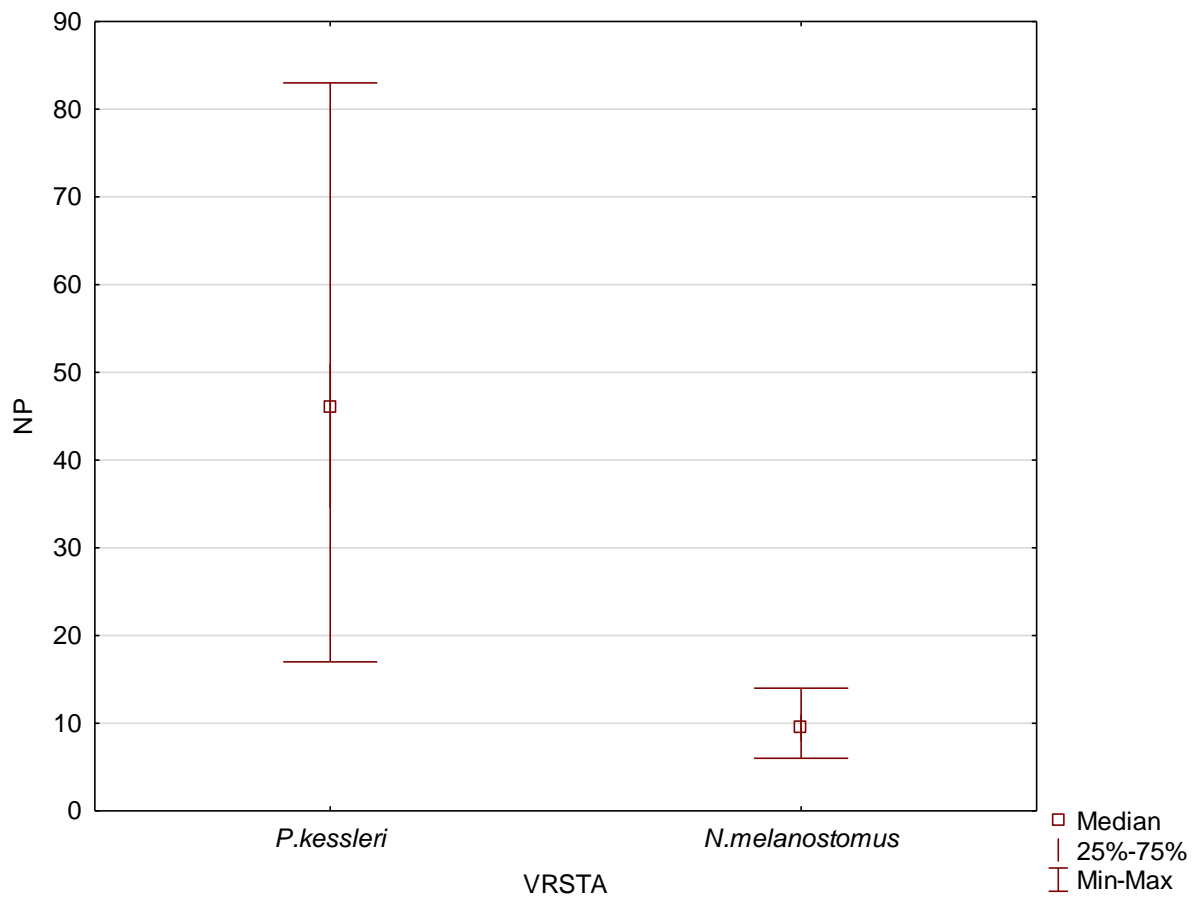
**Tablica 2.** Usporedba akustičnih svojstava između *P.kessleri* i *N.melanostomus*

Akustična Svojstva	<i>Neogobius melanostomus</i>			<i>Ponticola kessleri</i>			<i>P</i> vrijednost
	$x \pm SD$	Raspon	N	$x \pm SD$	Raspon	N	
SR	$8.8 \pm 10.9$	4.4-31	6	$2.9 \pm 1.5$	1.2 -5	6	< <b>0.05</b>
DUR (ms)	$132.2 \pm 126.8$	84 -274.9	6	$435.1 \pm 127$	241.3 – 653.4	6	< <b>0.05</b>
NP	$11.22 \pm 12.9$	7.8-31	6	$43.8 \pm 11.6$	28.7 -64.3	6	< <b>0.05</b>
PRR (Hz)	$102.1 \pm 88.8$	72.06 – 131.9	6	$88.7 \pm 18.4$	76.7 – 138	6	>0.05
PF (Hz)	$88.7 \pm 78.1$	65– 121	6	$101.7 \pm 19.8$	77.3 – 140.5	6	< <b>0.05</b>
FM (Hz)	$3.87 \pm 7.09$	-37.4 – 37	6	$35.22 \pm 38.3$	-12.7 – 96.1	6	< <b>0.05</b>



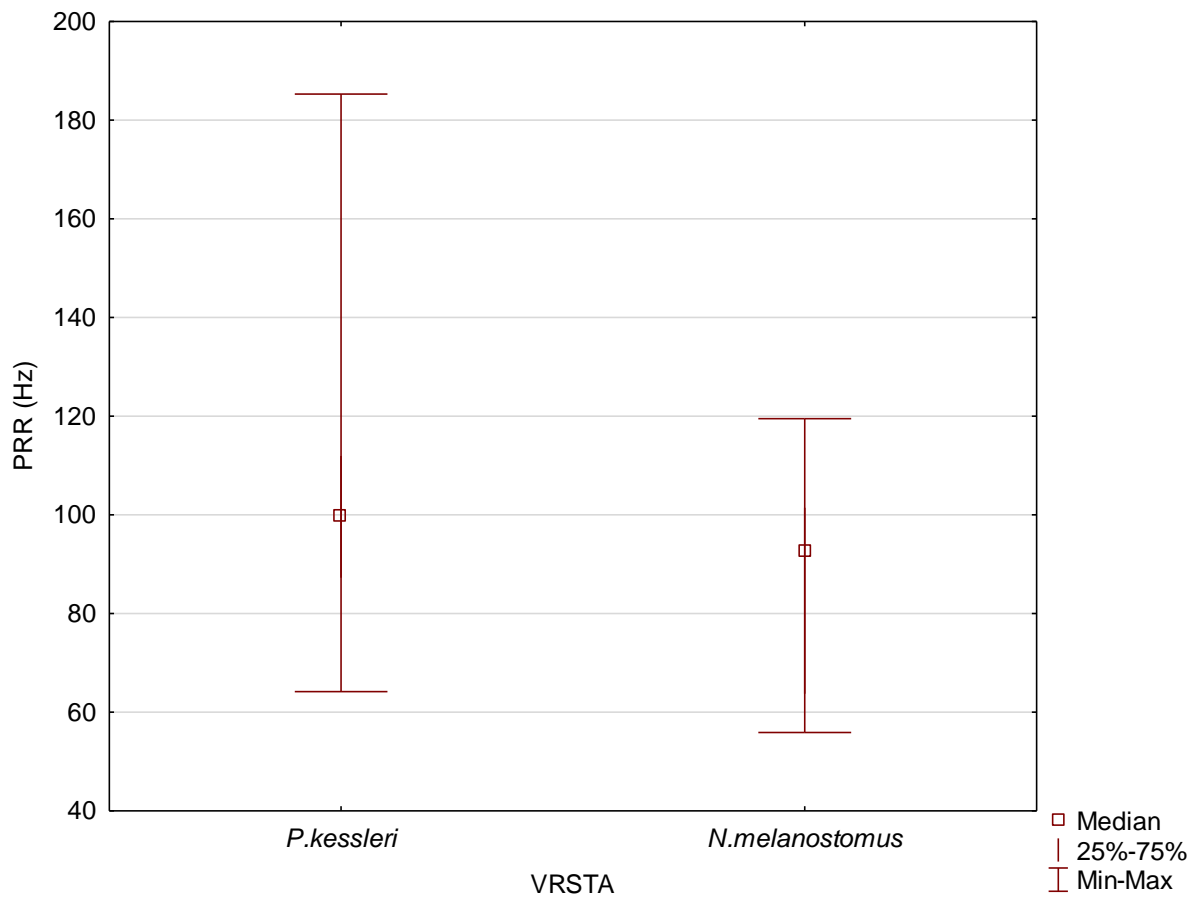
**Slika 7.** Usporedba varijable DUR između vrsta *P. kessleri* i *N. melanostomus*

(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)



**Slika 8.** Usporedba varijable NP između vrsta *P.kessleri* i *N.melanostomus*

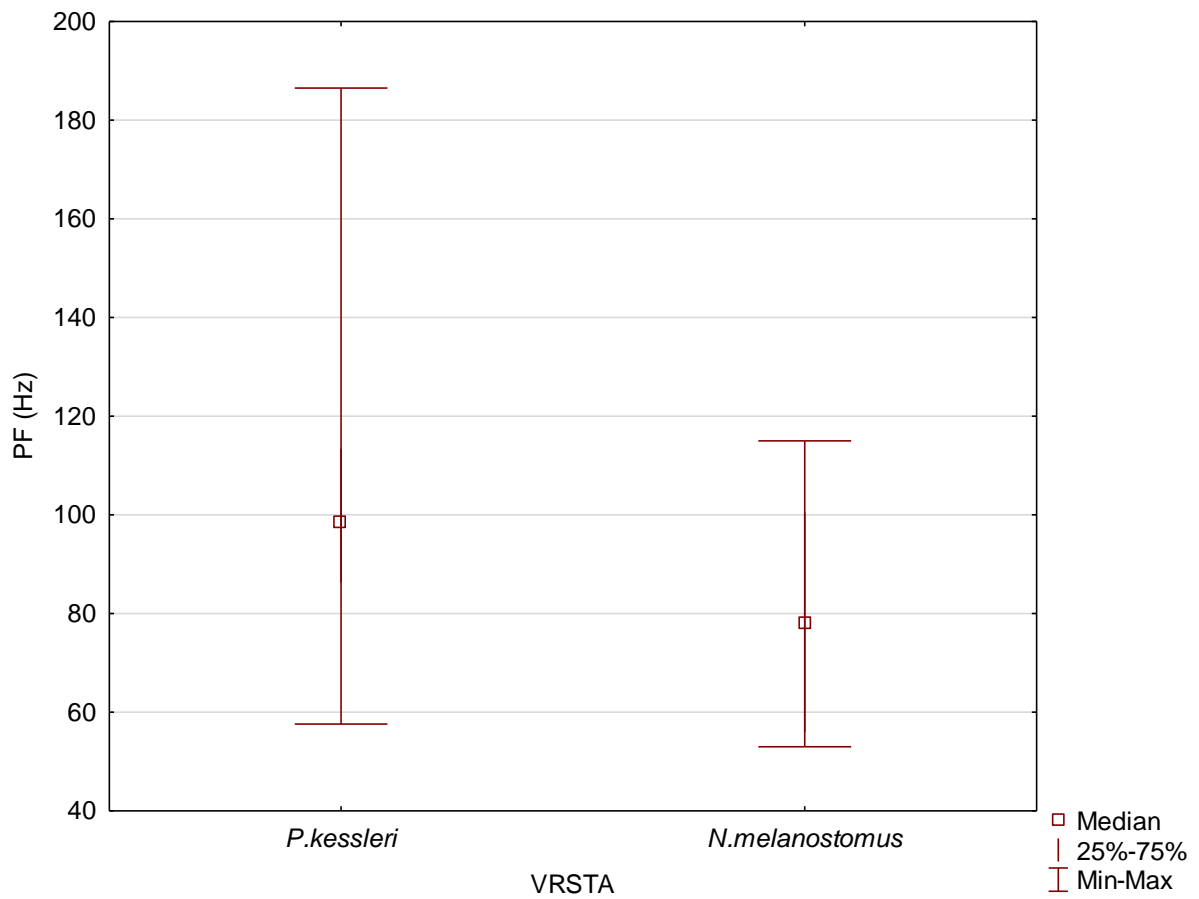
(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)



**Slika 9.** Usporedba varijable PRR (Hz) između vrsta *P.kessleri* i *N.melanostomus*

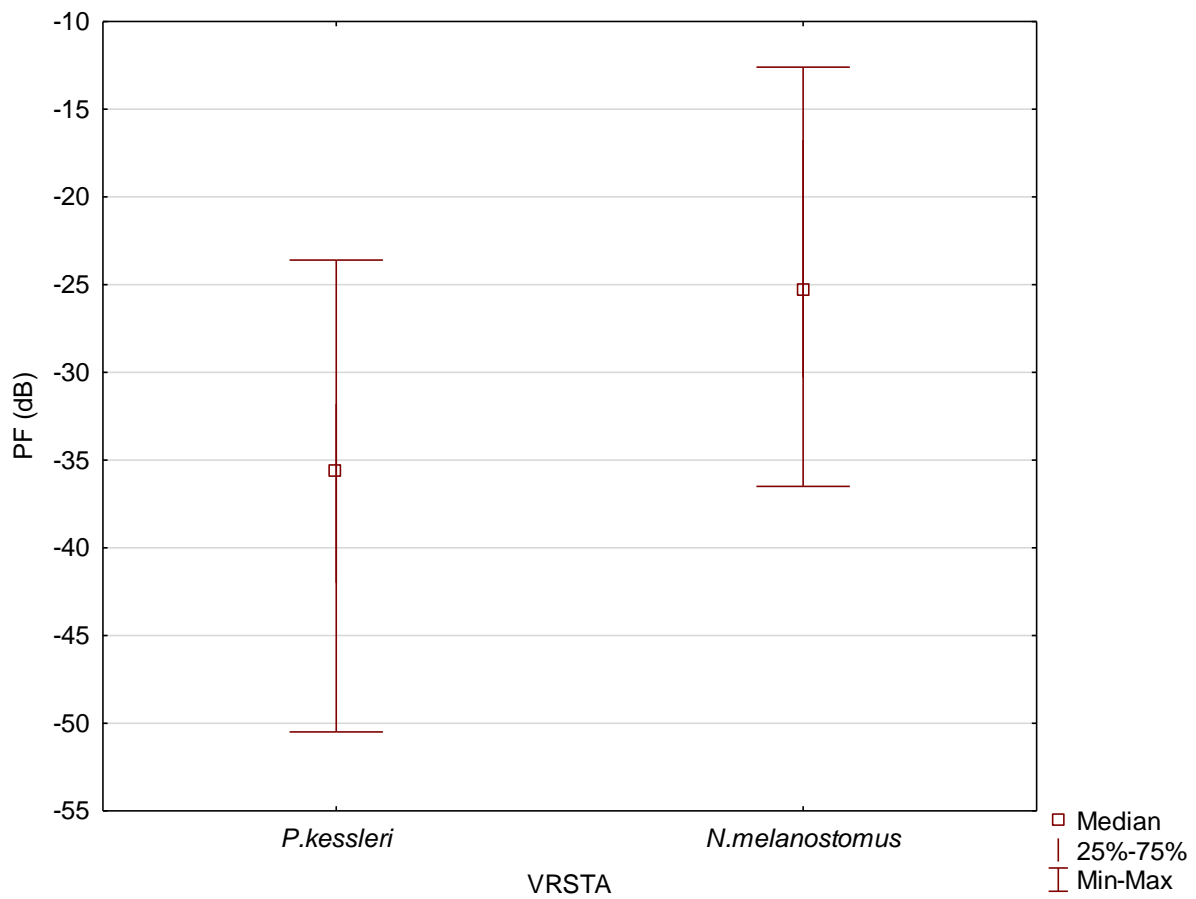
(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)





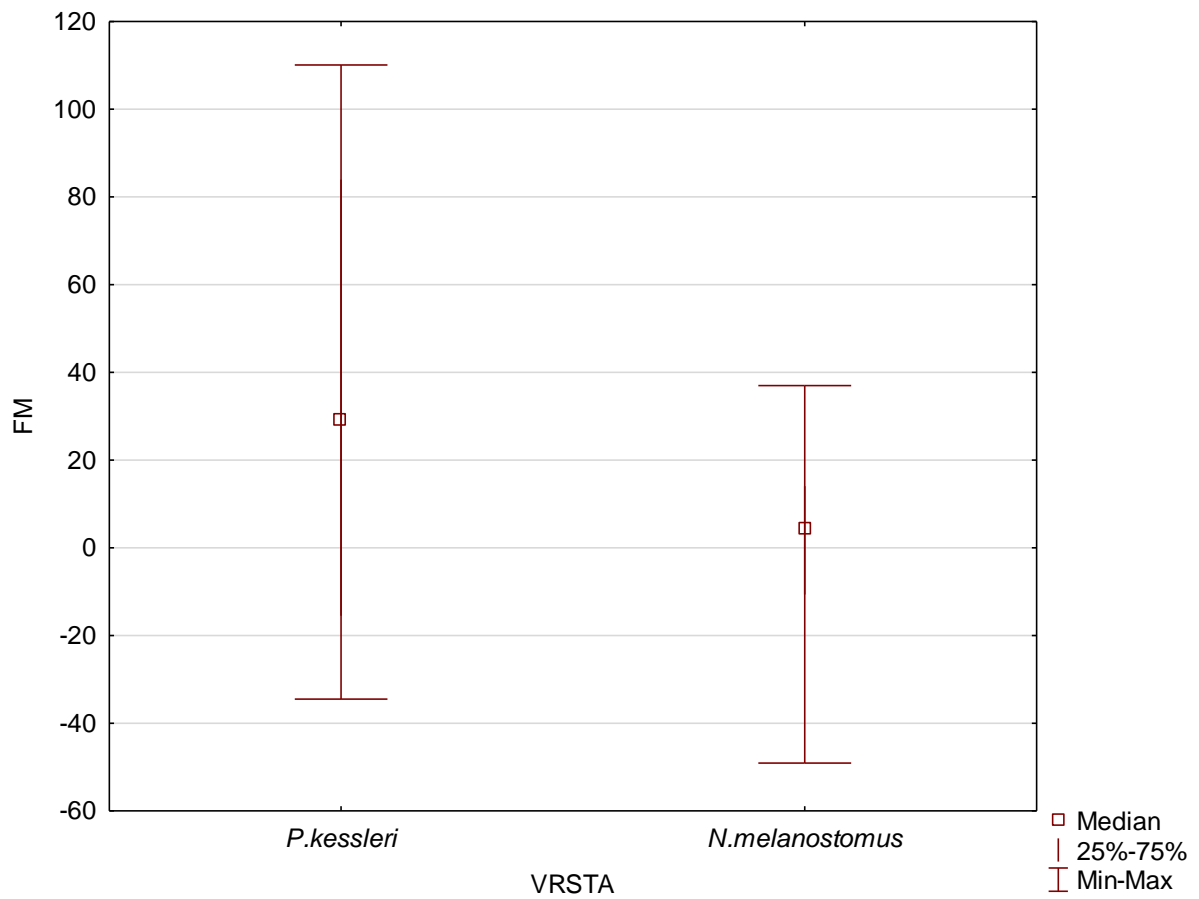
**Slika 10.** Usporedba varijable PF (Hz) između vrsta *P.kessleri* i *N.melanostomus*

(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)



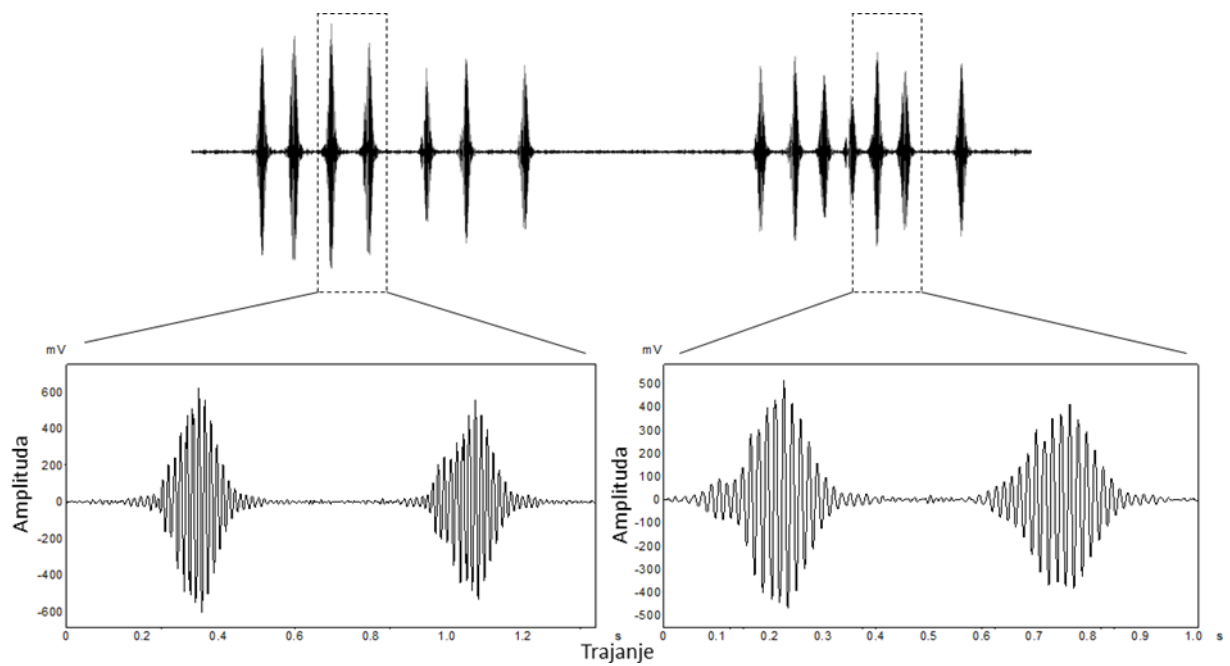
**Slika 11.** Usporedba varijable PF (Db) između vrsta *P.kessleri* i *N.melanostomus*

(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)



**Slika 12.** Usporedba varijable FM između vrsta *P.kessleri* i *N.melanostomus*

(U donjem desnom kutu nalazi se legenda koja opisuje značaj dijelova grafa)



**Slika 13.** Slika se odnosi na problem sa pulsatilnim zvukom (Rolo,2007), dok donji dio slike ustvari prikazuje da se radi o zvukovima tonalnog karaktera

#### 4. RASPRAVA

Provedeno istraživanje je pokazalo da su dvije Ponto-Kaspijske vrste glavoča, prethodno svrstane u isti rod (*Neogobius*), *Neogobius melanostomus* i *Ponticola kessleri*, producirale različite zvukove tonalnog karaktera tokom intraspecijskih kao i interspecijskih agresivnih i reproduktivnih interakcija, pokazujući specifične akustičke strukture. Struktura zvuka tipična za glavočića okrugljaka (*N. melanostomus*) je karakteristična po kratkim, niskofrekvencijskim tonalnim zvukovima, dok se zvukovi kod Keslerovog glavočića (*P. kessleri*) očituju kao frekvencijski moduliran duži tonalni zvuk. Istraživanje Amorim i sur. (2013) naglašavaju kako bi stereotipna obilježja ( $CVb/CVw > 1.0$ ) mogla potencijalno diskriminirati mužjake i/ili biti korištena od strane ženki u svrhu parenja kao vjerodostojni indikatori mužjakovog fizičkog stanja. U ovom istraživanju se pokazalo da određena vremenska obilježja zvukova (uglavnom DUR and SR) produciranih i od *N. melanostomus* i od *P. kessleri*, prikazuju veću između- nego interspecijsku varijaciju i stoga prikazuju potencijalnu ulogu pri akustičnoj komunikaciji i individualnoj diskriminaciji. Na interspecijskoj razini komunikacijske vokalizacije su se izrazito razlikovale prema akustičnim parametrima i zvučnim strukturama, što nam ukazuje da svaka vrsta posjeduje sebi svojstveno namještene vremenske i spektralne karakteristike koje im omogućavaju da se razlikuju, pošto dosta često dvije istraživanje vrste glavoča žive u simpatijskim odnosima (Miller, 2003). U tom slučaju, zvukovi *N. melanostomus* mogu biti prepoznati kao tonalni zvukovi kratkog trajanja organizirani u duže serije i intenzivno ponavljani (viska razina zvuka) dok *P. kessleri* proizvodi duže tonalne zvukove, frekvencijski modulirane. Rijetko su proizvedeni u serijama, češće pojedinačno (niska razina ponavljanja zvukova). Bitno je napomenuti da je eksperiment proveden kroz duži vremenski period tako da je obuhvaćena i reproduktivna sezona kao i period nereproduktivne sezone. Usprkos toj činjenici *P. kessleri* nije proizveo niti jedan reproduktivni zvuk već samo agresivne zvukove dok kod *N. melanostomus* jedinke stvaraju oba tipa zvuka. Osim što smo promatrali svako akustično svojstvo zasebno, gledali smo i međusobne odnosne akustičnih svojstava unutar iste vrste kao i između dvije gore navedenih vrsta.

### *Ponticola kessleri*

U ovom eksperimentu sudjelovalo je 6 jedinki te je bitno spomenuti da su sve jedinke bile muške te također da su proizvedeni zvukovi isključivo agresivni. Jedinke su proizvedile zvukove i u ulozi domaćina i u ulozi uljeza. Tokom snimanja primijećeno je da je često veličina bila ključan faktor. Ukoliko se domaćin osjećao ugroženo proizvodio je češće zvuk. Većinu je ugroženost potaknuta veličinom jedinke koja je u ulozi uljeza. Ovdje se također može uočiti koliko dolazi do izražaja njihova teritorijalnost prilikom ovakvih interakcija što je karakteristično za sve Ponto-kaspijske vrste. Iz rezultata je vidljivo da je zvuk tonalnog karaktera. Istraživanje na primjeru vrste *P.kessleri* pokazalo je da su sve varijable statistički bitne osim FM2. Ta informacija govori da se zvukovi unutar iste vrste razlikuju te da svaku jedinku upravo to karakterizira i odvaja od ostalih. Ipak, može se reći da su se DUR i NP pokazale kao statistički važnije varijable. DUR je u snažnoj pozitivnoj korelaciji s NP što ukazuje na to da ukoliko vrijednosti jedne varijable rastu, samim time raste i vrijednost druge varijable. Odnosno, porastom DUR raste i NP. Osim pozitivne korelacije s NP, kod DUR-a primjećujemo i pozitivnu korelaciju s PF što bi značilo da maksimalna frekvencija ovisi o trajanju zvuka te ukoliko zvuk traje duže i frekvencija će također rasti. Osim toga vidljivo je da su se jedinke češće glasale pri višim temperaturama. Mogući razlog tome je upravo to što u prirodi približavanjem njihove reproduktivne sezone rastu i temperature u prirodi. Osim toga ribe su poikilotermni organizmi te temperature okoliša izrazito utječu na njihovo ponašanje. Pozitivna korelacija veličine tijela i temperature pokazuje da ove dvije varijable utječu na stvaranje zvuka. U ovom slučaju svi zvukovi su agresivni iako je bilo snimaka u kojima su ženke bile uljezi, moguć razlog tome je snimanje izvan reproduktivne sezone ili čak slaba motiviranost domaćina pošto se ženke nisu pokazale izrazito agresivne kao uljezi.

#### 4.1 *Neogobius melanostomus*

Kod *N.melanostomusa* vidljivo je da iako ženke nisu bile motivirane za stvaranje zvuka, mužjaci su bili vrlo motivirani te su proizvodili zvukove reproduktivnog karaktera u kojemu su pokušavali udvarati ili čak uvesti ženku u svoje gnijezdo. Zvukovi unutar vrste razlikuju se po svim akustičnim svojstima osim FM i FM3. Taj podatak govori da ustvari kod *N.melanostomusa* uvijek dolazi do modulacije zvuka te nije ni čudno da se kroz akustičku obradu podataka može uočiti porast frekvencije u zvukovima ove vrste. Zanimljivo je da kod *Neogobius melanostomus* nije zabilježen niti jedan zvuk proizveden od strane uljeza. Moguće je da jedinke nisu bile dovoljno motivirane zbog procjene (vizualne i akustičke) da je jedinka u ulozi domaćina ipak fizički jača, odnosno veća, što također ukazuje na važnost veličine tijela jedinki što se poklapa i sa rezultatima dobivenim kod *P.kessleri*. Bitno je naglasiti da su zvukovi kod ove vrste kratki i vrlo često repetirajući što ukazuje na lakoću nastanka zvuka (Parmentier i sur., 2013). Također zvuk je tonalnog karaktera. Ukoliko zvuk iziskuje manje energije prilikom proizvodnje veća je vjerojatnost da će biti ponovljen. To otvara pitanje razlikuje li se kod ove dvije vrste mehanizam nastajanja zvuka te ukoliko postoji razlika da li upravo to što je zvuk kraći i ponavljajući znači da je nastao jednostavnijim mehanizmom. Kao što je ranije navedeno, mehanizam koji precizno objašnjava produkciju zvukova i dalje je nepoznat, usvojena je teorija koja je predložena od strane Parmentier i sur. (2013), koji smatra na temelju elektromiografskih analiza, da se zvukovi stvaraju kranio-pektoralnim mehanizmom, što znači da dolazi do kontrakcije i relaksacije *levator pectoralis*. Statistički značajne varijable pokazale su se DUR, SR, NP, PF, FM1, FM2 kao i temperatura i veličina tijela. Što se tiče konteksta, agresivni zvukovi se također razlikuju unutar jedinki od reproduktivnih u NP kao i PF i temperaturi. Razlika u temperaturi ukazuje na promjene koje se događaju u prirodi prilikom približavanja doba njihove reproduktivne sezone. Razlika u NP bi mogla biti posljedica veće motiviranosti prilikom nastojanja da mužjak osvoji ženku. Što se tiče korelacija bitno je naglasiti da DUR pozitivno korelira s SR što je i za očekivati pošto duže trajanje zvuka otvara prostor većem ponavljanju istog. Dakle, ukoliko raste vrijednost DUR rasti će i SR. Također, DUR pozitivno korelira i sa temperaturom i veličinom. Vidljiva je čvrsta korelaciju s NP što je također za očekivati iako gledamo da dulje trajanje zvuka također kao i u situaciji sa SR otvara prostor nastojanju više pulseva te će ukoliko raste jedna varijabli rasti i druga. Zanimljiva je informacija da postoji pozitivna korelacija između temperature i veličine. To ustvari govori da će pri većim temperaturama veće jedinke češće stvarati zvuk nego one manje. Taj podatak ponovno ukazuje na važnost veličine tijelu u životu ovih dviju vrsta (Malavasi i sur., 2008).

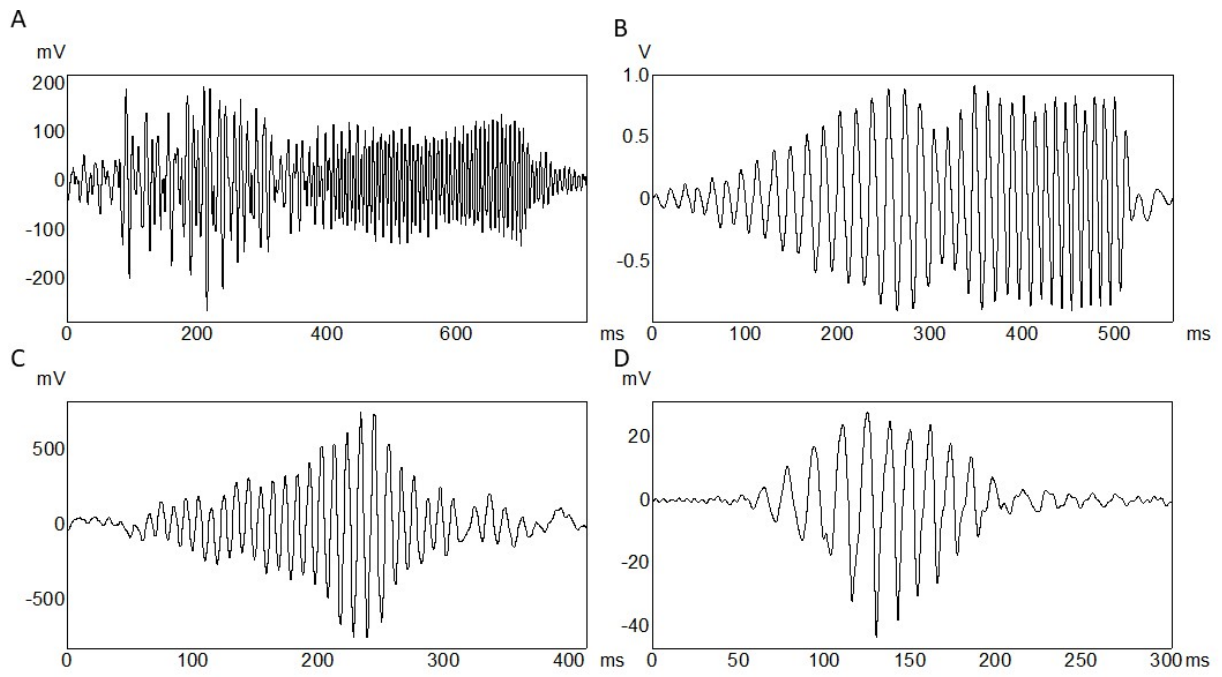
## 4.2 Usporedba *P. kessleri* i *N. melanostomus*

Najvažnije je naglasiti da je ovim istraživanjem pokazano da se zvukovi jedinki vrste *P.kessleri* i zvukovi jedinke *N.melanostomus* razlikuju u svi akustičim svojstvima osim FM1. Rezultati ovog istraživanja poklapaju se sa postojećom literaturom (Medved i sur., 2013) gdje se može zaključiti kako *Neogobius melanostomus* i *Ponticola kessleri* stvaraju tonalne zvukove isto kao i njegovi bliski srodnici (*P. bonelli*; *G. paganellus*; *N. fluviatilis*; *P. nigricans*)(Ladich i Katoschvil 1989). Iako su zvukovi stvoreni u istom kontekstu zvukovi se razlikuju. Vrlo važno svojstvo u ovoj usporedbi je također FM. Gledajući rezultate vidljivo je da se vrste razlikuju po tom akustičnom svojstvu te da kod *P.kessleri* modulacija u zvuku je poprilično velika dok kod *N.melanostomus* gotovo uvijek dolazi do modulacije frekvencije no ipak je nešto manja u usporedbi s *P.kessleri*. Uspoređeni su agresivni zvukovi *P.kessleri* koji su bili u ulozi domaćina s agresivnim zvukovima *N.melanostomus* također jedinki koje su bile u ulozi domaćina kako bi se izbjegle pogreške s obzirom na to da kod *P.kessleri* snimljeni agresivni zvukovi i kod jedinke u ulozi uljeza dok s druge strane kod *N.melanostomusa* su snimljeni agresivni zvukovi i reproduktivni koji nisu prisutni s druge strane. Na taj način postiže se bolji uvid u rezultate provedenog istraživanja. Iz podataka dobivenih u ovom istraživanju može se ustanoviti da se zvukovi *N,melanostomusa* i zvukovi *P.kessleri* u potpunosti razlikuju ali su istog tipa, tj. odaju tonalni karakter. Većina energije prisutna je u glavnoj odnosno fundamentalnoj frekvenciji. Promatranjem oscilograma može se uočiti sinusoidalni val koji odgovara PRRR (Lugli et al., 1997; Lugli, Yan & Fine, 2003) Spektrogram najčešće ima niži „peak“ što zapravo dosta ovisi o kvaliteti zvuka (Tchernichovski et al., 2000).



### 4.3 Usporedba vokalnog repertoara istraživanih vrsta sa zvukovima drugih europskih glavoča

Riječni glavočić (*Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) tokom glasanja stvara niz kratkih zvukova tijekom agresivnih i reproduktivnih intraspecijskih interakcija (Horvatić, 2015) vrlo sličnih zvukovima *N.melanostomus*. Svaki zvuk sastoji se od tipičnog sinusoidalnog vala koji se sastoji od većinom velikog broja brzo-ponavljajućih pulseva, kojima se može opisati amplituda i frekvencija (Horvatić, 2015). Gledajući rezultate provedenog eksperimenta na navednog vrsti može se vidjeti da je energija zvuka najčešće u uskom rasponu od 60 do 100 Hz. Upravo ove opisane karakteristike ukazuju kako se radi o tonalnom zvuku (Horvatić, 2015). Ovdje vidimo sličnost s *P.kessleri* kao i s *N.melanostomus* čiji zvukovi su također tonalnog karaktera. Kod riječnog glavočića svaki zvuk dio je kontinuiranog niza, u kojem intra-zvučni period (period između završetka jednog i početka drugog zvuka) traje između 1,3 i 1,6 sekundu. DUR iznosi od 127 do 226 milisekundi (ms), s prosječnom vrijednosti od 169,3 ms (Horvatić, 2015) gdje se vidi da je trajanje zvuka kod *N.melanostomus* duže (od 49,79 do 274,92 milisekundi) dok je kod *P.kessleri* gotovo dvostruko duži (od 156 do 879 ms). FM kod riječnog glavočića iznosi od 2 do 13 Hz, što ukazuje na vrlo malo povišenje modulacije dok kod *P.kessleri* kao i *N.melanostomus* postoje znatno veće modulacije frekvencije. Broj pulseva unutar svakoga zvuka varira između 8 i 16 (Horvatić, 2015). Ukoliko se obrati pažnja na talijanskog glavočića (*Padogobius nigricans*) s obzirom na akustična svojstva (Lugli i sur. 1995, Malavasi i sur. 2008) može se primijetiti sličnosti s produciranim zvukovima *P.kessleri*. Trajanje zvuka, frekvencija, stereotipnost i akustična struktura zvuka talijanskog glavočića više nalikuju zvuku proizvedenog od strane *P.kessleri* nego *N.melanostomus*. Rezultati provedenog istraživanja Horvatića (2015) potvrdili su filogenetsku srodnost riječnog glavočića s mediteranskim vrstama iz *Gobius* grupe (*Padogobius* kompleks i glavoč mrkuljem). Ukoliko se pogledaju rezultati ovog istraživanja možemo primijetiti da *N.melanostomus* također pokazuje sličnost s riječnim glavočićem kao i vrsta iz *Gobius* grupe. Također zvukovi riječnog i talijanskog glavočića tonalnog su karaktera kao i zvukovi *P.kessleri* i *N.melanostomus*.



**Slika 14.** Prikaz sonograma kod pojedine vrste (A. *P. bonelli*; B. *G. paganellus*; D. *N. fluviatilis*; C. *P. nigricans*)

## 5. ZAKLJUČAK

1. Rezultati provedenog istraživanja pokazuju kako su inter-i intra- agresivne interakcije, kao i reproduktivne interakcije mužjaka, dviju vrsta ponto-kaspijskih vrsta glavočića okrugljaka (*Neogobius melanostomus*) i Keslerovog glavočića (*Ponticola kessleri*), gotovo uvijek popraćeni produkcijom zvuka. Rezultati provedenog istraživanja ukazuju kako se kvantitativno i kvalitativno jasno mogu razlikovati agresivni i reproduktivni zvukove ovih dviju vrsta. Kod vrste *Neogobius melanostomus* zvukovi su znatno kraćeg trajanja u usporedbi s *P.kessleri*. Osim navedenog, razlika je u broju ponavljanja zvuka. *Ponticola kessleri* ima manji broj ponavljanja zvukova dok je on kod *Neogobius melanostomus* znatno veći. Upravo to možemo povezati s trajanjem zvuka kod obiju vrsta. Kod vrste *Ponticola kessleri* zabilježena su duži zvukovi (trajanje oko 500 ms) rijetko ponovljeni u nizovima a češće stvoreni sami (stopa ponavljanja zvukova oko 3.0 zvukova po minuti). Po svojoj strukturi, zvukovi obiju vrsta spadaju u tonalne akustičke signale, sa stereotipnom strukturom pošto pojedine akustičke varijable ukazuju na  $CVb/CVw$  vrijednosti veće od jedan.

2. Usporedbom rezultata s ostalim glavočima primijećeno je da su svi zvukovi tonalnog karaktera te da je zvuk kod *N.melanostomus* nalik na zabilježene zvukove *N.fluviatilis* dok zvukovi zabilježeni za *P.kessleri* više nalikuju po svojim svojstvima vrsti *P.nigricans*. *N.melanostomus* i *P.kessleri* srodne su vrste no ipak pa svojim akustičnim svojstvima dovoljno različite da ih ne možemo grupirati zajedno.

3. Daljnja istraživanja ponto-kaspijskih vrsta će dokazati njihovu filogenetsku srodnost s ostalim neistraženim glavočima, ali ovim istraživanjem naglašena je primjenjivost akustičnih svojstava koja bi mogla dodatno potvrditi rezultate i na taj način doprinijeti tim istraživanjima, pošto se tokom istraživanja pokazalo da se rezultati akustičnih i molekularnih analiza poklapaju. Upravo iz gore navedenih razloga akustična svojstva bi se trebala češće koristiti u rekonstrukciji filogenetskih odnosa kod glavoča.

## 6. LITERATURA

Agorreta A, San Mauro D, Schlieven U, Van Tassell JL, Kovačić M, Zardoya R, Ruber L (2013) Molecular phylogenetics of Gobioidae and phylogenetic placement of European gobies. *Mol Phylogenet Evol* 69:619-633.

Amorim MCP, Neves ASM (2007) Acoustic signalling during courtship in the painted goby, *Pomatoschistus pictus*. *J Mar Biol Assoc UK* 87:1017-1023.

Amorim MCP, Pedroso SS, Bolgan M, Jordão JM, Caiano M, Fonseca PJ (2013) Painted gobies sing their quality out loud: acoustic rather than visual signals advertise male quality and contribute to mating success. *Funct Ecol* 27:289-298. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12032>.

Bass AH, Mckibben JR (2003) Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. *Neurobiology* 605:1-26.

Bradbury JW, Vehrencamp SL (1998) *Principles of Animal Communication*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

Horvatić S, Cavarro F, Zanella D, Malavasi S (2015). Sound production in the Ponto-Caspian goby *Neogobius fluviatilis* and acoustic affinities within the *Gobius* lineage: implications for phylogeny. *Biol J Linn Soc* 117:564-573.

Jakšić G (2016) Biological, ecological and genetic characteristics of invasive Ponto–Caspian gobies (Gobiidae) in the Sava River Basin in Croatia. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:054537>

Lugli M (2010) Sounds of shallow water fishes pitch within the quiet window of the habitat ambient noise. *J Comp Physiol A* 196:439-451. <https://doi.org/10.1007/s00359-010-0528-2>.

Lugli M, Torricelli P (1999) Prespawning sound production in mediterranean sand gobies. *J Fish Biol* 54:691–694.

Lugli M, Pavan G, Torricelli P, Bobbio L (1995) Spawning vocalisations in male freshwater gobiids (Pisces, Gobiidae). *Environ Biol Fish* 43:219-231.

Lugli M, Torricelli P, Pavan G, Mainardi D (1997) Sound production during courtship and spawning among freshwater gobiids (Pisces, Gobiidae). *Mar Fresh Behav Physiol* 29:109-126.

- Lugli M, Torricelli P, Pavan G, Miller PJ (1996) Breeding sounds of male *Padogobius nigricans* with suggestions for further evolutionary study of vocal behaviour in gobioid fishes. *J Fish Biol* 49:648-657.
- Lugli M, Yan HY, Fine ML (2003) Acoustic communication in two freshwater gobies: the relationship between ambient noise, hearing thresholds and sound spectrum. *J Comp Physiol* 189:309-320.
- Malavasi S, Collatuzzo S, Torricelli P (2008) Interspecific variation of acoustic signals in Mediterranean gobies (Perciformes, Gobiidae): Comparative analysis and evolutionary outlook. *Biol J Linn Soc* 93:763-778. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.00947.x>.
- Malavasi S, Torricelli P, Lugli M, Pravoni F, Mainardi D (2003) Male courtship sounds in a teleost with alternative reproductive tactics, the grass goby, *Zosterisessor ophiocephalus*. *Environ Biol Fish* 66:231-236. <https://doi.org/10.1023/A:1023923403180>.
- Malavasi S, Valerio C, Torricelli P (2009) Courtship sounds and associated behaviours in the Canestrini's goby *Pomatoschistus canestrinii*. *J Fish Biol* 75:1883-1887.
- Mann DA, Lobel PS (1995) Passive acoustic detection of sounds produced by the damselfish *Dascyllus albisella* (Pomacentridae). *Bioacoustics* 6:199-213.
- Medvedev DA, Sorokin PA, Vasil'ev VP, Chernova NV, Vasil'eva ED (2013) Reconstruction of phylogenetic relations of Ponto-Caspian gobies (Gobiidae, Perciformes) based on mitochondrial genome variation and some problems of their taxonomy. *J Ichthyol* 53:702-712.
- Miller PJ (1984) The tokology of gobioid fishes. In: Potts GW, Wotton RJ (ed) *Fish Reproduction: Strategies and tactics*. London: Academic Press, 119–153.
- Miller PJ (2003) *The Freshwater Fishes of Europe*. Mugilidae, Atherinidae, Atherinopsidae, Blenniidae, Odontobutidae, Gobiidae 1, Wiebelsheim: AULA Verlag, vol. 8/I, pp 157-345.
- Miller PJ (2004) *The Freshwater Fishes of Europe*. Gobiidae 2, Wiebelsheim: AULA Verlag, vol. 8/II, pp 33-93.
- Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta, M., Mustafić, P. i Zanella, D. (2006): *Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske*. Ministarstvo kulture i Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb

- Myrberg AA, Lugli M (2006) Reproductive behavior and acoustical interactions. In: Ladich F, Collin SP, Moller P, Kaapor BG (ed) *Communication in Fishes*, Vol. 1. Enfield, NH: Science Publishers, pp 146–176.
- Neilson ME, Stepien CA (2009) Escape from the Ponto Caspian: evolution and biogeography of an endemic goby species flock (Benthophilinae: Gobiidae: Teleostei). *Mol Phylogenet Evol* 52:84–102.
- Parmentier E, Kever L, Boyle K, Corbisier Y, Sawelew L, Malavasi S (2013) Sound production mechanism in *Gobius paganellus* (Gobiidae). *J Exp Biol* 216:3189-3199.
- Robillard T, Legendre F, Desutter-Grandcolas L, Grandcolas P (2006) Phylogenetic analysis and alignment of behavioral sequences by direct optimization. *Cladistics* 22:602-633.
- Rice AN, Bass AH (2009) Novel vocal repertoire and paired swimbladders of the three-spined toadfish, *Batrachomoeus trispinosus*: insights into the diversity of the Batrachoididae. *J Exp Biol* 212:1377-1391.
- Simonovic PD, Nikolić VP, Skora KE (1996) Vertebral number in Ponto-Caspian gobies: phylogenetic relevance. *J Fish Biol* 49:1027-1029.
- Sebastianutto L, Picciulin M, Costantini M, Rocca M, Ferrero E (2008) Four types of sounds from one winner: vocalizations during territorial behaviour in the red-mouthed goby *Gobius cruentatus* (Pisces, Gobiidae). *Acta Ethol* 11:115-121.
- Thacker CE, Roje DM (2011) Phylogeny of Gobiidae and identification of gobiid lineages. *Syst Biodivers* 9:229-347.
- Torricelli P, Lugli M, Pavan G (1990) Analysis of sound produced by male *Padogobius martensi* (Pisces: Gobiidae) and factors affecting their structural properties. *Bioacoustics* 2: 261-175.
- Torricelli P, Parmigiani S, Lugli M, Gandolfi G (1988) Intermale aggression in *Padogobius martensi* (günther) (pisces Gobiidae): effect of size and prior residence. *Monit Zoolog Ital – Ital. J Zool* 22:121-131. <https://doi.org/10.1080/00269786.1988.10736547>.
- Zeyl JN, Malavasi S, Holt DE, Noel P, Lugli M, Johnston CE (2016) Convergent aspects of acoustic communication in darters, sculpins and gobies. In: Sisneros AJ (ed) *Fish Hearing and Bioacoustics: An Anthology in Honor of Arthur N. Popper and Richard R. Fay*, Cham: Springer International Publishing, pp. 93-120.

Internetski izvori:

[https:// www.pinterest.co.uk](https://www.pinterest.co.uk)