



*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## **ICHTHYOLOGY**

Course objective:

The aim: This course deal with all aspects of the ecology of fishes from their basic environmental physiology through food web interactions, competition, reproductive strategies, and the importance of size to ecological interactions. The importance of fish as biological indicators will be emphasized. Different multimetric approaches, used in bioassessment, will be presented.

Course outcome: Students will be able to relate fish to habitat categories, river types and eco-regions as well as to apply knowledge of ecology, physiology, and zoogeography of fish to understand aquatic ecosystem functioning. Students will master how to apply different fish based indices in ecological status assessment of inland waters.

### **Literature:**

Matthews W.J. (2012) Patterns in Freshwater Fish Ecology. Chapman & Hall, New York.

Wootton, R.J., (2012) Fish ecology: tertiary level biology. Blackie, London. 212 pp.

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

# 1. Ribe – najraznolikija skupina kralješnjaka

Sa brojem opisanih vrsta koji trenutno već premašuje 50000, uz stalna otkivanja novih vrsta i produbljanja naših znanja o raznolikosti ove iznimne skupine životinja, ribe predstavljaju vrstama najbogatiju i najraznolikiju skupinu među kralješnjacima. Taksonomski gledano, ribe ni nisu jedinstvena skupina već obuhvaćaju predstavnike nekoliko recentnih i izumrlih razreda životinja za koje je karakteristično da žive u vodenom mediju, a kreću se različitim načinima plivanja. Nekada su sve takve životinje bile ubrajane u zajednički razred, Pisces, no danas se zna da je njihova raznolikost prevelika da bi bila obuhvaćena jednom taksonomskom skupinom te da sve ribe ni nisu monofiletička skupina, odnosno nemaju jednog zajedničkog pretka. Stoga su njihovi evolucijski putevi razdvojeni, građa tijela i načini života izuzetno raznoliki, a ekološke niše koje zauzimaju izuzetno brojne i još uvijek ne posve otkrivene i opisane.

## RAZNOLIKOST RECENTNIH RIBA

Recentne ribe ubrajamo u pet razreda: sljepulje čine razred Myxini, paklare se ubrajaju u razred Cephalaspidomorphi, hrskavičnjače tvore zaseban razred – Chondrichthyies, ribe poznate pod nazivom dvodihalice čine razred Sarcopterygii, dok razred zrakoperki, Actinopterygii obuhvaća daleko najveći broj vrsta i riba i kralješnjaka općenito, a odnosi se evolucijski odvedenije ribe koštanog skeleta. Ribe nastanjuju najrazličitija morska i slatkovodna staništa, ali i prijelazna staništa između ta dva biotopa. Kao posebna zanimljivost, postoje vrste koje u određenom dijelu životnog ciklusa žive u slatkoj vodi, a zatim migriraju u mora i oceane, ili pak obratno, iznenađujuće prilagođavajući svoje fiziološke procese na vodene sustave u kojima su reakcije organizma ne samo različite, već i suprotne (u slanom mediju, zbog kemijskih reakcija voda izlazi iz tijela ribe, dok se u slatkovodnom sustavu događa suprotna reakcija te voda ulazi u ribe). U morima su ribe naselile sve moguće dubine i staništa, od plitkih dijelova čak i u zoni prskanja mora (gdje se ribe zadržavaju u malim zaostalim lokvicama) pa do najvećih dubina gdje vlada potpuna tama i nezamisliv tlak, čemu dubokomorske ribe zahvaljuju svoje izuzetno neobične izgleda i

osobitu građu tijela, od tek blago zaslanjenih bočatih voda na ušćima rijeka pa do hipersalinih staništa, od područja izuzetno bogatih hranjivim tvarima i na kojima su razvijene hranidbene mreže s velikim brojem trofičkih razina i komponenata, pa do prostranstava siromašnih hranjivim tvarima, gdje se svaka, i najmanja hranjiva čestica iskorištava osobitim mehanizmima i metodama. U slatkovodnim su sustavima ribe također na nezamislive načine prilagođene nevjerojatnoj raznolikosti staništa i uvjeta te nastanjuju sva moguća staništa od brdskih i planinskih potoka i izvora, preko rijeka različite širine, dubine, podloge i fizikalno-kemijskih značajki, plićih i dubljih, većih i manjih jezera, močvarnih i poplavnih područja, mrtvaja i rukavaca pa do vodotoka osobitih značajki, koje su ponovno uvjetovalo razvoj sasvim specifičnih ihtiocenoza, kao što su na primjer krški vodotoci ili termalni izvori. Neke su vrste prilagođene na vrlo specifične uvjete i osjetljive i na male promjene fizikalno-kemijskih i/ili hidromorfoloških značajki vodotoka pa dolaze samo na određenom tipu staništa, dok se na drugoj strani spektra nalaze vrste koje jako dobro podnose čak i značajne promjene stanišnih uvjeta pa mogu živjeti u različitim tipovima vodotoka, uključujući vodotoke različite dubine, protoka i izgleda dna, pa čak i u posve različitim biotopima, kao što su morski i slatkovodni.

Očekivano, ukupan broj vrsta veći je u morima i oceanima, no što je vezan uz slatkovodne ekosustave. Međutim, ako usporedimo relativan broj vrsta s obzirom na površinu (ili, još izraženije, volumen morskih i slatkovodnih ekosustava), daleko je veća raznolikost riba prisutna u slatkovodnim sustavima. Iako je to možda na prvi pogled neobično, posljedica je ogromne raznolikosti staništa obuhvaćene tim malim volumenom slatkovodnih ekosustava, ali i izolacijama pojedinih vodotoka što redovito pridonosi specijacijskim događajima. S druge strane, morska prostranstva, usprkos znatno većem volumenu, omogućuju i znatno bolju povezanost te miješanje ihtiocenoza različitih područja, a to su uvjeti u kojima su specijacije ipak rjeđe.

## GEOGRAFSKA RASPODJELA RAZNOLIKOSTI RIBA

Iako su ribe rasprostranjene u svim vodenim sustavim diljem Zemlje i gotovo da ni nema vodnog tijela, čak ni malenog i privremenog, u kojem ne obitava barem pokoja vrsta iz neke od taksonomskih skupina riba, ipak postoje područja koja su znatno bogatija vrstama i podržavaju gušće i raznolikije zajednice riba od ostalih. Uglavnom je veća raznolikost vrsta vezana uz vodotoke u kojima se nalazi veći broj različitih staništa, a prisutna je dovoljna količina hranjivih tvari za razvoj bogatih i složenih hranidbenih mreža. U

morima su takva područja često vezana uz koraljne grebene, ušća slatkovodnih ekosustva, područja uzdizanja morskih struja ili pak pliće dijelove toplijih mora. U slatkovodnim ekosustavima ihtiofauna je obično raznolikija u nizvodnijim dijelovima porječja, odnosno u područjima gdje su korita velika i široka te skrivaju raznolika staništa, a uz glavna su korita prisutni i brojni rukavci, mrtvaje i poplavna područja. S druge strane, specifične uvjete izvora i gorskih potoka, gdje je voda hladna i brza, može podnijeti manji broj vrsta, a slična je situacija i sa drugim tipovima specifičnih staništa – na njima redovito nalazimo manji broj vrsta koje imaju neke posebne prilagodbe za život u tom jedinstvenom okruženju.

S druge strane, osobito velik broj jedinstvenih vrsta riba, odnosno endema, nalazimo upravo u takvim specifičnim staništima. Tako i vodotoci dinarskog krša, zahvaljujući specifičnim stanišnim uvjetima, ali i međusobnoj izolaciji vodotoka (barem u njihovim nadzemnim dijelovima), podržavaju jedinstvenu ihtiofaunu. Štoviše, vodotoci jadranskog slijeva Hrvatske i Bosne i Hercegovine često se označuju kao 'vruća točka' ihtioraznolikosti Europe jer u njima obitava izuzetno velika raznolikost slatkovodnih riba, a među njima je osobito visok udio endemskih vrsta riba – vrsta rasprostranjenih samo na nekom malom području i nigdje drugdje na svijetu. Jasno je kako upravo endemske vrste, brojne u vodotocima Dinarskog krša, predstavljaju osobito vrijednu sastavnicu ihtioraznolikosti i bioraznolikosti općenito, ali i poseban izazov u konzervacijskom smislu jer je njihova zaštita ograničena, s obzirom da je fokusirana na vrlo mala područja, a sve antropogene aktivnosti koje djeluju na tim područjima, utječu na čitavu vrstu.

## GRAĐA TIJELA RIBA – MORFOLOGIJA

Usprkos ogromnoj raznolikosti načina života i prilagodbi stanišnim uvjetima, koje se, barem do određene mjere, odražavaju i u pojedinim tjelesnim strukturama, većina vrsta riba ipak ima sličan izgled i građu tijela, nužno određenu značajkama vodene sredine u kojoj žive te osobitostima i ograničenjima života u vodi. U osnovnom obliku, tijelo riba je vretenastog, hidrodinamičnog oblika. Njegov najveći dio čini trup, od kojeg se odvajaju glava i rep, čija veličina i oblik usko su povezani s životnim funkcijama i stanišnim osobitostima, ali su redovito znatno manji od trupa. Od trupa se odvajaju parne i neparne peraje, s primarnom funkcijom u pokretanju, ali i nizom sekundarnih funkcija razvijenih tijekom dugotrajne evolucije pojedinih skupina riba. Karakterističan oblik tijela riba, vretenast, s malo nastavaka smještenih uz tijelo, izuzetno je hidrodinamičan te ribama omogućuje brzo i aktivno plivanje u vodi. Ribe koje nisu aktivni plivači, kreću se drugim načinima (npr. priljepljuju se za druge organizme, žive kao dio planktona),

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

žive pri dnu ili ukopane u sedimentu, imaju izmijenjene oblike i izgled tijela. Neke (na primjer, raže) su dorzoventralno spljoštene. Najveće izmjene možemo primijetiti kod plosnatica, koje su također pridenene ribe, ali leže na jednom boku, a ne na trbušnoj strani. Stoga su one bočno spljoštene, ali je tijekom njihova evolucijskog razvoja došlo do pomicanja jednog oka na drugu stranu i drugih izmjena u građi glave tako da im se oči i usta nalaze na jednoj strani tijela, suprotnoj strani na kojoj leže. Specijalizacije u građi tijela išle su i u drugim smjerovima pa neke vrste koje većinu života provode u gustom vegetaciji imaju izduljena tijela, često i s resastim nastavcima, kao što je to slučaj kod morskih konjica i šila, itd. Zanimljivo je da evolucijski najprimitivnije ribe, paklare i sljepulje, još nemaju vretenast oblik tijela, već im je tijelo okruglastog oblika. Iako su i one aktivni plivači, jasno je kako se njihove plivačke sposobnosti ne mogu mjeriti s onima kod odvedenijih skupina riba.

Glava je različite veličine kod različitih vrsta riba, no uglavnom se smanjuje prema usnom otvoru, odnosno zašiljenog je oblika, što omogućuje veću hidrodinamičnost tijela. Na njoj se nalazi usni otvor, unutar kojeg su, kod velike većine riba, smještene čeljusti. Jedino paklare i sljepulje nemaju čeljusti, a njihov je usni otvor okruglog oblika kada se gleda sprijeda, odnosno ljevkastog u poprečnom presijeku. Usni je lijevak paklara i sljepulja okružen nizom ili nizovima pipala, dok se u njemu nalaze nizovi malih rožnatih zubića. Oni ovim primitivnim ribama omogućuju bolje prihvaćanje za svoje 'žrtve', s obzirom da se hrane sisanjem mekih dijelova tijela i tkiva uginulih organizama. Kako svaka vrsta ima karakterističan broj i položaj tih zubića u usnom lijevku, vrlo su važni i u taksonomskom određivanju vrsta te determinaciji jedinki. Pojava čeljusti u evoluciji kralješnjaka predstavlja revolucionarni događaj koji im je omogućio da postanu aktivni predatori i hrane se većim plijenom, a tim, posljedično, doveo do ubrzane divergencije i zauzimanja najrazličitijih ekoloških niša u vodenim ekosustavima. Na čeljustima većine hrskavičnjača nalaze se vrlo oštri zubi, često i u nekoliko redova, dok oblik i broj zubi zrakoperki, mesoperki i dvodihalica ovisi o načinima njihove prehrane. Nadalje, i sama veličina i položaj usnog otvora usko su povezani s načinima hranjenja pa vrste koje hranu uzimaju s površine vode najčešće imaju tzv. gornja usta, usmjerena prema gore. Predatorske vrste koje aktivno love hranu u stupcu vode imaju tzv. završna ili terminalna usta, smještena na samom lateralnom rubu glave, dok mnoge vrste koje hranu skupljaju na dnu ili iz samog sedimenta, imaju usnu otvor smješten s ventralne strane glave, tzv. donja usta. S obzirom na ogromnu raznolikost načina prehrane riba postoje i izvedenice iz ovih osnovnih položaja usnog otvora, kao što su poludonja i polugornja usta, ali i čitav niz posebnih prilagodbi, kao na primjer, usta za sisanje,

zone sluzi za prosijavanje sitnog sedimenta u usnom otvoru itd. Kao osobita osjetila mnoge vrste oko usnog otvora imaju jedan ili više pari, većih ili manjih brčića.

Osim usnog otvora i pridruženih struktura, na glavi riba smještene su i oči, a njihova veličina u uskoj je vezi sa staništem riba, odnosno s mogućnošću iskorištavanja svjetla, a onda i oslanjanja na osjetilo vida prilikom obavljanja životnih funkcija. Stoga će kod riba koje žive u muljevitim vodama ili na dubinama do kojih dopire tek malo svjetlosti, oči biti smanjene, a neka druga osjetila (na primjer njuh ili elektrosenzori), znatno bolje razvijeni. Zanimljivo, mnoge vrste riba koje žive na osobito velikim dubinama, gdje uvijek vlada potpuna tama, imaju dobro razvijene oči. Razlog tomu leži u razvoju fotoreceptora kod tih vrsta, s ulogom u prepoznavanju i privlačenju suprotnih spolova, ali i privlačenju plijena pa onda i oči moraju biti razvijene kako bi mogle primijetiti svjetlost koju fotoreceptori proizvode. Oči kod većine riba okružene su gornjim i donjim kapkom.

## 2. Sistematika slatkovodnih riba

Kao što je već spomenuto, pod pojmom riba obuhvaćeno je više različitih razreda kralješnjaka. Tradicionalno, ribe možemo podijeliti na dvije velike skupine (nadrazreda): Agnatha (bezčeljusti) i Gnathostomata (čeljustousti). Nadalje, recentne bezčeljusti možemo podijeliti na dva razreda: Myxini (sljepulje) i Cephalaspidomorphi (paklare), a čeljustouste na tri razreda: Chondrichthyes (hrskavičnjače), Actinopterygii (zrakoperke) i Sarcopterygii (mesoperke). Naravno, kako istraživanjima prikupljamo sve više znanja o ribama tako se i naše viđenje sistematike mijenja pa prema novijim spoznajama ribe dijelimo u osam razreda (Van der Laan i sur., 2014) kao što je prikazano u tablici x.

**Tablica x.** Razredi obuhvaćeni pojmom riba

Razred	Stari razred	Nadrazred
Myxini – sljepulje	Myxini – sljepulje	Agnatha – bezčeljusti
Cephalaspidomorphi – paklare	Cephalaspidomorphi – paklare	

<b>Elasmobranchii – prečnouste</b>	–	<b>Gnathostomata – čeljustousti</b>
<b>Holocephali – cjeloglavke</b>	<b>Chondryichthyes – hrskavičnjače</b>	
<b>Cladistii – mnogoperke</b>	<b>Actinopterygii – zrakoperke</b>	
<b>Actinopteri – zrakoperke</b>		
<b>Coelacanthi – resoperke</b>	<b>Sarcopterygii – mesoperke</b>	
<b>Dipneusti – dvodihalice</b>		

Kao što je vidljivo, novijim spoznajama nisu nastale dramatične razlike unutar sistematike riba, nego su neke skupine koje su prije bile niže i sistematskoj hijerarhiji uzdignute na razinu samostalnih razreda.

Ipak, predmet ovog kolegija su slatkovodne ribe pa ćemo se ograničiti samo na slatkovodne predstavnike razreda Cephalaspidomorphi i Cladistii, i Actinopteri. Slatkovodnim predstavnicima smatramo sve one vrste koje barem dio svog životnog ciklusa provode u slatkim vodama.

## **Razred Cephalaspidomorphi**

### **Paklare – Petromyzontiformes**

Paklare su vrlo stara skupina kralješnjaka čije prve nalaze poznajemo još iz doba Kambrija što ih čini jednako starom skupinom kao i beskralješnjaci. Vjerojatno su nastali u moru jer su upravo ti najstariji nalazi ovih životinja samo ljuske, a čitave fosile poznajemo tek iz prijelaza Silura u Devon. Zajednički naziv za sve izumrle bezčeljusti je Ostracodermata jer su mnoge imale oklop kao ljusku (Ostracon). Za razliku od riba s razvijenim čeljustima, paklare u unurašnjem uhu imaju samo dva polukružna kanala. Ipak, svi današnji

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

predstavnicu ovog razreda imaju potpuno golo tijelo bez ljusaka. Većina su diadromne vrste što znači da u životnom ciklusu žive i u moru i u slatkoj vodi. Diadromne paklare provode većinu života u moru, a u slatku vodu odlaze na mrijest pa spadaju u skupinu anadromnih vrsta. Imaju razvoj preko ličinke koja se naziva pokača (ammocoetes).

Sve današnje paklare imaju završna ili terminalna usta bez čeljusti koja, u odraslom obliku, završavaju usnim lijevkom sa rožnatim zubima podloženim hrskavicom pa takvi zubi nisu homologni zubima ostalih kralješnjaka. Na dnu usnog lijevka nalazi se jezik sa rožnatim zubićima koji služi za prisisavanje na žrtvu i kao rašpica kojom stvore otvor na žrtvi za hranjenje. Odrasle su paklare (ako se hrane) paraziti na ostalim kralješnjacima i hrane se tjelesnim tekućinama domaćina. U pravilu ne ubijaju domaćina, ali životinja često uginu zbog iscrpljenosti i velike ulazne rane. Na glavi se odraslih paklara još nalazi par razvijenih očiju, sedam vanjskih škržnih otvora, jedan dorzalno smješteni nosni otvor koji završava slijepo iza kojeg se nalazi pinealni organ ili tjemeno oko. Na trupu i repu nema parnih tjelesnih privjesaka, ali odrasle paklare imaju jednu do dvije dorzalne peraje, jedna repna i jedna podrepna peraja.

Pokača se znatno razlikuje od odrasle paklare i izgledom i načinom života. Tako se pokače vanjskim izgledom razlikuju od odraslih oblikom peraje u obliku neprekinutog leđnog nabora, očima prekrivenim kožom te izgledom usta koja imaju gornju potkovastu usnu bez rožnatih zubića. Pokače dan provode zakopane u sedimentu, a hrane se detritusom. U ličinačkom obliku mogu provesti tri do sedam godina nakon čega slijedi preobrazba ili metamorfoza. Kao odrasle jedinke ne žive dulje od dvije godine, a neke se nakon metamorfoze odmah mrijeste pa izostaje parazitski način života. Jedinke koje se ne hrane imaju slabo razvijene zube na usnom lijevku što otežava njihovo razlikovanje jer je upravo raspored zubi na usnom lijevku glavno determinacijsko svojstvo.

Trenutno poznajemo 38 vrsta paklara od kojih je 29 isključivo slatkovodnih, odnosno njihov životni ciklus nema morsku fazu. Broj vrsta paklara svakako nije konačan jer iznimno teška njihova morfološka identifikacija zbog malog broja morfoloških karakteristika po kojima bi ih se razlikovalo. Upravo se sve isključivo slatkovodne paklare na Balkanu mrijeste nakon metamorfoze i kao odrasle se ne hrane pa su im zubi na usnom lijevku slabo razvijeni. U Hrvatskoj trenutno živi tri vrste paklara. Morska je paklara (*Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758) anadromna, a dunavska paklara (*Eudontomyzon vladykovi* Oliva & Zanandrea, 1959) i primorska paklara (*Lampetra soljani* Tutnam, Freyhof, Dulčić, Glamuzina & Geiger,



2017) su isključivo slatkovodne. Nije isključena prisutnost niti nekih drugih isključivo slatkovodnih vrsta iz šireg područja Europe, ali ih tek treba potvrditi molekularnim tehnikama.

## **Razred Cladistii**

### **Red Polypteriformes – mnogoperke**

Mnogoperke su slatkovodne ribe koje nalazimo samo u Africi. To je vrlo stara skupina riba koju danas smatramo sestriškom grupom razreda Actinopterygii. Neki autori su ih svrstavali bliže razredu Sarcopterygii zbog građe prsnih peraja. Tijelo im je pokriveno debelim slojem ganoidnih ljusaka, a prepoznatljive su po leđnoj peraji koju čini pet do 18 nezavisnih perajica. Imaju samo četiri škržna luka, poseban raspored lubanjskih kostiju, a na glavi imaju štrcalo. Njihov plivaći mjehur nalik je na pluća i obavezno moraju disati atomosferski zrak kako se ne bi utopili. Ipak, ne mogu preživjeti izvan vode. Iako su u prošlosti bile vrlo raznolika skupina, danas su recentna samo dva roda *Polypterus* i *Calamoichthys* u kojima razlikujemo 16 vrsta.

## **Razred Actinopteri**

### **Podrazred Chondrostei – štitonoše**

#### **Red Acipenseriformes – jesetre**

Jesetre su, također, vrlo stara skupina zrakoperki koje karakterizira hrskavični kostur s nereduciranim svitkom te heterocerkalna peraja. Sve su migratorne, a neke čak poduzimaju vrlo velike migracije. Većina su anadromne, ali postoje i isključivo slatkovodne vrste. Dijele se u dvije porodice Acipenseridae i Polyodontidae. Porodica Acipenseridae su jedne od najvećih slatkovodnih riba, prepoznatljive je po pet redova koštanih ljuski na tijelu, četiri brka na produženoj gubici te donjim pruživim ustima. Na glavi imaju štrcalo, a odrasle jedinke nemaju zube. Iako imaju veliki plivaći mjehur, ipak im je potrebna heterocerkalna peraja za održavanje u stupcu vode. Njihova ikra je vrlo cijenjena kao delikatesa i naziva se kavijar. Trenutno poznajemo

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

25 vrsta, rasprostranjene su samo na sjevernoj hemisferi. Porodica Polyodontidae su većinom slatkovodne, iako ih se rijetko može naći i u boćatim vodama. Jako su prepoznatljive po svojoj produženoj gubici u obliku vesla. Za razliku od porodice Acipenseridae, nemaju velike koštane nego mjestimice raspoređene male ljuske. Na gubici se nalaze mali brčići. Planktivorne vrste imaju vrlo dugačke i brojne škržne šipčice kojima filtriraju vodu. U ustima se nalaze mali zubi, a na glavi imaju štrcalo. Poznate su samo dvije vrste *Polyodon spathula* iz Sjeverne Amerike i *Psephurus gladius* iz Kine, a obje su ugrožene. Neke se uzgajaju u akvakulturi, čak i u Europi, pa je tako zabilježen *Polyodon spathula* u Dunavu u Republici Hrvatskoj i Srbiji.

## **3. Ekologija riba**

Ekologija riba dio je ihtiologije koji se bavi istraživanjem načina života riba pri čemu treba imati na umu da je medij u kojem ribe žive i obavljaju sve životne funkcije voda. Voda prekriva više od 70 % Zemaljske kugle, ali najveći dio odnosi se na oceane i mora, odnosno slanu vodu. Slatka voda čini samo 2,5 % ukupne količine vode pri čemu udio nadzemnih vodenih staništa (potoci, rijeke, jezera, močvare), koja nastanjuju slatkovodne vrste riba, iznosi svega 0,025 % ili 1 % od ukupne količine slatke vode na Zemlji. Zapanjujuća je činjenica da u tako maloj količini ukupne vode obitava polovica svih vrsta riba u Svijetu.

Kako je cilj projekta razvoj kolegija vezanih za monitoring i procjenu stanja slatkih voda, u sklopu ovog kolegija biti će obrađena ekologija iz perspektive slatkovodnih riba.

Unatoč činjenici da slatke vode imaju znatno manju površinu od mora i oceana, krasi i izuzetna raznolikost različitih tipova staništa i ekoloških uvjeta koji u njima vladaju. Upravo takva raznolikost preduvjet je iznimne raznolikosti vrsta i načina prilagodbi koje su razvile kako bi preživjele u slatkim vodama.

Slatkovodna staništa se najčešće dijele na dva tipa voda: lentička staništa ili stajaće vode (stajačice) - jezera, bare, močvare te lotička staništa ili tekuće vode (tekućice) - potoci i rijeke. Međutim, slatkovodne ribe nastanjuju i još neka vodena staništa koja ne pripadaju nužno ranije navedenoj podjeli, a radi se o: pustinjским izvorima, špiljama, vrućim izvorima, podzemnim spremnicima i estuarijima koji predstavljaju prijelazna staništa prema morima.

Istraživanja slatkih voda i slatkovodnih riba pokazala su da su tekuće vode vrlo složeni sustavi u kojima se ekološki uvjeti i staništa mijenjaju od izvora prema ušću što utječe i na pripadajuće zajednice riba koje tamo obitavaju i karakteristične su za pojedini dio rijeke. Riječni sustavi najčešće su uzdužno (londitudinalno) podijeljeni s obzirom na slijedeće ekološke i fizikalno-kemijske značajke: nagib, brzina strujanja, širina vodotoka, dubina, temperatura vode, količina kisika i tip sedimenta. Kada se uzmu u obzir navedene značajke rijeka se može podijeliti u četiri zone u kojima obitavaju karakteristične vrste riba: zona pastrve, zona mreine, zona, deverike, zona balavca (lista). Zonu pastrve karakterizira brza, hladna voda bogata kisikom, dno je kamenito i šljunkovito dno, a tipične vrste su pastrva, peš, pijor, lipljen i mladica. U zoni mreine voda je manje brza, količine kisika su nešto manje, dno je šljunkovito, temperatura je viša, posebice ljeti kada prelazi 15 °C, a vrste koje obitavaju u ovoj zoni su mreina, klen, podust. U zoni deverike dolazi do smanjenje brzine toka,

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

temperatura je ljeti iznad 20 °C, koncentracije kisika su još niže, dno je pjeskovito, a uobičajene su deverika, šaran i jez. Zonu balavca (lista) obilježava sporotekuća voda, muljevito dno, niske koncentracije kisika, temperatura koja prelazi i 25 °C dok su najčešće vrste balavac i grgeč (list, jegulja).

Slatkovodni ekosustavi nisu složeni samo uzdužno već se unutar pojedinog odsjeka rijeke ili unutar jezera mogu uočiti različita staništa i mikrostaništa koja koriste različite vrste riba tijekom svojih životnih ciklusa. Staništa koja su najvažnija za ribe su reproduktivna i prehrambena staništa iako su vrlo važna i odrastališta te zimovališta. Kako bi se lakše shvatile prilagodbe i položaj pojedine vrste unutar zajednice, ribe su podijeljene u tzv. ekološke grupe (guilds) koje bi se mogle definirati kao segmenti ekološke niše. Ekološka grupa se može objasniti i kao uloga ili položaj pojedine vrste u zajednici riba. Osnovne grupe koje se koriste u ekologiji riba su: stanišne, prehrambene, reproduktivne, migratorne, temperaturne, grupe dugovječnosti i grupe tolerancije.

Kod stanišnih grupa ribe se dijele na temelju sklonosti prema brzini toka. Vrste koje obitavaju u tekućoj vodi nazivaju se reofilne vrste kao što su mrena, pastrva, plotica, klen. Dio vrsta preferira stajaće vode i mirna staništa i pripadaju grupi limnofilnih (stagnofilnih) vrsta čiji su tipični predstavnici linjak, karas i crvenperka. Treća grupa su euritopne vrste koje su tolerantnije što se tiče brzini toka i mogu obitavati na različitim staništima, a u nju pripadaju štika, bodorka, deverika.

U slučaju prehrambenih grupa vrste se mogu podijeliti na generaliste i specijaliste. Pritom u generaliste pripada grupa omnivora ili sveždera koje čine vrste koje su oportunisti u prehrani i hrane se različitim tipovima hrane ovisno o dostupnosti. S druge strane postoji velik broj ekoloških grupa vezanih za specijaliziranu prehranu odnosno vrste koje nazivamo specijalisti. Herbivori su grupa vrsta koje se hrane biljnom komponentom i algama, iako su relativno mali broj vrsta isključivi herbivori (npr. amur). Razlog za to je činjenica da je celulozu prilično teško razgraditi i dobiti dovoljnu količinu energije iz biljnog materijala. Znatno je veći broj omnivornih vrsta koji povremeno koriste i biljnu komponentu u prehrani. Pojedine predatorske vrste hrane se ribama i pripadaju grupi piscivora ili ihtiofaga su vrste koje se hrane ribama. Pritom se mogu razlikovati vrste koje aktivno traže (love) plijen za što koriste vid ili njuh i oblikom i građom tijela su prilagođene aktivnom lovu i brzom plivanju (bolen). Također, postoje i predatorske vrste koje pasivno love (zasjeda, iščekivanje) na način da su skrivene, zakopane ili zaštitno obojene tj. građene (mimikrija). One su također građom, oblikom i ponašanjem prilagođene za nagle napade i brze reakcije prilikom lova (štuka). Planktivori su grupa vrsta koja se hrani planktonskim organizmima bilo da se radi o životinjama ili algama. Pritom najčešće filtriraju vodu pomoću specijaliziranih struktura u obliku modificiranih škržnih šipčica i pregrada (glavaši). Grupa vrsta koje

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

se hrane različitim manjim plijenom poput beskralješnjaka i njihovih ličinki nazivaju se invertivori ili insektivori.

Reproduktivne grupe temelje se supstratu i podlozi koje vrste koriste za polaganje jaja. Fitofilne vrste polažu jaja u bilju (šaran, štika), dok litofilne jaja polažu na kamenju ili šljunku (podust, mrena). Vrste koje polažu jaja na oba tipa podloge svrstavamo u grupu fitolitofilnih riba (uklija). Za psamofilne vrste karakteristično je da polažu jaja na ili u pijesak (krkuš). Pojedine vrste skrivaju svoja jaja pa ih polažu u rupe - speleofilne vrste (glavoči) ili čak unutar školjkaša - ostrakofilne (gavčica). Iako je u slatkim vodama nauobičajeno da vrste ne polažu jaja na podlogu već ona plutaju nakon polijeganja, postoje i takve tzv. pelagofilne vrste (amur, manjić).

U vodama je temperatura vrlo važan ekološki čimbenik pa se slatke vode mogu u grubo podijeliti na tople (temperature više od 24 °C) i hladne (temperature rijetko preko 24 °C). Međutim, postoje ekološke grupe koje opisuju temperaturne preferencije odnosno temperaturnu toleranciju: hladnovodne vrste (salmonidi, peš, pijor), euritermne vrste (ciprinidi, percidi) i toplovodne vrste (vijuni, razni ciprinidi).

Duljina života odnosno životni vijek je također jedna od značajki koja definira vrste unutar zajednice riba, a takve ekološke grupe nazivaju se grupe dugovječnosti. Pritom postoje kratko živuće vrste (manje od 5 godina), srednježivuće (5-15 godina) i dugoživuće (više od 15 godina).

Grupe tolerancije su grupe koje opisuju podjelu vrsta prema toleranciji na okolišne uvjete pri čemu se u to mogu uzeti u obzir i ljudski utjecaji i promjene staništa. Tolerantne vrste dobro podnose različite uvjete i žive na većem broju različitih staništa (babuška, šaran, uklija). S druge strane netolerantne vrste imaju znatno užu ekološku valenciju i slabije podnose promjene ekoloških uvjeta (mladica, pastrva). Treća grupa su prijelazne vrste koje se na temelju tolerancije mogu grupirati između prethodnih dviju grupa.

Vrlo važnu ulogu u životnom ciklusu slatkovodnih riba imaju i migracije koje se s obzirom na razlog, odnosno poticaj za kretanjem mogu podijeliti na reproduktivne i prehrambene. Dobro su poznate vrste koje migriraju između slanih i slatkih voda pri čemu se one koje odlaze na mrijest u slatke vode nazivaju anadromne vrste (i migracije) po čemu su poznati lososi, dok se vrste koje migriraju u mora na mrijest nazivaju katadromne (i migracije) za što je najpoznatiji primjer jegulja. Postoje još nekoliko tipova migracija koje mogu i ne moraju biti nužno vezane za reprodukciju, a radi se o amfidromnim ili obosmjernim migracijama (npr. cipli), potamodromnim migracijama kod kojih jedinke migriraju unutar slatkih voda te oceanodromnim migracijama kada ribe migriraju u morima i oceanima. Međutim, kako su tema kolegija slatkovodne ribe posebno



*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

zanimljive su potamodromne migracije na temelju čega su definirane migratorne ekološke grupe. U grupu kratkih migranata pripadaju vrste koje ne migriraju ili migriraju na udaljenostima kraćim od 30 km (lipljen, pastva). Grupu srednjih migranata čine vrste koje migriraju uzduž riječnog toka na udaljenostima od 30 do 300 kilometara (podust, mrena, mladica). Dugi migranti su vrste koje migriraju više od 300 kilometara po čemu su najpoznatije jesetre. Osim uzdužnih migracija postoje i lateralne migracije koje koriste pojedine riječne vrste tijekom reproduktivnog perioda kada odlazne na okolna poplavna područja radi mrijesta (šaran, jez).

## 4. Zoogeografija slatkovodnih riba

Zoogeografija riba je jedna od najfascinantnijih i najviše frustrirajućih disciplina u ihtiologiji. Cilj joj je pronaći i objasniti uzorke u rasprostranjenosti riba svijeta što je vrlo težak i kompleksan zadatak jer su potrebna znanja o ekologiji, fiziologiji, sistematici recentnih riba koja je potrebno povezati s paleontologijom izumrlih skupina te geologijom područja te dovesti u relaciju sa ostalim saznanjima iz biogeografije. Najveći je problem što je većina tih potrebnih znanja nepotpuna i fragmentarna. Da bi lakše objasnili rasprostranjenost slatkovodnih riba u svijetu, ribe u slatkim vodama podijelili smo na dvije osnovne kategorije: **eurihaline morske ribe** i **obligatne slatkovodne ribe**. Eurihaline morske ribe su u pravilu morske vrste, ali mogu dugo vremena boraviti u slatkoj vodi poput morskog psa bika ili pilan. Obligatne slatkovodne ribe su one vrste koje barem dio životnog ciklusa provode u slatkoj vodi. Nadalje, obligatne slatkovodne ribe možemo podijeliti na one koje se **ne mogu širiti morem** i one koje se **mogu širiti morem**. Rasprostranjenost slatkovodnih riba koje se ne mogu širiti morem objašnjavamo kombinacijom aktivnog kretanja (spojenim vodenim tijelima) i viakrijantnim događajima (geološki događaji). Rasprostranjenost slatkovodnih riba koje se mogu širiti morem objašnjavamo upravo tako, širenjem morem, ali i vikarijantnim događajima jer neke rasprostranjenosti takvih porodica lakše objasniti geološkim događajima nego dugačkim migracijama kroz more. Nadalje, slatkovodne ribe koje se mogu širiti morem možemo podijeliti na diadromne vrste i slatkovodne predstavnike morskih porodica. Kao primjere možemo navesti porodice Petromyzontidae i Acipenseridae kod kojih postoje diadromne vrste, ali i isključivo slatkovodne vrste. Skupine koja se ne mogu širiti morem mogu biti široko ili usko rasprostranjene. Primjer porodice koja je široko rasprostranjena je porodica Cyprinidae čije pripadnike nalazimo u Sjevernoj Americi, Europi, Aziji i Africi. Primjeri porodica koje se ne mogu širiti morem i koje su ograničene na pojedinim kontinentima su Gymnotidae u Južnoj Americi, Mormyridae u Africi, Centrarchidae u Sjevernoj Americi te Cobitidae u Euroaziji ili stare skupine riba poput cjelokosti u Sjevernoj Americi ili dvodihalica od kojih je svaki rod na svojem kontinentu. Primjeri slatkovodnih riba koje se mogu širiti morem su porodice Salmonidae na sjevernoj hemisferi i porodica Galaxidae na južnoj hemisferi.

U slatkovodnoj ihtiologiji svijet možemo podijeliti šest regija: Afrička, Neotropska, Orijentalna, Palearktička, Nearktička i Australaska. Fauna riba svake regije ima svoje osobite značajke koje potječu od njihove izolacije, ali pokazuju i zajedničke osobine s drugim regijama koje upućuju na njihov spoj u prošlosti.

## **Afrička regija**

Afrička regija obuhvaća čitav Afrički kontinet. Ihtiofauna Afričke regije je vrlo raznolika i broji oko 3000 vrsta raspoređenih 76 porodica i 340 rodova. U toj regiji nalazimo „stare” ribe poput dvodihalica (*Protopterus*), mnogoperke (*Polypterus*) i pripadnike reda Osteoglossiformes. Posebnost Afričke regije je da gotovo pola vrsta riba spada u nadred Ostariophysi, a čak 95% vrsta se ne mogu širiti morem. Posebnost ove regije je ta što je većina kontinenta je cjelovita kopnena masa već više 600 milijuna godina. U ovoj regiji posebno treba istaknuti porodicu porodica Cichlidae koja je najraznolikiji i poznato je čak 870 vrsta. Velik broj vrsta ove porodice možemo objasniti činjenicom da ciklidi imaju brzu specijaciju. Mehanizmi specijacije kod ciklida predmet su mnogih znanstvenih istraživanja.

## **Neotropska regija**

Neotropsku regiju čine srednja i Južna Amerika, a uključuje i tropski dio Meksika. Možemo je podijeliti na dvije različite podregije: srednja i Južna Amerika. Ihtiofauna ove regije je vrlo raznolika i smatra se najvećom ihtiofaunom na svijetu jer je poznato više od 3600 vrsta, a smatra se da vjerojatno postoji i do 8000. Zanimljivo, u ovoj regiji nema porodice Cyprinidae, iako je oko 90% vrsta iz nadreda Ostariophysi. Dominiraju redovi Characiformes (1800 vrsta) i Siluriformes (1400 vrsta), a poznato je i oko 100 vrsta električnih riba. Ostale brojne skupine ove regije su ciklidi (450 vrsta), Cypronodontiformes (375 vrsta), a nalazimo i „stare” ribe poput dvodihalica (*Lepidosiren*) i Osteoglossiformes kao i u Afričkoj regiji.

## **Orientalna regija**

Orientalnu regiju čiji Indijski potkontinent, jugoistočna Azija, većina Indonezije i Filipini. Može se podijeliti u dvije vrlo slične podregije: Indijski poluotoki i Šri Lanka te jugoistočna Azija sa Sumatrom, Javom, Borneom i Mindanaom. Ihtiofauna ove regije je, također, vrlo bogata i trenutno je poznato oko 3000 vrsta. Ipak, smatra se da je taj broj vjerojatno i puno veći jer ja to područje vrlo slabo istraženo. Novijim istraživanjima se upravo iz ove regije opisuje mnogo novih vrsta. Veliku raznolikost ove regije ocrta i velik broj porodica kojih ima čak 121 porodica. Za ilustraciju, sve ostale regije imaju manje od 75 porodica. Većina porodica ima i morske



predstavnik, a dominiraju ciprinidi (više od 1000 vrsta) i vijuni (oko 400 vrsta), somovi iz porodice Bagridae (oko 100 vrsta) i glavoči (oko 300) vrsta.

## **Nearktička regija**

Nearktička regija obuhvaća čitavu Sjevernu Ameriku do centralnog Meksika. Može se podijeliti u 3 podregije (Arktičko-atlantsku, Pacifičku i Meksičku). To je najbolje dokumentirana regija i postoje manje podjele na čak 76 manjih regija. Poznato je oko 1100 vrsta iz 200 rodova i 56 porodica. Većina su vrsta iz porodice Cyprinidae (34%), a značajno su zastupljene i porodice Percidae (18%) i Catostomidae (8%). Iz ove nam regije dolaze mnoge invazivne vrste poznate u našoj regiji poput Poecillidae, Ictaluridae i Centrachidae.

## **Australska regija**

Australsku regiju čine Australia, Novi Zeland, Nova Gvineja i mali otoci u regiji. Nije vrlo raznolika i poznato je oko 400 vrsta koje koriste slatke vode od čega oko 200 smatramo slatkovodnima, a samo njih 167 je isključivo slatkovodno. I ovdje nalazimo neke „stare” ribe poput dvodihalica *Neoceratodus forsteri* i Osteoglossidae. Posebnost ove regije je prisutnost malo slatkovodnih riba koje se ne mogu širiti morem. Većina ihtiofaune pripada morskim porodicama poput porodice Anguillidae i Galaxidae. Ipak, posebnost ove regije je jako veliki endemizam. Čak 69% riba je endemsko za Australiju, 20% nalazimo još samo na Novoj Gvineji i 2% na Novom Zelandu.

## **Palearktička regija**

Palearktičku regiju čine Europa i Azija sjeverno od Himalaje i rijeke Jangce. Podijeljena u 6 podregija i poznato je više od 500 vrsta raspoređenih unutar 36 porodica. Najveće porodice su Cyprinidae (36%), Salmonidae (24%), Gobiidae (9%) i Cobitidae (6%) koje zajedno čine 75% vrsta. Ova je regija sastavom porodica najsljednija sa Nearktičkom regijom. Zanimljivo je da, iako porodicu Salmonidae smatramo porodicom koja se može rasprostranjivati morem, većina europskih vrsta iz te porodice to ne može. I ovoj je

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*



*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

regiji prisutan veliki stupanj endemizma. Kao posebna „vruća točka“ endemizma smatra se Mediteran. To je relativno nedavno spoznat i trenutno samo na tom području poznajemo 135 vrsta, iako je taj broj vjerojatno podcijenjen i vjeruje se kako će nova istraživanja otkriti još novih endemskih vrsta.

## 5. Kretanje riba

Kretanje je jedno od najuočljivijih značajki životinja i upravo mogućnost kretanja u najvećoj mjeri određuje izgled i ponašanje većine vrsta, pri čemu su različiti načini kretanja posljedica utjecaja ekoloških uvjeta i evolucijskih pritisaka. Osnovni razlozi zašto se organizmi kreću su: potraga za hranom, skloništem i partnerom te izbjegavanje predatora. Kretanje ili lokomocija znači promjenu mjesta odnosno pomicanje za što je potrebno zajedničko djelovanje ili kombinacija mišićnog i skeletnog sustava koji se zajednički i nazivaju lokomotorni sustav.

Život i kretanje u vodi je znatno složenije i izazovnije od kretanja na kopnu. Naime, voda je 800 puta gušća i ima 55 puta veću viskoznost od zraka i prisutne su 4 osnovne sile koje djeluju na tijelo riba. Potisak je sila koja tjera organizam prema naprijed uslijed djelovanja lokomotornog sustava. Obzirom na gustoću i viskoznost vode javlja se otpor (otpor trenja i otpor tlaka) kao posljedica prolaska tijela kroz vodu. Gravitacija je sila koja djeluje na sva tijela na Zemlji iako se djelomično poništava uslijed gustoće vode. Posljednja sila je sila uzgona koja je suprotna gravitaciji i djeluje na način da pokušava istisnuti tijelo. Zato je vrlo važno kako se ribe kreću jer u tome moraju biti ekstremno efikasne te vrlo racionalne u iskorištavanju energije. Jedan od načina povećanja efikasnosti plivanja je pokušaj smanjenja otpora vode. Pritom je otpor trenja ovisan o glatkoći i veličini površine tijela se može smanjiti proizvodnjom sluzi. Trenje se može smanjiti s druge strane otpor tlaka se povećava s povećanjem brzine tijela i jako utječe na oblik tijela pa je znatno efikasnije i isplativije kada je tijelo izduljeno i djelomično ušiljeno. Osim toga, vrlo je važno shvatiti kako se tijela kreću kroz fluide odnosno tekućine. Naime ukoliko se kuglasto tijelo polagano kreće kroz vodu dolazi do relativno pravilnih strujanja oko samog tijela. S povećanjem brzine tijela javljaju se vrtloženja vode iza tijela koje se kreće što dovodi do turbulencija i neravnoteže. Zato je vrlo važno i zbog smanjenja otpora i ublažavanja vrtloženja da tijelo prilikom kretanja kroz vodu budu izduljeno (torpednog oblika) odnosno hidrodinamično građeno sa ušiljenim prednjim dijelom, proširenjem nakon toga (2/5 tijela) i postepenim sužavanjem prema kraju što se naziva fuziformni oblik tijela. Tijekom evolucije vodenih organizama upravo je kretanje i potreba za što efikasnijim plivanjem dovela do pojave takvog izduljenog oblika tijela koja je između ostalog i bilateralno simetrično kao što je slučaj kod većine vrsta riba.

Osim oblika i građe tijela za kretanje kroz vodu ključne su peraje koje na različite načine sudjeluju u plivanju, a radi se o strukturama koje imaju određenu površinu bez značajnog povećanja mase i uz zadržavanje

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

fleksibilnosti. Kod većine vrsta repna peraja služi za pokretanje (guranje) tijela odnosno kao pogonska struktura iako može služiti i kao kormilo za upravljanje. Leđna i podrepna peraja koje su neparne, služe za stabiliziranje i sprječavanje zanošenja tijela, ali mogu biti važne i za pokretanje kod nekih vrsta. Parne trbušne peraje stabiliziraju tijelo i sprječavaju naginjanje i zakretanje, služe kao zakrilca, ali ponekad imaju ulogu i u pokretanju. Parne prsne peraje također sudjeluju u stabiliziranju, ali služe i za kočenje, okretanje te kao zakrilca, dok su ponekad važne i za pokretanje. Iako su peraje vrlo važne za pokretanje njihova veličina može utjecati na povećan otpor kretanju pa je važno da im duljina i površina bude optimalne veličine i prilagođen tipu plivanja i ulozi koju imaju kod pojedine vrste. U nekih brzih plivača postoje čak utori i udubljenja na tijelu u koja se peraje mogu skloniti (spremiti) kako bi se smanjio otpor (npr. tune).

Plivanje se kod riba se može podijeliti prema tipu kretanja na lateralnu undulaciju ili vijuganje te osciliranje ili titranje. Kod undulacije tijela za kretanje je najvažnija potpora tijela u obliku kostura koji je dovoljno čvrst (građen od kralješaka), a opet pokretljiv i fleksibilan (obostranočaskasti kralješci, hrskavica i vezivno tkivo). Mišićni sustav je građen od mišićnih segmenata (nakupine mišićnih vlakana) koje su odvojene pregradama od vezivnog tkiva i koje se ponavljaju u obliku slova V ili W duž čitavog tijela. Prilikom vijuganja tijelo se pomiče lijevo desno upravo kao posljedica segmentacije mišića pri čemu dolazi do kontrakcije mišićnih segmenata lijeve i desne strane, koje se kao val šire po bokovima od prednje prema stražnjem dijelu tijela, pri čemu se prema kraju koji je uži i tanji povećavaju amplitude vijuganja. Kako bi se povećala efikasnost plivanja kroz evoluciju su ribe nastojale stabilizirati glavu i smanjiti amplitude prednjeg dijela tijela prilikom plivanja, a povećati amplitude stražnjeg dijela tijela odnosno repne peraje. Na taj način su smanjile utrošak energije i povećale brzinu kretanja. Najprimitivniji oblik undulirajućeg plivanja je anguiliformno kod kojeg je brzina najmanja i više od 50 % tijela (trup i rep) sudjeluje u pokretanju (jegulje, paklare, ličinke, morski psi). Subkarangiformno plivanje je odvedeniji tip kretanja pri kojemu se za vijuganje koristi polovica tijela, samo rep, pri čemu se glava i trup znatno manje pomiču i zanose. Ovakav oblik plivanja omogućuje veću brzinu i naglo pokretanje pa ga često koriste predatori koji love iz zasjede (pastrva, losos, štika). Karangiformni način plivanja najnapredniji oblik undulirajućeg plivanja jer se za vijuganje koristi samo trećina tijela (stražnji dio repa), a prisutna je npr. kod **bolena, uklije, deverike**. Osim undulacija dijelova tijela ribe za plivanje koriste i izolirano vijuganje pojedinih peraja (prsne, pedrepna, leđna) pri čemu je tijelo onda obično nepomično.

Osciliranje je oblik kretanja pri kojem se samo tijelo ne pomiče već dolazi do pomicanja odnosno brzog titranja bilo repne bilo ostalih parnih ili neparnih peraja. Dva su načina oscilirajućeg plivanja, titranje poput krila i titranje poput vesla. Kada peraje titraju poput krila pomiču se s jedne na drugu stranu gurajući vodu što je *The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

donekle slično pomicanju sličnom propeleru i za to je najbolji primjer tuna (titra repnom perajom) odnosno tuniformni način kretanja. Kada se kreću titranjem poput vesla ribe koriste prsne ili druge peraje kako bi veslali pri čemu vrše udar perajom i nakon toga povratak u početni položaj. Ovakav način plivanja zahtjeva veliku fleksibilnost i pokretljivost peraja te omogućuje fino manevriranje u složenim staništima.

Najjednostavniji oblik kretanja kod riba je pasivno plutanje koje se uglavnom može uočiti kod ličinki. Postoje i neke vrste koje se kreću na vrlo neobične načine poput: hodanja, puzanja, skakutanja, jedrenja ili letenja. Međutim, većina riba koristi plivanje kao osnovni način kretanja kroz vodu. Plivanje se generalno dijeli u dvije kategorije: stalno (postojano) za pokrivanje većeg područja pri konstantnoj brzini i prolazno (nepostojano) koje se temelji na naglim pokretima za hvatanje plijena ili izbjegavanje predatora. Ribe uglavnom koriste oba načina pri čemu ponekad više jedan ili više drugi.

Vrlo zanimljiv oblik ponašanja kod riba koji je direktno povezan s plivanjem je udruživanje u jata ili plove što se definira kao koordinirano kretanje u blisko povezanoj skupini. Smatra se kako 25 % riba u svijetu tvori plove ili jata. Razlozi zbog kojih se ribe udružuju su: efikasnije kretanje (energetski isplativije, veća hidrodinamika, migracije), prehrana (zajednički lov), obrana (smanjuje s rizik od predacije, zbunjuje se predator, plova daje dojam većeg organizma), razmnožavanje (veći reproduktivni uspjeh) uzbunjivanje. Plove imaju različiti izgled ovisno o funkciji zbog koje se formiraju i mogu biti sastavljene od jedinki iste vrste i jedinki različitih vrsta.

## 6. Razmnožavanje riba

Uspjeh svake vrste ovisi o mogućnosti uspješnog razmnožavanja u neprestano mijenjajućem okolišu pa tako ni ribe nisu nikakva iznimka. Koliko je važno razmnožavanje očrtava i činjenica da je strategija razmnožavanja jedna od osobina koja definira vrstu te utječe na anatomske, etološke, fiziološke i energetske prilagodbe.

### Spol riba

Spol riba je nešto što je već ušlo u popularnu kulturu kao stvar koja se teško određuje. Za većinu ribljih vrsta je to točno, ipak postoje neke vrste kod kojih se spol može odrediti na temelju vanjskih obilježja. Pri tome treba jasno razlučiti dva pojma: spolni dimorfizam i dikromatizam. **Dimorfizam** je pojam koji se odnosi na neku razliku u obliku i veličini tijela, dok je dikromatizam pojam koji se odnosi na razliku u obojenju. Očiti primjer dimorfizma su veličina pa je kod većine riba ženka obično veća, iako kod teritorijalnih vrsta mužjaci mogu biti veći. Primjer spolnog dimorfizma je različita veličina ili smještaj peraja pa tako trbušne peraje mužjaka linjaka prekrivaju mokraćno-spolnu kvržicu dok kod ženki ne. Kod riba sa unutarnjom oplodnjom, primjer dimorfizma je postojanje “kopulatornog” organa. Takvi su organi se razvili nezavisno kod riba nekoliko puta pa mogu biti vrlo različiti: od jedva uočljivih zadebljanja do jako produljenih šipčica trbušnih peraja kao, na primjer, gonopodij kod mužjaka gupija. Mužjaci ciprinidnih vrsta za vrijeme mrijesta razvijaju mrijesne kvržice koje omogućuju mužjacima i ženkama sinkrono ispuštanje gameta kod mrijesta. Mrijesne kvržice su roznata zadebljanja kože koja nemaju kost i, ovisno o vrsti, raspoređene su različitim mjestima po tijelu. Mužjak plotice, u vrijeme mrijesta, razvije vrlo velike mrijesne kvržice. S druge strane, neke vrste osiguravaju sinkrono ispuštanje gameta dodirnim organima koji imaju kost. Tipičan primjer dodirnog organa je Canestrinijeva ljuska kod vijuna. Canestrinijeva ljuska je zadebljanje šipčice na prsnoj peraji kojom mužjak za vrijeme mrijesta pritisne ženku. **Dikromatizam** je pojam koji se odnosi na razliku u obojenju. Ako su mužjaci obično manji od ženki, taj nedostatak nadoknađuju u obojenju pa su neki vrlo živopisnih boja. Naravno, postoje i vrste kod kojih je moguć i spolni dimorfizam i spolni dikromatizam.

Kod većine riba, određivanje spola je pod utjecajem spolnih kromosoma. Kod većine riba postoji sustav XY = M; XX = F, ali postoji i sustav ZZ = M i ZW = F kod porodice Poeciliidae i u rodu *Tilapia* ssp. Neke ribe mogu imati 3 ili više spolnih kromosoma. Ipak, kod nekih riba spol nije uvijek pod potpunom genetičkom

kontrolom. Tako kod riba postoje vrste koje su hermafroditi, odnosno u jednoj su jedinki prisutne gonade oba spola. Takvo stanje nalazimo kod 14 porodica riba, a posebno su poznate mnoge vrste unutar porodice Serranidae. Ipak i kod hermafroditnih vrsta, uglavnom je jedan spol aktivan kako bi se spriječila samooplodnja. Oblik hermafroditizma u kojem je aktivan samo jedan spol nazivano **sekvencionalni hermafroditizam** može biti **protogini**, kada je životinja u početku života ženka, a pri određenoj se veličini pretvara u mužjaka ili **protandrični** kada je životinja na početku života mužjak, a pri određenoj se veličini pretvori u ženku. **Sinkroni hermafroditizam** je oblik u kojem su gonade oba spola aktivne od jednom što je vrlo rijedak slučaj kod riba. Neke ribe imaju i posebne oblike razmnožavanja poput **partenogeneze** kod koje se položena jajašca razvijaju bez oplodnje pa su sve ribe iz takve populacije genetički klonovi ženke koja ih je polegla. Posebna varijanta partenogeneze je ginogeneza kod koje je potrebno sjeme bilo koje srodne vrste mužjaka da potakne jajašca na diobu, ali DNA mužjaka ne ulazi u embrio. Primjeri takvog oblika razmnožavanja su babuška (*Carassius gibelio*) i pijori iz roda *Phoxinus*.

## Ponašanje pri razmnožavanju

Koliko je važno razmnožavanje za opstanak neke vrste možda najbolje se očitava u nebrojenim varijantama strategija razmnožavanja koje koriste ribe. Čitav proces možemo podijeliti u tri etape od kojih svaka ima svoje različite varijante. Tako možemo promatrati ponašanje riba prije razmnožavanja, ponašanje za vrijeme samog razmnožavanja i ponašanje poslije razmnožavanja. Poduzimaju li ribe **prije razmnožavanja** reproduktivne migracije? Jesu li te migracije anadromne, katadromne ili potamodromne? Mijenja li im se boja tijela, izgled ili im se razvijaju mrijesne kvržice? Postoje li kemijski, vizualni, mehanički podražaji ili nekakvi drugi podražaji koji služe kao snubljenje? Brane li ribe određeni teritorij ili mrijesno mjesto? Grade li gnijezdo? **Za vrijeme samog razmnožavanja**, je li oplodnja untrašnja ili vanjska? Formiraju li se parovi ili se ribe mrijeste u velikim plovama? Brinu li se za leglo ili ličinke ili mlade ribe nakon razmnožavanja? **Poslije razmnožavanja**, brinu li se za potomstvo oba roditelja ili samo jedan, i ako samo jedan koji spol?

Ovaj veliki broj različitih mogućnosti ponašanja pri razmnožavanju klasificirao je poznati svjetski ihtiolog Eugen Balon. Prema njemu, sve ribe prema ponašanju pri razmnožavanju možemo podijeliti u tri velike skupine: one koje **ne čuvaju mrijest**, one koje **čuvaju mrijest** i one koje **nose mlade**. Naravno, svaka od tih velikih grupa ima svoje dodatne podjele.

## Ne čuvaju mrijest

Ribe koje ne čuvaju mrijest možemo podijeliti na dvije podskupine, one koje se **mrijeste na otvorenom** ili one koje **skrivaju mrijest**. Ribe koje se mrijeste na otvorenom možemo podijeliti na dvije skupine: **pelagičke** i **bentoske**. **Pelagičke** su vrlo česte u moru i takav način razmnožavanja ima većina vrsta koje rade velike plove. Jedan primjer andromne vrste koja ima se mrijesti na otvorenom iz pelagičke skupine je rod *Alosa*. Važno je uočiti da ovakav način razmnožavanja nije isključiv samo za pelagičke vrste riba pa tako brojne bentoske vrste riba imaju ovakvu strategiju razmnožavanja jer im ona omogućuje, između ostalog, i bolju disperziju mladih jedinki. Obično su jajašca riba koje se razmnožavaju ovom strategijom plivajuća pa često sadrže uljne kapljice te su mala, tanka i prozirna. Ovakva strategija podrazumijeva proizvodnu velikog broja jaja, ali je zato očekivana i vrlo velika smrtnost. Vrste koje se mrijeste ovom strategijom, obično imaju produljeno vrijeme mrijesta. S druge strane ribe koje spadaju u **bentosku** skupinu obično nemaju rituale snubljenja pa tako jednu ženku prati više mužjaka. Jajašca i embriji su obično ljepljivi pa se mogu prihvatiti bilo koju podlogu (bilje, kamenje ili pijesak) i/ili nabubre. Iz takvih se jajašaca mogu izvaliti i pelagički i bentički embriji. Ribe koje **skrivaju mrijest** ulažu dodatni napor pri razmnožavanju, ali ne pokazuju roditeljsku brigu. Mrijest mogu skrivati u bentosu, u pukotinama, u beskralješnjacima pa čak i na plažama. Tipičan su primjer ovakvog ponašanja pri razmnožavanju pastrve koje grade trla u koja ženka polaže jajašca te ih nakon oplodnje zakopavaju. Ipak, kada zakopaju trlo, tada ga napuštaju.

## Čuvaju mrijest

Ribe koje čuvaju jajašca, a često i ličinke. Brigu o potomstvu najčešće preuzimaju mužjaci. Ribe sa ovakvom strategijom pri razmnožavanju su obično teritorijalne i imaju komplicirane rituale snubljenja. Ne čuvaju samo mlade od predatora, nego održavaju leglo tako da oksigeniraju okolnu vodu i održavaju jaja i mlade čistim. Možemo ih podijeliti na dvije skupine između kojih nema oštre granice. To su one koje **biraju podlogu** ili **grade gnijezda**. Gnijezda mogu biti građena od bilja, od pjene, mogu biti humci, udubine u površini ili čak i izvan vode.





*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

## **Nose mlade**

Po pojmom ribe koje nose mlade podrazumijevamo ribe koje nose embrije i ličinke. Neke od njih imaju i posebne anatomske tvorevine za razvoj potomstva. Možemo ih podijeliti na dvije skupine: one koji nose **izvana** i **unutra**. Ribe čija je strategija nositi mlade **izvana** su oviparne. Mlade mogu nositi u ustima, u tobolcu (leglenoj vrećici), u koži, u crijevu... Takve ribe često imaju razvijene rituale snubljenja. . RIBE čija je strategija nositi mlade **unutra** su ovoviviparne ili viviparne. Naravno, takva strategija razvoja mladih podrazumijeva i unutarnja oplodnju i posljedično razvoj kopulatornih organa.

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

## 7. Rast i starost

Rast je vrlo važan i jedan od najintenzivnije proučavanih aspekta riblje biologije zato što je jedan od najpouzdanijih indikatora zdravlja riba, produktivnosti populacije i kvalitete staništa. Posebno je važan za ekonomski važne vrste riba. Starost riba se odnosi se na godine, odnosno određuje godište je godina u kojoj je riba rođena što je jako važno u određivanju prve spolne zrelosti i za računanje rasta. Zajedno se rast i starost koriste kako bi se odredilo reproduktivno razdoblje ribe, stope rasta u pojedinim godištima, preživljavanje/mortalitet po godištima, dugovječnost te starosna struktura populacije. Određivanje starosti posebno je važno je u ribarstvu zato što govori nam kakav je sastav populacije i pomaže odrediti granice njenog maksimalnog održivog korištenja.

### Rast

Rast je po definiciji promjena u veličini (dužini i/ili težini) u jedinici vremena. Može se izražavati i kao promjena u kalorijama koje su pohranjene u tjelesnim ili spolnim stanicama. Ribe rastu kontinuirano, kao i vodozemci i gmazovi, što znači da rast traje čitav život, ali varira ovisno o količini dostupne hrane, klimatskim prilikama te starosti životinje. Rast nikada nije linearan pa brzina rasta obično nije konstanta. Obično riba u svojim najranijim danima raste jako brzo, onda se rast usporava se starenjem životinje. Kontinuirani rast, za razliku od ograničenog kakvog imaju ptice i sisavci, ima svoje prednosti. Glavne su prednosti te što su veće jedinke su efikasnije i imaju više izbora za hranu. Veće jedinke mogu i brže plivati te imaju veća usta što može poboljšati i obranu i nadmetanje među jedinkama iste vrste. Veće jedinke imaju i više osjetila te manje potencijalnih predatora.

Rast se može prikazati i općom energetsom formulom koja vrijedi i za ribe i glasi:

$$I = M + G + E$$

gdje je I = energija iz unesene hrane, M = metabolizam, odnosno energija potrošena na održavanje i popravak tijela, probavu i kretanje, E = izgubljena energija kroz feces, amonijak, ureu, sluz i odbačene stanice epiderme, a G = rast, odnosno ostatak energije koji se ulaže se u rast u što ubrajamo i promjena veličine i razmnožavanje.

Kako bi odredili rast možemo mjeriti dužinu, mokru masu i suhu masu. Mjerenje dužine je jednostavno, lako razumljivo pa mogu pomoći i ribari i ribiči mogu pomoći. Prednost mjerenja dužine je ta što se dužina rijetko smanjuje, ali je nedostatak što nemamo informacija o masi. To je važno jer promjena mase ne mora biti povezana s promjenom dužine, osobito kod starijih jedinki. Mjerenje mokre mase koristi se u velikim proračunima, primjerice za izračunavanje biomase populacije. Nedostatak je taj što uzima puno vremena, osobito ako se određuje na terenu i ribe se žele žive vratiti u vodu. Na terenu određivanje mokre mase mogu otežavati i vremenski uvjeti poput vjetrova ili valova koji mogu onesposobiti precizno korištenje vage. Mjerenje suhe mase daje najtočniji opis trenutnog stanja jedinke. I kod ovog je mjerenja veliki nedostatak taj što je vremenski jako zahtjevan, ali je najveći nedostatak smrtnost riba jer je za određivanje potrebno suhe mase potrebno ribu usmrtniti.

Iz osnovnih ihtioloških mjera, dužine i mase ribe možemo izračunati **dužinsko-masene odnose**. Kao dužine riba mogu se koristiti osnovne ihtiološke mjere dužine poput standardne dužine (SI), ukupne dužine (TI) ili viličaste dužine (FI). Obično se koristi standardna dužina jer ne uključuje dužinu repne peraje pa je najmanje podložna vanjskim utjecajima poput oštećenja. U izračunima dužinsko-masениh odnosa može se koristiti i suha i mokra. Važno je samo obratiti pozornost kod usporedbe različitih izračuna da su korišteni isti parametri. Glavni rezultat izračuna dužinsko-masениh odnosa je koeficijent  $b$  koji se kreće u rasponu  $2,5 < b < 3,5$  i ukazuje na način rasta ribe. Ako je  $b > 3$  onda riba raste pozitivno alometrijski, ako je  $b < 3$  negativno alometrijski, a ako je  $b = 3$  tada riba raste izometrijski.

Iz dužinsko-masениh odnosa proizlazi **kondicijski faktor**. Kondicijski je faktor, zapravo, mjera debljuškastosti. Koristi se jer je lakši za interpretaciju i daje dobar prikaz općeg stanja ribe. Važno je napomenuti da se kondicijski faktor mijenja kroz godinu i život ribe. On je različit u različitim dijelovima sezone, različit za spolove i različite dobne uzraste što je važno imati na umu kada se uspoređuju dvije različite populacije ili različite godine uzorkovanja. Računa se po formuli:

$$K = (W/L^3) \times 100000$$

gdje je  $K$  = kondicijski faktor,  $W$  = masa ribe u gramima, a  $L$  = dužina ribe u milimetrima. Množi se sa 100000 kako bi se dobio broj koje je jednostavniji za interpretaciju.

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

Na rast utječe mnogo faktora koje možemo podijeliti na unutarnje i vanjske. Glavni unutarnji faktori koji utječu na rast kod riba su hormoni rasta i steroidi. Hormone rasta izlučuje hipofiza, a steroide gonade koji onda rast riba utječu kontrolom anaboličkih procesa. Vanjski faktori koji utječu na rast su okolišni i uključuju temperaturu, količinu kisika, količinu amonijaka, salinitet, fotoperiod, stupanj kompeticije, količinu dostupne hrane i, naravno, starost. **Temperatura** je za ribe kao poikilotermne organizme jedan od najvažnijih faktora i rast se obično ubrzava porastom temperature. Naravno, ubrzava se do određene mjere, jer previsoke temperature mogu ne samo usporiti rast nego dovesti i do smrti ribe. Ipak, zbog povećane temperature treba i više hrane zbog bržeg metabolizma tako da se samim povećanjem temperature neće povećati i rast, ako nije dostupno više hrane. Kako bi poboljšale svoj rast, neke ribe poduzimaju dnevne migracije dno-površina kako bi se hranile pri dnu na nižim temperaturama, a probavljale pri površini na višim temperaturama. **Kisik**, odnosno količina otopljenog kisika povezana je s temperaturom, ali je i kisik i sam po sebi važan kao faktor. Kada je količina otopljenog kisika smanjena i rast je smanjen, a kad ga nedostaje, zaustavlja se rast i reprodukcija i energija je preusmjerena na održavanje života. **Amonijak** je primarni dušični ostatak kod riba i u velikim koncentracijama usporava rast ribe. Kod nekih je riba primijećeno čak linearno usporavanje rasta s porastom koncentracije amonijaka. Osim rasta, sa povećanom koncentracijom amonijaka u vodi pada i potrošnja hrane kod riba što je vrlo važno u akvakulturi. Potrebno je napomenuti kako  $\text{NH}_3$  ima veće toksične efekte na ribe od  $\text{NH}_4^+$ , a njihov omjer ovisi o pH vode. **Salinitet** kao faktor mora biti na optimumu jer upravo u takvim uvjetima riba postiže najbolji rast. Naravno, i niži i viši salinitet od optimalnog uzrokuju usporavanje rasta. Kada se salinitet različit od optimalnog jako se puno energije troši na održavanje (M) pa manje preostaje za rast (G) čak i kada unesena hrana (I) i izgubljena energija (E) ostanu nepromijenjene. **Kompeticija** je vanjski biotički faktor koji usporava rast. Može biti između pripadnika iste vrste i između pripadnika različitih vrsta ako im se prehrambene niše preklapaju. Jednostavno, manje dostupne hrane znači i manji rast. Čak i ako kompeticije ne bi bilo, **dostupnost hrane i njena kvaliteta** je vrlo važan faktor koji utječe na rast. Ponekad stopa rasta može varirati sezonski s količinom dostupne hrane, kao što je slučaj sa ribama koje se pretežno hrane vodenim ličinkama kukaca kad nastupi emergencija. Osim što hrana mora biti dostupna, jako je važno da bude kompletna, odnosno da uključuje sve važne komponente poput proteina, masti i vitamine. Obično hrana sa višim sadržajem proteina omogućava i brži rast. Duži **foto-period** osigurava brži rast bez obzira na temperaturu.

## **Određivanje stope rasta**

Kao što je već spomenuto, ribe ne rastu jednako brzo tijekom svog života. Tako ribe u prvim mjesecima rastu jako brzo, a sa starosti ta se brzina smanjuje. Razlog tome je što se sve više energije preusmjerava u razmnožavanje. Naravno, posljedica toga je da spolno zrele ribe rastu sporije od nezrelih. Ipak, spolno su zrele ribe obično teže po jedinici dužine što dijelom ovisi o masi gonada.

Krivulja koja najbolje opisuje višegodišnji rast riba je von Bertalanffyjeva krivulja rasta (VBGF, engleski *von Bertalanffy growth function*), a računa se formulom:

$$SL_t = SL_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

Ako želimo pratiti rast unutar jedne godine, onda je bolje koristiti Gompertzovovu krivulju rasta koja je računa prema formuli:

$$L_t = L_\infty e^{\alpha(e\beta t)}$$

Kao što je već rečeno stopa rasta je promjena veličine u jedinici vremena, a možemo je odrediti na šest načina određivanja: metodom uzgoja u kontroliranim uvjetima, metodom ulovi, označi, pusti i ponovno ulovi, metodom određivanja dužinskih frekvencija, metodom analize anatomskih dijelova, metodom analize radioaktivnog ugljika i metodom određivanja RNA i DNA omjera.

**Metoda uzgoja u kontroliranim uvjetima** pretpostavlja da se ribe se drže nekom zatvorenom sustavu poput akvarija, ribnjaka ili kaveza u moru te im se u određenim vremenskim se intervalima mjeri dužina ili masa. Iz dobivenih podataka se računa stopa rasta se po formuli:

$$GR = 100 \times (\log_e W_z - \log_e W_p) / (t_z - t_p)$$

Ova je metoda jako dobra za kratka razdoblja, a za dužu se preporuča von Bertalanffyjeva krivulja.

**Metoda ulovi, označi, pusti i ponovno ulovi** je vrlo slična prethodnoj metodi, ali daje točnije podatke jer riba raste u prirodnom okruženju. Ipak, ima ograničenja jer je jako teška za izvesti. Da bi se pravilno izvela treba uložiti veliki napor, a ishod je često nesiguran zato što treba uloviti i označiti puno ribe, treba osigurati da oznake ne otpadnu te treba ponovo uloviti označene ribe koje u međuvremenu ne smiju uginuti.

**Metoda dužinskih frekvencija** koristi brojnost riba u pojedinim dužinskim razredima. Jako dobro funkcionira za mlađe ribe jer se godišta lako razlikuju. Rast izračunamo tako da usporedimo srednje dužine svakog godišta. Metoda nije prikladna za vrste koje nemaju sezonski rast ili imaju produljen period razmnožavanja, poput tropskih riba. Nedostatak je što za metodu treba uzorkovati jako puno jedinki i što je jako teško razdvojiti najstarije kohorte.

**Metoda analize anatomskih dijelova** je najčešća metoda koja se koristi za određivanje rasta. Temelji se na korištenju kalcificiranih, „tvrdih”, struktura. Postoji razne anatomske strukture koje se koriste u analizi poput otolita, ljustaka, operkuluma, grlenjače, šipčica peraja, itd. Koja će se anatomska struktura koristiti ovisi i o vrsti ribe i zemljopisnoj širini na kojoj riba živi. Ljustke su jedina anatomska struktura kod koje nije potrebno jako oštetiti ili ubiti ribu. Rast se na tvrdim strukturama određuje tako da se očitavaju zone prirasta. Otoliti su slušni kamenčići koji se nalaze u unutarnjem uhu i daju najtočniji prikaz rasta ribe. Najtočniji su jer rastu kontinuirano i kod njih nikada nema resorpcije pa iz njih možemo iščitati cjelokupan rast u životu ribe. Osim toga, iz otolita možemo saznati i prikaz okolišnih čimbenika u životu neke jedinke. Njihova je građa kristalna struktura koja može sadržavati elemente u tragovima. Njihovom analizom možemo očitati temperatura na kojoj je riba živjela je se omjeri stroncija i kalcija u otolitu različito ugrađuju se kod različitih temperatura. Možemo i odrediti salinitet u pojedinim dijelovima životnog ciklusa što je jako korisno kod vrsta koje poduzimaju diadromne migracije. Ipak, najčešće se analizom otolita određuje rast.

Na tvrdim se strukturama mogu primijetiti prsteni rasta koje zovemo *circuli* (jedinina *circulus*). Kada je rast sporiji, *circuli* su gušći pa tvore godišnje prstenove koje nazivamo *anuli* (jedinina *anulus*). Brojanjem *anula*, možemo odrediti starost ribe, a mjerenjem udaljenosti između *anula* možemo izračunati veličinu ribe u prethodnim godinama metodom povratnog izračuna. Iz ovog se izlaganja može činiti da je očitavanje starosti iz tvrdih struktura relativno jednostavno, ali *anuli* nisu uvijek jasno uočljivi pa se mogu javiti pogreške u očitavanju. Najčešće su pogreške krivo pobrojani *anuli*, osobito kod starijih jedinki kod kojih u starijim godinama mogu biti jako blizu jedan drugome ili se često dogodi da se previdi prvi *anulus*. Dodatne poteškoće stvaraju lažni *anuli* koji mogu nastati u slučaju nekog stresa ili prebrzog proljetnog ili jesenskog rasta. Očitavanjem ljustaka, greške su još i više vjerojatne zato što zbog resorpcije kalcija ili erozije ljustke može doći i do gubitka *anula*. Zbog ovih razloga, rezultati očitavanja starosti iz tvrdih struktura uvijek moraju biti potvrđeni. Smanjivanje mogućnosti pogreške se osigurava tako da iste tvrde strukture uvijek neovisno očitavaju dva

*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

stručnjaka te je jako važno napraviti povratni izračun prema kojem se može provjeriti slažu li se očitani rezultati starijih jedinki sa očitanim rezultatima mlađih. Važno je naglasiti i da povratni izračunu može imati nedostatke. To se najbolje očituje u Leejevom fenomenu. **Leejev fenomen** je tendencija da povratno izračunate veličine starijih riba budu manje u mlađim godištim (1+, 2+...) od povratno izračunatih veličina mlađih riba.

### **Metoda analize radioaktivnog ugljika**

U metodi analize radioaktivnog ugljika koristi se radioaktivni izotop ugljika  $^{14}\text{C}$ . Kako bi se radioaktivni ugljik ugradio u ljusku, žive ljuske izvađene iz epiderme inkubiraju se u mediju sa radioaktivnim glicinom. Tada se mjeri beta radijacija koju ljuska otpušta i određuje koliko je radioaktivnog ugljika ugrađeno u kolagen ljuske.

### **Metoda određivanja RNA i DNA omjera**

Metoda se zasniva na činjenici da se omjerom RNA i DNA u stanici određuje brzina sinteze proteina tj. trenutna stopa rasta. Odnosno, znamo da je količina DNA u stanici konstantna, dok količina RNA ovisi o proizvodnji proteina. Nedostatak ove metode je taj što se rast određen na ovaj način može uspoređivati samo između jedinki iste vrste, slične veličine i starosti.

## 9. Uzorkovanje riba

Voda je medij koji je znatno složeniji za istraživanje u odnosu na kopnena staništa. Za uzimanje terenskih uzoraka te provođenje terenskih istraživanja ključno je znati koji je razlog (cilj) istraživanja odnosno koji tip uzoraka i podataka je potrebno sakupiti.

Kada se radi o slatkovodnim ribama najčešće se provode slijedeća istraživanja:

- inventarizacijska istraživanja
- istraživanja procjene stanja i veličine populacija
- istraživanja rasprostranjenosti vrsta (kartiranje)
- ekološka istraživanja – biologija vrsta
- etološka istraživanja – ponašanje vrsta
- istraživanja praćenja stanja – monitoring
- uklanjanje neželjenih vrsta

Prema tome, uzorkovanjem se nastoje sakupiti kvalitativni i kvantitativni podaci o vrstama, populacijama i zajednicama riba. Ono što vrlo često predstavlja problem je činjenica da se pojedine vrste razlikuju u prostornom i vremenskom pogledu i to na način da zauzimaju različite ekološke niše, ali i različita staništa ovisno o životnoj fazi i periodu godine.

Prema tome, vrlo je važno odabrati odgovarajuću metodu istraživanja, a one se najjednostavnije mogu podijeliti na pasivne i aktivne metode uzorkovanja. Treba svakako imati na umu da su sve metode do određene mjere selektivne i različito efikasne (npr. veličina oka na mreži ili veličina udice utjecat će na veličinu ulovljene ribe, stanište ili dio staništa koji se uzorkuje utjecat će na sastav ulova). Stoga je unaprijed potrebno prilagoditi način i metodologiju istraživanja riba kako bi se sakupio reprezentativan i kvalitetan uzorak. Vrlo je važno iskustvo, uigranost i sposobnost tima (ekipe) jer direktno pridonosi efikasnosti svake metode.

Pasivne metode uzorkovanja su metode kod kojih pri samom hvatanju riba nisu potrebni ni ljudska snaga niti snaga motora, a obuhvaćaju mreže stajaćice (jednostruke ili višestruke), vrše i parangali. Prednosti ovih metoda su: jednostavna građa i dizajn, relativno niska cijena, ne preveliko znanje i obuku, daju relativno

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*



*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

precizne podatke za standardni uzorak. Nedostaci pasivnih metoda su: prilična selektivnost, ovisnost o aktivnosti i ponašanju riba, love i željene i neželjene vrste, potrebna standardizacija ribolovnih alata i protokola uzorkovanja. Aktivne metode su one u kojima se koriste alati koje potrebno aktivno pomicati kako bi se ulovila riba. Aktivnim metodama smatraju se: elektroribolov, mreže za opasavanje, mreže potegače, korištenje kemikalija (otrova, rotenon), udičarenje i podvodna promatranja. Prednosti aktivnih metoda su: manje su ovisne o ponašanju i aktivnosti riba, manje su selektivne i efikasnije, daju puno bolju sliku o ihtiofauni (lako se može odrediti ribolovni napor), moguće uzorkovanje specifičnih staništa u točno određeno vrijeme. S druge strane nedostaci su: znatno su složenije za rukovanje, zahtijevaju više fizičkog rada, skuplje su od pasivnih metoda, mala je površina koja se uzorkuje, potrebna je obuka i iskustvo.

Najčešća znanstvena metoda uzorkovanja riba je elektroribolov koji je efikasna metoda u plićim i priobalnim staništima, nije toliko selektivna metoda i puno je efikasnija od mreža jer daje najbolje rezultate u odnosu na uloženi trud. S obzirom na tip uređaja koji se koristi može se podijeliti na leđne (baterijski ili motorni) ili stacionarne. Ovisno o dubini vode koja se uzorkuje može se loviti iz vode (hodajući) i iz čamca. Uređaji za uzorkovanje ribe koriste različite tipove struje pa postoje istosmjerni, izmjenični i pulsni načini lova. Najčešće se koristi istosmjerna struja jer se ribe u najvećoj mjeri oporavljaju nakon djelovanja struje i ne dolazi do oštećenja. Tri su načina djelovanja struje na ribe. Prvi je elektrotaksija koja rezultira intenzivnim plivanjem pod djelovanjem struje. Drugi način je narkoza pri čemu dolazi do opuštanja mišića, ali ribe još mogu plivati. Posljednji način je tetanija koja dovodi do ukrućenje mišića zbog čega su ribe nepomične. Najveći utjecaj na efikasnost elektroribolova je provodljivost voda u kojima se uzorkuje pa je recimo za slabo provodljive vode potrebna veća jakost struje. S druge strane u jako provodljivim vodama iznad 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  uzorkovanje je teško, odnosno nemoguće.

Najpoznatija kemikalija odnosno piscicid (otrov za ribe) je rotenon koji se dobiva od korijena biljke *Derris elliptica*, a djeluje na način da sprječava izmjenu plinova preko škrge. Nije pretjerano popularan zbog velike smrtnosti riba, ali i drugih vodenih organizama. S obzirom da djeluje nekoliko dana vrlo često se ispušta  $\text{KMnO}_4$  za njegovu neutralizaciju.

U EU postoji nekoliko normi ili propisa koji govore i definiraju uzorkovanje riba u slatkim vodama. O postupku izbora metode uzorkovanja riba govori norma CEN 14962, 2004. Zatim, način uzorkovanja tekućica metodom elektroribolova propisuje norma CEN 14011, 2003., a uzorkovanje stajaćih metodom mreža stajaćica CEN 14757, 2005.

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*

## **12. Raznolikost slatkovodnih riba BiH**

Ribe su sa više od 34 000 vrsta najbrojnija, ali ipak najslabije istražena skupina kralješnjaka. Osim toga antropogeni utjecaji i ugroženost slatkovodnih ekosustava slatkovodne ribe su jedna od najugroženijih skupina organizama. Unatoč velikom broju istraživanja slatkovodnih riba, rasprostranjenost, biologija i taksonomski status ihtiofaune BiH nedovoljno su istraženi. Novim istraživanjima i dalje dolazi se otkrivaju i opisuju nove vrste riba što potvrđuje izuzetnu ihtiološku vrijednost BiH. Brojne vrste riba koje naseljavaju ovo područje imaju vrlo uzak i ograničen areal rasprostranjenosti i dio njih su endemske vrste što doprinosi raznolikost ihtiofaune BiH. S obzirom na izrazito veliko bogatstvo vrsta i endema, BiH se može svrstati među ihtiološki najraznolikije zemlje Europe. Razlog tako velikog bogatstva i raznolikosti geografski je položaj koji uključuje dva velika slivna područja, jadranski i dunavski (crnomorski), složena geološka prošlost i raznolikost klimatskih značajki.

Među kralješnjacima, upravo su slatkovodne ribe skupina s najvećim brojem endemskih vrsta koje predstavljaju neprocjenjivu vrijednost i čine značajan dio europske bioraznolikosti. Područje na kojemu obitavaju endemske vrste vrlo često je ograničeno pa ih ponekad nalazimo u samo jednoj rijeci, jezeru, špilji ili izvoru, a velikim dijelom povezane su s autentičnim krškim i podzemnim staništima. Endemske vrste riba na ovim prostorima obitavaju još od davnina, od prije posljednjih glacijalnih razdoblja. Na razne su načine preživjele sve klimatske, geološke i hidrološke promjene te su uspjele preživjeti sve do današnjih dana.

U slatkim vodama BiH zabilježeno je više od 120 vrsta riba koje pripadaju dvama razredima, Cephalaspidomorphi i Actinopteri. Vrste sistematski pripadaju u 19 redova, 32 porodice i 73 rodova. Pritom je prisutan veliki broj endemskih vrsta koji su šire ili uže rasprostranjeni. Radi se o ukupno 30 endemskih vrsta među kojima je 20 vrsta koja obitavaju na području BiH i Hrvatske dok su 4 vrste stenoendemi koji nastanjuju isključivo vode BiH.

Osim domaćih, autohtonih vrsta ihtiofaunu BiH čine i pojedine strane, alohtone vrste. U slatkovodne ekosustave BiH uneseno je 18 stranih, alohtonih vrsta riba iz vode Europe, Azije i sjeverne Amerike. Dodatnih 18 vrsta preneseno je (uneseno) u jadranski sliv iz voda dunavskog slijeva pa tamo također predstavljaju strane vrste. Prema propisima EU pojedine vrste su invazivne i predstavljaju posebnu opasnost za biološku raznolikost, a u BiH obitavaju dvije takve vrste i radi se o *Lepomis gibbosus* i *Pseudorasbora parva*.

*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*



*Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs*

Posebno mjesto u ihtiološkom pogledu ima Hercegovina, odnosno slijev rijeke Neretve. Na temelju višegodišnjih istraživanja u rijeci Neretvi i njenim pritocima zabilježeno je više od 40 vrsta riba što predstavlja trećinu svih riba BiH. Među navedenim vrstama 19 su endemske vrste, a 14 su stenoendemi koji nastanjuju isključivo sliv rijeke Neretve. Na temelju raznolikosti vrsta i broja endema rijeka Neretva predstavlja jednu od vrućih točaka ("hot spot") raznolikosti slatkovodne ihtiofaune područja Sredozemlja. Međutim, problem je što je u slivu rijeke Neretve zabilježeno i 14 stranih vrsta bilo da se radi o vrstama koje su unesene u BiH ili vrstama koje su prenesene iz dunavskog sliva. Ove vrste predstavljaju opasnost za domaću, autohtonu ihtiofaunu the Danube

Crnomorski ili dunavski slijev BiH, koji zauzima površinu od 38 719 km<sup>2</sup> (75,7% površine kopnenih voda), nastanjuje 74 vrste riba od kojih je 57 autohtono, a 17 su alohtone vrste, unesene iz drugih zemalja. U jadranskom slijevu, ukupne površine 12 410 km<sup>2</sup> (24,3 % površine kopnenih voda), živi 86 vrsta riba među kojima su 53 vrste autohtone, a 33 je alohotno (strano) ili uneseno (preneseno) iz dunavskog sliva. Zanimljiv je podatak da oba sliva nastanjuje 37 vrsta riba.

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Erasmus + Project No ECOBIAS\_609967-EPP-1-2019-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP  
Development of master curricula in ecological monitoring and aquatic bioassessment for Western Balkans HEIs

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*