

**SVEU ILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK**

**PRILAGODBE RIBA NA SPECIFIČNE UVJETE
U EKSTREMNIM STANIŠTIMA**

**ADJUSTMENTS OF FISHES TO SPECIFIC
CONDITIONS IN EXTREME HABITATS**

SEMINARSKI RAD

Ivan Špeli
Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)
Mentor: dr. sc. Marko Čaleta

Zagreb, 2010.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 2 |
| 2. DUBOKO MORE..... | 3 |
| 2.1. PRILAGODBE RIBA NA ŽIVOT U DUBOKOM MORU..... | 3 |
| 2.1.1. TLAK..... | 4 |
| 2.1.2. TEMPERATURA..... | 4 |
| 2.1.3. PROSTOR..... | 4 |
| 2.1.4. SVJETLO..... | 5 |
| 2.1.5. HRANA..... | 5 |
| 3. POLARNA MORA..... | 7 |
| 3.1. ANTARKTIKA..... | 7 |
| 3.2. ARKTIK..... | 8 |
| 4. PUSTINJE I SEZONSKI SUHA STANIŠTA..... | 8 |
| 4.1. PRILAGODBE NA SEZONSKI SUHA STANIŠTA..... | 8 |
| 4.1.1. RIBE S JEDNOGODIŠNJIM ŽIVOTNIM CIKLUSOM..... | 8 |
| 4.1.2. RIBE S DODATNIM DIŠNIM ORGANIMA..... | 9 |
| 4.2. PRILAGODBE NA IZOLIRANE PUSTINJSKE IZVORE..... | 10 |
| 5. PODZEMNE VODE..... | 11 |
| 5.1. RIBE U PODZEMNIM VODENIM SUSTAVIMA..... | 11 |
| 6. LITERATURA..... | 13 |
| 7. SAŽETAK..... | 15 |
| 8. SUMMARY..... | 15 |

1. UVOD

Pisces (ribe) nisu sistematska kategorija nego neformalna skupina u kojoj se nalazi nekoliko razreda u potkoljenu *Vertebrata* (kralješnjaci). U ribe ubrajamo kralješnjake iz nadrazreda *Agnatha* (bes eljusti), razreda *Chondrichthyes* (hrskavi nja e), *Actinopterygii* (zrakoperke) i *Sarcopterygii* (mesoperke).

Ribe su najstarija skupina kralješnjaka. Pojavile su se u kasnom Kambriju (prve bes eljusti), što govori da njihova evolucija traje ve 500 milijuna godina. Prilagodile su se životu u vodi, koja zauzima 73% površine našeg planeta, stoga ne udi da su po broju vrsta ujedno i najbrojnija skupina kralješnjaka (Pough i sur. 1998).

Sama vodena staništa su vrlo raznolika, od gorskih potoka do najdubljih dijelova oceana, pa su i ribe koje su se razvile u njima vrlo raznolike.

Što su to ekstremna staništa? U sferi podvodnih staništa ovdje možemo ubrojiti mjesta s vrlo malo ili nimalo svjetla (nema svjetla-nema fotosinteze, iz toga slijedi da izostaje primarna produkcija); podru ja na kojima je temperatura mora ispod nule i vrlo blizu to ke smrzavanja; podru ja u kojima povremeno voda nestane ili se zadrži u minimalnim koli inama, te maksimalno izolirani mikrostaništa.

Iako takva mjesta osiguravaju vrlo malo uvjeta za razvoj života, ribe su im se uspjele prilagoditi. Evolucija je nevjerojatna sila koja savladava i najve e prepreke a pogotovo u tako dugom vremenskom razdoblju. Pogledamo li samo razliku izme u najve e (kitopsina, *Rhincodon typus*, dužina do 20 metara i teži do 34 tone, slika 1) i najmanje (*Paedocypris progenetica*, dužina 1 cm, slika 2) ribe na svijetu, možemo tek naslutiti kakva je raznolikost me u ribama (www.fishbase.org).



Slika 1. *Rhincodon typus*
(www.fishbase.org)



Slika 2. *Paedocypris progenetica*
(www.fishbase.org)

2. DUBOKO MORE

Od 70% Zemljine površine koja je prekrivena oceanima gotovo 85% površine i 90% volumena su tamni i hladni prostori koje nazivamo dubokim morem.

U otvorenom oceanu dubina fotičke zone je do 200 metara. U tom sloju mora intenzitet sunčeve svjetlosti dovoljan je za odvijanje fotosinteze koju vrši fitoplankton. Sunčeva svjetlost prodire i ispod te dubine no njen intenzitet nije dovoljan za fotosintezu. Taj sloj zovemo disfotički, a ispod njega, dublje od 1000 metara, se nalazi afotički sloj u kojem vlada potpuni mrak. Mezopelagijal odgovara disfotičkom sloju (200-1000 m dubine), a batipelagijal (1000-4000 m dubine) i abisal (ispod 4000 m dubine) afotičkom sloju.

Velik utjecaj na životinje u dubokom moru ima i tlak. On s dubinom raste, 1 bar na svakih 10 metara dubine. Velik tlak osim na ekologiju samih riba, utječe i na procese u njihovom organizmu

Slanost je u dubokom moru stalna, a i temperatura se malo mijenja s porastom dubine. Ispod termokline temperatura naglo pada sve do 5-6 °C na 1000 m dubine. Ispod te dubine se lagano spušta do 1-2 °C na dubinama ispod 4000 m.

U dubokom moru otopljenog kisika ima uvijek dovoljno za život organizama. Kisik dolazi pridonjenim kompenzacijskim strujanjem teške, ohlađene, i kisikom bogate vode sa polova prema ekvatoru.

2.1. PRILAGODBE RIBA NA ŽIVOT U DUBOKOM MORU

Slične karakteristike me u dubokomorskim ribama nisu rezultat filogenetskog srodstva nego evolucijske konvergencije. Pet faktora: tlak, temperatura, prostor, svjetlo i hrana, čine ogromnu razliku između površine i dubokog mora te predstavljaju jaku evolucijsku silu koja je dovela do konvergencije između mnogobrojnih vrsta (Helfman i sur. 1997).

2.1.1 TLAK

Visok tlak ima utjecaj na proteine što utječe na brzinu kemijskih reakcija. Nekoliko mezopelagičkih i batipelagičkih vrsta su razvile proteine koji su puno manje osjetljivi na tlak. Strukture koje sadržavaju plin su osjetljive zato što i volumen i topivost plina ovise o tlaku. Organ pod najjačim utjecajem je plivač i mjehur, zato što je teško ispuštati plin u mjehur pod visokim tlakom. Za to postoje tri prilagodbe:

1. rete mirabile, glavni organ za stvaranje plina, je višestruko veći i kod dubokomorskih riba
2. batipelagičke ribe nemaju plivač i mjehur nego plovnost postižu reduciranjem teških struktura poput tjelesnog mišića i kostiju. Uz to sadrže i veliku količinu lipida u tijelu koji su lakši od vode, npr. neke vrste dubokomorskih hrskavica a u jetri sadrže velike količine lipida skvalena
3. većina dubokomorskih riba pripada primitivnim koštunjačama koje imaju direktno povezan plivač i mjehur i crijevo, no u ovakvim uvjetima su sekundarno zatvorile taj prolaz i tako spriječile da plin izađe iz plivačeg mjehura (Helfman i sur. 1997).

2.1.2. TEMPERATURA

Kako je temperatura na velikim dubinama konstantna ona ne predstavlja problem osim ako ribe ne migriraju vertikalno. Ribe koje ipak imaju vertikalna kretanja (mezopelagičke vrste) moraju funkcionirati kroz temperaturni raspon od skoro 20°C. Takve vrste imaju više DNA po stanici od nemigratornih vrsta. Povećana količina DNA omogućava višestruke enzimatske sustave koji funkcioniraju na različitim temperaturama (Helfman i sur. 1997).

2.1.3. PROSTOR

Jedinke dubokomorskih riba nisu gusto naseljene. Gustoća naseljenosti ženki kod većine vrsta je u prosjeku manja od jedne ženke na kubni milju. Da bi se uspješno razmnožavale morale su razviti neke prilagodbe na pronalaženje partnera. Tako su razvile različite svjetlosne signale i feromone koji privlače mužjake (Pough i sur. 1998).

U mnogo porodica dubokomorskih riba iz reda *Lophiiformes* je vrlo izražen spolni dimorfizam. Patuljasti mužjak je prilagođen parazitiranju na ženki na koju se trbušnu stranu pri vrsti eljustima. Na mjestu kontakta ženka stvara tkivo nalik posteljici preko kojeg se mužjak hrani. Nakon što ženka ugine mužjak se ne može hraniti te posljedično ugiba i on. Parazitiraju i na ženkama oni osiguravaju oplodnju (Munk 2000).

2.1.4. SVJETLO

U mezopelagijalu ("zona sumraka") ribe su većinom srebrnkasto obojene, imaju mnogobrojne fotofore, velike i osjetljive oči i imaju razvijen plivač i mjehur. Za razliku od njih, ribe koje žive u potpunom mraku su crne ili potpuno depigmentirane, fotofore im služe samo kao mamac, oči su male ili reducirane, bočna pruga izrazito razvijena, nemaju plivač i mjehur.

Fotofore su žljezdani kožni organi koji proizvode svjetlost. Ribe ih koriste kod predacije, mimikrije i prepoznavanja unutar vrste. Njihov oblik, veličina, broj i raspored na tijelu ovisi od vrste do vrste (Cavallaro i sur. 2004).

Fotofore funkcioniraju kao organi u kojima ribe same proizvode svjetlo (luciferin) ili kao spremišta za simbiotske bakterije. Većina riba se "služi" bakterijama iz roda *Photobacterium*. Ribe sa simbiotskim organima imaju najviše dva takva organa zbog problema infekcije i "održavanja" (Hart i Reynolds 2002).

2.1.5. HRANA

Budući da u dubokom moru nema primarne produkcije, organizmi su ovisni o hrani koja potone iz površinskih slojeva. Biomasa zooplanktona se eksponencijalno smanjuje s povećanjem dubine mora. U duboko more ispod 4000 m dubine stiže samo 1-3 % organske tvari proizvedene u eufotičkom sloju.

Nekoliko je karakterističnih prilagodbi koje su dubokomorske ribe razvile da povećaju izgled za pronalaženje i uspješan ulov plijena. To su izrazito velika usta (slika 3), veliki i oštri zubi u obliku bodeža ili igala, svjetleči i mamci (slika 4) i rastezljivo probavilo. Asimilacija hrane kod isključivo dubokomorskih riba je puno učinkovitija, tj. odnos uložena energija-dobivena energija kod probave hrane je mnogo povoljniji nego kod mezopelagijskih migratornih vrsta. Razlog je očit: mezopelagijske vrste ne ulaze u

pliće slojeve mora gdje je hrana uvijek dostupna u velikim količinama dok nemigratorne vrste moraju maksimalno iskoristiti svaki teško pronađen i ulovljen obrok (Drazen i sur. 2007).



Slika 3. velika usta kod vrste *Saccopharynx lavenbergi*
(www.norb.homedns.org)



Slika 4. *Idiacanthus atlanticus* sa svjetlim mamcem
(www.norb.homedns.org)

3. POLARNA MORA

Arktičke i antarktičke polarne regije su područja iznad 60° geografske širine. Zajedničke su im vrlo niske temperature i kratke sezone prirasta, no razlikuju se geološki i ne dijele iste vrste.

3.1. ANTARKTIKA

Antarktika je kontinent okružen otvorenim i dubokim oceanom. Konačno je formirana prije 20 milijuna godina tako da su se ovdje razvile mnoge endemne vrste.

Cijela porodica *Nototheniidae* (najpoznatiji predstavnik *Dissostichus mawsoni*, slika 5) je karakteristična isključivo za antarktičke vode. Ribe ove porodice nemaju plivač i mjehur, tamne su boje i okrugle u presjeku. Proizvode mali broj velikih jaja u kratkom razdoblju mrijesta. Karakterizira ih spor rast. Hrane se oportunistički: zooplankton, rakovi, ribe. Imaju hrskavične dijelove kostura i sadrže mnogo masti u tijelu pa održavaju neutralnu plovnost. Neke ribe iz ove porodice nemaju hemoglobin ni mioglobin, pa iako je hladno more bogato kisikom njihov metabolizam je vrlo usporen. Temperatura vode je ovdje većim dijelom godine ispod nule pa ove ribe u krvi imaju antifriz glikopeptid (AFGP). Molekule AFGP-a se vežu na mikroskopske kristale leda sprečavajući da kristal naraste do veličine koja bi oštetila stanicu (Hutchins i sur. 2003).



Slika 5. *Dissostichus mawsoni*
(www.peterbrueggeman.com)

3.2. ARKTIK

Arktik je slabije geografski izoliran i mnogo mlađi, uvjeti sliče ni današnjima su se ustalili prije oko 3 milijuna godina. U arktičkim vodama ne postoji endemična viša taksonomska kategorija kao što je porodica *Nototheniidae* u polarnom moru Antarktike. Većina vrsta odgovaraju vrstama iz okolnih, toplijih područja, no ipak su razvile bitnu prilagodbu: ovdašnje ribe također sadrže AFGP (Verde i sur. 2008).

4. PUSTINJE I SEZONSKI SUHA STANIŠTA

Pustinje se čine kao nemoguća mjesta za život riba. No ipak, alge i mnogi beskralježnjaci maksimalno iskorištavaju periodičko pojavljivanje vode u suhim regijama. Zato ne treba čuditi da su se i neke ribe prilagodile takvim uvjetima periodičkog isušivanja.

Za ribe je sam nestanak vode najekstremnije stanje u procesu isparavanja vode. Prije samog nestanka vode, kako se razina vode smanjuje, raste temperatura, povećava se koncentracija soli u otopini, pada količina otopljenog kisika... Pustinjske ribe zato moraju biti eurivalentne na mnoge čimbenike (Helfman i sur. 1997).

4.1. PRILAGODBE NA SEZONSKI SUHA STANIŠTA

To su područja na kojima ima vode samo za vrijeme kišnih oborina a u ostalom dijelu godine su suha. Ribe u ovakvim staništima pokazuju specifične adaptacije.

4.1.1. RIBE S JEDNOGODIŠNJIM ŽIVOTNIM CIKLUSOM

Takvim ribama životni vijek traje oko 8 mjeseci. Nastanjuju močvare, lokve i slična staništa. Spolno sazriju nakon 4-8 tjedana. Nakon mrijesta jaja zakapaju 15 centimetara duboko u sediment. Odrasle jedinke ugibaju, a jaja preživljavaju sušu u stanju mirovanja (dijapauza) dok ponovo ne padne kiša. Jaja u stanju dijapauze mogu preživjeti čak oko 5 godina. Ove ribe spadaju u red Cyprinodontiformes (Helfman i sur. 1997).

4.1.2. RIBE S DODATNIM DIŠNIM ORGANIMA

Kada razina vode drastično padne ove ribe mogu udisati i atmosferski zrak. Tu prilagodbu su izvele na razne načine: modificirane škrge (posebne strukture ne dozvoljavaju da škržni listi i kolabiraju na suhom), dišu preko epitela usne šupljine, dijelova crijeva, plivajućeg mjehura a najnaprednije su razvile pluća (dvodihalice). Uloga škrge pri unosu kisika kod svih (osim kod riba s modificiranim škragama) je reducirana no još uvijek su primarne kod izbacivanja ugljičnog dioksida. Dvodihalice mogu simultano disati i škragama i plućima zato što su to potpuno odvojeni sustavi (Hart i Reynolds 2002).

Osim što imaju modificirane organe, neke od ovakvih riba se za vrijeme suše ukopavaju u vlažan sediment i preživljavaju u stanju mirovanja (estivacije) a neke poput *Lepidogalaxias salamandroides* (slika 6) stvaraju i zaštitnu sluzavu ovojnicu.

Afrička dvodihalica u stanju mirovanja dušični otpad skladišti u obliku uree koja je manje otrovna od amonijaka, koji ribe proizvode u normalnim uvjetima (Wilkie i sur. 2007).



Slika 6. *Lepidogalaxias salamandroides*

(www.australianmuseum.net.au)

4.2. PRILAGODBE NA IZOLIRANE PUSTINJSKE IZVORE

Takvi izvori su naj eš i u sjevernoameri kim pustinjama. Njih su tako er naselile ribe iz reda *Cyprinodontiformes*. Karakteristike tih riba su kratko, zbijeno tijelo, brza spolna zrelost, nizak fekunditet, briga za potomke, izražena teritorijalnost te vrlo velika otpornost na visok salinitet, visoku temperaturu i malu koli inu kisika. Rije je o mikrostaništima s, u pravilu, endemi nim vrstama (Bond 1996).

Najekstremniji primjer je riba *Cyprinodon diabolis* (slika 7) koja živi u pustinji Ash Meadows u saveznoj državi Nevadi. Njezino stanište je izvor u vapnena koj stijeni nazvan Devil's hole (slika 8). Dimenzije izvora su 3.5 sa 22 metra. Riba se zadržavaju samo na jednom podru ju, 30 cm dubokom platou obraslom algama kojima se i hrane. Sveukupna populacija ovih riba se kre e izme u 200 i 500 jedinki, ovisno o koli ini algi koje su se te godine razvile (Hutchins i sur. 2003).



Slika 7. *Cyprinodon diabolis*
(www.seabaja.com)



Slika 8. Devil's hole
(www.ableweb.org)

5. PODZEMNE VODE

Podzemni vodeni sustavi su donekle usporedivi s dubokim morem. Do njih ne dopire svjetlost a ve ina hrane koja dospijeva u njih dolazi sa površine. Prednosti takvog staništa su malo kompetitora i predatora te ujedna eni uvjeti tokom cijele godine. Izvori hrane u spiljama su limitirani. Nema fotosinteze pa se hranidbeni lanac esto zasniva na guanu (izmet spiljskih ptica i šišmiša). Guano podržava rast algi, bakterija i beskralješnjaka koji su glavna hrana ovih riba.

Podzemna staništa uklju uju spilje nastale kemijskim trošenjem vapnenca, šupljine u magmatskim stijenama, spilje nastale djelovanjem leda. Neka su potpuno izolirana dok druga ine mrežu povezanih podzemnih i površinskih staništa (Romero i Green 2005).

5.1. RIBE U PODZEMNIM VODENIM SUSTAVIMA

U takvim staništima živi oko 90 vrsta i 14 porodica koštunja a. Tipi ne spiljske ribe su depigmentirane, ljuske i o i su im reducirane. Bo na pruga im je vrlo razvijena kao i vanjski kemoreceptori. Mogu pohraniti više masnog tkiva i metabolizam im je sporiji nego kod površinskih vrsta. Proizvode malobrojna ali velika jaja bogata žumanjkom, liinke se sporo razvijaju, op enito je životni vijek takvih riba duga ak.

Ribe iz podzemnih vodenih sustava su savršen primjer regresivne evolucije. Naime, kada površinske ribe nasele podzemne vode, o i i pigmentacije im više nisu potrebni pa su kroz tisu e godina evolucije reducirani. To je najbolje istraženo na primjeru vrste *Astyanax mexicanus* (slika 9) (Plath i sur. 2007).

Kod vrste *Poecilia mexicana* o i nisu reducirane nego se razlikuju u promjeru, ovisno u koliko osvjetljenom staništu se nalazi. Što je manje svjetla u okolišu to su o i manjeg promjera. Razlike u promjeru oka su ak i do 45% (Plath i sur. 2007).

Ribe iz podzemnih staništa imaju, zbog redukcije o iju, vrlo razvijene mirisne organe i kemoreceptore. Zanimljiva je prilagodba da osje aju vlastiti mirisni trag i izbjegavaju ponovna kretanja istim podru jima. Tako osiguravaju potpuno upoznavanje staništa (Paglianti i sur. 2006).



Slika 9. *Astyanax mexicanus*
(www.livescience.com)

1. 6. LITERATURA

- Bond C. E. (1996): Biology of fishes (drugo izdanje). Brooks/Cole, Thomson learning, str. 560
- Cavallaro M., Mammola C. L., Verdiglione R. (2004): Structural and ultrastructural comparison of photophores of two species of deep-sea fishes: *Argyrolepecus hemigymnus* and *Maurolicus muelleri*. *Journal of fish Biology* **64**, 1552-1567
- Drazen J. C., Reisenbichler, K. R., Robison, B. H. (2007): A comparison of absorption and assimilation efficiencies between four species of shallow- and deep-living fishes. *Marine Biology* **151**, 1551-1558
- Hart P. J. B., Reynolds J. D. (2002): Handbook of fish biology and fisheries, volume 1 Fish biology. Blackwell publishing, str. 89-90, 92
- Helfman G. S., Collette B.B., Facey D.E. (1997): The diversity of fishes, Biology, evolution and ecology. Blackwell publishing, str. 295-316
- Hutchins M., Thoney D. A., Loiselle P. V., Schlager N. (2003): Grzimek's animal life encyclopedia, volume 4-5, Fishes I-II. Gale group, str. 98, 321 (volume 5)
- Munk O. (2000): Histology of the fusion area between the parasitic male and the female in the deep-sea anglerfish *Neoceratias spinifer Pappenheim*, 1914 (Teleostei, Ceratioidei). *Acta Zoologica* **81**, 315-324
- Paglianti A., Messina G., Cianfanelli A., Berti R. (2006): Is the perception of their own odour effective in orienting the exploratory activity of cave fishes? *Canadian Journal of Zoology* **84**, 871-876
- Plath M., Hauswaldt J. S., Moll K., Tobler M., Garcia de Leon, F. J., Schlupp I., Tiedemann R. (2007): Local adaptation and pronounced genetic differentiation in an extremophile fish, *Poecilia mexicana*, inhabiting a Mexican cave with toxic hydrogen sulphide. *Molecular Ecology* **16**, 967-976
- Pough F. H., Janis C. M., Heiser J. B. (1998): Vertebrate life (peto izdanje). Prentice Hall, str. 154, 157, 249
- Romero A., Green S. M. (2005): The end of regressive evolution: examining and interpreting the evidence from cave fishes. *Journal of fish biology* **67**, 3-32

Verde C., Giordano D., di Prisco G. (2008): The adaptation of polar fishes to climatic changes: Structure, function and phylogeny of haemoglobin. *IUBMB Life* **60**, 29-40

Wilkie M. P., Morgan T. P., Galvez F., Smith R. W., Kajimura M., Ip Y. K., Wood C. M. (2007): The African Lungfish (*Protopterus dolloi*): Ionoregulation and Osmoregulation In a Fish out of Water. *Physiological & Biochemical Zoology* **80**, 99-112

www.ableweb.org

www.australianmuseum.net.au

www.fishbase.org

www.livescience.com

www.norb.homedns.org

www.peterbrueggeman.com

www.seabaja.com

7. SAŽETAK

Ribe su najbrojniji kralješnjaci. Nalazimo ih u dubokom moru gdje nema svjetla i gdje je enorman tlak. U polarnim vodama gdje je temperatura vode ispod nula °C. Naselile su i pustinjske izvore gdje su potpuno izolirane i lokve u pustinjama u kojima ima vode samo nekoliko mjeseci tokom godine. Žive čak i u podzemnim vodama gdje nemaju gotovo nikakvog kontakta s vanjskim svijetom.

Budu i da su se ribe pojavile prije 500 milijuna godina, uspjele su se evolucijski prilagoditi i na takva, najekstremnija, staništa. U radu su izložene prilagodbe na uvjete u takvim staništima.

8. SUMMARY

Fishes are the most abundant vertebrates. We find them in deep sea where there is no light and the pressure is enormous. In polar waters where water temperature drops below zero °C. They inhabited desert springs where they are completely isolated and desert puddles which contain water only a few months throughout the year. They even live in underground water systems where there is practically no contact with the outside world.

Considering that fishes first appeared 500 million years ago, they managed to adjust through their evolution to even the most extreme habitats. In this work is a list of adjustments to conditions in that kind of habitats.