

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



Practicum in Ecology (Zoology)

Marija Ivković
Ivančica Ternjej
Andreja Brigić
Mladen Kerovec
Zlatko Mihaljević
Ana Previšić

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

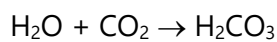
1. UGLJIKOV DIOKSID

1.1 Uvod

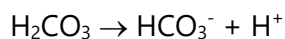
Ugljikovog dioksida u zraku ima 0,039 %. U atmosferu dopijeva kao produkt procesa aerobne razgradnje (disanja) i vulkanskim erupcijama, te u posljednje vrijeme izgaranjem fosilnih goriva. Neophodan je zelenim biljkama za fotosintezu, a velike količine CO₂ nalaze se u vodama (oceani, mora i kopnene vode). Svih formi ugljikovog dioksida u vodama prosječno ima 40 -50 ml/l.

Ugljikov dioksid ima posebno mjesto među metaboličkim plinovima u vodi. Njegova je količina obično veća nego li bi to po Henryjevom zakonu trebala biti (koji tvrdi da kod konstantne temperature, količina otopljenog plina u tekućini, je direktno proporcionalna s parcijalnim tlakom tog plina, u ravnoteži sa tekućinom. Drugim riječima, topljivost plina u tekućini je direktno proporcionalna sa tlakom plina iznad tekućine). Razlog je tome što se CO₂ osim kao slobodan, može naći i u još dvije forme: kao bikarbonat i karbonat (vezani CO₂).

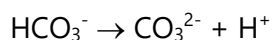
Kada se CO₂ iz zraka otapa u vodi, mala količina (manje od 1 %) reagira s vodom tvoreći slabu ugljičnu kiselinu:



Nešto te ugljične kiseline disocira tvoreći bikarbonatne i vodikove ione:

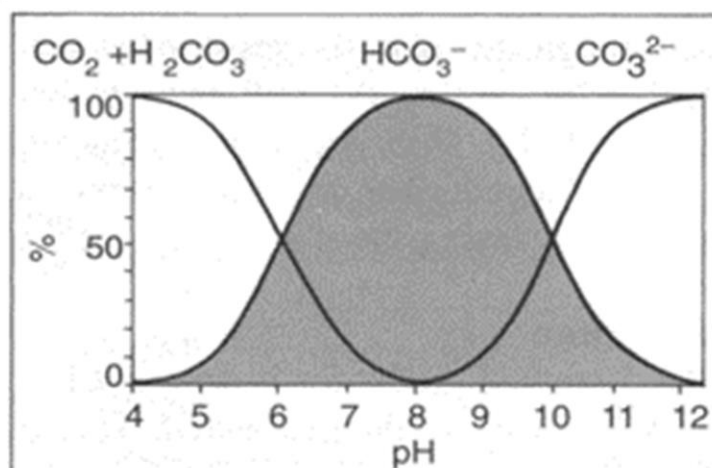


To dovodi do porasta pH vrijednosti. U drugom koraku bikarbonat disocira na karbonat ion i još jedan vodikov ion:



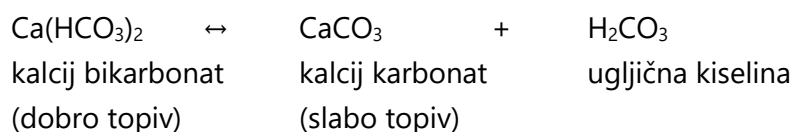
Stupanj disocijacije ovisi o pH vrijednosti (slika 1). Kod vrijednosti pH 8 prisutan je gotovo isključivo bikarbonat. Ako se pH pomakne prema lužnatom ravnoteža se pomiče u korist karbonata. Međutim ako je pH nizak (kiselo) u vodi prevladava slobodni CO₂ i ugljična kiselina. Promjene pH u vodi su važne, osobito zato jer biljke u fotosintezi mogu koristiti ugljik iz CO₂ i bikarbonata.

Ugljikov dioksid

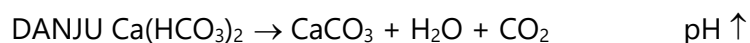


Slika 1: Udio pojedinih formi ugljikovog dioksida kod različitih pH vrijednosti.

U većini prirodnih jezera ugljična kiselina tvori netopive soli s alkalijskim (Na, K) i zemnoalkalijskim metalima (Ca, Mg). To remeti ravnotežu i omogućuje dodatno otapanje CO_2 u vodi (više nego li bi to po Henryjevom zakonu trebalo biti). Kalcij - karbonatno - bikarbonatna ravnoteža osobito je važna u slatkim vodama:



Za održavanje ove ravnoteže uvijek mora biti prisutna mala količina ugljične kiseline. Ako je nema (primjerice zbog biološke aktivnosti), bikarbonat prelazi u karbonat koji se zbog svoje slabe topivosti taloži. U kalcijem bogatim jezerima neke vodene biljke mogu inkrustirati CaCO_3 to se događa prilikom uzimanja CO_2 u razdoblja intenzivne fotosinteze (danju), a kalcijev karbonat se taloži:



Spektakularan primjer ovakve biogene dekalifikacije su Plitvička jezera. Tijekom godina vodene mahovine i alge talože kalcijev karbonat tvoreći sedrene barijere visoke 3 - 50 m, stvarajući 16 kaskadnih jezera.

Međutim, karbonatno-bikarbonatna ravnoteža važna je i za puferski kapacitet jezera, odnosno sposobnost primanja OH^- i H^+ iona bez promjene pH. Mjera tog puferskog kapaciteta je ALKALINITET. Iako i neki drugi ioni mogu pridonijeti puferskom kapacitetu, karbonatno-bikarbonatna ravnoteža je svakako najbitnija. Ukoliko veća količina vodikovih iona (H^+) dospije u vodu oni reagiraju sa karbonatom (CO_3^{2-}) tvoreći bikarbonat (HCO_3^-),

Ugljikov dioksid

a pH se ne mijenja drastično. Suprotno će se dogoditi ukoliko hidroksidni (OH^-) ioni dospiju u vodu. Drugim riječima: što je veća količina kalcija u vodi više je vezane ugljične kiseline i veća je puferska sposobnost vode. Jezera siromašna kalcijem imaju mali puferski kapacitet i obično su slabo kisela. Visoka primarna produkcija u takvim jezerima može podići pH do 9, pri čemu iz vode bude odstranjen sav slobodni CO_2 . Nakon toga biljke koriste ugljik iz bikarbonata, što može dovesti do daljnjeg porasta pH, čak do 11. To dovodi do velikih dnevnih promjena pH. Nasuprot tome kalcijem bogata jezera imaju pH 7 - 8. Visoka fotosintetska aktivnost može i u ovim jezerima uzrokovati promjene pH, ali one nisu tako drastične. Osim toga, utrošeni ugljični dioksid vrlo brzo se regenerira disanjem tijekom noći:



Puferski kapacitet jezera ovisi prije svega o njegovoj geologiji. Jezera koja leže na silikatnim stijenama (npr. Skandinavija, sjeveroistočni SAD ili istočna Kanada), sadrže malo kalcija, stoga imaju mali puferski kapacitet. Ulazak kiselina, kao što su sumporna i dušična, kiselim kišama u takve sustave, dodatno smanjuje pH u tim već prirodno slabo kiselim jezerima. Kalcijem siromašna tresetišta imaju primjerice pH samo 4,5 i aciditet 1000 puta veći od neutralne vode. Razlog je tome velika količina nerazgrađenih humusnih kiselina. Vulkanska aktivnost može također dovesti do smanjenja pH. Vulkansko jezero Crater Lake u Salvadoru ima pH samo 2, uslijed utoka sumpora s dna kratera. S druge strane postoje primjeri prirodno alkaličnih jezera, koja mogu imati pH i preko 9. Takva su primjerice mnoga soda-jezera koja umjesto kalcijevog sadrže velike količine natrijevog karbonata (Na_2CO_3). Neka od njih su: jezero Nakuru (Kenija), Lake Leonore i Soap Lake (SAD).

1.2 Tvrdoća vode

Tvrdoću vode čine soli alkalijskih i zemnoalkalijskih metala. To su najčešće soli kalcija i magnezija. Polivalentni metali kao što su aluminij, željezo, stroncij, mangan i cink pridonose tvrdoći, ali njihove su koncentracije u prirodnim vodama male. Tvrdoća se ponekad dijeli na povremenu i stalnu. Povremenu sačinjavaju karbonate soli magnezija i kalcija, koje se zagrijavanjem mogu istaložiti i ukloniti iz vode. Stalnu tvrdoću sačinjavaju kloridi, sulfati i nitrati kalcija i magnezija, a ne mogu biti otklonjeni zagrijavanjem. To je tzv. nekarbonatna tvrdoća.

Budući da tvrdoću sačinjavaju najvećim dijelom bikarbonati i karbonati kalcija i magnezija, tvrdoća se najčešće izražava u mg/l kalcijevog karbonata. Postoje i neke druge jedinice tvrdoće: njemački, engleski, francuski i američki stupnjevi tvrdoće (tablica 1).

Ugljikov dioksid

Tablica 1: Jedinice tvrdoće i ekvivalenti CaCO₃.

NAZIV	JEDINICA	CaCO ₃ (mg/l)
FRANCUSKI	°Fr	10
NJEMAČKI	d°H	17,9
ENGLESKI	grain	14,32
AMERIČKI	grain	17,04

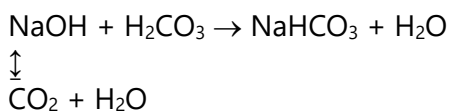
Kod nas se najčešće koriste njemački stupnjevi. Tvrdoća vode prema njemačkim stupnjevima prikazana je u tablici 2.

Tablica 2: Tablica za očitavanje tvrdoće vode

njemački stupnjevi (d°H)	tvrdoća vode
0 - 4	jako mekana
4 - 8	mekana
8 - 12	umjereno tvrda
12 - 18	tvrda
18 - 30	vrlo tvrda

1.1.1 Vježba: ODREĐIVANJE SLOBODNOG CO₂ U VODI

Kako je već napomenuto ugljikov dioksid u vodi daje kiselu reakciju, te ga je najlakše detektirati titracijom s nekom lužinom. Reakcija se odvija prema slijedećoj formuli:



Pribor:

- tikvica za titriranje
- bireta
- menzura
- čaša
- krpa

Kemikalije:

- NaOH 0,05 M
- fenolftalein

Postupak:

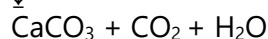
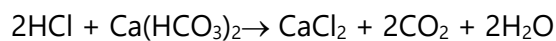
- uzmite uzorak čašom.
- 100 ml uzorka stavite u tikvicu za titriranje.
- zatim dodajte nekoliko kapi fenolftaleina.
- ako uzorak odmah pocrveni, znači da nema slobodne ugljične kiseline, te ga nije potrebno titrirati.
- ako uzorak nije promijenio boju, titrirajte ga s 0,05 M NaOH do pojave ružičaste boje.
- izračunajte količinu CO₂ prema formuli:

$$\text{CO}_2 \text{ [mg/l]} = \frac{\text{utrošak NaOH [ml]} \times \text{koncentracija NaOH [mol/l]} \times M(\text{CO}_2) \text{ [g/mol]} \times 1000}{\text{količina uzorka [ml]}}$$

- podatke upišite u tablicu 3.

1.1.2 Vježba: ODREĐIVANJE VEZANOG CO₂ U VODI (ALKALINITET)

Alkalinitet vode jednak je količini otopljenog bikarbonata u vodi. Budući da bikarbonati i karbonati vadi daju lužnatu reakciju, najlakše ih je utvrditi titriranjem s standardnom otopinom kiseline (u ovom slučaju HCl). Reakcije koje se pri tome zbivaju prikazane su formulama:



$$n(\text{CaCO}_3) : n(\text{HCl}) = 1:2$$

Pribor:

- tikvica za titriranje
- bireta
- menzura
- čaša
- krpa

Kemikalije:

- HCl 0,1 M
- metilorange

Postupak:

- uzmite uzorak čašom.
- 100 ml uzorka stavite u tikvicu za titriranje.
- zatim dodajte nekoliko kapi metiloranga.
- uzorak će poprimiti žutu boju.
- titrirajte uzorak s 0,1 M HCl do pojave smeđe-ružičaste boje.
- izračunajte količinu vezanog CO₂ u obliku CaCO₃ prema formuli:

$$\text{CaCO}_3 [\text{mg/l}] = \frac{1}{2} \frac{\text{utrošak HCl [ml]} \times \text{koncentracija HCl [mol/l]} \times M(\text{CaCO}_3) [\text{g/mol}]}{\text{količina uzorka [ml]}} \times 1000$$

- podatke upišite u tablicu 3.

1.1.3 Vježba: ODREĐIVANJE TVRDOĆE VODE

Postoji više metoda određivanja tvrdoće vode. Najčešća metoda za determinaciju ukupne tvrdoće je titracijom s EDTA (etilen-diamin-tetra-octena kiselina). EDTA veće katione kalcija i magnezija. Tvrdoća se također može izračunati i iz alkaliniteta prema slijedećoj formuli:

$$d^{\circ}H = \frac{\text{Alkalinitet (CaCO}_3 \text{ mg/l)}}{17,9}$$

17,9

- izračunajte tvrdoću uzoraka iz alkaliniteta i upišite ih u tablicu 3.

Tablica 3: Rezultati mjerenja.

uzorak	utrošak NaOH (ml)	količina CO ₂ (mg/l)	utrošak HCl (ml)	količina CaCO ₃ (mg/l)	tvrdoća vode (°dH)
svijetli akvarij					
vodovodna voda					

Pitanja:

1. Da li ste zapazili razlike u količini slobodnog CO₂, alkaliniteta i tvrdoće vode između testiranih uzoraka?
2. Objasnite njihov uzrok?
3. Tvrde vode imaju veće količine iona kalcija i magnezija, nego li meke vode. U kojim tipovima jezera možete očekivati veće koncentracije otopljenog anorganskog ugljika (CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻) i zašto?
4. Kolika je tvrdoća mineralnih voda (primjerice "Jamnica" ili "Radenska", uzmite etiketu i provjerite)?

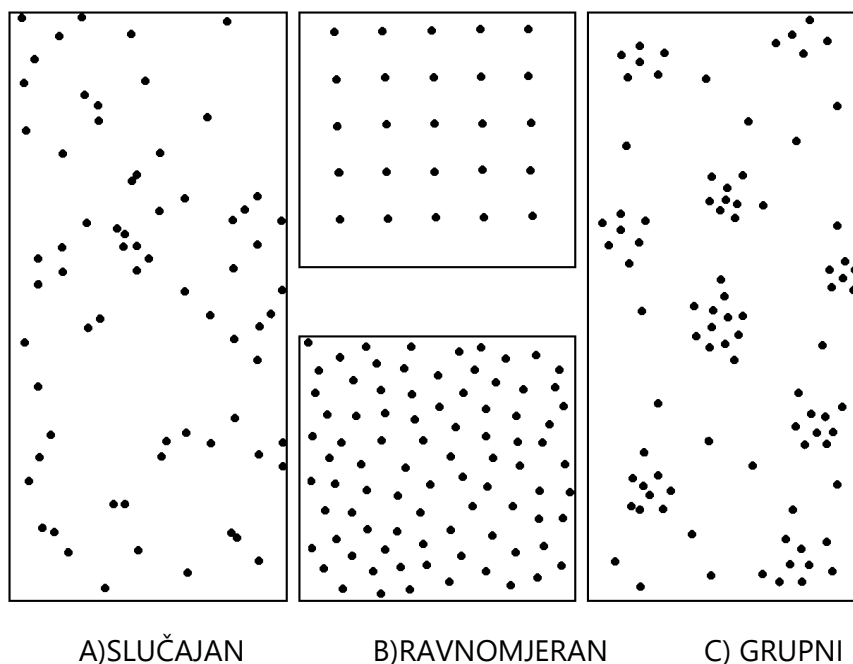
Literatura:

- Dodds, W. K., 2002: Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications. Academic Press, London.
- Ternjej, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019: Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str. 413.
- Wetzel, R. G. & Likens, G. E., 1979: Limnological Analyses. W. B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto.

2. RASPORED ORGANIZAMA U PROSTORU

2.1 Uvod

Način na koji su organizmi raspoređeni u prostoru od neobične je važnosti za biologe. Znanje o prostornom rasporedu organizama prvi je korak u poznavanju odnosa koji vladaju između njih, ali i o tome kakav je njihov položaj u nekoj zajednici ili ekološkom sustavu. Postoje tri glavna načina rasporeda organizama u prostoru: slučajjan, ravnomjieran i grupni (Slika 1).



Slika 1: Prostorni raspored organizama: A) slučajjan ($s^2 = \bar{x}$); B) ravnomjieran (kristalno ravnomjieran - gore, prirodno ravnomjieran - dolje) ($s^2 < \bar{x}$); C) grupni ($s^2 > \bar{x}$).

Možda se na prvi pogled čini da baš i nema neke oštre granice između slučajnog i prirodno ravnomjernog, ili slučajnog i grupnog prostornog rasporeda. Međutim, u prirodi se obično može procijeniti kojem tipu neki organizmi pripadaju. Tako primjerice gnijezda nekih kolonijalnih ptica (npr. čigre i blune) mogu biti vrlo pravilno raspodijeljena, dok jaja nekih beskralješnjaka (kukaca, mekušaca) dolaze u nakupinama. Svakako, ponekad je teško sa sigurnošću potvrditi određeni tip, posebno kada se radi o ravnomjernom rasporedu. U takvim slučajevima mogu nam od pomoći biti neke statističke metode. Prvo, pomoću njih možemo odrediti tip rasporeda u prostoru. Drugo, ukoliko imamo dovoljno podataka možemo utvrditi da li se naši podaci distribuirani prema nekom od uobičajenih matematičkih modela, te na taj način vršiti predviđanja. Također, osim prostornog možemo istraživati i vremenski raspored jedinki.

2.1.1 Vježba: PROSTORNI RASPORED ORGANIZAMA

Cilj ove vježbe je odrediti prostorni raspored pojedinih organizama, što će poslužiti kao osnova za provođenje daljnjih analiza (npr. određivanje gustoće populacije). Vježba se može izvesti na način da se koriste kvantitativni uzorci pojedinih organizama, ali i u modelnom sustavu u kojem su pojedini organizmi predstavljeni različitim vrstama sjemenki, plastičnih kuglica različite boje i sl., s međusobno različitim rasporedom u prostoru.

Pribor:

Plitka posuda s označenim pravokutnim poljima (npr. s 30 obilježenih polja, veličine polja od 6 cm x 6 cm), pravokutni okvir za uzorkovanje veličine pojedinog polja te shematski prikaz obilježenih polja (Tablica 1).

Različite sjemenke koje se međusobno razlikuju u veličini (npr. grah, slanutak, leća, kikiriki) u različitim količinama.

Tablica 1: Shematski prikaz prostora podijeljenog na kvadratna polja u kojima se provodi uzorkovanje različitih vrsta sjemenki.

	1	2	3	4	5	6
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D	D1	D2	D3	D4	D5	D6
E	E1	E2	E3	E4	E5	E6

Postupak:

Prije nego studenti počnu s izvođenjem vježbe, potrebno je rasporediti pojedine vrste sjemenki u prostoru (tj. u plitkoj posudi), na način da se njihov raspored međusobno razlikuje.

Vježba se izvodi u paru ili u manjim grupama, tj. studenti u paru ili u grupi provode uzorkovanje i računanje.

Uzorkovanje: slučajnim uzorkovanjem pomoću pravokutnog okvira uzeti 10 uzoraka koji odgovaraju kvadratnim poljima označenim na posudi.

Ugljikov dioksid

Prilikom svakog uzorkovanja zapisati broj svake pojedine vrste sjemenki u tablicu 2. Također označiti na shematskom prikazu (tablica 1) polje koje je uzorkovano (kako se ne bi ponavljala ista polja).

Proučite poglavlje 5 u dijelu priručnika Osnove statistike.

Izračunati i odrediti prostorni raspored svake vrste sjemenki, na sljedeći način:

najprije izračunati aritmetičku sredinu i varijancu ukupnog uzorka,

zatim izračunati indeks disperzije,

izračunati χ^2 (*Hi kvadrat*),

u dijagramu (Slika 5.1) poglavlja 5 (Osnove statistike) pronaći točku s izračunatim indeksom disperzije i *Hi kvadrata* kako bi odredili prostorni raspored za svaku vrstu sjemenki.

Tablica 2: Tablica za bilježenje broja svake vrste sjemenki prisutne u svakom od 10 uzoraka.

VRSTA SJEMENKI	UZORCI										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA
GRAH											
KIKIRIKI											
LEĆA											
SLANUTAK											

Aritmetička sredina uzorka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Pri čemu je:

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Varijanca uzorka:

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Pri čemu je:

s^2 - varijanca uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Indeks disperzije:

$$I.D. = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

Pri čemu je:

s^2 - varijanca uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

Izračunavanje χ^2 (*Hi kvadrata*):

$$\chi^2 = I.D. \times v$$

Pri čemu je:

$\chi^2 = Hi$ kvadrat

I.D.= indeks disperzije

v = stupnjevi slobode; $v = n - 1$

Pitanja:

Kakav je prostorni raspored svake od pojedinih vrsta sjemenki u ovom modelu?

Odgovara li prostorni raspored izračunat za svaku vrstu sjemenki Vašoj prethodnoj procjeni mogućeg prostornog rasporeda?

Literatura:

Krebs C. J., 1994: Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. 4th ed. HarperCollins College Publishers

Sutherland W.J. ed., 1996: Ecological census techniques: a handbook. Cambridge University Press

Ternjević, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019: Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str. 413.

3. GUSTOĆA POPULACIJA

3.1 Uvod

Kolika je brojnost organizama? Ovo pitanje je ključno za mnoga ekološka istraživanja i na njega moramo odgovoriti ako želimo odrediti veličinu i dinamiku neke populacije, važnost staništa, rasprostranjenost neke vrste, staništa koja vrsta preferira, razloge smanjivanja brojnosti vrste, ispitati uspješnost gospodarenja staništem itd.

Prostorno ograničenje populacije najveći je problem prilikom definiranja, tj. razlučivanja pojedinih populacija. To u prvom redu ovisi o veličini i pokretljivosti organizma. Veće i pokretljivije organizme moramo proučavati na većim područjima. Možda najbolje priručno pravilo za prostorno razgraničenje populacija je da odaberemo područje na kojem su emigracija i imigracija približno u ravnoteži. Naravno, za mnoge organizme neće biti moguće primijeniti ovo pravilo pa će prostorne dimenzije populacije biti proizvoljne i ovisiti će o istraživaču.

Budući da je sastavljena od pojedinačnih jedinki populacija posjeduje grupna, statistička svojstva koja ne možemo pripisati pojedinim jedinkama koje ju sačinjavaju. Osnovno, primarno svojstvo populacije je njezina gustoća. Gustoća populacije je mjera veličine populacije na nekom staništu. Gustoću izražavamo kao broj jedinki ili njihovom biomasom po jedinici površine ili volumena staništa. Sekundarna svojstva populacije, koja direktno utječu na gustoću, su: natalitet, mortalitet, imigracija i emigracija. Tercijarna svojstva populacije su dobna i spolna struktura, genetički sastav i prostorni raspored. Ona su posljedica sekundarnih svojstava ali istovremeno i utječu na njih te time i na gustoću populacije. Sva navedena svojstva populacije nastaju zbrajanjem karakteristika pojedinih jedinki.

Za uspješno određivanje gustoće populacije potrebno je jasno odrediti svrhu takvog istraživanja, dobro upoznati organizam koji proučavamo kao i metode koje su drugi upotrijebili za tu svrhu. Nakon što smo uzeli u obzir sve čimbenike; ekološke, ekonomske i statističke, odlučujemo se za metodu pomoću koje ćemo najlakše, ali i najpouzdanije odrediti gustoću populacije. Razlikujemo dvije osnovne skupine metoda: apsolutne i relativne.

APSOLUTNE METODE - određujemo brojnost organizama na jedinicu prostora, a razlikujemo sljedeće metode:

1. Potpuno prebrojavanje ili cenzus
2. Metoda probnih prostora (površina ili volumena)
3. Metoda obilježavanja i ponovnog ulova (engl. *mark and recapture*)
4. Metoda uklanjanja jedinki
5. Daljinske metode (linijski i točkasti transekti)

RELATIVNE METODE. Često puta nije moguće ili pak nije ni potrebno određivati apsolutnu gustoću. Tada se koristimo relativnim metodama koje nam pokazuju samo relativne odnose gustoće populacije. One nam daju indeks gustoće populacije, koji je u stalnom ali nepoznatom odnosu s apsolutnom gustoćom.

Gustoća populacija

APSOLUTNE METODE

1. Potpuno prebrojavanje ili cenzus – prebrojavanje svih jedinki koje nastanjuju određeno područje. Primjenjuje se za mnoge biljke i veće životinje, no općenito je moguće kod malog broja organizama. Primjeri: kod ptica – određivanje broja pjevajućih mužjaka i broja gnjezdećih parova; kod sisavaca – određivanje brojnosti tuljana i morževa u rasplodnim kolonijama, brojnost jedinki u krdima; kod nekih sesilnih beskralježnjaka.

2. Metoda probnih prostora – najčešće se primjenjuje, kod velikog broja vrsta. Prebrojavanje se vrši na manjim površinama ili volumenima. Pritom moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti: Prebrojavanje u svakom probnom prostoru mora biti točno, veličina prostora (površina ili volumen) je točno poznata i probni prostori moraju biti reprezentativni. Zadnji uvjet se može zadovoljiti slučajnim odabirom mjesta uzorkovanja. Iako statistički najpoželjnija randomizirana metoda često puta je u ekologiji teško primjenjiva. Zbog toga su razvijene različite druge metode pomoću kojih se može doći do statistički prihvatljivih procjena gustoće populacije (npr. stratificirano slučajno uzorkovanje).

Kad želimo primijeniti metodu probnih prostora za određivanje gustoće populacije koju istražujemo najprije moramo razriješiti dva praktična problema: 1) Kolika treba biti veličina prostora/površine?, 2) Koji oblik površine je najbolji? Odgovori na ova jednostavna pitanja su sve samo ne jednostavni! Jedan od načina kako ćemo odgovoriti na ova pitanja je da odgovore potražimo u literaturi. Bolji način je, ako raspolažemo s dovoljno sredstava i vremena, da sami odredimo optimalnu veličinu i oblik površina na kojima treba uzorkovati. To možemo izvesti na nekoliko različitih načina, no u svakom slučaju potrebno je izvesti preliminarno istraživanje na temelju kojeg možemo odabrati optimalnu veličinu i oblik probnih površina (Krebs 1999). Određivanje broja, odnosno veličine uzorka ovisno je o situaciji i metodi koju upotrebljavamo. Kod metode probnih površina najprije moramo odrediti kakav je prostorni raspored organizma kojeg istražujemo. Nakon toga odredimo granice pouzdanosti (najčešće 95%) i preciznost naše procjene (npr. 25% oko srednje vrijednosti) te na temelju statističkog modela koji odgovara rasporedu našeg organizma u prostoru i rezultata preliminarnog istraživanja odredimo broj uzoraka, N . Naravno, procjenu veličine populacije uvijek prikazujemo s nekom mjerom pogreške.

3.1.1 Vježba: ODREĐIVANJE GUSTOĆE POPULACIJE ZOOPLANKTONSKIH RAKOVA RAŠLJOTICALACA (CLADOCERA) I VESLONOŽACA (COPEPODA)

Pribor:

Lupa povećanja do 120 x;
Petrijeve zdjelice;
Kivete;
Etanol 70%;
Igljice, pincete;
Bilježnica i pribor za pisanje;

Materijal:

Uzorci planktona prikupljeni pomoću planktonske mreže u dva jezera: jezero Njivice i jezero Ponikve na Krku.

Metoda uzorkovanja: horizontalni potez duljine 20 m planktonskom mrežom promjera 20 cm.

Postupak:

Vježba se izvodi u parovima, s time da se cijela grupa studenata podijeli u dvije grupe. Jedna grupa će određivati gustoću populacije zooplanktonskih rakova u jezeru Njivice, a druga grupa u jezeru Ponikve.

Potrebno je odrediti brojnost jedinki svake vrste planktonskih rakova rašljoticalaca (Cladocera) i veslonožaca (Copepoda) u 1 ml uzorka. Zatim je potrebno izračunati ukupnu brojnost svake pojedine vrste u ukupnom uzorku (ukupni uzorak ima volumen od 100 ml). Kako bi se izračunala ukupna brojnost jedinki, potrebno je izračunati koliki je volumen jezerske vode profiltriran. Obzirom da „stupac“ vode koji filtriramo pomoću planktonske mreže ima oblik valjka, volumen profiltrirane vode može se izračunati na temelju jednadžbe za volumen valjka.

Izračunati aritmetičku sredinu gustoće od svih parova studenata za pojedino jezero te ukupne gustoće zooplanktona. Usporediti sastav i gustoću zajednice zooplanktona jezera Ponikve i jezera Njivice na Krku. Grafički prikazati gustoću populacija pojedinih svojti za oba jezera.

Gustoća populacija

Tablica 1: Brojnost jedinki i gustoća populacije planktonskih veslonožaca i rašljoticalaca u planktonu jezera Njivice i/ili Ponikve na Krku.

Jezero _____

Svojta	Brojnost jedinki u 1 ml uzorka	Brojnost jedinki u uzorku (ukupno)	Gustoća populacije (broj jedinki/l)	\bar{x}
Copepoda				
<i>Eudiaptomus gracilis</i>				
<i>Cyclops bohater</i>				
Nauplij				
Cladocera				
<i>Daphnia longispina</i>				
<i>Diaphanosoma brachiurum</i>				
<i>Bosmina longirostris</i>				
UKUPNO				

Aritmetička sredina uzorka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Pri čemu je:

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Ukupni volumen vode koja je profiltrirana kroz planktonsku mrežicu:

$$V = r^2 \times \Pi \times h$$

Pri čemu je:

V = volumen vode koja je profiltrirana mrežicom.

r = polumjer mreže

h = visina stupca vode, duljina poteza mrežicom

3.1.2 Vježba: ODREĐIVANJE GUSTOĆE POPULACIJE VRSTE *Gammarus balcanicus* U GORNJEM TOKU BIJELE RIJEKE (NP PLITVIČKA JEZERA)

Pribor:

Lupa povećanja do 120 x;
Petrijeve zdjelice;
Kivete;
Etanol 70%;
Igljice, pincete;
Bilježnica i pribor za pisanje;

Materijal:

Deset uzoraka prikupljenih pomoću bentos mrežice s jednom ravnom stranicom (kracera) u gornjem toku Bijele Rijeke (NP Plitvička jezera) 2009. g. na površini 0,1 m².

Postupak:

Za vježbu je potrebno formirati 10 grupa koje će prebrojati rakušce u pojedinim uzorcima. Potrebno je odrediti brojnost odraslih (uk. duž. >7 mm), adolescenata (uk. duž. >4-7 mm) i juvenilnih (uk. duž. <4 mm) jedinki te odrediti gustoću za svaki uzorak (izraženu po m²). Izračunati aritmetičku sredinu gustoće, standardnu pogrešku i 95% granice pouzdanosti gustoće, odrediti broja uzoraka N (za novo istraživanje) te odrediti prostorni raspored svake uzrasne kategorije i ukupne gustoće rakušaca.

najprije izračunati aritmetičku sredinu, varijancu, standardnu devijaciju i standardnu pogrešku (mjere varijabilnosti) gustoće svake uzrasne skupine i ukupne gustoće rakušaca rezultate prikazati grafički u obliku Box-Whiskers tipa prikaza s aritmetičkom sredinom, standardnom pogreškom (box) i standardom devijacijom (whiskers)

odrediti broja uzoraka N (za novo istraživanje) na temelju prije provedenog određivanja gustoće (preliminarnog istraživanja)

zatim izračunati indeks disperzije,

izračunati χ^2 (*Hi* kvadrat),

u dijagramu (Slika 1) pronaći točku s izračunatim indeksom disperzije i *Hi* kvadrata kako bi odredili prostorni raspored za svaku grupu rakušaca.

Gustoća populacija

Tablica 1: Brojnost različitih uzrasnih kategorija vrste *Gammarus balcanicus* u svakom od deset uzoraka te ukupni broj jedinki prikupljenih za ovu vježbu.

UZRASNA SKUPINA	UZORCI										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA
ODRASLI (uk. duž. >7 mm)											
ADOLESCENTI (uk. duž. 4-7 mm)											
JUVENILNE JED. (uk. duž. < 4 mm)											
UKUPNO											

A) Određivanje gustoće rakušaca vrste *Gammarus balcanicus* i mjera varijabilnosti gustoće:

Aritmetička sredina uzorka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Pri čemu je:

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Varijanca uzorka:

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Pri čemu je:

s^2 - varijanca uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Standardna devijacija uzorka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Pri čemu je:

s - standardna devijacija uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

Gustoća populacija

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Standardna pogreška

$$S.E. = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

95% granice pouzdanosti gustoće

$$g.p. = S.E. \times t_{0,95}$$

gdje je $t_{0,95}$ za 9 ($n-1$) stupnjeva slobode $t_{0,95, 9}=2,262$

B) Određivanje broja uzoraka N na temelju prije provedenog određivanja gustoće i mjera varijabilnosti:

Uzmimo da je povedeno uzorkovanje preliminarno i da nam služi za procjenu broja uzoraka u budućem istraživanju gustoće rakušaca kojeg spremamo provesti.

Zadatak se sastoji u određivanju minimalnog broj uzoraka N koji moramo sakupiti da bi procijenili gustoću u sljedećem istraživanju s 95% pouzdanošću (s obzirom na stvarnu gustoću populacije) i pogreškom (d) koja neće biti veća od 25% aritmetičke sredine procijenjene u prvom uzorkovanju.

$$N = (t_{0,95, 9} \times s)^2 / d^2$$

Pri čemu je:

s – standardna devijacija uzorka

$t_{0,95, 9}=2,262$

d – apsolutna pogreška uzorkovanja

Relativna pogreška uzorkovanja (25% u našem slučaju) = $100 \times d / \bar{x}$

dakle $d = 0,25 \times \bar{x}$

C) Određivanje prostornog rasporeda rakušaca vrste *Gammarus balcanicus*:

Indeks disperzije:

$$I.D. = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

Pri čemu je:

s^2 – varijanca uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

Izračunavanje χ^2 (H_i kvadrata):

$$\chi^2 = I.D. \times v$$

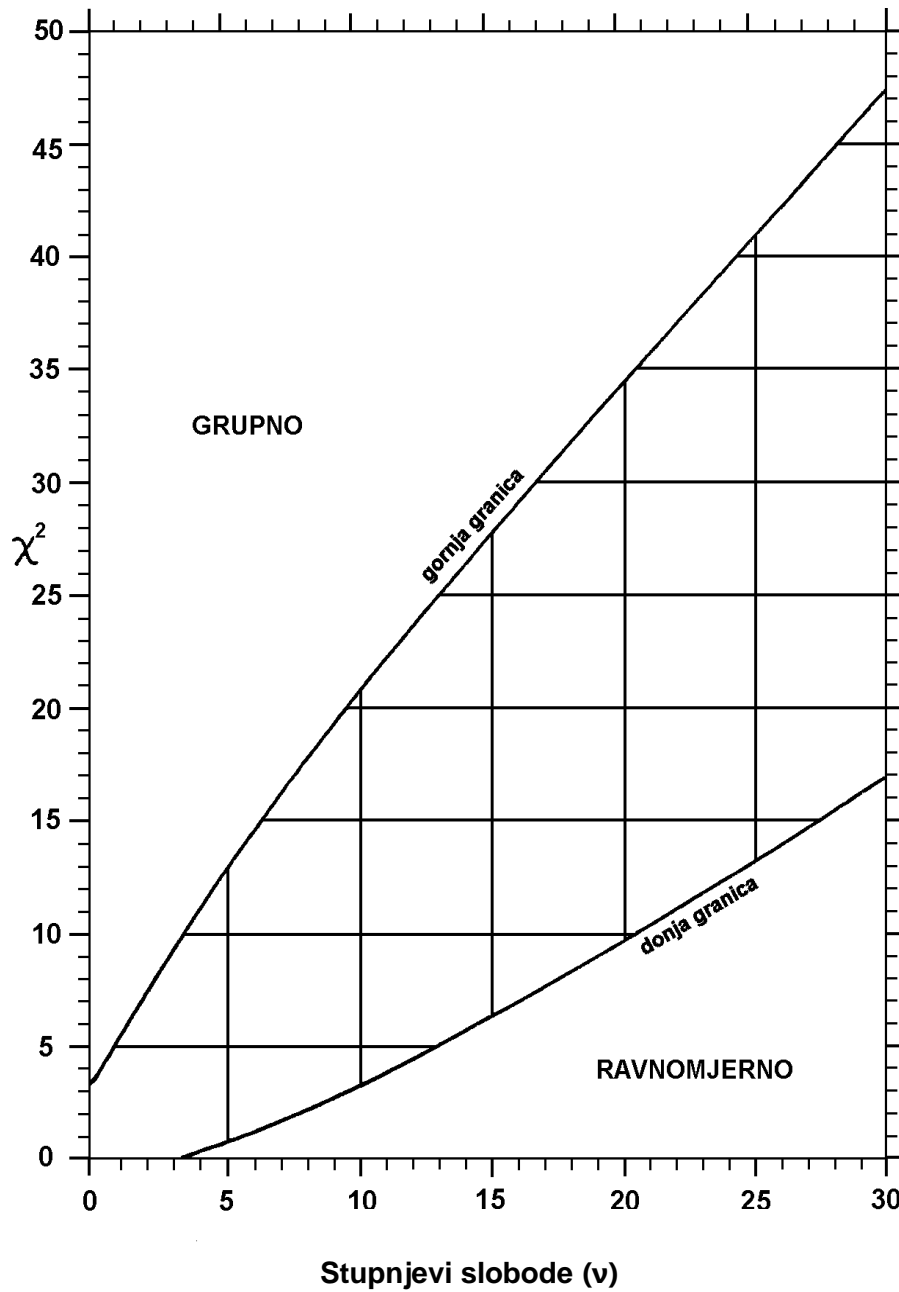
Gustoća populacija

Pri čemu je:

$\chi^2 = H_i$ kvadrat

I.D.= indeks disperzije

v = stupnjevi slobode; $v = n - 1$



Slika 1. χ^2 distribucija sa graničnim vrijednostima za pojedine kategorije.

3.1.3 Vježba: PROCJENA GUSTOĆE POPULACIJE POMOĆU METODE OBILJEŽAVANJA I PONOVOG ULOVA

Jedna od metoda koje imaju široku primjenu prilikom određivanja gustoća populacija je metoda obilježavanja i ponovnog ulova (engl. *mark and recapture*). U početku je metoda razvijena za procjenu gustoća populacija morskih riba i ptica guščarica, a danas ima mnogo širu primjenu. Metoda se sastoji u tome da se dio populacije uzorkuje, uzorkovane jedinke se označavaju, potom se vraćaju u populaciju te se nakon nekog vremena populacija ponovo uzorkuje. Pretpostavka je da će nakon „miješanja“ označenih jedinki u populaciji, prilikom drugog uzorkovanja, udio označenih jedinki u uzorku biti proporcionalan udjelu označenih jedinki u cijeloj populaciji.

Točnost ove metode ovisi o nekoliko osnovnih pretpostavki:

1) Populacija je zatvorena. Između prvog ulova prilikom kojeg su životinje označene i drugog ulova se ništa nije desilo što bi promijenilo udjele označenih životinja. Odnosno, niti jedna jedinka nije uginula, rodila se, imigrirala u populaciju ili emigrirala iz populacije. Iznimka su slučajevi kada je jednak udio uginulih ili emigriranih među označenim i neoznačenim jedinkama, što je vrlo malo vjerojatno. Trajanje razdoblja između dvaju uzorkovanja od velike je važnosti za ovu pretpostavku. Naime, što je to razdoblje kraće, smanjuje se mogućnost da neke jedinke uginu, emigriraju, imigriraju ili da se nove rode.

2) Sve jedinke imaju jednaku vjerojatnost da budu ulovljene tijekom prvog i ponovnog ulova, što znači da se označene jedinke ne smije moći lakše ili teže uloviti od neoznačenih. Razlog tome može biti čisto tehničke prirode (npr. da je zbog oznake životinja lakše uočljiva predatorima, pa ima veće šanse da postane nečiji plijen prije ponovnog ulova) ili vezan uz ponašanje pojedinih vrsta (npr. ako su ženke manje pokretne od mužjaka, šanse da ulovimo ženke će općenito biti manje, ili ako su različiti spolovi i/li starosne kategorije aktivne u različito doba dana itd.).

3) Označavanje nikako ne utječe na jedinke. Označavanje životinja nikako ne bi smjelo utjecati na njihove šanse za preživljavanje u populaciji (npr. da ne budu lakše uočljive predatorima), niti na njihovo ponašanje.

4) Trajanje razdoblja između uzorkovanja mora biti dovoljno da se označene životinje „pomiješaju“ s neoznačenim jedinkama unutar populacije. Na taj način biti će zadovoljena pretpostavka broj 2, ali razdoblje ne smije biti predugo, kako bi i bila zadovoljena i pretpostavka broj 1.

5) Oznake se ne gube i vidljive su kod ponovnog ulova. Životinje ne smiju izgubiti oznake, na primjer prilikom presvlačenja, linjanja itd.

Prilikom procjene gustoće populacije zatvorenih populacija koriste se dvije metode (za obje metode vrijede gore navedene pretpostavke):

1) Petersen-ova metoda koja se sastoji od jednog označavanja i ponovnog ulova. Broj jedinki u populaciji računa se na sljedeći način:

$$\frac{M}{N} = \frac{R}{C}$$

gdje je:

M = broj označenih jedinki kod 1. ulova

N = veličina populacije (tj. ukupan broj jedinki u populaciji)

Gustoća populacija

R = broj označenih jedinki kod 2. ulova

C = ukupan broj jedinki u 2. ulovu

pa iz toga slijedi da je: $N = \frac{M \times C}{R}$

2) Schnabel-ova metoda se temelji na Peterson-ovoj metodi, ali podrazumijeva višestruko označavanje i ponovni ulov. Broj jedinki u populaciji računa se na sljedeći način:

$$\begin{aligned} C_t &= R_t + U_t \\ M_t &= U_1 + U_2 \dots U_{t-1} \end{aligned}$$

gdje je:

C_t = ukupan broj jedinki ulovljenih u ulovu t

R_t = broj označenih jedinki kod ulova t

U_t = broj novo označenih i puštenih jedinki u ulovu t

M_t = ukupan broj označenih jedinki u populaciji do ulova t

pa iz toga slijedi da je: $N = \frac{\sum(C_t \times M_t)}{\sum R_t}$

Kod otvorenih populacija, odnosno onih u kojima u razdoblju između dva uzorkovanja dolazi do promjene u broju označenih i neoznačenih jedinki (npr. emigracija, imigracija, smrt) koristi se Jolly-Seber-ova metoda za procjenu gustoće populacije. Ova se metoda također temelji na višestrukome uzorkovanju i označavanju. Uz pomoć nje moguće je procijeniti broj označenih jedinki u populaciji i veličinu populacije, stopu preživljavanja između pojedinih uzorkovanja, kao i broj jedinki za koji se populacija povećala između uzorkovanja, obzirom da metoda uključuje model rasta populacije.

A) Procjena veličine zatvorene populacije pomoću Peterson-ove metode s različitim lovnim naporom

Pribor:

- čaša ili posuda većeg volumena (npr. 1 l) po paru ili grupi studenata u kojoj se nalazi npr. šareni grah čiji broj mora biti poznat (npr. 400 komada)
- posuda (npr. petrijeva zdjelica) volumena 10 ml po paru ili grupi studenata
- posuda (npr. petrijeva zdjelica) volumena 20 ml po paru ili grupi studenata
- posuda (npr. petrijeva zdjelica) volumena 30 ml po paru ili grupi studenata
- grah druge boje (npr. crveni ili bijeli) ili neke druge sjemenke (npr. slanutak, soja)

Postupak:

1. Par/grupa studenata dobivaju čašu u kojoj se nalazi poznat broj sjemenki šarenoga graha – čaša predstavlja populaciju šarenoga graha čiju veličinu populacije želimo procijeniti.
2. Prvi ulov i označavanje. Uzorkovanje populacije šarenoga graha provodi se pomoću posude volumena 10 ml. Svaki par/grupa studenata uzorkuje onoliko jedinki (tj. sjemenki) šarenog graha koliko stane u posudu. Pri tome se jedinke šarenoga graha zamijene drugim

Gustoća populacija

sjemenkama, npr. slanutkom, (u jednakom broju) i one se vrata u populaciju šarenoga graha. Slanutak predstavlja označene jedinke prilikom prvog ulova.

3. Nakon vraćanja označenih jedinki u populaciju potrebno je cijelu populaciju dobro promiješati.

4. Ponovni ulov. Ponovni ulov provodi se na isti način kao i prvi ulov, odnosno da se posuda volumena 10 ml napuni do kraja jedinkama graha. Pri tome treba zabilježiti broj označenih jedinki koje su ulovljene (sjemenske slanutka).

5. Izračunati veličinu populacije šarenoga graha prema Petersen-ovoj jednadžbi.

6. Izračunati aritmetičku sredinu procjene veličine populacije šarenog graha na temelju rezultata svih parova/grupa studenata i prikazati ih grafički (prikazati raspon vrijednosti i aritmetičku sredinu). Također izračunati standardnu devijaciju i standardnu pogrešku za procjenu veličine populacije na temelju ove metode.

7. Ponoviti cijeli postupak (koraci od 1.-6.) na način da se udvostruči lovni napor, odnosno da se uzorkuje uz pomoć posude volumena 20 ml.

8. Ponoviti cijeli postupak (koraci od 1.-7.) na način da se poveća lovni napor dodatnih 50%, odnosno da se uzorkuje uz pomoć posude volumena 30 ml.

Petersen-ova metoda

$$N = \frac{M \times C}{R}$$

gdje je:

M = broj označenih jedinki kod 1. ulova – jedinke slanutka

N = veličina populacije šarenoga graha (tj. ukupan broj jedinki u populaciji)

R = broj označenih jedinki kod 2. ulova – broj jedinki slanutka u 2. ulovu

C = ukupan broj jedinki u 2. ulovu (graha i slanutka)

Aritmetička sredina uzorka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

gdje je:

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Standardna devijacija uzorka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

gdje je:

s – standardna devijacija uzorka

\bar{x} - aritmetička sredina uzorka

x - rezultat mjerenja u uzorku

n - broj rezultata u uzorku

Standardna pogreška:

$$S.E. = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Gustoća populacija

Tablica 1: Rezultati procjene veličine populacije šarenoga graha.

	Lovni napor		
	10 ml	20 ml	30 ml
N (vlastito mjerenje)			
N (aritmetička sredina)			
Raspon vrijednosti N			
Standardna devijacija			
Standardna pogreška			

Pitanja:

Koju pretpostavku smo zadovoljili time što smo dobro promiješali „populaciju sjemenki šarenoga graha“?

Kakva je aritmetička sredina procjene veličine populacije šarenoga graha kada se lovni napor udvostruči, a zatim dodatno poveća za 50%?

Ako pretpostavimo da je važno odrediti koji lovni napor je najbolji (odnosno predstavlja najbolji omjer utroška vremena, novca i rada s jedne strane, a točnosti rezultata s druge strane), koji lovni napor od ova tri bi bio najbolji?

Procijenite u kojoj mjeri ste uspješno zadovoljili svaku od pretpostavki metode ponovnog ulova.

Da je kojim slučajem došlo do migracije u populaciji koju proučavate, kako bi to utjecalo na pouzdanost vaše procjene veličine populacije? Bi li ta procjena bila manja ili veća od stvarne vrijednosti, možete li to uopće procijeniti? (Pri tome imajte na umu da migracije obuhvaćaju imigracije i emigracije).

Raspravite kakav utjecaj na procjenu veličine populacije bi imalo nezadovoljavanje pretpostavki 2.-5. (Na primjer: ako nije zadovoljena pretpostavka 2. hoće li procijenjena veličina populacije biti manja ili veća od stvarne vrijednosti? Ili to neće imati utjecaja? Pri tome imajte na umu da ne zadovoljavanje različitih pretpostavki može imati jednaki utjecaj na procjenu.)

B) Procjena veličine zatvorene populacije pomoću Schnabelove-ove metode

Pribor:

- čaša ili posuda većeg volumena (npr. 1 l) po paru ili grupi studenata u kojoj se nalazi npr. šareni grah čiji broj mora biti poznat (npr. 400 komada)
- posuda (npr. petrijeva zdjelica) volumena 20 ml po paru ili grupi studenata
- grah druge boje (npr. crveni ili bijeli) ili neke druge sjemenke (npr. slanetak, soja)

Postupak:

1. Par/grupa studenata dobivaju čašu u kojoj se nalazi poznat broj sjemenki šarenoga graha – čaša predstavlja populaciju šarenoga graha čiju veličinu populacije želimo procijeniti.
2. Prvi ulov (t_1) i označavanje. Uzorkovanje populacije šarenoga graha provodi se pomoću posude volumena 20 ml. Svaki par/grupa studenata uzorkuje onoliko jedinki (tj. sjemenki)

Gustoća populacija

šarenoga graha koliko stane u posudu. Pri tome se jedinke šarenoga graha zamijene drugim sjemenkama, npr. slanutkom, (u jednakom broju), zabilježi se broj označenih jedinki u tablicu 2 te se one vrte u populaciju šarenoga graha. Slanutak predstavlja označene jedinke prilikom prvog ulova.

3. Nakon vraćanja označenih jedinki u populaciju potrebno je cijelu populaciju dobro promiješati.

4. Ponovni ulov (t_2) provodi se na isti način kao i prvi ulov, odnosno da se posuda volumena 30 ml napuni do kraja (jedinkama graha i slanutka). Pri tome treba zabilježiti broj označenih jedinki koje su ulovljene (odnosno broj sjemenki slanutka) i upiše u tablicu 2.

5. Zatim se prebroje neoznačene jedinke ulovljene u ponovnom ulovu, zamijene se jednakim brojem sjemenki slanutka, sve se jedinke se vrte u populaciju i dobro se sve promiješa. Pri tome je opet potrebno u tablicu 2 zabilježiti broj označenih jedinki u ovom ulovu.

6. Ponovni ulov (t_3) i ulov (t_4) se provode na isti način kao i prethodni (ulov t_2).

7. Veličina populacije se procijeni na temelju Schnabel-ove metode.

8. Kako bi se provjerilo jesu li zadovoljene sve pretpostavke i da možemo upotrijebiti ovu metodu, nacrtajte dijagram u kojem ćete na os y staviti omjer R_t/C_t a na os x vrijednosti M_t . Ukoliko su pretpostavke zadovoljene dobiti ćete pravac.

Tablica 2: Podaci o broju jedinki za četiri ulova.

ulov t	C_t	R_t	U_t	M_t
1				
2				
3				
4				

Veličina populacije računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$N = \frac{\sum(C_t \times M_t)}{\sum R_t}$$

Gdje je:

C_t = ukupan broj jedinki ulovljenih u ulovu t

R_t = broj označenih jedinki kod ulova t

U_t = broj novo označenih i puštenih jedinki u ulovu t

M_t = ukupan broj označenih jedinki u populaciji do ulova t

Pitanja:

Kakve su procjene veličine populacije na temelju ove metode u usporedbi sa stvarnom veličinom populacije? Ako se procjena razlikuje, što mislite da je razlog tome?

Je li Schnabel-ova metoda dala bolju procjenu veličine populacije u odnosu na Peterson-ovu metodu? I zašto?

Gustoća populacija

Izračunajte koja je od dvije spomenute metode pouzdanija u procjeni veličine populacije (u odnosu na stvarnu veličinu) koristeći sljedeću jednadžbu:

$$P = \pm 100 \left[\frac{(N_p - N_{st})}{N_{st}} \right]$$

gdje je:

P = pouzdanost procjene

N_p = procijenjena veličina populacije (broj jedinki)

N_{st} = stvarna veličina populacije (N_{st} = 400)

Literatura:

Krebs C. J., 1994: Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. 4th ed. HarperCollins College Publishers.

Sutherland W.J. ed., 1996: Ecological census techniques: a handbook. Cambridge University Press.

Ternjej, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019: Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str. 413.

4. INDEKSI RAZNOLIKOSTI

4.1 Uvod

Biocenoze ili životne zajednice mogu se najjednostavnije definirati kao skup populacija različitih vrsta koje nastanjuju neko područje tijekom određenog vremena. Sastoje se od jedinki i populacija i posjeduju kolektivna svojstva kao što su bogatstvo i raznolikost vrsta, biomasa i produktivnost. Biotičke interakcije povezuju vrste u zajednici i određuju prostorne, vremenske i strukturne značajke, kao i protok tvari i energije u njima. U kontekstu prostornih i vremenskih granica biocenoze je uglavnom teško točno definirati, pa ih treba shvatiti kao razinu organizacije, a ne kao strogo definirane, prostorno i vremenski razlučive jedinice (Begon i sur., 1996).

Općenito, biocenoze posjeduju određenu strukturu jer su sastavljene od neslučajnog skupa populacija različitih vrsta koje su u međusobnoj interakciji. Bioraznolikost ili biološka raznolikost je širi pojam koji obuhvaća raznolikost svih oblika života ispod i iznad razine vrste, pa uključuje raznolikost od razine gena do ekološkog sustava dok s druge strane raznolikost vrsta uključuje bogatstvo, tj. broj vrsta i njihovu zastupljenost u zajednici.

Sastavnice raznolikosti

1. bogatstvo vrsta - broj vrsta u zajednici

zastupljenost pojedinih vrsta u zajednici => što je zastupljenost vrsta u zajednici ujednačenija to je veća raznolikost (npr. zajednica s po 10 jedinki od 5 vrsta ima veću ujednačenost i raznolikost nego zajednica koja ima 46 jedinki jedne i po 1 jedinku ostalih 4 vrsta).

3. heterogenost - kombinacija bogatstva vrsta i ujednačenosti

=> indeksi raznolikosti nastaju kombinacijom bogatstva i zastupljenosti pojedinih vrsta u zajednici, a najbolje se mogu shvatiti kao vjerojatnost da pri slučajnom uzorkovanju iz zajednice izvučemo dvije jedinice različite vrste.

α raznolikost – lokalna raznolikost određenog staništa ili područja

β raznolikost – mjera promjene vrsta na nekom širem području ili duž nekog gradijenta vanjskih čimbenika. Ako vrste imaju male areale onda je β raznolikost velika, dok je kod široko rasprostranjenih vrsta promjena raznolikosti znatno manja.

γ raznolikost – raznolikost velikih područja (država, kontinenta), a uključuje α i β komponentu => $\alpha \times \beta$ raznolikost

MJERE RAZNOLIKOSTI/HETEROGENOSTI ZAJEDNICE = INDEKSI RAZNOLIKOSTI

Simpsonov indeks (D)

Radi se o osnovnom indeksu kojeg je definirao Simpson, a predstavlja vjerojatnost da nasumično iz zajednice izvučemo dvije jedinice iste vrste. To je kontra intuitivno jer se povećanjem raznolikosti smanjuje vrijednost ovog indeksa pa se zbog toga koristi izraz 1-D koji predstavlja vjerojatnost da iz zajednice nasumično odaberemo dvije jedinice različite vrste.

Indeksi raznolikosti

Ovaj indeks je tipa II što znači da je osjetljiv na male promjene brojnosti/zastupljenosti dominantnih vrsta, dok promjene rijetkih vrsta ne utječu jako na njega.

Shannon-Wienerov indeks (H')

Shannon-Wienerov indeks je vjerojatno najkorišteniji indeks raznolikosti, a biolozi su ovaj indeks "posudili" iz matematičke discipline koja se naziva "teorija informacije" slično kao i Simpsonov indeks ovaj indeks proporcionalan je vjerojatnosti da iz zajednice nasumično odaberemo dvije jedinke različite vrste.

Shannon-Wienerov indeks je indeks tipa I što znači da je osjetljiv na male promjene brojnosti rijetkih vrsta. Zbog toga je moguće da se raznolikost određena pomoću ova dva indeksa razlikuje za dvije zajednice različite s obzirom na dominantnost, tj. ujednačenost.

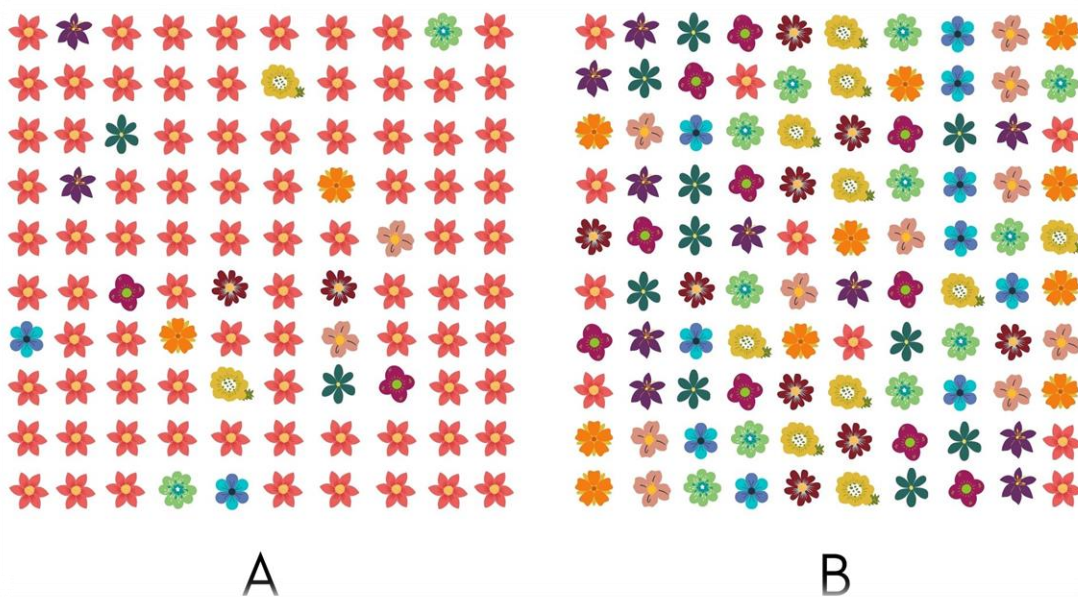
INDEKSI DOMINANTNOSTI

Berger-Parkerov indeks (d)

Najjednostavniji indeks dominantnosti je Berger-Parkerov indeks koji predstavlja udio najzastupljenije vrste u zajednici.

INDEKSI UJEDNAČENOSTI

Indeksi raznolikosti kombiniraju bogatstvo vrsta i ujednačenost, no često nas zanima samo ujednačenost zajednice, navedeni indeksi ujednačenosti na temelju Simpsonovog i Shannonovog indeksa koriste se istim trikom => uzima se odnos indeksa raznolikosti u odnosu na maksimalni mogući indeks raznolikosti kada su sve vrste u zajednici jednako zastupljene (Slika 1.). Najčešće korišteni indeks je Pielouov indeks (J).



Slika 1. Prikaz zajednice životinja sa različitom zastupljenošću pojedinih vrsta. A) JEDNOLIKA ZAJEDNICA B) RAZNOLIKA ZAJEDNICA

Indeksi raznolikosti

Simpsonov indeks:

$$1 - D = 1 - \sum p_i^2$$

gdje je; $1 - D$ Simpsonov indeks,

p_i udio vrste i u ukupnom uzorku ($p_i = \frac{n_i}{N}$, gdje je n_i broj jedinki pojedine vrste, a N ukupan broj jedinki u uzorku)

Shannon-Wienerov indeks:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$$

gdje je; H' Shannon-Wienerov indeks,
 p_i udio vrste i u ukupnom uzorku.

Berger-Parkerov indeks:

$$d = \frac{n_{\max}}{N}$$

gdje je; n_{\max} - broj jedinki dominantne vrste
 N - ukupan broj jedinki

Indeks ujednačenosti Pielou indeks:

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

gdje je; H' - Shannon-Wienerov indeks,
 $H'_{\max} = \ln S$ - maksimalna raznolikost kad su sve vrste u zajednici jednako zastupljene
 S - broj vrsta.

Pitanja:

Da li postoje razlike u indeksima raznolikosti između zajednica? Ako da kako ih objašnjavate?

Koja od tri zajednice ima najveću ujednačenost i zašto?

Literatura:

- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L., 2006: Ecology From Individuals to Ecosystems. Oxford, Blackwell Publishing Ltd.
- Krebs, C. J., 1999: Ecological Methodology, Second Edition. Addison-Welsey Educational Publishers, Inc, Menlo Park, California.
- Shannon, C., 1948: A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 27: 379-423, 623-656.
- Simpson, E. H., 1949: Measurement of diversity. Nature, 163: 688.
- Southwood, T. R. E. & Henderson, P. A., 2000: Ecological Methods, Third edition. Blackwell Science Ltd, Cambridge.
- Ternjej, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019: Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str. 413.

5. INDEKSI SLIČNOSTI

5.1 Uvod

Sličnost je kvantitativna mjera/pokazatelj jačine odnosa između dva predmeta/objekta ili značajke te se može mjeriti na različite načine. Vrijednosti indeksa sličnosti mogu poprimiti vrijednosti od -1 do 1 ili češće od 0 do 1.

Biološki podaci sastava zajednica sastoje se najčešće od popisa vrsta i, ako je provedeno kvantitativno uzorkovanje, njihovog relativnog udjela u zajednici. Često je cilj takvih istraživanja, između ostalog, da se zajednice međusobno usporede i klasificiraju na temelju sastava vrsta, a određivanje sličnosti zajednica prvi je korak u njihovom klasificiranju, koje se provodi radi različitih razloga.

Postoji više desetaka različitih indeksa sličnosti i vlada dosta velika konfuzija koje indekse treba koristiti. Indeksi sličnosti su specifični po tome što su to uglavnom deskriptivne mjere, a ne procjene nekog statističkog parametra.

Tipovi indeksa sličnosti

BINARNI INDEKSI SLIČNOSTI – koriste se kad imamo samo podatke o prisutnosti vrsta u zajednici ili kada matricu s relativnim udjelom pojedinih vrsta u zajednici transformiramo u matricu 1/0 tj. prisutnosti i odsutnosti vrsta. Binarni indeksi su najgrublja mjera sličnosti zajednica jer ne uzimaju u obzir relativni udio vrsta u zajednici pa oni jednako tretiraju rijetke i česte vrste u zajednici. Ovi indeksi su, slično kao i bogatstvo vrsta, jako osjetljivi na broj i veličinu uzoraka. Postoji više od 20 različitih indeksa sličnosti, ali najčešće se koriste: Jaccardov indeks (S_j)

Predstavlja vjerojatnost da jedna vrsta izvučena nasumično (iz popisa vrsta) bude prisutna u obje zajednice.

Sorensov (ili Diceov) indeks (S_s)

Predstavlja postotak zajedničkih vrsta, a preporuča se koristiti kada je u zajednici prisutno mnogo vrsta koje nisu prisutne u uzorcima tih zajednica
vrijednosti ovih indeksa kreću se od 0 - nema zajedničkih vrsta do 100 - sve vrste su zajedničke.

KVANTITATIVNI INDEKSI SLIČNOSTI – koriste se kad postoje podaci o relativnom udjelu vrsta u zajednici, relativni udio vrsta u zajednici može biti: brojnost jedinki, biomasa, pokrovnost, produktivnost ili neka druga mjera kojom se može kvantificirati zastupljenost vrste u zajednici.

Razlikuju se: a) indeksi udaljenosti

b) korelacijski indeksi

c) ostali indeksi sličnosti

sličnost i različitost/udaljenost su dvije strane istog novčića => $s = 1 - d$, tj. $s = 100 - d$

Bray-Curtis indeks sličnosti (S)

Jedan od najčešće korištenih indeksa sličnosti i indeks s najvećim brojem poželjni kriteriji kvantitativnih indeksa:

1) $S_{1,2} = 100$ kad je Z1 (Zajednica 1) = Z2 (Zajednica 2), tj. kada su sve vrste u obje zajednice jednako zastupljene.

2) $S_{1,2} = 0$ kada Z1 (Zajednica 1) i Z2 (zajednica 2) nemaju zajedničkih vrsta.

Indeksi sličnosti

- 3) promjena mjerne jedinice ne utječe na vrijednost indeksa (većina drugih indeksa ne zadovoljava ovaj uvjet).
- 4) vrijednost indeksa se ne mijenja dodatkom istih vrsta ili izbacivanjem vrsta koje su odsutne iz obje zajednice (i ovo je uvjet koji većina drugih indeksa ne zadovoljava).
- 5) uključivanje trećeg uzorka/zajednice C ne utječe na sličnost između uzoraka/zajednica A i B (zanimljivo je da većina drugih indeksa ne zadovoljava ovaj uvjet).
- 6) može registrirati razliku u ukupnoj zastupljenosti/brojnosti vrsta za razliku od većine drugih indeksa koji mjere relativnu zastupljenost vrste u zajednici (jer automatski standardiziraju ukupnu brojnost vrste prema ukupnoj brojnosti svih jedinki u zajednici) pa na njih ne utječe razlika u ukupnoj brojnosti/zastupljenosti vrsta u zajednici.

5.1.1 Vježba: ODREĐIVANJE INDEKSA SLIČNOSTI

Priprema

Šest posuda s kuglicama koje se međusobno razlikuju po raznolikosti (broju različitih «vrsta», tj. boje kuglica) i po ujednačenosti (predstavljaju različite zajednice). (

Mala Petrijeva zdjelica ili slična posuda za uzorkovanje.

Postupak:

Vježba se izvodi u paru ili u grupama, tj. studenti u paru ili u grupi uzorkuju pojedinu posudu s kuglicama koja predstavlja određeni tip zajednice.

Slučajnim uzorkovanjem (pomoću male petrijevke) iz svake posude s kuglicama uzeti 10 uzoraka (nakon svakog uzorkovanja kuglice se vraćaju natrag u posudu).

Prilikom svakog uzorkovanja iz jedne od posuda s kuglicama („zajednice“) zapisati broj kuglica svake pojedine boje u tablicu 1.

Izračunati indekse sličnosti (Jaccardov indeks, Sørensonov indeks i Bray-Curtis indeks sličnosti) između pojedinih parova zajednica (Z1-Z2, Z3-Z4 i Z5-Z6).

Tablica 1.

«VRSTA» (BOJA KUGLICA)	UZORCI										SUMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
NARANČASTA											
ZELENA											
PLAVA											
CRNA											
CIKLAMA ROZA											
CRVENA											
ŽUTA											
SMEĐA											
BIJELA											
SIVA											

Indeksi sličnosti

Jaccardov indeks:

$$S_j = 100 \left[\frac{a}{(a + b + c)} \right] = 100 \left[\frac{a}{(A + B - a)} \right]$$

gdje je; a = broj vrsta prisutnih u oba uzorka

b = broj vrsta prisutnih samo u uzorku B

c = broj vrsta prisutnih samo u uzorku A

A = broj vrsta u uzorku A

B = broj vrsta u uzorku B

Sørensonov indeks:

Indeksi sličnosti

$$S_s = 100 \left[\frac{2a}{(2a + b + c)} \right] = 100 \left[\frac{2a}{A + B} \right]$$

gdje je; a = broj vrsta prisutnih u oba uzorka

b = broj vrsta prisutnih samo u uzorku B

c = broj vrsta prisutnih samo u uzorku A

A = broj vrsta u uzorku A

B = broj vrsta u uzorku B

Bray-Curtis indeks sličnosti:

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\}$$

gdje je: y_{ij} broj

y_{ik} broj

jedinki vrste i u uzorku j , a

jedinki vrste i u uzorku k .

Pitanja:

Kolika je sličnost između Z1 i Z2, Z3 i Z4 te Z5 i Z6?

Ako postoje veće razlike u sličnosti pojedinih zajednica kako ih objašnjavate?

Literetura:

Krebs, C. J., 1999: Ecological Methodology, Second Edition. Addison-Welsey Educational Publishers, Inc, Menlo Park, California.

Southwood, T. R. E. & Henderson, P. A., 2000: Ecological Methods, Third edition. Blackwell Science Ltd, Cambridge.

Ternjej, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019:

Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str.

413.

6. PRILAGODBE ŽIVOTINJA NA SPECIFIČNE UVJETE STANIŠTA

6.1 Uvod

Što je prilagodba?

Prilagodba može biti kratkoročan odgovor (ekološki uvjetovana vremenska skala) ili dugoročan odgovor (evolucijski uvjetovana vremenska skala) na uvjete okoliša ili promjene uvjeta. Primjer kratkoročnog odgovora je fiziološka prilagodba koju sisavci koriste kako bi održali stalnu tjelesnu temperaturu. Dugoročan odgovor može se naći u specijaliziranim procesima fotosinteze koji su prisutni u mnogim pustinjским biljkama. Ovaj jedinstveni proces omogućuje biljkama da zatvore svoje puči tijekom dana kako bi se smanjio gubitak vode.

A) Prilagodbe makroskopskih beskralješnjaka dna tekućica na brzinu strujanja vode

Bentos je zajednica organizama koji žive na dnu, tj. na ili u podlozi vodenih ekosustava. Pojam "benthos" potječe od grčke riječi βένθος što znači "dubina, dubina mora, dno", a uveo ju je ugledni njemački prirodoslovac i umjetnik Ernst Haeckel (1834-1919), koji je također uveo i pojam "ekologija". Zajednica bentosa vrlo je kompleksna. Uključuje širok raspon organizama, od bakterija preko biljaka (fitobentos) do životinja (zoobentos). Prema veličinskim kategorijama zoobentos možemo podijeliti na mikrobentos (<0,063 mm), meiobentos (0,063-0,5 ili 1,0 mm), makrobentos (>0,5 ili 1,0 mm) i ponekad megabentos (>10,0 mm). Ova vježba se odnosi na životinje bentosa, beskralješnjake, veće od 1,0 mm tzv. makrozoobentos.

Na rasprostranjenost i brojnost vodenih organizama u zajednicama bentosa utječu brojni čimbenici. Neki od glavnih čimbenika koji određuju prisutnost pojedinih vrsta u nekom području su:

1. temperatura vode
2. količina otopljenog kisika u vodi
3. pH vrijednost vode
4. opseg i brzina strujanja vode (protoke)
5. tip podloge i veličina čestica supstrata
6. količina organske tvari
7. energetski odnosi

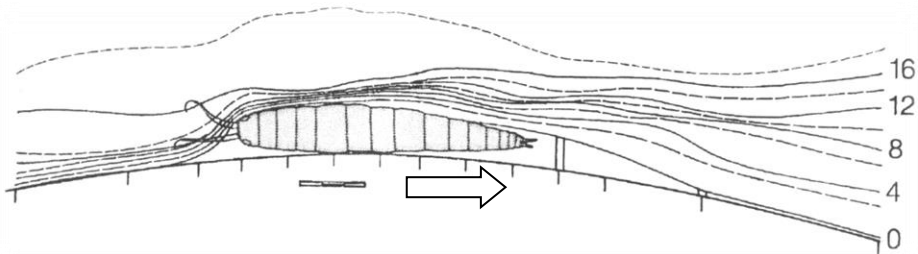
Brzina strujanja vode ovisi o nagibu korita tekućice, propusnosti korita i količini vode. Različita je u pojedinim dijelovima toka, a u pravilu se smanjuje prema ušću. Osim razlika u longitudinalnom profilu, brzina strujanja varira i uzduž profila korita (s jedne obale na drugu), što doprinosi mozaičnom pojavljivanju staništa: lotička (u struji vode) i lentička (mirna staništa). Zbog slojevitog (laminarnog) strujanja vode dolazi do trenja između pojedinih slojeva vode, pa se brzina strujanja smanjuje približavanjem podlozi. Vodeni sloj neposredno uz podlogu naziva se granični sloj (debljine svega 2-3 mm) u kojem nema strujanja. Struktura podloge izravno je povezana s brzinom strujanja vode. Veća brzina strujanja vode i veći volumen vode u vodotoku uvjetovat će veće dimenzije čestica supstrata te prisutnost krupno partikulirane organske tvari, osobito na kraju vegetacijske sezone.

Prilagodbe životinja na brzinu strujanja vode ogledaju se u specifičnoj morfološkoj građi, ali i specifičnim oblicima ponašanja.

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

Od morfoloških prilagodbi možemo izdvojiti sljedeće:

1) Spljoštenost tijela prisutna je kod različitih skupina životinja koje nastanjuju površinu kamenitog supstrata u brzjoj struji vode tekućica, iako spljoštenost tijela nije uvijek uvjetovana izloženošću struji vode. Ova prilagodba omogućava životinjama da budu što bliže podlozi, odnosno zoni u kojoj je smanjena brzina strujanja vode. Leđno-trbušna spljoštenost osobito je izražena kod vodenih kukaca kao što su vodencvjetovi rodova *Rhithrogena* i *Epeorus* (Ephemeroptera). Tipične ličinke obalčara (Plecoptera) brze struje vode imaju blago spljošteno cilindrično tijelo snažnih bočno položenih nogu koje im omogućavaju pridržavanje uz kameniti supstrat te kretanje u području najnižeg strujanja vode uz podlogu. Među tularima (Trichoptera) leđno-trbušna spljoštenost prisutna je kod predstavnika potporodice Glossosomatinae unutar porodice Rhyacophilidae. Virnjaci i pijavice spadaju u skupinu organizama koji su u tekućicama uvijek leđno-trbušno spljošteni neovisno o struji vode, budući se skrivaju ispod kamenja, što čine i u drugim tipovima staništa. Bočna spljoštenost najizrazitija je kod rakušaca, koja im omogućava uspješnije kretanje u brzjoj struji vode (Slika 1).



Slika 1. Linije predstavljaju struju vode oko bočno spljoštenog rakušca iz roda *Gammarus* s vrijednostima brzine strujanja u cm s^{-1} . Strelica označava smjer strujanja vode.

2) Hidrodinamičan oblik tijela i kućice također je prilagodba prisutna kod različitih skupina životinja. Neke ličinke vodencvjetova (Ephemeroptera; npr. rod *Baetis*) uz ribe spadaju u životinje fusiformnog (vretenast) oblika tijela tj. izrazito su hidrodinamične te pripadaju među organizme visoko prilagođene na život u brzjoj struji vode, što im omogućuje brzo plivanje u kratkim naletima. Osim toga mnoge životinje, uz već spomenutu leđno-trbušnu spljoštenost, imaju velike bočno položene noge s kojima mogu puzati uz dno i pridržavati se uz podlogu (Ephemeroptera; npr. rod *Ecdyonurus*). Neki imaju stražnje nastavke (npr. cerci kod ličinki vodencvjetova i obalčara) koji im služe kao kormilo, brzo se pomičući gore dolje. Neke ličinke tulara iz istog razloga ugrađuju duge grančice u svoje kućice (Trichoptera; npr. rod *Anabolia*) (Slika 2).

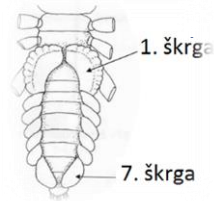


Slika 2. Kućica tulara roda *Anabolia* s ugrađenim dugim grančicama.

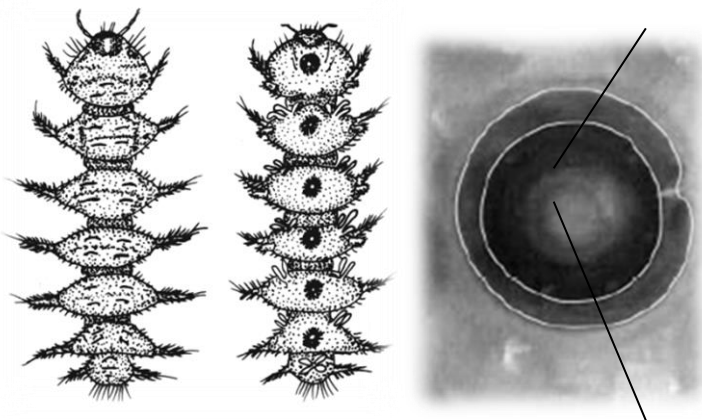
3) Organi za pričvršćivanje za podlogu mogu biti različiti: kukice, prijanjalke, pandice itd. Prijanjalke mogu biti različite, na primjer, kod ličinki nekih vodencvjetova (Ephemeroptera; rod *Ephemerella*) na trbušnoj strani zatka nalazi se prijanjalka građena od dlačica kojima se prihvaćaju za podlogu ili vijenac škrge na zatku ima funkciju prijanjalke (Ephemeroptera;

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

rod *Rhithrogena*) (Slika 3). Ličinke porodice *Simuliidae* (Diptera) na zatku imaju vijenac kukica uz pomoć kojega se prihvate za jastučić sekreta koji izluče i zalijepe za podlogu, dok ličinke porodice *Blephariceridae* (Diptera) na trbušnoj strani tjelesnih kolutića imaju po jednu prijanjalku koja stvara vakuum (Slika 4). Ličinke većine vrsta tulara imaju snažne analne pandžice kojima se prihvaćaju za unutrašnjost kućice ili za podlogu (slobodnoživuće), dok većina ličinaka vodenih kukaca ima razvijene tarzalne pandžice za prihvaćanje na podlogu. Također, kod mnogih je životinja prisutno lučenje različitog sekreta ili sluzi, što im omogućava ili poboljšava prihvaćanje za podlogu (npr. puževi, ličinke tulara, ličinke dvokrilaca).



Slika 3. Vodencvijet roda *Rhithrogena* s leđne (a) i trbušne (b) strane tijela, gdje tvori vijenac škrga kojim prijanja uz podlogu.



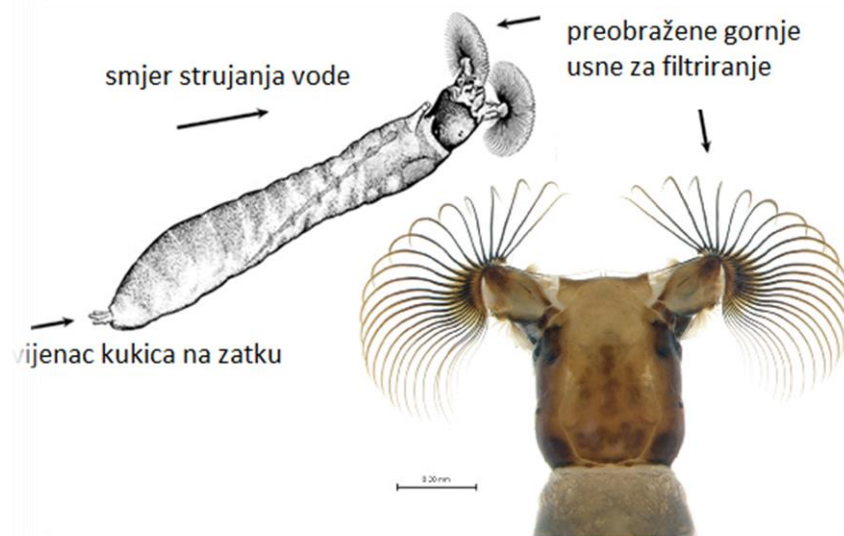
Slika 4. Ličinka dvokrilca roda *Liponeura* s leđne (a) i trbušne strane tijela (b) s prijanjalkama te s povećanom prijanjalkom koja je prihvaćena za podlogu poput vakuum sisaljke (c).

4) Balast. Mnoge vrste tulara koje naseljavaju lotička staništa grade masivne kućice od čestica sedimenta (npr. porodice *Glossosomatidae*, *Goeridae* itd.)

5) Razvijen pokrov finih dlaka po tijelu prisutan je kod mnogih životinja koje se zakopavaju u sediment kako bi izbjegle direktne učinke brzine strujanja vode. Smatra se da im to omogućava da im se za tijelo ne prilijepe fine čestice sedimenta.

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

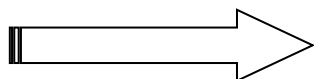
6) Prilagodbe vezane uz prehranu omogućavaju životinjama da za hranu iskoristavaju čestice koje se nalaze u struji vode. Ove prilagodbe mogu biti različite, obično se sastoje od morfoloških prilagodbi, ali i niza prilagodbi u ponašanju, a prisutne su kod različitih životinja. Na primjer, ličinke porodice Simuliidae (Diptera) imaju modificiranu gornju usnu u boliku lebeze dlačica pomoću kojih filtriraju hranjive čestice iz vode (Slika 5). Ličinke nekih kukaca imaju povećanu dužinu ili količinu dlaka pomoću kojih filtriraju vodu, kao što su neke vrste tulara roda *Brachycentrus* koji imaju dlake na nogama uz pomoć kojih u specifičnom položaju nogu filtriraju vodu, a neke vrste roda *Drusus* dlake imaju i na glavi. Neke vrste tulara iz porodice Hydropsychidae grade mrežice koje im služe za filtriranje krupnijih čestica organske tvari kojima se ove vrste hrane.



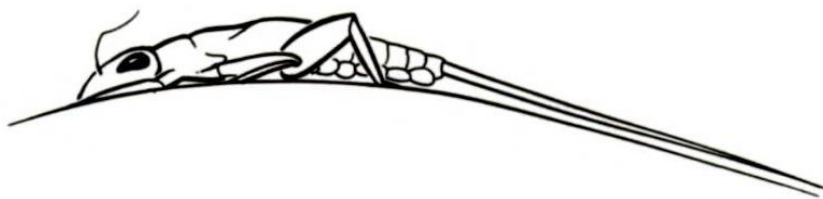
Slika 5. Položaj ličinke dvokrilca roda *Simulium* u brzom strujanju vode (a) i glava s lepezom gornjih usana (b) za filtraciju hranjivih čestica.

Etološke prilagodbe možemo podijeliti na sljedeće:

- 1) Puzanje uz dno; iako je sama hidrodinamika i kretanje životinja u staništima s velikim brzinama strujanja vrlo složena pojava, smatra se da je usko povezano uz nastojanje životinja da budu što bliže podlozi, odnosno slojevima s manjom brzinom strujanja.
- 2) Drift je pojava otplavlivanja životinja strujom vode. Razlikujemo pasivni drift (slučajno otplavlivanje) i aktivni drift (životinje se namjerno otplavljaju – na taj način koloniziraju druga staništa, izbjegavaju pritisak predatora, kompeticiju itd.).
- 3) Pozitivna reotaksija ili kretanje prema struji vode, posebno je važno kod životinja koje često ulaze u drift, a nemaju kopnene stadije (kao što ih imaju mnogi vodeni kukci) koji bi mogli ponovo kolonizirati uzvodna staništa. Kretanje uz podlogu prema struji vode izrazito je kod vodencvjetova roda *Rhithrogena* (Slika 6).

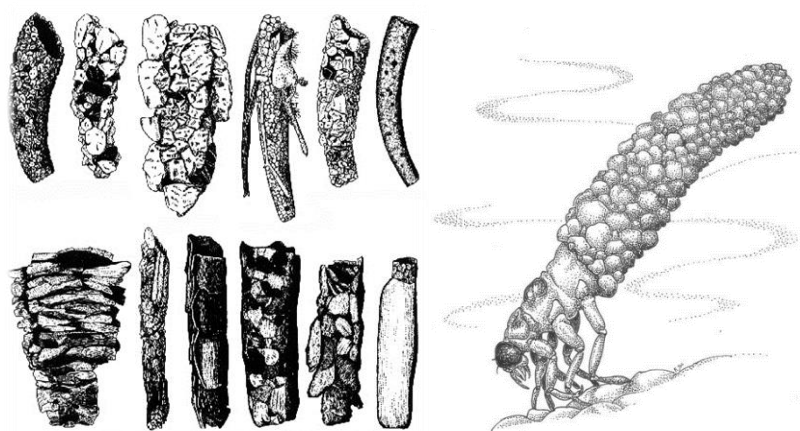


Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa



Slika 6. Položaj tijela ličinke vodencvijeta roda *Rhithrogena* u struji vode.

4) Gradnja mrežica i kućica za lov prisutna je kod različitih kukaca. Najveći broj vrsta tulara gradi kućice (Slika 7), neke vrste (npr. porodice Hydropsychidae) grade mrežice kojima filtriraju vodu, dok neke vrste (npr. porodica Psychomyiidae) grade mekane cjevaste tvorevine koje pričvršćuju za podlogu. Slične cjevaste tvorevine grade i ličinke dvokrilaca porodice Chironomidae.



Slika 7. A) Kućice tulara (Trichoptera) različitih oblika, izgrađene od različitih materijala; B) položaj ličinke tulara s kućicom u brzj struji vode.

5) Zakopavanje u sediment kod nekih je životinja prisutno kao trajna strategija izbjegavanja brze struje vode, dok je kod nekih prisutno povremeno. Također, mnoge životinje imaju strategiju skrivanja ispod kamenja kako bi izbjegle brzu struju vode.

B) Prilagodbe na planktonski način života

Životno područje slobodne vode u slatkim vodama nazivamo limnion. Plankton je zajednica slobodne vode, tj. skupina organizama koji slobodno lebde ili plutaju u stupcu vode i čije kretanje prvenstveno ovisi o vodenim strujama. Iako su se mnogi od njih sposobni slabo aktivno i vertikalno gibati, zbog svojih malih dimenzija ne mogu se oduprijeti kretanju vodenim strujama i valovima. S obzirom na trofičku ulogu planktona, dijelimo ga na fitoplankton, zooplankton i bakterioplankton. U kategoriju fitoplanktona ubrajamo fotosintetske organizme koji su toliko mnogobrojni i produktivni da su odgovorni za stvaranje više kisika na Zemlji od svih drugih primarnih proizvođača zajedno. Zooplankton ubrajamo u konzumente planktona tj. u faunu koja se hrani drugim planktonom za dobivanje energije i hranjivih tvari koje su im potrebne za preživljavanje. Bakterioplankton pripada čistačima planktona, među kojima su slobodnoplutajuće bakterije i skupina Archaea, koje služe za obaranje i recikliranje otpadnih tvari u morima i oceanima. Ovisno o tome provode li cijeli svoj život u planktonu ili samo tijekom jednog dijela

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

životnog ciklusa (najčešće u ličinačkom stadiju), organizme dijelimo na holoplankton i meroplankton.

Prilagodbe planktona ovisne su o tome koji prostor slobodne vode organizmi naseljavaju. Načelno i fitoplanktonu i zooplanktonu je potrebna svjetlost. Fitoplanktonu kako bi mogao fotosintetizirati, a zooplanktonu je potreban fitoplankton kako bi se njime hranio, premda se mnogi od njih hrane drugim predstavnicima zooplanktona, pa čak i ribama. Većinom su to prozirni, gotovo prostim okom nevidljivi organizmi, iako među njima ima i pravih golijata (neke meduze mogu doseći dimenzije od 1 m). Tipična prilagodba na planktonski način života je povećanje površine i smanjenje gustoće tijela kako bi reducirali tonjenje. Primarno i dominantno plankton je prepušten na milost i nemilost vodenim strujama i valovima, no mnogi od njih imaju različite specifične prilagodbe kako bi spriječili potonuće. Možemo ih podijeliti u tri osnovne kategorije prilagodbi:

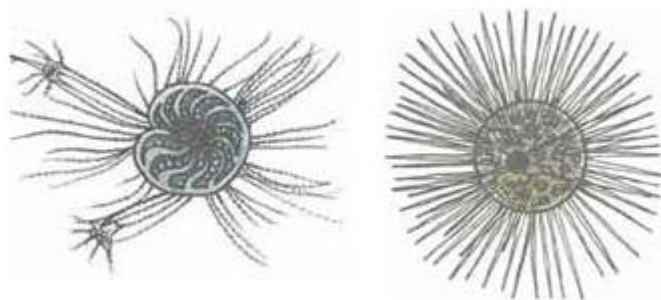
1) Prilagodbe koje omogućavaju smanjenje specifične težine tijela su prilagodbe kojima organizmi postižu manju gustoću tijela od okolne vode, čime su uspješniji u plutanju u stupcu vode:

a) povećana količina vode u organizmu izrazito je velika kod meduza, koje imaju čak 98% vode u tijelu, čime se gustoća njihovog tijela izjednačava s okolnim prostorom i time smanjuje utjecaj gravitacije i tonjenje;

b) redukcija skeleta ugradnjom želatinoznih uklopina koje podupiru tijelo (Scyphozoa, Hydrozoa, Siphonophora, Ctenophora, Chetognatha i Tunicata), krednjaci (Foraminifera) luče reducirani skelet od fino strukturiranih kanalića kalcij-karbonata, dok zrakaši (Radiolaria) imaju izrazito ornamentirani i reducirani skelet od silicija (Slika 8);

c) uklopine masti i ulja imaju mnogi mikroskopski račići, koje osim što reduciraju tonjenje, predstavljaju i vrlo važne rezerve hrane;

d) spremnike mjehurića plina su prisutni kod predstavnika Siphonophora (rod *Physallia*), Cephalopoda (rodovi *Nautilus* i *Argonauta*, koji mogu „zaroniti“ čak 500 m), ali i kod slatkovodnih ličinki kukaca (ličinka dvokrilca *Corethra*) koje su izraziti predatori planktona (Slika 9). Predstavnici skupine Siphonophora imaju tzv. pneumatofore (zračne jastučice), koje imaju funkciju smanjenja specifične težine tijela. Plin osim što smanjuje njihovu sedimentaciju, služi i kao regulator za vertikalno migriranje.



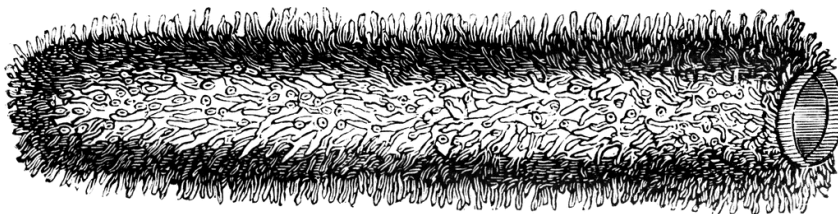
Slika 8. Ornamentirani i reducirani skelet a) krednjaka (Foraminifera) i b) zrakaša (Radiolaria).

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa



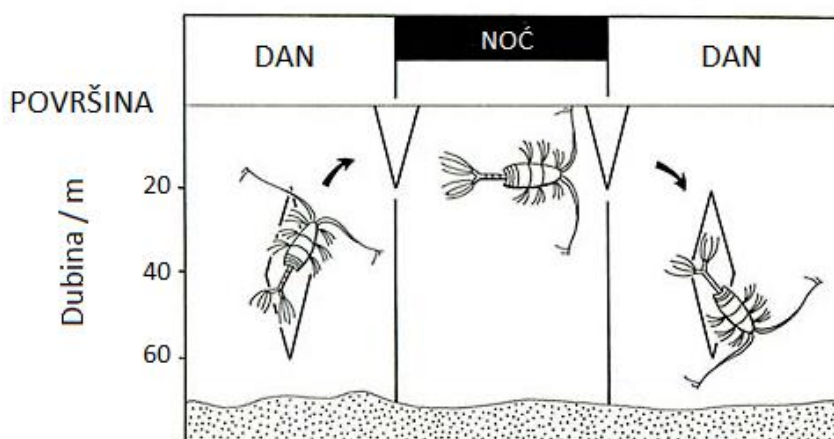
Slika 9. Ličinka dvokrilca roda *Corethra*, predator u planktonu.

2) Prilagodbe koje omogućavaju povećanje površine tijela u odnosu na volumen ili povećanje otpora vodi uz pomoć dugih tjelesnih nastavaka i specifičnog oblika tijela, što znači da će se na taj način još sporije kretati. To ostvaruju i pomoću trnova na površini tijela, spljoštenim tijelom, izrazito dugim nastavcima tijela i povezujući se u kolonije (npr. Tunicata, rodovi *Boltenia* i *Pyrosoma*) (Slika 10). Neke vrste plaštenjaka stvaraju kolonije duge 4 m. Mnogim sićušnim planktonskim organizmima profil tijela nalikuje kuglastim, valjkastim i bodljastim strukturama.



Slika 10. Kolonija plaštenjaka roda *Pyrosoma*.

3) Aktivno gibanje – iako se planktonski organizmi na veće udaljenosti pretežno rasprostranjuju uz pomoć kretanja vodenih masa, oni se ipak aktivno kreću. Plaštenjaci su vrlo uspješni u tome zahvaljujući potisku vode tzv. propulziji kroz usni aparat, dok rakovi veslonošci (Copepoda) imaju dnevno-noćne migracije kako bi izbjegli predatore (po noći su na površini, hrane se, a po danu migriraju u dublje slojeve). Iako su vrlo malih dimenzija, dubine koje prevaljuju su iznenađujuće velike, jer s 40 m dubine u podne izlaze na površinu do sumraka i ponovno se vraćaju na istu dubinu neposredno prije svitanja (Slika 11).



Slika 11. Primjer zakonitosti vertikalne migracije planktona u morima na primjeru veslonožaca (Copepoda).

C) Prilagodbe na život u kopnenim i vodenim podzemnim staništima

Evolucijska perspektiva ekologije podzemnih organizama govori o snažnoj interakciji s okruženjem kao rezultat selekcijskog pritiska i prošlih selekcija putem adaptacija. Svaki

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

organizam koji je na različite načine naselio podzemni okoliš se pod evolucijskim pritiskom optimalno adaptirao na okruženje potpune tame, ali i na čitav niz drugih specifičnih uvjeta kao što su život među česticama pokretnog sedimenta, visoki tlakovi dubokih vodonosnika, uvjeti hipoksije ili anoksije itd. Dinamika i snaga adaptacije na podzemne uvjete života naziva se regresivnom ili reduktivnom evolucijom, a predstavlja ključan put prema obligatnim podzemnim organizmima tj. troglomorfizmu koji se odvijao putem migracije površinskih oblika u podzemna staništa, atrofije i degeneracije organa koji gube svoju funkciju (anoftalmija – nestanak organa vida), kompenzacije u vidu hipertrofije ostalih osjetilnih organa i konačno putem nasljeđa uslijed prijenosa okolišno potaknutih redukcija. Špilje udomljuju začuđujuće raznoliku faunu, od povremenih posjetilaca (troglokseni, koji napuštaju špilju u potrazi za hranom) preko stanovnika koji uspješno žive i u špiljama i izvan njih (troglifili), do onih koji cijeli svoj život provode u podzemlju i imaju posebne prilagodbe na život u podzemnom okolišu (troglobionti).

Prema stupnju morfološke i fiziološke prilagođenosti, ponašanju i ekološkoj povezanosti s podzemnim okolišem, postoje različite klasifikacije podzemnih organizama prema različitim autorima. Najčešće korištena klasifikacija, s obzirom na prisutnost ili odsutnost organizama u špiljama, sastoji se od tri kategorije (prema Schineru iz 1854):

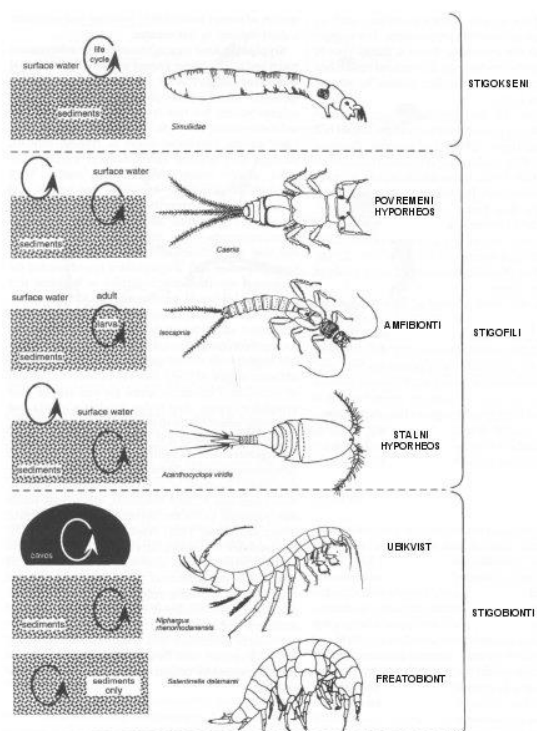
- (1) TROGLOBIONTI su vrste ili populacije bez očiju, depigmentirane i dugih tjelesnih privjesaka, koje stalno žive u špiljama;
- (2) TROGLOFILI naginju na trajno ili povremeno nastanjivanje podzemnih staništa no vezani su za površinu zbog hranjenja ili nekih drugih bioloških potreba;
- (3) TROGLOKSENI su vrste koje se samo sporadično pojavljuju u podzemlju (slučajni prolaznici).

Najčešće korištena klasifikacija podzemnih organizama sastoji se od četiri kategorije (modificirano prema Racovitzi iz 1907):

- (1) TROGLOBIONTI su vrste ili populacije strogo ograničene na život u podzemnim staništima tj. pravi podzemni organizmi, cijeli životni ciklus se odvija u podzemlju, imaju razvijene prilagodbe na podzemni način života;
- (2) EUTROGLOFILI su izvorno nadzemne vrste, no sposobne su održavati stabilne podzemne populacije;
- (3) SUBTROGLOFILI naginju na trajno ili povremeno nastanjivanje podzemnih staništa no vezani su za površinu zbog hranjenja ili nekih drugih bioloških potreba;
- (4) TROGLOKSENI su vrste koje se samo sporadično pojavljuju u podzemlju, odnosno predstavljaju slučajne posjetitelje podzemlja, nisu prilagođeni na podzemlje i ne mogu tamo dulje opstati.

S obzirom na veliku varijabilnost vodenih podzemnih staništa te pripadajuće podzemne vodene faune (stigofauna), klasifikacija vodene podzemne faune *sensu lato* je s prefiksom stigo, no preciznija formulacija organizama s obzirom na njihovu prisutnost ili odsutnost u krškim i poroznim vodonosnicima je mnogo složenija (Slika 12).

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa



Slika 12. Klasifikacija podzemne vodene faune na temelju učestalosti na nekom staništu i afiniteta prema nadzemnim, odnosno podzemnim staništima.

Klasifikacija podzemne vodene faune prema Gibert i sur. (1994) je sljedeća:

STIGOBIONTI su visoko specijalizirani obligatni podzemni vodeni organizmi, široko rasprostranjeni u svim tipovima podzemnih vodenih sustava (krški, porozni i pukotinski), koji povremeno mogu naseljavati vodena staništa blizu površine, kao što su šumski jarci prekriveni otpalim lišćem, gdje se mogu pojavljivati s velikom brojnošću. Ubikvitarni obligatni podzemni vodeni organizmi mogu se pronaći i u špiljama i u aluviju, dok su freatobionti stigobionti ograničeni na život u dubokim podzemnim vodama aluvijalnih vodonosnika (freatičke vode).

STIGOFILI su vodeni organizmi sa značajnim afinitetom prema podzemnim vodama, jer mnogi aktivno iskorištavaju resurse podzemnih voda, ondje aktivno traže zaštitu od nepovoljnih uvjeta u površinskim staništima uslijed biotičkih i/ili abiotičkih procesa. U poroznim vodonosnicima stigofili se dijele u tri kategorije: (a) slučajni hiporeos, (2) amfibionti i (3) stalni hiporeos. Slučajni hiporeos sastoji se od ličinki, osobito vodenih ličinki kukaca većine faune bentosa, a nastanjuje površinski dio intersticijske zone, a samo povremeno zalaze u dublju zonu podzemnih voda (rani stadiji ličinki da bi se zaštitili od predatora, a kasniji stadiji zbog povoljnijih uvjeta). Amfibionti su posebna grupa stigofila koji za potrebe svojeg životnog ciklusa koriste i površinske i podzemne sustave. Mnogi rodovi obalčara (Plecoptera) žive u potpunom mraku duboke hiporeičke zone jednu ili više godine prije povratka u riječni tok i emergencije. Stalni hiporeos sastoji se od mnogih vrsta (nezrelih ili odraslih) iz skupina Nematoda, Oligochaeta, Hydrachnellae, Copepoda, Ostracoda, Cladocera i Tardigrada, koji su prisutni cijeli svoj životni ciklus u cijelosti u podzemnim vodama ili u bentosu tekućica.

STIGOKSENI su organizmi koji nemaju afinitet prema sustavima podzemnih voda, ali se slučajno pojavljuju u špiljama ili aluvijalnim sedimentima. No usprkos tome, stigokseni ipak mogu značajno utjecati na procese u ekosustavima podzemnih voda, igrajući ulogu

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

predatora i plijena. To su npr. ribe i vodozemci u krškim sustavima te planktonski rakovi iz skupina Copepoda i Cladocera, mnogi rakovi i kukci bentosa koji pasivno ulaze u sediment aluvija.

Brojne su morfološko-anatomske i ekološko-fiziološke prilagodbe koje nalazimo kod kopnenih i vodenih podzemnih životinja. Evolucijsko-ekološki putevi koji vode k troglomorfizmu mogu se stoga očitovati kao:

1. MORFOLOŠKE PRILAGODBE

- specijalizacija osjetilnih organa
- produženje tjelesnih privjesaka
- redukcija očiju, pigmenta, krila,...
- redukcija kutikule
- morfološke promjene u građi nogu

2. EKOLOŠKO-FIZIOLOŠKE PRILAGODBE

- usporenje metabolizma
- otpornost na gladovanje
- izostanak ili promjena cirkadijalnog ritma
- smanjenje fekunditeta
- povećanje volumena jaja i smanjenje broja jaja (K strategija)
- produženje životnog vijeka

3. PROMJENE PONAŠANJA

- redukcija agregacijskog ponašanja (Collembola)
- redukcija intraspecifične agregacije
- povećanje osjetljivosti na vibracije (podzemne ribe i vodozemci)

Premda spomenute prilagodbe generalno odražavaju adaptaciju podzemnih organizama na posebne uvjete okoliša kojeg nastanjuju, prilagodbe intersticijske podzemne vodene faune nesumnjivo su specifične i osobite. Razlog tome su specifični uvjeti okruženja. Naime, sediment je pomičan i sastoji se od čestica pijeska i/ili šljunka koje su oble zbog procesa abrazije. Razmaci između čestica sedimenta su obično 30-40% volumena sedimenata, što znači da sam sedimenta time stvara sustav pukotina koje ispunjava podzemna voda, ali i zrak, detritus i organizmi. Najmanje životinje intersticijske zajednice (psamon) koje žive u pjeskovitom sedimentu (psamal), kreću se kroz sediment pomoću filma vode koja okružuje pojedinačne čestice pijeska. Intersticijske životinje stoga moraju imati mnogobrojne specifične prilagodbe kako bi preživjele u jednom od najzahtjevnijih okruženja za život na planetu. Organizmi koji žive u pjeskovitom sedimentu u stanju su preživjeti povremeni utjecaj morskog okoliša i zaslanjivanje sa sporadičnim izmjenama kopnene faze tj. presušivanjem. Prilagodili su se na sljedeći način:

na uske, male prostore – malom veličinom, izduženošću i gipkim tijelom. Oblik tijela može biti vermiforman (crvolik), filiforman (nitast), atenuatan (na vrhovima utanjen) (Nematoda i Oligochaeta). Prisutne su mnogobrojne morfološke aberacije, odnosno odstupanja od uobičajenih značajki svojstvenih nekoj skupini (izduženo tijelo vodengrinje roda *Wandesia*). Kod nekih predstavnika prisutna je povećana aktikulacija tj. člankovitost tijela (Copepoda – Harpacticoida) i dorzoventralna spljoštenost (Chromadoridae, Nematoda)

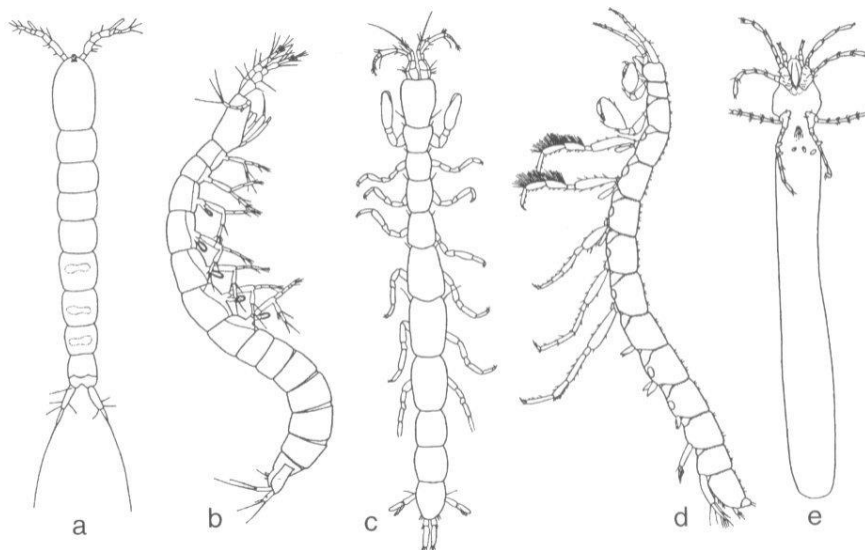
na pokretno okruženje - prianjanjem, posebnim načinom kretanja i ojačanim strukturama na tijelu. Fauna intersticija ima veću kontrolu kretanja. Dijelovi tijela mogu lakše prianjati uz podlogu zahvaljujući ljepljivim žlijezdama (Rotatoria). Povećanje broja dlaka kod predstavnika Gastrotricha, Turbellaria i Gastropoda (Hydroidae) značajno je kao lokomotorno pomagalo. Rastezljivi i ljepljivi tjelesni nastavci važni su za provlačenje tijela

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

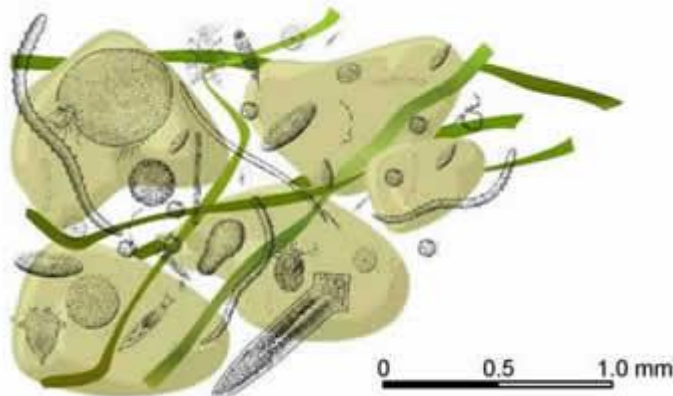
kroz intersticijske prostore (Monobryozoa – nekolonijalni pokretni Bryozoa). Neki su oklopljeni kutikularnim pločama, prstenovima, ljestvama, spikulama i drugim strukturama, pretpostavlja se kao zaštita od mehaničkog pritiska u pomičnom pijesku (*Turbellaria* – *Acanthomacrostomum spiculiferum* i mali morski krastavac *Leptosynapta*).

na trodimenzionalni prostor u stalnoj tami - statičkim organima, smanjenjem pigmenta i očiju. Statični organi (statociste) su dobro razvijeni među intersticijskim oblicima, koji se moraju orijentirati u mraku, s trodimenzionalnim labirintom, dok su oči i pigment tipično reducirani.

Mnogi organizmi koji pripadaju mejofauni intersticija imaju samo jedan ovarij i stvaraju samo jedno ili nekoliko jaja. Spermiji su često u spermatoforama koji mogu biti direktno prenešeni do partnera. Kod nekih postoje i kopulatorni organi (Polychaeta). Hermafroditizam je prisutan kod velikog broja intersticijskih predstavnika. Izravni razvoj bez slobodno plivajuće ličinke, kratko vrijeme odrastanja, izvaljivanje dobro razvijenog potomstva (juvenilnih jedinki koje su potpuno različite od ličinki), viviparnost, roditeljska zaštita jaja, pa čak i potomstva i partenogeneza. Prisutni su i specijalni mehanizmi dormancije koji povećavaju mogućnost preživljavanja tijekom nepovoljnih uvjeta (isušivanja, prekomjernog zagrijavanja ili hlađenja). To je osobito dobro razvijeno kod slatkovodnih predstavnika skupina Tardigrada i Nematoda.



Slika 13. Predstavnik intersticijske vodene faune tipično izduženog oblika tijela: a) *Parastenocaris* (Harpacticoida), b) *Leptobathynella* (Bathynellacea), c) *Microcerberus* (Isopoda), d) *Ingolfiella* (Amphipoda) i e) *Wandesia* (Hydrachnellae).



Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

Slika 14. Vermiformna, meka i savitljiva tijela intersticijske faune omogućavaju im nesmetano savijanje u međuprostorima zrnaca pijeska.

Vježba 16: PRILAGODBE NA PLANKTONSKI NAČIN ŽIVOTA, BRZINU STRIJANJA VODE I ŽIVOT U PODZEMNIM STANIŠTIMA

Pribor:

- prozirne plastične posudice s faunom makroskopskih beskralješnjaka dna tekućica;
- prozirne plastične posudice s faunom slatkovodnog i morskog planktona;
- prozirne plastične posudice s podzemnom faunom zone intersticija (hiporeička i freatička zona) te špiljskom faunom.

Postupak:

1. Pridružite odgovarajućem broju navedenom na preparatu taksonomski naziv svojte iz ponuđenog popisa i izradite u Vašoj teći tablicu prema navedenom primjeru (Tablica 1).
2. S liste morfoloških prilagodbi odaberite odgovarajuću prilagodbu za promatrani organizam.
3. Svakom promatranom organizmu pridružite odgovarajući tip staništa i pripadajuću zajednicu organizama.

Tablica 1. Primjer popunjavanja tablice na temelju adekvatno odabranih pojmova. Dovrši tablicu!

BROJ	SVOJTA	MORFOLOŠKE PRILAGODBE	STANIŠTE / ZAJEDNICA
1	<i>Ancylus fluviatilis</i> (Gastropoda)	hidrodinamičan oblik tijela, sluz za prihvaćanje na podlogu	lotička staništa/ makrozoobentos
2	<i>Gammarus fossarum</i> (Amphipoda)	bočna spljoštenost	lotička staništa, (ispod kamenja u brzoj struji vode)/

Pitanja:

Koju prilagodbu ima ličinka dvokrilca roda *Liponeura* kako bi se oduprijela brzoj struji vode?

Koje materijale koriste ličinke tulara koje žive u brzoj struji vode za gradnju svoje kućice?

Koja je ključna razlika podzemne faune koja nastanjuje intersticijska staništa i kavernikolne faune?

Zašto morski planktonski rakušci imaju sferičan oblik tijela?

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

Tablica 2. Podaci s popisom svojti, morfološkim prilagodbama, tipovima staništa i zajednica koje je potrebno međusobno povezati.

POPIS SVOJTI:	MORFOLOŠKE PRILAGODBE	STANIŠTE	ZAJEDNICA
AMPHIBIA, CAUDATA, PROTEIDAE, <i>Proteus anguinus</i>	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, duge noge, duge antene	lotička staništa	fauna intersticija
AMPHIPODA, <i>Gammarus fossarum</i>	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izdužene noge i ticala, osjetne dlake	lotička staništa, (ispod kamenja u brzjoj struji vode)	hiporeos kavernikolna fauna
AMPHIPODA, <i>Hommarus gammarus</i>	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	lotička staništa, (potoci i rijeke s valutičastim dnom)	makrozoobentos
AMPHIPODA, Hyperiidae	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	lotička staništa, (potoci i rijeke s valutičastim dnom)	morski plankton
AMPHIPODA, Niphargidae, <i>Niphargus</i>	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	lotička staništa, (potoci s valutičastim dnom i brzom strujom vode)	slatkovodni plankton
COLEOPTERA, Leptodirinae, <i>Parapropus</i>	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	lotička staništa, (gornji tok potoka i rijeka)	
COPEPODA, Cyclopoida	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	lotička staništa, (brzice, slapišta)	
COPEPODA, Calanoida	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	Intersticij	
<i>Craspedacusta sowerbyi</i> , Limnomedusae	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	hiporeičke zone	
DECAPODA, ličinke	anoftalmija, depigmentiranost ekzoskeleta, izduženo tijelo, osjetne dlake	Špiljska jezera	
<i>Ecdyonurus</i> , <i>Rhithrogena</i> (EPHEMEROPTERA) - ličinke vodencvjetova	redukcija skeleta		
GASTROPODA, Hydrobiidae	redukcija skeleta, povećana količina vode (smanjenje		
GASTROPODA, <i>Ancylus fluviatilis</i>	redukcija skeleta, povećana količina vode (smanjenje		
Glossosomatidae, Limnephilidae (<i>Potamophylax</i> sp.), <i>Odontocerum albicorne</i> (TRICHOPTERA) - ličinke tulara	redukcija skeleta, povećana količina vode (smanjenje		

Prilagodbe životinja na specifične uvjete staništa

HYDRACHNELLAE Ličinke riba <i>Liponeura</i> (DIPTERA) - ličinka + kukuljica dvokrilca	specifične težine tijela), okrugli oblik, nastavci (povećanje površine tijela u odnosu na volumen)	Špilje	
<i>Nemoura</i> , <i>Perla</i> (PLECOPTERA) – ličinke obalčara	redukcija skeleta, povećanje površine tijela		
<i>Simulium</i> , Simulidae (DIPTERA) - ličinka dvokrilca	redukcija veličine kućice, dlake na površini kućice, depigmentacija		

Literatura:

Boulton, A. 2000. The Subsurface Macrofauna. U: Jones, J.B., Mulholland, P.J. Streams and Ground Waters. Academic Press, London, str. 337-361.

Hynes, H.B.N. 1972. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press, Liverpool, str. 1-554.

Danielopol, D.L., Creuzé des Châtelliers, M., Moeszlacher, F., Pospisil, P., Popa, R. 1994. Adaptation of Crustacea to Interstitial Habitats: A Practical Agenda for Ecological Studies. U: Gibert, J., Danielopol, D.L., Stanford, J.A. Groundwater Ecology. Academic Press, San Diego, str. 217-243.

Moss, B. 2010. Ecology of Freshwaters. A view for the twenty-first century. Wiley - Blackwell, Chichester, str. 470.

Ternjej, I., Brigić, A., Gottstein, S., Ivković, M., Mihaljević, Z., Previšić, A. i Kerovec, M., 2019: Terenske i laboratorijske vježbe i statističke metode u ekologiji. Ur: , Školska knjiga d.d. i Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, Zagreb, str. 413.

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

