

OSNOVE EKOLOGIJE

Sveučilišni udžbenik za studente veterinarske medicine



ĐURO HUBER

TOMISLAV GOMERČIĆ

JOSIP KUSAK

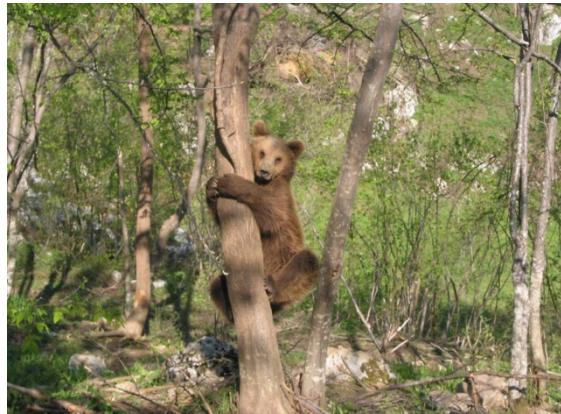
UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS



ĐURO HUBER
TOMISLAV GOMERČIĆ
JOSIP KUSAK

OSNOVE EKOLOGIJE

Sveučilišni udžbenik za studente veterinarske medicine



Veterinarski fakultet
Sveučilišta u Zagrebu
Zagreb, 2015.



Urednik

prof. dr. sc. Đuro Huber

Autori

prof. dr. sc. Đuro Huber

doc. dr. sc. Tomislav Gomerčić

prof. dr. sc. Josip Kusak

Recenzenti

prof. dr. sc. Ksenija Vlahović

prof. dr. sc. Jure Jerčić

prof. dr. sc- Radovan Erben

Grafički urednik

doc. dr. sc. Tomislav Gomerčić

Lektorica

Mirta Jambrović, prof.

Sveučilišni udžbenik za područje Ekologije na Veterinarskom fakultetu u okviru redovitog predmeta Zoologija na studijskom programu integriranog preddiplomskog i diplomskog studija Veterinarske medicine Sveučilišta u Zagrebu.

Senat Sveučilišta u Zagrebu, na prijedlog svog Povjerenstva za sveučilišno-nastavnu literaturu, donio je na sjednici održanoj 21. srpnja 2015. godine odluku (ur. broj: 380-061/252-15-6) da se ovom udžbeniku odobri korištenje naziva sveučilišni udžbenik (*Manualia universitatis studiorum Zagrabiensis*)

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 000912922

ISBN 978-953-8006-03-6

Predgovor

Ovaj sveučilišni udžbenik je studensko štivo namijenjen predmetu Zoologija. Redoviti predmet Zoologija, predaje se na prvoj godini integriranog prediplomskog i diplomskog sveučilišnog studija veterinarske medicine na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Unutar navedenog predmeta Zoologija, udžbenik obuhvaća metodske jedinice osnovnih znanja iz područja Ekologije važnih za studente veterinarske medicine, a koja su obuhvaćena nastavnim planovima i programima. Autori su se prihvatali zadatka da obimnu i nadasve složenu materiju objasne na prihvatljiv i potpuno razumljiv način, uvodeći studenta postepeno od temeljnih znanja ekologije, ka pojedinim specifičnim znanjima navedenog područja.

Udžbenik omogućuje nastavniku da skoro u potpunosti ostvari ciljeve postavljenje okvirnim nastavnim planom i programom navedenog predmeta. Rukopis potiče aktivno učenje i razmatranje esencijalne znanosti koja može prepoznati prirodu globalnih promjena u životnoj sredini, ali istovremeno i izdvojiti sredstva i mјere koje mogu dovesti do neutraliziranja i ublažavanja posljedica, odnosno do obnove i oporavka prirodnih ekosustava. Udžbenik u potpunosti otvara mogućnost za produktivno učenje u skladu sa spoznajnim sposobnostima studenata prve godine studija. Dokazuje se kao funkcionalno komunikativno sredstvo u nastavi, a ovakav udžbenik je primarni izvor znanja.

Autori su ovu sofisticiranu građu jednim pristupačnim stilom uspjeli približiti širokom auditoriju, kolega veterinara, kao i studentima na dodiplomskim i postdiplomskom studiju. S druge strane ostali nastavnici i suradnici dobiti će rukopis koji će im olakšati nastavu i praktične vježbe.

Knjiga je prvenstveno namijenjena onim stručnjacima iz veterine koji se bave ekološkim pitanjima. Međutim, kako je biologija, posebno osnove ekologije, povezana sa svim područjima veterine ona će biti vrlo značajna za sve profile studenata na dodiplomskom studiju kao i na postdiplomskoj nastavi iz drugih područja veterine te je toplo preporučujem zainteresiranim čitateljima.

Recenzentica sveučilišnog udžbenika
Prof. dr. sc. Ksenija Vlahović

Sadržaj

1	Uvod	5
1.1	Ekologija kao jedno od područja biologije.....	7
2	Definicije osnovnih pojmoveva u ekologiji.....	8
3	Biosfera.....	10
4	Producija i razgradnja biomase	12
5	Prehrambeni lanci i ekološke piramide	15
6	Podjela i pregled ekoloških činitelja.....	22
6.1	Abiotički činitelji.....	24
6.1.1	Ugljik, kisik, vodik	24
6.1.2	Dušik.....	25
6.1.3	Fosfor.....	26
6.1.4	Svjetlost	27
6.1.5	Toplina	32
6.1.6	Voda	38
6.1.7	pH (koncentracija vodikovih iona)	40
6.1.8	Tlak.....	40
6.2	Biotički činitelji.....	41
6.2.1	Abundancija (brojnost, gustoća, obilnost, biomasa) organizama	41
6.2.2	Prostorni raspored (dominacija, socijabilnost i životni prostor).....	44
6.2.3	Natalitet	48
6.2.4	Mortalitet	50
6.2.5	Uzrasna struktura.....	51
6.2.6	Biotički potencijal.....	53
6.2.7	Dinamika populacije.....	54
6.2.8	Interakcije (intraspecijske i interspecijske)	60
7	Sukcesija biocenoza	65
8	Biomi	70
8.1	Akvatički sustavi	70
8.2	Terestički biomi	73
8.2.1	Tropske vlažne šume	73
8.2.2	Vlažne bjelogorične šume umjerenog pojasa	74
8.2.3	Bjelogorične šume umjerenog pojasa.....	75
8.2.4	Tajga (sjeverna crnogorična šuma).....	77
8.2.5	Tundra.....	79
8.2.6	Travnjaci	81

8.2.7	Makija (Chaparral)	84
8.2.8	Pustinje	85
8.2.9	Područja ekotona	86
9	Metode ekoloških istraživanja	88
9.1	Kvalitativne metode.....	88
9.2	Kvantitativne metode.....	88
10	Utjecaji čovjeka na ekološku ravnotežu	89
10.1	Izravni (direktni) utjecaji čovjeka.....	89
10.2	Neizravni (indirektni) utjecaji čovjeka – polucija	90
10.2.1	Visokomolekularni organski spojevi	90
10.2.2	Anorganske tvari.....	94
10.2.3	Suspendirane čestice.....	94
10.2.4	Radioaktivne tvari.....	95
10.2.5	Termopolucija.....	95
10.2.6	Kisele kiše	99
10.2.7	Ozonske rupe	100
10.2.8	Heliopolucija	101
10.2.9	Buka.....	101
11	Dodatna literatura	103
12	Kazalo	105

1 Uvod

Pojam ekologija za ovu znanstvenu disciplinu rabi se od 1869. godine kada ga je njemački biolog (1834-1919) Ernst Haeckel definirao i uporabio. Potječe od grčke riječi „oikos”, koja znači kuća ili dom, ovdje u smislu mesta zajedničkog življenja. Najjednostavnija moguća definicija pojma ekologija jest da ona proučava međuodnose organizama i njihova okoliša, te odnose organizama međusobno. Razumijevanje da postoje složeni odnosi neživog i živog svijeta, kao i među svim vrstama živih organizama, postojalo je i prije nego što je Haeckel dao ime ovoj disciplini. Lijep zabilježeni primjer iskustvenog razumijevanja odnosa u prirodi je pismo indijanskoga poglavice Seattlea iz 1852. godine, napisano predsjedniku Sjedinjenih Država Amerike (Slika 1).



*Slika 1. Poglavica Seattle živio je od oko 1786. do 1866. godine.
Izvor: (<http://www.rozsavage.com/2010/02/16/chief-seattle/>)*

Pismo indijanskoga poglavice Seattlea

Kako možete kupiti ili prodati nebo, toplinu zemlje? Ta ideja nam je strana. Ako mi ne posjedujemo svježinu zraka i bistrinu vode, kako vi to možete kupiti?

Svaki dio te zemlje svet je za moj narod. Svaka sjajna borova iglica, svaka pješčana obala, svaka magla u tamnoj šumi, svaki kukac, sveti su u pamćenju i iskustvu moga naroda. Sokovi koji kolaju kroz drveće nose sjećanje na crvenoga čovjeka.

Mrtvi bijeli ljudi zaboravljaju zemlju svoga rođenja kada odu u šetnju među zvijezdama. Naši mrtvi nikada ne zaboravljaju ovu lijepu zemlju jer je ona majka crvenog čovjeka. Mi smo dio zemlje i ona je dio nas. Mirisavo cvijeće naša je sestra, jelen, konj, veliki orao, svi oni naša su braća. Stjenoviti vrhunci, sočni pašnjaci, topilina tijela ponija i čovjek svi pripadaju istoj obitelji.

Tako, kad Veliki poglavica iz Washingtona šalje glas da želi kupiti našu zemlju, traži previše od nas. Veliki poglavica šalje glas da će nam sačuvati mjesto tako da ćemo mi sami moći živjeti udobno. On će nam biti otac i mi ćemo biti njegova djeca. Mi ćemo razmotriti vašu ponudu da kupite našu zemlju. Ali to neće biti tako lako. Jer ta zemlja je sveta za nas. Ta sjajna voda što teče brzicima i rijekama nije samo voda, već i krv naših predaka. Ako vam prodamo zemlju, morate se sjetiti da je to sveto i morate učiti svoju djecu da je to sveto i da svaki odraz u bistroj vodi jezera priča događaje i sjećanja moga naroda. Žubor vode glas je oca moga oca. Rijeke su naša braća, one nam utazuju žed. Rijeke nose naše kanue i hrane našu djecu. Ako vam prodamo svoju zemlju morate se sjetiti i učiti našu djecu da su rijeke naša braća, i vaša, i morate od sada dati rijekama dobrotu kakvu biste pružili svakome bratu.

Mi znamo da bijeli čovjek ne razumije naš život. Jedan dio zemlje njemu je isti kao i drugi, jer on je stranac koji dođe noću i uzima od zemlje sve što želi. Zemlja nije njegov brat nego njegov neprijatelj i kada je pokori on kreće dalje. On za sobom ostavlja grobove otaca i ne brine se. On otima zemlju od svoje djece i ne brine se. Grobovi njegovih otaca i zemlja što mu djecu rađa zaboravljenu su. Odnosi se prema majci-zemlji i prema bratu-nebu kao prema stvarima što se mogu kupiti, oplaćkati, prodati kao stado ili sjajan nakit. Njegov appetit prožderat će zemlju i ostaviti samo pustoš.

Ne znam. Naš način drugačiji je od vašeg. Izgled vaših gradova boli oči crvenog čovjeka. A možda je to zato što je crveni čovjek divlji i ne razumije. Nema mirnog mjesta u gradovima bijelog čovjeka. Nema mjesta da se čuje otvaranje listova u proljeće ili drhtaj krilaca kukaca. A možda je to jer sam divlji i ne razumijem. Buka jedino djeluje kao uvreda za uši. I što je to život ako čovjek ne može čuti usamljeni krik kozoroga ili noćnu prepirku žaba u bari? Ja sam crveni čovjek i ne razumijem. Indijanac više voli blagi zvuk vjetra kad se poigrava licem moćvare, kao i sam miris vjetra očišćen podnevnom kišom ili namirisan borovinom. Zrak je skupocjen za crvenog čovjeka jer sve živo dijeli jednaki dah - životinja, drvo, čovjek. Bijeli čovjek ne izgleda kao da opaža zrak koji diše. Kao čovjek koji umire mnogo dana on je otputo na smrad. Ali ako vam prodamo našu zemlju morate se sjetiti da je zrak skupocjen za nas, da zrak dijeli svoj duh sa svim životom koji podržava. Vjetar što je mojem djedu dao prvi dah također će prihvati i njegov posljednji uzdah. I ako vam prodamo svoju zemlju, morate je čuvati kao svetinju, kao mjesto gdje će i bijeli čovjek moći doći da okusi vjetar što je zasladden mirisom poljskog cvijeća.

Tako ćemo razmatrati vašu ponudu da kupite našu zemlju. Ako je odlučimo prihvati, postavit ću jedan uvjet: bijeli čovjek mora se odnositi prema životinjama ove zemlje kao prema svojoj braći.

Ja sam divljak i ne razumijem neki drugi način. Vidio sam tisuće raspadajućih bizona u preriji što ih je ostavio bijeli čovjek ustrijelivši ih iz prolazećeg vlaka. Ja sam divljak i ne razumijem kako dimeći željezni konj može biti važniji nego bizon koga mi ubijamo samo da ostanemo živi. Što je čovjek bez životinja? Ako sve životinje odu, čovjek će umrijeti od velike usamljenosti duha. Što god se dogodilo životinjama, ubrzo će se dogoditi i čovjeku. Sve stvari su povezane.

Morate naučiti svoju djecu da je tlo pod njihovim stopama pepeo njihovih djedova. Tako da bi oni poštivali zemlju, recite svojoj djeci da je zemlja s nama u srodstvu. Učite svoju djecu kao što činimo mi s našom, da je zemlja naša majka. Što god snađe nju, snaći će i sinove zemlje. Ako čovjek plije na tlo plije na sebe samoga.

To mi znamo: zemlja ne pripada čovjeku; čovjek pripada zemlji. To mi znamo. Sve stvari povezane su kao krv koja ujedinjuje obitelj. Sve stvari su povezane.

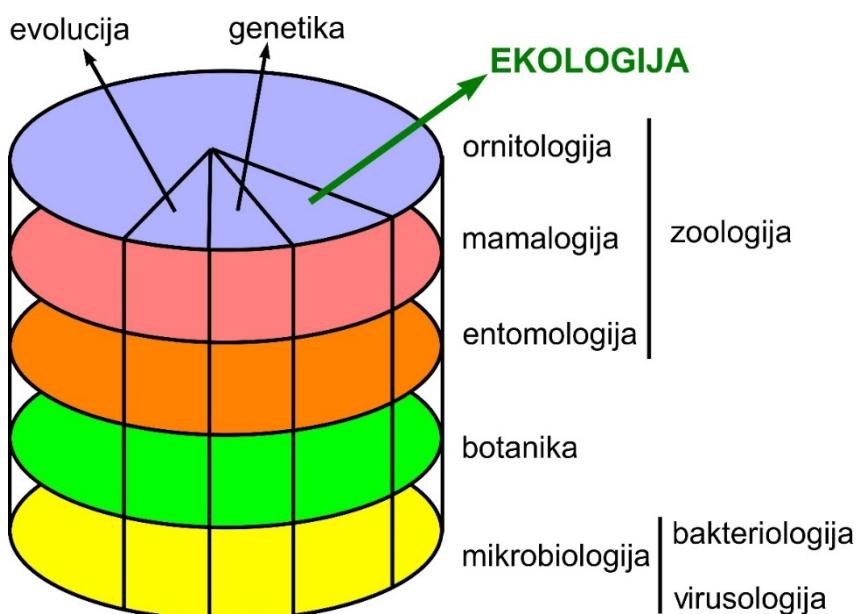
Što god snađe zemlju, snaći će i sinove zemlje. Čovjek ne tka tkivo života; on je samo struk u tome. Što god čini tkanju, čini i sebi samome.

Čak i bijeli čovjek, čiji Bog govori i šeta s njime kao prijatelj s prijateljem, ne može biti izuzet od zajedničke sudsbine. Mi možemo biti braća poslije svega. Vidijet ćemo. Jednu stvar znamo, koju će bijeli čovjek jednog dana otkriti – naš Bog je isti Bog. Vi sada možete misliti da ga vi imate kao što želite imati našu zemlju; ali to ne možete. On je Bog čovjeka i njegova samilost jednak je za crvenoga čovjeka kao i za bijelog. Ta zemlja je draga Njemu i škoditi zemlji jest prezirati njezinog Stvoritelja. Bijeli također trebaju prolaz; možda brže nego sva druga plemena. Zaprijalte svoj krevet i jedne noći ugušit ćete se u vlastitom smeću.

Ali u svojoj propasti svijetlit ćete sjajno, potpaljeni snagom Boga koji vas je donio na tu zemlju i za neku posebnu svrhu dao vam vlast nad njome kao i nad crvenim čovjekom. Sudbina je misterij za nas jer mi ne znamo kad će svi bizoni biti poklani i divlji konji pripitomljeni, tajni kutovi šume teški zbog mirisa mnogih ljudi i pogled na zrele brežuljke zamrljan brbljajućom žicom. Gdje je guštara? Otišao je. Gdje je orao? Otišao je. To je konac življenja i početak borbe za preživljavanje.

1.1 Ekologija kao jedno od područja biologije

Biologija, ili znanost o životu, obuhvaća vrlo različita područja. Osim grube podjele, u smislu glavnih taksonomskih kategorija poput carstava životnih formi, specijalizacija pristupa može ići do razine pojedine vrste. S druge strane, pristup može biti poseban i prema znanstvenoj disciplini, pa se svaku skupinu organizama može istraživati npr. genetički, fiziološki, evolucijski ili razvojno (Slika 2). Tu pripadaju i ekološka istraživanja, s tom razlikom da ona ne mogu biti izdvojena samo na pojedine vrste ili skupine organizama, nego moraju obuhvatiti cijelu zajednicu (biocenozu), kao i nežive (abiotičke) činitelje okoliša. To čini ekološka istraživanja bitno zahtjevnijima i složenijima od istraživanja u ostalih bioloških disciplina. Danas računalna tehnologija omogućuje da se velike i stalno rastuće baze podataka stavljuju u istovremenu obradu i modeliranjem dobivaju novi iskoristivi zaključci. Aktualni primjer su nastojanja predviđanja učinaka klimatskih promjena na zajednice biljaka i životinja u svakom pojedinom području.



Slika 2. Ekologija unutar biologije prikazane poput torte s puno slojeva.

Specifičnost ekologije je da se ona ne može baviti samo pojedinim segmentima, nego mora zahvatiti sve slojeve, uključujući i neživu prirodu.

Izvor: Autori

2 Definicije osnovnih pojmova u ekologiji

Većina u nastavku definiranih pojmova bit će u udžbeniku detaljnije razrađena, a ovdje su dane samo najkraće moguće definicije za potrebe razumijevanja teksta.

Prostorne kategorije poredane od širih i većih do užih i manjih:

Biom – kompleks većeg broja zajednica u jednom klimatskom području

Biociklus – podjela bioma na kopnene (terestričke) i vodene (akvatičke) – morski i slatkovodni

Ekosustav (ekosistem) – „geobiocenoza”; temeljna funkcionalna jedinica u ekologiji, gdje su abiotički i biotički okoliš u funkcionalnoj stabilnosti pri određenoj trofičkoj razini cirkulacije materije

Biotop (stanište) – mjesto s ujednačenim (uniformnim) uvjetima okoliša i pripadajućim prilagođenim (adaptiranim) organizmima

Habitat (stanište) – vanjski okoliš u kojem postoje uvjeti za život neke biljne, životinjske i druge vrste organizama

Mikrohabitat (mikrostanište) – neposredan posebni okoliš nekog organizma

Biocenoza – zajednica svih organizama u biotopu (zoocenoza i fitocenoza)

Funkcionalne kategorije:

Ekološka niša – mjesto i status (uloga) nekog organizma u biotičkom okolišu

Ekološka valencija – relativni stupanj tolerancije na odstupanja uvjeta okoliša od optimuma (podnošljive granice kolebanja pojedinog ekološkog činitelja za preživljavanje neke vrste)

Eurivalentni organizmi – organizmi koji podnose širok raspon odstupanja parametara okoliša (ubikvitarni) od optimalnih vrijednosti

Stenovalentni organizmi – organizmi koji podnose uzak raspon odstupanja parametara okoliša od optimalnih vrijednosti

Primjeri ekoloških valencija za pojedine životne potrebe:

Eurifagne vrste životinja jedu različite vrste hrane, a **stenofagne** samo neke vrste (Slika 3)

Euriterme vrste podnose širok raspon temperature okoliša, a **stenotermne** uži

Euriecione vrste koje mogu živjeti u različitim staništima (pa su zato i „ubikviratne”, odnosno globalne), a **stenoecione** mogu živjeti samo u jednom tipu staništa

Euriomsotske akvatičke vrste životinja podnose širok raspon vrijednosti osmotskog tlaka, te mogu živjeti u morskoj i u slatkoj vodi, a **stenoosmotske** samo u jednom od tih vodenih staništa.



Slika 3. Veliki panda kao primjer stenofagne životinje (izbojci bambusa su mu glavna hrana). Izvor: Autori

Životna forma – skup svih adaptivnih mogućnosti (prilagodbi) neke vrste i njezinih razvojnih stadija, usklađen s uvjetima ekosustava

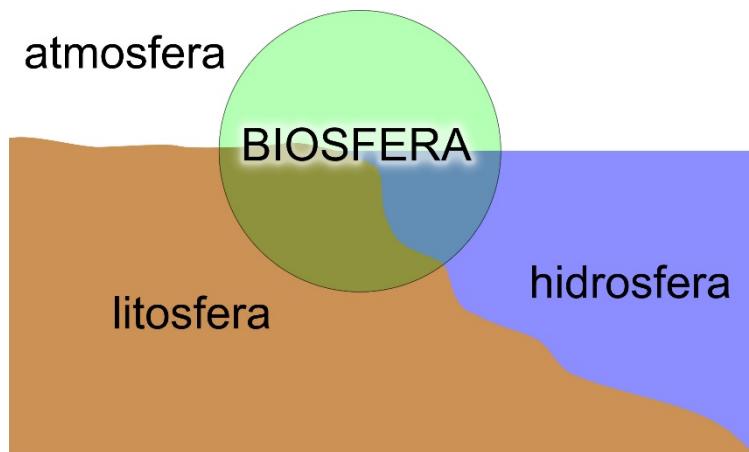
Homeostaza ekosustava – stanje ravnoteže biološkog sustava i njegovo odupiranje promjeni, u kojem su produkcija i razgradnja u dinamičkoj ravnoteži

Koevolucija – evolucija zajednica kroz uzajamnu (recipročnu) selekciju međuovisnih vrsta koje su bliske u prehrambenom lancu.

Biomasa – ukupna živa masa (ili „težina” ako se izražava u kilopondima) organizama u ekosustavu, nekom staništu ili u biosferi)

3 Biosfera

Prostor u kojemu na planetu Zemlji ima života zove se biosfera, a to znači „zona života”. Sastoji se od litosfere kao tvrde Zemljine kore, hidrosfere kao vodenog omotača velikog dijela površine Zemlje i atmosfere kao zračnog omotača (Slika 4).



Slika 4. Biosfera kao sastavnica na tromeđi litosfere, atmosfere i hidrosfere.

Izvor: Autori

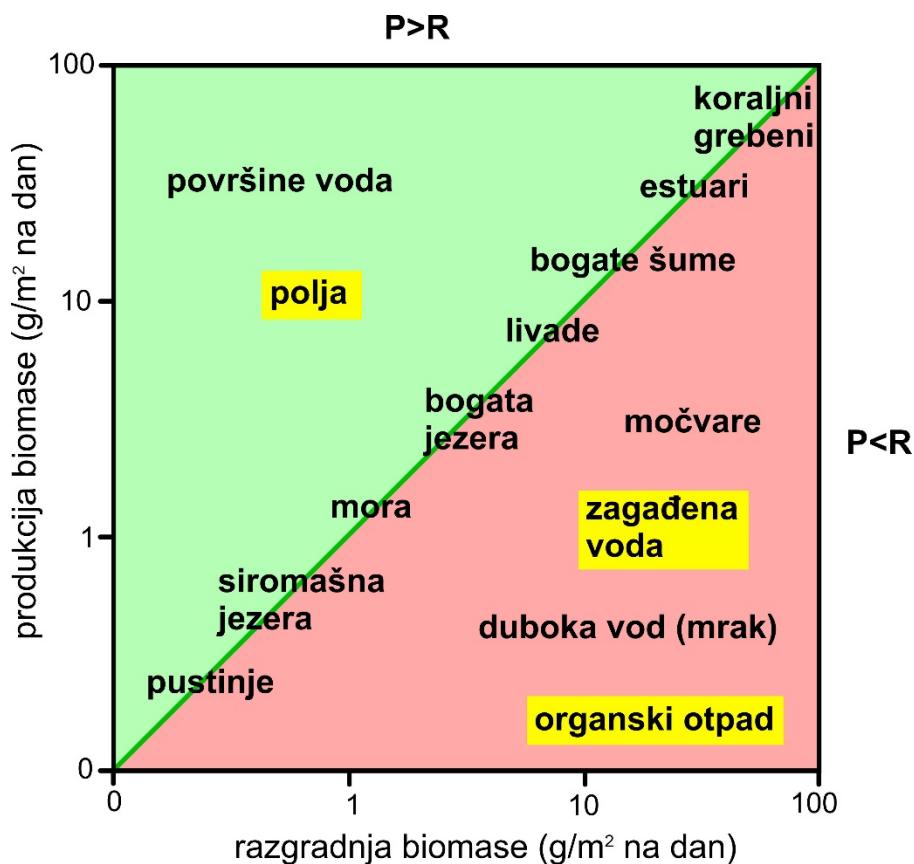
Pri tome treba razumjeti da u litosferi ispod površine tla možemo govoriti o „zoni života” samo do dubine do koje prodire najdublje korijenje pojedinih biljaka, a to do iste dubine prate i druge vrste organizma koji pripadaju ostalim carstvima živih organizama, u prvom redu neke vrste bakterija i gljivica te dio životinjskih vrsta. Iznimka mogu biti razni heterotrofi koji žive u špiljskim sustavima, gdje u potpunom mraku ovise o proizvodnji organske tvari na površini zemlje. Život u hidrosferi proteže se znatno dublje, odnosno ima ga i u najvećim dubinama oceana (10, 911 m u Marijanskoj brazdi), ali je тамо, kao i u špiljama, zbog mraka ovisan o proizvodnji organske tvari na površini vodenog sustava. Za život u atmosferi može se kazati da se proteže od površine kopna u visinu samo toliko koliko su visoka najviša stabla. Mnoge vrste koje mogu letjeti (kukci, ptice) mogu se dići i znatno više od najvišeg drveća, ali to je samo privremeni „odlazak” iz biosfere, jer se neizbjegno moraju spustiti na tlo za obavljanje većine životnih funkcija (u prvom redu zbog hranjenja i reprodukcije).

Izvan područja biosfere, dakle, u načelu nema života. Tako je i koncept „noosfere” (odnosno „sfere uma”), kao umjetnog ambijenta nastalog izvan biosfere djelovanjem čovjeka, napušten. Činjenica da ljudi mogu živjeti u umjetnom ambijentu poput

svemirskog broda to ne mijenja, jer se ondje sve životne potrebe ostvaruju pomoću organskih tvari i plinova donesenih iz biosfere.

4 Producija i razgradnja biomase

U svakom ekosustavu biomasa se stalno proizvodi (P) i razgrađuje (R). Na razini cijelog ekosustava ta dva procesa su u stalnoj dinamičkoj ravnoteži ($P \approx R$) (Slika 5). Odstupanja mogu biti u vremenu, s obzirom na dan i noć ili na godišnje doba i s obzirom na mikrolokalitet u eko sustavu (Slika 6).



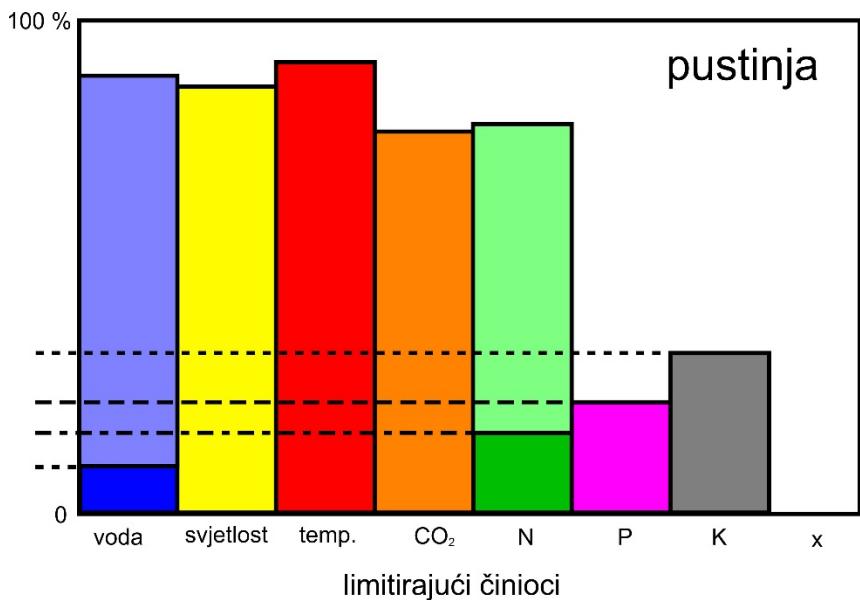
Slika 5. Hipotetski ekosustavi (zeleni kvadrat) različite produktivnosti orijentacijski razmješteni i imenovani na dijagonali, a iznad i ispod dijagonale su primjeri lokaliteta gdje je produkcija manja ili veća od razgradnje (na žutoj podlozi označena su područja na koja se antropogeno utječe). Izvor: Autori



Slika 6. Ušće (delta) rijeke Po u Jadransko more. Estuariji imaju veliku produkciju i razgradnju biomase zbog hranjivih tvari koje nosi rijeka.

Izvor: Autori

Količina proizvedene biomase na nekoj površini i u nekom vremenu ovisi u prvom redu o uvjetima koje pruža neživi okoliš. U tome glavnu ulogu ima proces fotosinteze, a slijede ga ostali koraci u lancu prehrane. Bitno je razumjeti da ukupnu veličinu nastale biomase ne određuju oni činitelji kojih ima u izobilju, nego upravo onaj kojeg ima najmanje (Slika 7). Taj kojeg ima najmanje naziva se ograničavajućim činiteljem („limitirajućim faktorom“), a opisani mehanizam se zove i „pravilo minimuma“. Tako funkcioniра svaki pojedini organizam pa i cijeli ekosustav. Sva poljoprivredna i stočarska proizvodnja temelji svoje proizvodne uspjehe na optimalnom zadovoljavanju ograničavajućih činitelja, odnosno dodavanju onoga što nedostaje.

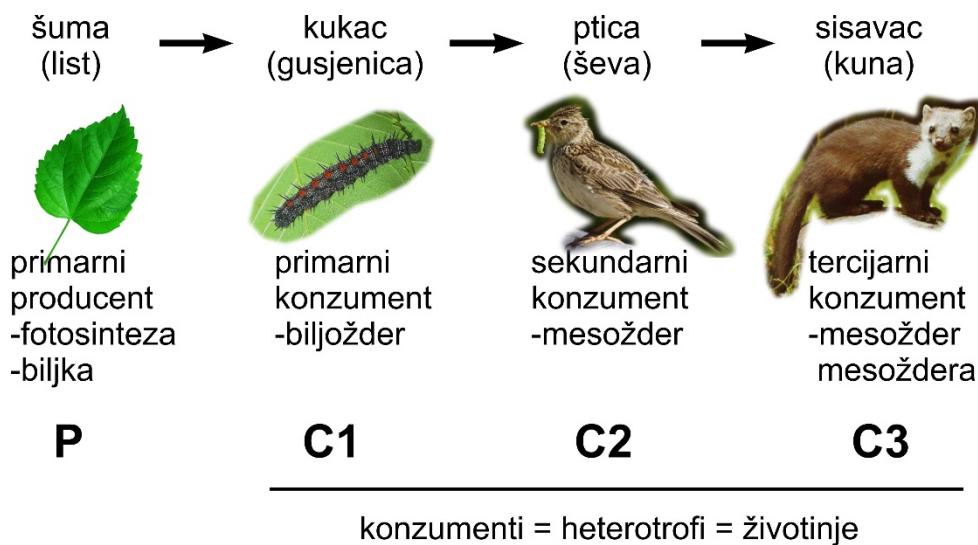


Slika 7. Ograničavajući činitelji za produktivnost biomase. Ako na primjer navodnjavanjem osiguramo obilje vode u nekom suhom i topлом ekosustavu (poput pustinje), u kojem ima mnogo sunčeve svjetlosti, topline i ugljičnog dioksida, ograničenje za ukupnu proizvedenu biomasu mogu postati nedovoljne količine dušika, fosfora, kalija ili nekog drugog sastojka. Izvor: Autori

5 Prehrambeni lanci i ekološke piramide

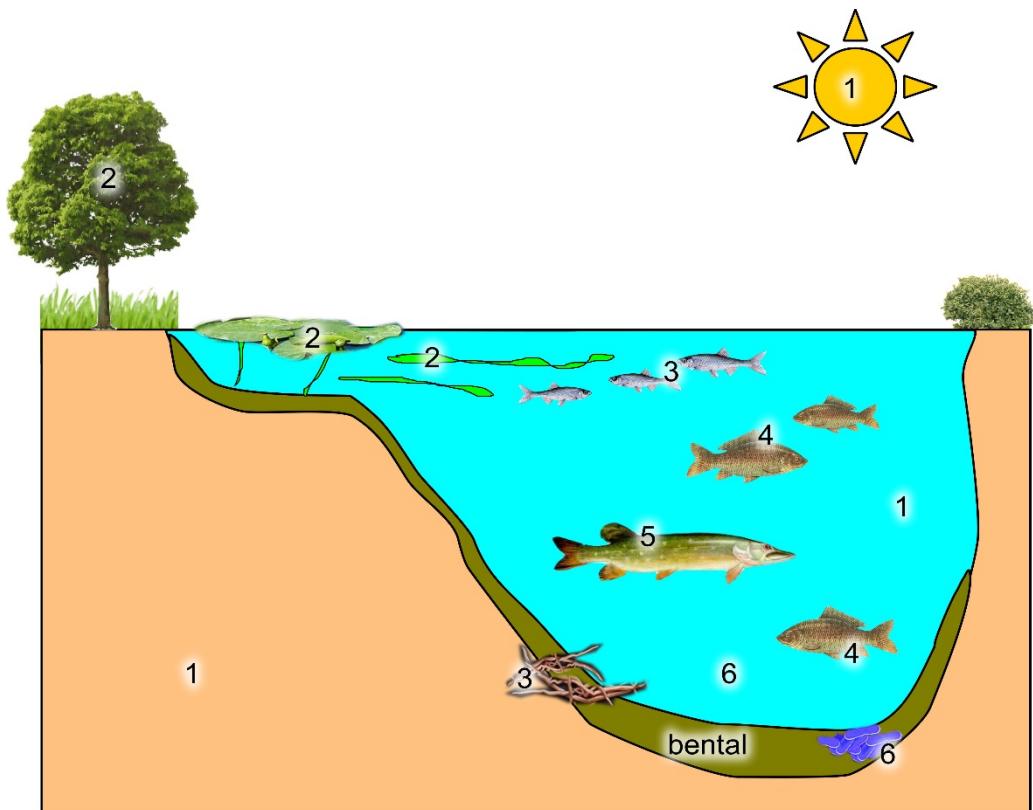
Prehrambeni lanac niz je organizama kroz koji kruži materija i protječe energija (Slika 8). Karike prehrambenog lanca su:

- producenti (autotrofi) – zelene biljke (P)
- konzumenti (heterotrofi): primarni konzumenti (biljožderi ili herbivori) (C1)
- sekundarni konzumenti (primarni karnivori ili mesožderi) (C2)
- tercijarni konzumenti (sekundarni karnivori ili mesožderi mesoždera) (C3)
- saprotrofiti (razgrađivači)



konzumenti = heterotrofi = životinje

Slika 8. Primjer prehrambenog lanca. Izvor: Autori

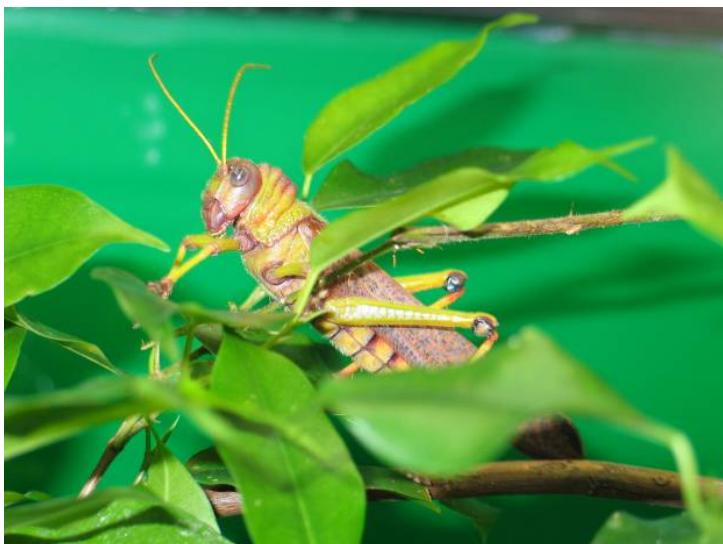


Slika 9. Jezero kao model ekosustava. 1 – abiotički činitelji; 2 – primarni producenti; 3 – primarni konzumenti; 4 – sekundarni konzumenti; 5 – tercijarni konzumenti; 6 – saprofiti: bakterije i gljivice. Izvor: Autori

Usporedba biomase pojedinih kategorija organizama u vodenom sustavu (jezero, Slika 9) i na kopnu (livada) pokazuje da je trenutačna biomasa za poneke kategorije podjednaka, ali i da više važnih skupina ima na kopnu i do sto puta veću biomasu (npr. trava u odnosu na fitoplankton). Ukupno je u ovom primjeru na livadi desetak puta više biomase nego u jezeru (Tablica 1). Ovdje je bitno naglasiti da se procesi u jezeru odvijaju i do 100 puta brže nego na kopnu, odnosno na primjer travi treba 100 dana za količinu biomase koju fitoplankton obnovi za jedan dan, pa je ukupni obrtaj biomase („turnover“) u vodi oko 10 puta veće nego na kopnu. To pokazuje da je potencijal za proizvodnju hrane u vodi (akvakultura) desetak puta veći nego na kopnu.

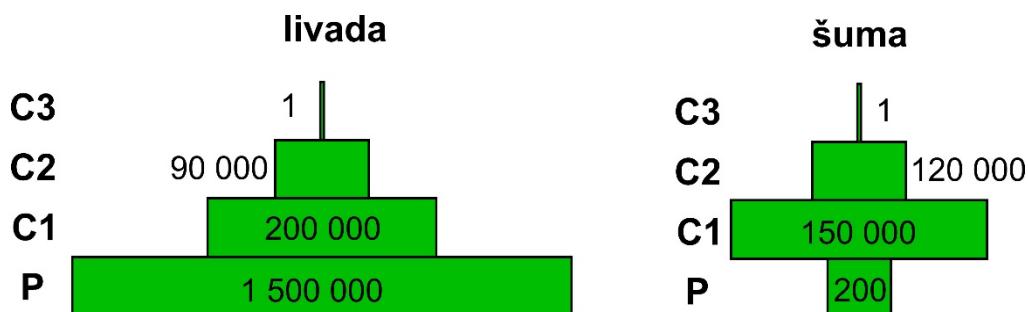
Tablica 1. Usporedba količine biomase u jezeru i na livadi u danom trenutku. Budući da je prijetvor u vodi oko 100 puta brži, onda je i ukupna proizvodnja biomase u vodi oko 10 puta veća.

	Jezero			Livada		
	Skupina	N/m ²	g/m ²	Skupina	N/m ²	g/m ²
Producenti	Fitoplankton	10^{10}	5,0	Trave	10^3	500
Primarni konzumenti	Zooplankton	10^7	0,5	Kukci biljožderi (Slika 10)	10^3	1,0
Sekundarni konzumenti	Kukci, raci, puževi	10^6	4,0	Pauci, kukci mesožderi	10^6	4,0
Veliki konzumenti	Ribe	1	15	Ptice, sisavci	0,01	0,3-15
Saprofagi	Bakterije i gljivice	10^{14}	10	Bakterije i gljivice	10^{15}	100

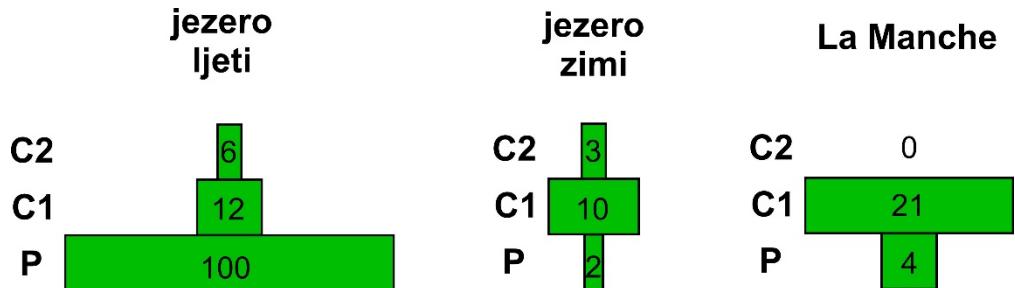


Slika 10. Skakavac kao primjer primarnog konzumenta. Izvor: Autori

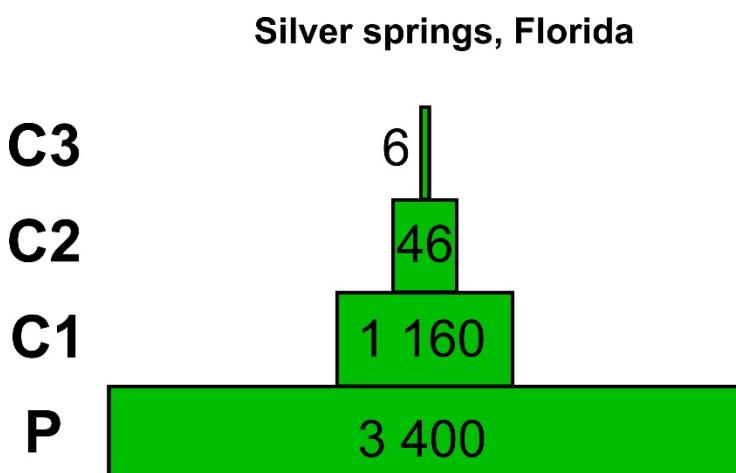
U stvarnim ekosustavima gotovo nikada ne postoje jednosmjerni prehrambeni lanci, nego se kruženje tvari i protok energije odvijaju kroz složenije prehrambene mreže, gdje na svakoj trofičkoj razini nalazimo više predstavnika svake pojedine kategorije. Udio materije i/ili energije na svakoj trofičkoj razini najčešće se prikazuje uz pomoć „ekoloških piramide“ (Slike 11, 12 i 13). U pravilu su u smjeru lanca konzumacije (protoka materije i energije) vrijednosti sve manje, počevši sa širokom bazom piramide na mjestu primarnih producenata (autotrofa), sve do sekundarnih mesoždera na vrhu piramide (heterotrofa). Odvojeno promatramo piramide u kojima pratimo organizme kroz njihove brojeve, njihovu biomasu ili energiju vezanu u organskoj tvari te biomase.



Slika 11. Piramida brojeva (n organizama na 0,1 ha). Lijevo je livada, a desno šuma. Broj organizama se u smjeru trofičkog lanca u načelu smanjuje, a iznimka je kad su autotrofi veliki, poput stabala u šumi. Izvor: Autori



Slika 12. Piramida biomase (g suhe tvari /m²). Biomasa producenata (autotrofa) je veće od biomase konzumenata (heterotrofa). Kao iznimka prikazano je isto jezero zimi kada ispod leda nema fitoplanktona (P). U La Mancheu je proizvodnja biomase producenata (P) manja od biomase konzumenata (C1), a to je moguće jer Golfska struja donosi fitoplankton iz udaljenih toplijih područja. Izvor: Autori

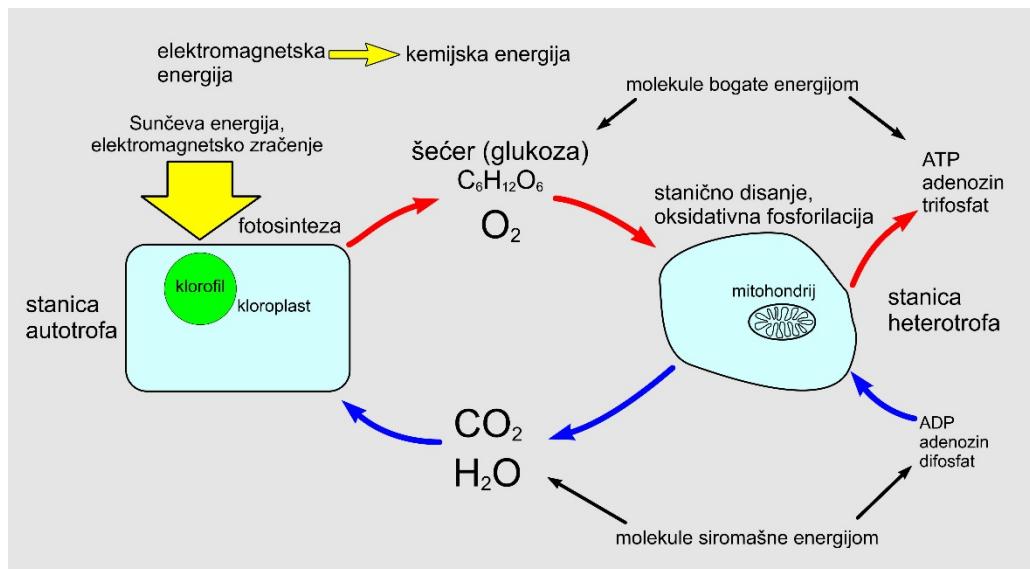


Slika 13. Piramida energije (KJ/m²). Na svakoj idućoj trofičkoj razini energija se gubi u obliku topline prema II zakonu termodinamike (gubici entropijom). Izvor: Autori.

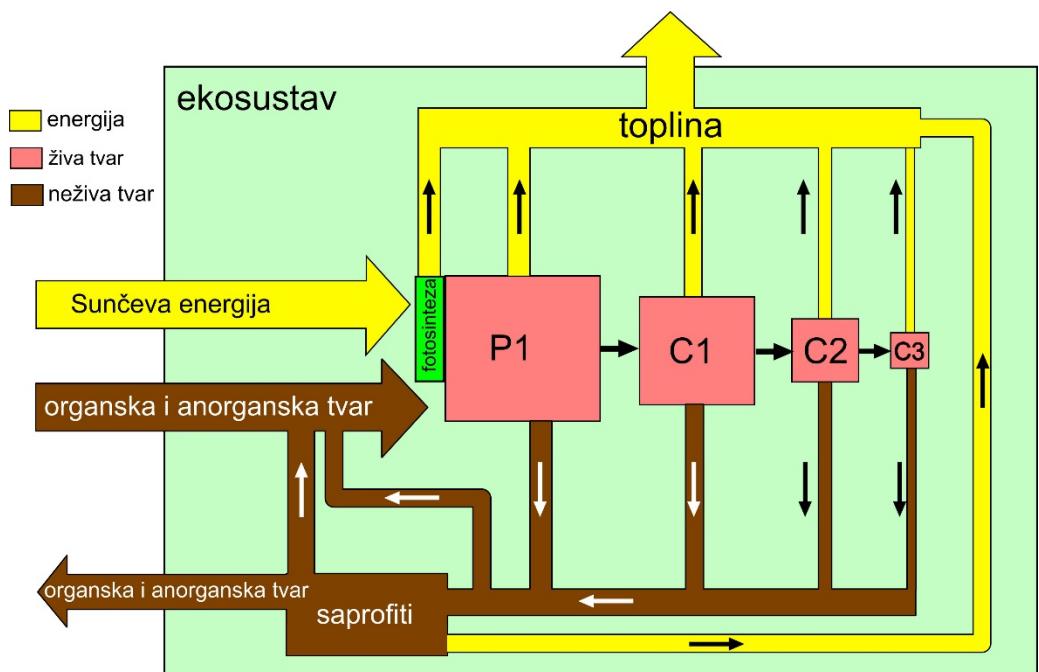
Činjenicu da prijetvor tvari na svakoj trofičkoj razini dovodi do velikih gubitaka biomase i energije u obliku topline treba primjenjivati u prehrani čovječanstva putem strategije skraćivanja lanca, odnosno korištenja biomase bliže bazi prehrambene piramide. Optimalno je jesti autotrofe (biljke), a od heterotrofa izbjegavati one pri vrhu piramide (mesoždere mesoždera).

U svaki sustav energija ulazi putem Sunčeve svjetlosti koja omogućuje proces fotosinteze (Slika 14), ali određene količine energije vezane u organskoj tvari ulaze iz

susjednih ekosustava, bilo vlastitim kretanjem, bilo donesene vjetrom ili vodom. Podjednaka količina organske tvari i napušta sustav na iste načine, a glavni izlaz energije je putem topline. U svakom trofičkom koraku gubi se toplinska energija, a dio organske tvari svakog koraka razgrađuju saprofiti ili ona izravno napušta ekosustav. Sve to dovodi do smanjenja biomase i preostale energije kako se ide prema vrhu ekoloških piramida (Slika 15).



Slika 14. Prijenos i pretvorba energije u živim organizmima. Izvor: Autori



Slika 15. Protok energije i kruženje tvari u ekosustavu. Izvor: Autori

6 Podjela i pregled ekoloških činitelja

Neprekidno cirkuliranje materije i energije u ekosustavu regulirano je činiteljima iz neživog (abiotički činitelji) i živog svijeta (biotički činitelji) (Tablica 2).

U abiotičke činitelje ubrajaju se:

- **sva anorganska tvar**, to jest svi elementi i spojevi koji postoje ili nastaju bez posredovanja živih organizama, odnosno koji su postojali i prije pojave života na planetu Zemlji
- **organska tvar koja se zatekne izvan živih organizama**, a to su bjelančevine (proteini), masti (lipidi), ugljikovodici (karbohidrati), te nukleinske kiseline (DNA i RNA) kojih je manje i ekološki su manje bitne kad su izvan živih organizama
- **fizikalni činitelji** koji posredno određuju klimatski režim kroz parametre poput temperature, svjetlosti, tlaka i vjetra

U biotičke činitelje ubrajaju se svi živi organizmi, koji ujedno predstavljaju i ukupnu biomasu (masu živih organizama) planeta Zemlje. S obzirom na ekološku ulogu dijelimo ih na:

- **producente** (autotrofe), to su zelene biljke, koje putem procesa fotosinteze (Slika 14) od anorganske proizvode organsku tvar i tako izravno prevode neživu tvar u žive organizme
- **heterotrofe biofage** koji se hrane živim organizmima. To su makrokonzumenti koji jedu biljke (C1), meso biljoždera (C2) ili meso mesoždera (C3)
- **heterotrofe saprofage** koji jedu, odnosno razlažu organsku tvar do anorganske tvari. To su mikrokonzumenti među kojima dominiraju bakterije i gljivice (Slika 16).

Tablica 2. Podjela ekoloških činitelja na abiotičke i biotičke (materija i energija stalno kruže između tih dviju skupina ekoloških činitelja)

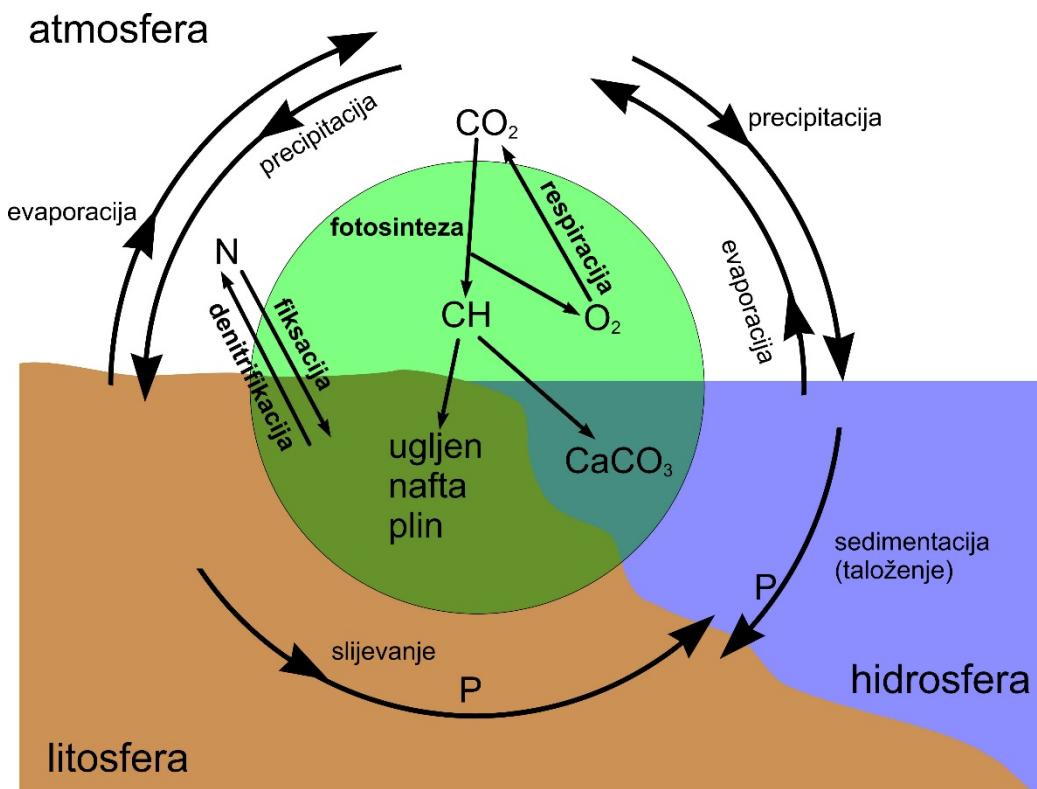
EKOLOŠKI ČINITELJI	
ABIOTIČKI	BIOTIČKI
Anorganska tvar C, N, CO ₂ , H ₂ O	Producenti (autotrofi) Zelene biljke
Organska tvar bjelančevine, šećeri (ugljikovodici), lipidi	Makrokonzumenti (heterotrofi biofagi) Hrane se živom organizmima 1., 2., 3. reda
Klimatski (fizikalni) činitelji temperatura, svjetlost, tlak, padaline ...	Mikrokonzumenti (heterotrofi saprofagi) Hrabe se organskom tvari (bakterije, gljivice)
BIOMASA	



*Slika 16. Razgradnja tijela medvjeda djelovanjem saprofitskih bakterija.
Izvor: Autori*

6.1 Abiotički činitelji

Djelovanje mnogih abiotičkih činitelja možemo promatrati kao dio procesa geokemijskih ciklusa minerala (Slika 17).



Slika 17. Prikaz ulazeња ugljika, kisika i vodika u biosferu i njihova izlažeњa iz nje, odnosno nastajanja (fotosinteza) i razgrađivanja (respiracija) ugljikovodika, vode i ugljičnog dioksida, te putova dušika i fosfora. Izvor: Autori

6.1.1 Ugljik, kisik, vodik

Ugljik je prisutan u atmosferi kao anorganski spoj s kisikom (CO_2), pa se u procesu fotosinteze spaja s vodikom i pretvara u organsku tvar (ugljikovodike, odnosno šećere) uz istodobno oslobađanje molekula kisika (O_2). Heterotrofi staničnim disanjem (oksidacijom) oslobađaju energiju iz ugljikovodika, pri čemu se troši kisik, a nastaju voda (H_2O) i opet ugljikov dioksid (CO_2). Dio nepotrošenih ugljikovodika može se deponirati u obliku fosilnih goriva (ugljen, nafta i plin), ili se ugljik može vezati u

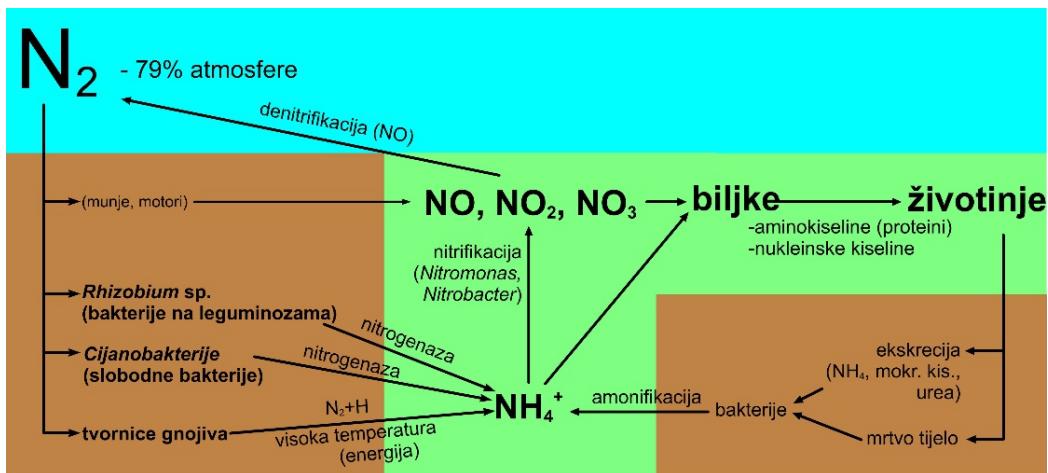
kalcijevu karbonatu (CaCO_3), što su uglavnom sedimenti ljuštura i kostura morskih organizama.

6.1.2 Dušik

Dušik je prisutan u atmosferi kao plin sa skoro 4/5 njegina volumena (78%) u obliku N_2 . Usprkos tom obilju u anorganskom obliku, svi živi organizmi u neprestalnom su nastojanju da dođu do organskog dušika koji je neophodan za izgradnju aminokiselina, proteina, kao i nukleinskih kiselina. Jedini ekološki značajan i prirodan put za vezanje (fiksaciju) atmosferskog dušika je putem nitrificirajućih bakterijskih vrsta (Slika 18). Cianobakterije su najvažnije za vezanje atmosferskog dušika u morskim ekosustavima, a za kopnene ekosustave su bakterije iz roda *Rhizobium* i u manjoj mjeri i drugi rodovi bakterija, npr bakterije tla *Azobacter*. Te bakterije su jedini organizmi koji mogu sintetizirati enzim nitrogenazu, koji povezuje dušik s vodikom u amonijev ion (NH_4^+), to jest u oblik koji biljke mogu upotrijebiti za izgradnju svojih aminokiselina i potom bjelančevina. Konzumacijom biljaka i životinje dolaze do dušika u organskom obliku. Značajno mjesto u prirodi gdje mogu živjeti bakterije iz roda *Rhizobium* su krvžice na ograncima korijena leguminoza (djeline), i tu se odvija proces o kojem ovisi život na Zemlji. Čovjek je pronašao način da uz visoku temperaturu postignutu izgaranjem velikih količina fosilnih goriva (plina ili nafte) umjetno veže dušik s vodikom i preko amonijaka dobije ureu, bitnu sastavnicu umjetnih gnojiva. Organski dušik do kojega su životinje došle konzumacijom biljaka (ili mesa ako je riječ o mesožderima) one vraćaju prirodi putem izlučivanja (ekskrecija urina ili mokraće kiseline) odnosno razgradnjom svojeg tijela nakon smrti do amonijaka (NH_3). Ovaj proces se naziva „amonifikacija“. Amonijak potom razgrađuju bakterije iz roda *Nitromonas* do nitrata (NO_3^-) i nitrita (NO_2^-) u procesu koji se zove „nitrifikacija“. Istodobno biljke nastoje vezati te organske oblike dušika za svoje potrebe i zadržati ih unutar biosfere. Kada dođe do bakterijske denitrifikacije, dušik se odvaja od kisika i kao oslobođeni anorganski dušik (N_2) odlazi u atmosferu i opet predstavlja anorgansku tvar (Slika 19).



Slika 18. Kvržice na korijenima leguminoza u kojima žive bakterije iz roda *Rhizobium*. Izvor: Autori



Slika 19. Shema ciklusa dušika. Izvor: Autori

6.1.3 Fosfor

Fosfor se iz litosfere ispije u hidrosferu, jer je topiv u vodi. Tamo se ugrađuje u organizme, a u suvišku potiče i eutrofizaciju vodenih ekosustava, koja se očituje i bujanjem rasta algi. Istodobno je na kopnu stalna potreba za fosforom i kao takav je jedan od važnijih ograničavajućih činitelja za proizvodnju biomase.

6.1.4 Svjetlost



Slika 20. Vidljivi dio spektra zračenja Sunca na zelenim dijelovima biljaka dovodi do procesa fotosinteze. Izvor: Autori

Svjetlost dolazi od vidljivog dijela zračenja Sunca (Slika 20). Zbog rotacije Zemlje izmjenjuju se dan i noć pa je svjetlost „primarno periodični abiotički činitelj“. Zbog nagiba osi rotacije Zemlje prema Suncu, mijenja se trajanje dana i noći tijekom godine. Također, radi nagnute osi rotacije Zemlje, različiti dijelovi planeta nagnuti su različito prema Suncu tijekom njezina putovanja (orbitiranja) oko Sunca, a to dovodi do različitih godišnjih doba.

Svjetlosna energija (u obliku fotona) ima neposredan utjecaj na autotrofe i dovodi do fotosinteze - najvažnijeg biološkog procesa na Zemlji. Uz prije opisani proces fiksacije atmosferskog dušika uz pomoć enzima nitrogenaze, fotosinteza je drugi bitni prirodni proces za život na Zemlji. Manje od 2% Sunčevih zraka koje obasjaju Zemlju dođe na zelene dijelove biljaka i bude iskorišteno u procesu fotosinteze, a najveći dio toga procesa (oko 90%) događa se u moru.

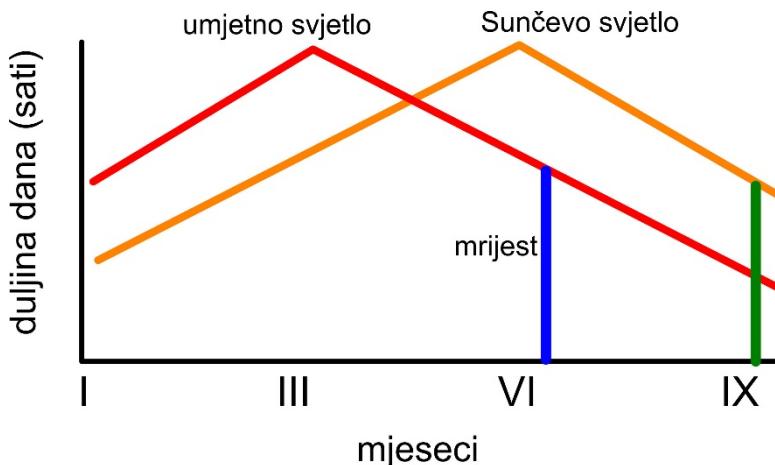
Za heterotrofe, svjetlosna energija je bitna zato što im putem autotrofa osigurava hranu: čak i onima koji žive u stalnome mraku. Osim toga, na život heterotrofa svjetlost utječe posredno, odražavajući se na različite životne pojave. Navodimo nekoliko primjera:

Seoba ptica – dan za početak seobe, to jest odlazak na jug iz naših krajeva u jesen, ptice biraju na osnovi trajanja dana koji se u to doba godine brzo skraćuje. Mjesto gdje su provele ljeto i odgojile novu generaciju pomlatka napuštaju dok još

ima dovoljno hrane i temperature još nisu preniske, ali im skraćivanje dana najavljuje skorašnju promjenu.

Nesenje jaja – puž barnjak (*Limnea sp.*) počinje nesti jaja u proljeće, kad dan počne trajati 13,5 sati, odnosno bude za 1,5 sat dulji od noći. Takvo nesenje jaja može se izazvati u jednostavnom pokusu, tako da se umjetnim svjetlom, npr. tijekom zime, puževima dan produlji na više od 13 i pol sati.

Mrijest pastrva – neke konzumne vrste pastrva mrijeste se 90 dana nakon najduljeg dana, dakle oko 20. rujna. U umjetnom okruženju može im se rasvjetom najdulji dan napraviti već u ožujku, pa ga početi skraćivati i izazvati mriještenje već u lipnju.



Slika 21. Umjetnim režimom najduljeg dana u ožujku (crvena linija) može se izazvati mrijest u lipnju (plava okomica), umjesto prirodnog mrijesta u rujnu (zelena okomica). Izvor: Autori

Presvlačenje rakova – rakovi povremeno moraju mijenjati svoj hitinski egzoskelet kako bi mogli rasti. Odbacivanje skeleta potiču neurosekretorne žljezde. Međutim, ako raka držimo u stalnom mraku, taj neurosekret stalno se izlučuje i rak stalno ponavlja presvlačenje, a da u međuvremenu nije narastao.

Spolna aktivnost – parenje jelena u jesen, vukova zimi ili tvorova u proljeće. Strategija uspjeha reprodukcije za svaku vrstu mora uključiti da ciljano vrijeme rađanja potomaka bude kada su klimatski uvjeti najpovoljniji. Uz dosta iznimaka, najpovoljnije vrijeme za mladunčad je proljeće, kada prođu zimske hladnoće, a biljna hrana postane obilna. Sve počinje izborom vremena za parenje, a taj

odabir životinje znaju na osnovi trajanja dana i noći. Parenje jelena („rika jelena”) događa se u rujnu kad se dani skraćuju. Zanimljivo je da se kod srna zameci u oplođenih ženki zadržavaju u razvoju u stadiju blastociste (odgođena implantacija) do sredine zime, kada se embrionalni razvitak ubrzano nastavlja da bi porod nastupio u travnju ili svibnju. Osim što je porod došao u optimalno vrijeme, time su izbjegnuti i naporovi parenja u zimi kada bi mužjaci, koji oplođuju više ženki (harem) i bore se s drugim mužjacima, teško nadoknadili izgubljenu energiju i preživjeli zimu. S druge strane, vukovima je zima najpovoljnije vrijeme za pribavljanje hrane pa se onda i pare zimi, kako bi nakon dva mjeseca, u rano proljeće, imali mlade. Graviditet u tvora traje samo jedan mjesec pa se oni mogu i pariti i imati mlade u proljeće.

Promjena boje dlake i perja – zec, lasica, polarna sova (Slika 22). Nekim vrstama životinja je prednost da im tjelesni pokrov (dlaka ili perje) zimi budu bijeli, te da budu manje primjetljive (mimikrija), bilo da su grabežljivci (predatori) ili potencijalne žrtve (plijen). Rast bijele dlake ili perja u jesen potaknut je skraćivanjem dana u jesen, a ponovnim prodlujivanjem u proljeće, pokrivač opet postaje onih boja koje najmanje odaju položaj životinje. Dakle, životinje ne čekaju prvi snijeg da „pobjele”, a događa se da snijeg kasni, pa se u dijelu zime bijele životinje upravo ističu u okolišu.



Slika 22. Polarna sova zimi ima skoro sve perje bijelo (lijevo), a ljeti više tamnog perja (desno). Izvor: Autori

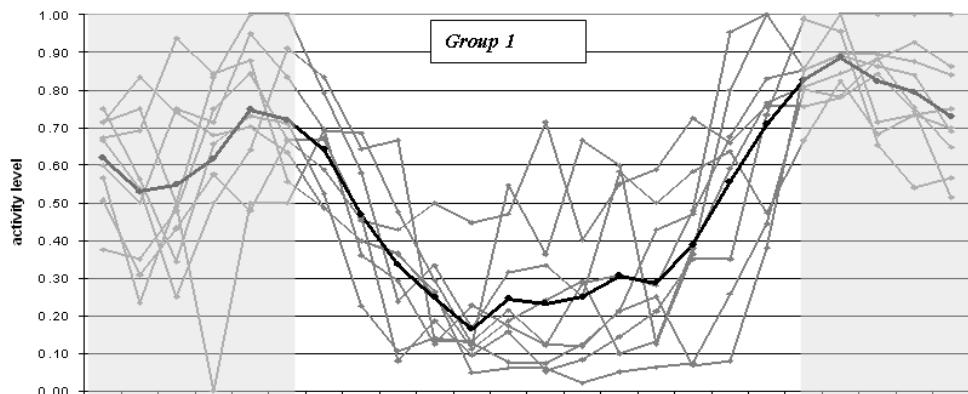
Fotokineza zooplanktona – zooplankton noću ide na površinu vode. Za razliku od fitoplanktona, koji treba svjetlosnu energiju za proces fotosinteze i kojeg na

površinu vode privlači dnevna svjetlost, zooplankton ide prema površini noću, u potrazi za hranom, a danju se sklanja od svjetla u dublje slojeve. Neke vrste zooplanktona noću svjetlucaju (bioluminiscencija) blizu površine vode.

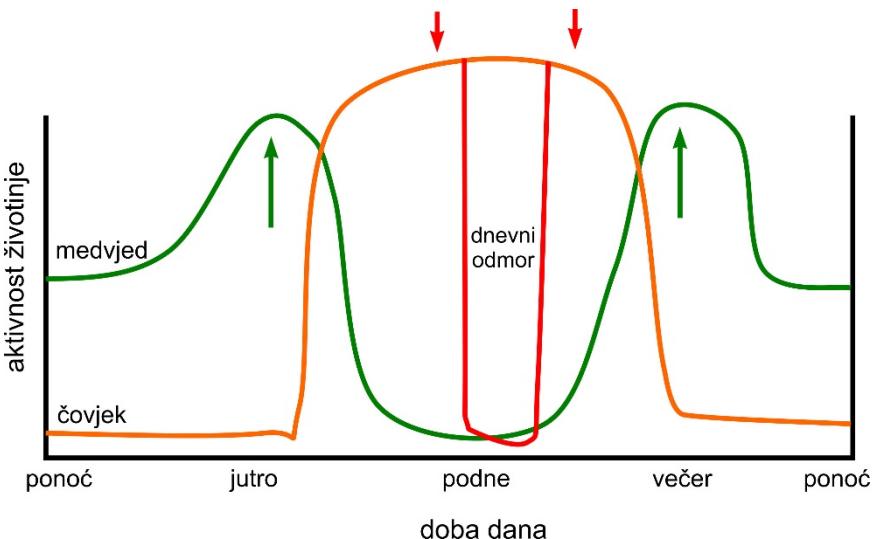
Utjecaj svjetla i tame na opću aktivnost. Prema rasporedu aktivnosti tijekom 24 sata, životinjske vrste možemo dijeliti na: (I) diurnalne (dnevno aktivne), (II) nokturnalne (noćno aktivne), (III) indiferentne (podjednako aktivne danju i noću), te (IV) krepuskularne (aktivne u sumrak). Budući da se sumrak pojavljuje ujutro i navečer, onda te vrste imaju i dva vrhunca aktivnosti pa ih zovemo i bimodalne ili krepuskularne (Tablica 3, Slike 23 i 24).

Tablica 3. Primjeri nekih životinjskih vrsta, s obzirom na njihov raspored aktivnosti tijekom 24 sata

Tip aktivnosti	Primjer životinske vrste	Dnevna aktivnost	Noćna aktivnost
Diurnalni	domaća svinja	88%	12%
	tekunica	98%	2%
Nokturnalni	žaba	15%	85%
	voluharica	16%	84%
	šumski miš	21%	79%
Indiferentni	glodavac (<i>Lagurus</i>)	40%	60%
	kukac (<i>Basalus</i>)	54%	46%



Slika 23. Raspored aktivnosti telemetrijski praćenih medvjeda. Tankе linije su pojedine životinje, a deblja linija prikazuje srednju vrijednost. Izražena su dva vrha aktivnosti, u zoru i u večernji sumrak. Vidi se i da je ukupna aktivnost noću veća nego danju, pa su oni pretežno nokturnalni s izraženim bimodalnim (krepuskularnim) ritmom. Izvor: Kaczensky, Petra; Huber, Duro; Knauer, Felix; Roth, Hans; Wagner, Alex; Kusak, Josip. (2006) Activity patterns of brown bears in Slovenia and Croatia. Journal of Zoology 269:474-485.



Slika 24. Shematski prikaz dvaju primjera bimodalnog ritma aktivnosti.

Zeleni linija označuje medvjede koji su pretežno nokturalni s krepuskularnim (sumračnim) vrhovima. Narančasta linija označuje hipotetskog čovjeka koji je aktivan danju (diurnalni), ali kada uzme poslijepodnevni odmor, postaje bimodalan u tom danu. Izvor: Autori

6.1.5 Toplina

Toplinsko zračenje Sunca predstavlja 60% zraka, a nalazi se u infracrvenom (IR) dijelu spektra zračenja energije većih valnih duljina u obliku fotona (Slika 25). Praktično svu toplinsku energiju koja je bitna za ekološke procese Zemlja prima od Sunca. Zemljina kopnena površina, oceani i atmosfera upijaju toplinsko zračenje Sunca i postižu određenu temperaturu. Užarena srž Zemlje odražava se na površini samo kao mjestimični izvori tople vode koji podržavaju osebujne oblike života ili kao mjesta erupcije rastopljenih stijena (lave) koja, pak, uništava svaki oblik života.



Slika 25. Smještaj infracrvenog (IR) zračenja u Sunčevu spektru. Izvor: Autori

S obzirom na blizinu ekvatora ili polova, odnosno s obzirom na nadmorsku visinu, temperature na površini Zemlje mogu biti u vrlo širokom rasponu. Najniže temperature

izmjerene su na Antarktici (-88 °C), a najviše u tropskim pustinjama (+56 °C). Izvori vruće vode (termalni izvori) mogu biti blizu točke vrenja (+90 °C).

Za žive organizme bitan je raspon temperature unutar ekosustava u kojem žive. U kontinentalnim pustinjama taj raspon može biti 40 °C za 24 sata. Nasuprot tome, u tropskim vlažnim šumama temperature se kreću u vrlo malom rasponu od samo oko 6 °C i to tijekom cijele godine. Naravno da su i prilagodbe organizama na tako različite temperaturne uvjete vrlo posebne. Smatra se da je za život kakav poznajemo na Zemlji prihvatljiv raspon od 0 do 40 °C. Dio vrsta sposoban je preživjeti određena razdoblja i izvan tog raspona, poput dugih zima, a zahvaljujući prethodno osiguranim zalihama hrane ili tjelesne masnoće. Ipak, nakon hladnog razdoblja mora slijediti povoljnije vrijeme, kada se aktivira vegetacijsko razdoblje i proizvodnja nove organske tvari.

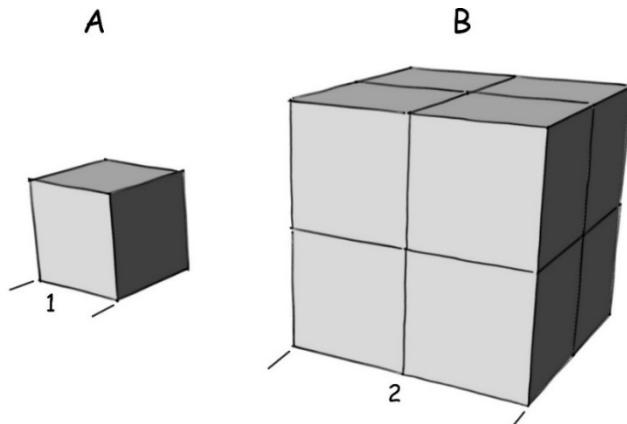
Uvijek su zanimljive iznimke. Jedna vrsta riba iz skupine bakalara (*Boreogadus sp.*) može živjeti ispod leda na površini zamrznutog mora na temperaturi od -2 °C, zahvaljujući staničnim glikoproteinima koji sprječavaju zamrzavanje (djeluju kao „antifriz”). Na drugom kraju toplinskog raspona zanimljive su modrozelene alge u vrućim izvorima u području Yellowstonea, koje podnose temperaturu od +86 °C.

Za svaki živi organizam bitno je da uspije regulirati vlastitu tjelesnu temperaturu, odnosno da osigura termoregulaciju. Većinu vrsta svrstavamo u (a) poikilotermne (egzotermne) organizme (sve biljke i 98% životinjskih vrsta), a samo preostalih 2% su (b) homeotermne (endotermne), a to su jedino ptice i sisavci.

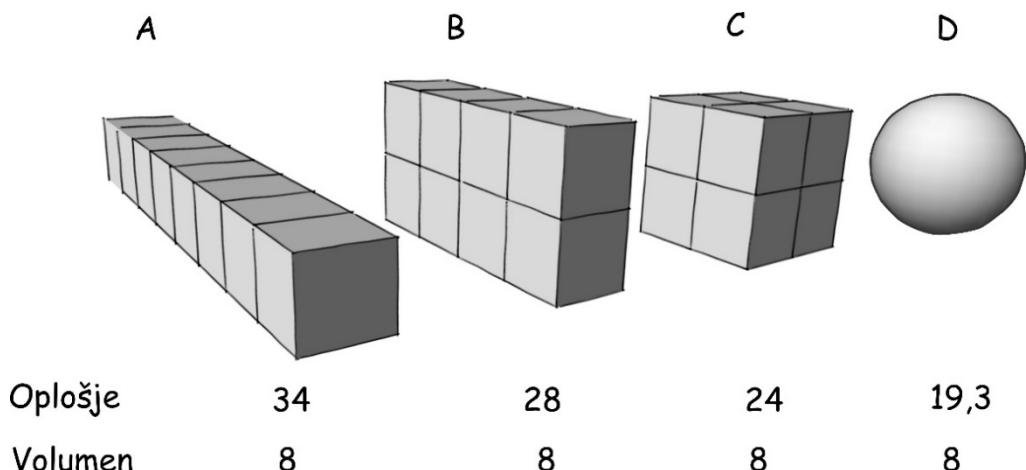
Poikilotermne vrste dopuštaju da im se tjelesna temperatura, do određenih granica, mijenja pod utjecajem temperature okoliša. Ipak, i one se koriste nizom mogućnosti kako bi im temperatura tijela bila i ostala što bliže optimalnoj. Tako (a) odabiru mikrostanište s povoljnom temperaturom (gušter se s izlaskom Sunca izlaže toplinskom zračenju, a poslije se povlači u hladovinu), (b) bojom tijela upijaju ili odbijaju toplinsko zračenje (tamna boja zadržava više toplinskih zraka), (c) oblikom tijela mogu privremeno povećati površinu (leđni ili vratni nabori nekog guštera), (d) fizikalno mahanjem krila provjetravaju mikrostanište (pčele u košnici), ili (e) mogu ući u hibernaciju (letargiju) zimi ili estivaciju ljeti.

Homeotermne vrste održavaju stalnu tjelesnu temperaturu unutar vrlo uskog raspona, obično unutar samo jednog stupnja. To postižu regulacijom procesa bioksidacije u metabolizmu tjelesnih stanica uz istovremeni velik utrošak energije. Računa se da homeotermne vrste troše oko 90% unesene energije samo na održavanje stalne tjelesne temperature. Zato imaju mogućnost zadržavanja gotovo nepromijenjenog stupnja aktivnosti u okolišu s oscilirajućim temperaturama; na primjer kretanje noću kad

je hladnije. Ipak, kada temperaturne oscilacije (ekstremi) postanu prevelike, odnosno hrana za dobivanje energije nedostupna, neke životinje mogu ući u stanje hibernacije (zimskog sna) kada smanjuju sve metaboličke funkcije i iznimno dopuste da se temperatura tijela spusti ispod granica za aktivno razdoblje, ali uvijek dovoljno iznad točke zamrzavanja. Osim toga, i homeotermne vrste životinja pokušavaju štedjeti s utroškom energije za održavanje tjelesne temperature. Sve stanice u tijelu metabolizmom proizvode toplinu, a broj stanica u tijelu ovisi o volumenu (masi) životinje. Stoga količina proizvedene topline u organizmu ovisi o volumenu životinje. Sva tijela, pa tako i životinska, toplinu gube preko površine (oplošja) tijela jer je to površina između toplog tijela i često hladnijeg okoliša. Količina topline u organizmu ovisi o proizvedenoj i otpuštenoj toplini. Prvo ovisi o volumenu (masi) tijela, a drugo o njegovoj površini, zbog čega je bitan omjer između volumena i mase organizma (Slika 26). Da bi što manje gubile toplinu, životinje u hladnijim područjima imaju relativno manju površinu tijela u odnosu na volumen, u usporebi sa onima koje žive u toplijim staništima. **Bergmanovo pravilo** govori da veće životinje imaju relativno manju površinu tijela u odnosu na volumen tijela. Zbog toga su životinje u hladnijim podnebljima veće od životinja u toplijim podnebljima. Na primjer, dobri dupini u sjevernim morima veći su od dobrih dupina u Sredozemnome moru, vukovi u polarnim krajevima veći su od vukova iz umjerenog ili suptropskog pojasa. **Allenovo pravilo** kaže da životinje čiji oblik tijela sliči kugli imaju relativno manju površinu tijela u odnosu na volumen. Tako životinje u hladnijim predjelima imaju manje izbočine iz trupa tijela, pa su im noge, njuška i uši vrlo male i kratke, a oblikom teže izgledu kugle (Slike 27 i 28). Nasuprot tome, životinje u toplijim podnebljima imaju duge noge, velike uši, šiljatu njušku itd.



Slika 26. Bergmanovo pravilo kaže da veće životinje imaju relativno manju površinu tijela (oplošje) u odnosu na volumen. Tijelo istog oblika, ali dvostruko veće, ima relativno dvostruko manju površinu tijela u odnosu na njegov volumen. Izvor: Autori



Slika 27. Allenovo pravilo govori da životinje koje oblikom tijela teže obliku kugle imaju relativno manju površinu tijela u odnosu na volumen tijela. Na slici su prikazani različiti oblici tijela, istog volumena (8 kockica), ali različitih površina (oplošja). Kugla je geometrijsko tijelo s najmanjom površinom u odnosu na volumen. Izvor: Autori



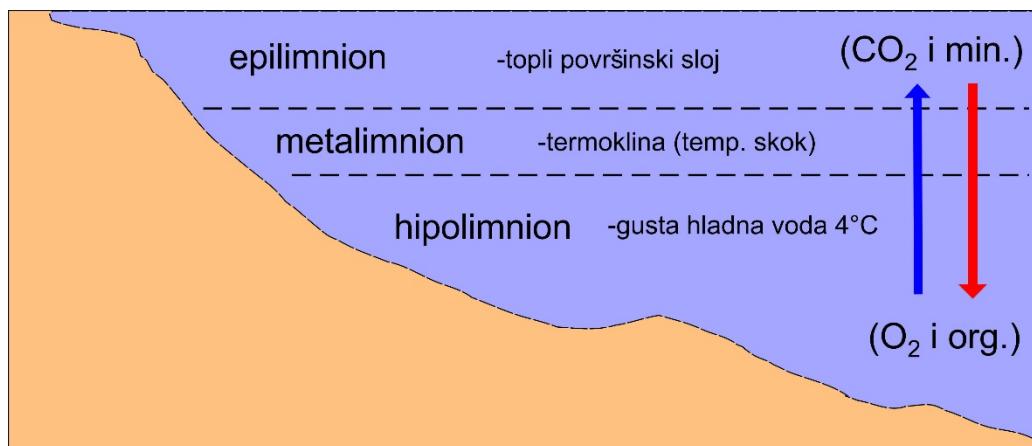
*Slika 28. Pustinjska lisica fenek (*Vulpes zerda*) (lijevo) ima velike uške, dugu njušku, visoke noge i dugi rep čime povećava tjelesnu površinu, dok polarna lisica (*Alopex lagopus*) (desno) ima kratke uške, njušku, noge i rep čime prema Allenovu pravilu smanjuje površinu tijela i gubitke topline.*

Izvor: Autori

Za poikilotermne vrste životinja vrijedi **Van't Hoffovo pravilo** (Q10) koje govori da povišenje temperature za oko 10°C ubrzava sve biološke procese 2 do 3 puta, odnosno da ih njezino smanjenje jednako toliko usporava. Tako se na primjer dijeljenje papučice na 15°C događa jedanput u 24 h, a na 20°C dva puta u 24 h. Za embrionalni razvitak ribe sleđ na temperaturi od $0,5^{\circ}\text{C}$ potrebno je 45 dana, a na 16°C samo 7 dana. Razvidno je da ti organizmi trebaju određenu toplinu da bi obavili pojedine metaboličke i životne funkcije. Na taj je način nastao pojam **termalne konstante**, koji prikazuje ukupnu količinu toplinske energije potrebne za razvitak nekog organizma, a računa se kao zbroj dnevnih temperatura u promatranom razdoblju. Na primjeru razvoja nekog kukca od jajeta do odrasle jedinke potrebno je: (a) 77°C – dana za embrionalni razvitak u jajetu, (b) 582°C – dana za rast gusjenice, (c) 79°C – dana za fazu predkukuljice, i (d) 262°C – dana za metamorfozu u kukuljici. To je ukupno 1000°C – dana toplinske energije. Naravno, unutar prihvatljivih granica ekološke valencije. Što se euritermnih vrsta životinja tiče, potrebnih 1000 stupnjeva – dana promatrana jedinka može prikupiti npr. tijekom 100 dana s prosječnom temperaturom od 10°C ili za 50 dana pri prosječnoj temperaturi od 20°C . Ovisno o tome i broj generacija koje neki kukac može proizvesti u jednoj sezoni može biti u rasponu od jedne pa do tri ili četiri generacije.

Temperatura u vodi raspoređuje se drukčije nego u atmosferi, posebno u stajaćim vodama. Ne dolazi do ravnomernog miješanja vode kao što se razmjerno i brzo miješa zrak. Umjesto toga, u vodi se oblikuju odvojeni slojevi različitih temperatura jedan ispod drugog, pa govorimo o okomitoj slojevitosti, odnosno vertikalnoj stratifikaciji (Slika 29). Na primjeru stajaćih voda, pod utjecajem toplinskih zraka sunca, ljeti se površinski

sloj zagrije i ta topla površina zove se epilimnion. Debljina epilimniona može biti različita, od samo nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Ispod toga je tanji sloj koji nazivamo metalimnion, a u kojem temperaturna naglo pada i to je temperaturni skok ili termoklinom. Sloj ispod toga proteže se sve do dna i zove se hipolimnion. Ondje je temperatura vode stalno oko 4°C , pri čemu je voda i najgušća. Usprkos stabilnim temperaturnim slojevima, postoji stalna okomita cirkulacija otopljenih plinova i minerala, koja je jača kad se površinski sloj počne hladiti. Tako prema dubini putuju kisik i organska tvar nastala na površini, a iz dubine se uzdižu ugljikov dioksid i anorganske tvari. Ta gibanja omogućuju život u svim slojevima vodenih ekosustava. Situacija se mijenja kada se površina vode zimi zamrzne. Ispod leda voda je iste temperature (4°C) sve do dna, odnosno nastupa izotermija. Tada se prekida i opisano gibanje plinova i drugih tvari, pa su i uvjeti za preživljavanje živih organizama otežani.



Slika 29. Vertikalna stratifikacija temperaturnih slojeva u vodenom ekosustavu. Izvor: Autori

Danas je čest problem termopolucija dijelova pojedinih akvatičkih sustava, odnosno „zagđivanje toplinom” iz raznih izvora. Najčešće je to topla voda iz rashladnih sustava termoelektrana ili drugih industrijskih postrojenja. Porast temperature vode djeluje u prema Van't Hoffovom pravilu – ubrzava metaboličke procese kod svih poikilotermnih organizama, dovodeći do porasta njihove količine i brojnosti. Istodobno se u toploj vodi otapa manje kisika, a zbog više heterotrofa u vodi, zapravo ga je potrebno više. U konačnici može doći do masovnih ugibanja zbog ugušenja. Smatra se da su temperature od 30°C do 35°C smrtonosne za većinu vrsta riba, kao i svako zagrijavanje vode za više od 3 do -5°C .

6.1.6 Voda

U građi tijela svih živih organizama, voda sudjeluje u najvećem postotku. Tako tijelo sisavaca (na primjer čovjeka) sadržava 2/3 (67%) vode, a „najmokrije” vrste, poput meduze, čak 98% (Slika 30). Čak i naizgled suha životinja, poput moljca, ima 42% vode. Sva voda u tijelu u neprekidnom je kretanju i tako održava sve stanične funkcije. Istodobno, svako živo biće mora stalno unositi u tijelo svježu vodu iz okoliša, a onu iz tijela izlučuje na različite načine.



Slika 30. Meduze imaju oko 98% vode svom tijelu. Izvor: Autori

S obzirom na potrebe prema unosu vode, sve kopnene vrste možemo podijeliti u tri kategorije:

Mezofilne vrste – Tu spada većina vrsta i one trebaju neku srednju količinu vode za svoj život, npr. većina kopnenih životinja.

Higrofilne vrste – Mogu živjeti samo u vlažnim staništima. Nemaju razvijene mehanizme kojima bi mogli štedjeti vodu pa izlučuju vrlo razrijeđeni urin i gube znatan dio vode preko vlažne kože ili disanjem (Slika 31).



Slika 31. Žaba kao primjer higrofilne vrste. Izvor: Autori

Kserofilne vrste – Žive u sušnim područjima. Imaju morfološke i fiziološke prilagodbe za štednju vode pa tako izlučuju koncentrirani urin, nemaju žlijezda znojnica, a člankonošće npr. hitin štiti od gubitka vode.

Za vrste životinja koje žive u vodi ključna životna strategija je regulacija osmotskog tlaka, odnosno zadržavanje optimalne koncentracije iona i soli u organizmu. Prema zakonima fizike o difuziji tekućina kroz polupropusnu (semipermeabilnu) membranu, a takva je svaka stanična ovojnica, voda spontano (pasivno) prolazi iz medija manje osmotske koncentracije (hipotonični) prema mediju veće osmotske koncentracije (hipertonični). Time se hypertonični medij razrjeđuje i njegova se osmotska koncentracija smanjuje. Kad se koncentracije s obiju strana membrane izjednače, nastupi izotonija i pasivni protok vode prestaje. Akvatičke životinje prema načinu regulacije osmotskog tlaka dijelimo u dvije skupine:

Poikiloosmotske životinje – To su svi morski beskralješnjaci i ribe hrskavičnjače. U njih je koncentracija tjelesne tekućine promjenjiva, odnosno jednaka je osmotskoj koncentraciji vode, pa su u izotoniji s okolnom morskou vodom u kojoj žive. To je moguće zbog natrijeva klorida (soli) otopljenog u morskoj vodi.

Homeoosmotske životinje – Sve slatkovodne životinje i morske ribe koštunjače održavaju stalni osmotski tlak svojih tjelesnih tekućina, i to iznad osmotskog tlaka slatke vode u kojoj žive, pa su hypertonične u odnosu na okolnu vodu. Hipotonična voda iz okoliša stalno pokušava osmozom ulaziti u njihovo tijelo,

pa imaju razvijene organske sustave za izbacivanje suvišne vode (kontraktilne vakuole protozoa, evolucijski oblici bubrega metazoa /pronefros, mezonefros, metanefros/ filtriraju velike količine razrijeđenog urina) i za sprječavanje njezina ulaska (sluz, koža i ljske). Zastoj u izbacivanju vode doveo bi do bubrenja i puknuća pojedinih stanica, a na kraju i cijelog organizma. Borba s hipotoničnim okruženjem dodatna je teškoća za spolne stanice (gamete), a poslije i za ličinke izvan jajeta. Jaja se štite galertnom masom koja oko njih nabubri prilikom mrijesta, a spermiji moraju brzo doći do jajeta i prodrijeti u njega prije nego što se rasprsnu. U homeoosmotske životinje ubrajaju se i ribe, poput jegulja i lososa, koje su eurisaline (eurivalentne na različite osmotske tlakove), a podnose i nagle promjene osmotskog tlaka pa mogu ulaziti iz mora u slatke vode i obratno.

6.1.7 pH (koncentracija vodikovih iona)

U različitim staništima pH vrijednosti životnog medija mogu prirodno biti značajno različite. U načelu, u svakom staništu žive vrste organizama koje su se evolucijom prilagodile upravo takvom okolišu, pa time i određenim pH vrijednostima. Ipak, većini vrsta odgovara pH blizu neutralnih vrijednosti; oko 7,0, što je i vrijednost za većinu slatkih voda. Kisela staništa mogu biti na tresetištima (pH 2,2 – 2,4), gdje ima mnogo organske tvari. More na površini može biti blago lužnato: do 8,3, a u dubini je oko 7,5. Optimalno za većinu riba je pH od 7,2 do 8,6, a malo vrsta podnosi pH ispod 7,0. Želučano-crijevni nametnici podnose razmjerno ekstremne koncentracije vodikovih iona.. Tako neke vrste trakovica mogu živjeti u želucu na pH 4,0, a druge u tankom crijevu na 11,0.

Danas su zbog utjecaja čovjeka česte pojave padalina zvanih „kisele kiše“. Zbog emisija sumpornih i dušikovih oksida nastalih izgaranjem fosilnih goriva, u atmosferi nastaju sumporna i dušična kiselina koje s padalinama (kiša, snijeg) dospijevaju na površinu zemlje gdje zakiseljuju vode ili tlo u korijenskom sustavu biljaka.

6.1.8 Tlak

Svi organizmi na Zemlji izloženi su tlaku, koji je posljedica pritiska stupca zraka ili vode, ovisno o tome radi li se o kopnenim ili vodenim organizmima. Stupac zraka čini atmosferski tlak. On je niži na većim nadmorskim visinama, ali se svugdje mijenja ovisno o meteorološkim prilikama. Nagle promjene nadmorske visine, na primjer prilikom leta ptice, zahtijevaju i određene prilagodbe. Ljudi to osjećaju kod leta avionom ili vožnje žičarom. Znatno jači pritisak uzrokuje stupac vode koji nazivamo

hidrostatskim tlakom. Neke vrste riba i morskih sisavaca mogu duboko roniti i vraćati se na površinu, a za druge takve promjene tlaka mogu biti smrtonosne. Mnogim pridnenim ribama će se zbog pada tlaka plivaći mjeđuhr znatno povećati i iskočiti iz usta kad ih se naglo izvuče na površinu. Ljudi koji rone, bez obzira na koji način, stalno trebaju voditi računa o promjenama hidrostatskog tlaka.

6.2 Biotički činitelji

Ekološki biotički činitelji su oni na koje utječu živi organizmi. Opisuju se kao osobitosti populacija, a grana ekologije koja to istražuje je demekologija. Populaciju definiramo kao skup jedinki iste vrste koje istovremeno žive na zajedničkom prostoru, a sa susjednim populacijama iste vrste imaju ograničeni protok jedinki odnosno gena. Ovdje opisujemo biotičke činitelje svrstane u 10 skupina.

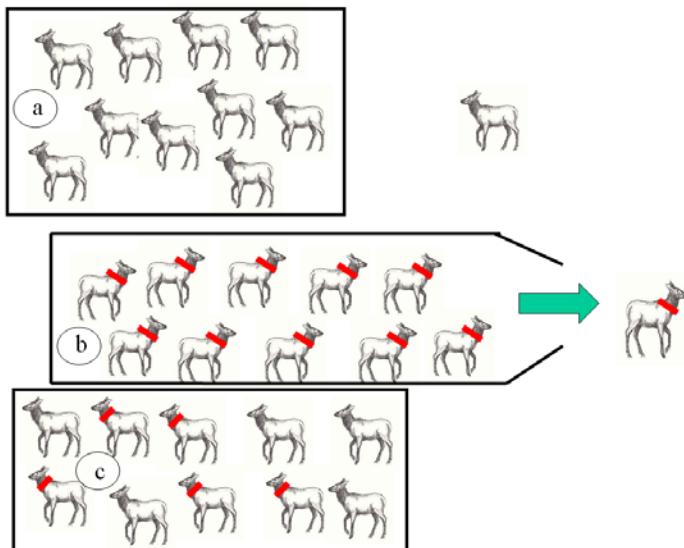
6.2.1 Abundancija (brojnost, gustoća, obilnost, biomasa) organizama

Veličinu populacije neke vrste na određenoj jedinici prostora (površini ili volumenu) možemo izražavati kao broj jedinki, kao njihovu biomasu ili kao gustoću odnosno obilnost. Za gotovo svaku ekološku studiju ovo je jedan od glavnih početnih parametara.

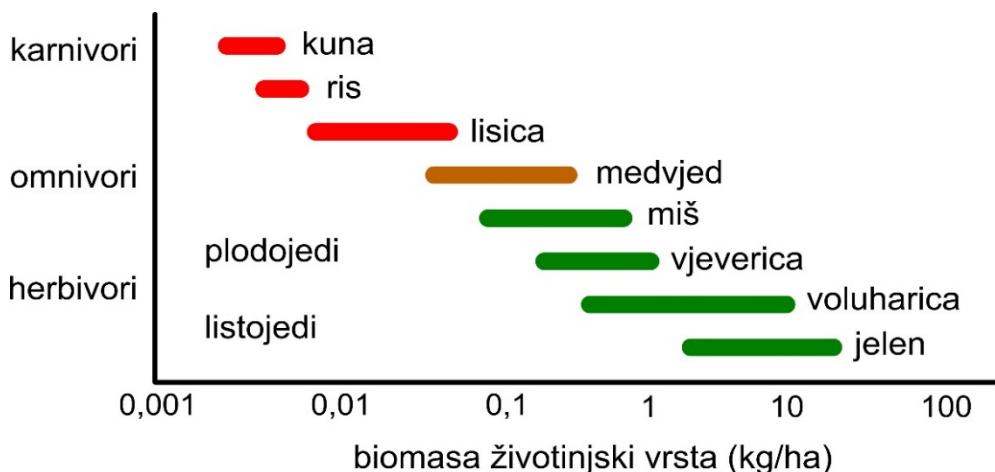
Najpoželjnije je abundanciju prikazati kao absolutni broj. Za to bi bilo potrebno ukupno prebrojavanje, a to je u praksi za divlje životinje u slobodnoj prirodi praktički neizvedivo. Čak i države rade absolutni popis ljudskog stanovništva samo jednom u deset godina, a u međuvremenu se broj stanovnika procjenjuje modeliranjem. Nešto jednostavnija metoda je ukupno prebrojavanje samo na probnim površinama. Ako su te površine dovoljno velike i dobro odabrane, može se dobivene brojeve prenijeti na cijelu površinu (postupak ekstrapolacije). Mnogo se češće koriste relativni pokazatelji abundancije koji uz ispravnu primjenu metodologije mogu vjerodostojno određivati trend populacije. Trend u promatranom razdoblju može biti stabilan, pozitivan ili negativan. Dobiveni podatak može biti dovoljan za uspješno gospodarenje nekom populacijom a da se ni u jednom trenutku ne zna njezina prava veličina. Prvi korak je odrediti indeks gustoće populaciji promatrane vrste. Indeksi su od 1 do 5. Može se upotrijebiti i indeks „0“ ako vrsta uopće nije prisutna, „1“ kada zapazimo samo pojedinu jedinku pa do „5“ kada ja dosegnut kapacitet staništa. Za objektivno određivanje indeksa bitno je imati jasan postupak, a ne ga samo odrediti „od oka“. Česta je metoda transekt-a, gdje se na istom potezu ili površini brojevi viđene životinje ili njihovi tragovi (otisci nogu,

izmet, mjesta kopanja, gnijezda ptica, ili se samo čulo glasanje tih životinja). To može biti put određene (i uvijek iste) duljine ili promatranje s određene točke (npr. čeka uz neku livadu, jezero ili hranilište za životinje). Još objektivnija metoda je upotreba hvataljki za životinje i po uspjehu ulova uspoređivati staništa, sezone i različite godine. Tomu se može dodati metoda obilježavanja (markiranja) uhvaćenih životinja, koje se potom pušta, a pri ponovljenom ulovu u istom području gleda se koliko je prethodno obilježenih životinja ponovo uhvaćeno (Slika 32). Pomoću jednostavnog Lincoln-Peterson indeksa može se izračunati približna ukupna veličina lokane populacije. Pri tome je bitno da između dvaju hvatanja ne prođe previše vremena u kojem se dio životinja mogao izgubiti (prirodna smrt, emigracija ili odstrjel), a i da se imigracijom ili rađanjem ne pojave jedinke koje nisu bile u tom području prilikom prvog hvatanja pa nisu ni mogle biti obilježene. Za vjerojatnost takvih slučajeva indeks nudi i korekcijske vrijednosti (faktore) da bi se umanjila pogreška. Računarska tehnologija danas nudi brojne i složene modele za slične postupke temeljene na „hvatanju, obilježavanju i ponovnom hvatanju“ (capture-mark-recapture).

Ovisno o skupini životinja čiju abundanciju pokušavamo odrediti koriste se najrazličitije lovke poput kaveza ili drugih zamki, mreža, grabila ili usisavača. Također se koriste i „neinvazivne“ metode u kojima se životinje samo na odgovarajući način snimaju, uključujući i upotrebu toplinskog dijela spektra zračenja (infracrvena fotografija).



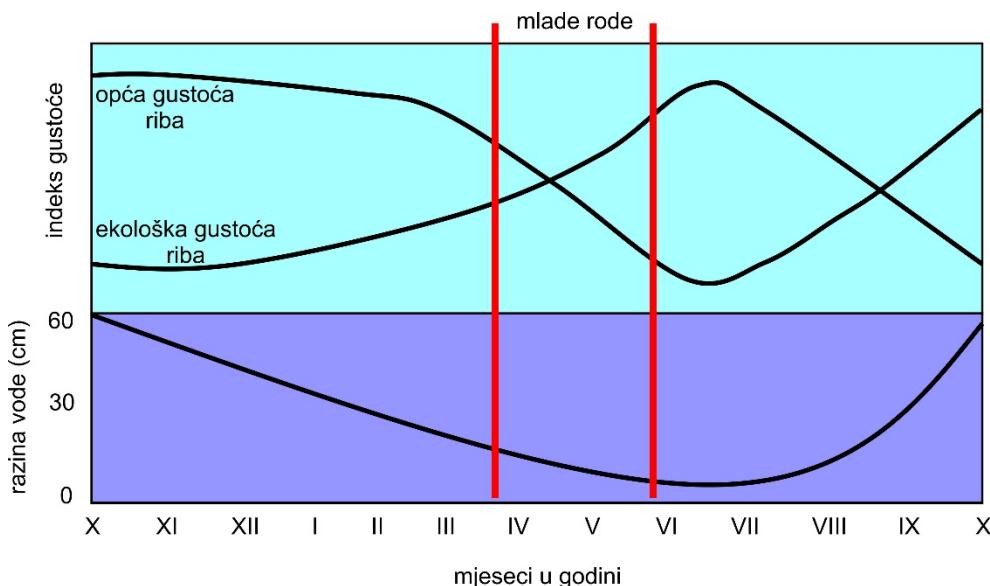
Slika 32. (a) Nasumično hvatanje iz slobodne populacije, npr. $N=10$ životinja, (b) Sve životinje obilježene su i puštene, (c) Pri ponovnom nasumičnom hvatanju iz slobodne populacije uhvaćeno je opet 10 životinja od kojih je, npr., 50% obilježenih. Znači da u cijeloj populaciji ima oko 20 životinja te vrste. Izvor: Autori



Slika 33. Biomasa životinjskih vrsta po jedinici prostora u smjeru prehrabnenog lanca eksponencijalno se smanjuje. Čak i među biljožderima, znatno je više onih koji se hrane travom i lišćem od onih koji jedu plodove. Izvor: Autori

Uvijek treba biti jasno da je višim trofičkim razinama abundancija sve manja (ekološke piramide) i da su te razlike značajne, ali prirodne i objašnjive (Slika 33).

Potrebno je razlikovati pojmove opće i ekološke gustoće organizama. Dok opća gustoća prikazuje prosječan broj organizama na jedinici ukupne površine podrazumijevajući ravnomjerno korištenje cijelog prostora, ekološka gustoća računa stvarni broj organizama u određenom korištenom prostoru, odnosno prepoznaže da se neki dijelovi staništa koriste manje ili nimalo zbog privremene ili trajne lošije kvalitete ili nedostupnosti (Slika 34).



Slika 34. Ekološka gustoća riba u jezeru mnogostruko se poveća s padom razine vode, iako tada u jezeru ima i ukupno manje riba pa je manja i opća gustoća. Označeno je da rode imaju mlade upravo u vrijeme kad ekološka gustoća nadmaši opću, a tada je rodama najlakše doći do hrane za mладунčad u gnijezdu. Izvor: Autori

6.2.2 Prostorni raspored (dominacija, socijabilnost i životni prostor)

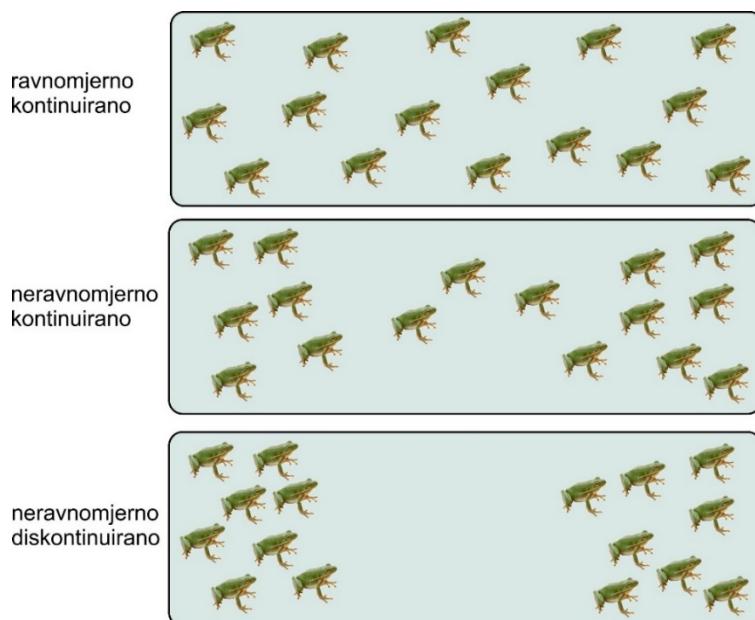
Kako se jedinice pojedine vrste raspoređuju u prostoru u odnosu na pripadnike drugih vrsta i međusobno, može se razmatrati kroz kategorije dominacije, socijabilnosti i životnog prostora.

6.2.2.1 Dominacija

Dominacija govori o zastupljenosti jedinki jedne vrste u nekom staništu u odnosu na zastupljenost drugih vrsta na istom području. Može se izraziti u postotku ili se može jednostavno prisutne vrste rangirati po učestalosti. Vrstu koje ima najviše nazivamo dominantnom i po njoj obično imenujemo cijelu zajednicu. Najčešće se u tom odabiru vodimo najzastupljenijim biljkama, pa tako šumu u kojoj ima najviše bukve zovemo „bukova šuma”. Ako su dvije vrste podjednako zastupljene zovemo ih „kodominantnima”, a primjer može biti „šuma bukve i jele” kakva dominira u Dinarskome masivu u Hrvatskoj. Sve ostale vrste nekog staništa nazivamo „pratećim” vrstama. Idealno je imati popis svih prisutnih vrsta iz svih taksonomske kategorije.

6.2.2.2 Socijabilnost

Pojam socijabilnosti analizira samo raspored u prostoru i uporabu tog prostora od strane pripadnika samo jedne vrste. Pokazuje nam koliko oni nastoje biti zajedno ili se međusobno izbjegavaju. Razlikujemo tri kategorije tog međusobnog rasporeda: (I) ravnomjerni kontinuirani, (II) neravnomjerni kontinuirani, i (III) diskontinuirani raspored (Slika 35).



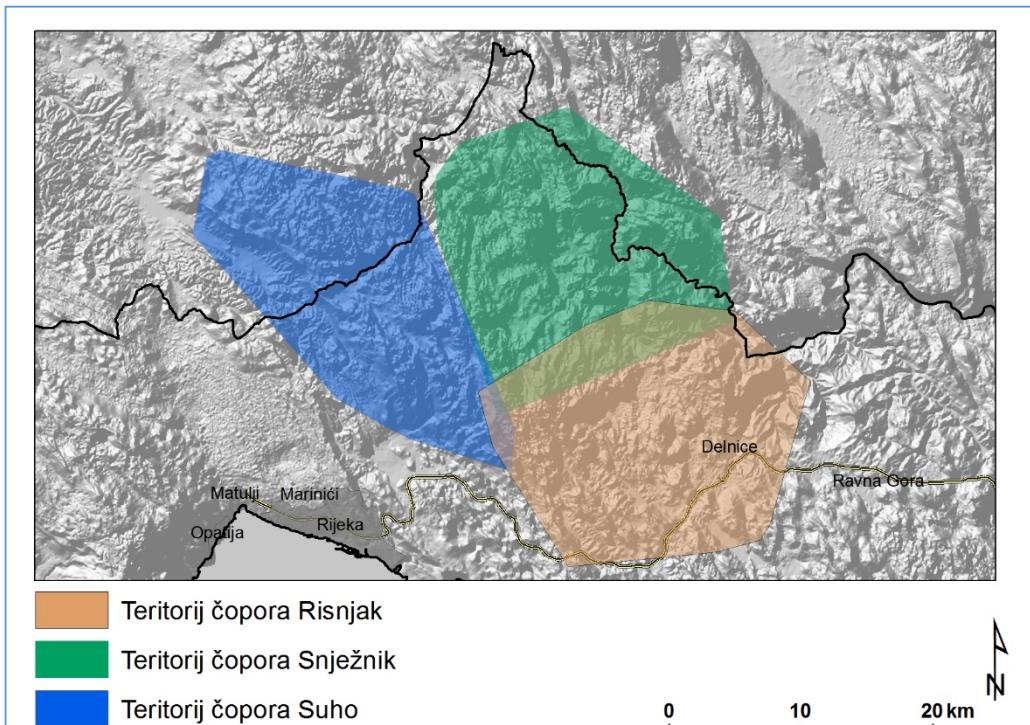
Slika 35. Tri mogućnosti međusobnog rasporeda u staništu pripadnika iste vrste. Izvor: Autori

Odabir raspoređivanja u prostoru za svaku vrstu ovisi o načinu nalaženja hrane, o strategiji parenja (monogamno, poligamno), o brizi za potomstvo, o načinu upozoravanja na opasnost ili jednostavno o njihovu druženju.

6.2.2.3 Životni prostor

Životni prostor („areal“) definiramo kao područje u kojem neka jedinka ili skupina jedinki iste vrste zadovoljava sve svoje životne potrebe. To možemo promatrati kao cjeloživotni prostor ili, prema vrsti i situaciji, kao godišnji, sezonski ili dnevni prostor.

Neke vrste svoj areal aktivnosti aktivno brane od drugih pripadnika svoje vrste i to se onda zove teritorijalnost. To može biti neka jedinka, na primjer kukac *Arax imperator*, čiji mužjak ne dopušta drugim mužjacima vlastite vrste da ulaze u prostor visine oko 50 m iznad dijela nekog jezera, ili, pak, zajednica, poput čopora vukova (*Canis lupus*) (Slika 36). Čuvanjem vlastitoga životnog prostora osiguravaju si izvore hrane, a i uvjete za reprodukciju. Time se istodobno i ograničava rast vlastite populacije, što je lijep primjer samoregulacije brojnosti. Kada postojeći prostor više ne zadovoljava potrebe jedinke ili zajednice, oni mogu pokušati taj prostor povećati osvajanjem susjednih područja (ako je ondje domicilna jedinka ili skupina oslabjela ili nestala), ili nove jedinke iz reprodukcije moraju napustiti teritorij. U vukova je poznato da emigranti („disperzeri“) iz teritorija teško nalaze i osvajaju novi prostor, kao i partnera za reprodukciju. Smatra se da samo oko 10% „disperzera“ uspijeva preživjeti godinu dana nakon napuštanja roditeljskog čopora.



Slika 36. Teritoriji triju čopora vukova u Gorskom kotaru u Hrvatskoj utvrđeni telemetrijskim praćenjem. Granice svog teritorija vukovi brane u prvom redu redovitim markiranjem urinom, izmetom, grebanjem po tlu i/ili zavijanjem. Izvor: Autori

Jedinke mnogih vrsta tijekom života provode seobe (migracije). Migracije mogu biti periodične, što znači da su redovite uz vraćanje, uključujući odlazak i povratak u polazišno područje. Obično se misli na sezonske migracije kada životinje izbjegavaju nepovoljno klimatsko razdoblje u dijelu svog životnog prostora, a ujedno odlaze u najpovoljnije područje radi reprodukcije. Te migracije mogu biti u smjeru sjever-jug, ali i gore-dolje u planinama. Postoje i životne migracije, na primjer lososa koji se u spolnoj zrelosti vraćaju iz mora plivajući radi mrijesta uzvodno rijekama do izvorišnih područja gdje su se svojedobno izlegli. Mnoge pak vrste migriraju dnevno, s obzirom na dan i noć (npr. plankton u vodi).

Postoje i neperiodičke migracije koje se mogu dogoditi jednom ili nijednom u životu neke jedinke. Životinje mogu zauvijek napustiti neko staništa ako dođe do nepovoljne promjene uvjeta. Takovo napuštanje naziva se emigracijom. Ako u istom

kretanju nasele neko novo stanište gdje te vrste prije nije bilo, onda je to imigracija. Vrsta koja imigrira u novo područje mora ondje osvojiti svoju ekološku nišu. Ako ne uspije, izumrijet će, ali može se dogoditi i da izmakne kontroli mehanizama regulacije veličine populacije pa postane invazivna vrsta. U stvarnosti se tako nešto obično događa kada čovjek nepažnjom ili nepromišljenom namjerom prenese neku vrstu onamo gdje joj nije mjesto.

6.2.3 Natalitet

Natalitet je pozitivni činitelj rasta populacije gdje u nekoj jedinici vremena bilježimo nove jedinke na temelju vlastite reprodukcije. Kada se govori o placentalnim sisavcima, onda pod pojmom nataliteta podrazumijevamo rađanje (porod), ako je riječ o oviparnim životinjama onda je to valjenje, a kod jednostaničnih životinja bilježimo dijeljenje. U stabilnoj populaciji natalitet je podjednak mortalitetu.

Treba razlikovati maksimalni natalitet, u kojemu pripadnici neke vrste ostvaruju biološki najveću moguću reprodukciju, od ekološkog nataliteta koji se ostvari uz sve limitirajuće činitelje. Maksimalni natalitet može se ostvariti samo teoretski ili u kraćem razdoblju, kad se u prirodi ili u laboratoriju stvore idealni uvjeti. U praksi je razlika mogućeg od ostvarenog golema. To se može ilustrirati ako se prati fekunditet i fertilitet. Fekunditet je fiziološki mogući broj proizvedenih jaja po nekoj ženskoj jedinkи, a fertilitet je mogući broj potomaka po jednoj ženki. Najočitije je da životinje u kojih se oplodnja odvija izvan tijela ženke moraju proizvesti neusporedivo više jaja od onih gdje mužjak pri kopulaciji dostavlja spermije u tijelo ženke. Kod vanjske oplodnje golema većina jajašaca ostaje neoplođena i propada. Ima i situacija kad i uz unutarašnju oplodnju ženka mora proizvoditi mnogo jajašaca, i to (a) ako je samo jedna ženka u cijeloj zajednici spolno zrela i reproduktivna, poput matice u pčela ili kraljice u termita, ili (b) ako životni ciklus zahtijeva više nositelja, kao u većini nametničkih vrsta (trakavice, metilji), jer samo izuzetno mali broj razvojnih stadija uspijeva naći sljedećeg nositelja u životnom ciklusu. U svakom slučaju, evolucijski selekcijski pritisak razvio je mehanizme da se i kroz fekunditet, pa poslije do ostvarenog fertiliteta, populacije mogu održati u dinamičkoj ravnoteži svoje brojnosti (Slika 37, Tablica 4).



Slika 37. Ženka miša ima među sisavcima vrlo velik fertilitet. Izvor: Autori

Tablica 4. Usporedba fekunditeta ženki različitih vrsta s obzirom na mjesto oplodnje.

Treba uočiti da kraljica termita i trakovica usprkos unutarašnjoj oplodnji trebaju proizvoditi mnogo jajašaca zbog toga što je kraljica termita majka svih potomaka u zajednici, a trakovica gubi potomstvo koje ne uspijeva obaviti razvojni ciklus.

vrsta	Fekunditet	oplodnja
žena	400 u životu	unutrašnja
oštiga	60 000 000 u sezoni	Vanjska
termit (kraljica)	100 000 000 u životu	unutrašnja
trakovica (<i>Taenia sp.</i>)	14 000 na dan	unutrašnja

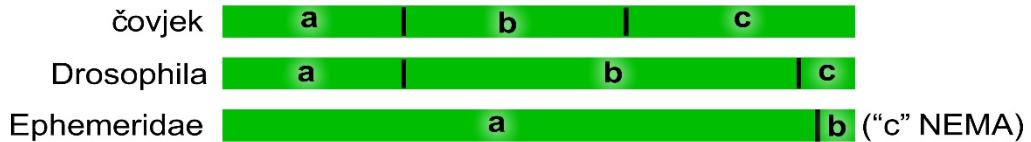
Fertilitet je broj rođenih potomaka. Izrazito je mali u homeotermnih životinja (ptica i sisavaca). Zbog unutrašnje oplodnje tih životinja udio opođenih jaja je znatno veći nego kad je oplodnja vanjska, pa fekunditet može biti manji. Tako su posebno u placentalnih sisavaca izgledi za rađanje živog potomka nakon oplodnje veliki. Na primjer slonica može roditi najviše 5 do 6 potomaka u životu, a i to je više nego dovoljno za održavanje populacije.

6.2.4 Mortalitet

Mortalitet označuje broj uginulih jedinki u populaciji u jedinici vremena i predstavlja negativni faktor rasta. U stabilnoj populaciji, mortalitet je podjednak natalitetu.

Treba razlikovati fiziološki mortalitet, koji je uz optimalne uvjete minimalan, to jest svaka jedinka doživi najveću moguću fiziološku starost. To je moguće samo teoretski, a ostvaruje se ekološki mortalitet, koji ovisi o vanjskim okolnostima, uključujući sve limitirajuće činitelje. U praksi je ekološki mortalitet mnogo veći od fiziološkog, odnosno prosječna dob koju jedinke dožive mnogo je kraća od one fiziološki moguće.

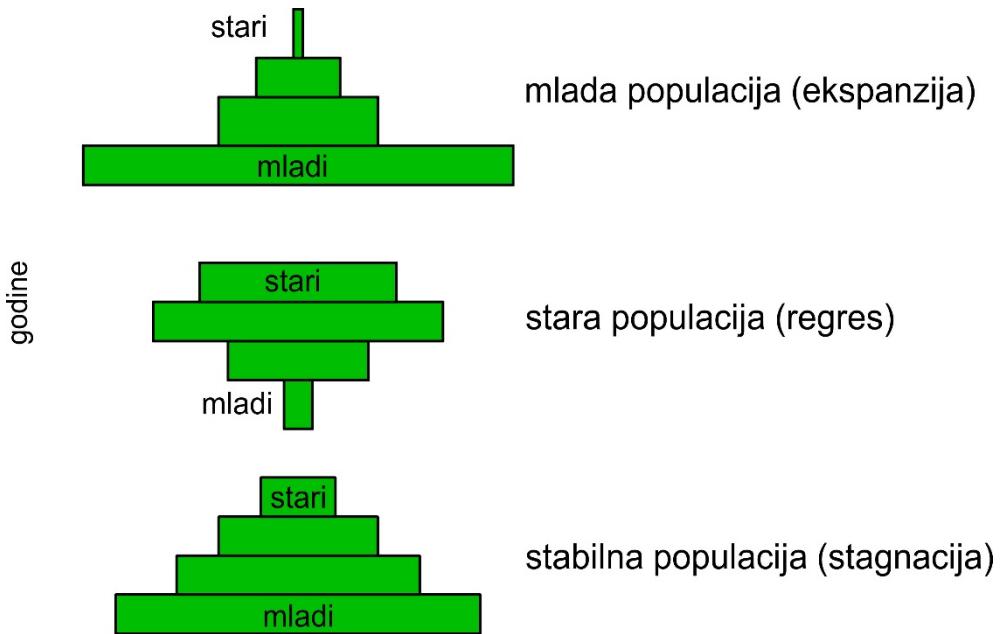
Duljina života može se gledati kroz stopu preživljavanja, koja pokazuje koji dio populacije (obično u postotcima) preživljava neku jedinicu vremena. Ako je riječ o vrsti koja živi više godina onda je bitan podatak koji postotak populacije preživljava iz jedne u drugu godinu. Na primjer populacija nekih malih glodavaca može imati stopu preživljavanja od oko 50%, a to znači da u ovoj godini još nalazimo oko polovinu jedinki koje su rođene prošle godine. Posebno je bitno kako je smrtnost raspoređena po dobnim skupinama. U ovom smislu analiziramo tri životne faze: (a) predreprodukcijsku, (b) reprodukcijsku i (c) postreprodukcijsku (Slika 38). U populacijama svih životinjskih vrsta veliki su gubici u mладенаčkoj dobi odnosno prije nego što jedinke uđu u reprodukcijski ciklus. Ti su gubici „predviđeni” fertilitetom, a to je i glavna prilika evoluciji da selekcijom ostavlja najbolje prilagođene jedinke. Za populaciju su najosjetljiviji gubici u reprodukcijskoj fazi života jedinki u nekoj populaciji. Tada su gubici i najmanji, jer su jedinke u najboljoj životnoj formi, a stekle su i iskustvo u izbjegavanju opasnih situacija. Postreprodukcijska faza života nema više nikakvu ekološku važnost za populaciju, pa su i gubici u toj fazi čak i poželjni. Omjeri životnih faza u različitim skupina životinja vrlo su različiti, a u pravilu je postreprodukcijska faza samo u ljudi u redu veličine jedne trećine života.



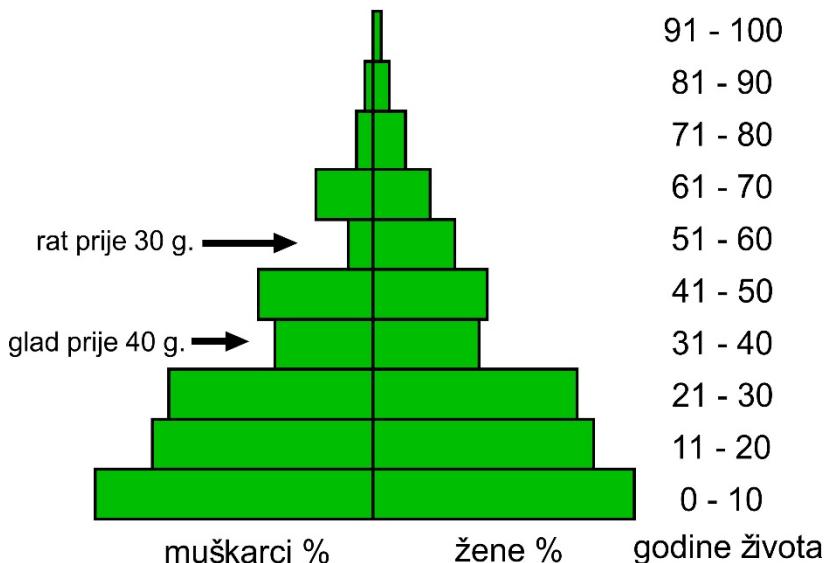
Slika 38. U kukaca iz skupine vodencyjetova (Ephemeridae) postreprodukcijska (c) faza ne postoji jer ugibaju odmah nakon parenja i polaganja jajašaca („a” predreprodukcijska, „b” reprodukcijska i „c” postreprodukcijska faza života). Izvor: Autori

6.2.5 Uzrasna struktura

Struktura dobnih kategorija neke populacije obično se prikazuje na dobnoj piramidi (Slike 39 i 40). Piramida govori o broju jedinki u svakoj dobnoj kategoriji (npr. ~ broj godina života) od najmlađih do najstarijih. Normalno je da najviše jedinki ima u najmlađoj dobi (predreprodukativna faza), te da broj postupno opada s mogućim trajanjem života. Piramida omogućuje i istodobno odvojeno prikazivanje dobnih kategorija prema spolu. Kada i ako se za neku populaciju može izraditi dobna piramida onda to znači i potpunu mogućnost predviđanja njezina dalnjeg razvoja, kao ispravnog upravljanja njome.



Slika 39. Primjer različitih dobnih piramida za 3 populacije nekih životinja (npr. zečeva) koje početno imaju isti broj životinja (npr. 1000), a razlikuju se samo u dobroj strukturi. Mlada populacija s gornje piramide ima mogućnost udvostručiti se u sljedeće 2-3 godine, a stara sa srednje piramide u istom bi razdoblju mogla iščeznuti. Samo stabilna populacija (dolje) održavat će svoju brojnost. Izvor: Autori



Slika 40. Zamišljena dobna piramida jedne ljudske populacije s prenesenim „manjkovima” zbog gladi u dojenačkoj dobi i poslije zbog rata u dobi od 21 do 30 godina. Izvor: Autori

6.2.6 Biotički potencijal

Biotički potencijal proizlazi iz veličine i omjera nataliteta i mortaliteta, a to omogućuje izračun hipotetskog kapaciteta reprodukcije neke vrste. Izračun pretpostavlja 100%-tно ostvarenje potencijala pri optimalnim uvjetima istodobno, uz maksimalni natalitet i fiziološki mortalitet, tako da svaka jedinka ima najveći mogući broj potomaka i doživi najdulju moguću starost. Optimalni uvjeti, ako se pojave u prirodi, nikada ne traju dugo. Sve je to, naravno, moguće samo teoretski, jer je kapacitet reprodukcije (mogućnost vrste) ograničen otporom okoliša. Tako se redovito u svih vrsta ostvaruje tek mali dio biotičkog potencijala, upravo toliko da se održava dinamički stabilna veličina populacije.

Za ilustraciju goleme razlike između „mogućeg” i „ostvarenog” uz otpor okoliša dajemo nekoliko primjera:

- Jedan par vrabaca za 10 godina ima biotički potencijal kojim bi mogao doseći broj od 275.716.983.699 vrabaca.
- Jedan par slonova (kao vrsta izrazito niskog fertiliteta) za 750 godina mogao bi doseći brojnost od 19.000.000 potomaka.

- Jedan par domaćih muha, kada bi realizirao svoj biotički potencijal, za 6 godina potpuno bi ispunio biosferu Zemlje.

S obzirom na to da se biotički potencijal u prirodi ne ostvaruje, sve ovo pokazuje kako priroda daje veliku mogućnost odabira za evolucijsku promjenu tijekom generacija. Također pokazuje i kako vrsta poput čovjeka zapravo ima ponuđeno obilje viškova za vlastito razumno (obnovljivo) iskorištavanje. Stoga iznenađuje kako čovjek ipak velik broj vrsta uspijeva istrijebiti.

6.2.7 Dinamika populacije

Dok s jedne strane ekološki odnosi podržavaju ravnotežu u ekosustavu, uvijek treba voditi računa o tome da je ta ravnoteža vrlo dinamička, odnosno da stalno oscilira oko nekih srednjih vrijednosti, a povremeno se i potpuno izbaci iz ravnoteže promjenom uvjeta okoliša, pojmom neke nove populacije ili izumiranjem postojeće. Ravnoteža se potom ponovno uspostavlja, ali na nekoj drugoj razini i s mogućim drugim sudionicima.

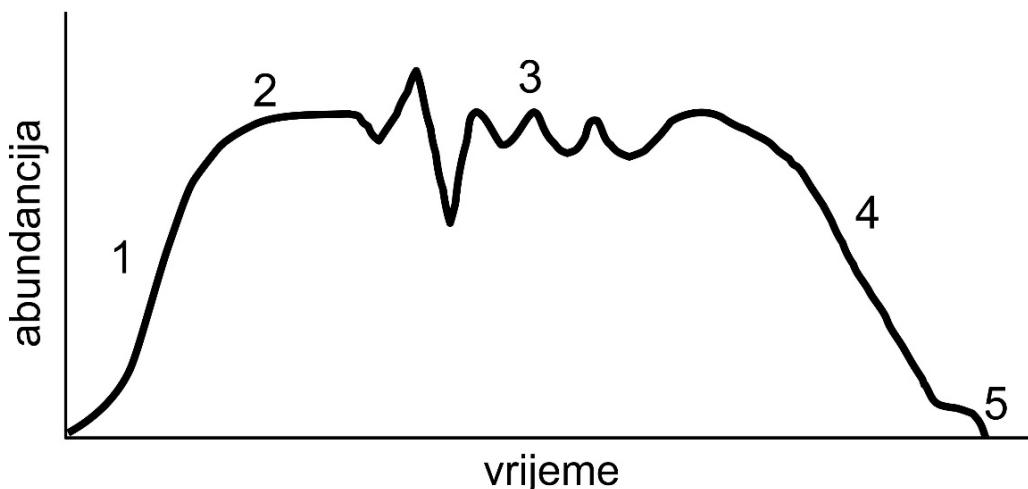
Svaka populacija prije ili poslije prolazi kroz 5 faza svojeg postojanja (Slika 41):

- 1. Faza pozitivnog rasta.** U jedinici vremena broj jedinki u populaciji se udvostručuje, što daje eksponencijalnu krivulju rasta.
- 2. Faza stagnacije.** Počinje kad se brojnost približi „nosećem kapacitetu staništa” (K) i završava kad se taj kapacitet dosegne, što ima oblik sigmoidne krivulje koja doseže plato rasta.
- 3. Faza oscilacija.** Veličina populacije fluktuirala je oko kapaciteta staništa, i to tako da se povremeno spušta ispod te granice, a povremeno je iznad nje. Ta faza traje cijelo vrijeme postojanja praćene populacije, teoretski niz milijuna godina, iako ponekad može biti i kratka ako je cijelo razdoblje postojanja te populacije kratko. U najvećem broju slučajeva, u praksi se bavimo nekom populacijom upravo u fazi njezina normalnog oscilirajućeg postojanja. Oscilacije mogu biti periodičke i neperiodičke.

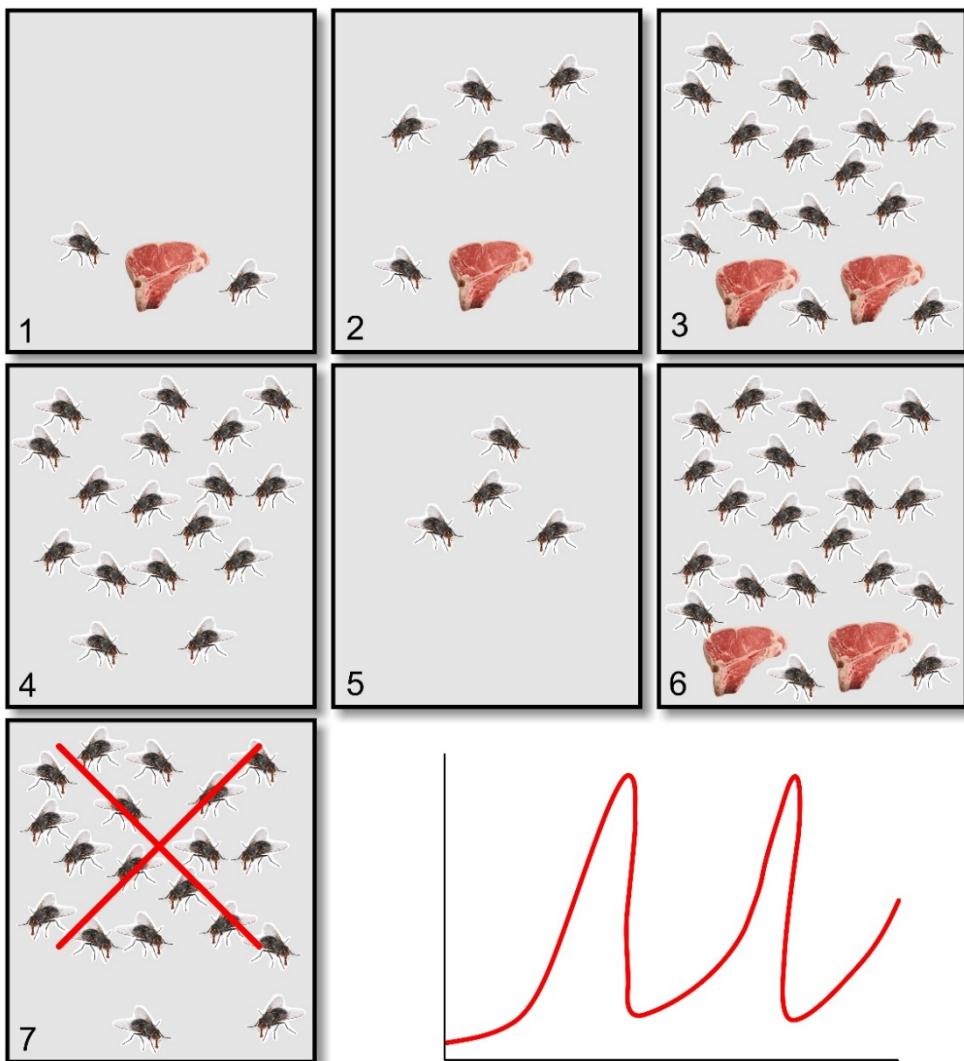
- **Periodičke oscilacije.** Vremenski razmaci između dvaju minimuma ili dvaju maksimuma su podjednaki, kao što su i odstupanja od kapaciteta staništa („K”). Postoji nekoliko „klasičnih” primjera periodičkih oscilacija: (a) laboratorijski pokus s muhom (*Lucilia cuprina*) (Slika 42), (b) prirodni ciklus leminga (*Lemmus lemmus*) (Slika 43) i (c) ciklus populacija snježnog zeca i kanadskog risa (Slika 44).
- **Neperiodičke oscilacije.** Događaju se u nepravilnim i nepredvidljivim vremenskim razmacima i s vrlo različitim odstupanjima od „K”. Eventualna ekstremna fluktuacija

može dovesti i do izumiranja populacije. Primjer laboratorijski ponovljive neperiodičke oscilacije je sustav nosilac – parazit s muhom (*Musca domestica*) kao domaćinom i osom (*Nasonia vitropennis*) kao nametnikom (Slika 45). Brojni primjeri iz prirode razne su elementarne katastrofe, poput poplava, požara, ekstremnih suša ili dugih zima.

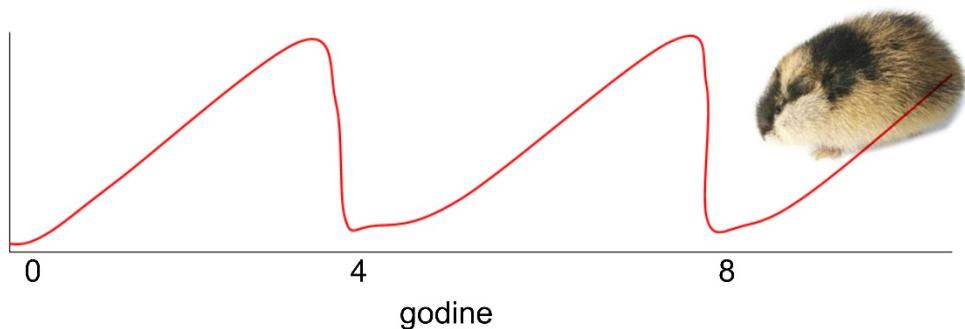
4. **Faza negativnog rasta.** Negativni rast populacija započinje kad jedna od oscilacija prema dolje nije praćena jednakom oscilacijom prema gore. Negativni rast može ići kao stalna padajuća linija ili s oscilacijama koje također rezultiraju padom.
5. **Faza iščezavanja populacije.** To je trenutak kad posljednja jedinka iz populacije završi život. U nekim slučajevima to može značiti i izumiranje cijele vrste.



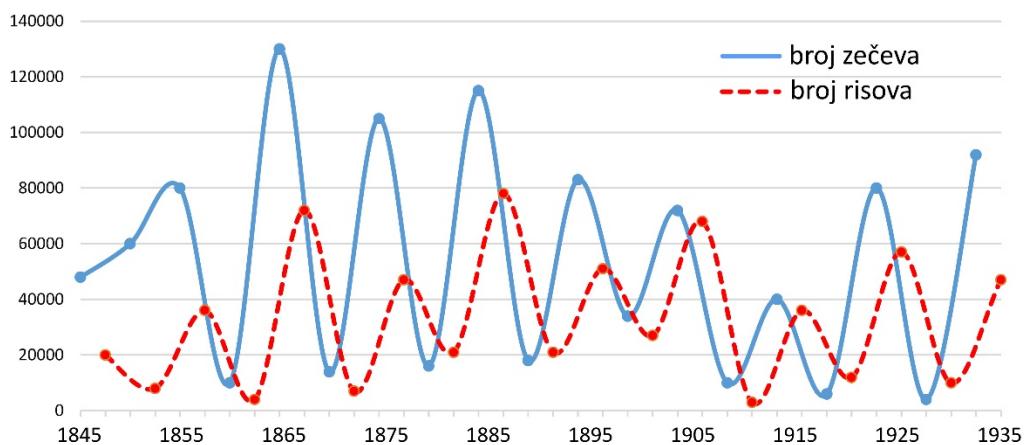
Slika 41. (1) Faza pozitivnog rasta (eksponencijalna krivulja), (2) faza stagnacije (sigmoidna krivulja) – kad se dosegne K (kapacitet staništa), (3) faza oscilacija – fluktuacije (periodičke i neperiodičke) najtrajnije, (4) faza negativnog rasta i (5) faza iščezavanja populacija Izvor: Autori cije.



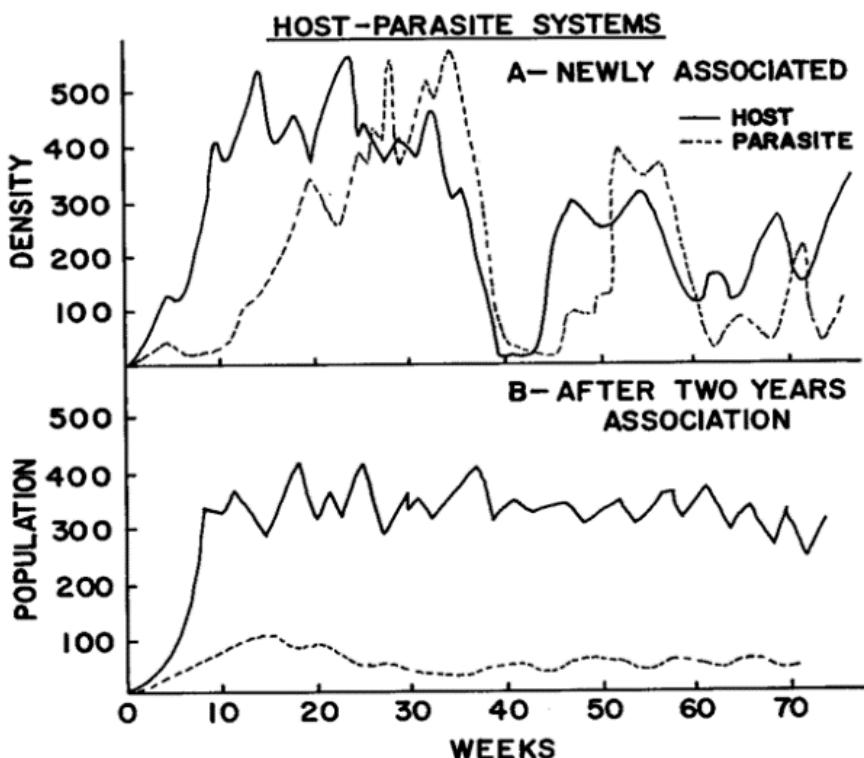
*Slika 42. Laboratorijski pokus s muhamama (*Lucilia cuprina*) držanim u stalnim uvjetima i hranjenim u identičnim količinama i vremenskim razmacima (npr. 10 grama mesa svakih 10 dana), neovisno o kretanju broja muha. Početni par muha uz prvi obrok (slika 1.) razmnožava se (slika 2.), dočekuje drugi obrok i drugu generaciju potomaka (slika 3.), koja pojede svu hranu prije trećeg obroka (slika 4.) i dolazi do ugibanja od gladi (slika 5.), a uz sljedeće obroke populacija opet raste (slika 6.) i slijedi novi pomor od gladi (slika 7.). Na grafičkom prikazu oscilacija populacije svaki puta je eksponencijalni rast i onda nagli pad. Populacija u tako jednostavnim uvjetima nije sposobna stabilizirati svoju brojnost blizu kapaciteta staništa (K) nego je u trajnim velikim oscilacijama. Izvor: Autori*



Slika 43. Prirodni ciklus malog glodavca leminga (*Lemmus lemmus*) koji živi na tlu i u podzemnim hodnicima tundre. Populacija pokazuje trend rasta dok ne prijeđe kapacitet staništa (K). Tada narastu stres i glad, koji uzrokuju velike migracije leminga u potrazi za novim staništem. Dolazi do naglog pada populacije u četverogodišnjem ciklusu. Te oscilacije odražavaju se i na njihove glavne predatore – polarne sove i polarne lisice, koji u godinama vrha populacije leminga bitno uspješnije odgajaju svoje potomstvo. Izvor: Autori



Slika 44. Ciklus populacija snježnog zeca (*Lepus americanus*) i kanadskog risa (*Lynx canadensis*) prema otkupu krzna Hudson Bay kompanije. Vidi se da broj zečeva pada prije nego što populacija risa dosegne vrhunac, što znači da su glavni razlozi pada nestaćica hrane, stres i bolesti, a tek potom risova predacija. S druge strane, populacija risa slijedi rast (s odmakom od jedne do dvije godine) populacije zeca, jer im obilje plijena omogućuje uspješnu ohranu potomstva, ali i obratno, nestanak zečeva izravno ruši populaciju risa. U ovom primjeru predator ne regulira populaciju svojeg plijena, nego brojnost plijena regulira broj predavatora. Grafički prikaz je napravljen prema podacima Hudson Bay Company. Elton, C., M. Nicholson (1942): The ten-year cycle in numbers of the lynx in Canada. *Journal of Animal Ecology* 11: 215-244.



Slika 45. Laboratorijska neperiodička oscilacija u sustavu nosilac – parazit.

Muha (*Musca domestica*) kao domaćin nakon invazije nametničkom osom (*Nasonia vitropennis*) doživljava nagli pad populacije zajedno sa svojim nametnikom. Nakon više ciklusa snažnih oscilacija, sustav se stabilizira nakon dvije godine na novim razinama ravnoteže. Izvor: Pimentel, D., F. Stone (1968): *Evolution and population ecology of parasite–host systems*.

The Canadian Entomologist 100: 655-662.

Činitelje fluktuacija populacija možemo podijeliti na fizikalne i biološke.

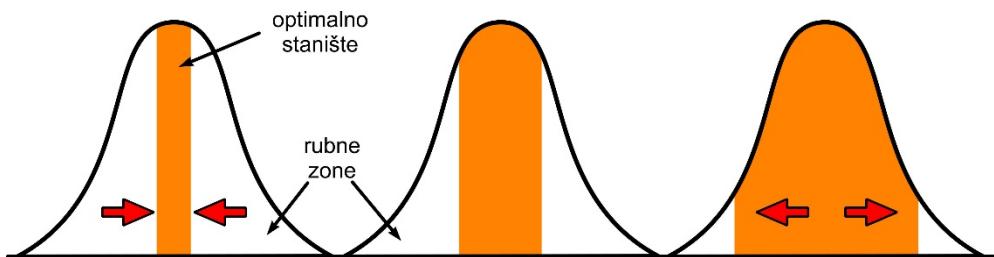
Fizikalni uzroci obično su povezani s klimatskim dogadjajima: ekstremne temperature (led, vrućina, vatra), ekstremna odstupanja vlage (suša, poplave) ili snažne oluje. Redovito su neperiodički, a ekološki je bitno i da su neovisni o gustoći promatrane populacije, tj. jednako djeluju i na populacije sa samo nekoliko jedinki i na one koje su vrlo brojne. Takve fluktuacije dominiraju u jednoličnim sustavima, a primjer za to u prirodi je tundra, dok su velike površine pod poljoprivrednim kulturama iste vrste (monokulture) primjer za ranjive umjetne sustave. Tamo su fluktuacije češće, jače i s težim posljedicama.

Biološki uzroci fluktuacija ovise o numeričkim odnosima među vrstama koje dijele stanište, tj. njihovo djelovanje ovisio je o gustoći, pa se djelovanje mijenja izravno proporcionalno prema pravilima „povratne sprege” („feedback reaction”). Tako rast populacije vrste „a” može smanjiti populaciju vrste „b”, ali isto tako, pad broja vrste „a” potiče rast vrste „b”. Što je stanište bogatije vrstama, to su oscilacije manje pa biološka regulacija dominira u raznolikijim sustavima, primjerice u bogatim šumama.

Svaka jedinka ima nagon i prilagodbe (adaptacije) da bi bila što uspješnija u reprodukciji, odnosno da što više svojih gena proširi u populaciji. Ipak obično ne dolazi do hiperpopulacije, jer istodobno na razini populacije postoje i djeluju mehanizmi samoregulacije. Hiperpopulacija nije u interesu nijedne populacije.

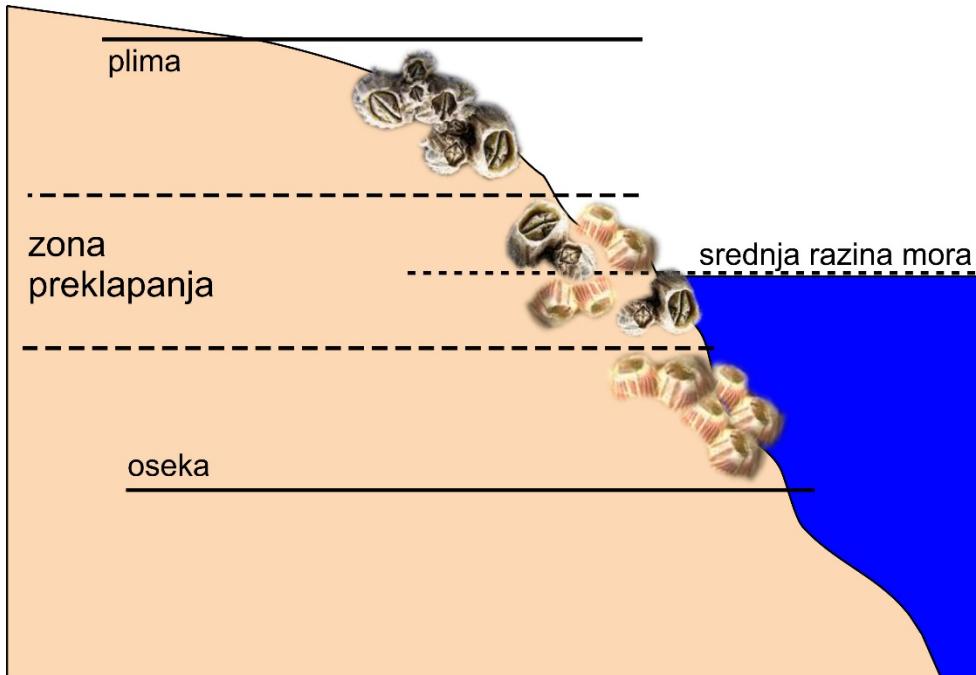
6.2.8 Interakcije (intraspecijske i interspecijske)

Među jedinkama iste vrste govorimo o intraspecijskim interakcijama, a među jedinkama različitih vrsta o interspecijskim interakcijama. Intraspecijskim interakcijama kompeticije širi se areal vrste u rubna područja, a interspecijeska kompeticija sužava ga na optimalnu zonu (Slika 46).



Slika 46. Kompeticija s drugim vrstama (interspecijska) potiskuje pripadnike promatrane vrste u optimalnu zonu staništa (lijevo), a unutar vlastite vrste (intraspecijska) širi je prema rubnim zonama staništa (desno). Izvor: Autori

Kada je riječ o kompeticiji za životni prostor, njen porast u intraspecijskim odnosima (rast vlastite populacije) širi areal te vrste u rubna područja raspoloživog staništa, a interspecijska kompeticija sužava ga na optimalnu zonu za svaku promatranoj vrstu. Rast konkurenčke vrste sužava svaku vrstu na optimalnu zonu vlastitog staništa (Slika 47).



Slika 47. Primjer interspecijske kompeticije među brambuljcima na stjenovitoj obali mora. Obje vrste (A i B) mogu živjeti u zoni od najniže oseke do najviše plime, s time da vrsti A više odgovara dio koji je dulji dio dana na suhom, a vrsti B dio koji je dulji dio dana pod vodom. Potpuno preklapanje niša je oko srednje razine mora, i tu će u borbi za prostor biti zastupljenije obje vrste. Izvor: Autori

6.2.8.1 Podjela interspecijskih interakcija

Između pripadnika različitih vrsta odnos može biti: pozitivan ili stimulirajući (+), negativan ili inhibirajući (-), ili da nema utjecaja (0) (Tablica 5). Kombinacijama tih triju predznaka razlikujemo ukupno 9 različitih tipova odnosa među različitim vrstama. U tri slučaja čak i uz iste predznake utjecaja (-:-, +:- i +:+) razlikujemo različite odnose. Tako kompeticiju ili konkurenčiju (-:-) razlikujemo kao aktivnu i pasivnu. Aktivna kompeticija je kad vrste u odnosu izravno pokušavaju potiskivati onu drugu, na primjer nametnik iz skupine oblića (nematoda) koji se prvi smjestio u probavnom sustavu nositelja izlučuje toksine kojima ne dopušta konkurentscom nametniku iz skupine kukaša (akantocefala) da se smjesti na isto poželjno mjesto. Slično i takozvana „prstenasta trava“ u američkoj preriji izlučuje tvari koje sprječavaju rast drugih vrsta trava u krugu oko nje. Kod pasivne kompeticije sudionici u odnosu ne djeluju izravno jedni na druge nego jednostavno troše iste resurse (hranu ili vodu) dok ih ne iscrpe („jedu iz iste zdjele“). U situaciji suprotstavljenih pozitivnih (+) i negativnih (-) odnosa

razlikujemo odnos nametnik : nositelj od odnosa grabežljivac : pljen. Nametnik je u pravilu malen i trudi se iskorištavati svog domaćina što dulje, dok je grabežljivac veći i žrtvu usmrćuje i pojede je najbrže što može. Iako su domaćin nametnika i žrtva grabežljivca u „minusu“ kao jedinke u tim međusobnim odnosima, bitno je razumjeti da su ipak ekološki odnosi na razini populacija i vrsta pozitivni za obje strane. Paraziti i predatori kroz evolucijski pritisak održavaju populacije svojih domaćina i žrtvi na optimalnoj razini za stabilnost cijelih ekosustava. Treća je situacija odnos s dva pozitivna predznaka (+:+) gdje dvije vrste odnosa možemo označiti kao mutualizme ili zajedništvo. U tome je protokooperacija neobvezni (fakultativni) odnos u kojem su obje strane na dobitku ali mogu živjeti i odvojeno. U odnosu simbioze vrste su toliko međusobno ovisne da više ne mogu živjeti jedna bez druge.

Tablica 5. Pregled interspecijskih interakcija u kojima vrste „A“ i „B“ mogu djelovati pozitivno (+), negativno (-) ili neutralno (0).

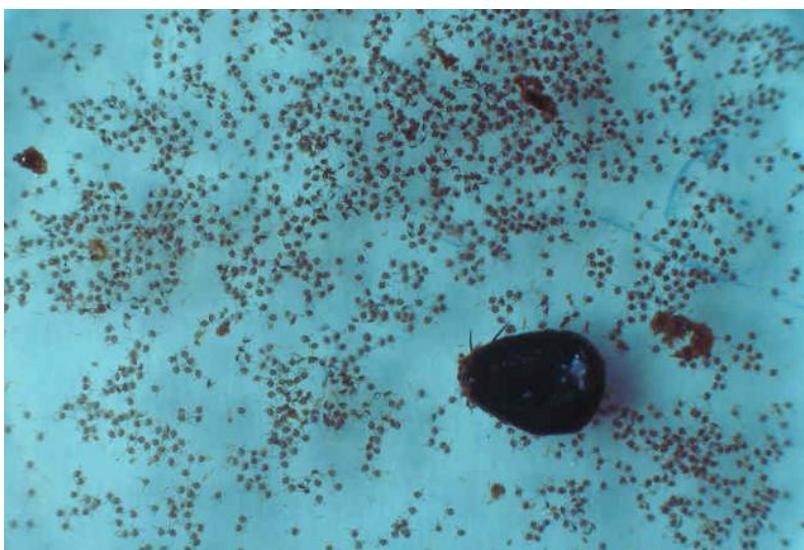
vrsta A B		odnos među vrstama	
0	0	neutralizam	vrste koje su pripadnici različitih ekoloških niša
-	-	kompeticija aktivna	pr. oblići i kukaši (Slika 48)
-	-	kompeticija pasivna	oko hrane, vode, itd.
-	0	amenzelizam	pr. jedinke velikih i malih vrsta
+	-	parazitizam	trajnije, i razlika u veličini (Slika 50)
+	-	predacija	kratko, i predator veći ili sličan plijenu (Slika 49)
+	0	komenzalizam	pr. riba klaun i vlasulja
mutualizam, zajedništvo	+	protokooperacija	fakultativno, pr. rak samac i moruzgva
	+	simbioza	obligatno, pr. preživači i mikroorganizmi u njihovim predželucima



Slika 48. Prstenasta trava (ring grass) u američkoj preriji, u aktivnoj kompeticiji s ostalim vrstama trava izlučivanjem toksina sprječava njihov rast u krugu oko sebe. Izvor: Autori



Slika 49. Gepard kao predator i kunić kao žrtva. Izvor: Autori



Slika 50. Ženka krpelja (nametnik) s potomstvom. Izvor: Autori

7 Sukcesija biocenoza

U svakom ekosustavu populacije svih živih organizama smjenjuju se sve dok se ne dosegne konačna i stabilna faza koja se zove klimaks (Slika 51). Sukcesije biocenoza mogu biti primarne i sekundarne. Primarna sukcesija odvija se na terenu gdje još nije bilo života. To se u prirodi rijetko događa, a klasični i dobar primjer je otok Anak Krakatau koji je nastao vulkanskom erupcijom 1883. godine (Slike 52 i 53). Sekundarna sukcesija je proces na bilo kojem terenu gdje je došlo do nazadovanja u slijedu sukcesija na jednu od ranijih faza. U prirodnim uvjetima to se događa kada požar ili poplava uniše postojeće životne zajednice, a čovjek to redovito radi, npr. krčenjem šume ili obrađivanjem tla.

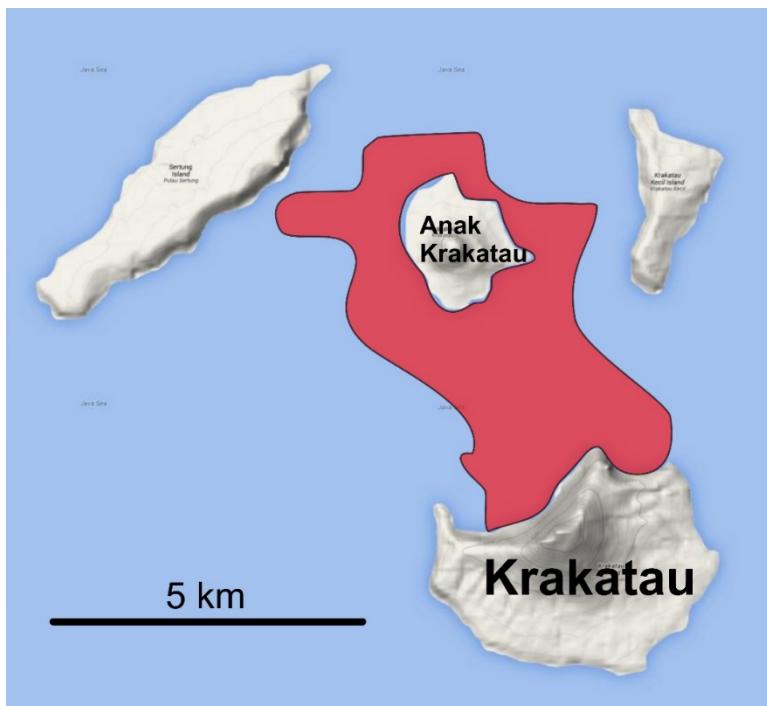


Slika 51. Primjer sekundarne sukcesije u staništu umjerenog pojasa gdje je bjelogorična šuma klimaks. Slijed ide od oranice (godina 0) preko travnjaka ili posijanih žitarica (godina 1.-2.) i raznih stadija šikara (godine 3.-10.) do šume koja je mlađa više od 10 godina, do konačno razvijene za 40-60 godina. Izvor: Autori

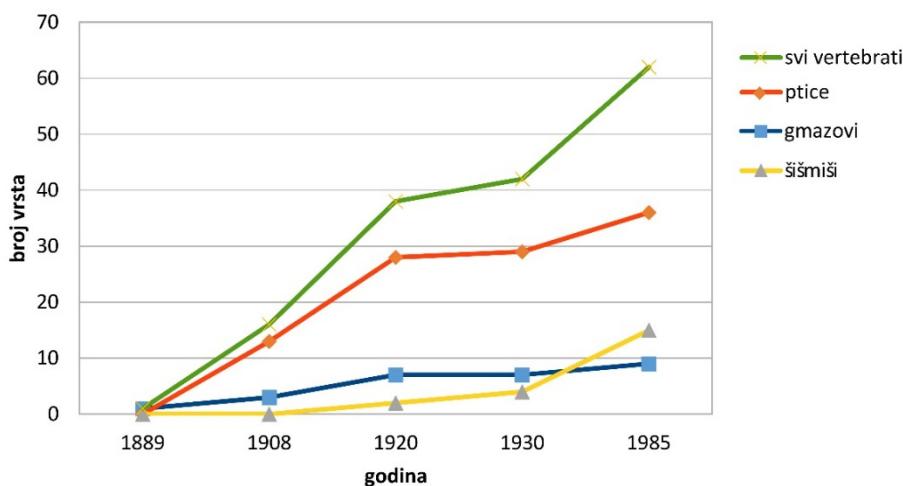
Sukcesije se mogu dijeliti na progresivne i regresivne. Obično se govori o progresivnim sukcesijama koje idu u smjeru klimaksa te u kojima istodobno nastaje i novi supstrat – tlo. Prosječno može nastati 1 mm tla za 1 godinu. Znači da za oko 250 mm tla, koliko je minimalno potrebno za bilo kakvu poljoprivrednu obradu, treba i do 250 godina (Slika 54). Suprotni smjer ima regresivna sukcesija, kad se slijed populacija

vraća prema početnim fazama (Slika 55). To je često praćeno i erozijom, odnosno gubitkom tla, a često i radi sječe šume, prepasivanja ili oranja. Tu se može u kratkom razdoblju izgubiti tlo koje je nastajalo 250 ili više godina.

Klimaks je konačna i stabilna zajednica koja samu sebe održava u ravnoteži i odupire se promjeni. Tu su produkcija (P) i razgradnja (R) organske tvari u dinamičkoj ravnoteži.



Slika 52. Erupcija vulkana na indonezijskom otoku Krakatau 1883. godine kao primjer primarne sukcesije biocenoza. Erupcija je odmah odnijela 2/3 otoka (crveno), ali je njezin nastavak napravio novi otok Anak Krakatau („Sin Krakataua“) od vulkanskog pepela. Pepeo se brzo ohladio i bio je povoljnog sastava (hranjiv) za rast vegetacije, ali na početku onđe nije bilo nikakvih oblika života. Zabilježeno je da su se za 3 godine pojavile mahovine, za 10 godina fitofagni kukci, ptice i stabla, kukci iz skupine opnokrilaca (himenoptera) koji se hrane nektarom, a za 50 godina izrasla je šuma kokosa jednaka onoj u klimaksu na otoku udaljenom 18 km. Nakon 0 vrsta 1883. godine, 1908. izbrojeno je 202 vrsta biljaka i životinja, 1921. 621 vrsta, a 1933. konačnih 880 vrsta. Izvor: Autori



Slika 53. Pojava različitih oblika životinja poslije erupcije vulkana na otoku Krakatau 1883. god. Izvor: Izrađeno prema podacima Thornton, I. W. B., R. A. Zann, P. A. Rawlinson, C. R. Tidemann, A. S. Adikerana, A. H. T. Widjoya (1988): Colonization of the Krakatau Islands by vertebrates: Equilibrium, succession, and possible delayed extinction. Proc. Nati. Acad. Sci. 85: 515-518



Slika 54. U progresivnoj sukcesiji sloj od 25 cm tla može nastati za oko 250 godina. Izvor: Autori

Klima je najčešća odrednica zajednice koja će u nekom području biti klimaks i to nazivamo klimatskim klimaksom. Ako pratimo samo parametre poput temperature i vlage, možemo razlikovati drastično različite biome: (a) tropsku vlažnu šumu s temperaturama stalno iznad 20°C i puno kiše (preko 1500 mm) tijekom cijele godine, (b) bjelogoričnu šumu umjerenog pojasa s toplim ljetima i hladnim zimama s najmanje 700 mm padalina godišnje (zimi snijeg), (c) travnjak u tipu prerijske sa sličnim temperaturama kao i u biomu bjelogorične šume, ali s manje od 700 mm padalina godišnje (presuho za šumu), ili (d) pustinje, gdje bez obzira na temperaturu ima pre malo padalina (ispod 250 mm) čak i za travu. Ponegdje tip tla (supstrat) određuje do koje mjeru se mogu razviti zajednice i to nazivamo edapskim klimaksom. Primjeri za to su područja gdje je tlo vrlo slano, kiselo, lužnato ili, pak, kamenito na strmim obroncima, tako da se tlo ne može zadržati. Danas su velika područja planeta Zemlje u klimatsku koji određuje čovjek, i to nazivamo antropogenim klimaksom. Najizraženiji primjer je poljoprivreda, gdje obično u jednogodišnjem ciklusu čovjek uzgaja žitarice koje svake godine požnje i oranjem se vraća na početnu fazu sukcesije (Slika 56). Mnoga su područja zaustavljena u sukcesiji plantažama vinograda, kave ili čaja (odgovara stadiju šikara) ili voćnjaka (šuma). Većina šuma također je pod režimom gospodarenja i ne dosiže svoj klimaks razvoja.



Slika 55. Požar kao prirodni uzrok regresivne sukcesije u crnogoričnoj šumi: (lijevo) u godini nakon požara i (desno) nekoliko godina nakon požara.
(Riding Mountains, Kanada). Izvor: Autori



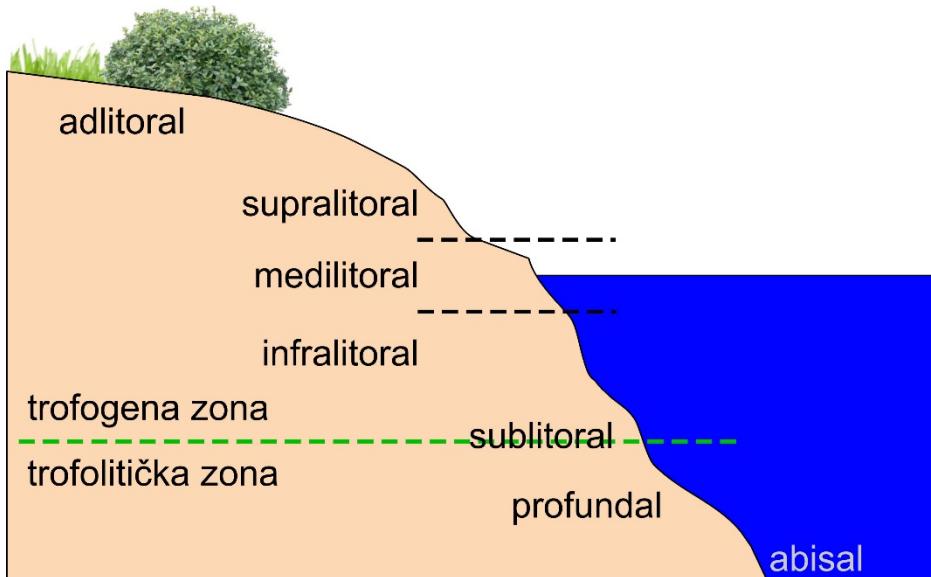
Slika 56. Redovita košnja trave prekida sukcesiju biocenoza. Izvor: Autori

8 Biomi

Biosferu dijelimo na dva biociklusa: voden ili akvatički i kopneni ili terestrički. Kopneni biomi kompleksi su većeg broja zajednica u širem klimatskom području, pa je time klima i glavna odrednica za podjelu osam bioma. Za akvatičke sustave, osim temperature bitni su i kemiski sastav vode, dubina i veličina.

8.1 Akvatički sustavi

Slane vode su oceani i mora koji sadržavaju 98,5% vode na planetu. Slatke vode dijelimo na stajaće (jezera) i tekuće (brze i nizinske ili potoci i rijeke). Posebna kategorija su ušća većih rijeka u more (estuarij) i podzemne vode (tekuće i stajaće).



Slika 57. Životne zone u (morskom) akvatičkom sustavu. Na ovom prikazu je adlitoral prva zona kopna, supralitoral je zona zapljuškivanja valova, medilitoral je raspon između plime i oseke, infralitoral je podvodni dio do dubine do koje dosegava dovoljno Sunčeva svjetla za fotosintezu (trofogena zona), sublitoral je sumračna zona, a profundal je zona tame (trofolitička zona). Abisal su oceanske dubine izvan kontinentalnih podvodnih platoa.

Izvor: Autori



Slika 58. Stjenovita obala na Brijunima i na Lastovu: tamne stijene su medilitoral, bijele supralitoral, a vegetacija raste u adlitoralu. Ispod vode je infralitoral. Izvor: Autori

Koje životne zajednice nastanjuju pojedine dijelove akvatičkih sustava ovisi o (a) sastavu minerala, (b) dubini i (c) svjetlu, (d) temperaturi i (e) kretanju vode (Tablica 6).

U sastavu minerala glavnu razliku čini udio natrijeva klorida (NaCl). Morska voda ima oko 3,5% soli, što procese osmoregulacije čini bitno drukčijima (jednostavnijima) nego u slatkoj vodi koja je hipotonična za sve žive organizme i stalno je moraju izbacivati iz svojih tijela pa zato moraju biti i homeosmotički.

Dubina utječe na hidrostatski tlak koji raste približno za 1 bar za svakih 10 m dubine, i pritišće uronjene organizme sa svih strana. Većina organizama prilagođena je na život uz određeni tlak, a samo dio vrsta može podnosići veće promjene, odnosno kretati se prema površini i vraćati se u dubinu. Osim tlaka, s dubinom se smanjuje i količina svjetla u vodi (Slike 57 i 58).

Svetlost u vodi bitna je za proces fotosinteze. Količina Sunčeve svjetlosti koja prodire ispod površine vode ovisi o dubini i o prozirnosti vode. Na prozirnost vode najviše utječu suspendirane čestice koje zadržavaju dio svjetla. Tako su u bistrom Jadranskom moru u blizini otoka Jabuke zabilježene neke crvene alge koje uspijevaju obaviti fotosintezu i na 200 m dubine, a u mutnome Baltiku je već na 10 do 15 m dubine potpuna tama.

Temperatura nekih mora cijelu je godinu oko ili viša od 25°C i ondje uspijevaju koraljni grebeni, a druga se zimi na površini zamrzavaju i voda ispod leda je oko 4°C .

Gibanja vode značajno određuju koji organizmi mogu gdje živjeti i koje su im adaptacije potrebne za takve uvjete. U gibanja vode ubrajamo riječne i morske struje, valove, te plimu i oseku (Slika 59).



Slika 59. Velika razlika oseke i plime u istome danu, na istome mjestu u Biskajskome zaljevu Atlantskog oceana kod grada Gijona (Španjolska).
Izvor: Autori

Tablica 6. Uobičajeno nazivlje za životne zajednice akvatičkih sustava

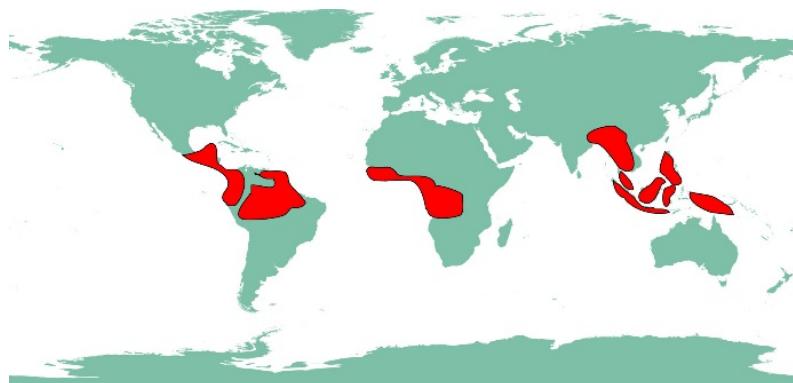
	more	slatk vode		svjetlo	tama
slobodna voda	pelagijal	limnion	plankton – pasivno pliva	trofogeni sloj	trofolitički sloj
			nekton – aktivno pliva		
dno	bentos (bental)	pedon	litoral (zona svjetla)	trofogeni sloj	trofolitički sloj
			profundal (zona tame)		

Evolucija nalazi načine da što raznolikijim oblicima života nastani svako moguće stanište. Tako u moru živi najveći broj različitih koljena živih organizama. U slatkim vodama ipak nema bodljikaša, glavonožaca, plaštenjaka, a ima malo žarnjaka i sružvi.

8.2 Terestički biom

8.2.1 Tropske vlažne šume

Slika 60. *Tropske vlažne šume postoje u Južnoj Americi u porječju Orinoca i*



Amazone, u Srednjoj Americi, u Africi u porječju Konga i Nigera, u jugoistočnoj Aziji na indomalajskom poluotoku, te na otocima Borneu i Novoj Gvineji, te na mnogim drugim otocima između Azije i Australije.

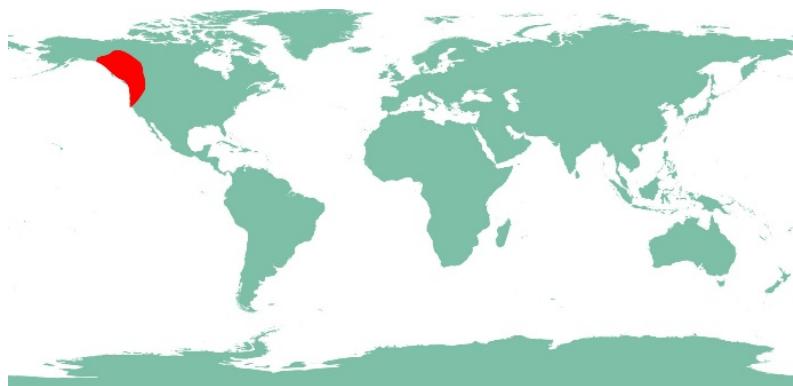
Izvor: Autori

Sve tropske vlažne šume nalaze se u tropskom području, ali nisu sva tropska područja ujedno i vlažna. Ukupno zauzimaju samo 7% površine najproduktivnijeg kopna Zemlje, a sadržavaju oko 80% sve kopnene biomase (Slika 60).

Svugdje ima preko 1500 mm oborina godišnje, a temperatura je stalno viša od 20 °C. Sve vrste koje ondje žive su higrofilne. Bogatstvo vrsta može se ilustrirati činjenicom da ondje raste više od 2500 vrsta drveća. Fauna je vrlo raznolika, posebno među kukcima. Ondje se nalazi najveći dio još neopisanih vrsta životinja koje žive na Zemlji. Tako su, primjerice, u jednom istraživačkom projektu, u epifitskim cvjetovima, koji rastu na drveću uz rijeke 12 metara iznad tla i u kojima se zadržava nešto vode, pronašli čak 20 novih vrsta vodozemaca i dvije nove vrste riba. Izrazit je brz prijetvor organske tvari. Organska tvar koja se nađe izvan živog organizma vrlo se brzo opet uključuje u biomasu. Mjerenja u kojima je uz pomoć radioaktivnog cezija markirana grana otpala sa stabla, pokazala su da se već u roku od 24 sata ta grana razgradi, putem korijenskog sustava upije i sljedeći dan se taj cezij može izmjeriti u vrhu krošnje stabla. Uginula životinja veličine medvjeda bude u roku od 24 sata očišćena do bijelih kostiju, a izmet „nestane” u roku od jednog sata. Sve to znači da je stanje klimaksa dosta osjetljivo. Nakon sječe šume teško opet dolazi do klimaksa, odnosno cijeli sustav gubi ravnotežu. Nažalost,

kopneni sustav koji čovjek najviše napada upravo su tropске vlažne šume: globalno se nepovratno uništavaju 3 hektara u minuti 24 sata na dan.

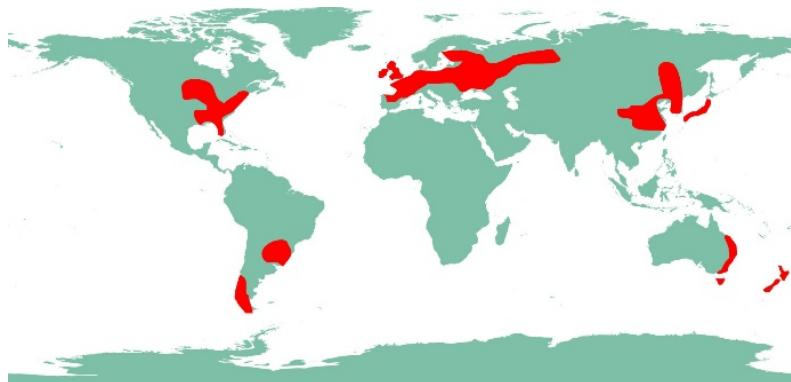
8.2.2 Vlažne bjelogorične šume umjerenog pojasa



Slika 61. Vlažne listopadne šume umjerenog pojasa uz obalu Tihog oceana u Sjevernoj Americi. Izvor: Autori

Vlažne listopadne šume primaju velike količine padalina, kao i tropске vlažne šume, ali se nalaze u umjerenom pojusu gdje su izražene zime tijekom kojih pada snijeg. Primjer takve šume je uz obale sjevernoga Tihog oceana u američkoj saveznoj državi Washington, gdje se nalazi Nacionalni park Olympic. Obilje oborina potiče rast bujne vegetacije, uključujući i brojne epifite. Sve to prati i odgovarajuća fauna.

8.2.3 Bjelogorične šume umjerenog pojasa



Slika 62. Područje bjelogoričnih šuma umjerenog pojasa pokriva velik dio Europe, istok Sjeverne Amerike, dio juga Južne Amerike, dio Japana i Australije te Novi Zeland. Izvor: Autori

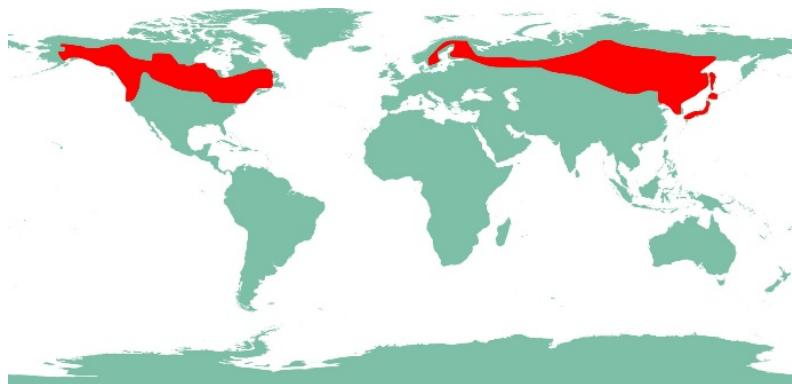
Bjelogorične šume koje rastu u umjerenom pojusu ujedno su i listopadne šume. Uglavnom su u područjima tisućljetnog življenja „civiliziranog“ čovjeka pa su velikim dijelom uništene urbanizacijom ili prenamjenom u poljoprivredno zemljište, ili su eksploatacijom i sadnjom stranih (alohtonih) vrsta jako promijenjene (Slika 62).

Klimatska obilježja su topla ljeta i hladne zime sa 700 do 1500 milimetara godišnjih padalina, koje su zimi u obliku snijega. Šuma gubi lišće u jesen i tako prezimljuje, a u proljeće se mlado lišće razvija relativno kasno, u travnju i svibnju. Tako proljetne Sunčeve zrake prolaze kroz ogoljene krošnje do tla, gdje tope snijeg i potiču rast prizemne vegetacije. Ubrzo je tlo pokriveno razvijenim zelenim podrastom (Slika 63). To je prikladno za život biljoždera koji su gladni nakon zime, a uskoro trebaju i rađatipotomstvo. Kad se krošnje drveća zazelene do kraja svibnja, biljke podrasta već su obavile svoj godišnji ciklus rasta, cvatnje i rasplodivanja. Ista ta šuma u jesen će hraniti životinje svojim plodovima (žir, bukvica, kesten) (Slika 69).



Slika 63. (a) Razvijeni podrast u bjelogoričnoj šumi umjerenog pojasa u proljeće, prije nego što se razvilo lišće u krošnjama listopadnog drveća. (b) Šumsko tlo ljeti kad su krošnje pune lišća, a podrast je prošao svoju vegetacijsku fazu. (c) Bjelogorična šuma zimi, u vegetacijskom mirovanju (Risnjak). Izvor: Autori

8.2.4 Tajga (sjeverna crnogorična šuma)



Slika 64. Tajga se nalazi na sjeveru Sjeverne Amerike i na sjeveru Euroazije. Biom u tipu planinske tajge nalazi se i na određenim visinama u planinskim područjima drugdje u svijetu. Izvor: Autori

Obilježje klime koja podržava biom tajge su duge i hladne zime, a kratka umjereno topla ljeta s dugačkim danima (Slika 64). Većina drveća je igličasta i vazdazeleno, što znači da drveće zadržava zelene iglice tijekom cijele godine, odnosno mijenja ih stalno i postupno. Glavne skupine drveća su različite vrste borova, smreka i jela (Slike 65 i 69). Za razliku od listopadne šume, ovdje proljeće Sunčeve zrake ne prodiru do šumskog tla i ne podržavaju rast prizemne vegetacije. Tlo je razmjerno slabije osvijetljeno, prekriveno je suhim iglicama, pa je stoga slabo obrašteno (Slika 66). Ima lišajeva i mahovina. Sve to pruža malo hrane većim biljožderima pa je i njihova biomasa manja nego u bjelogoričnoj šumi.

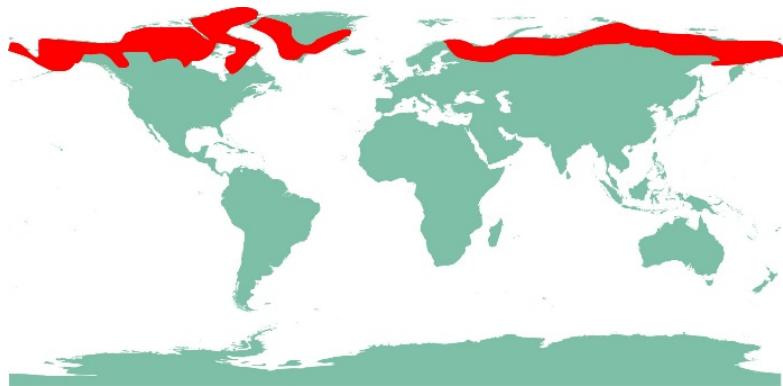


Slika 65. Biom u tipu alpske tajge u vršnom dijelu Risnjaka u Hrvatskoj.
Izvor: Autori



Slika 66. Šumsko tlo u gustom sklopu crnogorične šume prekriveno iglicama i slabo osvijetljeno pa ima vrlo malo prizemnog raslinja (podrasta). Izvor:
Autori

8.2.5 Tundra



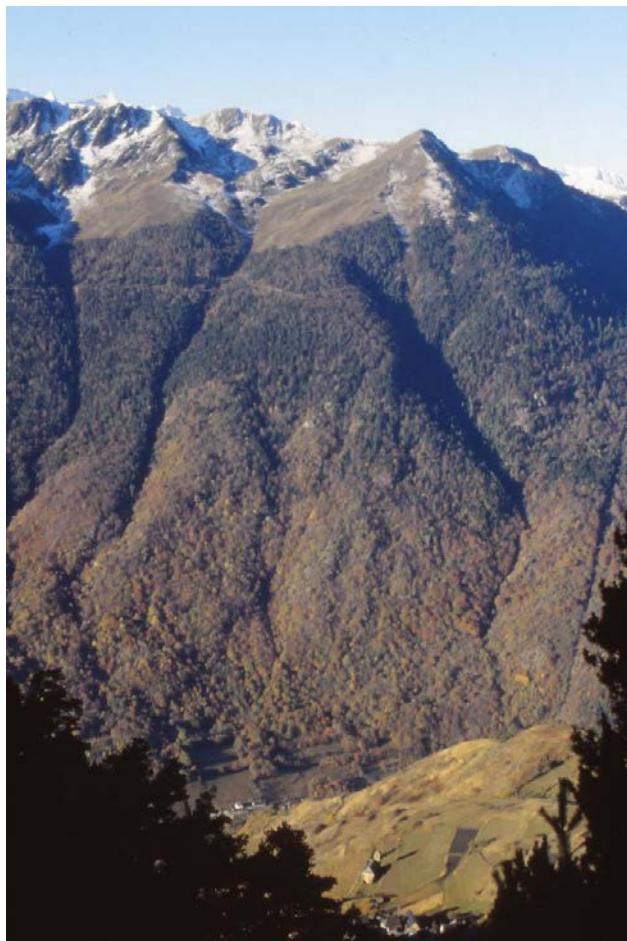
Slika 67. Tundra se nalazi cirkumpolarno uz Arktik u Sjevernoj Americi, Europi i Aziji, sjevernije od pojasa Tajge. U visokim planinama razlikujemo „alpsku tundru” u visinama iznad zone rasta drveća. Izvor: Autori



Slika 68. Biom tundre na Islandu i na poluotoku Labradoru. Izvor: Autori

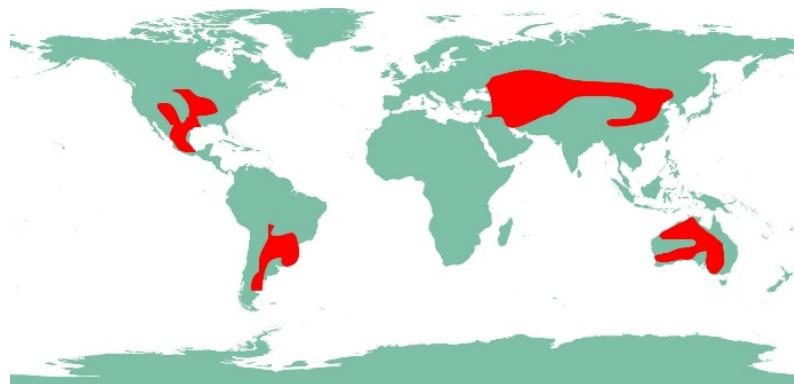
To je područje s jakim djelovanjem ograničavajućih činitelja: temperature i svjetla (Slika 67) Zbog nagiba osi vrtnje Zemlje u odnosu na Sunce, razlike među godišnjim dobima su ekstremne. Zimi, sjeverno od polarnog kruga (67. stupnja) Sunce uopće ne izlazi prosječno 60 dana (od 1 do 182 dana na samom Polu). Tada se temperature ponegdje spuštaju i ispod -60°C . Nasuprot tomu, ljeti Sunce ne zalazi jednako toliko dana. Tada je sezona intenzivnog rasta u danu koji traje 24 sata. Površinski snijeg i led se otope, ali slojevi ispod površine tla ostaju trajno smrznuti, a to se zove permafrost (iz engleskog) ili mrzlotra (iz ruskog). Podzemni led sprječava biljke da puste dublje korijenje. Zato brzo i bujno rastu lišajevi, trave i niže grmlje (Slika 68). Dolazi do

eksplozivnog rasta populacija kukaca. To sve daje obilje hrane drugim životinjama koje tada uglavnom dolaze u to područje iz južnije tajge, a i onima malobrojnim vrstama (leming, mošusno govedo) koje uspijevaju u tundri preživjeti zimu. Dolaze velika stada sobova koja onda prate i predatori vukovi. Posebno su brojne ptice selice koje se ovdje, kao i sisavci, tada razmnožavaju. Uz obilje hrane mladunci brzo rastu i moraju stasati prije kraja ljeta, koje je krajem kolovoza, da bi se mogli seliti na jug ili ovdje preživjeti narednu zimu.

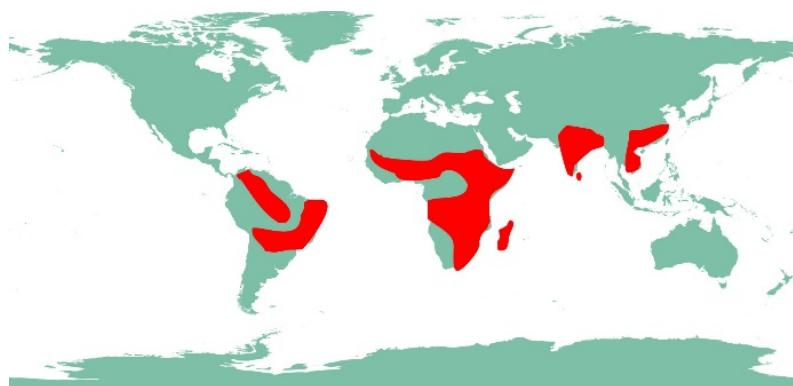


Slika 69. Jasne granice zbog razlika nadmorskih visina između zone bjelogorične šume umjerenog pojasa, alpske tajge (crnogorična šuma) i alpske tundre (planinski pašnjaci) u Pirenejima (Francuska). Izvor: Autori

8.2.6 Travnjaci



Slika 70. Travnjaci umjerenog pojasa u tipu prerije (Sjeverna Amerika), pampasa (Južna Amerika) ili stepa (istočna Europa, srednja Azija i Australija). Izvor: Autori



Slika 71. Tropski travnjaci u tipu savane u Africi, Indiji, dijelu istočne Azije i Južne Amerike. Izvor: Autori

U travnjačkim biomima u načelu nema dovoljno padalina da bi izrasla šuma. Ipak, upravo zbog režima padalina, a i zbog smještaja u različitim temperturnim zonama, razlikujemo dva osnovna tipa travnjaka (neke podjele smatraju ih i odvojenim biomima). Travnjake smještene u umjerenom pojusu u Sjevernoj Americi nazivamo prerijom (Slika 70), u Južnoj Americi pampasima, a u istočnoj Europi i zapadnoj središnjoj Aziji stepom (Slika 71). Tropske travnjake u Africi i Indiji nazivamo savanom, a u tropskom dijelu Južne Amerike llanos (ljanos).



Slika 72. Prerijski biom u Uti (SAD). Izvor: Autori



Slika 73. Stepski biom u Nacionalnemu parku Hustai u Mongoliji. Izvor: Autori

U umjerenome pojusu u kojem godišnje padne 250-700 mm oborina raste trava (Slika 72). Kada godišnje padne manje od 250 mm oborina, onda se ni trava ne može održati pa govorimo o pustinji. Da bi izrasla šuma, godišnje treba pasti više od 750 mm oborina. Unutar velikog raspona od 250 do 750 mm rastu trave vrlo različite visine. Ta trava pruža izdašnu prehranu za preživače i druge biljoždere iz nadreda kopitara (Slika 73). Danas se veliki dijelovi travnjaka umjerenog pojasa poljoprivredno obrađuju, uglavnom za uzgoj žitarica. Zbog toga su s tih travnjaka velikim dijelom nestali divlji

biljožderi, kao i njihovi predatori. Primjer je uništenje bizona u američkim prerijama. Zamijenili su ih domaći preživači.



Slika 74. U savani osim trave ima i pojedinačnih stabala baobaba i akacije (Serengeti, Tanzanija). Izvor: Autori

U tropskom pojasu gdje su travnjaci u tipu savane godišnje padne i 1000 mm kiše, dakle iznad donje granice potrebne za rast šume. Ondje rastu pojedina stabla (poput akacije i baobaba), ali nema šume (Slika 74). Razlog tomu je duga suha sezona, odnosno to što padaline nisu ravnomjerno raspoređene tijekom godine. U suhoj sezoni redoviti su i požari koje samo neka stabla mogu podnijeti. Divlji biljožderi rade redovite godišnje masovne migracije u potrazi za vodom i hranom (Slika 74).

8.2.7 Makija (Chaparral)



Slika 75. Biom makije zauzima priobalje cijelog Sredozemnog mora, Kalifornije, Čilea, Južne Afrike, Madagaskara i dijela zapadne Australije.

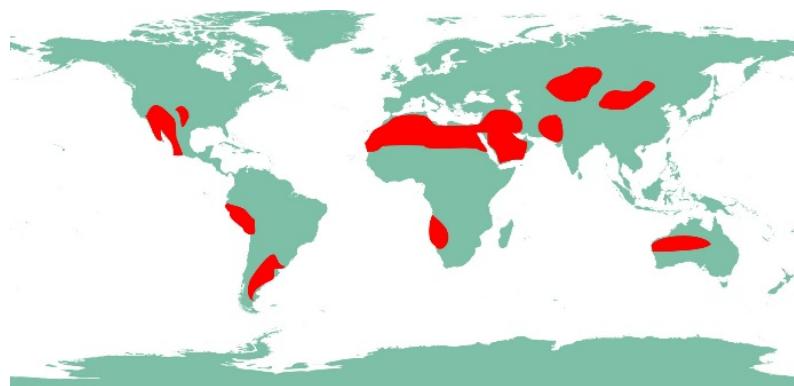
Izvor: Autori

Makija je u toplijem dijelu pojasa umjerene klime gdje su zime blage i s dosta kiša, a ljeta vruća i suha (Slika 75). Karakteristična vegetacija uključuje zimzeleno grmlje i mnogo drugih biljaka koje su ljeti suhe, jer cvatnju i rasplodivanje obave do proljeća (Slika 76). U fauni ima dosta gmazova, manjih sisavaca i raznih ptica. Ljeti su česti požari kao prirodna pojava, a novi klimaks doseže se nakon 20 godina.



Slika 76. Makija u klimaksu razvoja (Lastovo i Mljet). Izvor: Autori

8.2.8 Pustinje



Slika 77. Pustinja ima na svim kontinentima osim Europe. Najveće su Sahara i Namibija u Africi; Sonora u Sjevernoj Americi; Atakama i Patagonija u Južnoj Americi; Gobi, Taklamakan i Arabija u Aziji, te Centralna pustinja u Australiji. Izvor: Autori

Glavno obilježje pustinja je da primaju manje od 250 mm padalina godišnje (Slika 77). To prati i uglavnom loše tlo (pijesak i kamen). Za život u takvima uvjetima, organizmi moraju biti prilagođeni za štednju vode, a kserofilni organizmi to jesu. Od biljaka dominiraju sukulentni (poput kaktusa), grmlje s malim listovima i biljke kratkog ciklusa razmnožavanja, koje ga obave nakon jedne kiše (Slike 78 i 79). Od životinja, ondje obitavaju gmazovi, kukci i nekoliko vrsta sisavaca (npr. pustinjski skočimiš).



*Slika 78. Vegetacija sukulenata u pustinji Mohave u državi Arizoni (SAD).
Izvor: Autori*



*Slika 79. Pješčana pustinja Great Sand Dunes u državi Colorado (SAD).
Izvor: Autori*

8.2.9 Područja ekotona

Ekoton nije posebno određena vrsta bioma, to je samo zona prijelaza iz jednog bioma u drugi. Naravno da u prirodi ne postoji jasna granica među biomima, nego se jedan postupno pretapa u drugi. Šume u planinskim masivima u Hrvatskoj dobar su

primjer preklapanja bjelogorične šume umjerenog pojasa s planinskom crnogoričnom šumom (tajgom) (Slike 80). Ako izdvojimo nizinske bjelogorične šume i najviše vrhove pod klekovicom bora, onda su gotovo sve ostale šume u Hrvatskoj zapravo ekoton bjelogorice i crnogorice (npr. šuma bukve i jele). Mi te šume nazivamo kodominacijom bukve i jele. Uži ekoton, odnosno granična linija, obično se nalazi između terestričkih i akvatičkih sustava. Ukupno područja ekotona zauzimaju velik dio površine Zemlje.



Slika 80. Primjer prijelaznog područja (ekotona): (a) između bjelogorične šume i travnjaka u Montani (SAD) i (b) između bjelogorične i crnogorične šume u šumi bukve i jele na Plitvicama. Izvor: Autori

9 Metode ekoloških istraživanja

Metodologija ekoloških istraživanja vrlo je obilna i složena tema. Naznake pojedinih metoda spominjane su u poglavlju o abundanciji. Ovdje samo ukratko dajemo pregled podjele ekoloških istraživanja.

9.1 Kvalitativne metode

Kod kvalitativnih ekoloških istraživanja glavni očekivani rezultat je popis svih prisutnih vrsta, po mogućnosti iz svih taksonomske kategorije. Pritom nema mjerena njihove biomase ili brojnosti, dakle ne mjeri se količina (obilnost) nego samo kakvoća (vrsnost). Ipak, dosljedno provedeno kvalitativno ekološko istraživanje, osim samoga popisa, pokazat će i:

- Karakteristične (svostvene) vrste u staništu (dominacija ili kodominacija)
- Abundanciju (npr. s bodovnom procjenom od 1 do 5)
- Socijalnost (u jednom od tri opisana tipa)
- Razgraničavanje biocenoza (može se računati koeficijent „sličnosti postaja“)
- Usporedbu više područja ili obilježja istog područja u različito vrijeme
- Trend veličine populacija

9.2 Kvantitativne metode

Kvantitativno ekološko istraživanje pretpostavlja da je prethodno obavljeno kvalitativno (popis vrsta), ali mora dati i količinske (kvantitativne, brojčane) podatke.

Ukupno brojenje i/ili vaganje svih vrsta i jedinki može se raditi na probnim plohama ili transektima, i uz pomoć različitih indeksa (neki su spomenuti u poglavlju o Abundanciji).

Za kvantitativno određivanje bitno je pitanje uzimanja uzorka za istraživanje bez selektivnog gubitka. Popis metoda uključuje najrazličitije mreže, grabila i druge hvataljke, foto tehnike (uključujući IR fotografiju), telemetriju i radioaktivne izotope.

10 Utjecaji čovjeka na ekološku ravnotežu

Čovjek je vrsta koja je zahtjevna prema okolišu, kako svojom brojnošću (biomasom) tako i potrebama za uporabom tog okoliša. Svojim intelektualnim sposobnostima čovjek nadoknađuje fizičke slabosti u usporedbi s drugim vrstama. Zbog ograničene sposobnosti da sebe prilagodi okolišu, čovjek, kao nijedna druga vrsta u povijesti planeta Zemlje, prilagođava okoliš sebi. U tome troši goleme količine fosilnih goriva, trajno mijenja izgled i funkcioniranje površine Zemlje za proizvodnju svoje hrane, za stanovanje, prometovanje i industriju. Sve to znatno mijenja prirodnu ekološku ravnotežu. Sve utjecaje čovjeka može se podijeliti u izravne (direktne) i neizravne (indirektne).

10.1 Izravni (direktni) utjecaji čovjeka

Svaki put kada čovjek mijenja svojstva bilo kojeg staništa, ekosustava ili cijelog bioma, to izravno utječe na ekološku ravnotežu. Većina izravnih utjecaja čovjeka predstavlja iscrpljivanje resursa, odnosno uzimanje iz prirode više nego što se prirodnim putem u istom razdoblju može obnoviti u procesima proizvodnje biomase. Posebno je bitno voditi računa da su mnogi izvori koje čovjek crpi iz prirode neobnovljivi, odnosno da se te tvari danas više ne stvaraju. Glavni primjer su fosilna goriva (nafta, ugljen i plin), ali i mnoge vrste mineralnih sirovina. Istodobno, svaka površina koja je, na primjer, prekrivena betonom ili asfaltom, trajno je promijenjena i ekološki odnosi koji su ondje vladali prije tog zahvata više nisu mogući. Općeniti primjeri izravnih utjecaja su:

- sječa šume, ali i sadnja drveća
- lov i ribolov, ali i uzgoj divljači i riba
- poljoprivredna obrada tla, uključujući i uzgoj domaćih životinja
- svi oblici urbanizacije (gradnje)
- potapanje tla izgradnjom brana ili isušivanje (melioracija)

Promjena uvjeta u staništu u većini slučajeva ne znači da ondje više nema života za „divlje“ (neuzgojene) vrste, a posebno ne znači da je kvaliteta staništa za čovjeka smanjena ili upropastena. Čovjek si obično podiže kvalitetu življenja, ali na račun mijenjanja izvorne prirodne ravnoteže. Pritom mnoge vrste gube životni prostor ili budu izravno istrijebljene. Računa se da danas čovjek zauvijek istrijebljuje čak najmanje 4

vrste na sat i da je to najveće izumiranje u povijesti planeta. Povrh toga, poneka područja čovjek izravnim (a i neizravnom) djelovanjem toliko promijeni da ni on ondje više ne može živjeti.

10.2 Neizravni (indirektni) utjecaji čovjeka – polucija

Praktično svi neizravni utjecaji čovjeka na ekološku ravnotežu mogu se svesti pod poluciju.

„Polucija“ je međunarodni naziv za pojam koji se na hrvatskom jeziku naziva „zagadivanjem“ i „onečišćavanjem“. Moguće razlike između tih dvaju hrvatskih riječi prvenstveno su lingvističko pitanje, pa to ovdje ne analiziramo, a svim nazivima dajemo ravnopravni značaj. Često se kod nas jači stupanj polucije označi kao „zagodenje“, a blaži kao „onečišćenje“.

Poluciju možemo definirati kao nepoželjnu promjenu fizičkih, kemijskih i/ili bioloških svojstava zraka, tla i/ili vode. Dakle, promjena je uvijek u negativnom smislu.

Tvar kojom zagadujemo je pollutant (zagađivalo). Polutanti su ostaci tvari koje ljudi proizvode, njima se koriste i odbacuju ih. Primjerice, za izradu nekog predmeta (na primjer automobila), često se zagadi određena količina vode, u atmosferu se ispusti određena količina raznih plinova (uz potrošnju prirodnih resursa). Kada se taj predmet koristi, on i dalje ispušta razne tvari (i obično troši energiju), te na kraju radnoga vijeka, kada ga se baci, dodatno zagađuje okoliš. S porastom broja ljudi na Zemlji, a posebno i po glavi stanovnika, ta se priča sve više ponavlja. U svakom novom desetljeću, ljudi imaju sve veće potrebe prema industrijskim (i drugim) proizvodima i njihov radni vijek sve je kraći.

Štete od zagadivanja možemo grupirati na mnogo načina. Ovo je jedan od njih:

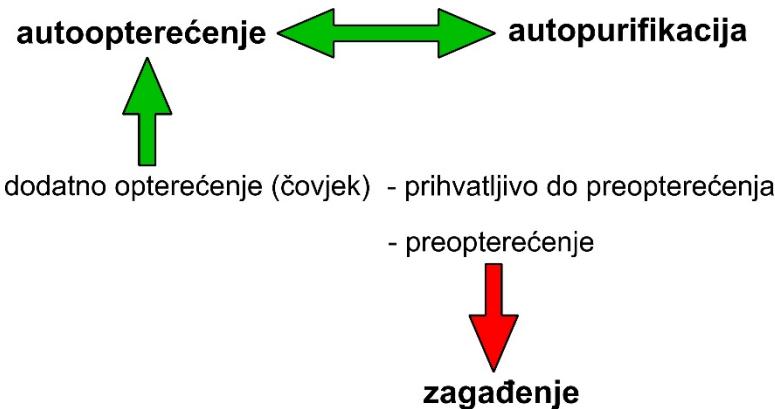
- trošenje sirovina rasipničkom eksploracijom
- veliki troškovi kontrole i čišćenja (otklanjanja posljedica)
- ljudsko zdravlje (ali i zdravlje životinja); porast malignih oboljenja

Sve oblike polucije (zagađivanja) možemo razvrstati u sljedećih 9 tipova:

10.2.1 Visokomolekularni organski spojevi

Visokomolekularni spojevi u ovom smislu predstavljaju organsku tvar: ugljikohidrate, masti i bjelančevine. Dok su u živim organizmima, te tvari jesu biomasa

koja nastaje u stalnim procesima produkcije: u prvom redu fotosintezom (P), a zatim metabolizmom biljoždera (C1), mesoždera (C2) i mesoždera mesoždera (C3). Napuštanjem živih organizama, ta biomasa postaje organska tvar kao abiotički činitelj, a za okoliš je to „samoopterećenje“ (autoopterećenje). Istodobno se odvija i razgradnja („samoočišćenje“ ili autopurifikacija) koja je na razini ekosustava u dinamičkoj i približnoj ravnoteži s produkcijom (Slika 81). Bitna je činjenica da je organska tvar ujedno i jedina hrana od koje mogu živjeti svi heterotrofi (konzumenti C1, C2 i C3), ali im je uvijek poželjna i u pravilu nedostatna. Kako onda može ta vrijedna hrana biti polutant? Problem je kad količina organske tvari izvan živih organizama poraste iznad praga koji heterotrofi mogu potrošiti. To se događa kad čovjek ubacuje u sustav dodatnu (za njega otpadnu) organsku tvar. Prva reakcija na veću količinu hrane je porast broja i biomase heterotrofa, uključujući i saprotrofe (saprofite). Heterotrofi za svoj život trebaju kisik, a rast njihove abundancije povećava i potrebe za kisikom. Dolazi do smanjenja raspoloživog kisika (mikroaerobni uvjeti), pa i do potpunog nestanka kisika (anaerobni uvjeti). Velik dio heterotrofa ugiba, a procesi koji se odvijaju bez kisika dovode do povećane emisije plinova CH_4 , H_2S , i CO_2 , i tada govorimo o zagađenju. U tome je sumporovodik (H_2S) prepoznatljiv po neugodnom mirisu kao znaku raspada organske tvari uz nedovoljno kisika. Mijenja se cijeli sastav vrsta, a preživljavaju samo mikroaerobi i anaerobi. Primjer je izumiranje meduza u sjevernom Jadranu. Svojedobno su ondje živjele i bile opisane 44 vrste, a danas ih ima samo 7, odnosno 37 vrsta je izumrlo. Razlog izumiranja su gotovo anaerobni uvjeti pri dnu mora, gdje većina vrsta meduza obavlja dio svog životnog ciklusa (faza polipa, hidre). Preživjele su samo meduze koje cijeli životni ciklus obavljaju pri površini mora, na kojoj ima dovoljno kisika.



Slika 81. Shema procesa kad je dodatak organske tvari prevelik za sustav pa „preopterećenje“ postaje „zagadenje“ zbog manjka kisika. Izvor: Autori

Slijed problema s viškom organske tvari dobro je vidljiv u akvatičkim sustavima. Tako se standardno kategorije voda određuju po stupnju opterećenja/zagađenja organskom tvari. Postoje 4 tipa voda ovisno o tom stupnju:

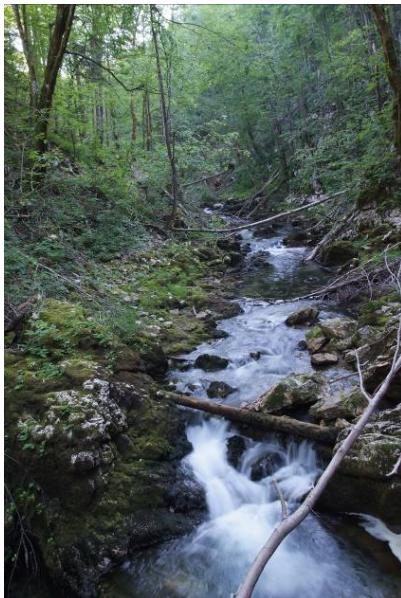
I (o) oligosaprobrene vode. Najčišća voda gotovo bez organskih tvari. Primjer su brdski potoci gdje je voda plitka pa sunčeve zrake prodiru do dna i fotosinteza je moguća u svim slojevima. Takoder, brzi tok s mnogo slapova i prelijevanja potiče zasićenje vode kisikom (Slika 82).

II (β) beta mezosaprobrene vode. To su nizinske rijeke bez utjecaja čovjeka u tom stupnju (prirodno stanje vode). Voda sadržava najmanje 6 mg O₂/l. Te vode podržavaju bogate biocenoze (Slika 83).

III (α) alfa mezosaprobrene vode. U prirodi to mogu biti rukavi rijeka gdje voda donosi lišće, granje i drugi organski materijal. U ribnjacima ljudi hranjenjem riba u uzgoju svjesno drže vodu u tom stupnju. Kisika bude u rasponu od 3 do 6 mg/l, i pritom je bitno da se kisik ne spusti ispod 3 mg/l, jer bi se tada ribe mogle početi gušiti. U traženju kompromisa između davanja što više hrane ribama i održavanja dovoljne razine kisika, posebno je teško ljetno razdoblje kada vode ima manje i kada je toplija pa se kisik slabije u njoj otapa. U alfa mezosaprobnim vodama ima oko 100.000 bakterija u mm³ vode. Okruženje je povoljno za modrozelene alge, dijatomeje i pijavice.

IV (p) polisaprobrene vode. U pravilu, su to kanali i gnojnice visoko opterećeni organskom tvari. Kisika bude od 0 do 3 mg/l, a bakterija ima >1.000.000 mm³. Riba tu nema, a živjeti mogu fakultativni anaerobi, nitratne bakterije,

bakteriofagni protozoi, te ličinke kukaca iz rodova *Tubifex* i *Chironomus* (Slika 84).



Slika 82. Planinski potok kao primjer oligosaprobre vode (Kamačnik). Izvor: Autori



Slika 83. Nizinska rijeka kao primjer beta mezosaprobre vode koja uz dodana zagađenja organskom tvari postaje alfa mezosaprobra (Sava kod Zagreba). Izvor: Autori



Slika 84. Kanal gnojnice kao primjer polisaprobo vode. Izvor: Autori

10.2.2 Anorganske tvari

Svi organizmi koji danas žive na Zemlji evolucijski su prilagođeni na dane koncentracije anorganskih tvari u okolišu. S jedne strane, većinu tih tvari trebaju, a istodobno povećanje prisutnih količina može imati štetno djelovanje. Raspon između minimalnih potrebnih i maksimalnih podnošljivih količina često je vrlo uzak. Posebno je rijetka pojava da bi povećanje koncentracije određenih anorganskih tvari djelovalo poticajno na neke vrste i populacije, nasuprot učinku ograničenog dodavanja organskih tvari u okoliš kako je opisano u prethodnom odjeljku. Među anorganske tvari koje su polutanati ubrajamo teške metale, kiseline, lužine, soli, insekticide, herbicide. Pojednostavljeni se može zaključiti da svaka količina tih tvari, kada ih doda čovjek, djeluje štetno.

10.2.3 Suspendirane čestice

Suspendirane čestice različite su tvari raspršene poput prašine. Te čestice nisu same po sebi otrovne (iako ima i takvih) nego je njihovo štetno djelovanje mehaničko. Svojom količinom one mijenjaju površinu na koju se nakupljaju. Ako su to dijelovi tijela živih bića, onda u pravilu smanjuju respiratornu površinu poput pluća ili škrga, a na listovima biljaka zatvaraju pući i smanjuju fotosintezu. U to ubrajamo tvari poput pepela, ugljene

prašine, kamene prašine. Ljudi koji u rudnicima udišu ugljenu prašinu obolijevaju od antrakoze, a oni u kamenolomima od silikoze. Rad s azbestom uzrokuje azbestozu, a osim toga dolazi i do mehaničkog i kancerogenog djelovanja. Suspendirane čestice mijenjaju i staniše, pa u vodi smanjuju prozirnost, a na dnu se stvara muljevit talog. Dok je u prošlom stoljeću radio ugljenokop Trbovlje, dnevno je u Savu ispirano 1000 tona ugljene prašine, pa je prozirnost bila samo 35 cm, odnosno ispod te dubine je bio mrak. Sloj mulja od prašine na dnu vodenog sustava onemoguće život svim vrstama koje trebaju drugačiju podlogu.

10.2.4 Radioaktivne tvari

Osim izravnog štetnog djelovanja različitih vrsta zračenja u ekološkom smislu, bitno je misliti na problem kumulacije radioaktivnih izotopa u prehrambenom lancu. Od niskih koncentracija u tlu, preko lišajeva, gljiva i biljaka do mesa, masti i mlijeka krupnih biljoždera, a posebno mesoždera, raspon radioaktivnog zračenja može biti od 1 do 1000. Jedan od specifičnih problema današnjice je i pitanje deponiranja radioaktivnog otpada. Sve to potencira dugotrajan poluraspad velikog broja radio-izotopa, pa treba misliti daleko u budućnost.

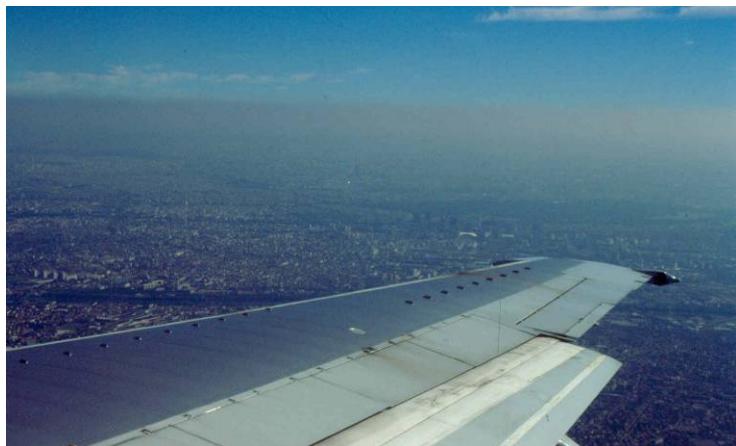
10.2.5 Termopolucija

Zagadivanje toplinom može biti problem na lokalnoj razini, a posebno je velik jer se pojavio i na globalnoj razini.

Lokalna termopolucija: Obično je riječ o porastu temperature nekog vodenog ekosustava (morski zaljev, jezero, rijeka) ispuštanjem industrijske tople vode.

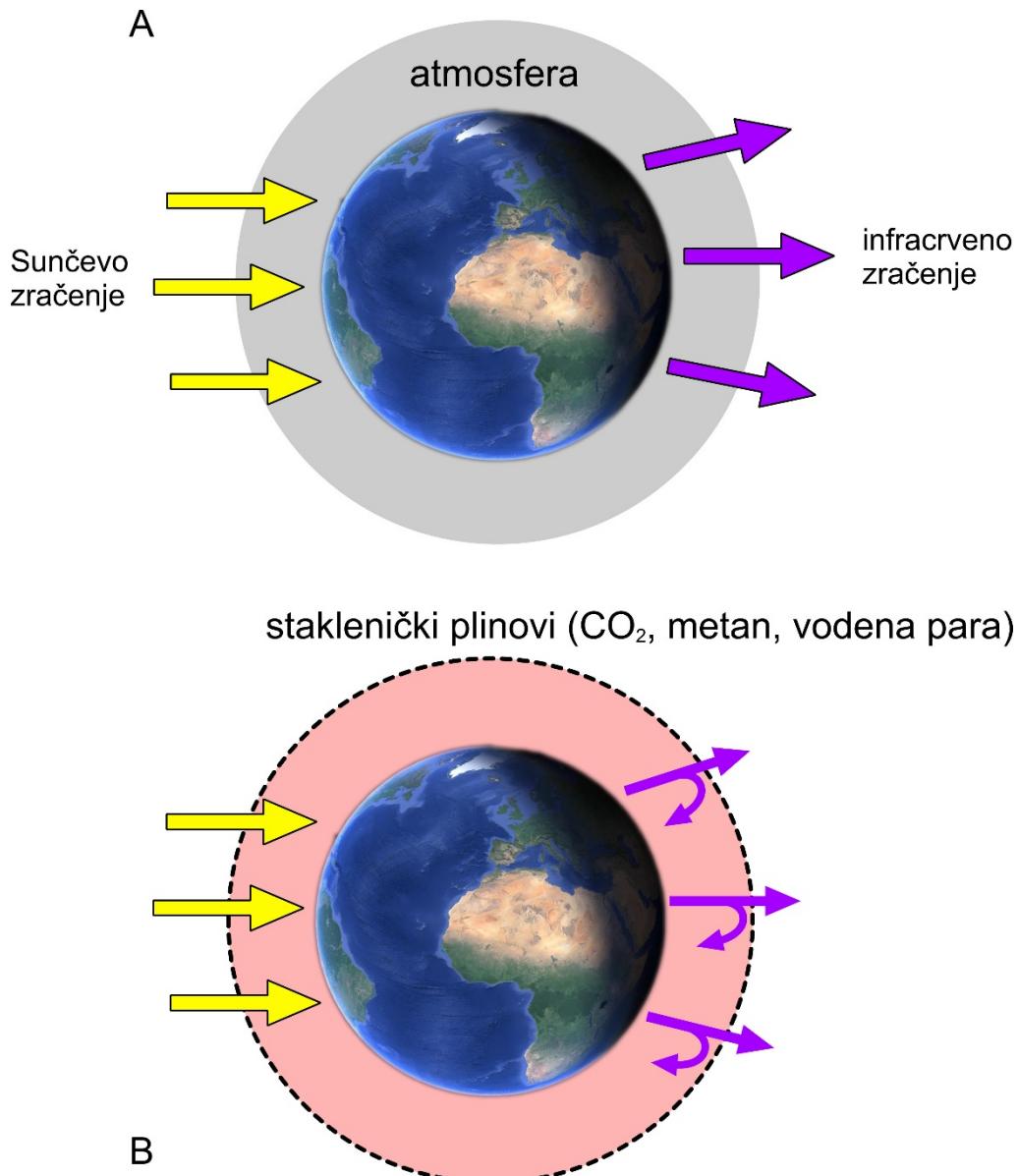
Ovdje govorimo o čistoj toploj vodi (na primjer iz rashladnih sustava termoelektrana), ali takva voda može imati i neka zagađivala, što je onda dodatni problem. Toplina pogoduje odvijanju bioloških procesa, a za poikilotermne organizme to je određeno Van't Hoffovim pravilom, koje govori da povišenje temperature za oko $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ubrzava sve biološke procese 2 do 3 puta. Problem je, isto kao i kod zagadenja organskom tvari, što dovodi do nestašice kisika. S jedne strane, zbog topline vode ima više heterotrofa (a oni troše kisik), a s druge strane, što je voda toplija u njoj se može otopiti manje kisika. Smatra se da nagla promjena temperature od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ubija osjetljivije ribe i da je $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ljeti letalno za većinu vrsta riba. Međunarodni propisi dopuštaju rast temperature vode do $3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatura zraka može lokalno biti viša od okoliša ako na nekom području (na primjer iznad nekog grada ili industrijske zone) nastane kapa smoga koja djeluje kao staklenik (Slika 85).

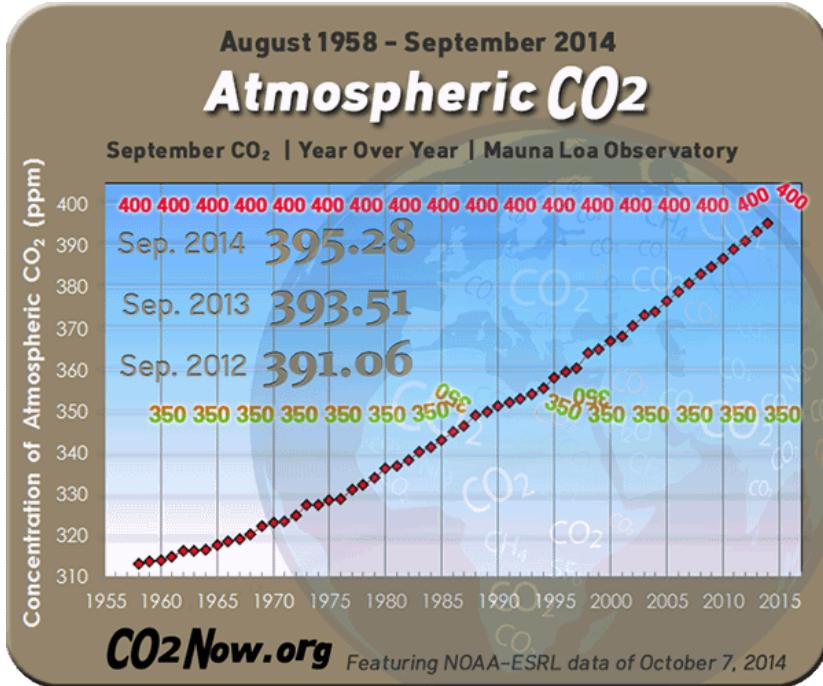


Slika 85. Sloj smoga iznad Zagreba ima efekt staklenika. Izvor: Autori

Globalna termopolucija: Temperatura zraka raste globalno zbog učinka staklenika izazvanog porastom udjela ugljikova dioksida (CO_2), metana (CH_4) i nekih drugih plinova u atmosferi (Slike 86, 87, 88 i 89). Najznačajniji je u tome ugljikov dioksid koji dodatno nastaje izgaranjem fosilnih goriva. U posljednjih stotinu godina, utjecajem čovjeka udio CO_2 u atmosferi stalno raste i u srpnju 2014. dosegnuo je 399,00. ppm (dijelova na milijun). Prije toga, u povijesti planeta Zemlje najviše razine CO_2 bile su između 275 i 300 ppm, i to prije više od 100.000 godina. Učinak staklenika djeluje tako da propušta toplinske zrake kroz atmosferu do površine Zemlje, ali onda se samo dio njih uspije odbiti natrag u više slojeve atmosfere. U svijetu se temperatura zraka i vode prate od 1880. godine. Mjerenja su pokazala da je godina 2013. (uz 2010.) bila najtoplja otkada postoje mjerjenja. Prosječni porast temperature zraka u odnosu na prosjek u posljednjih 100 godina je $0,99\text{ }^{\circ}\text{C}$, a porast temperatura oceana je $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$. Te naizgled male promjene temperature izazivaju vrlo vidljive klimatske promjene. Brojni su primjeri smanjivanja ledenjaka, skraćivanja razdoblja kad je površina mora zamrznuta (što je posebni problem za polarne medvjede), propadanja koraljnih grebena (more je kiselije kad ima više CO_2), ili učestalijih oluja i poplava.



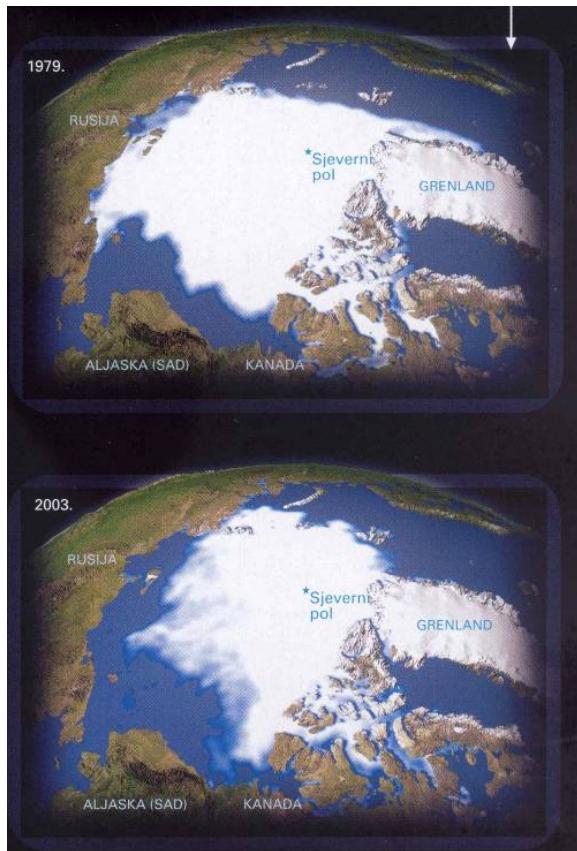
Slika 86. Globalno zagrijavanje zbog efekta staklenika. (A) Cijeli spektar elektromagnetskog zračenja Sunca zagrijava planet Zemlju. Zemlja se hlađi isijavajući toplinu u infracrvenom zračenju. (B) Povećana koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi apsorbira i ne propušta isijavanje energije u infracrvenom spektru pa tako onemogućuje hlađenje zemlje. Staklenički plinovi propuštaju i ne smetaju Sunčevom zračenju da prolazi kroz atmosferu i nastavi zagrijavati zemlju. Izvor: Autori



Slika 87. Krivulja rasta koncentracije CO₂ u atmosferi. Izvor: <http://co2now.org/>



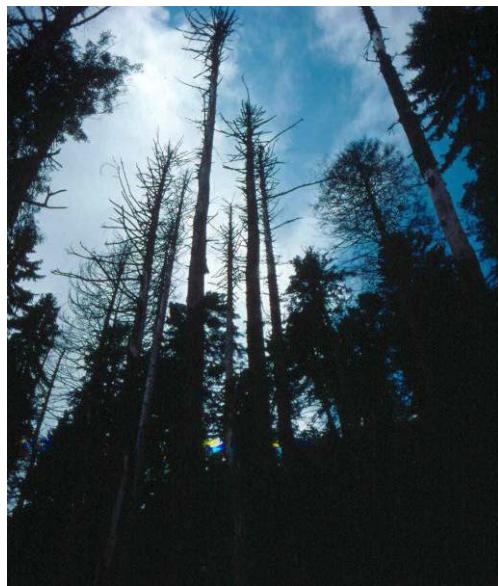
Slika 88. Ušće glečera u more (Greenland). Izvor: Autori



Slika 89. Smanjivanje površine pod ledom oko Sjevernog pola od 1979. do 2003. godine. Izvor. Nacionalna geografija 2003.

10.2.6 Kisele kiše

Razlog zbog čega su atmosferske padaline često kisele posljedica je emisije sumpornih oksida (SO_x) i dušikovih oksida (NO_x) u atmosferi, pri čemu nastaju sumporna kiselina (H_2SO_4) i dušična kiselina (HNO_3). Ti plinovi pojačano se odbacuju u atmosferu u prvom redu izgaranjem fosilnih goriva. Ugljen i nafta, koji imaju veći udio sumpora, posebno su štetni. Kisele kiše i kiseli snijeg djeluju na različite ekosustave. Kad zakisele neki vodeni ekosustav (obično jezera) ribe imaju probleme s disanjem, jer se javlja višak aluminijeva oksida koji im začepi škrge. Beskralješnjaci s ljušturama imaju problem jer im se otapa oklop od kalcijeva karbonata (CaCO_3). Biljke stradavaju prvo od kiseline na lišću koja oštećuje puči, a u korijenskom sustavu poremete promet minerala tako da dolazi do manjka magnezija i viška aluminija. Najosjetljivije su jеле, ali i sva ostala stabla su osjetljiva (Slike 90 i 91).



Slika 90. Osušene jеле u Gorskem kotaru. Izvor: Autori



Slika 91. Pogled iznad oblaka kroz koje idu stupovi dima iz tvorničkih dimnjaka. Izvor: Autori

10.2.7 Ozonske rupe

Manjak, odnosno pad udjela ozona (O_3) u stratosferi naziva se „ozonskom rupom”. Spoj od tri atoma kisika normalno se pojavljuje tek po jedan na 10 milijuna molekula zraka ili 0,6 ppm u zraku. Ozon nastaje djelovanjem UV zračenja Sunca i munja na molekule kisika. Nastanak i razgradnja ozona u normalnim uvjetima su u dinamičkoj ravnoteži. Do manjka ozona dolazi zbog zagađenja tog visokog sloja atmosfere klor fluor

ugljikovodicima (CFC spojevi), koji djeluju kao katalizatori u razaranju O₃ i njegovu pretvaranju u O₂. Čovjek ispušta te plinove najčešće u obliku freona, jer ih koristi kao potisne plinove u raznim napravama: boćicama svih vrsta sprejeva, uključujući i one za gašenje požara, u sustavima za rashladivanje, pa i u pogonskom gorivu mlaznih aviona. Kada je 1928. godine taj plin otkriven činilo se da ima samo pozitivne osobine, jer između ostalog nije otrovan, nije zapaljiv, ne izaziva koroziju i stabilan je. Negativne posljedice široke primjene opažene su tek oko 1980. kad se neočekivano pokazalo da CFC uništava ozon. Kroz stanjeni sloj ozona veće količine ultraljubičastih (UV) zraka iz nevidljivog dijela spektra zračenja Sunca prodiru do površine Zemlje. Te zrake u povećanoj koncentraciji djeluju mutageno. Posljedice su učestaliji karcinomi kože (melanom), ali i opće slabljenje imunog sustava, javljanje očnih mrena, pa i smanjivanje proizvodnje biljnih usjeva. Od 1995., upotreba CFC spojeva je zabranjena, ali se računa da će trebati još desetljeća da se ozonski sloj spontano obnovi.

10.2.8 Heliopolucija

Svi živi organizmi evolucijski su se prilagodili redovitom smjenjivanju dana i noći povezanom s rotacijom Zemlje oko svoje osi. Čovjek je proizveo brojne umjetne izvore svjetla koji mu omogućuju različite aktivnosti tijekom noći. Kada ta svjetlost noću prodire u prirodne ekosustave, onda se mijenjaju životni uvjeti, što primjećujemo kao različite poremećaje. Na primjer, uvođenje svjetla u neke šipilje da bi se omogućilo posjećivanje dovodi i do rasta nekih biljaka (algi, mahovina pa i drveća) koje u tim uvjetima mogu provoditi fotosintezu. I biljke u gradskim parkovima imaju promijenjeni režim fotosinteze. Noćna svjetlost snažno djeluje na mnoge životinje. Kukce privlače svjetiljke pa ih ondje love šišmiši, ali i ptice koje inače ne bi bile aktivne noću, a sve to dovodi do povećane smrtnosti mnogih vrsta. Poseban problem imaju mlade morske kornjače koje kad izlaze noću iz jaja na nekoj pješčanoj plaži trebaju ići u more koje je svjetlijie od kopna zbog odraza zvijezda i mjeseca. Urbana svjetla često su jača od morskih odraza noćnog neba pa mnoge krene prema tim svjetlima i stradaju na prometnicama ili uginu prije nego što nađu more.

Od siječnja 2012. godine Hrvatska ima Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja. U njemu su opisani uvjeti koje treba zadovoljavati sva javna rasvjeta, a i drugi noćni izvori svjetlosti.

10.2.9 Buka

Sluh je bitno osjetilo i zvukovi imaju značajnu ulogu u životu većine životinja. Zvučni valovi koje proizvodi čovjek nastali su u prekratkom roku da mu se životinje

potpuno prilagode. Izvori buke u prirodnom ekosustavu obično dovode do bježanja životinje iz zone tog izvora. Primjer je buka od prometa na autocestama kroz šumske ekosustave, gdje se bilježi do 70% manje aktivnosti životinja u pojasu od oko 500 metara sa svake strane ceste. Pomno izbjegavanje nepotrebne buke bitno je i za domaće životinje u intenzivnom uzgoju. Razni uređaji za ventilaciju, dopremu hrane i za čišćenje mogu svojom bukom pospješivati bolesti povezane sa stresom (na primjer krvarenja u probavnom sustavu) i posljedično dovoditi do smanjenja proizvodnje.

11 Dodatna literatura

Begon, M., J. L. Harper, C. R. Townsend (2000): Ecology, 3th ed. Blackwell science, USA

Garms, H., O. Borm (1981): Fauna Evrope. Mladinska knjiga. Ljubljana - Zagreb

Glavač, V. (2001): Uvod u globalnu ekologiju. Hrvatska sveučilišna naklada. Zagreb

Guttman, B. S. (1999): Biology. McGraw-Hill publishing company, USA

Gužvica, G., L. Šver (2000): Osnove evolucije živih bića. Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.

Hawksworth, D. L., A. T. Bull (2007): Vertebrate conservation and biodiversity. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Huber, Đ. (2004): Biološki temelji uzgoja i zaštite divljači. U: Lovstvo (Z. Mustapić, ur.), Hrvatski lovački savez, Zagreb, pp. 230-235.

Huber, Đ. (2004): Smeđi medvjed. U: Lovstvo (Z. Mustapić, ur.), Hrvatski lovački savez, Zagreb, pp. 92-97.

Huber, Đ., J. Kusak (2004): Telemetrijska istraživanja medvjeda i vukova u Hrvatskoj. U: Lovstvo (Z. Mustapić, ur.), Hrvatski lovački savez, Zagreb, pp. 300-304.

Jerčić, J., K. Vlahović, M. Pavlak (2002): Izabrana poglavља iz botanike (fitologije). Medicinska naklada. Zagreb.

Macdonald, D. W., K. Service (2007): Key topics in conservation biology. Blackwell Publishing. Malden, USA.

Odum, E., G. W. Barret (2004): Fundamentals of ecology. Cengage Learning. USA

Pavlak, M., J. Jerčić, K. Vlahović (2003): Udžbenik za praktičnu nastavu iz biologije, Medicinska naklada. Zagreb

Pimac, R. B. (1995): A primer of conservation biology. Sinauer Associates Inc, Massachusetts, USA.

Postlethwait, J. H., J. L. Hopson (1989): The nature of life. McGraw-Hill publishing company, USA

Postlethwait, J. H., J. L. Hopson (2006): Modern biology. Holt, Rinehart and Winston. USA

Sekulić, R. (2001): Ugroženi planet. Naklada Jurić. Zagreb

Wildermuth, H. (1994): Priroda kao zadaća. Državna uprava za zaštitu prirodne i kulturne baštine. Zagreb.

12 Kazalo

- abiotički činitelj, 16, 22, 23, 24
abundancija, 41, 88
adlitoral, 70, 71
aktivna kompeticija, 61
akvakultura, 16
alfa mezosaprohna voda, 92
Allenovo pravilo, 34, 35
alohtona vrsta, 75
Alopex lagopus, 36
amenzelizam, 62
aminokiselina, 25
amonifikacija, 25
amonijak, 25
anaerobni uvjet, 91
Anak Krakatau, 65, 66
anorganska tvar, 22, 94
Antarktika, 33
antropogeno, 12
Arax imperator, 46
areal, 46
atmosfera, 10
atmosferski tlak, 40
autoopterećenje, 91
autotrof, 15, 18, 19, 22, 27
Azobacter, 25
bakalar, 33
bakterija, 26
bentos, 72
Bergmanovo pravilo, 34, 35
beta mezosaprohna voda, 92
biljožder, 15
bimodalne vrste, 30, 31
biocenoza, 7, 8
biociklus, 8
bioluminiscencija, 30
biom, 8, 70
biomasa, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 43
biosfera, 10, 24
biotički činitelj, 22, 23, 41
biotički potencijal, 53
biotop, 8
bjelančevina, 22, 90
bjelogorična šuma, 65, 68, 74, 75, 76, 80,
 87
bor, 77
Boreogadus sp., 33
Brijuni, 71
brojnost, 41
buka, 101
Canis lupus, 46
CFC spoj, 101
Chaparral, 84
cianobakterija, 25
ciklus dušika, 26
ciklus minerala, 24
cirkumpolarno, 79
crnogorična šuma, 77, 78, 87
denitrifikacija, 25
difuzija, 39
dinamika populacije, 54
diuralne vrste, 30, 31
djtelina, 25
DNA, 22
dobna kategorija, 51
dobna piramida, 52, 53
dobri dupin, 34
dominacija, 45
dušična kiselina, 99
dušik, 24, 25
dušikov oksid, 99
efekt staklenika, 96, 97
egzotermna vrsta, 33
ekologija, 5
ekološka gustoća, 44
ekološka istraživanja, 88
ekološka niša, 8
ekološka piramida, 15, 18
ekološka valencija, 8
ekološki činitelj, 22, 23
ekosistem, 8
ekosustav, 8, 16
ekoton, 86
emigracija, 47
endotermna vrsta, 33
energija, 19, 21, 33
epilimnion, 37
estuarij, 13, 70
eurieciona vrsta, 9
eurifagna vrsta, 8
euriosmotska vrsta, 9
eurisalina vrsta, 40
euritermna vrsta, 8
eurivalentni organizam, 8
fekunditet, 48, 49
fertilitet, 48, 49
fitoplankton, 16, 19, 29

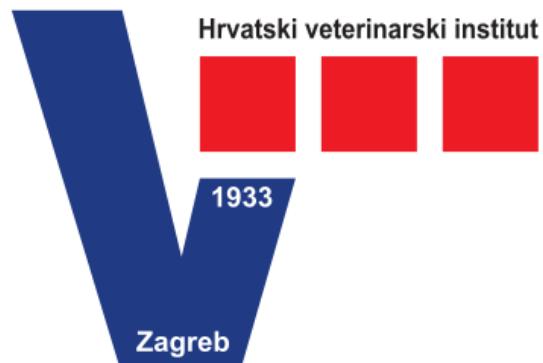
fizikalni činitelj, 22
fluktuacija, 59
fosfor, 24, 26
fossilno gorivo, 25, 89, 99
fotokineza zooplanktona, 29
foton, 27, 32
OTOSINTEZA, 13, 19, 22, 24, 27
gepard, 63
Gijon, 72
globalno zagrijavanje, 97
godišnje doba, 27
GOLFSKA struja, 19
gusjenica, 36
gustoća organizama, 44
habitat, 8
HELIOPOLUCIJA, 101
herbicid, 94
herbivor, 15
heterotrof, 10, 15, 18, 19, 27
heterotrof biofag, 22
heterotrof saprofag, 22
hibernacija, 34
hidrosfera, 10
hidrostatski tlak, 41, 71
higrofilna vrsta, 38, 73
hipertonično, 39
HIPOLIMNION, 37
hipotonično, 39
hitin, 28
homeoosmotska životinja, 39
homeostaza ekosustava, 9
homeotermna vrsta, 33, 34
hrskačnjača, 39
infracrven, 32
infralitoral, 70, 71
insekticidi, 94
interspecijske interakcije, 60
intraspecijske interakcije, 60
jela, 77
jelen, 29
jezero, 16, 17, 19, 44
kaktus, 85
kalcijev karbonat, 25, 99
kapaciteta staništa, 54
karbohidrat, 22
karnivor, 15
kisela kiša, 40, 99
kiselina, 94
kiselo, 40
kisik, 24
klimaks, 65, 66

klor fluor ugljikovodik, 101
koevolucija, 9
kologija, 7
komenzalizam, 62
kompeticija, 60, 62
kontraktilna vakuola, 40
konzument, 15
korajnji greben, 71
korijen leguminoze, 25, 26
košnja, 69
koštunjača, 39
krepuskularne vrste, 30, 31
krpelj, 64
kruženje tvari, 18
kserofilna vrsta, 39, 85
kukuljica, 36
La Manche, 19
lasica, 29
Lastovo, 71
led, 37
leming, 54, 57, 80
Lemmus lemmus, 54, 57
Lepus americanus, 58
Limnea sp., 28
limnion, 72
lipid, 22
listopadna šuma, 74, 76
litoral, 72
litosfera, 10, 26
livada, 16, 17, 18
ljudi, 53
llanos, 81
Lucidia cuprina, 54, 56
lužina, 94
lužnato, 40
Lynx canadensis, 58
makija, 84
makrokonzumenti, 22
mast, 22, 90
medilitoral, 70, 71
meduza, 38
medvjed, 31
mesožder, 15
metalimnion, 37
metamorfoza, 36
metan, 96
mezofilna vrsta, 38
migracija, 47
mikrohabitat, 8
mikrokonzument, 22
mimikrija, 29

miš, 49
modrozelena alga, 33
mokraćna kiselina, 25
moljac, 38
monokulture, 59
morska kornjača, 101
mortalitet, 50
moruzgva, 62
mošusno govedo, 80
mrjest, 28
mrjest pastrva, 28
mrzlotra, 79
muha, 54, 56, 59
Musca domestica, 59
mutualizam, 62
Nasonia vitropennis, 55, 59
natalitet, 48
natrij klorid, 71
nekton, 72
neperiodička oscilacija, 54
nesenje jaja, 28
neutralizam, 62
nitrat, 25
nitrificirajuća bakterija, 25
nitrifikacija, 25
nitrit, 25
nitrogenaza, 25
Nitromonas, 25
nokturalne vrste, 30, 31
noosfere, 10
nosilac, 59
nukleinska kiselina, 22, 25
obrtaj biomase, 16
ograničavajući činitelj, 13, 14
oikos, 5
oligosaprobnna voda, 92
onečišćenje, 90
oranica, 65
organska tvar, 22
os rotacije, 27
osa, 55, 59
oseke, 70
osmoza, 39
oštiga, 49
ozon, 100
ozonska rupa, 100
pampas, 81
papućica, 36
parazit, 59
parazitizam, 62
parenje, 28
pasivna kompeticija, 61
pedon, 72
pelagijal, 72
periodička oscilacija, 54
permafrost, 79
pH, 40
piramida biomase, 19
piramida brojeva, 18
piramida energije, 19
planinski pašnjak, 80
plankton, 72
plime, 70
Plitvice, 87
poikilosmotska životinja, 39
poikilotermna vrsta, 33, 36
polarna lisica, 36
polarna sova, 29
polisaprobnna voda, 92
polucija, 90
polutant, 90
populacija, 41
požar, 68
pravilo minimuma, 13
predacija, 62
prehrambeni lanac, 15
prerija, 68, 81
presvlačenje rakova, 28
primarni konzument, 15, 16
primarni producent, 16, 18
primarnoi konzument, 17
producent, 15, 22
profundal, 70, 72
proizvodnja biomase, 17
prostorni raspored, 44
protein, 22, 25
protok energije, 18
protokooperacija, 62
ptica, 33
puštinja, 14, 33, 68, 85
puštinjska lisica, 36
puž barnjak, 28
Q10, 36
radioaktivna tvar, 95
rak samac, 62
razgrađivač, 15
respiracija, 24
Rhizobium, 25, 26
riba klaun, 62
rijeka Po, 13
ris, 54, 58
RNA, 22

- roda, 44
saprofit, 16, 23
saprotrofit, 15
savana, 81, 83
sekundarni konzument, 15, 16
sekundarni mesožder, 18
seoba ptica, 27
simbioza, 62
sisavac, 33, 38
šišmiš, 101
skakavac, 17
sleđ, 36
slon, 53
smreka, 77
sob, 80
socijabilnost, 45, 88
spolna aktivnost, 28
srna, 29
staklenički plin, 97
stanište, 8
stenofagna vrsta, 8
stenoosmotska vrsta, 9
stenotermna vrsta, 8
stenovalentni organizam, 8
stepa, 81
sublitoral, 70
sukcesija biocenoza, 65, 67
sukulent, 85
šuma, 18
sumporna kiselina, 99
sumporni oksid, 99
sumporovodik, 91
Sunčeve svjetlosti, 19
supralitoral, 70, 71
suspendirana čestica, 94
svjetlost, 27, 72
tajga, 77, 78, 80
temperatura, 36
temperatura tijela, 34
tercijarni konzument, 15, 16
terestički biomi, 73
termalna konstanta, 36
termalni izvor, 33
termit, 49
termoklinom, 37
termopolucija, 37, 95
teški metal, 94
tjelesna temperatura, 33
tlak, 40
toplina, 19, 32
toplinska energija, 36
trakavica, 40, 49
trava, 16
travnjak, 65, 68, 81
trend populacije, 41, 88
treset, 40
trofički lanac, 18
trofogena zona, 70, 72
trofолitička zona, 70, 72
tropska vlažna šuma, 33, 68, 73
tundra, 59, 79, 80
turnover, 16
tvor, 28
ugljični dioksid, 24
ugljik, 24
ugljik dioksid, 96
ugljikohidrat, 90
ugljikovodik, 22, 24
ultraljubičaste zrake, 101
umjetno gnojivo, 25
urea, 25
urin, 25
utjecaj čovjeka, 89
uzrasna struktura, 51
Van't Hoffovo pravilo, 36
visokomolekularni organski spojevi, 90
vlasulja, 62
voda, 38
vodik, 24
vrabac, 53
vuk, 28, 34, 46, 47, 80
vulkan, 65, 66
Vulpes zerda, 36
zagađenje, 92
zagađivalo, 90
zagađivanje, 90
zec, 29, 54, 58
Zemlja, 27
zimski san, 34
životna forma, 9
životni prostor, 46
zooplankton, 29
zračenje, 32

Zahvaljujemo tvrtkama koje su svojom potporom pomogle tiskanju ovog udžbenika.



AGROPROTEINKA