



Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

AKVATIČNI EKOSISTEMI I KVALITET VODA

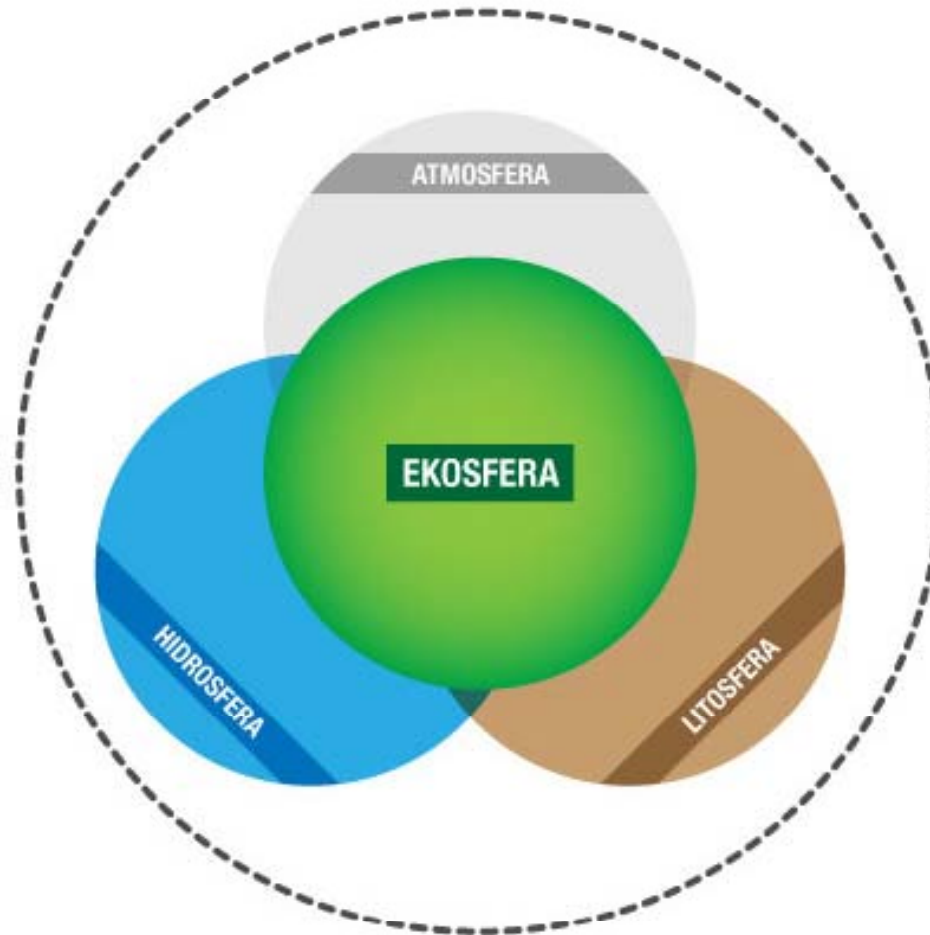
Svetlana Ugarčina, dipl. ekolog
Prirodno-matematički fakultet
Departman za hemiju
Novi Sad





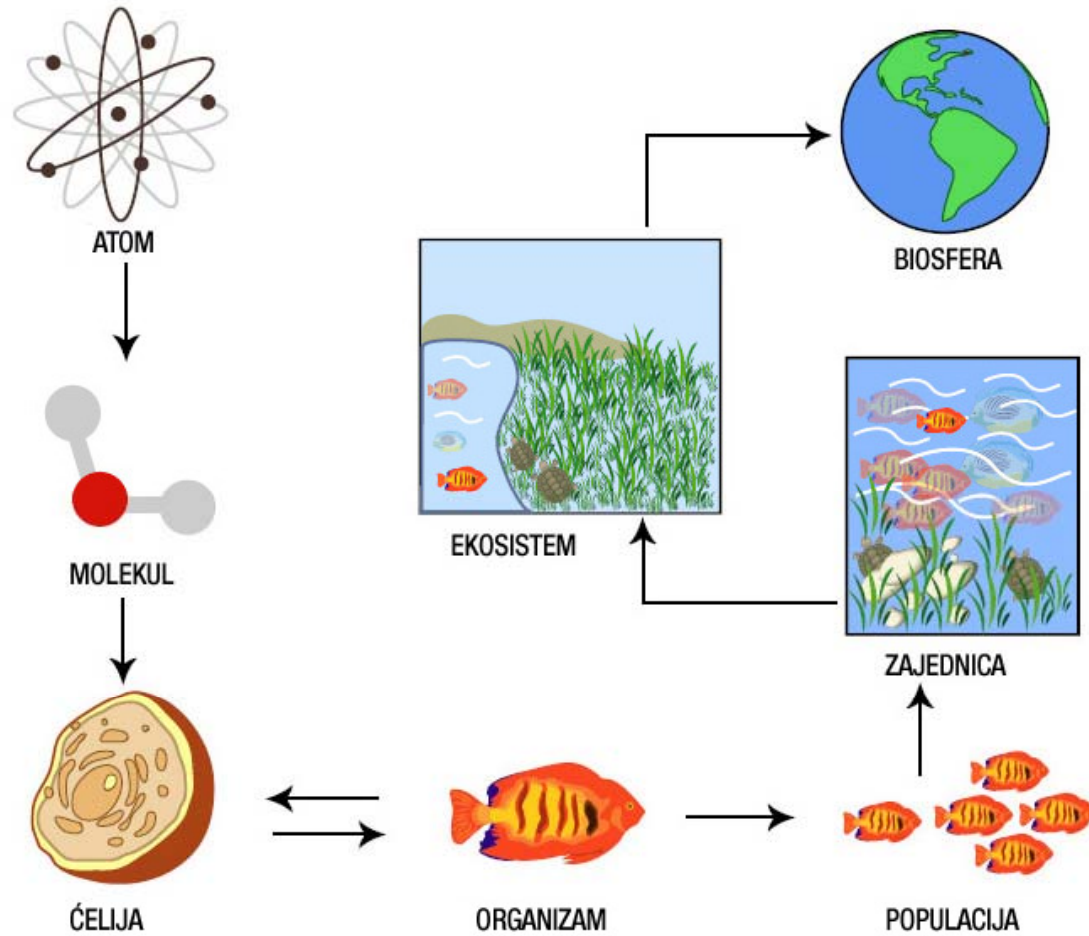
Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Biosfera - jedinstvo žive i nežive prirode





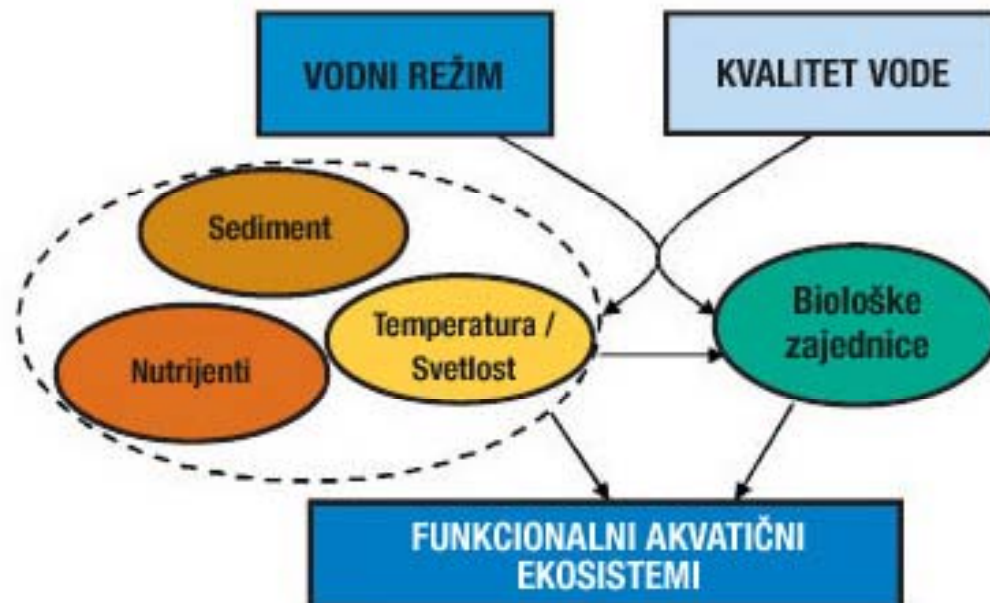
Nivoi ekološke organizacije





Akvatični ili slatkovodni ekosistem - neraskidivi dinamičan sistem životne sredine (abiotičke komponente) i organizama (biotičke komponente), koji je naseljavaju.

- **Životna sredina** - prostorno ograničena jedinica okarakterisana pre svega posebnim setom ekoloških faktora (rezultat složenog fizičko-hemijskog sistema voda-sediment)
- **Biološka zajednica** - određena kombinacija organizama koja se uspostavlja i održava kao takva pod datim ekološkim uslovima akvatične sredine





Osnovne komponente

Abiotičke komponente:

- Voda, vazduh, sediment, temperatura, intenzitet svetlosti, salinititet
- Set tolerantnih granica za populacije i zajednice
- Ograničavajući faktori, koji definišu brojnost populacije

Biotičke komponente:

- Proizvođači, potrošači, razlagači
- Životinje, biljke i mikroorganizmi - BIOTA
- Biotičke interakcije između biotičkih komponenata (predacija, kompeticija, simbioza, parazitizam, komensalizam)

Jedan od faktora koji u znatnoj meri određuje kombinaciju životnih uslova u akvatičnim ekosistemima, i u isti mah utiče na sastav njihovih zajednica jeste **KRETANJE VODE**.

Stoga, akvatični ekosistemi se mogu podeliti u dve osnovne kategorije:

- stajaće vode ili lentički sistemi (jezera i bare) i
- tekuće vode ili lotički sistemi (reke i potoci)

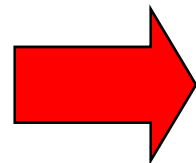




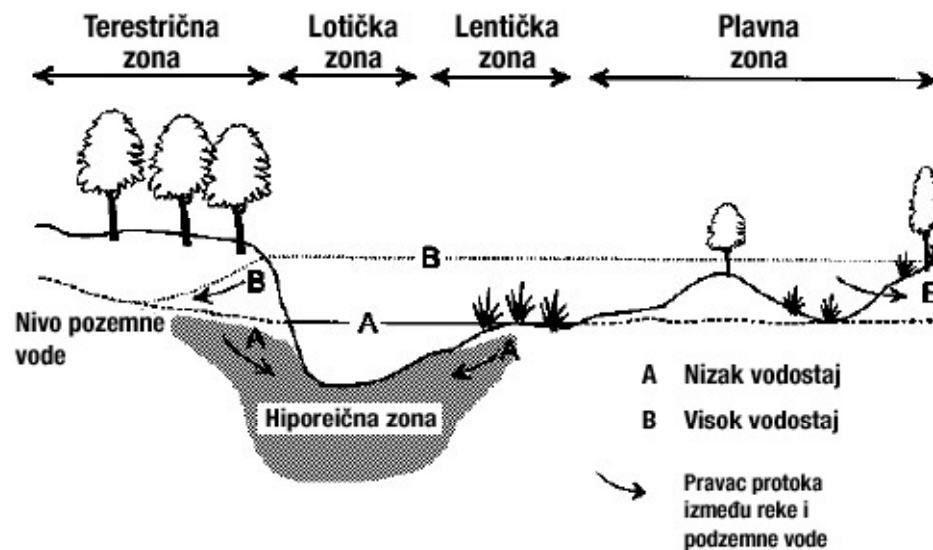
Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Ograničavajući faktori

- Prodiranje svetlosti
 - turbiditet i
 - temperatura vode
- Vodeni pokreti/strujanja
- Nutrijenti
 - N, C, P
- Sadržaj rastvorenog kiseonika

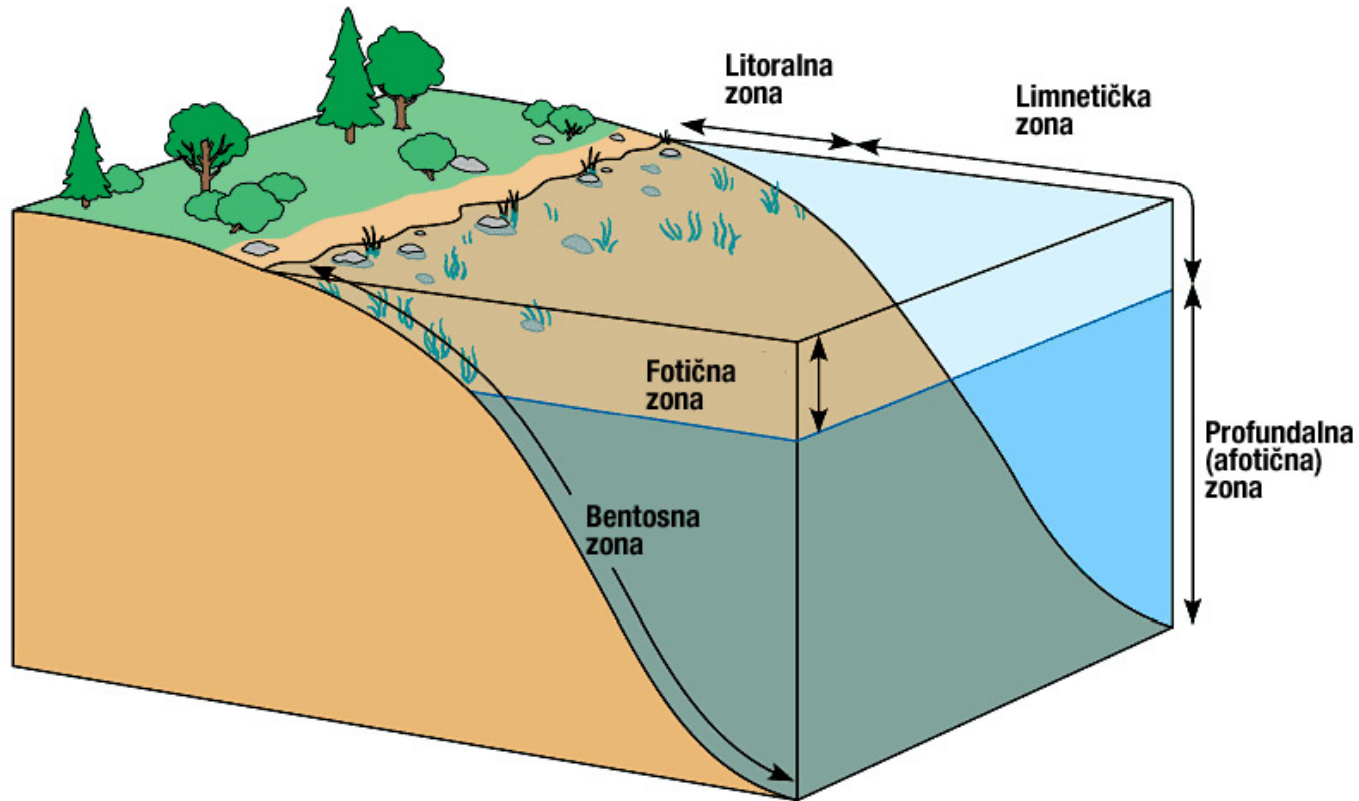


ZONALNOST AKVATIČNIH EKOSISTEMA





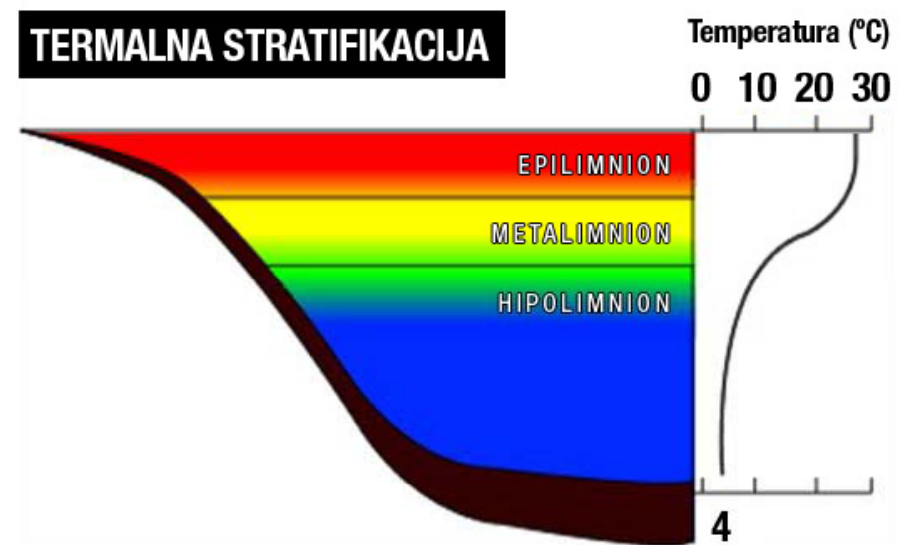
Vertikalna i horizontalna zonalnost



Vertikalna zonalnost

1. Fotična/trofogena zona - dobro osvetljeni površinski sloj/izgradnja primarne organske materije u kojoj su glavni proizvođači alge i makrofite i
2. Afotična/trofolitična zona - dubinski neosvetljeni sloj/nema proizvođača tj. faza razlaganja do potpune mineralizacije.

Vertikalne razlike u dejstvu fizičkih faktora sredine (**temperature, svetlosti**), kao i u pogledu hemizma sredine (**sadržaj kiseonika, CO₂**) odražavaju se i na sastav životnih kompleksa pojedinih slojeva životne akvatične sredine.

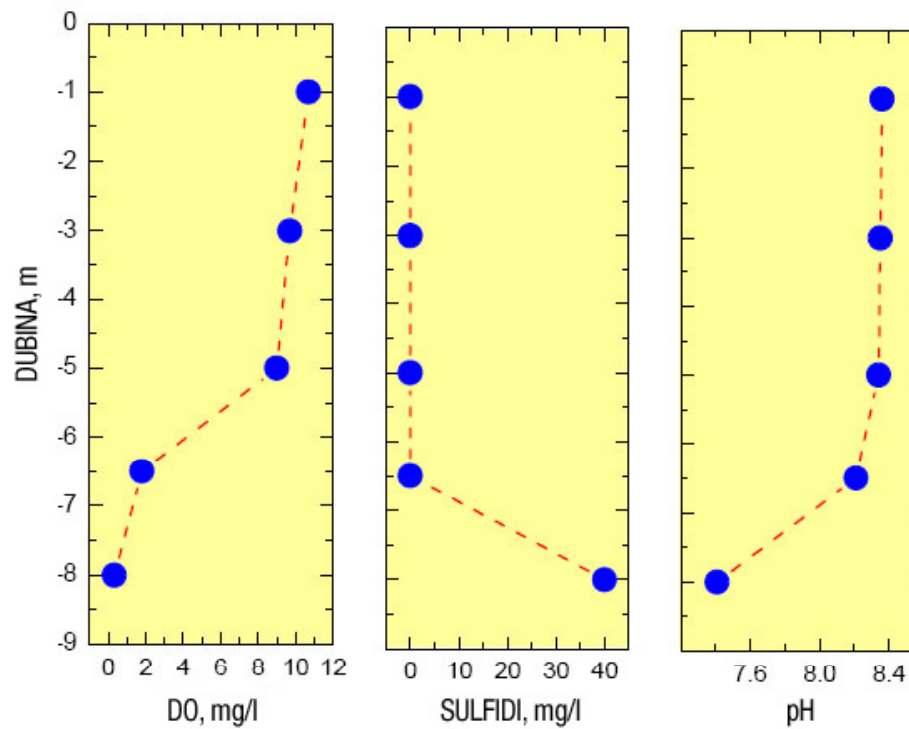




Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

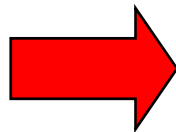
Gasni režim
akvatične
sredine

O_2
 CO_2
 H_2S

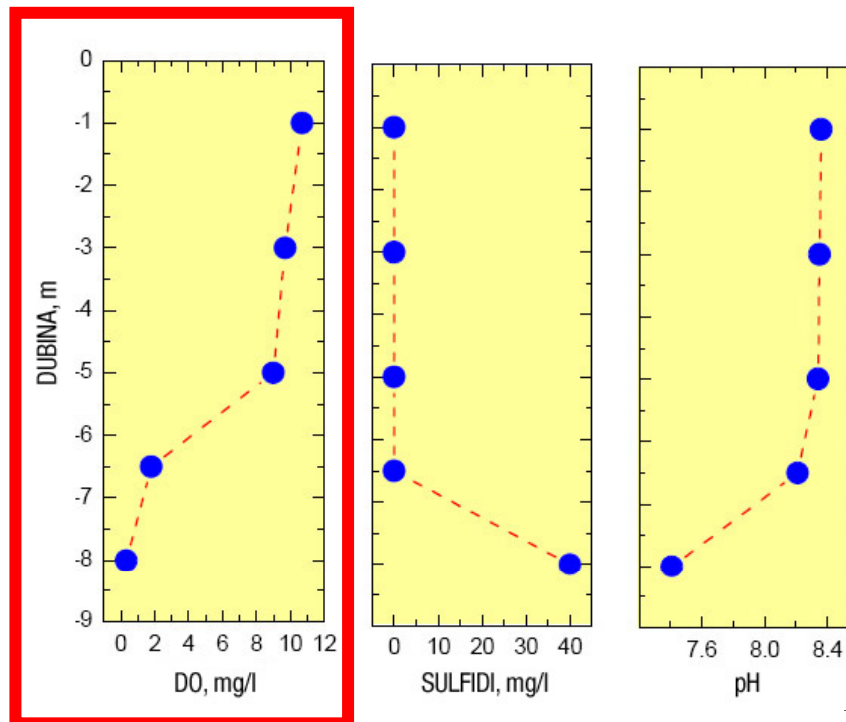
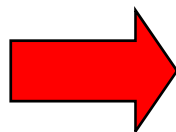


- ◆ Izvori kiseonika u gornjem, površinskom i osvetljenom sloju:
 - ◆ atmosfera, sa kojom se vrše stalne gasovite razmene, i
 - ◆ fotosintetička produkcija - **Trofogena ili produkciona zona.**
- ◆ Gubitak kiseonika u dubljem i neosvetljenom sloju:
 - ◆ izlučivanje u atmosferu u slučaju prezasićenosti površ. sloja kiseonikom i
 - ◆ različiti oksidacioni procesi (disanje organizama, razlaganje organske materije, oksidacija neorganskih jedinjenja npr. Fe i N) - **Trofolitična ili oksidaciona zona.**

oksična sredina

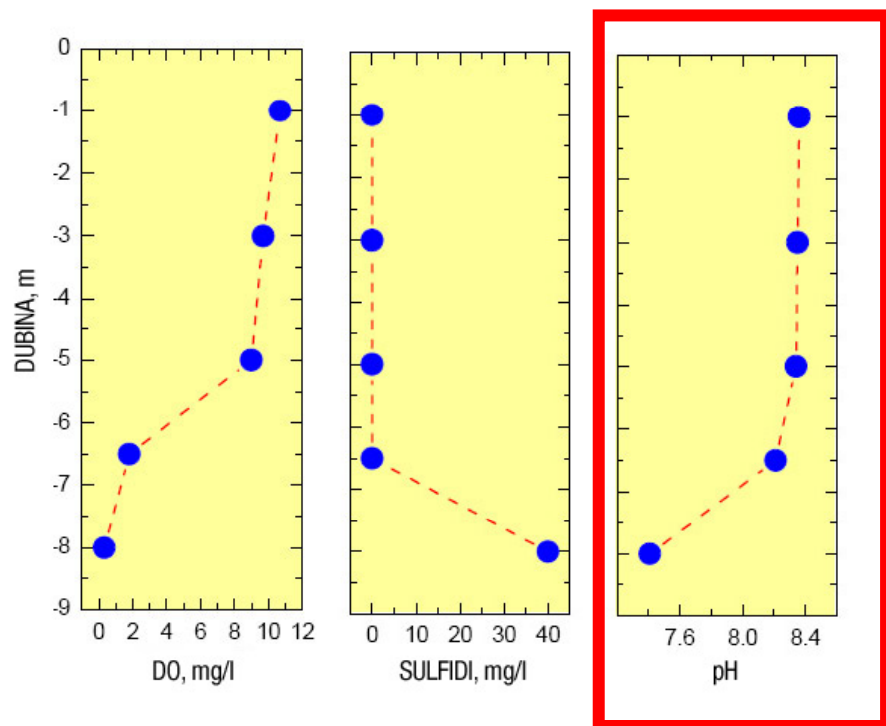


anoksična sredina





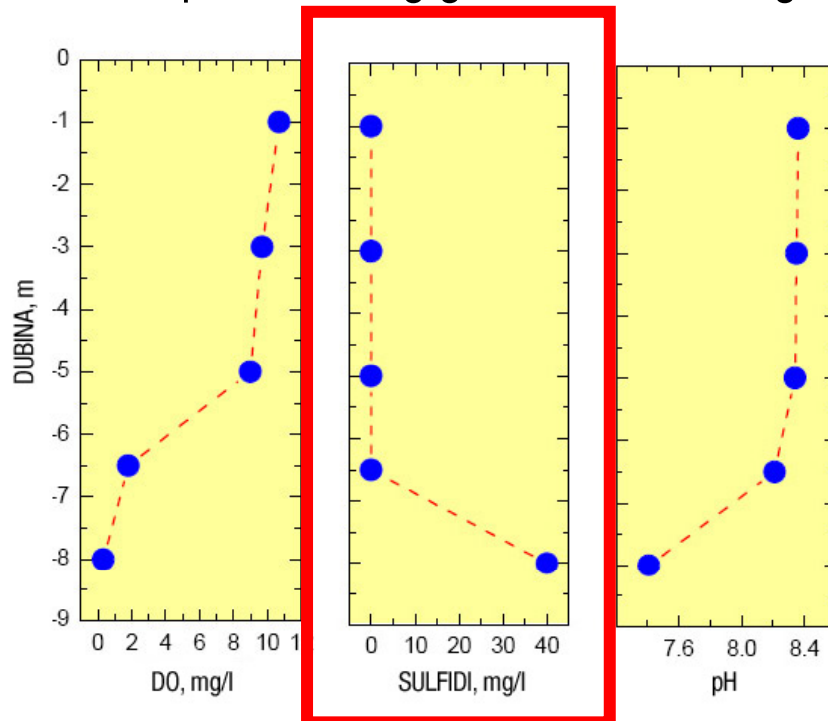
- Vertikalni raspored sadržaj CO_2 suprotan kiseoniku:
 - posledica procesa oksidacije organske materije u dubljim slojevima, kao i disanja vodenih organizama



- Osnovni ekološki značaj:
 - proces fotosinteze i
 - regulacija jonske reakcije prirodnih voda - pH vrednost (ravnotežni sistem CO_2 - bikarbonati-karbonati)



- Prisustvo H_2S u dubljim slojevima:
 - rezultat razlaganja belančevinastih materija i redukcionih procesa u odsustvu kiseonika i
 - postojano prisustvo u površ. sloju je nemoguće, s obzirom da je parcijalni pritisak ovog gasa u atmosferi gotovo jednak nuli.



- Osnovni ekološki značaj:
 - **Imobilizacija metala putem precipitacije sulfida**



Horizontalna zonalnost

- osnovne zone:
 1. **Litoralna zona** - zona osvetljenih slojeva vode kraj obale;
 2. **Limnetička zona** - zona površinskih slojeva slobodne vode;
 3. **Profundalna zona** - zona dubljih slojeva;
 4. **Bentosna zona** - dno.

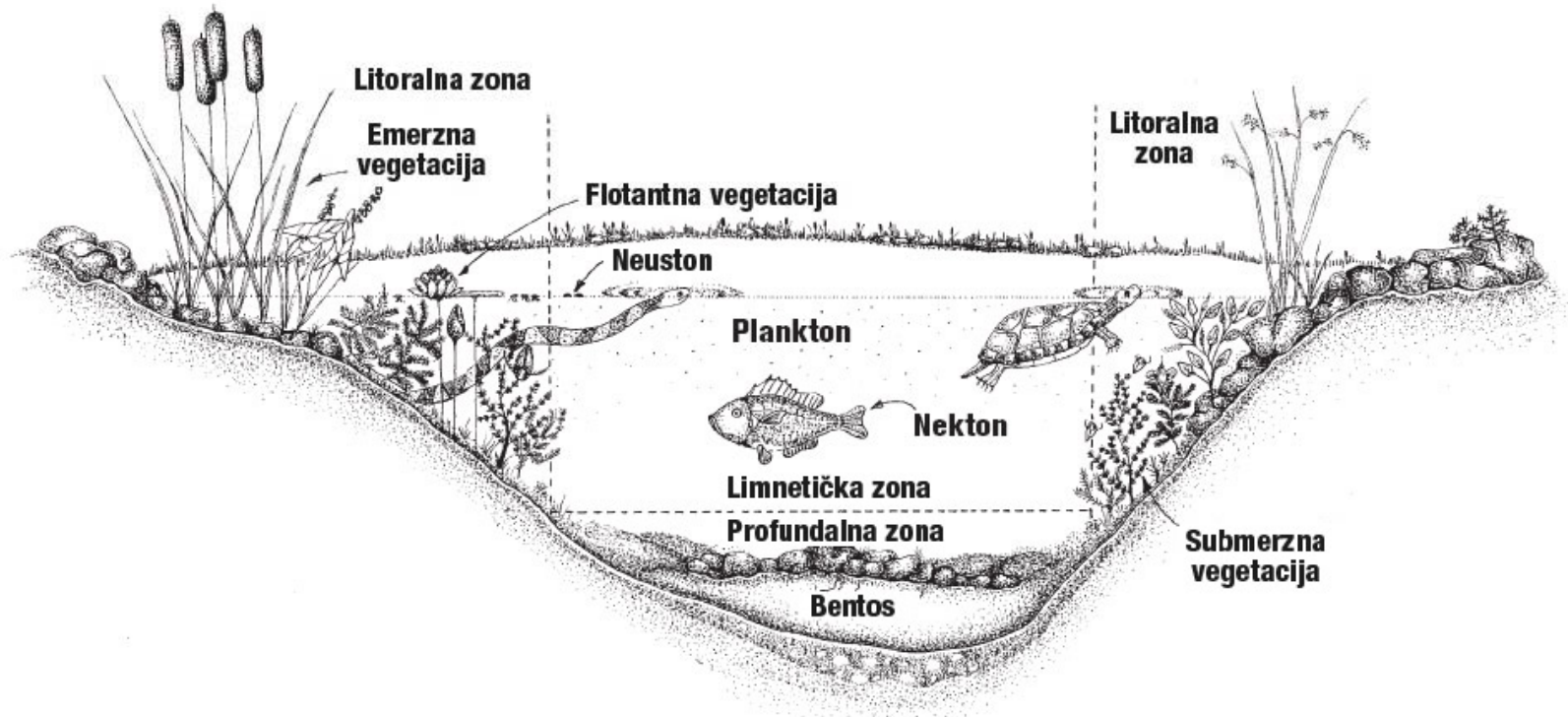
Složenost akvatičnog ekosistema ogleda se u prisustvu specifičnih zajednica živih organizama u okviru pojedinih vertikalnih i horizontalnih zona.



Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Biotičke komponente - biota

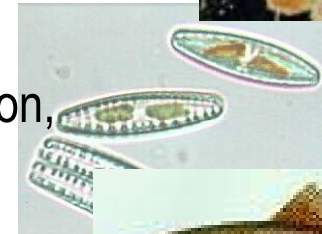
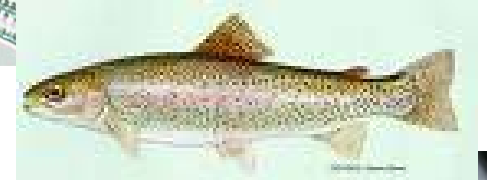
- **Biodiverzitet** - raznovrsnost i promenljivost (varijabilnost) bioloških oblika, pojava i procesa u okviru živih organizama i eko. kompleksa čiji su oni deo, kao odgovor evolucije na promenljivost eko. faktora.
 - raznovrsnost biljnih, životinjskih i mikrobnih vrsta





Akvatični organizmi

- Akvatični organizmi prema prilagođenostima na različite uslove života u pojedinim zonama akvatičnog ekosistema:
 - **Bentos** - organizmi koji žive na ili u supstratu dna;
 - **Perifton** - organizmi pričvršćeni za materijal u vodi ili površinu krupnijih organizama ;
 - **Plankton** - slobodno-plivajući organizmi (bakterioplankton, akvatične gljive, fitoplankton i zooplankton);
 - **Neuston** - organizmi na ili blizu površine; i
 - **Nekton** - životinjske vrste koje se aktivno kreću kroz vodu.



Akvatične biljke - makrofite

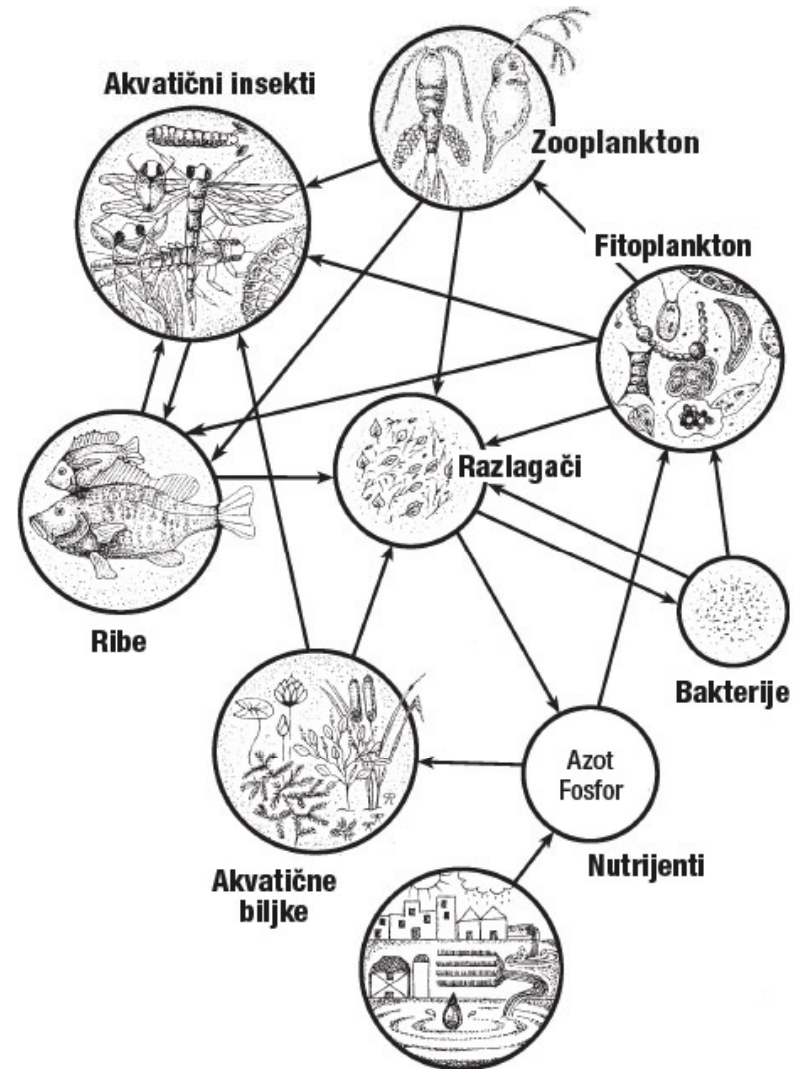
- **Emerzne biljke** - biljke sa razvijenim korenom koje rastu blizu obale, a čiji se donji deo nalazi pod vodom a gornji iznad površine vode (*Carex*, *Scirpus*, *Phragmites*, *Typha*)
- Međutim, neke makrofite mogu biti potpuno potopljene u vodi (**submerzne biljke** *Chara*, *Nitella*, *Isoetes*, *Fontinalis*), dok druge poseduju flotantne ili aerisane komponente (**flotantne biljke** *Nymphaea*, *Nuphar*, *Potamogeton natans*).





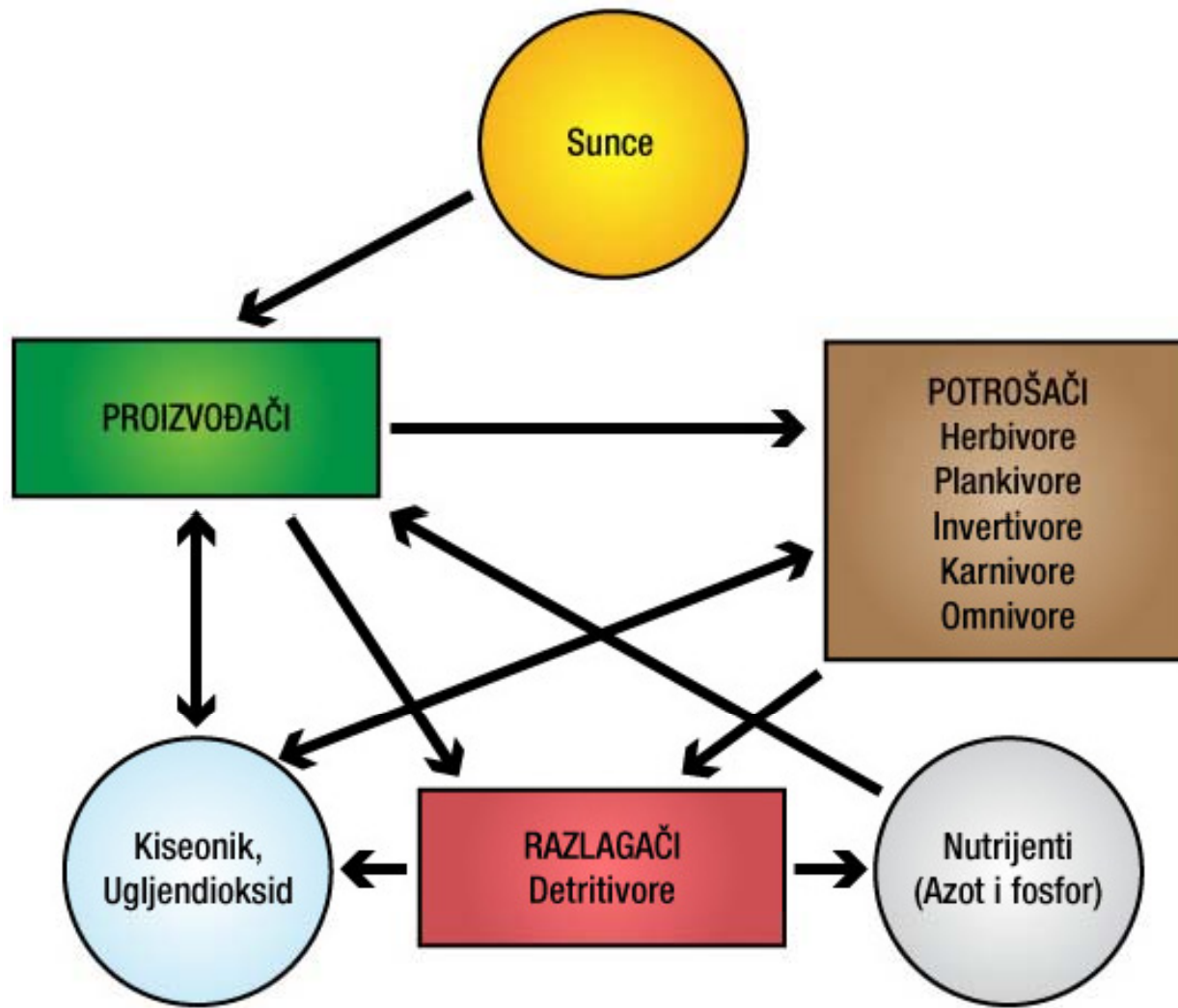
Biotičke komponente - trofički nivoi

- uzajamna povezanost članova svake životne zajednice jesu **ODNOSI ISHRANE** ostvareni kroz **lanac ishrane**
- organizmi kao otvoreni sistemi - u stalnoj razmeni materije i energije sa sredinom u kojoj žive
- lanac ishrane se sastoji iz hijerarhijski raspoređenih nivoa ishrane - trofičkih nivoa





Akvatični lanac ishrane



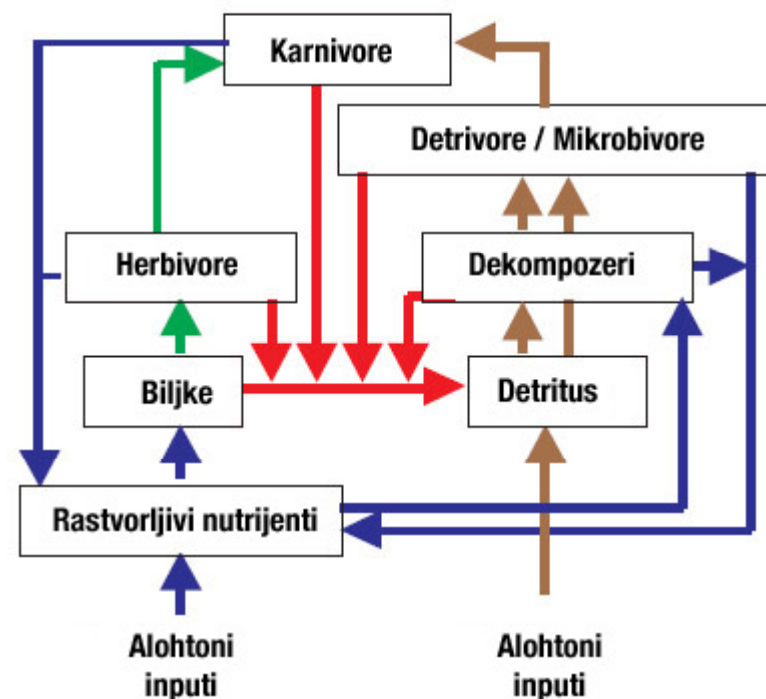


Detritus u lancu ishrane

- Detritus predstavlja izvor energije i nutrijenata za žive organizme u mnogim mrežama ishrane. Smatra se da detritus zauzima centralno mesto protoka energije unutar ekosistema, pri čemu se trofičke interakcije i protok energije mogu podeliti u dve putanje:

- putanja primarne produkcije* gde energija potiče od živih primarnih producenata i
- putanja detritusa ili razlagača* gde energija potiče od mrtve organske materije.

- Veći deo energije u mnogim mrežama ishrane protiče drugom putanjom.



Detritus

Detritus = neživa organska materija
(čestična i rastvorena)

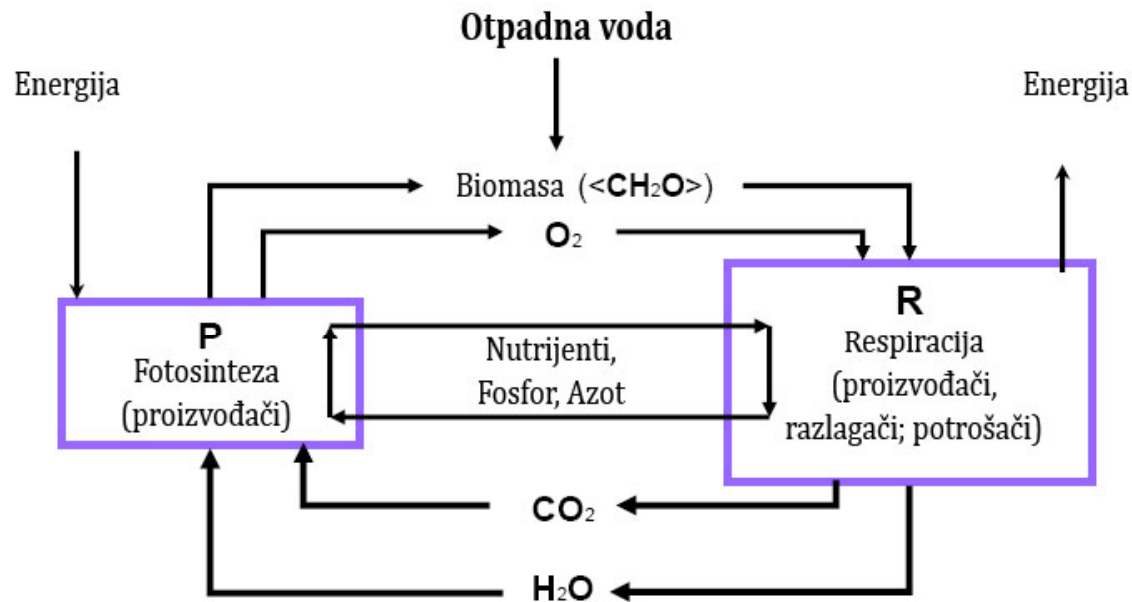
- za neke organizme važan izvor nutrijenta - detrivore
- na dnu/u sedimentu anaerobne bakterije oslobađaju jedinjenja nižih molekulskih težina, koja se vezuju za detritus (**pogodnija za kompleksiranje metalnih jona**)
- rezervoar zagađujućih materija

- Detritus se definiše kao neživi oblik organske materije, koji obuhvata:
 - biljno tkivo - opalo lišće, drveće, akvatične makrofite i alge;
 - životinjsko tkivo - uginuli organizmi;
 - uginuli mikrobi;
 - feces - stajnjak, fekalije, guano;
 - ekskrecioni proizvodi - ekstracelularni polimeri, nektar, izlučevine korena.



TROFIJA - SAPROBNOST

- Trofija – intenzitet primarne produkcije
- Saprobnost – količina razgrađene organske materije;
 - Biomasa i metabolička brzina bakterija



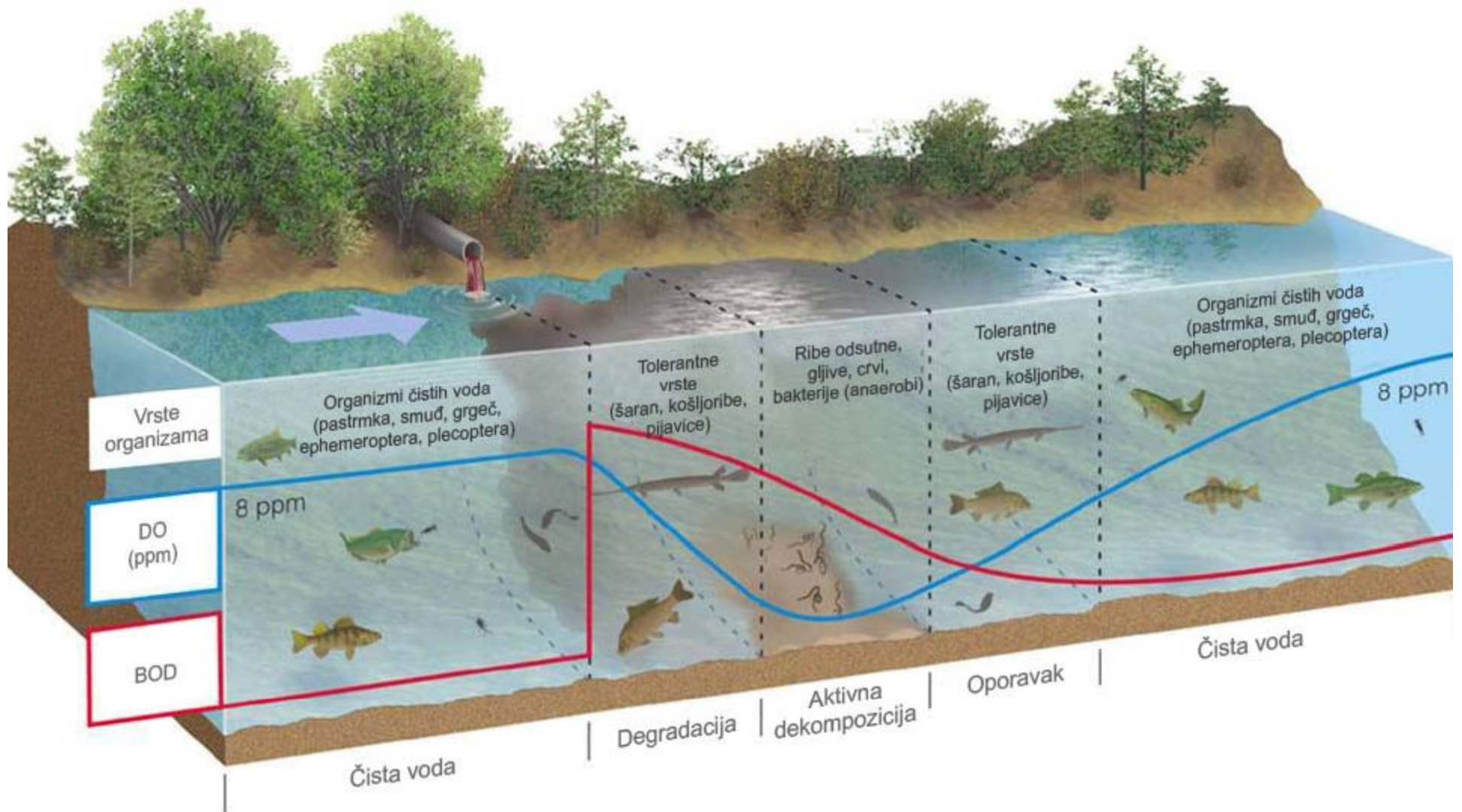
Produkcija (trofično stanje) i Respiracija (saprobno stanje) zavise od metabolizma biote i imaju glavnu ulogu u akvatičnim ekosistemima.

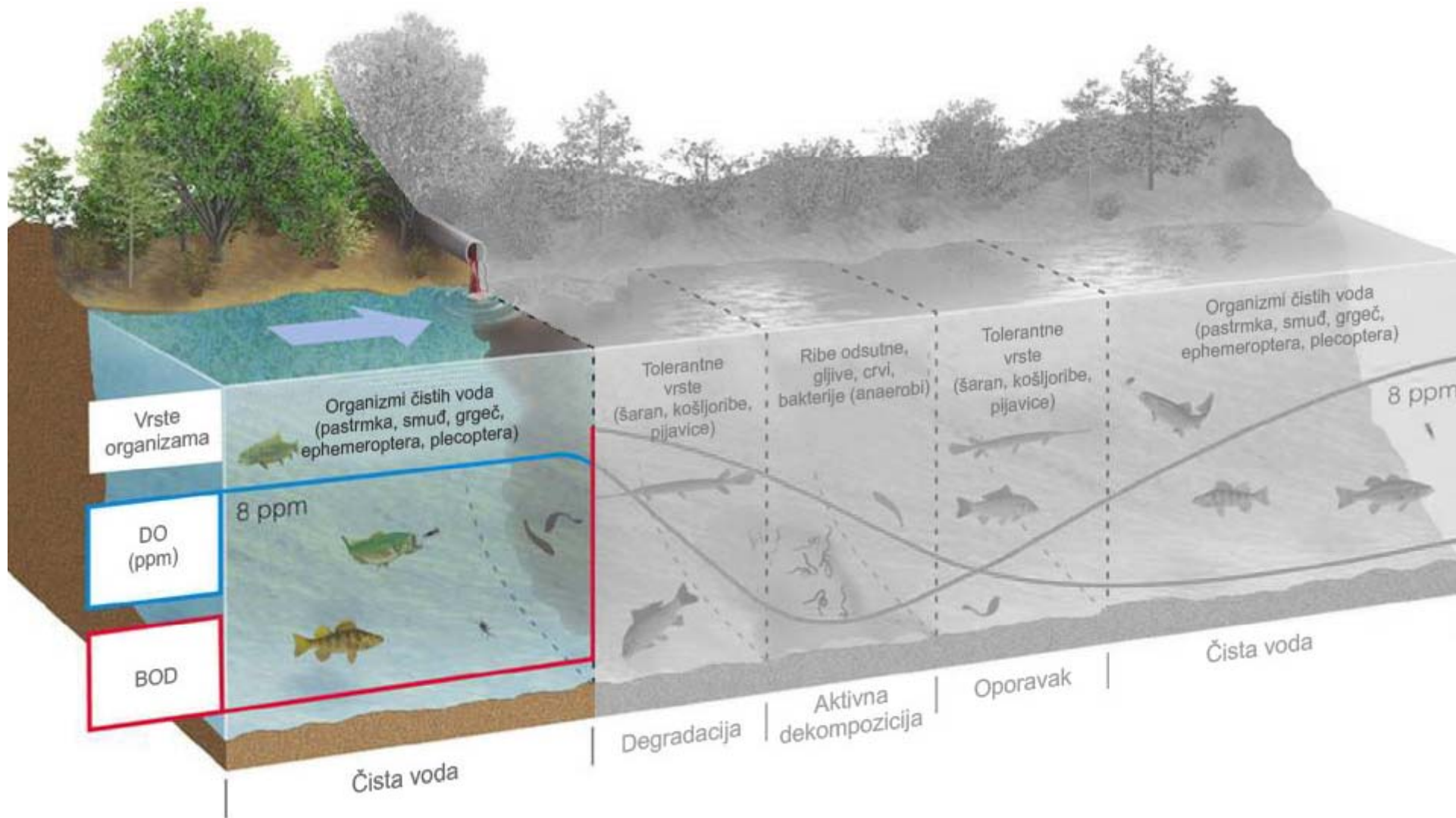


- Veće količine organske materije mogu u znatnoj meri uticati na prirodnu ravnotežu u vodenom ekosistemu.
- Za razlaganje ovih materija troši se velika količina kiseonika, menja se pH a povećava koncentracija soli.
- Bakterije u vodi troše organsku materiju i koriste kiseonik u procesima
- Previše bakterija u vodi izaziva nedostatak kiseonika, pa ribe i drugi organizmi umiru
- Komunalni otpad - primaran supstrat za razvoj bakterija

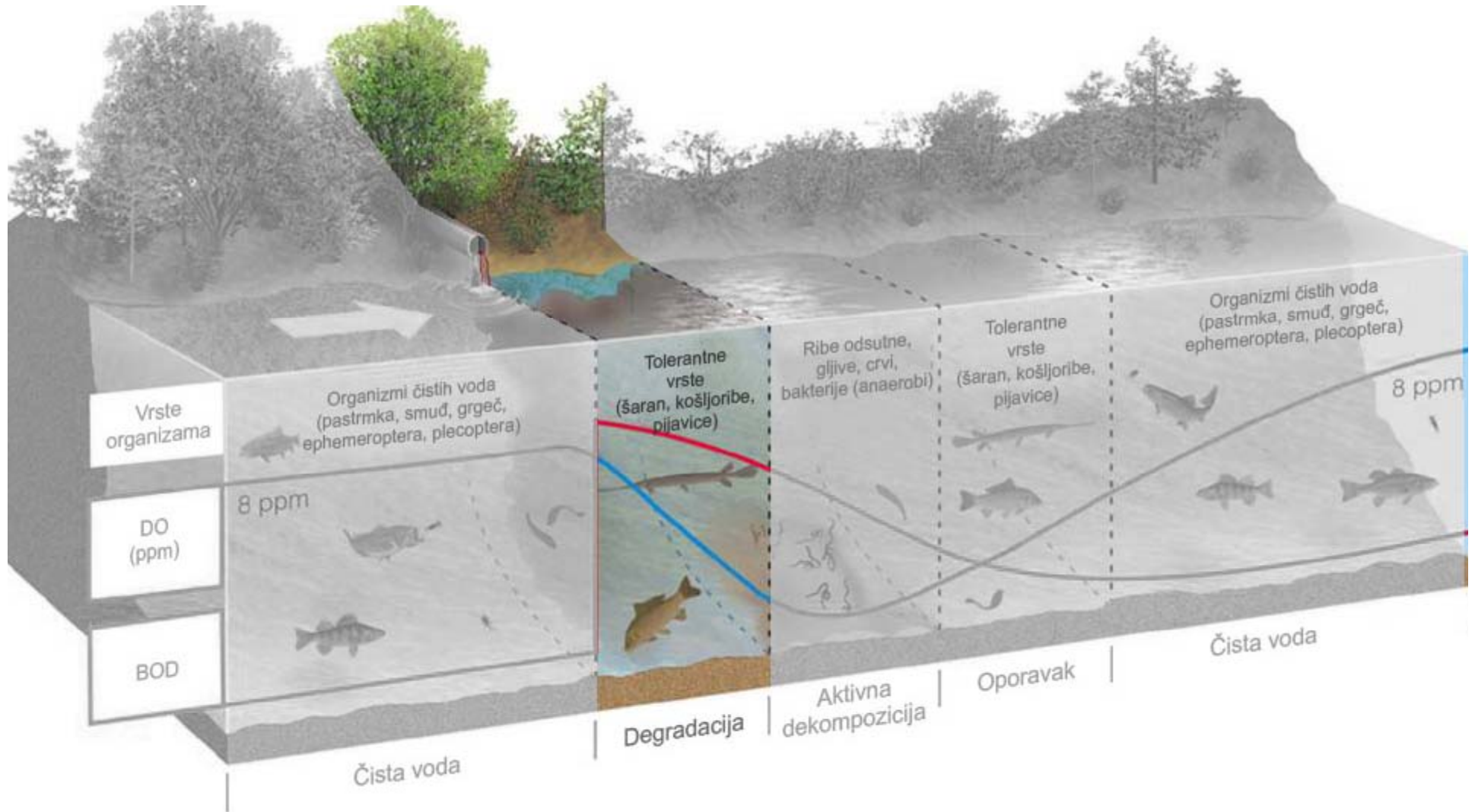


Zone promene kvaliteta vode i biote usled organskog opterećenja

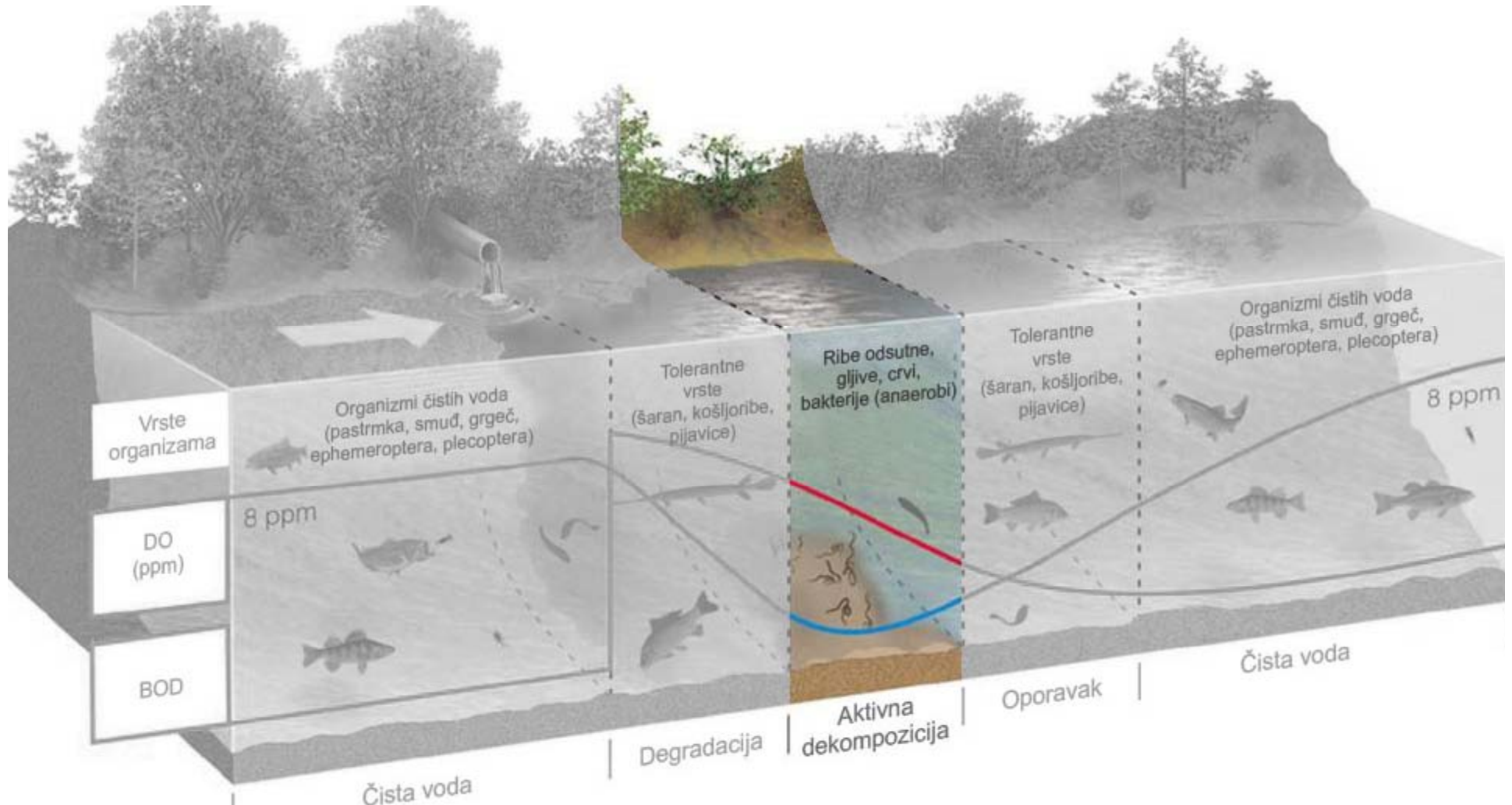




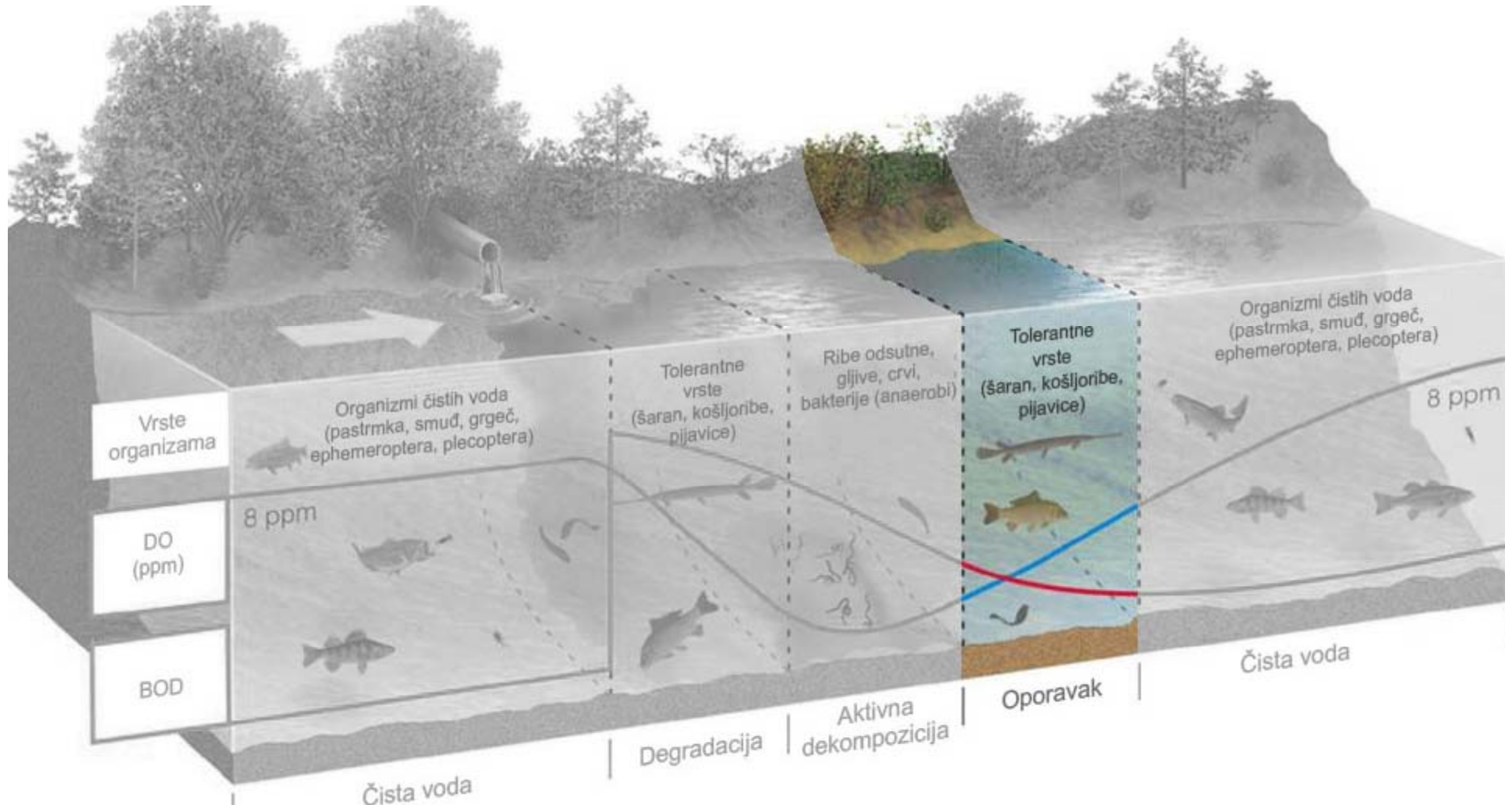
- **sistem u ravnoteži** sa širokim opsegom prisutnih vrsta organizama
- Organizmi su prilagođeni prirodnim fizičkim i hemijskim karakteristikama sistema, pri čemu je količina rastvorenog kiseonika dobro uravnotežena, dok je vrednost BPK niska.



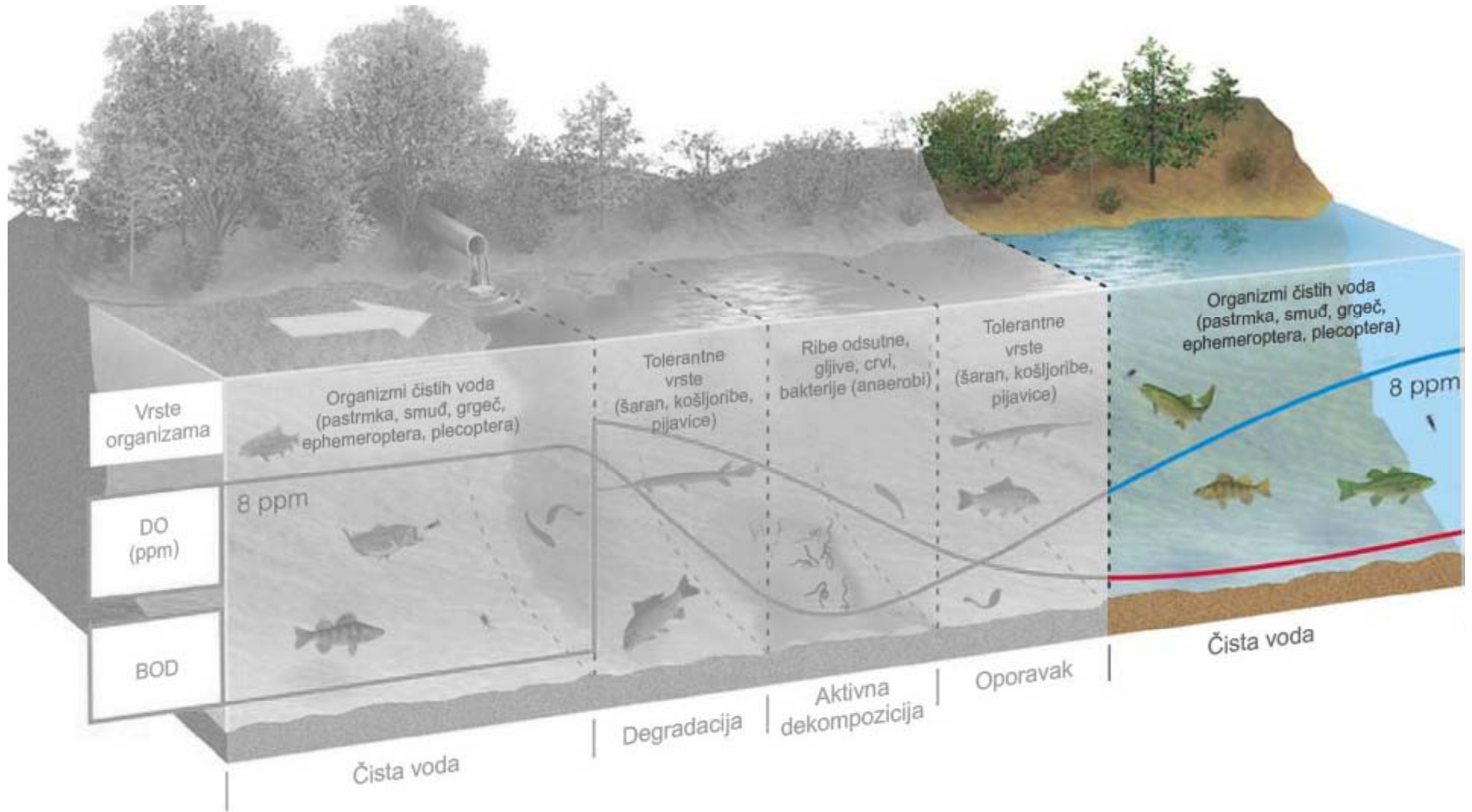
- **Degradacija** nastaje kada veća količina otpada dospe u akvatični ekosistem.
- Značajan rast bakterija i drugih mikroorganizama.
- Predatorske vrste koje su netolerantne prema promeni kvaliteta sredine su zamenjene razlagačima. Eksplozija populacija gljiva i bakterija stvara povećanu potrebu za dostupnim kiseonikom.



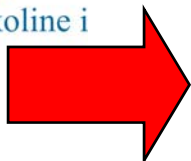
- U nedostatku količine rastvorenog kiseonika, sredina postaje anoksična.
- Uginuće mnogih prisutnih vrsta organizama, dalje smanjujući njegov sadržaj
- Organizmi koji mogu da žive bez kiseonika (anaerobi) ili koju se mogu prilagoditi ovakvim uslovima se ubrzano razvijaju.
- Brojnost prisutnih vrsta je mala, dok je obično broj jedinki u porastu usled manje kompeticije. Prisutni organizmi će se hraniti organskom materijom sve dok je ima.



- ◆ Ova faza se karakteriše ekstremnim dnevnim fluktuacijama sadržaja DO
- ◆ Količina organske materije opada zajedno sa brojem tolerantnih vrsta organizama.
- ◆ Potrošnja kiseonika od strane mikroorganizama se smanjuje, pri čemu sadržaj rastvorenog kiseonika počinje da raste i pojavljuju se aerobne vrste organizama.
- ◆ Bujan rast algi izaziva porast sadržaja rastvorenog kiseonika, ali tokom noći dolazi do pada njegovog sadržaja.



- Nakon oporavka, akvatični ekosistem počinje da dobija većinu prvobitnih karakteristika.
- Međutim, neki ekosistemi ne mogu da dostignu ovu fazu, ako je promena kvaliteta vode većeg intenziteta ili hronična.



SPOSOBNOST SAMOPREČIŠĆAVANJA

- Biološko prečišćavanje zagađenih voda se u stajaćim ili tekućim vodama odvija **u sukcesivnim etapama** od kojih je svaka karakterisana:
 - prisustvom određenog oblika azota,
 - količinom kiseonika,
 - slobodnog ugljenik-dioksida,
 - mirisom,
 - brojem bakterija u 1 ml vode, odnosno brojem jedinki prema broju prisutnih vrsta i
 - prisustvom karakterističnih grupa organizama.
- Na osnovu ovih karakteristika je izvršena i kategorizacija slatkih voda:
 - **oligosaprobne,**
 - **α-mezosaprobne,**
 - **β-mezosaprobne i**
 - **polisaprobne vode.**
- Posebno se izdvaja zona čistih voda koje se nazivaju **katarobne vode.**
- Ova kategorizacija je izvršena na osnovu stepena zagađenosti (saprobnosti).



OLIGOSAPROBNE VODE

- Oligosaprobne vode se karakterišu završenim oksidativnim procesima, dok su organske materije u najvećoj meri mineralizovane.
- Čiste ili vrlo malo zagađene vode (npr., planinski potoci i planinska jezera)
- Vode su bistre i plavičaste, sa vrlo visokim sadržajem rastvorenog kiseonika.
- Broj bakterija u jedinici zapremine je relativno mali (ispod 100 u 1 ml vode).
- Od biljnih vrsta su zastupljene razne grupe algi i viših vodenih biljaka, dok su od životinjskih organizama u nešto većem broju zastupljene larve raznih insekata i crva.
 - mogu se naći osetljivije grupe i vrste akvatičnih organizama kao što su vodene mahovine, planarije, larve insekata, pojava salmonidnih riba

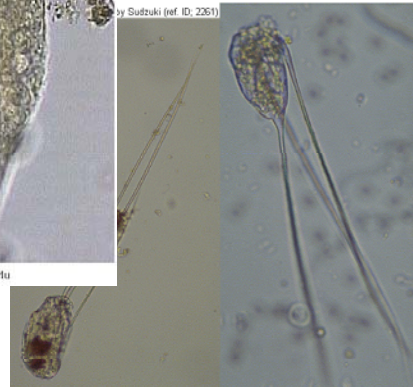
Većina organizama oligosaprobnih voda je vrlo osetljiva na promene u sadržaju rastvorenog kiseonika i promene pH vrednosti.



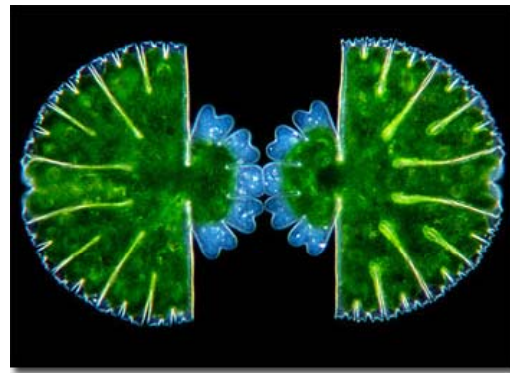
Centar
izvrnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika



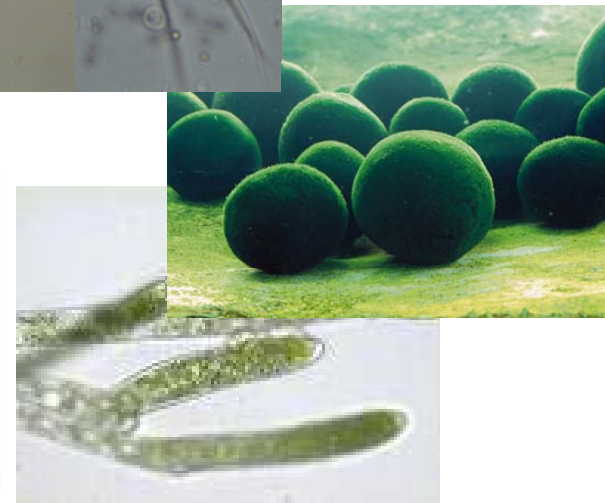
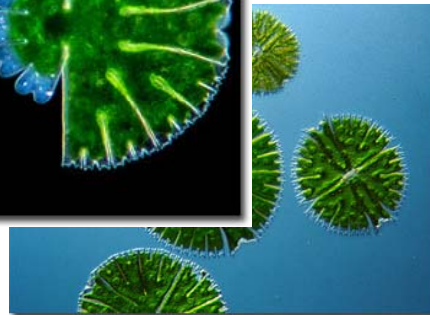
Rotatoria



**Synedra
(Bacillariophyta)**



**Micrasterias
(Desmidiiales)**



**Chladophora
(Chlorophyta)**



Centar
izvrnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Plecoptera



Ephemeroptera



Trichoptera





β - MEZOSAPROBNE VODE

- **β – mezosaprobne vode** su relativno čiste, jer je sadržaj rastvorenog kiseonika još uvek visok.
- Broj bakterija je povećan (do 100 000 u 1 ml vode).
- U ovim vodama buja raznovrstan biljni i životinjski svet.
- Osim fitoplanktona, od koga je boja vode često zelenkasta, dobro su razvijene i bentosne alge.
- Naročito je zastupljena vodena makrovegetacija, koja služi kao hrana i podloga brojnim biljnim i životinjskim organizmima.
- Od životinjskih organizama, ovde se mogu naći puževi, školjke, račići, i larve insekata, te razne vrste vodozemaca i riba.
- Ova se zona odlikuje povoljnim uslovima za razvoj velikog broja vrsta modrozelenih, silikatnih, zelenih i drugih algi.

Većina ovih organizama ne trpi duže fluktuacije u sadržaju rastvorenog kiseonika i promene pH vrednosti, niti podnose proizvode truljenja.



Centar
izvrnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Amphipoda, Gammarus



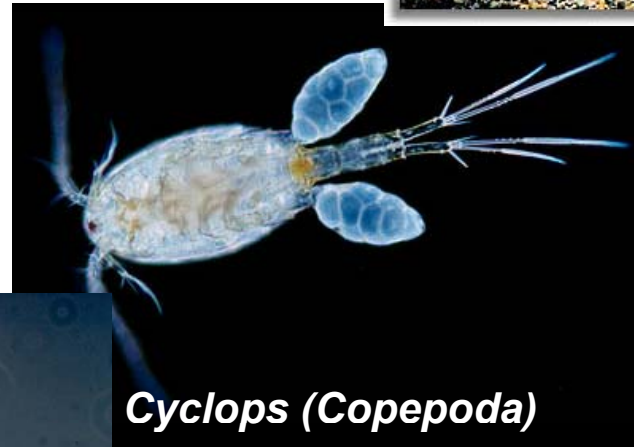
Skobalj
(*Chondrostoma nasus*)



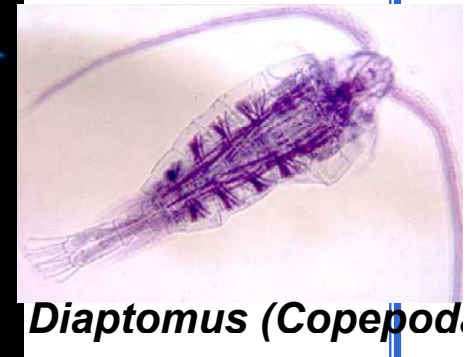
Manić (*Lota lota*)



Cyclops (Copepoda)



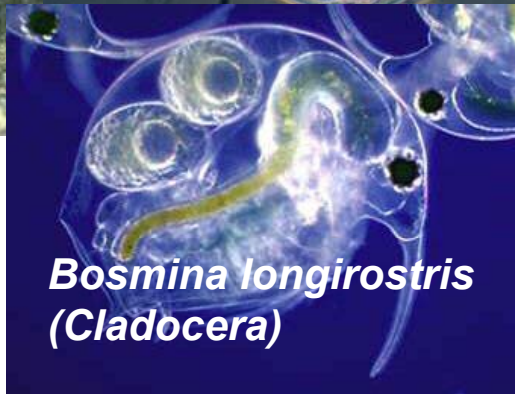
Diaptomus (Copepoda)



Brachionus (Copepoda)



Bosmina longirostris
(Cladocera)



Turbelaria (pljosnati crv)



**Limnodrilus
hoffmeisteri**
(Oligochaeta)



α – MEZOSAPROBNE VODE

- **α - mezosaprobne vode** su vode u kojima usled većeg i dužeg opterećenja organskim materijama kvalitet vode dalje opada.
- Ovde spadaju kanali za navodnjavanje i reke ispod gusto naseljenih urbanih područja.
- Za oksidaciju organske materije ovde se troše znatne količine rastvorenog kiseonika (više od 50%).
- Zbog visokog sadržaja fotosintetskih organizama (razne vrste algi), znatna količina rastvorenog kiseonika nastaje kao proizvod fotosinteze, pa je koncentracija rastvorenog kiseonika mnogo veća u toku dana, nego u toku noći.
- Broj bakterija je veliki, više od 100 000 u ml vode.
- Voda je neprijatnog mirisa.



- Brojne biljne i životinjske vrste α – mezosaprobnih voda se javljaju u formi mikroorganizama.
- Često je prisutno opadanje broja pojedinih vrsta, kao i masovan razvoj onih vrsta koje imaju povoljne uslove za ishranu.
- Zbog obilja biljnih i životinjskih vrsta, pojedine vrste riba su prisutne u velikom broju.
- Tokom noći se, međutim, dešavaju povremena uginuća riba zbog nedostatka rastvorenog kiseonika.
- Oksidacioni procesi u vodi i mulju su usporeni, ali se postepeno dovode do kraja.
- Mulj ima mrkožutu boju od gvožđe (III)-hidroksida.

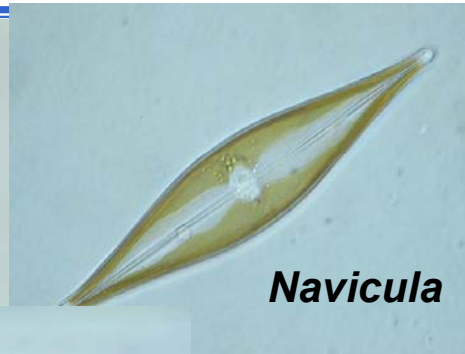
Organizmi su relativno neosetljivi na fluktuacije u sadržaju rastvorenog kiseonika, i promene pH vrednosti, otporni su na amonijak, ali su osetljivi na vodonik-sulfid (H_2S).



Centar
izvrnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika



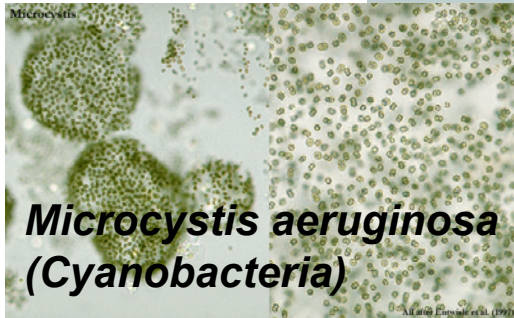
Tabellaria



Navicula



Astartia



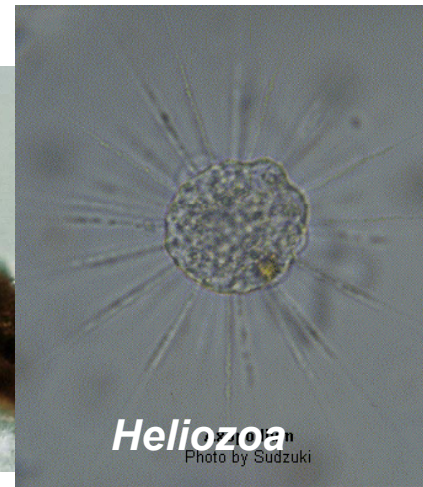
**Microcystis aeruginosa
(Cyanobacteria)**



Opercularia



**Podophyra
(Ciliata)**

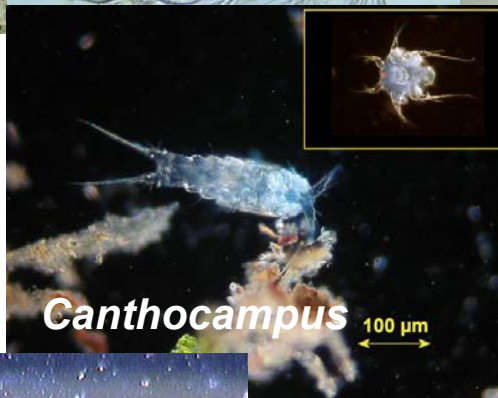


Heliozoa
Photo by Sudzuki



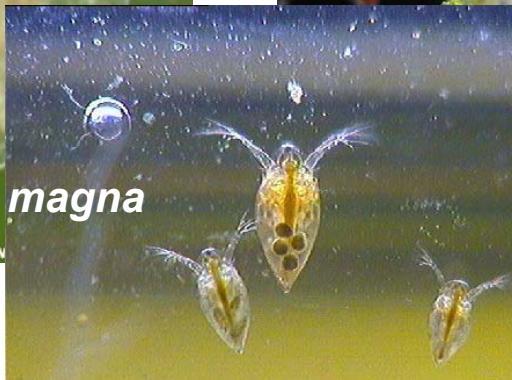
Daphnia magna

© 2002 John P. Clare (www)



Canthocampus

100 µm



Crvenperka

Photo credit: Noel Barkhead



Karaš (Carassius gibelio)

© D. Jelic



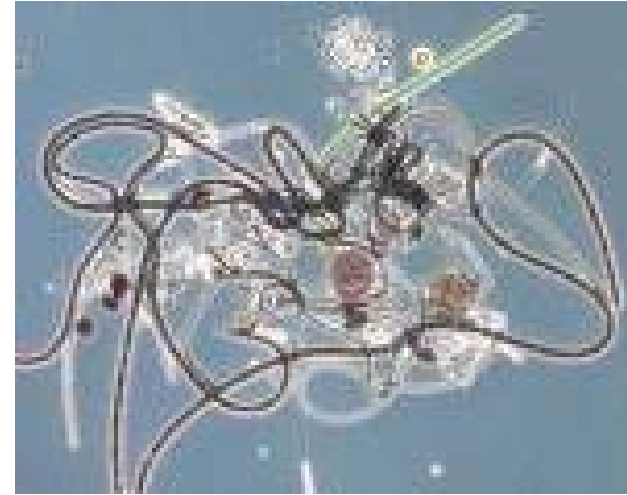
POLISAPROBNE VODE

- Polisaprobne vode su **najteže zagađene**, što je rezultat direktnog ulivanja velikih količina neprečišćenih gradskih i industrijskih otpadnih voda.
- Procesi truljenja su u toku, tako da nema rastvorenog kiseonika (anoksija), ili je prisutan u vrlo malim koncentracijama – u tragovima (hipoksija).
- Organski sumpor se izdvaja u obliku vodonik-sulfida, merkaptana, što polisaprobnim vodama daje karakterističan neugodan miris.
- Ukupna količina organskog ugljenika je vrlo visoka.

Od flore i faune mogu da opstanu samo mikroorganizmi, pretežno jednoćelijski, koji su gotovo neosetljivi na fluktuacije pH vrednosti i na toksične proizvode truljenja.



- Biodiverzitet je nizak, tako da je **mali broj vrsta** zastupljen najčešće **sa visokim brojem jedinki**.
- Kao karakteristične grupe organizama u ovim vodama se razvijaju bakterije (više od 1 000 000 u 1 ml vode) i infuzorije.
- Od bakterija su najčešće *Bacterium vulgare*, *Bacillus subtilis*, vrste roda *Spirillum*, *Chromatium*, i druge.
- U ovoj zoni je malo autotrofnih organizama.

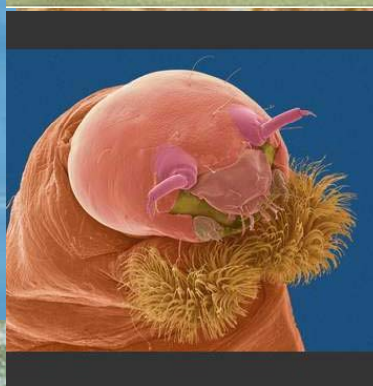




Centar
izvrnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika



Chironomidae



Tubifex tubifex

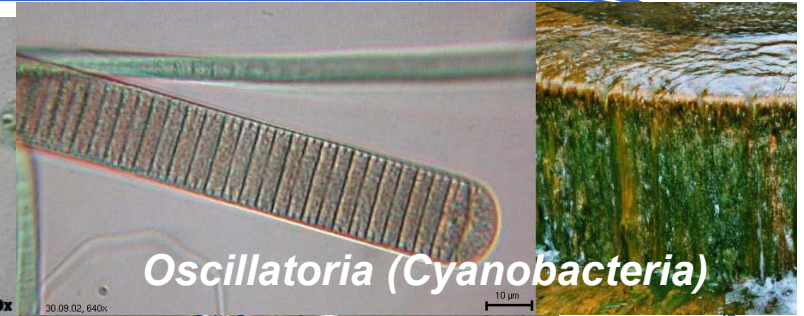




Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika



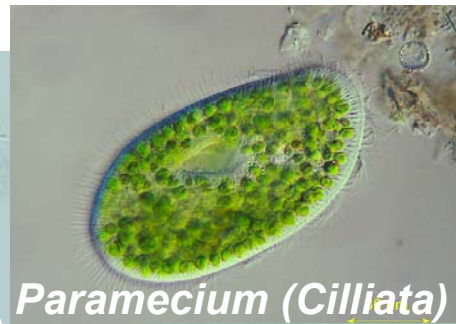
Anabaena (Cyanobacteria)



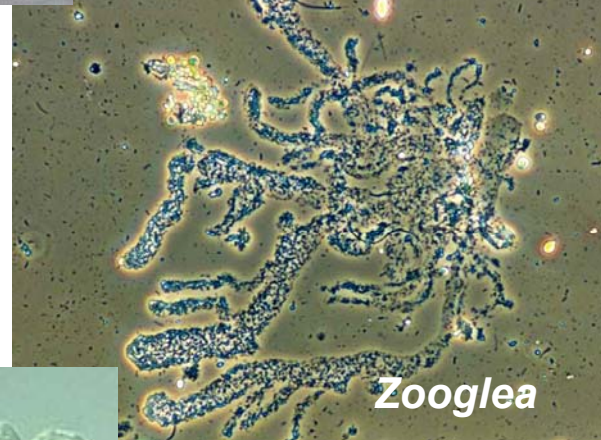
Oscillatoria (Cyanobacteria)



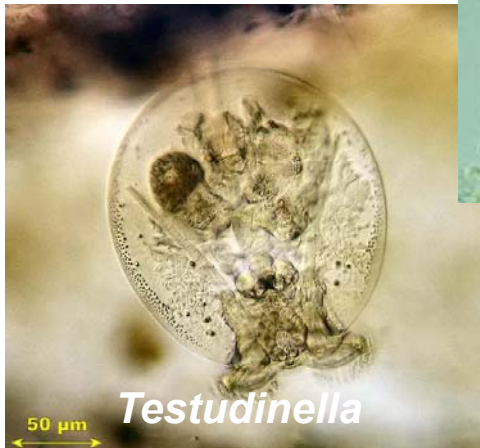
Stentor (Ciliata)



Paramecium (Ciliata)



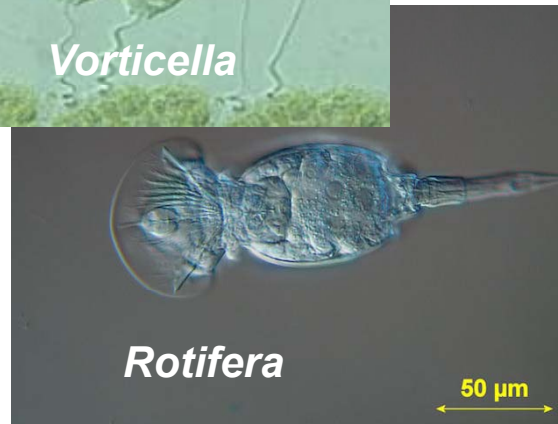
Zooglea



Testudinella



Vorticella



Rotifera

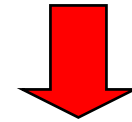


Pleuronema



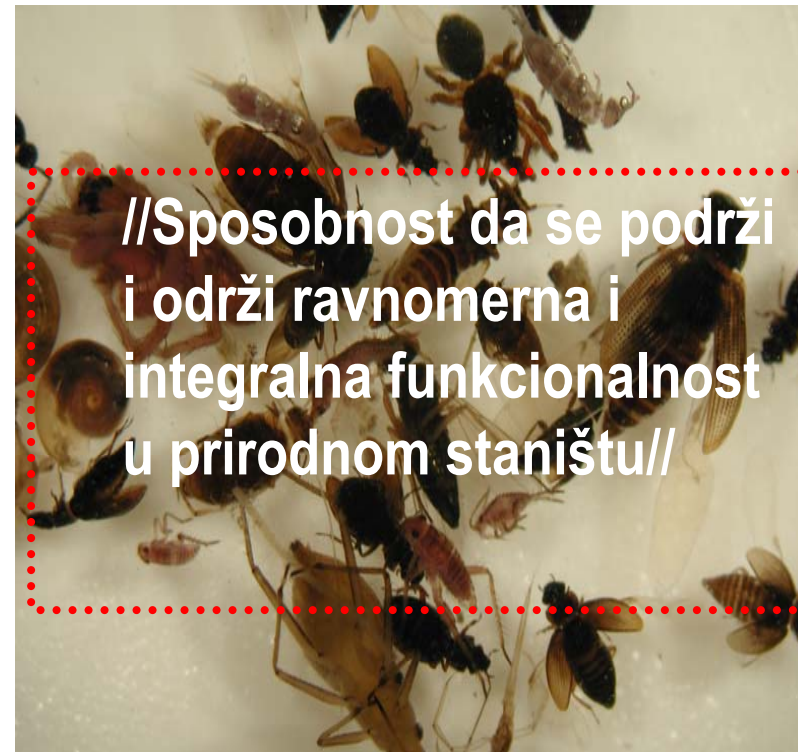
Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline i
procenu
rizika

Promena kvaliteta vode - ugrožen biološki integritet



🔹 ugrožene rezidentne
biološke zajednice:

- 🔹 **RAVNOTEŽA**
- 🔹 **INTEGRACIJA**
- 🔹 **ADAPTACIJA**



EKOSISTEMSKI PRISTUP

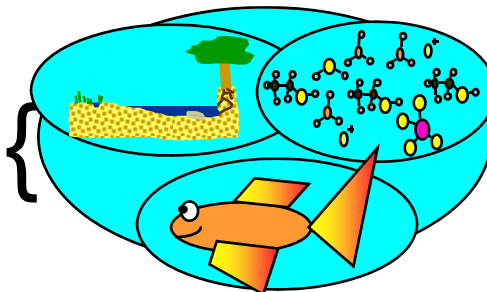


Centar
izvrsnosti za
hemiju okoline
procenu
rizika

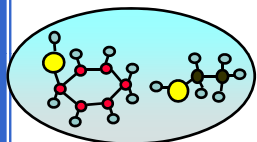
WFD Dobar status = Dobar ekološki status + Dobar hemijski status

EKOLOŠKI STATUS

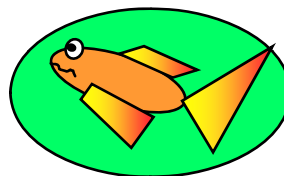
Prirodno stanje ili minimalne promene



VISOKI

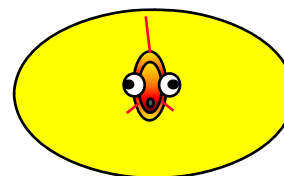


Standardi zanemarljive kvaliteta



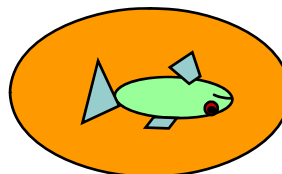
DOBAR

Uočljive



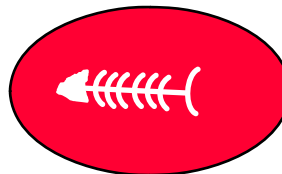
UMEREN

Značajne



SLAB

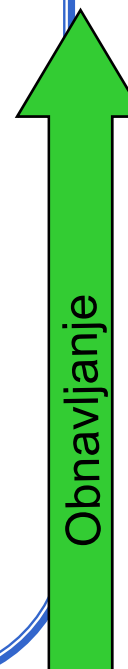
Ozbiljne



LOŠ



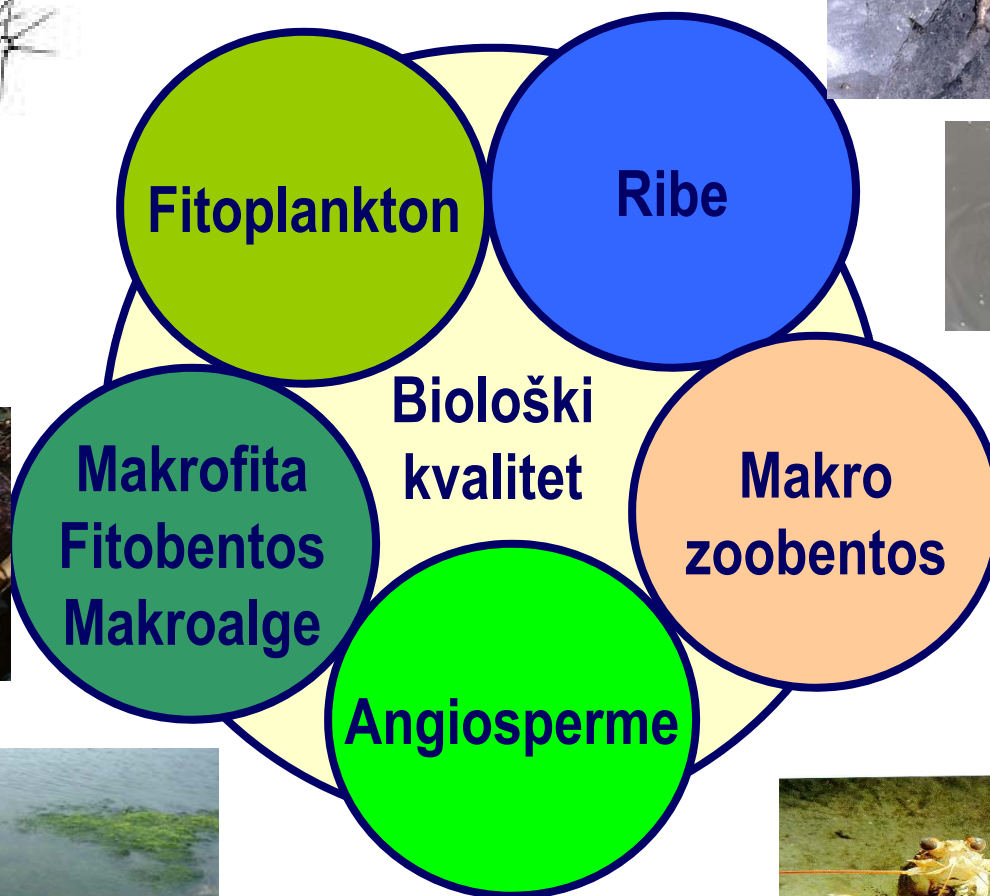
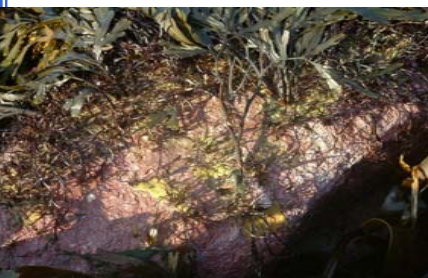
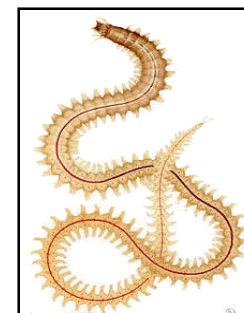
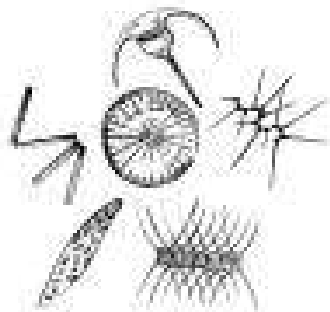
Sprečavanje pogoršanja



Obnavljanje



Biološki elementi kvaliteta



+ fiz.-hem. i
hidromorfol.
elementi
kvaliteta voda u
funkciji bio.
elemenata

An underwater photograph showing a dense meadow of green plants with long, thin stems. The water is clear, and the sediment at the bottom is visible. The plants are illuminated from above, creating a bright, greenish glow.

Hvala na pažnji..

"When the well is dry, we learn the worth of water"

- Benjamin Franklin

Sediment sa *Polygonum amphibium* i *Limosella aquatica* u mezotrofnom akvatičnom ekosistemu