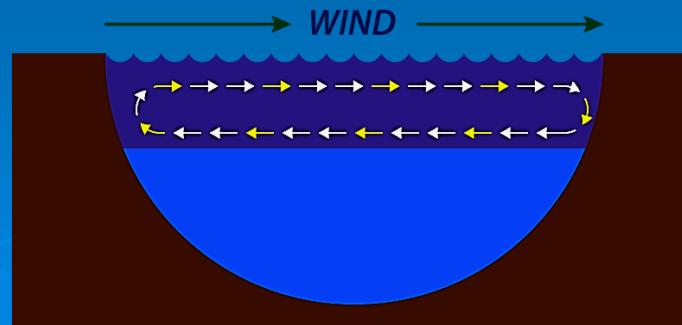


FIZIČKO – HEMIJSKE OSOBINE VODE



1. TEMPERATURA

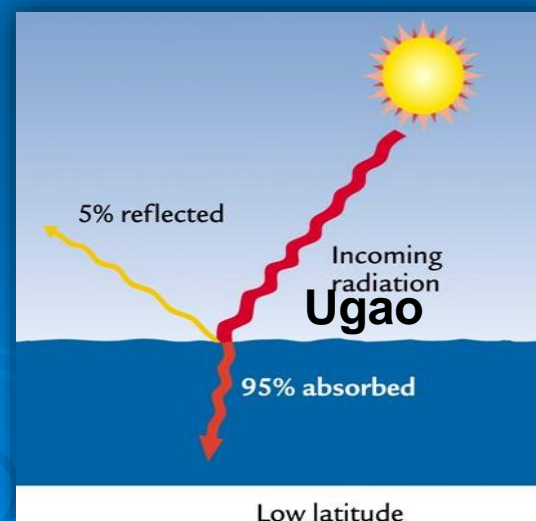
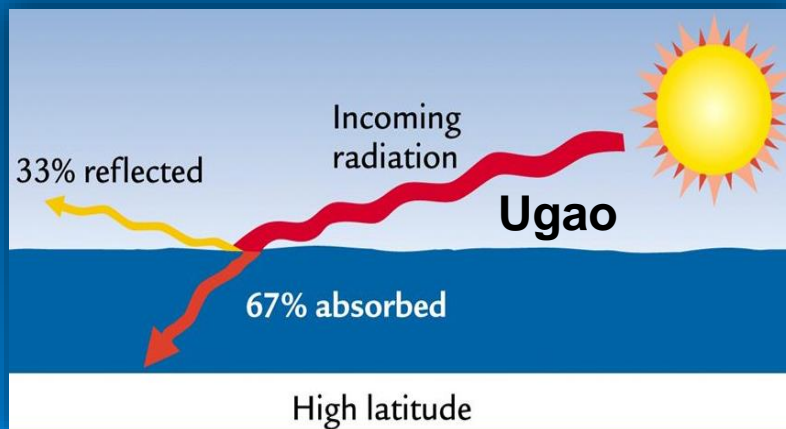
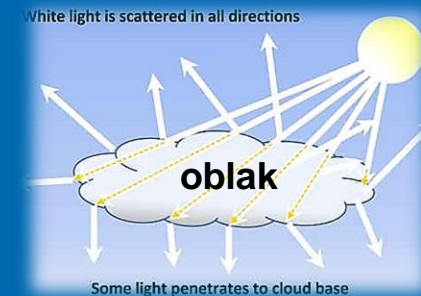
- Veliki toplotni kapacitet vode
- Visoka specifična toplota vode - toplotni kapacitet vode pri 15°C uzet je kao jedinica mjere specifične toplote i iznosi 1cal/g
- Sunce je prirodni izvor toplote – zagrijava samo gornje slojeve vode
- Donji slojevi se zagrijavaju vertikalnom cirkulacijom
- Potpomaže i vjetar (turbulentno miješanje) – samo do određene dubine



2. SVJETLOST

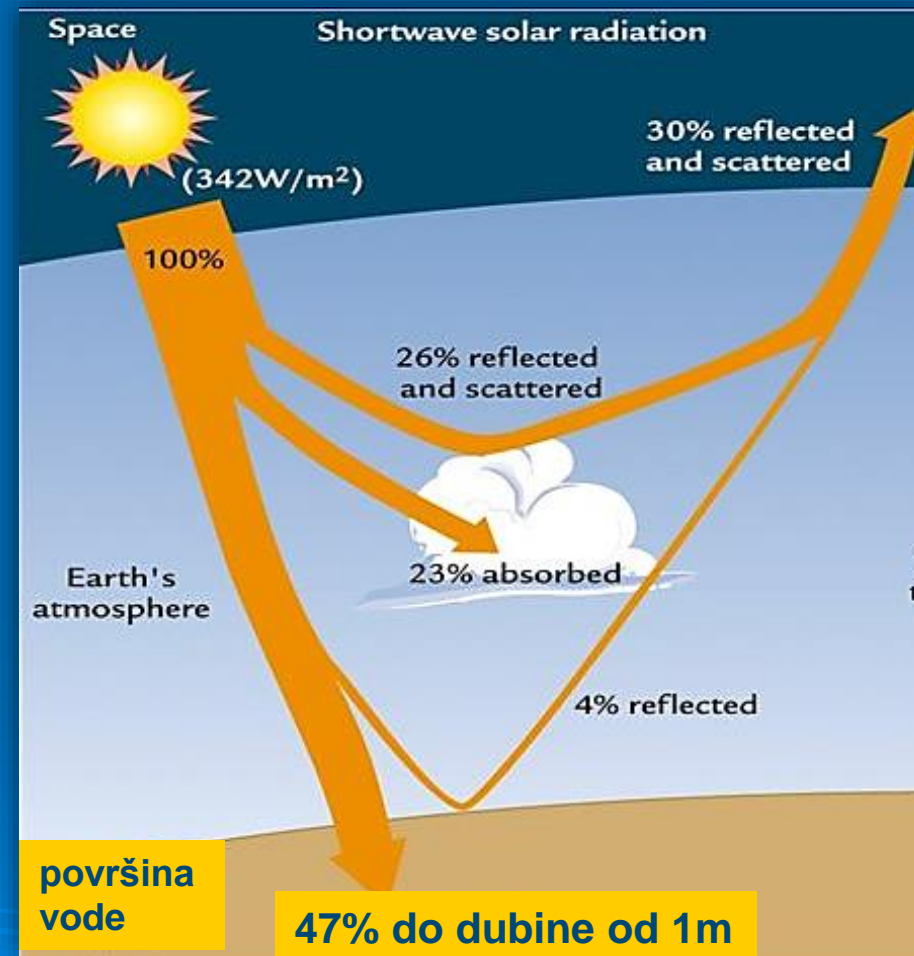
Granica tj. dubina prodiranja svjetlosti u vodi zavisi od nekoliko faktora:

- Prozračnost atmosfere i stepen oblačnosti
- Prisustvo ledenog pokrivača - smanjuje apsorpciju svetlosti
- Ugao pod kojim pada sunčeva svjetlost na površinu vode (što je ugao bliži pravom uglu, veći procenat svjetlosti prodire u vodu) - veličina ugla se mijenja u toku dana, sezonski i pri različitim geografskim širinama
- Rastvorene i suspendovane materije u vodi i plankton - smanjuju prodiranje svetlosti



SVJETLOST

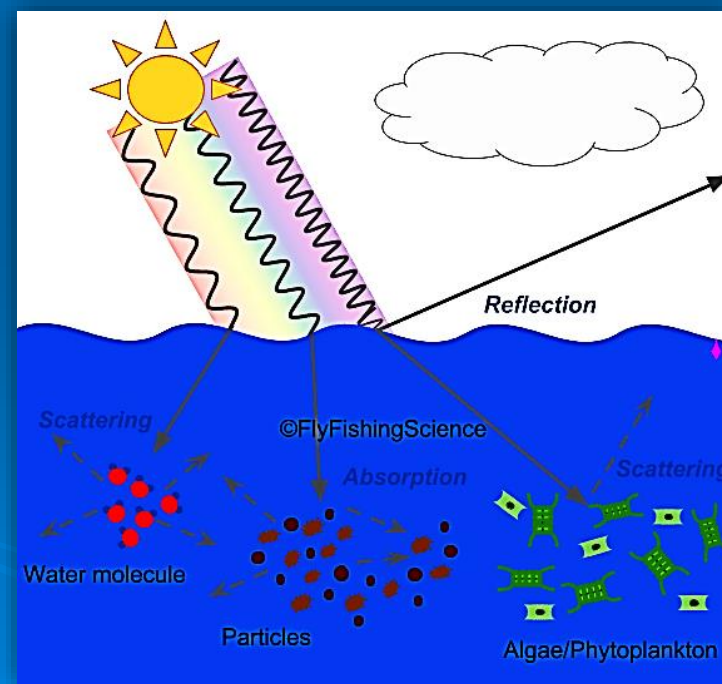
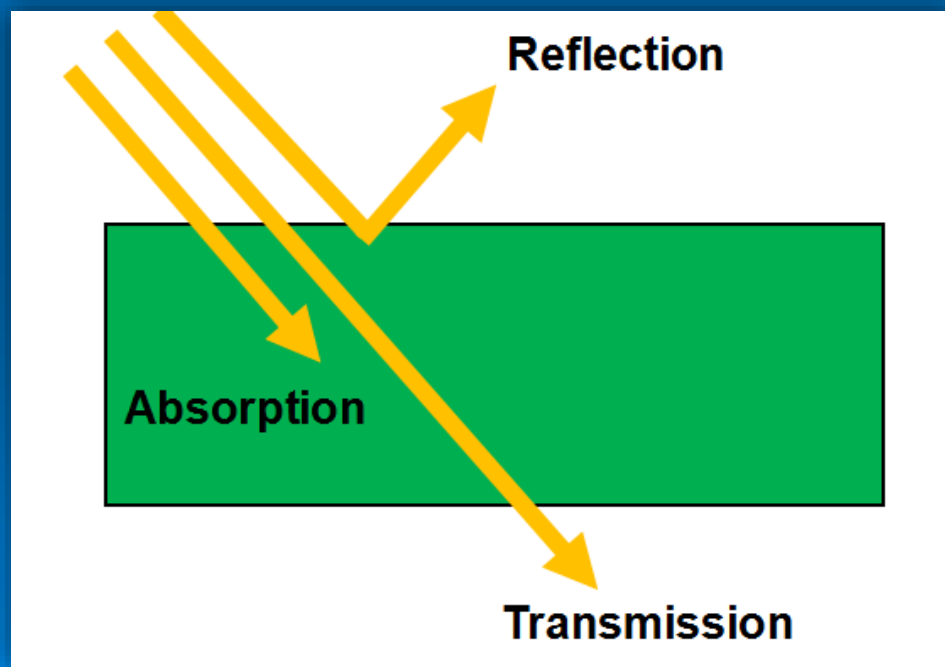
- **Destilovana voda:** do 1m dubine dopire svega 47% od ukupnog sunčevog zračenja
- U **najbistrijim prirodnim vodama** - svega 40% od ukupne svjetlosti dopire do dubine od 1m



SVJETLOST

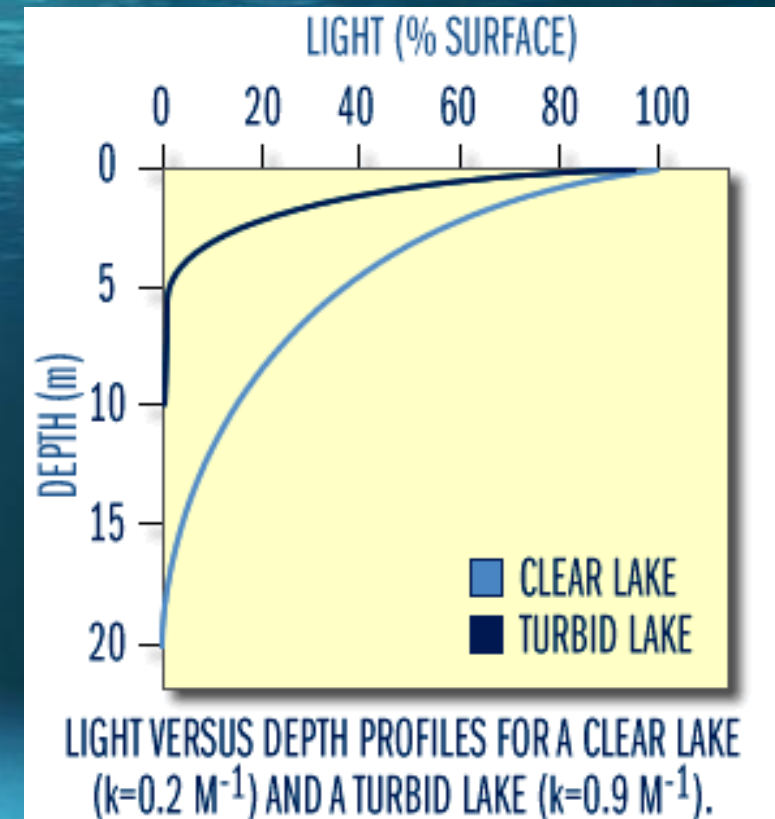
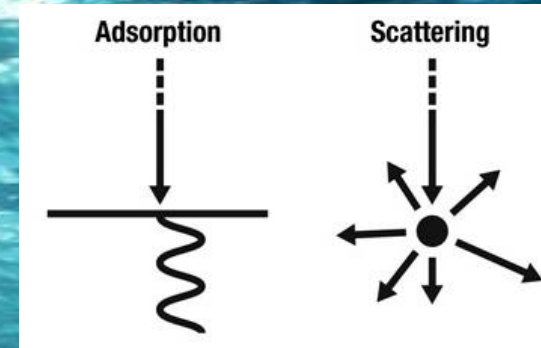
Svjetlost koja dopiye na površinu vode:

- reflektovanje od površine vode
- rasipanje i apsorpcija svjetlosti od strane suspendovanih čestica u vodi
- transmisija – ostatak zraka koji uspijeva da prodre u dublje slojeve vode



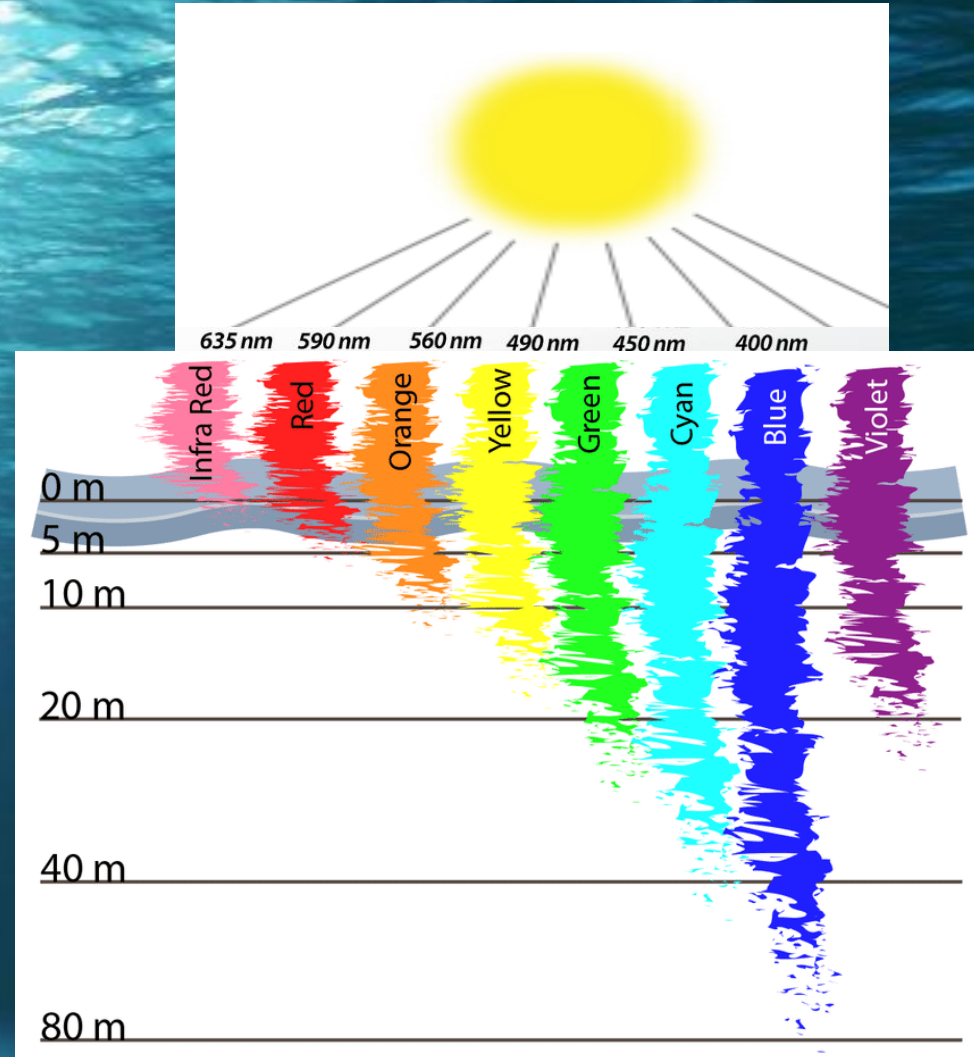
SVJETLOST

- Zajednički iznos apsorbovanih i rasutnih zraka od strane **čestica** u vodi označen je kao **koeficijent ekstinkcije** (k) svjetlosti u vodi
- Ostatak svjetlosti prodire dublje i to prodiranje je označeno kao **transmisija** svjetlosti.
- Koeficijent ekstinkcije je mali u bistrim jezerima i tamo svjetlost prodire dublje



SVJETLOST

- Pri opadanju intenziteta svjetlosti sa dubinom, nastupaju istovremeno i promjene u njenom spektralnom sastavu
- Zraci veće talasne dužine (**infracrveni** i **crveni**) bivaju absorbovani do 1m dubine i pretvoreni u toplotnu energiju (oko 53% primljene energije)
- Bistre vode imaju **plavu** boju, umjereno providne – **zelenu**, a jako mutne – **žutu** ili **mrku**



3. Rastvoreni gasovi

U prirodi se **ne nalazi** hemijski potpuno čista voda (=destilovana), već se u njoj uvijek nalaze razne rastvorene ili suspendovane materije i gasovi.

Iz atmosfere gasovi dopijevaju u vodu difuzijom

Na rastvorljivost gasova u vodi utiče:

- parcijalni pritisak gasa (upravo proporcionalno)
- pokreti vode (upravo proporcionalno)
- temperatura vode (obrnuto proporcionalno)
- rastvorene soli (obrnuto proporcionalno)

Ugljen-dioksid (CO₂)

Izvori rastvorenog ugljendioksida u vodi:

- **Difuzija** - srazmjerno parcijalnom pritisku (ovim putem najmanje CO₂ dopijeva u vodu)
- **Podzemne vode** – bogate su ugljendioksidom koji je nastao razgradnjom org. mat.
- **Mineralizacija** organske materije u vodi (uginuli organizmi itd.)
- **Disanje** vodenih organizama



proces je povratan i zavisi od količine CO₂



- Glavni značaj sistema CO_2 - HCO_3^- - CO_2^{-3} sastoji se u tome što on vrši snažno regulatorno dejstvo na kolebanje **pH vrijednosti vode (puferski sistem)**

1. Ako je u vodi **višak rastvorenog CO_2** , on se vezuje sa H_2O u slabo postojanu H_2CO_3 , koja disocira na HCO_3^- i H^+ i **pH vrijednost opada:**



- Krečnjak je u vodi nerastvorljiv, ali u prisustvu ugljene kiseline on se pretvara u kalcijum-bikarbonat, koji je rastvorljiv: **$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CO}_2$**
- S druge strane, kalcijum-bikarbonat, kao so u slabom rastvoru, je gotovo potpuno disociran na jone:



- Hidrolizom bikarbonata oslobađaju se OH^- joni koji dovode do **porasta pH vrijednosti:**



Ugljen-dioksid (CO₂)

2. Ako se u vodi potroši CO₂ (fotosintezom), ravnoteža se pomjera na drugu stranu tj. reakcije teku u suprotnom smjeru: bikarbonati se raspadaju na slobodan CO₂ i nerastvorljiv Ca-karbonat (kreč), koji se taloži u čvrstom obliku, a CO₂ se oslobađa i postaje dostupan biljkama:



Na taj način, kao posljedica intenzivne fotosinteze javlja se:

- smanjivanje količine rastvorenih bikarbonata u vodi
- reakcija vode ide u pravcu alkalnog (pH raste)
- povećava se količina O₂ (kao produkta fotosinteze)
- povećava se taloženje čvrstog kreča na dno ili na djelovima podvodnog bilja (npr. 100 kg biljke *Elodea sp.* tokom 10 h fotosinteze izvuku iz bikarbonata oko 2 kg čvrstog kreča!)



pH vrijednost vode



- Potpuno čiste vode reaguju **neutralno**, tj. koncentracija H^+ i OH^- jona je ista i iznosi 10^{-7} (g-jona/l) za svaki jon
- Obično se stepen koncentracije H^+ jona izražava njegovim negativnim logaritmom i označava kao pH vrijednost:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

- Pri neutralnoj reakciji **pH = 7**, pri alkalnoj reakciji pH se povećava do 14, a pri kisjeloj se smanjuje do pH = 0
- Vrijednosti pH u prirodnim vodama se kreću od približno 3,2 do 10,5 (2 - 12), a najčešće se srijeću vrijednosti pH **od 6,5 - 8,5**

pH vrijednost vode

Akvatične organizme, u pogledu njihove tolerancije pH vrijednosti, možemo podijeliti u dvije grupe:

- **kisjela grupa (pH < 5)** - organizmi koji podnose jače kisjelu sredinu, kao *Cyclops languidus*, *Chydorus ovalis*, organizmi sfagnumskih tresava - pH je svega 3,8 (*Flagellata*, *Astasia*, *Rotatoria: Elosa worallii*)
- **neutralno-bazična grupa (pH > 8)** - organizmi čija se pH tolerantnost kreće između 5 i 10 (*Rotatoria: Brachionus urceolaris* 4,5 - 11; *Synchaeta pectinata* 4,7 - 9,2 ; *Crustacea: Chydorus speericus* 4,5-10), ali preferiraju ipak neutralno-bazičnu sredinu – većina vodenih organizama

Kiseonik

Izvori kiseonika u vodi:

- Difuzija iz atmosfere (zavisi od: parcijalnog pritiska, T, pokreta vode, rastvorenih soli)
- Fotosinteza (ovim putem se unosi u vode najveća količina kiseonika)

Gubici kiseonika u vodi:

- Disanje vodenih organizama
- Mineralizacija (razgradnja)
- Povećanje T (indirektno) - smanjuje se rastvaranje iz vazduha, tj. difuzija, a ubrzava se mineralizacija

Ostali gasovi u vodi



- **Azot (N_2)**, koga u atmosferi ima oko 78%, je slabo rastvorljiv u vodi (za oko 35% slabije od kiseonika). Prilično je neaktivan i ne mijenja se njegova koncentracija pri hemijskim i biološkim procesima u vodi
- **Metan (CH_4)** - produkt anaerobnog razlaganja nagomilane organske materije (celuloze), preko ljeta na dnu močvara, bara i jezera. Povećana produkcija metana stoji u direktnoj vezi sa naglim opadanjem kiseonika na dnu – anaerobna razgradnja.
- **Sumporvodonik (H_2S)** se može javiti na dnu jezera i bara u kasno ljeto, kao rezultat anaerobnog razlaganja organskih materija koje sadrže sumpor ili pri redukciji sulfata od strane sumpornih bakterija
- **Amonijak (NH_3)** - pri razlaganju organske materije (proteini) na dnu, ali u manjim količinama. On je veoma rastvorljiv i kao slobodan gas, amonijak je toksičan čak i u malim količinama.

Mineralne soli

Glavni faktori koji utiču na salinitet voda su:

- pedološka podloga – glavni izvor soli (npr. NaCl, bikarbonati)
- atmosferski talozi (padavine)
- evaporacija (utiče na koncentrovanje soli u vodi)
- U kopnenim vodama odnos količine katjona koji najviše utiču na salinitet je:
 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} \geq \text{Na}^+ > \text{K}^+$,
a anjona: **$\text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$**
- U morskoj vodi odnos katjona je drugačiji:
 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$,
a odnos anjona je: **$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$**

Mineralne soli

- Kopnene vode našeg regiona - razni tipovi zemljišta su veoma bogati krečnjakom (CaCO_3) - prisutne su velike količine **kalcijuma** u vodama (30-40 mg/l)
 - **Bikarbonati** čine najveći dio cjelokupne količine rastvorenih soli u kopnenim vodama (često i do 90% svih anjona), a u našim jezerima njihove vrijednosti se kreću od 130-150 mg/l.
-
- Soli koje uzimaju učešće u najvažnijim biološkim procesima akvatičnih organizama i zato se smatraju esencijalnim su soli **azota i fosfora**. Za silikatne alge – još i soli **silicijuma**.

Soli azota (N)

Azot - neophodan **gradivni element** za sintezu proteina - javlja se u vodi u obliku: rastvorenog azota (N_2) i soli: **nitrata** (NO_3^-), **nitrita** (NO_2^-) i **amonijačnih soli** (NH_4^+)

Soli azota dospijevaju u vodu iz raznih izvora:

- pedološke podloge
- izvorske vode
- kišnice
- ekskrecijom od strane vodenih organizama
- mineralizacijom organskih jedinjenja azota (proteina i aminokiselina) - u vidu amonijačnih soli (NH_4^+)

Soli azota

Ciklus kruženja azota u vodi (amonifikacija, nitrifikacija, azotofiksacija, fotosinteza, denitrifikacija)

1. Kao produkt mineralizacije proteina i aminokiselina nastaju **amonijačne soli** (NH_4^+) – proces **amonifikacija**
2. Amonijačne soli dalje se bakterijski razgrađuju (oksiduju) procesom **nitrifikacije**, koji zahtijeva prisustvo kiseonika. Kao prvi produkt procesa nitrifikacije nastaju **nitriti**, a najčešća bakterija koja učestvuje u ovom procesu je *Nitrosomonas*:



Dalji proces oksidacije nitrita do **nitrata** vrše uglavnom bakterije iz roda *Nitrobacter*:



Soli azota

3. Neke bakterije (*Azotobacter*) i neke končaste modroz zelene alge, tzv. "fiksatori azota" (*Anabaena*), imaju sposobnost asimilacije molekuskog azota (N_2) iz vode zahvaljujući enzimu nitrogenazi i prevode ga u **nitrate**. Ovaj proces je zavisan od svjetlosti i označava se kao **azotofiksacija**:



4. **Asimilacija (fotosinteza)** – nitrati (NO_3^-) se troše jer ih biljke i alge apsorbuju iz vode i ugrađuju u **organska jedinjenja** (aminokiseline i proteini).

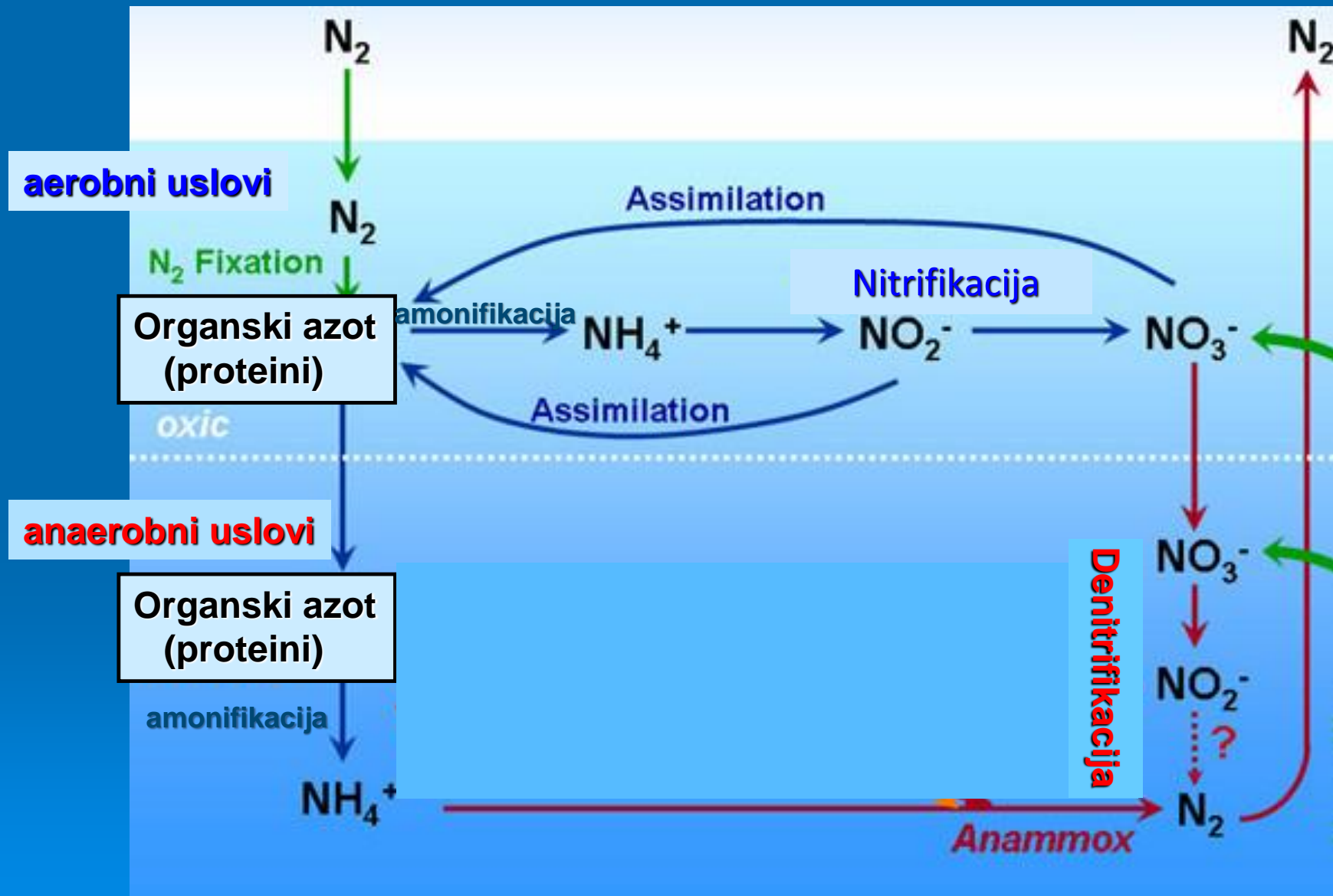
Soli azota

5. U slučaju anaerobnih uslova mnoge fakultativno anaerobne heterotrofne bakterije (*Pseudomonas*, *Escherichia*, *Bacillus* i dr.) vrše proces redukcije nitrata do molekularnog azota (N₂) - denitrifikacija. Ovim putem upotrebljivi azot se gubi iz vodenog ekosistema:



- U morima je proces denitrifikacije zastupljeniji nego u slatkim vodama i zastupljeniji je od procesa od fiksacije azota - u morskoj vodi je zato azot više limitirajući nutrijent u odnosu na fosfor

Ciklus kruženja azota u vodi



Soli fosfora (P)

- Primarna uloga P je u **energetskim** procesima u ćeliji (**ATP** - izvor energije u metaboličkim enzimskim reakcijama)
- U vodi se javlja u obliku soli neorganskih fosfata (PO_4^{3-}) i rastvorenog i nerastvorenog (partikularnog) organskog fosfora

Soli fosfora dospijevaju u vodu iz raznih izvora:

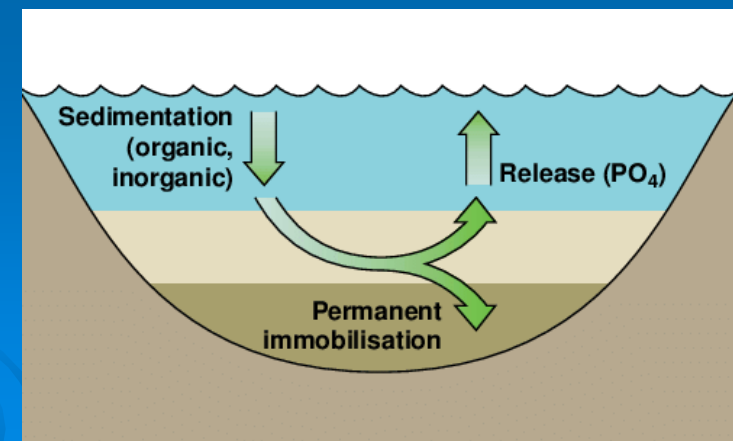
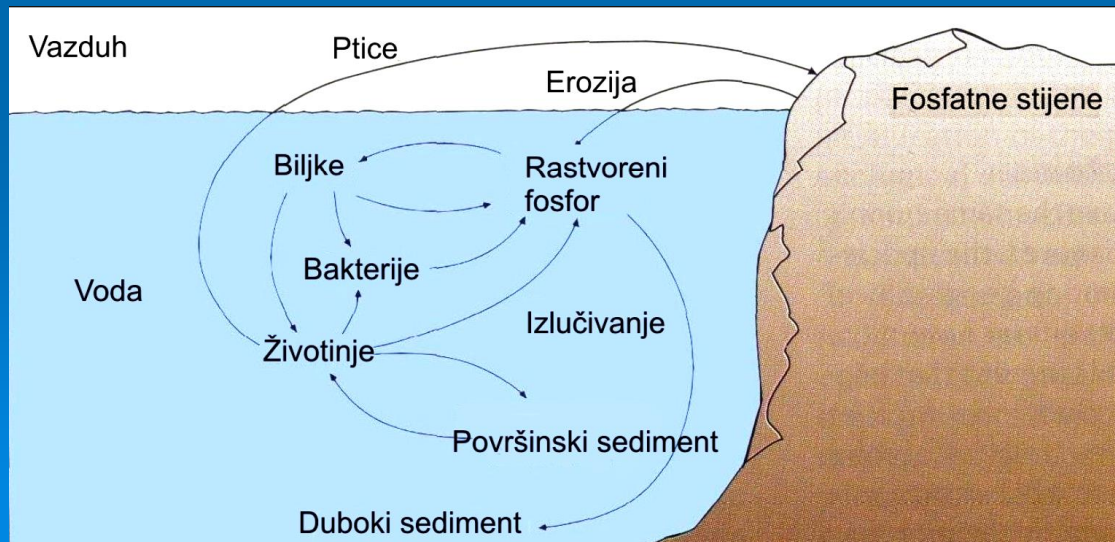
- pedološka podloga
- pritoke i padavine
- izvori - znatno veće količine P (čak i do 0,10 mg/l)
- mineralizacijom organske materije na dnu

Soli fosfora

Fosfati se u vodi javljaju u malim količinama (često **ispod $1\mu\text{g/l}$**)

Gubici fosfora u vodi:

- Fosforne soli se u kopnenim vodama često vezuju za podlogu (**adsorbuju**) u vidu nerastvorljivih soli - zato ih u samoj vodi ima daleko manje od azotnih soli, koje su gotovo uvijek rastvorljive
- Glavni potrošač fosfata u vodi su **fotosintetski** organizmi, koji ga apsorbuju iz vode i koriste za svoj metabolizam



Odnos soli fosfora i azota u vodi (N/P)

- U kopnenim vodama, N/P odnos je generalno veći nego u moru - $28 : 1$, jer u kopnenim vodama znatan dio fosfata se gubi adsorpcijom na neorganskim česticama, koje tonu i time talože fosfor, a na drugoj strani, procesi azotofiksacije su mnogo izraženiji u kopnenim vodama (veća konc. azota)
- Posledica je veći N/P odnos u kopnenim vodama, pa je **P glavni limitirajući nutrient u kopnenim vodama**
- Odnos N i P u morima je manji i obično iznosi $14,7 : 1$, jer nema gubitka P adsorpcijom, azotofiksacija je slaba, a denitrifikacija izražena (manje azota u vodi). Zato je **u morima azot limitirajući nutrient**

Soli silicijuma

- **Silicijum** - u vidu rastvorene silicijumove kisjeline (H_4SiO_4) tj. njenih **soli silikata** i u vidu **partikularnog silicijuma** (većinom ljušturice silikatnih algi i adsorbovani silicijum u sedimentima)
- U kopnenim vodama je prosječno **13 mg/l** i vrlo slabo varira. Najviše silicijuma imaju podzemne vode koje su u kontaktu sa vulkanskim stijenama, a najmanje ga ima u krečnjačkim vodama
- Najznačajniju ulogu u procesu kruženja Si u vodama imaju **silikatne alge**

