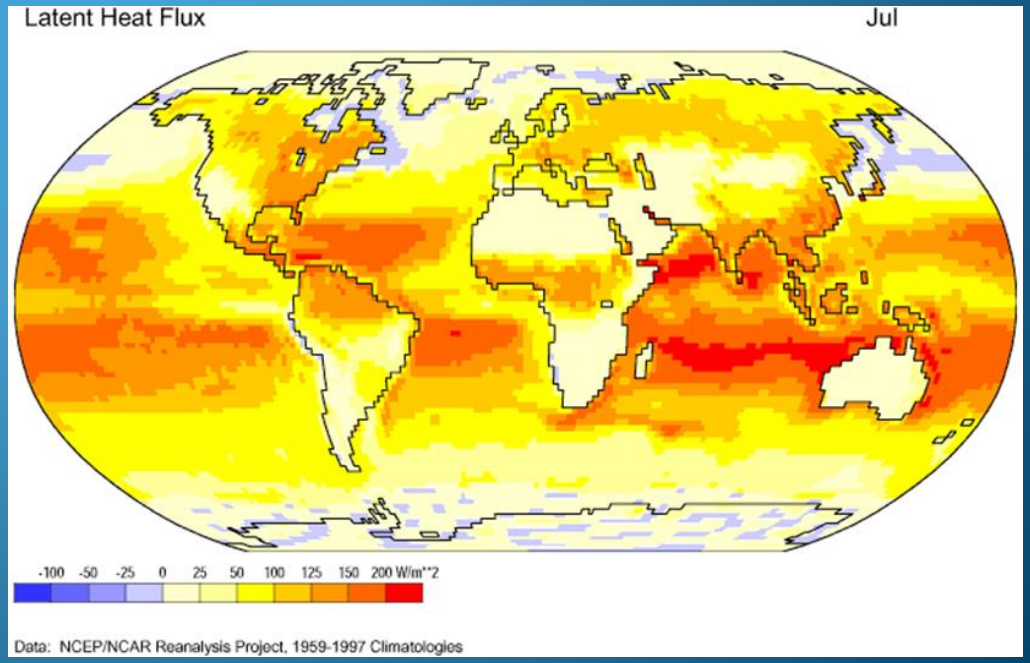
Svojstva vode i njihove geoekološke posljedice



izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevac i prof. dr. sc. Danijel Orešić



Neobična obična voda

- vodu poznajemo kao u osnovi prozirnu tekućinu bez boje, okusa i mirisa; ona je u osnovi egzotična tvar s mnogim neobičnim svojstvima

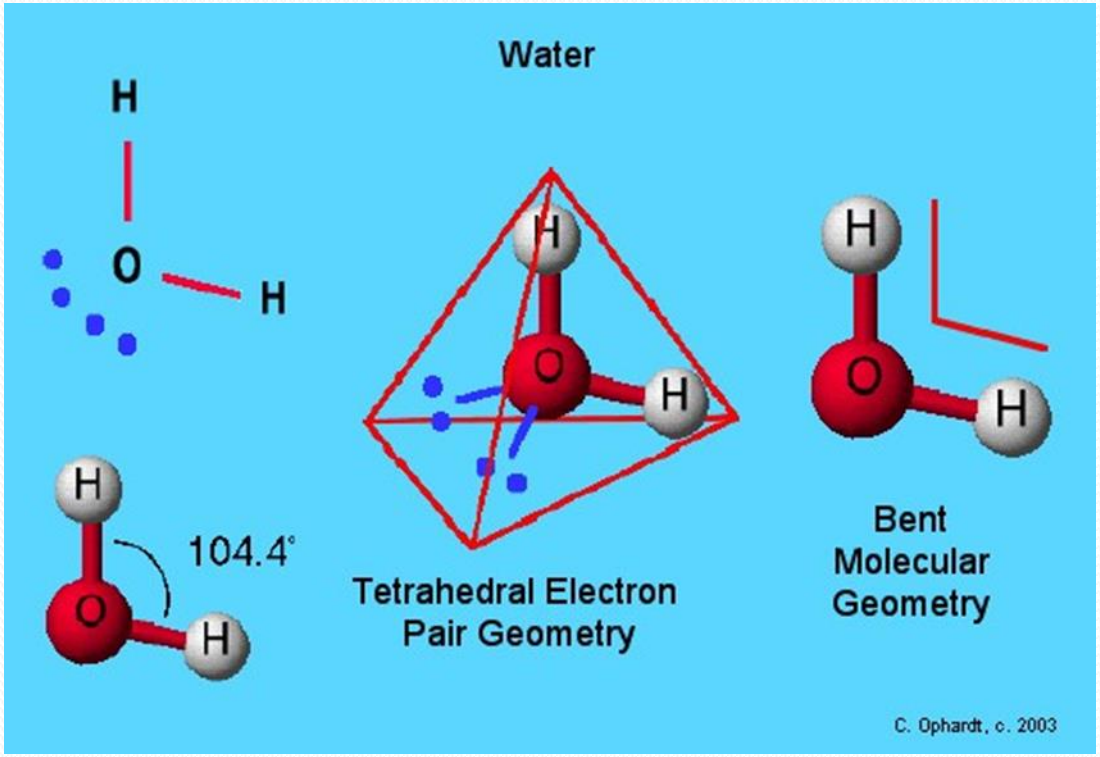
Primjeri iz svakodnevice:

  - Voda se u prirodi (na Zemlji) nalazi u tekućem stanju (pri standardnom atmosferskom tlaku i temperaturi SATP, 25° C, 1000 hPa) iako su mnoge teže molekule npr O_2 ili CO_2 u istim uvjetima u plinovitom stanju.
  - Voda je jedina tvar koja se u prirodi nalazi istodobno u krutom, tekućem i plinovitom stanju.
  - Voda se pri smrzavanju širi, pa primjerice može dovesti do širenja pukotina u stijeni i sl.
  - Led pluta na vodi.

- znanstvenici navode > 80 posebnih svojstava vode, svojstva koja je izdvajaju među svim poznatim tvarima; neka (još) nisu objašnjena

Građa molekule vode

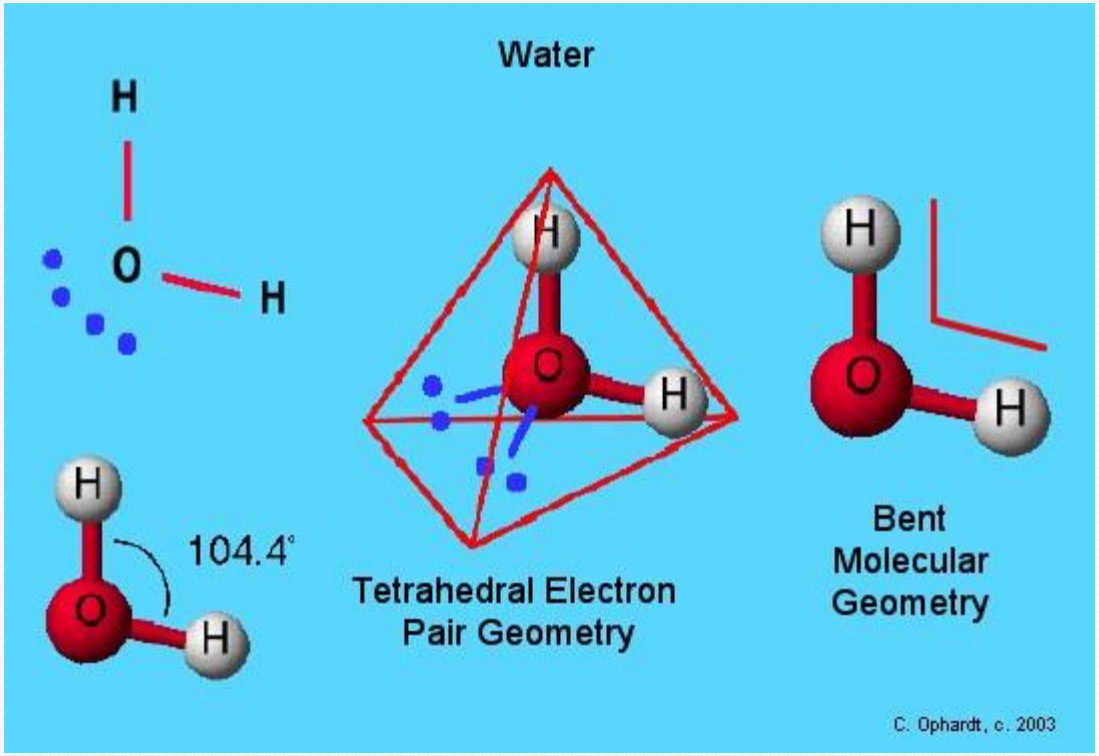
- Posebna svojstva vode posljedica su kemijske i prostorne građe njezinih molekula vode.
- Jednostavna mala molekula samo je na izgled trivijalna H_2O, dihidrogen monoksid (kovalentna veza između atoma).



Građa molekule vode

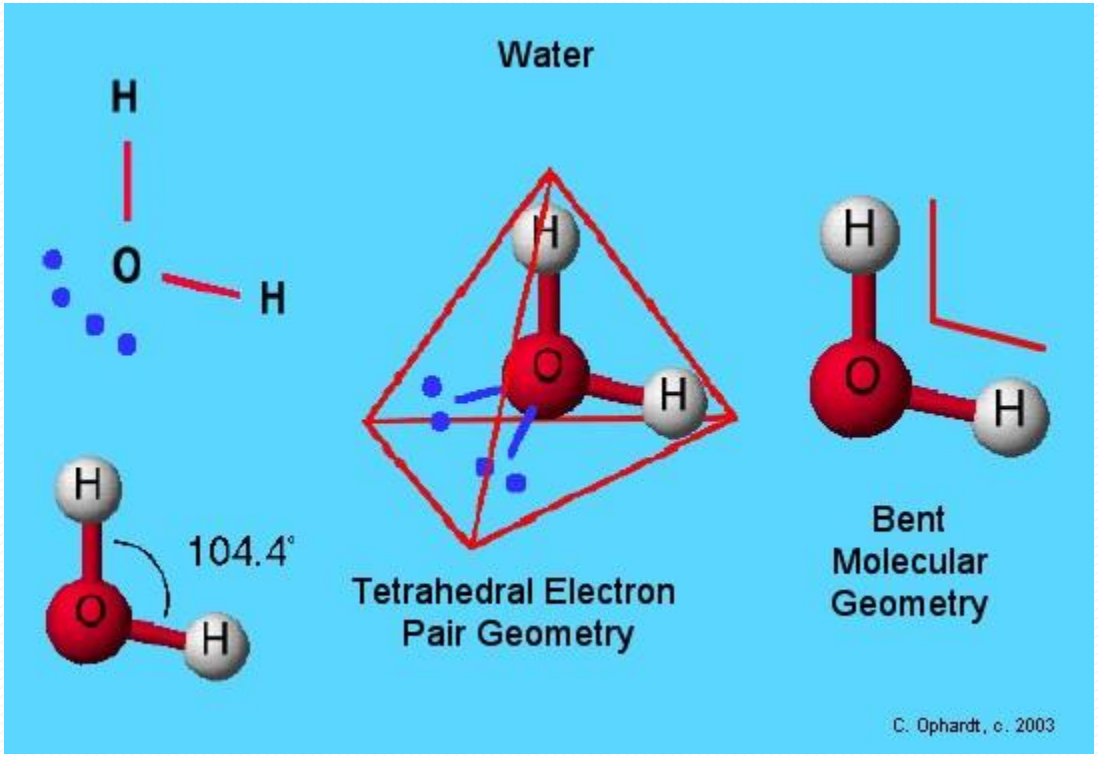
- Najvažnije svojstvo molekule vode jest njezina polarnost. Vezana je uz polarnost veze i geometriju molekule.
  - polarnost = neravnomjerna razdioba električnog naboja unutar molekule. Uzrokovana je odjeljivanjem električnog naboja zbog neravnomjerne raspodjele elektrona u molekuli.

Molekula vode je nesimetrična:
vodikovi atomi vežu se na jedan kraj molekule pod kutem H-O-H = 104,5°



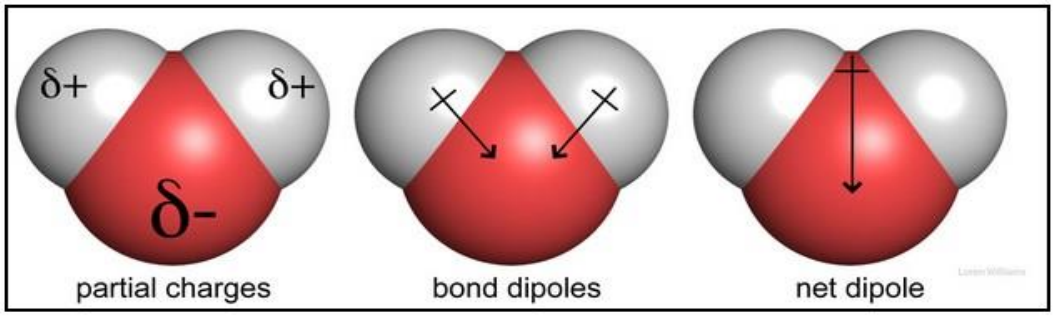
Građa molekule vode

- Molekula vode ima 4 para elektrona oko središnjeg kisikova atoma. Oni su idealno tetraedalno položeni (teorijski kut između njih 109,5°).
- Dva elektronska para sudjeluju u kovalentoj vezi.
- Nevezani elektronski parovi više odbijaju vezane elektr. parove nego što se vezani elektr. parovi međusobno odbijaju.
- Zbog toga se smanjuje međusobni kut vezanih parova sa 109,5° na 104,5°



Građa molekule vode

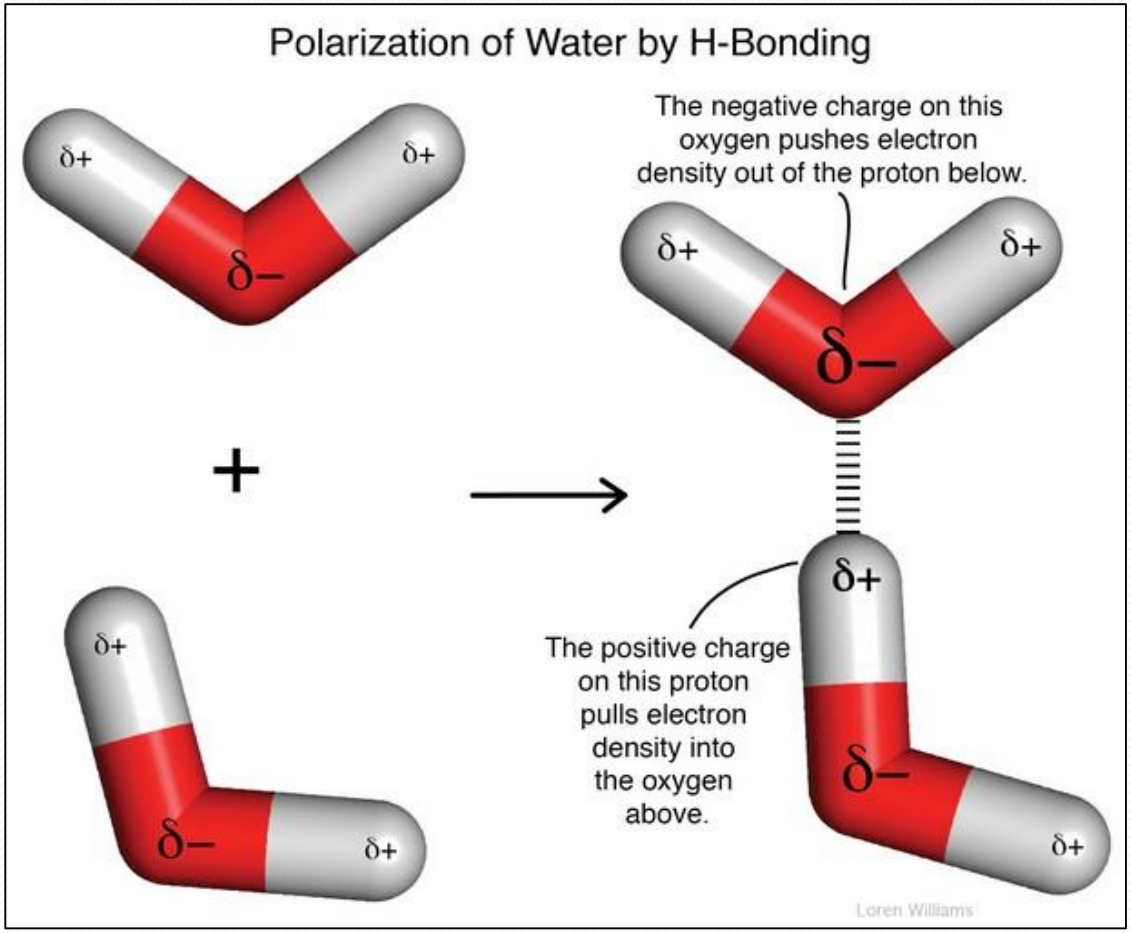
- U molekulama s različitim atomima elektroni nisu podjednako privlačeni.
  - Tendencija nekog atoma da privlači elektrone iz kovalentne veze k sebi, podalje od drugih atoma u molekuli naziva se elektronegativnost. Kisik je izrazito elektronegativan.



- U molekuli vode atom kisika na čelu molekule je elektronegativan (teži privlačenju elektrona), pa jedan kraj molekule ima parcijalno negativan električni naboj, a drugi kraj molekule, oko vodikovih atoma, parcijalno pozitivan naboj.
- Dipolni moment vode vrlo je visok (drugi među malim molekulama, iza HF-fluorovodika).

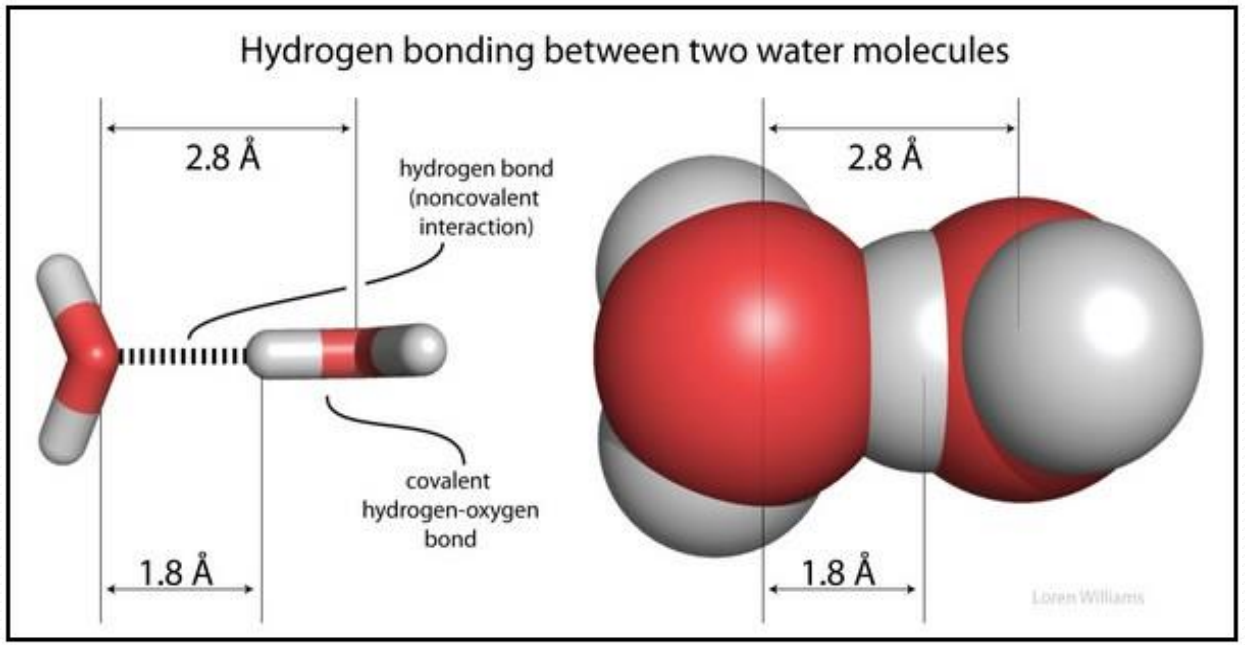
Vodikove veze

- Molekula vode je trajni dipol. Dipoli u bliskom kontaktu se dodatno polariziraju.
- Kada su molekule vode u bliskom kontaktu (npr. u tekućem stanju) pozitivno i negativno nabijeni krajevi dviju molekula vode se privlače i tvore tzv. vodikovu vezu.
- Pritom međusobno dodatno polariziraju jedna drugu, jačajući vezu.



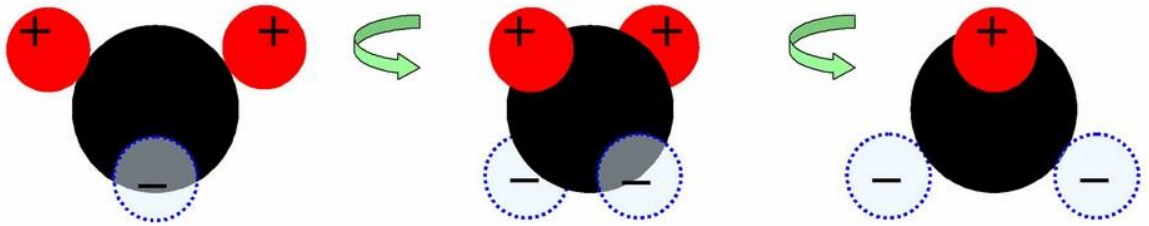
Vodikove veze

- Vodikove veze su jače od van der Waalsovih (*uobičajenih* veza među dipolnim molekulama).
- Jakost međumolekulskih interakcija ima velik utjecaj na makroskopska svojstva tvari (agregacijsko stanje, talište, vrelište, topljivost, viskoznost, površinsku napetost i dr.).



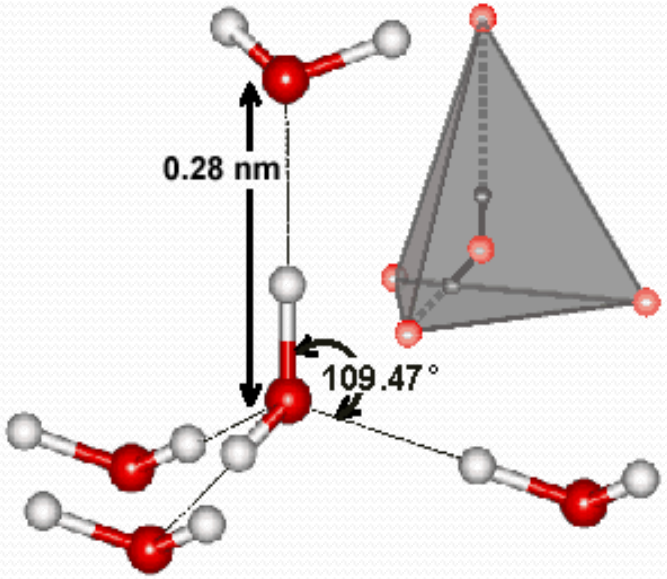
Vodikove veze

- Molekula vode ima potencijalno 2 donorske i dvije akceptorske vodikove veze.



- Svaka molekula vode može teorijski ostvariti najviše 4 vodikove veze s okolnim molekulama vode tvoreći tetraedarsku strukturu.

- Broj vodikovih veza među molekulama vode stalno se mijenja i ovisi o temperaturi (i tlaku). Prema nekim modelima prosječno jedna molekula u tekućoj čistoj vodi na 25° C sudjeluje u oko 3,5 veza. Veze se stalno ostvaruju i kidaju zbog kinetike molekula, prosječno trajanje vodikove veze procjenjuje se na oko 10-10 sekunde.



Geoekološki važna svojstva vode

- Poznavanje prethodnog omogućuje nam da bolje upoznamo neka posebna svojstva vode važna za razumijevanje brojnih prirodnih procesa.
- Dio njih povezan je s toplinom.
- U temperaturnom režimu koji vlada na Zemlji jedino se voda u prirodi javlja u sva tri klasična agregacijska stanja. Konstrukcija Celzijeve temperaturne skale počiva na ledištu i vrelištu vode.
- Voda se u prirodi giba hidrološkim ciklusom mijenjajući agregacijska stanja – zahvaljujući nekim posebnim toplinskim svojstvima vode ovo ima golemu važnost u prirodi jer odlučujuće djeluje u prijenosu topline na Zemlji.
- Najvažnija posebna toplinska svojstva pritom su:

  a) Visoko ledište i vrelište vode,

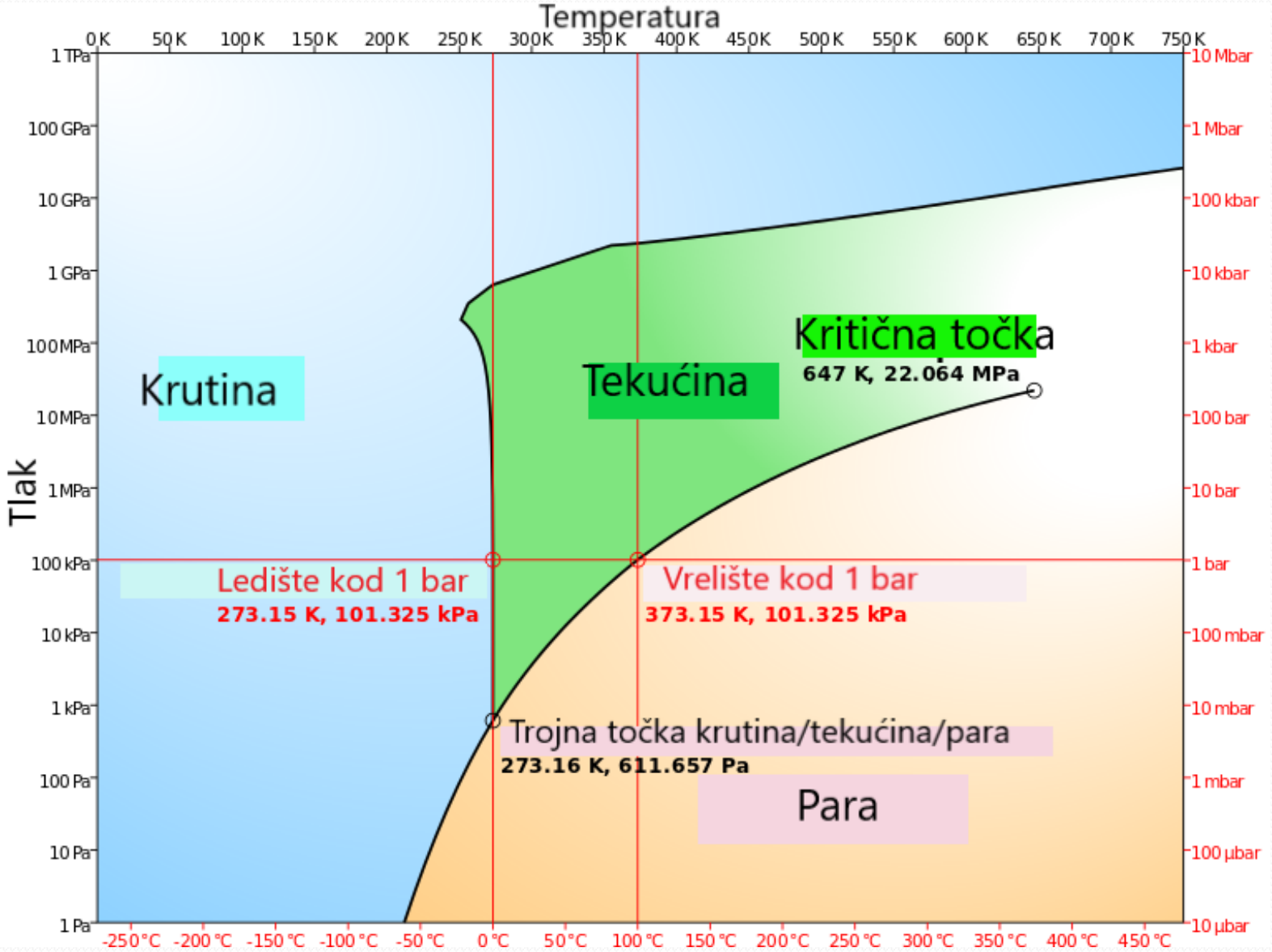
  b) Visoka specifična toplina (druga po veličini od svih tekućina i krutina),

  c) Visoka latetna toplina taljenja (najviša od prirodno uobičajenih tekućina i većine krutina) i visoka latetna toplina isparavanja (najviša od prirodno uobičajenih tvari),

  d) Najviša toplinska vodljivost od svih poznatih tekućina.

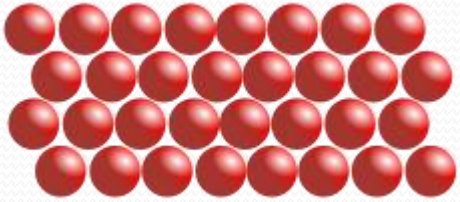
Geoekološki važna svojstva vode

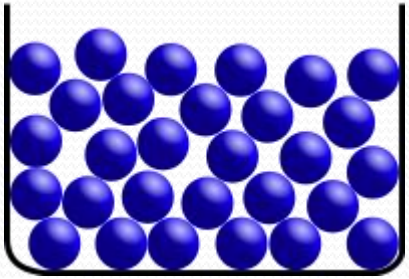
- Stanje u kojem se voda nalazi ovisi o temperaturi i tlaku – fazni dijagram

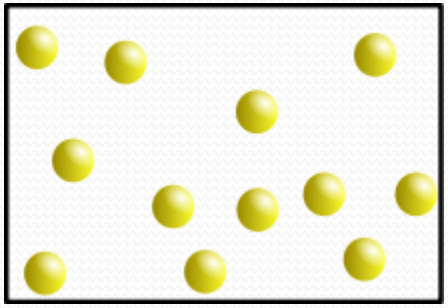


Geoekološki važna svojstva vode

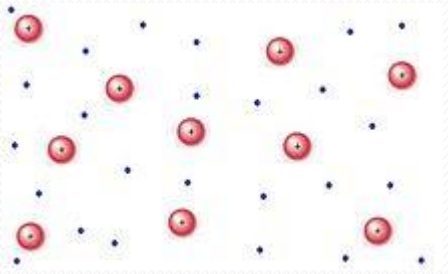
- Količina topline može se praktički povezati s prosječnom kinetičkom energijom atoma/molekula u nekom volumenu.
- Pri niskim temperaturama atomi/molekule su blizu; vežu se silama u krutinama, samo titraju oko središnjeg položaja, tvar zadržava oblik.
- U tekućem stanju atomi/molekule se oslobađaju dijela tih veza i slobodno se gibaju, nemaju stalan oblik i volumen (poprimaju oblik spremnika)
- U plinovitom stanju atomi/molekule su posve slobodne, nema uređene strukture - veća njihova kinetička energija - veća temperatura (stupanj topline).





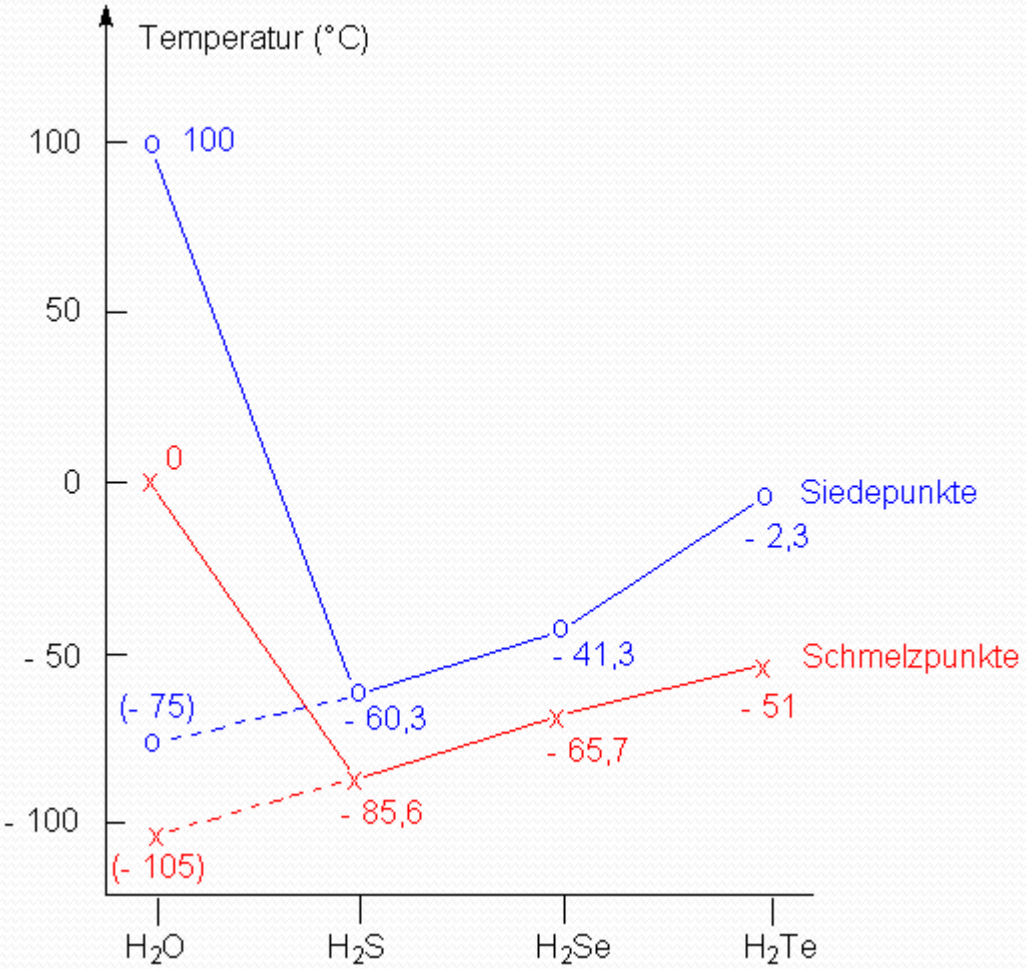


- Visoke temperature – elektroni napuštaju atome - plazma



Geoekološki važna svojstva vode

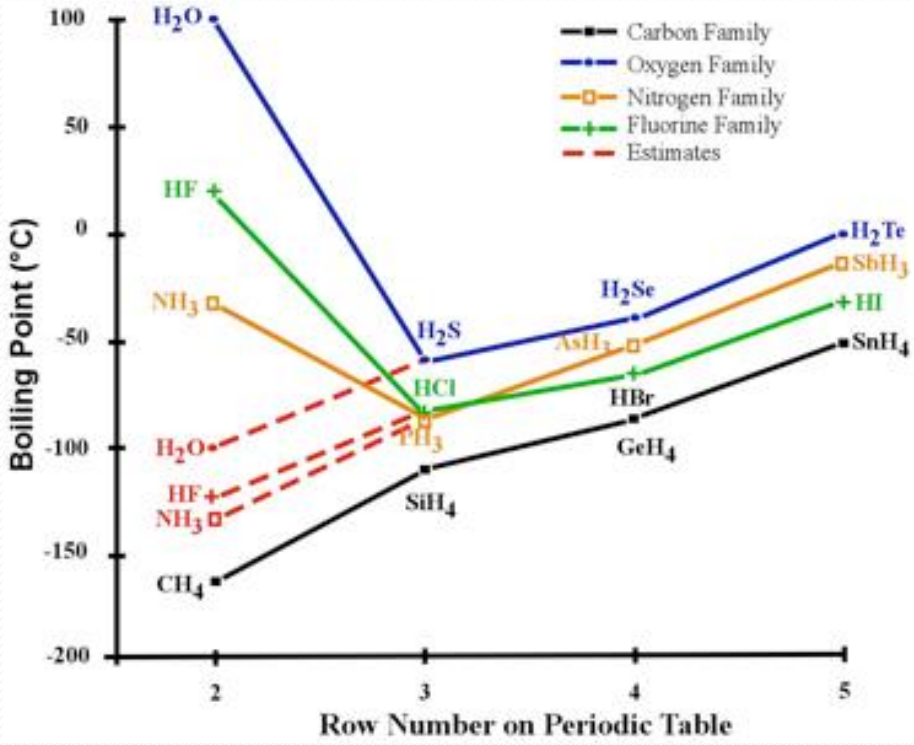
a) Voda ima povišeno talište i vrelište u odnosu na očekivano s obzirom na molekularnu težinu – usporedimo s hidridima elemenata iste skupine.



- Talište vode je 100 °C više, a vrelište čak 170 °C više od "očekivanog".
- Važno je primijetiti i to da je povećan raspon unutar kojeg je voda u tekućem stanju sa samo 30 °C na čak 100 °C.
- **Da ovog svojstva nema voda na Zemlji bila bi u plinovitom stanu i ne bi mogla poslužiti kao medij za životne procese!**

Geoekološki važna svojstva vode

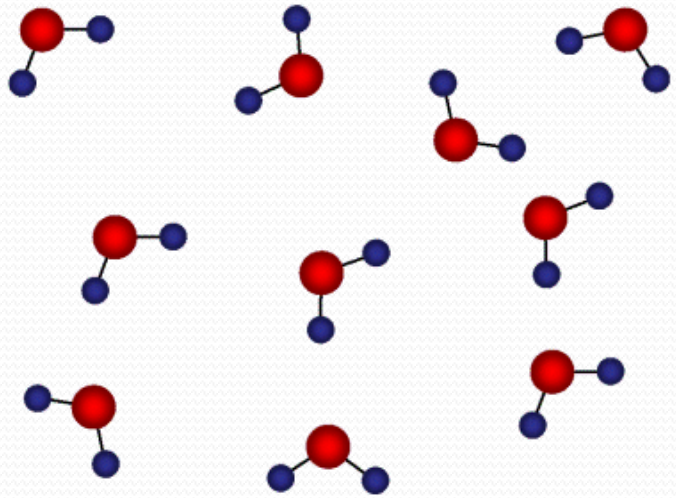
- Uzrok tomu da voda ima povišeno talište i vrelište jest u postojanju vodikovih veza među molekulama vode; i to velikog broja u odnosu na tako malu molekulu. Potrebno je više energije za promjenu agregacijskog stanja.



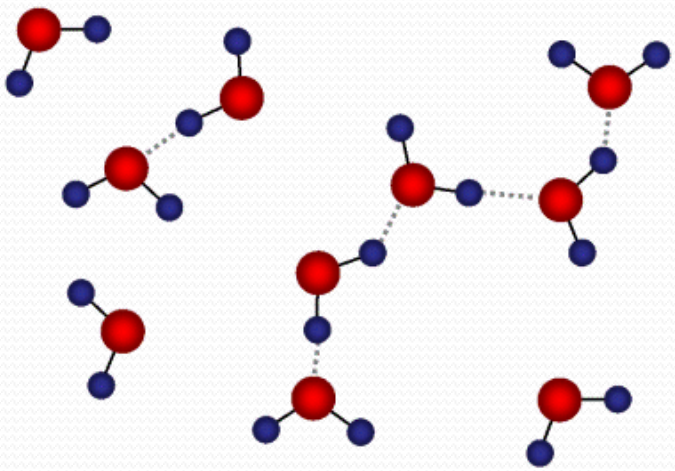
- Iz istog razloga ista anomalija postoji i kod NH_3 i HF

Geoekološki važna svojstva vode

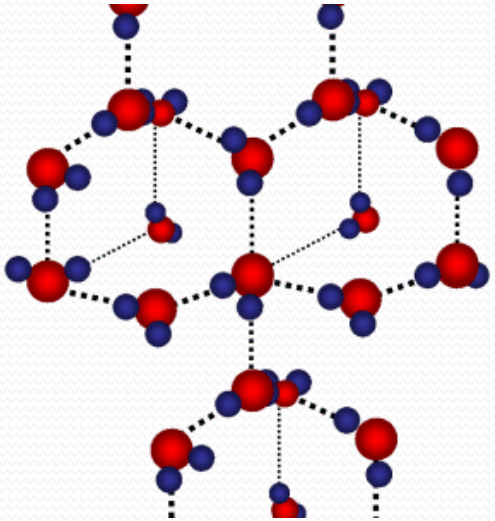
- Molekule vode u tri klasična agregacijska stanja vode:



Vodena para – nema vodikovih veza



Tekuća voda – dio molekula u amorfnim nakupinama (klasterima)



Led (klasičan Ih oblik) – sve molekule povezane vodikovim vezama u kristalastu strukturu

Geoekološki važna svojstva vode

b) visoka specifična toplina vode

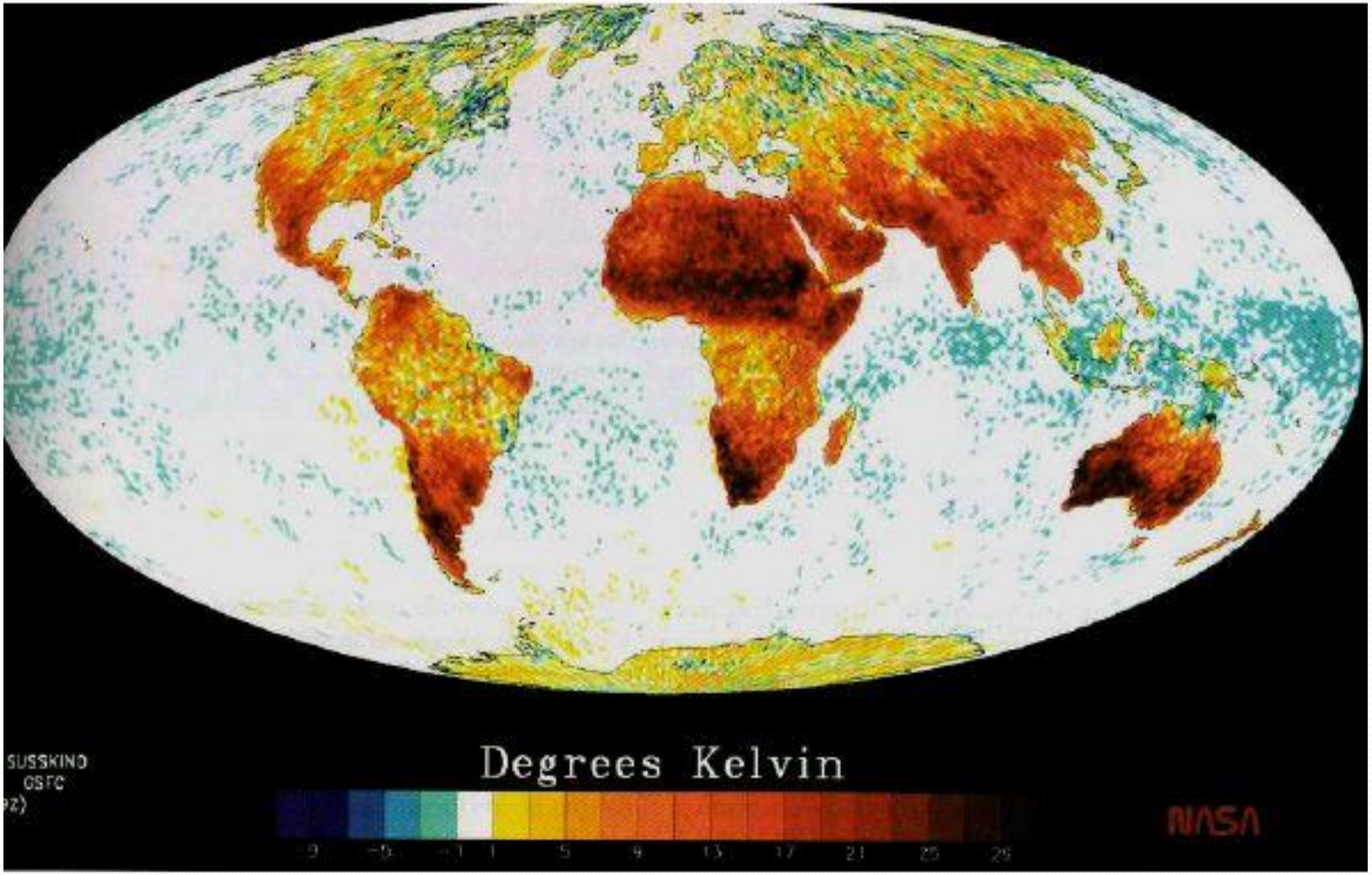
- To je količina topline koju jedinica količine tvari treba primiti da bi joj se temperatura podigla za jedinicu temperature - za tekuću vodu (pri T= 25˚C) iznosi 4,1813 kJ/(kg·K).
- Njen je visoki iznos također posljedica postojanja vodikovih veza. Energija, koja kod drugih tekućina povećava gibanje među molekulama (podiže temperaturu), se kod vode koristi za razbijanje vodikovih veza među susjednim molekulama. Voda i vodene otopine su tako, zahvaljujući vodikovim vezama, izuzete od velikih promjena u temperaturi.

- Voda je zbog toga iznimno stabilna okolica, iz toga svojstva proizlazi i maritimnost i s njome globalna stabilizacija temperaturnih amplituda.
- Zbog visoke specifične topline (u kombinaciji s drugim čimbenicima) u vodi (moru) mogu se pohraniti i prenositi goleme količine topline.
- Oceani su regulatori topline na Zemlji – za zagrijavanje $1m^3$ mora treba isto toliko energije koliko za 3118 m^3 zraka; 71% površine Zemlje prekriva more; more ujedno upija 90% do površine prispjele radijacije (ipak oko 50% primljene energije potroši se na evaporaciju)

Povezati sa: Šegota, Filipčić: Klimatologija za geografe, poglavlje 1.3.2.3. Termička svojstva kopna, mora i zraka.

Geoekološki važna svojstva vode

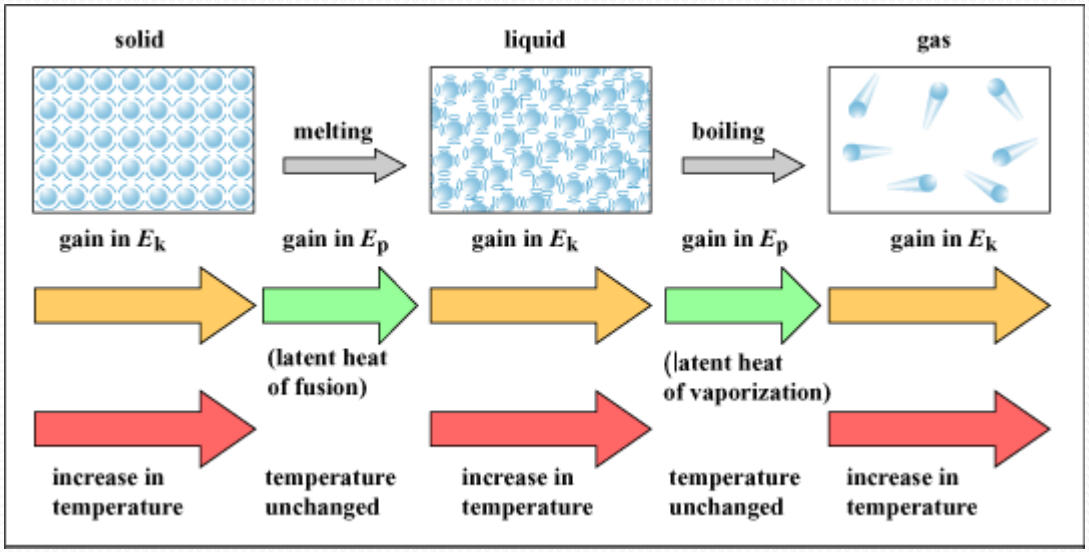
- Temperaturne promjene nad morem i kopnom (srednja noćna - srednja dnevna temperatura na Zemlji. Bijelo = bez promjene; iznad bijelog stupanj i više, ispod bijelog negativna promjena)



Geoekološki važna svojstva vode

c) visoka latetna toplina taljenja i isparavanja za vodu

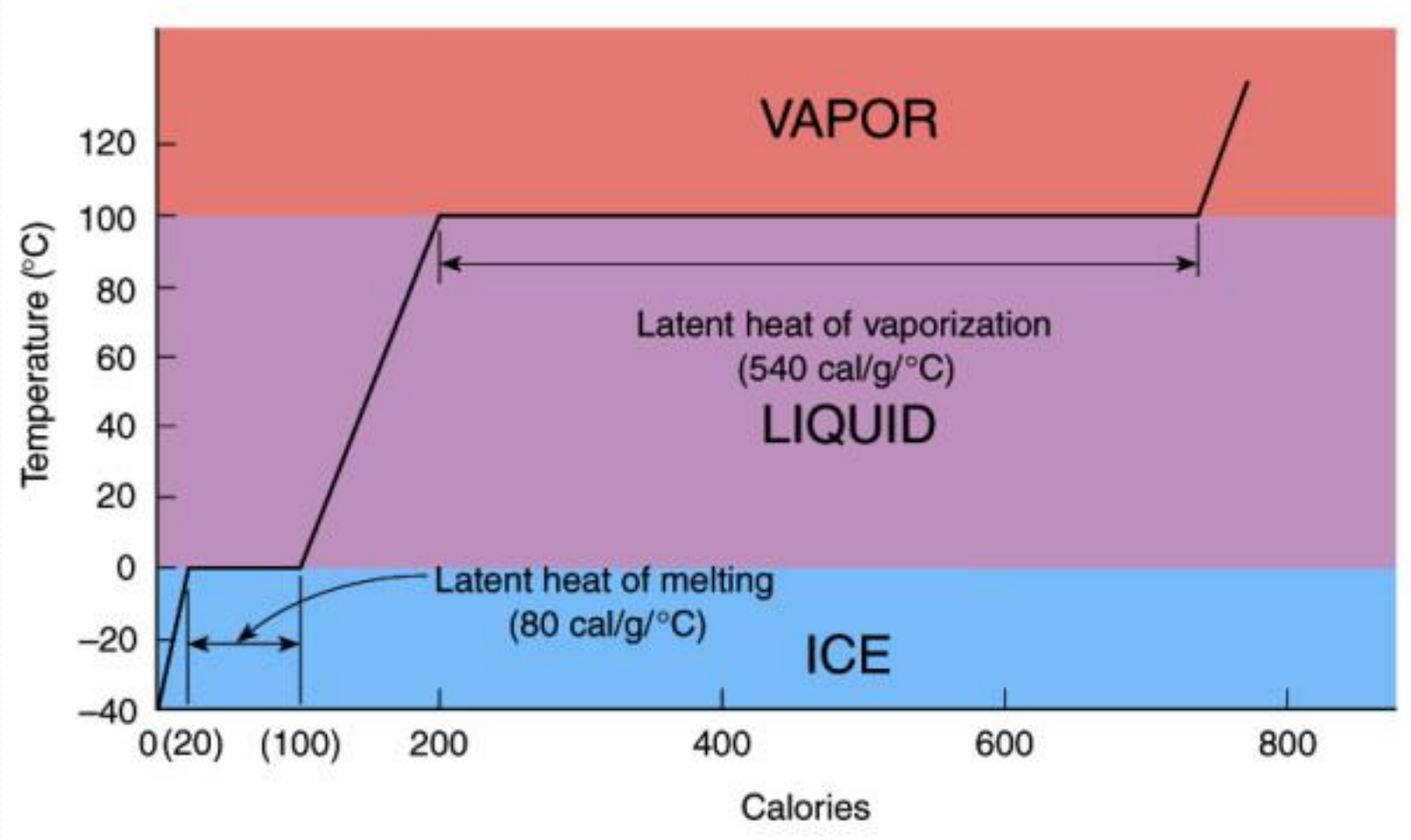
- Latentna toplina taljenja/ispravanja = količina topline potrebna jediničnoj količini neke tvari na temperaturi tališta/temperaturi vrelišta da se u potpunosti rastali/ispari.
- Latentna toplina je toplina koju neka masa tvari mora predati ili primiti iz okolice kako bi promijenila agregatno stanje - po jedinici te mase (po kg tvari)



- Toplina koja se koristi pri prijelazu u energetski više agregatno stanje iskorištava za razbijanje veza među atomima ili molekulama tvari te za vrijeme toga procesa (prjelaska u energetski više agregatno stanje) neće doći do porasta temperature tvari sve dok ona u potpunosti ne promijeni stanje.

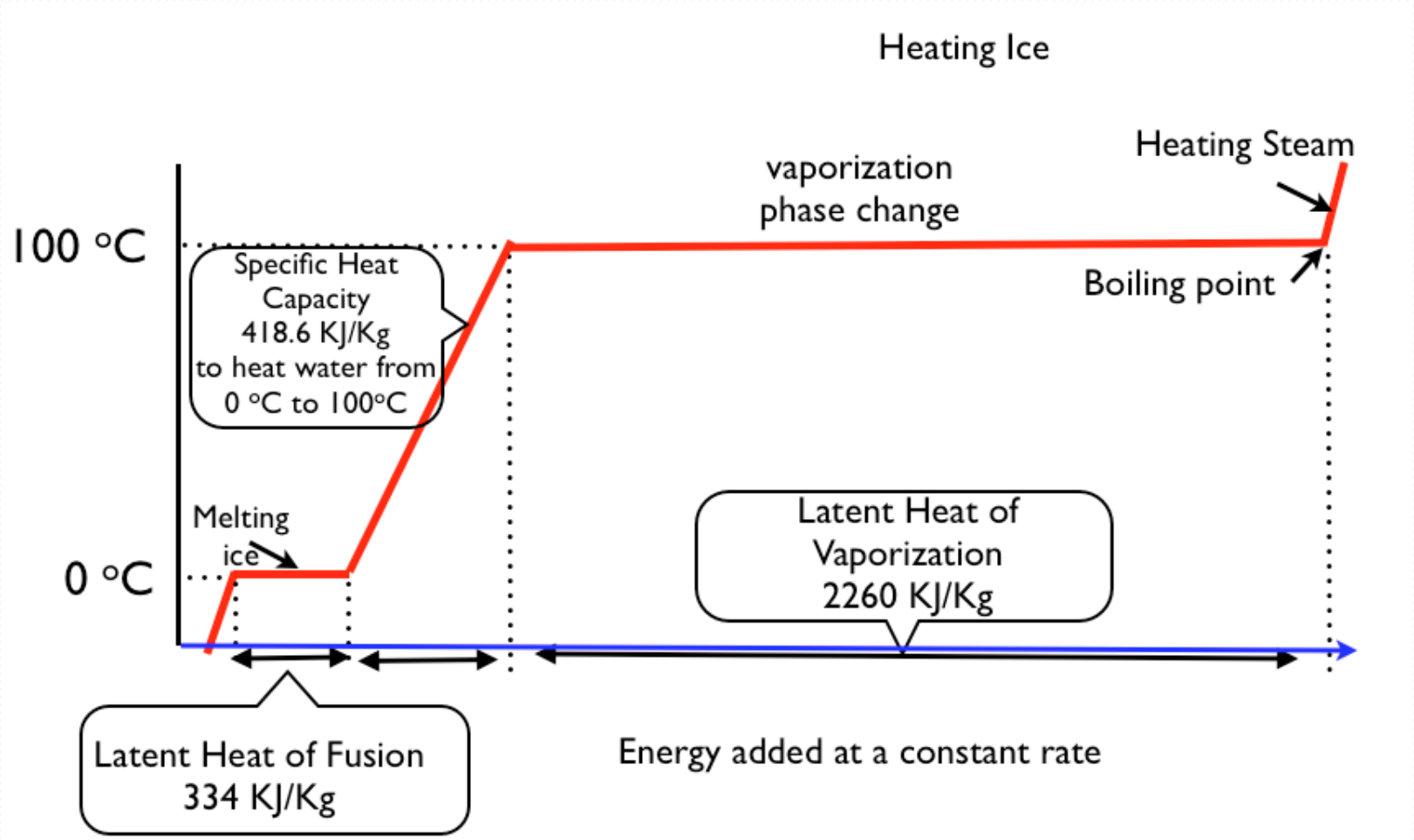
Geoekološki važna svojstva vode

- Zbog vodikovih veza voda (kao i druge tvari kod kojih postoje vodikove veze) ima visoku latetnu toplinu taljenja i iznimno visoku latetnu toplinu isparavanja.



Geoekološki važna svojstva vode

- LTT Iznosi 80 kcal/Kg ili 334 KJ/Kg
- LTI iznosi 540 kcal/Kg ili 2257 KJ/Kg

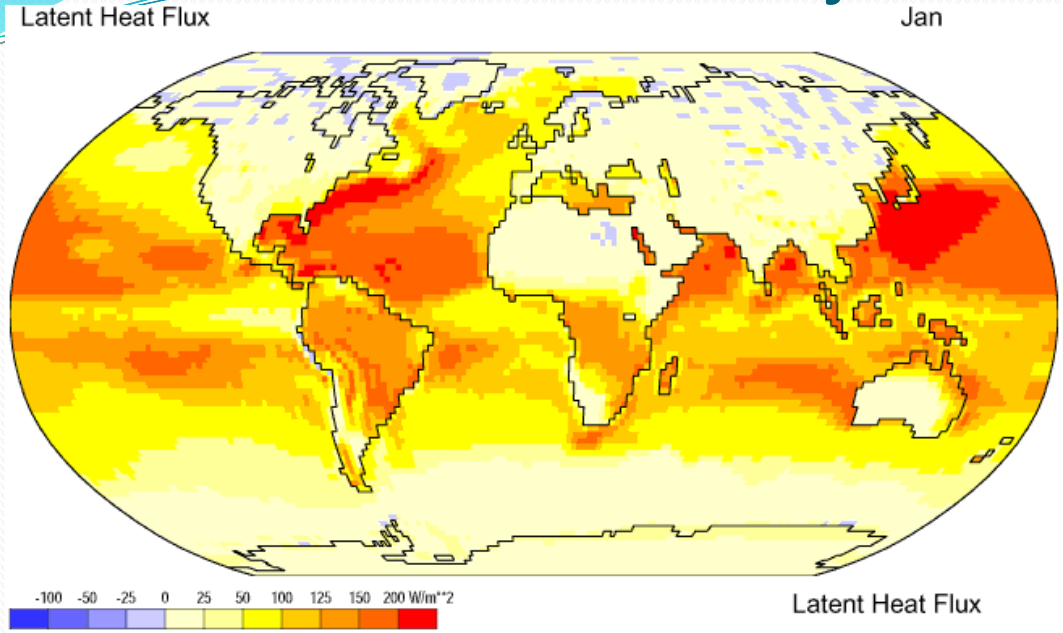


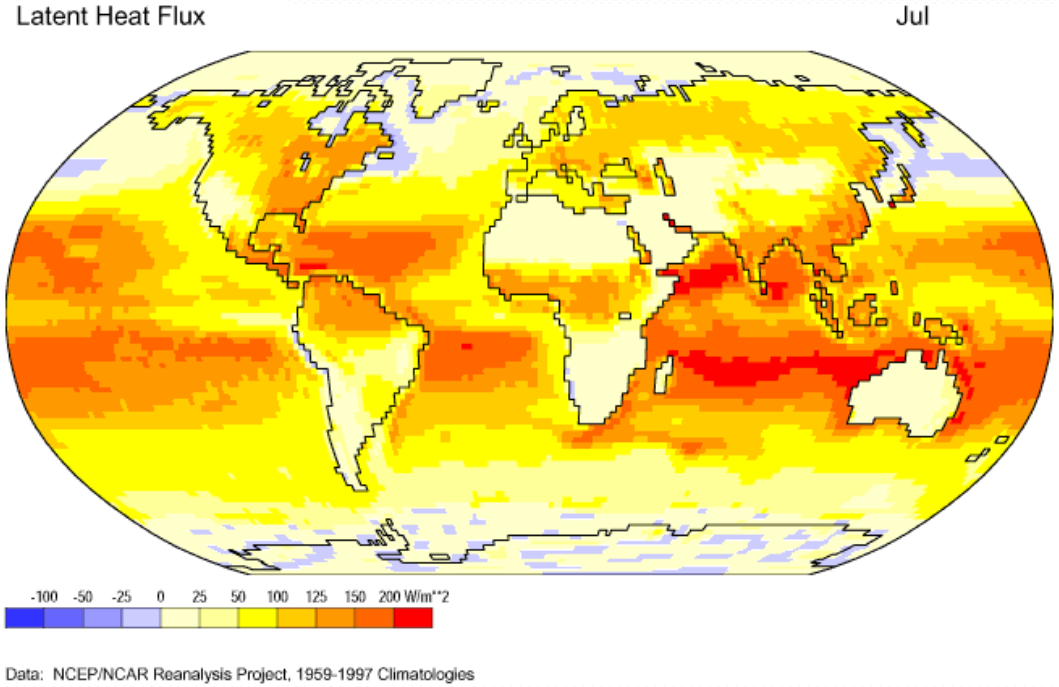
Geoekološki važna svojstva vode

- Latentna toplina je endotermna na prijelazu u energetski više agregatno stanje a egzotermna pri prijelazu u niže energetsko stanje.
- **Ona količina energije koja se koristi za taljenje ili isparavanje uzeta iz okolice bit će vraćena okolici prilikom skrućivanja ili ukapljivanja.**
- U prirodi ta količina energije ovisi o T (npr LT evaporacije 2257 kJ/Kg je na vrelištu, dakle za 100 °C, ali na 40°C za evaporaciju treba 2406 kJ/Kg a na 0°C treba 2501 kJ/Kg)

- Zaključno treba naglasiti da se vodom koja kruži prirodom mijenjajući agregatno stanje, zahvaljujući latetnoj toplini prenose goleme količine energije, vertikalno od podloge u atmosferu i horizontalno dakle i od nižih geografskih širina u više.
- Glavni način prenošenja energije u golemom termodinamičkom stroju oceani-atmosfera.
- Visoka LT taljenja usporava otapanje ledenjaka i ledenih pokrova te štiti oceane i duboka jezera od potpunoga zamrzavanja. Oboje je kritično za život u vodama.
- Visoka LT evaporacije rashlađuje i štiti od prezagrijavanja mnoge sredine. Tropski oceani gube oko 1 bilijarde kalorija po km^2 prosječno godišnje.

Geoekološki važna svojstva vode





Geoekološki važna svojstva vode

d) visoka toplinska vodljivost vode

- najviša među prirodno uobičajenim tekućinama
- praktično to znači da se toplina u vodi, umjesto da se nakuplja na određenom mjestu relativno brzo i ravnomjerno širi

- Uz ostala spomenuta toplinska svojstva time pridonosi ublažavanju globalne temperature; ne hladi se i zagrijava samo površina već se toplina širi u dublje slojeve; u hladnom dijelu godine temperatura pohranjena u dubljim slojevima razmjerno se dobro prenosi na površinu.

- Dok je voda dobar vodič topline, led djeluje kao toplinski izolator. To je ponajviše zbog zarobljenih mjehurića zraka u ledu.
- Kada se površina jezera zaledi, led dakle djeluje kao pokrivač koji zarobi toplinu jezerske vode te sprječava daljnje hlađenje vode. Pojava leda na površini voda također čini vodu pogodnom životnom sredinom.

Geoekološki važna svojstva vode

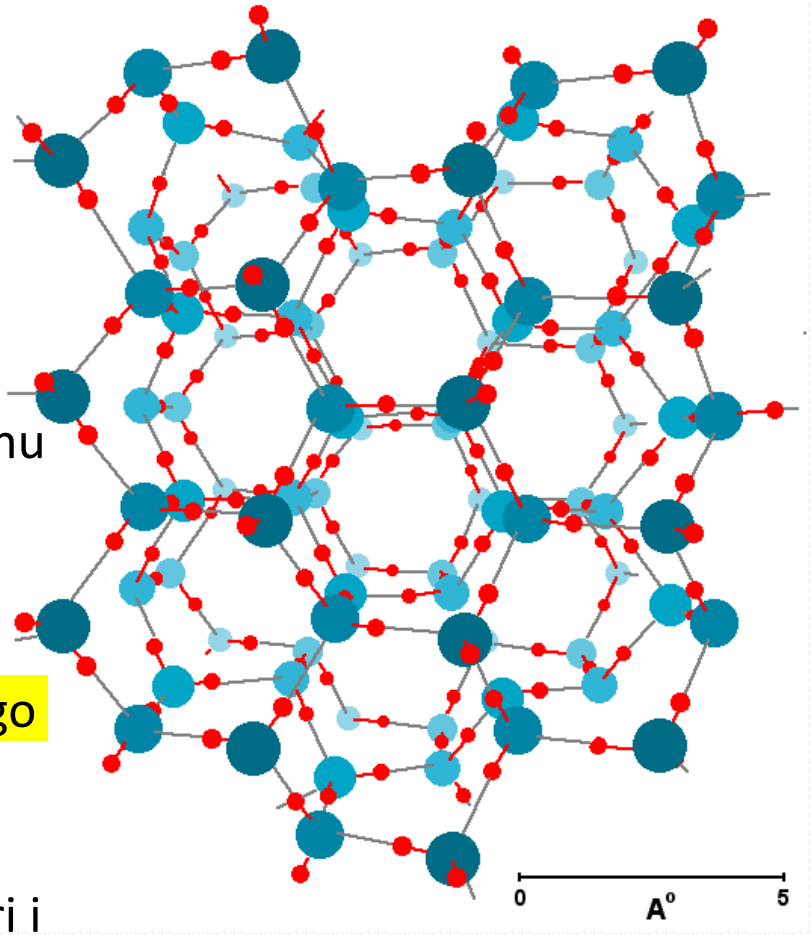
- Dalje razmatranje vodi nas k poznavanju gustoće vode, posebno anomalije gustoće vode kao geoekološki iznimno važne.

- Gustoća vode funkcija je temperature, slanoće i tlaka (redom po značaju)
- Temperatura i gustoća u izravnoj su vezi s obzirom da uobičajeno s porastom temperature raste kinetička energija molekula te one termalno ekspandiraju (grijanje tvari uzrokuje njihovu ekspanziju a hlađenje kontrakciju).
- Očekivano tvar je u krutom stanju najgušća, rjeđa je u tekućem stanju a najrjeđa u plinovitom stanju.

- Voda je gotovo jedinstvena po tome da je u krutom stanju (led) rjeđa nego u tekućem stanju (svega nekoliko je tvari koje se slično ponašaju npr. silicij i neki metali koji u krutom stanju imaju tetraedarsku strukturu).

Geoekološki važna svojstva vode

- Ovo iznimno svojstvo rezultat je tendencije stvaranja vodikovih veza među svim molekulama vode u ledu. Kao krutina led je strukturiran kao kristal, pri čemu kristalinsku rešetku drže vodikove veze.

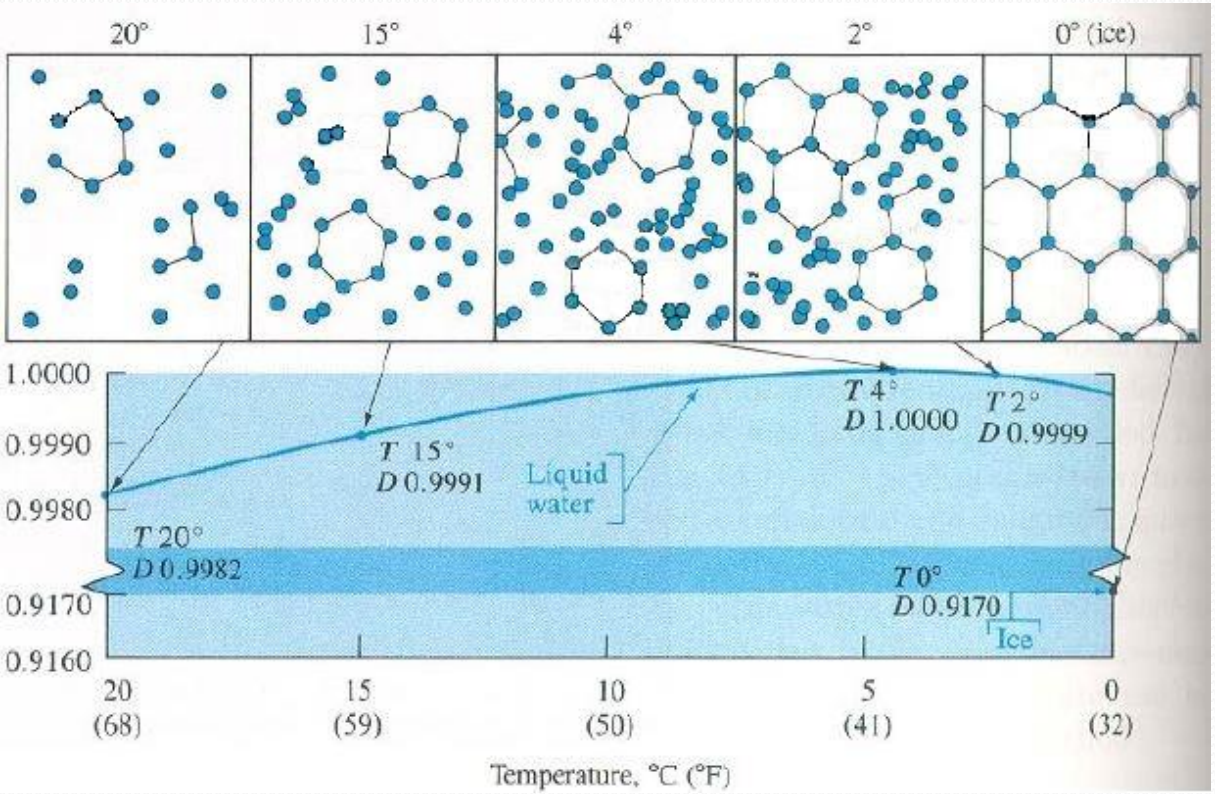


- Uobičajena forma leda (I_h) tvori heksagonalnu neplanarnu strukturu (tetraedarske veze svake molekule) pri čemu se javljaju razmjerno veliki otvori u kristalinskoj mreži.
- Zbog toga led ima oko 9 % veći volumen nego voda u kojoj struktura molekula vezanih vodikovim vezama nije uređena.
- Pri smrzavanju voda tj. led se dramatično širi i ako je pri tom sprječen može tlačiti okolicu silom od 250 atm - bara (npr. u slavini je voda na 2-4 atm; čovjek tlači 0,2 atm).

Geoekološki važna svojstva vode

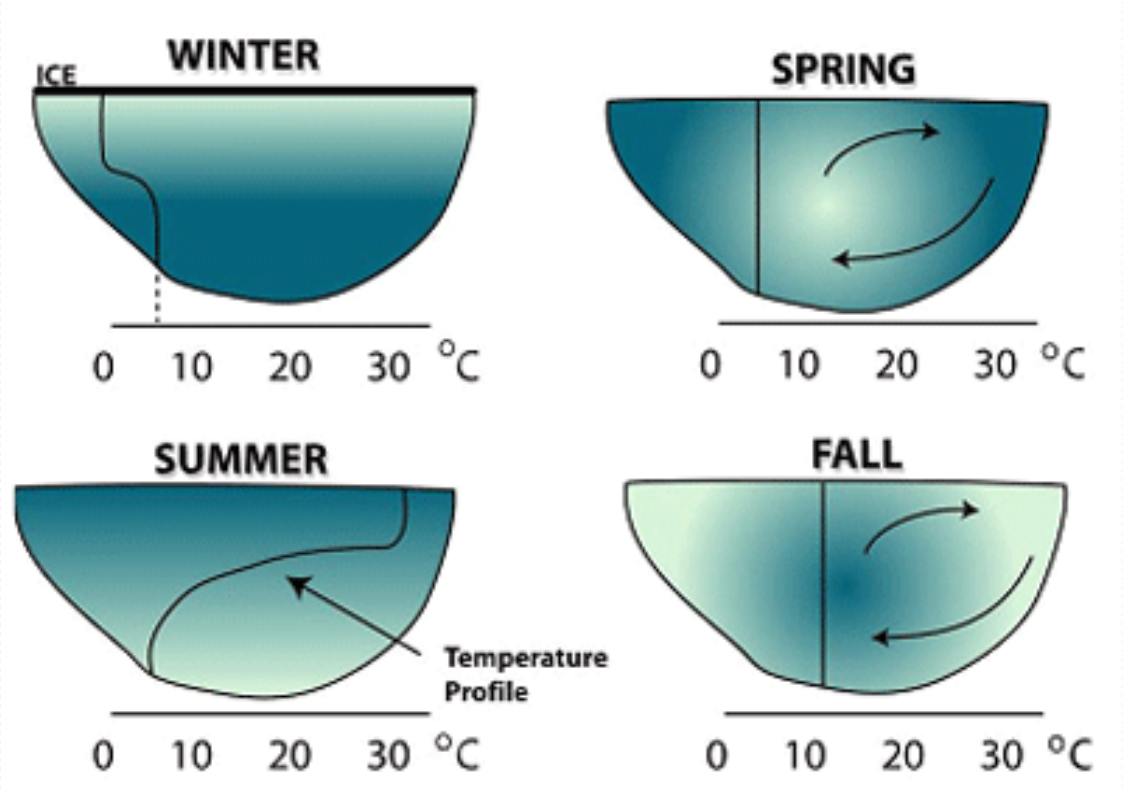
Druga neobična pojava ili anomalija vode jest da je čista voda najgušća na približno 4 °C.

- To je rezultat stvaranja sve više uređenih klastera s padom temperature, a u kojima je više međuprostora nego između zasebnih molekula vode ili amorfnih klastera. Ovaj proces suprotan je od normalnog zgušnjavanja kontrakcijom te se oni po djelovanju izjednače na 4 °C. Nadalje prevladava rast kristalastih struktura, a kod smrzavanja drastično padne gustoća.



Geoekološki važna svojstva vode

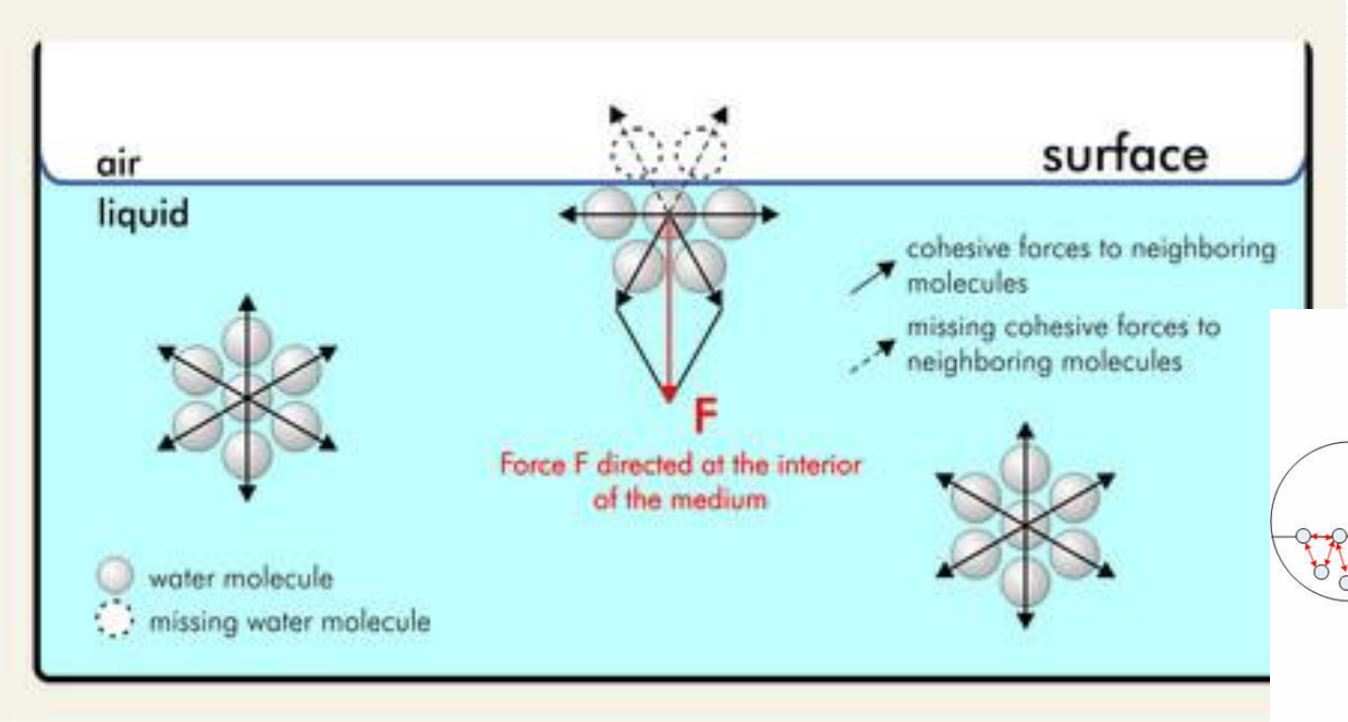
- Svojstva vode povezana s gustoćom, te promjene gustoće vode kao funkcija temperature i slanoće imaju iznimnu geoekološku važnost jer omogućavaju preživljavanje višegodišnjih organizama u većini jezera, reguliraju vertikalnu cirkulaciju vode u jezerima i oceanima, utječu na bioproduktivnost i olakšavaju distribuciju topline.

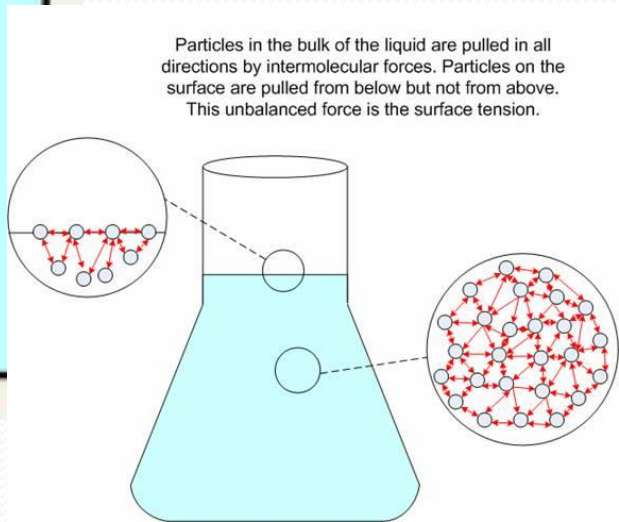


- Primjer jezera u umjerenim g. š. – dimiktička jezera

Geoekološki važna svojstva vode

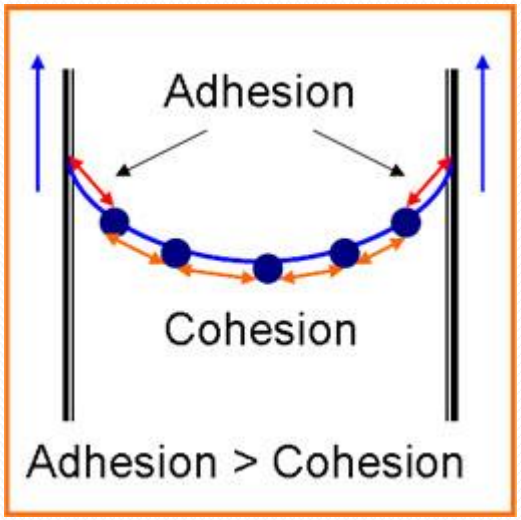
- Od drugih fizikalnih geoekoloških važnih svojstava vode valja istaknuti **površinsku napetost, koheziju i adheziju vode**.
- **Voda ima najvišu površinsku napetost od prirodno uobičajenih tekućina**.
- Površinska napetost rezultat kohezije (privlačenja istovrsnih molekula), u slučaju vode prvenstveno zbog vodikovih veza. Potencijalna kohezija manja je za molekule na površini vode.

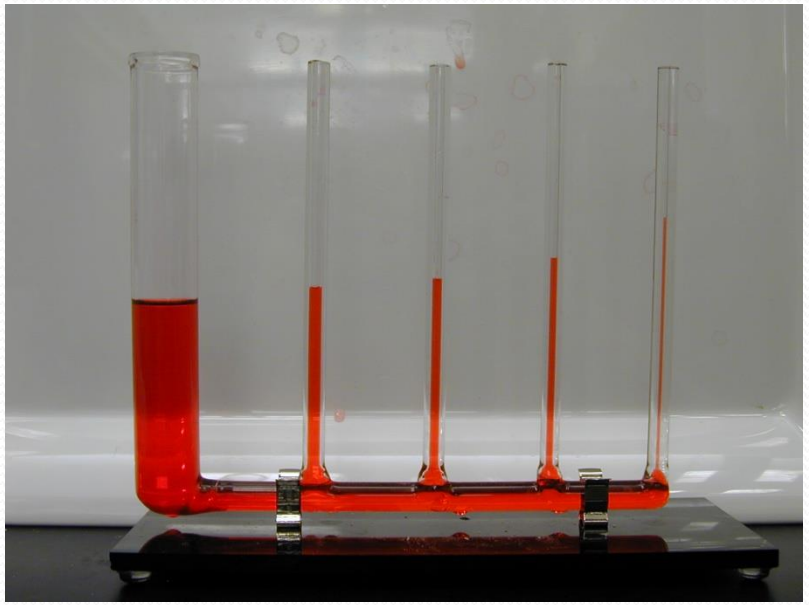




Geoekološki važna svojstva vode

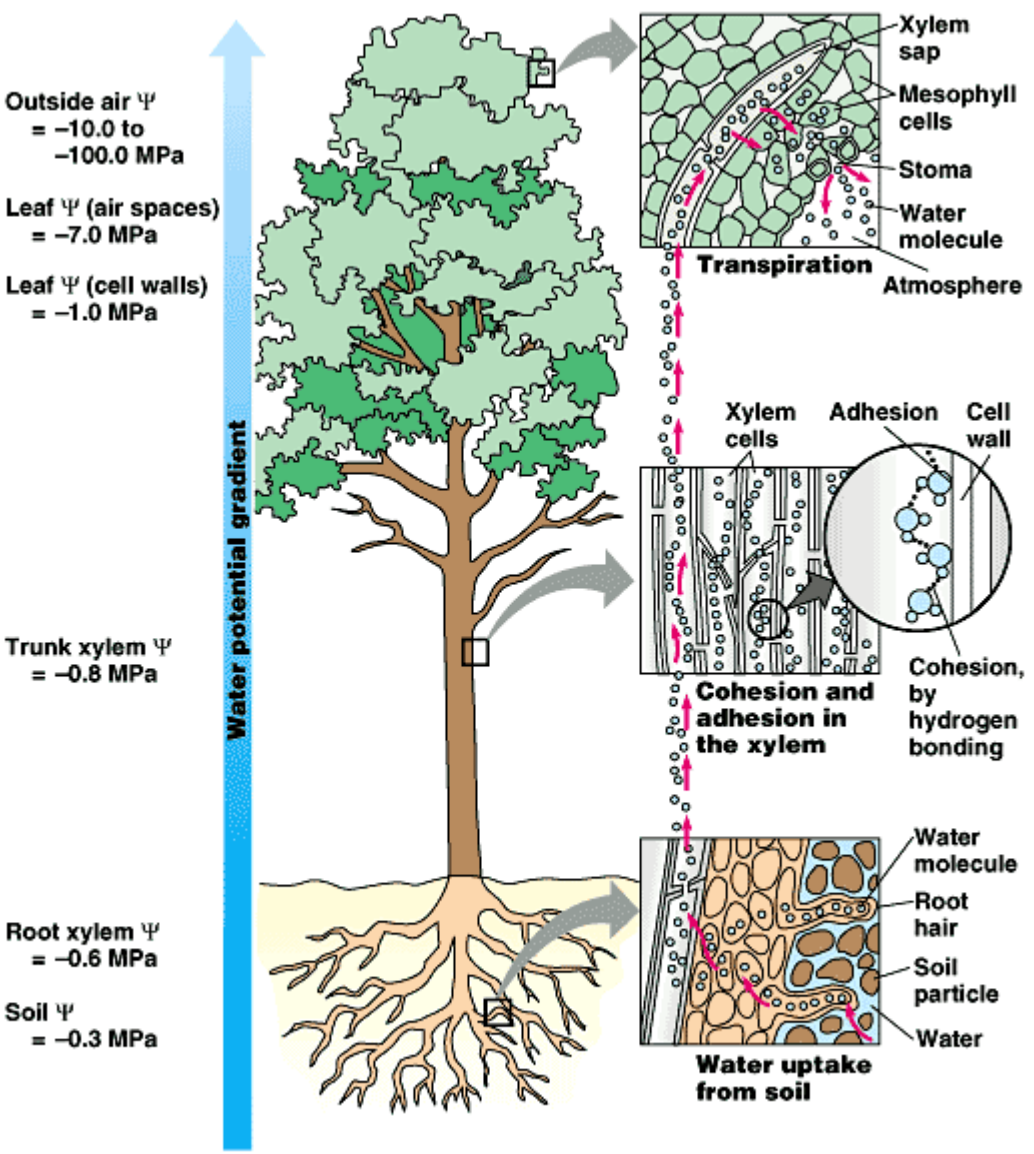
- Površinska napetost povezana je s mnogim biološkim procesima na staničnoj razini (adsorbcija), važna je za formiranje kapljica u oblacima, kretanje nekih makrobeskralježnjaka po vodi.
- Uz površinsku napetost valja još istaknuti **kapilarnost**.
- **Kapilarnost je posljedica adhezije** (prijanjanja, privlačenja raznovrsnih molekula) **i površinske napetosti odnosno kohezije**.
- Voda prijanja uz mnoge površine (moči) primjerice staklo, drvo, stijene i metale) pa se voda zbog toga uzdiže u uskim prostorima usprkos gravitaciji. Površinska napetost odnosno kohezija limitira penjanje uz stijenke u odnosu na širinu prostora. Veća širina – manje kapilarno uzdizanje.





Geoekološki važna svojstva vode

- Kapilarnost izdiže vodu u tlu do korjenskog sustava.
- Mnogim biljkama omogućava odnosno olakšava cirkulaciju od korjena do lišća, prenoseći otopljene hranjive tvari.
- Kapilarnost olakšava trošenje stijena, ispiranje i redistribuciju minerala i stvaranje tla.

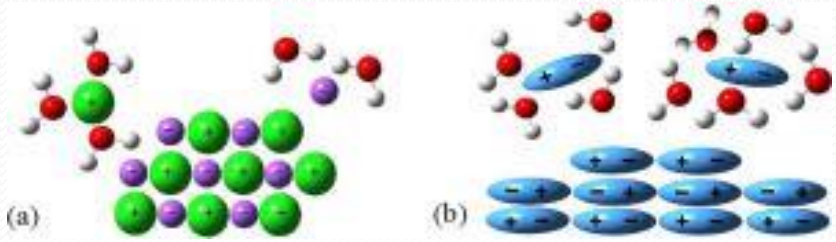


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Geoekološki važna svojstva vode

- Od kemijskih svojstava vode geoekološki je najvažnije obilježje da je **voda odlično otapalo**. Ovo svojstvo u vezi je s polarnom prirodom molekule vode.
- Voda otapa više tvari i u većim količinama od ijedne druge druge prirodno uobičajene tekućine, katkad je nazivaju univerzalnim otapalom iako postoje tvari koje se u vodi ne otapaju ili vrlo slabo otapaju.

- U osnovi ionske i polarne supstance kao što su kiseline, alkoholi i soli razmjerno se lako otapaju u vodi a nepolarne supstance kao masti i ulja ne otapaju se u vodi. Nepolarne molekule drže se zajedno u vodi zato što je molekulama vode energetski povoljnije ostvarivati međusobne vodikove veze nego stupati u van der Waalsove interakcije s nepolarnim molekulama.
- Kada ionski ili polarni spoj dospije u vodu okružuju ga molekule vode – to se zove hidratacija. Relativno mala veličina molekule vode (oko 3 Å) omogućuje interakciju mnogih molekula vode s nabijenim ionima ili nabijenim polovima molekula spoja.



Geoekološki važna svojstva vode

- Nemogućnost otapanja nepolarnih molekula (masti, ulja) moglo bi se tumačiti kao "manjkavost", međutim i ovo obilježje ima neobičnu važnost za život. Naime ovo je svojstvo neophodno za oblikovanje membrana.
- Lipidi (organske molekule nastale reakcijom masnih kiselina i alkohola i amina) same se prirodno slažu u vodi tvoreći membrane (tzv. hidrofobični efekt).
- To je evolutivno povezano sa stvaranjem staničnih membrana koje su esencijalne za nastanak živih bića – stanična membrana odvaja sve unutar stanice od okolice.
- Istodobno stanične membrane selektivno propuštaju nutrijente i minerale i dopuštaju izlazak otpadnih tvari.
- S obzirom na navedena svojstva vode ona je **idealan medij za postanak života**; prvih stanica (membrane) koje mogu lako doći do otopljenih hranjivih tvari i minerala a mogu se lako i riješiti otpadnih tvari.
- **Istodobno ona je okoliš znatno stabilniji** (npr. male temperaturne amplitude) **od primjerice kopna ili atmosfere.**

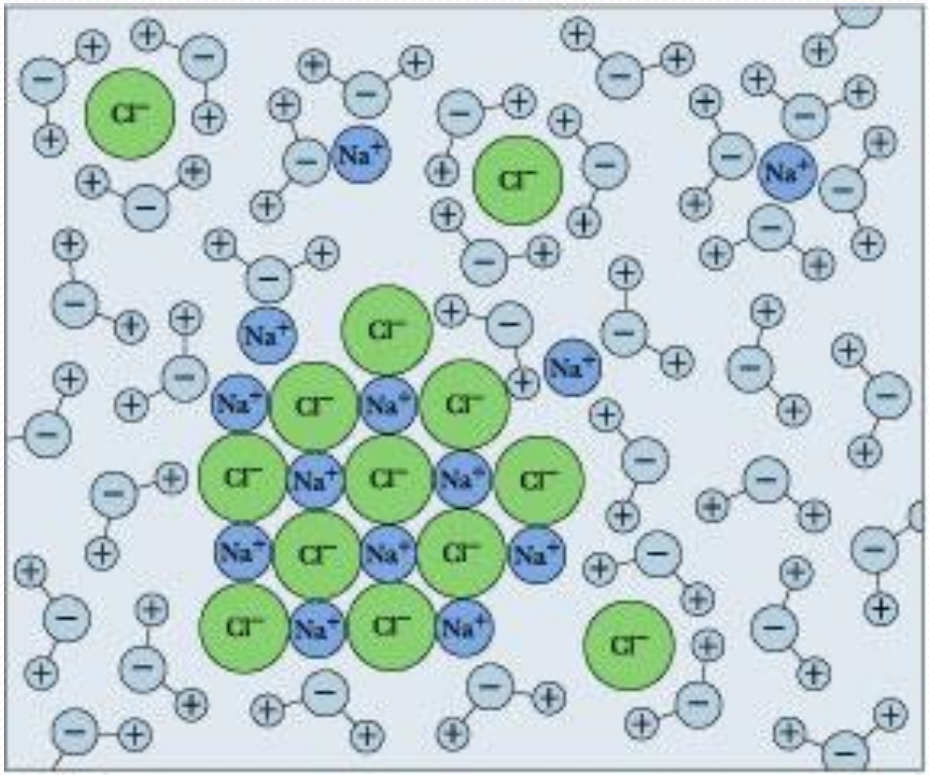
- O molekuli vode i njenim fizikalnim svojstvima još čitaj u:

Žic, E., Gobin, I., Batičić, L. (2020.): Strukturalna analiza molekule vode i njena fizikalna svojstva, Zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.

Geoekološki važna svojstva vode

- Zbog svoje polarnosti voda ima vrlo visoku dielektričnu konstantu; to je mjera sposobnosti otapala da okružuje ione, odnosno nabijene česti, kod vode to je mjera sposobnosti **hidratacije**.
- Izvstan primjer hidratacije je otapanje soli, primjerice NaCl

- Ioni se disociraju te disocirane katione (Na+) okružuju molekule vode s negativno nabijenom kisikovom stranom a anione (Cl-) s pozitivno nabijenom vodikovom stranom. Ioni se tada lako raznose iz kristalne rešetke u otopinu.
- Kad bi voda imala slabu dielektričnu konstantu ionska veza NaCl otežavala bi otapanje.
- Molekule vode međutim u potupnosti okružuju ione slabeći njihovu međusobnu elektrostatsku privlačnost i do 80 puta.



Geoekološki važna svojstva vode

- Istaknut je samo malen dio od uloge koju voda ima kao izvrsno otapalo...
- U prirodi ne postoji čista voda, ona uvijek nosi manje ili više otopljenih tvari što je opisano i mjereno količinom ukupne otopljene tvari (total dissolved solids = TDS).

- TDS je količina organskih i anorganskih čestica, poput metala, minerala, soli i iona, otopljenih u određenoj količini vode (mjera svega što nije H_2O).
- TDS se mjeri u [mg/L] = [ppm]; može se mjeriti i samo za pojedine spojeve (laboratorij): pr. nitrati, fosfati i sl.
- načelno: <250 ppm niska; 300-500 ppm povoljna za piće; 600-900 ppm – potrebna filtracija; >1000 ppm nije za piće; >2000 ppm nesigurna za piće i kućni filteri ju ne mogu dovoljno pročistiti.

Geoekološki važna svojstva vode

- Voda je u prirodi pojačano kemijski aktivna (npr, zbog otopljenih iona je elektrolit, u njoj se javljaju galvanske struje)
- Provodnost, provodljivost (električna vodljivost) ili konduktivitet (EC) odnosi se na svojstvo vode da provodi električnu struju – povezana s TDS.
- EC se izražava u [µS/cm] (mikroSiemens po cm) i (terenski) mjeri konduktometrom.
- Niska vodljivost (<200 µS/cm) pokazatelj je netaknutih uvjeta – pr. kišnica, snježnica; srednja (200 do 1000 µS / cm) normalna je za većinu tekućica; visoka provodljivost (> 1000 µS/cm) može ukazivati da voda nije prikladna za određene životinjske vrste.
- Povećanjem T povećava se i EC.
- Naglo povećanje EC može ukazivati na onečišćenje/promjene, no neka onečišćenja se ne mogu detektirati EC – npr. ulja.

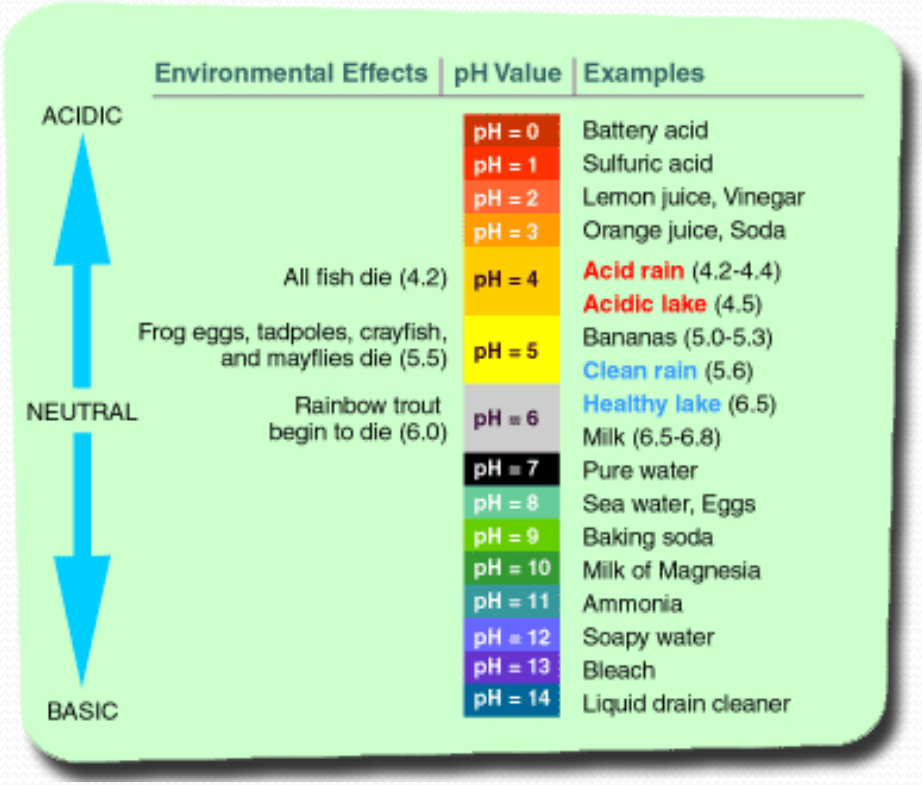
Geoekološki važna svojstva vode

- pH (lat. potentia hydrogenii=snaga vodika) je mjera relativne količine slobodnih vodikovih (H+) i hidroksilnih (OH-) iona u vodi.
- Voda koja ima više slobodnih vodikovih iona je kisela, dok je voda koja ima više slobodnih hidroksilnih iona bazična/lužnata.

- pH je promjenjiva veličina; mjeri se pH-metrom
- Glavni regulator pH u vodi je otopljeni CO_2 (dolazi u vodu iz atmosfere, biološkim procesima ili otapanjem karbonatnih stijena)

Geoekološki važna svojstva vode

- pH se navodi u "logaritamskim jedinicama". Svaki broj predstavlja deseterostruku promjenu kiselosti / bazičnosti vode. Voda s pH pet je deset puta kiselija od vode koja ima pH šest.
- pr. kišnica je blago kisela; karbonatne vode blago lužnate
- voda za piće 6,5 – 8 pH



Geoekološki važna svojstva vode

- Tvrdoća vode - uzrokovana je prisutnošću otopljenih soli kalcija i magnezija (nekada i željeza). Može se izražavati kao karbonatna i nekarbonatna.
- Izražava se u mg$CaCO_3$/L ili u stupnjevima - u Hrvatskoj najčešće u njemačkim stupnjevima - °dH (njem. Deutsche Härte)
- 1 mg$CaCO_3$/L = 0,056 °dH = 0,1 °f (francuski stupanj) = 0,07 °e (engleski stupanj)
- 0-5 °dH vrlo meka voda; 5-10 °dH meka; 10-15 °dH umjereno tvrda; 15-25 °dH tvrda; > 25 °dH vrlo tvrda
- pr. zagrebački izvori (13-24 °dH), Jadro (10 °dH), riječki (9,5 °dH), osiječki (10,5 °dH)...
- pr. https://www.vio.hr/o-nama/vodoopskrba/kvaliteta-vode-za-ljudsku-potrosnju/tablica-kvalitete-vode-grad-zagreb/1852

Obilježja vode

- TDS, EC, pH, tvrdoća
- temperatura, boja, miris, prozirnost/mutnoća
- otopljeni kisik, ORP, mineralizacija
- BPK, KPK
- O ostalima više na idućim predavanjima... a vidi i u udžbeniku Hidrogeografija (150.-151. str.) i Voda (32.-41. str.)

Zaključno: voda je zbroj svih njezinih svojstava, navedenih i nenavedenih. Poznavanje najvažnijih svojstava i fizikalno-kemijskih obilježja vode bitno je za razumijevanje brojnih prirodnih procesa.