

Ciklus vode i relativna vlažnost zraka

Voda je glavna komponenta koja razlikuje Zemlju od ostalih planeta Sunčevog sustava i neophodna je za život na Zemlji. Voda je znak života pa znanstvenici tražeći vodu na drugim planetima poput Marsa zapravo traže znakove života. Zemlja ima oko 71% vode te 29% kopna. Sva voda na Zemlji povezana je kroz neprestani proces koji zovemo ciklus ili kruženje vode u prirodi.

Ciklus vode

Voda se u prirodi nalazi u tri različita agregacijska stanja – led (čvrsto), vodena para (plinovito) i tekuća voda. Najviše vode na Zemlji nalazi se u tekućem stanju. Morske vode na Zemlji je oko 96,5%, polarnog leda i ledenjaka oko 1,7%, podzemne vode oko 1,6%, jezera i rijeka oko 0,013%, vode u tlu oko 0,001% i vode u atmosferi svega 0,001%.

Sunčevo zračenje zagrijava površinu morskih i kopnenih voda. Molekule koje se nalaze na površini vode dobivaju dovoljno energije da ispare, odnosno **evaporiraju**. Voda u atmosferu dolazi i kroz proces **transpiracije** kada biljke kroz puči (malene otvore na površini) isparavaju vodu koju su korijenjem upile iz tla. Voda iz leda ili snijega također može direktno prijeći u vodenu paru kroz proces **sublimacije** (za takav prelazak potrebni su posebni uvjeti koji uključuju vrlo suh zrak, nizak tlak, vjetar i sunčevu svjetlost). Zajednički naziv koji koristimo za procese kojima voda prelazi iz tekućeg stanja u atmosferu u obliku vodene pare je **evapotranspiracija**. Porijeklo vode u atmosferi ipak je najviše iz oceana, a iznad kopna transpiracija je veći izvor vodene pare u atmosferi nego evaporacija iz vodenih spremnika poput rijeka i jezera.

Vodena para podiže se u atmosferu, a kako temperatura atmosfere opada s visinom i molekule vodene pare gube energiju – latentnu toplinu. Tako vodena para **kondenzira** u kapljice formirajući oblak. Kada se oblak napuni vodom ona se vraća na zemlju u obliku padalina (kiša, snijeg, tuča).

Iznad kopna godišnje padne više vode u obliku oborina nego što evapotranspiracijom prijeđe u atmosferu. S druge strane, na oceanu više vode godišnje ispari nego padne iznad oceana. Ipak, voda se ne nakuplja u tlu, niti ocean presušuje. Voda koja padne na kopno ulazi u tlo procesima infiltracije i perkolacije (infiltracija je proces kojim tlo apsorbira vodu, a perkolacija proces gibanja vode prema dolje kroz porozne materijale tla ispod područja infiltracije), a ostatak **otječe** tlom.

Biljke uzimaju vodu iz tla pa ponovo kroz proces transpiracije ispuštaju u atmosferu vodenu paru, a višak vode u tlu otječe podzemljem (**podzemne vode**) i pronalazi put do većih spremnika vode te oceana pri čemu se zatvara ciklus vode.



Slika 6.1.1 Ciklus vode u prirodi (izvor: <https://www.gov.nl.ca/ecc/waterres/cycle/hydrologic/>)

Relativna vlažnost zraka i ekstremni vremenski događaji

Postoji više načina na koje možemo izraziti koliko se vodene pare nalazi u atmosferi na nekom području. Budući da je u svrhe praćenja vremena i klime najbitnija relativna vlažnost zraka, opisat ćemo samo tu veličinu.

Relativna vlažnost zraka je meteorološki element koji povezujemo s nastankom oblaka i oborina. Visoke temperature ljeti uzrokuju visoke stope isparavanja, a ipak ljeti tipično ima manje oborina nego u jesen ili zimi, pogotovo u srednjim geografskim širinama. Za nastanak oborina nije bitno samo koliko vode isparava, već je bitnije koliko vodene pare kondenzira. Da bi nastupila kondenzacija, molekule vodene pare moraju gubiti dio energije. Budući da visoke temperature zraka odgovaraju većim prosječnim kinetičkim energijama molekula, molekule koje kondenziraju sudarima s drugim molekulama ponovo prime energiju potrebnu za isparavanje. Tako se na višim temperaturama ukupno događa više evaporacije nego kondenzacije. To pojednostavljeno kažemo da topli zrak može sadržati više vodene pare nego hladni. Dakle, vidimo da postoji povezanost između temperature zraka i evaporacije, odnosno kondenzacije. **Relativna vlažnost zraka** je veličina koja uspoređuje stvarnu koncentraciju vodene pare u atmosferi s maksimalnom koncentracijom vodene pare koju zrak može primiti na određenoj

temperaturi prije nego nastupi kondenzacija (prije nego se zrak u potpunosti zasiti vodenom parom). Izražava se u postotcima – kada je zrak u potpunosti suh relativna vlažnost zraka je 0%, a kada je zrak u potpunosti zasićen vodenom parom iznosi 100%. Ako temperatura zraka pada, smanjuje se stopa prelaska vode u vodenu paru, a povećava se stopa kondenzacije te relativna vlažnost zraka raste. Drugim riječima, dva područja koja imaju isti sadržaj vodene pare u zraku imaju različite relativne vlažnosti zraka zbog različite temperature koja utječe na stopu evaporacije, odnosno kondenzacije.

Zato ljeti iako većih temperatura isparava više vode, zrak može primiti puno više vodene pare prije nego nastupi kondenzacija pa u prosjeku imamo manje oborina. Zbog sve većih ljetnih temperatura zrak se teže zasiti pa su stoga i padaline sve rjeđe te nastupaju sušna razdoblja. Međutim, čim se temperatura počne spuštati, te ogromne količine vodene pare u zraku kondenziraju i nastupaju velike kiše koje sve češće dovode do katastrofalnih poplava.

Budući da zbog dinamičnosti atmosfere, atmosferskog tlaka i vjetrova, voda koja ispari na jednom mjestu vrlo rijetko padne na istom području određeni dijelovi Zemlje postaju sve suši, a neki drugi dijelovi sve vlažniji i skloniji poplavama.

Do poplava može doći iz više razloga, a navest ćemo neke blisko povezane s klimatskim promjenama. Na nekim područjima, posebno na područjima niže nadmorske visine poput riječnih dolina, suhih jezera i depresija, do poplava dolazi zbog brze i velike količine oborina ili topljenja snijega. Zbog velike količine oborine naspram vremena potrebnog za infiltraciju vode u tlo, površina tla postane zasićena vodom i nastupa poplava. Urbana područja često budu poplavljena jer vodonepropusni materijali koji prekrivaju urbane sredine ubrzavaju otjecanje, a manje zelenih površina utječe na to da se manje vode upije u tlo. Uz češće velike kiše, to doprinosi preopterećenju sustava odvodnje. Na tropskim područjima sve češće su i poplave uzrokovane ekstremnim vremenskim događajima poput uragana, jakih tropskih oluja i monsuna čiji se intenziteti povećavaju. Ubrzano otapanje leda osim poplavljenih područja kao posljedicu ima i podizanje razine mora. Zbog povećanja razine mora uzrokovanog globalnim zagrijavanjem povećava se i rizik od poplava u obalnom području.

Nastanak oblaka i oborina

Kondenzacijom i resublimacijom (prelazak iz vodene pare u led) vodene pare u atmosferi nastaju sitne kapljice, odnosno sitni kristalići leda. Vidljive nakupine tih sitnih kapljica i/ili kristalića koje lebde u atmosferi čine **oblake**. U čistom zraku za nastanak oblaka potrebni su uvjeti relativne vlažnosti zraka dosta preko 100%, a vrijedi da što se radi o manjim kapljicama, to je potrebna veća relativna vlažnost zraka za nastanak jer molekule vode lakše pobjegnu iz sitne nego iz velike kapljice. Takvi uvjeti nisu tipični za atmosferu, a kondenzacija vodene pare u sitne kapljice i formacija oblaka se svakodnevno

dogada. To omogućuje činjenica da zrak u atmosferi "nije čist", odnosno da se atmosfera, osim od plinova, sastoji i od pregršt sitnih krutih ili tekućih čestica aerosola koje služe kao **jezgre kondenzacije** (ako je u pitanju kondenzacija u sitne kapljice) koje su aktivne na temperaturama ispod i iznad ledišta vode ili **jezgre formacije leda** (ako je u pitanju smrzavanje kapljica vode ili resublimacija vodene pare) koje su aktivne na temperaturama ispod ledišta. Jezgre omogućuju kondenzaciju pri relativnoj vlažnosti nižoj od 100%.

Zbog različitih uvjeta u atmosferi, različitog sastava i različite visine, oblaci se međusobno razlikuju po obliku. S obzirom na izgled oblaka, razlikujemo ciruse, stratus i kumuluse. **Cirusi** su vlaknastog izgleda, stratusi su slojeviti, a **kumulusi** su gomilasti. S obzirom na visinu, razlikujemo **visoke** (cirus, cirustratus, cirokumulus), **srednje** (altostratus, altokumulus), **niske** (stratus, stratokumulus, nimbostratus) i **oblake okomitog razvoja** (kumulus, kumulonimbus, a ponekad i nimbostratus i altostratus). Stratiformni oblaci nastaju polaganim uzdizanjem zraka i prekrivaju šira područja, dok kumuliformni oblaci nastaju snažnijim konvekcijskim strujanjima i vertikalne dimenzije su im veće od horizontalnih.

Većina oblaka ne proizvodi oborine, a oblaci koji ih proizvode su uglavnom nimbostratus i kumulonimbus. Čak i kada kapljice ili kristalići leda padaju iz oblaka, najčešće su tako sitne da ispare putem prema površini prolazeći kroz nezasićeni zrak. Zato kapljice i kristalići trebaju dovoljno narasti da bi uspješno stigli do površine Zemlje. Razlikujemo dva procesa kroz koje se zbiva rast kapljica, odnosno kristala leda. Ako se radi o oblaku temperature iznad točke ledišta vode, onda se rast kapljica zbiva kroz **srastanje sudarima**. Kada kapljica dovoljno naraste, razbije se na više manjih koje padajući ubrzavaju i sudaraju se s manjim kapljicama pa se pokreće lančana reakcija. Dovoljno velike kapljice padnu iz oblaka u obliku kišnih kapi. Taj proces posebno je bitan za tropska područja. Ipak, najviše padalina u srednjim i sjevernim geografskim širinama nastaje drugačijim procesom (**Bergeronov proces**) u oblacima (ili visokim dijelovima oblaka) čije su temperature ispod 0 °C. U takvim oblacima istovremeno postoje kristalići leda, kapljice vode i molekule vodene pare. Zbog razlike u tlaku pare oko tekućina i kapljica vode, molekule vodene pare i sitne kapljice imaju tendenciju nakupljati se na kristalićima leda. Narastanjem, kristali leda postaju sve veći i teži, sve dok dovoljno ne otežaju da padnu iz oblaka. To znači da većina oborina u srednjim i sjevernim geografski širinama započinje kao led (snijeg), a hoće li uopće stići do površine i u kojem obliku, ovisi o uvjetima zraka ispod oblaka (temperaturi i relativnoj vlažnosti). Oborine koje stignu do površine mogu biti u obliku kiše, snijega ili tuče. Tuča nastaje u olujnim oblacima (kumulonimbusima) u kojima su konvekcijske struje toliko jake da prenose led u visoke dijelove kumulonimbusa gdje toliko narastaju kristali leda da više ne mogu biti prenošeni konvekcijskim strujama i padaju iz oblaka.