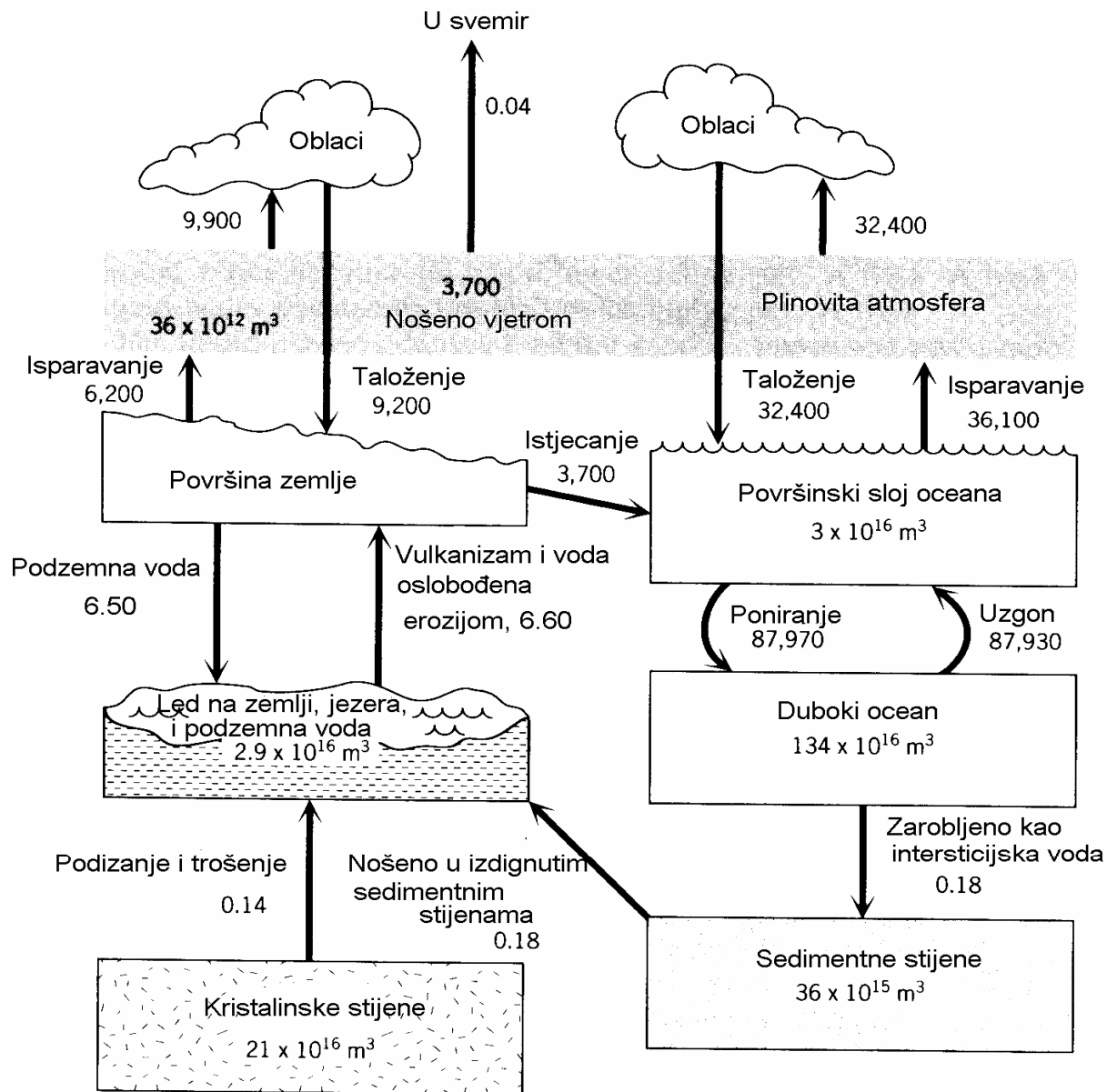


GLOBALNI KRUŽNI TOK VODE

Oko 70% površine Zemlje pokriven je vodom. Voda podržava i sve forme života na Zemlji. Ona se javlja kao stajaća voda (u oceanu i jezerima), tekuća voda (u rijekama i potocima), i u formi kiše i vodene pare u atmosferi. Veliki dio transfera topline na Zemlji izražava se kroz oceanske struje kao što je to Golska struja i kao kretanje vodene pare u atmosferi s kondenzacijom i evaporacijom. Vodena para djeluje i kao regulator topline u atmosferi, apsorbirajući izlazno zračenje Zemlje i na taj se način javlja i kao glavni faktor regulacije klime. Voda je esencijalna za život. Biološki značaj vode izražava se u procesu fotosinteze, kao transportni medij hranjivih soli i glavni sastojak ljudskog tijela.


Sustav kretanja vode na Zemlji izražava se u obliku tzv. **globalnog kružnog toka vode** (u uporabi je i izraz **globalni hidrološki ciklus**). Voda se kreće iz atmosfere prema Zemlji kao kiša ili snijeg. Odatle ona prodire kroz tlo u podzemlje i eventualno preko izvora i rijeka odlazi u oceane odakle se evaporira u atmosferu. Dio te vode vraća se u obliku padalina u oceane, a dio zaostaju na kontinentu. To se kretanje odvija između atmosfere litosfere i biosfere, pa na taj način vodeni ciklus integrira većinu važnih okolišnih sustava i snažno utječe na brzinu i vrstu procesa među njima. Zemlja nije samo planet koji sadrži vodu; uvjeti na Zemlji su upravo takvi da podržavaju kontinuiranu obnovu i recikliranje vode, što pokreće mnoge geokemijske sustave. I što je za geokemiju osobito važno, krećući se u hidrološkom ciklusu, voda sudjeluje i u kemijskim reakcijama s atmosferskim plinovima, stijenama, biljkama i drugim tvarima, što rezultira u promjeni u njezinom kemijskom sastavu ali i u promjeni sastava tvari s kojima reagira. To su te promjene koje, zajedno s neakvatičnim reakcijama u atmosferi, uspostavljaju ukupne kemijske uvjete na površini Zemlje.

Shematski box-prikaz kružnog toka vode




Spomenuli smo da hidrološki ciklus uključuje kontinuirano obnavljanje vode između geokemijskih sustava atmosfere, kopna i oceana. Različiti procesi preraspodjeljuju vodu između i unutar granica tih sustava. Unutar atmosfere vertikalno i horizontalno kretanje zračnih masa i turbulentno miješanje prenose molekule vode od mjesta do mjesta, dok oceanske i međuoceanske struje prenose vodu unutar oceana. Rijeke i ledenjaci prenose vodu od kopna do oceana. Ciklus pokreću tri glavne vrste procesa:

- a) *evaporacija i evapotranspiracija*, koje pokreću vodu od površine Zemlje prema atmosferi,
- b) *precipitacija*, koja pokreće vodu iz atmosfere do površine Zemlje, i
- c) *kretanje zračnih masa, uključujući vjetrove* koji preraspodjeljuje vodu unutar sustava atmosfere.




Temeljna struktura globalnog kruženja vode je jednostavna. Voda se evaporira iz oceana, mora, jezera, rijeka i vegetacijom pokrivenih dijelova kopna, i postaje dio atmosferskog spremišta vodene pare. Globalni i regionalni sustavi vjetrova preraspodjeljuju vodenu paru na cijeli prostor Zemlje. Kondenzacijom se stvaraju oblaci i padaline s kojima se voda ponovo vraća na površinu gdje prodire u tlo ili se direktno, u formi rijeka, kreće prema oceanima ili jezerima. Prirodno, najveći dio padalina pada direktno u oceane, čime se preskače kopnena faza u hidrološkom ciklusu.



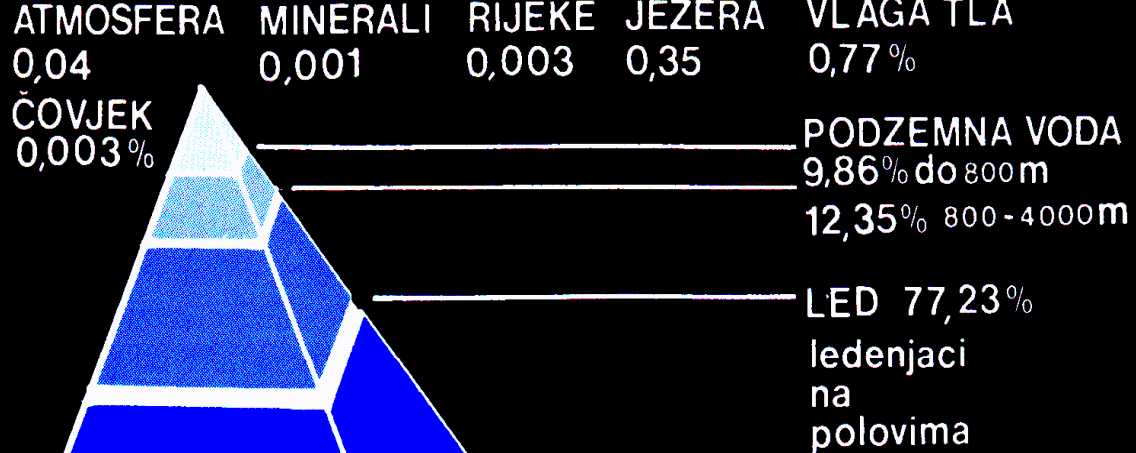
Ukupni volumen vode uključen u globalnom kružnom toku, ovisno i izvoru podataka, kreće se u rasponu od 1,3 - 1,5 milijuna km³. Razlike u ukupnom volumenu uglavnom se odnose na različitu dubinu podzemnih voda koja se uključuje u proračun globalnog kružnog toka. Ciklus je kompleksan, s mnogim različitim putevima, odjeljcima i spremištima (rezervoarima). Promatra li se ciklus u bilo kojoj vremenskoj točki, uočiti će se da je najveći dio vode sadržan u spremištu, najvećim dijelom kao voda u morima i oceanima

Rezervoar	Volumen 10^6 km^3 (10^{18} kg)	Postotak
Oceani	1.400,	95,96
<i>Površinski sloj miješanja</i>	50,	
<i>Termoklina</i>	460,	
<i>Abisalni dio</i>	890,	
Ledena kapa i ledenjaci	43,40	2,97
Podzemna voda	15,30	1,05
Jezera	0,125	0,009
Rijeke	0,0017	0,0001
Vlaga u tlu	0,065	0,0045
Atmosfera -ukupno	0,0155	0,001
<i>Kopneni dio</i>	0,0045	
<i>Oceanski dio</i>	0,011	
Biosfera	0,002	0,0001
Ukupno	1459,	


Raspodjela vode na površini Zemlje



Kao što je vidljivo iz tablice, **tek je nešto više od 4 % vode slatka voda, i to najvećim dijelom sadržana u polarnim kapama i ledenjacima.** Kad bi se sva voda u formi leda otopila, nastala tekuća voda bila bi dostatna za tok rijeka na današnjem nivou za idućih 1.000 godina. Rijeke imaju vitalnu ulogu u globalnom kružnom toku vode i to zbog prijenosa (dreniranja) vode s kopna u oceane iako , na globalnoj skali, one ne zadržavaju vodu već je izmjenjuju. Na shematskom dijagramu pokazana je raspodjela slatke vode na Zemlji.



***Prikaz
raspodjele
slatke vode
na Zemlji***




Jezera ne samo da pohranjuju više vode negoli rijeke već ona to čine i trajnije. Oko dvije trećine površinske vode na Zemlji (a oko jedna trećina ako se promatraju i ledene kape i ledenjaci) pohranjeno je u oko 250 velikih jezera.

Voda se kreće između različitih pohranilišta, i ti tokovi (fluksevi) održavaju aktivnost hidrološkog ciklusa. Međutim, različiti dijelovi globalnog kružnog toka operiraju pri različitim vremenskim skalama i voda zaostaje u nekim spremištima mnogo duže negoli u ostalima.

Rezervoar	Veličina (km ²)	Tipično vrijeme zadržavanja
Biljke i životinje	700	1 tjedan
Atmosfera	13.000	8-11 dana
Rijeke	1.700	2 tjedna
Tlo	65.000	2 tjedna do 1 godine
Jezera	125.000	više godina
Stijene (podzemna voda)	7.000.000	dani do tisuće godina
Led	26.000.000	tisuće godina
Oceani	1.370.000.000	tisuće godina


**Globalni ciklus vode -
veličine rezervoara i
vremena zadržavanja**



Kao što je vidljivo iz tablice, oceani, ledene kape i stijene mogu se smatrati dugotrajnim spremištima, dok su rijeke i atmosfere kratkotrajna spremišta, pa time imaju i vitalnu ulogu u obnavljanju vode. Kao posljedica tih odnosa mali se dio vode obnavlja, a veći je nedostupan u dugotrajnim spremištima.

Zemlja ne izmjenjuje vodu s ostatkom svemira, pa se globalni kružni tok vode može smatrati zatvorenim sustavom. To znači da ukupna količina vode u globalnom ciklusu mora ostati konstantna u vremenu.

Da bi se zadržala ukupna količina vode, evaporacija i precipitacija moraju se uravnotežiti na nivou cijele Zemlje. Prosječna globalna precipitacija koja je jednaka evaporaciji iznosi $0,505 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$. Međutim ove dvije vrijednosti nisu izjednačene i za sve pojedinačne dijelove Zemljine površine. Na kopnu, odnosno kontinentalnom dijelu Zemlje, precipitacija ($0,107 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$) nadmašuje evaporaciju ($0,071 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$), dok iznad oceana evaporacija ($0,434 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$) premašuje precipitaciju ($0,398 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$). Razlika, u bilo kojem slučaju od $0.036 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{god}$, odnosi se na dio vode transportiran od oceana prema kopnu kao atmosferska vlaga ili dio koji je vraćen u ocean kao otjecanje s kopna. Dio vode koji direktno utječe u ocean kao podzemna voda u ovom je proračunu zanemariv.




Pretpostavka poznavanja volumena vode u pojedinom spremištu (masa vode) omogućuje uporabu koncepta *vremena zadržavanja* (eng. "residence time"). *Vrijeme zadržavanja* se definira kao volumen vode u danom spremištu (rezervoaru) podijeljenom s dodatkom (ili gubitkom) vode u (iz) spremišta (rezervoara). Ono se može shvatiti i kao prosječno vrijeme koje molekula vode provede u promatranom spremištu. Primjerice, za ocean, volumen prisutne vode ($1,400 \times 10^6 \text{ km}^3$) podijeljen s količinom vode koja utječe u ocean ($0,036 \times 10^6 \text{ km}^3$) daje vrijeme zadržavanja od 39.000 godina.

To je vrlo dugo vrijeme, koje se može promatrati i kao *vrijeme izmjene* (eng. "replacement time") ili *vrijeme ispunjavanja spremišta* (eng. "filling time"). Nasuprot oceanu, vrijeme zadržavanja vode u atmosferi je samo tek 11 dana. Jezera, rijeke, ledenjaci i plitke podzemne vode imaju vrijeme zadržavanja između ta dva ekstrema, ali, zbog iznimne varijabilnosti, za ta spremišta nije moguće ustanoviti prikladna prosječna vremena zadržavanja. Treba napomenuti i da koncept vremena zadržavanja vrijedi samo za sustave u ravnoteži, što prirodni sustavi u pravilu nisu. Iz tog razloga danas je u upotrebi i koncept *vremena odgovora sustava* (eng. "response time") koji označava vrijeme potrebno da se volumen vode u spremištu dvostruko poveća i kao koncept općenito vrijedi za neravnotežne sustave.



Nejasnoće u razumijevanju globalnog kružnog toka vode

Može se ustvrditi da je naše znanje o globalnom ciklusu vode jošdaleko od potpunog razumijevanja i potrebna su mnoga detaljna mjerenja, prije svega brojnih tokova (flukseva) vode između različitih i jednako brojnih spremišta. Posebno važna praznina u našem znanju vezana je za spremišta slatke vode i njezine uloge u odnosu prema globalnom proračunu topline, dotoku vode i klimi.



Nejasnoće također okružuju i moguće veze ciklusa vode i globalnog zagrijavanja. Kad bi se pretpostavljene klimatske promjene pokazale točnim, na ciklus vode bi jasno, indirektno ili direktno djelovale promjene u albedu, količini oblačnog sloja, količini atmosferske vlage, režimu vjetrova, stupnju evaporacije i kondenzacije. Globalno zagrijavanje nas upozorava i na moguća djelomična otapanja glavnih arktičkih i antarktičkih ledenih masa, koje opet mogu mijenjati albedo i podizati razinu morske vode i time mijenjati i globalni proračun vode. Vjerojatno je i postojanje mnogih feedback mehanizama i odnosa između ciklusa vode i globalnih klimatskih promjena, ali najveći dio njih nije u cijelosti razjašnjen ili je potpuno nepoznat.