

Kruženje vode u zemljinom sustavu

Dragutin Gereš

Ključne riječi

Zemlja, kruženje vode, bilanca vodnih resursa, iskorištenje vode, svijest o važnosti vode, sustavi

Key words

Earth, circulation of water, balance of water resources, use of water, consciousness about significance of water, systems

Mots clés

Terre, circulation d'eau, bilan des ressources en eau, utilisation d'eau, conscience sur l'importance de l'eau, systèmes

Ключевые слова

Земля, водоворот, баланс водных ресурсов, использование воды, сознание о значении воды, системы

Schlüsselworte

Erde, Wasserkreislauf, Bilanz der Wasserressourcen, Wasserausnutzung, Bewusstsein über die Wichtigkeit des Wassers, Systeme

D. Gereš

Круženje vode u zemljinom sustavu

Opisuje se konstantno kruženje vode na Zemlji, pri čemu se Zemlja promatra kao sustav u kojem su procesi u globalnom okolišu povezani. Analizira se hidrološki ciklus i daje se procjena globalne bilance vodnih resursa i dinamika iskorištavanja tih resursa. Opisuju se antropološki utjecaji i utjecaji klimatskih promjena na hidrološki ciklus. Daju se podaci o ukupnom volumenu vode na Zemlji i upozorava se da je od toga manja količina raspoloživa slatka voda za ljude i ekosustave.

D. Gereš

Circulation of water in the terrestrial system

The constant circulation of water on Earth is described and the Earth is analyzed as the system characterized by interaction of global processes. The hydrological cycle is analyzed and the global balance of water resources is estimated. An estimated rate at which these resources are being used is also given. Anthropological influences and effects of climate change on hydrological cycle are described. Data about the total volume of water on Earth are presented and, at that, it is indicated that the quantity of fresh water available to people and ecosystems is becoming more and more scarce.

D. Gereš

Circulation d'eau dans le système terrestre

La circulation permanente des eaux sur la Terre est décrite et la Terre est analysée comme un système où les processus globaux agissent en interaction. Le cycle hydrologique est analysé et le bilan global des ressources en eau est suggéré. Une estimation du rythme actuel de consommation de ces ressources est également présentée. Les influences anthropologiques et les effets de changement de climat sur le cycle hydrologique sont décrits. Les données sur le volume total d'eau sur la Terre sont présentées et, sur cette base, il est constaté que, dans l'avenir, la quantité de l'eau fraîche pour les humains et les écosystèmes sera progressivement réduite.

Д. Гереш

Водоворот в земной системе

В работе описывается постоянный водоворот на Земле, причём Земля рассматривается как система, в которой все процессы в глобальной окружающей среде связаны. Анализируется гидрологический цикл и даётся оценка глобального баланса водных ресурсов и динамики использования тех ресурсов. Описываются антропологические влияния и влияние климатических изменений на гидрологический цикл. Выносятся данные о всеобщем объёме воды на Земле и даётся предупреждение, что благодаря этим причинам на Земле меньшее количество питьевой воды для людей и экосистемы, которой можно располагать.

D. Gereš

Wasserkreislauf im System der Erde

Beschrieben ist das konstante Kreisen des Wassers auf der Erde, wobei man die Erde als System betrachtet in welchem die Prozesse in der globalen Umwelt verbunden sind. Es ist der hydrologische Zyklus analysiert, die globale Bilanz der Wasserressourcen abgeschätzt und die Dynamik der Ausnutzung dieser Ressourcen ausgelegt. Beschrieben sind die anthropologischen Einflüsse und die Einflüsse der Klimaänderungen auf den hydrologischen Zyklus. Angaben über die gesamte Wassermenge auf der Erde sind ausgelegt und es wird darauf hingewiesen dass nur ein kleiner Anteil davon verfügbares Süßwasser für Menschen und Ökosysteme ist.

Pregledni rad

Subject review

Ouvrage de synthèse

Обзорная работа

Übersichtsarbeit

Autor: Prof. dr. sc. **Dragutin Gereš**, dipl. ing. građ., Hrvatske vode, Ul. grada Vukovara 220, Zagreb

1 Uvod

Voda ima veliku ulogu kadšto i središnju u Zemljinom sustavu. Voda je osnova svih životnih oblika, ekosustava, ljudskog društva i njegovih aktivnosti. Kruženje vode je proces planetarnih razmjera. Izvorišta svježe vode u svijetu su ograničena, a samo je mali dio pristupačan i iskoristiv za čovjekovu uporabu i za ekosustave. U gospodarstvu voda ima središnje mjesto, omogućuje poljoprivrednu proizvodnju hrane, šumarstvo, plovidbu, procese pročišćavanja te služi za proizvodnju energije. Naše razumijevanje današnje klime i posljedica prognoziranih, budućih promjena klime, zajedno s porastom stanovništva i ekonomskim rastom, pokazuje da će vodni resursi imati golemu važnost u idućim godinama. Posljednjih godina postalo je jasno kako *Zemlja - plavi planet* ima konačne i ranjive resurse te da će takvi resursi imati odlučujući utjecaj u budućem razvoju ljudskog društva. Ukupna količina obnovljivih resursa slatke vode ostaje konstantna posljednjih stotinu godina. U isto vrijeme iskorištavanje vode za ljudske potrebe povećalo se sedam puta, uglavnom zbog porasta uporabe vode za proizvodnju hrane i za industriju.

Voda je jedna od osnovnih karakteristika našeg planeta, bila ona u tekućoj, plinovitoj ili u krutoj fazi. Da voda kruži kontinuirano s oceana prema kopnu i ponovno natrag zanimalo je ljude u većem dijelu zabilježene povijesti. U 21. knjizi *Ilijade* Homer je (oko 810. godine pr. K.) pisao o "dubokim ocenima, iz kojih istječu sve rijeke, sva mora i svi izvori kao i duboki zdenci". *Thales* (oko 640. – 546. godina pr. K.) i *Platon* (oko 427. – 347. godine pr. K.) također su naznačavali vodni ciklus kada su pisali da se sve vode vraćaju, različitim putovima, u oceane - mora. Nakon mnogo stoljeća tek je znanstvenim mjerenjima potvrđeno postojanje vodnog ili hidrološkog ciklusa. Francuski fizičari XVII. stoljeća *Pierre Perrault* (1608. – 1680.) i *Eduard Mariotte* (1620. – 1684.) odvojeno su izvodili gruba mjerenja oborina u slivu rijeke Seine u Francuskoj. Izvršili su korelaciju tih mjerenja s protokom rijeke Seine, kako bi pokazali da je količina vode od oborina i snijega adekvatna riječnom protoku.

Svjetsko se stanovništvo brzo povećava. U 1995. godini bilo je 5,7 milijardi stanovnika, u listopadu 1999. Zemlja je dobila šestmilijarditog stanovnika, a 2025. očekuje se do 8,3 milijarde ljudi. Ranjivost ljudskog društva usko je povezana s raspoloživim količinama hrane i vode. Osiguranje vode za sve potrebe može biti ugroženo u budućnosti, i to zbog povećane potražnje vode i promjena u količini i vremenskom slijedu lokalnih oborina izazvanih klimatskim promjenama [13].

Izvanredne osobine prirodne vode, njezina obnova tijekom hidrološkog ciklusa i mogućnost samopročišćavanja, omogućuju očuvanje relativno čiste, količinski i

kvalitetne zadovoljavajuće slatke vode za dulje vrijeme. To je u temeljima iluzije o neiscrpnosti vodnih resursa, koji su smatrani darom prirodnog okoliša. U takvim uvjetima, povijesno i tradicijski, nastao je nemaran odnos prema iskorištavanju vodnih resursa, nastao je koncept minimalnih ulaganja za pročišćavanje otpadnih voda i uopće za zaštitu vode. Stanje se drastično promijenilo proteklih desetljeća. U posljednjih 25-30 godina u cijelom se svijetu događaju intenzivne antropogene promjene u hidrološkom ciklusu površinskih voda, kakvoći voda, uopće u vodnim resursima i bilanci voda.

2 Zemlja kao sustav

Prisutnost vode u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju čini Zemlju jedinstvenom u Sunčevu sustavu. To omogućuje život na Zemlji. Put vode i izmjena energije važni su pokretači vremena i klime na Zemlji [6]. Proces koji se događaju u globalnom okolišu međusobno su povezani. Važne promjene u globalnom okolišu potaknule su znanstvenike na istraživanje te povezanosti na globalnoj razini. Za istraživanje Zemlje kao sustava ključno je znati:

- Zemlja je cjelina ili sustav koji se sastoji od više dijelova ili podsustava,
- dijelovi ili podsustavi djeluju međusobno različitim procesima,
- procesi se događaju u vremenu i prostoru,
- povezanost među procesima može se ustanoviti putem ciklusa energije te hidrološkoga i biološko-geološko-kemijskog ciklusa,
- energija, voda i kemijski elementi uskladišteni su na različitim mjestima i oblicima i premještaju se i mijenjaju različitim događanjima i procesima.

Globalno se istražuju ciklusi energije, vode i pojedinih kemijskih elemenata (primjerice ugljika). Sunčeva energija struji kroz okoliš, zagrijavajući atmosferu, oceane i tlo i opskrbljuje gorivom veći dio biosfere. Hidrološki je ciklus povezan s energetske ciklusom. Pojedini dijelovi različitih ciklusa na Zemlji mogu se mjeriti i događati lokalno, i trajati relativno kratko vrijeme, mjereno sekundama ili danima. U drugim se slučajevima moraju desetljećima proučavati karakteristike cijelog sustava da bi se testirale razne teorije, razumljeli procesi i steklo opće znanje o sustavu.

PLANET ZEMLJA U BROJKAMA

Promjer	12 756 km
Ukupna površina planeta	510 675 000 km ²
Površina kopna (29,3 %)	149 630 000 km ²
Površina mora (70,7 %)	361 045 000 km ²
Ukupni je volumen vode	oko 1,4 milijarde km ³

Volumen slatke vode jest
na Zemlji oko 35 milijuna km³

Ukupna raspoloživa količina slatkih voda za ljude i
ekosustav je oko 200 000 km³

Raspoloživa godišnja količina slatke vode za ljudsku
upotrebu 12 500 – 14 000 km³

Ukupni volumen vode u kopnenom hidrološkom ciklusu
119 000 km³

Broj stanovnika

u 1995. godini 5,7 milijardi

u 2 000. godini 6,0 milijardi

u 2 025. godini 8,0 – 8,3 milijarde

Količina vode po stanovniku

u 1970. godini 12 900 m³/stanovniku

u 2000. godini 7 000 m³/stanovniku

prognoza za 2025. godinu 5 100 m³/stanovniku

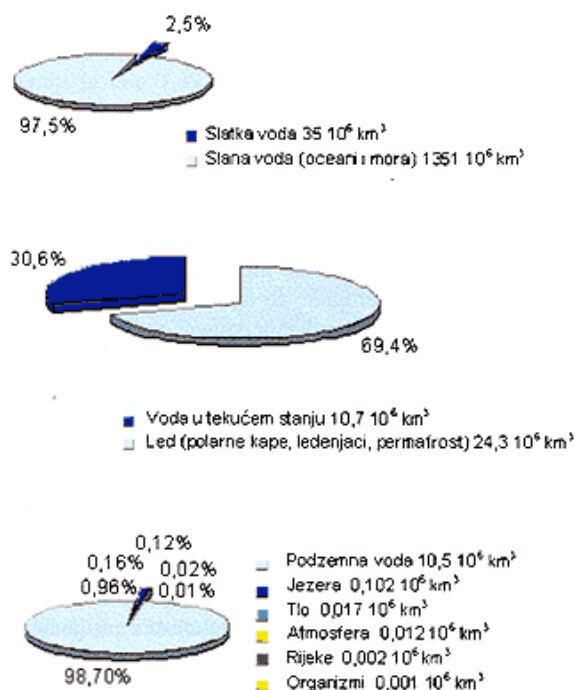
Raspoloživi resursi slatke vode raspodijeljeni su po kontinentima na način kako je prikazano u tablici 1. Ovaj globalni pregled raspoloživih resursa vode prema broju stanovnika naglašava kontinentalne razlike.

Tablica 1. Distribucija stanovništva i vodnih resursa po kontinentima [21]

Kontinent	Stanovništvo % od ukupnog na Zemlji	raspoloživi vodni resursi % od ukupnih svjetskih resursa
Europa	13	8
Sjeverna Amerika	8	15
Afrika	13	11
Azija	59	36
Južna Amerika	6	26
Australija i Oceanija	<1	4
Ukupno zemlja	100	100

Tablica 2. Obnovljivi vodni resursi i raspoloživa voda po kontinentima (stanje 1995.) [21]

Kontinent	Površina mil. km ²	Stanovništvo milijuna	Vodni resursi km ³ /na godinu				Potencijalno raspoloživa voda 1000 m ³ /na godinu	
			sredina	maks	min	Cv	po 1 km ²	po glavi
Europa	10,46	685	2900	3410	2254	0,08	277	4,23
Sjeverna Amerika	24,3	453	7890	8917	6895	0,06	324	17,4
Afrika	30,1	708	4050	5082	3073	0,10	134	5,72
Azija	43,5	3445	13510	15008	11800	0,06	311	3,92
Južna Amerika	17,9	315	12030	14350	10320	0,07	672	38,2
Australija i Oceanija	8,95	28,7	2404	2880	1891	0,10	269	83,7
ukupno zemlja	135	5633	42785	44751	39775	0,02	317	7,60



Slika 1. Globalna bilanca vode: voda ukupno (gore); slatka voda (sredina); tekuća voda (dolje)

Procijenjene srednje vrijednosti obnovljivih globalnih vodnih resursa su 42.750 km³ na godinu i te količine jako variraju u vremenu i prostoru. U tablici 2. prikazana je raspodjela vodnih resursa i raspoložive vode po kontinentima [21]. Za pojedine godine vrijednosti mogu varirati u rasponu od ±15 do 25 posto od srednjih vrijednosti. Pokazane su i specifične raspoložive vode u prostornim metrima vode po godini, po kvadratnom kilometru površine i po jednoj osobi – *per capita*.

Pri ocjeni potencijalno raspoložive vode mogu se upotrijebiti slijedeći kriteriji (u tisućama prostornih metara na godinu i po stanovniku): ≤1: kritično nisko; 1,1 – 2,0:

vrlo nisko; 2,1 – 5,0: nisko; 5,1 – 10: prosjek; 10,1 – 20: visoko; > 20: vrlo visoko.

3 Hidrološki ciklus

3.1 Dinamika komponenata u kruženju vode

Kruženje vode na Zemlji važan je proces koji omogućuje održavanje života. Voda konstantno cirkulira između atmosfere, oceana i kopna. Voda koju danas trošimo nalazi se na Zemlji već stotine milijuna godina. Količina raspoložive vode vjerojatno se nije mnogo promijenila. Voda se kreće, pri tome mijenja pojavni oblik, konzumiraju je biljke i životinje, ali nikada stvarno ne nestaje. U kružnom putu vode pet je procesa: kondenzacija, oborine, infiltracija, otjecanje i evapotranspiracija. Tih pet procesa zajedno čine hidrološki ciklus, (slika 2.). Dinamika komponenata u kruženju vode na Zemlji procjenjuje se vremenom potpune nadopune. Različiti se oblici vode u hidrosferi u procesu hidrološkog ciklusa u potpunosti dopunjuju. Te vrijednosti znatno kolebaju (tablica 3.). Intenzivna upotreba vodnih resursa uzrokuje smanjivane zaliha vode i ima nepovoljne ekološke posljedice. Narušava se i prirodna ravnoteža stvarana stoljećima. Obnovljivi vodni resursi uključuju vodu koja se u hidrološkom ciklusu na Zemlji obnavlja svake godine.

Tablica 3. Razdoblja obnove vode na Zemlji [21]

Voda u hidrosferi	Razdoblje obnove
Svjetski oceani	2500 godina
Podzemna voda	1400 godina
Polarni led	9700 godina
Planinski ledenjaci	1600 godina
Stalni led na kopnu (permafrost)	10 000 godina
Jezera	17 godina
Močvare, vlažna staništa	5 godina
Vlažnost tla	1 godina
Kanalska mreža	16 dana
Atmosferska vlaga	8 dana
Biološka voda	nekoliko sati

Hidrološki ciklus kontrolira vremensku i prostornu raspodjelu obnovljive svježe vode. Klimatske varijable i klimatske promjene dodatno kompliciraju predvidljivost te raspodjele, pogotovo u gusto naseljenim područjima svijeta. Mudro iskorištavana, voda pruža bogate prinose, zdravlje, napredak i ekološko bogatstvo za ljude cijeloga svijeta. Loše gospodarenje vodom, ili bez adekvatne kontrole, može pridonijeti siromaštvu, bolestima, poplavama, erozijama tla, uništenju prirodnog okoliša i ljudskim sukobima. Posljedice se mogu nepovoljno odraziti na potrebe sadašnjih i budućih naraštaja.

Hidrološki ciklus opisuje putovanje vode kao vodne molekule s površine Zemlje u atmosferu i natrag. Taj divovski

sustav, pokretan energijom Sunca i silom težom, stalna je izmjena vlage između oceana, atmosfere i kopna. Istraživanja su pokazala da mora, oceani i ostala vodna tijela (jezera, rijeke) daju približno 90 posto vlage u atmosferi. Tekuća voda napušta te izvore kao rezultat evaporacije, procesa u kojem voda prelazi iz tekućeg u plinovito stanje. Dodatno vrlo male količine vodene pare ulaze u atmosferu sublimacijom. Preostalih 10 posto vlage u atmosferu dolazi od transpiracije biljaka. Evaporacija, sublimacija i transpiracija, plus vulkanske emisije, zajedno daju ukupnu vodenu paru u atmosferi. Isparavanje s površine oceana je primarno u hidrološkom ciklusu.



Slika 2. Hidrološki ciklus

U različitim stupnjevima hidrološkog ciklusa dio količina vode izuzima se za potrebe čovjeka ili ostalih oblika života. Količina vode u atmosferi otprilike je 12.900 prostornih kilometara, što je vrlo mali dio ukupnih količina vode na Zemlji, a u slučaju kad bi cjelokupna količina padala na površinu Zemlje, debljina sloja vode iznosila bi svega 2,5 centimetara. Međutim, u atmosferi cirkulira 495.000 prostornih kilometara vode na godinu, što je dovoljno da jednolično pokrije površinu Zemlje u debljini od 97 centimetara. Kako se voda kontinuirano isparava, kondenzira se, a pale oborine s evaporacijom na globalnoj su bazi aproksimativno jednake globalnoj oborini, to ukupna količina vodene pare u atmosferi ostaje približno jednaka u vremenu.

U ekosustavu su fizička, kemijska i biološka zbivanja povezana u jedinstvenom procesu kruženja tvari i protjecanja energije. Energija može biti iskorištena samo jednom, ona napušta ekosustav nakon što je iskorištena u životnim procesima. Sav život, sve biljke i životinje obvezatno se uključuju u proces kruženja vode, koja kroz njih prolazi u tekućoj fazi. Primanje i izdavanje vode jedna je od bitnih veza organizama i okoliša. U tom odnosu čovjek, biljke, životinje i vegetacija snažno utječu na režim voda kopnenih ekosustava. Temeljni oblik ugljika u kruženju tvari je ugljikov dioksid, koji se kru-

ženjem uključuje u sve komponente biosfere. Kako je biosfera suštinski regulator Zemljinog ciklusa ugljika, globalni je vodni ciklus pod utjecajem kruženja ugljika. Općenito, kruženje vode i pridružena energija i kruženje tvari u atmosferi, oceanima i tlu određuju klimu na Zemlji i uzrokuju znatna prirodna kolebanja klime.

3.2 Istraživanje vodnog ciklusa

Globalni vodni ciklus potrebno je karakterizirati, objasniti i predvidjeti kolebanje i dugoročne promjene te njihove učinke. Iz bliske uloge vodnog ciklusa u kontroli klimata i kolebanja, iskazanog u mjerilu sezone do višedekadnog razdoblja, istraživanja moraju obuhvatiti put vode između biosfere i površinskoga hidrološkog sustava, atmosfere i oceana kao i povratne procese između klimata, vremena i biogeokemijskog ciklusa. Istraživanja globalnog vodnog ciklusa uključuju sljedeće:

- karakterizaciju globalnoga hidrološkog ciklusa u prošlosti te aktualnog ciklusa;
- učinke promjena klime i načina iskorištavanja površina na mogućnost da društvo osigura dovoljne količine kvalitetne vode za korisnike;
- kako prirodni procesi i ljudske aktivnosti utječu na distribuciju i kakvoću vode u Zemljinom sustavu i do koje se mjere rezultanta promjena može predvidjeti;
- promjene u hidrološkom ciklusu pod uvjetima promjene klime, kao što je npr. globalno zatopljenje;
- specifična područja istraživanja jesu: identifikacija trendova u intenzitetu vodnog ciklusa i određivanje uzroka tih promjena (uključujući povratne efekte oblaka na globalnu vodnu i energetska bilancu i na globalni klimatski sustav); predviđanje oborina i evaporacije u vremenskom mjerilu od jednog mjeseca, godine i dulje; modeliranje fizičko-bioloških procesa i ljudskog iskorištavanja vode radi osiguranja učinkovitog upravljanja vodnim resursima.

4 Globalna bilanca vodnih resursa

4.2 Volumen vodnih resursa

Veličine procijenjenih vodnih resursa ovise o primijenjenoj metodi računanja i o kakvoći podataka. Tako postoji veći broj procjena s rezultatima koji se međusobno ne

poklapaju, ali su svi jednako točni. Shiklomanov je došao do sljedećih vrijednosti: ukupni volumen vode na Zemlji je oko 1,39 milijarde km^3 (10^9 km^3); volumen slatkovodnih resursa je oko 35 milijuna km^3 (10^6 km^3), ili oko 2,5 posto ukupnog volumena vode; od tih slatkovodnih resursa oko 24 milijuna km^3 ili 68,9 posto je u obliku leda i stalnog snijega; oko 8 milijuna km^3 ili 30,8 posto je podzemna voda (plitka i duboka, do 2.000 m; vlažnost tla; močvare). Približno to je 97 posto od svih slatkovodnih resursa, koji su raspoloživi za ljude. Slatkovodna jezera i rijeke sadrže oko 105.000 km^3 ili otprilike 0,3% od količine slatkovodnih resursa. Ukupno raspoloživa slatka voda za ljude i ekosustave je oko 200.000 km^3 vode, što je manje od 1 posto od svih slatkovodnih resursa i samo 0,01 posto od ukupnog volumena vode na Zemlji [21].

Globalna bilanca vode pokazuje da se s površine oceana u atmosferu evaporacijom oslobađa veća količina vode nego što se vraća u obliku oborina. Na površini kopna je suprotna situacija - veća količina vode pada na kopno nego što se sa njega isparava u atmosferu, tablica 4. Do nedavno je globalna bilanca vode vrlo malo varirala. Međutim, zbog snažnog antropogenog utjecaja (globalno zagrijavanje, navodnjavanje, izgradnja akumulacija i sl.) već sada dolazi do značajnog mijenjanja globalne bilance vode, koji se manifestira u ubrzavanju procesa kruženja vode na kopnu.

Voda se prenosi u različitim oblicima unutar vodnog ciklusa. Shiklomanov je u [21] procijenio da svake godine oko 502.800 km^3 evaporira s oceana i mora, od čega se 90 posto ili 458.000 km^3 vode vraća direktno u oceane oborinama, dok preostali dio od 10 posto (44 800 km^3) čine oborine nad kopnom. S količinom vode od evaporacije od približno 74.200 km^3 , ukupni volumen u kopnenom hidrološkom ciklusu iznosi oko 119.000 km^3 . Otprilike 35 posto od tog iznosa ili oko 44.800 km^3 vraća se u oceane kao površinsko otjecanje podzemne vode ili od ledenjaka. Znatna dio riječnog toka i procjedne vode nikada ne dostigne ocean, u međuvremenu ispari u ciklusu kretanja. Dio podzemne vode koji se kreće mimo vodotoka dolazi do oceana. U hidrološkom se ciklusu kreće blizu 577.000 km^3 vode na godinu.

Kako je znatan dio rezervi površinskih voda udaljen od naselja, sve količine nisu raspoložive za iskorištavanje. Procijenjeno je da su raspoložive količine slatkih voda

Tablica 4. Srednje godišnje vrijednosti vodne bilance Zemlje (za godine 1900.-1960.)

Površina	Oborine		Evapotranspiracija		Otjecanje						
	10^6 km^3	mm	10^3 km^3	mm	10^3 km^3	površinsko		potpovršinsko		ukupno	
						mm	km^3	mm	km^3	mm	km^3
Kopno	149	800	119	485	72	300	44,7	15	2,2	315	47
Oceani	361	1270	458	1400	505	-124	-44,7	-6	-2,2	-130	-47
Ukupno zemlja	510	1130	577	1130	570	-	-	-	-	-	-

za ljudsku upotrebu između 12.500 km³ i 14.000 km³ na godinu [17]. Zbog naglog porasta stanovništva na Zemlji smanjuju se potencijalno raspoložive količine po jednom stanovniku: od 12.900 m³ u 1970., 9.000 m³ u 1990. do manje od 7.000 m³ u 2000. godini [21]. Projekcija za 2025. godinu jest 5.100 m³ vode. U toj će godini, po procjeni, biti 3 milijarde ljudi u kategoriji s nedostatkom vode, odnosno imat će manje od 1.700 m³ vode po glavi na godinu [24]. Ledenjaci i stalni snijeg zauzimaju oko 10 posto svjetskog kopna. Područja su koncentrirana u Grenlandu i Antartiku i sadrže otprilike 70 posto svjetske količine slatkih voda. Najveći dio tih resursa nije raspoloživ za ljudsku upotrebu. Podzemna je voda najveći raspoloživi resurs slatke vode za ljude. Zatim slijede jezera, akumulacije, vodotoci i močvare (vlažna područja). Podzemna voda čini 90 posto svjetskih raspoloživih resursa. Oko 1,5 milijardi ljudi koristi se podzemnom vodom za vodoopskrbu. Procjenjuje se da se svake godine crpi oko 600 do 700 km³ vode, što čini oko 20 posto ukupne svjetske količine utrošene vode [25]. Slatkovodna jezera uglavnom se nalaze na većim visinama, približno 50 posto svjetskih jezera nalazi se u Kanadi. Akumulacije su umjetna jezera. Volumen akumulirane vode u svijetu procjenjuje se na 4.286 km³ vode. Vlačna područja – močvare zauzimaju ukupnu površinu od oko 2.900.000 km². Većina ih ima dubinu do 2 metra. Procjenjuje se da je ukupni volumen močvara između 2.300 i 2.900 km³ vode.

Tablica 5. Procjena globalne raspodjele vode [26]

R. br.	Naziv	Volumen (1.000 km ³)	Postotak od ukupne vode	Postotak od slatke vode
1.	Oceani i mora	1, 338.000	96,5	-
2.	Ledenjaci, trajni snijeg	24.064	1,74	68,7
3.	Podzemna voda slatka slana	23.400 (10.530) (12.870)	1,7 (0,76) (0,94)	- 30,1 -
4.	Vlažnost tla	16,5	0,001	40,05
5.	Stalni led i smrznuto tlo	300	0,022	0,86
6.	Jezera slatka slana	176,4 (91,0) (85,4)	0,013 (0,007) (0,006)	- 0,26 -
7.	Atmosfera	12,9	0,001	0,04
8.	Močvare	11,47	0,0008	0,03
9.	Rijeke	2,12	0,0002	0,006
10.	Biološka voda	1,12	0,0001	0,003
UKUPNO		1,385.984	100,0	100,0

Nejednolika raspodjela slatkovodnih resursa uzrokuje mnoge probleme u uporabi i pristupu vodi. U tablici 5. prikazane su procjene globalne raspodjele vode.

Tablica 6. Globalne potrebe za vodom u 2000. i u 2025. godini [13]

Namjena vode	2000. godine		2025. godine	
	km ³ /na god.	m ³ /osoba na god.	km ³ /na god.	m ³ /osoba na god.
Voda za ljude				
osnovne potrebe (piće i higijena)	110	18	146	18
kućanske potrebe	300	50	400	50
usluge i industrija	930	155	1240	155
Ukupno:	1340	223	1786	223
Voda za proizvodnju hrane	7200	1200	9600	1200
Voda za ekosustav				
šume	40010	6668	40010	5002
močvare i sl. tla	1367	228	1367	171
livade i pašnjaci	15095	2516	15095	1887
Ukupno:	56472	9412	56472	7060
Ostali sustavi				
zelene površine u gradovima	100	17	200	25
uzvodno ruralno iskorištavanje vode	210	35	150	19
isparavanje s jezera	600	100	600	75
isparavanje s akumulacija	160	27	320	40
tundre i pustinje	5700	950	5700	713
Ukupno:	6770	1129	6970	872
Otjecanje u vodotocima	46770	7795	43486	5436
UKUPNO sve namjene	118552	19759	118314	14791

Do procjene količine podzemne vode teško se dolazi i one široko variraju, ovisno o primijenjenoj metodologiji. Vrijednosti za količine podzemne vode u tablici 5. nalaze se u gornjem dijelu procijenjenih količina. Iz podataka u tablici 5. vidi se da podzemna voda čini približno 30 posto količine slatke vode, dok led čini približno 70 posto slatke vode [26].

4.1 Potrebe za vodom

Voda nije jednoliko raspoređena na Zemlji, niti je uvijek pristupačna za ljudsku upotrebu. Društvo je postalo ranjivo u odnosu na varijacije u vodnom ciklusu. Povećana potražnja za vodom praćena je porastom ekonomskih gubitaka zbog suša i poplava, pa se u isto vrijeme traži da se razviju znanja i alati za učinkovito upravljanje ograničenim vodnim resursima [8,10]. Opskrba vodom ostaje konstantna, ali je čovjek u mogućnosti alternirati njezin ciklus. Broj se stanovnika povećava, povećava se životni standard te industrijski i ekonomski rast. Sve to traži veće količine inputa iz našeg prirodnog okoliša. Naše aktivnosti mogu izazvati neravnotežu u hidrološkoj bilanci i mogu utjecati na količinu i kakvoću prirodnih resursa, koji su na raspolaganju sadašnjim i budućim generacijama. Svi ovi faktori doprinose smanjivanju raspoloživih količina pitke vode, stvarajući sve veće pritiske na postojeće vodne resurse. Pitka je voda osnovna potreba čovjeka. Dnevna potreba za jednu osobu kreće se od 3 do 9 litara, ovisno o klimatskim uvjetima. Mogu se definirati četiri osnovne kategorije načina uporabe vode i njezine funkcije: 1) voda za ljude i industriju; 2) voda za hranu i ruralni razvoj; 3) voda za potrebe prirode - ekosustava i voda za proizvodnju energije.

Tablica 6. pokazuje stanje vodnih potreba u 2000. i procjene stanja za 2025. godinu. Pretpostavljeni je broj stanovnika u 2000. 6 milijardi, a u 2025. 8 milijardi. Procijenjene godišnje količine oborina na kopnu kreću se između 99.000 km³ i 119.000 km³ [11, 13]. Pokušalo se zbrojiti postojeće podatke i stanje te procijeniti potrebe vode svake kategorije potrošnje ili funkcije vode. Ukupne potrebe procijenjene su od 118.552 km³ za 2000. godinu, što je u granicama maksimalno procijenjenih količina vode od oborina.

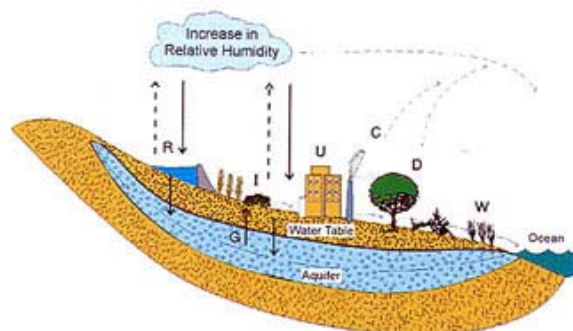
5 Vodni resursi i dinamika iskorištavanja vode

Zbog interakcije između atmosfere, litosfere, hidrosfere i biosfere, te konzistentnosti globalnoga hidrološkog ciklusa, svaka promjena ili modifikacija u bilo kojem dijelu ciklusa dovodi do modifikacija u drugom dijelu ciklusa i u vodnoj bilanci. Globalno se iskorištava otprilike jedna petina raspoloživih količina vode. U gornju procjenu nisu uključene količine vode potrebne za akvatični život, koje reduciraju količine raspoložive vode za ljude. Veći dio zahvaćenih količina vode nije "potrošen", već se

vraća u kružni tok vode i tako postaje ponovno raspoloživo za iduću uporabu, poslije pročišćavanja ili prirodnog samočišćenja.

Svaka intervencija u hidrološki ciklus može se klasificirati u jednu od kategorija, iako je očito da se pojedine intervencije događaju u više područja (slika 3.). Najučestalije i najznačajnije čovjekove intervencije u hidrološkom ciklusu jesu:

1. Izgradnja pregrada i akumulacija radi proizvodnje električne energije. Predstavlja najznačajniju intervenciju na rijekama i jezerima; pripada regulatornoj kategoriji.
2. Zahvati podzemnih voda za javnu vodoopskrbu i navodnjavanje tla.
3. Načini iskorištavanja površina uvjetovani urbanističkim razvojem, odvodnjom tla i dr. Ova kategorija pripada aktivnostima na slivnom području.
4. Izgradnja zaštitnih retencija za razne namjene ima glavnu ulogu u hidrološkom ciklusu.



Slika 3. Ljudski procesi koji utječu na kopneni hidrološki ciklus F20G

Procjene obnovljivih vodnih resursa temelje se na opažanim podacima iz hidrološke mreže. Stvarnost je ponajprije određena uvjetima te mreže, brojem hidroloških postaja, prostornoj raspodjeli, trajanju i kontinuitetu *monitoringa*, kakvoći mjerenja i obrade podataka. Prognoze budućeg broja stanovnika, rast industrije i energetskih postrojenja obično se daju za različite društveno-ekonomske varijante razvoja, temeljene na različitim faktorima i premisama. U današnje vrijeme prirodno kolebanje utjecaja i količinske i kvalitativne karakteristike obnovljivih resursa pod znatnim su utjecajem mnogih faktora [5,20]. Pri procjeni kvantitativnih karakteristika iskorištavanja vode u velikim se regijama i državama koriste temeljnim faktorima: razinom društveno-ekonomskog razvoja, brojem stanovnika, fiziografskim – uključivo i klimatskim – karakteristikama i površinama regije. Njihova kombinacija određuje volumen i strukturu iskorištavanja vode, njihovu dinamiku i tendencije razvoja u budućnosti [21].

Ukupna globalno zahvaćena voda u 2000. iznosila je oko 3.970 km³/na godinu, a količina potrošene vode otprilike 2.180 km³/na godinu, ili 55 posto od zahvaćenih količina.

Podaci u tablici 7. pokazuju ulogu pojedinačnih korisnika vode u globalnoj dinamici zahvaćanja i potrošnje vode, te porast broja stanovnika i navodnjavanih površina. U današnje vrijeme poljoprivreda prima 66 posto od ukupno zahvaćene vode i 85 posto od potrošene količine vode. U budućnosti će se lagano smanjivati uloga poljoprivrede, a porast će uloga industrije i komunalnih potreba za vodom. Isparivanje s površine vode u akumulacijama iznosi približno kao potrošnja vode u industriji i za komunalno iskorištavanje zajedno. U slučajevima kada postoji dugoročno dovoljno vodnih resursa, sezonske ili godišnje varijacije raspoloživih slatkih voda mogu izazvati vodne stresove. Kako je voda ograničeni resurs jasno je zašto se danas teži smanjenju potrošnje - potražnje vode radije nego povećanju ponude vode [10]. Zato se danas rade programi za zaštitu vode, za adekvatno upravljanje vodama itd .

Svaka intervencija u hidrološki ciklus može se interpretirati u jedinici volumena vode, ekonomskim aspektima, broju stanovništva i veličini površine koja je zahvaćena intervencijom, te učestalošću pojave intervencije u regiji. Učinci čovjekovih intervencija u vodni ciklus ovise o ekološkim ograničenjima. Hidrološka regionalizacija definirana je FRIEND-om [7, 16]. Ljudske intervencije sa značajnim ekološkim učinkom događaju se u svim zemljama. Danas smo u mogućnosti prepoznati i analizirati negativne učinke tih intervencija te poduzeti akcije za popravak stanja. Podaci koji karakteriziraju hidrološki ciklus, vodnu bilancu i potrebe za vodom nužni su za

kvantifikaciju i ocjenu čovjekovih intervencija u pogledu dosega utjecaja, te za identifikaciju osnovnih pitanja za stanje okoliša. Resursi slatke vode smanjuju se onečišćenjem. Oko dva milijuna tona otpada svakog dana odlaze se u vodno tijelo, uključujući industrijski otpad i kemikalije te otpad iz poljoprivrede. Iako su stvarni podaci o proširenosti i ozbiljnosti onečišćenja nekompletni, može se procijeniti da je globalna proizvodnja otpadne vode oko 1500 km³. Pretpostavljajući da 1 litra otpadne vode onečisti 8 litara slatke vode, onečišćene je vode u svijetu do 12.000 km³.

6 Hidrološki ciklus i klimatske promjene

6.1 Utjecaj klime na kruženje vode

Istraživanja, studije, izvješća i procjene prikazuju evidenciju mogućih značajnih promjena u kružnom putu vode i odnosne klimatske varijable. To uključuje: porast temperature zraka na površini tla od $0,6 \pm 0,2$ °C, povećanje oborina na kopnu Sjeverne polutke za 7 do 12 posto, topljenje planinskog leda, kasnije jesensko zamrzavanje i ranije proljetno topljenje leda na jezerima Sjeverne polutke. Manje su izvjesne, ali potencijalno važne, moguće promjene u koje je uključeno 2%-tno povećanje pokrivenosti oblacima srednjih i visokih planina, povećanje ukupnih površina pod utjecajem ekstremnih događaja – poplava i suša i 20%-tno povećanje količine vodene pare u nižim slojevima stratosfere. Veći broj nesigurnosti u procjenama učinaka atmosferskih pojava u vezi je s povratnim učinkom između klime i vodnog ciklusa. Kompleksna interakcija između oblačnosti, oborina, pokrova tla i smanjenih količina snijega i leda ograničila je razumijevanje veze između vode i klimatskog zagrijavanja. Me-

Tablica 7. Dinamika korištenja vode u svijetu po ekonomskim sektorima (km³/na godinu) [21]

Sektor	Procjena									Prognoza	
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010	2025
Stanovništvo (milijuna)			2542	3029	3603	4410	5285	5735	6181	7113	7877
Navodnjavane površine (mln.ha)	47.3	75.9	101	142	169	198	243	253	264	288	329
Poljoprivreda	513	895	1080	1481	1743	2112	2425	2504	2605	2817	3189
	321	586	722	1005	1186	1445	1691	1753	1834	1987	2252
Industrija	21.5	58.9	86.7	118	160	219	305	344	384	472	607
	4.61	12.5	16.7	20.6	28.5	38.3	45.0	49.8	52.8	60.8	74.1
Komunalno korištenje	43.7	127	204	339	547	713	735	752	776	908	1170
	4.81	11.9	19.1	30.6	51.0	70.9	78.8	82.6	87.9	117	169
Akumulacije	0.30	7.00	11.1	30.2	76.1	131	167	188	208	235	269
UKUPNO ZEMLJA	579	1088	1382	1968	2526	3175	3633	3788	3973	4431	5235
	331	617	768	1086	1341	1686	1982	2074	2182	2399	2764

Primjedba: Prvi red – zahvaćena voda, drugi red – potrošena voda

đu prioritetima u istraživanjima Zemlje i pitanjima politike okoliša jest utjecaj klimatskih promjena na hidrološki ciklus. Neki od najranijih napora usmjerenih na sustavno proučavanje Zemljinoga klimatskog sustava, datiraju od vremena Međunarodne meteorološke organizacije (IMO), prethodnika Svjetske meteorološke organizacije, WMO koja je 1929. osnovala Komisiju za klimatologiju (CCL). Od 1950-ih godina tehnološka su dostignuća, uključujući radare, satelite i računala, doprinijela visokokvalitetnom istraživanju, monitoringu i multidisciplinarnom studiranju atmosferskih procesa. U isto su vrijeme izmjereni povećani iznosi ugljičnog dioksida u atmosferi, što je navelo Svjetsku meteorološku organizaciju tijekom 1976. da objavi prvi autoritativni iskaz o mogućem utjecaju porasta stakleničkih plinova u atmosferi na buduću klimu [25].

Međutim, najviše neposrednih opasnosti za čovječanstvo donosi porast promjenljivosti u intenzitetu i učestalosti oluja i drugih događaja, posljedica ekstremnih vremenskih i klimatskih prilika, kao poplava i suša, više toplotnih valova u većim gradskim područjima i utjecaja porasta razine mora na niska obalna područja. Ubrzani korak tehnološkog napretka u budućnosti dovest će do sužavanja neizvjesnosti i na taj način utjecati na način postupanja s klimom. Radi određivanja neizvjesnosti u predviđanju u tijeku su znatna istraživanja, posebno u okviru Svjetskoga klimatskog istraživačkog programa (WCRP) koji sponzorira Svjetska meteorološka organizacija.

Klimatska promjenljivost i mogućnost predviđanja (CLIVAR) najvažniji je projekt u Svjetskom klimatskom istraživačkom programu. Cilj je projekta proučavanje područja klimatske promjenljivosti, produženja djelotvornih predviđanja klimatskih varijacija i pojašnjenja procjena o antropogenoj promjeni klime. Procjene klimatskih promjena pokazuju da će temperature zraka porasti za 1°C do 3,5°C u 2015. godini, što s povećanjem oborina u sjevernoj Europi i njihovim smanjivanjem u južnoj Europi, može dovesti do smanjenja obnovljivih vodnih resursa u južnoj Europi. Povišenje temperature može dovesti do ranijeg topljenja snijega. Varijacija rizika i intenziteta suša najozbiljniji je negativan utjecaj promjene klime na vodne resurse. Klimatske bi promjene mogle značajno utjecati na režim poplava. Postaje sve izvjesnije da se globalno zatopljenje od nekoliko stupnjeva već događa. Današnji proračuni i procjene pokazuju da će klimatske promjene izazvati povećanje globalne nestašice vode oko 20 posto. Oborine će vjerojatno porasti između geografskih širina 30°N i 30°S, ali mnoge tropske i subtropske regije vjerojatno će imati manje oborina. S trendom prema učestalijim ekstremnim vremenskim uvjetima čini se da će poplave, suše, tajfuni i cikloni također postati učestaliji [4].

Istraživanjima se utvrđuju mnoge neizvjesnosti koje ograničavaju našu sposobnost da do kraja shvatimo potencijalne posljedice klimatskih promjena. Dodatna su istraživanja potrebna i za bolje upoznavanje s klimatski osjetljivim ekološkim procesima. Ključni nalazi u svezi s klimatskim promjenama i kruženjem vode jesu:

1. *Povećano zatopljenje*: uz pretpostavku da će se nastaviti porast emisije plinova koji uzrokuju efekt staklenika, procjenjuje se da će temperature u sljedećih sto godina porasti za prosječno 3° do 6° Celzijevih.
2. *Različiti regionalni utjecaji*: klimatske promjene neće biti iste u svim krajevima. I porast temperature varirat će od regije do regije. Uvelike će varirati i potencijalni utjecaji klimatskih promjena.
3. *Osjetljivi ekosustavi*: ekosustavi su izuzetno podložni procijenjenim stopama i razmjerima klimatskih promjena.
4. *Rasprostranjena briga za vodu*: voda je problem u svim regijama, no sve regije imaju različite probleme. Velika briga u svim regijama jest i suša. U mnogim su regijama velik problem poplave i kakvoća vode.
5. *Porast uzgoja šuma u bližoj budućnosti*: dugoročno gledano, promjene globalnih procesa, poput vatre, insekata, suša i bolesti, vjerojatno će smanjiti produktivnost u uzgoju šuma.
6. *Veća šteta na obalnim područjima* i trajno zaleđenu tlu: klimatske promjene i posljedičan porast razine mora vjerojatno će povećati opasnosti za infrastrukturu u klimatski osjetljivim područjima.
7. *Drugi poremećaji* na koje će klimatske promjene negativno djelovati: klimatske promjene vjerojatno će uvećati kumulativne učinke drugih poremećaja, kao što su zagađenje zraka i vode te razaranja staništa zbog obrazaca ljudskog razvoja. Ukupni učinci klimatskih promjena i drugih poremećaja vjerojatno će nadmašiti prag izdržljivosti nekih sustava.
8. *Očekivana iznenađenja*: vrlo je vjerojatno da će neki oblici i učinci klimatskih promjena biti posve nepredvidljivi budući da će složeni sustavi na nepredvidljive načine reagirati na klimatske promjene.
9. *Neizvjesnost je i dalje prisutna*: u znanosti su još prisutne znatne neizvjesnosti u pogledu učinaka klimatskih promjena. Daljnja istraživanja poboljšat će naše spoznaje i moć predviđanja socijalnih i ekoloških učinaka, a javnosti dati korisne informacije o strategijama prilagodbe.

6.2 Monitoring vode u Zemljinom okolišu

Postoje programi monitoringa većeg broja aspekata uloge vode u Zemljinom sustavu. Podaci i njihove analize

dovest će do razvoja sofisticiranih modela hidroloških procesa i pripadna unapređenja regionalnih i globalnih klimatskih modela, s direktnim anticipiranjem koristi od preciznijih prognoza vremena i klime [9]. *Aqua program NASA, SAD* satelitska je misija imenovana po velikom broju informacija te misije o Zemljinom vodnom ciklusu. U monitoring su uključeni: isparavanje s oceana, vodena para u atmosferi, oblaci, oborine, vlažnost tla, snijeg i led te stalni led. Ostale varijable koje opaža satelit su fluksovi radioaktivne energije, aerosoli, biljni pokrov, pojave fitoplanktona i otopljena organska materija u oceanima te temperature zraka, tla i vode. Ova misija je dio NASA međunarodnog sustava *Earth observing system (EOS)*. Satelit je lansiran u orbitu 5. kolovoza 2002. godine (slika 4.). To je zajednički projekt SAD-a, Japana i Brazila. Ključna su mjerenja određena koncenzusom između znanstvenika cijeloga svijeta [15].



Slika 4. Satelit Aqua, NASA EOS sustav [15]

7 Uloga vode u životu čovjeka i društva

Spoznaje o ozbiljnosti problema o vodama prisutne su godinama. Međunarodna je zajednica globalno reagirala organiziranjem velikih konferencija o vodama [22, 23]. Prve važne preporuke bile su formulirane na Konferenciji UN-a o vodama koja je održana 1977. godine u Mar del Plati, Argentina. I drugi su se skupovi bavili problemima voda, kao što su Međunarodna konferencija o vodama i okolišu, koja je održana 1992. u Dublinu, Irska, kao i Konferencija UN o okolišu i razvoju, koja je održana 1992. u Rio de Janeiru, Brazil. U 1994. godini Komisija UN za održivi razvoj donijela je zaključak da je potrebna opsežna procjena vodnih resursa slatkih voda uključujući i buduće potrebe za vodama. Ovdje treba spomenuti i Ministarsku deklaraciju s Međunarodne konferencije o pitkoj vodi, Bonn, 2001. u kojoj se apelira na jačanje koordinacije aktivnosti unutar sustava UN-a glede pitanja pitke vode. Usprkos tome, propadanje zemljinih ekosustava nesmanjeno se nastavlja pa se postavlja pitanje kada će briga o okolišu prerasti iz filozofije u način života i kada ćemo shvatiti da će uništenje okoliša sigurno prije ili kasnije direktno ugroziti blagostanje u kojem živimo. Gdje je kritična točka: ekosustavi su pri-

rodno elastični, no samo do određenog stupnja. Svaki od pet glavnih tipova ekosustava: šume, slatka voda, obalnomorska staništa, pašnjaci i poljoprivredne površine pokazuju znakove propadanja. Gradnja 40 000 velikih brana i veći broj manjih "začepjenja" pretvorilo je većinu svjetskih rijeka u serije međusobno povezanih jezera. Slatkovodni je ekosustav najkritičniji ekosustav budući da svi organizmi trebaju vodu za opstanak. Nedostatak vode mogao bi ubrzo ograničiti ekonomski razvoj [2]. Godina 2003. proglašena je odlukom UN-a Međunarodnom godinom slatkih voda da bi se podigla svijest o njezinoj važnosti. Ali nisu u pitanju samo količine, u područjima gdje su zalihe vode dostatne ili čak obilne, prijetje im onečišćenje ili iscrpljivanje zbog povećane potražnje. Procjenjuje se da će do 2025. godine dvije trećine ljudi na Zemlji živjeti u područjima s umjerenim do jakim nedostatkom vode. Sukobljavanje interesa oko vodnih resursa uzrok je straha da pitanje vode sa sobom nosi mogućnost novog uzroka ratova – ratova za vodu. To je dovelo do stvaranja koncepta održivog razvoja u integralnom upravljanju vodnim resursima [18].

8 Zaključak

Ujedinjeni narodi proglasili su 2003. Međunarodnom godinom slatkih voda da bi se podigla svijest o njezinoj važnosti. Procjenjuje se da će u 21. stoljeću postati glavno ekološko, sigurnosno i gospodarsko pitanje upravo ubrzano smanjenje zaliha raspoložive slatke vode. Stanovništvo u svijetu već danas troši više od polovice svih dostupnih zaliha vode u rijekama, jezerima i vodonosnicima. Na kraju 20-og stoljeća, ukupna potrošnja vode ljudi bila je sedam puta veća nego prije sto godina. Raspodjela vode na planetu jako koleba, od količina da neke vrlo malo. Ukupna se količina vode na Zemlji ne mijenja. Ljudske aktivnosti uvelike utječu na rezerve vode i procese kretanja vode. Premda znamo da bez vode ne bi bilo života, mnogi tek moraju naučiti kako postupati s najdragocijnijim elementom na planetu. Nastoje se utvrditi načini kako prirodni procesi i ljudske aktivnosti utječu na raspodjelu i kakvoću vode, jesu li promjene u vodnom ciklusu predvidljive, zatim kako kolebanja i promjene vodnog ciklusa utječu na društvo.

Procjene obnovljivih vodnih resursa temelje se na opažanim podacima iz hidrološke mreže. Stvarnost je procjena prvenstveno određena uvjetima te mreže, brojem hidroloških postaja, prostornoj raspodjeli, trajanju i kontinuitetu *monitoringa*, kakvoći mjerenja i obrade podataka. Prognoze budućeg broja stanovnika, rast industrije i energetske postrojenja obično se daju za različite društveno-ekonomske varijante razvoja. Te su informacije potrebne za procjenu zahvaćanja vode i raspoloživosti vode. Podaci o količini voda razlikuju se, ovisno o primijenjenim metodama za procjenu. Ovim se željelo na-

glasiti kako se radi o procjenama koje treba uzeti kao red veličine količine vodnih resursa.

Važan dio istraživanja globalno vodnog ciklusa jest razvoj sveobuhvatnoga i dosljednoga globalnoga promatračkog sustava - *monitoringa*. Taj će sustav funkcionirati kao oči i uši znanstvenika u atmosferi, oceanima i ekosustavima i s vremenom će nam reći mnogo toga o prošlim, sadašnjim i budućim klimatskim promjenama i kako se za njih možemo najbolje pripremiti. Moderni je problem globalno zatopljenje, klimatske promjene zbog povećanja količine ugljičnog dioksida u atmosferi i snažni staklenički efekt. Vodni je sustav osjetljiv na klimatske promjene, očekuju se najznačajnije promjene u temperaturi zraka. Prikupljeni će podaci omogućiti da

se s većim pouzdanjem pokreću znanstveno utemeljene strategije i tako osiguraju zdravlje, sigurnost i ekonomska stabilnost društva u budućnosti.

Potrebe za slatkom vodom se stalno povećavaju, i zato vode treba kontinuirano procjenjivati i pažljivim gospodarstvom sačuvati. Obnovljivi vodni resursi su podložni utjecaju kompleksnih antropogenih faktora. Raspoloživa voda sve više postaje čimbenik ograničavanja gospodarskog i društvenog razvitka, pa prema tome i čimbenik politike. Da bi se izbjegla kriza vode u budućnosti, uz ograničene i konačne vodne resurse, iskorištavanje vode mora biti mnogo racionalnije i učinkovitije nego što je danas. Vodnim resursima treba upravljati integralno i ostvarivati koncept održivog razvoja.

IZVORI

- [1] Chahine, M. T.: *The hydrological Cycle and its Influence on Climate*, Nature 359 (1992): 373.-380.
- [2] Clarke, R.: *Water*, The International Crisis. Earthscan, London, 1991.
- [3] *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. Official Journal L 327, 22.12.2000 P.0001.
- [4] *European Environment Agency - EEA: Europe's Environment - The Dobris Assessment and Statistical Compendium*. Ed. Stanners, D.; Bourdeau, P. Copenhagen, 1995
- [5] Eurostat: *Estimation of Renewable Water Resources in the European Union*. Luxembourg, 1997.
- [6] Falkenmark, M.; Chapman, T.: *Comparative Hydrology*. UNESCO, Paris, 1989.
- [7] FRIEND: *Flow Regimas from International Experimental and Network Data*. Proceedings of the Int. Conf. Technical University of Braunschweig, ed. P. Seuna, IAHS Pr. 1994
- [8] Gereš, D.: *Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatsko*, Građevni godišnjak '98, HSGI Zagreb, ur. Simović, V., 1998.,str. 221.-269.
- [9] Gereš, D.: *Modeliranje upravljanja vodnim resursima na slivnom području*, Građevni godišnjak '01/'02, HSGI Zagreb, ur. Simović, V., 2002.,str. 319.-385.
- [10] Gereš, D.: *Upravljanje potražnjom vode*, Građevinar 55 (2003) 6, 329.-338.
- [11] Gleick P. H. (ed.): *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. Oxford University Press, New York, 1993.
- [12] Gleick, P. H.: *Water Resources*. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, 1996. Vol. 2, pp. 817-823.
- [13] Gleick, P. H.: *The World's Water 2000 – 2001*, Washington, DC ; Island Press, 2000.
- [14] Gornitz, V.; Rosenzweig, C.; Hillel, D.: *Effects of antropogenic intervention in the land hydrologic cycle on global sea level rise*, Global Planet. Change **14**, (1997) 147-161, doi: 10.1016/S092-8181(96)00008-2.
- [15] Graham, S.; Parkinson, C.; Chahine, M. T.: *The Water Cycle*, <http://earthobservatory.nasa/>, 2001
- [16] Gustard, A.; Rees, H.G.; Croker, K. M.; Dixon, J. M.: *Using Regional Hydrology for Assessing European Water Resources*, In: FRIEND 97, IAHS Proc. of the 3rd Int.FRIEND Conf., Postojna, 1997.
- [17] Jackson R. B.; Carpenter S. R.; Dahm C. N.; McKnight D. M.; Naiman R. L.; Postel S. L.; Running S. W.: *Water in a Changing World*, Ecological Applications Vol. 11 No.4, August 2001. Viewed at www.esa.sdsu.edu/issues9.htm
- [18] Kundzewicz, Z. W.: *Water Resources for Sustainable Development*, Hydrological Sciences, 42 (4), 1997, 467-497.
- [19] Maidment, D. R. /ed./: *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill Inc., New York, NY, 1993,
- [20] *Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD: Environmental Indicators*. OECD/GD (96), Paris, 1996.
- [21] Shiklomanov I. A.: *World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century*, (Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st Century, prepared in the framework of the IHP UNESCO). Federal Service of Russia for Hydrometeorology & Environment Monitoring, State Hydrological Institute, St. Petersburg, 1999.
- [22] *The 3rd World Water Forum*, march 16-23, 2003, Kyoto, Shiga and Osaka, Japan. <http://www.world-water-forum3.com>.
- [23] UNCED: *Agenda 21*, Programe of Action for Sustainable Development. UN, New York, 1993,
- [24] UNEP, *Global Environment Outlook - Past, present and future perspectives*, 2002. Earthscan, UK, USA.
- [25] World Meteorological Organisation (WMO), *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*, 1997. WMO, Geneva, p.9.
- [26] World Resources Institute - WRI: *World Resources 1992/93: A Guide to Global Environment*.