

## QUO VADIS HYDROLOGIA? - KUDA IDEŠ HIDROLOGIJO?

Ognjen BONACCI  
Professor emeritus

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, E-mail: obonacci@gradst.hr

*Nagrade i priznanja u području voda ne pripadaju nijednoj osobi niti instituciji.  
Sve bi one trebale pripasti kišomeru, vodomernoj letvi i hidrometrijskom krilu.  
(Georgije Hajdin, profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu)*

*Anybody who can solve the problems of water will be worthy  
of two Nobel Prizes, one for peace and one for science.  
(Neko ko može da reši probleme vode trebalo bi da dobije  
dve Nobelove nagrade – jednu za mir, drugu za nauku)  
(John Fitzgerald Kennedy, predsednik SAD)*

### REZIME

U članku se razmatra uloga Hidrologije u prošlosti, danas i budućnosti. Hidrologija kao teoretska nauka, ali i praktična inženjerska disciplina koja se bavi procesima koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji, kao i izučavanjem različitih etape hidrološkog ciklusa u novim uslovima ima sve veću ulogu. Njeno će značenje sve više rasti zbog sve većih potreba čovečanstva i životne sredine za vodom, zbog čestih vodnih katastrofa (suša, poplava, zagađenja itd.), kao i zbog njenih ograničenih resursa. Hidrologija ima brojne praktične primene i koristi mnoga znanja ostalih naučnih grana. Zbog širine njenih interesa upućena je na tesnu saradnju ne samo sa geofizičkim naučnim disciplinama, nego sve više i s društvenim naukama (Pravom, Ekonomijom, itd.). U najnovije vreme politika i pravo postali su izrazito zainteresovani za rešavanje niza problema vezanih sa vodom u kojima bitnu ulogu igraju hidrološke informacije. U članku se raspravlja o ulozi Hidrologije kao i o njenim osnovnim dilemama i stranputicama na koje nailazi upravo kao posledica sudelovanja u rešavanju brojnih vodnih problema. Jedno poglavlje analizira problematiku modeliranja u Hidrologiji. Naglašeno je da vezano s hidrološkim modelima treba samo shvatiti da oni nisu 'lek za sve bolesti', već samo manje ili više koristan alat. Razmatra se i problematika klimatskih promena, tj. globalnog zagrevanja i njen

utjecaj na Hidrologiju. Osobita pažnja u članku je posvećena novoj interdisciplinarnoj nauci Ekohidrologiji koja integrira hidrološke procese s dinamikom živih organizama u raznim prostornim i vremenskim merilima.

**Gljučne reči:** Hidrologija, Ekohidrologija, hidrološki modeli, promena klime

### 1. UVOD

Voda je bez preteravanja jedinstveni i najvažniji resurs na planeti. Ona je već danas, a sve će više biti u budućnosti ključna međunarodna briga. Razlog je činjenica da se u različitim delovima Zemlje i u različitim vremenskim intervalima, u svim državama (bez obzira na njihovu razvijenost) sve češće javljaju sve kritičnije vodne situacije. Čovečanstvo, sav živi svet, ali i ljudske i prirodne tvorevine izloženi su prirodnim i antropogenim vodnim rizicima uzrokovanim viškom ili nedostatkom vode, kao i devastacijom njenog kvaliteta.

Danas kao nikada do sada čovečanstvo je suočeno sa životnom sredinom koji je ekološki, klimatološki i geološki, te kao direktna posledica toga - socijalno i politički - osjetljiva i ranjiva na rizike koje uzrokuju vodne katastrofe. U njih spadaju, pre svega, poplave i suše, a potom i svi sa njima vezani opasni fenomeni kao

što su klizišta, muljni tokovi, vodna erozija, zagađenja vodnih resursa, itd.

Osnovni predušlov za shvatanje, a potom i za traženje rešenja bilo kojeg vodnog problema (ali ne samo njih) je poznavanje teorije i prakse raspodele vodnih količina u prostoru i vremenu, dakle Hidrologije (Bonacci, 2004; 2005). Za ispunjavanje tog cilja neizbežno je detaljno poznavanje hidroloških karakteristika prostora na kojem se poduzima određeni zahvat. Činjenica je da Hidrologija ne može rešiti sve složene multi- i interdisciplinarne probleme koji se vezano sa vodom mogu pojaviti, ali se bez pouzdanih hidroloških podataka i njihove korektne analize ne mogu ni shvatiti mogući problemi, niti se može pristupiti njihovom rešavanju. Nažalost, svedoci smo da se u praksi sve češće zanemaruje taj ključni aspekt uloge Hidrologije u osiguravanju održivog razvoja na planeti. Rezultat toga su sve veći problemi u celom svetu, ne samo s vodom, već i oni društveni, uzrokovani zanemarivanjem uloge Hidrologije.

Uloga i sudbina Hidrologije razapeti su između poruka koje su sažete u navedena dva mota ovog rada. S jedne strane, radi se o 'prizemnim', praktičnim zadacima (prvi moto), dok se, sa druge strane, očekuju 'planetarna' rešenja. Hidrologija u procesu upravljanja vodnim resursima ima ključnu odgovornost, te se stoga nalazi u velikom procepu između očekivanja i stvarnih mogućnosti. To predstavlja njenu šansa, ali ujedno i najveću opasnost da zaluta u područje 'nemogućih misija'.

## 2. ULOGA HIDROLOGIJE

Već i same brojne i donekle kontraverzne definicije Hidrologije, na koje se nailazi u literaturi, ukazuju na složenost razumevanja njenog koncepta, a još više njene uloge. Navode se i analiziraju samo sledeće tri definicije: (1) Hidrologija je nauka koja se bavi vodom iznad i ispod površine terena, njenom pojavom, kretanjem i raspodelom, hemijskim i fizičkim svojstvima kao i njenim okruženjem, uključujući i odnos sa živim bićima (NRC, 1991); (2) Hidrologija je nauka koja se bavi procesima koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji, te izučava različite etape hidrološkog ciklusa (UNESCO i WMO, 1992); (3) Hidrologija je nauka koja se bavi sa svim aspektima vode koja stoji na raspolaganju na planeti. To uključuje izučavanje pojave vode, njenih svojstava, njene raspodele i cirkulacije, kao i uticaje na živa bića i njihovo okruženje. Hidrologija

nije čista nauka zbog toga jer ima brojne praktične primene te koristi mnoga znanja ostalih naučnih grana [29].

Sličnosti u definicijama su očigledne, ali se pažljivom analizom mogu uočiti i značajne razlike. Dok jedni naglašavaju da se uloga Hidrologije iscrpljuje u izučavanju kvantitativnih aspekata pojavnosti vodnih masa na planeti, drugi ističu njenu ekološku ulogu. U nekim definicijama (koje ovdje nisu navedene) insistira se da se Hidrologija bavi samo površinskim vodama, te da u domene njenih analiza ne spada problematika kvalitete vode. Brojni hidrogeolozi (ne svi) pak smatraju da analize kretanja podzemnih voda ne spadaju u područje Hidrologije. Taj bi stav bio prihvatljiv kad podzemne vode ne bi bile u uskoj međuzavisnosti sa površinskim. U nekim slučajevima kao na pr. u uslovima cirkulacije vode u karstu nemoguće je odvojiti analize podzemnih voda od analiza površinskih voda (Bonacci, 2015). Ovu često veštačku dilemu nastalu prvenstveno zbog toga što se podzemne vode detaljnije izučavaju na geološki orijentiranim fakultetima, a površinske na inženjerskim, ali pothranjivanu sujetama naučnika moguće je rešiti jednostavno. Ne treba insistirati na razlikama, već na tome da se neki problem reši na najbolji način korištenjem svih raspoloživih alata, metoda i postupaka. To je moguće ostvariti uskom saradnjom hidrologa i hidrogeologa. I svi ostali su dobro došli.

U najnovijim definicijama Hidrologije nailazi se na njena istorijsku, socijalnu, pa i političku ulogu. To je delom rezultat činjenice da univerzalna teorija Hidrologije ne postoji, a kako stvari stoje teško da će ikada biti strogo formirana, jer se gotovo iz dana u dan interes za korištenje hidroloških dostignuća širi na sve naučne discipline, sve više i na one humanističke. Dešava se jedan čudan fenomen. Kako Hidrologija postaje sve prisutnija to rezultira njenom sve manjom individualnošću i prepoznatljivošću. Želja i potreba da ona sudeluje u rešavanju najrazličitijih problema rezultira brojnim kontraverzama. Dešava se ono što je donekle razumljivo. Druge naučne i praktične discipline neretko koriste Hidrologiju i njena dostignuća kao nešto usputno i bez dovoljnog razumevanja.

Kao rezultat činjenice što je njen interes fokusiran na vodu, Hidrologija ima jedinstvenu ulogu u sastavu nauka o Zemlji (geonauka, geofizičkih nauka). Ona povezuje brojne naučne discipline u kojima voda igra manje ili više značajnu ulogu, a prije svega: (1) Meteorologiju; (2) Klimatologiju; (3) Geomorfologiju; (4) Pedologiju; (5) Geologiju; (6) Ekologiju, itd.

U današnje vreme politika i pravo postali su izrazito zainteresovani za hidrološka dostignuća, posebno ona vezana s upravljanjem graničnim i prekograničnim vodnim resursima (organizacijom obrane od poplava, crpljenjem vode iz vodonosnika koji dele više država, upravljanje rečnim tokovima koji prolaze kroz više država, itd.). Sredstva javnog informiranja u kritičnim situacijama (poplave, suše, pojave klizišta, itd.) uglavnom senzacionalistički izveštavaju o njima tražeći krivca. To nažalost ne pridonosi podizanju značenja uloge Hidrologije, već zbog senzacionalističkog pristupa događajima, stvara u javnosti sliku da se radi o neozbiljnoj i neodgovornoj raboti.

Prethodni navod ukazuje na univerzalni značaj Hidrologije, ali ujedno snažno utiče na činjenicu da ju je sve teže odrediti, tj. odvojiti u odnosu na ostale nauke, što ponekad dovodi u pitanje i njenu naučnu nezavisnost. Dešava se da je Hidrologija prisutna svuda, a da malo gde ima vodeću ulogu, te da se s njom bavi mnogi (zvani i nažalost sve češće - nezvani). To ponekad rezultira neželjenim posledicama. Time su svi na gubitku, a prije svih inženjerska praksa.

Bez obzira na sve izneseno, bazični hidrološki koncept, ali i praktični kao i teoretski interes, vezan je sa ciklusom kruženja vode na Zemlji (*Sutcliffe, 2004*). Raznolikost pristupa tom konceptu je rezultat činjenice što ne samo različite grane Hidrologije, već danas i njeni sve mnogobrojniji korisnici tretiraju različite delove hidrološkog ciklusa shodno njihovim potrebama i interesima. Kao posledica toga postoje brojne podele Hidrologije po raznim kriterijima i prema potrebama raznih struka. Novo vreme nosi i nove podele. Ali, Hidrologija je ipak samo jedna. Insistiranje na posebnostima neće joj naškoditi.

Osnovni zadatak Hidrologije iscrpljuje se u izučavanju bilansa voda raznih prostora u različitim vremenskim jedinicama. Tu upravo i počinju njeni prvi veliki problemi, jer se radi o ekstremno složenoj problematici koja utiče na brojne procese koji s Hidrologijom nemaju direktan i uočljiv kontakt.

Jedan od nerešenih problema koji muče Hidrologiju je različit pristup razvoju teorijske i primenjene - Inženjerske hidrologije. Jaz među njima se produbljuje što nije dobro. Na razvoju teorijskih aspekata intenzivno se radi. Ne može se oteti utisku da su ti zaista veliki naponi dovoljno značajno pružili podršku rešavanju sve težih praktičnih vodnih problema savremenog sveta.

Ključ svake nauke je kako primeniti teoretske principe u praksi u cilju rešavanja konkretnih problema. Na 'diletantizam u Hidrologiji' upozoravao je Klemeš (1986.) još pred 30 godina. Radi se o jednom od najvećih mislioca u modernoj Hidrologiji, ali i najvećih kritičara smerova u kojima se Hidrologija razvija. Osobito je upečatljiv njegov rad o nepotrebnom filozofiranju i kompliciranju jedne bitne, ali jednostavne metode kao što je krivulja dvostruke mase, koja se koristi za potrebe dimenzioniranja veštačkih akumulacija (*Klemeš, 1979*). Impresivan je i njegov rad u kojem je naveo mišljenje o danas svugde prisutnom 'spasonosnom' konceptu analize rizika (*Klemeš, 2002*). Već sam naslov tog rada 'Analiza rizika - nepodnošljiva sposobnost obmanjivanja' govori o autorovom stavu prema savremenoj sve prisutnoj 'spasonosnoj' ideji analize rizika (posebno onih od poplava). O tom su konceptu napisane brojne knjige, održane još brojnije radionice i međunarodni skupovi, ali u stvarnosti nisu postignuti uočljivih rezultati. Radovi Vita Klemeša u kojima su iznesena ingeniozna upozorenja Hidrologiji i hidrolozima nažalost nisu bitno utjecala na poboljšanje stanja stvari.

Ovaj rad nema nameru da raspravlja o još jednom krucijalnom pitanju koje muči Hidrologiju, a to je: 'Koliko je ova nauka stara?' Pitanje izgleda nevažno, ali je u suštini bitno. Voda je uvek bila potrebna ljudima pa su oni zbog toga bili prisiljeni razmišljati o njoj i rešavati probleme koje je uvek nametala. U savremenoj Inženjerskoj hidrologiji (ne samo u njoj) važnu, globalnu ulogu u podizanju svesti i u obrazovanju hidrologa odigrala je knjiga štampana pre 50 godina (*Ven te Chow, 1964*). Bilo je kvalitetnih knjiga o Hidrologiji i pre, ali nijedna nije bila toliko interdisciplinarna i celovita kao ova. Radi se o delu u čijem su pisanju sudelovali praktično svi tada vodeći hidrolozi svijeta. Njena je najveće vrednost u tome što je na jednom mjestu sakupila teoretska i praktična saznanja u tom trenutku, te ukazala na potrebu interdisciplinarnog pristupa rešavanju problema vezanih s vodom. Red je da se spomene na njen pedeseti rođendan.

Posebno treba istaknuti ulogu UNESCO-a koji je tačno pred 50 godina, dakle 1965. godine, pokrenuo inicijativu pod nazivom 'International Hydrological Decade – IHD' (Međunarodna hidrološka dekada). Ova se inicijativa održala do danas te je prerasla u jednu od najvažnijih i najcenjenijih aktivnosti UNESCO-a u okviru 'International Hydrological Programme – IHP'.

Zahvaljujući njoj Hidrologija je dobila planetarno značenje koje daleko premašuje ulogu jedne geofizičke naučne discipline. Zalaganjem IHP UNESCO-a Hidrologija je ušla u direktnu vezu s planetarnim socijalnim, društvenim, humanitarnim i političkim procesima. To je delom i razumljivo stoga jer je voda uvek igrala bitnu ulogu u razvoju civilizacije, a ta je njena uloga danas intenzivirana činjenicom da su potrebe za njom i sukobi oko nje sve veći. Međutim, taj je trend uticao donekle i na gubljenje identiteta Hidrologije, što nije dobro.

### 3. OSNOVNE HIDROLOŠKE DILEME I STRANPUTICE

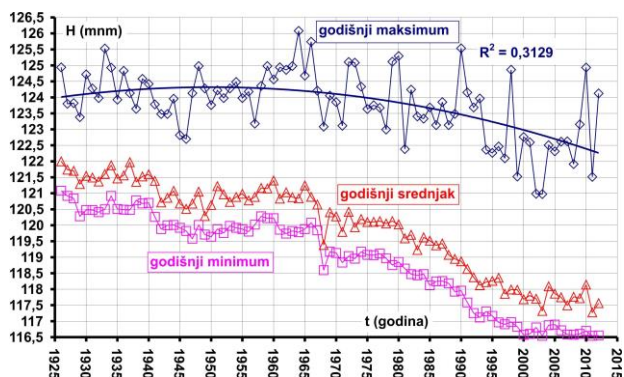
U prethodnom poglavlju bilo je ukazano da jedan od bitnih problem savremene Hidrologije predstavlja sve veći raskorak između razvoja teorije i potreba prakse. Čini se da to nije isključivo problem Hidrologije već i savremene nauke. Kako stvari sada stoje raskorak se povećava. Teorija se snažno razvija, ali ne daje, čak se previše i ne trudi da da, odgovore koji su potrebni praksi. Ona se uglavnom iscrpljuje u pokušaju izrade globalnih i tzv. opšte važećih modela. Taj proces ima određene sličnosti s traženjem kamena mudraca tokom Srednjeg veka. S druge strane, merenja je nedovoljno, čak i u slučaju planiranja veoma značajnih objekata. Njih investitori smatraju skupim, a predstavljaju i 'gubljenje vremena'. Gotovo se čini da savremenoj kompjuterski orijentisanoj nauci, a osobito nadobudnim mladim naučnicima, podaci mereni na terenu i nisu potrebni. U naučnim krugovima sve se češće čuje misao (za sada kao crni humor): 'Nama ne trebaju podaci. Mi imamo model.' O modelima će biti govora u sledećem poglavlju.

Pre nešto više od 50 godina Hidrologija se u bivšoj zajedničkoj državi (ali i šire) gotovo isključivo predavala na građevinskim fakultetima kao jedan ne baš previše cenjeni predmet. U to doba se Hidrologija najčešće koristila kao nužna (ali ne i previše potrebna) podloga za izgradnju hidroelektrana. Stvari su se počele menjati kako su se počeli javljati različiti problemi vezani s vodom. U tom smislu poplava grada Zagreba u oktobru 1964. povodnjom Save (a potom i brojne druge poplave) predstavljala su snažan poticaj da se Hidrologiji posveti veća pažnja.

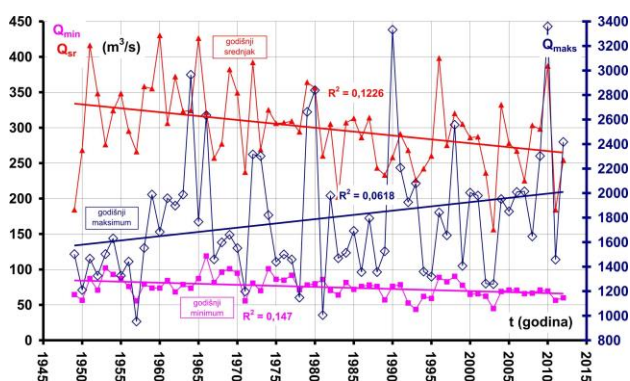
Tada je u Inženjerskoj hidrologiji naglasak bio na definisanju krivih protoka, krivih trajanja i učestalosti, srednjih i ekstremnih godišnjih protoka uglavnom velikih i srednjih rijeka, verovatnoći pojave velikih voda, itd. Od klimatoloških parametara padavinama se posvećivala nešto veća pažnja nego npr. temperaturama vazduha ili vlažnosti vazduha. Godišnje padavine su se koristile u tzv. Kellerovoj formuli (danas nepravedno zanemarenoj) u kojoj se srednji godišnji protok analizirao u zavisnosti od godišnjih padavina na sliv.

Pojavom već spomenute knjige Ven te Chow-a (1964.) u Hidrologiju je na ovim prostorima, ali i mnogo šire, na otvorena vrata ušla nauka Statistika. Velike vode i poplave analizirane su primenom različitih vrsta krivih raspodela. Tada se verovalo da je pristup velikim vodama i poplavama korištenjem metoda verovatnoće pravo i spasonosno konačno rešenje. No ubrzo se pokazalo da nizovi maksimalnih (ali i drugih godišnjih hidroloških parametara) protoka i vodostaja nisu ni homogeni niti stacionarni, te da su pod stalnim i nekontroliranim antropogenim utjecajima.

Primeri za to dati su na slikama 1 i 2 (*Bonacci i Oskoruš, 2013*). Na slici 1 prikazani su nizovi minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih vodostaja Save kod Podsuseda u razdoblju 1926.-2012., dok su na slici 2 prikazani nizovi minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka Save kod Podsuseda u razdoblju 1949-2012 s ucrtanim pravcima linearnih trendova i koeficijentima linearne korelacije. Uočava se da svi karakteristični godišnji vodostaji i protoci pokazuju trend opadanja, osim maksimalnih godišnjih protoka, koji su, ujedno, i kritični sa stanovišta obrane od poplave grada Zagreba. Na vodomernom profilu Podsuseda na reci Savi, ali i na deonicama i slivu Save uzvodno i nizvodno - u drugoj polovini dvadesetog veka izvršeni su brojni veći i manji zahvati koji su uticali na ovakvo hidrološko ponašanje. Primena bilo koje statističke ili numeričke metodologije za objašnjavanje ovih procesa ne može biti od velike pomoći. U svetu danas gotovo da i nema reke ili bilo kojeg drugog vodnog tela (jezera, podzemnog vodonosnika, itd.) na kojem nisu izvršeni zahvati koji su drastično promenili njen hidrološki režim. Pri tome treba biti objektivan te reći da su svi oni bili izvršeni s ciljem poboljšanja stanja, a da su posledice neretko bile značajno pogoršanje prirodnog stanja stvari.



Slika 1. Nizovi minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih vodostaja Save kod Podsuseda u razdoblju 1926-2012



Slika 2. Nizovi minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka Save kod Podsuseda u razdoblju 1949-2012 s ucrtanim pravcima linearnih trendova i koeficijentima linearne korelacije

Savremena Hidrologija je u poslednjih pedesetak godina pokušala (sa velikom nadom u uspeh) primeniti sve nove koncepte, metodologije, tehnologije, itd. Kao primjer navodi se primena: (1) metoda operativnog istraživanja (linearnog i dinamičkog programiranja, itd.); (2) 'fuzzy' metoda; (3) 'neural network' postupaka; (4) planiranja eksperimenta; (5) 'Wavelt' analize; (6) koncepta determinističkog haosa; (7) veza s ekološkim procesima; (8) statističke, geostatističke i numeričke metodologije (Kalmanov filter, ARMA, ARIMA, ARMAX itd.); (9) GIS tehnologije; (10) Teorije sistema; (11) Teorije rizika, itd. Nadanja u postizanje 'revolucionarnih' pomaka u hidrologiji su bila velika, ali postignuti rezultati nisu bili na nivou očekivanja. Sve navedeno i ponešto što nije navedeno pomaže i ubrzava rešavanje nekih praktičnih problema, ali nije suštinski unapredilo Hidrologiju.

Neprocenjivu dobit za praktičnu, ali i za teoretsku Hidrologiju bile su nove tehnologije merenja kao npr.: (1) ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler); (2) lidar; (3) sonar; (4) radar; (5) diver, itd. Radi se u biti o modernoj verziji hidrometrijske letve, hidrometrijskog krila i kišomera. Oni pružaju mogućnost nezavisnog, kontinuiranog i relativno jeftinog merenja bitnih hidroloških parametara. Merenja predstavljaju osnovicu za stvaranje i potvrdu vrednosti modela. Samo se na osnovi pouzdanih i dugotrajnih merenja mogu doneti zaključci o stvarnom intenzitetu promena, njihovom uzroku i zatim o načinu delotvornog odgovora na njih.

#### 4. MODELI

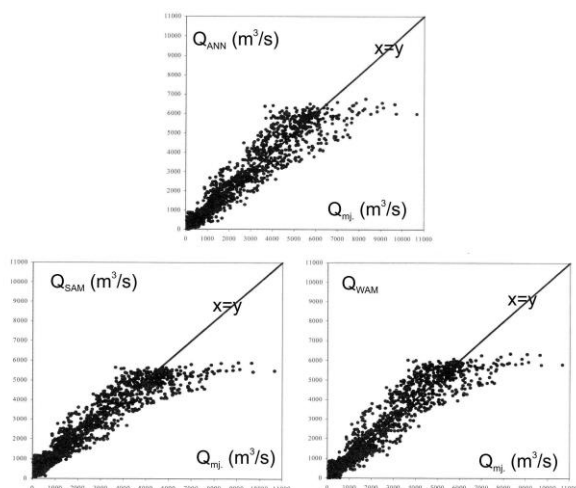
Uloga modela u Hidrologiji je rešavanje jednačina koje opisuju hidrološke, meteorološke i biološke procese na površini terena u litosferi, atmosferi i biosferi, sa ciljem da se predvide karakteristična ponašanja u budućnosti na osnovi inicijalnih opažanja. Već iz same definicije je vidljivo da se radi o krajnje složenom i interaktivnim procesima čije međuzavisnosti nisu dovoljno poznate. Ključnu ulogu igraju raspoloživa hidrološka opažanja, ali i ona klimatološka i biološka (osobito geografska, vegetacijska i pedološka). Pri tome je ceo složeni interaktivni proces vrlo često i nepredvidivo destabilizovan neretko nepoznatim antropogenim uticajima. Kad se razmišlja o hidrološkim procesima treba biti svestan činjenice koliko oni i njihove interakcije utiču na mogućnost tačnog hidrološkog modeliranja.

U praksi (a osobito kod laika) je stvoreno pogrešno predubedenje da modeli služe za pouzdanu prognozu procesa. Neretko ih tretiraju kao apsolutne istine koje služe za potvrđivanje ili odbacivanje, tj. za donošenje ključnih odluka. To je potpuno pogrešan pristup modelima, koji je jednim delom, nažalost, rezultat obrazovanja na univerzitetima. Kao posledica toga stvari koje su trebale da budu pomoć i alat postaju važniji od suštine.

Predviđanje može biti pouzdano samo ako je zasnovano na determinističkim osnovama, koje su u geofizičkim procesima retki. I najbolji do sada razvijeni modeli imaju brojne nedostatke koji onemogućavaju tačno predviđanje razvoja procesa. Rezultati modela, posebno onih složenih tretiraju se kao konačna istina. Najčešće se dešava da život takve istine brzo demantuje, ali je potrošeno mnogo vremena i sredstava. Modeli moraju biti povezani s realnošću. Razvoj procesa proračuna u mnogim današnjim složenim modelima (ne samo hidrološkim već mnogo više u drugim naukama, a

osobito u Meteorologiji), teško je pa čak i nemoguće kontrolisati. Među velike i do sada nedovoljno pouzdana rešene probleme kod modeliranja spadaju: (1) neproverljivost modela ('unfalsifiability'); (2) prenošenja podataka na veće i manje merilo prostora i vremena ('upscaling and downscaling'); (3) izbegavanje efekta leptira<sup>1</sup> ('butterfly effect'), itd.

Bez obzira na sve prethodno izneseno Hidrologiji su potrebne sve vrste modela i modeliranja. Treba samo shvatiti da oni nisu 'lek za sve bolesti', već samo manje ili više koristan alat. Njihovim objektivnim korištenjem te korektnom interpretacijom putem njih dobijenih rezultata moguće je ubrzati i objektivnijim podržati proces odlučivanja.



Slika 3. Rezultati tri hidrološka modela protoka reke Beli Nil na profilu Eddiem (Sudan)

Na slici 3 dat je primer primene tri različita modela za modeliranja protoka Bijelog Nila na vodomeru Eddiem (Sudan). S tri različita modela definisani protoci,  $Q_{ANN}$ ,  $Q_{SAM}$ ,  $Q_{WAM}$ , naneseni su na ordinatu, dok su merene vrednosti prikazane na osi apscise,  $Q_{mj}$ . Iz prikaza na ovoj slici jasno se vidi da svi korišteni modeli, bez obzira na njihovu složenost, daju slične rezultate, te da nisu sposobni pouzdano modelirati pojavu ekstremnih protoka većih od  $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ . A upravo ti protoci su najinteresantniji za odbrane od poplava i analize velikih voda. Modeliranje ekstremnih nestacionarnih

geofizičkih procesa uvek predstavlja poseban izazov koji do sada nije zadovoljavajuće rešen.

Svaki pokušaj primene savremenih koncepata i metodologija u Hidrologiji, kao i postupke modeliranja generalno treba podržati, ali nikako ne na štetu zapostavljanja njenih klasičnih i proverenih metoda i postupaka. O tome govori činjenica da su vodni problemi, pa čak i velike katastrofe vezane s vodama sve češće, sve razornije, te da pogađaju čak više bogate i razvijene (koje koriste i razvijaju najbolje i najsloženije modele) nego nerazvijene zemlje. Taj raskorak, i na prvi pogled besmisleni trend, teško je objasniti. Očito je, ipak, da put kojim ide savremena Hidrologija ne daje dovoljno dobre odgovore na izazove savremenog sveta.

## 5. KLIMATSKE PROMENE - GLOBALNO ZAGREVANJE - HIDROLOGIJA!?

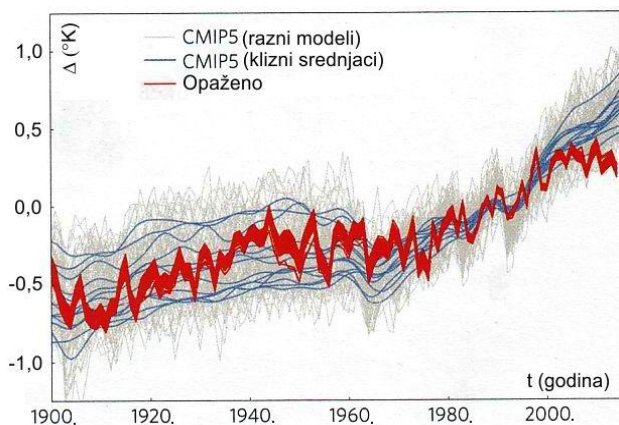
Glavni ulaz u ciklus kruženja vode u prirodi (hidrološki ciklus) predstavljaju padavine. One su, ujedno, i jedan od osnovnih parametara klime. IPCC (2013) nas uverava da se nalazimo u fazi drastičnih klimatskih promena, tj. da se planeta globalno zagreva i to pod dominantnim uticajem antropogene emisije gasova staklene bašte (GHG). Promena klime prvenstveno će uticati na hidrološke promene na svim nivoima, tj. globalno, regionalni i lokalno. Ako se stvarno radi o globalnom zagrevanju može se očekivati da će hidrološki ciklus biti značajno destabiliziran i bitno promenjen, što Hidrologiji nameće obavezu da shvati suštinu i snagu promena, te nađe delotvorne odgovore na izazove koje je čovek uzrokovao.

Kao uostalom i u svim porama života i u Hidrologiju javni mediji preuzimaju dominantnu ulogu koristeći senzacionalistički pristup. U poslednjih par decenija poplave i suše povezuju se sa klimatskim promenama. Globalno zagrevanje uzrokovano antropogenom emisijom GHG doslovno se okrivljuje za sve ekstremne pojave na planeti. Globalno zagrevanje postala je nova religija. Skeptici se proglašavaju nezalicama, negativnim i neodgovornim ljudima koji koče borbu protiv globalnog zla. Ozbiljnim naučnicima sa snažnim naučnim argumentima teško je često i nemoguće objaviti članak u kojem se samo želi argumentovano raspravljati o postulatima IPCC-a. Knjiga Marcela

<sup>1</sup> Efekat leptira je termin korišten u Teoriji haosa, koji opisuje kako male varijacije mogu da utiču na velike i kompleksne sisteme kao što je vreme. Često se koristi kao metafora da naizgled i male promene koje se smatraju navažnim ('mahanje krila leptira') mogu uticati na vreme na nekom drugom kraju sveta.

Leroux-a (2005) u kojoj se detaljno i naučno argumentovanih i sa skepsom raspravlja o konceptu globalnog zagrevanja je zanemarena. U nedostatku argumentiranih odgovora na pitanja koja postavlja on i ostali tzv. 'skeptici' koriste - prećutkivanje. Ignorisanje i podcenjivanje nećijih stavova nije metoda naučnog dokazivanja svojih stanovišta. Kad se u nauci na bilo koji način guši kritičko razmišljanje i slobodno iznošenje misli nauka se pretvara u dogmu i ne služi svojoj osnovnoj svrsi.

Primer da se informacijama koje ne potvrđuju 'apsolutnu IPCC-ijevu istinu' o globalnom zagrevanju ne pridaje dovoljna važnost dat je na slici 4. Na njoj su ucrtani opažene i raznim modelima izračunate vrednosti srednjih godišnjih temperatura vazduha na Zemlji u razdoblju 1900-2014 (Roberts i sar., 2015). Uočava se da već posljednjih dvadesetak godina nema trenda porasta srednjih godišnjih temperatura vazduha. Nastupilo je nekakvo čudno zatišje o kojem je javnost informirana isključivo u vrhunskim naučnim časopisima (a tko njih čita?). Modeli pokazuju snažni trend porasta, a činjenice ih ne slede.



Slika 4. Opažene i raznim modelima izračunate vrednosti srednjih godišnjih temperatura vazduha na Zemlji u razdoblju 1900-2014

Temperatura vazduha na površini terena, merena u meteorološkim zaklonima (raznim instrumentima i menjanim tokom vremena) na visini 2 m (ne u svim državama svijeta) iznad površine terena ključna je varijabla za opažanje, karakterisanje i modeliranje klime i vremena. Njena srednja mesečna vrednost određivala se dugo vremena, a u nekim se zemljama još uvek tako radi, računanjem proseka dnevnih maksimalnih i minimalnih temperatura tokom razmatranog meseca. Ta je metoda bila opšte korištena stoga jer je svaki

meteorološki zaklon bio opremljen sa tzv. maksimalnim i minimalnim termometrima, a termometri za kontinuirano merenje (do nedavno beleženje na traku) temperature su bili retki i skupi. Tako izračunata vrednost razlikuje se od stvarne srednje mesečne temperature. Stvarna i tačna srednja mesečna temperatura može se odrediti jedino integriranjem kontinuirano merenih temperatura vazduha, i deljenjem sa trajanjem perioda integracije. Analize su pokazale da se zadovoljavajući tačna vrednost srednje dnevne temperatura može izračunati korištenjem satnih podataka, tj. sumiranjem temperatura vazduha za 24 sata i deljenjem ove sume s brojem sati u danu (24 sata).

U većini zemalja Europe se srednja dnevna temperatura vazduha, a time i srednjaci za sve ostale vremenske jedinice (mesec, sezonu, godinu) računa sledećim izrazom u kojem se koriste temperature zraka izmjerene u 7 sati,  $T_{7h}$ ; u 14 sati  $T_{14h}$ ; i u 21 sat,  $T_{21h}$ :

$$T_{sr} = T_1 = (T_{7h} + T_{14h} + 2 \times T_{21h}) / 4 \quad (1)$$

U nekim državama na severu Europe umesto 14h koristi se temperatura izmerena u 13h. U drugim državama sveta koriste se različiti izrazi za merenje srednjih dnevnih temperatura vazduha, a time i srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha.

U radu (Bonacci, 2012) na bazi analize 67 nizova srednjih godišnjih temperatura na mernim stanicama u zemljama bivše SFRJ konstatovan je na 51% stanica statistički značajan porast u zadnje dve decenije 20. veka, prosečno za  $0,807^{\circ}\text{C}$ . Međutim, to je otvorilo vrlo važno pitanje metodologije računanja srednjih temperatura. Bonacci i saradnici (2013) su izračunali razlike dnevnih, mesečnih i godišnjih temperatura dobijene primenom formule (1), pa su ih uporedili sa tačnim srednjim dnevnim temperaturama osrednjenim na osnovi 24 satnih opažanja temperature vazduha u razdoblju od 1999. do 2011. Vrednosti tačnih srednjih dnevnih (i za ostale vremenske jedinice) temperatura vazduha označene su s  $T_0$ . Ovi su proračuni izvršeni za sledeće tri stanice: (1) Zagreb-Grič (kontinentalna klima: 157 mm); (2) Zavižan (planinska klima: 1594 mm); (3) Dubrovnik (mediteranska klima: 49 mm). Službene vrednosti koje izdaje Državni hidrometeorološki zavod računaju se izrazom (1) i označene su kao  $T_1$ . Najveće se razlike javljaju kod srednjih dnevnih temperatura te se kreću od  $-2,35^{\circ}\text{C}$  (znači da je  $T_0 < T_1$ ) do  $+3,56^{\circ}\text{C}$  (znači da je  $T_0 > T_1$ ). Razlike u srednjim mesečnim vrednostima su manje te se kreću od  $-0,40^{\circ}\text{C}$  do  $+0,79^{\circ}\text{C}$ , dok se godišnje razlike kreću između  $-0,19^{\circ}\text{C}$  i  $+0,30^{\circ}\text{C}$ . Za Zagreb-Grič tačne

srednje godišnje temperature,  $T_0$ , uvek su niže (prosječno  $0,14^{\circ}\text{C}$ ) od onih koje se određuju izrazom za  $T_1$ , dok je na Zavižanu (prosječno  $0,09^{\circ}\text{C}$ ) i u Dubrovnik (prosječno  $0,24^{\circ}\text{C}$ ) situacija obrnuta, tj. tačne srednje godišnje temperature vazduha  $T_0$ , više su od onih određenih izrazom (1), što je moguće uočiti sa slike 5. Ne radi se o zanemarivim razlikama ako se uzme u obzir da bi temperatura vazduha po globalnim cirkulacijskim modelima trebala u sto godina porasti između  $1^{\circ}\text{C}$  i  $4^{\circ}\text{C}$ .

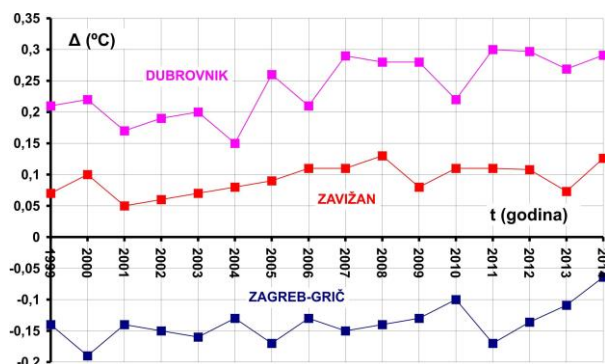
U SAD-u, Kanadi i većini Sjeverne Amerike se srednja dnevna temperatura,  $T_{sr}$ , određuje kao prosek između maksimalne i minimalne dnevne temperature:

$$T_{sr} = T_2 = (T_{max} + T_{min})/2 \quad (2)$$

Na slici 6 dat je grafički prikaz razlika srednjih mesečnih temperatura vazduha izračunatih izrazom:

$$\Delta = T_0 - T_2 \quad (3)$$

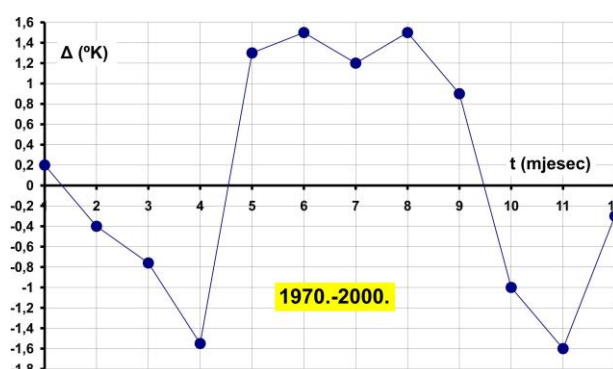
za stanicu Churchill-Manitoba (Kanada) za razdoblje 1970-2000 (Gough i Dinaze He, 2015). Uočava se da su u hladnom razdoblju godine razlike bitno drugačije od onih u toplom razdoblju (od maja do septembra). Autori tu razliku objašnjavaju uticajem magle koja se javlja jednim delom dana.



Slika 5. Razlika,  $\Delta = T_0 - T_1$ , srednjih godišnjih temperatura vazduha za period 1999-2011 na tri stanice u Hrvatskoj između tačnih srednjih godišnjih temperatura,  $T_0$ , i onih sračunatih izrazom (1),  $T_1$ , koji predstavlja službeni podatak koji se koristi za klimatske modele

Xubian Zeng i Aihui Wang (2012) smatraju da je korištenje srednjih mesečnih podataka temperature vazduha određenih preko ekstremnih dnevnih temperatura,  $T_2$ , (izrazom (2)) odigralo svoju istorijsku ulogu, i da ti podaci predstavljaju stvar prošlosti. Čini se

da su rezultati izneseni u prethodna dva rada, čiji je samo jedan dio prikazan na slikama 5 i 6, u celosti pružili podršku njihovom predlogu. To znači da oni moraju biti zamenjeni onim dobijenim osrednjavanjem 24-satnih merenja. Ali, kako je i da li je to uopšte moguće ostvariti u praksi? Od osobite je važnosti tačnost podatka,  $T_0$ , koji se koristi prilikom modeliranja klime. Danas se u klimatskim modelima koriste srednje temperature vazduha određene onako kako ih računa pojedina država. Modelira se s podacima koji su nehomogeni ili tačnije rečeno, koji su netačni i neuporedivi. Čudno je da to ne brine 'modelare' kada izvlače zaključke sa velikom strateškom težinom.



Slika 6. Razlika  $\Delta = T_0 - T_2$ , srednjih mesečnih temperatura vazduha za stanicu Churchill-Manitoba (Kanada) za razdoblje 1970-2000 (Gough i Dinaze He, 2015). Napominje se da vrednosti  $T_2$  predstavljaju službeni podatak koji se koristi kod klimatskih modela

Postoji tendencija da se svakoj poplavi ili suši koja se pojavi bilo gde na planeti pripiše da je uzrokovana globalnim zagrevanjem. Takav način razmišljanja nije naučno prihvatljiv i neće pridoneti rešavanju problema. Čini se da se radi o mnogo složenijim procesima. U nastavku biće izneseno pet recentnih slučajeva kojima se isključivo želi dati primer da je promene ili varijacije klime teško jednoznačno objasniti 'okrivljavajući' za to isključivo globalno zagrevanje uzrokovano antropogenom emisijom GHG.

(1) Overland i sur. (2008.) upozorili su na dva lica klimatskih promena. Dok se zaleđena morska površina na Arktiku značajno smanjivala na Antarktiku je na 10 klimatoloških stanica uočen statistički značajni trend snižavanje temperatura vazduha, na dve nisu opažene nikakve promene, a samo na dve, i to na severozapadnom rubu, opažen je statistički značajan trend porasta temperatura vazduha.



(2) Dana 13. decembra 2013. pao je sneg u Egiptu, prvi put u poslednjih 112 godina. Sneg je pokrio veliko područje Srednjeg istoka i celi grad Kairo.

(3) U decembru 2013. na Antarktiku (tada je na južnoj hemisferi leto) led je bio neuobičajeno debeo tako da su ga morali probijati najjači ledolomci [27].

(4) Prve nedelje januara 2014. bio je jedan od najhladnijih u istoriji merenja u SAD-u, ali najtoplijih na područje zapadnog Balkana.

(5) Krajem aprila 2014. godine 23% jezera Huron, 10% jezera Michigan i 51% jezera Superior bili su pokriveni ledom. Prije 2014. godine najveći postotak pokrivenosti ledom na jezeru Superior u iznosu oko 30% zabeležen je 1979. godine. U to vreme ledeni pokrov na drugim velikim jezerima bio je vrlo tanak, ili ga uopšte nije bilo. Tokom 40 godina dugog razdoblja osmatranja na Velikim jezerima, krajem aprila nije zabeležen iole značajniji ledeni pokrov na jezerima Michigan, Erie i Ontario. Led se u to vreme jedino javljao na jezeru Huron (*Clites i sar., 2014*).

Zanemaruje se činjenica da klimatski modeli nisu rađeni za to da prognoziraju vreme. Njihova je uloga da predvide razvoj nekih statističkih karakteristika vremena kao što su srednje godišnje vrednosti i varijanse nekih klimatskih parametara, pre svega temperatura vazduha.

I na kraju rasprave o klimatskim promenama i uticaju na Hidrologiju treba uzeti u obzir da one ne uzrokuju nužno i samo negativne posledice. Klima je uvek varirala u izvesnom rasponu, a promene se dešavaju decenijama i milenijumima. Ljudi i ostala bića se prilagođavaju na njih ili nestaju. Promene uzrokovane povećanjem koncentracije GHG u atmosferi mogu imati određene posledice koje se mogu smatrati negativnim, ali u nekim područjima će doći do poboljšanja klime. Na kontinentalnim površinama na severu klima će postati blaža, a vegetacijsko razdoblje će se produžiti. Biće dobitnika i gubitnika. Moguće je prilagoditi se na sve promene, posebno ako će one biti polagane. Drugim rečima, ključno je pitanje veličina i trajanje promena, možda više od same prirode nove klime. U tom smislu je pogrešan pristup smatrati da klimatske promene moraju biti isključivo negativne.

Živimo u vremenu u kojem nas prvenstveno mediji, potaknuti brojnim stručnjacima vrlo agresivno uveravaju u to da se klima, a s njom i sve ostale komponente bitne za održivi razvoj života na planeti Zemlji drastično brzo i u krajnje opasnom smeru

menjaju. Pri tome čoveka prozivaju kao glavnog, često i isključivog, krivca za takvo negativno i dugoročno gledano neodrživo stanje. Posebno se insistira na postojanju opasnog procesa globalnog zagrevanja planete uzrokovanog tzv. efekta staklenika. Neki zaključci ključni za budućnost čovečanstva kao da su već doneseni, a da nezavisna i nazovimo je 'čista' nauka, neopterećena bili čijim političkim ili ekonomskim interesima, nije do sada niti shvatila suštinu problema, a najmanje je dala definitivne i pouzdane odgovore koji bi omogućili donošenje bitnih zaključaka.

Čovek je svojim radom uticao na mnoge promene na planeti, ali se a priori ne može zaključiti da je i odgovoran baš za sve negativne posledice koje su one izazvale. Međutim, ostaje i dalje potpuno otvoreno pitanje koliko je čovek stvarno kriv za promene i negativne trendove koji se neosporno javljaju na Zemlji, a i veliko je pitanje da li su sve promene koje se svrstavaju u negativne doista i samo negativne, te da li bi se one desile i bez njegovog uticaja. Klima se i do sada tokom geološke prošlosti kao i u novijoj istoriji često i značajno menjala na Zemlji. Problem je da naša saznanja o tome kako, koliko i gde se ona stvarno menjala nisu pouzdana, jer nisu zasnovana na direktnim merenjima. Jedino što je sigurno je da promene klime do ove poslednje nisu bile uzrokovane antropogenim činiocima. Pred samo nešto više od 20 hiljada godina, dakle u geološkom smislu nedavno, završilo se poslednje ledeno doba i započelo je zagrevanje naše planete, sa posledicom podizanja nivoa mora za preko 120 m. U tom vremenu antropogeni uticaji nisu postojali.

Analiza globalnih klimatskih promena je danas jedna od nauka koje se najbrže razvijaju, ali ujedno i jedna od najkompleksnijih kojom se nauka do danas bavila. Proći će još mnogo vremena dok se shvati klimatski sistem planete do te mere da se bude mogao pouzdano modelirati. Zbog toga je potrebno kontinuirano provoditi intenzivna istraživanja kako bi se moglo shvatiti klimatski sistem Zemlje. U međuvremenu treba pomoći najugroženijim delovima planete i ljudima u tim delovima da se prilagode na rizike koje im pruža priroda bez obzira na to da li su oni uzrokovani klimatskim promenama [28].

## 6. EKOHIROLOGIJA

Život na Zemlji zavisi od vode već 3,5 milijarde godina od kad su se na planeti pojavili prvi jednostanični organizmi koji su trošili energiju, rasli i reprodukovali se. Od tog vremena do vrlo bliske geološke istorije

postojala je ravnoteža između potreba za vodom živih organizama i vode koja im je stajala na raspolaganju. Ljudska se vrsta na planeti pojavila pred više od 200 hiljada godina. Pred oko 10 hiljada godina ljudi su razvili kameno oruđe, naučili uzgajati vlastitu hranu umesto sakupljanja, i počeli su se kretati po velikim prostranstvima. U poslednjih 200 godina broj ljudi na Zemlji raste po eksponencijalnom zakonu. Uz povećani broj stanovništva Zemlje oni su počeli trošiti znatno više hrane i posebno vode. U poslednjih 100 godina svetska populacija se utrostručila, a potrošnja vode od strane čovečanstva se povećala šest puta. Danas se oko pola raspoložive slatke vode koristi za ljudske potrebe, što je dvostruko više nego pred samo 35 godina.

Uloga vode, a sa njom i Hidrologije u budućnosti biće sve značajnija. Na to ukazuje i rad Constaze i sar. (2014) koji se kao ekonomisti zalažu da se napusti bruto nacionalni dohodak („Gross Domestic Product“ – GDP) kao ključni mera i pokazatelj rasta i razvoja društvenih zajednica. Oni zameraju GDP-u da isključivo vodi računa o ekonomskom razvoju bez ikakvog uzimanja u obzir drugih važnih činioca održivog progressa, a pre svega ekoloških vrednosti. Pri tome se posebno naglašava uloga vode u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja.

Čovečanstvo uglavnom zna koliko vode troši u koje svrhe, ali nažalost, nedovoljno zna i ne vodi računa koliko vode je potrebno životnoj sredini, tj. ekosistemima da bi im se osigurao održivi razvoj. U tom smislu nauka pokušava da nađe konkretne i pouzdane odgovore razvojem novih multi-, inter- i transdisciplinarnih nauka. Jedna od njih, koja se možda najbrže razvija, je Ekohidrologija. Istine radi taj razvoj je uglavnom u teoretskom domenu, sa za sada nedovoljnim praktičnim dostignućima.

Ekohidrologiju je moguće shvatiti i kao 'neinženjersku' Hidrologiju razvijenu iz hidrologije šuma, životne sredine, vlažnih prostora, krajolika, jezera, priobalnih područja, itd. Njena kompromisna definicija, koja bi mogla biti prihvatljiva od brojnih delova naučne zajednice, mogla bi biti sledeća: 'Ekohidrologija je nauka koja integrira hidrološke procese sa dinamikom živih organizama u raznim prostornim i vremenskim merilima'.

Ekohidrologija je u ranoj fazi formiranja. Upravo stoga ona pruža brojne naučne izazove i mogućnosti za uzbudljiv, teško predvidljiv i dinamičan razvoj. Ona ima potencijal da omogući naučnicima pronalaženje održivih i sa 'prirodom prijateljskih' rešenja za brojne

probleme vezane s kvalitetom vode, sušama, poplavama i zagađenjima sa ciljem osiguranja razvoja životne sredine i civilizacije.

Integracijom Ekologije i Hidrologije želi se stvoriti novo i delotvorno naučno oruđe za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Dosadašnje upravljanje vodnim resursima, vezano sa Hidrologijom čija je uloga bila sakupljanje i interpretacija podataka, bavilo se pokušajima otklanjanja pretnji koje nastaju usled poplava, suša ili zagađenja. Praksa je ukazala da takav pristup nije dovoljan. Uočeno je da se uspešna strategija mora sastojati od otklanjanja pretnji i osiguravanja mogućnosti za ljude i životnu sredinu.

Neophodno je osigurati jačanje otpornosti i pokretljivosti ekosistema na izazove koji se javljaju u ekstremnim, tj. stresnim situacijama. Bitni elementi takvog novog pristupa leže u ispunjavanju tri sledeće pretpostavke. Prva je da sistemi koje čovek gradi kao i njihovo upravljanje moraju uvažavati principe zaštite životne sredine. Druga je da rešenja moraju biti ekonomski realna, a time i ostvarljiva. Treća se nalazi u socijalnoj prihvatljivosti rešenja. Ovako složeni i ambiciozni ciljevi moći će biti postignuti ako se buduća istraživanja usmere na izučavanje zajedničkog funkcionisanja ekosistema slatkih voda sa hidrološkim procesima u svim merilima, uvažavajući pritom političke, socijalne i kulturne realnosti.

Interdisciplinarni istraživački naporu na integriranju ekoloških aspekata vode sa njenom fizičkom i socijalnom (društvenom) ulogom imaju dugu istoriju. U poslednjim decenijama razvija se ovaj odnos u novim smerovima duboko vezanim sa ekohidrološkim konceptom. Ključna briga Ekohidrologije su hidrološki procesi, a njihov uticaj su povratne sprege i ograničenja koja ekosistemima uzrokuju hidrološki procesi i antropogeni zahvati. Uloga vegetacije kao medijatora ulaza i bilanse vode tek treba da bude u celosti shvaćena. Razvoj ekohidrologije nosi različite, ali vrlo obećavajuće perspektive kako ekolozima tako i hidrolozima.

Harte (2002) se zalaže za sintezu Newtonovih i Darwinovih naučnih pristupa. On je uveren da će takva sinteza ponuditi mogućnost progressa na dodirnom području između Ekologije i Fizike na kojem se sve intenzivnije javljaju kritični kako teoretski tako i praktični problemi u naukama o Zemlji. Harte (2002.) argumentuje svoje stavove na sledeći način: 'Fizičari teže definisanju jednostavnih univerzalnih zakona. Ekolozi insistiraju na složenim međuzavisnostima.

Održiva budućnost naše planete vrlo verovatno će zahtevati pristup sa obe strane. Fizičari i ekolozi zasnivaju svoje koncepte na različitim intelektualnim tradicijama, što je posledica različitih sistema vrednosti koje istovremeno pokušavaju ostvariti i pojednostavljenja i univerzalnost. Kao teoretičar direktno angažovan na studijama Ekologije i globalnih promena bio sam neretko svedok nedelotvornosti rešenja kao posledice postojanja takve dvostruke tradicije.'

Jedan od najvažnijih praktičnih problema koji Ekohidrologija pokušava da reši već decenijama je definisanje ekološki prihvatljivog protoka. Za ovaj pojam postoje brojni nazivi kao na pr.: (1) Biološki minimum (veoma neprikladan izraz, koji je uzrok mnogih nesporazuma sa javnošću); (2) 'Environmental instream flow requirements'; (3) 'Ecologically acceptable flow'; (4) 'Environmental flow'; (5) 'Instream flow level', itd. Termin '*environmental flow*' odražava svojstva hidrološkog režima neophodnog da pruži podršku ekosistemima slatkih voda i estuarija, kao i sredstvima za život potrebnim ljudima (*Acreman i sar., 2015*). Metode za određivanje su brojne, a vrlo intenzivno se razvijaju nove. Bez obzira na sve napore problem je daleko od svog rešenja. Razlog tome leži u fizičkim faktorima otvorenih vodotoka i njihovih biološkoj raznolikosti. Gotovo da se može reći da je svaki vodotok slučaj za sebe. Razvijene su pogodne metode za određivanje ekoloških protoka za vodotoke na ovom području: GAP (*Đorđević i Dašić, 2011*) i MABIS (*Knežević i Đorđević, 2012*) koje omogućavaju da se uspešno (posebno ukoliko se obe metode koriste spregnuto) odrede neophodni protoci nizvodno od brana i vodozahvata u realnim hidrološkim, morfološkim i ekološkim uslovima. Posebno su osetljive analize malih voda u uslovima karsta. Neka istraživanja pokazuju (*Milanović i sar., 2012*) da se, ako se raspolaze dovoljno detaljnim dnevnim merenjima padavina, protoka i nivoa u pijezometrima, još tokom planiranja dovoljno pouzdano mogu sagledati uticaji planiranih sistema (sistem Gornji horizonti u Istočnoj Hercegovini) na režime malih voda na ekološki značajnim mestima u karstifikovanim sredinama.

Fizički činiooci otvorenih vodotoka bitni za biološki svet su: (1) karakteristike vodotoka (protok, brzina, dubina vode, sastav substrata korita i neposredno oko njega, granični slojevi); (2) područje ispod korita (hiporheički sloj); (3) temperatura vode; (4) kiseonik i ostali hemijski elementi.

Preporuke za određivanje 'instream flow level' uvek idu za tim da se odredi minimalni protok neophodan da omogući prolaz riba, da im osigura dovoljan životni prostor ('living space'), ili da osigura prihvatljivi nivo temperature vode, rastvorenog kiseonika, ili saliniteta (hemijskog sastava) vode u određenim tačkama ili deonicama vodotoka. Uparedo sa tim merama za očuvanje poželjnih ekoloških stanja vodotoka sve se više primenjuju 'naturalne' regulacije manjih vodotoka, pa te dve mere zajedno omogućavaju povoljne i ihtiološke i ambijentalne uslove u ekosistemu (*Jovanović, 2011*).

Treba biti svestan činjenice da je u mnogim područjima nauke vezanim s određivanjem 'environmental flow' naše razumevanje kompleksnih procesa ograničeno, što utiče na spori progres u ovom području. Odnos svih karakteristika procesa tečenje u vodotoku sa ekosistemom je složen, promenljiv i stoga teško shvatljiv. Da bi ga se bolje razumelo biće potrebno mnogo vremena i brojna intenzivna uporedna hidrološka i biološka merenja.

## 7. ZAKLJUČCI

Vratimo se na dva mota sa kojima je započet ovaj rad. Onaj drugi (čini se kao veći, plemenitiji, izazovniji, itd.) neće moći da bude ostvaren ako se ne nastavi vrlo intenzivan rad na ispunjavanju ciljeva koje u prvi plan stavlja prvi moto. Hidrologija će moći da pomogne rešavanju sve složenijih problema čovečanstva vezanih sa vodom samo ako bude intenzivno radila na izučavanju bilansu voda raznih veličina prostora i vremenskih jedinica. Hidrologija je zbog činjenice da se direktno bavi svim vidovima vode bila i ostala jedan od stubova razvoja civilizacije. Kako su potrebe za vodom kao i vodni problemi globalno, regionalno i lokalno sve veći - tako raste i potreba razvoja i primene Hidrologije.

Treba podržavati svaki pokušaj da se Hidrologija osavremeni i osnaži novim pristupima te primenom novih metoda i koncepta, ali uz uslov da ne zanemari ili napusti svoje osnovnu velike vrednosti i nezamenjivo važnu ulogu u porodici geofizičkih nauka, osobito pri rešavanju praktičnih problema i u šire shvaćenoj društvenoj zajednici. Potrebe realnosti vraćaju Hidrologiju na svoje pravo mesto u srž problema bez obzira na svesne i nesvesne zablude i skretanja. Hidrologija je previše važna da bi se njena osnovna uloga mogla zanemariti.

Vodni problemi na planeti postaju sve složeniji, sve intenzivnije utiču na globalne procese, što imperativno zahteva interdisciplinarni pristup rešavanju vodne problematike zasnovan na celovitosti i sveobuhvatnosti. U praksi se taj često i glasno ističani cilj retko postiže. Prečesto neko (danas sve više politika podržana medijima) pokušava dominirati na štetu drugih. Hidrologija je vrlo tolerantna i prilagodljiva nauka. Potrebna je uvek kad se vodni problemi u pitanju, ali se njeni zaključci nedovoljno cene i vrlo često zanemaruju, što rezultira brojnim i sve češćim negativnim pa čak i katastrofalnim posledicama.

Hidrologija je naučna i primijenjena disciplina koja se nalazi u fazi burnog razvoja i ima vlastite probleme koje mora sama razrešiti. Hidrologija u ovom trenutku previše brine da bude 'in', a posledica toga je da nedovoljno vodi računa o vlastitim bitnim zadacima. Jer, nažalost, čini se da savremena Hidrologija ponekad beži u 'imaginarni' svet analitike bez odgovarajuće podrške merenja. Bez podataka merenja i najsloženiji matematički modeli i analitički pristupi gube smisao i ne služe osnovnim ciljevima Hidrologije. Veliku odgovornost za to snose naučne institucije i univerziteti. Zato se Hidrologija mora vratiti svojoj suštini, svojim korenima. Analitičke metode, modeli, nove tehnologije moraju pomagati u ostvarivanju tog cilja, ali samo skladno uklopljeno u Hidrometriju, kao prouzročnik istraživanja voda. Vodomeri na Nilu iz vremena faraona i sada mogu da budu uzor odlično pripremljenog mesta za merenje.

Najveća nesigurnost i rizik kod upravljanja sistemima vodnih resursa unosi činjenica da se oni koriste kao stvar nad kojim glavnu ulogu igra politika. U toj i takvoj areni Hidrologija, ali i druge nauke, postaju nebitne. To je nažalost realnost savremenog svijeta koja svakodnevno rezultira velikim pogreškama, ali se i dalje uporno nastavlja.

## LITERATURA

- [1] Acreman, M.C., Overton, I.C., King, J., Wood, P.J., Cowx, I.G., Dunbar, M.J., Keady, E., Young, W.J. (2014): The changing role of ecohydrological science in guiding environmental flows. *Hydrological Sciences Journal* 59(3-4), 433-450
- [2] Bonacci, O. (2004): On the role of hydrology in water resources management. IAHS Publication, 285, 88-94
- [3] Bonacci, O. (2005): Sadašnje stanje i potrebe razvoja hidrologije. *Vodoprivreda* 37(216-218), s.163-173
- [4] Bonacci, O. (2012): Increase of mean annual surface air temperature in the Western Balkans during last 30 years. *Vodoprivreda*, N<sup>o</sup> 255-257, s. 75-90
- [5] Bonacci, O. (2015): Karst hydrogeology / hydrology of dinaric chain and isles. *Environmental Earth Sciences* 74(1), 37-55
- [6] Bonacci, O., Oskoruš, D. (2014): Analiza nekih hidroloških vidova evakuacije velikih voda na području grada Zagreba. *Hrvatske Vode* 22(87), 31-38
- [7] Bonacci, O., Željковиć, I., Šakić-Trogrlić, R., Milković, J. (2013): Differences between true mean daily, monthly, annual air temperatures and air temperatures calculated with three equations: a case study from three Croatian stations. *Theoretical and Applied Climatology* 114, 271-279
- [8] Clites, A.H., Wang, J., Campbell, K.B., Gronewold, A.D., Assel, R.A., Bai, X., Leshkevich, G.A. (2014): Cold water and high ice cover on Great Lakes in spring 2014. *EOS* 95(24), 305-312
- [9] Constanza, R., Kubiszewski, I., Giovannini, E., Lovins, H., McGlade, J., Picke, K.E., Ragnarsdóttir, K.V., Roberts, D., De Vogli, R., Wilkinson, R. (2014): Time to leave GDP behind. *Nature* 505, 283-285
- [10] Gough, W.A., Diance He. (2015): Diurnal temperature asymmetries and fog at Churchill, Manitoba. *Theoretical and Applied Climatology* 121(1-2), 113-119
- [11] Đorđević, B. i T. Dašić (2011): Određivanje potrebnih protoka nizvodno od brana i rečnih vodozahvata, *Vodoprivreda*, N<sup>o</sup> 252-254, s151-165
- [12] Harte, J. (2002): Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews. *Physics Today* 55 (10), 29-34
- [13] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The physical science basis*: Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 29 str.

- [14] Jovanović, M. (2011): Riblje staze u sklopu 'naturalnog' uređanja malih vodotoka. *Vodoprivreda*, N<sup>o</sup> 252-254, s.217-226
- [15] Klemeš, V. (1979.) Storage mass-curve analysis in a systems-analytic perspective. *Water Resources Research* 15(2), 359-366
- [16] Klemeš, V. (1986): Dilettantism in hydrology: transition or destiny? *Water Resources Research* 22(9), 177-188
- [17] Klemeš, V. (2002): Risk analysis: The unbearable cleverness of bluffing. U: Bogardi, J.J., Kundzewicz, Z.W. (urednici). *Risk, Reliability, Uncertainty and Robustness of Water Resources Systems*. Cambridge University Press, 22-29
- [18] Knežević, B. i B. Đorđević (2012): Metoda MABIS kao podrška pri određivanju ekološki prihvatljivih protoka, *Vodoprivreda*, N<sup>o</sup> 255-257, s. 25-42
- [19] Leroux, M. (2005): Global warming - myth or reality?: Earing ways of climatology. Springer Verlag & Praxis Publication, 510 str.
- [20] Milanović, P., R. Glišić, B. Đorđević, T. Dašić i N. Sudar (2012): Uticaj delimičnog prevođenja voda iz slivova Bune i Bregave u sliv Trebišnjice. *Vodoprivreda*, N<sup>o</sup> 255-257, s. 1-24
- [21] NRC (National Research Council) (1991): Opportunities in the hydrologic sciences. National Academy Press, Washington, USA
- [22] Roberts, C. D., Palmer, M. D., McNeall, D., Collins, M. (2015): Quantifying the likelihood of a continued hiatus in global warming. *Nature Climate Change* 5, 337-342
- [23] Sutcliffe, J.V. (2004): Hydrology: a question of balance. IAHS Special Publication 7, 200 str.
- [24] UNESCO & WMO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization & World Meteorological Organization), (1992.) International glossary of hydrology. WMO, Geneva, Suisse and UNESCO, Paris, France
- [25] Ven Te Chow (urednik) (1964): Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Book Company, 1467 str.
- [26] Xubian Zeng, Aihui Wang (2012): What is monthly mean land surface air temperature? *EOS* 93(15), 156-157
- [27] [www.businessinsider.com/antarctica-ship-stuck-2013-12#ixzz2omSI5hyl](http://www.businessinsider.com/antarctica-ship-stuck-2013-12#ixzz2omSI5hyl) (posjet 5. VIII. 2015.)
- [28] [www.friendsofscience.org/index.php?id=113](http://www.friendsofscience.org/index.php?id=113) (posjet 4. VIII. 2015.)
- [29] [www.yourarticlelibrary.com/water/hydrology/hydrology-definition-scope-history-and-application/60373](http://www.yourarticlelibrary.com/water/hydrology/hydrology-definition-scope-history-and-application/60373)

## QUO VADIS HYDROLOGIA? - WHERE ARE YOU GOING HYDROLOGY?

by

Ognjen BONACCI  
Professor emeritusUniversity of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy  
E-mail: obonacci@gradst.hr

## Summary

The article discusses the role of Hydrology in the past, today and future. Hydrology as a theoretical science, and practical engineering discipline that deals with the processes governing charging and discharging of water resources land masses on Earth, as well as studying the various phases of the hydrological cycle in the new conditions of an increasingly prominent role. Its importance will continue to grow due to increasing demands of humanity and the environment for water due to frequent water disasters (drought, floods, pollution, etc.). and because of its limited resources. Hydrology has numerous practical applications and uses much of the knowledge of other scientific fields. Due to the extent of its interest is directed to the close cooperation not only with the geophysical disciplines, but more is social sciences (law, economics, etc.). The last time politics and law have become extremely interested in solving a number of problems associated

with water in which the essential role played hydrological information. The article discusses the role of hydrology as well as its basic dilemmas and detours encountered just as a result of participation in solving many water problems. One chapter analyses the problem of modelling in hydrology. It was stressed that in connection with hydrological models need only realize that they are not 'panacea' (universal remedy), but only more or less useful tool. It considers the issue of climate change, ie. global warming and its impact on hydrology. Special attention in the article is dedicated to new interdisciplinary science Ecohydrology that integrates hydrological processes with the dynamics of living organisms in a variety of spatial and temporal terms.

Keywords: Hydrology, Ecohydrology, hydrological models, climate change

Redigovano 18.11.2015.