

SADAŠNJE STANJE I POTREBE RAZVOJA HIDROLOGIJE

Prof. dr. sc. Ognjen BONACCI, dipl. inž. građ.¹
Građevinsko-ArHITEKTONSKI Fakultet Sveučilišta u Splitu, Katedra za hidrologiju
21000 Split, Matice hrvatske 15, E-mail: obonacci@gradst.hr

REZIME

Rad razmatra razvoj hidroloških metoda, status hidrologije u prošlosti, današnje stanje i trendove razvoja u budućnosti. Naglašava se važnost prethodnih saznanja za budući razvoj ove nauke, koja služi u mnogim granama vodoprivrede, naročito u kritičnim trenucima suša, poplava i drugih prirodnih pojava koje spadaju pod pojam katastrofa, a izazivaju teške posljedice u društvenim zajednicama u kojima se pojave. Temelj hidroloških istraživanja je oduvijek bio usmjeren na izučavanje hidrološkog ciklusa i analize bilasa voda, bilo prirodnih slivova ili veštačkih, administrativnih područja (država, gradskih područja i sl.). Jednačina vodnog bilansa dobro je poznata i jednostavna. Poteškoća je u određivanju ulaznih i izlaznih parametara i u promjenjivosti količine vode u zavisnosti od vremenskog intervala u kojem se pojava posmatra. Prvu poteškoću predstavlja određivanje sliva, naročito u krškim i ravničarskim područjima. Druga je poteškoća vezana s mjerenjem oborina i određivanjem oborina palih na analiziranu površinu. Treća je poteškoća određivanja evapotranspiracije. Članak pokušava odgovoriti na pitanje: "Kako hidrologija može postati korisnija i upotrebljivija u procesu upravljanja vodnim resursima"?

Ključne riječi: hidrologija, upravljanje vodnim resursima, sliv, padavine, evapotranspiracija

1. UVOD

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation – Organizacija Ujedinjenih Naroda za Obrazovanje, Nauku i Kulturu) i WMO (World Meteorological Organisation – Svjetska

Meteorološka Organizacija) [1] su dali slijedeće dvije definicije hidrologije:

- 1) Nauka koja se bavi vodama iznad i ispod kopnene površine Zemlje, njihovim pojavljivanjem, kruženjem i raspodjelom u vremenu i prostoru, njihovim biološkim, kemijskim i fizičkim svojstvima, njihovom reakcijom u okolišu uključujući i odnos sa živim bićima.
- 2) Nauka koja se bavi procesima koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji, te izučava različite etape hidrološkog ciklusa.

Razni hidrolozi, a prvenstveno stručnjaci koji pripadaju drugim naučnim disciplinama, navode drugačije definicije što je rezultat različitih iskustava u korištenju hidrologije kao naučne, a pre svega stručno inženjerske discipline. Horton [2] je, kao jedan od prvih velikih hidrologa zaslužnih za njen razvoj i njeno cjelovito osamostaljenje i priznavanje u zajednici geofizičkih znanosti, tridesetih godina dvadesetog stoljeća objavio slijedeću definiciju: "Kao čista znanost, hidrologija se bavi s prirodnom pojavom, raspodjelom i kruženjem vode na, u i preko površine Zemlje. Bitan zadatak hidrologije, tretirane kao čiste znanosti, je traganje i objašnjavanje fenomena hidrološkog ciklusa. Oboje, djelokrug kao i problemi hidrologije, blisko su vezani s različitim granama primijenjene hidrologije".

Kako se voda sve više i sve intenzivnije koristi na različite načine u cijelom svijetu, tako se pojavljuju sve brojniji razni složeni i neočekivani problemi koji šire područje njenog zanimanja i neophodnost njene primjene. Hidrologija je nuždom hitnog rješavanja egzistencijalnih problema prisiljena na suradnju s brojnim i ne samo geofizičkim i srodnim znanstvenim i

¹ Autor je Predsednik Biroa IHP (International Hydrological Programme) UNESCO-a. Uz izvesne manje izmene članak je preuzet iz časopisa Hrvatske vode, zahvaljujući ljubaznosti i razumevanju Redakcije tog cenjenog časopisa.

stručnim disciplinama. Njeno područje zanimanja i praktičnog korištenja u posljednjim desetljećima značajno je prešlo granice geofizičkih i tehničkih znanosti. Ušlo je u područje bioloških i društvenih znanstvenih disciplina te sve više i sve intenzivnije u područje svakodnevne praktične politike. Upravljanje graničnim i prekograničnim vodnim resursima površinskih i podzemnih voda, postao je jedan od najaktualnijih problema suvremenog svijeta. Poteškoće koje su se pojavile pri korištenju voda u slivovima rijeka Nila, Jordana, Eufrata, Tigrisa, Rajne i brojnih drugih rijeka, ukazale su na neophodnost suradnje hidrologa, upravljača vodnim resursima i političara u cilju optimalnog i nekonfliktnog rješavanja ove složene problematike. UNESCO i Green Peace su organizirali veliku međunarodnu akciju pod nazivom PC-CP (From Potential Conflict to Co-Operation Potential) u cilju nalaženja učinkovitih rješenja.

Bras [3] definira hidrologiju kao izučavanje vode u svim njenim oblicima, različitog porijekla na svim područjima Zemlje. Hidrologija je postala neizbježna komponenta rješavanja problematike kvaliteta vode. Pri tome je ona utvrdila i istaknula svoju značajnu ulogu u obitelji geofizičkih znanosti te se još dublje povezala s geologijom, oceanografijom i meteorologijom, ali i drugim inženjerskim disciplinama.

Falkenmark i Chapman [4] tvrde da u suvremenom poimanju hidrologija predstavlja mladu znanost usmjerenu na različite fenomene koji se odnose na hidrološki ciklus. Kako je osnovno svojstvo tog ciklusa njegov kontinuitet u prostoru i vremenu, ta činjenica daje nove perspektive razvoja hidrologije. Pri tome su u žarište zanimanja u ovom trenutku izbili odnosi okoliša i vode, društvenog razvoja i hidroloških promjenjivosti te katastrofa vezanih s viškom ili nedostatkom vode (poplave, suše, klizišta itd.).

Hidrologija ima dvostruku ulogu, kao grana znanosti i kao osnovna informacija za donošenje odluka kod rješavanja važnih inženjerskih, ali i sve češće društvenih problema [5]. Proizlazi da hidrologija ima duboke znanstvene interese i zadatke a istovremeno i izvanredno važnu praktičnu ulogu. Pred hidrologima stoji osnovna dilema vezana s budućnošću hidrologije: "Kako razvijati čistu znanost i istovremeno predstavljati pouzdanu osnovicu za donošenje odluka u upravljanju vodnim resursima i srodnim područjima?" Radi se o osnovnoj, bitnoj, svugdje i uvijek prisutnoj dilemi između teorije i prakse.

Značaj hidrologije, a posebno njen rast i razvoj u posljednjim desetljećima, uzrokovani su sve češćim nedostacima vode i činjenicom da voda ima ključnu ulogu za odvijanje života na Zemlji. Zato raskorak između njene teorije i prakse predstavlja veliki rizik koji je potrebno uskladiti. To znači da se hidrologija istovremeno mora razvijati u teorijskom smislu i pronalaziti učinkovita rješenja za sve veće i složenije praktične probleme. Vjerojatno to predstavlja osnovni razlog zbog kojeg je hidrologija tako široko i bezrezervno otvorena suradnji i utjecajima brojnih drugih znanosti, novih tehnologija, metoda, modela i inicijativa. Hidrološke metode, znanja i informacije neophodni su za rješavanje brojnih praktičnih problema koji spadaju u različita područja ljudskih djelatnosti vezanih s vodom i promjenjivošću njene količine i kakvoće u prostoru i vremenu. Zbog toga se do danas razvilo mnogo posebnih područja hidrološke znanosti i prakse od kojih neka teže osamostaljenju od matične discipline te stvaraju nove znanstvene grane ili barem spajaju dvaju ili više znanstvenih područja. Navodi se nekoliko posebnih područja hidrologije: inženjerska hidrologija, vojna hidrologija, urbana hidrologija, hidrologija snijega i leda, hidrologija krša, hidrologija padina, hidrologija ravničarskih terena, hidrologija šuma, poljoprivredna hidrologija, hidrologija otvorenih vodotoka, hidrologija jezera, hidrologija površinskih voda, hidrologija vlažnih područja, hidrologija sušnih područja, regionalna hidrologija, hidrologija tropskih regija, komparativna hidrologija itd. U posljednjih desetak godina snažno se razvija ekohidrologija [6].

Kundzewicz [7] smatra da usprkos značajnog razvoja i velikih aktivnosti u području ekohidrologije, njen smisao nije isti za sve koji se njome bave. To samo po sebi znači da ona još uvijek nije cjelovito oblikovana ni kao znanstvena disciplina niti su u cijelosti jasni njeni praktični ciljevi. No i usprkos toga, ekohidrologija se vidljivo razvija i sudjeluje u rješavanju brojnih problema odnosa okoliša, vode i bioloških organizama. Pojavile su se brojne, često različite pa i donekle suprotstavljene definicije ekohidrologije, što pojačava osjetljivost uzrokujući stručne i znanstvene polemike među znanstvenicima i praktičarima iz različitih područja. Zalewski [8] ulogu ekohidrologije vidi u izučavanju funkcionalnih međuodnosa između hidrologije i živih bića na razini sliva. Na taj način ekohidrologija nudi novi pristup za postizanje ciljeva održivog razvoja vodnih resursa. Nuttle [9] je sumnjičav spram ekohidrologije te smatra da su njene brojne definicije kao i ona sama sporni. Eagleson [10] shvaća ekohidrologiju drugačije od ostalih njenih zagovornika a

prije svega samih kreatora. Za njega je ekosustav složena struktura koja se stalno razvija. Njena svojstva i ponašanje ovise o dinamičnim međusobnim interaktivnim vezama između klime, tla i vegetacije. Osnovnim zadatkom ekohidrologije smatra istraživanje, na koji način fizička svojstva stabala i oblikovanih šumskih zajednica stvaraju ravnotežu s klimom i tlom u koje su ukorijenjeni.

Općenito se smatra da suvremeni svijet potresa tzv. vodna kriza. Negativne posljedice vodne krize se pojačavaju i prijete izazivanjem globalne krize. Glavni razlog vodne krize, po mišljenju većine stručnjaka je nezadovoljavajuće stanje upravljanja vodnim resursima na globalnom, regionalnom i lokalnom planu. Takvo stanje uzrokovano je složenošću procesa koji se u prostoru i vremenu odvijaju u hidrološkom ciklusu. Treba uvijek i strogo voditi računa o tome da u slivu postoje hidrološki procesi koji se vrlo brzo odvijaju na malim površinama. Uzroci tih procesa javljaju se prvenstveno na ograničenim prostorima i tijekom kratkog vremenskog razdoblja. Posljedice tih procesa osjećaju se na velikim prostranstvima tijekom dugog vremenskog razdoblja. Istovremeno, u slivu se unutar hidrološkog ciklusa odvijaju vrlo dugotrajni i polagani geološki i drugi procesi koji imaju utjecaja na lokalno hidrološko ponašanje. Da bi se odvojili i izučili uzroci i posljedice brzih i sporih kao i globalnih i lokalnih procesa na hidrološko ponašanje u slivu, potrebna su dugoročna, detaljna i usmjerena istraživanja.

Hidrologija još uvijek nije dala zadovoljavajuće odgovore na brojna pitanja, te stoga nije u mogućnosti uvijek i učinkovito pružiti podršku upravljanju vodnim resursima. Da problem bude veći, vodna kriza pred hidrologiju gotovo svakodnevno postavlja nove i sve složenije zadatke. Povećane potrebe za vodom proširuju djelokrug djelatnosti hidrologije, unoseći povećanu složenost i neophodnost dubljeg međudjelovanja sa znanostima s kojima sudjeluje u rješavanju određenog problema. Prethodno navedeno čini hidrologiju iznimno dinamičnom i otvorenom za većinu novih i inovatorskih inicijativa.

Kritične teškoće za budući razvoj upravljanja vodnim resursima leže u neophodnosti skladne integracije različitih individualnih pristupa i rješenja koja dolaze iz različitih znanstvenih disciplina. Hidrologija sa svojim znanstvenom i inženjerskom mogućnostima i iskustvom najprikladnija je i najpozvanija da učinkovito pomogne u tom procesu. Možda sama hidrologija nije u cijelosti deterministička znanost (kao što misle neki

znanstvenici) ali je njena vodeća uloga pri upravljanju vodnim resursima neizbježna.

2. OSVRT NA RAZVOJ HIDROLOGIJE

Voda se nalazi u srži većine današnjih teško rješivih problema okoliša i razvoja. Falkenmark [11] ističe njenu ključnu ulogu kao stvari neophodne za život u svim mjerilima od stanice do cijelog planeta, te kao otapala koje se neprekidno kreće iznad i ispod površine terena. Skrb o vodi kao stvari nužnoj za život ali i mogućoj opasnosti postoji od vremena kada se čovjek pojavio na Zemlji.

Zanimljivo je pokušati odgovoriti na pitanje da li je hidrologija stara ili nova znanost. Razlike u mišljenjima vodećih hidrologa iznenađujuće su. Biswas [12] smatra da je hidrologija jedna od najstarijih znanosti. Svoj stav potkrepljuje upravo prethodno spomenutom činjenicom izravnog odnosa ljudskih bića i razvoja civilizacije s vodom. S druge strane većina hidrologa ne dijeli njegovo mišljenje već hidrologiju smatra relativno mladom znanostu u suvremenom poimanju toga smisla. NRC (National Research Council – Nacionalno Vijeće za Istraživanje SAD-a) [13] smatra da se od 1930. godine hidrološka znanost razvijala u smislu sve dubljeg izučavanja hidroloških procesa širenjem mjerila prostora i vremena. U početku su se izučavali mali slivovi. Postepeno se prelazilo na slivove sa sve većim površinama. Danas se intenzivno izučavaju globalni planetarni hidrološki procesi s naglaskom na vezu atmosfere, kopna i oceana. NRC [13] ujedno navodi da se pred sedamdesetak godina pažnja posvećivala izučavanju hidroloških procesa uzrokovanih jednim oborinskim događajem. Poslije se prešlo na analize sezonskih ciklusa a danas se hidrologija bavi regionalnim i globalnim trendovima. Usporedo se sve više pojavljuju brojni temeljni problemi hidrološke znanosti koji moraju biti istraženi u cilju rješavanja sve oštrijih sukoba na relaciji ljudsko društvo-priroda.

Suvremena, numerički i računarski orijentirana hidrologija koristi većinu novih znanstvenih pristupa, metoda i tehnologija kao što su: teorija sustava, operativno istraživanje, geostatistika, teorija kaosa, umjetna neuralna mreža, faktorska analiza, planiranje pokusa, koncept fraktala, "fuzzy" metode, GIS itd. Općenito se radi o pozitivnom procesu koji potiče brzi razvoj hidrološke teorije i prakse te podiže značaj hidrologije u znanstvenoj zajednici. Međutim, neizbježno se javljaju i popratne negativne pojave koje mogu ugroziti samostalnost a kadikad i sam smisao

hidrologije. Riječ je o brzopletom i nekritičnom prihvaćanju svih novih tehnologija, metoda, modela, inicijativa i paradigmi koje su razvijene u nekim drugim znanstvenim ili stručnim disciplinama. Ovaj proces naročito je potenciran razvojem numeričkih metoda potpomognutih neslućenim mogućnostima elektroničkih računala. Sam po sebi ovaj proces ne bi nosio nikakve opasnosti za razvoj hidrologije. Čak naprotiv, bio bi koristan stoga jer bi hidrologiji pružio brzu mogućnost provjere upotrebljivosti, korisnosti i učinkovitosti primjene novosti za ispunjavanje njenih odgovornih zadataka. Opasnosti leže u tome što se nerijetko dešava upravo suprotno. Insistiranje na primjeni novina pod svaku cijenu usprkos nepostojanju fizičke povezanosti s hidrologijom dovodi hidrologiju u podređen položaj. Ona nerijetko prestaje ispunjavati svoje osnovne zadatke vezane s hidrološkim ciklusom i bilancom voda bitne za upravljanje vodnim resursima. Težište istraživačkih napora biva usmjereno na beskorisnu primjenu i korištenje složenih i neprovjerljivih modela što uzrokuje zanemarivanje osnovnih zadataka hidrologije. Oni su od samog njenog početka ostali isti, a pošto do danas nisu na njih nađeni konačni i cjeloviti odgovori, potrebno je zbog vodne krize, intenzivirati rad na njihovom rješavanju.

Poučan primjer za to su pojave sve češćih razornih poplava u cijelom svijetu. Čini se čak da su one i češće i razornije u razvijenim državama nego u onim nerazvijenim, tj. onim koje ne koriste suvremene i naizgled moćne tehnologije, uređaje i posebno prognostičke modele i sustave dojava.

Točnost hidroloških prognoza najviših protoka i vodostaja poplavnih valova nije se u praksi značajno poboljšala primjenom tehnologije daljinskog mjerenja, GIS-a, korištenjem složenih numeričkih modela i upotrebom brzih elektroničkih računala. Kao primjer može poslužiti poplava Vltave u Pragu 2002. godine, Odre u Njemačkoj i Poljskoj 2002. godine, Rajne 1993. i 1994. godine, Mississippija 1993. godine itd., kada su prognoze potpuno zakazale usprkos primjene složenih modela i suvremene tehnologije. Zanimljiv je i nadasve poučan slučaj prognoze propagacije poplavnog vala Dunava nizvodno od Budimpešte tijekom 2002. godine. Iako se radi o relativno jednostavnom procesu kretanja poplavnog vala kroz dobro poznatu geometriju korita i inundacija, te usprkos toga što su primijenjene suvremene tehnologije njegovog praćenja i najbolji modeli proračuna, greška prognoze bila je neočekivano velika. Prognoziran je znatno viši vodostaj ali i protok od onog koji se stvarno pojavio. Pravi razlog ovog

neuspjeha, koliko je poznato, nije još utvrđen, ali se pretpostavlja da se radi o retencioniranju velike zapremnine vode iz otvorenog korita Dunava u podzemlju ravničarskog prostora koje je u to vrijeme bilo nezasićeno. Kao mogući, ali dodatni razlog, navode se i veliki gubici vode uzrokovani evaporacijom.

Klemeš [14] je prvi imao hrabrosti i znanja da argumentirano ukaže na nepoželjne trendove u hidrologiji. Koristeći primjer primjene teorije sustava na dimenzioniranje umjetnih jezera, ukazao je na besmislenost primjene, pod svaku cijenu, složenih i uglavnom nerazumljivih numeričkih modela i postupaka za rješavanje egzistencijalno važnih, klasičnih i u suštini jednostavnih problema hidrologije. Ustanovio je da je, tijekom prethodnih deset godina, primjena sistemskog pristupa za dimenzioniranje akumulacija, naviještena kao skok iz kamenog doba korištenja sumarne krivulje u eru suvremene znanosti, doživjela potpuni neuspjeh. U stvarnosti nije se pojavio nikakav pomak a kamoli povijesni skok. Logika, jasnoća i jednostavnost sumarne krivulje bila je samo zamagljena složenom, nerazumljivom i nepotrebnom (u tom slučaju) numerikom. Rezultati su bili složeno prikazani i nejasni, pa su često, vjerojatno prvenstveno zbog toga, bili prihvaćani kao bolji od onih, dobivenih klasičnim pristupom.

Slični procesi dešavaju se i danas. Čini se da se čak intenziviraju s pojavom novih metoda i pristupa. Hidrologija je do sada uvijek smogla razuma i snage da se othrvta takovim kretanjima, da iskoristi pozitivne elemente te zaliječi rane uzrokovane negativnim i predugim bavljenjem za nju nebitnim stvarima. Klemeš [15] je u svom za hidrologiju povijesnom članku "Diletantizam u hidrologiji: prolazna pojava ili njena sudbina", manje optimističan. On smatra da se hidrologija nedovoljno bavi svojim ključnim problemima te da previše energije i vremena troši na slijepo i nekritičko praćenje trendova različitih znanosti. Iako pri tome ima neke koristi, u većini slučajeva se radi o rasipanju vremena i gubitku vlastitog identiteta.

Možda je ovo lutanje cijena koju neizbježno svaka znanost mora platiti svom općem razvoju. Postavlja se stoga pitanje kako smanjiti i skratiti lutanja, te povećati opću učinkovitost hidrologije ali i svake druge znanosti. Harte [16] smatra da jednu od najvećih poteškoća, opasnosti i izazova u suvremenoj znanosti predstavlja nemogućnost provjeravanja složenih i sofisticiranih fizičkih modela. On spominje pojam "unfalsifiability" čije značenje na hrvatskom jeziku može biti opisano kao

neprovjerljivost. Radi se o činjenici da suvremene, računalima prilagođene, numeričke modele nije moguće kontrolirati ili čak površno pratiti u svim ili većini etapa njihovog razvoja. Zbog toga se nerijetko dešava da oni dadu potpuno neočekivane, nelogične pa i nemoguće rezultate. Harte [16] kao rješenje nudi tzv. Fermiev pristup. Veliki talijanski fizičar Fermi je zagovarao modele koji opisuju suštinu problema ne ulazeći u detalje, smatrajući to jedinim mogućim putem razvoja znanosti. **Savršenstvo je kada se ne može ništa oduzeti, a ne kada se nema što dodati.** Harte [16] se kao teorijski fizičar zalaže za sintezu Newtonovih i Darwinovih znanstvenih principa i pogleda na svijet. To smatra bitnim konceptom koji može pospješiti razvoj sustava znanosti o Zemlji i koji će omogućiti shvaćanje i predviđanje složenog sustava sastavljenog od organizama, atmosfere, slatke vode, oceana i ljudskog društva. Da bi se uspješno ispunio ovaj ambiciozni cilj, temeljne znanstvene discipline, fizika, biologija i kemija, moraju potražiti podršku prvenstveno u ekologiji, klimatologiji, hidrologiji, oceanografiji i biogeokemiji. Ovaj pristup posebno bi mogao biti značajan za razvoj ekohidrologije.

Upitno je da li je išta što znanost smatra modelom po kojem nešto želi proračunati, predvidjeti ili utvrditi provjerljivo. Nekad su modeli bili jednostavni ali je računarski aparat bio skroman. Danas je računarski aparat moćan a modeli složeni. Čini mi se da je njihov odnos uvijek jednak a ulazni podaci jednako netočni i oskudni. Vjerojatno jedino elementarna astrofizika daje provjerljive rezultate onda kada se satelit spusti na mjesec ili precizno obiđe neki planet. Sličan je slučaj s komunikacijskim satelitima. U većini geoznanosti uspješan rezultat je često posljedica slučaja, tj. posljedica primjene metode pokušaja i pogrešaka [17].

Zanimljivo je pokušati dati odgovor na pitanje: "Zbog čega su složeni i neprovjerljivi modeli danas tako popularni u hidrologiji?" Njihova čestina i raznolikost primjene posebno je izražena kod izrade globalnih modela cirkulacije. Zanimljivo je da su njihovi rezultati tj. odgovori, koje oni daju na najsloženija pitanja budućnosti našeg planeta krajnje suprotstavljani. Do pred dvadesetak godina znanstvenici su se gotovo jednoglasno složili da se Zemlja globalno zagrijava, a da je razlog tome antropogena emisija stakleničkih plinova. U najnovije vrijeme [16, 18] napuštaju to mišljenje i dokazuju da glavnina emisije stakleničkih plinova u atmosferi dolazi oslobađanjem ugljika vezanog u tlu. Dakle, prema sve većem broju znanstvenika, zagrijavanje Zemlje postoji i ono je

izazvano povećanjem koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Međutim, razlog tom povećanju nije čovjek i njegove djelatnosti. To bitno mijenja odnose u ljudskom društvu i potrebu za poduzimanjem određenih globalnih akcija. Osim toga razni globalni modeli cirkulacije daju potpuno drugačije zaključke o budućnosti klime na Zemlji. Po jednim ulazimo u razdoblje opasnog zagrijavanja, dok se po drugima nalazimo pored samim krajem tog razdoblja, tj. neposredno pred početkom novog ledenog doba. Vrijeme potrebno za globalnu promjenu klime na Zemlji procjenjivalo se pred pedesetak godina na tisuće godina dok su krajem dvadesetog stoljeća nađeni za sada pouzdani dokazi da se radi o procesu koji traje tek desetak godina. Očigledno je da se nalazimo daleko od prave i pune istine.

Globalni modeli cirkulacije i općenito neprovjerljivi biološki modeli bez obzira na sve kontradikcije i nepouzdanost rezultate sve se više razvijaju. Na određeni način oni u sustav znanosti o Zemlji a posebno u hidrologiju unose zbrku te postaju sami sebi svrhom. Glavnu odgovornost za takovo stanje snose vodeća svjetska sveučilišta i instituti te priznati međunarodni znanstveni časopisi koji zagovaraju taj put kao jedino mogući. Mlade znanstvenike, na kojima leži budućnost znanosti, postojeći sustav vrijednosti i obrazovanja, uvjerava da je to jedini mogući i pravi put razvoja znanosti. Hidrolozi koji imaju praktična iskustva u upravljanju vodnim resursima ne dijele njihov entuzijazam. Prethodno izneseno nikako se na smije shvatiti kao bilo kakva vrsta napada na modele, numeriku, računala ili slično. Razvoj i budućnost znanosti uvelike zavisi od njih. Međutim, modeliranju složenih procesa mora se pristupiti na nov, kritičan i mnogo oprezniji način. Modeli moraju postati provjerljivi u svim fazama. Kako to postići, stvar je detaljnih analiza i velikog rada punog odricanja i kritičkog pristupa poteškoćama.

Poteškoće s modelima i modeliranjem [19] velikim dijelom leže u činjenici da znanstvenici procjenjuju što treba detaljno izučiti a što je moguće zanemariti, te pojedinačno određuju kriterije vrednovanja sakupljenih podataka i donesenih zaključaka. Tom prilikom neizbježno se donose vrijednosne procjene koje nisu apsolutne već su pojedinačne, tj. zasnovane na ličnom iskustvu. Kao takve one su manje ili više netočne. Osim toga ako su donesene od strane nekog od tada važećih znanstvenih autoriteta, često se prihvaćaju bez dovoljne doze kritičnosti i opreza. Uz to s odmakom vremena nerijetko se zaboravlja da se radi samo o vrijednosnoj

procjeni, pa se zaključak uvažava kao opća istina. Takvo stanje traje sve dok netko od nekonvencionalnih i uvijek sumnji sklonih znanstvenika ne otkrije da postoji i neka druga moguća istina. Danas je proces otkrivanja istine donekle otežan prethodno spomenutom činjenicom upotrebe neprovjerljivih modela u kojima se vrijednosni sudovi transformirani u složene matematičke formulacije koje nije moguće kontrolirati [19]. Nedvojbeno je činjenica da u kontekstu integralne procjene geofizičkih procesa putem modela nije moguće izbjeći nepouzdanost i subjektivnost. Stoga je u budućnosti neizbježno potrebno izvršiti ozbiljne promjene u procesu stvaranja i korištenja modela [19].

Razvoj suvremene hidrologije, a s njom usko vezano i upravljanje vodnim resursima, ograničeni su u posljednje vrijeme posebno opasnim trendom porasta nedostatka i kakvoće podataka. Hidrološki procesi jako su promjenjivi u prostoru i vremenu. Istovremeno se odvijaju spori, koji traju tisućljećima i zahtijevaju ogromne prostore, i brzi, čije se trajanje mjeri sekundama, a prostor zahvaćanja kvadratnim milimetrima. Sakupljanje pouzdanih i relevantnih podataka u tako širokom rasponu vremena i prostora složeno je i skupo. Zbog toga se nerijetko ide u drugu krajnost u procesu modeliranja geofizičkih procesa, njihovom nedopustivom pojednostavljenju. NRC [13] ukazuje na činjenicu da prejednostavni modeli ne mogu pomoći razumijevanju procesa, a trajno mogu štetiti upravljanju vodnim resursima.

Da bi se izbjegla prethodno opisana opasnost potrebno je povećati kakvoću i količinu mjerenja i terenskih radova. Na žalost i tu se u posljednje vrijeme javljaju opasne tendencije u hidrologiji, ali i u ostalim geoznanostima. Minimalizira se terenski rad, smanjuje se brojnost mjerenja. Investitori, vođeni logikom da je vrijeme novac, smanjuju ulaganja u terenska istraživanja koja u principu traju dugo. Zbog toga se od hidrologa ali i ne samo od njih, traži da probleme riješe računalima i modelima, daljinskim mjerenjima ili bilo kakvim drugim načinom u svrhu skraćivanja procesa projektiranja i donošenja odluka.

Zbog toga nerijetko opada pouzdanost donesenih zaključaka, a kakvoća hidroloških, hidrogeoloških i drugih geofizičkih radova je sve ozbiljnije ugrožena. Rodda [20] konstatira paradoksalnu situaciju koja se javlja u cijelom svijetu. Istovremeno dok potrebe za vodom rastu brže nego ikad do sada u povijesti čovječanstva znanje o vodnim resursima Zemlje slabi.

3. KLJUČNI ZADACI I KRITIČNI PROBLEMI HIDROLOGIJE

Hidrologija je zasnovana na konceptu hidrološkog ciklusa unutar kojeg se voda neprekidno kreće. Za hidrologiju osnovni zadatak a ujedno i najveći problem predstavlja činjenica nejednolike, često krajnje različite i brze promjene količine vode u prostoru i vremenu. Upravo ta nejednolika raspodjela vodnih resursa u prostoru i vremenu cijelog planete čini upravljanje vodnim resursima krajnje složenim i odgovornim zadatkom. Ona ujedno predstavlja osnovnu i neraskidivu vezu ovih dviju znanstvenih i stručnih inženjerskih disciplina. Upravljanje vodnim resursima nemoguće je bez hidrologije i njezinih teorijskih i praktičnih dostignuća. S duge strane hidrologija svoje značenje u suvremenom svijetu i svoj brzi, često i neujednačeni razvoj mora prije svega zahvaliti zadaćama koje je pred nju postavilo upravljanje vodnim resursima.

Bez ikakve dvojbe osnovni zadatak hidrološke teorije i prakse je točna procjena bilance vode za različite prostore i u različitim vremenskim jedinicama. Sama jednadžba bilance vode jednostavna je, ali je njena primjena složena zbog toga što postoje brojni neriješeni teoretski problemi. Osim toga njena primjena u praksi krajnje je otežana stoga što brojni osnovni fenomeni i parametri bilance nisu mjereni ili su mjereni ili procijenjeni približno i nedovoljno točno. Rješavanje tih kritičnih problema ključan je zadatak hidrologije, kao i njene buduće uloge i razvoja. Istovremeno o uspješnosti rješavanja tih problema zavisi i uspješnost upravljanja vodnim resursima.

Opći izraz za bilancu voda nekog prostora glasi:

$$U - I = \Delta V \quad (1)$$

pri čemu U označava sve ulaze voda u sustav (dotoci površinskih i podzemnih voda, oborine), I označava izlaze voda iz istog sustava (istjecanje površinskih i podzemnih voda, evapotranspiracija), dok ΔV predstavlja promjenu zapremnine svih voda uskladištenih u izučavanom prostoru na kraju razmatranog razdoblja u odnosu na stanju u početku.

Bonacci [21] smatra slijedeća tri problema kritičnim za daljnji razvoj hidrologije u znanstvenom ali i inženjerskom smislu:

1) Određivanje vododijelnica i površina sliva;

- 2) Određivanje oborina palih na površinu sliva;
- 3) Određivanje evapotranspiracije sa sliva.

3.1 Određivanje vododijelnica i površina sliva

Određivanje vododijelnica i površine sliva polazni je zadatak velike većine hidroloških, ali i drugih analiza. Bez točnog poznavanja ovih podataka najčešće nije moguće ni pristupiti brojnim hidrološkim proračunima niti pouzdano organizirati i planirati upravljanje vodnim resursima [22]. Problem određenih vododijelnica i površina sliva posebno je složen, a često i nerješiv u krškim terenima i ravničarskim područjima.

U spomenutim slučajevima razlika između topografskog (orografskog) sliva omeđenog vododijelnicama određenim površinskim morfološkim oblicima rijetko odgovara stvarnom hidrološkom slivu. Ovaj se sliv nerijetko, ali i s pravom naziva hidrogeološkim stoga što su njegove dimenzije kontrolirane razinom podzemne vode. Kako su razine podzemne vode posebno u slučajevima dubokog krša, snažno i brzo promjenjive u prostoru i vremenu očigledno je da površina sliva nije konstantna veličina. Slične poteškoće vezane s određivanjem vododijelnica i površina slivova, ovog puta uzrokovani malim padovima razine podzemne vode, javljaju se kod ravničarskih terena. Spomenuto izravno utječe na sve hidrološke proračune, za koje se mora naglasiti da površinu sliva uglavnom razmatraju kao nepromjenjivu veličinu. Time se u složene modele unosi neprecizan podatak koji obično rezultira velikom greškom u pokušaju računarskog transformiranja oborine u otjecanje. U slučaju ako su vododijelnice, a time i sliv, tek djelomično poznate ili sasvim nepoznate nemoguće je bez velike i često nedopustive pogreške vršiti bilanciranje vode u slivu, učinkovito štititi vodu od zagađenja, upravljati vodnim resursima, koristiti hidrološke modele te ispunjavati druge zadatke.

Prilikom određivanja vododijelnica i površine sliva kao i u hidrološkim analizama, ne smije se zaboraviti da su ovi prostori, naročito u posljednjem stoljeću, izvrnuti snažnim antropogenim, ali i prirodnim utjecajima koji u najrazličitijim mjerilima prostora i vremena stalno mijenjaju njihova osnovna svojstva vezana s procesom otjecanja. Općenito govoreći i ne samo u vezi sa slivnim površinama, u antropogene utjecaje spada slijedeće:

- 1) Globalna promjena klime koja rezultira globalnim zagrijavanjem Zemlje;
- 2) Urbanizacija i industrijalizacija;
- 3) Povećanje erozije i pojava klizišta;

- 4) Promjena namjene korištenja zemljišta;
- 5) Promjena vegetacijskog pokrivača;
- 6) Sječa šuma;
- 7) Širenje pustinja;
- 8) Izgradnja odvodnih sustava za razne namjene;
- 9) Izgradnja brana i akumulacija;
- 10) Pretjerana ispaša;
- 11) Šljunčarenje i vađenje kamena u kamenolomima;
- 12) Regionalni transport vode;
- 13) Pretjerano crpljenje podzemne vode;
- 14) Odvođenje vode iz površinskih vodotoka i jezera;
- 15) Umjetno prihranjivanje podzemnih vodonosnika;
- 16) Brojne kombinacije prethodno spomenutih utjecaja povezane i s prirodnim pojavama kao što su potresi, poplave, suše, vulkani itd.

Površina i granice sliva jedna su od glavnih veza hidrologije s upravljanjem vodnim resursima. Sliv predstavlja najbolju i prirodnu jedinicu za planiranje upravljanja tlom, vodom i ekosistemima. Osim nepoznavanja takvih vododijelnica, a time i samog sliva, problemi iskrsavaju i stoga što pretežni dio granica sliva ne koincidira s granicama nadležnosti država, naroda ili lokalnih uprava. Ta činjenica značajno otežava vođenje politike pravičnog i učinkovitog upravljanja vodnim resursima, a nerijetko je razlogom sukoba (slučaj korištenja voda Nila, Eufrata, Tigrisa, Inda, Gangesa, Sir Darije, Amur Darije itd.), pa i pravih ratova (slučaj korištenja voda u slivu rijeke Jordan). Kako se u budućnosti ovaj proces, prvenstveno zbog nedostatka vode, može samo zaoštravati neophodno je ozbiljno poraditi na razvoju boljih metoda i tehnologija koje će omogućiti pouzdanije određivanje vododijelnica i slivova uvažavajući činjenicu njihove povezanosti u prostoru i vremenu.

Ishodište doslovno svih hidroloških pretpostavki i zaključaka vezanih s bilancom vode bilo kojeg prostora i unutar najrazličitijih vremenskih jedinica je znanje o količini i prostorno-vremenskoj raspodjeli oborina [23]. Oborine se rutinski mjere na našoj planeti već vrlo dugo vremena (duže od tisućljeća) s tim da je neka vrsta svjetskog sustava motrenja stvorena tek tijekom dvadesetog stoljeća. Dosadašnji naponi na ovom planu nisu dali zadovoljavajuće rezultate. Razlog leži u tome što je za dobro poznavanje oborinskog režima potrebna mnogo gušća mreža mjernih stanica od one postojeće, što razne države koriste drugačije standarde i opremu te zbog brojnih grešaka u njihovim projektiranju i radu

[13]. Sevruck [24] naglašava da su zbog fizičkih razloga postojeće procjene oborina neodgovarajuće za vršenje pouzdanih bilanci vode budući da su opterećene različitim izvorima grešaka. Najveće su slučajne i sistemske greške mjerenja oborine u točki [23]. Sistematske greške mjerenja oborina čije se vrijednosti mogu relativno pouzdano procijeniti, pa prema tome i korigirati, u vrlo malom broju država se doista i korigiraju što je na neki način iznenađujuće. Općenito se može reći da pretežni dio hidrometeoroloških službi u svijetu ne korigira netočno mjerene oborine.

3.2 Određivanje oborina palih na površinu sliva

Drugi veliki problem vezan s oborinama je određivanje vrijednosti oborina palih na površinu sliva ili neke administrativne regije u različitim vremenskim jedinicama. Različite metode daju različite rezultate. Primjera radi navodi se slučaj prosječne tridesetogodišnje oborine pale na području Hrvatske u razdoblju 1961.-1990. Primjenom Universal Kriging metode i programskog paketa ILWIS određena je vrijednost u iznosu od 1162 mm. Thiessen ova metoda dala je vrijednost od 1081 mm, a metoda aritmetičkih srednjaka 1131 mm. Razlike nisu velike (tek reda veličine oko 7%) ali se mora naglasiti da se radi o nekorigiranim oborinama i o tridesetogodišnjem prosjeku kao vremenskoj jedinici [25]. Za manje površine s razvijenom orografijom, za kraća vremenska razdoblja kao i za intenzivne oborine ove razlike mogu preći zabrinjavajuće vrijednosti od 20 % i znatno više. Primjera radi navodi se da su švicarski statističari za izradu "Hidrološkog atlasa Švicarske" izvršili popravke oborina na području cijele države. U prosijeku mjerene oborine su povećane oko 14 % s tim da je u ravninama to povećanje iznosilo prosječno 4 %, a u Alpama se penjalo i do 30 %. Razlog tome su bile velike količine snijega, snažni vjetrovi i izrazito razvijena orografija. Treba naglasiti da postoje brojne metode za korekciju oborina [23], ali da niti jedna nije pouzdana. To je vjerojatno i najveći razlog zbog kojeg se još uvijek nije prišlo sistemskoj korekciji oborina u velikom broju država. Značajan broj znanstvenika i stručnjaka smatra da za tako radikalni i važan posao još uvijek nisu stvoreni uvjeti. Dok se oni ne stvore, hidrolozi moraju biti svjesni da svoje bilance voda vrše s netočnim (uvijek manjim) vrijednostima palih oborina. To izravno znači da je i bilanca voda kao konačni rezultat opterećena određenom greškom. Pred teoretskom i praktičnom inženjerskom hidrologijom stoji žuran posao osigurati točno mjerenje oborina palih u točki i

određivanje točnih oborina palih na neku površinu u izabranoj jedinici vremena. Radi se o složenom zadatku u čiju mogućnost potpuno uspješnog rješavanja sumnjaju brojni hidrolozi. No u posljednjih dvadesetak godina načinjen je veliki iskorak već samom činjenicom da su hidrolozi shvatili da je oborina koja služi kao glavna ulazna veličina i pokretač svih njihovih procesa netočno mjerena. Prije toga o tome se nije niti govorilo, a kamoli da se učilo studente. Danas smo barem svjesni tog velikog nedostatka pa postoji nada da će on biti uklonjen.

3.3 Određivanje evapotranspiracije sa sliva

Evapotranspiracija je važan dio hidrološkog ciklusa, tj. kruženja vode na Zemlji, o kojem se teoretski dosta zna. Međutim, točno određivanje njegovih vrijednosti u prostoru i vremenu danas predstavlja najveći problem i najurgentniji zadatak hidrologije i meteorologije. Na svakoj graničnoj plohi vode u tekućem ili čvrstom stanju (ili bilo kojeg drugog vlažnog tijela, tla, vegetacije, snježnog pokrivača, itd.) i zraka, odvija se proces u kojem jedne molekule vode odlaze u zrak u obliku pare, a druge se iz zraka vraćaju. Ako je više onih molekula koje odlaze u zrak javlja se proces evaporacije. Transpiracija je proces pronosa molekula vodene pare iz pora biljaka u zrak, a evapotranspiracija je zajedničko odvijanje oba procesa. Već iz prethodno navedenih definicija jasno je da je pouzdano mjerenje ili određivanje količina evapotranspiracija sa sliva ekstremno složena zadaća koja do danas nije riješena na zadovoljavajući način. Evaporacija i transpiracija su procesi koji se dešavaju istovremeno te jedan na drugoga snažno utječu. Evaporacija s golog tla smanjena je zbog utjecaja biljaka i transpiracije. U teoriji i praksi koriste se pojmovi potencijalne i realne (stvarne ili aktualne) evapotranspiracije. Potencijalna evapotranspiracija predstavlja maksimalnu moguću količinu vode koja će preći u zrak u danom klimatu u području kontinuirano pokrivenom vegetacijom i dobro opskrbljenom vodom potrebnom za njen rast i razvoj. U ovu količinu uključeni su i evaparacija iz tla i s bilja kao i transpiracija iz pora vegetacije [1]. Realna evapotranspiracija predstavlja količinu vode koja pređe u zrak iz tla i s njegovog pokrova kao i kroz pore vegetacije u realnom stanju vlage analizirane regije [1]. Razlike između vrijednosti potencijalne i realne evapotranspiracije ogromne su. U toplim i sušnim krajevima potencijalna evaparacija višestruko nadmašuje onu realnu, dok u vlažnim područjima one mogu biti slične.

Za potrebe računanja potencijalne evapotranspiracije postoje brojni pristupi, modeli, izrazi itd. Za računanje realne evapotranspiracije oni su malobrojniji, a daju nepouzdanu rezultate koji je teško provjeriti mjerenjima na terenu. Za inženjersku hidrologiju, a posebno za vršenje bilanca vode mnogo je važnije poznavati vrijednosti realne evapotranspiracije. Vrijednosti potencijalne evapotranspiracije važne su za planiranje procesa i sustava za navodnjavanje. Inženjeri i hidrolozi općenito su više zainteresirani za bilancu voda neke regije nego za potrebu individualne biljne vrste za vodom. Kako evapotranspiracija predstavlja složen fizičko-kemijsko-biološki proces razvijeni su brojni pristupi za njeno objašnjavanje i količinsko određivanje. Sukladno sferi interesa i znanstvenoj disciplini proces je analiziran na slijedeće načine:

- 1) Putem fiziologije biljaka transpiracijskim odnosom i tzv. "pot" testovima;
- 2) Hidrološkim pristupom, proračunom bilance vode sliva ili regije;
- 3) Klimatološkim pristupom, korištenja atmometara i isparitelja;
- 4) Fizikalnim pristupom zasnovanim na bilanci energije;
- 5) Statističkim metodama koje uspostavljaju empirijsku korelaciju s meteorološkim činiocima.

Realna evapotranspiracija procjenjuje se slijedećim postupcima:

- 1) Analizom vlage tla na malim eksperimentalnim površinama;
- 2) Ogljedima u rezervoarima vode i lizimetrima;
- 3) Praćenjem i analizom fluktuacija podzemne vode i drugim tehnikama bilance vode;
- 4) Mjerenjem na raznim vrstama isparitelja;
- 5) Proračunima bilance vode u tlu;
- 6) Bilancom energije regije;
- 7) Drugim i kombiniranim tehnikama;

Brojni i veliki naponi znanstvenika i praktičara rezultirali su velikim brojem specifičnih izraza kojima se pokušava odrediti potencijalna ili realna evapotranspiracija ili samo evaporacija ili transpiracija. Za hidrologiju i hidrologe, ali nikako i samo za njih, određivanje stvarnih i pouzdanih vrijednosti bilo kojeg vida evaporacije, transpiracije ili evapotranspiracije predstavlja urgentan problem. Bonacci [21] je dao primjer nepouzdanosti određivanja realne evapotranspiracije u ravničarskim terenima sliva

Dunava između Bratislave i Komarna, čime je onemogućeno bilanciranje vode u tom prostoru.

Konačni je zaključak da određivanje točnih vrijednosti evapotranspiracije predstavlja najnepouzdaniji element vodne bilance. Hidrologiji i hidrolozima, ali i svim drugim znanstvenim disciplinama kojima je ovaj proces značajan ne ostaje ništa drugo do li intenzivirati i ujediniti napore u rješavanju ovog problema.

4. ZAKLJUČCI

Hidrologija kao znanstvena ali i primijenjena disciplina u procesu je burnog razvoja. Taj se razvoj odvija na ispravan način. Put kojim on ide pun je iznenađujućih novosti i zahtjeva teorije i prakse. Ostaje važno pitanje o tome kako se hidrologija treba odnositi prema njima. Čini se da jedini pravi odgovor leži u tome da se ona vrati rješavanju svojih bitnih zadataka vezanih s hidrološkim ciklusom i bilancom vode. Većina njenih glavnih problema, dilema i zadataka iznesena je u prethodnom dijelu ovog rada. To znači da se hidrologija mora vratiti svojim korijenima. To ujedno ni na koji način ne znači da se ona treba odvojiti od ostatka znanosti. Čak naprotiv, treba se još intimnije povezati s njima u pokušaju ispunjavanja svojih bazičnih zadataka. Samo tako bit će u mogućnosti odgovoriti na sve zahtjevnije izazove budućnosti korištenja i upravljanja vodnim resursima. Hidrologija je bila i ostaje osnovicom razvoja civilizacije, a njena uloga u budućnosti bit će još značajnija.

Da bi se taj cilj postigao postoje brojni putovi od kojih nijedan nije najbolji. Koncept pokušaja i pogrešaka ili drugim riječima velikog, smislenog i napornog rada na planu interdisciplinarnе suradnje na rješavanju sve brojnijih problema upravljanja vodnim resursima jedini su pravi put. Upravljanje vodnim resursima zahtjeva holističko i heurističko uključivanje raznih znanstvenih disciplina, ali i institucionalnu, društvenu i političku podršku.

Hidrologiji za njen razvoj zahtevaju sve vrste modela i modeliranja, ali uz napomenu da oni nisu sami sebi svrhom i ne predstavljaju "liječak za sve bolesti", već ih treba koristiti kao neophodan alat za postizanje ciljeva i ispunjavanje za razvoj civilizacije ekstremno važnih zadataka. Modeli, modeliranje, numerika i računi predstavljaju važnu osnovicu za brzo i profesionalno procjenjivanje i uspoređivanje metodologija i učinaka pojedinih čimbenika ili upravljačkih odluka. Oni nikako

ne smiju postati sami sebi svrhom što se danas nažalost nerijetko dešava.

Hidrologija je znanstvena disciplina koja značajno može pomoći premoštavanju sve većeg jaza između teorije i prakse te znanosti i ljudskog društva. To je njena zahtjeva i odgovorna uloga, ispunjavanje koje prvenstveno zavisi o samim hidrolozima.

LITERATURA

- [1] UNESCO i WMO (1992.) International Glossary of Hydrology. WMO, Genève i UNESCO, Paris.
- [2] Horton, R. E. (1931.) The field, scope and status of the science of hydrology. Trans. AGU, Reports and Papers, Hydrology. NRC, Washington, 189-202.
- [3] Bras, R. L. (1990.) Hydrology. Addison-Wesley Pbl. Com., Reading.
- [4] Falkenmark, M. i Chapman, T. (ur.) (1989.) Comparative Hydrology. UNESCO, Paris.
- [5] Dooge, J. C. I. (1997.) Scale problems in hydrology. U: Reflections on Hydrology: Science and Practice (ur. N. Buras), American Geophysical Union, Washington. 85-143.
- [6] Bonacci, O. (1998.) Ekohidrologija. Vodoprivreda II (2), 132-148.
- [7] Kundzewicz, Z. W. (2002.) Special section on ecohydrology-editorial. Hydrol. Sci. J. 45 (5), 797-798.
- [8] Zalewski, M. (2000.) Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Ecol. Engng. 16, 1- 8
- [9] Nuttle, W. K. (2002.) Is ecohydrology one idea or many? Hydrol. Sci. J. 45 (5), 805-807.
- [10] Eagleson, P. S. (2002.) Ecohydrology: Darwinian Expression of Vegetation Form and Function. Cambridge University Press, Cambridge.
- [11] Falkenmark, M. (1991.) The Ven te Chow memorial lecture: environment and development: urgent need for a water perspective. Water Int. 16. 229-240.
- [12] Biswas, A. K. (1972.) Hystory of Hydrology. Nort Holland, Amsterdam.
- [13] NRC (1991.) Oportunities in the Hydrologic Sciences. National Academy Press, Washington.
- [14] Klemeš, V. (1979.) Storage mass-curve analysis in a systems-analytic perspective. Wat. Resour. Res. 15 (2), 359-366.
- [15] Klemeš, V. (1986.) Dilettantism in hydrology: transition of destiny? Wat. Res. Res. 22 (9), 177-188.
- [16] Harte, J. (2002.) Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews. Physics Today 55 (10), 29-34.
- [17] Roje-Bonacci, T. (2003.) Mehanika Tla, Građevinski Fakultet Sveučilišta u Splitu, Split.
- [18] Weart, S. (2003.) The discovery of rapid climate change. Physics Today 56 (8). 30-36.
- [19] van Asselt, M. B. A., Beusen, A. H. W. i Hilderink, H. B. M. (1996.) Uncertainty in integrated assessment: A social scientific perspective. Env. Mod. and Assess. 1, 71-90.
- [20] Rodda, J. C. (1996.) The depths of our knowledge. UNESCO Sources 84, 9.
- [21] Bonacci, O. (2002.) Evapotranspiration – the most unrealable parameter of the water budget. Proc. of the 21st Conf. of the Danube Count. on the Hydrol. For. and Hydrol. Bases of Wat. Man., Bucharest, 2-6 Sept. 2002. CD-ROM.
- [22] Bonacci, O. (1987.) Karst Hydrology. Springer-Verlag, Berlin.
- [23] Bonacci, O. (1994.) Oborine Glavna Ulazna Veličina u Hidrološki Ciklus. Geing, Split.
- [24] Sevruck, B. (1986.) Correction of precipitation measurements. Züricher Geographische Schriften 23, 13-23.
- [25] Bonacci, O. i Horvat, B. 2003. Bilanca voda Hrvatske: dostignuća i potrebe. Zbornik radova 3. Hrvatske Konferencije o Vodama. Osijek 28.-31. svibnja 2003, 33-43.

PRESENT STATUS AND NEEDS FOR FURTHER DEVELOPMENT OF HYDROLOGY

by

Prof. dr. sc. Ognjen BONACCI
Faculty for Civil Engineering and Architecture, Split, Department for Hydrology
E-mail: obonacci@gradst.hr

Summary

The paper examines the evolution of hydrological methods, the past and present status of hydrology, as well as its development trends for the future. Improved background information is crucially significant for the progress of this science, which is so important for water management, especially when confronted with critical situations, such as draughts, floods and other occurrences that can be qualified as catastrophic events, which may have grave consequences on the affected societies. Hydrological research has always been focused on the study of the hydrographic cycle and the water balance, both in natural watersheds and administrative areas (e.g. countries, urban districts, etc.). Whereas the water balance equation is simple and well known, difficulties arise in the determination of input

and output parameters, as well as from the variability of water quantities in function of the time interval considered. The determination of the watershed boundaries is sometimes intricate, especially in karst geology and in alluvial plains. Difficulties are also encountered in the measurement and assessment of precipitation over a certain area, as well in the determination of evapotranspiration. The article attempts to answer the fundamental question: "How to make hydrology more efficient for water resources management?"

Key words: hydrology, water resources management, watershed, precipitation, evapotranspiration

Redigovano 03.12.2005.