

RAZVOJ HIDROLOGIJE U 21. STOLJEĆU

dr. sc. Ognjen Bonacci,
prof. emer.
Sveučilište u Splitu,
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15,
Split, Hrvatska
e-mail: obonacci@gradst.hr

U članku su izneseni principi i smjerovi razvoja hidrologije u 21. stoljeću. Tretirana je problematika i uloga ekohidrologije kao i vodnog otiska te vrijednosti i cijene vode. Osobita pažnja je usmjerena na novo objašnjavanje nove interdisciplinarnosti nazvane socio-hidrologija. Složene probleme koji se javljaju u odnosu čovjeka i vode potrebno je tretirati mnogo šire od onoga kako je to uobičajeno u klasičnoj hidrologiji. Interakcija čovjeka i vode složena je, dinamična i podložna naglim promjenama uvjetovanim prvenstveno raspoloživošću vode u prostoru i vremenu te potrebama ljudi i prirode za istom. U sebi nosi nedokučiv broj posljedica na sve procese na Zemlji (društvene, ekološke, biološke itd.). O odnosu čovjeka i vode izravno zavisi ispunjavanje planetarnih ciljeva održivog razvoja. Zbog toga se taj odnos ne smije tretirati isključivo ili dominantno s hidrološkog stanovišta. Kao pokušaj nalaženja odgovora na ovaj planetarni izazov, prije tridesetak godina pojavile su se ekohidrologija i hidrobiologija te koncept vodenog otiska. Pojam socio-hidrologije uveli su Murugesu Sivapalan, Hubert Savenije i Günter Blöschl u članku objavljenom 2012. godine u prestižnom znanstvenom časopisu *Hydrological Processes*. U radu su izneseni osnovni principi i zadatci socio-hidrologije. Naglašeno je da je ona u ranoj fazi razvoja te da se tek mora formirati i stvoriti uvjete za postizanje njenog osnovnog cilja, a taj je pružanje podrške održivom razvoju.

Ključne riječi: socio-hidrologija, ekohidrologija, hidroekologija, vodeni otisak, održivi razvoj

1. UVODNO RAZMATRANJE

Očito je da voda i društveni procesi imaju duboku isprepletenost ključnu za prošlost, sadašnjost i budućnost planete. U literaturi na engleskom jeziku postoje brojne i manje ili više različite definicije, pristupi, koncepti, shvaćanja ove danas vrlo aktualne problematike. Svaka pojedina znanost drugačije ju tretira i objašnjava. Iako razne znanstvene grane, tehničke, kao i one društvene, problematiku utjecaja vode na društvene procese tretiraju već vrlo dugo vremena, smatra se da su suvremeni znanstveni pojam socio-hidrologije uveli Murugesu

Sivapalan, Hubert Savenije i Günter Blöschl u članku „*Socio-hydrology: A new science of people and water*“ objavljenom 2012. godine u prestižnom znanstvenom časopisu *Hydrological Processes*. Autori spomenutog rada navode da se ključni interes socio-hidrologije sažima u potrazi za boljim razumijevanjem sustava ljudi-voda. Kako se radi o stručnjacima koji pripadaju tehničkim znanostima, prije svega hidrologiji, oni naglašavaju njenu dobrodošlicu u područje tradicionalne hidrologije te očekuju stvaranje nove znanstvene grane

koju nazivaju *socio-hydrology* (Sivapalan i sur., 2012.). U ključnim riječima ovog članka i nekih drugih radova spominju se i drugi pojmovi koji se koriste u literaturi kao što su: *hydro-sociology*; *human-water systems*; *human-nature systems*; *water resources systems*; *social-ecological systems*; *socio-hydrologic modelling*; *coupled human and natural systems (CHANS)*; *integrated water resources management*; *water resources management*; *hydrology* itd. Ključni doprinos spomenutog rada bio je u činjenici što je on utjecao na kreiranje ogromnog porasta interesa hidrološke i tehničke znanstvene zajednice za ulogu i funkcioniranje socijalnih sustava. Broj objavljenih radova iz tog područja u vodećim svjetskim časopisima koji se bave ne samo hidrologijom, nego i širom problematikom vode, od pojave članka objavljenog 2012. godine do danas višestruko je porastao (Madani i Shafiee-Jood, 2020.).

Već na samom početku rada na ovom članku suočili smo se s dilemom kako na hrvatski jezik prevesti pojam *socio-hydrology*. Ovaj je članak napisan ne samo da se šira stručna javnost obavijesti o novim trendovima u izučavanju odnosa ljudi-voda, već i s ciljem da se nađe odgovarajući pojam u našem jeziku za novu i brzo razvijajuću interdisciplinarnu znanstvenu granu. Za rješavanje ove dileme od značajne bi koristi bilo da se naša najšira znanstvena zajednica aktivno uključi te pridonese općim naporima i svjetskim trendovima izučavanja različitih vidova dinamičnog razvoja odnosa ljudskog društva i vode. U nastavku ovog rada koristit će se pojam socio-hidrologija.

Treba biti svjestan činjenice da je problem odnosa čovjeka i vode bio predmet interesa različitih grana znanosti daleko prije pojave ovog članka. Spomenuti rad treba shvatiti kao potrebu konceptualizacije odnosa čovjeka i vode uvažavajući i uključujući u razmatranje dinamiku pojavnosti vode u prostoru i vremenu. Tom problematikom i njenom prostorno vremenskom dinamikom najintenzivnije se bavi upravo hidrologija, iako ne jedino ona, kao znanstvena i inženjerska disciplina. Postavlja se pitanje predstavlja li socio-hidrologija novi koncept koji ujedinjuje ili dijeli znanosti uključene u izučavanje složenog međuodnosa ljudskih i prirodnih sustava (Madani i Shafiee-Jood, 2020.). Upravo s ciljem postizanja skladnog ujedinjavanja napora različitih grana znanosti za budućnost socio-hidrologije, ključno je spajanje postojećih pristupa i dostignuća s novim konceptima i tehnologijama. Samo će na taj način biti moguće doći do originalnih i učinkovitih doprinosa u rješavanju praktičnih i sve složenijih izazova koji se javljaju u odnosu prirodnih i antropogenih sustava.

Bitno je stvoriti uvjete da se odnos ljudi-voda tretira mnogo šire od onoga kako je to uobičajeno u klasičnoj hidrologiji. Interakcija ljudi i vode složena je, dinamična i podložna naglim promjenama uvjetovanim prvenstveno raspoloživošću vode u prostoru i vremenu te potrebama ljudi i prirode za istom. U sebi nosi nedokučiv broj posljedica na sve procese na Zemlji (društvene, ekološke,

biološke itd.). Zbog toga ju se ne smije tretirati isključivo ili dominantno s hidrološkog stanovišta. S druge strane, hidrološke podloge i principi ne smiju biti zanemarene ili isključene iz razmatranja. One moraju biti uključene u razmatranje kompleksnih i varijabilnih procesa ljudi-voda, kao podloga za donošenje pouzdanih zaključaka i rješenja. Uloga hidrologije je bitna i nezamjenjiva stoga jer se ona bavi izučavanjem pojavnosti vode u najrazličitijim mjerilima prostora i vremena, čime pruža osnovicu za pravilno zaključivanje o uzrocima i posljedicama složene interakcije čovjeka, prirode i vode u raznim vrstama okoliša i tijekom različitih vremenskih razdoblja.

O dostupnosti i kvaliteti vode ovisi život svakog čovjeka i svakog živog bića na planeti, pa bi već i zbog toga svi ljudi i prirodni sustavi trebali na vodu imati jednako pravo. Kako se brzo i dramatično mijenjao odnos ljudi i vode, kao dobar primjer može poslužiti činjenica da UN-ova Opća deklaracija o ljudskim pravima, donesena 1948., ne spominje temeljno i neotuđivo pravo čovjeka na vodu. Tek je 2010. Generalna skupština UN-a, sa 122 glasa za i 41 suzdržan donijela neobvezujuću rezoluciju o pravu čovjeka na vodu i odgovarajuće sanitarne uvjete. Treba napomenuti da niti jedna država nije bila protiv te deklaracije, ali su suzdržani bili uglavnom predstavnici bogatih i razvijenih zemalja. Zašto oni? Vrlo vjerojatno zbog toga što oni vodu vide kao resurs s kojim se može trgovati, na kojem se oni mogu bogatiti. I tu uglavnom računaju na tuđu vodu, vodu siromašnih zemalja. U posljednjim desetljećima u svijetu je započeo proces tretiranja vode kao sredstva za trgovanje (npr. Bonacci, 1994.; Swaney, 1998.; Olmstead, 2010.; Anderson i Libecap, 2011.; Dalin i sur., 2012.; Konar i sur., 2012.; Graham i sur., 2020. itd.). Razlog tome nije ni isključivo niti prvenstveno vodna kriza, nego mnogo više borba za vlast i stjecanje ekonomske i političke moći. Klimatske promjene, prije svega globalno zagrijavanje, i nezaustavljivi globalni socio-ekonomski razvoj uzrokuju nekontrolirani pritisak na vodu kao ključni prirodni resurs neophodan čovjeku i okolišu. Primjera radi, navodi se da npr. urbanizacija (slično je i s ostalim antropogenim zahvatima i procesima) predstavlja primarno demografski i ekonomski fenomen, a nedovoljno se razmatra da ona uzrokuje drastične i dugoročne ekološke transformacije. Shvaćanje tih dramatičnih promjena odnosa čovjeka i prirode (prije svega promjena koje izaziva u hidrološkom ciklusu) osnovica je za postizanje održivog razvoja (Rees i Wackernagel, 1996.). Vjerojatno bi socio-hidrologija mogla i trebala dati prava teoretska objašnjenja i praktične smjernice za rješavanje ovih globalno vrlo opasnih procesa. Očito je da pred njom stoje ozbiljni i složeni zadatci s kojima se mora suočiti.

Pritisak na vladanje nad upravljanjem vodnim resursima je sve izrazitiji i poprima sve opasnije oblike. Kao ilustracija se navodi da je na termiskom tržištu roba na Wall Street-u dana 9. prosinca 2020. započelo trgovanje vodom. Njezina će cijena varirati poput cijena

nafte, zlata ili pšenice. Financijski stručnjaci uvjeravaju da će dolazak vode na robno tržište omogućiti bolje upravljanje budućim rizicima povezanim s tim ključnim prirodnim resursom. Ali, mnogi sumnjaju u tu dobru namjeru. Cijena vode u Kaliforniji se udvostručila zadnjih godinu dana. Očito je došlo vrijeme da se i mi ozbiljno zabrinemo za vlastite vodne resurse. Može li nama, koji se dičimo bogatstvom i visokom kakvoćom svojih voda, socio-hidrologija pomoći da ih sačuvamo kao istinsko nacionalno blago?

2. HIDROLOGIJA

Sve pojave u atmosferi, litosferi i biosferi odigravaju se uz učešće vode. Voda je vrlo rasprostranjena životna sredina. Procjenjuje se da na površini Zemlje ima otprilike 1,6 milijardi km³ vode koja je izrazito neravnomjerno raspoređena. Želi li se cjelovito shvatiti uloga hidrologije u najširem kontekstu odnosa ljudi-voda, neophodno je započeti od analize njene definicije. Tu se nailazi na problem da ju različite vodeće svjetske institucije ne definiraju identično. Na primjer, jedna od vodećih svjetskih znanstvenih institucija *National Research Council SAD-a* daje sljedeću definiciju: „Hidrologija je znanost koja se bavi vodom iznad, na, i ispod površine terena, njenom pojavom, kretanjem i raspodjelom, kemijskim i fizičkim svojstvima, kao i njenim okruženjem, uključujući i odnos sa živim bićima“ (NRC, 1991.). *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) i *World Meteorological Organization* (WMO) kao organizacije koje detaljno i sveobuhvatno razmatraju odnos ljudi-voda i traže praktična rješenja za njegov održivi razvoj objavili su sljedeću definiciju hidrologije: „Hidrologija je znanost koja se bavi procesima koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji, te izučavanjem različitih etapa hidrološkog ciklusa“ (UNESCO i WMO, 1992.). Razlike u ove dvije definicije su značajne. Mišljenja smo da je potrebno spojiti i donekle modernizirati definiciju suvremene hidrologije. Rješenje bi moglo glasiti: „Hidrologija je znanost koja se bavi svim vidovima uloge i oblicima pojavnosti vode koja stoji na raspolaganju na planeti. To uključuje izučavanje pojave vode, njenih svojstava, njene raspodjele i cirkulacije, kao i utjecaje na živa bića i njihovo okruženje.“

Kad se hidrologija počela formirati kao nezavisna znanost, krajem 19. stoljeća, njena su dostignuća uglavnom služila za rješavanje praktičnih inženjerskih problema. Danas je situacija s hidrologijom bitno drugačija. Ona se razvija u dva smjera koji se, kako sada stvari stoje, sve više razilaze i čini se, nažalost, nedovoljno surađuju. Jedan od njih je čisto znanstveni. Pod pojmom čiste znanosti podrazumijeva se znanost koja zavisi o dedukciji predočenih i dokazanih istina, kao npr. matematike i logike ili studija koje ne vode računa o praktičnoj primjeni. Ovaj smjer hidrologije se osobito intenzivno razvija u posljednjih nekoliko desetljeća.

Njegovi zagovornici vjeruju da će matematičkim modelima i korištenjem najnovijih koncepata i tehnologija moći pouzdanije predvidjeti budućnost razvoja odnosa ljudi-voda. Drugi smjer razvoja hidrologije je njena primjena u svakodnevnoj praksi. Činjenica je da su hidrološke informacije neophodne u brojnim praktičnim primjenama. I ovaj smjer hidrologije koristi brojna dostignuća ostalih znanosti i suvremenih tehnologija neophodnih za rješavanje praktičnih svakodnevnih inženjerskih zadataka. Ona manje ili više uspješno koristi nove tehnologije za rješavanje sve težih problema vezanih s poplavama, sušama, upravljanjem hidrotehničkim sustavima, navodnjavanjem, opskrbom vodom, rješavanja najrazličitijih vrsta vodnih kriza itd. Nažalost, postoje institucije (najčešće se radi o onim visoko obrazovnim) koje inženjersku hidrologiju zanemaruju ili je čak ne smatraju granom znanosti, već praktičnom disciplinom, što nije ispravno.

Suvremena numerički orijentirana hidrologija podržana moćnim računalima pokušava koristeći brojne nove znanstvene metode i pristupe naći bolja rješenja (često ih naziva optimalnim, iako je rijetko jasno što se optimizira) za klasične hidrološke probleme, što je svakako za pozdraviti. Pri tome se nerijetko zaboravlja da se zaključci donose na osnovi mjerenih podataka koji su daleko od apsolutno pouzdanih. Posebno to vrijedi kad se analiziraju dugi vremenski nizovi hidroloških ili klimatoloških parametara, duži od sto godina, te kad se na osnovi njih (uz ili bez homogenizacije i drugih postupaka ispitivanja korektnosti) pokušava donijeti pouzdane zaključke o budućnosti razvoja analizirane pojave.

Čini se da se u hidrologiji, kao uostalom i u nizu drugih znanosti, raskorak između teorije i prakse povećava. Razlog takovom trendu vjerojatno se nalazi u obrazovnom sustavu na sveučilištima koji preferiraju primjenu novih metoda, koncepata i tehnologija bez nužnog kritičkog razmatranja koliko one stvarno pridonose sagledavanju složene problematike i rješavanju sve složenijih problema vezanih s vodom. Činjenica je da vodeći svjetski znanstveni časopisi, čiji je utjecaj na razvoj znanosti danas dominantan, preferiraju upravo takav pristup. Posljedica toga je da je mladi naraštaj hidrologa-geofizičara odgajan tako da vjeruje da se modelima u kojima se koriste suvremene numeričke metode (danas se to osobito odnosi na *neural network* i/ili *machine learning*) može sve shvatiti i riješiti. Pojednostavljeno rečeno, smatra se da su tako zasnovani modeli „liječ za sve bolesti“. To je vrlo daleko od realnog svijeta u kojem živimo. Nerijetko se zanemaruje činjenica da je hidrologija jedna od grana geofizike u kojoj na procese istovremeno utječu brojne nepredvidive prirodne, a danas sve više i ljudskim radom uzrokovane pojave. Hidrologija je do sada, a tako mora biti i u buduću, bila lojalna bazičnim principima fizike i kemije i svojim geofizičkim korijenima (Bonacci, 2004.; 2005.). Blöschl (2006.) se zalaže za stvaranje

složenijih hidroloških modela, ali upozorava da oni često ograničavaju njihovu upotrebljivost u praksi. Rješenje je u hidrološkoj sintezi procesa, lokacija i vremenskih skala. Svoj razvoj hidrologija mora zasnivati na brojnim pouzdanim mjerenjima najrazličitijih parametara koji utječu na hidrološke procese. Današnja tehnologija u tom smislu pruža velike mogućnosti, neusporedivo veće od onih koje su postojale prije dvadesetak godina. Ta činjenica trebala bi biti glavni pokretač daljnjeg razvoja hidrologije.

Hidrologija je znanstvena i primijenjena disciplina koja se nalazi u fazi burnog razvoja i ima vlastite probleme koje mora sama razriješiti. Hidrologija u ovom trenutku previše brine da bude „in“, a posljedica toga su da nedovoljno vodi računa o vlastitim bitnim praktičnim zadacima. Čini se da suvremena hidrologija ponekad bježi u svijet numeričkih metoda bez odgovarajuće podrške mjerenja. Bez kvalitetnih podataka mjerenja i najsloženiji matematički modeli i analitički pristupi gube smisao i ne služe osnovnim ciljevima hidrologije.

Pošto je hidrologija glavni ulazni čimbenik bitan za upravljanje vodnim resursima i okolišem, ona mora biti duboko povezana s brojnim znanstvenim i praktičnim disciplinama. Njeni zaključci moraju biti dostupni, razumljivi i od koristi svima koji na bilo koji način koriste vodu ili imaju kontakt s vodom. U najnovije su vrijeme politika i pravo postali izrazito zainteresirani za hidrološka dostignuća, posebno ona vezana s upravljanjem graničnim i prekograničnim vodnim resursima (organizacijom obrane od poplava, crpljenjem vode iz vodonosnika koji dijele više država, upravljanje riječnim tokovima koji prolaze kroz više država, itd.). Sredstva javnog informiranja u kritičnim situacijama (poplave, suše, pojave klizišta, itd.) uglavnom senzacionalistički izvještavaju o njima tražeći krivca. To joj daje kratkotrajnu (dok traje kriza) važnost u javnom prostoru, ali nažalost ne pridonosi stvarnom razumijevanju njene uloge. Zbog senzacionalističkog pristupa, često tragičnim događajima, stvara se u javnosti slika da se radi o neozbiljnom i neodgovornom poslu.

Definitivno je neophodno podržavati svaki pokušaj osuvremenjivanja i osnaživanja hidrologije uvođenjem novih pristupa, metoda, koncepata, tehnologija i alata. Bitno je kod toga ne zanemariti njene osnovne vrijednosti i nezamjenjivo važnu ulogu u porodici geofizičkih i inženjerskih znanstvenih i praktičnih disciplina. Gruba realnost oko nas (nedostaci vode, poplave, suše, zagađenja vode i okoliša, devastacija biološke raznolikosti, klimatske promjene itd.) imperativno zahtijeva da se hidrologija koncentrira na srž problema i vrati svojim korijenima. Hidrologija je previše važna da bi se njena osnovna uloga mogla zanemariti.

3. EKOHIĐROLOGIJA I HIĐROEKOLOGIJA

Izuzetan biološki značaj vode proističe iz njenih fizičkih i fizičko-kemijskih svojstava. Integracijom

ekologije i hidrologije želi se stvoriti novo i učinkovito oruđe za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Dosadašnje upravljanje vodnim resursima, vezano sa hidrologijom, bavilo se pokušajima otklanjanja prijetnji koje nastaju kao posljedica poplava, suša ili zagađenja. Praksa je ukazala na nedostatke takvog pristupa. Uočeno je da se uspješna strategija mora sastojati od otklanjanja prijetnji i osiguravanja održivog razvoja za ljude i životnu sredinu. To je utjecalo na stvaranje novog koncepta koji se najčešće naziva ekohidrologija. U biološko-ekološki usmjerenj literaturi koristi se naziv hidroekologija. Ekohidrologija je usredotočena na izučavanje učinaka hidroloških procesa na raspodjelu, strukturu i funkciju ekosustava i na učinke bioloških procesa na elemente hidrološkog ciklusa (Nuttle, 2002.). U središtu interesa ekohidrologije je tlo i vlaga u tlu kao i povratne sprege između vegetacije u raznim vrstama krajolika (Moore i sur., 2015.). Bitno je shvatiti ulogu vegetacije kao medijatora ulaza i bilance voda u različitim mjerilima prostora i vremena. Hidroekologija se prema tipu izučavanja dijeli na autohidroekologiju i sinhidroekologiju. Autohidroekologija (idiodidroekologija) izučava odnose pojedinih organizama prema vanjskoj sredini, dok sinhidroekologija izučava odnos vodenih životnih zajednica prema faktorima sredine, tj. izučava zakonitosti i pojave u životu životnih zajednica vodenih ekosustava (Dodds, 2002.; Wood i sur., 2008.).

Ključni interes ekohidrologije predstavlja izučavanje utjecaja hidroloških stanja i procesa na ekosustave i okoliš. Hidroekologija je grana ekologije koja izučava ekologiju vodenih ekosustava, pri čemu je osobita pažnja usmjerena akvatičnim organizmima. U oba se slučaja radi o istraživanju povratnih sprega i reakcija ekosustava na prirodne hidrološke varijacije i one uzrokovane antropogenim zahvatima. U literaturi se navodi da ekohidrologija predstavlja integracijsku znanost u mjerilima od molekule do sliva (UNESCO – IHP, 2016.). Razvoj ekohidrologije i hidroekologije nosi različite, ali vrlo obećavajuće perspektive kako ekolozima i biologima tako i hidrolozima. Činjenica je da se ove dvije interdisciplinarnne grane znanosti tek trebaju dublje povezati i bolje međusobno razumjeti kako bi mogle dati učinkovitije odgovore na izazove budućnosti vezane s održivim razvojem.

Da bi se mogli ispuniti složeni ciljevi integracije ekologije (biologije) i hidrologije (geofizike), Harte (2002.) se zalaže za sintezu Newtonovih i Darwinovih znanstvenih pristupa. Ova sinteza nudi mogućnost progresa na dodirnom području između ekologije i fizike na kojem se sve intenzivnije javljaju kritični kako teoretski, tako i praktični problemi. Harte (2002.) argumentira svoje stavove na sljedeći način: 'Fizičari teže definiranju jednostavnih univerzalnih zakona. Ekolozi insistiraju na složenim međuzavisnostima. Održiva budućnost naše planete vrlo vjerojatno će zahtijevati pristup sa obje strane. Fizičari i ekolozi zasnivaju svoje koncepte na različitim intelektualnim tradicijama, što je posljedica različitih sustava vrijednosti koje istovremeno

pokušavaju ostvariti i pojednostavljenja i univerzalnost. Kao teoretičar direktno angažiran na studijama ekologije i globalnih promjena bio sam nerijetko svjedok nedjelotvornosti rješenja kao posljedice postojanja takve dvostruke tradicije."

U posljednjih nekoliko desetljeća došlo je do ogromnog povećanja interesa za izučavanje najrazličitijih vidova ekohidrologije i hidroekologije. Broj međunarodnih znanstvenih časopisa koji tretiraju tu problematiku, kao i broj programa na sveučilištima cijelog svijeta, koji nude obrazovanje iz te problematike, doživio je neslućeni bum. Međutim, i nažalost, stvari se u praksi nisu bitno (ako su se uopće) promijenile na bolje. O tome, prije svega, svjedoči stanje stvari s vlažnim područjima (močvarama). Interes za vlažnim područjima u svijetu dobio je globalne dimenzije potpisivanjem tzv. Ramsarske konvencije 2. veljače 1971. godine. Konvenciju je do sada potpisalo 114 država i u nju uključilo 70,7 milijuna hektara vlažnih površina. Kent (2001.) naglašava da zvuči ironično da je usporedo s porastom svijesti o važnosti vlažnih područja njihov broj drastično smanjen, doslovno na cijeloj planeti. Procijenjeno je da je u razdoblju od 1780. do 1980. na području SAD-a nestalo 470.000 km² vlažnih područja. Tijekom četrdeset godina od 1940. do 1980. posječene su goleme količine stabala tvrdog drva iz visoko kvalitetnih nizinskih šuma u vlažnim područjima, a devastacija je intenzivirana i poslije. Većina preostalih vlažnih područja degradirana je upuštanjem nepročišćene ili nedovoljno pročišćene kanalizacije, izgradnjom infrastrukture, urbanizacijom, industrijalizacijom, sječom šuma i intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom. Situacija je gotovo identična u cijelom svijetu, a posebno je teška u najrazvijenijim zemljama. Preostala vlažna područja su razmrvljena i/ili izolirana i dalje podvrgnuta degradiranju.

Da bi se povezali ekohidrološki (pretežno hidrološki usmjereni) i hidroekološki (pretežno biološki usmjereni) pristupi proći će još mnogo vremena i bit će potrebna još brojna istraživanja. UNESCO - IHP (2016.) navodi sljedećih jedanaest smjerova istraživanja koji su bitni za postizanje tog cilja, ključnog za planetarni održivi razvoj:

1. S ciljem da se shvati današnje stanje odnosa hidrološkog režima i raspodjele biote u riječnom koridoru neophodno je sakupiti, analizirati i interpretirati promjene tijekom dugih vremenskih razdoblja.
2. Ekohidrološka rješenja trebaju biti oruđe za održivo korištenje akvatičkih resursa. Ona moraju pružiti podršku otpornosti, prilagodljivosti i zaštiti riječnih koridora.
3. Ranjivost otvorenih vodotoka, prirodnih jezera, umjetnih akumulacija i ušća zavisi osobito o sezonskim svojstvima hidroloških i bioloških procesa koji mogu biti drastično izmijenjeni ljudskim intervencijama.

4. Dotok hranjiva u akvatične sustave pod snažnim je utjecajem promjena karakteristika prirodnog hidrološkog i ekološkog režima izazvanog ljudskim intervencijama.
5. Intenziteti i trajanja poplava promijenjeni su ljudskim zahvatima, što ima utjecaj na biološke karakteristike, ali i biološki procesi utječu na hidrološki režim. Radi se o tzv. prototipu dualne regulacije.
6. Stanje hranjiva u otvorenim vodotocima pod utjecajem je dotoka podzemnih voda i biotičke strukture riječne doline.
7. Transport i transformacija zagađivača pod snažnim je utjecajem hidrološko-hidrauličkog režima i ekoloških karakteristika riječnog koridora.
8. Primjena na GIS tehnologiji zasnovanim ekohidrološkim pristupima podjele na podsustave slivova koji se sastoje od ekotona (prirodne prijelazne zone između dva različita i susjedna ekološka sustava) omogućava dobivanje značajnih hidroloških i ekoloških informacija bitnih za bolje razumijevanje procesa te nalaženje učinkovitijih rješenja.
9. Sveobuhvatno razumijevanje ekohidroloških procesa i primjena metoda koje su sposobne pouzdano prognozirati procese osnovica su za ekonomično upravljanje vodnim resursima i okolišem.
10. Optimizacija strukture i funkcije ekotonalnih zona, kao što su obalni pojasovi, vlažna područja i plavljena područja, bitni su za redukciju transfera hranjiva iz sliva u riječni tok i dalje u nizvodne recipijente.
11. Pokazatelji za pouzdano predviđanje, planiranja, održivi razvoj i upravljanje akvatičnim resursima moraju biti zasnovani na točkastim/lokalnim podacima i na studijama hidroloških procesa velikih razmjera.

Kako u praksi postići ove ciljeve stvar je budućeg razvoja ekohidrologije i hidroekologije kao bitnih preduvjeta za razvoj socio-hidrologije.

4. VODNI OTISAK

Vrijednost vode, a posebno one pitke, sagledavana u apsolutnim i idealnim kategorijama, nedvojbeno je najviša na ljestvici valorizacije potreba ljudi i prirode. Međutim, kad se s tog nivoa prijeđe u realni svijet stvari s vrednovanjem vode, a posebno plaćanjem njenog korištenja, postaju mnogo složenije i značajno kontraverznije. UN je u svojoj aktivnosti nazvanoj *World Water Vision* (WWV) istaknuo da svakom ljudskom biću, danas i u budućnosti, treba osigurati siguran pristup pitkoj vodi, odgovarajućim uvjetima sanitacije, kao i dovoljno hrane i energije po razumnoj cijeni uz uvjet

da neophodne količine vode moraju biti priskrbljene na način da se ne naruši prirodna ravnoteža. Problem je kako ostvariti ove plemenite ciljeve i tko će platiti cijenu za sve usluge vezane s vodom. Cijena vode, ma kako ona bila formirana, ne odražava realno i njenu vrijednost. Radi se o dva nerijetko suprotstavljena pojma i/ili koncepta. S druge strane, svatko tko koristi vodu mora platiti za nju određenu cijenu koja ne treba i vrlo često ne može biti plaćanje punog iznosa za sve usluge vezane s dopremom, korištenjem i odvođenjem upotrijebljene vode.

Određivanje cijene vode predstavlja jednu od mjera za kontrolu i smanjivanje pretjeranog i nepotrebnog korištenja vode (rasipanja) od strane različitih korisnika. Postoje brojni i različiti pristupi za ostvarenje ciljeva jednakosti, učinkovitosti i održivosti u sektoru upravljanja vodama. Formiranje različitih cijena za razne korisnike jedan je od konceptualno najjednostavnijih, ali ga je složeno politički ostvariti. Pošto voda predstavlja ekonomsko dobro, osnovni je problem kako u praksi ostvariti promovirane i nužne principe jednakosti, učinkovitosti i održivosti (Rogers i sur., 2002.). Smatra se da bi upravo socio-hidrologija trebala i mogla pomoći u nalaženje rješenja za ovaj krucijalni problem. Potpuno je sigurno da u raznim ne samo državama, nego i pojedinim regijama iste države cijena vode ne može biti ista, te da se za njeno pravično formiranje moraju koristiti ne samo tehnički i geofizički kriteriji, nego i oni ekonomski, politički i socijalni. Europska unija od svojih članica u dokumentu nazvanom *Water Framework Directive* (WFD) zahtijeva da politika cijena vode potiče učinkovito korištenje vodnih resursa te da osigura nadoknadu usluga opskrbom vode na ravnopravan (makar što to značilo) način. Činjenica je da su cijene vode u posljednjim desetljećima u cijelom svijetu u nezaustavljivom porastu.

Kanadski ekolozi Rees i Wackernagel (1994.) objavili su i obrazložili novi pojam *ecological footprint* koji se na hrvatski jezik prevodi kao ekološki otisak. On predstavlja mjeru ljudskog utjecaja na prirodne resurse te prikazuje odnos između zahtjeva čovjeka i njegovih gospodarskih djelatnosti na biološki produktivno područje i planetarne regenerativne sposobnosti. Prethodno spomenuti pojam izravno je uzrokovao pojavu novog pojma *water footprint* ili vodeni otisak (Hoekstra i Hung, 2002.). On ukazuje na opseg korištenja vode u smislu njezine potrošnje od strane pojedinaca, zajednice i poduzeća. Predstavlja količinu vode koja se koristi u proizvodnji dobara i usluga koje konzumiraju pojedinci, zajednice i poduzeća. Količina iskorištene vode je jednaka količini vode koja se troši ili onečišćuje u vremenskoj jedinici. Radi se o količini kopnene ili vodene površine koja je pojedincu, naciji ili čovječanstvu potrebna za vlastito održanje i za zbrinjavanje otpada koji proizvede. Od tada do danas načela ekološkog i vodenog otiska našla su široku primjenu u upravljanju i korištenju resursa u gospodarstvu, prije svega država, a potom i regija te poduzeća. Često se koristi za izučavanje održivosti različitih životnih običaja, načina proizvodnje i korištenja

dobara i usluga, organizacije, poslovanja, industrije te upravljanja regionalnim i nacionalnim privredama. Hoekstra i Chapagain (2008.) su razvili daljnju terminologiju vezanu s vodenim otiskom koja se danas koristi u cijelom svijetu.

Gradovi predstavljaju žarišne prostore proizvodnje i potrošnje roba i usluga, što značajno utječe na lokalne, regionalne pa i nacionalne sustave vodnih resursa. Procijenjeno je da oko polovine planetarnog stanovništva živi u gradovima. Ogromne količine vode virtualno dotječu i istječu iz gradova kroz opsežne izmjene dobara i usluga u i iz gradova. Oba toka vode, onaj virtualni kao i onaj realni, utječu na održivi razvoj ranjivih urbanih prostora. Želi li se osigurati održivi razvoj gradova, detaljno je neophodno shvatiti i upravljati s tim složenim procesom (Paterson i sur., 2015.). Hoekstra i sur. (2011.) su razvili i detaljno opisali metodu za određivanje tzv. *Water Footprint Network* (WFN). Ona može biti korištena za određivanje konzumne upotrebe slatke vode u bilo kojoj skali vremena i prostora i za bilo koji proizvod ili ekonomsku granu. Ovakav pristup tretiranja odnosa ljudi-voda predstavlja značajni doprinos socio-hidrologiji. Za naše stručnjake koji se bave ili tek namjeravaju baviti problematikom virtualne vode u Hrvatskoj (kod nas je ta vrsta istraživanja u začetku) preporuča se detaljno konzultiranje rada o vodenom otisku u SAD-u (Konar i Marston, 2020.).

Pojam vodenog otiska dalje se dijeli na vodeni otisak plave vode i zelene vode. Vodeni otisak plave vode je količina plave vode (slatkih površinskih i podzemnih voda) iskorištena iz globalnih resursa plave vode za ispunjavanje potreba pojedinaca, nacije ili čovječanstva za proizvodnju dobara i vršenje usluga. Vodeni otisak zelene vode je količina zelene vode (vlage korištene za rast i razvoj bilja) iskorištena iz globalnih resursa zelene vode za ispunjavanje potreba pojedinca, nacije ili čovječanstva za proizvodnju dobara i vršenje usluga.

Osim zelene i plave vode, u literaturi se koriste i brojne druge vrste virtualnih voda. Nastavno se daju njihove definicije:

Zelena voda predstavlja kišu koja se uskladišti u tlu te isparava iz nje. Zelena voda predstavlja vodu koja se koristi za razvoj vegetacije. Ova je voda bitna za pružanje podrške poljoprivrednoj proizvodnji, ali i okolišu. Radi se o glavnom izvoru vode za potrebe prirodnih ekosustava i za poljoprivredne kulture koje se hrane isključivo oborinskom vodom (*rainfed agriculture* – suho ratarenje). Na taj se način proizvodi 60 % svjetskih količina hrane.

Plava voda su obnovljivo površinsko otjecanje i prihranjivanje podzemne vode. Termin plava vode se odnosi na površinske i podzemne resurse slatkih voda. Radi se o glavnom izvoru vode koju ljudi koriste i na koju je usredotočena problematika upravljanja vodnim resursima. Ukupne planetarne raspoložive količine plave vode procijenjene su na oko 40.000 km³. Primjera radi, navodi se da je procijenjeno da je za potrebe ljudskih aktivnosti 1995. godine korišteno (odvedeno iz površinskih

vodotoka ili iscrpljeno iz podzemlja) oko 3.800 km³ što iznosi oko 10 % ukupno raspoloživih količina plave vode. Od toga je više od 2.000 km³ iskorišteno dok je ostatak vraćen u prirodu, ali uz znatno sniženje kakvoće.

Bijela voda predstavlja vodu koja se izgubi evaporacijom iz tla ili s prostora na površini terena na kojima se ista zadržala, te iz oceana i otvorenih vodotoka.

Crna voda se odnosi na vodu koja je zagađena ili sadrži fekalne materije, fosilnu podzemnu vodu i vodu u močvarama, kao i na drugim vlažnim područjima.

Siva voda predstavlja vodu iskorištenu za tuširanje, u praonicama, kao i onu nastalu drugim djelatnostima čišćenja koja ne sadrže fekalne materije, te zagađenu vodu tretiranu za ponovno korištenje.

Smeđa voda se odnosi na jako zakiseljene vode koje se uobičajeno javljaju u močvarama, vlažnim područjima ili vlažnom okolišu s niskim protocima i gotovo stagnirajućim stanjima, te na sirovu zagađenu vodu.

Koncepti raznih vrsta virtualne vode i vodenog otiska igraju važnu ulogu u socio-hidrološkim analizama.

5. SOCIO-HIDROLOGIJA

U literaturi je moguće naići na definicije uloge socio-hidrologije kao znanstvenog izazova usmjerenog na ispunjavanje ciljeva održivog razvoja (*Sustainable Development Goals* –SDG) (Di Baldassarre i sur., 2019.) i kao novu znanost odnosa ljudi i vode (Sivapalan i sur., 2012.). Iz prethodnih izlaganja vidljivo je da su i dosadašnji pristupi i koncepti u sebi sadržavali elemente kojima bi se trebala baviti socio-hidrologija, a njihov glavni nedostatak je nedovoljno izučavanje interakcije odnosa ljudi i vode. Sljedeći problem je u tome da se hidrološko-geofizička, ekološko-biološka i socijalna problematika trebaju uže i suštinski dublje međusobno povezati. Samo na taj će način one biti sposobne ponuditi učinkovitija rješenja u postizanju ciljeva održivog razvoja. Ali za to je potrebno vremena i napora. Kao prvo, treba obrazovati nove generacije stručnjaka te stvoriti znanstvene osnove razvijajući i primjenjujući u praksi nove interdisciplinarnе znanstvene koncepte.

Di Baldassarre i sur. (2013.b) socio-hidrologiju vide kao koncept koji bi mogao pomoći u boljem upravljanju poplavama koje danas predstavljaju jednu od najvećih ugroza čovječanstva. Ukazano je na ogromnu složenost hidroloških, ekonomskih, političkih, tehnoloških i socijalnih aspekata vezanih uz poplave. Prijedlog je da se oni pojednostavne što je više moguće. Ostvarenje tog ni malo jednostavnog cilja bit će moguće ako se fokusira na izučavanje i razumijevanje interakcija i povratnih sprega između spomenutih komponenti. Osobito treba voditi brigu da se objasni dinamično ponašanje i razvoj tijekom vremena plavljenih područja kao bitnog prostora kontakta ljudi i vode (Di Baldassarre i sur., 2013.a). U tom smislu treba voditi računa o činjenici da neke zajednice raspolažu manjim resursima te da moraju živjeti u blizini riječnih obala, tj. unutar plavljenih područja. Zbog toga

su one izložene većem riziku od poplava. Neophodno je voditi računa i o različitim kulturološkim pristupima i shvaćanjima poplava. Jednostavnije rečeno, svako tehničko rješenje obrane od poplava mora uključiti i socio-ekonomske čimbenike. Socio-hidrološke analize i rješenja plavljenih područja moraju biti zasnovane na komparativnoj analizi dugih vremenskih nizova ne samo hidroloških, već i socijalnih podataka. U tom smislu informacije i iskustva s ljudskim intervencijama u okoliš (npr. urbanizacija, promjena korištenja zemljišta, građevine za obranu od poplava itd.) moraju biti uključene u donošenje odluka (Blöschl, 2006.)

Razvoj socio-hidrologije važan je stoga jer on nudi mogućnost dubljeg sagledavanja složene problematike ključne za osiguranje održivog razvoja života na Zemlji. U literaturi je moguće naići i na pojam *coupled human and natural systems* (CHANS), koji ima mnogo zajedničkog s konceptom socio-hidrologije. Kramer i sur. (2017.) su CHANS problematiku razložili u sljedećih dvanaest područja: (1) Korištenje zemljišta i agrotehnika; (2) Prostorno i vremensko mjerilo; (3) Klimatske promjene; (4) Održivost i razvoj; (5) Prilagodba i otpornost; (6) Društvo i kultura; (7) Upravljanje; (8) Ponašanje i ekonomičnost; (9) Opći principi i dinamika sistema; (10) Obrazovanje i znanstvena komunikacija; (11) Zaštita i usluge ekosustava; (12) Metode CHANS istraživanja. Naveli su i 40 ključnih pitanja na koje bi CHANS trebao odgovoriti. Nastavno će se navesti samo nekoliko njih koja se čine bitnim i suštinski povezanim s konceptom socio-hidrologije, tj. s potrebom posjedovanja informacija o raspoloživosti vode u prostoru i tijekom vremena.

1. Kako će klima i ostale globalne promjene okoliša, kao npr. dostupnost vode, utjecati na agrotehničke sustave u različitim područjima?
2. Kako ćemo kao rezultat klimatskih promjena odgovoriti na potrebe povećanja proizvodnje hrane i energijom?
3. Kako će na globalnu ekonomiju i na prirodne sustave utjecati promjene korištenja zemljišta u regionalnim i lokalnim mjerilima?
4. Što su karakteristike održivog sustava korištenja zemljišta i kako ih u praksi možemo ostvariti?
5. Kako znanost najučinkovitije može integrirati podatke, metode i organizirati istraživanja unutar različitih mjerila prostora i vremena?
6. Koje su stvarne posljedice antropogenih utjecaja na promjenu klime te kako će one utjecati na razvoj odnosa ljudskih i prirodnih sustava u budućnosti?
7. Kako uskladiti održivi razvoj okoliša s održivim socijalnim i ekonomskim razvojem?
8. Koje su veze između usluga ekosustava i dobiti za ljude?

UN je kreirao 17 ciljeva održivog razvoja za razdoblje 2015.–2030. Njima se želi smanjiti globalna

nejednakost kao bitan preduvjet osiguranja održivog razvoja. Da bi se oni mogli ostvariti, neophodan je integralan pristup upravljanju i raspodjeli vodnih resursa uključivanjem svih sudionika i korisnika, vodeći računa o pravičnoj raspodjeli vodnih resursa među različitim sektorima društva. Činjenica je da u suvremenoj praksi upravljanja vodnim resursima u cijelom svijetu dominira tehnokratski pristup, koji je pokazao brojne slabosti i za koji je definitivno utvrđeno da ne predstavlja dugoročno održivo rješenje. Kako bi se izbjegle neplanirane negativne dugoročne posljedice u proces upravljanja vodnim resursima neophodno je shvatiti dinamične povratne sprege između prirodnih, tehničkih i socijalnih dimenzija sustava ljudi-voda. U tom procesu ključnu ulogu može i treba odigrati socio-hidrologija (Di Baldassarre i sur., 2019.). Za objašnjavanje tih složenih fenomena ova nova interdisciplinarna znanost mora se obratiti za pomoć i usko surađivati s brojnim znanstvenim i praktičnim disciplinama. Očito je da angažman stručnjaka iz područja društvenih i socijalnih znanosti mora biti osiguran, pošto su oni sposobni da objasne i predvide društvene utjecaje na ovaj, za planetu Zemlju, ključni izazov.

6. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Neosporno je da će uloga vode, a time i hidrologije, u budućnosti biti sve značajnija. Na to argumentirano ukazuje i rad objavljen u časopisu *Nature* (Constaza i sur., 2014.). Deset mladih ekonomista iz najrazvijenijih država svijeta u tom radu predlažu da se napusti bruto nacionalni dohodak (*Gross Domestic Product* – GDP) kao ključna mjera i pokazatelj rasta i razvoja pojedinih društvenih zajednica, država i cijelog svijeta. Postojeći GDP je indikator ekonomskog rasta koji se odnosi na monetarnu vrijednost dobara i usluga izvršenih tijekom određenog razdoblja u jednoj državi. Prije više od 60 godina predsjednik SAD-a, Kennedy, primijetio je da je

GDP mjera svega osim onoga što život čini vrijednim („*Gross domestic product measures everything except that which makes life worthwhile*“). Taj je mjerni pokazatelj razvijen u razdoblju velike krize, tridesetih godina prošlog stoljeća, tijekom krize nastale usred velike depresije i pred početak 2. svjetskog rata. I sam ekonomist Simon Kuznets, koji je bio arhitekt nacionalnog GDP-a, bio je zabrinut za njegovu vrijednost, pošto ona ne vodi računa o široj dobrobiti zajednice i okoliša.

Constaza i sur. (2014.) smatraju da GDP krivo vrednuje rast i razvoj država jer vodi računa samo o ekonomskom rastu bez uzimanja u obzir drugih važnih, po njima mnogo bitnijih, činioca dobrobiti ljudi i okoliša neophodnih za dugoročni održivi razvoj svih vidova života na planeti. Po njima je GDP opasno neadekvatan kao mjera kvalitete života („*GDP is dangerously inadequate as a measure of quality of life*“). Potrebno je uključiti pokazatelje koji kvantificiraju pružanje podrške očuvanja ekoloških vrijednosti, zdravlja ljudi i okoliša, jednom riječi osiguranja budućnosti civilizacije, okoliša i ekosustava. Takvi pokazatelji bitni su i za osiguravanje demokracije kao faktora bez kojeg nema razvoja civilizacije. Uloga vode u tim procesima ključna je za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja.

U tom procesu važnu ulogu mogla bi i trebala bi odigrati socio-hidrologija kao inter- i trans-disciplinarna nova znanost. Međutim, kako se ona tek počela razvijati i formirati, bit će potrebno određeno vrijeme da se postigne i taj cilj. Definitivno je bitno shvatiti da financijski pokazatelji nisu jedini koji određuju vrijednost života i da jedino ili dominantno oni osiguravaju održivi razvoj. Ključan rizik za promjene postojećeg stanja stvari unosi činjenica da u ovim procesima glavnu ulogu igra politika. U toj i takvoj areni ni socio-hidrologija, kao niti druge znanosti, nemaju velikih šansi. To je nažalost realnost suvremenog svijeta koja rezultira velikim i globalnim pogreškama, ali se dominacija politike i dalje uporno nastavlja. ■

LITERATURA

- Anderson, T.; Libecap, G. D. (2011.): A market solution for our water wars. *Defining Ideas. A Hoover Institution Journal*. <http://www.hoover.org/publications/defining-ideas/by-date/2011-01-12>.
- Blöschl, G. (2006.): Hydrologic synthesis: across processes, places, and scales. *Water Resources Research*. 42 (3) W03S02. doi:10.1029/2005WR004319.
- Bonacci, O. (1994.): Izvoz vode!? Strateško pitanje hrvatske vodne politike u bliskoj budućnosti. *Hrvatska Vodoprivreda*. III (26), 9–11.
- Bonacci, O. (2004.): On the role of hydrology in water resources management. *IAHS Publications*. 285, 88–94.
- Bonacci, O. (2005.): Sadašnje stanje i potrebe razvoja hidrologije. *Vodoprivreda*. 37 (216–218), 163–173.
- 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 (7483), 283–285. doi:10.1038/505283a.
- Dalin, C.; Suweis, S.; Konar, M.; Hanasaki, N.; Rodriguez Iturbe, I. (2012.): Modeling past and future structure of the global virtual water trade network. *Geophysical Research Letters*. 39 (24), 24402. doi:10.1029/2012GL053871.
- Di Baldassarre, G.; Kooy, M.; Kemerink, J. S.; Brandimarte, L. (2013.a): Towards understanding the dynamic behaviour of floodplains as human–water systems. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17 (8), 3235–3244. doi:10.5194/hess-17-3235-2013.
- Di Baldassarre, G.; Sivapalan, M.; Rusca, M.; Cudennec, C.; Garcia, M.; Kreibich, H.; Konar, M.; Mondino, E.; Mård, J.; Pande, S.; Sanderson, M. R.; Tian, F.; Viglione, A.; Wei, J.; Wei, Y.; Yu, D. J.; Srinivasan, V.; Blöschl, G. (2019.): Sociohydrology: scientific challenges in addressing the sustainable development goal. *Water Resources Research*. 55 (8), 6327–6355. doi:10.1029/2018WR023901.
- Di Baldassarre, G.; Viglione, A.; Carr, G.; Kuil, L.; Salinas, J. L.; Blöschl, G. (2013.b): Socio-hydrology: conceptualising human–flood interactions. *Hydrology nad Earth System Sciences*. 17 (8), 3295–3303. doi:10.5194/hess-17-3295-2013.
- Dodds, W. K. (2002.): *Freshwater ecology. Concepts and environmental applications*. Academic Press, San Diego.
- Graham, N. T.; Hejazi, M. I.; Kim, S. H.; Davies, E. G. R.; Edmonds, J. A.; Miralles-Wilhelm, F. (2020.): Future changes in the trading of virtual water. *Nature Communications*. 11, 3632. doi:10.1038/s41467-020-17400-4.
- Harte, J. (2002.): Toward a synthesis of the Newtonian and Darwinian worldviews. *Physics Today*. 55 (10), 29–35. doi:10.1063/1.1522164.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M. (2011.): *Water footprint assessment manual: setting the global standard*; Earthscan, London.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K. (2008.): *Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources*. Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Hoekstra, A. Y.; Hung, P. (2002.): *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft.
- Kent, D. M. (2001.): *Applied wetlands science and technology*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Konar, M.; Hussein, Z.; Hanasaki, N.; Mauzerall, D. L.; Rodriguez-Iturbe, I. (2012.): Virtual water trade flows and savings under climate change. *Hydrology nad Earth System Sciences*. 17 (8), 3219–3234. doi:10.5194/hess-17-3219-2013.
- Konar, M.; Marston, L. (2020.): The water footprint of the United States. *Water*. 12, 3286. doi:10.3390/w12113286.
- Kramer, D. B.; Hartter, I.; Boag, A. E.; Jain, M.; Stevens, K.; Ann Nicholas, K.; McConnell, W. J.; Liu, I. (2017.): Top 40 questions in coupled human and natural systems (CHANS) research. *Ecology and Society*. 22 (2), 44. doi:10.5751/ES-09429-220244.
- Madani, K.; Shafiee-Jood, M. (2020.): Socio-hydrology: a new understanding to unite or a new science to divide?. *Water*. 12 (7), 1941. doi:10.3390/w12071941.
- Moore G.; McGuire K.; Troch P.; Barron-Gafford G. (2015.): Chapter 8 – Ecohydrology and the critical zone: processes and patterns across scales. *Developments in Earth Surface Processes*. 19, 239–266. doi:10.1016/B978-0-444-63369-9.00008-2.
- National Research Council (NRC) (1991.): *Opportunities in the hydrologic sciences*. National Academy Press, Washington.
- Nuttle, W. K. (2002.): Is ecohydrology one idea or many? *Hydrological Sciences Journal*. 47 (5), 805–807. doi:10.1080/02626660209492983.
- Olmstead, S. M. (2010.): The economics of managing scarce water resources. *Review of Environmental Economics and Policy*. 4 (2), 179–198. doi:10.1093/reep/req004. S2CID 26005426.
- Paterson, W.; Rushforth, R.; Ruddell, B. L.; Konar, M.; Ahams, I. C.; Jorge Gironás, J.; Mijic, A.; Mejia, A. (2015.): Water footprint of cities: a review and suggestions for future research. *Sustainability*. 7 (7), 8461–8490; doi:10.3390/su7078461
- Rees, W. E.; Wackernagel, M. (1994.): Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. *Investing in natural capital: The ecological economics approach to sustainability* (urednici A. M. Jansson; M. Hammer; C. Folke; R. Costanza). Island Press, Washington.
- Rees, W. E.; Wackernagel, M. (1996.): Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and

- why they are a key to sustainability. *Environ Impact Assess Review*. 16 (4-6), 223-248. doi:10.1016/S0195(96)00022-4.
- Rogers, P.; de Silva, R.; Bhatia, R. (2002.): Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*. 4 (1), 1-17. doi:10.1016/S1366-7017(02)00004-1.
- Sivapalan, M.; Savenije, H. H. G.; Blöschl, G. (2012.): Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*. 26 (8), 1270-1276. doi:10.1002/hyp.8426.
- Swaney, J. A. (1998.): Trading water: market extension, social improvement, or what? *Journal of Economic Issues*. 22 (1), 33-47. doi:10.1008/00213624.1988.11504732.
- UNESCO - IHP (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - International Hydrological Programme) (2016.): *Ecohydrology as an integrative science from molecular to basin scale: historical evolution, advancements and implementation activities*. UNESCO, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245512>
- UNESCO i WMO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization & World Meteorological Organization) (1992.): *International glossary of hydrology*. WMO, Geneva, UNESCO, Paris.
- Wood, P. J.; Hannah, D. M.; Sadler, J. P. (2008.): *Hydroecology and ecohydrology: past, present and future*. Wiley, Hoboken.

Hydrology development in the 21st century

Abstract. The paper presents the principles and directions of hydrology development in the 21st century. It addresses the issues and role of ecohydrology and water footprint, value and price. Special attention is paid to explaining the new interdisciplinary science called sociohydrology. Complex problems that occur in the relationship between man and water should be treated much more broadly than is usual in traditional hydrology. The interaction between man and water is complex, dynamic and subject to sudden changes caused primarily by water availability in space and time as well as water needs of people and nature. It contains an unfathomable number of consequences for all processes on earth (social, ecological, biological, etc.). The relationship between man and water directly affects the fulfilment of planetary sustainable development objective. For this reason, this relationship cannot be treated exclusively or predominantly from the hydrological standpoint. As an attempt to find the answer to this planetary challenge, ecohydrology, hydrobiology and the concept of water footprint appeared about thirty years ago. The term sociohydrology was introduced by Murugesu Sivapalan, Hubert Savenije and Günter Blöschl in an article published in 2012 in the prestigious scientific magazine *Hydrological Processes*. This paper presents the basic principles and tasks of sociohydrology, emphasizing that it is in the early development phase and has yet to form and create conditions for its primary objective – providing support to sustainable development.

Key words: sociohydrology, ecohydrology, hydroecology, water footprint, sustainable development

Entwicklung der Hydrologie im 21. Jahrhundert

Zusammenfassung. Im Beitrag werden die Entwicklungsprinzipien und Entwicklungsrichtungen im Bereich Hydrologie im 21. Jahrhundert dargestellt. Die Problematik und die Rolle der Ökohydrologie, des Wasserfußabdrucks sowie des Wertes und des Preises des Wassers werden behandelt. Besondere Aufmerksamkeit bekam soziale Hydrologie, die neue interdisziplinäre wissenschaftliche Disziplin. Die komplexen Probleme, die im Verhältnis zwischen Mensch und Wasser entstehen, sollen viel breiter behandelt werden, als das in der klassischen Hydrologie üblich ist. Die Interaktion zwischen Mensch und Wasser ist dynamisch und unterliegt schnellen Veränderungen, die vor allem von der Wasserverfügbarkeit in einem Raum und gewisser Zeit sowie von den Wasserbedürfnissen der Menschen und der Umwelt abhängen. Die Anzahl der Folgen dieser Interaktion auf alle Prozesse auf der Erde (gesellschaftliche, ökologische, biologische usw.) ist unfassbar. Die Erfüllung von globalen Zielen einer nachhaltigen Entwicklung hängt vom Verhältnis zwischen Mensch und Wasser direkt ab. Deswegen darf dieses Verhältnis nicht ausschließlich oder überwiegend vom hydrologischen Standpunkt aus behandelt werden. Vor etwa 30 Jahren entstanden Ökohydrologie und Hydrobiologie sowie das Konzept des Wasserfußabdrucks als Versuch, eine Antwort auf diese globale Herausforderung zu finden. Der Begriff soziale Hydrologie wurde von Murugesu Sivapalan, Hubert Savenije und Günter Blöschl in einem Beitrag verwendet, der in der renommierten wissenschaftlichen Fachzeitschrift *Hydrological Processes* 2012 veröffentlicht wurde. Die Autoren legten die Grundprinzipien und Aufgaben der sozialen Hydrologie fest und betonten, dass diese Disziplin in früher Entwicklungsphase ist und sich erst weiter entwickeln muss. Somit werden die Voraussetzungen geschaffen, damit das Grundziel der Unterstützung der nachhaltigen Entwicklung erreicht werden kann.

Schlüsselwörter: soziale Hydrologie, Ökohydrologie, Hydroökologie, Wasserfußabdruck, nachhaltige Entwicklung