

Uloga šuma u hidrološkim procesima

The Role of Forests in Hydrological Processes

Ognjen Bonacci

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

Sažetak

Rad obrađuje interdisciplinarnu prirodu hidrologije, naglašavajući njezinu ključnu ulogu u razumijevanju i rješavanju problema povezanih s vodom. Voda se ističe kao osnovni preduvjet života, razvoja društava i ekosustava, ali i kao izvor potencijalnih prijetnji u obliku poplava i suša. Klimatske promjene dodatno pojačavaju te rizike, zbog čega je nužno bolje upravljati vodnim resursima. Iznese su različite podjele hidrologije (prema komponentama hidrološkog ciklusa, metodama istraživanja, primjeni i prostornoj skali) te je istaknuta pojava novih područja poput ekohidrologije i socio-hidrologije. One integriraju prirodne i društvene procese, istražujući kako interakcija vode, ekosustava i ljudi oblikuje okoliš i društveni razvoj. Poseban naglasak stavljen je na hidrologiju šuma. Šume svojim procesima intercepcije, infiltracije, transpiracije i smanjenja površinskog otjecanja značajno utječu na vodnu bilancu, regulaciju hidroloških ekstrema, ublažavanje erozije, zaštitu od poplava i očuvanje kvalitete pitke vode. Istraživanja pokazuju da šume smanjuju varijabilnost padalina, stabiliziraju klimu i djeluju kao prirodni rezervoari i filteri vode. Istovremeno, deforestacija povećava otjecanje i eroziju, dok pošumljavanje može privremeno smanjiti raspoloživu vodu zbog visoke evapotranspiracije mladih šuma. Optimalni učinci ovise o klimi, tipu šume i prostornoj skali. Naglašava se potreba za integriranim pristupom gospodarenju šumama i vodama budući da utjecaji šuma na vodne resurse nisu univerzalno pozitivni ili negativni, već ovise o lokalnim uvjetima. Budući razvoj hidrologije šuma zahtijeva interdisciplinarnost, dugoročne podatke i povezivanje znanstvenih istraživanja s praktičnim upravljanjem ekosustavima u uvjetima klimatskih promjena.

Ključne riječi: hidrologija, hidrologija šuma, intercepcija, ekohidrologija, upravljanje vodnim resursima

DOI:
<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.3>

Kako citirati / How to Cite:

Bonacci, O., 2026: Uloga šuma u hidrološkim procesima. Šumarski list 150 (1–2): 27–34. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.3>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

UVOD

INTRODUCTION

Voda je materija neophodna za život svih bića. Bez nje nije moguć opstanak niti jednog poznatog oblika života. Sudjeluje u ključnim biološkim procesima, uključujući metabolizam, transport tvari i regulaciju temperature, pri čemu je njezina uloga univerzalna u svim živim sustavima (Chaplin 2001). Dominantni je čimbenik razvoja i funkcioniranja društvenih zajednica i prirodnih ekosustava. Predstavlja nezamjenjiv resurs u društveno-gospodarskom razvoju jer omogućuje poljoprivrednu proizvodnju, industrijski rast i opskrbu stanovništva, pružajući istovremeno podršku ekosustavima (UNESCO 2020). Pristup vodi, osobito onoj pitkoj, izravno određuje kvalitetu života, zdravlje i gospodarski razvoj zajednica. Raspoloživost vodnim resursima u prostoru i tijekom vremena dominantno utječe na oblikovanje prirodnih ekosustava i društvenih zajednica.

Ekstremne hidrološke pojave, poput poplava i suša, ugrožavale su u prošlosti, a danas još drastičnije ugrožavaju sigurnost, zdravlje i gospodarstvo tako što razaraju društvenu i prirodnu ravnotežu (IPCC 2022). Treba prihvatiti činjenicu da je voda istodobno preduvjet opstanka i razvoja, ali i uzrok potencijalnih prijetnji društvenim zajednicama i prirodnim sustavima.

Klimatske promjene, a prije svega proces globalnog zagrijavanja, utječu na pojavu sve češćih i sve razornijih vodnih katastrofa. Ujedno povećavaju rizike zbog sve neravnomjernije raspodjele i dostupnosti vode u brojnim regijama svijeta. Realno je očekivati da će ti procesi uzrokovati češće i drastičnije sukobe oko vodnih resursa, što može destabilizirati društva i otežati održivi razvoj ekosustava. Treba biti svjestan činjenice da će voda, u vremenu koje je pred nama, predstavljati jednu od najvećih prijetnji kako živim bićima tako i društvenim zajednicama.

Znanost i praksa definitivno moraju naći učinkovita rješenja na izazove u kojima živimo i koji će vjerojatno biti sve izraženiji. Jedan od ključnih i nezaobilaznih pomoćnika u rješavanju sve opasnijih situacija upravo je hidrologija kao znanost, ali i praktična inženjerska disciplina.

Hidrologija analizira pojavnost vode iznad i ispod površine terena, njezino kretanje i raspodjelu, njezina kemijska i fizička svojstva kao i njezino okruženje, uključujući odnos sa živim bićima (NRC 1991). Analizira procese koji upravljaju punjenjem i pražnjenjem vodnih resursa kopnenih površina na Zemlji te izučava različite etape hidrološkog ciklusa (UNESCO i WMO 1992). Bavi se sa svim aspektima vode koja se javlja na planeti. To uključuje izučavanje pojave vode, njezinih svojstava, njezine raspodjele i cirkulacije, kao i utjecaj na živa bića i njihovo okruženje. Hidrologiju su Shiklomanov i Rodda (2003) definirali kao prirodnu znanost koja proučava vodu na, ispod i iznad površine Zemlje, njezino kruženje, distribuciju i utjecaj na okoliš.

Treba imati na umu da hidrologija ne pripada isključivo „čistoj“ geofizičkoj znanosti. Kako ima brojne praktične primjene ona koristi mnoga znanja iz ostalih znanstvenih i praktičnih inženjerskih disciplina (Bonacci 2004, 2015). Njezina interdisciplinarna struktura uključuje brojne praktične komponente. Iako se temelji na prirodnoznanstvenim

metodama i kvantitativnim analizama, ona istovremeno pripada čistoj geofizici i području inženjerstva, objedinjujući širok spektar znanja iz različitih disciplina. U teorijskom smislu oslanja se na fiziku, kemiju, biologiju, klimatologiju i geologiju, dok se u metodološkom smislu koristi matematičkim modeliranjem, statističkim analizama i računalnim simulacijama (Hornberger i dr. 1998). S druge strane, praktične primjene hidrologije usko su povezane s inženjerskim disciplinama, osobito građevinarstvom, vodnim gospodarstvom i okolišnim inženjerstvom.

Primjena hidrologije jasno dolazi do izražaja u projektiranju hidrotehničkih sustava, upravljanju rizicima od poplava i suša, planiranju korištenja vodnih resursa, očuvanju ekosustava te prilagodbi klimatskim promjenama (UNESCO 2020). Hidrologija obavlja prijelaznu funkciju između teorijskih i primijenjenih istraživanja. To ju svrstava u područje fundamentalnih znanosti koje se koriste praktičnim alatima za rješavanje konkretnih inženjerskih, ali sve više i društvenih problema.

Hidrologiju svakako treba promatrati kao interdisciplinarnu znanost koja povezuje temeljna istraživanja i inženjersku praksu. Njezina specifična vrijednost leži upravo u toj dvostrukoj ulozi, tj. objašnjavanju prirodnih procesa i omogućavanju održivog upravljanja vodnim resursima u korist prirode i društva.

Cilj ovog rada detaljnija je analiza strukture hidrologije i njezine uloge u rješavanju brojnih problema i rizika povezanih s vodom koji su danas sve češći i sve razorniji. Budući da je riječ o vrlo obimnoj problematici, u ovom će se radu naglasak staviti na hidrologiju šuma ili šumsku hidrologiju. Hidrologija šuma odabrana je jer se u Hrvatskoj koristi i razvija gotovo isključivo u području šumarstva dok je skoro zanemarena u ostalim segmentima znanosti i prakse. Time se želi ukazati na njezin vrlo širok značaj i povezanost s ostalim hidrološkim granama te na taj način potaknuti njezin razvoj u hrvatskoj znanstvenoj zajednici.

PODJELA HIDROLOGIJE

DIVISION OF HYDROLOGY

U literaturi postoje različite klasifikacije hidrologije, ovisno o kriteriju istraživanja. Najčešće se navode podjele prema: (1) komponentama hidrološkog ciklusa, (2) metodama istraživanja, (3) primjeni (primijenjena hidrologija) i (4) prostornoj skali.

Prema komponentama hidrološkog ciklusa dijeli se na:

- **Atmosfersku hidrologiju ili hidrometeorologiju** u kojoj se naglasak stavlja na oborine, isparavanje, vlagu zraka i procese u atmosferi povezane s vodom.
- **Površinsku hidrologiju** koja tretira vodne resurse u rijekama, jezerima, močvarama te se bavi problematikom površinskog otjecanja.
- **Hidrologiju podzemnih voda (hidrogeologiju, geohidrologiju)** koja izučava podzemne vode i vodonosnike.
- **Kriogenu hidrologiju (hidrologiju snijega i leda)** koja se bavi ulogom snijega, ledenjaka i permafrosta u hidrološkom ciklusu.

- **Hidrologiju mora i oceana** kao poveznicu s oceanografijom usmjerenu na proučavanje procesa i uloge mora i oceana u globalnom ciklusu vode.

Prema metodama istraživanja hidrologija se dijeli na:

- **Opisnu (deskriptivnu) hidrologiju** koja opisuje pojave i procese.
- **Kvantitativnu (analitičku) hidrologiju** koja koristi mjerenja, statistiku, modele i matematičke metode.

Prema primjeni, pod nazivom primijenjena hidrologija, svrstani su slijedeći tipovi hidrologije:

- **Inženjerska hidrologija** se bavi projektiranjem brana, akumulacija, sustava odvodnje i zaštite od poplava.
- **Vodoprivredna hidrologija** rješava problematiku upravljanja vodnim resursima.
- **Hidrologija okoliša** tretira odnos vode i ekosustava, uključujući kvalitetu vode.
- **Urbana hidrologija** se bavi vodoopskrbom, oborinskim vodama, kanalizacijom i obranom gradova od poplava.
- **Poljoprivredna hidrologija** izučava odnos voda–tlo–biljka te se bavi problematikom navodnjavanja i odvodnjavanja.
- **Hidrologija šuma** izučava utjecaj šuma na oborine, isparavanje, infiltraciju i otjecanje.

Prema prostornoj skali podjela je sljedeća:

- **Globalna hidrologija** tretira globalni ciklus vode i klimatske promjene.
- **Regionalna hidrologija** analizira procese u većim prostornim cjelinama kao npr. slivovima većih rijeka.
- **Lokalna hidrologija** izučava procese na malim slivovima i vodotocima, izvorima te u malim vodonosnicima.

Prethodno iznesena podjela predstavlja samo jednu od mogućih klasifikacija. Ona međutim, jasno i nedvosmisleno ukazuje na kompleksnost, multidisciplinarnost, interdisciplinarnost i transdisciplinarnost hidrologije, potvrđujući tako i njezinu važnu ulogu u suvremenim procesima.

Kao nova područja hidroloških izučavanja javljaju se ekohidrologija i socio-hidrologija. Ekohidrologiju ili hidroekologiju može se opisati i kao „neinženjersku“ hidrologiju razvijenu iz hidrologije šuma, životne sredine, vlažnih prostora, krajolika, jezera, priobalnih područja, itd. Njezina kompromisna definicija, prihvaćena od brojnih dijelova znanstvene zajednice, mogla bi biti slijedeća: „Ekohidrologija je znanost koja integrira hidrološke procese s dinamikom živih organizama u raznim prostornim i vremenskim mjerilima“ (Bonacci 2003). Ekohidrologija proučava načine na koje fizički i biološki procesi interaktivno djeluju s hidrološkim procesima. Korištenjem koncepata ekologije i hidrologije pokušava se stvoriti novo i učinkovito znanstveno, ali i praktično oruđe za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja.

Sveobuhvatno proučavanje hidrološkog ciklusa u bilo kojoj vremenskoj i/ili prostornoj skali zahtijeva poznavanje obrazaca oborina, dinamike tla i podzemnih voda, interakcije s vegetacijom te procesa poput kruženja hranjivih tvari i dinamike hranidbenih mreža u vodenim ekosustavima. Wood i dr. (2008) naglašavaju da su staništa ovisna o vodi

izuzetno raznolika u pogledu svoje prirode (npr. suha područja, močvare, potoci/rijeke i bare/jezera) i geografije (od polova do ekvatora, od niskih do visokih geografskih širina). Mnoga od njih podržavaju zajednice i vrste visoke vrijednosti za očuvanje, od kojih su neke ugrožene i pred izumiranjem. Kako se pritisak na staništa ovisna o vodi povećava zbog globalnih klimatskih promjena i sve većih antropogenih utjecaja, jasno je da će uravnoteženje potreba ljudi za vodom s potrebama ekosustava, kako kopnenih tako i vodenih, sve više postajati ključno i ne isključivo ekološko pitanje.

Ovaj temeljni, još uvijek nesiguran i problematičan „čin uravnoteženja“ zahtijeva odgovore na vrlo složena pitanja. To je potaknulo istraživače da rade na razvoju nove integrativne znanosti kojoj je cilj ne samo povezati tradicionalna područja hidrologije i ekologije nego stvoriti metode i alate novih interdisciplinarnih istraživanja. U tom kontekstu, razvija se ekohidrologija, a u najnovije vrijeme i socio-hidrologija čiji je cilj otkriti elemente ove složenosti te pružiti temelj za održivo upravljanje vodnim resursima i s njima vezanim ekosustavima, ali i društvenim procesima. Razvoj ekohidrologije podstaknuo je razvoj interdisciplinarnosti nazvane socio-hidrologija.

Socio-hidrologija interdisciplinarno je područje hidrologije koje proučava međudjelovanje ljudi i vodnih sustava u vremenu i prostoru. Socio-hidrologija se klasificira kao nova interdisciplinarna grana hidrologije koja stoji između hidrologije okoliša i društvenih znanosti (Sivapalan i dr. 2012; Di Baldassarre i dr. 2013, 2015; Bonacci 2021). U međunarodnim publikacijama često se opisuje kao „znanost o ljudima i vodi“ (engl. *the science of people and water*). Ističe važnost šireg pristupa proučavanju odnosa čovjeka i vode, integrirajući dinamiku vremena i prostora te postizanje sinergije između tradicionalne hidrologije i društvenih znanosti. Razvila se tijekom posljednjeg desetljeća kao grana integralne ili systemske hidrologije s ciljem razumijevanja kako ljudske aktivnosti oblikuju hidrološke procese i kako hidrološki uvjeti utječu na društva. Dio je hidrologije okoliša. Bliska je ekohidrologiji, ali i hidrologiji šuma te stavlja naglasak na društvene sustave. Interdisciplinarna je disciplina jer kombinira hidrologiju, društvene znanosti, ekonomiju, politiku i upravljanje vodama.

Ključne teme kojima se bavi socio-hidrologija su: (1) rizici od poplava i suša te društveni odgovor na njih; (2) upravljanje vodnim resursima u cilju održivog razvoja; (3) izučavanje procesa kao što su migracije i urbanizacija u kontekstu dostupnosti vodi; (4) osiguranje održivosti u uvjetima klimatskih promjena; (5) izučavanje društveno-hidrološke koevolucije, tj. procesa zajedničke promjene društva i vodnih režima.

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 za sve procese na Zemlji (društvene, ekološke, biološke itd.). O odnosu čovjeka i vode izravno ovisi ispunjavanje globalnih ciljeva održivog razvoja. Zbog toga se taj odnos ne smije tretirati isključivo ili dominantno s hidrološkom ili samo društvenog stanovišta (Bonacci 2021).

HIDROLOGIJA ŠUMA

FOREST HYDROLOGY

FAO (2020) šumu definira kao zemljište veće od 0,5 ha koje nije pretežito poljoprivredne ili urbane namjene, a na kojem raste drveće više od 5 m, sa sklopom krošanja većim od 10%. Šume su složeni ekosustavi koji obiluju raznolikom florom i faunom. Sa stanovišta hidrologije i vodnih resursa bitna je uloga šuma kao regulatora vodnog režima. Šume kroz procese intercepcije, infiltracije, transpiracije i smanjenja površinskog otjecanja značajno utječu na kruženje vode i ublažavanje hidroloških ekstrema (Calder 2005). Vertessy i Elsenbeer (1999) šumu definiraju kao hidrološki ključan ekosustav jer određuje infiltraciju, otjecanje i raspodjelu vode u slivovima. Oni naglašavaju da se šumu ne treba tretirati isključivo kao zajednicu drvenaste vegetacije, nego i kao važan regulator kruženja vode u određenom području. Šumski ekosustavi predstavljaju jedan od najvažnijih čimbenika u održavanju vodne bilance i zaštiti tla od erozije (Španjol i dr. 2011). Na značajnu ulogu šuma u osiguranju kvalitetne pitke vode ukazao je Prpić (2006). Šume stoga ne igraju samo značajnu ulogu u hidrološkim nego i u ključnim ekološkim i socijalnim procesima. Uloga šuma nedovoljno je istražena u svim vidovima hidrologije.

Hidrologija šuma znanstvena je disciplina koja proučava međusobne odnose između šumskih ekosustava i kruženja vode. To uključuje način na koji šuma utječe na: (1) padaline (zadržavanje kiše i snijega krošnjama – intercepcija); (2) isparavanje i transpiraciju (evapotranspiracija drveća i vegetacije); (3) infiltraciju i podzemne tokove (ulazak vode u tlo i punjenje vodonosnika); (4) površinsko otjecanje; (5) eroziju; (6) reguliranje hidrološkog režima otvorenih vodotoka (ublažavanje poplavnih valova, održavanje tečenje malih voda u sušnim razdobljima). Radi se o vrlo složenim interakcijama koje ovise o brojnim čimbenicima koje do danas još nisu dovoljno izučene i shvaćene. Hidrologijom šuma se u svijetu, a osobito u Hrvatskoj, prvenstveno bave šumarski stručnjaci dok su geofizičari i inženjeri manje prisutni u ovom izrazito važnom području hidrologije.

Šume su značajni potrošači vode, ali istovremeno funkcioniraju kao prirodni filteri i rezervoari vode. U ekstremnim vremenskim uvjetima i uvjetima rasta, pokrov šumskih krošnji faktor je koji može uvelike utjecati na otjecanje vode. Svojim nadzemnim i podzemnim dijelovima šume reguliraju otjecanje i infiltraciju površinskih voda (Planinšek i dr. 2011).

Utjecaj šuma na klimu povezan je s biokemijskim procesima drveća, poput fotosinteze, koja utječe na razinu CO₂ u atmosferi te igraju važnu ulogu u kruženju ugljika (Psistaki i dr. 2024). Šume bitno utječu na klimu jer reguliraju izmjenu energije, vode i ugljika između biosfere i atmosfere, ublažavaju temperaturne ekstreme, potiču formiranje oborina te djeluju kao veliki spremnici ugljika (Bonan 2008, Pilaš i Planinšek 2011). Šume igraju značajnu ulogu u regulaciji mikroklimi, smanjenju temperaturnih kolebanja i održavanju vlažnosti zraka. FAO (2020) ističe globalnu ulogu šuma u ublažavanju klimatskih promjena kroz sekvencijaciju ugljika i regulaciju hidroloških procesa. Šumski ekosustavi smanjuju klimatske ekstreme, pridonose zadržavanju vode i stabilizaciji okoliša te imaju presudnu ulogu u ublažavanju posljedica klimatskih promjena (Nedeljković i dr. 2019).

O'Connor i dr. (2021) su ustanovili da šume smanjuju varijabilnost mjesečnih padalina u 10 od 14 svjetskih bioma.

Iz šumom pokrivenih područja otječe znatno manje vode nego iz nešumovitih. U tome ključnu ulogu igraju procesi evaporacije i transpiracije te intercepcija, odnosno zadržavanje oborina na krošnjama (Bonacci 1994). Gubitak vode uzrokovan intercepcijom igra važnu ulogu u kontroli vodne bilance sliva, posebno tamo gdje se odvijao urbani razvoj (Asadian i Weiler 2009). Gash (1979) je identificirano sljedeća dva glavna čimbenika koja kontroliraju isparavanje kiše zadržane na krošnjama: (1) vrijeme koje krošnja provodi zasićena tijekom kiše i brzina isparavanja primjenjiva u tim uvjetima; (2) kapacitet zasićenja krošnje i broj pražnjenja te zalihe isušivanjem nakon prestanka kiše.

Gubitak od intercepcije predstavlja količinu bruto oborina zadržanih na površini vegetacije, a potom isparenih. Kako i koliko intercepcija smanjuje infiltraciju spada među složene i do sada nedovoljno istražene hidrološke probleme. Na osnovi satelitskih mjerenja tijekom razdoblja 2000. – 2020. Lian i dr. (2022) su procijenili da se radi o približno 9 % ukupne globalne količine vode ispuštene s površine kopna u atmosferu. Učestalost oborina regulira dugoročne prosječne varijacije intercepcije, dok intenzitet oborina (a ne atributi vegetacije) određuje udio gubitaka bruto oborine uslijed intercepcije. Kišne pojave postale su rjeđe i intenzivnije od 2000. godine, što je dovelo do globalnog pada intercepcije za 4,9 – 6,7 % (Lian i dr. 2022). To sugerira da kontinuirane promjene u količini oborina pogoduju usmjeravanju prema većoj vlažnosti tla i otjecanju, što koristi funkcijama ekosustava, ali istovremeno povećava rizik od poplava.

Točne procjene gubitka oborina intercepcijom ključne su za modeliranje vodne bilance šumskih područja. Međutim, postoji znatna regionalna varijabilnost u procesu presretanja, kao i još uvijek mnogo nesigurnosti u definiranju točnih vrijednosti (Gash 1979, Oliveira i dr. 2024). Crnogorične šume (npr. smreka, jela, bor) imaju veću intercepciju nego listopadne šume. Zimzelene krošnje imaju gušći sklop, igličasto lišće, veću lisnu površinu i to tijekom cijele godine. U listopadnim šumama lišće otpada u jesen, pa zimi gotovo nema intercepcije te tada snijeg i kiša slobodno dospijevaju na tlo. Potrebno je naglasiti da zimi također postoji intercepcija kod bjelogoričnih vrsta, ali u mnogo manjem obimu (Helbig i dr. 2020, Cebulski i Pomeroy 2025). Prosječna intercepcija kod crnogoričnih šuma iznosi 20 – 40 % godišnjih oborina, dok se kod listopadnih šuma kreće između 10 – 25 % godišnjih oborina (Zinke 1967, Xiao i dr. 2000, Rahman i dr. 2023). Krošnje borova zadrže i do 27 % oborine, a krošnje bukve samo oko 5 – 15 % oborine (Crockford i Richardson 2000, Pflug i dr. 2021, Fischer i dr. 2023, Rahman i dr. 2023).

Važno je naglasiti da masovne sječe šuma ne samo izravno povećavaju površinsko otjecanje, već imaju i neizravni učinak zbog klimatskih povratnih veza koje dodatno mijenjaju lokalnu klimu i hidrološki ciklus (Ma i dr. 2024). Ti neizravni učinci proizlaze iz smanjenja padalina i promjena u potencijalnoj evapotranspiraciji uzrokovanih deforestacijom, što dovodi do kompleksnih uzoraka promjene otjecanja.

Deforestacija gotovo uvijek povećava količinu otjecanja u otvorenim vodotocima jer se uklanjanjem šuma smanjuju evapotranspiracija i intercepcija. Međutim, dugoročno može

dovesti do degradacije tla, erozije i smanjenja kvalitete vode. S druge strane, pošumljavanjem se smanjuje raspoloživa voda u vodotocima jer mlade i rastuće šume imaju vrlo visoke stope evapotranspiracije. Ravnoteža između šuma i vode ovisi o: (1) klimi (vlažna – suha područja); (2) vrsti šumskih sastojina (listopadne – crnogorične); (3) fazi razvoja šume (mlade šume troše više vode nego zrele) (Filoso i dr. 2017, FAO 2020, François i dr. 2024).

Učinci promjena šumskog pokrova na vodu ovise o prostornoj skali. Na malim slivovima, kao npr. na eksperimentalnim parcelama površine manje od 10 km², učinci deforestacije ili pošumljavanja na otjecanje su najjasniji i najizraženiji. Na rijekama sa slivovima većim od 1000 km² učinci postaju manje izraženi zbog heterogenosti slivova i drugih faktora kao što su klima, geologija i korištenje zemljišta. Najveći porast otjecanja uzrokovanih deforestacijom zabilježen je u humidnim područjima. Učinci pošumljavanja šuma na smanjivanje otjecanja jači su u suhim i polusušnim područjima. U humidnim regijama šume više utječu na raspodjelu vode tijekom godine (sezonalnost) nego na ukupnu količinu vode. U sušnim regijama šume imaju presudan utjecaj na raspoloživost vode. U područjima s plitkim podzemnim vodama, šume mogu snažno mijenjati režim baznog otjecanja (Zhang i dr. 2017).

Zhang i dr. (2012) su analizirali utjecaj klimatske varijabilnosti i sječe šuma na otjecanje u slivu Gornjeg Minjianga (gornji tok rijeke Jangce, KinaWei). Rezultati su pokazali da klimatski čimbenici objašnjavaju više od 70 % promjena u otjecanju, dok je sječa šuma pridonijela s 20 – 30 %, osobito tijekom 1970-ih i 1980-ih godina. Autori naglašavaju da su klimatske promjene imale dugotrajniji i dominantniji utjecaj, dok su učinci sječe bili izraženiji na manjim prostornim razmjerima.

Zhang i Wei (2021) naglašavaju da šume nisu uvijek „vodne pumpe“ ili „vodni rezervoari“, što znači da njihov utjecaj na vodoopskrbu ovisi o lokalnim uvjetima i ciljevima gospodarenja. Zbog toga upozoravaju da politike pošumljavanja trebaju uključiti i vodnu dimenziju. Globalna inicijativa, kao što je npr. borba protiv klimatskih promjena kroz masovno sađenje sadnica šumskog drveća, mora biti pažljivo planirana jer može imati negativne posljedice na raspoloživost vode u sušnim regijama.

Prema Ellisonu i Speranzi (2020), šumski i grmolik pokrov u Sahelu značajno pridonosi povećanju zaliha zelene vode (vlage u tlu dostupne biljkama), čime se poboljšava infiltracija, smanjuje površinsko otjecanje i erozija te povećava otpornost krajolika na suše i klimatske ekstreme. Autori naglašavaju da zdraviji ekosustavi time ne samo jačaju lokalnu otpornost, već doprinose i stabilnijem dotoku plave vode (rijeka i podzemnih voda). Jones i dr. (2022) navode da restauracija šuma snažno utječe na hidrologiju, pri čemu u ranim fazama može doći do smanjenja raspoloživih plavih vodnih resursa zbog visoke evapotranspiracije mladih šuma. Dugoročno, međutim, obnova šuma povećava kapacitet infiltracije i skladištenja vode u tlu, smanjuje eroziju i rizik od poplava te doprinosi stabilnijem režimu dotoka u vodotoke.

Elenius i dr. (2025) su analizirali utjecaj ponovnog vlaženja tresetišta pokrivenih šumama u Švedskoj. U prethodnim razdobljima na tim tresetištima vršena su intenzivna dre-

niranja terena što je uzrokovalo njihovo isušivanje i brojne negativne posljedice. Jedna od njih je bila i povećanje broja poplava. Zbog toga su poduzeti radovi na ponovnom vlaženju (*rewetting*) isušanih tresetišta. Autori su utvrdili da učinak ovisi o lokaciji i hidrološkim uvjetima. Ponovno vlaženje šumskih tresetišta može imati značajan utjecaj na smanjenje ekstremnih protoka, ali je taj učinak prostorno specifičan. Najveća korist ostvaruje se u gornjim dijelovima slivova i na tresetištima koja imaju veliki udio u ukupnoj površini sliva. Smanjenje vršnih protoka i povećanje baznog toka može ublažiti vršne protoke tijekom poplavnih događaja, dok istodobno povećava zadržavanje vode i bazni tok u sušnijim razdobljima. Otkrili su da je promjena ekstremnih vrijednosti protoka na slivovima većim od 10 km² mala jer na proces znatno utječe dotok s različitih kopnenih pokrova. Zaključili su da na većoj prostornoj skali ponovno vlaženje nije učinkovita mjera za borbu protiv suša ili poplava. Utjecaj na vremensku dinamiku otjecanja, tj. promjene u hidrološkom režimu nakon ponovnog vlaženja, najizraženiji je u prijelazima sezona, primjerice tijekom otapanja snijega ili nakon jakih kiša. Ograničenja i varijabilnost učinaka ponovnog vlaženja nisu univerzalno rješenje. Učinci su vrlo različiti ovisno o geomorfologiji, klimi i postojećoj uporabi zemljišta.

U svojim istraživanjima Ilstedt i dr. (2016) zaključili su da odnos između šumskog pokrova i podzemnih voda u sezonski suhim tropima nije linearan. Premalo drveća dovodi do erozije i smanjene infiltracije, dok previše drveća povećava evapotranspiraciju i time ograničava punjenje zaliha podzemnih voda. Najveći prinos podzemnih voda ostvaruje se pri srednjem udjelu šumskog pokrova (30 – 45 %), što potvrđuju terenska mjerenja i modeliranje u Burkini Faso (Ilstedt i dr. 2016). Autori ističu da optimalna razina drvenaste vegetacije osigurava ravnotežu između opskrbe vodom, poljoprivredne produktivnosti i očuvanja ekosustava.

Prisustvo šume, kao i mnogobrojne pore koje se nalaze unutar šumskoga tla, omogućuju brzu infiltraciju padalina u većim količinama, osobito tijekom intenzivnih kratkotrajnih oborinskih pljuskova. Spomenute pore postoje zbog prirode šumskoga tla, ali i djelovanja životinja i mikroorganizama koji žive u šumskom tlu. Upravo zbog takve građe, šumska tla imaju znatno veću sposobnost primanja vode nego bilo koja druga nešumska tla. Usporede li se međusobno šuma i pašnjak, može se primijetiti da šumsko zemljište propušta 10 – 30 %, a često i do 50 % više vode nego pašnjak. Istraživanja su pokazala da 100 mm vode u dobrom šumskom tlu ponire za 1 – 2 minute, a na pašnjaku to traje 1 – 5 sati (Chávez-Collantes i dr. 2025). Gageler i dr. (2014) su utvrdili da su stope infiltracije u pašnjacima otprilike 15 % od stope koju pokazuje šumski prostor, što znači da infiltracija u pašnjacima iznosi samo oko petinu infiltracije u šumama.

Šumski pokrov svojevrsan je filter koji upija oborinske vode koje se kasnije javljaju kao izvori pitke filtrirane vode. Tikvić i Seletković (2003) tvrde da izvorišta vode koja se opskrbljuju iz šume ne presušuju, a odlikuju se zdravom i pitkom vodom. Šume obavljaju i vodozaštitnu funkciju pročišćavanjem oborinskih voda koje prolaze kroz rahlo šumsko tlo koje djeluje kao filter. Na taj način oborinske vode s površine prelaze u podzemne vode kao pitka voda.

Erozija uzrokovana vjetrom i vodom snažno degradira terene na kojima nema šuma. Prisustvo šuma značajno utječe na smanjenje erozije. Šumski ekosustavi učinkovito štite od vodom, ali i vjetrom izazvane erozije. Šume značajno smanjuju i usporavaju eroziju svojim krošnjama i granama, razvijenim sustavom korijena kao i otpalim lišćem. Vegetativni pokrov (lišće, humus) upija energiju padalina, smanjuje otjecanje i sprječava ispiranje tla. Sustavi korijenja povezuju čestice tla i stvaraju stabilnu strukturu manje podložnu eroziji. Stabilnost padina pojačava se zahvaljujući drenaži vode kroz transpiraciju i mehaničkom učvršćivanju tla kroz korijenje koje povezuje slojeve tla i sprječava klizanja. Šumski ekosustavi tako djeluju kao prirodna zaštita, ublažavaju erozijske procese i doprinose očuvanju krajolika. Rodrigues i dr. (2021) analiziraju različite modele šumskog gospodarenja i pokazuju kako oni mogu optimizirati zaštitu tla od erozije na razini krajolika.

U većoj ili manjoj mjeri svaka šuma obavlja funkciju ublažavanja rizika od poplava. Područje poplavnih šuma koristi se kao retencijski prostor zadržavanja visokih vodnih valova. U području hidrološkog utjecaja na rizike od poplava najveću ulogu imaju gorske i planinske šume gornjeg toka koje zadržavaju vodu i smanjuju mogućnost pojave visokih vodnih valova (Prpić i Milković 2005).

Šume nude vitalne usluge ekosustavima apsorbirajući atmosferski CO₂, pritom djelujući kao „banka ugljika“ koja ublažava klimatske promjene oslobađajući vodenu paru putem evapotranspiracije čime se pomaže u hlađenju lokalne klime (Gregor i dr. 2024). Uslijed sve intenzivnijih manifestacija klimatskih promjena održivi rast i produktivnost šuma predstavljaju ključni zadatak ne samo za šumarstvo, nego i za brojne druge sektore (Vrbek i dr. 2010, Vacek i dr. 2023).

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Unatoč sve većem broju istraživanja i dokaza o važnosti šuma za vodni režim, hidrologija šuma još uvijek nije dovoljno uključena u rješavanje problema inženjerske hidrologije. Razlozi za to su višestruki i obuhvaćaju znanstvene, metodološke, institucionalne i praktične izazove. Nastavno se navode neki od njih.

1. Postoji tzv. skalni jaz, odnosno nepouzdanost prenosivosti rezultata. Učinci šuma ovise o prostornoj i vremenskoj skali, klimi i tipu šume pa se rezultati teško prenose u standardne inženjerske proračune.
2. Radi se o tzv. nesigurnosti procesa. Pri tome se prije svega misli na intercepciju i sezonsku dinamiku, što otežava uključivanje u inženjerske modele.
3. Ključni problem za donošenje pouzdanih zaključaka i na osnovi njih praktičnih mjera leži u nedostatku dugotrajnih i reprezentativnih nizova mjerenja složenih interaktivnih procesa odnosa šume i vodnih resursa. Za donošenje pouzdanih zaključaka potrebni su višedesetljetni uvidi za kalibraciju i validaciju koncepata i modela.
4. Modeli i koncepti u kojima je spojena problematika povratnih veza šuma, klime i hidrologije često se zane-maruju u klasičnim inženjerskim pristupima.

5. Šume nisu uvijek univerzalno pozitivne za vodne resurse, već ovise o ciljevima i lokalnim uvjetima.

6. Problematikom hidrologije šuma pretežno se bave stručnjaci u šumarskom sektoru i stoga rijetko ulazi u standarde inženjerske prakse.

7. Učinci šumskih intervencija osjete se desetljećima kasnije, dok inženjerski projekti traže brze odgovore.

Sadašnje i buduće djelovanje šumarske struke i znanosti bit će sve više usmjereno na shvaćanje posljedica klimatskih promjena i prilagodbi gospodarenja u šumama. To zahtijeva angažman svih sastavnica unutar šumarskog sektora. Razumijevanje utjecaja pokrova zemljišta u oborinskom području na transport atmosferske vlage ključno je za procjenu regulatornih usluga ekosustava za vodu i klimu nekog područja i može postati sve važnije zbog kontinuiranih promjena u pokrovu zemljišta i klimatskih promjena (O'Connor i dr. 2021).

Zhang i dr. (2017) ističu da politike gospodarenja šumama i vodama moraju biti integrirane budući da ne postoji univerzalno „pozitivan“ ili „negativan“ učinak šuma na vodu. Učinci ovise o klimi, tipu šume, prostornoj skali i hidrološkom režimu. Zato preporučuju planiranje šumskog gospodarenja u skladu s lokalnim vodnim ciljevima kao što su zaštita od poplava, opskrba pitkom vodom, očuvanje ekosustava, itd. Autori ističu važnost integriranja planova obnove šuma s upravljanjem vodnim resursima kako bi se maksimalizirale koristi hidrologije i ekosustava.

Amaty i dr. (2011) smatraju da je hidrologija šuma u posljednjim desetljećima ostvarila značajan napredak u razumijevanju procesa poput evapotranspiracije, otjecanja, intercepcije i interakcije površinskih i podzemnih voda, kao i u razvoju hidroloških modela i mjernih tehnologija. Unatoč tome, i dalje postoje veliki izazovi u pogledu utjecaja klimatskih promjena i ljudskih aktivnosti, skaliranja i validacije modela te nedostatka dugoročnih podataka. Autori naglašavaju da budući razvoj discipline zahtijeva interdisciplinarnost te bolju integraciju istraživanja u upravljanje šumskim ekosustavima i vodnim resursima.

Nastavno se navodi šest osnovnih zaključaka ovog rada.

1. Hidrologija je temeljno interdisciplinarno područje koje povezuje prirodne znanosti, inženjerstvo i društvene aspekte. Osim što objašnjava kruženje vode u prirodi, hidrologija pruža i praktične alate za održivo upravljanje vodnim resursima.
2. Šumski ekosustavi imaju ključnu ulogu u regulaciji hidrološkog režima: ublažavaju poplavne valove i smanjuju raspoloživu vodu zbog visoke evapotranspiracije mladih sastojina. Dugoročno, povećavaju infiltraciju i podzemne zalihe vode, smanjuju eroziju i osiguravaju kvalitetu pitke vode. Međutim, njihov utjecaj nije univerzalan. Razlikuje se ovisno o tipu šume, klimi, prostornoj skali i fazi razvoja sastojina.
3. Deforestacija gotovo uvijek povećava površinsko otjecanje i eroziju, dok obnova šuma povećava otpornost ekosustava, infiltraciju i skladištenje vode.
4. Klimatske promjene značajno utječu na dostupnost i raspodjelu vode, što uzrokuje sve češće i intenzivnije

poplave i suše. U tom kontekstu uloga šuma postaje još važnija jer one stabiliziraju hidrološke i klimatske procese te pridonose ublažavanju posljedica globalnog zatopljenja.

5. Učinci šuma na vodne resurse nisu jednoznačno pozitivni ili negativni, zbog čega politike gospodarenja šumama moraju biti integrirane s politikama upravljanja vodama. Potrebna je snažnija veza između znanstvenih istraživanja, mjernih tehnologija i praktičnog gospodarenja kako bi se donijele odluke temeljene na lokalnim hidrološkim uvjetima i ciljevima (poput zaštite od poplava, opskrbe pitkom vodom, očuvanja ekosustava).

6. Konačni zaključak ovog rada je da šume imaju pretežno pozitivan učinak na vodne resurse.

LITERATURA

REFERENCES

- Amatya, D.M., K.R. Douglas-Mankin, T.M. Williams, R.W. Skaggs, J.E. Nettles, 2011: Advances in Forest Hydrology: Challenges and Opportunities. *Transactions of the ASABE* 54 (6): 2049–2056. <https://doi.org/10.13031/2013.40672>
- Asadian, Y., M. Weiler 2009: A new approach in measuring rainfall interception by urban trees in coastal British Columbia. *Water Quality Research Journal* 44 (1): 16–25. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2009.003>
- Bonacci, O., 1994: Intercepcija – zadržavanje oborina. U (Bonacci O., ur.): *Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. Geing, Split, pp. 307–315.
- Bonacci, O., 2003: *Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka*. Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split.
- Bonacci, O., 2004: On the role of hydrology in water resources management. *IAHS Publication* 285: 88–94.
- Bonacci, O., 2015: Quo vadis hydrologia? – Kuda ideš hidrologijo? *Vodoprivreda* 47 (273–275): 15–28.
- Bonacci, O., 2021: Razvoj hidrologije u 21. stoljeću. *Hrvatske vode* 29 (115): 1–10.
- Bonan, G.B., 2008: Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320 (5882): 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- Calder, I.R., 2005: *Blue Revolution: Integrated Land and Water Resource Management*. Earthscan, London.
- Cebulski, C., J.W. Pomeroy, 2025: Theoretical underpinnings of snow interception and canopy snow ablation parameterisations. *WIREs Water* 12 (1): e70010. <https://doi.org/10.1002/wat2.70010>
- Chaplin, M., 2001: Water: Its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 29 (2): 54–59. <https://doi.org/10.1111/j.1539-3429.2001.tb00070.x>
- Chávez-Collantes, A., D.J. Vásquez Lozano, L.D. Velarde-Apaza, J.-P., Cuevas, R. Solórzano, R. Flores-Marquez, 2025: Influence of vegetation cover and soil properties on water infiltration: A study in High-Andean ecosystems of Peru. *Water* 17: 2280. <https://doi.org/10.3390/w17152280>
- Crockford, R.H., D.P. Richardson, 2000: Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14 (16–17): 2903–2920. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.036>
- Di Baldassarre, G., A. Viglione, G. Carr, L. Kuil, J.L. Salinas, G. Blöschl, 2013: Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences* 17 (8): 3295–3303. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3295-2013>
- Di Baldassarre, G., A. Viglione, G. Carr, L. Kuil, K. Yan, L. Brandimarte, G. Blöschl, 2015: Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. *Water Resources Research* 51 (6): 4770–4781. <https://doi.org/10.1002/2014WR016416>
- Elenius, M., C. Pers, S. Schützer, G. Lindström, B. Arheimer, 2025: Where can rewetting of forested peatland reduce extreme flows? Model experiment on the hydrology of Sweden. *Hydrology and Earth System Sciences* 29 (17): 4307–4325. <https://doi.org/10.5194/hess-29-4307-2025>
- Ellison, D., C.I. Speranza, 2020: From blue to green water and back again: Promoting tree, shrub and forest-based landscape resilience in the Sahel. *Science of the Total Environment* 739: 140002. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140002>
- FAO, 2020: *Global Forest Resources Assessment 2020 – Terms and Definitions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Filoso, S., M.O. Bezerra, K.C.B. Weiss, M.A. Palmer, 2017: Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE* 12 (8): e0183210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210>
- Fischer, C., D. Rupp, D. Seidel, 2023: Distinct rainfall interception profiles among four common European tree species. *Forests* 14 (1): 144. <https://doi.org/10.3390/f14010144>
- François, M., T.R. de Aguiar, M.S. Mielke, A.N. Rousseau, D. Faria, E. Mariano-Neto, 2024: Interactions between forest cover and watershed hydrology: A conceptual meta-analysis. *Water* 16 (23): 3350. <https://doi.org/10.3390/w16233350>
- Gageler, R., M. Bonner, G. Kirchhof, M. Amos, N. Robinson, S. Schmidt, L.P. Shoo, 2014: Early response of soil properties and function to riparian rainforest restoration. *PLoS ONE* 9 (8): e104198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104198>
- Gash, J.H.C., 1979: An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105 (443): 43–55. <https://doi.org/10.1002/qj.49710544304>
- Gregor, K., C.P.O. Reyer, T.A. Nagel, A. Mäkelä, A. Krause, T. Knoke, A. Rammig, 2024: Reconciling the EU forest, biodiversity, and climate strategies. *Global Change Biology* 30 (8): e17431. <https://doi.org/10.1111/gcb.17431>
- Helbig, N., D. Moeser, M. Teich, L. Vincent, Y. Lejeune, J.-E. Sicart, J.-M. Monnet, 2020: Snow processes in mountain forests: interception modeling for coarse-scale applications. *Hydrology and Earth System Sciences* 24: 2545–2560. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2545-2020>
- Hornberger, G.M., J.P. Raffensperger, P.L. Wiberg, K.N. Eshleman, 1998: *Elements of Physical Hydrology*. Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Ilstedt, U., A.B. Tobella, H.R. Bazié, J. Bayala, E. Verbeeten, G. Nyberg, J. Sanou, L. Benegas, D. Murdiyarso, H. Laudon, D. Sheil, A. Malmer, 2016: Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports* 6 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep21930>
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, J., D. Ellison, S. Ferraz, A. Lara, X. Wei, Z. Zhang, 2022: Forest restoration and hydrology. *Forest Ecology and Management* 520: 120342. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120342>
- Lian, X., W. Zhao, P. Gentine, 2022: Recent global decline in rainfall interception loss due to altered rainfall regimes. *Nature Communications* 13 (1): 7642. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35414-y>
- Ma, S., S. Zhou, B. Yu, J. Song, 2024: Deforestation-induced runoff changes dominated by forest-climate feedbacks. *Science Advances* 10 (33): eadp3964. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp3964>
- Nedeljković, J., M. Stanišić, D. Nonić, M. Avdibegović, M. Curman, Š.P. Malovrh, 2019: Upravljanje klimatskim promjenama u šumarstvu i zaštiti prirode: institucionalni okviri u odabranim zemljama jugoistočne Europe. *Šumarski list* 143 (9–10): 445–459. <https://doi.org/10.31298/sl.143.9-10.6>
- NRC (National Research Council), 1991: *Opportunities in the hydrologic sciences*. National Academy Press, Washington.
- O'Connor, J.C., S.C. Dekker, A. Staal, O.A. Tuinenburg, K.T. Rebel, M.J. Santos, 2021: Forests buffer against variations in precipitation. *Global Change Biology* 27 (19): 4686–4696. <https://doi.org/10.1111/gcb.15763>
- Oliveira, S., J. Cunha, R.L.B. Nóbrega, J.H. Gash, F. Fernanda Valente 2024: Enhancing global rainfall interception loss estimation through vegetation structure modelling. *Journal of Hydrology* 631: 130672. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130672>

- Pflug, E.E., B.R. Voortman, J.H.C. Cornelissen, J.-P.M. Witte, 2021: The effect of plant size and branch traits on rainfall interception of 10 temperate tree species. *Ecohydrology* 14 (7): e2349. <https://doi.org/10.1002/eco.2349>
- Pilaš, I., Š. Planinšek, 2011: Obnova vodnog režima nizinskih šuma kao potpora potrajnom gospodarenju. *Šumarski list* 135 (13): 138–148.
- Planinšek, Š., A. Ferreira, S. Japelj, 2011: A model for evaluation of the hydrological role of a forest. *Šumarski list* 135 (5–6): 257–266.
- Prpić, B., I. Milković, 2005: Rasprostranjenost poplavnih šuma u prošlosti i danas. U (Vukelić, J., S. Matić, B. Prpić, J. Gračan, I. Anić, D. Kajba, P. Vratarić, J. Dundović, ur.): *Poplavne šume u Hrvatskoj*. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, pp. 33–37.
- Prpić, B., 2006: Šuma i pitka voda – nezaobilazna činjenica. *Šumarski list* 130 (1–2): 1–1.
- Psistaki, K., G. Tsantopoulos, A.K. Paschalidou, 2024: An overview of the role of forests in climate change mitigation. *Sustainability* 16: 6089. <https://doi.org/10.3390/su16146089>
- Rahman, M.A., D. Armson, A.R. Ennos, A. Moser-Reischl, 2023: A comparative analysis of urban forests for storm-water management and climate regulation. *Scientific Reports* 13: 1305. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28629-6>
- Rodrigues, A.R., S. Marques, B. Botequim, B. M. Marto, J.G. Borges, 2021: Forest management for optimizing soil protection: a landscape-level approach. *Forest Ecosystems* 8: 50. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00324-w>
- Shiklomanov, I.A., J.C. Rodda, 2003: *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sivapalan, M., H.H.G. Savenije, G. Blöschl, 2012: Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes* 26 (8): 1270–1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- Španjol, Ž., D. Barčić, R. Rosavec, B. Dorbić, 2011: Biološko-ekološko i prostorno vrednovanje zaštićenih prirodnih vrijednosti u županijama sjeverozapadne Hrvatske. *Šumarski list* 135 (1–2): 51–61.
- Tikvić, I., Z. Seletković, 2003: Utjecaj pošumljavanja krša na hidrološku funkciju šuma. *Šumarski list* 127 (13): 31–34.
- UNESCO i WMO, 1992: *International glossary of hydrology*. WMO and UNESCO, Geneva and Paris.
- UNESCO, 2020: *World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. UNESCO, Paris.
- Vacek, Z., S. Vacek, J. Cukor, 2023: European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management* 332: 117353. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117353>
- Vertessy, R.A., H. Elsenbeer, 1999: Distributed modeling of storm flow generation in an Amazonian rain forest catchment: Effects of model parameterization. *Water Resources Research* 35 (7): 2173–2187. <https://doi.org/10.1029/1999WR900051>
- Vrbek, B., I. Pilaš, N. Pernar, 2010: Observed climate change in Croatia and its impact on the hydrology of lowlands. U (Bredermeier, M., ur.): *Forest Management and the Water Cycle — An Ecosystem-Based Approach*. Springer, Berlin, pp. 141–163.
- Wood, P.J., D.M. Hannah, J.P. Sadler (ur.), 2008: *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Wiley, Hoboken, NJ.
- Xiao, Q., E.G. McPherson, J.R. Simpson, S.L. Ustin, 2000: Winter rainfall interception by two mature open-grown trees. *Journal of Arboriculture* 26 (1): 10–20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200003\)14:43.3.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200003)14:43.3.CO;2-Z)
- Zhang, M., N. Liu, R. Harper, Q. Li, K. Liu, X. Wei, D. Ning, Y. Hou, S. Liu, 2017: A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. *Journal of Hydrology* 546: 44–59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>
- Zhang, M., X. Wei, 2021: Deforestation, forestation and water supply. *Science* 371 (6533): 990–991. <https://doi.org/10.1126/science.abe7821>
- Zhang, M., X. Wei, P. Sun, S. Liu, 2012: The effect of forest harvesting and climatic variability on runoff in a large watershed: the case study in the Upper Minjiang River of Yangtze River basin. *Journal of Hydrology* 464–465 (8): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.050>
- Zinke, P.J., 1967: *Forest interception studies in the United States*. U (Sopper, W.E., H.W. Lull, ur.): *Forest Hydrology*. Pergamon Press, Oxford, pp. 137–161.

Abstract

The paper discusses the interdisciplinary nature of hydrology, emphasizing its key role in understanding and solving water-related problems. Water stands out as a basic prerequisite for life, the development of societies and ecosystems, but also as a source of potential threats in the form of floods and droughts. Climate change further intensifies these risks, which is why better water resource management is necessary. Different divisions of hydrology are presented (according to components of the hydrological cycle, research methods, applications and spatial scale) and the emergence of new fields such as ecohydrology and socio-hydrology is highlighted. They integrate natural and social processes into hydrology, exploring how the interaction of water, ecosystems and people shapes the environment and social development. Special emphasis is placed on forest hydrology. Forests, through their processes of interception, infiltration, transpiration and reduction of surface runoff, significantly affect the water balance, the regulation of hydrological extremes, erosion mitigation, flood protection and preservation of drinking water quality. Research shows that forests reduce rainfall variability, stabilize the climate and act as natural reservoirs and filters for water. At the same time, deforestation increases runoff and erosion, while afforestation can temporarily reduce water availability due to high evapotranspiration of young forests. Optimal effects depend on climate, forest type and spatial scale. The need for an integrated approach to forest and water management is emphasized, since the impacts of forests on water resources are not universally positive or negative, but depend on local conditions. Future development of forest hydrology requires interdisciplinarity, long-term data and linking scientific research with practical ecosystem management in the context of climate change.

Keywords: hydrology, forest hydrology, interception, ecohydrology, water resources management