

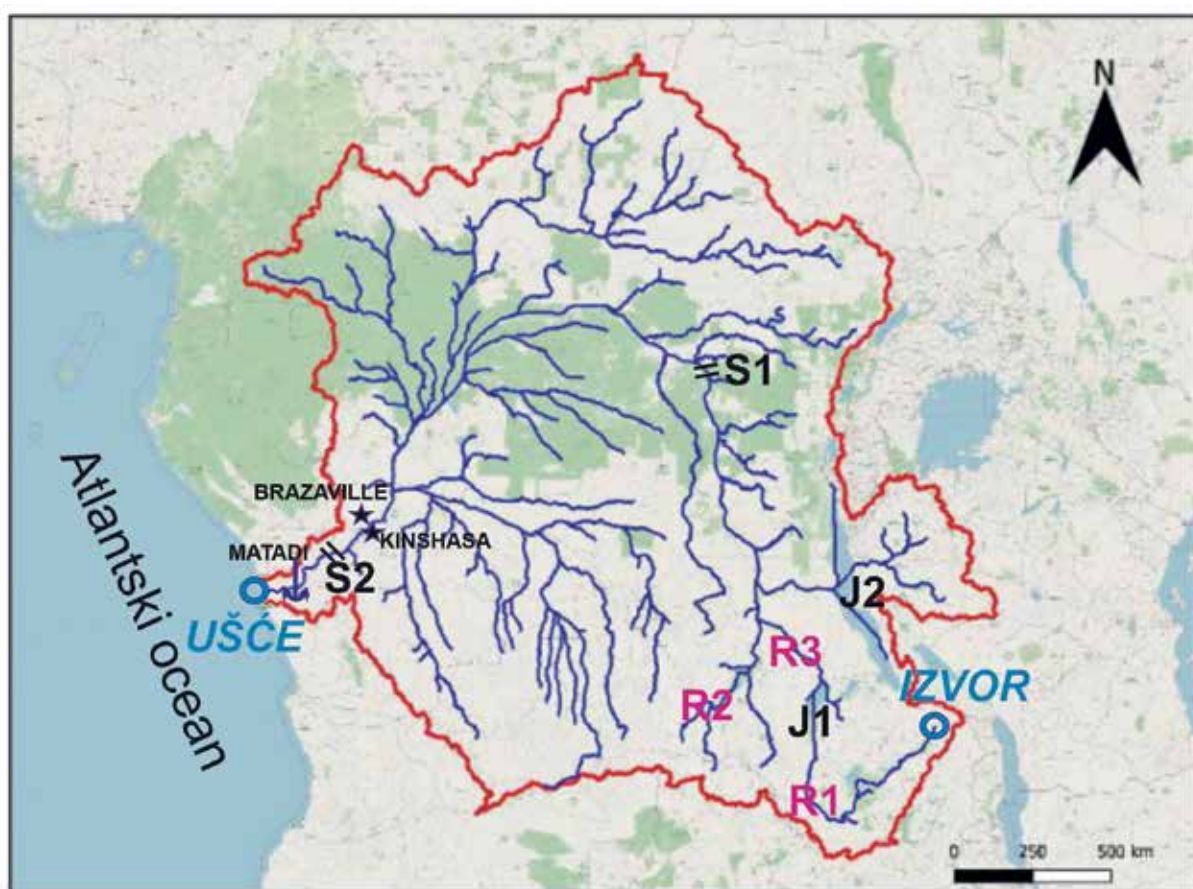
# HIDROLOGIJA I VODNI RESURSI RIJEKE KONGO (ZAÏRE)

dr. sc. Ognjen Bonacci prof. emerit., dr. sc. Tanja Roje-Bonacci prof. emerit.

## 1. UVOD

Rijeka Kongo (Zaire) druga je rijeka po površini sliva i količini voda na planetu. Sliv se prostire između  $9^{\circ}$  N,  $12^{\circ}$  E i  $13,3^{\circ}$  S,  $34^{\circ}$  E (Tshimanga 2012.). Nalazi se u središnjem dijelu afričkog kontinenta, u regiji poznatoj kao zapadna ekvatorijalna Afrika. Prema Alsdorf i sur. (2016.) ima površinu sliva od  $3.687.000 \text{ km}^2$ , dok Laraque i sur. (2020.) navode površinu sliva Konga od  $3.730.740 \text{ km}^2$ . U literaturi je moguće naići na brojne druge vrijednosti površine sliva rijeke Kongo koje se uglavnom

kreću između  $3,6 \times 10^6 \text{ km}^2$  i  $4,1 \times 10^6 \text{ km}^2$  (npr. Kazadi i Kaoru 1996.; Crowley i sur. 2006.). Zavisno o tome koja je površina stvarno točna, sliv pokriva između 11,8 % i 13,5 % površine Afrike. Duljina toka procijenjena je na oko 4700 km, te je Kongo po tom parametru deseta rijeka na Zemlji, a druga u Africi. Razlike u površini i duljini objavljene u brojnim relevantnim znanstvenim časopisima moguće je objasniti činjenicom da je bez obzira na sve dostupne tehnologije mjerenja vrlo teško pouzdano definirati vododijelnicu pa prema tome i



Slika 1: Karta sliva Konga s ucrtanim glavnim vodotocima i lokalitetima spomenutim u ovom članku (J1 - jezero Mweru; J2 - jezero Tanganjika; R1 – rijeka Chambeshi; R2 – rijeka Lualaba; R3 – rijeka Luvua; S1 – Stanlyjevi slapovi; S2 – Livingstonovi slapovi) (prilagođeno prema Karam i sur. 2023.)

površinu sliva, ali i duljinu ove doista goleme rijeke. Najvećim dijelom (ali ne u cijelosti) razlike između veličina površine sliva određene od raznih autora mogu se pripisati uključivanju jezera Tanganjika i njegovog slivnog područja (Alsdorf i sur. 2016.) u cjeloviti sliv rijeke Kongo.

Već na samom početku treba naglasiti da je u mnogobrojnoj stručnoj literaturi i osobito na internetu moguće naići i na druge vrijednosti koje se manje ili više razlikuju od onih prethodno navedenih, kao i onih koje će biti navedene i korištene u daljnjem dijelu članka. U ovom su radu autori preuzimali podatke i rezultate objavljene u najnovijim člancima publiciranim u relevantnim znanstvenim časopisima, pretpostavljajući da se radi o najnovijim saznanjima. Međutim, mora se napomenuti da i među njima postoje brojne manje ili veće razlike. Zbog toga sve navedene podatke koji će biti izneseni u ovom radu treba tretirati kao procjene koje će biti vrlo vjerojatno korigirane budućim detaljnim mjerenjima i analizama.

Izvori Konga nalaze se u gorju i planinama Istočnoafričkog rasjeda, kao i jezera Tanganjika i jezera Mweru, iz kojeg istječe rijeka Lualaba. Gornji Kongo završava kod Stanleyjevih slapova, u obliku niza brzaca dugih 96 km. Naziv Kongo uobičajeno se koristi poslije spoja rijeka Luvua i Lualaba. Izvor rijeke Chambeshi u Zambiji općenito se uzima kao izvor Konga u skladu s praksom da se kao izvor koristi najduža pritoka. U relevantnoj literaturi moguće je naići i na nešto drukčiju informaciju vezanu uz lokaciju izvora Konga. Laraque i sur. (2020.) navode da se izvor nalazi u selu Musofi na jugu provincije Katanga (Demokratska Republika Kongo) na nadmorskoj visini od 1420 mnm. U sutjesci Mayumbeu formiraju se Livingston-ovi slapovi i brzaci koji predstavljaju veliku prepreku plovidbi jer im visinska razlika iznosi 274 m. Kod luke Matadi započinje od 5 km do 17 km široko estuarijsko ušće u Atlantski ocean. Prodor slane oceanske vode seže do 79 km uzvodno od ušća. Plovidbeni sustav uključuje 39 rijeka s oko 14.000 km plovnih putova. Na slici 2 se nalazi karta sliva s ucrtanom riječnom mrežom. Na njoj su označeni prethodno spomenuti geografski lokaliteti.

Iako Kongo predstavlja drugu rijeku po količini vode i površini sliva na Zemlji, ovaj je planetarno značajni vodotok bitno manje poznat, ne samo široj javnosti, nego i stručno-znanstvenoj zajednici, u usporedbi s drugim velikim planetarnim rijekama, a prije svega Amazonom (Bonacci i Roje-Bonacci 2023.) i Nilom (Bonacci i Roje-Bonacci 2022.). Najveća rijeka na zemlji je Amazona, čija površina sliva iznosi 6.915.000 km<sup>2</sup>, a srednji godišnji protok je procijenjen na 219.000 m<sup>3</sup>/s. Kongo ima oko 1,85 puta manju površinu sliva i oko 5 puta manji srednji godišnji protok od Amazone.

O tome da vododijelnice sliva Konga još uvijek nisu pouzdano definirane svjedoči činjenici da u relevantnoj znanstvenoj literaturi postoje neslaganja o tome u kojim se državama nalaze mali rubni dijelovi njenog sliva. Sliv joj se nalazi na području sljedećih deset država: (1)

Gabon; (2) Kongo (*Congo-Brazzaville*); (3) Kamerun; (4) Demokratska Republika Kongo (*Congo-Kinshasa*); (5) Centralnoafrička Republika; (6) Tanzanija; (7) Ruanda; (8) Burundi; (9) Zambija; (10) Angola (<https://hydrohub.wmo.int/en/projects/Congo-HYCOS>). Tshimanga (2012.) u svom doktoratu navodi samo devet država, tj. ispušta Gabon. Kitambo i sur. (2022.) navode u svom radu istih devet država. Treba napomenuti da *Encyclopedia Britannica* (<https://www.britannica.com/place/Congo-Basin>) ne navodi da se sliv rijeke Kongo prostire u državama Gabon, Ruanda i Burundi. Verdoes (1997.) pak tvrdi da se i u Ugandi nalazi mali dio sliva Konga. Činjenica je da na brojnim, teško dostupnim i nedovoljno istraženim lokacijama još uvijek nisu pouzdano određene vododijelnice sliva Konga sa susjednim slivovima. Razlog ovih razlika vjerojatno treba tražiti i u činjenici ekstremne složenosti režima tečenja, ali i u tome što se radi o malim površinama koje ne prelaze 1 % ukupne površine sliva Konga.

Po rijeci Kongo ime su dobile dvije države. Državu Kongo (*Congo-Brazzaville*) je kolonizirala Francuska, a naziv je dobila po francuskom istraživaču Pierreu Sagorranu de Brazzai. Državu Demokratsku Republiku Kongo (*Congo-Kinshasa*) je kolonizirala Belgija. Godine 1971. Mobutu Sese Sekoa promijenio je ime države u Republiku Zair, koristeći alternativni domorodački naziv za rijeku Kongo. Nakon pada Mobutua, 1997. godine vraćeno je ime Demokratske Republike Kongo.

## 2. PRIRODNE KARAKTERISTIKE SLIVA

Nedostatak odgovarajućih podataka za potporu hidroloških predviđanja, udaljenost i ogromno prostranstvo sliva, složenost prirodnih procesa koji se u tako golemom prostoru zbivaju, kao i rast stanovništva i promjena korištenja zemljišta predstavljaju ozbiljna ograničenja za procjenu vodnih resursa i njihovo održivo upravljanje u slivu rijeke Kongo (Oliver 1991.). Becker i sur. (2018.) naglašavaju da u slivu rijeke Kongo, zbog nedostatka suvremenih promatranja *in situ*, postoji ograničeno razumijevanje velike varijabilnosti njegovih današnjih hidroloških komponenti i njihove veze s klimom i utjecajem antropogenih zahvata. Nedostaci mjerenja hidroloških, klimatoloških, ali i drugih podataka, kao i brojni prekidi u radu raznih klimatoloških i hidroloških postaja u slivu Konga onemogućavaju pouzdano razumijevanje hidroloških procesa u slivu. Posljedica toga je povećanje rizika vezanih uz donošenje odluka za planove korištenja njenih golemih vodnih resursa. Dodatnu nesigurnost unose neizvjesnost oko predviđanja buduće klime i promjena namjene zemljišta. Ogromne heterogenosti karakteristika sliva Konga vrlo je promjenjiva na različitim razinama prostora i vremena. Stoga ih je teško u potpunosti shvatiti bez guste i pouzdane mreže opažanja različitih parametara koja nažalost ne postoji. Povećana složenost i nedostatak odgovarajućih informacija rezultiraju povećanom neizvjesnošću u upravljanju vodnim resursima i s njima vezanim

procesima, a dijelom je posljedica i toga što se sliv nalazi u više država.

U slivu živi više od 1.200 vrsta riba, 400 vrsta sisavaca, 1.000 vrsta ptica i više od 10.000 vrsta vaskularnih biljaka. Osigurava oko 30 % afričkih resursa slatke vode. Oko 77 milijuna ljudi koji žive u slivu Konga oslanjaju se na njezine bogate prirodne resurse. Stanovništvo koje živi diljem sliva čini gotovo 150 različitih etničkih skupina.

Treba istaknuti da po hidroenergetskim potencijalima Kongo predstavlja prvu rijeku u svijetu (čini 10% svjetskih potencijala vodenih snaga). Do sada je u slivu rijeke Kongo izgrađena samo jedna velika hidroelektrana, na njenom pritoku Lualabi.

Alsdorf i sur. (2016.) iznose podatak da je prosječna godišnja količina oborina na slivu rijeke Kongo procijenjena na oko 1.900 mm. Laraque i sur (2020.) su na osnovi mjerenja u razdoblju 1903. - 2018. procijenili da prosječna godišnja količina oborina koje su pale na sliv iznosi 1.447 mm. Trend porasta ide u smjeru istok-zapad preko sliva, opadajući prema sjeveru i jugu do 1.100 mm/god. Povijesne studije zasnovane na mjerenjima rađenim lizimetrima, ispariteljima klase A i modelima sugeriraju da godišnja potencijalna evapotranspiracija varira u cijelom slivu u uskom rasponu od 1.100 do 1.200 mm/god.

Sliv Konga ima visok stupanj složenosti zbog širokog spektra različitih fiziografskih i klimatskih karakteristika. Glavni i središnji dio sliva ima niske padove terena, ali se glavina izvora javlja na području strmije topografije (Runge 2008.). Riječnu mrežu čine južni pritoci koji prvo otječu od juga prema sjeveru, a zatim prema zapadu i sjeverni tokovi koji teku od sjevera prema jugu i zatim na zapad. Tok Konga se u središnjem dijelu sliva formira dotokom vode iz četiri glavna gorja. Kišna sezona na sjeveru se podudara sa sušnom sezonom na jugu i obrnuto. U gornjem toku velike se vode javljaju od prosinca do početka svibnja. Malovodni period traje u srpnju i kolovozu. U srednjem dijelu toka velike se vode

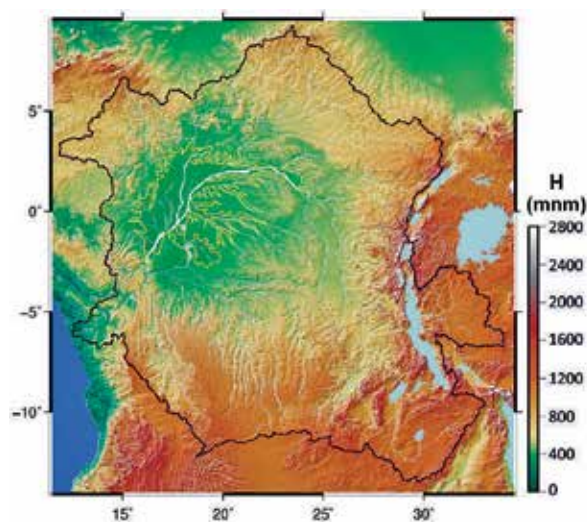
javljaju u dva navrata, u svibnju i studenom.

Brojni dokazi upućuju na to da korištenje zemljišta i klimatske promjene predstavljaju značajnu prijetnju kontroli, upravljanju i dostupnosti vodnim resursima u slivu Konga (Hoare 2007.). Sve češća, sve masovnija i nekontrolirana sječa šuma, rudarstvo, kao i anarhični razvoj naselja, utječu izravno i snažno na prirodne hidrološke karakteristike u slivu Konga. Ladel i sur. (2008.) su ukazali na smanjenje oko 18 % protoka rijeke Oubangui, jedne od glavnih pritoka Konga. Ovo smanjenje utjecalo je na navigaciju što rezultira povećanjem dana neekonomske plovidbe (broj dana kada je visina vode manja od 90 cm).

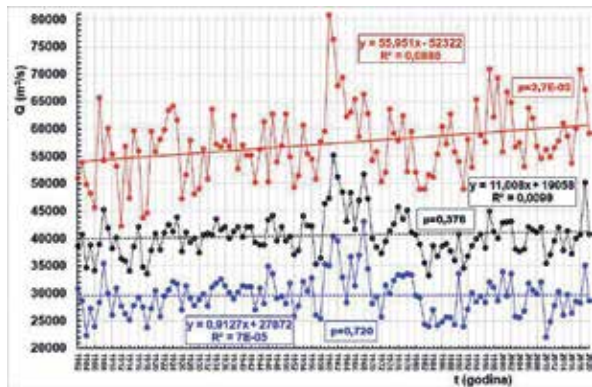
*Cuvette Centrale* je najveći kompleks tropskih tresetišta na svijetu, koji se u slivu rijeke Kongo prostire na površini od približno 145.500 km<sup>2</sup> (s 95-postotnim intervalom pouzdanosti površina se kreće u rasponu od 131.900 km<sup>2</sup> do 156.400 km<sup>2</sup>). Nalazi se na području država Kongo i Demokratske Republike Kongo (slika 2). Pohranjuje oko 30,6 petagrama (milijardi tona) ugljika, što je ekvivalent tri godina globalne emisije ugljičnog dioksida (Dargie i sur. 2017.). Unatoč svojoj veličini i važnosti kao globalno skladište ugljika, o ovom se planetarno bitnom području zna relativno malo s aspekata ekologije i njegove uloge u formiranju, razmjeru tokova stakleničkih plinova, njegove bioraznolikost i povijesti ljudskih djelatnosti (Betbeder i sur. 2013.). Budući da se radi o ogromnom ravničarskom terenu u kojem je moguće uskladištiti velike količine vode, ovaj močvarni prostor snažno utječe na uravnoteženje nizvodnog hidrološkog režima Konga.

### 3. ANALIZA NIZOVA GODIŠNJIH KARAKTERISTIČNIH PROTOKA NA VODOMJERNOJ POSTAJI KINSHASA-BRAZZAVILLE

Na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville postoji najduži niz mjerenja i određivanja protoka na cijelom slivu Konga. Na slici 1 ucrtana je lokacija ove postaje koja ima sljedeće geografske koordinate: 04°16' 21,5" S; 15° 17' 37,2" E (Laraque i sur. 2020.). Na internetu se nalaze i nešto drukčije vrijednosti geografskih koordinata: 04°16' 47,3" S; 15° 18' 32,8" E ([https://en.wikipedia.org/wiki/Congo\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River)). Širina korita na ovoj lokaciji iznosi 3264 m, prosječna dubina vode je 9 m, a maksimalna dubina vode 15,7 m. Iz tih podataka je uočljivo da se radi o ogromnom poprečnom presjeku u kojem precizno mjerenje protoka nije nimalo jednostavno ni pouzdano. To se posebno odnosi na razdoblje mjerenja prije nego su se pojavile nove tehnologije u hidrometriji, dakle prije tridesetak godina. Nadmorska visina postaje iznosi 277 mnm, a postaja se nalazi 498 km uzvodno od ušća u Atlantski ocean. Površina sliva do ove postaje iznosi 3.659.900 km<sup>2</sup> (Laraque i sur. 2020.). Kako je u istom radu navedeno da je površina sliva cijelog Konga 3.730.740 km<sup>2</sup> proizlazi da protoci određeni na ovoj postaji kontroliraju 98,1% sliva.



Slika 2: Topografija sliva Konga s ucrtanim granicama (linije žute boje) močvarnog područja Cuvette Centrale (Alsdorf i sur. 2016.)



Slika 3: Nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) protoka rijeke Kongo određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03.-2020./2021.

Prosječni godišnji protok u razdoblju 1903. - 2018. određen je u iznosu od 40.500 m<sup>3</sup>/s, dok je specifični protok iznosio 11,07 l/s/km<sup>2</sup> (Laraque i sur. 2020.). U brojnim drugim objavljenim radovima analizirani su vremenski nizovi raznih duljina srednjih godišnjih protoka na ovoj ključnoj postaji rijeke Kongo (npr. N'kaya i sur. 2022.; Talling i sur. 2022.; Karam i sur. 2023.). Kako se radi o kraćim nizovima, ovdje neće biti navedene niti komentirane njihove vrijednosti

Budući da se raspolaze nizom karakterističnih godišnjih protoka od 1902. do 2021. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Congo\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River)) nastavno će ti podaci biti obrađeni te će se na osnovi njih pokušati donijeti određeni zaključci o ponašanju hidrološkog režima rijeke Kongo, prije svega na analiziranoj postaji Kinshasa-Brazzaville, dakle neposredno prije ušća u Atlantski ocean. Budući da ova postaja kontrolira više od 98% sliva Konga, zaključci do kojih se može doći analizom ovako dugih nizova relevantni su za razumijevanje hidrološkog procesa koji se odvija na cijelom slivu.

U tablici 1 unesene su vrijednosti minimalnih, prosječnih i maksimalnih karakterističnih godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03. - 2019./20. Na slici 3 ucrtani su nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka određenih na

Tablica 1: Minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti karakterističnih godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03. - 2020./21.

Q (m <sup>3</sup> /s)	niz min. god. Q	niz sred. god. Q	niz maks. god. Q
minimum	22.000	33.310	42.280
prosjeak	29.662	40.645	57.397
maksimum	43.170	55.240	80.830

Tablica 2 Matrica koeficijenata determinacije, R<sup>2</sup>, između nizova karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03. - 2020./21.

R <sup>2</sup>	minimum	srednji	maksimum
minimum	1	0,823	0,405
srednji		1	0,234
maksimum			1

vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03. – 2020./21. Korištene su hidrološke godine koje uključuju razdoblje rujan - kolovoz. Na slici 4 su ucrtani pravci regresije kojima je moguće ustanoviti trend porasta ili opadanja analiziranih vremenskih nizova. Upisane su njihove jednadžbe definirane po teoriji najmanjih kvadrata, (y=ax+b), i koeficijenti determinacije, R<sup>2</sup>. Treba uočiti da je minimalni godišnjih protok 1968. godine iznosio 43.170 m<sup>3</sup>/s te da je on bio veći od maksimalnog godišnjeg protoka koji je određen 1912. godine, koji je iznosio 42.280 m<sup>3</sup>/s. Već sama ova činjenica ukazuje na to da je hidrološki režim Konga na ovoj lokaciji vrlo ujednačen. U tablici 2 se nalaze vrijednosti koeficijenata determinacije, R<sup>2</sup>, između nizova karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03. - 2020./21. Radi se o vrlo visokim vrijednostima, što dodatno potvrđuje prethodni zaključak o uravnoteženosti hidrološkog režima otjecanja na analiziranoj postaji.

Za potrebe dokazivanja statističke značajnosti trendova porasta ili opadanja analiziranih vremenskih nizova korišten je Mann-Kendall test (Mann 1945.; Kendall 1971.). Kao kriterij prihvaćanja hipoteze da se radi o statistički značajnom trendu koristila se vjerojatnost p<0,05. Izračunate su i na slici 4 upisane vjerojatnosti, p, određene primjenom Mann-Kendall testa (Husain Shourov i Mahmud 2019.). Uočava se da nizovi minimalnih i srednjih godišnjih protoka nemaju statistički značajan trend porasta, dok je kod niza maksimalnih godišnjih protoka trend porasta statistički značajan.

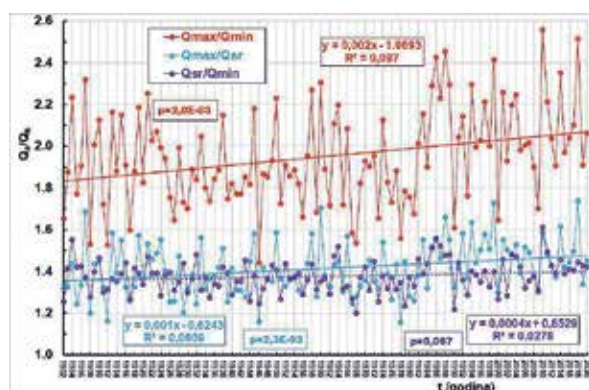
U nizu radova (Tshimanga i Hughes 2014.; Backer i sur. 2014.; Alsdorf i sur. 2016.; Becker i sur. 2018.; Karam i sur. 2023.) ukazano je da je protok rijeke Kongo kod Kinshasa-Brazzavillea doživio porast od oko 20% tijekom desetljeća 1960.–1970. u usporedbi s većinom drugih desetljeća. Primjenom metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Bonacci 2007.) ustanovljeno je da unutar tri analizirana vremenska niza postoje različita podrazdoblja sa statistički značajno različitim varijancama i prosječnim vrijednostima protoka. U

**Tablica 3** Matrica prosječnih vrijednosti srednjih godišnjih protoka u podrazdobljima određenim RAPS metodom na nizovima karakterističnih godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville s upisanim vjerojatnostima, p, F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja

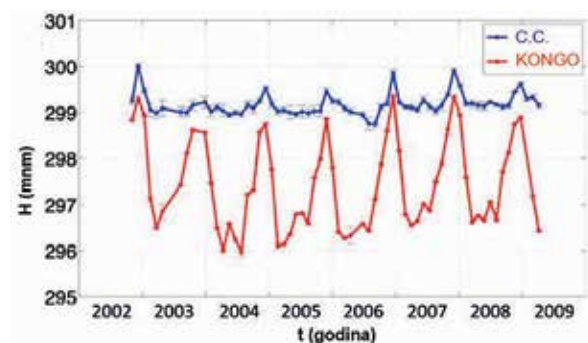
	podrazdoblje	Qpr (m3/s)	p (F-test)	p (t-test)
minimalni godišnji protok	1902./03.-1922./23.	27.837	0,243	<b>0,011</b>
	1923./24.-2020./21.	30.053		
srednje godišnji protok	1902./03.-1921./22.	38.203	0,064 <b>7,5E-05</b> <b>3,8E-03</b> 0,160	<b>1,0E-03</b> <b>4,4E-06</b> <b>8,5E-07</b> <b>2,4E-03</b>
	1922./23.-1958./59.	40.663		
	1959./60.-1980./81.	44.724		
	1982./83.-1996./97.	38.825		
	1997./98.-2020./21.	40.794		
maksimalni godišnji protok	1902./03.-1958./59.	55.046	0,300 0,091 0,436	<b>5,5E-08</b> <b>1,4E-06</b> <b>7,0E-04</b>
	1959./60.-1969./70.	66.615		
	1970./71.-1993./94.	55.288		
	1994./95.-2020./21.	60.481		

Crveno podebljanim brojevima označene su vjerojatnosti koje potvrđuju statistički značajne razlike na razini vjerojatnosti  $p < 0,05$

tablici 3 upisane su prosječne vrijednosti srednjih godišnjih protoka u podrazdobljima određenim RAPS metodom na nizovima karakterističnih godišnjih protoka određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville s upisanim vjerojatnostima, p, F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja. Kao kriterij za usvajanje hipoteze da se analizirani parametri međusobno statistički značajno razlikuju korištena je vrijednost vjerojatnosti od  $p < 0,05$ . Kod niza minimalnih godišnjih protoka uočeno je postojanje sljedeća dva podrazdoblja sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima protoka: (1) 1902./03.-1922./23.; (2) 1923./24.-2020./21. Kod niza srednjih godišnjih protoka uočeno je postojanje sljedećih pet podrazdoblja sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima protoka: (1) 1902./03.-1921./22.; (2) 1922./23.-1958./59.; (3) 1959./60.-1980./81.; (4) 1982./83.-1996./97.; (5) 1997./98.-2020./21. Kod niza maksimalnih godišnjih protoka uočeno je postojanje sljedeća četiri podrazdoblja sa statistički značajno različitim prosječnim vrijednostima protoka: (1) 1902./03.-1958./59.; (2) 1959./60.-1969./70.; (3) 1970./71.-1993./94.; (4) 1994./95.-2020./21.



**Slika 4:** Nizovi odnosa između karakterističnih godišnjih protoka rijeke Kongo određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03.-2020./2021. Crvenom bojom ucrtan je odnos  $Q_{max}/Q_{min}$ . Plavom bojom je ucrtan odnos  $Q_{max}/Q_{sr}$ . Ljubičastom bojom je ucrtan odnos  $Q_{sr}/Q_{min}$ .



**Slika 5:** Nizovi razina vode u rijeci Kongo (crvena boja) i u neposredno susjednom močvarnom području Cuvette Centrale - C.C. (17,54° E; 0,74° S) (modra boja) (Alsdorf i sur. 2016.; Laraque i sur. 2020.)

Na slici 4 ucrtani su nizovi odnosa između karakterističnih godišnjih protoka rijeke Kongo određenih na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville u razdoblju 1902./03.-2020./2021. Crvenom bojom ucrtan je odnos  $Q_{max}/Q_{min}$ . Plavom bojom je ucrtan odnos  $Q_{max}/Q_{sr}$ . Ljubičastom bojom je ucrtan odnos  $Q_{sr}/Q_{min}$ . Na slici 4 su ucrtani pravci regresije kojima je moguće ustanoviti trend porasta ili opadanja analiziranih vremenskih nizova. Upisane su njihove jednadžbe definirane po teoriji najmanjih kvadrata, ( $y=ax+b$ ), i koeficijenti determinacije,  $R^2$ . Izračunate su i na slici 4 upisane vjerojatnost, p, određene primjenom Mann-Kendall testa (Husain Shourov i Mahmud 2019.). Uočava se da nizovi odnosa  $Q_{max}/Q_{min}$  (crvena boja) i  $Q_{max}/Q_{sr}$  (plava boja) imaju statistički značajan trend porasta, dok kod niza  $Q_{sr}/Q_{min}$  (ljubičasta boja) ne postoji statistički značajan trend porasta.

Prosječna vrijednost odnosa  $Q_{max}/Q_{min}$  u cijelom raspoloživom nizu od 119 godina iznosila je 1,95, dok se raspon kretao od minimalne vrijednosti 1,44 (1946.) do maksimalne vrijednosti 2,56 (2010.). Radi se o vrlo malim vrijednostima i uskom rasponu, što ukazuje na činjenicu da u uzvodnom dijelu sliva postoji golem prostor u kojem se akumuliraju velike količine vode tijekom vlažnog poplavnog razdoblja utječući na taj način na smanjivanje vrha vala velike vode u

nizvodnom dijelu rijeke Kongo na vodomjernoj postaji Kinshasa-Brazzaville. Radi se o utjecaju prostranog močvarnog područja *Cuvette Centrale* prikazanog na slici 2. Satelitska mjerenja vodostaja pokazuju da su razine vode u močvarnom području *Cuvette Centrale* (slika 2) između 0,5 m do 3,0 m više nadmorske visine od neposredno susjednih razina rijeke Kongo. Kao potvrda

ove pretpostavke na slici 5 su ucrtani nizovi razina vode u rijeci Kongo (crvena boja) i u neposredno susjednom močvarnom području *Cuvette Centrale* (17,54° E; 0,74° S) (modra boja) (Alsdorf i sur. 2016.; Laraque i sur. 2020.) opaženi u razdoblju od kraja 2002. do početka 2009. godine. ■

## LITERATURA

Alsdorf, D.; Beighley, E.; Laraque, A.; Lee, H.; Tshimanga, R.; O'Loughlin, F.; Mahé, G.; Dinga, B.; Moukandi, G.; Spencer, R. G. M. (2016.): Opportunities for hydrologic research in the Congo Basin. *Reviews of Geophysics*, 54, <https://doi.org/10.1002/2016RG000517>.

Becker, M.; Santos da Silva, J.; Calmant, S.; Robinet, V.; Linguet, L.; Seyler, F. (2014.): Water level fluctuations in the Congo Basin derived from ENVISAT satellite altimetry. *Remote Sensing*, 6(10), 9340 – 9358. <https://doi.org/10.3390/rs6109340>.

Becker, M.; Papa, F.; Frappart, F.; Alsdorf, D.; Calmant, S.; Santos da Silva, J.; Prigent, C.; Seyler, F. (2018.): Satellite-based estimates of surface water dynamics in the Congo River Basin. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 66, 196 – 209. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.11.015>.

Betbeder, J.; Gond, V.; Frappart, F.; Baghdadi, N.; Briant, G.; Bartholome, E. (2013.): Mapping of central Africa forested wetlands using remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(2), 531-542. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2269733>.

Bonacci, O. (2007.): Analysis of long-term (1878-2004) mean annual discharges of the karst spring Fontaine de Vaucluse (France). *Acta Carsologica*, 36(1), 151-156. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i1.217>.

Bonacci, O.; Roje-Bonacci, T. (2022.): Dileme vezane uz gradnju velikih brana: slučaj rijeke Nil. *Hrvatske vode*, 30(120), 135-145.

Bonacci, O.; Roje-Bonacci, T. (2023.): Specifičnosti hidrografije i hidrologije rijeke Amazone. *Hrvatske vode*, 31(126), 285-289.

Crowley, J. W.; Mitrovica, X. J.; Bailey, C. R.; Tamisiea, E. M.; Davis, L. J. (2006.): Land water storage within the Congo Basin inferred from GRACE satellite gravity data. *Geophysical Research Letters*, 33(L19402). <https://doi.org/10.1029/2006GL027070>.

Dargie, G.; Lewis, S.; Lawson, I.; Mitchard, E. T. A.; Page, S. E.; Bocko, Y. E.; Ifo, S. A. (2017.): Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature*, 542(7639), 86-90. <https://doi.org/10.1038/nature21048>.

Hoare, A. L. (2007.): Clouds on the horizon: the Congo basin's forests and climate change. *The Rainforest Found.* London. (<http://www.rainforestfoundationuk.org>).

Husain Shourov, M. M.; Mahmud, I. (2019.): pyMannKendall: a python package for non-parametric

Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open-Source Software*, 4 (9), 1556. DOI:10.21105/joss.01556.

Karam, S.; Zango, B.-S.; Seidou, O.; Perera, D.; Nagabhatla, N.; Tshimanga, R.M. (2023.): Impacts of climate change on hydrological regimes in the Congo river basin. *Sustainability*, 15, 6066. <https://doi.org/10.3390/su15076066>.

Kazadi, S. N.; Kaoru, F. (1996.): Interannual and long-term climate variability over the Zaire River basin during the last thirty years. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 101(D16), 21351–21360. <https://doi.org/10.1029/96JD01869>.

Kendall, M. G. (1975.): *Rank Correlation Methods*. 4th edition. Charles Griffin, London.

Kitambo, B.; Papa, F.; Paris, A.; Tshimanga, R. M.; Calmant, S.; Fleischmann, A. S.; Frappart, F.; Becker, M.; Tourian, M. J.; Prigent, C.; Andriambeloson, J. (2022.): A combined use of in situ and satellite-derived observations to characterize surface hydrology and its variability in the Congo River basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(7), 1857–1882. <https://doi.org/10.5194/hess-26-1857-2022>.

Ladel, J.; Nguinda, P.; Pandi, A.; Tanania, C. K.; Tondo, B.-L.; Sambo, G.; Tellro-Wai, N.; Buluku, E. A.; Hoepffner, M. (2008.): Integrated water resources management in the Congo Basin based on the development of Earth Observation monitoring systems in the framework of the AMESD Programme in Central Africa. *13th World Water Congress*, Montpellier, France, 1 - 4 Sept.

Laraque, A.; N'kaya, M.; Guy D. (2020.): Recent budget of hydroclimatology and hydrosedimentology of the Congo River in Central Africa. *Water*, 12(9): 2613. <https://doi.org/10.3390/w12092613>.

Mann, H.B. (1945.): Non-parametric test of randomness against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.

N'kaya, G. D. M.; Laraque, A.; Paturel, J.-E.; Guzanga, G. G.; Mahé, G.; Raphael M. Tshimanga, R. M. (2022.): A new look at hydrology in the Congo Basin, based on the study of multi-decadal time series. *Congo Basin Hydrology, Climate, and Biogeochemistry: A Foundation for the Future* (ur. R. M. Tshimanga, G. D. M. N'kaya, D. Alsdorf), 121-143, American Geophysical Union, Washington. D. C. <https://doi.org/10.1002/9781119657002.ch8>

Oliver, J. E. (1991.): *The incomplete guide to the art of discovery*. Columbia University Press, New York.

Runge, J. (2007.): The Congo River, Central Africa. *Large Rivers: Geomorphology and Management* (ur. A. Gupta), 293 – 309, Wiley, U.K. <https://doi.org/10.1002/9781119657002.ch8>

org/10.1002/9780470723722.ch14.

Talling, P. J.; Baker, M. L.; Pope, E. L.; Ruffell, S. C.; Jacinto, R. S.; Heijnen, M. S.; Hage, S.; Simmons, S. M.; Hasenhündl, M.; Heerema, C. J.; McGhee, C.; Apprioual, R.; Ferrant, A.; Cartigny, M. J. B.; Parsons, D. R.; Clare, M. A.; Tshimanga, R. M.; Trigg, M. A.; Cula, C. A.; Faria, R.; Gaillot, A.; Bola, G.; Wallance, D.; Griffiths, A.; Nunny, R.; Urlaub, M.; Peirce, C.; Burnett, R.; Neasham, J.; Hilton, R. J. (2022): Longest sediment flows yet measured show how major rivers connect efficiently to deep sea. *Nature Communications*, 13, 4193. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31689-3>.

Tshimanga, M. R. (2012): Hydrological uncertainty analysis and scenario-based streamflow modelling for the Congo River Basin. Disertacija, Rhodes University,

Grahamstown, South Africa.

Tshimanga, R. M.; Hughes, D. A. (2014.): Basin-scale performance of a semidistributed rainfall-runoff model for hydrological predictions and water resources assessment of large rivers: The Congo River. *Water Resources Research*, 50(2), 1174–1188. <https://doi.org/10.1002/2013WR014310>.

Verdoes, A. (1997.): Congo Basin regional profile. *BOS NIEUWSLETTER* 16(3)(37): 5-12.

<https://www.britannica.com/place/Congo-Basin> (posjet 10. ožujka 2024.)

<https://hydrohub.wmo.int/en/projects/Congo-HYCOS> (posjet 10. ožujka 2024.)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Congo\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River) (posjet 10. ožujka 2024.)