

# PRILOG IZUČAVANJU HIDROLOGIJE SKRADINSKOG BUKA NA RIJECI KRKI

**prof. emeritus Ognjen Bonacci,**  
**dipl. ing. građ.**

Fakultet građevinarstva, arhitekture i  
geodezije  
Sveučilišta u Splitu  
Matice hrvatske 15, 21000 Split  
ognjen.bonacci@gradst.hr

**prof. emerita Tanja Roje-Bonacci,**  
**dipl. ing. građ.**

Fakultet građevinarstva, arhitekture i  
geodezije  
Sveučilišta u Splitu  
Matice hrvatske 15, 21000 Split

**doc. dr. sc. Ivo Andrić, dipl. ing. građ.**

Fakultet građevinarstva, arhitekture i  
geodezije  
Sveučilišta u Splitu  
Matice hrvatske 15, 21000 Split

U članku je izvršena hidrološka analiza vodostaja i protoka izmjernih na dvije hidrološke postaje koje kontroliraju procese tečenja vode preko morfološki vrlo složenog sustava Skradinskog buka na rijeci Krki. Na postaji Skradinski buk gornji, koja kontrolira ukupni dotok vode na slap, vodostaj se mjeri od 1923. godine do danas, s prekidom tijekom razdoblja od 1941. do 1946., dok su protoci definirani za razdoblje 1947.-2015. U ovom su radu obrađeni podatci vodostaja i protoka za razdoblje 1947.-2015. Na vodomjernoj postaji Nacionalni park vodostaji i protoci mjere se od 1990. do 2015. Dio od ukupne vode koja dotječe do slapa odvodi se tunelom, otvorenim kanalom, a potom tlačnim cjevovodom za pogon hidroelektrane Jaruga. Zbog morfologije lijevi je dio slapa bitno bogatiji vodom od desnog dijela. U razdoblju 1990.-2015. srednji godišnji protok opažen na vodomjernoj postaji Skradinski buk gornji iznosio je  $48,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , dok je na nizvodnoj postaji Nacionalni park iznosio  $20,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Cilj ovog članka je detaljna isključivo hidrološka analiza fenomena Skradinskog buka korištenjem raspoloživih podataka. Od ključnog je interesa, korištenjem pouzdanih hidroloških informacija, shvatiti na koji način odvođenje dijela vode sa slapa utječe na njegov ekološki sustav, ali i na njegovu dugoročnu stabilnost.

**Ključne riječi:** hidrologija, vodostaj, protok, krš, Skradinski buk

## 1. UVOD

Nacionalni park Krka (u daljnjem tekstu NPK) je proglašen dana 24. siječnja 1985. Prostire se na površini od  $110 \text{ km}^2$ , od kojih  $9 \text{ km}^2$  tvore vodene površine (Bralić, 2006.). Skradinski buk (u daljnjem tekstu SB) predstavlja najduži, najviši (45,7 m) i najnižvodniji sedreni slap od ukupno sedam slapova duž toka rijeke Krke. Slap je smješten na ušću rijeke Krke u Jadransko more. Zbog svojih prirodnih ljepota i povijesnog značaja to je ujedno i najpoznatiji, ali i najposjećeniji dio NPK-a. Bez pretjerivanja se može konstatirati da spada među najvrjednije i najupečatljivije krške krajobrazne fenomene ne samo dinarskog krša, već i planetarnog krša uopće. Činjenica je da je taj mali i ekološki vrlo osjetljivi, a ujedno i neprocjenjivo

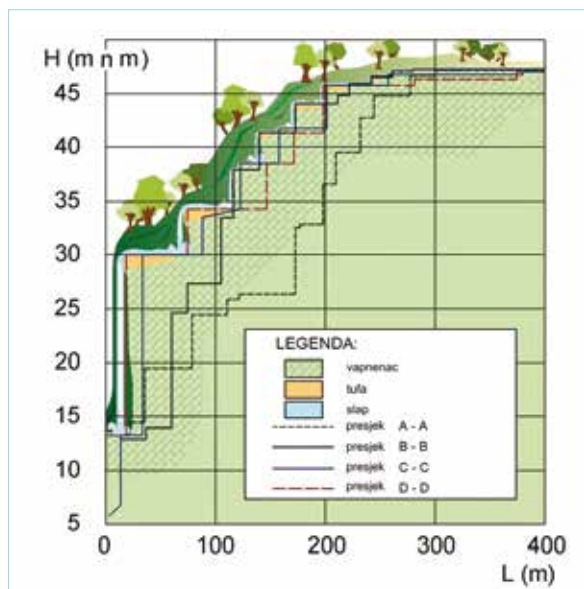
vrijedni, prostor izvrgnut intenzivnim i nedovoljno kontroliranim antropogenim utjecajima. Pri tome se misli na: (1) turizam koji je osobito intenzivan tijekom sušnog i toplog ljetnog razdoblja; (2) odvođenje vode s dijela slapa za proizvodnju električne energije; (3) slabo ili nikako kontroliranih antropogenih zahvata koji se vrše u uzvodnom dijelu NPK-a i slivova rijeka Krke i Čikole. Treba naglasiti da sam SB predstavlja barijeru koja na toku rijeke Krke formira jezero dužine oko 8 km. Zanimljivo je napomenuti da Ford i Pedley (1996.) smatraju da SB vjerojatno predstavlja najvišu sedrenu pregradu na svijetu. Dno slapa se praktično nalazi na nivou Jadranskog mora u dolini formiranoj postglacijalnim podizanjem morske razine.

Starost ovog slapa procjenjuje se na oko 10.000 godina. SB kao i ostali slapovi duž toka rijeke Krke izgrađeni su od sedre. Sedra predstavlja monomineralnu stijenu, izgrađena je samo od minerala kalcita. U biti se radi o šupljikavoj vrsti vapnenca kriptokristalaste strukture i šupljikave teksture. U engleskom jeziku za dvije varijante ove vrste vapnenačkih stijena koriste se sljedeća dva naziva: (1) „tufa“; (2) „travertine“. Ford i Pedley (1996.) navode da „tufa“ predstavlja produkt taloženja kalcijevog karbonata u hladnim vodama (temperature vode ne razlikuju se bitno od temperature zraka) te da ona sadrži ostatke mikrofiti i makrofiti, beskraljnjaka i bakterija. Izvori grijani geotermalnom toplinom proizvode slične karbonatne sedimente poznate pod imenom „travertine“. „Travertine“ je manje porozan od „tufa“-e, kao posljedica njegovog relativno ograničenog sustava širenja i manje količine organizama koji sudjeluju u njegovom formiranju. Nije na odmet napomenuti da Ford i Pedley (1996.) upozoravaju na činjenicu da u literaturi i u različitim zemljama nerijetko dolazi da preklapanja i krive interpretacije ove dvije slične, ali ipak različite varijante vapnenačkih stijena. Prema tome, sedrene barijere na rijeci Krki treba tretirati kao „tufa“-u.

Sam SB ima 17 stepenica raspoređenih na dužini od oko 800 m. Širina slapa mijenja se u rasponu od 200 m do 400 m (Bralić, 2006.). Širina slapa se uglavnom sužava idući nizvodno, što je moguće uočiti sa slike 1 na kojoj je ucrtana situacija SB na kojoj su naznačeni položaji hidroloških postaja Skradinski buk gornji (slovom C), Nacionalni park (slovom A) i zahvata vode za HE Jaruga (slovom B), kao i položaj same HE Jaruga na dnu slapa (Škarica, 1990.). Tamno zelenom bojom označen je desni viši dio slapa, dok je svijetlozelenom bojom označen lijevi niži dio slapa. Na slici 1 ucrtani su i položaji 4 uzdužna presjeka kroz SB koji su prikazani na slici 2. Uočava se da je na pojedinim mjestima lijeva strana slapa za 5 do 10 m niža od desne. Vegetacija na desnoj strani slapa znatno je viša od one na lijevoj strani. Plavom su bojom označeni dijelovi slapa preko kojih se pri srednjim i nižim vodostajima odvija tečenje vode. Treba napomenuti da kod velikih voda i protoka viših od oko  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  voda teče preko cijele površine slapa te se s desne više strane slapa prelijeva na lijevu nižu.



Slika 1: Situacija SB-a na kojoj su naznačeni položaji: hidroloških postaja Nacionalni park (A), Skradinski buk gornji (C) i zahvat vode za HE Jaruga (B), položaj HE Jaruga, 4 poprečna presjeka (A-A; B-B; C-C; D-D)



Slika 2: Četiri poprečna presjeka (A-A; B-B; C-C; D-D) kroz Skradinski buk čiji su položaji prikazani na situaciji na slici 1

Unutar njegovih debelih sedrenih naslaga formirane su brojne špilje, a na površini otoci, draperije i barijere koje upravljaju tečenjem vode u različite smjerove tijekom različitih hidroloških situacija. Na taj način površinsko, ali i potpovršinsko tečenje vode kroz ovaj prostor stalno utječe na njegovo morfološko preoblikovanje. Taj je proces povezan s razvojem vegetacije na prostoru slapa. Zbog svoje dinamike i složenosti nije dovoljno izučen, što otežava donošenje učinkovitih mjera zaštite.

Činjenica je da NPK, a prije svega sam SB, danas predstavljaju svjetski poznatu turističku destinaciju. Upravo zbog toga je ovaj vrlo ranjivi prostor izvrnut velikoj, izravnoj i stalnoj opasnosti, čini se još uvijek nedovoljno shvaćenoj. Dodatne probleme za održivo upravljanje ovim prostorom stvara korištenje voda Krke za potrebe proizvodnje hidroenergije i vodoopskrbe. Ne treba se zanemariti niti utjecaj klimatskih promjena i varijacija kao ni utjecaj brojnih nekontroliranih radova u slivu.

Zbog potrebe informiranja čitatelja na kraju članka je dat popis objavljenih radova do kojih su autori uspjeli doći, a koji su vezani na bilo koji način s problematikom NPK-a i/ili SB-a. Radovi navedeni u posljednjem poglavlju nisu izravno korišteni za pisanje ovog članka, ali se stručnoj i široj javnosti preporučuju s ciljem sveobuhvatnog izučavanja ovog prostora.

Cilj ovog članka je detaljna, isključivo hidrološka analiza fenomena SB-a korištenjem raspoloživih podataka. Do danas objavljena saznanja o hidrologiji ovog slapa malobrojna su (Villi, 1990.; Žugaj i Marković, 1990.; Bonacci, 1995.). S druge strane saznanja o klimatologiji, geologiji, hidrologiji, hidrogeologiji, geomorfologiji i geografiji sliva i vodotoka rijeke Krke, osobito nekih specifičnih dijelova kao što je izvor Krke i slapovi Krčića nešto su brojnija, ali ipak nedovoljna i uglavnom dostupna domaćoj stručnoj javnosti

(Friganović, 1961., 1990.; Bonacci, 1983.; Božičević et al., 1983.; Bonacci i Perica, 1990.; Fritz et al., 1990.; Penzar i Penzar, 1990.; Polšak et al., 1990.; Ferić, 2000.; Bonacci i Ljubenković, 2005.; Bonacci et al., 2006.; Jukić, 2006.; Škarica, 2006.; Cukrov et al., 2010.; Terzić i Frangen, 2010.). Pri tome treba napomenuti da je analizi veze voda slivova rijeka Krke i Zrmanje, tj. porijeklu voda izvora Miljacka koji se nalazi na desnoj obali rijeke Krka (u području NPK-a), u literaturi posvećena osobita pažnja (Fritz i Pavičić, 1987.a; 1987.b; Bonacci, 1999.; Terzić et al., 2010.; Terzić et al., 2014.). Mnogo je bolja situacija s objavljenim radovima iz područja ekologije, biologije, kemizma vode, problematike vezane sa stvaranjem sedre i zaštite fenomena u NP-u (Pevalek, 1953.; Roglič, 1953.; Pavletić, 1954., 1955., 1960., 1969.; Matonićkin i Pavletić, 1960.a; 1960.b; 1962.; Srdoč et al., 1985.; Lojen et al., 2004.; Perica et al., 2005.; Nahill et al., 2006.; Tepić et al., 2007.; Cukrov et al., 2008.; Lojen et al., 2009.; Marguš, 2010.; Cukrov et al., 2012.; Lojen et al., 2014.). Autori smatraju da objavljeni radovi iz ovog područja nisu dovoljno analizirali utjecaj dinamičkih promjena hidrološkog režima na izučavane procese. To bi se prvenstveno moglo objasniti činjenicom nepostojanja odgovarajućih hidroloških podloga i na njima zasnovanih analiza. Postojeća hidrološka mjerenja i na njima zasnovane analize iznesene u ovom radu trebali bi omogućiti interdisciplinarni i holistički pristup tretiranja složenih problema zaštite i učinkovitijeg upravljanja neprocjenjivo vrijednim resursima NPK-a.

Smatra se da danas više nikoga ne treba posebno uvjeravati da za interdisciplinarno izučavanje, održivo upravljanje i učinkovitu zaštitu bilo kojeg ranjivog krškog fenomena ključnu ulogu igra hidrologija. Ona je, nažalost, u slučaju NPK-a, a osobito SB-a nedovoljno korištena, dijelom zbog nedostatka sustavnog motrenja različitih hidroloških parametara, ali i donekle zbog velike složenosti i promjenjivosti hidroloških karakteristika u relativno malom prostoru i njihovih brzih promjena tijekom kratkih vremenskih inkremenata. Pri tome ne treba zanemariti niti činjenicu nedovoljne suradnje među različitim granama znanosti koje tretiraju kompleksnu problematiku SB-a.

Probleme za izučavanje hidrologije ovog krškog fenomena predstavljaju antropogeni zahvati, prvenstveno rad HE Jaruga, korištenje vode za opskrbu, ali i brojni slabo kontrolirani ili uopće ne kontrolirani antropogeni zahvati u slivu rijeke Krke.

Vrlo složena interaktivna problematika između biologije, hidrologije, hidrogeologije, geografije, kemizma voda, ekologije itd. NPK-a, SB-a i širih okolnih prostora predstavljeni su stručnoj i znanstvenoj javnosti na nekoliko nacionalnih skupova. U tom smislu značajnu je ulogu odigrao Simpozij „NP Krka – stanje istraženosti i problemi zaštite ekosistema“ održan u Šibeniku od 3. do 7. listopada 1989. Radovi su objavljeni 1990. u časopisu Ekološke monografije (knjiga 2) u izdanju Hrvatskog ekološkog društva. Neki od njih citirani su u popisu

korištene literature na kraju ovog članka. U razdoblju od 28. rujna do 3. listopada 2015. održan je u Šibeniku znanstveno – stručni skup „Vizija i izazovi upravljanja zaštićenim područjima prirode u Hrvatskoj: Aktivna zaštita i održivo upravljanje u Nacionalnom parku Krka“. Hidrološka problematika samog SB-a bitna za njegovo očuvanje i na ovom skupu nije u dovoljnoj mjeri tretirana. Razlog tome leži u činjenici ekstremno složene morfološke strukture ovog prostranog slapa koja otežava pouzdanu kontrolu kretanja vode i njenog mjerenja u različitim hidrološkim stanjima koja se vrlo brzo mijenjaju.

U radu će se analizirati ponašanje vodostaja i protoka mjerenih na sljedeće dvije vodomjerne postaje: (1) Skradinski buk gornji (fotografija na slici 3); (2) Nacionalni park (fotografija na slici 4).



Slika 3: Limnigraf vodomjerne postaje Skradinski buk gornji snimljen 6. listopada 2015. (snimila: T. Roje-Bonacci)



Slika 4: Limnigraf vodomjerne postaje Nacionalni park snimljen 6. listopada 2015. (snimila: T. Roje-Bonacci)

Od 1935. godine postaja Skradinski buk gornji se nalazila na lijevoj obali Krke, uzvodno od buka. Vodokaz je bio drveni, vertikalni, raspona 0–300 cm, kota nule je "0"=45,49 m n. m. Nakon Drugog svjetskog rata, dana 03. travnja 1946. postavljena je nova, vertikalna, jednodijelna

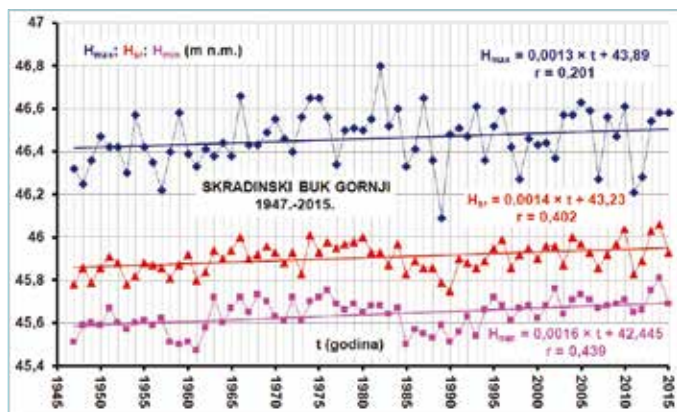
vodokazna ploča raspona od 0 do 200 cm, izrađena od lijevanog željeza, pričvršćena na hrastovom pilotu, okrenuta prema lijevoj obali. Kota nule postavljena je na visinu kote nule ranijeg vodokaza. Lokacija stanice je oko 300 m uzvodno od slapova Krke. Dana 2. lipnja 1959. uz vodokaz je postavljen i limnigraf otočnog tipa. Kontrolnim nivelmanom dana 20. prosinca 1975. korigirana je kota nule vodokaza na vrijednost koja je i danas aktualna te iznosi "0"=45,40 m n.m. Dana 18. prosinca 2007. postavljen je elektronski limnigraf OTT-Thalimedes te je uspostavljena daljinska dojava vodostaja.

Za dobivanje ukupnog protoka vode hidrometrijska mjerenja vrše se na slapovima Krke kao i na odvodnim kanalima vodovoda Šibenika i HE Jaruga. Kod viših vodostaja vodomjerenja se vrše nizvodno od slapova Krke i ispuštanja vode iz HE Jaruga.

Dana 8. lipnja 1989. uspostavljena je limnigrafska postaja Nacionalni park na najvećem slapu SB-a, oko 1 km nizvodno od postaje Skradinski buk gornji. Ova limnigrafska postaja bilježi svaku promjenu dotoka na slap koja nastaje uslijed uzvodnog uzimanja vode za HE "Jaruga" kao i uzvodnog uzimanja vode za vodovod grada Šibenika. Dana 25. srpnja 2007. izvršen je kontrolni nivelman te je izmjerena današnja vrijednost kote nule koja iznosi "0"=12,624 m n.m. Dana 3. rujna 2009. uspostavljena je daljinska dojava vodostaja.

## 2. ANALIZA VODOSTAJA

Na slici 5 grafički su prikazana tri niza karakterističnih godišnjih vodostaja (minimalnih, srednjih i maksimalnih) izmjerenih na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju 1947.-2015. Na slici 5 su ucrtane i linije linearnih trendova te njihovi analitički izrazi (pravci regresije dobiveni teorijom najmanjih kvadrata) kao i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ . Kod sva tri analizirana vremenska niza uočava se postojanje trenda porasta. Pri tome koeficijent linearne korelacije za niz maksimalnih godišnjih vodostaja nije statistički značajan, dok je u slučajevima nizova minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja značajan.

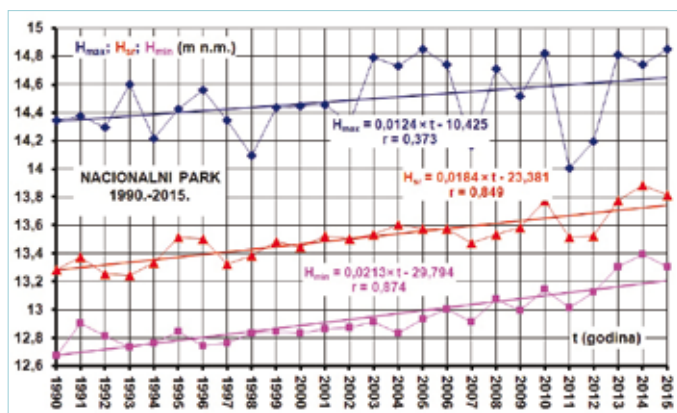


Slika 5: Grafički prikaz nizova karakterističnih godišnjih vodostaja (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju 1947.-2015. izraženih u apsolutnim kotama (m n.m.)

Već sama činjenica da postoje trendovi porasta vodostaja mjerenih na ulazu u sedreni slap može se ocijeniti kao pozitivna pojava. Problem je samo naći znanstveno utemeljeno i argumentirano objašnjenje za taj proces. U hidrologiji se često trend porasta ili opadanja, prije svega minimalnih godišnjih vodostaja, povezuje s porastom ili opadanjem dna vodotoka kroz koji se odvija tečenje. U ovom je slučaju moguće da se radi o porastu dna u širem ili užem okolišu vodomjerne postaje Skradinski buk gornji. Drugo je pitanje, na kojeg je mnogo problematičnije naći pouzdan odgovor, je što je razlog tom porastu. Kako se radi o sedrenoj barijeri moguće je da je tijekom 69 godina kontinuiranog motrenja sedrena barijera u prosjeku porasla za oko 1,6 mm godišnje. Proces porasta sedrenih barijera u praktično identičnom razdoblju u iznosu između 1,35 do 1,5 mm godišnje opažen je na Plitvičkim jezerima (Srdoč et al., 1985.; Zwicker i Rubinić 2004.; Rubinić et al., 2008.; Bonacci, 2013.). Osim navedenog ne smije se isključiti niti mogućnost da se radi o taloženju suspendiranih čestica koje donose vodotoci Čikola i Krka ili čak o sustavnom tonjenju vodomjera. Bez obzira na to da se u ovom trenutku ne može sa sigurnošću utvrditi razlog trenda porasta dna na profilu vodomjerne postaje Skradinski buk gornji, sam se proces može prihvatiti kao pozitivan, ali je očito neophodno pokušati utvrditi njegov pravi razlog.

Vezano s izmjerenim vodostajima na profilu postaje Skradinski buk gornji treba ukazati na činjenicu da je raspon vodostaja u razdoblju od punih 69 godina motrenja (1947.-2015.) izrazito malen, iznosi samo 1,33 m, te da se kreće od minimalnih 45,47 m n.m. izmjerenih 1961. godine do maksimalnih 46,80 m n.m. izmjerenih 1982. godine. Srednji godišnji vodostaji kretali su se u istom razdoblju u još užem rasponu od samo 31 cm. Minimalni srednji godišnji vodostaj izmjeren je 1990. godine te je iznosio 45,75 m n.m., dok je maksimalni izmjeren 2014. u vrijednosti od 46,06 m n.m. Razlog ovako malog raspona vodostaja je u velikoj širini vrha preljeva. U tom slučaju mali porast razine vode rezultira velikim porastom količine vode. Prosječni srednji godišnji vodostaj u cijelom razdoblju opažanja iznosio je 45,91 m n.m.

Na slici 6 grafički su prikazana tri niza karakterističnih godišnjih vodostaja (minimalnih, srednjih i maksimalnih) izmjerenih na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. Na istoj su slici ucrtane i linije linearnih trendova kao i njihovi analitički izrazi (pravci regresije dobiveni teorijom najmanjih kvadrata) te vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ . Kod sva tri analizirana vremenska niza uočava se postojanje trenda porasta. Sva tri trenda su izraženija nego kod uzvodne postaje Skradinski buk gornji. Koeficijenti linearne korelacije u slučajevima nizova minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja značajni su i vrlo visoki te prelaze vrijednost od  $r=0,8$ . Na profilu Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. raspon između minimalnog i maksimalnog vodostaja iznosio je 2,80 m, s tim da je minimalni vodostaj bio 12,67 m n.m. (1990.), a maksimalni 14,85 m n.m. (2005.). Srednji godišnji vodostaji kretali su se od minimalnog 13,24 m n.m. (1993.) do maksimalnog 13,88 m n.m. (2014.) s vrijednosti prosječnog srednjeg godišnjeg vodostaja od 13,51 m n.m.



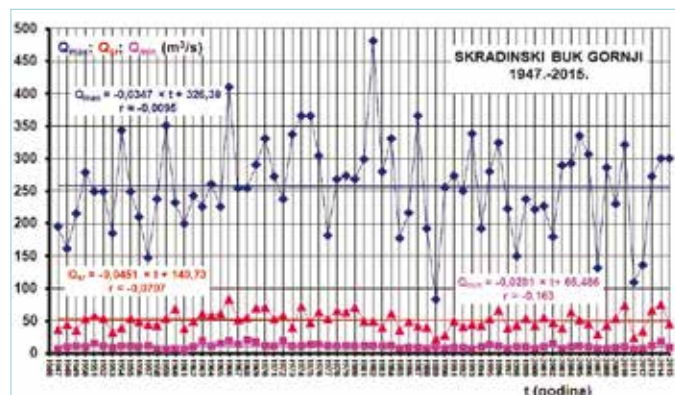
Slika 6: Grafički prikaz nizova karakterističnih godišnjih vodostaja (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. izraženih u apsolutnim kotama (m n.m.)

Pri pokušaju objašnjavanja ovih rezultata treba uzeti u obzir da se radi o relativno kratkom vremenskom nizu od samo 26 godina. U tom razdoblju prosječni godišnji porast minimalnih godišnjih vodostaja je iznosio 2,13 cm, što predstavlja iznenađujuće visoku vrijednost. Zbog toga se čini da ju je teško objasniti isključivo porastom sedre na tom lokalitetu. Ako to predstavlja osnovni razlog, onda se radi o pozitivnom procesu. Međutim, procesi tečenja vode na ovom morfološki krajnje složenom i nedovoljno izučenom slapu, ekstremno se hidrološki brzo mijenjaju. Hidrološka dinamika i njen utjecaj na cijeli prostor slapa nisu poznati, tako da je u ovom trenutku nemoguće dati argumentirano i znanstveno utemeljeno objašnjenje spomenutog porasta. Kako bi se mogao dati takav odgovor, a on je nužan za održivo korištenje ovog vrijednog krškog fenomena, bit će neophodno organizirati sustavno mjerenje njegovih morfoloških oblika tijekom nekoliko godina (višeputo tijekom raznih sezona godine) primjenom suvremenih tehnologija, kao npr. dronova.

Naime, na osnovi samo podataka sa dva točkasta lokaliteta definitivno je utvrđeno da se morfologija cijelog slapišta SB-a relativno brzo mijenja. Ne treba zaboraviti da je slap geološki gledano vrlo mlad, tek oko 10.000 godina. Na njegovo transformiranje zasigurno osim prirodnog dotoka i klime te odvođenja vode za potrebe HE Jaruga značajan utjecaj (ali koliki?) imaju i drugi antropogeni čimbenici kao na primjer promjena kemizma vode. Pri tome se, prije svega, misli na utjecaj velikog broja turista, ali i poznatih te donekle kontroliranih, a mnogo više nepoznatih i nekontroliranih zahvata ne samo oko lokaliteta slapa, nego i na uzvodnom dijelu slivova Krke i Čikole. Ne smije se zanemariti niti činjenica promjena i/ili varijacije klime, a osobito njen utjecaj na promjenu hidrološkog režima tijekom godine kao i na promjenu razvoja vegetacije na samom slapu te promjenu temperature vode. Problem rasta i razvoja vegetacije, prije svega na desnoj strani slapišta, zasigurno utječe snažno i brzo na promjenu njegove morfologije.

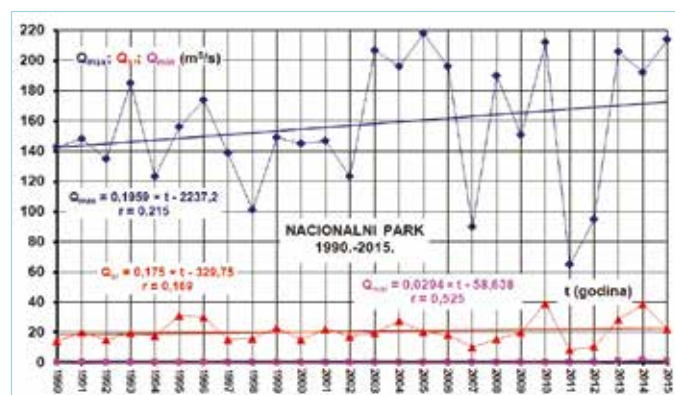
### 3. ANALIZA PROTOKA

Na slici 7 grafički su prikazani nizovi karakterističnih godišnjih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju 1947.-2015. izraženih u  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ . Na slici su ucrtane i linije linearnih trendova, upisani su njihovi analitički izrazi (pravci regresije dobiveni teorijom najmanjih kvadrata) kao i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r. Kod sva tri analizirana vremenska niza uočavaju se trendovi opadanja, ali ni u jednom slučaju oni nisu statistički značajni.



Slika 7: Grafički prikaz nizova karakterističnih godišnjih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju 1947.-2015. izraženih u  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Na slici 8 grafički su prikazani nizovi karakterističnih godišnjih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. izraženih u  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ . Na slici su ucrtane linije linearnih trendova, njihovi analitički izrazi (pravci regresije dobiveni teorijom najmanjih kvadrata) kao i vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r. Kod sva tri analizirana vremenska niza uočavaju se trendovi porasta. Donošenje pouzdanih zaključaka o njihovoj statističkoj značajnosti ograničeno je činjenicom što su vremenski nizovi relativno kratki te se odnose na samo posljednjih 26 godina. Međutim, činjenica porasta se ne može zanemariti, ali ju je teško objasniti dijelom i zbog toga jer se ova mjerenja odnose na protoke koje se javljaju samo na lijevom dijelu slapa i to uzvodno od lokacije postaje Nacionalni park čija kota nule iznosi "0" = 12,624 m n.m.



Slika 8: Grafički prikaz nizova karakterističnih godišnjih protoka (minimalnih, srednjih i maksimalnih) opaženih na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. izraženih u  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

U **tablici 1** navedene su vrijednosti karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka izmjerenih na postaji Skradinski buk gornji u dva razdoblja (1947.-2015. i 1990.-2015.) te na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. Pregledom vrijednosti za postaju Skradinski buk gornji u razdoblju 1947.-2015. uočava se da je raspon protoka koje dospiju na početak slapa vrlo velik te da se kreće od minimalnih  $4,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1961.) do maksimalnih  $481 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (1982.). Prosječna višegodišnja vrijednost protoka na postaji Skradinski buk gornji u cijelom raspoloživom razdoblju 1947.-2015. iznosila je  $51,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Minimalni srednji godišnji protok pojavio se 1989. te je iznosio  $22,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , dok se maksimalni pojavio 1966., a iznosio je  $84,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

**Tablica 1:** Vrijednosti karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka izmjerenih na postaji Skradinski buk gornji u dva razdoblja (1947.-2015. i 1990.-2015.) te na postaji Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015.

		Qmax ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Qsr ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Qmin ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
SKRADINSKI BUK GORNJI (1947.-2015.)	minimalni	83,5	22,5	4,99
	prosječni	258	51,3	10,9
	maksimalni	481	84,2	20,7
SKRADINSKI BUK GORNJI (1990.-2015.)	minimalni	110	25,2	6,86
	prosječni	247	49,0	9,82
	maksimalni	338	75,4	18,4
NACIONALNI PARK (1990.-2015.)	minimalni	64,8	8,21	suho
	prosječni	158	20,6	0,19
	maksimalni	218	39,1	1,60

Pregledom vrijednosti protoka za postaju Nacionalni park u razdoblju 1990.-2015. uočava se da se raspon protoka koje kontrolira ovaj limnigraf kretao od minimalnih, tj. presušivanja (1990. i 2004.) do maksimalnih  $218 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2005.). Prosječna višegodišnja vrijednost na postaji Nacionalni park u raspoloživom razdoblju mjerenja 1990.-2015. iznosila je  $20,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Minimalni srednji godišnji protok pojavio se 2011. te je iznosio  $8,21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , dok se maksimalni pojavio 2010., a iznosio je  $39,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Usporedbe radi u **tablici 1** navedene su i vrijednosti karakterističnih protoka izmjerenih na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju kada su vršena mjerenja na postaji Nacionalni park (1990.-2015.).

Sve prethodno navedeno ukazuje na veliku varijabilnost protoka na slapu, što zasigurno ima određen utjecaj i na formiranje sedre, razvoj vegetacije na slapištu, ali i na brojne biološke i ekološke procese na istom prostoru. Činjenica je da se o interakciji hidrologije i spomenutih procesa zna vrlo malo. Razlog za to velikim dijelom leži u činjenici nedostatka hidroloških mjerenja i hidroloških studija postojećih mjerenja kao bitnih preduvjet za započinjanje prethodno spomenutih kompleksnih interdisciplinarnih istraživanja.

#### 4. ANALIZA TEČENJA VODE PREKO SLAPA I ODVOĐENJA VODE SA SLAPA

Kako je već u prethodnom dijelu ovog rada bilo naglašeno, proces tečenja na prostranom slapištu Skradinskog buka izrazito je složen i nedovoljno izučen. Razlozi tome leže u: (1) složenoj morfologiji slapišta koja se mijenja tijekom godina; (2) razvoju vegetacije na tom prostoru tijekom sezona jedne godine, ali i tijekom niza godina; (3) ekstremnoj i brzom hidrološkoj promjenjivosti vodnih količina koje se prelijevaju preko njega; (4) odvođenju vode za potrebe HE Jaruga; (5) odvođenju vode za potrebe vodoopskrbe Šibenika; (6) varijacija i/ili promjena klime; (7) nepoznatih razloga uzrokovanih prirodnim procesima ili antropogenim zahvatima na i oko slapišta, ali i u NPK-a kao i uzvodnom dijelu slivova Krke i Čikole.

U nastavku ovog rada na osnovi postojećih podataka mjerenja analizirat će se procesi tečenja vode preko slapa i odvođenja vode sa slapa. U izrazu (1) ukupni dotok vode na SB,  $Q_{\text{SBG}}$ , (radi se o protoci mjerenoj na postaji Skradinski buk gornji) definiran je kao suma protoka koje se javljaju i mjere na postaji Nacionalni park,  $Q_{\text{NP}}$ , protocima koje se odvođe za potrebe rada HE Jaruga,  $Q_{\text{HEJ}}$ , protocima kojima se koristi Vodovod Šibenik,  $Q_{\text{VŠ}}$ , te nekontroliranim količinama vode koje protječu desnim višim dijelom slapa,  $Q_{\text{DDS}}$ :

$$Q_{\text{SBG}} = Q_{\text{NP}} + Q_{\text{HEJ}} + Q_{\text{VŠ}} + Q_{\text{DDS}} \quad (1)$$

Razlika protoka,  $\Delta$ , između protoka kontroliranih na dvije vodomjerne postaje predstavlja količinu vode koja zbog antropogenih ili prirodnih razloga ne teče lijevim dijelom slapišta. Iz izraza (2) vidljivo je da se radi o sumi protoka ( $Q_{\text{HEJ}} + Q_{\text{VŠ}} + Q_{\text{DDS}}$ ):

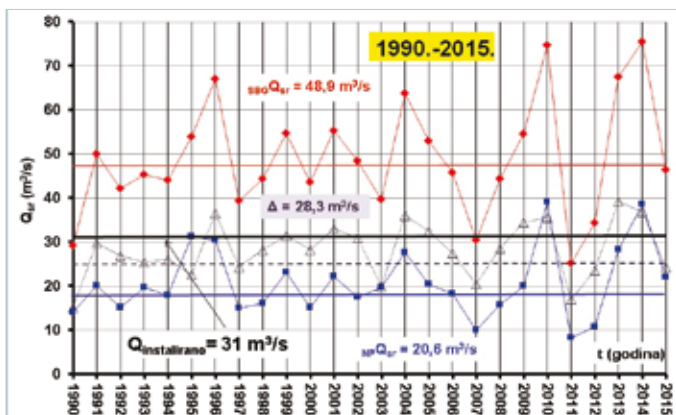
$$\Delta = Q_{\text{SBG}} - Q_{\text{NP}} = Q_{\text{HEJ}} + Q_{\text{VŠ}} + Q_{\text{DDS}} \quad (2)$$

Za opskrbu vodom Šibenika sa samog slapa se za sada koriste neznatne količine vode, pošto se glavina vode koristi iz lokacije Torak koja se nalazi uzvodno od slapa u području rijeke Čikole. Do količina vode koje koristi HE Jaruga nismo mogli doći, iako smo ih tražili od nadležnih organa HEP-a, tako da nije bilo moguće izvršiti detaljnije proračune korištenjem izraza (1) i (2). Treba naglasiti činjenicu da se voda za pogon HE Jaruga odvodi na najnižoj koti 21,71 m n.m., dok najviša kota zahvata iznosi 25,30 m n.m., te da njen instalirani protok iznosi  $31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Na **slici 9** nalazi se fotografija dovodnog tunela i kanala za HE Jaruga snimljena 6. listopada 2015. U tom trenutku HE Jaruga nije bila u pogonu.



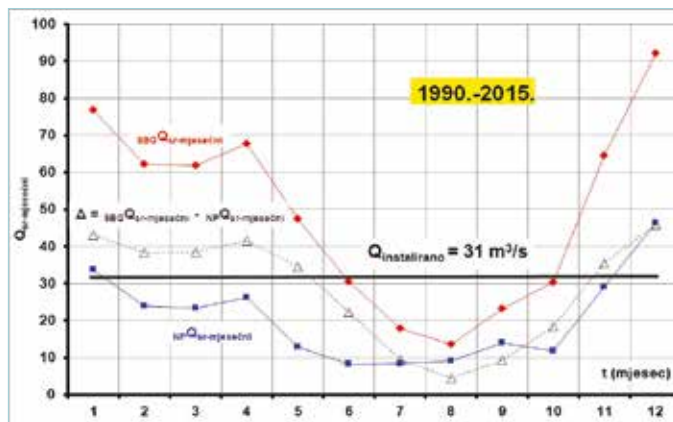
Slika 9: Dovodni tunel i kanal za HE Jaruga snimljeni 6. listopada 2015. U tom trenutku HE Jaruga nije radila (snimila: T. Roje-Bonacci)

Na slici 10 ucrtan je zajednički grafički prikaz srednjih godišnjih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji,  $Q_{SBG}$  (crvena boja), i Nacionalni park,  $Q_{NP}$  (plava boja), kao i njihovih razlika,  $\Delta$  (ljubičasta boja i crtkana linija), izmjerenih u razdoblju 1990.-2015., izraženih u  $m^3 s^{-1}$ . Na slici je debelom crnom linijom naznačena i vrijednost instaliranog protoka koja iznosi  $31 m^3 s^{-1}$ . Prosječna vrijednost razlike,  $\Delta$ , u razdoblju od 26 godina iznosi  $28,3 m^3 s^{-1}$ , a kreće se od minimalnih  $17,0 m^3 s^{-1}$  2011. do maksimalnih  $39,2 m^3 s^{-1}$  2013.



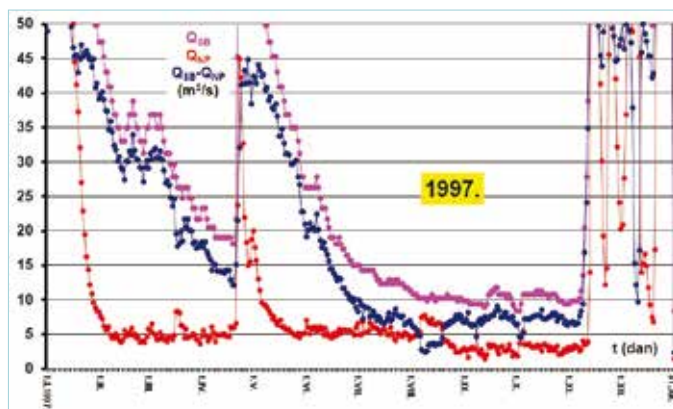
Slika 10: Zajednički grafički prikaz srednjih godišnjih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park kao i njihovih razlika,  $\Delta$ , izmjerenih u razdoblju 1990.-2015. izraženih u  $m^3 s^{-1}$

Na slici 11 ucrtan je zajednički grafički prikaz srednjih mjesečnih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji,  $Q_{SBG}$  (crvena boja), i Nacionalni park,  $Q_{NP}$  (plava boja), kao i njihovih razlika,  $\Delta$  (ljubičasta boja i crtkana linija), izmjerenih u razdoblju 1990.-2015., izraženih u  $m^3 s^{-1}$ . Na slici je debelom crnom linijom naznačena i vrijednost instaliranog protoka koja iznosi  $31 m^3 s^{-1}$ . Iz ovog prikaza može uočiti snažna promjenjivost hidrološkog režima dotoka vode na slap tijekom godine. Vidljivo je da je vodom najbogatiji mjesec prosinac, a da je kolovoz najsušniji. Ujedno je važno uočiti da je u razdoblju od pet mjeseci godišnje, od lipnja do studenog, prosječni mjesečni srednji protok izmjeren na postaji Skradinski buk gornji u razdoblju 1990.-2015. niži od instaliranog protoka.



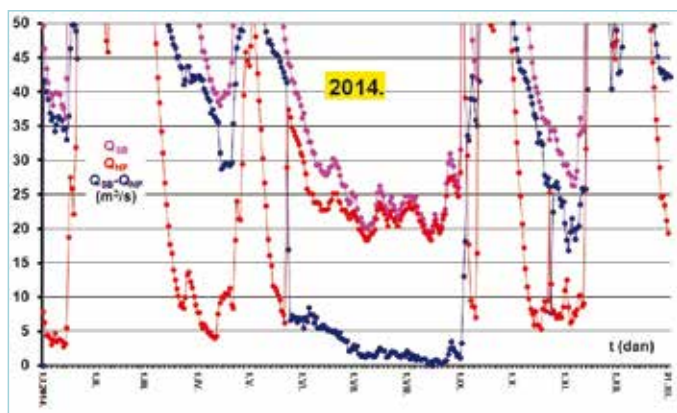
Slika 11: Zajednički grafički prikaz srednjih mjesečnih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park, kao i njihovih razlika,  $\Delta$ , izmjerenih u razdoblju 1990.-2015. izraženih u  $m^3 s^{-1}$

Na slici 12 nalazi se zajednički grafički prikaz srednjih dnevnih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji,  $Q_{SB}$  (ljubičasta boja), i Nacionalni park,  $Q_{NP}$  (crvena boja), kao i njihovih razlika,  $(Q_{SB}-Q_{NP})$  (modra boja), izmjerenih u razdoblju od 1. I. do 31. XII. 1997. godine, izraženih u  $m^3 s^{-1}$ . Na slici 13 nalazi se identičan prikaz kao i na slici 12, s tim da se ovaj odnosi na razdoblje od 1. I. do 31. XII. 2014. godine. Važno je naglasiti da su vrijednosti srednjih dnevnih protoka u oba slučaja ucrtane samo do  $50 m^3 s^{-1}$ .



Slika 12: Zajednički grafički prikaz srednjih dnevnih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park, kao i njihovih razlika izmjerenih u razdoblju od 1. I. do 31. XII. 1997. izraženih u  $m^3 s^{-1}$

Iz prikaza danog na slici 12 moguće je uočiti da je tijekom 1997. godine protok na postaji Nacionalni park u vrlo dugom razdoblju, od početka veljače do kraja travnja pa potom od kraja svibnja do sredine studenog, bio vrlo nizak, ispod  $6 m^3 s^{-1}$ . U razdoblju od početka kolovoza do početka studenog dotok na slap kontroliran postajom Skradinski buk gornji bio je također nizak te se kretao oko vrijednosti od  $10 m^3 s^{-1}$ . Situacija na slici 13 pokazuje sasvim drugačije odnose protoka na dvije hidrološke postaje. Uočava se da je u razdoblju od početka lipnja do kraja kolovoza protok na postaji Nacionalni park bio gotovo identičan protoku na postaji Skradinski buk gornji.



Slika 13: Zajednički grafički prikaz srednjih dnevnih protoka izmjerenih na postajama Skradinski buk gornji i Nacionalni park kao i njihovih razlika izmjerenih u razdoblju od 1. siječnja do 31. prosinca 2014. izraženih u  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Jedno od mogućih i logičnih objašnjenja za ovako različite vrijednosti odnosa protoka u dvije analizirane godine na dvije hidrološke postaje moglo bi se tražiti i eventualno naći u radu HE Jaruga. Moguće je da je tijekom 1997. godine ova hidroelektrana koristila i tijekom ljeta gotovo sve raspoložive količine voda koje su joj stajale na raspolaganju, dok tijekom 2014. godine ili nije radila ili je vodila mnogo više brige o tome da slap ne ostane bez vode.

## 5. ZAKLJUČCI

U članku su obrađene postojeće hidrološke podloge. Analize su izvršene za vremenske inkremente godinu, mjesec i dan, ali je očito da bi, osobito za ljetne mjesece, trebalo analize izvršiti i sa satnim vrijednostima.

Uočeni su trendovi porasta karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih vodostaja mjenjenih na obje postaje. Kod sva tri analizirana vremenska niza karakterističnih godišnjih protoka mjenjenih na postaji Skradinski buk gornji uočeni su trendovi opadanja, ali ni u jednom slučaju oni nisu statistički značajni. Na postaji Nacionalni park uočeni su kod sva tri niza trendovi porasta karakterističnih

godišnjih protoka. Statistički značajan je jedino trend porasta minimalnih godišnjih protoka.

Činjenica je da su obrade i rezultati izneseni u ovom radu odgovorili na neka pitanja, ali je isto tako činjenica da su otvorila još veći broj pitanja na koja treba tek naći odgovore. O tome koliko vode protječe u raznim hidrološkim situacijama lijevim, a koliko desnim dijelom slapišta bit će moguće dati odgovor tek kad se bude raspolagalo s podacima o srednjim dnevnim količinama vode koje je HE Jaruga koristila za svoj rad. Tada će biti moguće definirati za potrebe ekologije i biologije vrlo važan odnos:

$$Q_{\text{DDS}} = f(Q_{\text{SBG}}) \quad (3)$$

Zabrinjavajuće je da se o hidrologiji ovog fascinantnog planetarnog fenomena vodi tako malo računa. A hidrologija, tj. varijabilnost količina vode tijekom vremena, ključ je za razumijevanje svih ostalih složenih interaktivnih kemijskih, fizikalnih, bioloških, ekoloških pa i društvenih procesa vezanih uz SB.

Činjenica je da u slučaju ovako okolišno planetarno vrijednog (i ne zaboravimo ekonomski isplativog) prirodnog krškog fenomena nije dovoljno mjeriti vodostaje i protoke na dvije postojeće vodomjerne postaje. Očigledno će biti potrebno uspostaviti složeniji interdisciplinarni sustav motrenja na cijelom slapu. Krajnje je vrijeme da odgovorni to shvate i poduzmu neophodne aktivnosti. Preduvjet za održivo upravljanje ovim sustavom je uspostavljanje kontinuiranog i interdisciplinarnog monitoringa svih relevantnih parametara u koje spadaju: (1) hidrološki; (2) morfološki; (3) biološki; (4) kemijski; (5) klimatološki; (6) ekološki.

Očito je da održivi razvoj ovog neprocjenjivo vrijednog krškog fenomena ovisi o iskrenoj suradnji između korisnika, prije svega turizma i proizvodnje energije, zasnovanoj na stvarnim znanstvenim saznanjima. A činjenica je da su informacije i istraživanja sa kojima se danas raspolaže nedovoljna. ■

## LITERATURA

- Bonacci, O. (1983.): Hidrologija krša – sliv Krčića i izvor Krke, U: *Zbornik radova jugoslavenskih simpozija o inženjerskoj hidrologiji*, Split 9.-12. X. 1983, GI Zagreb i JDH, Split, 206-222.
- Bonacci, O. (1995.): Hidrologija malih voda Skradinskog buka na rijeci Krki. *Hrvatska Vodoprivreda*, 4 (28):22-26.
- Bonacci, O. (1999.): Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrological Sciences Journal* 44(3):373-386.

- Bonacci, O. (2013.): Zabrinjavajući hidrološki trendovi na slivu Plitvičkih jezera. *Hrvatske vode*, 21(84):137-146.
- Bonacci, O.; Jukić, D.; Ljubenkov, I. (2006.): Definition of catchment area in karst: cases of the rivers Krčić and Krka, Croatia. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4):682-699.
- Bonacci, O.; Ljubenkov, I. (2005.): Nove spoznaje o hidrologiji rijeke Krke. *Hrvatske vode*, 13(52):265-281.
- Bonacci, O.; Perica, S. (1990.): Specifičnosti hidrologije sliva Krke. *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 85-114.



- Božičević, S.; Pavičić, A.; Renić, A. (1983.): Pojava vodenog toka u spiljskom sistemu ispod sedrene barijere, U: *Zbornik radova jugoslavenskog simpozija o inženjerskoj hidrologiji*, Split 9.-12. X.1983, GI Zagreb i JDH, Split, 251-260.
- Bralić, I. (2006.): *Croatian national parks*. Školska knjiga, Zagreb.
- Cukrov, N.; Cmok, P.; Mlakar, M.; Omanović, D. (2008.): Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: an example of the self-purification. *Chemosphere*, 72 (10):1559-1566.
- Cukrov, N.; Surić, M.; Fuček, L.; Čosović, V.; Korbar, T.; Juračić, M. (2010.): Geologija estuarije rijeke Krke. *Vodič ekskurzije 4. Hrvatskog geološkog kongresa* (ur. Horvat, M.), Hrvatski geološki institut, Zagreb, 143-148.
- Cukrov, N.; Tepić, N.; Omanović, D.; Lojen, S.; Bura-Nakić, E.; Vojvodić, V.; Pižeta, I. (2012.): Qualitative interpretation of physico-chemical and isotopic parameters in the Krka River (Croatia) assessed by multivariate statistical analysis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92:1187-1199.
- Ferić, S. (2000.): *Krka: vodič rijekom Krkom i Nacionalnim parkom "Krka"*, Nacionalni park "Krka", Šibenik.
- Ford, T.D., Pedley, H.M. (1996.): A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41:117-175.
- Frganović, M. (1961.): *Polja gornje Krke*. Geografski institut, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Frganović, M. (1990.): Geografske značajke i vrednote Krke. *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 1-14.
- Fritz, F.; Pavičić, A. (1987.a): Sliv krškog izvora Miljacka u dolini Krke (Dalmacija), *Zbornik radova 9. Jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, knjiga 1*, Priština 20.-24. 10. 1987., 97-101.
- Fritz, F.; Pavičić, A. (1987.b): Hidrogeološki viseći dijelovi rijeke Krke i Zrmanje, *Zbornik radova 9. Jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, knjiga 1*, Priština 20.-24. 10. 1987., 115-121.
- Fritz, F.; Pavičić, A.; Renić, A. (1990.): Porijeklo voda u Nacionalnom parku Krka, *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 115-126.
- Jukić, D. (2006.): Kontinuirane wavelet-transformacije i njihova primjena na sliv Krčića i izvora Krke, *Vodoprivreda* 38/1-3, 23-39.
- Lojen, S.; Dolenc, M.; Cukrov, N. (2014.): Uporaba lehnjakov v paleotermometriji: primer iz Nacionalnega parka Krka, Hrvaška. *RMZ – Materials and Geoenvironment* 61(2-3): 87-95.
- Lojen, S.; Dolenc, T.; Vokal, B.; Cukrov, N.; Mihelčić, G.; Papesch, W. (2004.): C and O stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia). *Sedimentology*, 51:361-375.
- Lojen, S.; Trkov, A.; Ščančar, J.; Vázquez-Navarro, J.A.; Cukrov, N. (2009.): Continuous 60-year stable isotopic and earth-alkali element records in a modern laminated tufa (Jaruga, river Krka, Croatia): Implications for climate reconstruction. *Chemical Geology*, 258:242-250.
- Marguš, D. (2010.): Povijest zaštite Nacionalnog parka „Krka“, *Buk* 1/1, 16-18.
- Matoničkin, I.; Pavletić, Z. (1960.a): Biološke karakteristike sedrenih slapova u našim krškim rijekama. *Geografski glasnik* 22:43-56.
- Matoničkin, I.; Pavletić, Z. (1960.b): Biološka istraživanja na slapovima rijeke Krke. *Ljetopis Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 67:245-249.
- Matoničkin, I.; Pavletić, Z. (1962.): Karakteristike biocenoza na sedrenim slapovima rijeke Krke u Dalmaciji. *Krš Jugoslavije*, 3:35-69.
- Nahill, N.; Smith, J. R.; Omar, G. I.; Giegengack, R. (2006.): The carbonate hydrogeochemistry of the Krka River, Croatia. *Philadelphia Annual Meeting* (22-25 October 2006) Paper No. 227-12.
- Pavletić, Z. (1954.): Istraživanja briofita na travertinskim slapovima rijeke Krke. *Ljetopis Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti* 61:331-352.
- Pavletić, Z. (1955.): Izvještaj o istraživanjima ekologije briofita na slapovima rijeke Krke. *Ljetopis Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti* 62:297-306.
- Pavletić, Z. (1960.): Sedreni slapovi rijeke Krke i njihov postanak. *Krš Jugoslavije* 2:71-98.
- Pavletić, Z. (1969.): Važnost sedrenih barijera za održavanje prirodnih akumulacija površinskih voda u kršu. *Krš Jugoslavije* 6:443-447.
- Penzar, B.; Penzar, I. (1990.): Vrijeme i klima područja Krke. *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 51-82.
- Perica, D.; Orešić, D.; Trajbar, S. (2005.): Geomorfološka obilježja doline i porječja rijeke Krke s osvrtom na dio od Knina do Bilušića buka, *Geoadria* 10(2): 131-156.
- Pevalek, I. (1953.): Prikaz i stanje sedre na Krki. Krka i problemi njezine zaštite, *Konzervatorski zavod NR Hrvatske*, Zagreb, 31-41.
- Polšak, A.; Korolija, B.; Fritz, F.; Božičević, S. (1990.): Geološka i hidrogeološka obilježja Nacionalnog parka „Krka“, *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 15-37.
- Roglić, J. (1953.): Krka: regionalno-geografske osobine Krke i problemi njezine zaštite, *Konzervatorski zavod NR Hrvatske*, Zagreb, 9-14.
- Rubinić, J.; Zwicker, G.; Dragičević, N. (2008.): Doprinos poznavanju hidrologije Plitvičkih jezera – dinamika kolebanja razine jezera i značajne promjene. *Zbornik radova savjetovanja „Hidrološka mjerenja i obrada podataka“ NP Plitvička jezera*, 26.-28. 11. 2008.: 207-230.
- Srdoč, D.; Horvatinčić, N.; Obelić, B.; Krajcar, I.; Slepčević, A. (1985.): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera (Calcite deposition processes in karst waters with special emphasis on the Plitvice Lakes, Yugoslavia), *Krš Jugoslavije* 11/4-6:101-204.
- Škarica, T. (2006.): *Prvih sto godina hidroelektrane Miljacka*, HEP, Zagreb, 80 str.

- Tepić, N.; Olujić, G.; Ahel, M. (2007.): Distribution of carbohydrates in the karstic estuary of the Krka River. *Rapport du 38e Congres de la CIESM*, Istanbul 321.
- Terzić, J.; Frangen, T. (2010.): Hidrogeološka istraživanja vodoopskrbnih zdenaca na krškom izvoru rijeke Čikole, *Prvi hrvatski speleološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem, sažetci radova*. Hrvatski speleološki savez, Zagreb 71-72.
- Terzić, J.; Marković, T.; Lukač Reberski, J. (2014.): Hydrogeological properties of a complex Dinaric karst catchment: Miljacka Spring case study. *Environmental Earth Sciences* 72(4):1129-1142.
- Terzić, J.; Pavičić, A.; Marković, T.; Lukač Reberski, J. (2010.): Protection of the Miljacka karst spring: an underground connection between the rivers Zrmanja and Krka, *Proceedings of International Interdisciplinary Scientific Conference Sustainability of the Karst Environment; Dinaric Karst and Other Karst Regions, IHP-VIII Series No.2*, Unesco, Paris, 179-186.
- Villi, M. (1990.): Promjene hidroloških prilika na dijelu toka Krke uslijed utjecaja hidroelektrane „Manojlovac“, *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 161-163.
- Zwicker, G.; Rubinić, J. (2004.): The water level fluctuations as an indicator of tufa barriers growth dynamics in the Plitvice Lakes. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 51(3): 161-163.
- Žugaj, R.; Marković, V. (1990.): Karakteristike vodnog režima rijeke Krke, *Ekološke monografije, knjiga 2.*, Hrvatsko ekološko društvo, 127-138.

### Contribution to studying the hydrology of Skradinski Buk on the Krka River

**Abstract.** The paper presents a performed hydraulic analysis of water levels and discharges measured at two hydrological stations which register water flow through a morphologically very complex system of Skradinski Buk on the Krka River. At the station Skradinski Buk Gornji, which measures the total water inflow to the waterfall, water levels have been measured from 1923 to the present time, with an interruption in the period from 1941 - 1946, whereas the flows were measured in the period 1947 - 2015. The paper processes data on the water levels and flows in the period 1947- 2015. At the water gauging station National Park, water levels and flows were measured from 1990 to 2015. A part of the total water quantity flowing to the waterfall is diverted through a tunnel, an open canal and then a pressure pipeline to the HPP Jaruga. Due to its morphology, the left part of the waterfall is significantly more water abundant than its right part. In the period 1990 - 2015, the mean annual discharge at the water gauging station Skradinski Buk Gornji equalled  $48.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , while at the downstream station National Park it amounted to  $20.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . The paper aims to perform a detailed, exclusively hydrological analysis of the Skradinski Buk phenomenon by using available data. The use of reliable hydrological information is of key interest for obtaining an insight in the manner in which diverting a part of water from the waterfall affects its ecological system and its long-term stability.

**Key words:** hydrology, water levels, flow, karst, Skradinski Buk

### Beitrag zur hydrologischen Forschung von Skradinski Buk auf dem Fluss Krka

**Zusammenfassung.** Der Artikel behandelt die Ergebnisse der hydrologischen Analyse von Wasserstand und Durchfluss, gemessen an zwei hydrologischen Stationen, die das Fließen des Wassers über das morphologisch sehr komplexe System Skradinski Buk auf dem Fluss Krka kontrollieren. An der Station Skradinski Buk Gornji, wo der gesamte Zufluss zum Wasserfall kontrolliert wird, wird der Wasserstand seit 1923 mit einer Unterbrechung von 1941 bis 1946 gemessen, und die Durchflüsse sind für den Zeitraum 1947-2015 bestimmt worden. In diesem Artikel werden die Angaben zum Wasserstand und Durchfluss für den Zeitraum 1947-2015 analysiert. An der Messstation Nationalpark wurden Wasserstand und Durchfluss vom 1990 bis 2015 gemessen. Ein Teil des zum Wasserfall fließenden Wassers wird durch den Tunnel, offene Gerinne und dann über die Druckrohrleitung zum Wasserkraftwerk Jaruga geleitet. Wegen der Morphologie ist der linke Teil des Wasserfalls wesentlich reicher an Wasser als der rechte Teil. Im Zeitraum 1990-2015 wurde der durchschnittliche Jahresdurchfluss von  $48,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  an der Messstation Skradinski Buk Gornji beobachtet, während er an der Messstation Nationalpark flussabwärts  $20,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  betrug. Das Ziel dieses Artikels war ausschließlich eine detaillierte hydrologische Analyse des Phänomens Skradinski Buk anhand der verfügbaren Angaben durchzuführen. Vom höchsten Interesse ist es an Hand von zuverlässigen hydrologischen Angaben zu erkunden, welche Auswirkung das Ableiten eines Teils des Wassers vom Wasserfall auf das ökologische System und die langfristige Stabilität des Wasserfalls hat.

**Schlüsselwörter:** Hydrologie, Wasserstand, Durchfluss, Karst, Skradinski Buk