

Krivulje trajanja protoka

Ranko Žugaj, Željko Andreić, Krešimir Pavlič, Lidija Fuštar

Ključne riječi

protok,
krivulja trajanja protoka,
profil vodotoka,
mala hidroelektrana,
podzemna retencija,
sliv Kupe,
sliv Cetine

Key words

flow, flow duration curve,
watercourse profile,
small hydropower plant,
underground retarding
basin,
Kupa drainage area,
Cetina drainage area

Mots clés

débit,
courbe des débits classés,
profil d'un cours d'eau,
petite centrale hydraulique,
bassin de rétention souterrain,
bassin versant de la Kupa,
bassin versant de la Cetina

Ключевые слова

расход, кривая
продолжительности
расхода, профиль
водотока, малая
гидроэлектростанция,
подземная ретенция,
бассейн реки Купы,
бассейн реки Цетины

Schlüsselworte

Durchfluss,
Durchflussdauerkurve,
Wasserlaufprofil, kleines
Wasserkraftwerk,
unterirdisches
Rückhaltebecken,
Flussgebiet der Kupa,
Flussgebiet der Cetina

R. Žugaj, Ž. Andreić, K. Pavlič, L. Fuštar

Pregledni rad

Krivulje trajanja protoka

Opisane su krivulje trajanja protoka i način njihova određivanja kada u razmatranom profilu vodotoka nema dovoljno podataka. Karakteristični oblici krivulja uspoređeni su na primjeru profila zahvata odabranih prototipova budućih malih hidroelektrana. Postupak definiranja krivulje trajanja protoka za profil na vodotoku u kojem nema dovoljno podataka prikazan je na krškom dijelu sliva Kupe. Za obrasli i goli krš razmatran je utjecaj podzemnih retencija na slivovima Kupe i Cetine.

R. Žugaj, Ž. Andreić, K. Pavlič, L. Fuštar

Subject review

Flow duration curves

The authors describe flow duration curves and the way in which they are defined in case the data in the profile under study are insufficient. Typical curve shapes are compared with profiles of selected prototypes of future small hydropower plants. The procedure for defining flow duration curves in a watercourse profile with insufficient data is presented for the karst segment of the Kupa drainage area. The influence of underground retention basins in the Kupa and Cetina drainage areas is considered for both bare karst and covered karst.

R. Žugaj, Ž. Andreić, K. Pavlič, L. Fuštar

Ouvrage de synthèse

Courbes des débits classés

Les auteurs décrivent les courbes des débits classés et la manière dans laquelle elles sont définies au cas où il n'y a pas assez de données dans le profil étudié. Formes typiques des courbes sont comparées avec les profils des prototypes sélectionnés des petites centrales hydrauliques à construire. La procédure servant à définir les courbes des débits classés dans le profil d'un cours d'eau où il n'y a pas assez de données est présentée pour le segment karstique du bassin versant de la Kupa. L'influence des bassins de rétention souterrains dans les bassins versants de la Kupa et Cetina est considérée pour le karst dénudé et le karst couvert.

P. Жугај, Ж. Андреић, К. Павлич, Л. Фуштар

Обзорная работа

Кривые продолжительности расхода

Описаны кривые продолжительности расхода и способ их определения при отсутствии достаточного количества данных в рассматриваемом профиле водотока. Сравнение характерных форм кривых произведено на примере профилей водозаборов выбранных прототипов будущих малых гидроэлектростанций. Процедура определения кривой продолжительности расхода по профилю на водотоке, где не имеется достаточного количества данных, показана на примере скалистой части бассейна реки Купы. Для обросших и голых скал рассмотрено влияние подземных ретенций в бассейнах рек Купы и Цетины.

R. Žugaj, Ž. Andreić, K. Pavlič, L. Fuštar

Übersichtsarbeit

Kurven der Durchflussdauer

Beschrieben sind Durchflussdauerkurven und die Weise deren Bestimmung wenn im betrachteten Profil nicht genügend Angaben bestehen. Charakteristische Formen der Kurven verglich man am Beispiel der betrachteten Profile ausgewählter Prototype zukünftiger kleiner Wasserkraftwerke. Das Verfahren der Definierung der Durchflussdauerkurven für ein Profil am Wasserlauf für welches nicht genügende Angaben bestehen ist am karstigen Teil des Flussgebiets der Kupa dargestellt. Für bewachsenen und nackten Karst betrachtete man den Einfluss unterirdischer Rückhaltebecken an den Flussgebieten der Kupa und Cetina.

Autori: Prof. dr. sc. **Ranko Žugaj**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Željko Andreić**, dipl. ing. fiz.; **Krešimir Pavlič**, dipl. ing. fiz., Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb; **Lidija Fuštar**, dipl. ing. fiz., Split

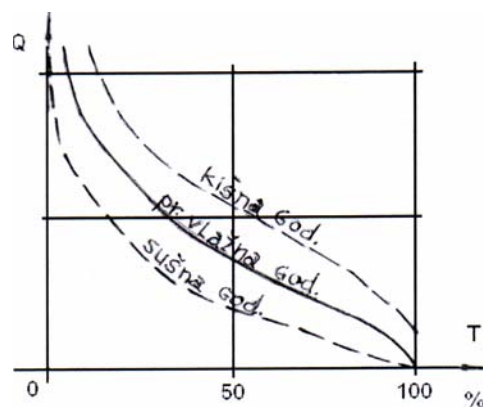
1 Uvod

Općenito, krivulja trajanja jest krivulja koja pokazuje postotak vremena ili broj dana u godini, tijekom kojih je vodostaj ili protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed (kronologiju).

Za konstrukciju krivulje trajanja polazi se od zbrojne ili kumulativne učestalosti neke vrijednosti. Ona predstavlja zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto. Kumulativna učestalost predstavlja trajnost i grafički se prikazuje krivuljom trajanja. Krivulja trajanja protoka, zajedno s hijetogramom, nivogramom, hidrogramom, krivuljom trajanja vodostaja i krivuljama učestalosti vodostaja i protoka, pripada osnovnim grafičkim prikazima u hidrologiji. U ovom su radu razmatranja usmjerena na krivulje trajanja protoka definiranih na osnovi srednjih dnevnih protoka.

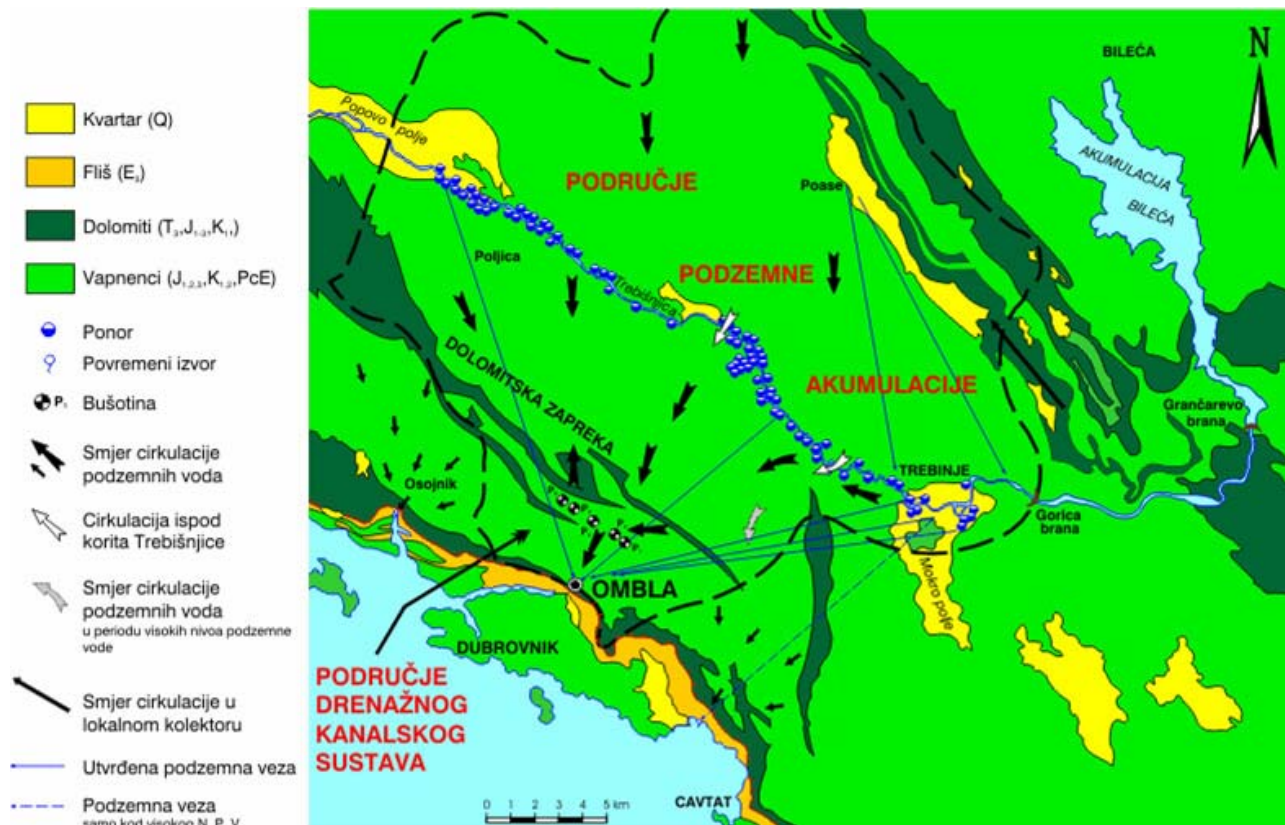
U hidrotehniku su krivulje trajanja uveli američki inženjeri C. Herschel i J. R. Freeman u razdoblju od 1880. do 1890. [1]. Krivulja trajanja protoka, posebice u hidroenergetici, jedna je od najvažnijih hidroloških podloga jer predstavlja osnovu za definiranje krivulje snaga-trajanje (*power-duration curve*) na temelju koje se određuje moguća snaga vodotoka [2, 3, 4]. Međutim, redovito su s iznimkom V. Jevđevića [5] u stručnoj literaturi one vrlo sažeto, a često i samo djelomično obrađene [2, 3, 6,

7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Neki autori navode određene mane krivulja trajanja protoka kao hidroloških podloga. Primjerice, upozorava se na nerealne rezultate, ako je razdoblje obrade hidroloških podataka (protoka) kratko (godinu dana ili nekoliko godina) [5, 14], ili se upozorava da krivulje trajanja ne prikazuju dotoke u prirodnom redosljedu [15].



Slika 1. Teorijske krivulje trajanja protoka za vlažnu, približno vlažnu (prosječnu) i sušnu godinu [4]

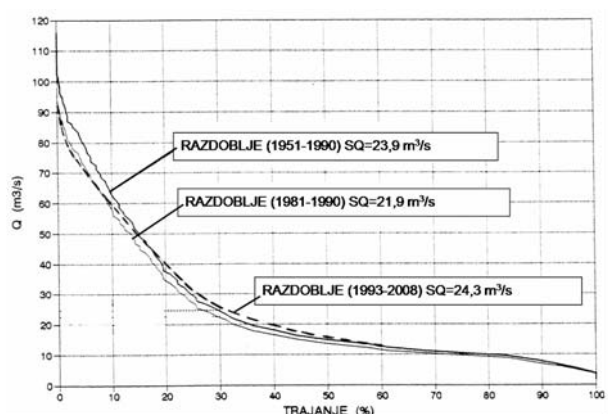
Navedeni se prigovori u određenoj mjeri mogu ublažiti. Krivulju trajanja protoka iz prekratkoga razdoblja raspoloživih podataka moguće je jednostavnim postupkom svesti na oblik kojim se realno prikazuje krivulja koja bi



Slika 2. Sliv Omble [19]

vrijedila za dugo razdoblje [11, 12, 16]. S druge strane, stvarnu sliku dotoka u prirodnome slijedu daje hidrogram, ali je pritom dano upozorenje svakako dobro imati na umu. Nadalje, kod detaljnih analiza raspoloživih dotoka za upotrebu, uz prosječnu krivulju trajanja protoka, važni su pokazatelji i krivulje trajanja protoka za pojedine karakteristične godine iz razmatranoga razdoblja: vlažnu, približno srednju i sušnu godinu. U takvim se slučajevima u literaturi preporučuje broj godina neprekidnih motrenja i mjerenja hidroloških veličina najmanje 25 [17], a još bolje 30 [5, 18]. Teorijski se krivulje trajanja za karakteristične godine redovito prikazuju kao na slici 1., ali u praksi, kako je prikazano na slici 4., u poglavlju 2, njihovi su oblici često bitno drugačiji.

Sličnost krivulja trajanja protoka, definiranih za različita razdoblja, može se prikazati na primjeru krške rijeke Omble u hidrološkom profilu Komolac. Utjecajni sliv Omble do profila Komolac (veličine oko 600 km²) prikazan je na slici 2.

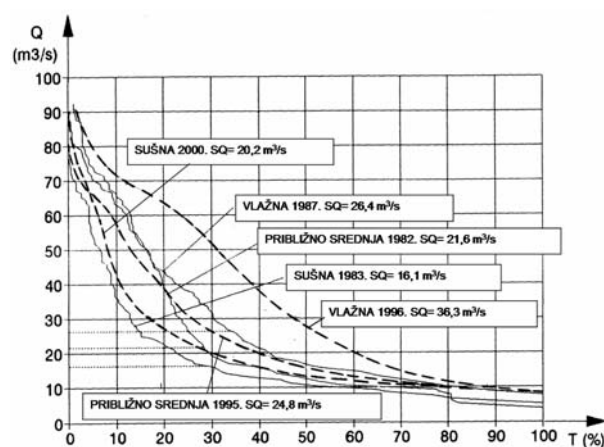


Slika 3. Krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac u različitim razdobljima [21]

Na slici 3. krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac određene su za tri razdoblja. Ta je podjela uvjetovana promjenama veličina dotoka, nastalih zbog značajnih hidrotehničkih zahvata na slivu, vezano za izgradnju akumulacijskih jezera Bileća i Gorica (za HE Dubrovnik) te oblaganje korita Trebišnjice betonom nizvodno od brane Gorica (za PHE Čapljinu), a 1991. i 1992. godine nije u profilu Komolac bilo hidroloških mjerenja zbog Domovinskoga rata. Protoci za razdoblje od 1951. do 1980. definirani su na osnovi modela ARMAX (*Auto-Regressive Moving Average with Exogenous Input*) modela [20], a iz razdoblja od 1951. do 1990. izdvojeno je sušno razdoblje od 1981. do 1990. u kojem se stanje na slivu stabiliziralo, pa su protoci kao i za razdoblje (1993.-2008.) određeni na osnovi mjerenja i preuzeti od Državnoga hidrometeorološkog zavoda RH.

Oblici krivulja trajanja protoka Omble u profilu Komolac u različitim razdobljima na slici 3. vrlo su slični. Me-

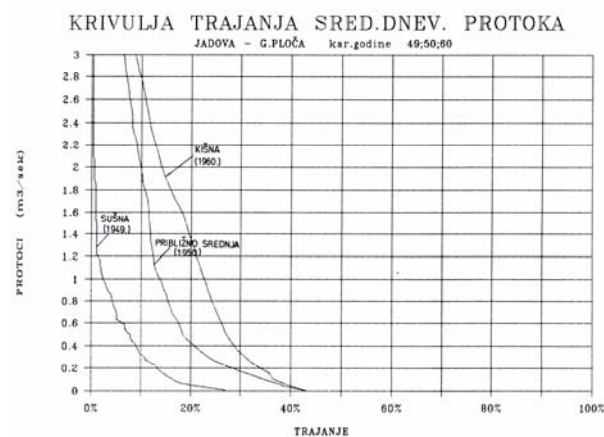
đutim, kada se razmatraju karakteristične godine, kako je za Omblu prikazano na slici 4., onda postoje određene razlike.



Slika 4. Krivulje trajanja protoka Omble u profilu Komolac za karakteristične godine (vlažnu, približno srednju i sušnu) u razdobljima od 1981. do 1993. i od 1993. do 2008. [21]

Grafički prikaz na slici 4. pokazuje da osim razlika u oblicima krivulja trajanja protoka za karakteristične godine unutar pojedinoga razdoblja postoje velike razlike i za pojedine karakteristične godine u različitim razdobljima. Ovo svojstvo izravno utječe na zaključivanja o mogućnosti iskorištavanja vode u pojedinim godinama.

Ako u pojedinom hidrološkom profilu dolazi do presušivanja, to se odražava na krivulju trajanja. Slučaj takvih krivulja trajanja prikazan je na primjeru najuzvodnijega hidrološkog profila krške rijeke Jadove (pritoka rijeke Like) na slici 5.



Slika 5. Krivulje trajanja protoka Jadove u profilu Gornja Ploča u karakterističnim godinama [22]

Prije su se, zbog velikoga broja ulaznih podataka krivulje trajanja protoka, a i vodostaja, najčešće definirale po klasnim intervalima [23], a danas zbog primjene elektroničkih računala obilje ulaznih podataka više nije nikakav problem. Također je moguće krivulje trajanja prika-

zivati u posebnom mjerilu na papiru vjerojatnosti (*hydraulic probability paper*). Jedan od prvih prikaza iskustvene vjerojatnosti pojavljivanja izveden je na osnovi podataka za 35 rijeka u Kaliforniji [24].

Nagib krivulje trajanja ovisi o vrsti ulaznih podataka – jesu li protoci srednji dnevni, srednji mjesečni ili srednji godišnji – što je bilo opisano još 1954. [25]. Uobičajeno je, a i najispravnije, primjenjivati krivulje trajanja određene na osnovi srednjih dnevnih protoka. Krivulje trajanja srednjih dnevnih protoka za prosječnu godinu, konstruirane na osnovi podataka iz višegodišnjega razdoblja, redovito su zaglađene. Ovo se svojstvo može iskoristiti na teorijskoj osnovi upotrebom teorijskih raspodjela.

Prema tome, krivulje trajanja definirane na osnovi podataka iz dugih vremenskih nizova moguće je dobro aproksimirati teorijskim krivuljama raspodjela s najviše tri parametra. Preporučaju se log-normalna (Galtonova) ili Pearson 3 raspodjela [5, 8, 26, 27, 28]. Važno je napomenuti da troparametarska Pearson 3 raspodjela u nekim slučajevima može imati nepouzdan parametar – koeficijent asimetrije c_s – čija je vrijednost zbog trećega statističkog momenta m_3 vrlo osjetljiva i zahtijeva, u hidrološkom smislu, vrlo duge nizove podataka (i više od 80 godina). Teorijske raspodjele mogu biti prihvatljive pa se primjerice, za raspodjele ekstremnih vrijednosti oborina preporučuje primjena različitih dvoparametarskih i troparametarskih krivulja raspodjele, ali s izborom one koja se na osnovi testiranja najbolje prilagođava ulaznim izračunskim podacima [28].

Postavljaju li se zahtjevi za definiranje krivulja trajanja protoka duž nekoga vodotoka, primjerice za projektiranje malih hidroelektrana, onda je za njihovo konstruiranje potrebno provesti odgovarajuće postupke temeljene na regionalizaciji raspoloživih postojećih krivulja trajanja protoka [4, 16].

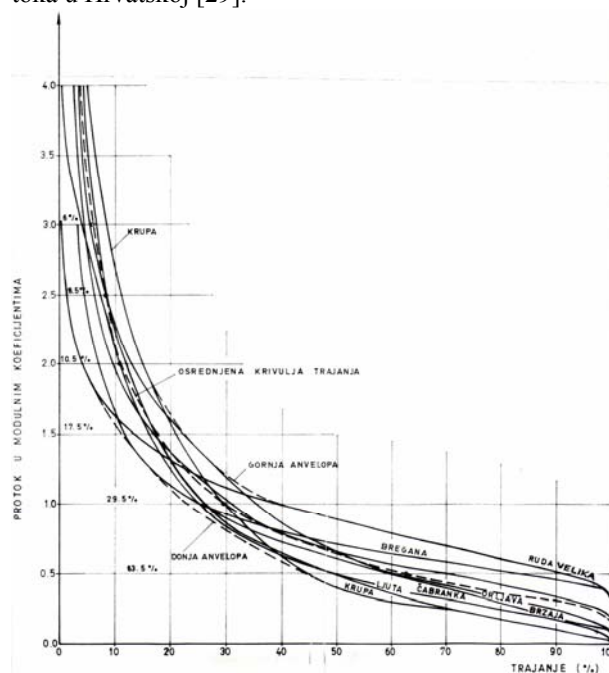
2 Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima

Krivulje trajanja protoka u različitim hidrološkim profilima moguće je međusobno uspoređivati ako se protoci svedu na modulne koeficijente [2, 9, 12, 16]. (Protoci u pojedinim profilima pretvaraju se u modulne koeficijente tako da se njihove vrijednosti podijele s prosjekom razdoblja, pa je u tom slučaju prosjek jednak jedinici.)

Ako se ocjenjuju mogućnosti za upotrebu vode u zahvatima pojedinih profila na različitim vodotocima, onda je potrebno međusobno uspoređivati krivulje trajanja protoka definirane u razmatranim profilima [28].

Primjer takvoga stvarnog slučaja prikazan je na slici 6., a odnosi se na krivulje trajanja protoka u profilima sedam vodotoka u Hrvatskoj odabranih za prototipove

malih hidroelektrana. Oni su bili usvojeni kao izrazito pogodni za projekte malih hidroelektrana na osnovi provedenih hidroloških istraživanja na 17 malih vodotoka u Hrvatskoj [29].



Slika 6. Krivulje trajanja protoka za prototipove malih hidroelektrana u modulnim koeficijentima na rijekama: Bregana, Brzaja, Čabranka, Krupa, Ljuta, Orljava i Ruda Velika [29]

Na slici 6. crtkanom su linijom označene gornja i donja anvelopa i osrednjena krivulja trajanja protoka za koju su ujedno napisana trajanja za svakih 0,5 modulnoga koeficijenta. Primjerice, za srednji protok i protoke veće od njega prosječna trajnost iznosi 29,5 posto vremena (prosječno: 108 dana na godinu). Srednji se protoci i protoci veći od njih, kako se na osnovi anvelopa vidi na slici 6., kreću u granicama od 22 do 40 posto trajanja. Bitno je svojstvo krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima na slici 6. da se one po svojim oblicima međusobno znatno razlikuju.

3 Konstrukcija krivulje trajanja protoka u profilu bez hidroloških mjerenja

Osim što je krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima moguće međusobno uspoređivati, od takvoga se oblika redovito polazi radi njihova konstruiranja u profilima vodotoka u kojima nema podataka o protocima od hidroloških mjerenja. Pritom je poželjno da postoje krivulje trajanja protoka u barem dva hidrometrijska profila – po mogućnosti uzvodno i nizvodno od razmatranoga profila. Ako nema dovoljno podataka za vodotok s profilom za koji treba definirati krivulju trajanja protoka, onda se u razmatranje mogu uzeti podaci pri-

kupljeni na vodotocima uže regije. (U hidrološkom smislu, uža regija obuhvaća područje s vodotocima sličnih glavnih značajki otjecanja, a tome području prema svojim bitnim hidrološkim osobinama pripada i razmatrani vodotok.)

Rijeka Kupa u svojem uzvodnom, okršenom dijelu sliva, zanimljiv je primjer vodotoka na kojem je moguće po uzdanu definirati krivulje trajanja protoka u profilima za koje nema odgovarajućih hidroloških podataka ili oni nisu dovoljno pouzdani. Slivno područje Kupe, do hidrološki stabilnoga profila Kamanje, veličine od oko 2340 km², pripada obraslom kršu. Važno je napomenuti da veličine krških slivova sa znatnim podzemnim retencijama u zaleđima njihovih izvora redovito treba shvatiti približno određenima jer položaj hidrogeološke (podzemne) razvodnice ovisi o stanju u podzemlju. Takav je slučaj sa slivom Kupe, a i sa slivom Cetine, koji se razmatra u poglavlju 4. Situacija sliva Kupe s označenim razmatranim hidrološkim profilima prikazana je na slici 7.

U tablici 1. navedeni su osnovni hidrološki parametri za razmatrane hidrološke profile na Kupi, a pritom su upotrijebljene sljedeće oznake:

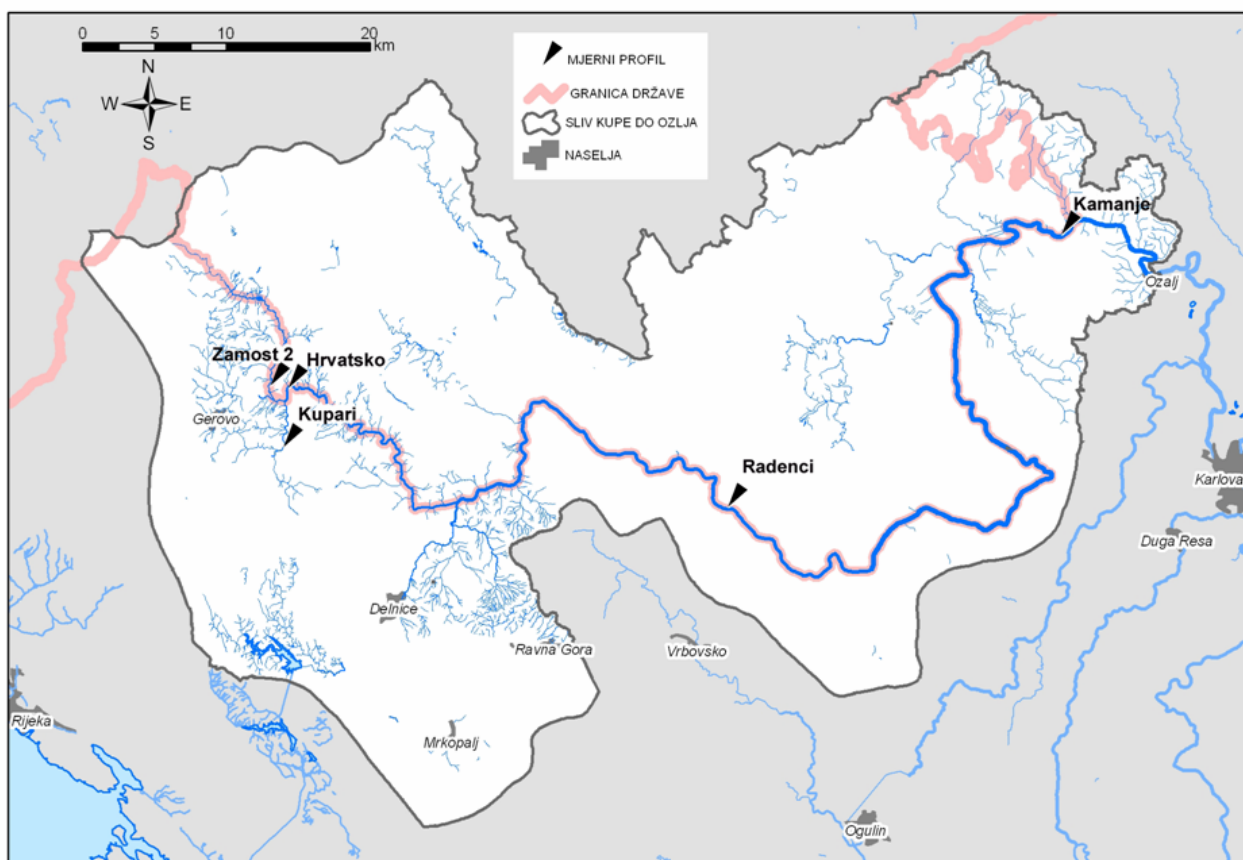
- A (km²) - površina sliva do razmatranoga profila
 Q_{sr} (m³/s) - srednji protok

- Q_{max} (m³/s) - najveći zabilježeni protok
 Q_{min} (m³/s) - najmanji zabilježeni protok
 q_{sr} (l/s/km²) - srednji specifični dotok sa sliva
 P (mm) - prosječna godišnja oborina na slivu do razmatranoga profila
 c - otjecajni koeficijent srednjih voda.

Tablica 1. Osnovni hidrološki parametri u hidrološkim profilima na slivu Kupe [30]

Profil, vodotok	A (km ²)	Protok (m ³ /s)			q_{sr} (l/s/km ²)	P (mm)	c
		Q_{sr}	Q_{max}	Q_{min}			
Zamost 2, Čabranka	106	3,49	71,4	0,45	32,9	1940	0,55
Kupari, Kupa	205	13,1	140	0,31	63,9	2760	0,73
Hrvatsko, Kupa	375	18,3	230	0,90	48,9	2660	0,68
Kamanje, Kupa	2340	67,0	1022	4,53	28,7	1940	0,60

Podaci o veličinama protoka odnose se na razdoblje od 1981. do 2005. godine i preuzeti su od Državnoga hidrometeorološkog zavoda RH, a bili su obrađeni uz po-



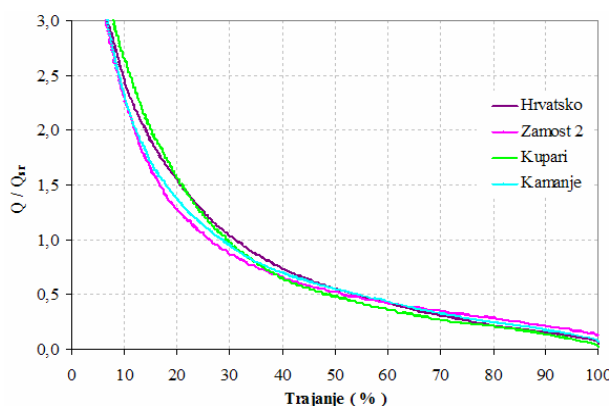
Slika 7. Sliv Kupe do Ozlja s razmatranim hidrološkim stanicama (preuzeto od Hrvatskih voda) [30]

datke iz ostalih hidroloških profila na slivovima Kupe, Korane, Dobre i Mrežnice [31].

Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima Kupe u profilima Kupari, Hrvatsko i Kamanje te Čabranke u profilu Zamost 2 prikazane su na slici 8.

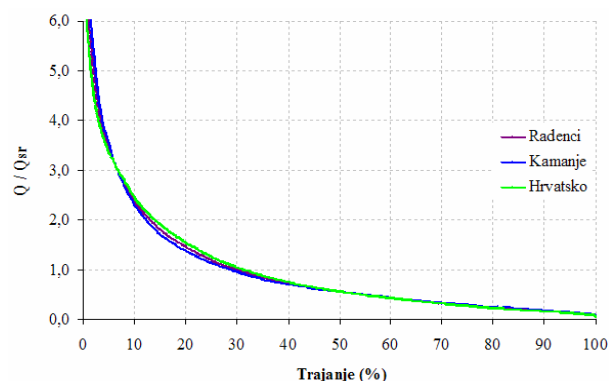
Na osnovi razmatranja krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima sa slike 8. može se zaključiti:

1. krivulja trajanja protoka za Kupu u profilu Kupari, zbog izravnavajućega djelovanja podzemne retencije u zaleđu bliskoga izvora Kupe, nije u skladu s ostalim krivuljama za Kupu,
2. krivulja trajanja protoka za Čabranku u profilu Zamost 2, najvećim dijelom zbog otjecanja od manjih i dijelom drugačije raspoređenih oborina na slivu, nego na slivu Kupe tijekom godine, također nije u skladu s krivuljama koje vrijede za Kupu.
3. kod oblika preostalih dviju krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima Kupe u profilima Hrvatsko i Kamanje nema osobitih razlika. Između njih se nalazi čak 115 km duga dionica Kupe na kojoj je zbog toga moguće u bilo kojem profilu pouzdano interpolirati krivulju trajanja protoka.



Slika 8. Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima Kupe u profilima Kupari, Hrvatsko i Kamanje te Čabranke u profilu Zamost 2 za razdoblje od 1981. do 2005. [30]

Postupak je prikazan na primjeru profila Radenci, čiji je položaj također prikazan na slici 7., a za koji su nedostajali odgovarajući hidrološki podaci. Veličina sliva Kupe do profila Radenci je $A_R = 1490 \text{ km}^2$. Razlike u ordinatama krivulja trajanja u modulnim koeficijentima Kupe u profilima Hrvatsko i Kamanje na slici 8. vrlo su male. Zbog toga se može usvojiti linearna interpolacija veličina ordinata krivulja trajanja na osnovi veličine sliva Kupe do profila Radenci u odnosu na razlike veličina slivova između profila Hrvatsko i Kamanje s poznatim podacima. Na slici 9. prikazane su sve tri krivulje.

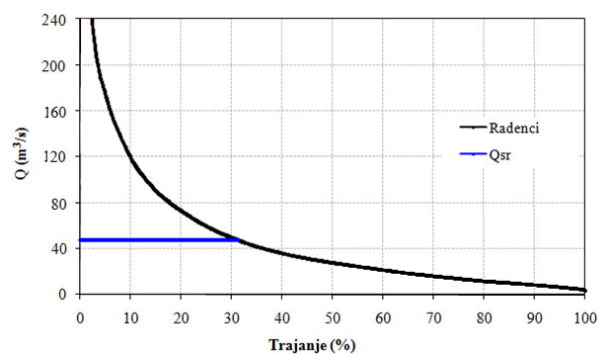


Slika 9. Konstruirana krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima Kupe za profil Radenci za razdoblje od 1981. do 2005. uz krivulje za Hrvatsko i Kamanje [30]

Srednji je protok Kupe u profilu Radenci određen na osnovi regionalnoga izraza za srednje specifične dotoke duž razmatrane dionice Kupe od profila Hrvatsko do profila Kamanje, definiranoga u [30]:

$$q_{sr} = 339,42 A^{-0,32} \text{ (l/s/km}^2\text{)} \quad (1)$$

Prema izrazu (1) srednji godišnji specifični dotok Kupe u profilu Radenci je $q_{sr} = 32,76 \text{ l/s/km}^2$, a ako ga se pomnoži s veličinom sliva Kupe do profila Radenci, dobije se srednji godišnji protok Kupe u profilu Radenci $Q_{sr} = 48,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Pomnože li se vrijednosti ordinata krivulje trajanja protoka Kupe u profilu Radenci sa slike 9. s veličinom srednjega godišnjeg protoka u tome profilu, dobit će se ordinate krivulje trajanja protoka, odnosno krivulja trajanja protoka Kupe u profilu Radenci kako je prikazano na slici 10.



Slika 10. Krivulja trajanja Kupe u profilu Radenci za razdoblje od 1981. do 2005.)

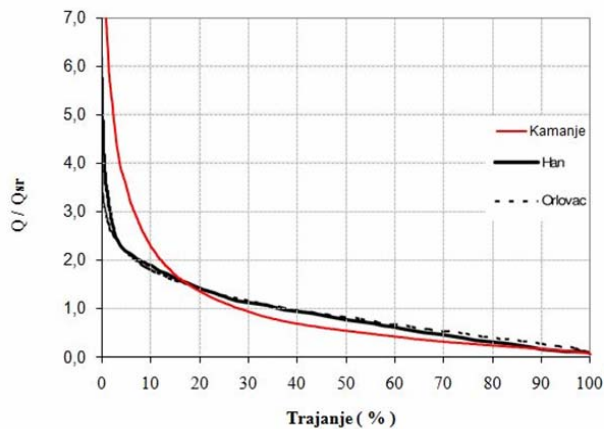
4 Usporedba krivulja trajanja protoka u obraslom i golom kršu

Postupak opisan u poglavlju 3 primijenjivao se i u slučaju gologa krša za sliv rijeke Cetine kada je na osnovi podataka od uzvodnih hidroloških profila Han na Cetini i Orlovac na Rudi Velikoj za potrebe iskorištavanja vode u HE Zakučac, trebalo definirati krivulju trajanja protoka Cetine u nizvodnom profilu Prančevići [32]. Na



Slika 11. Shematski prikaz sliva Cetine [32]

slici 11. prikazana je situacija sliva Cetine s položajima razmatranih hidroloških profila. Ovdje se na temelju krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima na slici 12. uspoređuju oblici krivulja trajanja protoka na slivovima Kupe i Cetine. U slučaju Cetine, kao i kod sliva Kupe, radi se o slivovima znatnih površina – veličina utjecajnog sliva Cetine od profila Han je $A_H = 1650 \text{ km}^2$, Rude Velike do profila Orlovac $A_O = 1440 \text{ km}^2$, a Cetine do brane Pranjčevići $A_{Pr} = 3640 \text{ km}^2$, dok je veličina sliva Kupe do profila Kamensko, prema podacima u tablici 1. $A_K = 2340 \text{ km}^2$.



Slika 12. Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima Kupe u profilu Kamanje, Cetine u profilu Han i Rude Velike u profilu Orlovac

Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima Cetine u profilu Han i Rude Velike u profilu Orlovac pokazuju veliku sličnost. To je dalo zadovoljavajuću pouzdanost posredno određenoj krivulji trajanja protoka u nizvodnom profilu Pranjčevići. Usporede li se oblici krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima Cetine i Rude Velike s krivuljom za Kupu na slici 12., može se dobro uočiti u određenoj mjeri različito izravnavajuće djelovanje krškoga podzemlja. Ono je znatno jače izraženo na primjeru gola krša sliva Cetine nego na obraslom krškom slivu Kupe.

5 Zaključak

Krivulje trajanja protoka – grafički prikazi protoka (najčešće srednjih dnevnih) u određenom razdoblju poredanih po veličini – osim što predstavljaju važnu podlogu pri razmatranju raspoloživih količina vode u nekom hidrološkom profilu, mogu poslužiti za zaključke o određenim značajkama vodnoga režima vodotoka. Krivulje trajanja protoka, definirane na osnovi podataka iz višegodišnjega razdoblja, a svedene na jednu godinu (100 posto trajanja), zorno pokazuju prosječnu raspodjelu raspoloživih dotoka (slika 3.). Na toj osnovi mogu se izvesti zaključci o iskoristivosti raspoloživih vodnih količina u odabranom profilu (slike 3., 4. i 5.).

Oblici pojedinih krivulja trajanja mogu se međusobno znatno razlikovati. To se može ispitati na temelju njihovih grafičkih prikaza kada se njihove ordinate prikazuju kao protoci u modulnim koeficijentima (slika 6.).

Ustanovi li se određena sličnost u oblicima krivulja trajanja protoka u modulnim koeficijentima za pojedine vodotoke, moguće je definirati krivulju trajanja protoka interpolacijom između dvaju profila sa sličnim krivuljama trajanja (slike 8., 9. i 10.).

Za slučajeve otjecanja u kršu s krivuljama trajanja protoka u modulnim koeficijentima, dokumentira se i utjecaj podzemnih retencijskih prostora. Na toj osnovi može se uspoređivati otjecanje s obraslih i golih krških slivova kako je na primjeru Kupe i Cetine prikazano na slici 12.

LITERATURA

- [1] Foster, H. A.: *Duration curves*, Trans. ASCE (1934) 99, 1213-1267
- [2] Morozov, A. A.: *Korišćenje vodnih snaga*, 1. izdanje, Udruženje studenata građevinske tehnike T. V. Š., Beograd, 1954.
- [3] Davis, C. V.: *Handbook of Applied Hydraulics*, 2nd edn., McGraw-Hill, London, 1952.
- [4] Nikolić, M.: *Hidrološki aspekti određivanja instalisane snage malih hidroelektrana*, IV Jugoslavensko savjetovanje „Energetsko iskorišćavanje malih vodotoka i izgradnja malih hidroelektrana“, Zbornik radova, Arandelovac, 1984., 52-64.
- [5] Jevđević, V.: *Hidrologija*, 1. izdanje, I deo, J. Černi, Beograd, 1956.
- [6] Schoklitsch, A.: *Der Wasserbau*, Erster Band, Verlag von Julius Springer, Wien, 1930.
- [7] Hickox, G. A.; Wesserauer, G. O.: *Application of duration curves to hydroelectric studies*, Trans. ASCE (1933), 98, 1276-1290.
- [8] Chow, V. T.: *Probability Law and its Engineering Applications*, Pr. ASCE (1954) No 536.
- [9] Chow, V. T.: *Handbook of Applied Hydrology*, 1st edn, McGraw-Hill, New York, 1964.
- [10] Wilson, E. M.: *Engineering Hydrology*, 1st edn, The McMillan Press Ltd., London, 1974.
- [11] Mutreja, K. N.: *Applied Hydrology*, 1st edn, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1986.
- [12] Gupta, R. S.: *Hydrology and Hydraulic Systems*, 1st edn, Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- [13] Žugaj, R.: *Hidrologija*, 1. izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2000.
- [14] Wisler, C. O., Brater, E. F.: *Hydrology*, 1st edn, John Wiley and Sons, New York, 1967.
- [15] Linsley, R. K., Franzini, J. B.: *Water-Resources Engineering*, 2nd edn, McGraw-Hill, Singapore, 1979.
- [16] Žugaj, R.: *Hidrološke podloge za Katastar malih vodnih snaga*, Zbornik radova, IV jugoslavensko savjetovanje „Energetsko iskorišćavanje malih vodotoka i izgradnja malih hidroelektrana“, Arandelovac, 1984., 8-16.
- [17] Srebrenović, D.: *Problemi velikih voda*, 1. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [18] Srebrenović, D.: *Primijenjena hidrologija*, 1. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.
- [19] Juračić, M.: *Geologija i hidrogeologija krša: primjeri krškog razvoja u Jadranskom području: Ombla*, radni materijal za internu upotrebu, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2006/07., 68-73.
- [20] Miličević, M.: *Hidrološka obrada, Utvrđivanje parametara režima voda vrela Ombla*, elaborat, Institut za korištenje i zaštitu voda na kršu, Trebinje, 1988.
- [21] Žugaj, R., Andreić, Ž.: *Utjecaj klimatskih promjena na protok Omble*, Zbornik radova, 5. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem „Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena“, Opatija, 2011.,
- [22] Žugaj, R., Pavlin, Ž.: *Male hidroelektrane; Definiranje mjerodavnih hidroloških veličina*, ekspertiza, Elektroprojekt d.d., Zagreb, 2009.
- [23] Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H.: *Applied Hydrology*, 1st edn, McGraw-Hill, New York, 1949.
- [24] Hall, L. S.: *The probable variations in yearly runoff as determined from a study of California streams*, Trans. ASCE (1921) 84, 191-213.
- [25] Doland, J. J.: *Hydro Power Engineering*, 1st edn, The Roland Press Company, New York, 1954.
- [26] Lane, E. W., Kai-Lei: *Stream flow variability*, Trans ASCE (1950) 115, 1084-1134.
- [27] Žugaj, R.: *Utvrđivanje krivulje trajanja protoka za vodene tokove za koje nema hidroloških podloga*, Zbornik radova, Jugoslavenski simpozij o inženjerskoj hidrologiji, Split, 1983.
- [28] Bonacci, O.: *Oborine – glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*, 1. izdanje, Sveučilišta u Splitu i Osijeku, Geoinj., Split, 1994.
- [29] Žugaj, R., Mijač, S., Mičković, B., Marković, V., Koren, Ž., Đokić, D., Lacković, M., Škunca, B.: *Katastar malih hidroelektrana u SR Hrvatskoj, 1. faza; Hidrološke podloge*, knjige: H 1.1 – H 1.3, elaborati, Elektroprojekt, Zagreb, 1989.
- [30] Fuštar, L.: *Krivulje trajanja protoka u krškom dijelu sliva Kupe*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2010.
- [31] Žugaj, R., Jurak, V., Plantić, K., Galović, I., Koščal, S.: *Regionalna analiza slivova Kupe i pritoka u kršu*, znanstveno istraživački projekt, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2007.
- [32] Žugaj, R., Plantić, K.: *Meteorološki i hidrološki dio za glavni projekt Centra sliv rijeke Cetine*, knjiga 2, elaborat, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2006.