



HIDROLOŠKA ANALIZA RIJEKE TOPALE OPĆINA POSUŠJE

mr.sc. **Tatjana Džeba**, dipl.ing.građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Sažetak:

Vodotok Topala je smješten unutar hidrografske mreže sliva Ričine, koji pripada pojasu središnjeg dinarskog krša. Kroz rad se primjenom osnovnih hidroloških obrada i uz relativno kratke i nepotpune vremenske serije, pokušalo doći do podatka o velikim vodama za potrebe regulacije korita rijeke Topale od Brane Rastovača do spoja s rijekom Ričinom. Pošto mjerenja ne postoje, do veličine vodnih valova je bilo moguće doći samo indirektnim putem, primjenom neke od postojećih empirijskih metoda. Primijenjena je SCS metoda koja se koristi modelom sintetičkog jediničnog hidrograma koji se zasniva na ovisnosti ključnih parametara hidrograma (vremena podizanja, maksimalne protoke i vremena opadanja ili recesije) o fizičko-geografskim karakteristikama sliva i trajanju kiše. Primjenom SCS metode, a respektirajući navedeno, kao mjerodavna velika voda za dimenzioniranje korita Topale na dionici od brane Rastovača do ušća u Ričinu je usvojen protok od 14 m³/s. Ovakvo rješenje u potpunosti uvažava postojeće kapacitete evakuacijskih objekata na brani te je istovremeno i dovoljno fleksibilno jer praktično omogućava ispuštanje vode iz akumulacije Rastovača kroz oba ispusta u svim uvjetima, dakle, neovisno o ispunjenosti korita Topale na nizvodnoj dionici, budući je projektirana protočnost veća od kapaciteta oba ispusta i 100 godišnje velike vode nizvodne dionice Topale.

Ključne riječi: sliv, krš, regulacija, hidrološka analiza, SCS metoda, mjerodavan protok

HYDROLOGICAL ANALYSIS OF THE TOPALA RIVER THE MUNICIPALITY OF POSUŠJE

Abstract: The Topala watercourse is located within the hydrographic network of the Ricine basin, which belongs to the belt of central Dinaric karst. By applying basic hydrologic analyses and with relatively short and incomplete time series through the paper, we tried to obtain data on flood flows required for regulation of the Topala riverbed from the Rastovaca dam to the confluence with the Ricina River. Since there are no measurements, flood wave heights could be obtained only indirectly, by using some of the existing empirical methods. We applied the SCS method that uses the synthetic unit hydrograph model, which is based on the dependence of key parameters of hydrograph (rise times, maximum flows and fall times or recessions) on physical-geographical characteristics of the basin and duration of rainfall. Applying the SCS method, and respecting the above, the flow of 14 m³/s is adopted as the design flood flow for dimensioning of the Topala riverbed in the section from the Rastovaca dam to the confluence into Ricina. Such solution fully takes into account the existing capacities of outlet works at the dam and at the same time it is flexible enough since it virtually allows water from the Rastovaca reservoir to be released through both outlets in any conditions, therefore, regardless of fullness of the Topala riverbed in the downstream section, as the design flow capacity is greater than the capacity of both outlets and 100-year flood flow of the downstream section of Topala.

Key words: basin, karst, regulation, hydrologic analysis, SCS method, design flow

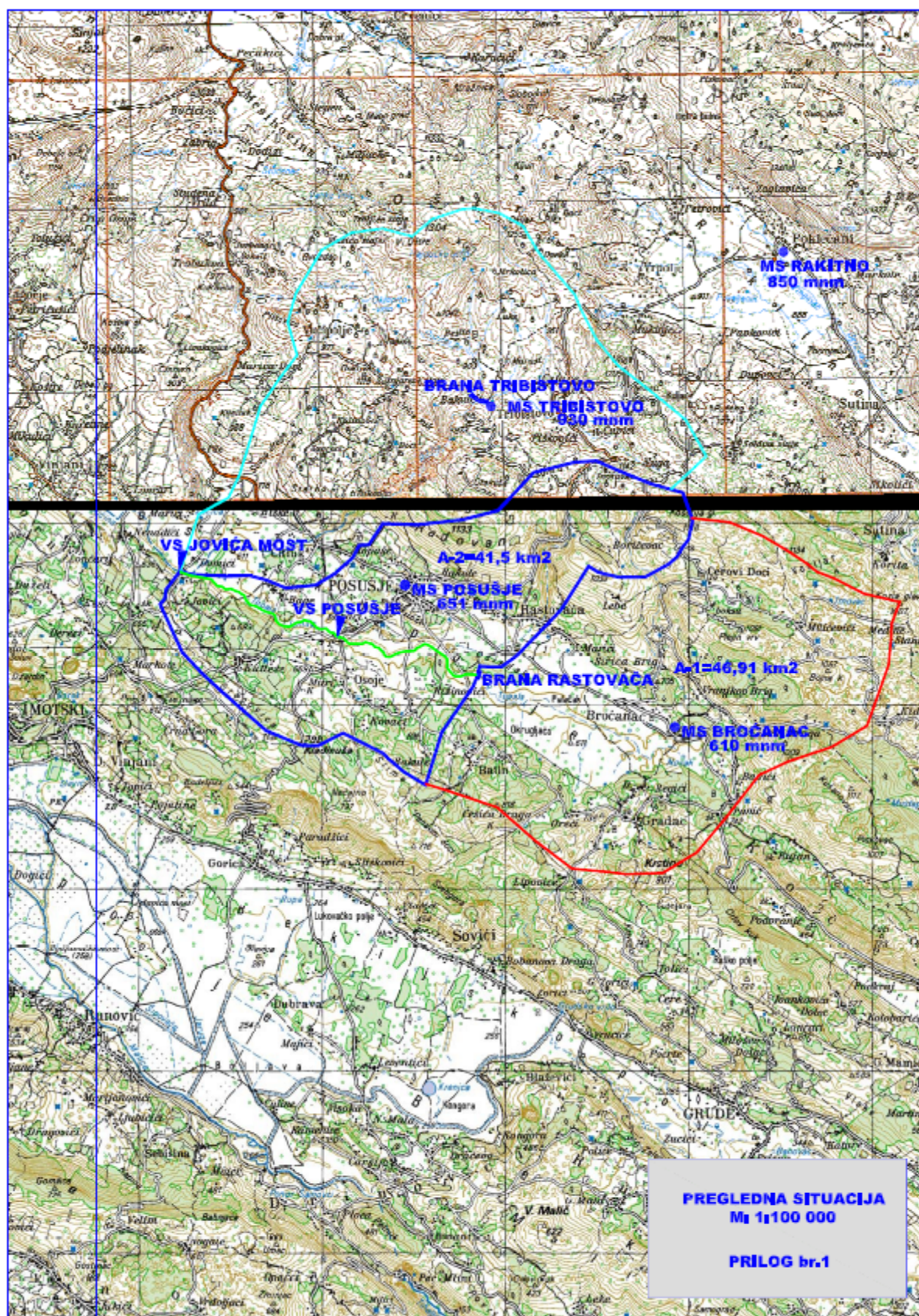


1. UVOD

Vodotok Topala je smješten unutar hidrografske mreže sliva Ričine (Prilog 1.). Najveći dio godine je korito suho, a kod povremenih oborina jakih intenziteta moguće su pojave vodnih valova s naglim podizanjem hidrograma otjecanja. Sliv pripada pojasu središnjeg dinarskog krša. Bitna karakteristika slivova ovog dijela krša su krški oblici koji omogućuju vrlo velike gubitke vode s površine u podzemlje te stoga površinski tokovi najčešće završavaju u ponorima ili ponorskim zonama. Otjecanje vodotoka Ričina se uglavnom formira na višim kotama slabije propusnih prominskih naslaga (E,OI) u području Tribistova i Vučipolja. Vodotok zatim otječe kroz znatno propusnije područje vapnenaca ($K_2^{2,3}$ i $K_2^{1,2}$) prema slabo propusnom Posuškom polju (2M). Za razliku od Ričine, brdski dio sliva vodotoka Topala u području Broćanca se nalazi gotovo u potpunosti na propusnim stijenama vapnenaca ($K_{1,2}$, $K_2^{2,3}$ i $K_2^{1,2}$) tako da, izuzev potoka Virine, na ovom području ne postoje značajniji površinski vodotoci koji se slijevaju prema Posuškom polju. Istraživanjima je utvrđeno da u koritu Ričine i Topale, te u Posuškom polju, postoji nekoliko ponora kroz koje voda podzemnim putem odlazi na niže horizonte u Imotsko-Bekijsko polje [1]. Zbog toga su količine vode koje otječu vrlo male, a koeficijenti otjecanja su niži od 0,1. Osim toga, na predmetnom slivnom području su smještene tri akumulacije; Rastovača na Topali, te Tribistovo i IGM na Ričini. Iz Rastovače i Tribistova praktično nema ispuštanja vode (ispuštanja su vrlo rijetka) čime je znatno poremećen prirodni hidrološki režim na nizvodnim dionicama vodotoka, a površinsko otjecanje, koje je i u prirodnim uvjetima bilo povremenog karaktera, je dodatno umanjeno. To se posebno odnosi na vršne protoke koji su višestruko manji nakon izgradnje spomenutih akumulacija.

2. BRANA RASTOVAČA

Brana Rastovača na vodotoku Topala je izgrađena 1956. godine sa zadatkom da stvaranjem akumulacije u zimskom razdoblju zadrži daljnje odnošenje plodne zemlje uslijed erozije, vrši kolmiranje terena, da natapa zemlju koja će se obrađivati poslije ispuštanja vode u proljeće, te da regulira vode koje iz ovog dijela sliva odlaze u nizvodne tokove. Radi se o višelučnoj brani s kontraforima koja ima temeljni ispust i preljev. Za pražnjenje akumulacije su predviđena dva ispusta kroz dva kontrafora kroz koje prolaze također i preljevne cijevi. Pri koti prelijevanja od 605.30 m n.m., maksimalni protok kroz jedan ispust iznosi oko 3.22 m³/s (slika 1.), te stoga ukupno kroz oba temeljna ispusta može istjecati do 6.5 m³/s. Taj protok ne čini štete nizvodno od brane, a pri punoj akumulaciji je potrebno oko 45 dana da bi se ona ispraznila. Obje preljevne cijevi su dimenzionirane na protoku od 7 m³/s te je ukupni kapacitet preljeva oko 14 m³/s. U tabeli 1. se nalaze osnovne tehničke karakteristike brane.

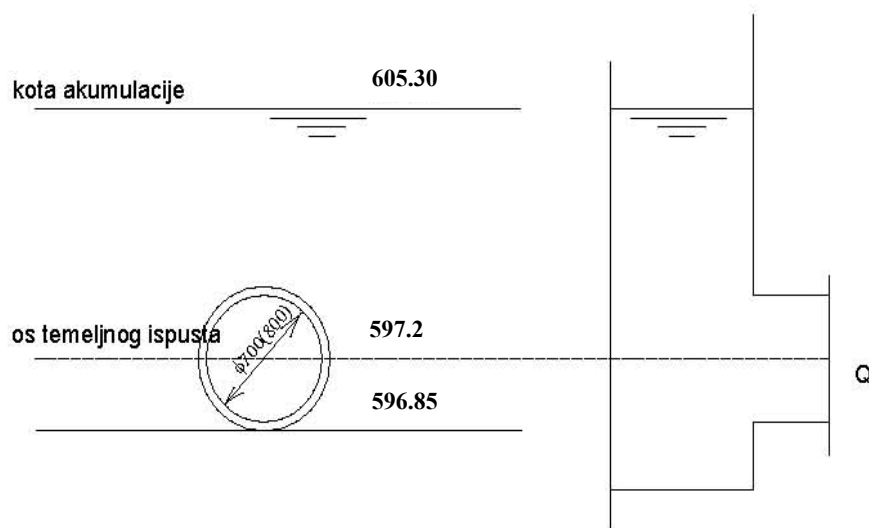




Tablica 1. Osnovne tehničke karakteristike brane Rastovača

Kota krune brane	607,8 m n.m.
Kota preljeva	605,3 m n.m.
Računski nivo vode	607,5 m n.m.
Ukupna dužina brane	191.20 m
Najveća građevinska visina (bez ograde)	14.3 m
Hidraulička visina brane	10 m

Slivno područje akumulacije Rastovača ima zamjetnu količinu oborina koje su raspoređene u jesenskom i zimskom razdoblju u vrijeme kad je predviđeno punjenje akumulacije. Ukupna godišnja količina oborina iznosi oko 1650 mm, a veličina topografskog sliva je oko 46 km². Akumulacija se nalazi na flišnim, glinovitim i laporovitim slojevima koji su praktički vodonepropusne. Pored toga, brana od svoje izgradnje do dana kada je rađeno ovo izvješće nikada nije bila puna, a zadnjih desetak godina ispust na brani nije ni bio otvaran. Naime, u zoni akumulacije postoji nekoliko ponora (ukupno 7 ponora promjera manjeg od pola metra) koji su bili potpuno neistraženi u vrijeme izgradnje akumulacije. Naknadna istraživanja su pokazala da se s uzvodne strane brane Rastovača nalazi ponorska zona, nešto istočnije su ponori Gavranovi vrtli, dok se na jugoistočnom rubu akumulacije nalazi Begića ponor. Trasiranja izvedena 1994. godine u Posuškom polju dokazala su podzemnu vezu ovih ponora s Grudskim vrelom. Ponori i ponorske zone Posuškog polja evakuiraju znatne količine voda u podzemlje. Kako po obodu Posuškog polja nema stalnih izvora koji bi punili akumulaciju, projektirane kote uspora na brani Rastovača nikada nisu dostignute.



$$Q = \mu A \sqrt{2gH} = 0.82 \cdot 0.385 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (605.30 - 600.00)} = 3.22 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Slika 1. Proračun kapaciteta temeljnog ispusta pri koti prelijevanja



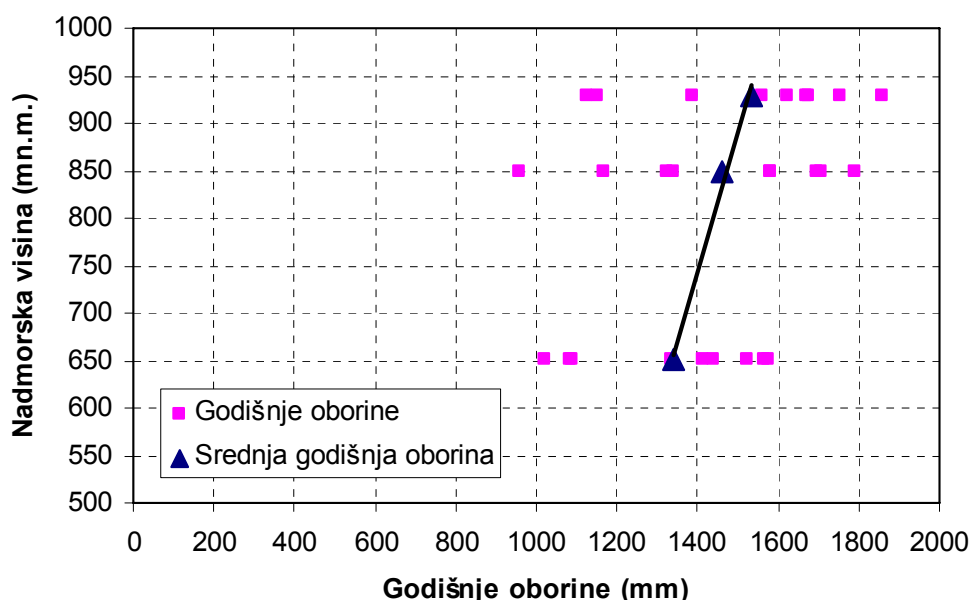
3. ANALIZA OBORINA

Imajući u vidu karakteristike slivnog područja, zaključci o otjecanju vode sa sliva izvedeni na osnovi oborinskih podataka su isključivo orijentacijskog karaktera. Na širem području nalazilo se nekoliko, danas neaktivnih meteoroloških postaja: Tribistovo, Broćanac, Posušje i Rakitno, čija raspoloživa razdoblja mjerenja su relativno kratka i različite duljine trajanja (Tablica 2).

Tablica 2. Raspoloživi podaci o oborinama

RAKITNO	1971.-1990.
POSUŠJE	1966.-1998.
BROĆANAC	1955.-1962., 1966.-1978., 1980.-1984.
TRIBISTOVO	1981.-1989.

Analize su pokazale da je režim oborina na postajama Tribistovo, Rakitno i Posušje sličan te da su koeficijenti korelacije mjesečnih oborina na tri promatrane postaje vrlo visoki i u prosjeku se kreću oko $r=0.9$. Analiza odnosa visine pale oborine i nadmorske visine za postaje Posušje (651 m n.m.), Rakitno (850 m n.m.) i Tribistovo (930 m n.m.) za razdoblje 1981.-1989. prikazana je na slici 2. Srednje godišnje količine oborina tijekom tog razdoblja na prethodno spomenutim postajama su bile 1337, 1461 i 1533 mm. Uočava se da količine oborina na promatranom području rastu s porastom nadmorske visine premda taj trend nije značajan.



Slika 2. Odnos između godišnjih oborina i nadmorske visine za postaje Posušje, Tribistovo i Rakitno



Za analize vodnih valova na vodotoku Topala i akumulaciji Rastovača mjerodavne su prvenstveno oborine kraćih trajanja i velikih intenziteta, a obzirom da ITP krivulje za analizirano slivno područje ne postoje, u analizama su korišteni podaci za ITP krivulju s najbliže meteorološke postaje Rakitno koji su preuzeti iz idejnog rješenja [3]. Prema navedenom, mjerodavne oborine za povratna razdoblja od 20, 50 i 100 godina su dane u tablici 3.

Tablica 3. Podaci za ITP krivulju Rakitno preuzeti iz [3].

t_k (sati)	Oborine (mm)		
	Povratni period T=20 god	Povratni period T=50 god	Povratni period T=100 god
0.5	48	60	68
1	63	76	85
1.5	72	88	96
2	83	101	112
2.5	88	105	116
3	93	112	122

Koristeći podatke iz tabele 3. izvršen je proračun ITP krivulje analitičkog oblika:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(c + t_k^d)}$$

gdje parametri a , b , c i d poprimaju slijedeće vrijednosti:

$$a = 34.00595, \quad b = 0.19652, \quad c = -0.02426, \quad d = 0.63309$$

povratni period T (god), trajanje kiše t_k (h), intenzitet oborina i (mm/h).

4. ANALIZA OTJECANJA RIČINE NA PROFILU JOVIĆA MOST

Vodokazna postaja Jovića most je osnovana 9.9.1952.g., a pet godina kasnije 23.11.1957. godine je postavljen limnigraf. Kota nule vodokaza i limnigrafa je 581.86 m n.m. U Banci hidroloških podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske nalaze se vrijednosti srednjih dnevnih protoka Ričine u profilu Jovića most za razdoblje 1979.-2004. godine. Protjecajni profil je u hidrološkom smislu nestabilan. U razdoblju 1952.-1977. vodomjerenjima nisu obuhvaćene sve promjene u koritu koje bitno utječu na konsumpcijski odnos. Iz tog razloga protoci Ričine u Jovića mostu nisu prihvaćeni od DHMZ-a RH, niti su pohranjeni u Banci hidroloških podataka, te se krivulja protoka određena za navedeno razdoblje ne preporuča za korištenje. U razdoblju od 1977.-2005. godine DHMZ RH je proveo u profilu Jovića most na Ričini ukupno 35 mjerenja protoka, što je nedostavno za ovako nestabilan profil, na temelju kojih su definirane odgovarajuće protočne krivulje za pet razdoblja. Grafički prikaz krivulja protoka nalazi se na slici 3.

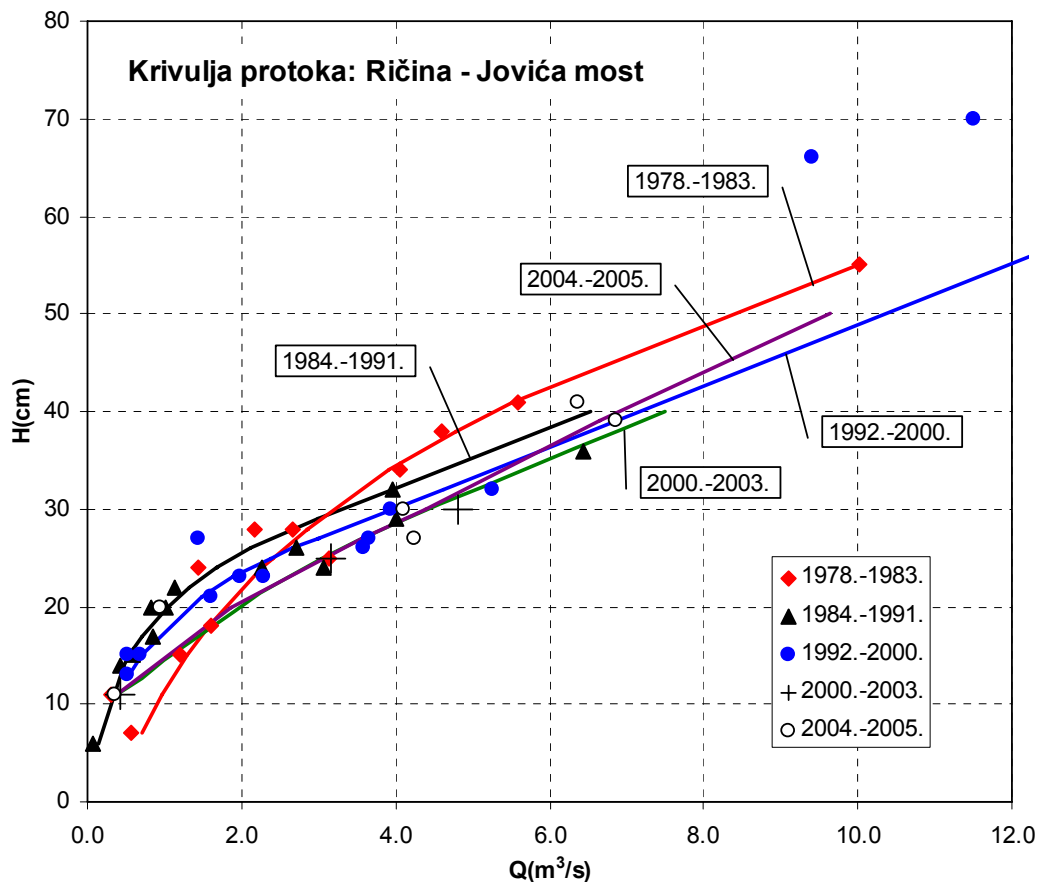
Srednji mjesečni i srednji godišnji protoci Ričine u profilu Jovića most su u dobroj korelacijskoj vezi s odgovarajućim protocima na nizvodnom profilu Ričice te se stoga razmatrane protočne krivulje mogu koristiti kao dovoljno pouzdane za navedeno razdoblje [4].



Na veličinu otjecanja Ričinom veliki utjecaj ima akumulacijsko jezero Tribistovo koje je izgrađeno u najuzvodnijem dijelu sliva. To se posebno zapaža ako se usporede hidrološke karakteristike otjecanja do izgradnje akumulacije (1988. godine) i nakon izgradnje. Srednji višegodišnji protok tijekom razdoblja 1979.-1988. iznosio je $0.23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dok je u razdoblju 1989.-2004. ta vrijednost znatno niža i iznosi samo $0.08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Na slici 4. se nalaze krivulje trajanja i učestalosti otjecanja Ričine na profilu Jovića – most za razdoblje 1979.-1988. i 1989.-2004. godine koje također pokazuju značajne promjene u hidrološkom režimu dvaju analiziranih razdoblja. Razlike su još uočljivije ako se analiziraju maksimalni srednji dnevni protoci ili velike vode.

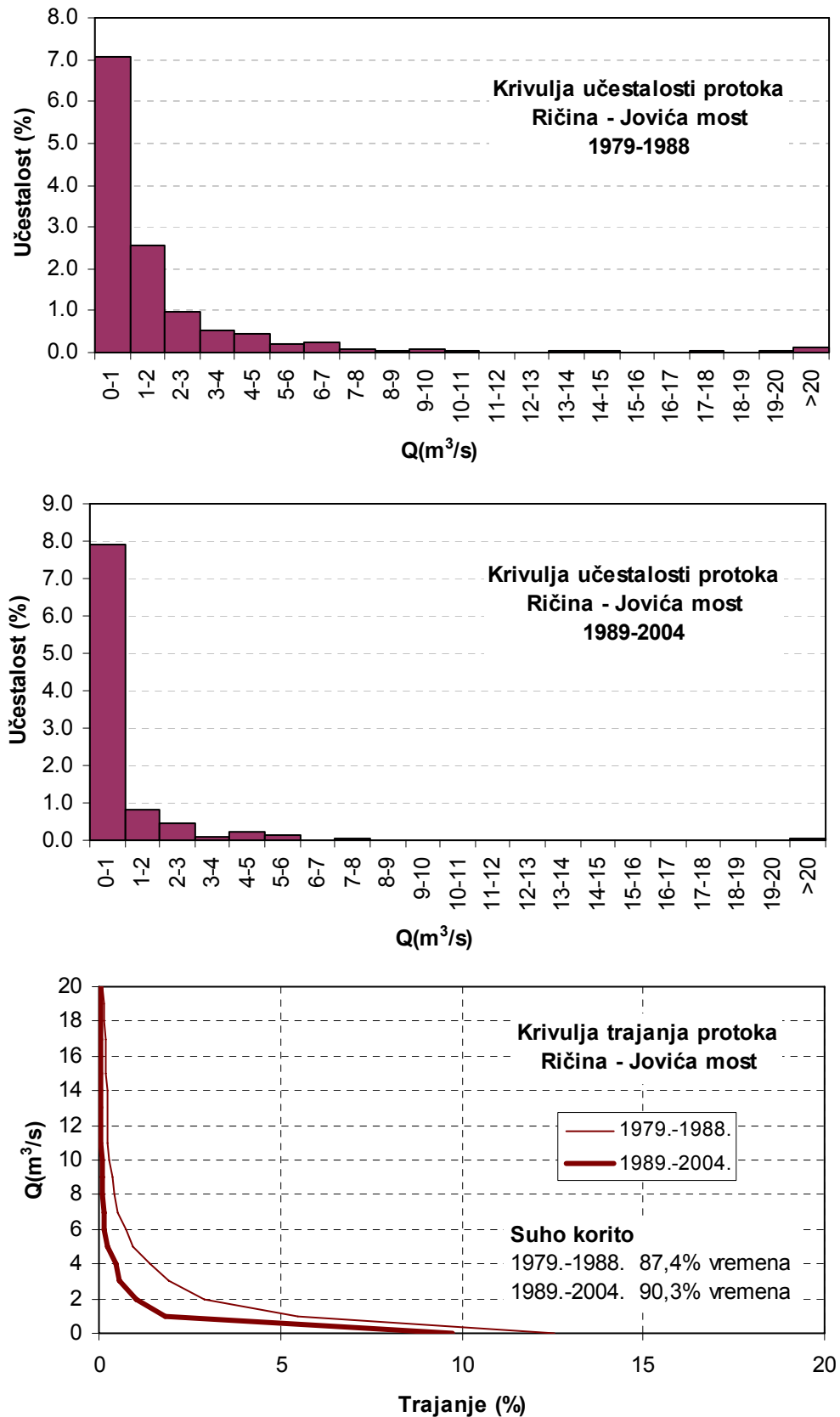
Na slici 5 prikazane su krivulje razdiobe velikih voda za razdoblje 1979.-1988. i 1989.-2004. godine.



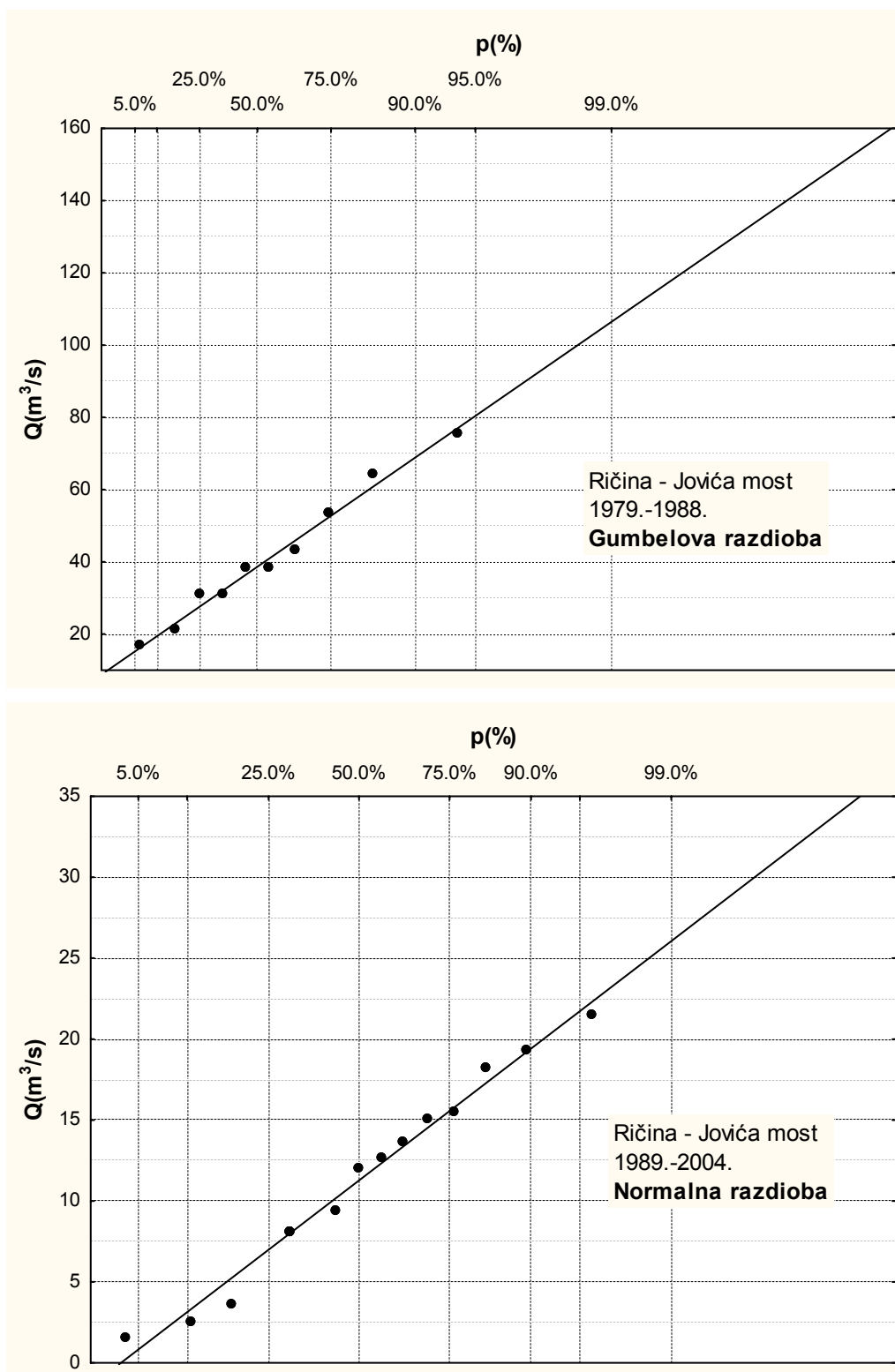
Slika 3. Krivulje protoka i rezultati vodomjerenja na profilu Ričina – Jovića most za razdoblje 1977.-2005. godine.

Tablica 5. Velike vode Ričine na profilu Jovića most za povratne periode od 10, 20 i 100 godina.

1979.-1988.		1989.-2004.	
T (god)	Q (m^3s^{-1})	T (god)	Q (m^3s^{-1})
10	69.0	10	12.5
20	80.0	20	22.0
100	106.3	100	26.0



Slika 4. Krivulje trajanja i učestalosti otjecanja Ričine na profilu Jovića – most za razdoblje 1979.-1988. i 1989.-2004. godine.



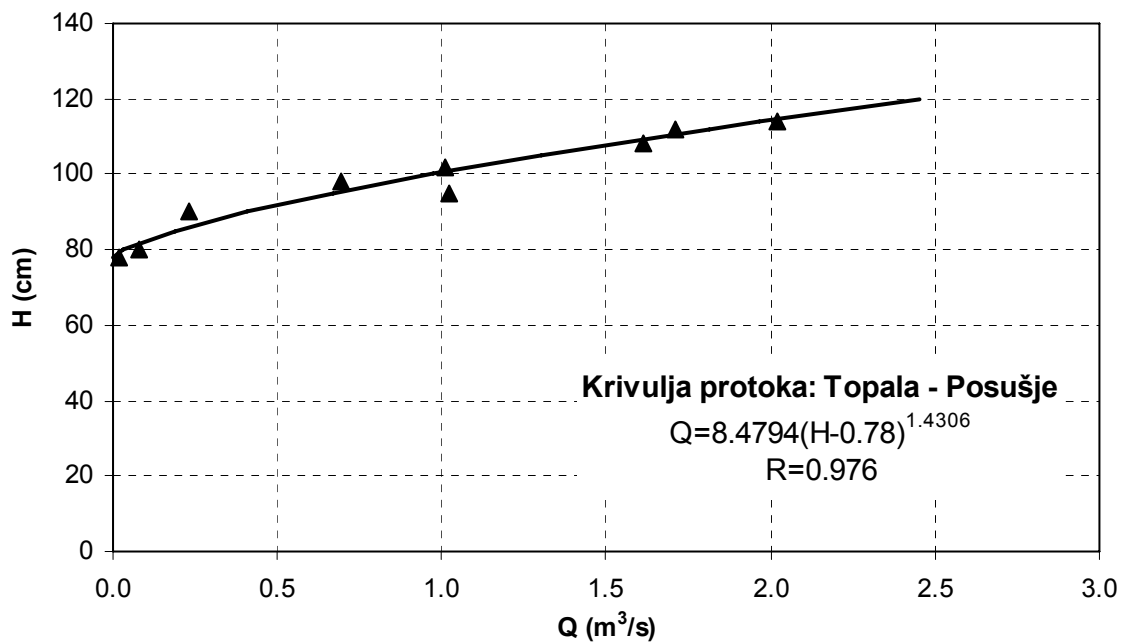
Slika 5. Krivulje razdiobe velikih voda Ričine na profilu Jovića most.



5. ANALIZA OTJECANJA TOPALE NA PROFILU POSUŠJE

Protočna krivulja na profilu Posušje rijeke Topale je određena na temelju 9 raspoloživih vodomjerenja provedenih u razdoblju od 1975. do 1986. godine (slika 6). Krivulja protoka ima slijedeći analitički oblik:

$$Q_i = 8.4794(H_i - 0.78)^{1.4306}$$

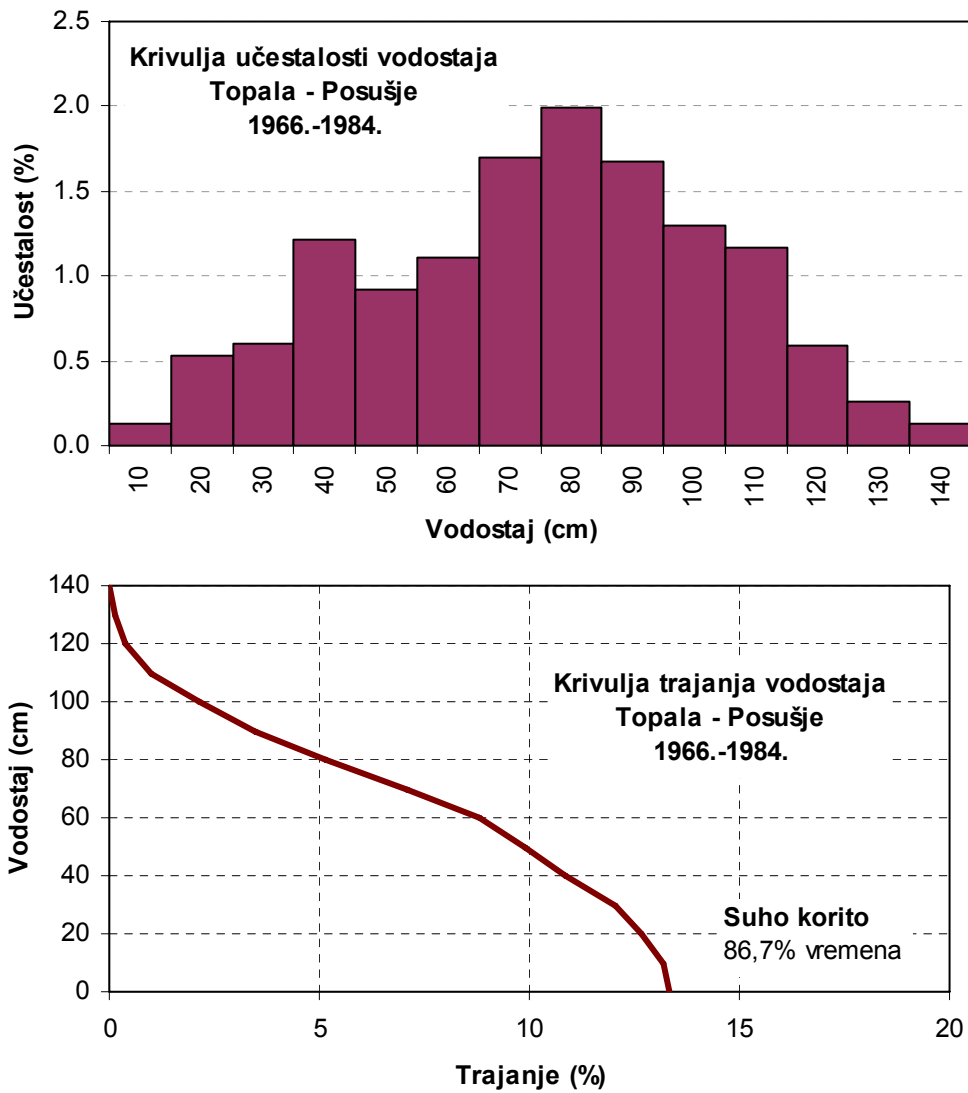


Slika 6. Protočna krivulja Topale na profilu Posušje za razdoblje od 1975. do 1986. godine

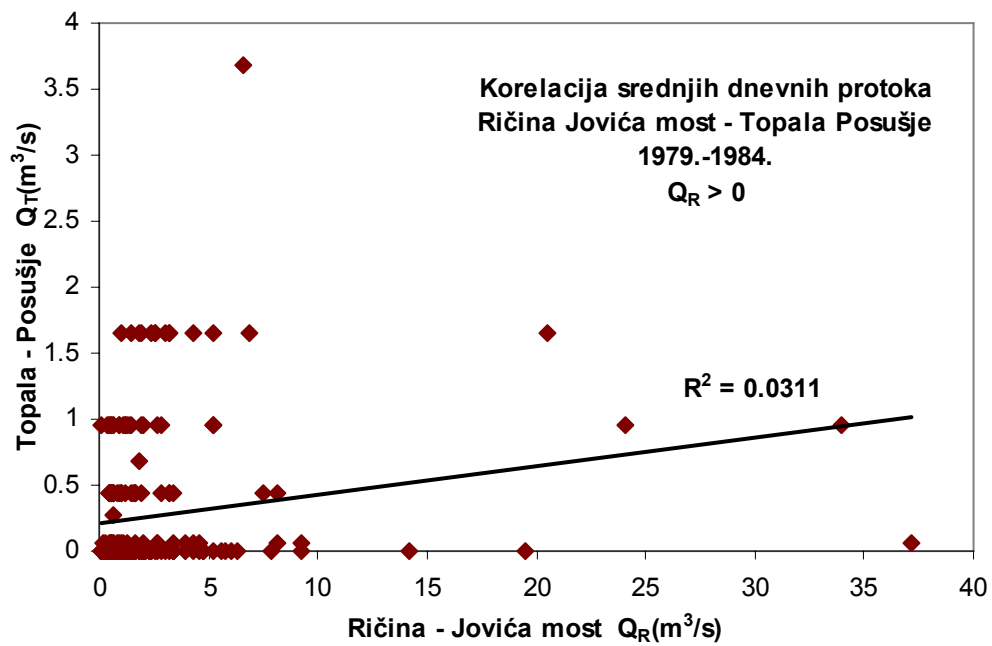
Koristeći prethodnu protočnu krivulju, izvršena je analiza vodostaja na rijeci Topali na vodomjernoj postaji Posušje za razdoblje 1966.-1984. godine (podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda Sarajevo). Izradom krivulje trajanja i učestalosti (slika 7) može se utvrditi da je korito Topale suho većim dijelom godine (87.6% vremena). Osim toga, ako se uzme u obzir i oblik krivulje protoka koji pokazuje da kod vodostaja ispod 78 cm praktično nema otjecanja, može se zaključiti da otjecanje traje prosječno samo 5% vremena godišnje gdje maksimalni vodostaj ne prelazi 140 cm (iz analize je isključen neprovjeren i vjerojatno netočan podatak iz 17.11.1968 godine s vodostajem od 210 cm).

Korelacija protoka Topale s protocima Ričine u profilu Jovića most (slika 8) pokazuje da korelacije praktički nema što se moglo i očekivati s obzirom na neuređenost korita, pojave izlivanja, te suhoću korita Topale tijekom većeg dijela godine.

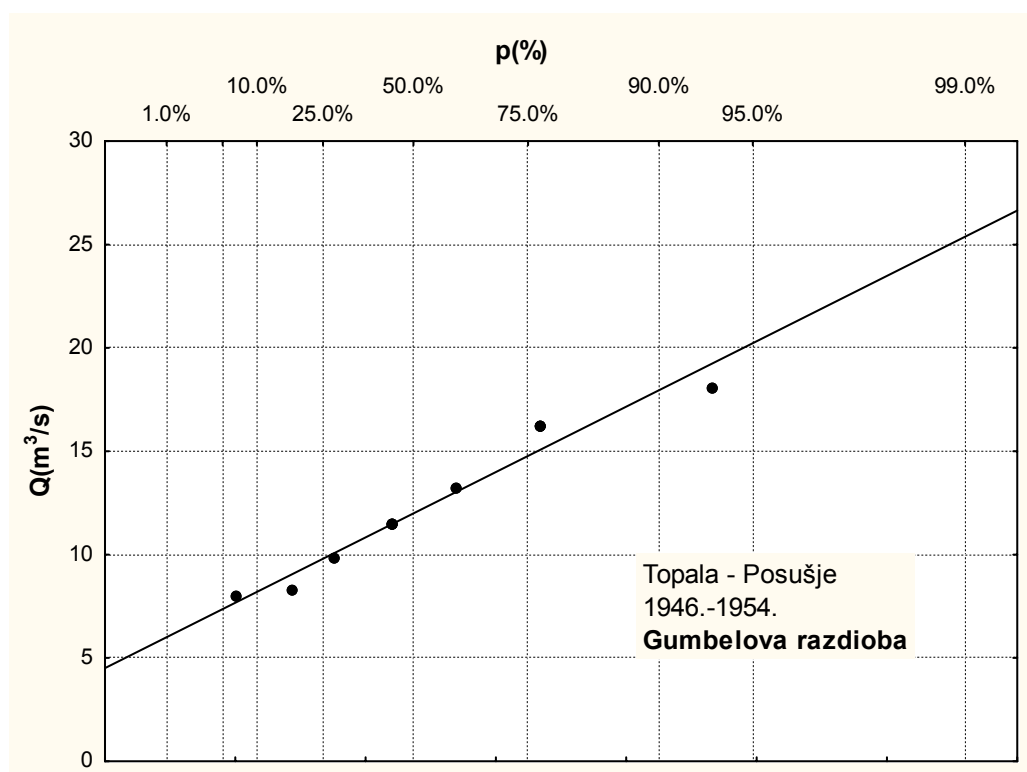
Iz prethodnog se može zaključiti da premda su veličine palih oborina na sliv vrlo visoke, dotoci vode rijekom Topalom rijetko kad doprinose dotocima Ričine. Ova pritjecanja su praktično zaustavljena nakon izgradnje akumulacije Rastovača 1956. godine. Na slici 9. su prikazane krivulje trajanja otjecanja za razdoblje prije i poslije izgradnje spomenute akumulacije, dok se u tabeli 5. nalaze vrijednosti velikih voda.

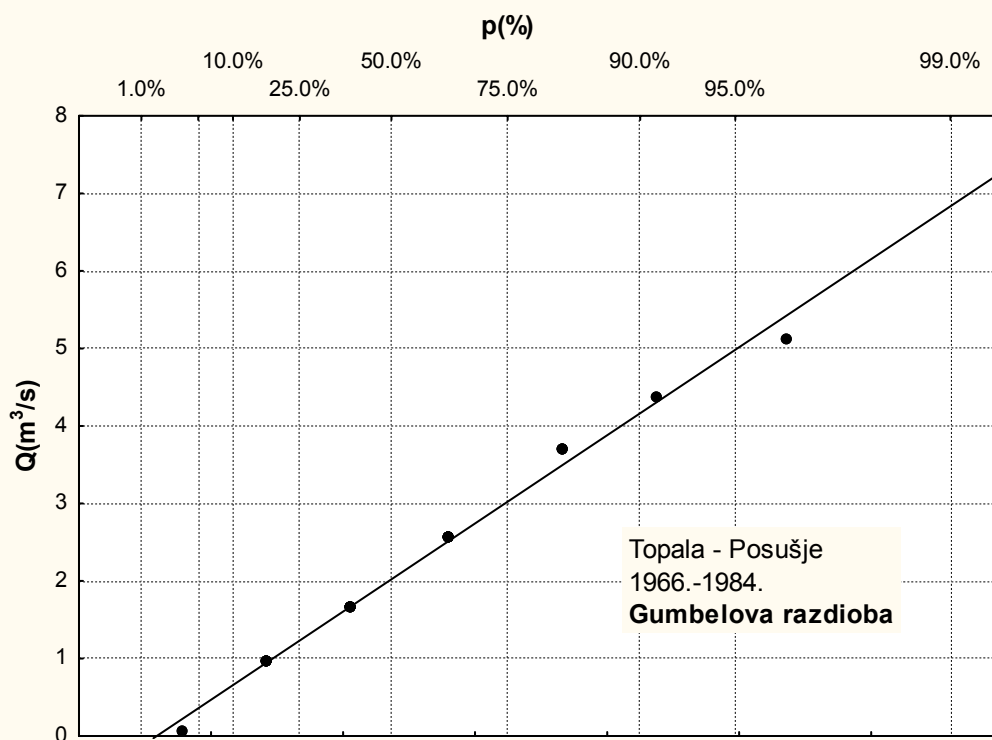


Slika 7. Krivulje trajanja i učestalosti vodostaja Topale na profilu Posušje za razdoblje od 1966. do 1984. godine.



Slika 8. Korelacija između srednjih dnevnih protoka Ričine na profilu Jovića most i Topale na profilu Posušje za razdoblje 1979.-1984.





Slika 9. Krivulje razdiobe velikih voda Topale na profilu Posušje.

Tablica 5. Velike vode Topale na profilu Posušje za povratne periode od 10, 20 i 100 godina.

1946.-1954.		1966.-1984.	
T (god)	Q (m ³ s ⁻¹)	T (god)	Q (m ³ s ⁻¹)
10	18.0	10	4.2
20	20.3	20	5.0
100	25.4	100	6.8

6. PRORAČUN VODNIH VALOVA

U tablicama 4. i 5. nalaze se velike vode različitih povratnih razdoblja za vodotok Ričina na profilu Jovića most i vodotok Topala na profilu Posušje. Zapaža se da su izgradnjom akumulacija Rastovača i Tribistovo u potpunosti promijenjeni prirodni uvjeti otjecanja na slivu Ričine i Topale gdje su vršni protoci umanjeni za 4 do 5 puta. Antropogeni utjecaji i složenost krškog sustava uzrokuju teškoće pri donošenju pouzdanih zaključaka o velikim vodama, međutim, najveća poteškoća je što su zbog prekida u radu hidroloških postaja postojeći nizovi relativno kratki. Pouzdane zaključke je moguće donijeti samo na temelju dugogodišnjih opažanja i mjerenja. S obzirom da točniji i pouzdaniji podaci ne postoje, prethodno iznesene procjene velikih voda će se koristiti kao mjerodavne pri definiranju vodnih valova.

Pošto mjerenja ne postoje, do veličine vodnih valova je moguće doći samo indirektnim putem, primjenom neke od postojećih empirijskih metoda. Prednost treba dati korištenju one empirijske metode koja omogućava kompleksno i pouzdano sagledavanje stvarnog hidrološkog stanja na slivnom području. Iz tog razloga je primijenjena SCS metoda koja je



izvedena i provjerena u SAD od strane "Soil Conservation Service". SCS metoda se koristi modelom sintetičkog jediničnog hidrograma koji se zasniva na ovisnosti ključnih parametara hidrograma (vremena podizanja, maksimalne protoke i vremena opadanja ili recesije) o fizičko-geografskim karakteristikama sliva i trajanju kiše.

Pri proračunu hidrograma velikih voda korištene su familije krivulja: intenzitet - trajanje - ponavljanje (ITP) s meteorološke postaje Rakitno s obzirom da je to najbliža postaja za koju postoje podaci potrebni za proračun krivulja.

6.1. SCS metoda

6.1.1. Proračun direktnog otjecanja

Direktno otjecanje ili efektivna oborina je u funkciji ukupnih oborina i raspoloživog kapaciteta podzemne retencije sliva. Metoda polazi od činjenice da na malom slivu za vrijeme dugotrajne kiše kumulativno otjecanje s porastom vremena postaje jednako kumulativnoj oborini. Razlika između kumulativne oborine P i otjecanja u nekoj točki odlazi u podzemnu retenciju sliva čiji se maksimalni kapacitet prikazuje oznakom S . Ako se pretpostavi da ne postoji početni gubitak Ia (gubitak prije početka površinskog otjecanja) tada u svakom trenutku vremena važi sljedeća relacija:

$$\frac{P - Pe}{S} = \frac{Pe}{P}$$

gdje je:

$P - Pe$ - trenutni kapacitet retencije

S - maksimalni kapacitet retencije

Pe - trenutna kumulativna efektivna oborina

P - trenutna kumulativna oborina, tj. maksimalno potencijalno tečenje

Obično se prema preporuci SCS metode početni gubitak Ia ne zanemaruje, pa se koristi izraz:

$$\frac{P - Ia - Pe}{S} = \frac{Pe}{P - Ia}$$

prema kojemu je efektivna oborina:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia - S}$$

Parametri Ia i S međusobno su ovisni i povezani relacijom $Ia = 0,2S$, u kojoj je potrebno poznavati maksimalni kapacitet retencije S . Ovaj parametar nije konstantan, već ovisi o prethodnim povijesnim kišama. Praktično ne postoji kontinuirana relacija između parametra S i prethodnih uvjeta vlažnosti tla koji se mogu klasificirati u tri nivoa: niski (I), srednji (II) i visoki (III). U izrazu za efektivnu oborinu Pe pogodnije je koristiti izraz CN , tj. broj krivulje otjecanja ili hidrološki kompleks pokriva terena nego parametar S . Međusobni odnos parametara CN i S se može prikazati sljedećom relacijom:

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad \text{ili} \quad S = \frac{1000}{CN} - 10$$



Dakle, konačan oblik izraza za efektivnu oborinu glasi:

$$Pe = 25,4 \frac{(0,03937P - \frac{200}{CN} + 2)^2}{0,03937P + \frac{800}{CN} - 8}$$

gdje je P kumulativna oborina u mm. Broj krivulje otjecanja CN se određuje iz tablica koje se mogu naći u literaturi, a ovisan je o tri faktora: vegetacijskom pokrovu, načinu obrade i tipu (kategoriji) tla. **S obzirom da se na predmetnom slivnom području već raspoložuje s vršnim protocima i njihovim povratnim periodima, broj krivulje otjecanja CN je određen kalibracijom.**

6.1.2. Jedinični bezdimenzionalni hidrogram

U ovoj hidrološkoj obradi se koristio bezdimenzionalni jedinični hidrogram SCS metode koji je izveden na temelju velikog broja prirodnih jediničnih hidrograma sa slivova raznih veličina i geografskih lokacija. Njegove koordinate: $X = \frac{t}{T_p}$ i $Y = \frac{q}{q_p}$ prikazane su tabelarno, kao bezdimenzionalne veličine u tablici 6.

Tablica 6. Koordinate bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma SCS metode.

X	Y	X	Y
0,0	0,000	1,4	0,750
0,1	0,015	1,5	0,650
0,2	0,075	1,6	0,570
0,3	0,160	1,8	0,430
0,4	0,280	2,0	0,320
0,5	0,430	2,2	0,240
0,6	0,600	2,4	0,180
0,7	0,770	2,6	0,130
0,8	0,890	2,8	0,098
0,9	0,970	3,0	0,075
1,0	1,000	3,5	0,036
1,1	0,980	4,0	0,018
1,2	0,920	4,5	0,009
1,3	0,840	5,0	0,004

6.1.3. Jedinični sintetički hidrogram

Krivolinijski bezdimenzionalni jedinični hidrogram SCS metode se može aproksimirati ekvivalentnim trokutnim jediničnim hidrogramom koji ima iste jedinice za vrijeme i protoke, a time i isti postotak od 37,5 % volumena unutar vremena podizanja vala T_p . Koristeći pri tome geometriju trokuta, dolazi se do sljedećih relacija za:

- bazno vrijeme trokutnog hidrograma: $T_B = \frac{1}{0,375} = 2,67$ jedinica vremena

- vrijeme opadanja hidrograma: $T_R = T_B - T_p = 1,67$ jedinica vremena ili $T_R = 1,67T_p$



- ukupni volumen trokutnog hidrograma: $V = \frac{q_p}{2}(T_p + T_R)$

- maksimum trokutnog hidrograma: $q_p = \frac{2V}{T_p(1 + \frac{T_R}{T_p})}$

Ukupni volumen trokutnog jediničnog hidrograma se može prikazati i relacijom:

$$V = 10^3 FPe$$

gdje je:

V - volumen hidrograma u m^3 ,

F - površina sliva u km^2 ,

Pe - efektivna oborina u mm (za jedinični hidrogram $Pe = 1$ mm).

Korištenjem navedenih relacija dolazi se do konačnog izraza za proračun maksimalne ordinate jediničnog trokutnog hidrograma:

$$q_p = \frac{2(10^3 F)}{3600(2,67T_p)} = 0,208 \frac{F}{T_p} \quad (m^3/s/mm)$$

u kojem je T_p izraženo u satima. Vrijeme podizanja jediničnog trokutnog hidrograma se može odrediti pomoću izraza:

$$T_p = \frac{dD}{2} + T_L$$

gdje je:

dD - jedinično trajanje efektivne (ekscesne) oborine u satima,

T_L - vrijeme zakašnjenja sliva tj. vrijeme od centra mase efektivne oborine dD do formiranja maksimuma u satima.

Prema SCS metodi proračuna vrijeme T_L se računa pomoću izraza:

$$T_L = 0,001362L^{0,8}(S+1)^{0,7}J^{-0,5}$$

gdje je:

L - hidraulička dužina toka u m

J - srednji pad terena u %

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Najčešća relacija između vremena T_L i vremena koncentracije T_C glasi:

$$T_L = 0,6T_C$$

Vrijeme koncentracije T_C se može definirati kao vrijeme od kraja ekscesne oborine do točke infleksije krivolinijskog jediničnog hidrograma koje iznosi 1,7 jedinice vremena ili $1,7T_p$, odnosno:

$$T_C = 1,7T_p - dD$$

Iz prikazanih izraza se dolazi do relacije:

$$dD = 0,2T_p$$



Također se, pomoću sljedeće dvije jednačbe:

$$T_C + dD = 1,7T_P \text{ i } \frac{dD}{2} + 0,6T_C = T_P$$

može uspostaviti veza između veličina dD i T_C :

$$dD = 0,133T_C$$

Dakle, jedinično trajanje kiše dD treba iznositi oko 1/5 vremena T_P ili oko 1/7,5 vremena T_C kako bi se pouzdano mogao definirati oblik jediničnog hidrograma. Male varijacije su dozvoljene, ali dD ne bi smio biti veći od 0,25 T_P .

6.1.4. Proračun elemenata jediničnog hidrograma

Kod određivanja hidrograma velikih voda primjenom SCS metode potrebno je prethodno utvrditi niz osnovnih parametara sliva koji ulaze u račun pri određivanju dviju osnovnih veličina jediničnog hidrograma q_P i T_P kao što su površina sliva (F), opseg sliva (O), srednja visina sliva (H_{sr}) visina izlaznog profila (H) i udaljenost težišta sliva od izlaznog profila (U). Osnovne veličine jediničnog hidrograma ovise također i o obliku i padu sliva. Zato se konstruira zamjenjujući pravokutnik koji će imati isti koeficijent koncentriranosti, istu površinu i isti opseg kao sliv u naravi. Proračun parametara sliva i osnovnih veličina jediničnog hidrograma se provodi prema sljedećim izrazima:

- koeficijent koncentriranosti: $K = \frac{2F}{OU}$

- dužina fiktivnog zamjenjujućeg pravokutnika (m): $L = \sqrt{\frac{F(2-K)}{K}}$

- širina fiktivnog zamjenjujućeg pravokutnika (m): $L_w = \sqrt{\frac{FK}{2-K}}$

- prosječan pad sliva: $J = \frac{2(H_{sr} - H)}{L}$

- hidrauličku dužinu toka (m):

$$l = 1,25L \text{ - za aluvijalne terene}$$

$$l = (1,25 + 1,75f_k)L \text{ za područje krša gdje je } f_k \text{ faktor krša}$$

- vrijeme zakašnjenja sliva (h): $T_l = 0,001362l^{0,8}(S+1)^{0,7}J^{-0,5}$

- vrijeme koncentracije (h): $T_C = 1,667T_l$

- jedinično trajanje kiše (h): $dD = 0,133T_C$

- vrijeme podizanja hidrograma (h): $T_p = 0,5dD + T_l$

- maksimum jediničnog hidrograma ($m^3/s/mm$): $q_P = 0,208 \frac{F}{T_p}$

Konkretan postupak proračuna ordinata hidrograma se sastojao od sljedećih koraka:

1. Izračunaju su ordinate bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma u intervalima vremena dD unutar ukupnog baznog vremena T_B . Ove veličine formiraju vektor $I = (i_1, i_2 \dots i_z)$ gdje su i_z ordinate u vremenu $z \cdot dD$, $z = T_B / dD$



2. Izračunaju se kumulativne (ukupne) visine oborina P u pojedinim sukcesivnim točkama vremena ukupnog trajanja kiše T , na konstantnom razmaku dD
3. Na osnovu oborina P za usvojenu vrijednost parametra CN proračunaju se kumulativne efektivne oborine Pe koje se formiraju u istim točkama vremena kao i oborina P
4. Izračunaju se otjecanja (efektivne oborine) u intervalima vremena dD koje formiraju vektor $O = (o_1, o_2 \dots o_n)$ gdje je o_n ordinata u vremenu $n \cdot dD$, $n = T / dD$
5. Izračunaju se koordinate hidrograma velikih voda međusobnim sumiranjem umnožaka komponenta vektora I i O

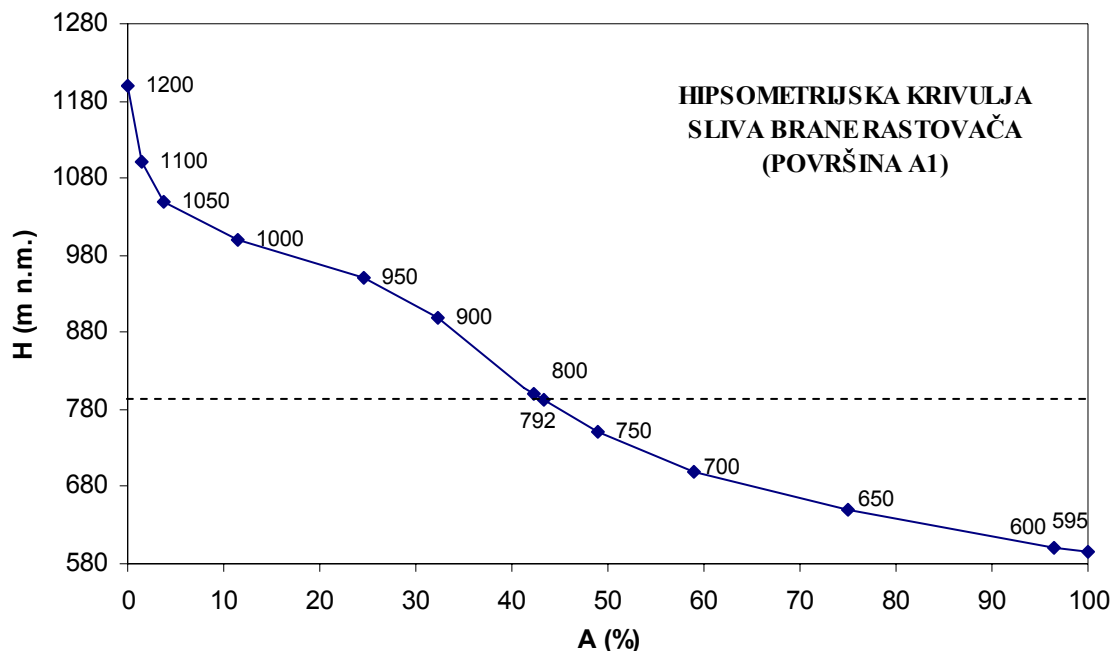
6.2. Rezultati primjene SCS metode

Za definiranje parametara sliva korištene su topografske karte mjerila 1:25000. Mjerodavni parametri slivova i jediničnih hidrograma se nalaze u tabeli 7. Hipsometrijske krivulje se nalaze na slikama 10 i 11. Proračun je proveden uz dvije pretpostavke vezane za vodomjernu postaju Topala – Posušje:

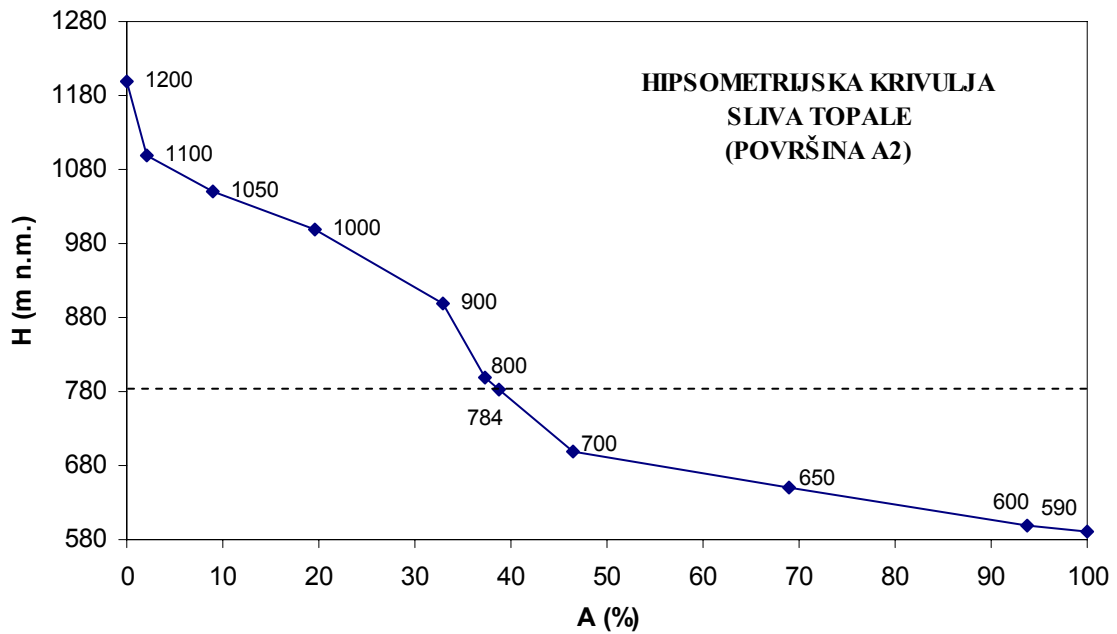
- 1) velike vode zabilježene prije izgradnje brane tijekom razdoblja 1946.-1954. nastale su kao rezultat oborina palih na topografski sliv akumulacije Rastovača (površina A1, prilog 1.)
- 2) velike vode zabilježene na ovoj postaji nakon izgradnje brane tijekom razdoblja 1966.-1984. nastale su kao rezultat oborina palih na topografski sliv Topale bez Rastovače (površina A2, prilog 1.).

Obje navedene pretpostavke su na strani sigurnosti.

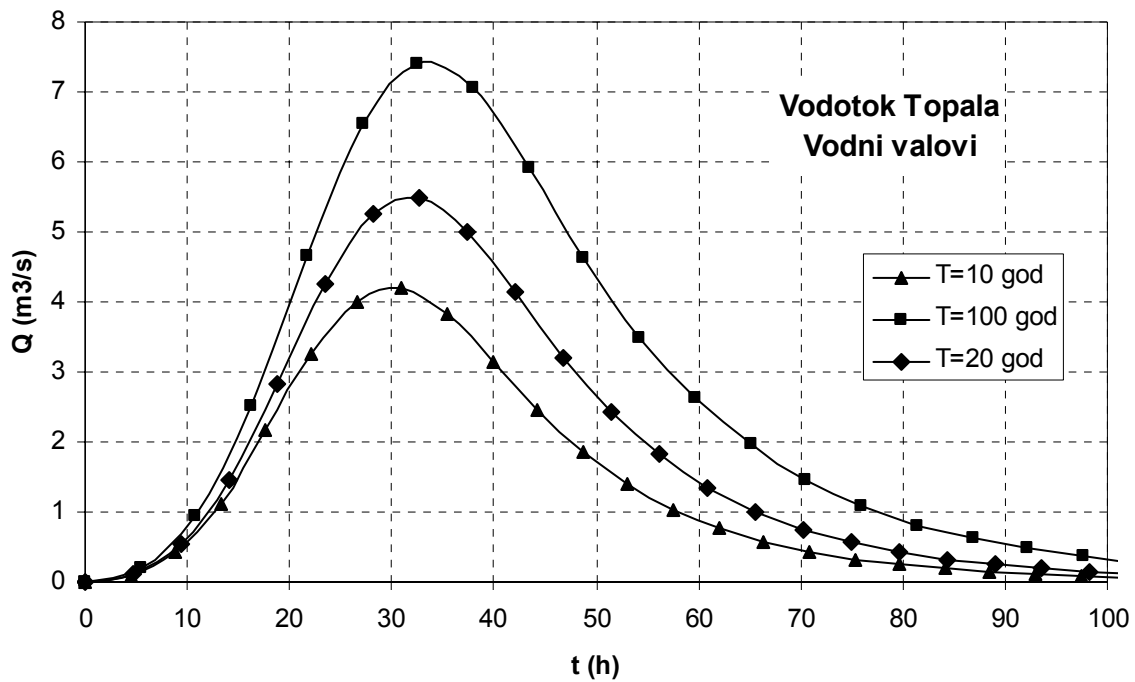
U tablici 8. se nalaze volumeni vodnih valova i koeficijenti otjecanja koji su izračunati SCS metodom uz korištenje ITP krivulja s postaje Rakitno za povratne periode od 10, 20 i 100 godina. Na slikama 12. i 13. nalazi se grafički prikaz izračunatih hidrograma velikih voda.



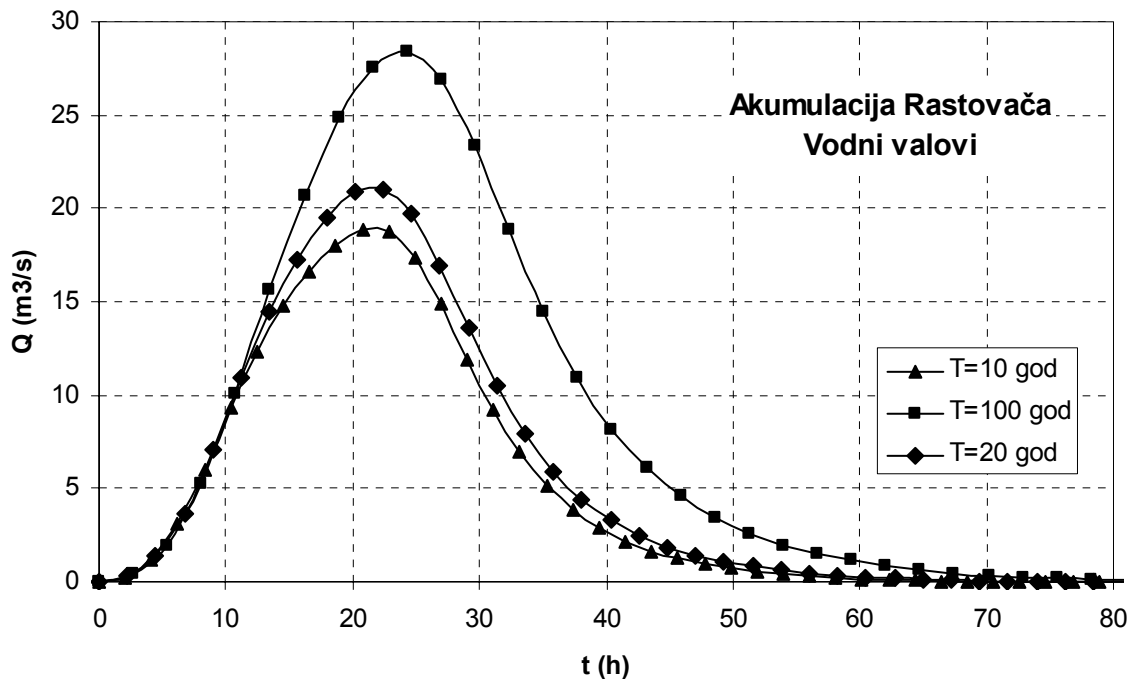
Slika 10. Hipsometrijska krivulja površine A1



Slika 11. Hipsometrijska krivulja površine A2



Slika 12. Vodni valovi vodotoka Topala za povratne periode od 10, 20 i 100 godina



Slika 13. Vodni valovi akumulacije Rastovača za povratne periode od 10, 20 i 100 godina

Tablica 7. Mjerodavni parametri slivova i jediničnih hidrograma.

Parametar	Sliv	
	A1	A2
$F(km^2)$	46,91	41,50
$O(km)$	24,37	32,90
$U(km)$	4,66	6,32
$Hsr(m)$	792	784
$H(m)$	600	590
K	0,826	0,399
$L(m)$	8,164	12,901
$Lw(km)$	5,746	3,217
$J(\%)$	4,704	3,008
$l(m)$	20205	27414
$Tl(h)$	10,108	19,424
$Tc(h)$	16,850	32,379
$D(h)$	2,241	4,306
$Tp(h)$	11,229	21,577
$qp(m^3/s/mm)$	0,869	0,400

Tablica 8. Volumeni vodnih valova i koeficijenti otjecanja

Povratni period T(god)	Sliv akumulacije Rastovača (A1)			Sliv vodotoka Topala (A2)		
	CN	Koeficijent otjecanja C	Volumen vodnog vala V (10^6m^3)	CN	Koeficijent otjecanja C	Volumen vodnog vala V (10^6m^3)
10	50	0,202	1,492	39	0,082	0,510
20	47	0,206	1,681	37	0,094	0,706
100	40	0,216	2,541	32	0,117	1,049



7. MJERODAVAN PROTOK

Rezultati analize velikih voda su pokazale da je nakon izgradnje brane Rastovača došlo do značajnih smanjenja vršnih protoka Topale te u slučaju zatvorenosti ispusta na brani realno je očekivati da vršne protoke Topale neće biti veće od približno $7 \text{ m}^3/\text{s}$ (stogodišnja velika voda iznosi $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Ipak treba naglasiti da se radi o relativno kratkoj i nepouzdanjoj vremenskoj seriji (nije bilo limnigrafa), te prethodnu vrijednost treba smatrati orijentacijskom. Kapacitet oba ispusta je procijenjen na oko $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dok je kapacitet preljeva brane Rastovača oko $14 \text{ m}^3/\text{s}$ gdje treba napomenuti da od 1956. godine do danas preliv nikada nije bio aktiviran. Respektirajući te činjenice, **kao mjerodavna velika voda za dimenzioniranje korita Topale na dionici od brane Rastovača do ušća u Ričinu je usvojen protok od $14 \text{ m}^3/\text{s}$** . Ovakvo rješenje u potpunosti uvažava postojeće kapacitete evakuacijskih objekata na brani te je istovremeno i dovoljno fleksibilno jer praktično omogućava ispuštanje vode iz akumulacije Rastovača kroz oba ispusta u svim uvjetima, dakle, neovisno o ispunjenosti korita Topale na nizvodnoj dionici, budući je projektirana protočnost veća od kapaciteta oba ispusta i 100 godišnje velike vode nizvodne dionice Topale ($7,0 + 6,5 = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Ukupni kapacitet akumulacije Rastovača do kote preljeva je oko 20 milijuna m^3 . Ukupni volumeni vodnih valova povratnog perioda 10, 20 i 100 godina iznose 1,492, 1,681 i 2,541 milijuna m^3 što je 7,5-12,7 % od ukupnog kapaciteta akumulacije. Ako se uzme u obzir i kapacitet ispusta te gubici iz akumulacije koji iznose oko 4 cm/dan [1], može se zaključiti da akumulacija u sadašnjim uvjetima može bez problema prihvatiti sve vodne valove, što je i povijest ove akumulacije pokazala. Situacija se vjerojatno neće značajnije promijeniti niti u slučaju smanjenja gubitaka iz akumulacije ili čak njihovog potpunog zaustavljanja. Naime, u tom slučaju je dostatno u akumulaciji čuvati slobodan prostor od približno 1,6 milijuna m^3 (cca 40 cm ispod nivoa prelijevanja od 605,30 m n.m.) koji je dovoljan za prihvatanje svih vodnih valova bez prelijevanja uz uvjet otvorenosti oba temeljna ispusta.

LITERATURA

1. Rezultati ispitivanja hidrogeoloških značajki korita Ričine i pritoke Topale, Elektroprivreda HZ-HB, Direkcija za proizvodnju električne energije, Sektor za razvoj, Mostar, 2003.
2. Brana Rastovača, Hidrologija, Glavni projekt, Hidrotehnička sekcija Mostar, 1956.
3. Uređenje površinske odvodnje u slivu rijeke Topala, Idejno rješenje, Geoproming-Metković, 1998.
4. Hidrološke obrade za potrebe akumulacije „Ričica“, Institut za elektroprivredu i energetiku, Jedinica za ekologiju i hidrotehniku, 1997.
5. Akumulacija Ričice, idejni projekt, knjiga 2, Elektroprojekt Zagreb, 1978.