

Transformacija poplavnih talasa u donjem toku Drine pre i posle izgradnje hidroelektrana Kozluk, Drina I, Drina II i Drina III

Dr Miodrag Jovanović, dipl.inž.¹

Zoran Obušковиć, dipl.inž.²

Zlatan Huseinspahić, dipl.inž.²

1. Uvod

U okviru razmatranja hidroenergetskog uređenja donjeg toka Drine izgradnjom stepenica Kozluk, Drina I, Drina II i Drina III [1], izradjena je posebna studija propagacije poplavnih talasa različitih povratnih perioda na potezu od HE Zvornik (km 83+200) do ušća Drine (km 0+000) [2]. Ova studija, čiji se rezultati prikazuju u nastavku, trebalo je da pruži odgovore na sledeća pitanja:

- Koliki je retenzioni kapacitet inundacija u donjem toku Drine u sadašnjim ("prirodnim") uslovima za poplavne talase povratnih perioda 10, 20, 100, 500 i 1000 godina?

- U kojoj meri će predloženo rešenje uređenja Drine uticati na režim oticaja velikih voda, posebno na ušću Drine?

- Koja bi strategija upravljanja ovim sistemom bila optimalna u periodu pojave velikih voda, kako sa gledišta funkcionisanja samog sistema, tako i sa gledišta površina koje se plave i mogućnosti koincidencije velikih voda Drine i Save?

Za proračune su korišćeni kao topografske podloge, rezultati terenskih istražnih radova obavljenih 1987. godine [3]. Iz istog izvora korišćene su i neophodne hidrauličke podloge (krive protoka i koeficijenti otpora).

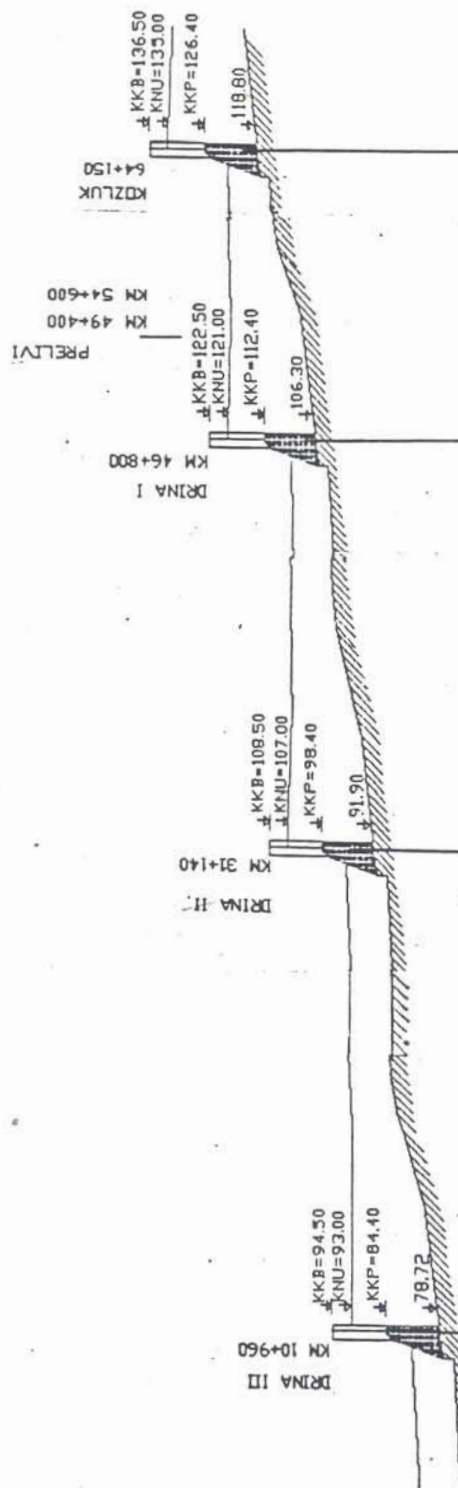
2. Položaj i osnovne karakteristike projektovanih objekata

Prema projektnom rešenju, hidroenergetski sistem donje Drine sastojao bi se od 4 stepenice: Kozluk, Drina I, Drina II i Drina III (Slika 1). Akumulacioni bazeni formirali bi se izgradnjom nasipa na međusobnom odstojanju od 200 – 1000 m. Instalirani protok svih elektrana iznosio bi 800 m³/s. Širine preliva na branama Drina I–III iznosile bi 80 m, a na brani Kozluk 160 m, sa maksimalnom visinom prelivnog mlaza od 8,6 m. Svi prelivi bi bili snabdeveni segmentnim ustavama.

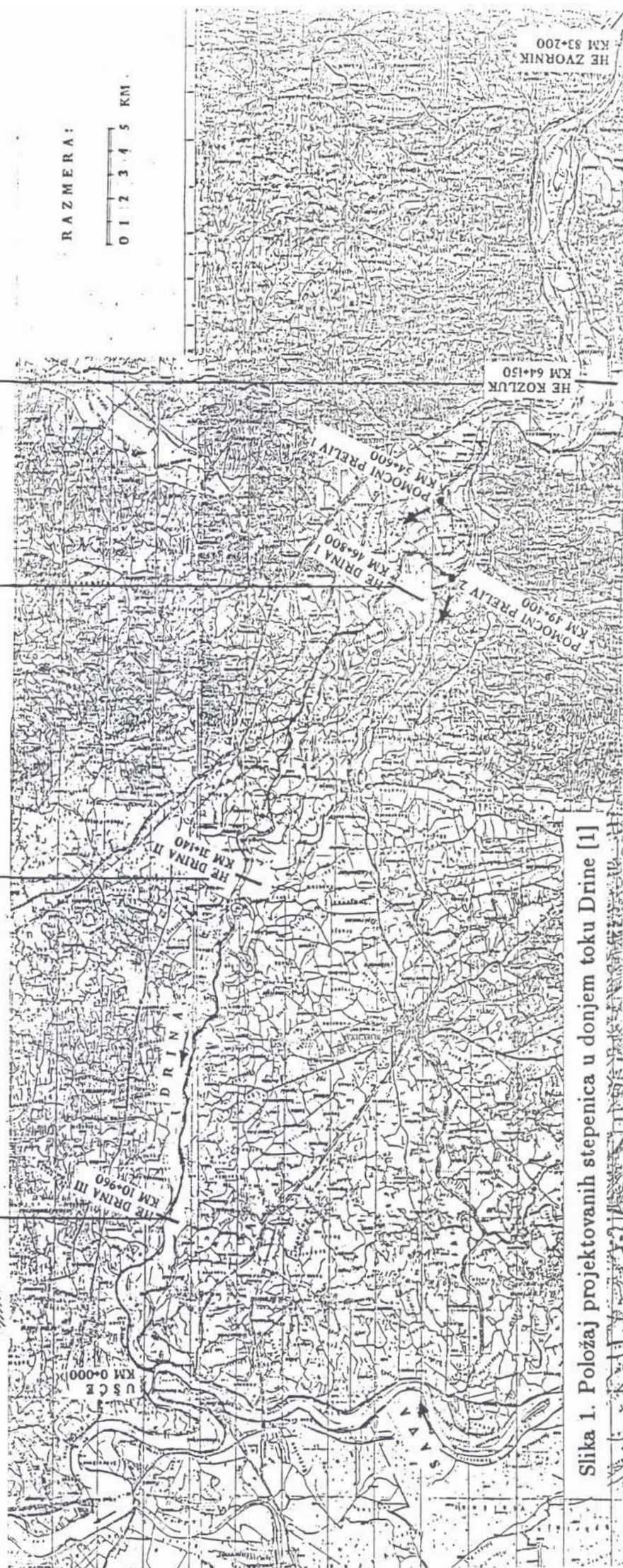
Važan element ovog sistema predstavljaju dva "pomoćna" preliva za ispuštanje viška vode iz kanalisnog korita u inundacije (Slika 1). Predviđeno je da oba preliva budu visine 4 m, širine 40 m, sa kotom krune 113,90 mnm [1]. Pomoćni prelivi bi funkcionisali kao slobodni, ili kao prelivi sa kontrolisanim isticanjem ispod ustava.

¹Gradjevinski fakultet, Beograd

²"Energoprojekt", Beograd



RAZMERA:



Slika 1. Položaj projektovanih stepenica u donjem toku Drine [1]

U proračunu neustaljenog tečenja uzete su u obzir sve specifičnosti ovog sistema kao što je na primer, postojanje više brana u nizu, tečenje po inundaciji, usputna promena protoka, itd.

3. Metoda proračuna

Proračuni su obavljeni pomoću modela linijskog neustaljenog tečenja na bazi proširenih jednačina St. Venant-a kako bi se omogućilo razdvajanje protoka na protok osnovnog – rečnog korita i na protok inundacija [4]:

$$\frac{\partial S(A + A_o)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(SQ)}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + I_t + I_k\right) + L = 0 \quad (2)$$

Oznake u jednačinama održanja mase i količine kretanja (1)–(2) date su u prilogu. U članu koji predstavlja pad energije usled linijskih gubitaka:

$$I_t = \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} = \frac{Q |Q|}{K^2}, \quad (3)$$

izvršeno je rasčlanjenje modula protoka na sledeći način:

$$K = K_r + K_l + K_d \quad (4)$$

$$K_r = A_r R_r^{2/3} / (n_r S^{1/2}) \quad (5)$$

$$K_l = A_l R_l^{2/3} / n_l \quad (6)$$

$$K_d = A_d R_d^{2/3} / n_d \quad (7)$$

U gornjim jednačinama indeksi "r", "l" i "d" označavaju rečno korito, levu i desnu inundaciju. Parametar "S" u jednačinama (1), (2) i (5) predstavlja "faktor sinusoidnosti" – odnos dužine toka po osnovnom, minor koritu i po inundacijama, ponderisan u funkciji priraštaja površine poprečnog preseka u cilju očuvanja zapremine [5]:

$$S_J = \frac{\sum_{m=2}^{m=J} \Delta A_{rm} S_m + \Delta A_{lm} + \Delta A_{dm}}{A_{rm} + A_{lm} + A_{dm}}, \quad (8)$$

pri čemu je $\Delta A = A_{m+1} - A_m$, a S_m – faktor sinusoidnosti za deo korita između dubina "m" i "m+1".

4

Koeficijent količine kretanja koji se uvodi zbog neuniformnosti brzine po profilu može se sračunati na sledeći način [4], [6]:

$$\beta = \frac{K_l^2/A_l + K_r^2/A_r + K_d^2/A_d}{(K_l + K_r + K_d)^2/(A_l + A_r + A_d)} \quad (9)$$

dok faktor "L" u jednačini (2) predstavlja korekcionni faktor količine kretanja usled bočnog (d)oticaja upravno na glavni tok [4]:

$$L = 0 \quad (\text{dotok}) \text{ ili } L = -qQ/A \quad (\text{otica}) \quad (10)$$

Pad linije energije usled lokalnih gubitaka definiše se na standardni način:

$$I_k = \frac{\xi \Delta(Q/A)^2}{2g\Delta x} \quad (11)$$

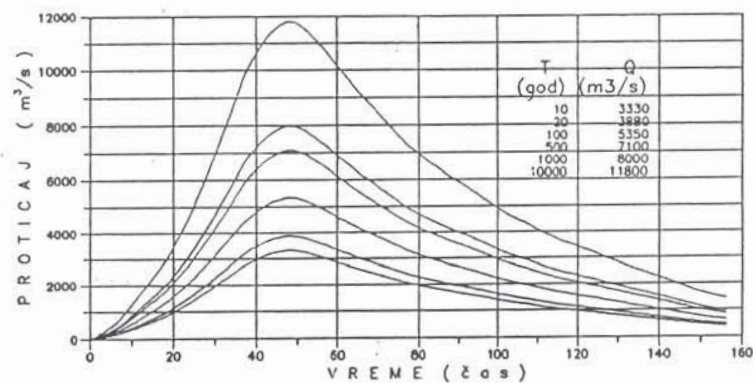
u funkciji koeficijenta lokalnog gubitka " ξ " i promene brzinske visine " $\Delta(Q/A)^2/2g$ " u profilima na međusobnom odstojanju " Δx ".

Sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina (1)–(2) sa odgovarajućim početnim i graničnim uslovima, rešava se numerički, metodom konačnih razlika, prema poznatoj implicitnoj shemi čije se objašnjenje može naći u brojnoj specijalizovanoj literaturi [4], [6]. Treba napomenuti da se pored ulaznog hidrograma i krive protoka kao graničnih uslova na uzvodnom, odnosno nizvodnom kraju računске deonice, zadaju u profilima brana dodatni, "unutrašnji" granični uslovi u formi krivih protoka (preliv, turbina, ustava, i dr.).

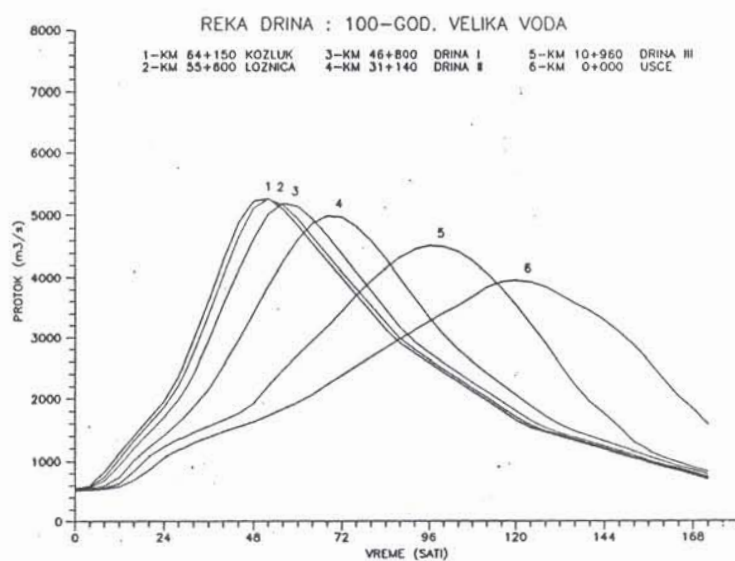
4. Transformacija poplavnih talasa u prirodnim uslovima

Proračunom propagacije talasa u prirodnim uslovima obuhvaćene su velike vode povratnog perioda 10, 20, 100, 500 i 1000 godina (Slika 2-a). Osnovni rezultati sumirani su u Tabeli 1, a na Slikama 2 b-c prikazana je vremenska i prostorna transformacija poplavnih talasa 100-godišnjeg i 1000-godišnjeg povratnog perioda. Može se uočiti da je stepen amortizacije veći kod redjih povratnih perioda jer su plavljenjem zahvaćene veće inundacione površine.

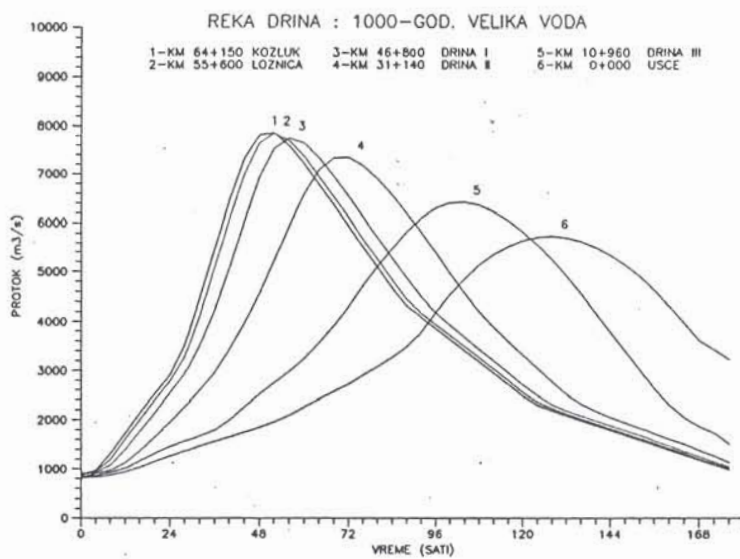
r. Drina
v.st. Zvornik



(a)



(b)



(c)

Slika 2. Računski poplavni talasi [1] (a) i njihova transformacija u prirodnim uslovima (b)-(c)

Tabela 1. Maksimalni protoci (m³/s) u merodavnim profilima

Povr. period (god)	Stacionaža (km)					
	83+200 (Zvornik)	64+160 (Kozluk)	46+800 (Drina I)	31+140 (Drina II)	10+960 (Drina III)	0+000 (Ušće)
10	3330	3290	3260	3190	2980	2670
20	3880	3835	3790	3700	3410	3000
100	5350	5290	5200	5030	4550	3954
500	7100	7026	6900	6600	5800	5170
1000	8000	7920	7770	7430	6490	5740

Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima nekih ranijih analiza. Konstatovano je veoma dobro slaganje maksimalnih protoka sa onim iz studije Instituta "Jaroslav Černi" iz 1987. godine [3], koji su dobijeni korišćenjem uprošćenih metoda proračuna. Time je potvrđen retenzioni potencijal inundacionih površina na ovom sektoru Drine. Koristeći podatke vodomernih stanica Zvornik, Županja i Sremska Mitrovica o nekim ranije registrovanim talasima na Drini i Savi, konstatovano je da su sračunata vremena propagacije realna.

5. Transformacija poplavnih talasa nakon uredjenja Drine za potrebe hidroenergetskog korišćenja

U proveru režima oticaja velikih voda nakon izgradnje projektovanog sistema, naročito se vodilo računa o postavljenom uslovu da se mora izbeći koincidencija velikih voda Drine i Save. "Kako drinske vode brže pristizu od voda Save /prema proračunima Prof. D. Srebrenovića ... za 1,6–3,5 dana/, to je veoma važno da se ili zadrži isto stanje, ili ako je moguće da se postigne još veće ubrzanje propagacije velikih voda kroz Drinu datom izgradjenošću u slivu, a ukoliko je moguće treba iskoristiti i pretpražnjenje bazena" [7].

Imajući u vidu ovu konstataciju, u proračunima su korišćeni različiti početni i granični uslovi kako bi se sagledali efekti ispuštanja vode preko pomoćnih preliva u inundacije (kontrolisano ili slobodno), kao i efekti pretpražnjenja akumulacija.

U nastavku se daje prikaz nekih analiziranih varijanti. Tako su u analizi evakuacije 1000-godišnje velike vode proverene dve mogućnosti:

(i) da se sve akumulacije pretprazne do kota krune preliva, a da svi prelivi u sistemu "rade" kao slobodni, sa potpuno podignutim ustavama; deo talasa se u tom slučaju iz kanalisanog korita preliva preko pomoćnih preliva u inundacije, a raspodela protoka na kanalisano korito i na dve inundacije vrši se prirodnim putem, prema trenutnom dotoku;

(ii) da se kote normalnog uspora u svim akumulacijama održavaju konstantnim, a da se višak dotoka kontrolisano ispušta preko pomoćnih preliva, s tim da količine ispuštene vode u jednu, odnosno drugu inundaciju, budu identične.

Najpre će se prikazati rezultati prve varijante.

Na Slici 3-a prikazani su hidrogrami oticaja u inundacije, koji nastaju kao što je rečeno, slobodnim prelivanjem preko pomoćnih preliva. Može se uočiti da je uzvodni preliv više opterećen od nizvodnog i da talasi koji se upuštaju u inundacije nisu identični. Ovo je posledica izabranog položaja pomoćnih preliva.

Na Slici 3-b prikazani su maksimalni protoci. Vidi se značajan uticaj pomoćnih preliva na smanjenje protoka u kanalisanom koritu na potezu Drina I-Drina III. U slučaju 1000-godišnje velike vode, ovo smanjenje iznosi 1707 m³/s na uzvodnom, odnosno 1429 m³/s na nizvodnom pomoćnom prelivu.

Transformacija onog dela poplavnog talasa koji se kreće kanalisanim koritom Drine prikazana je na Slici 3-c. S obzirom na mali retenzioni kapacitet kanalisanog korita, može se konstatovati da se na potezu Drina I-Drina III radi praktično o translaciji talasa, bez značajnije amortizacije, sa maksimalnim protokom od oko 4600 m³/s. Na Slici 3-d prikazani su nivogrami u profilima projektovanih brana i to neposredno uzvodno i nizvodno od svake brane. Može se videti da maksimalne kote nivoa dostižu kote normalnog uspora, tako da je sigurnost brana i nasipa osigurana. (Između kota normalnog uspora i kota krune brana postoji rezerva od 1,5 m).

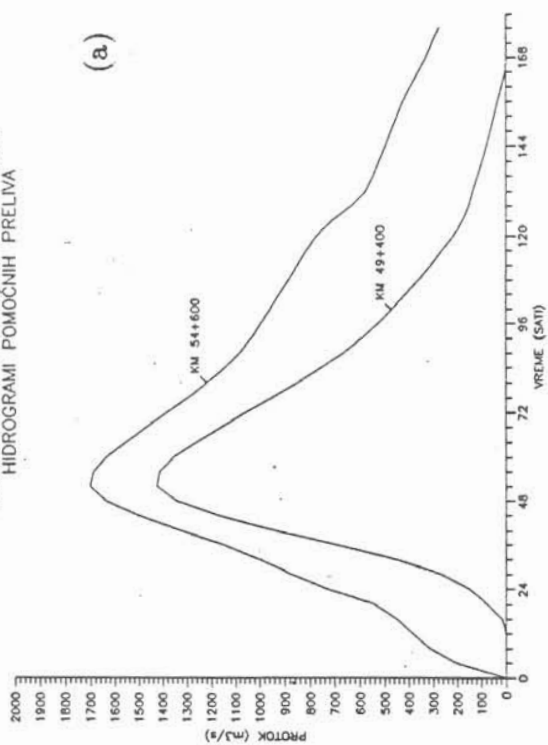
Na Slici 4 a-b prikazana je transformacija delova talasa koji se kreću inundacijama, a na Slici 4-c, rezultat sumiranja u profilu Drina III, talasa koji su prispeli iz inundacija i iz kanalisanog korita. Evidentna je različita brzina propagacije ovih talasa, pri čemu najbrže pristiže talas kanalisanim koritom, a najsporije talas koji se kreće levom inundacijom. Proračun transformacije tako dobijenog sumarnog talasa na potezu od Drine III do ušća daje hidrogram prikazan na Slici 4-d. Može se uočiti smanjenje maksimalnog protoka za 1650 m³/s u odnosu na prirodno stanje, kao i njegova ranija pojava za oko 24 sata. To znači da se poboljšava evakuacija 1000-godišnje velike vode u odnosu na sadašnje stanje.³

Prema varijanti (ii) je kao što je rečeno, predviđeno održanje kota normalnog uspora u svim akumulacijama konstantnim, uz kontrolisano ispuštanje vode u inundacije, ali tako da su ulazni hidrogrami u levu, odnosno desnu inundaciju, identični. Ovo bi se postiglo automatizovanom i sinhronizovanom manipulacijom ustava na pomoćnim prlivima i na prelivima brana. Maksimalni dozvoljeni protok u kanalisanom koritu iznosio bi 4080 m³/s (Slika 5), što odgovara maksimalnoj propusnoj moći preliva brana Drina I - III. Pri tome je pretpostavljeno da se talas na potezu od Zvornika do uzvodnog pomoćnog preliva (km 54+600) propagira bez značajnije amortizacije, obzirom da je akumulacija Kozluk puna, a da je na ovom sektoru dolina relativno uska.

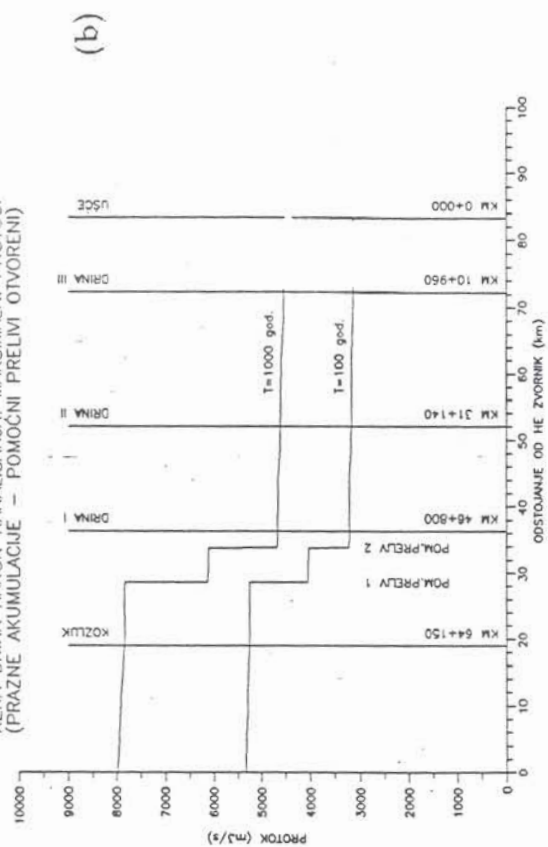
Rezultati proračuna po ovoj varijanti prikazani su na Slici 6 a-d. Analizom dobijenih hidrograma u profilu "Ušće" (Slika 6-d) vidi se smanjenje maksimalnog protoka (za 1600 m³/s), kao i ubrzanje talasa (vrh dospeva 12 sati ranije). Može se zaključiti da su i po ovoj varijanti uslovi oticaja na ušću povoljni sa gledišta moguće koincidencije drinskih i savskih velikih voda.

³U proračunima je pretpostavljeno da se talas nizvodno od profila Drina III rasplinjava u ravnici Mačve i Semberije, jer postojeći nasipi nisu sistematski izgrađeni na celoj dužini

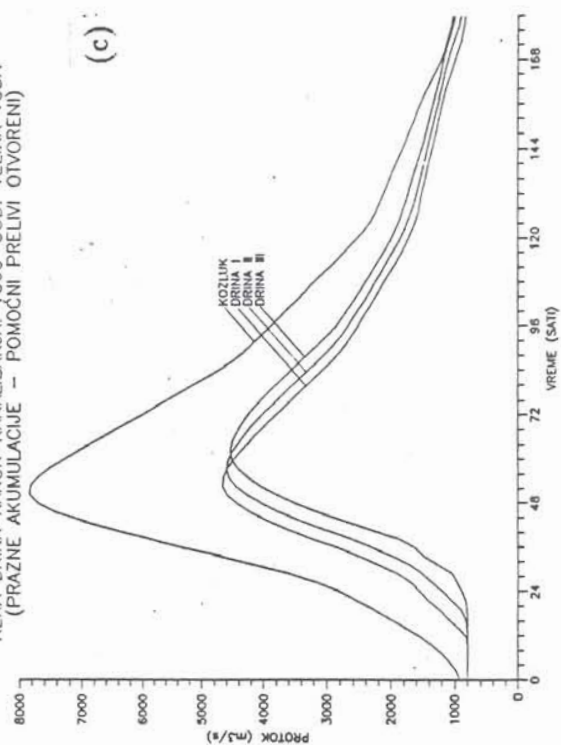
REKA DRINA : 1000-GOD. VELIKA VODA
HIDROGRAMI POMOCNIH PRELIVA



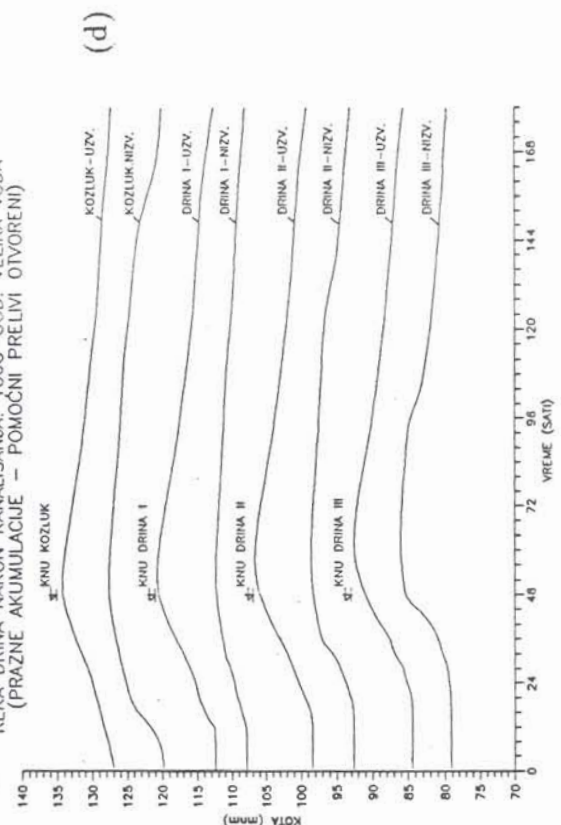
REKA DRINA NAKON KANALISANJA: MAKSIMALNI PROTOCI
(PRAZNE AKUMULACIJE – POMOCNI PRELIVI OTVORENI)



REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
(PRAZNE AKUMULACIJE – POMOCNI PRELIVI OTVORENI)

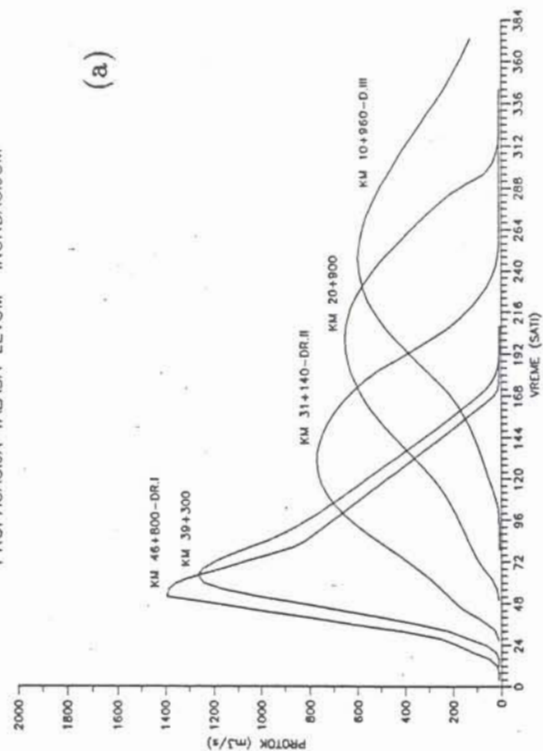


REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
(PRAZNE AKUMULACIJE – POMOCNI PRELIVI OTVORENI)

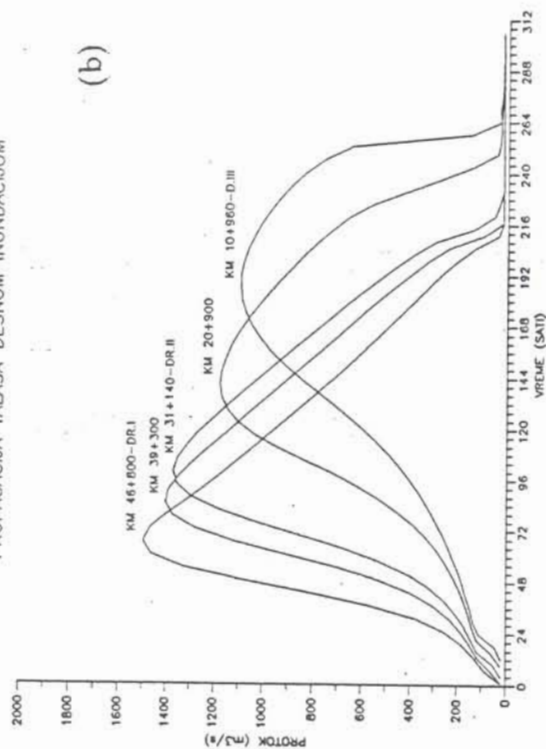


Slika 3. Hidrogrami slobodnog oticanja u inundacije (a) i transformacija 1000-god. velike vode kroz kanalisano korito Drine (b)-(d)

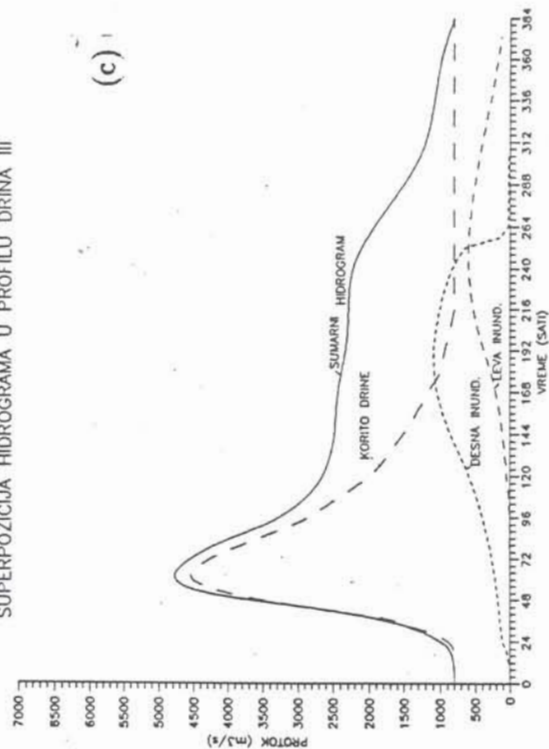
REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VEL. VODA
PROPAGACIJA TALASA LEVOM INUNDACIJOM



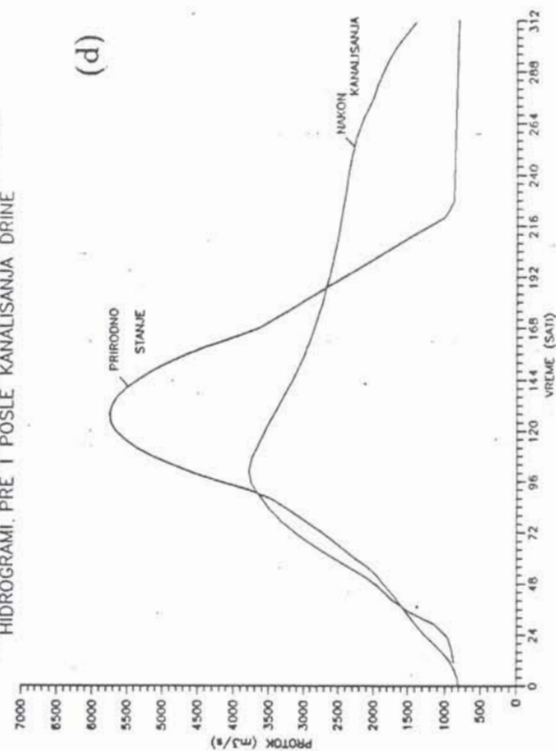
REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VEL. VODA
PROPAGACIJA TALASA DESNOM INUNDACIJOM



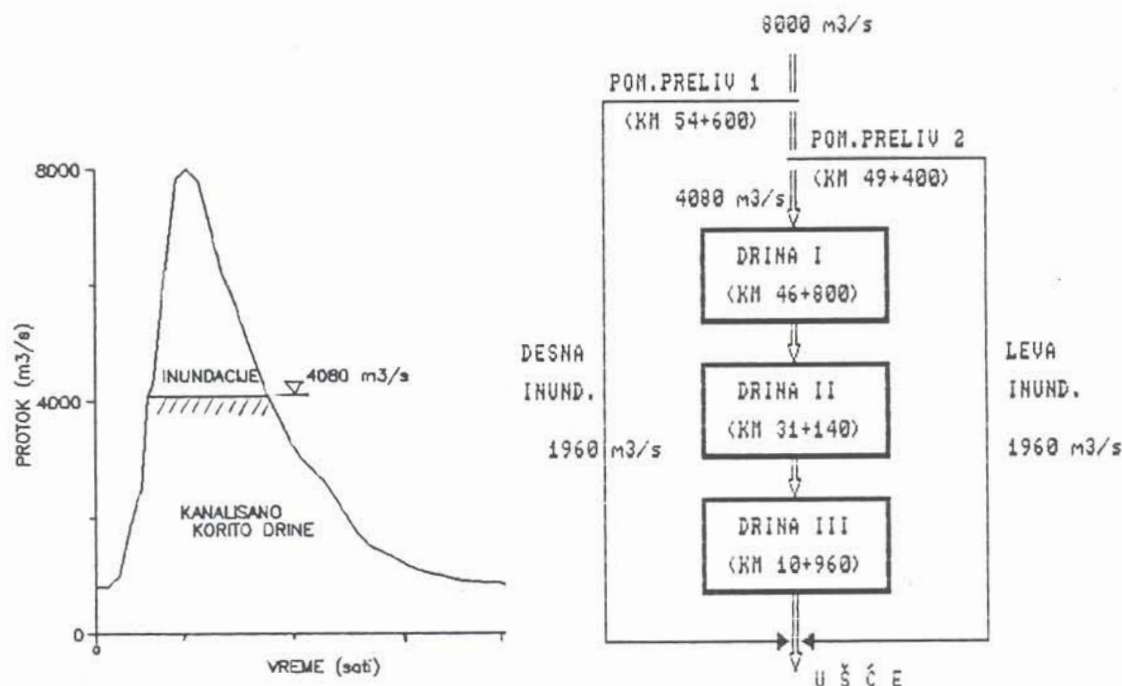
REKA DRINA NAKON KANALISANJA : 1000-GOD. VELIKA VODA
SUPERPOZICIJA HIDROGRAMA U PROFILU DRINA III



REKA DRINA : 1000-GOD. VELIKA VODA - PROFIL UŠĆE
HIDROGRAMI, PRE I POSLE KANALISANJA DRINE



Slika 4. Transformacija talasa 1000-god. velike vode u slučaju pretpražnjenja akumulacija i slobodnog ispuštanja vode u inundacije



Slika 5. Shematski prikaz limitiranja protoka u kanalisanom koritu Drine i raspodele protoka 1000-godišnje velike vode [1]

Kvalitativno slični rezultati se dobijaju i za talas 100-godišnje velike vode, ako se primeni ista shema kontrolisanog ispuštanja. Medjutim, pokazano je da ukoliko se izvrši pretpražnjenje svih akumulacija do kota krune preliva, oslobodila bi se dovoljna zapremina da u potpunosti prihvati talas 100-godišnje velike vode. U tom slučaju bi ustave na pomoćnim prelivima bile spuštene, a inundacije sačuvane od plavljenja.

6. Zaključci

Na osnovu obavljenih proračuna može se zaključiti sledeće:

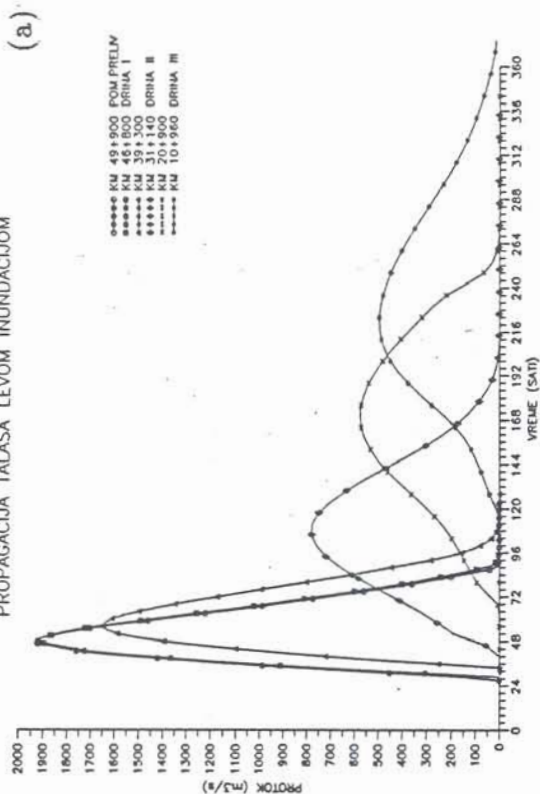
- U sadašnjim uslovima postoji značajna retenzionna sposobnost inundacija u donjem toku Drine za prijem i amortizaciju velikih voda.

- Nakon izgradnje stepenica Kozluk, Drina I, Drina II i Drina III, postoji više mogućnosti da se planski utiče na evakuaciju velikih voda, vodeći računa o funkcionisanju sistema, obimu plavljenja Mačve i Semberije i o koincidenciji velikih voda Drine i Save.

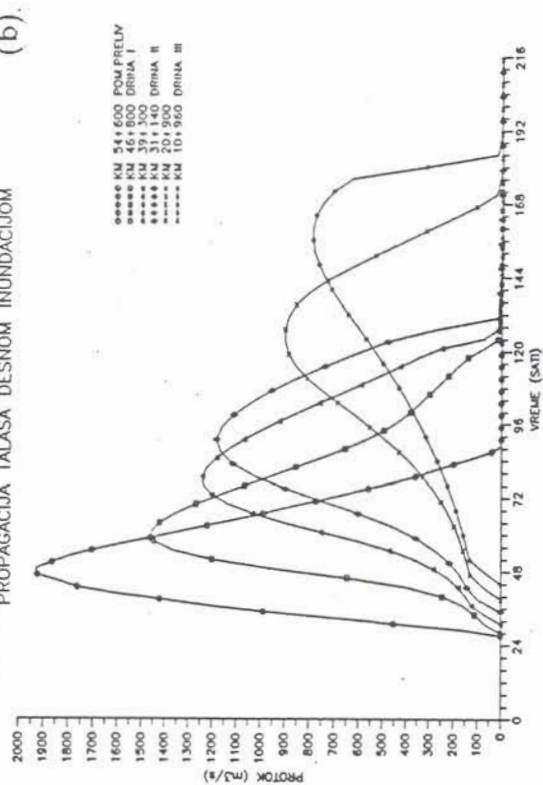
- Pretpražnjenje akumulacija uz slobodno ispuštanje vode u inundacije imalo bi smisla samo za 1000-god. veliku vodu, dok bi se talas 100-godišnje velike vode (ili nekog češćeg povratnog perioda), mogao u potpunosti prihvatiti u kanalisanom koritu, pa nema potrebe za plavljenjem inundacija. Oticanje vode u inundacije slobodnim prelivanjem preko pomoćnih preliva dovelo bi do većeg plavljenja desne inundacije, što je posledica usvojenog položaja pomoćnih preliva.

- Kontrolisanim ispuštanjem vode u inundacije pomoću ustava na pomoćnim prelivima uz održanje kota normalnog uspora u svim akumulacijama, može se

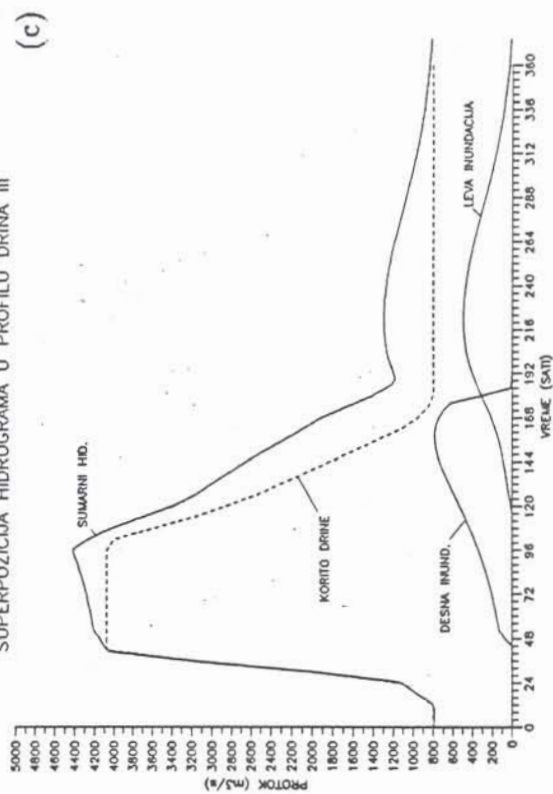
REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
PROPAGACIJA TALASA LEVOM INUNDACIJOM



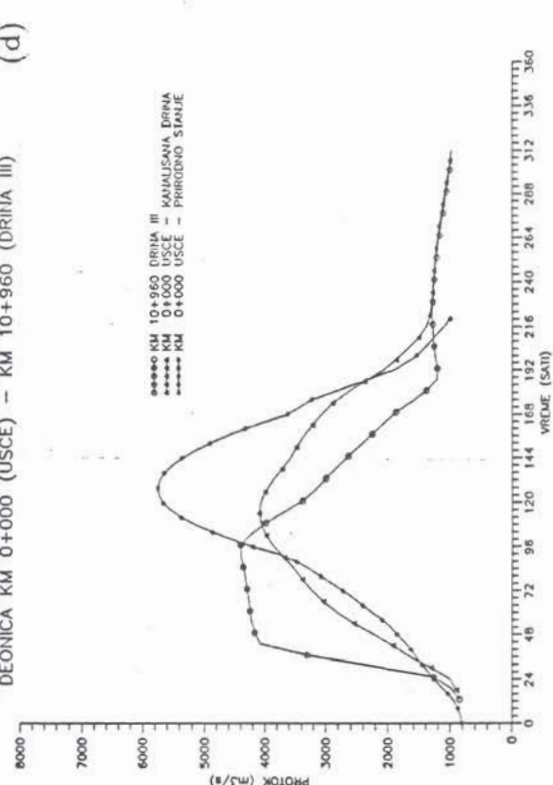
REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
PROPAGACIJA TALASA DESNOM INUNDACIJOM



REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
SUPERPOZICIJA HIDROGRAMA U PROFILU DRINA III



REKA DRINA NAKON KANALISANJA: 1000-GOD. VELIKA VODA
UTICAJ KONTROLISANOG ISPUŠTANJA VODE U INUNDACIJE
DEONICA KM 0+000 (USCE) - KM 10+960 (DRINA III)



Slika 6. Transformacija talasa 1000-god. velike vode u slučaju održanja kota normalnog uspora i kontrolisanog ispuštanja vode u inundacije

ispuniti uslov da obe inundacije budu izložene plavljenju talasima istih karakteristika, a da se pri tome ne pogoršaju uslovi na ušću Drine. Ovo bi se moglo postići jedino automatizovanim i sinhronizovanim radom svih ustava. Raspodela protka na dve inundacije se naravno, može usloviti i nekim drugim kriterijumima, kao što su na primer kriterijumi jednakosti plavljenih površina, ili jednakosti šteta na levoj, odnosno desnoj obali. U tom slučaju bi se morao preispitati predloženi položaj pomoćnih preliva i računom definisati optimalni režim rada svih ustava u sistemu.

- U svim razmatranim varijantama, uslovi na ušću bi se poboljšali u odnosu na sadašnje, prirodno stanje.

Spisak oznaka

x, t odstojanje u pravcu toka i vreme (nezavisno promenljive)
 Q, Z ... protok i kota nivoa (zavisno promenljive)
 q jedninični protok (dotok ili oticaj)
 A, A_0 .. površina aktivnog i neaktivnog dela poprečnog preseka
 I_t, I_k .. padovi linije energije usled linijskih i lokalnih gubitaka
 S faktor sinusoidnosti
 β koeficijent količine kretanja
 n Manning-ov koeficijent trenja
 L korekcionni koeficijent količine kretanja usled bočnog (d)otoka
 g gravitaciono ubrzanje

Literatura

1. "Studija hidroenergetskog iskorišćenja donje Drine na potezu od Zvornika do ušća" - "Energoprojekt", Beograd, 1991.
2. Dr M.Jovanović "Analiza propagacije poplavnih talasa u donjem toku Drine pre i posle izgradnje hidroelektrana Kozluk, Drina I, Drina II i Drina III", Beograd, 1991.
3. "Idejno rešenje uređenja reke Drine na sektoru od ušća do Zvornika" – Knjiga I: "Terenski istražni radovi", Sveska 3.1: "Geodetska snimanja – situacija i dolinski profili"; Knjiga II: "Analize", Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1987.
4. Fread, D.L. "The NWS Dambrk Model", National Weather Service, Maryland, 1988.
5. De Long, L.L. "Mass Conservation: 1-D Open Channel Flow Equations", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 115, No.2, Feb. 1989.
6. Cunge, J.A., Holly, F.M., Verwey, A., "Practical Aspects of Computational River Hydraulics", Pitman, London, 1980.
7. "Korišćenje voda Tare, Pive, Lima, Drine, Morače i Zete", Osnovni projekat, Knjiga XI: "Odbrana od poplava", "Energoprojekt", Beograd, 1970.

13

Transformation of Flood Waves on Lower Drina Before and After Construction of Power Plants Kozluk, Drina I, Drina II and Drina III

Abstract

This paper deals with transformation of hypothetical flood waves in the lower basin of the river Drina. It gives answers on several questions important for the design of the proposed system of four power plants, concerning the present attenuation capacity of floodplains, and the optimal strategy of flood control, once the system is completed. Using different initial, external and internal boundary conditions, several possibilities have been investigated, involving full and empty reservoirs and free and controlled discharge into the floodplains.