

rijetkosti i ljepote prirode

ING. EMIN MILJKOVIĆ

UREĐENJE VODOPADA I KORITA RIJEKE PLIVE U JAJCU

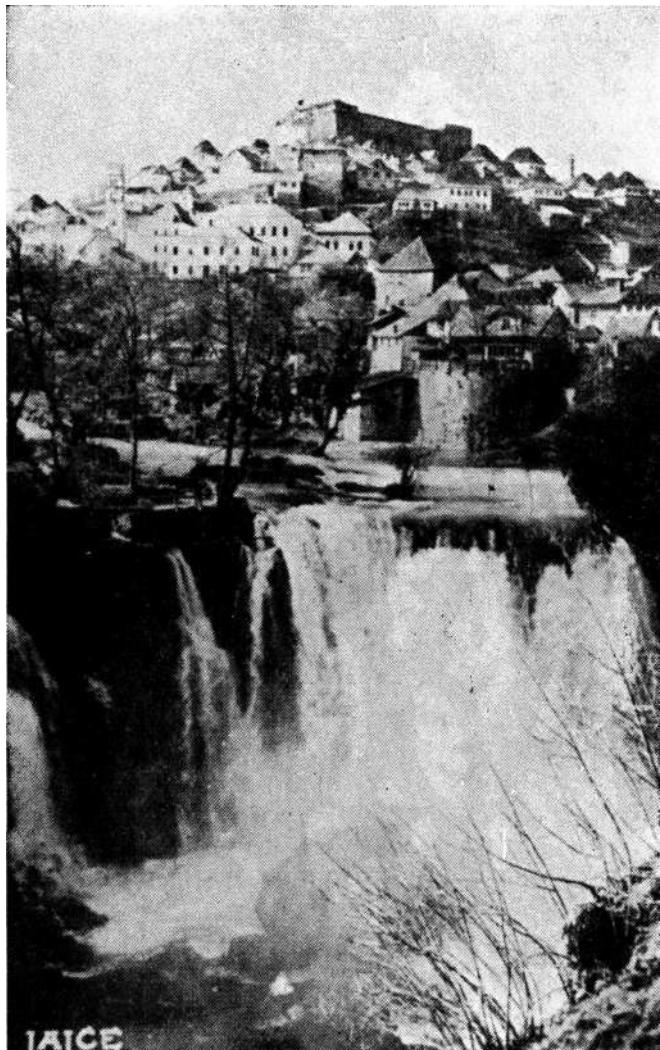
1. UVOD

Poznato je da vodopad na rijeci Plivi i njena živopisna jezera spadaju u red prirodnih ljepota kakvih nemamo mnogo. Zadnjih decenija vodopad i korito Plive u gradu Jajcu zahvatila je intenzivnija erozija i u par navrata došlo je i do većih urušavanja. Da bi se sprječila erozija, vršeni su tehnički zahvati na samom vodopadu prije Prvog svjetskog rata, kao i između Prvog i Drugog svjetskog rata. Voda je i to porušila i nastavila sa produbljenjem korita i same krune vodopada. Svrha ovog članka je da iznese uzroke erozije, njihovo sagledavanje i probleme sa kojima smo se susreli pri projektovanju i izvođenju sadašnjeg uređenja vodopada i korita rijeke Plive u Jajcu, izvedenog u ljetu 1958 godine.

Korito rijeke Plive od njenog ušća u rijeku Vrbas pa do ispod sela Jezera sačinjava sedra. Na tom dijelu Pliva pravi svoje Veliko, Malo i Okruglo jezero te još niz kaskada i barijera od sedre da bi se najzad preko poznatog vodopada obrušila u Vrbas. Sedru stvaraju mahovine i alge određenog tipa u slatkoj vodi koja mora za to imati određene uvjete. Te biljke stvaraju sedru, ustvari kalcium karbonat, iz vode koja ima dosta kalcium bikarbonata. Rasprostranjenost sedre je velika i dobar dio grada Jajca leži na sedri. Prema podacima geologa Dr. Haberlehnera (1), debljina sedrenog sloja kreće se od 60 do 70 m u ovom dijelu korita. Ranije je proces stvaranja sedre bio intenzivniji i jači od procesa erozije, što se da zaključiti po gornjim horizontima sedre koja seže i do kote 405 u gradu. Na tom višem horizontu na lijevoj obali Plive iskopane su iz sedre ruševine hrama boga Mitrasa koji datira iz IV. stoljeća (po Dimitriju Sergijevskom). Na osnovu tog hrama je Dr. Haberlehner grubo proračunao napredovanje erozije. Korito Plive se 45 m usjeklo u sedru za vrijeme od oko 1000 godina. Zadnjih decenija erozija je intenzivnija, što je dokazano mjeranjima

1952 i 1957 god. Poznato je da je korito Plive bilo mnogo šire i da se prostiralo ispod cijele dužine kolskog mosta. Bilo je obrasio drvećem a na obalama je postojao niz vodenica, sve do vodopada. Nivo vode ispod mosta bio je tada svega 4 m, 1952 g. ta razlika je izmjerena 7,5, a 1957 g. 9,0 m. Kruna vodopada je doživljavala isti proces. Opšte je poznato da je vodopad bio bliži rijeci Vrbasu za oko 30 m još u skoroj prošlosti, pa je 1947 g. došlo do rušenja toga dijela. Neposredno uz krunu bilo je veće drveće i žbunje. Kruna je bila približno na istoj koti i voda se prelijevala po čitavoj širini (Vidi sl. 1).

Kao što se vidi, erozija je zadnjih decenija bila neobično brza. Da bismo odredili uzroke tome, trebalo se upoznati sa uvjetima koji su potrebni pri radu sedrotvoraca i taloženja sedre. Detaljnija istraživanja u ovom pitanju izvršio je Dr. Zlatko Pavletić na rijeci Krki i Plitvičkim jezerima (2), (3) i (4). Ekološki uvjeti za rad sedrotvoraca, koje Dr. Pavletić naziva briofitima, jesu ovi: potrebna određena svjetlost, najbolje 100% izloženost svjetlu; temperatura vode 10,3–23,4°C kao šira granica, dok je ona različita unutar navedenih granica za različite briofite; brzina vode od 0,5–3,5 m/sek i, najzad hidrokemijski sastav vode: alkaliitet od 3,6–2,7, tj. bogastvo karbonatima; tvrdoća vode 10,2–7,6 njem. stupnjeva, količina slobodne CO₂ i veličina pH od 7,1–7,5. Ovo su analize sa rijeke Krke a prema (5) i na rijeci Plivi u njenom gornjem toku na barijeri Velikog i Malog jezera uvjeti se kreću u navedenim granicama, dok su u koritu uzvodno od vodopada brzine moguće biti veće. Porofitna vegetacija, prema Dr. Pavletiću (5), dosta je razvijena, te su između ostalih mahovina najviše zastupljene *Platyhypnidium rusciforme* kao biljka svjetla i pri jakom rasprskavanju vode, *Cinclidotus aquaticus* i *riparius*, *Fissidens crassipes* var. *mildeanus*, *Eucladium verticillatum*.



Sl. 1. Izgled vodopada 1947 godine

latum, *Didymodon tophaceus* i *bosniacus*, *Cratoneurom commutatum* i druge, a od algi: *Lemanee*, *Vaucheria*, *Cladophora* i zignemaceje. Sve su one nađene u dosta velikim količinama u gornjem, dijelu korita oko jezera i u manjim količinama u koritu u gradu i na vodopadu.

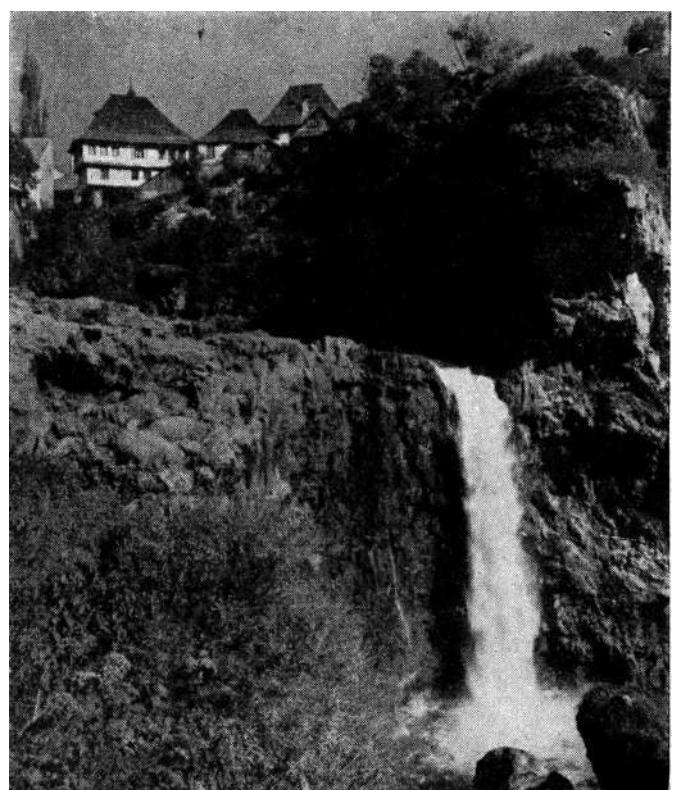
Kao što je navedeno, erozija je počela davno, a uzrok joj je bio duži geomorfološki proces, uvjetovan promjenom hidroloških osobina rijeke. Upočetku taj proces traje sporije jer su sedrotvorci donekle nadoknađivali odnošenu sedru. Može se predpostaviti da su se kroz duži period mijenjali uvjeti kao što je temperatura, kemijski sastav a i količine vode. Vidimo da je erozija posljednjih decenija mnogo veća, što se može objasniti jedino ovim:

a) Promjena režima rijeke Plive nizvodno od Velikog jezera nakon izgradnje hidroelektrane sa gravitacionim zahvatom na Velikom jezeru 1895 g. Instalirani protkaj je bio maksimum 16 m³/sek. Srednja voda rijeke Plive iznosi 42 m³/sek, minimalna 12 m³/sek i maksimalna 100 godišnja

voda 178 m³/sek. Ugovorom je bilo predviđeno da će se kroz grad puštati ljeti min. 3 m³/sek. Kako to niko nije kontrolirao, skoro uvijek je za vrijeme malih voda puštana manja količina vode. Naročito se to dešavalo nakon postavljanja nadvišenja od dasaka na pragu na sedrenoj barijeri Velikog jezera 1946 g. Tada je kroz grad teklo samo oko 1 m³/sek vode, pa je korito ostajalo suho, kao i kruna vodopada i sedrotvorci su ginuli. (Vidi sl. 2 i 3).

Zaštićena mahovinom sedra odolijeva abanju vode; nestankom mahovine nestaje zaštitne prevlake. Kad voda ponovo nadođe, nastaje rušenje i odnošenje sedre. Voda se usjeca u korito i samo kroz te usjake i brzace teku male vode, a mnogo veći dio korita ostaje suh. Na taj način se i na kruni vodopada voda prebacila potpuno na lijevu stranu (Vidi sl. 2). Navedenim zahvatom oduzete su koritu male vode pri kojima bi bila moguća regeneracija sedre, a srednje i velike vode su vršile stalnu eroziju.

b) Nestručno prilaženje popravkama na vodopadu i učvršćenju obala je drugi uzrok erozije. Prvi put je kruna izravnata i asanirana prije Prvog svjetskog rata. Pobijeni su drveni šipovi koji su nosili prag od kamena i betona. Ostaci šipova se vide i danas. Na sličan način je asanacija izvršena i između dva rata, samo sa većim i masivnijim betonskim pragom. Sve to sada leži srušeno u koritu Vrbasa. Do rušenja je došlo zbog nepoznavanja tehničkih karakteristika sedre. Pobijanje ši-



Sl. 2. Izgled vodopada 21. X. 1956 god.

pova je izazvalo pucanje sedre, što je imalo za posljedicu postepeno prodiranje vode i razaranje. Masivni beton je bio preveliko opterećenje za sedru.

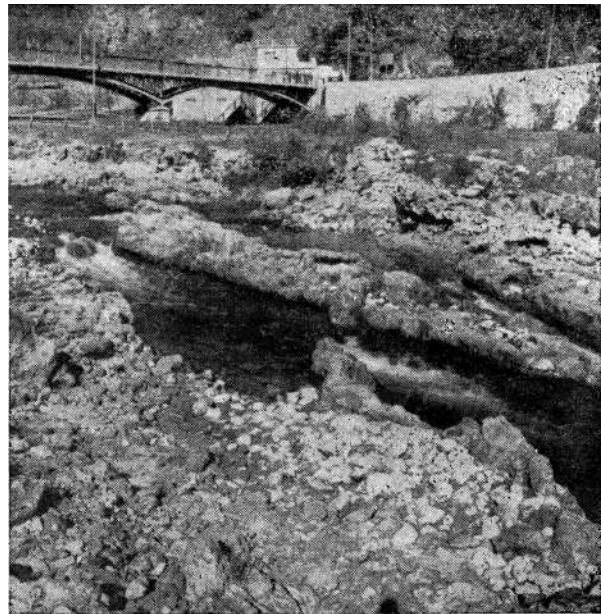
Učvršćenje obala je izvedeno ispred sadašnje zgrade AVNOJ-a pobijanjem žmurja (pribuja). Dakle, ista greška.

Urušavanjem krune vodopada i stalnim njenim sniženjem došlo je do promjene pada ravnoteže; pad dna korita je znatno povećan, a, prema tome, i brzine toka vode pri čemu je onemogućen rad sedrotvoraca a time posješena erozija.

c) Pri nadolasku katastrofalne velike vode 1932 g. erozija je bila ogromnih razmjera. Korito je usječeno za jednu noć oko 2,0 m. Tada je zaprijetila opasnost temeljima željezničkog mosta jer je ispod njega u koritu iskopana velika rupa. Da bi se to spriječilo, bacane su ogromne količine kamena sa mosta u korito. Zatrpanjanjem rupe spriječilo se ustvari, uništenje vodene energije i nastavljeno je dalje dubljenje korita sve do ponovnog stvaranja rupe kao vodenog jastuka.

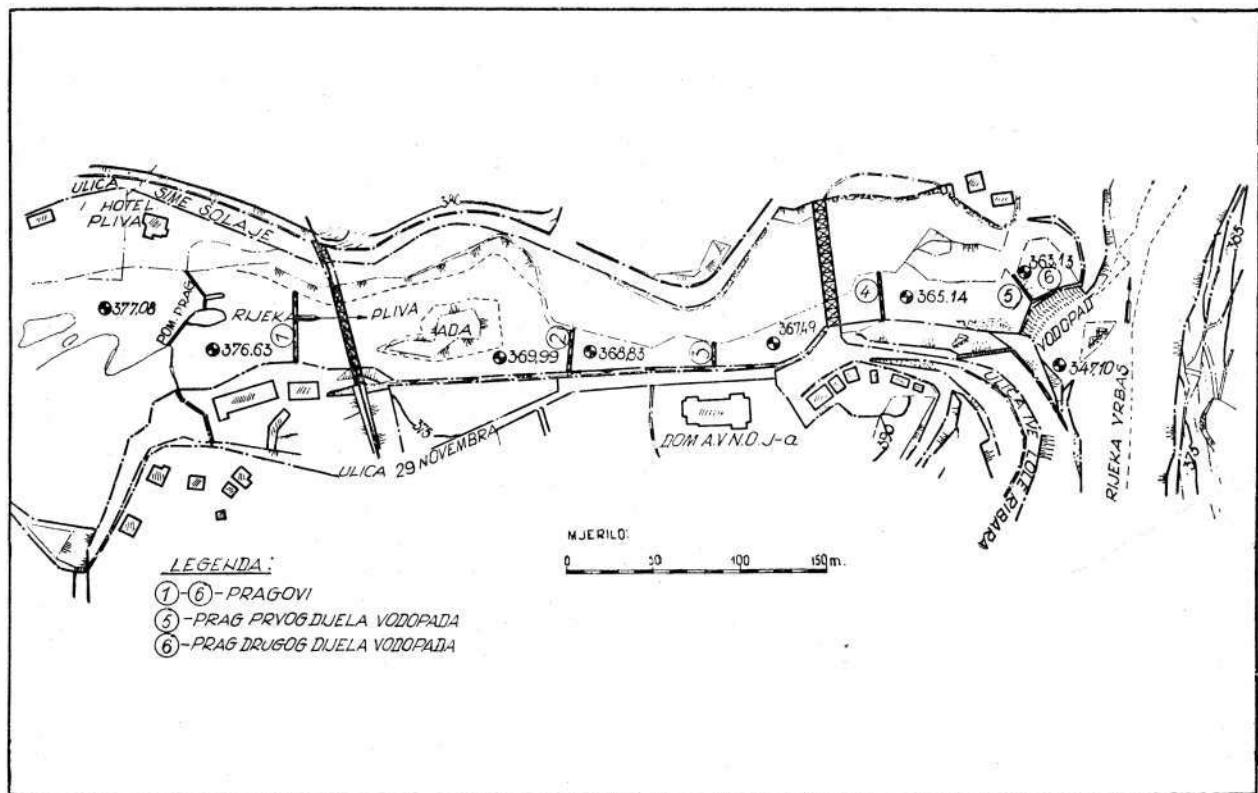
d) Ostali zahvati u koritu kao: navraćanje vode na vodenice, parcijalne regulacije, vađenje sedre kao građevinskog materijala i drugo, doprinijeli su također stvaranju erozije.

Pri ovim otežanim uslovima rada sedrotvoraca dolazi do pogoršanja još i zbog upuštanja otpadnih voda u korito Plive. Dakle, glavni uzrok erozije su



Sl. 3. — Izgled suhog korita između vodopada i kolskog mosta 21. X. 1956 god.

velike oscilacije količine vode i ostavljanje veće površine korita rijeke bez vode kroz duže vrijeme. Takvo stanje je utvrdio i prof. Dr. I. Pevalek (6) koji je iznio mišljenje da bi ma kakvi poduhvati za sprečavanje dalje erozije bili bez uspjeha.



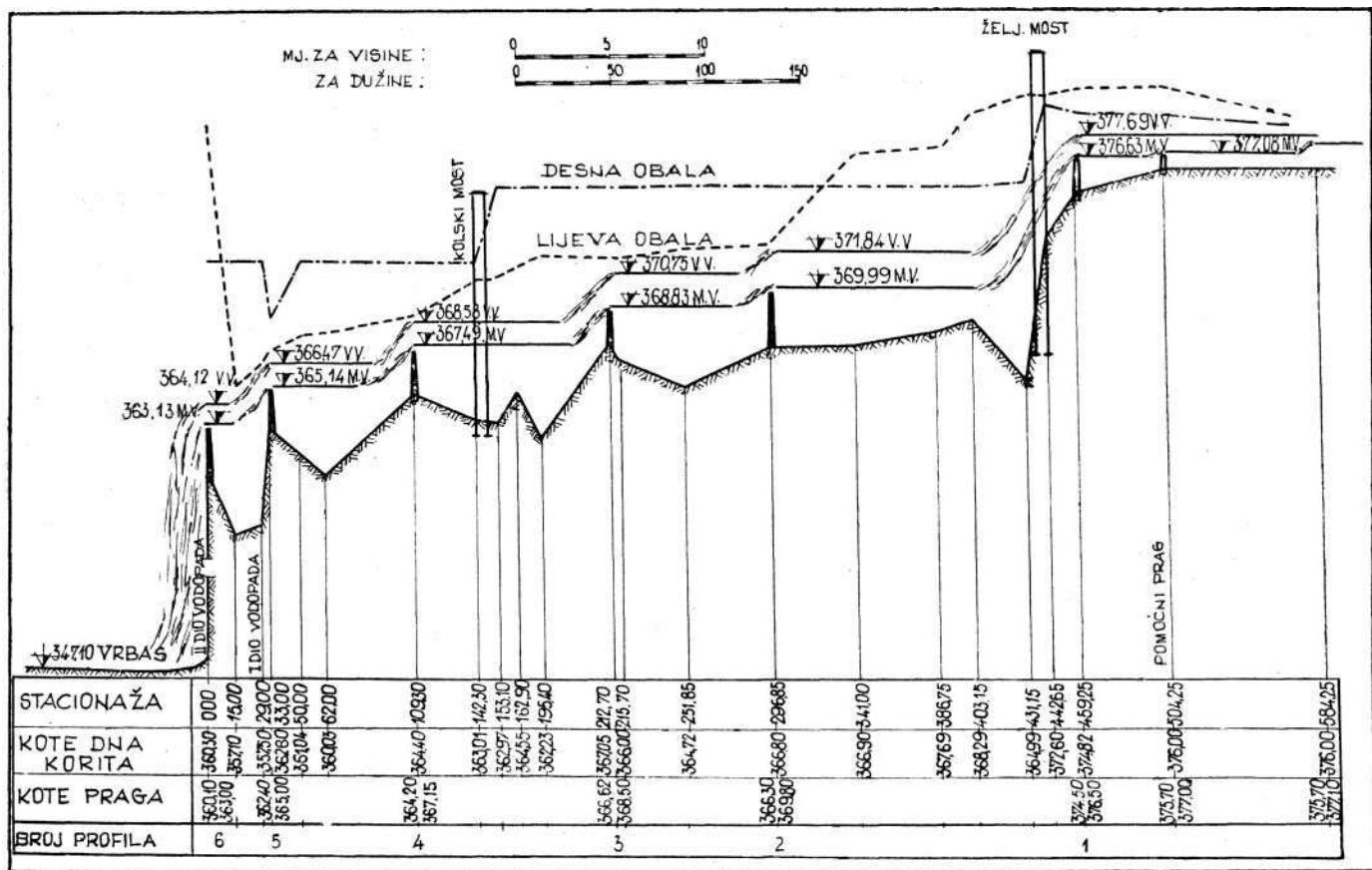
Sl. 4. Situacija rijeke Plive u gradu Jajcu

2. IZRADA PROJEKTA

Početkom 1957. g. dovršenje hidroelektrane »Jajce I« bilo je pri kraju. Osnovna njena koncepcija je zasnovana na korišćenju voda rijeke Plive derivacionim tlačnim tunelom sa zahvatom na Plivskom velikom jezeru i centralom na rijeci Vrbasu nizvodno 8 km od Jajca. Instalirani proticaj je $60,8 \text{ m}^3/\text{sek}$, pri čemu je projektom predviđeno puštanje na vodopad min. $3,0 \text{ m}^3/\text{sek}$. vode. Tada je pokrenuto pitanje vodopada od strane NOO Jajce i Zemaljskog zavoda za zaštitu spomenika kulture i prirodnih rijekosti NRBiH. Rad HE »Jajce I« ne bi ni u kom slučaju pogoršao postojeće stanje pošto HE koristi $60,8 \text{ m}^3/\text{sek}$ vode i time sprečava srednje velike vode, koje su najdugotrajnije, da vrše eroziju. Ali, tada je bio momentan da se čitav slučaj uzme kao opravdan povod za preduzimanje asanacionih radova koji bi trebalo kao prvo da spriječe dalju eroziju, a drugo da omoguće i eventualnu regeneraciju sedrotvoraca. »Elektrovrbaš«-Jajce, kao investitor za hidroelektrane na Vrbasu i Plivi, osigurao je sredstva za izvođenje pomenutih radova i naručio projekat kod »Elektroprojekta«-Sarajevo. Sve podloge za projekat su pribavljenе do augusta 1957. g. i projekat

je završen do oktobra iste godine. Projektom je obuhvaćen dio korita od vodopada uzvodno do višeg mosta u dužini oko 660 m (Vidi sl. 4).

Po snimanju uzdužnog profila dna i lica vode izvršen je hidraulički proračun postojećeg stanja vodnog režima kroz taj dio korita. Snimanje je izvršeno za vrijeme proticanja $30 \text{ m}^3/\text{sek}$ vode kroz korito. Iz uzdužnog profila (vidi sl. 5) jasno se vidi stvaranje prirodnih kaskada i ispod njih bučnica dubine i do 7,0 m. Najveće su nizvodno od željezničkog mosta, kod zgrade AVNOJ-a i uzvodno prije same krune vodopada na lijevoj strani. Na svakoj prirodnoj kaskadi se obrazuje silovit tok brzine do 5 m/sec , čemu sedra ne može odoljeti. Vučna sila na dnu korita na tim mjestima iznosi i do 230 kg/m^2 (vidi sl. 6). Siloviti tok se prenosi i na ostali dio korita pošto vodena energija nije potpuno uništena. Isto stanje, još jače izraženo, bilo je i na kruni vodopada (vidi sl. 7). Na ovaj način su potvrđena navedena zapažanja o djelovanju erozije, iz čega se došlo do zaključka da bi u dogledno vrijeme vodopada potpuno nestalo. Prema tome, nužno je bilo pronaći način kako da se to sprijeći.



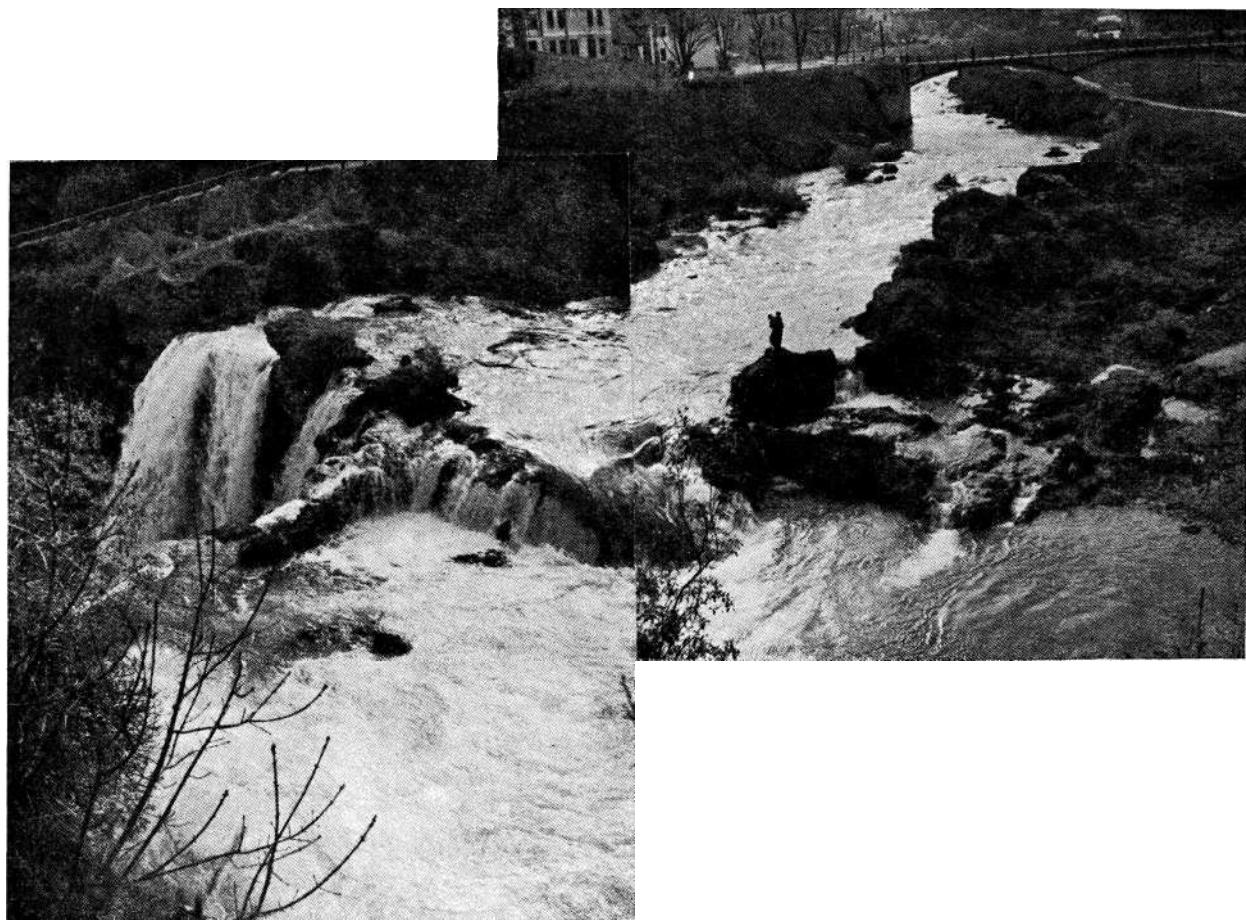
Sl. 5. Uzdužni profil dna sa izvedenim pragovima (kaskadama)

2. 1. Raspored pragova

Pragovi su raspoređeni iz uvjeta da bude potopljeno cijelo korito kod proticanja vode min. $3 \text{ m}^3/\text{sek}$ i da se dobiju dovoljne dubine da bi se osigurali vodenim jastucima za umirenje kinetičke energije pri padanju vode preko praga. Takav raspored se podudario sa prirodnim rasporedom kaskada uz dodavanje novih na profilu 2 i 4, koje nisu bile jače izražene. Tako je postavljeno ukupno 6 pragova (vidi sl. 5). Rješenje krune vodopada je odabранo tako da se voda ruši sa dva različita nivoa, sa kote 363,00, s lijeve strane, sa praga na profilu br. 6, nazvanog drugim dijelom vodopada, i sa kote 365,00, s desne strane, sa praga na profilu br. 5, nazvanog prvim dijelom vodopada. Pokušana je varijanta izravnjanja čitave krune na višoj koti 365,00, ali zbog visine praga od 5,10 m odustalo se od toga, jer takav prag statički ne bi bio stabilan. Najniža kota krune vodopada je bila 360,30 i visina praga se morala uzeti 2,70 m da bi se izravnala kruna na kote 363,00 sa ostalim desnim dijelom krune u prirodnom stanju. (Vidi sl. 9). Na ovaj način je zadržan dosadašnji izgled vodopada,

pošto je veća voda i dosada padala sa dva nivoa. (Vidi sl. 7) i iskop po kruni je sveden na minimum. Prag na profilu br. 1 nije mogao svojom visinom osigurati potapanje čitavog dna korita ispred hotela »Pliva« pošto mu je visina bila ograničena uslijed proticaja velike vode od $178 \text{ m}^3/\text{sek}$, a da se ne potope ulice u naselju Pijavice. Zbog toga je ubačen pomoći prag maksimalne visine 1,30 m (vidi sl. 4 i 5).

Visine ostalih pragova su dobivene hidrauličkim proračunom iz uvjeta potopljenog hidrauličkog skoka. Prag na profilu br. 2 uzet je maksimalne moguće visine radi omogućavanja proticaja velike vode s tim da ona ujedno potopi što više prirodnu kaskadu ispod željezničkog mosta. Sa dubinom temelja se išlo do ispod dubine koja će se formirati radi stvaranja vodenog jastuka. Preljevne visine preko pragova su proračunate za malu vodu $3 \text{ m}^3/\text{sek}$ od 10—24 cm i za veliku vodu $178 \text{ m}^3/\text{sek}$ od 1,09—2,47 m, što ovisi o dužini praga. Visina mlaza na prvom dijelu vodopada iznosi 12 cm odnosno 1,57 m, a na drugom dijelu 10 cm odnosno 1,37 m za malu odnosno veliku vodu.



Sl. 6. Pogled na vodopad i korito uzvodno sa $30 \text{ m}^3/\text{sek}$ vode — 10. IV. 1957 g.

U uzdužnom profilu su date absolutne kote pojedinog nivoa (vidi sl. 5).

Ovakvim rasporedom pragova postignuto je smanjenje pada lica vode i pretvaranje toka iz silovitog u mirni, te, prema tome, oduzimanje vodenog masi njene erozivne moći. Također je postignuto potapanje čitavog korita i za vrijeme najmanje vode. Ovim je uklonjen glavni uzrok uništavanja sedrotvoraca i omogućena njihova regeneracija, uz postojanje, kao što je navedeno, ostalih ekoloških uvjeta. Fiksiranjem kaskada sprječeno je njihovo dalje odnošenje i rušenje. Na pragovima su dobivene brzine vode u granicama od 0,6–2,20 m/sek za malu, 3 m³/sek odnosno veliku vodu, u području koji omogućava rad sedrotvoraca.

2. 2. Izbor konstrukcije pragova i konstruktivna obrada

Da bi pragovi bili stabilni na ovakvom materijalu kao što je sedra, trebalo je ispitati više tipova i izabrati najpovoljniji. Sedra, kao temeljno tlo, ima sljedeće karakteristike, dobivene ispitivanjem u odgovarajućim zavodima i na terenu: dozvoljeno opterećenje 1,2 kg/cm² dobiveno probnim opterećenjem, porozitet $n = 0,72 - 0,59$, modul elastičnosti $E = 6\,000 \text{ kg/cm}^2$, modul deformacije $3\,500 \text{ kg/cm}^2$ i koeficijent vodopropusnosti na uzorku $K = 7,5 \times 10^{-5}$. Vidi se da je sedra neobično porozna, sa većim kavernama. Propusna postaje u znatnoj mjeri ako joj se poremeti zaštitna pre-

vlaka od sedrotvoraca. Kod ma kakvog pobijanja ili miniranja narušava joj se prirodna struktura i tada je podložna raspadanju pod djelovanjem vode i opterećenja. Objekti na sedri se, dakle, moraju računati uz djelovanje punog uzgona i sa dozvoljenim opterećenjem $1,2 \text{ kg/cm}^2$.

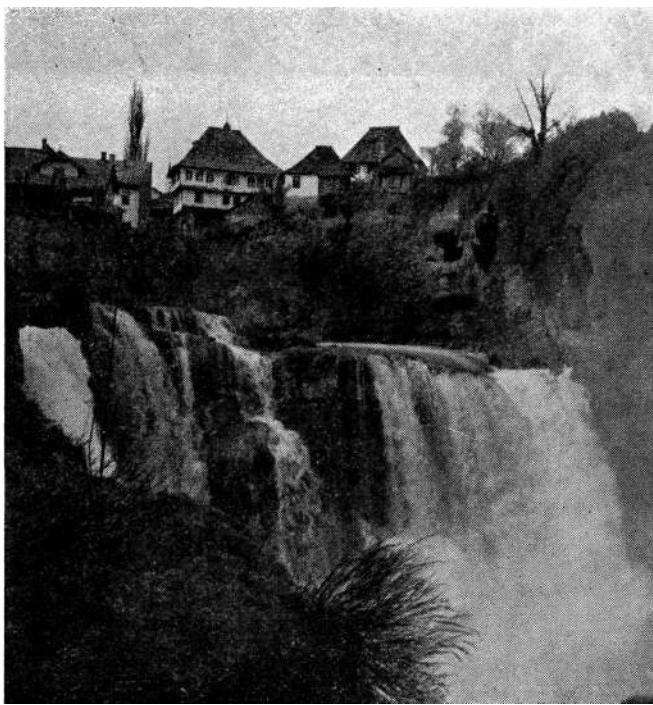
Statički i ekonomski su ispitani sljedeći tipovi pragova:

- 1) prag od masivnog betona,
- 2) prag od armiranog betona običnog tipa,
- 3) prag od čelika i
- 4) prag od armiranog betona tipa »Amburzen« sa prekinutom temeljnom pločom.

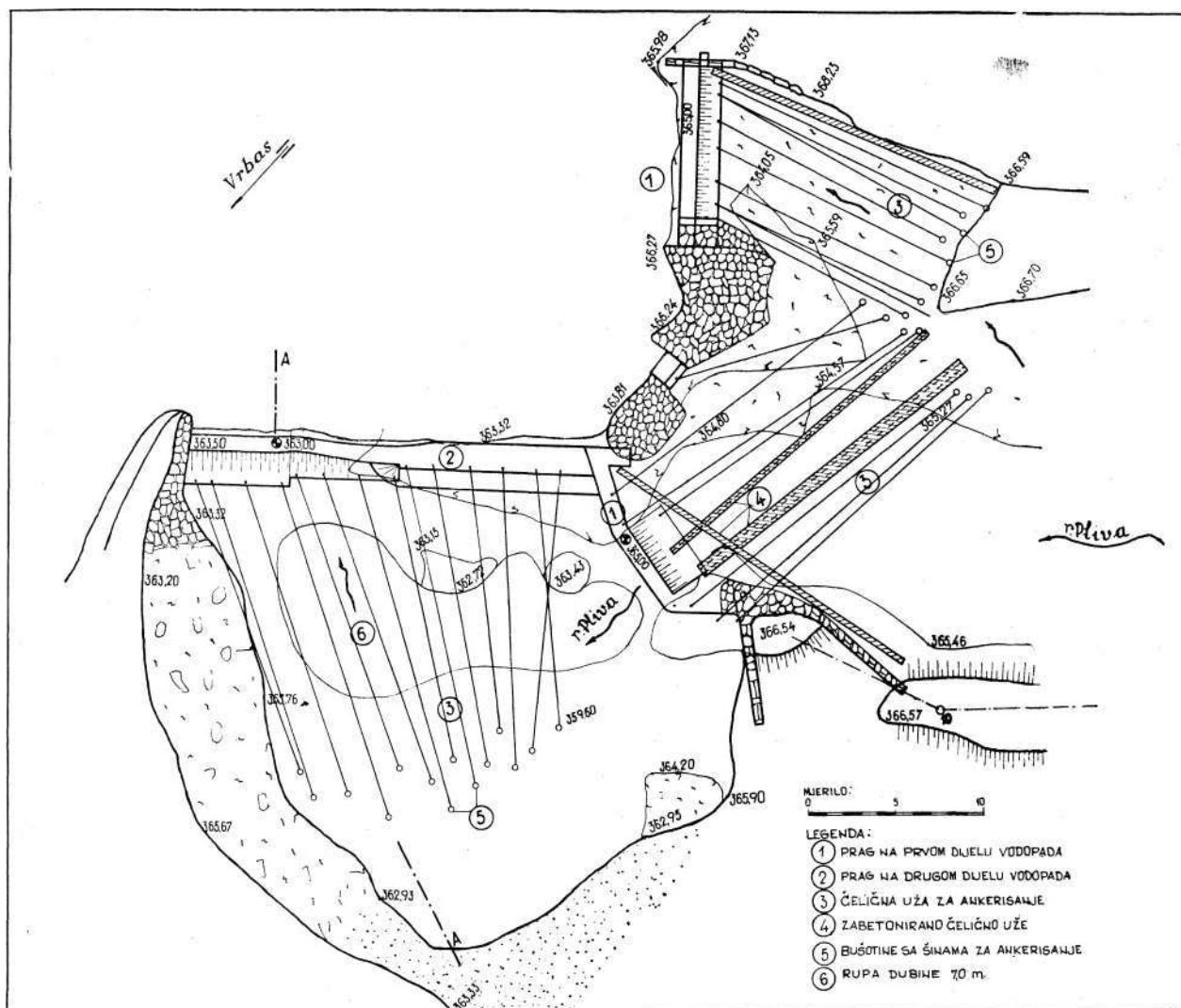
Kod statičkog razmatranja uvijek su u oprečnosti djelovanje uzgona i stabilnost na prevrtanje u odnosu na mala dozvoljena opterećenja. Dimenzije pragova koje bi zadovoljile statičkim uvjetima kod prva tri tipa su dosta velike i ne bi odgovarale ekonomski razumnim granicama. Pored toga, prag od masivnog betona je na granici dozvoljenih opterećenja. Usvojen je četvrti tip, prag od armiranog betona tipa »Amburzen«. Ekonomski je bio daleko jeftiniji a statički je najbolje zadovoljio. Laka je konstrukcija, opterećenje na temeljnu podlogu ne prelazi 1 kg/cm^2 , a djelovanje uzgona je eliminisano prekidom temeljne ploče tako da svako rebro ima svoju posebnu temeljnu stopu. Posebno su ubaćene rupe 0 200 mm u prednjem kraju temeljne stope radi otstranjenja uzgona. Prednji zub služi protiv procjedne vode i klizanja (vidi sl. 9). Uzvodna ploča se oslanja na potpornu rebra kao kontinuirani nosač preko maks. 5 polja. Prema tome su pragovi podijeljeni u kampane pomoću dilataционih fuga. Fuge su ispunjene heraklitom i s prednje strane »BZF« pastom proizvodnje »Izolirka« iz Ljubljane.

Posebno je razmotren način učvršćenja pragova na visokim kaskadama, tj. na profilu br. 3 i profilu br. 5 i 6, tj. u prvom i drugom dijelu vodopada. I tu bi prag tipa »Amburzen« bio siguran ukoliko bi se moglo uzeti da je kaskada, kao sama, stabilna. Pošto na profilu br. 3 a i na kruni vodopada sama sedra čini prirodni prag koji nema dovoljnu debljinu, odlučeno je da se pragovi na tim profilima ankerišu. Na profilu br. 3 prag je ankerisan izravno u sedru ispod uzvodnog zuba, a na vodopadu je ankerisanje izvršeno pomoću čeličnih užeta uzvodno u teren za dužinu oko 25,0 m (vidi sl. 8 i 9).

Predviđeno je da se rupe 0 150 mm, dubine 6,0 m, buše strojem uz vađenje jezgre. U rupe se postavljaju željezničke šine tipa 35a i potom zalijavaju cementnim malterom uz dobro nabijanje. Na taj način je izbjegnuto pobijanje i rastresanje sedre. Ankeri i čelična užeta su proračunati na horizontalnu komponentu ukupnog opterećenja vode na prag. Pomoću toga je znatno smanjeno



Sl. 7. Izgled vodopada sa $30 \text{ m}^3/\text{sek}$. — 10. IV. 1957 g.



Sl. 8. Situacija pragova na vodopadu sa rasporedom čelične užadi za ankerisanje i bušotina

opterećenje na kruni vodopada. Čelična užad na vodopadu su ubetonirana radi sprečavanja vibriranja i rđanja. Projektom je bilo predviđeno ubetoniiranje užeta u betonska rebra koja bi išla od terena. Kao što ćemo vidjeti, od toga se odustalo na drugom dijelu vodopada, jer se podvodnim sondiranjem nije dobila stvarna dubina i veličina rupe neposredno uzvodno od toga dijela vodopada. Sa ankerisanjem je također uključen veći masiv sedre, tj. u dubini oko 25 m, uz sudjelovanje prenošenja opterećenja sa pragova na sedru.

Konstruktivno su pragovi dobili takvu formu da pomoću preljevne ploče, kao konzole, odbacuju mlaz vode što dalje od temelja. Pragovi su dobro povezani sa obalama pomoću masivnih dijelova i betonskog jezgra. Posebno su obale uzvodno i nizvodno obložene kamenom do iznad velike vode. Naročito je predviđeno potpuno ozračenje preljev-

nog mlaza pomoću cijevi na obali iznad nivea velike vode. Bila je razmotrena varijanta postavljanja po kruni pragova, razbacanih u nepravilnom poretku, komada kamena radi razbijanja površine preljeva. Od toga se moralo odustati jer bi kamen pravio smetnje postavljanju i djelovanju armature na preljevnoj ploči. Također se pretpostavilo da će regenerisani sedrovorci to sami napraviti stvaranjem busenova sedre na kruni pragova. Na preljevnoj ivici pragova na vodopadu postavljeni su razbijajući mlaza u obliku trokuta visine 8 cm i u udaljenosti 50 cm (vidi sl. 12). Svrha im je da vrše bolje ozračenje i razbijanje kontinuiteta preljevnog mlaza.

Posebno su u projektu data uputstva o načinu izvođenja iskopa, deponovanja iskopa i organizacije gradilišta. Naročito je skrenuta pažnja čuvanju sedre i vegetacije u koritu i na obalama.

3. IZVOĐENJE RADOVA

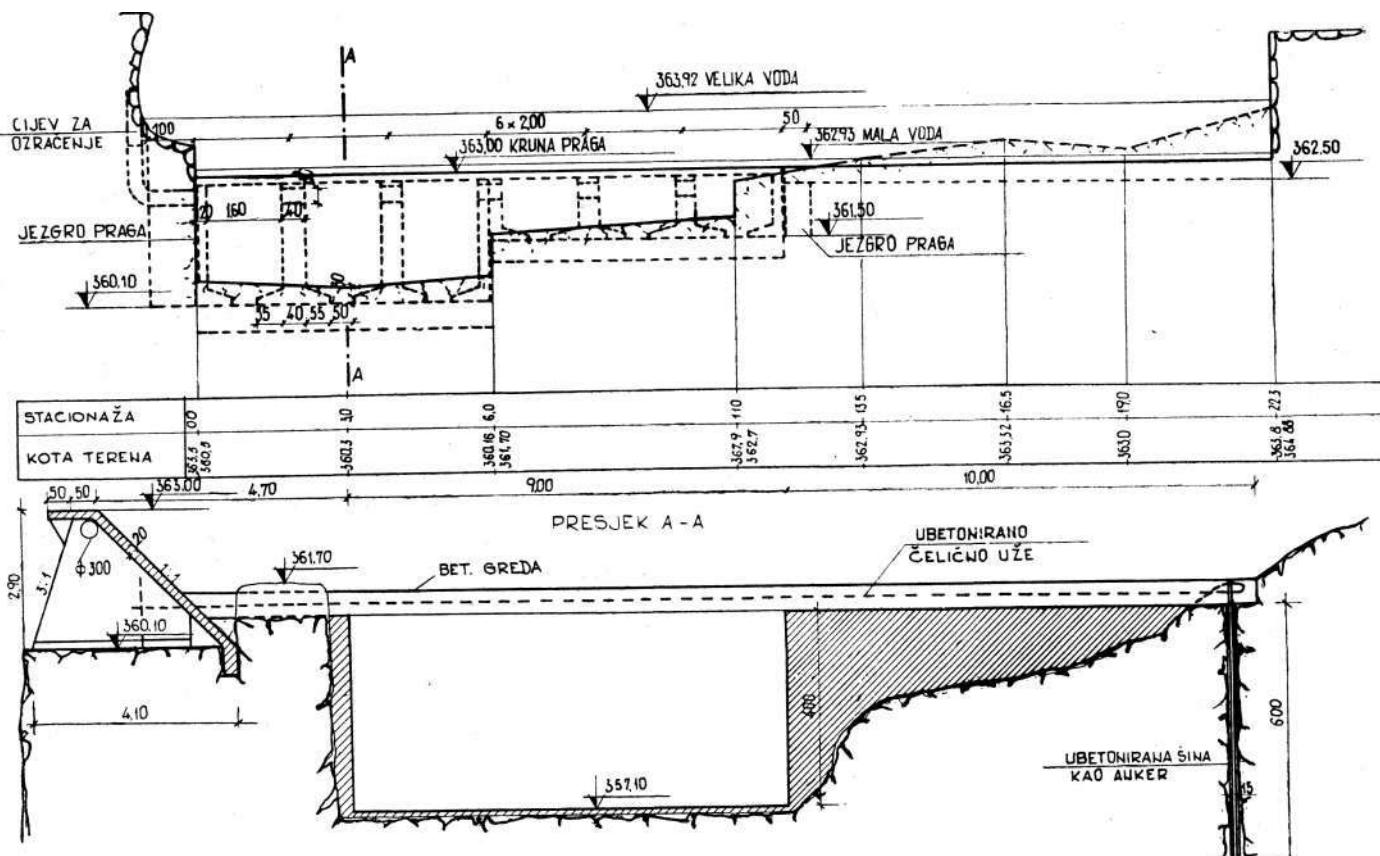
Radove je dobilo na izvođenje građevinsko preduzeće »Hidrogradnja« Sarajevo, koje ih je izvelo vrlo kvalitetno i solidno i za kratko vrijeme. Pripremni radovi su počeli krajem 1957. g. na pragu br. 1 ali su zbog nadolaska veće vode prekinuti. Definitivni radovi su počeli 31. V. 1958. i završeni 19. VII. 1958. kad je puštena voda. Proticaj vode koritom obustavljen je jer je svu vodu trošila HE Jajce I. Proticala je samo voda, oko 50 lit./sek, koja se cijedila uglavnom iz kanala stare hidrocentrane »Elektrobosne«. Voda je hvatana pomoću malih zagata u ventilacione limene cijevi i prebacivana nizvodno od praga br. 3 i ponovo od br. 4 direktno u rijeku Vrbas. Udubljenja (rupe) u koritu iza praga br. 3, 4 i 5 su isušena pomoću pumpi. Tek tada se moglo vidjeti stvarno stanje u koritu; ono je bilo izvan svakog očekivanja. Korito je bilo potpuno razrovano; u rupama su bili veliki gromadi odvaljene sedre i kamena koji je bacan u korito. Naročito je rupa na drugom dijelu vodopada bila mnogo veća i dublja nego što je dobivena sondiranjem. Ispred nje je bila prirodna barijera od sedre, debljine u dnu oko 7,0 i visine 5,0 m. (Vidi sl. 9 i 10). Zbog toga je morala biti izvršena izmjena u načinu zabetoniranja čeličnih užeta tako da su izvedene armirano-betonske grede koje su premostile rupu dužine i do 10,0 m. Ustvari izve-

den je roštilj od betonskih kreda koje su skupa sa čeličnim uzetima konsolidirale prirodnu barijeru od sedre na koju je postavljen prag (vidi sl. 11). Bilo je prijedloga da se rupa potpuno zatrpa i zabetonira, što se nije moglo usvojiti jer je ona iskopana baš radi toga da se može uništiti vodena energija prilikom padanja vode sa prvog dijela vodopada na lijevoj strani. Da bi se spriječilo dalje produbljenje i proširenje rupe, zaštićeno je dno lakom armirano-betonskom pločom a bočne strane betonskim zidovima koji su ujedno uzeti kao oslonac armirano-betonskim gredama (vidi sl. 9). Ovdje grede također djeluju kao umirivač vodene energije i proračunate su na udar vodnog mlaza sa užvodne strane.

Nizvodno od praga br. 3 potporni zid ulice ispred zgrade AVNOJ-a bio je potkopan na dužini oko 10 m i prema ulici oko 3,0 m. Da bi se zatvorila ta rupa ubetonirano je $107,85 \text{ m}^3$ betona.

Kod izvođenja je, pored navedene, došlo do manjih izmjena u projektu, koje su se odnosile na bolje prilagođavanje pragova i obložnih zidova terenu i posebno na zatvaranje svih kaverni koje su bile otkrivene.

Kod izvođenja ankerisanja prvo su izbušene sve rupe strojem i u njih su stavljeni šine i odmah zaliveni betonom. Iza toga im je otkopan



Sl. 9. Presjek po kruni praga na drugom dijelu vodopada sa poprečnim presjekom praga ankerisanog čeličnim užetom i presjekom kroz rupu prije praga.

gornji dio oko 0,50 m i izvršeno zatezanje i vezivanje čeličnih užeta. Na koncu su užad zabetonirana u betonska rebra na prvom dijelu a u grede na drugom dijelu vodopada.

Sav beton pragova je vodonepropustan marke 220. Kod ispitivanja kocki dobivena je čvrstoća 359 kg/cm^2 nakon 81 dan starosti.

Obim izvršenih radova je sljedeći:

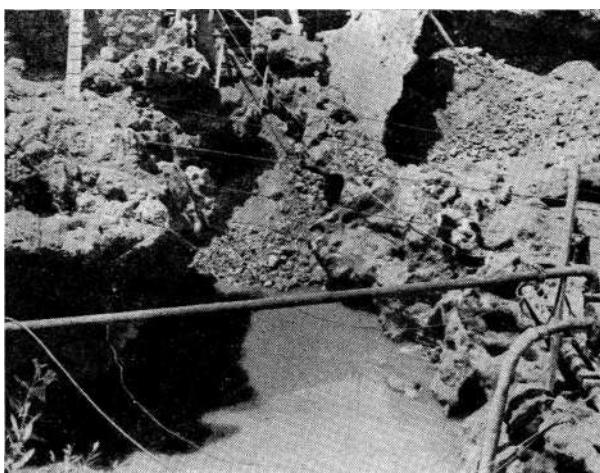
a) Iskopa u sedri	985,32 m^3
b) Ugrađeno betona: masivnog	817,09 m^3
armiranog	391,00 m^3
Ukupno	1208,09 m^3
od toga pragova tipa »Amburser« armiranog betona	282,00 m^3

c) Admirano-betonskog željeza	9224,59 kg
d) Čelič. užeta za ankerisanje Ø20 mm	1116,48 kg
e) Bušenje 41 kom. bušotina Ø 150 mm za ankerisanje	246,00 m^3
f) Zidova od kamena	420,64 m^3

Masivni beton je ugrađen u jezgra za spoj pragova sa obalama, za rebra oko čeličnih užeta, pomoće pragove, potporni zid kod kolskog mosta i punjenje rupe ispod potpornog zida ulice. Na osnovu utroška betona $282,00 \text{ m}^3$ u same pragove, vidi se da su oni relativno luke konstrukcije kad se uzme u obzir njihova ukupna dužina 124,00 m i prosječna visina 2,50 m. Dakle, utrošak armiranog betona kod pragova tipa »Amburser« iznosio je prosječno $2,27 \text{ m}^3$ po dužnom metru praga. Radovi izvođenja su koštali ukupno 29,618.380 dinara.

4. PUŠTANJE VODE I ZAPAŽANJA NAKON TOGA

Prije definitivnog puštanja vode koritom svaki je prag ispitivan posebno na punjenje do preljeva. Cijevi koje su bile u pragu privremeno su se zatvorile i voda se polako punila u prostoru prije praga. Prilikom toga su vršena osmatranja kako



Sl. 10. Rupa dubine 7,0 m neposredno uzvodno od krune drugog dijela vodopada sa djelomično napregnutim čeličnim uzetima za ankerisanje praga

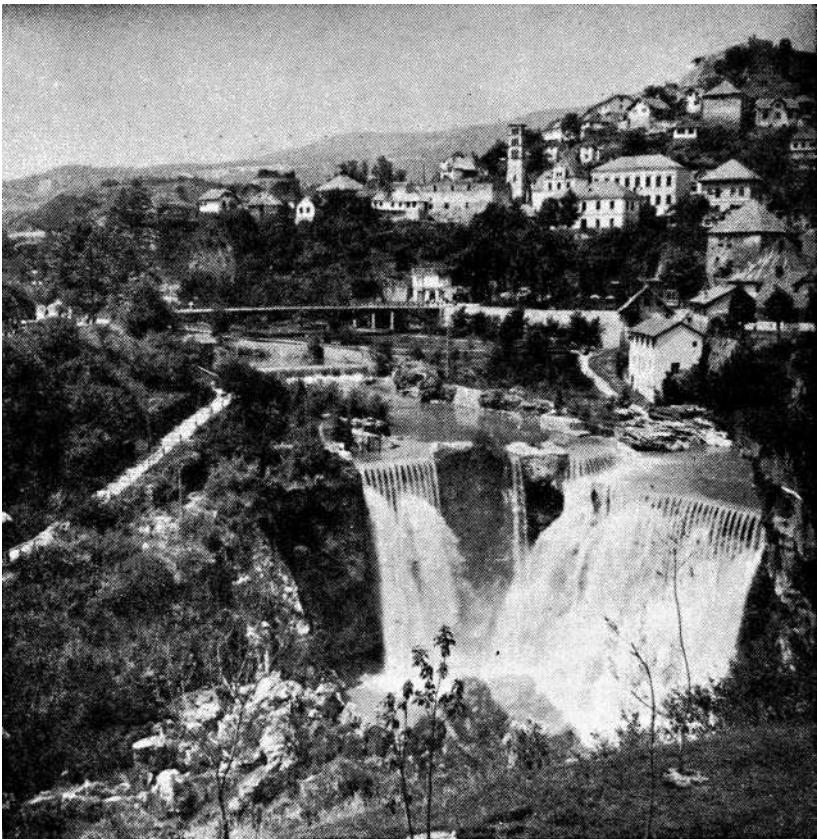
se ponašaju pragovi i da li voda prodire ispod njih. Ujedno je osmatran rad predviđenih rupa za uzgon; primjećeno je da skoro sve rade, jer je iz njih išlo vrlo malo procijedne vode, skoro neprijetno. Procjeđivanje nije bilo ni ispod kojeg praga osim na profilu 2 oko par litara. To je poslije sprječeno tako da je uzvodno od praga postavljen tepih od gline. Iza ispitivanja svi su otvori, gdje su bile cijevi u pragovima, zablombirani betonskim čepovima,

Puštanje vode od $3 \text{ m}^3/\text{sek}$ izvršeno je 19. VII. 1958 g. Voda je nakon punjenja pojedinih kaskada počela da se ruši u rijeku Vrbas (vidi sl. 12). Tek toga momenta se mogao ocijeniti uspjeh poduzetih radova s obzirom na izgled vodopada i cijelog korita i vidjeti utisak koji je učinio na gledače. O tom je pisala naša dnevna štampa, a opšti je zaključak da je svakako mnogo ljepše i bolje nego što je prije bilo. (Usporedi sl. 2 i 12). Oduševljenje je bilo veliko.

22. VII. 1958 g. HE Jajce I je išla u redovan godišnji remont, te je uslijed toga cijela tadašnja voda Plive, $22 \text{ m}^3/\text{s}$, puštena na vodopad (vidi sl. 13). Vidjelo se da je sada tok vode miran i ravno-



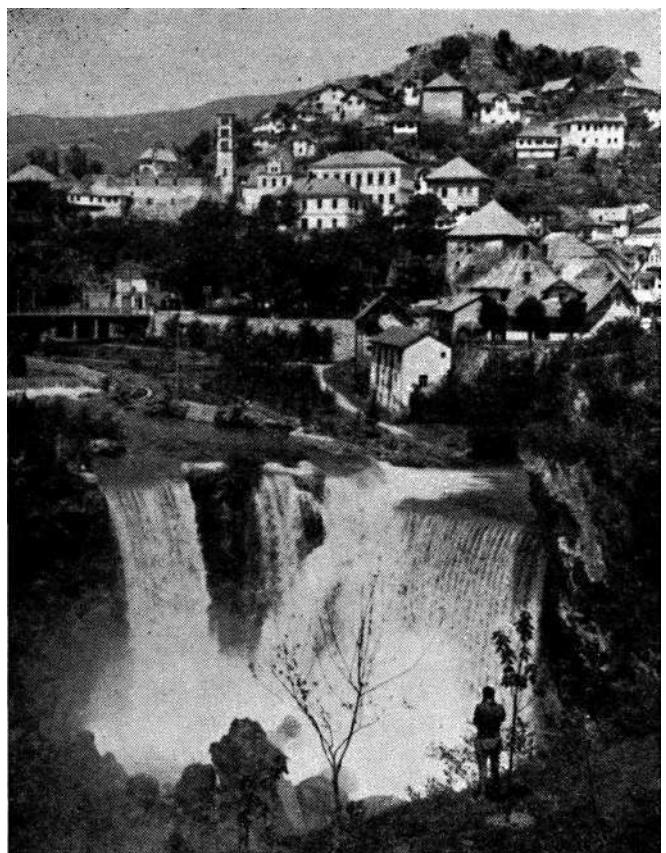
Sl. 11. Pogled na drugi do vodopada sa uzvodne strane i betonske grede preko rupe u kojima su ubetonirana čelična uža za ankerisanje.



Sl. 12. Pogled na uređen vodopad i korito uzvodno sa pragom na profilu br. 4 na dan puštanja vode od $3 \text{ m}^3/\text{sek}$ i završetka radova 19. VII. 1958. g.

mjeran između pojedinih pragova. Naročito je to uočljivo ako se uporede slike br. 6 i 13 kod kojih je količina vode približno ista. Ukinuta je erozivna moć vodene mase, kako je projektom bilo i predviđeno, i, prema tome, uklonjen je glavni uzrok rušenja vodopada i uništavanja sedrotvoraca. Po prestanku te veće vode 23. VIII. 1958. g. pregledani su svi pragovi i na njima nisu pronađena nikakva oštećenja ni promjene. Posebno je zapaženo da vrlo dobro rade cijevi za ozračenje preljevnog mlaza gdje se vidi jako strujanje zraka. Sve pragove i podvodne dijelove obložnih zidova već su počele da oblažu mahovine i alge. Jasno se ocrtao trag dokle je bio nivo te vode, koji je poslije dobio bjelkastu boju što dokazuje da su se na tim dijelovima već počele hvatati sitne čestice sedre. U uvodu je navedeno da je Dr. Z. Pavletić (5) izvršio istraživanja rada sedrotvoraca na rijeci Plivi u ljeto 1957. g. i da ih je pronašao i u njenom koritu kroz grad i na vodopadu. Ekološka mjerenja izvršio je na sedrenim barijerama njenih jezera i dobio: temperaturu $13,7\text{--}14,1^\circ \text{C}$; brzine vode u granicama $0,5\text{--}3,5 \text{ m/sec}$; alkalitet 3,1 i tvrdoću vode 9 njem. stupnjeva. Hemiju analizu vode Velikog jezera izvršio je 4. XI. 1954. g. i Institut za anorgansku kemiju Tehničkog fakulteta iz Ljubljane i dobio: $\text{pH} = 7,94$, alkalitet 3,33, bikarbonati $203,0 \text{ mg/l}$ i ukupnu tvrdoću $10,63 \text{ njem. stupnjeva}$.

Analizu vode koja je protkala kroz korito za vrijeme izvođenja, tj. oko 50 lit/sek, izvršio je Hi-

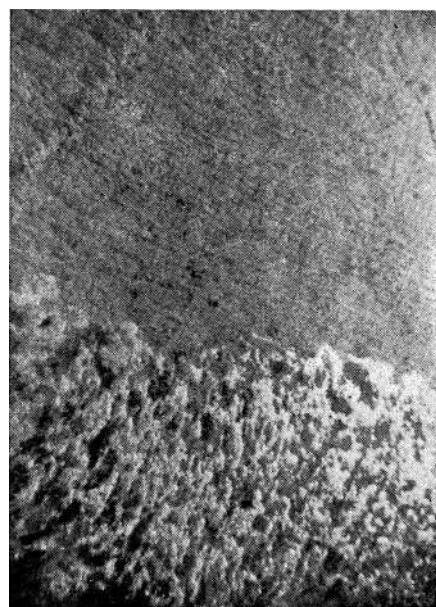


Sl. 13. Pogled na uređen vodopad i korito uzvodno kod proticaja $22 \text{ m}^3/\text{sek}$ vode za vrijeme remonta HE Jajce I. 26. VII. 1958. g.

gijenski zavod Sarajevo i, između ostalog, dobio: temperaturu 19°C , pH = 7,35, rastvor kisika 7,84 mg/l i ukupnu tvrdoću 8,47 njem. stupnjeva. Upo-ređenjem sa uvjetima na Krki i Plitvičkim jezerima (2), (3) i (4) sve navedene vrijednosti su u potrebnim granicama ekoloških uvjeta za rad sedrotvoraca, pa se uz postignuto smanjenje brzina i potapanja čitavog korita omogućava regeneracija stvaranja sedre. Uslovi su nešto slabiji u donjem koritu kroz grad, čemu je uzrok upuštanje otpadnih voda u korito. Potrebno je, svakako, što prije ot-kloniti i taj uzrok izgradnjom kanalizacije sa njenim upuštanjem u Vrbas nizvodno od grada.

Prilikom tehničkog prijema radova 21. XI. 1958 konstatovano je, između ostalog, da su svi pragovi potpuno obrasli mahovinama i algama i da su se na njima počeli stvarati busenovi sedre. Sve podvodne površine su doble tamnozelenu boju i izgled kao na slici 14. Preljevni mlaz nije više kao prije jednoličan i već dolazi u manjim razmje-rama do njegovog diskontinuiteta po dužini praga. Investitoru i NOO Jajce ukazano je na veoma veliku važnost sprovođenja zaštite čitavog korita za-branom kupanja, hodanja po pragovima i uništa-vanja vegetacije. Posebno je ukazano na potrebu

periodičnog pregleda svih pragova a naročito iza svake maksimalno velike vode.



Sl. 14. Sedrotvorci (briofiti) koji su se razvili za svega 2 mjeseca na slapištu ispusta dovodnog tunela HE Jajce I. Slikano 30. I. 1958 g.

5. ZAKLJUČAK

1. Na osnovu analize stanja vodopada i korita rijeke Plive u Jajcu kroz posljednje decenije utvrđeno je da glavni uzrok produbljenja korita i rušenja vodopada su velike oscilacije u količini vode (1,0–200,0 m³/sek). Za vrijeme male vode korito je ostajalo duže vremena suho, zbog čega su redovno sedrotvoraci, kao zaštitni sloj sedre, ugibali, pa je pri nadolasku velikih voda sedra bila podvr-gnuta intenzivnoj eroziji.

2. Sedrotvoraca nije potpuno nestalo jer su se zadržali ostali ekološki uvjeti za njihov život.

3. Moralo se pristupiti uređenju vodopada i tog dijela korita rijeke Plive radi sprečavanja daljeg propadanja. Izvršeno je smanjenje pada korita i

njegovo potapanje, i kod minimalne vode, pomoću izgradnje pragova. Usvojen je prag tipa »Ambur-sen« sa prekinutom temeljnom pločom, koji je zadovoljio statičkoj stabilnosti uz najmanje specifičko opterećenje sedre kao temeljnog tla. Njihovo dosadašnje ponašanje, i kod većih voda, potpuno zadovoljava.

4. Povraćeni su svi uvjeti za rad sedrotvoraca i za regeneraciju sedre. Taj proces je već otpočeо i on će se mnogo poboljšati ako se sprijeći ma kakvo upuštanje otpadnih voda u rijeku Plivu.

5. Potrebno je staviti čitav ovaj potez rijeke Plive pod efikasnu zaštitu i vršiti stalna osma-tranja njegovog ponašanja.

LITERATURA:

- (1) »Elektroprojekt« Sarajevo: Osnovni projekt isko-rišćavanja vodnih snaga Vrbas-Pliva
- (2) Dr. Zlatko Pavletić: Prilozi poznavanju ekologije briofita na slapovima rijeke Krke u Dalmaciji (Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Rad, knj. 312).
- (3) Dr. Zlatko Pavletić: Ekološki odnosi briofitske ve- getacije na slapovima Plitvičkih jezera (Acta Botanica Croatica Vol. XVI—1957).
- (4) Dr. Zlatko Pavletić: Izvještaj o istraživanjima eko- logije briofita na slapovima rijeke Krke (Jugosl, akademija znanosti i umjetnosti, Ljetopis knj. 62).
- (5) Dr. Zlatko Pavletić: Izvještaj o istraživanjima bri- ofitske vegetacije na rijekama Uni i Plivi ljeti 1957 g.
- (6) Prof. Dr. I. Pevalek: Slap Plive u Jajcu na samrti. »Naše starine«, sv. III — 1955.

AMENAGEMENT DES CHUTES ET DU LIT DE LA RIVIERE PLIVA A JAJCE

Les chutes de la rivière Pliva à Jajce, ainsi que ses pittoresques lacs, représentent une beauté naturelle très préciseuse. Le lit tout entier de cette rivière est coupé dans des tufs formés par la lente action des végétaux qui sont à l'origine de ces derniers, c'est-à-dire de la mousse et des algues qui sécrètent du carbonate de chaux et constituent ainsi cette sorte de pierre. L'étendue des tufs est si grande qu'elle supporte une importante partie de la ville de Jajce. Au cours des dernières dizaines d'années il s'est produit une érosion intense dans le lit de la rivière et dans les chutes. Il faut en chercher la raison, entre autres, dans le fait que les petites eaux du grand Lac de la Pliva ont été détournées vers l'ancienne centrale hydraulique »d'Elektrobošnja« en 1895. En été laissait couler à travers la ville environ $1,0 \text{ m}^3/\text{sec}$. d'eau, une partie importante du lit restait sec et les éléments génératrices de tufs périssaient. En raison de l'oscillation des quantités d'eau ($1,0\text{-}200,0 \text{ m}^3/\text{sec}$) le courant puissant a emporté les tufs, car il n'y avait plus de couche protectrice de mousse et d'algues. On a tenté des interventions techniques avant la première guerre mondiale et dans l'entre deux guerres, mais ces interventions ont échoué à cause de l'assise de béton massive, en forme de couronne, sur les piliers de bois enfouis dans le sol. Le sommet de la chute d'eau a subi les plus grands dommages en 1947. La pente du lit de la rivière s'est accentuée et, par conséquent, la vitesse du courant a augmenté, ce qui a entraîné une érosion de plus en plus forte. La construction de la centrale hydraulique Jajce I, qui utilise l'eau du Grand Lac de la Pliva, a permis le financement de

l'aménagement de la chute d'eau et du lit de la rivière Pliva dans la ville de Jajce. On a placé en tout 6 gradins de type »Amburzen«, avec plaque d'assise interrompue afin d'éliminer la force ascensionnelle. Le sommet de la chute a été aplani en deux niveaux: le côté aguiche à la cote 363,00 et le gauche à la cote 365,00; de sorte que la hauteur actuelle de la chute est de 18,0 et de 20,0 m. et que l'eau se précipite dans la rivière Vrbas de ces deux niveaux. Au moyen des Gradins d'amont, on a réduit la chute antérieure de l'eau et par conséquent la vitesse du courant. Le pouvoir d'érosion de la masse d'eau a été supprimé et on a pu obtenir la submersion du lit tout entier pendant les basses eaux de $3,0 \text{ m}^3/\text{sec}$, débit assuré pour le travail de la centrale hydraulique de Jajce I. Pour que le gradin qui se trouve au sommet de la chute d'eau soit parfaitement stable, il a été ancré en amont à 25,0, au moyen de câbles d'acier noyés dans du béton, à des ancre placées dans des trous creusés dans le tuf. La charge permise, sur le tuf, est de $1,2 \text{ kg/cm}^2$ et le gradin »Amburzen«, après certaines modifications, étant une construction légère, s'est seul montré satisfaisant. Les travaux ont été terminés le 19. VII. 1958, date à laquelle on a laissé couler un débit de $3,0 \text{ m}^3/\text{sec}$, et par la suite de $22,0 \text{ m}^3/\text{sec}$, et la solution adoptée a donné entière satisfaction. Les conditions nécessaires à la régénération des éléments génératrices de tufs sont donc réalisées, et lors de l'inspection de novembre 1958, tous les gradins étaient déjà tapissés de ces derniers et la formation des tufs avait de nouveau commencé.

REGULATION OF FALLS AND THE BED OF THE PLIVA AT JAJCE

Falls of the river Pliva with its picturesque lakes are one of the most beautiful natural sceneries in our country. The whole bed of the Pliva contains of a special kind of limestone which was made during the long activity of algae and other water weed. They let out its calcium carbonate from water and in such a way they make this kind of stone. During last years intensive erosion destroyed falls and partly the bed of the river. It was caused by old power plant »Elektrobošnja« from 1895 which used power of the river and the Pliva Lane. Due to this powerplant the river flowing through Jajce was about $1,0 \text{ m}^3/\text{sec}$. So the large parts of the bed were dry and algae and the river weed slowly died out. As there were no protective layers of them water slowly carried limestone away.

Between the World War I and II all technical work failed. In 1947 there was the biggest destroying of the top on falls. The speed of flowing was bigger and

this caused larger erosion than before. Then the power plant Jajce I was built and all the necessary money was ensured. So the regulation of these falls and the bed of the Pliva began after this. The top of falls was flattened into two large plates: the left side on the point 363,00 and the right one on 365,00. Now the height of falls is about 20,0 m. and water falls from these large plates into the river Vrbas. The speed of the riverflowing is lessened and the water erosion is vanished. The flood of the bed can be regulated by means of the powerplant Jajce I. The full stability of the top of falls is achieved by the steel ropes which are concreted in limestone.

All this was finished on July 19 th in 1958. The water flowing is about $3,0 \text{ m}^3/\text{sec}$. This work was very satisfactory. In November of 1958 an inspection found that all necessary parts of falls and the bed were covered with algae and with special kind of limestone too.