



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marinela Dukić

HIDROELEKTRANA PERUĆA I TRENDVI PROTOKA I OTJECANJA RIJEKE CETINE

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marinela Dukić

HIDROELEKTRANA PERUĆA I TRENDVI PROTOKA I OTJECANJA RIJEKE CETINE

ZAVRŠNI ISPIT

izv. prof. dr. sc. Damir Bekić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Marinela Dukić

**HYDRO POWER PLANT PERUĆA AND TRENDS
IN THE DISCHARGE AND RUNOFF OF THE
CETINA RIVER**

FINAL EXAM

izv. prof. dr. sc. Damir Bekić

Zagreb, 2024.

SAŽETAK

U ovom završnom radu prikazana je hidroelektrana Peruća kao dio hidroenergetskog sustava rijeke Cetine. Nadalje, opisano je miniranje brane i njezina oštećenja tijekom Domovinskog rata te predložena četiri moguća rješenja za njezinu obnovu. U drugom dijelu rada provedena je analiza godišnjih i mjesečnih protoka te godišnjeg otjecanja rijeke Cetine. Za provedene analize korišteni su podatci o dnevnim protocima zabilježeni na mjernoj postaji Han tijekom sedamdesetogodišnjeg razdoblja od 1949. do 2018. godine. Također, u radu su prikazane krivulje trajanja i učestalosti za tri karakteristične godine: vlažnu, približno srednju i suhu godinu.

Ključne riječi: rijeka Cetina, hidroelektrana Peruća, brana Peruća, protok, otjecanje, trajanje, učestalost

SUMMARY

In this final paper, the hydro power plant Peruća is presented as part of the hydro power system of the Cetina River. Furthermore, it describes the blasting of the dam and its damage during the Homeland War and proposes four possible solutions for its reconstruction. In the second part of the thesis, an analysis of the annual and monthly discharges and the annual runoff of the Cetina River was carried out. Data on daily discharges recorded at the Han gauge station during the seventy-year period from 1949 to 2018 were used for the analyses. Additionally, the thesis presents the duration and frequency curves for three characteristic years: a wet year, an approximately average year, and a dry year.

Key words: Cetina River, hydro power plant Peruća, Peruća dam, discharge, runoff, duration, frequency

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1 UVOD	1
2 PODATCI I METODOLOGIJA	2
3 HIDROELEKTRANA PERUĆA	5
3.1 HE Peruća kao dio hidroenergetskog sustava rijeke Cetine	5
3.2 Podatci o HE Peruća	7
3.3 Brana prije miniranja	9
3.4 Miniranje brane	10
3.5 Izbor rješenja sanacije	15
4 ANALIZA TRENDOVA PROTOKA I OTJECANJA RIJEKE CETINE.....	22
4.1 Godišnji protoci	22
4.2 Mjesečni protoci	25
4.3 Godišnje otjecanje	26
4.4 Krivulje trajanja i učestalosti	28
5 ZAKLJUČAK	31
POPIS LITERATURE	32
POPIS SLIKA	33
POPIS TABLICA	34
PRILOG 1	35
PRILOG 2	37

1 UVOD

Rijeka Cetina, smještena u središnjoj Dalmaciji, jedna je od najvažnijih i najdužih rijeka u Hrvatskoj. Proteže se na 105 km dužine od izvora u selu Cetina u blizini Vrlike do ušća u Jadransko more u Omišu. S nadmorskom visinom izvora od 382 m, Cetina je značajan prirodni resurs koji nudi veliki energetska potencijal [1]. Ovaj potencijal prepoznat je još početkom 20. stoljeća, što je dovelo do izgradnje brojnih hidroelektrana duž njezinog toka, čineći je tako ključnim dijelom hrvatskog hidroenergetskog sustava [2].

Izgradnja hidroelektrana na rijeci Cetini započela je 1912. godine s hidroelektranom Kraljevac, nakon izgradnje iste uslijedile su hidroelektrane Peruća, Orlovac, Đale i Zakućac. Najveća je i najsnažnija hidroelektrana duž toka Cetine hidroelektrana Zakućac [3].

Perućko jezero, prvo akumulacijsko jezero izgrađeno u krškom području Hrvatske, izgrađeno je 1960. godine uz hidroelektranu Peruća. Spomenuto jezero, površine gotovo 20 km², ima ključnu ulogu u regulaciji dotoka vode za proizvodnju električne energije [3]. Tijekom Domovinskog rata, brana Peruća bila je meta napada, što je izazvalo velika oštećenja i prijetnju za okoliš i lokalno stanovništvo [4].

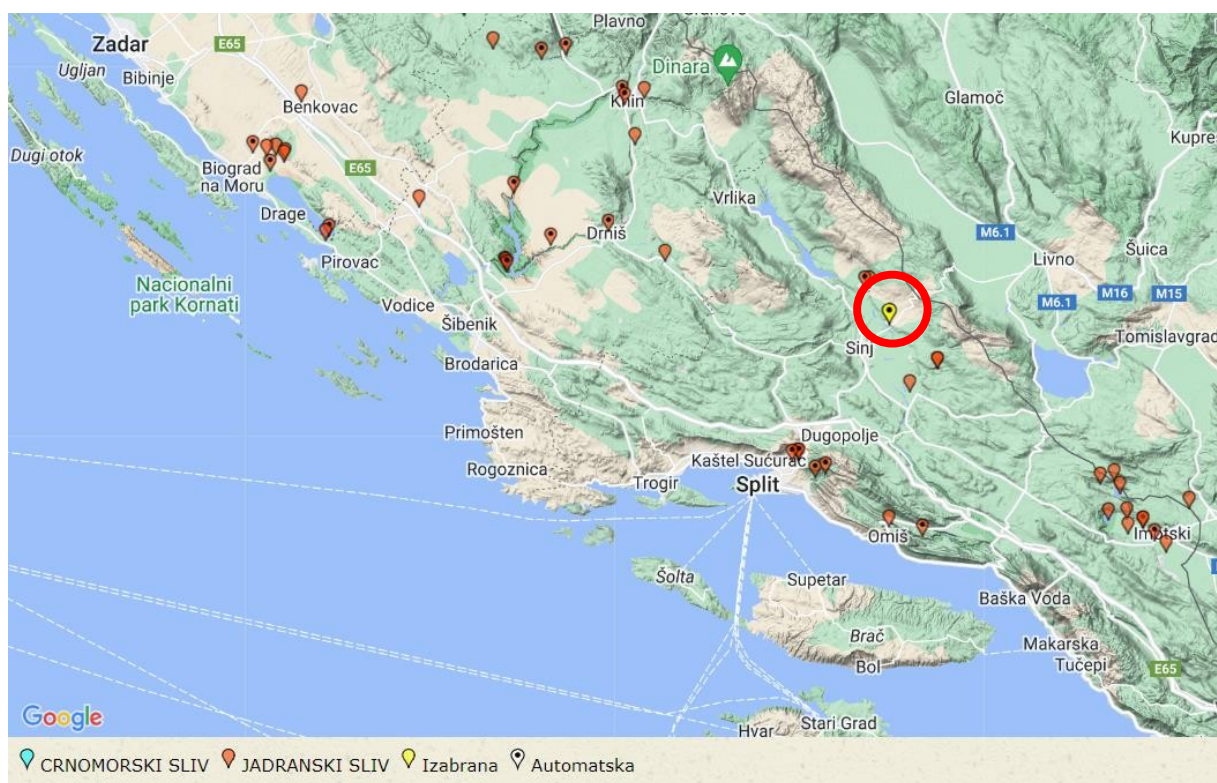
Izgradnja i održavanje hidroelektrana na Cetini rezultat su dugogodišnjih istraživanja i napora brojnih stručnjaka. Unatoč izazovima, posebno tijekom ratnih razaranja, sustav hidroelektrana na Cetini postaje primjer tehnološke i inženjerske izvrsnosti, doprinosi energetska stabilnosti Hrvatske i osigurava resurse za vodoopskrbu [3].

U ovom završnom radu opisano je miniranje brane Peruća te četiri varijantna rješenja obnove. U drugom dijelu rada provedena je analiza godišnjih i mjesečnih protoka te godišnjeg otjecanja rijeke Cetine tijekom sedamdesetogodišnjeg razdoblja od 1949. do 2018. godine. Nadalje, u radu su prikazane i krivulje trajanja i učestalosti za tri karakteristične godine, vlažnu, približno srednju i sušnu godinu.

2 PODATCI I METODOLOGIJA

Mjerna postaja „Han“

Mjerna postaja „Han“ nalazi se u mjestu Han u Dalmatinskoj zagori, u blizini grada Sinja [5]. Podatci o dnevnim protocima korišteni u ovom radu za analizu trendova protoka rijeke Cetine upravo su izmjereni na toj hidrološkoj postaji. Na Slici 1 prikazana je situacija s lokacijom postaje, a na Slici 2 i sama postaja. Nadalje, podatci o postaji prikazani su u Tablici 1, a mjerenja postaje u Tablici 2.



Slika 1: Situacija s lokacijom mjerne postaje Han na rijeci Cetini (Izvor: [5])



Slika 2: Mjerna postaja Han na rijeci Cetini (Izvor: [5])

Tablica 1: Osnovni podatci postaje (Izvor: [5])

Ime	HAN
Šifra	7026
Tip postaje	Automatska dojava
Vodotok	CETINA
Sliv	JADRANSKI SLIV
Porječje	Porječja južnog Jadrana
Početak rada	01. 01. 1894.
Kraj rada	--
Kota nule vodokaza (m n/m)	296,630
Udaljenost od ušća (km)	63,700
Udaljenost od izvora (km)	--
Topografska površina sliva (km²)	836,000

Tablica 2: Mjerenja postaje (Izvor: [5])

Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	Razdoblje: 1947. – 2022. Kota nule: 296,630 m n/m Minimum: 11. 12. 1983. – 12 cm Maksimum: 14. 4. 2004. 359 cm
	Godine mjerenja: 1947-2022
PROTOK	Razdoblje: 1947. – 2018. Minimum: 11. 12. 1983. 1,635 m ³ /s Maksimum: 14. 12. 1954. 340,4 m ³ /s
	Godine mjerenja: 1947-2018
TEMPERATURA	Razdoblje: 1956. – 2018. Minimum: 7. 2. 2012. 2,3 °C Maksimum: 22. 7. 1960. 20,5 °C
	Godine mjerenja: 1956 1958-1962 2008-2018
VODOMJERENJA	Broj mjerenja: 282
PROFILI	Broj mjerenja: 12

3 HIDROELEKTRANA PERUĆA

3.1 HE Peruća kao dio hidroenergetskog sustava rijeke Cetine

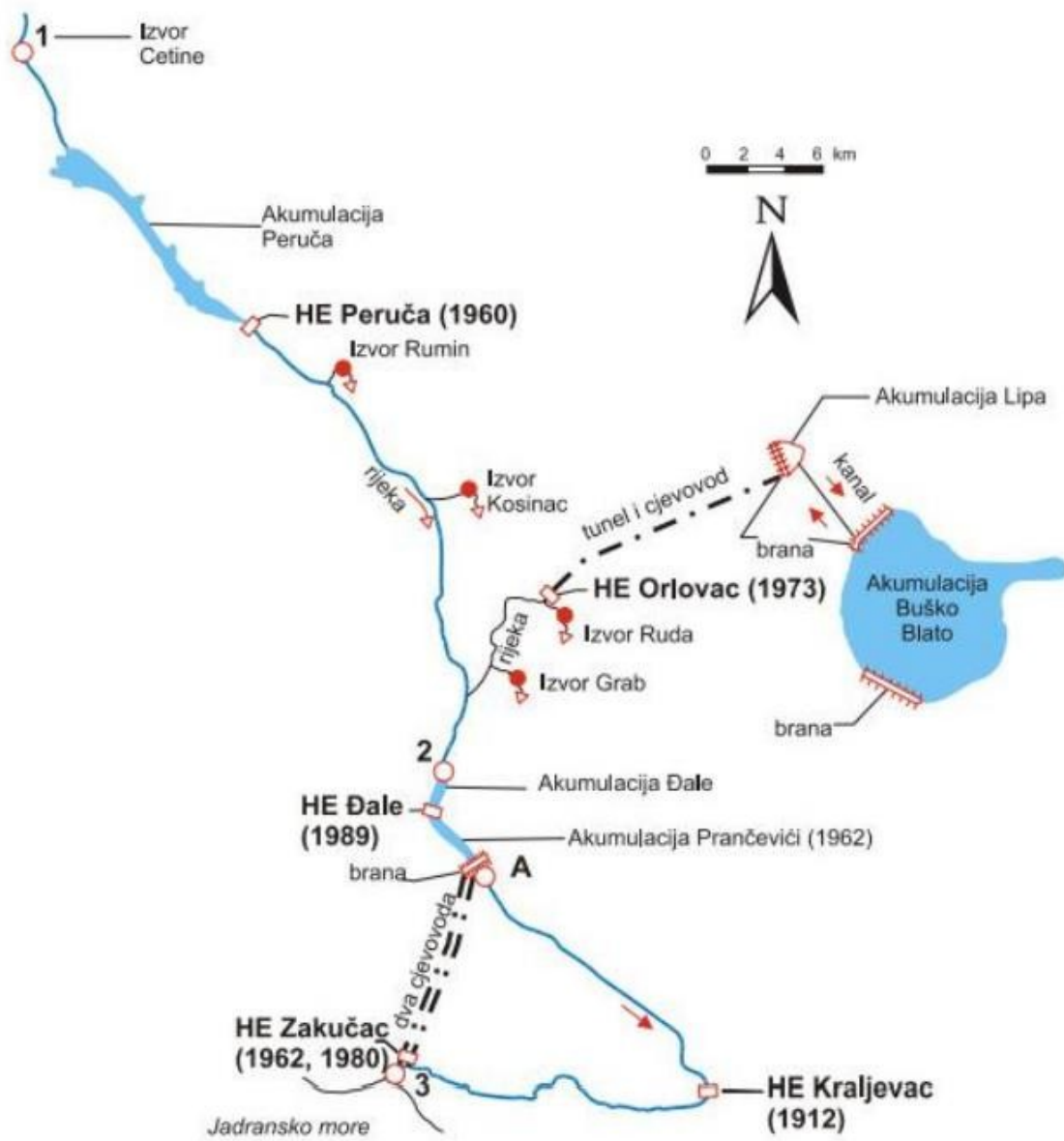
Rijeka Cetina, vodotoka dužine 105 km, s izvorom u selu Cetina kod Vrlike na nadmorskoj visini od 382 m i ušćem u Omišu, rijeka je velikog energetskog potencijala [1]. Rijeka Cetina ujedno je i najduža te vodom najbogatija Primorska rijeka [6].

Tok rijeke možemo podijeliti na gornji i donji. Gornji tok, dužine 56 km, od izvora do grada Trilja te donji tok nizvodno od Trilja do ušća. U donjem toku, od Trilja do ušća u more, Cetina je izrazito brdska rijeka s padom od 290 m [1].

Slivno područje rijeke Cetine obuhvaća Vrličko, Koljansko, Ribaričko, Hrvatačko i Sinjsko polje, a osim nabrojanih krških polja u Hrvatskoj, slivu rijeke Cetine pripadaju i krška polja Bosne i Hercegovine. To su redom Livanjsko, Duvanjsko, Šujičko, Kupreško i Glamočko [2]. Ukupna površina sliva Cetine iznosi 4119 km², od čega 1463 km² pripada Hrvatskoj, a 2656 km² Bosni i Hercegovini. Sliv rijeke Cetine najznačajniji je i najvažniji energetski sliv u Hrvatskoj s najvećom godišnjom proizvodnjom energije, raspoloživom snagom i regulacijskim mogućnostima [3].

Iskorištavanje energetskog potencijala počelo je davne 1912. godine kada je u njezinom donjem toku izgrađena hidroelektrana Kraljevac. Budući da je nakon izgradnje hidroelektrane Kraljevac protok Cetine bio neujednačen, a uz to neujednačena je bila i proizvodnja energije došlo se do rješenja o izgradnji akumulacijskih jezera u gornjem toku rijeke. Prvo izgrađeno jezero te hidroelektrana bilo je Perućko 1960. godine [2]. Na rijeci Cetini izgrađene su još tri hidroelektrane, hidroelektrana Orlovac 1973. godine, hidroelektrana Đale 1989. godine te hidroelektrana Zakućac 1962., 1980. godine (Slika 3). Hidroelektrana Zakućac najveća je i najsnažnija hidroelektrana u Hrvatskoj [3].

Osim energetske važnosti, sliv Cetine služi za vodoopskrbu otoka Brača, Šolte, Hvara te područja Omiša i Makarske [3].



Slika 3: Hidroenergetski sustav rijeke Cetine (Izvor: [7])

3.2 Podatci o HE Peruća

Hidroelektrana Peruća, smještena uz istoimeno akumulacijsko jezero i branu, 14 km uzvodno od grada Sinja, izgrađena je 1960. godine u gornjem toku rijeke Cetine [2]. Akumulacijsko jezero Peruća prvo je takvo jezero izgrađeno u krškom području, ali i u Hrvatskoj. Pri najvećem vodostaju, površina jezera je gotovo 20 km², što ga čini trećim jezerom po površini u Republici Hrvatskoj. Jezero je ostvareno nakon mnogo hidrogeoloških i geoloških istraživanja i radova. Svrha izgradnje akumulacijskog jezera bila je izravnavanje dotoka vodotoka sliva Cetine i ujednačenje korištenja za proizvodnju električne energije [3]. Izgradnjom brane i injeksijske zavjese nastalo je Perućko jezero (Slika 4). Brana je prvotno bila visoka 63 m, duga 450 m te široka 220 m, a dužina injeksijske zavjese bila je 1600 m [3]. Ostvarena koncentracija pada zbog izgradnje brane koristi se u pribranskoj hidroelektrani Peruća. Instalirani protok hidroelektrane Peruća iznosa je $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$, instalirana snaga $P = 41,6 \text{ MW}$ te prosječna godišnja proizvodnja $E = 120 \text{ GWh}$ [8]. Korisni volumen akumulacijskog jezera je 565 mil. m³, a najviša poplavna razina je na 362 m. n. v. [2].



Slika 4: Prikaz brane i akumulacijskog jezera Peruća (Izvor:[9])

Temeljni ispust i preljevna građevina s brzotokom služe za evakuaciju velikih voda. Akumulacijsko jezero može prihvatiti i evakuirati vodni val 10 000 godina povratnog razdoblja upravo zbog preljevne građevine koja ima propusnu moć od 428 m³/s te zaklopku dimenzija 10 x 7 m. Propusna moć temeljnog ispusta iznosi 220 m³/s, od opreme posjeduje regulacijski zatvarač dimenzija 2,8 x 4 m te pomoćni zatvarač dimenzija 4 x 4 m [2].

Tunel u kružnoj krivini, koji je obilazio branu na lijevoj obali služio je za dovod vode na turbine. Tunel je bio ukupne dužine 300 m i promjera 6,7 m. Tunel je ispred turbina prelazio u čelični razdjelni cjevovod na kraju kojega su se nalazili predturbinski zatvarači. Promjer razdjelnog cjevovoda bio je 3,8 m [2].

Na nizvodnoj strani, ispred brane smješteni su bili strojnica i rasklopno postrojenje(Slika 5 i Slika 6). Strojarnica se sastojala od dvije Francis turbine snage 21,5 MW i sinkornih generatora snage 26 MVA. Broj okretaja turbine iznosio je $187,5 \text{ min}^{-1}$. Generatori su s transformatorima bili spojeni pomoću bakrenih vodiča. Rasklopno postrojenje od 110 kV i 35 kV bilo je izvedeno prilikom puštanja elektrane u pogon 1960. godine. Čeličnim difuzorima i difuzorskim tablastim zatvaračima u dimenzijama 5,2 x 3,55 m omogućen je direktan odvod iz turbina u rijeku Cetinu [2].



Slika 5: Unutrašnjost strojarnice HE Peruća (Izvor: [9])



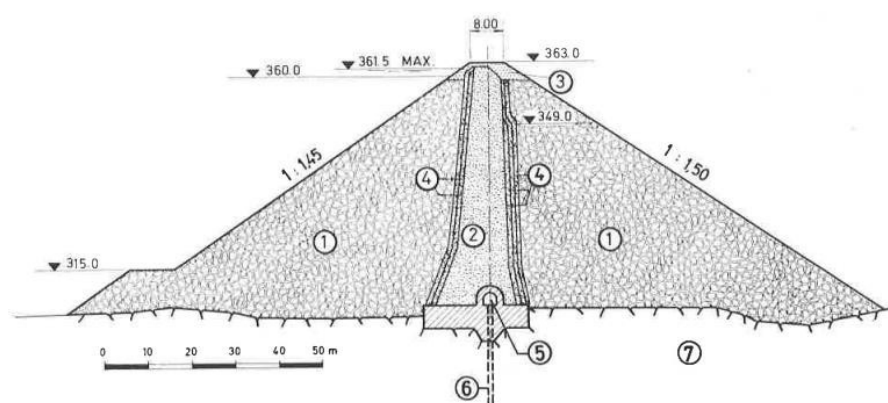
Slika 6: Rasklopno postrojenje HE Peruća (Izvor: [2])

3.3 Brana prije miniranja

Brana Peruća smještena je 76,2 km uzvodno od ušća rijeke Cetine u Jadransko more. Kao što je već spomenuto, prvobitna visina brane Peruća od najniže točke u koritu do krune brane iznosila je 63 m, a volumen brane iznosio je 874 097 m³ [3]. Krana brane bila je na koti 363,00 m. n. v. što je za 3 m više u odnosu na najvišu kotu radnog uspora vode u jezeru koja se nalazila na 360,00 m. n. v. [4].

Brana Peruća sastojala se od uzvodnog i nizvodnog nasipa izgrađenog od lomljenog kamena te vertikalne glinene jezgre. Uzvodni nasip nagiba 1:1,45 bio je izgrađen od većih kamenih blokova kako bi predstavljao dostatnu zaštitu od djelovanja valova dok je nizvodni nasip nagiba 1:1,50 bio izgrađen od manjih kamenih blokova te zemljanog materijala i brnistre. Prijelazni filtarski slojevi od prirodnog sitnog pijeska, šljunka i kamene drobine nalazili su se između glinene jezgre i nasipa od lomljenog kamena. Glinena jezgra bila je uska zbog nedostatka materijala za izgradnju široke jezgre. Glina je bila visokog plasticiteta. Betonski temelj s gornjom kotom na 305, m. n. v. bio je izveden zbog razlomljene temeljne stijene u koritu rijeke (Slika 7). Brana je bila konkavno zakrivljena prema nizvodnoj strani kako bi se jezgra mogla zbijati uslijed deformacije vode pod tlakom usporene vode [4].

Radove su izvodile tvrtke Konstruktor, Split i Geoistraživanja, Zagreb prema projektima koje su izradili Elektroprojekt, Zagreb i Geoistraživanja, Zagreb na čelu s glavnim projektantima, Borisom Pavlinom, dipl. ing. građ. i prof. dr. sc. Ervinom Nonveillerom. Gradnja brane i akumulacijskog jezera s hidroelektranom trajala je od 1956. do 1960. godine. Hidroelektrana Peruća završena je 25. studenog 1960. godine te je taj dan puštena u pogon i postala je dijelom hidroenergetskog sustava Hrvatske [3].



LEGENDA

1. KAMENI NASIP
2. GLINENA JEZGRA
3. ZAGLINJENI KAMENI MATERIJAL
4. FILTARSKI SLOJEVI
5. INJEKCIJSKA GALERIJA
6. INJEKCIJSKA ZAVJESA
7. TEMELJNA STIJENA

Slika 7: Poprečni presjek brane Peruća (Izvor: [4])

3.4 Miniranje brane

Brana Peruća pod okupacijom srpskih paravojnih snaga i tzv. JNA bila je od 17. rujna 1991. godine do 28. siječnja 1993. godine kada je u 10^h 45^{min} 55^{sec} aktiviran eksploziv u kontrolnoj galeriji i na preljevu brane. Nakon okupiranja brane zatvoreni su svi odvodi iz akumulacijskog jezera, odnosno zatvorena je zapornica na preljevu i regulacijski zatvarač temeljnog ispusta. U tom trenutku brana Peruća nakon 32 godine postojanja, koja je do tog trenutka služila kao uzor mnogim elektranama izgrađenim u krškim područjima, kako u Hrvatskoj tako i širom svijeta, postala je velika prijetnja za okoliš i ljude koji su živjeli nizvodno od Sinja do Omiša. Miniranjem brane planirano je uništenje svih nizvodnih elektrana na rijeci Cetini te ugrožavanje života i imovine 20 000 stanovnika Cetinske krajine [4].

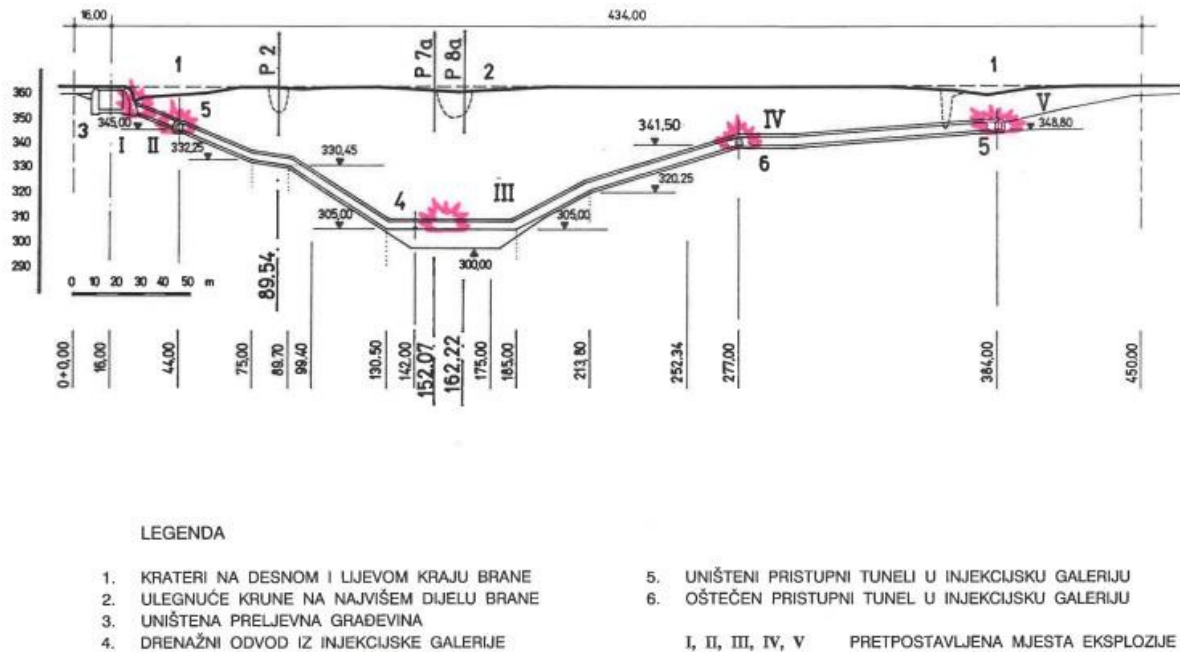
Prvu prijetnju, dan nakon okupiranja brane, 18. rujna 1991. godine, izrekao je Ratko Mladić, komandant 9. kninskog korpusa tzv. JNA. Aktiviranje eksploziva izvršeno je 28. siječnja 1993. godine, dan nakon uspješne operacije Maslenica koja je trajala od 6. siječnja do 27. siječnja 1993. godine. Operacijom Maslenica oslobođena je zračna luka Zemunik te je ponovno uspostavljena prometna povezanost Zadar-Maslenica-Karlobag i ujedno spojen sjever i jug Hrvatske [3].

Budući da su se ratna razaranja odvijala na području oko brane, prve vijesti o eksploziji nisu otkrivala detalje o razmjeru razaranja. Međutim, o jačini eksplozije svjedočile su snimke s velike udaljenosti na kojima su zabilježeni dim, prašina te efekti eksplozije. Prvi pravi uvid u situaciju na brani omogućio je snimatelj tadašnjeg HTV-a Split, koji je uspio doći do brane sa hrvatskom vojskom. Iste večeri, nakon 20 h, građevinski stručnjaci obišli su branu i obavili prvi stručni pregled uz pratnju Hrvatske vojske. Tijekom noći odlučeno je da se obavi evakuacija oko 3 000 stanovnika iz najugroženijeg područja te da se ne objavi uzbuna elementarne nepogode zbog mogućeg nastanka panike jer bi to podrazumijevalo preseljenje oko 20 000 ljudi [4].

Oštećenja na brani zahtijevala su hitnu intervenciju na tijelu brane. Bilo je nužno spriječiti prodor vode i eroziju kao i izvršiti intervenciju na otvaranju zatvarača temeljnog ispusta kako bi se omogućilo ispuštanje vode iz akumulacijskog jezera i samim time smanjenje pritiska na branu [4].

Tijekom noći organizirano je praćenje mutnoće i protoka rijeke Cetine 12 km nizvodno od brane, na hidrometrijskom profilu u Hanu kako bi se dobile točne informacije za procjenu daljnjih događaja [3].

Prema oštećenjima, zaključeno je da je eksploziv aktiviran na pet mjesta u injekcijskoj galeriji, što je kasnije i potvrđeno naknadnim istraživanjima. Mjesta na kojima je aktiviran eksploziv označena su na uzdužnom presjeku I-V, prikazano na Slici 8 [4].



Slika 8: Uzdužni presjek brane Peruća s postavljenim eksplozivom (Izvor: [4])

Seizmičke stanice u Trilju, Hvaru i Puntijarki zabilježile su potres magnitude 2,4 po Richteru što je upućivalo na upotrebu 20 do 30 tona trinitrotoluena (TNT-a) [3]. Kao posljedica eksplozije na desnom kraju brane otvoren je veliki krater, na mjestu spajanja pristupnog tunela s galerijom gdje se nalazio jedini mogući pristup na krunu brane. Krater je bio stožastog oblika promjera 20-25 metara te dubine 6-7 metara (Slika 9) [4].



Slika 9: Krater na desnom kraju brane (Izvor: [4])

Duž krune brane nastala je i pukotina na asfaltu, dužine 77 m. Najveće i najopasnije oštećenje dogodilo se na lijevom kraju brane (Slika 10). Oštećenje je uzrokovano aktiviranjem eksplozije na mjestima I i II (Slika 8). Prva eksplozija u potpunosti je srušila bočni zid preljeva te dio nasipa do zapornice preljeva, dok je druga eksplozija otvorila krater promjera 25-30 m, dubine 10 m kroz koji je voda direktno otjecala u galeriju. Kao posljedica miniranja bočnog zida preljeva, pomaknuli su se dijelovi zida koji su ostali te tako ukliještili podignutu zapornicu i onemogućili njezino spuštanje. Velikom snagom eksplozije dijelovi zida bili su razbacani u krugu od 50 m [4].



Slika 10: Oštećenje lijevog kraja brane (Izvor: [4])

Na najdubljem dijelu galerije, gdje je brana najviša, eksplozija je prouzrokovala ulegnuća krune brane dubine 2,5-3 m, prikazano na Slici 11. Na uzvodnom pokosu uočena su puzanja uzvodne kamene zaštite, a povremeni virovi upućivali su na prodiranje vode u tijelo brane, što je zahtijevalo nasipavanje tog dijela pokosa [4].



Slika 11: Ulegnuće krune brane (Izvor: [4])

Hrvatska vojska dozvolila je pristup brani 29. siječnja 1993. godine te je zatrpavanjem nastalih kratera i sprječavanjem razvoja erozije započela intervencija na brani. Za navedene radnje korišten je buldozer D8 tipa Caterpillar i pokretni utovarivač, a materijal se dovozio iz kamenoloma udaljenog oko 25 km od brane kamionima [3]. Obavljanje svih aktivnosti na brani bilo je dozvoljeno isključivo po određenim pravcima zbog opasnosti od postavljenih mina u okolini. Kako bi se došlo do najugroženijeg dijela na lijevom kraju brane, postojala je potreba za zatrpavanjem kratera na desnom kraju brane jer je to bio jedini pristupni put lijevom kraju brane. Krater je saniran guranjem osnovnog nasipa brane s obje strane tako da se sam krater ispuni materijalom. Nadalje, po dolasku na lijevi kraj brane, uočeno je da se zahvaljujući vodostaju akumulacijskog jezera od 356,20 m u trenutku eksplozije nije dogodila katastrofa, što dovodi do spoznaje da je razina vode u jezeru bila presudna. Budući da je na lijevom kraju brane postojala opasnost od prodiranja vode u preostali nasip brane, bilo je potrebno zatvoriti krater za što je trebalo 1000 m³ materijala. Odlučeno je da će se krater zatrpati buldozerom zbog hitnosti intervencije. Voda koja je ulazila u tijelo brane izbijala je na rasklopištu 110 kV postrojenja HE Peruća (Slika 12). Međutim, zatrpavanjem kratera otjecanje vode je prestalo. Istog dana, 29. siječnja zaposlenici HE Peruća i Hrvatska vojska uspješno su i bez oštećenja

otvorili zatvarač temeljnog ispusta te je tim činom započelo pražnjenje akumulacijskog jezera protokom od 220 m³/s [4].



Slika 12: Rasklopno postrojenje HE Peruća (Izvor: [4])

U narednim danima provedena su geotehnička istraživanja, mjerenja strujanja vode na uzvodnom pokosu te se u tom razdoblju otvarali novi krateri na brani, a 4. ožujka 1993. g otvorila se kaverna na nizvodnoj strani. Kaverna širine 5 m i dubine 10 m dosegala je polovinu krune brane (Slika 13). Kaverna se nije zatvarala jer nije bilo bojazni od prodora vode u samu kavernu budući da je tada vodostaj bio 5 m niži od prirodnog tla. Oko same kaverne otvorile su se dodatne pukotine koje su onemogućavale pristup mehanizacije zbog nestabilnosti [4].



Slika 13: Kaverna na kruni brane (Izvor: [4])

3.5 Izbor rješenja sanacije

Rješenja za sanaciju brane zasnovane su na temelju vizualnih pregleda brane te promatranju njezina ponašanja nekoliko dana nakon miniranja iako su se trebala temeljiti na rezultatima istražnih radova. No, zbog stalne opasnosti od neprijateljskih napada provedena su samo opažanja slijeganja brane [3]. Na osnovi vizualnog pregleda i rezultata ponašanja brane postavljene su četiri osnovne varijante sanacije brane o kojima će biti riječ u nastavku [10].

Pod promatranja ponašanja brane ulazili su rezultati geofizičkih ispitivanja, mjerenja brzine strujanja vode u jezeru te mjerenje protoka mutnoće vode koja je istjecala iz pristupnog tunela galerije [10].

Poduzeće za primijenjenu geofiziku, „MOHO“ iz Zagreba, provelo je geofizička ispitivanja s ciljem utvrđivanja mjesta i razmjera oštećenja brane. Potvrđeno je da su najoštećeniji lijevi i desni kraj te središnji najviši dio brane [10].

Institut za oceanografiju i ribarstvo iz Splita proveo je mjerenja brzine strujanja vode na uzvodnom pokosu brane s ciljem otkrivanja mjesta na uzvodnom pokosu brane na kojima voda utječe u tijelo brane. Istraživanje je provedeno za vrijeme najvećeg protoka vode, a rezultati su pokazali da su se strujanja odvijala prema lijevom kraju brane [10].

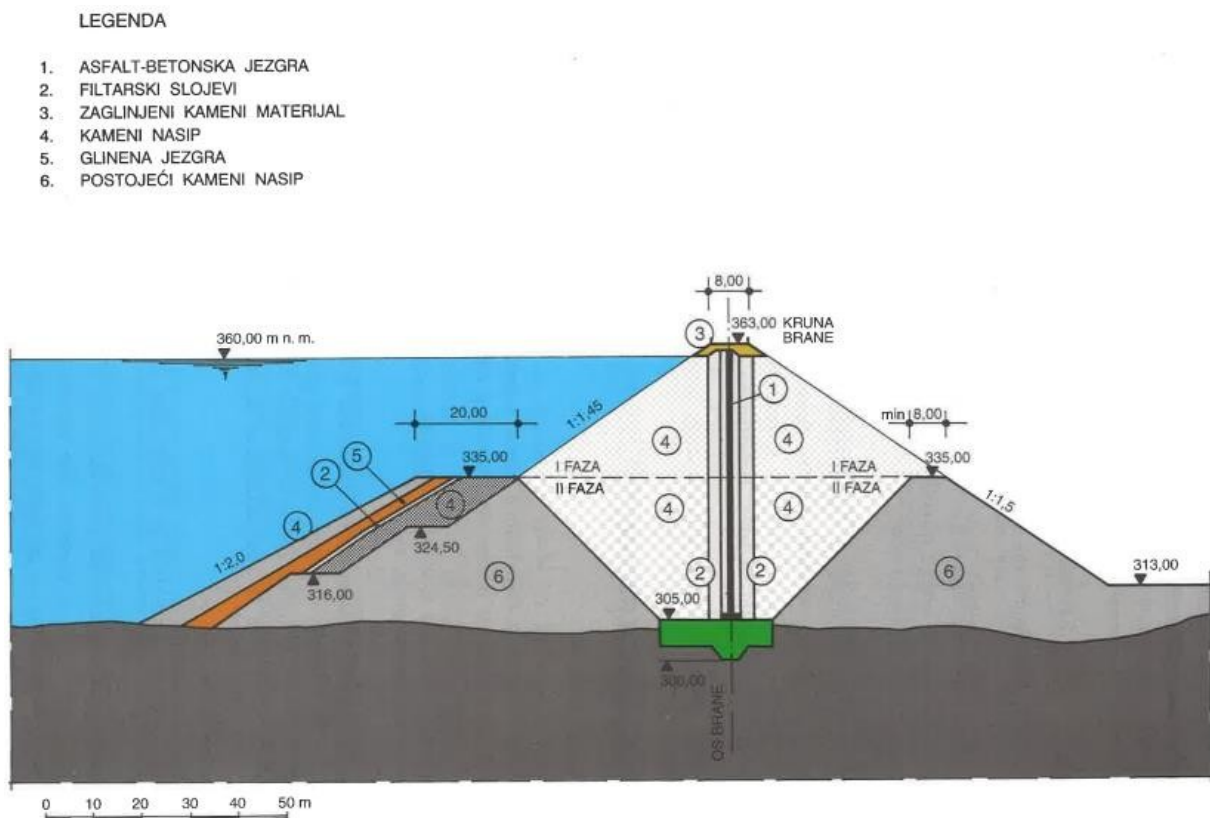
Građevinski institut iz Splita proveo je mjerenja protoka i mutnoće vode koja je istjecala iz pristupnog tunela galerije. Mjerenja u trajanju od pet dana pokazala su da se protok povećavao uz istovremeno smanjenje vodostaja u jezeru i smanjenje mutnoće vode, a zadnji dan istjecala je potpuno čista voda [10].

Zavod za izmjeru zemljišta iz Splita provodio je opažanje slijeganja brane u trajanju od 377 dana. Tijekom procesa postavljeno je 19 profila na kojima su se opažala slijeganja, mjerenja su obuhvatila 70% dužine krune brane [3].

Varijanta 1

Prvo varijantno rješenje podrazumijevalo je građenje nove brane te su pri tome promatrana dva rješenja za nepropusni element brane: jedno s glinenom jezgrom kao u izvornom projektu, a drugo s jezgrom od asfalt-betona (Slika 14) [10].

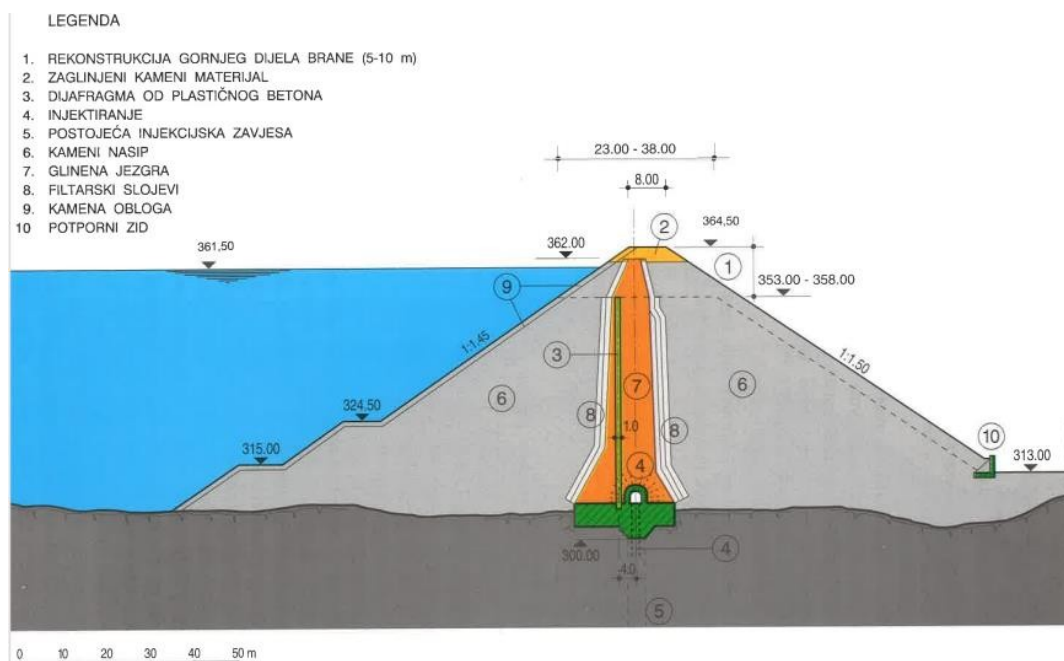
Rješenje s jezgrom od asfalt-betona razmatrano je zato što su klimatske prilike za njezinu izvedbu bile povoljnije u odnosu na ugradnju gline i zbog pretpostavke da će se glina morati dovoziti iz 10 km udaljenog nalazišta [10].



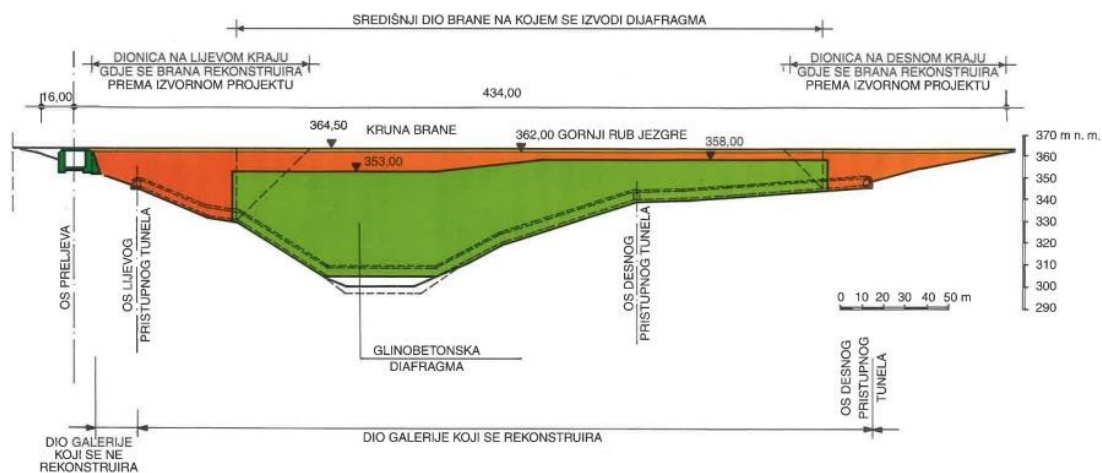
Slika 14: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s asfalt-betonskom jezgrom (Izvor: [10])

Varijanta 2

Prema ovoj varijanti sanacija brane podrazumijevala je izvedbu dijafragme, kao vododrživog elementa brane, od plastičnog betona (Slika 15 i Slika 16). Na lijevom kraju, u dužini od 100 m planirana je zamjena jezgrovnog dijela, a na desnom kraju, također u dužini od 100 m, zamjena cijelog poprečnog presjeka brane sa glinenom jezgrom. Dijafragma je trebala biti debljine 1 m, a duboka između 13 i 52 m. Temeljenje dijafragme izvelo bi se u stijeni, odnosno betonskom bloku dubine 2 metra. U varijanti 2 predviđeno je obnavljanje injekcijske galerije na dva načina. Na mjestima na kojima nije urušena izvodilo bi se podgrađivanje čeličnim lukovima, zatim betonska obloga debljine 15 cm armirana s dvostrukom čeličnom mrežom. Na uništenim dijelovima galerije bio je predviđen iskop pod zaštitom čeličnih lukova i platica te izvedba 80 cm debele betonske obloge [10].



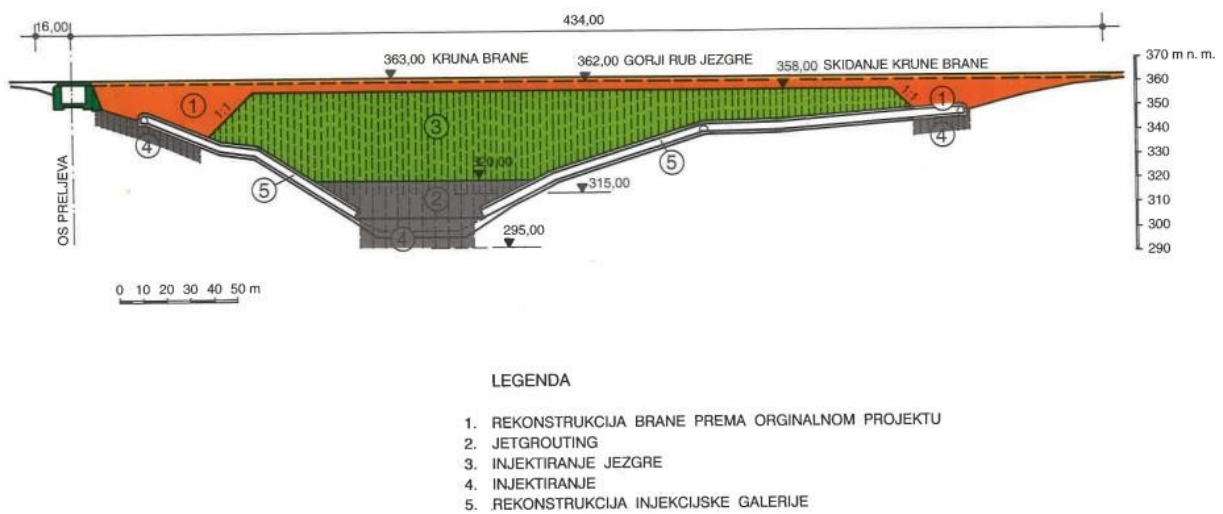
Slika 15: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s dijafragmom od plastičnog betona (Izvor: [10])



Slika 16: Uzdužni presjek rekonstrukcije brane s dijafragmom od plastičnog betona (Izvor: [10])

Varijanta 3

Treća varijanta podrazumijevala je saniranje glinene jezgre središnjeg dijela mlaznim i klasičnim injektiranjem, dok bi se lijevi i desni kraj brane sanirao na jednak način kao u Varijanti 2. Kako bi se umanjili troškovi sanacije, obnova središnjeg ujedno i najvećeg dijela injekcijske galerije nije bila predviđena, a preostali dio brane se trebao obnavljati jednako kao u Varijanti 2. Dijelovi jezgre sanirani mlaznim injektiranjem trebali su se povezati s dijelovima jezgre saniranim klasičnim injektiranjem produžavanjem injekcijskih bušotina za 5 metara te injektiranjem kontaktnog pojasa (Slika 17)[10].

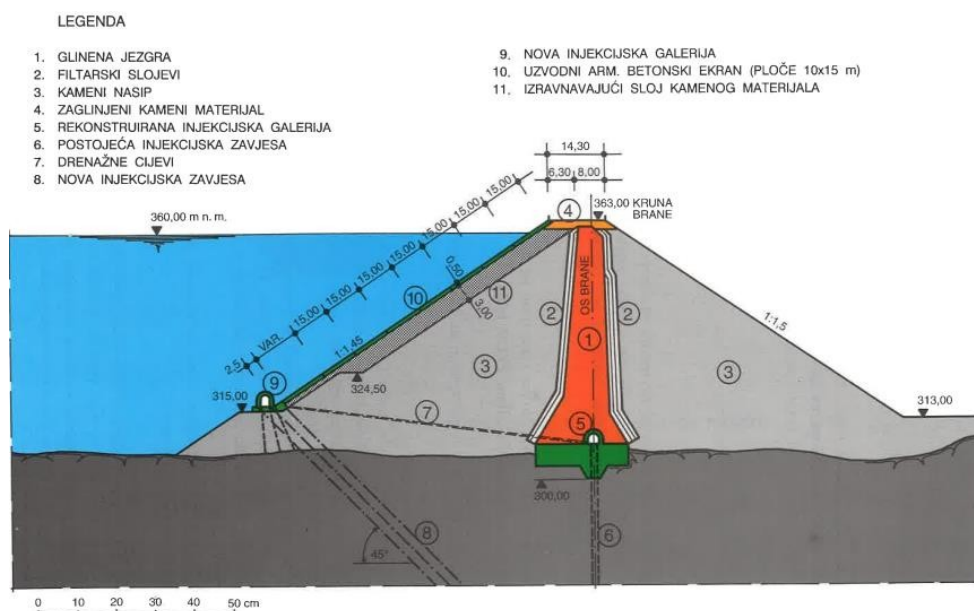


Slika 17: Uzdužni presjek rekonstrukcije brane injektiranjem jezgre (Izvor: [10])

Varijanta 4

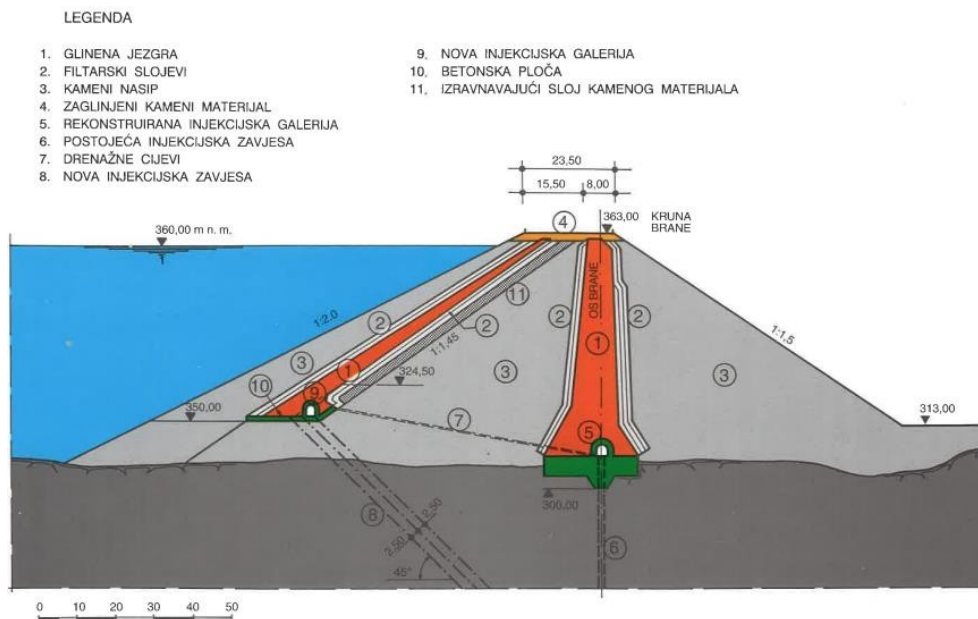
Četvrta varijanta podrazumijevala je izvođenje ekrana koji bi bio položen na uzvodni pokos brane i imao bi ulogu vododrživog elementa umjesto glinene jezgre. Na lijevom i desnom kraju brane bila je predviđena rekonstrukcija brane, ali bez glinene jezgre. Injekcijska galerija obnavljala bi se jednako kao što je navedeno u Varijanti 2. Postojale su tri mogućnosti izvedbe uzvodnog ekrana, a odnosile su se na izbor materijala. U obzir su dolazile armiranobetonske ploče, glina te PEHD folija [10].

Armirano-betonski ekran (Slika 18), izvodi se od dvostruko armiranih ploča debljine 50 cm, dimenzija 10 x 15 m te se spajaju brtvama. Betoniranje se obavlja na licu mjesta u kliznoj oplati [10].



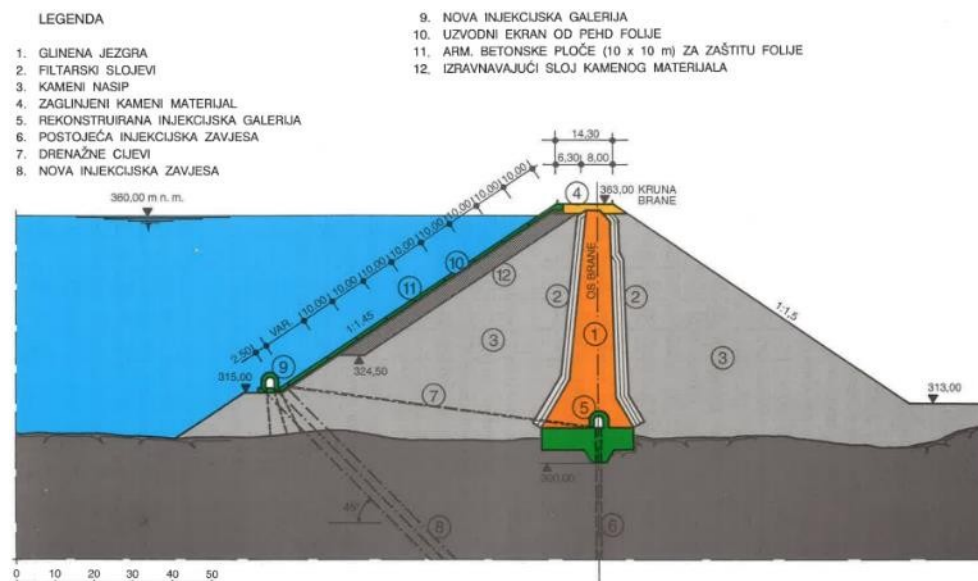
Slika 18: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od armirano-betonskih ploča (Izvor: [10])

Glineni ekran (Slika 19), zahtijeva najopsežnije radove. Pri dnu je debljine 4,5 m, a pri vrhu 1m. s gornje strane potrebno je izvesti zaštitu od pijeska i šljunka debljine 2 m [10].



Slika 19: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od gline (Izvor: [10])

PEHD folija (Slika 20), na donjem dijelu ugrađuje se u betonsku ploču injekcijske galerije, a na kruni brane u betonski prag. Spajanje folije izvodi se varenjem. S gornje strane zaštićuje se betonskim pločama debljine 15 cm, dimenzija 10 x 10 m [10].



Slika 20: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od PEHD folije (Izvor: [10])

Izabrano rješenje

Voditelj projekta sanacije brane Peruća, prof. dr. sc. Josip Rupčić, koji je u to vrijeme bio docent, te još 12 članova Stručnog kolegija bili su zaduženi za izbor varijante sanacije brane. Stručnim kolegijem predsjedao je Marin Vilović, dipl. ing. građ. [3].

Sve varijante bile su uspoređene kvantitativno i kvalitativno. Na temelju izračunatih građevinskih troškova za svaku varijantu, vremena potrebnog za sanaciju te vrijednošću izgubljene energije za vrijeme sanacije zaključeno je da bi najpovoljnija bila Varijanta 3 sa klasičnim injektiranjem središnje glinene jezgre. Varijante 1a i 1b koje su uključivale glinenu ili jezgru od asfalt-betona te Varijanta 4b koja je uključivala glineni uzvodni ekran, isključene su zbog nepovoljnosti u vidu visokih troškova i dugog trajanja [10].

Nakon toga, provedena je kvalitativna analiza preostalih varijanti. Kvalitativna analiza uključivala je pouzdanost, složenost građevinskih radova, te mogućnosti energetskog iskorištavanja i naknadne intervencije u slučaju potrebe popravka. Kao najpovoljnija varijanta pokazala se Varijanta 2 jer je moguće korištenje akumulacijskog jezera do kote 330 m. n. v. uz prethodnu obnovu injekcijske galerije. Također, uz prethodnu obnovu injekcijske galerije, bilo bi moguća i naknadna intervencija donjeg dijela dijafragme [10].

Naposljetku kao varijantno rješenje izabrana je izvedba dijafragme od plastičnog betona, te potpuna sanacija lijevog i desnog kraja brane, odnosno Varijanta 2 [10]. U okviru sanacije brana je nadvišena za 1,5 m u odnosu na prvobitnu. Na taj način povećao se i maksimalni radni vodostaj te je dobiveno dodatnih 24 mil. m³ vode u akumulacijskom jezeru, što je za 4% više u odnosu na prvobitno jezero [2]. Povišenje brane izvedeno je nasipavanjem s nizvodne strane, nasuto je 80 000 m³ materijala, ali uz nasipanje bilo je nužno izgraditi i potporni zid visine 5,0 m u nizvodnoj nožici zbog blizine rasklopišta HE Peruća [3]. Hidroelektrana je nedugo nakon miniranja bila osposobljena za proizvodnju energije te je tijekom trajanja radova na sanaciji proizvodila energiju, ali sa smanjenom snagom [2].

Brana Peruća obnovljena je i ponovno puštena u pogon 29. svibnja 1996 [8].

Tijekom rekonstrukcije izvedene u razdoblju od 2004. do 2008. g zamijenjena je dotrajala oprema. Ugradnjom dva nova agregata, snaga elektrane povećana je na 61,5 MW [9].

4 ANALIZA TRENDOVA PROTOKA I OTJECANJA RIJEKE CETINE

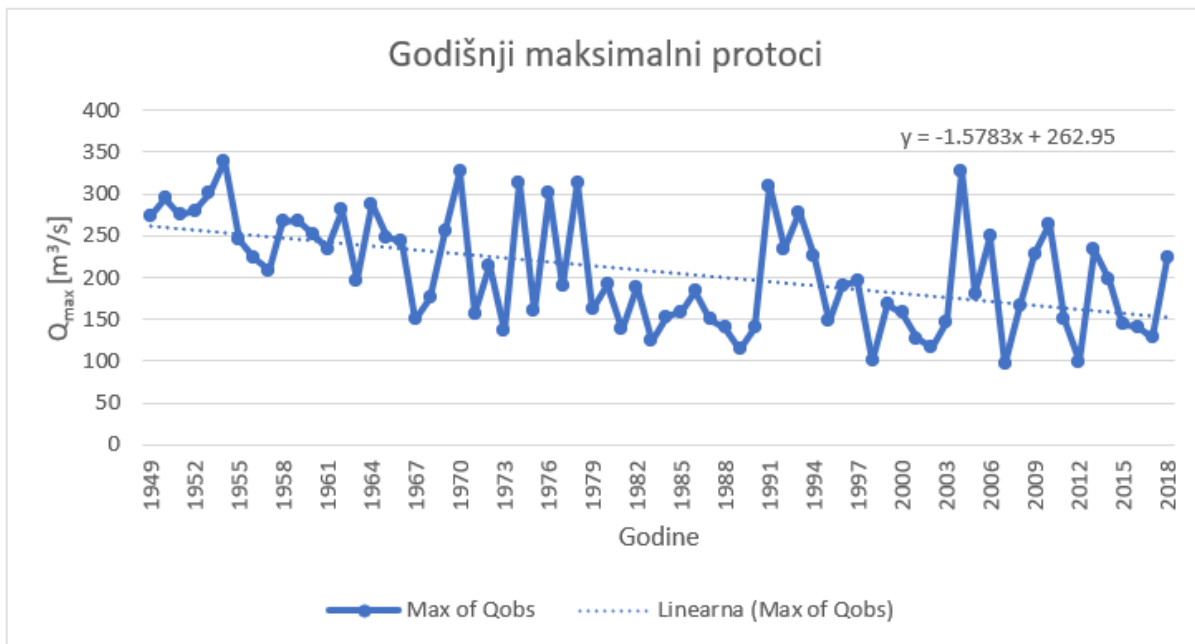
4.1 Godišnji protoci

Trendovi protoka rijeke Cetine bilježeni na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine bit će prikazani u nastavku rada kroz analizu godišnjih maksimalnih, srednjih i minimalnih protoka za navedeno razdoblje.

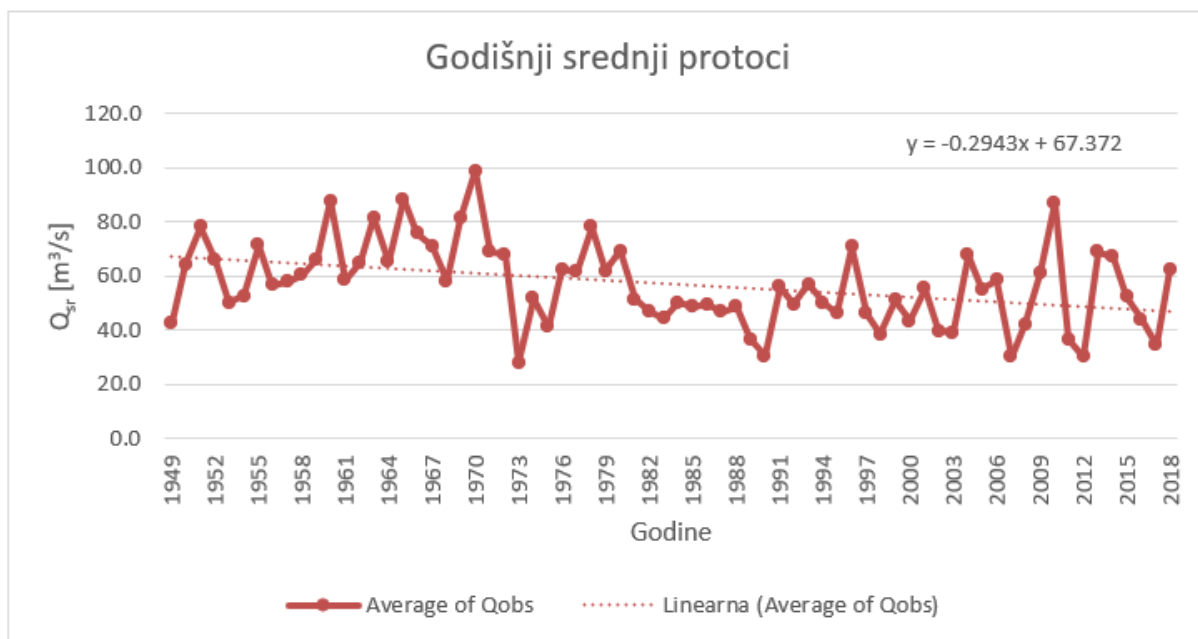
Iz grafičkog prikaza niza maksimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine (Slika 21) najveći maksimalni protok zabilježen je 1954. godine, a iznosio je 340,0 mm. Najmanji maksimalni protok zabilježen je 2007. godine, a iznosio je 95,9 mm. Prosječna vrijednost maksimalnih protoka Cetine u razdoblju od 1949. do 2018. godine na mjernoj postaji Han iznosila je 206,9 mm. Nadalje, iz grafičkog prikaza vidljiv je negativan trend, odnosno smanjenje maksimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han tijekom promatranog razdoblja.

Iz grafičkog prikaza niza srednjih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine (Slika 22) najveći srednji protok zabilježen je 1970. godine, a iznosio je 98,7 mm. Najmanji srednji protok zabilježen je 1973. godine, a iznosio je 27,9 mm. Prosječna vrijednost srednjih protoka Cetine u razdoblju od 1949. do 2018. godine na mjernoj postaji Han iznosila je 56,9 mm. Nadalje, iz grafičkog prikaza vidljiv je pozitivan trend od 1949. godine do 1970. godine, dok se od 1970. do 2018. bilježi negativan trend.

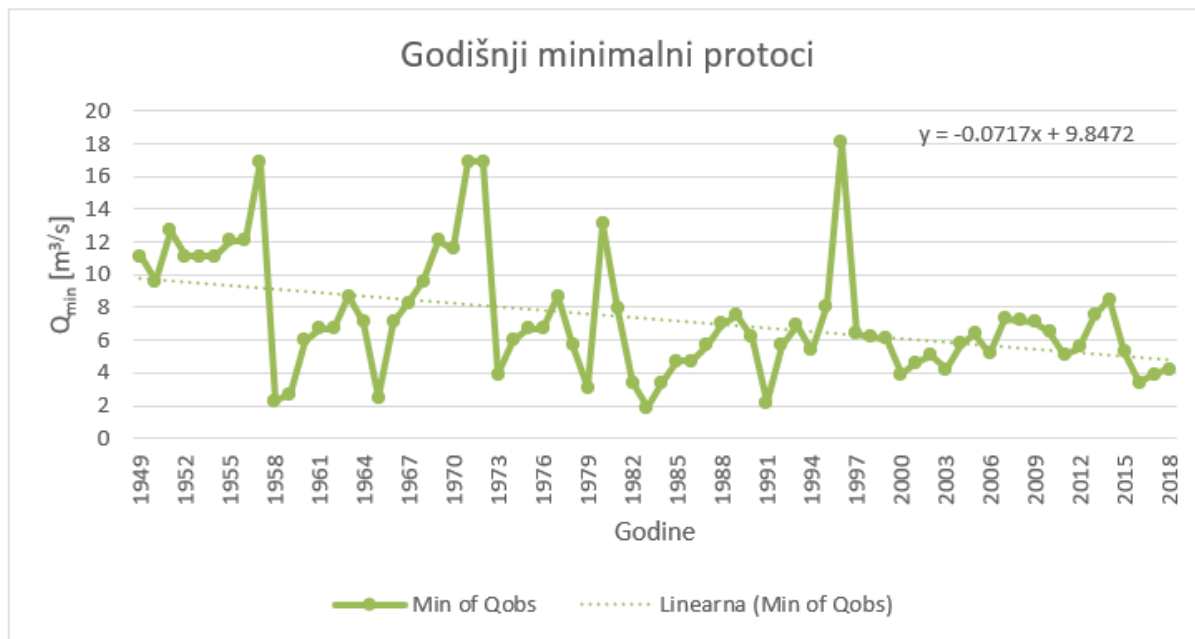
Iz grafičkog prikaza niza minimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine (Slika 23) najveći minimalni protok zabilježen je 1996. godine, a iznosio je 18,1 mm. Najmanji minimalni protok zabilježen je 1983. godine, a iznosio je 1,9 mm. Prosječna vrijednost minimalnih protoka Cetine u razdoblju od 1949. do 2018. godine na mjernoj postaji Han iznosio je 7,3 mm. Nadalje, iz grafičkog prikaza vidljiv je negativan trend, odnosno smanjenje minimalnih godišnjih protoka uz izražene oscilacije u godinama 1957., 1971., 1972., 1980. te 1996.



Slika 21: Niz maksimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine



Slika 22: Niz srednjih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine



Slika 23: Niz minimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine

Relativan trend prema srednjoj vrijednosti:

$$rel Q_{max} = \frac{trend Q_{max}}{Q_{max_srednje}} = -0.00763$$

$$rel Q_{sr} = \frac{trend Q_{sr}}{Q_{sr_srednje}} = -0.00517$$

$$rel Q_{min} = \frac{trend Q_{min}}{Q_{min_srednje}} = -0.00982$$

Iz prethodnih izraza dobivene su bezdimenzijske vrijednosti jačine umanjenja maksimalnih, srednjih i minimalnih protoka. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da je jačina umanjenja protoka najveća kod minimalnih protoka s iznosom od -0.00982, a najmanja kod srednjih protoka s iznosom od -0.00517. Maksimalni protoci bilježe približno srednju jačinu umanjenja protoka od -0.00763.

4.2 Mjesečni protoci

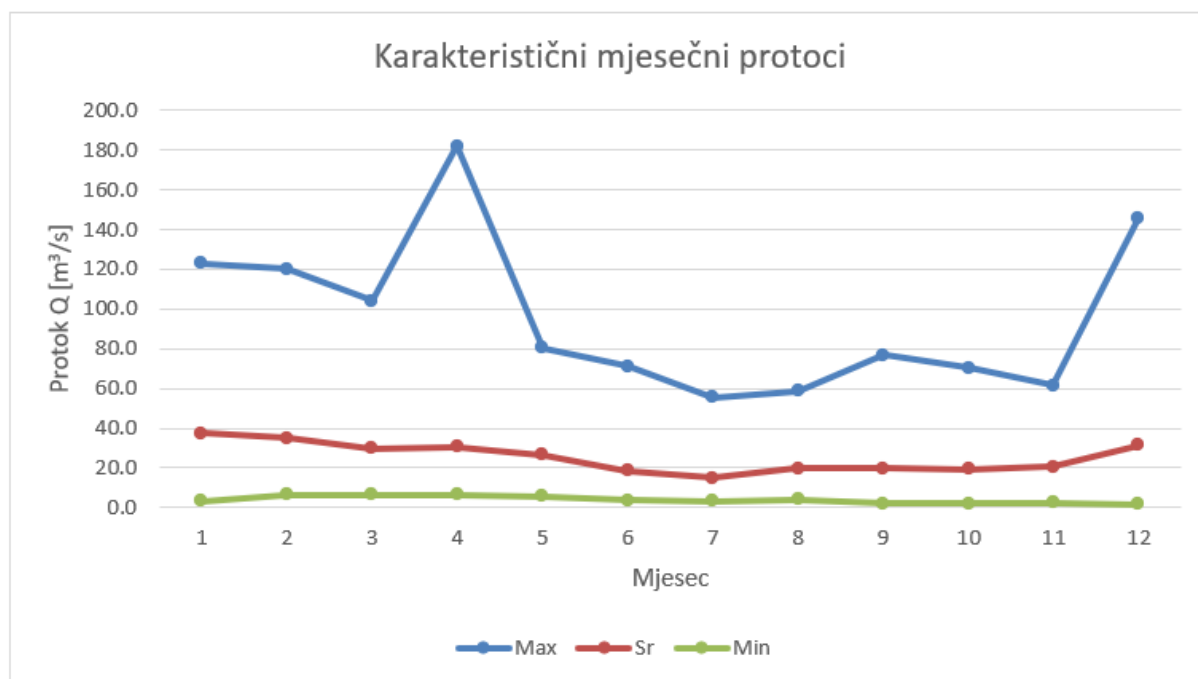
Tablično su prikazani karakteristični mjesečni protoci (Q_{mj_max} , Q_{mj_sr} , Q_{mj_min}) za razdoblje od 1949. do 2018. godine (Tablica 3).

Grafički je dan prikaz karakterističnih mjesečnih protoka (Q_{mj_max} , Q_{mj_sr} , Q_{mj_min}) za razdoblje od 1949. do 2018. (Slika 24).

Iz grafičkog prikaza karakterističnih mjesečnih protoka u razdoblju od 1949. do 2018. godine vidljivo je da je minimalni protok zabilježen u prosincu, a iznosio je 1,9 m^3/s . Maksimalni protok ima skok dva puta godišnje, u travnju i prosincu. Maksimalni protok u travnju iznosio je 182,0 m^3/s , a u prosincu 146,0 m^3/s .

Tablica 3: Vrijednosti karakterističnih mjesečnih protoka

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	UKUPNO
Q_{mj_max}	123.0	120.0	104.0	182.0	80.6	71.0	55.4	58.8	76.7	70.5	61.4	146.0	18.1
Q_{mj_sr}	37.5	35.1	29.7	30.8	26.6	18.6	14.9	19.6	19.8	19.2	20.7	31.3	7.3
Q_{mj_min}	3.4	6.7	6.5	6.6	5.6	3.9	3.4	4.2	2.2	2.2	2.5	1.9	1.9



Slika 24: Karakteristični mjesečni protoci u razdoblju od 1949. do 2018. godine

4.3 Godišnje otjecanje

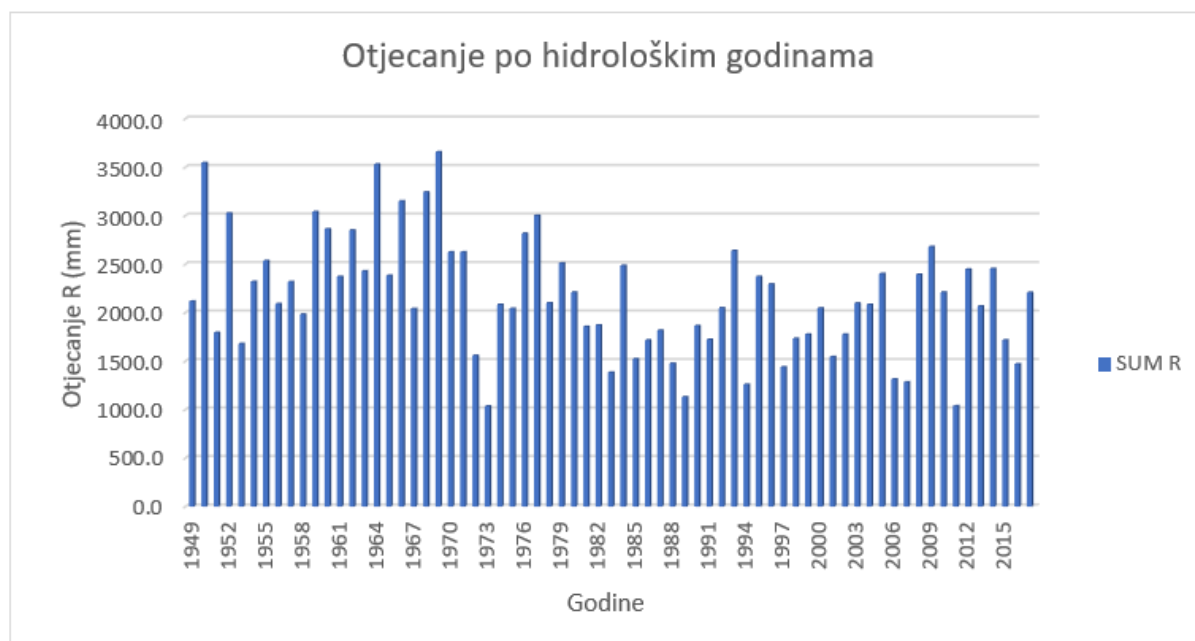
U nastavku rada tablično će biti prikazane vrijednosti otjecanja R [mm] za razdoblje od 1949. do 2018. godine (Tablica 4), s izdvojenim prikazom maksimalnog, srednjeg i minimalnog otjecanja za odabrane karakteristične hidrološke godine (Tablica 5).

Tablica 4: Vrijednosti otjecanja po hidrološkim godinama

HY	R [mm]	HY	R [mm]
1949	2117.8	1984	2484.4
1950	3544.6	1985	1521.3
1951	1794.0	1986	1715.9
1952	3025.0	1987	1816.3
1953	1679.2	1988	1475.8
1954	2318.9	1989	1130.3
1955	2534.9	1990	1864.6
1956	2090.9	1991	1721.6
1957	2317.6	1992	2048.1
1958	1981.4	1993	2638.1
1959	3039.6	1994	1258.6
1960	2862.3	1995	2370.7
1961	2371.2	1996	2292.8
1962	2848.4	1997	1437.7
1963	2427.9	1998	1731.9
1964	3529.6	1999	1775.7
1965	2382.9	2000	2044.8
1966	3150.8	2001	1544.7
1967	2039.2	2002	1775.7
1968	3242.0	2003	2095.9
1969	3657.8	2004	2082.6
1970	2623.3	2005	2400.9
1971	2624.8	2006	1314.5
1972	1556.8	2007	1282.0
1973	1034.5	2008	2393.1
1974	2082.1	2009	2679.1
1975	2041.8	2010	2209.1
1976	2815.7	2011	1036.6
1977	3000.6	2012	2445.5
1978	2099.2	2013	2065.5
1979	2510.3	2014	2452.9
1980	2208.8	2015	1715.9
1981	1855.6	2016	1469.0
1982	1870.2	2017	2206.6
1983	1382.9		

Tablica 5: Karakteristične vrijednosti otjecanja po hidrološkim godinama

		Hidrološka godina
R_{\max} [mm]	2679.1	2009
R_{sr} [mm]	1864.6	1990
R_{\min} [mm]	1036.6	2011
σ [mm]	449.0	-

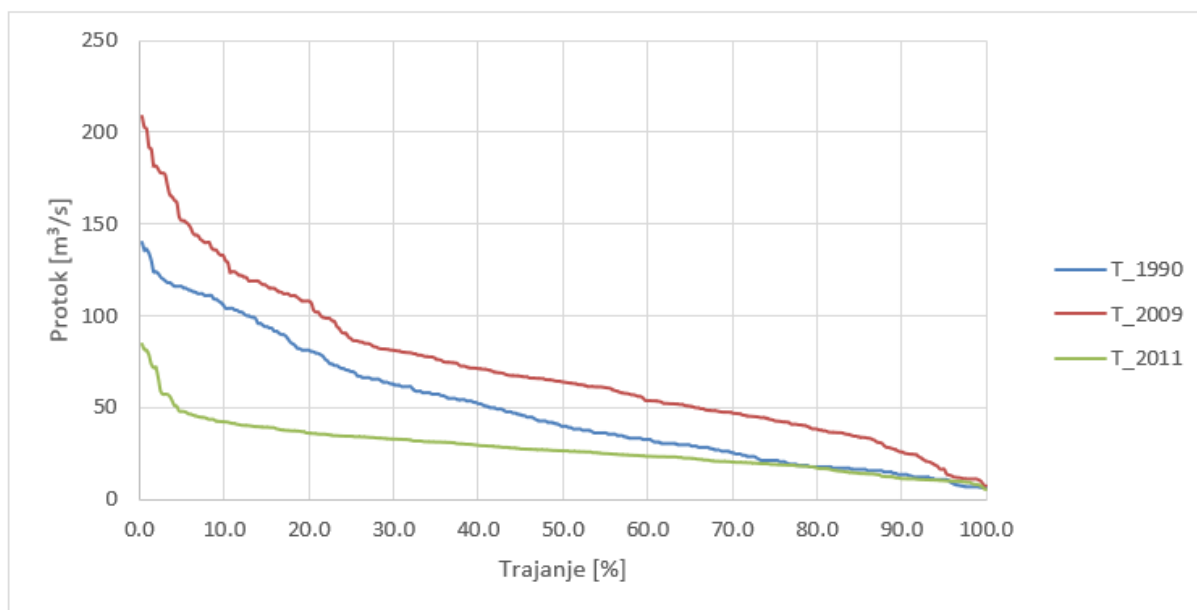
**Slika 25:** Otjecanje po hidrološkim godinama u razdoblju od 1949. do 2018. godine

Za razdoblje od 1949. do 2018. godine dan je i grafički prikaz otjecanja po hidrološkim godinama (Slika 25).

U ovom završnom radu odabrane su tri karakteristične hidrološke godine u razdoblju od 1990. do 2018. godine. Sukladno tomu, iz grafičkog prikaza vidljivo je da je minimum otjecanja zabilježen 2011. godine, a iznosio je 1036,6 mm. Do najvećeg otjecanja došlo je 2009. godine kada je zabilježeno otjecanje iznosilo 2679.1 mm. Kao godina s približno srednjim otjecanjem uzeta je 1990. godina s otjecanjem od 1864.6 mm.

4.4 Krivulje trajanja i učestalosti

Iz dostupnih podataka kontinuiranih mjerenja i promatranja hidroloških veličina za razdoblje od 1990. do 2018. godine, određene su krivulje trajanja protoka za tri karakteristične godine: vlažnu (2009.), približno srednju (1990.) i sušnu (2011.) godinu. Krivulje trajanja određene su na osnovi dnevnih protoka i grafički su prikazane u nastavku (Slika 26).



Slika 26: Krivulje trajanja za hidrološke godine 1990., 2009., i 2011.

Na grafičkom prikazu vidljive su krivulje trajanja za 1990., 2009. te 2011. godinu. Na osi apscisa nanosi se postotak dana, a na ordinati vrijednosti protoka za odabrane hidrološke godine.

Tablica 6: Protoci karakterističnih trajanja (10, 30, 50, 70, 90%)

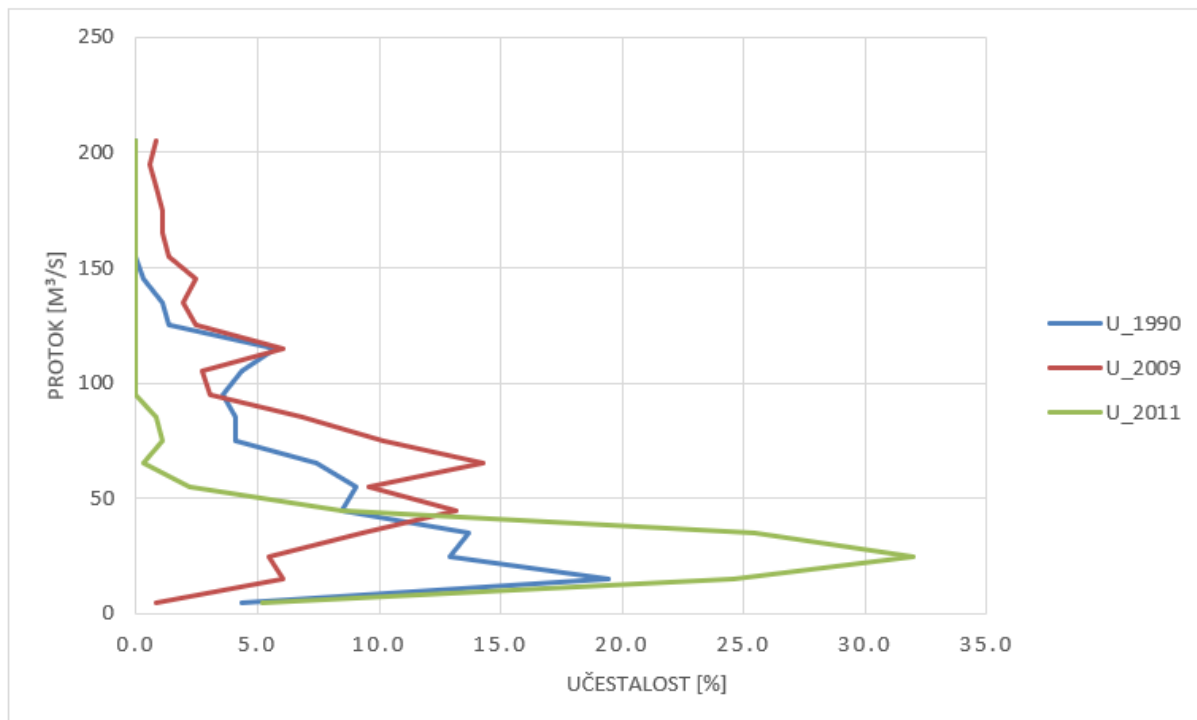
Trajanje	Qt10% (m³/s)	Qt30% (m³/s)	Qt50% (m³/s)	Qt70% (m³/s)	Qt90% (m³/s)
HY_2011	42.0	32.6	26.2	20.1	11.1
HY_1990	104.0	62.1	39.7	25.3	13.4
HY_2009	129.6	81.0	63.7	46.8	25.5

Tablični prikaz protoka za 10, 30, 50, 70 i 90% trajanja prikazan je za tri karakteristične hidrološke godine, odabrane iz razdoblja od 1990. do 2018. godine (Tablica 6).

U nastavku će biti tablično (Tablica 7) i grafički (Slika 27) prikazane vrijednosti učestalosti za tri karakteristične hidrološke godine u razdoblju od 1990. do 2018. godine.

Tablica 7: Učestalost po hidrološkim godinama

	U_2011	U_1990	U_2009
Razred sr Q [m ³ /s]	Učestalost (%)	Učestalost (%)	Učestalost (%)
5	5.2	4.4	0.8
15	24.6	19.5	6.0
25	32.0	12.9	5.5
35	25.4	13.7	9.3
45	8.5	8.5	13.2
55	2.2	9.0	9.6
65	0.3	7.4	14.2
75	1.1	4.1	10.1
85	0.8	4.1	6.8
95	0.0	3.6	3.0
105	0.0	4.4	2.7
115	0.0	5.8	6.0
125	0.0	1.4	2.5
135	0.0	1.1	1.9
145	0.0	0.3	2.5
155	0.0	0.0	1.4
165	0.0	0.0	1.1
175	0.0	0.0	1.1
185	0.0	0.0	0.8
195	0.0	0.0	0.5
205	0.0	0.0	0.8



Slika 27: Krivulje učestalosti za hidrološke godine 1990., 2009. i 2011.

Grafički su prikazane vrijednosti učestalosti za tri karakteristične hidrološke godine 1990., 2009. te 2011. (Slika 27). Na osi apscisa nanosi se postotak dana u godini tijekom kojih je zabilježen određeni protok, a na ordinati vrijednost protoka. Iz grafičkog prikaza vidljivo je da je najučestaliji protok za 1990. godinu iznosio 15 m^3/s sa učestalošću od 19.5 %, za 2009. godinu iznosio je 65 m^3/s sa učestalošću od 14.2 %, dok je najučestaliji protok za 2011. godinu iznosio 25 m^3/s sa učestalošću od 32 %.

5 ZAKLJUČAK

Rijeka Cetina kao najduža i vodom najbogatija rijeka središnje Dalmacije, predstavlja značajan prirodni resurs za Hrvatsku. Njezinu slivu pripadaju krška polja na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine, što joj daje dodatnu hidrogeološku važnost. Energetski potencijal rijeke Cetine počinje se iskorištavati davne 1912. godine izgradnjom prve hidroelektrane Kraljevac.

Posebno značajna hidroelektrana na rijeci Cetini je hidroelektrana Peruća, izgrađena 1960., koja uz istoimeno akumulacijsko jezero ima ključnu ulogu u regulaciji protoka rijeke i proizvodnji električne energije. Za vrijeme rata brana Peruća postala je ratno sredstvo koje je moglo prouzročiti neviđenu štetu i ljudske žrtve. Zahvaljujući brznoj reakciji hrvatske vojske i građevinskih stručnjaka, spriječena je tragedija.

Osim energetske važnosti, rijeka Cetina i njezin sliv ključni su za vodoopskrbu otoka Brača, Šolte, Hvara te Omiša i Makarske, što dodatno ističe njezinu vitalnu ulogu u Dalmaciji. Također, hidroenergetski sustav rijeke Cetine doprinosi energetskej stabilnosti Hrvatske.

U ovom radu napravljene su analize godišnjih i mjesečnih protoka te godišnjeg otjecanja rijeke Cetine. Analize su napravljene na temelju podataka o dnevnim protocima izmjerenim na hidrološkoj postaji Han za razdoblje od 1949. do 2018. godine. Grafički su prikazani godišnji maksimalni, srednji i minimalni protoci iz kojih je vidljiv negativan trend protoka.

Nadalje, grafički su prikazane vrijednosti otjecanja za razdoblje od 1949. do 2018. godine, a kao karakteristične hidrološke godine izdvojene su tri hidrološke godine iz razdoblja od 1990. do 2018. godine.

Također, za karakteristične hidrološke godine određene su krivulje trajanja i učestalosti te su izdvojeni najučestaliji protoci za karakteristične hidrološke godine.

POPIS LITERATURE

- [1] Štambuk-Giljanović, N.: Rezultati ispitivanja po slivovima, Smoljanović, M., Pejaković, B., Ivančić, B., Čaleta, M., Štambuk-Giljanović, N. (ur.), *Vode Dalmacije*, Split, Tisak „DES“, 1994, str: 101-107.
- [2] Sever, Z., Franković, B., Pavlin Ž., Stanković, V.: Hidroenergetski sustav u slivu rijeke Cetine, Sever, Z. (ur.): *Hidroelektrane u Hrvatskoj*, Zagreb, Hrvatska elektroprivreda d.d., 2000., str. 179-193.
- [3] Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera: Dramatično spašavanje i uspješna obnova, *Građevinar*, 2013; 65 (1): 45-59.
- [4] Vilović, M.: Uloga brane Peruća u hidroenergetskom sustavu rijeke Cetine, okupacija brane i pokušaj rušenja, Vilović, M. (ur.), *Sanacija brane Pruća, Zbornik radova*, Zagreb, Hrvatska elektroprivreda d.d., 1995., str. 1-29.
- [5] DHMZ – Sektor za hidrologiju <https://hidro.dhz.hr/>
- [6] Hidrotehnički institut „ Ing. Jaroslav Černi“: Sliv Cetine, Jevdjević, V. M. (ur.): *Vodne Snage Jugoslavije*, Beograd, Izdavačko preduzeće „Rad“, 1956, str: 318-320.
- [7] Bilić, S.: Elaborat zaštite okoliša, *Mala Hidroelektrana Đale*, Zagreb, 2019, U-114/19, V1.
- [8] Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera: Uloga Elektroprojekta u korištenju vodnih snaga u Hrvatskoj, *Građevinar*, 2019; 71 (3): 218-233.
- [9] HEP Proizvodnja d.o.o. – HE Peruća, dostupno: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-jug/he-peruca/1551>
- [10] Rupčić, J.: Izbor rješenja sanacije brane Peruća, Vilović, M. (ur.), *Sanacija brane Pruća, Zbornik radova*, Zagreb, Hrvatska elektroprivreda d.d., 1995., str. 29-65.

POPIS SLIKA

Slika 1: Situacija s lokacijom mjerne postaje Han na rijeci Cetini (Izvor: [5])	2
Slika 2: Mjerna postaja Han na rijeci Cetini (Izvor: [5])	3
Slika 3: Hidroenergetski sustav rijeke Cetine (Izvor: [7])	6
Slika 4: Prikaz brane i akumulacijskog jezera Peruća (Izvor:[9])	7
Slika 5: Unutrašnjost strojarnice HE Peruća (Izvor: [9])	8
Slika 6: Rasklopno postrojenje HE Peruća (Izvor: [2]).....	8
Slika 7: Poprečni presjek brane Peruća (Izvor: [4])	9
Slika 8: Uzdužni presjek brane Peruća s postavljenim eksplozivom (Izvor: [4])	11
Slika 9: Krater na desnom kraju brane (Izvor: [4])	11
Slika 10: Oštećenje lijevog kraja brane (Izvor: [4])	12
Slika 11: Ulegnuće krune brane (Izvor: [4])	13
Slika 12: Rasklopno postrojenje HE Peruća (Izvor: [4])	14
Slika 13: Kaverna na kruni brane (Izvor: [4]).....	14
Slika 14: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s asfalt-betonskom jezgrom (Izvor: [10])	16
Slika 15: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s dijafragmom od plastičnog betona (Izvor: [10])	17
Slika 16: Uzdužni presjek rekonstrukcije brane s dijafragmom od plastičnog betona (Izvor: [10])	17
Slika 17: Uzdužni presjek rekonstrukcije brane injektiranjem jezgre (Izvor: [10])	18
Slika 18: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od armirano-betonskih ploča (Izvor: [10])	19
Slika 19: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od gline (Izvor: [10]) ...	20
Slika 20: Poprečni presjek rekonstrukcije brane s uzvodnim ekranom od PEHD folije (Izvor: [10])	20
Slika 21: Niz maksimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine	23
Slika 22: Niz srednjih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine	23
Slika 23: Niz minimalnih godišnjih protoka Cetine na mjernoj postaji Han u razdoblju od 1949. do 2018. godine	24
Slika 24: Karakteristični mjesečni protoci u razdoblju od 1949. do 2018. godine	25
Slika 25: Otjecanje po hidrološkim godinama u razdoblju od 1949. do 2018. godine	27
Slika 26: Krivulje trajanja za hidrološke godine 1990., 2009., i 2011.	28
Slika 27: Krivulje učestalosti za hidrološke godine 1990., 2009. i 2011.	30

POPIS TABLICA

Tablica 1: Osnovni podatci postaje (Izvor: [5])	3
Tablica 2: Mjerenja postaje (Izvor: [5])	4
Tablica 3: Vrijednosti karakterističnih mjesečnih protoka	25
Tablica 4: Vrijednosti otjecanja po hidrološkim godinama	26
Tablica 5: Karakteristične vrijednosti otjecanja po hidrološkim godinama	27
Tablica 6: Protoci karakterističnih trajanja (10, 30, 50, 70, 90%)	28
Tablica 7: Učestalost po hidrološkim godinama	29

PRILOG 1

Godišnji maksimalni, srednji i minimalni protoci u razdoblju od 1949. do 2018. godine

God	$Q_{\max, \text{god}} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{\text{sr, god}} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{\min, \text{god}} [\text{m}^3/\text{s}]$
1949	273	42.9	11.1
1950	295	64.3	9.6
1951	275	78.3	12.7
1952	280	65.9	11.1
1953	301	50.3	11.1
1954	340	52.7	11.1
1955	245	71.4	12.1
1956	223	56.6	12.1
1957	209	58.0	16.9
1958	267	60.5	2.3
1959	268	66.2	2.7
1960	252	87.6	6
1961	234	58.6	6.7
1962	281	65.0	6.7
1963	197	81.5	8.7
1964	288	65.4	7.1
1965	248	88.4	2.5
1966	243	75.7	7.1
1967	150	71.2	8.3
1968	176	58.3	9.6
1969	255	81.3	12.1
1970	327	98.7	11.6
1971	157	68.8	16.9
1972	214	68.1	16.9
1973	136	28.0	3.9
1974	314	51.7	6
1975	160	41.2	6.7
1976	301	62.5	6.7
1977	190	61.7	8.7
1978	314	78.3	5.7
1979	162	61.8	3.1
1980	192	69.3	13.1
1981	138	51.3	7.9
1982	189	47.2	3.4
1983	124	44.3	1.9
1984	153	50.1	3.4
1985	159	48.7	4.7

1986	184	49.5	4.7
1987	150	46.8	5.7
1988	140	48.8	7
1989	114	36.8	7.5
1990	140	30.4	6.2
1991	310	56.2	2.2
1992	234	49.5	5.7
1993	278	56.8	6.9
1994	225	50.2	5.4
1995	148	46.2	8.1
1996	191	70.8	18.1
1997	196	46.2	6.4
1998	100	38.5	6.2
1999	168	51.1	6.1
2000	158	43.3	3.9
2001	127	55.4	4.6
2002	116	39.7	5.1
2003	147	39.0	4.2
2004	328	67.6	5.8
2005	181	55.2	6.4
2006	249	58.5	5.2
2007	95.9	30.3	7.3
2008	166	42.3	7.2
2009	228	60.8	7.1
2010	264	87.0	6.5
2011	150	36.7	5.1
2012	99.5	30.2	5.6
2013	233	68.8	7.5
2014	198	67.1	8.5
2015	144	52.4	5.3
2016	141	44.1	3.4
2017	128	34.4	3.9
2018	223	62.4	4.2

PRILOG 2

Mjesečne vrijednosti protoka Q [m³/s] za razdoblje od 1949. do 2018. godine

Mjesec Godina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1949	18.3	16.9	15	21.1	16.9	21.1	16.9	13.8	11.6	11.1	11.1	73.6
1950	31.5	30.5	33.4	33.4	25.1	17.6	13.2	10.1	9.6	11.1	47.5	95.6
1951	66.8	68.2	104	71.3	68.2	29.6	21.1	15.6	13.2	12.7	15.6	35.5
1952	50	40.1	27.7	52.7	22.7	14.4	13.2	12.7	11.1	41.3	50	121
1953	112	42.5	29.6	41.3	35.5	43.1	24.3	16.3	15	12.1	14.4	11.1
1954	13.2	12.1	26	38.7	77.4	31.5	16.9	12.1	11.1	11.1	12.7	21.1
1955	35.5	66.8	77.4	46.2	24.3	18.3	14.4	12.1	14.4	15.6	35.5	35.5
1956	59.5	29.6	26	69.7	50.7	30.5	23.5	16.9	13.2	12.1	23.5	35.5
1957	29.6	35.5	37.6	50	50	31.5	21.1	16.9	16.9	20.4	29.6	25.1
1958	33.4	27.7	50	109	54.7	26.9	19.7	13.2	2.3	2.5	4.2	5
1959	72.8	24.3	14.4	11.1	6.7	7.9	3.4	50.7	2.7	3.4	46.8	101
1960	123	96.5	26.9	26	23.5	6	7.1	16.3	54	26	48.7	98.2
1961	104	58.8	8.7	13.2	9.2	9.2	6.7	41.3	14.4	7.9	27.7	40.7
1962	18.9	19.7	44.9	43.1	26.9	22.7	10.6	44.3	36.5	16.9	6.7	34.5
1963	77.4	75.9	40.7	56.8	35.5	22.7	11.6	16.9	60.2	19.7	8.7	28.6
1964	41.3	17.6	18.9	32.4	13.8	18.3	7.1	8.3	24.3	7.9	31.5	43.1
1965	65.3	48.1	50.7	28.6	35.5	51.4	55.4	56.1	76.7	5.7	2.5	40.7
1966	40.7	51.4	52	35.5	23.5	18.3	7.1	32.4	58.8	41.3	48.7	57.4
1967	40.1	29.6	44.3	50	44.9	33.4	27.7	58.8	15	30.5	8.3	12.1
1968	36.5	13.8	41.3	15	10.1	9.6	13.8	26	46.2	70.5	26	32.4
1969	32.4	35.5	83.9	63.8	74.3	43.7	47.5	52.7	56.8	65.3	12.1	14.4
1970	79	87.2	69.7	182	80.6	30.5	23.5	24.3	50	61.7	40.1	11.6
1971	44.9	32.4	32.4	47.5	40.1	34.5	40.1	47.5	41.3	44.3	16.9	46.2
1972	18.3	24.3	55.4	29.6	46.2	31.5	24.3	41.3	30.5	53.4	30.5	16.9

1973	11.1	11.1	24.3	10.1	10.1	8.3	12.7	7.9	4.2	6.7	4.7	3.9
1974	6	9.2	9.2	15.6	10.1	12.1	8.3	7.5	24.3	61	43.7	31.5
1975	44.9	18.3	7.5	7.5	9.6	13.2	6.7	15	26	31.5	24.3	13.8
1976	13.2	21.9	17.6	22.7	31.5	43.7	18.3	33.4	8.3	6.7	41.9	94.8
1977	88.8	63.8	26.9	40.7	9.6	28.6	40.1	8.7	14.4	31.5	9.2	13.8
1978	16.9	15	81.4	40.1	78.2	44.3	9.6	19.7	11.1	7.5	5.7	9.6
1979	16	43.7	16.7	43.7	37.1	22.6	34.2	39.3	26.9	3.1	10.6	18.9
1980	41.5	31.3	18.2	16	55.3	23.3	24.7	16	13.1	23.3	33.5	48
1981	56.8	32.7	13.8	15.3	21.8	22.6	7.9	19.6	11.8	11	9.8	9.4
1982	32.7	42.9	11	11.8	9	11.4	11.8	9	3.4	6	11.8	14.6
1983	26.9	50.9	15.3	11.4	9	39.3	6.8	7.5	10.6	3.7	6	1.9
1984	3.4	7.9	6.8	11.4	29.1	10.2	6.8	8.2	23.3	21.1	20.4	11.8
1985	17.5	12.6	16.7	20.4	50.2	71	24.7	11.4	9.8	4.7	5.3	9
1986	11	13.8	18.9	14.6	11.8	12.2	8.2	9.4	23.3	9	4.7	6.8
1987	5.7	17.2	10.7	13.1	13.8	8.5	19.5	19.5	18.7	19.5	22.7	26.1
1988	22.7	30.7	16.5	26.1	14.5	8	7	7	15.8	7	7.5	18
1989	10.1	7.5	10.1	10.1	8.5	8	7.5	7.5	10.7	11.3	10.1	8
1990	6.2	6.7	8.9	13.4	11.3	8.3	7.2	6.7	6.2	6.7	10.7	13.4
1991	10.7	13.4	13.4	30.3	28.2	14.8	10.7	14.1	2.2	2.2	6.9	10.8
1992	21.6	9.9	20.4	28.2	7.7	5.7	16.4	7.7	9.4	15.9	60.5	45.1
1993	21	120	13.8	18.7	25.4	19.8	15.9	7.7	6.9	12.8	61.4	63.1
1994	62.2	53.6	27.4	31.3	35.3	6.9	5.4	9.4	10.8	11.3	19.3	14.3
1995	8.1	11.8	17.5	17	26.6	12.8	18.1	11.3	18.7	54.4	29.7	18.7
1996	82.9	58.8	24.9	26.4	40.2	20	18.1	28.7	37.7	52.7	53.6	53.6
1997	82	82.9	8.2	8.2	10.7	6.4	12.1	18.8	15.2	19.4	11.6	18.8
1998	26.9	27.6	28.3	14.9	12.8	7.2	6.2	23.6	6.9	16.1	17.8	28.3
1999	27.4	26.1	28.7	15.8	43.8	8.6	6.1	21.3	28	12.7	34.6	15.8
2000	51.3	34.6	15.8	11.7	14.2	3.9	10.3	4.2	7.7	5.3	9.4	21.9
2001	59.1	49.1	54.9	18.9	13.9	4.6	6.7	18.2	12.2	14.6	13.7	31
2002	17.2	11.8	10.7	12.9	9.7	5.1	13.3	10.5	7	12.6	14.3	11.6
2003	50.8	50.9	6.5	6.6	5.6	6	4.2	12.4	5	7.3	7.8	12.4

2004	25.5	13.7	54.3	62.4	25.6	8.2	7.6	5.8	47.8	40.5	24.4	43.4
2005	58	41	18.6	21.6	24.1	8.7	7.1	6.4	20.1	13.4	10.7	26.9
2006	34.7	22.3	33	27.8	51.5	9.5	7.6	17.1	9.2	29.6	5.2	18.6
2007	13.3	14.3	14.4	10.2	25	13.1	16.7	7.3	10	8.2	10.8	10.6
2008	11.4	9.2	15	17.8	11.9	14.4	13.6	27.2	7.2	12.5	14.8	52.4
2009	62.3	88.9	29.6	28.7	10.4	11.5	7.9	32.4	7.1	9.4	17.8	16.1
2010	71.1	38.1	59.4	73.9	16.1	13	10.8	24.2	6.5	23.8	26.3	146
2011	17.6	13	8.3	9.7	8.2	20.4	7.4	7.3	28.6	5.1	7.5	10.9
2012	7.1	9	8.3	13.6	9.4	7.9	5.6	17.9	7.9	10.2	25.4	17
2013	44.6	56.6	71.2	62.2	11.2	13.5	10.2	17.7	44.9	17.7	24.4	7.5
2014	11.5	83.6	19.4	14.4	10.4	8.9	14.7	8.5	20.4	22.8	10.2	40.8
2015	14.1	30.7	32.7	10.2	20.1	6.8	23.8	22.6	5.3	8.1	23.5	18.5
2016	17.4	22.8	19	10.1	15	13.4	3.4	33.1	25.9	5.1	11.3	19.9
2017	20.9	7.6	8.5	7.1	8.9	20.1	26.4	24	4.5	3.9	5.7	11.5
2018	20	32.7	74.3	32.6	25.4	10.3	4.2	21.4	27.8	20.8	10.8	18.8