

# IZRADA GEOMETRIJE I NUMERIČKA ANALIZA STRUJANJA FLUIDA U ODVODNOM KANALU HE RIJEKA

---

**Rendulić, Zlatko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:410816>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Prijediplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

**IZRADA GEOMETRIJE I NUMERIČKA ANALIZA STRUJANJA  
FLUIDA U ODVODNOM KANALU HE RIJEKA**

Rijeka, rujan 2024.

Zlatko Rendulić

0069080760

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

**IZRADA GEOMETRIJE I NUMERIČKA ANALIZA STRUJANJA  
FLUIDA U ODVODNOM KANALU HE RIJEKA**

Mentor: Prof. dr. sc. Zoran Čarija

Rijeka, rujan 2024.

Zlatko Rendulić

0069080760

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad pod nazivom „Izrada geometrije i numerička analiza strujanja fluida u odvodnom kanalu HE Rijeka“ pod vodstvom prof. dr. sc. Zorana Čarije izradio samostalno, koristeći stečeno znanje tijekom prijediplomskog stručnog studija strojarstva na Tehničkom fakultetu u Rijeci te navedenu literaturu.

Rijeka, rujan 2024.

Zlatko Rendulić  
0069080760

## ZAHVALA

Zahvaljujem prof. dr. sc. Zoranu Čariji i asist. dr. sc. Ivani Lučin na danim savjetima i pomoći pri izradi završnog rada.

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. OPĆENITO O HIDROELEKTRANA</b> .....	2
<b>3. PODJELA HIDROELEKTRANA</b> .....	3
<b>3.1. Prema regulaciji protoka</b> .....	3
<b>3.2. Hidroelektrane prema instaliranoj snazi</b> .....	7
<b>4. DIJELOVI HIDROELEKTRANE</b> .....	11
<b>4.1. Dovodni kanal</b> .....	11
<b>4.2. Tlačni cjevovod</b> .....	12
<b>4.3. Vodna komora</b> .....	13
<b>4.4. Strojarnica</b> .....	14
<b>4.5. Turbina</b> .....	15
<b>4.6. Odvodni kanal</b> .....	16
<b>5. Hidroelektrana Rijeka</b> .....	17
<b>6. HEC-RAS</b> .....	18
<b>7. IZRADA NUMERIČKE SIMULACIJE</b> .....	20
<b>7.1 Izrada geometrije odvodnog kanala</b> .....	20
<b>7.2. Postavke simulacije</b> .....	28
<b>8. REZULTATI</b> .....	30
<b>9. ZAKLJUČAK</b> .....	37
<b>10. LITERATURA</b> .....	38
<b>11. SAŽETAK</b> .....	40
<b>12. ABSTRACT</b> .....	41

## 1. UVOD

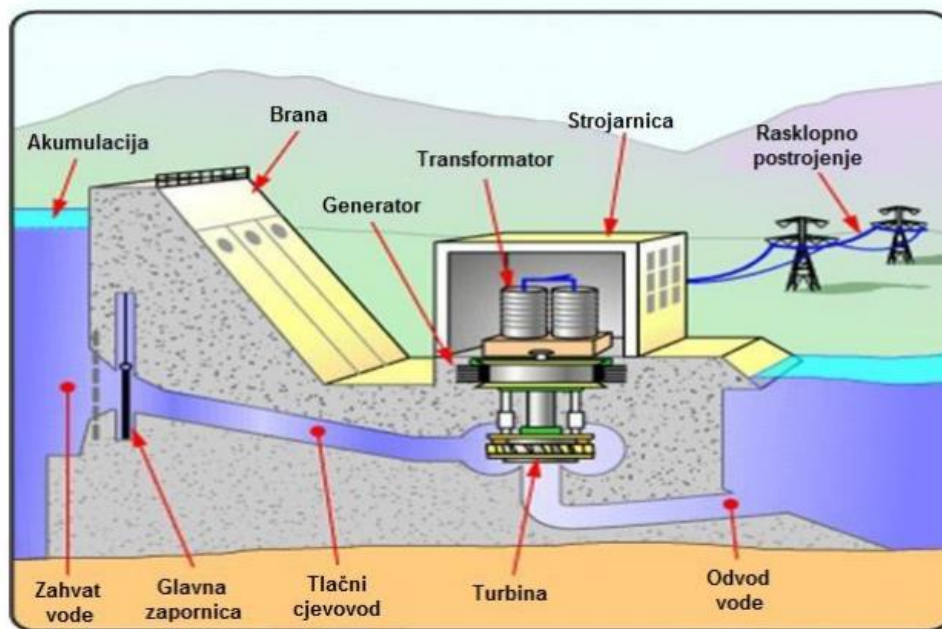
U današnje vrijeme, energetska održivost i efikasnost predstavljaju ključne izazove u globalnoj energetske tranziciji. Hidroelektrane su jedan od najvažnijih oblika obnovljive energije, kako u Hrvatskoj, tako i u svijetu. Imaju važnu ulogu u proizvodnji električne energije sa niskim emisijama stakleničkih plinova. Osim što su čisti i obnovljiv izvor energije, hidroelektrane pružaju stabilnost u proizvodnji električne energije i doprinose energetske sigurnosti. Zahvaljujući raznovrsnoj geografskej strukturi povoljnoj za izgradnju hidroelektrana Hrvatsku možemo svrstati među vodeće zemlje po iskoristivosti obnovljivih izvora energije, od čega više od 50% čine hidroelektrane. Hrvatska trenutno broji 17 velikih, te oko 20 manjih hidroelektrana. Izgradnja hidroelektrana također može imati i negativan utjecaj na okoliš, ali puno manji u odnosu na fosilna goriva. Neki od negativnih utjecaju jesu promjene u ekosistemima vodenih tokova i migraciju riba. Stoga je važno da se prilikom planiranja i izgradnje hidroelektrana vodi računa o očuvanju okoliša.

Fokus završnog rad je na izradi geometrije odvodnog kanala hidroelektrane Rijeka i numeričkej analizi strujanja fluida kroz kanal. Cilj istraživanja je ispitivanje hidrauličkih performansi odvodnog kanala radi povećanja energetske efikasnosti i smanjenja gubitaka energije uslijed nepovoljnih hidrodinamičkih pojava. U drugom poglavlju opisana je općenito hidroelektrana. U trećem poglavlju bit će definirana podjela hidroelektrana kao i sam princip rada, dijelovi, te prednosti i mane istih. Najveći naglasak ovog rada biti će na četvrtom, petom i šestom poglavlju, odnosno na dijelovima hidroelektrane, a ponajviše na odvodnom kanalu gdje će se koristiti program HEC-RAS koji nam jasno pokazuje kako se određeni model ponaša tijekom realnih uvjeta. Također će biti prikazan i opisan postupak izrade numeričke simulacije.

## 2. OPĆENITO O HIDROELEKTRANA

Hidroenergija je najznačajniji obnovljivi izvor energije i kao takva ekonomski je konkurentna energiji iz nuklearnih i fosilnih goriva. Hidroelektrana je postrojenje u kojem se potencijalna energija vode iskorištava radi proizvodnje električne energije. Strujanjem vode dobiva se kinetička energija koja se vrtnjom vratila turbine pretvara u mehaničku energiju te u konačnici u električnu energiju u električnom generatoru. U širem aspektu možemo reći da hidroelektranu sačinjavaju sve građevine i postrojenja koja služe za proizvodnju električne energije (slika 2.1).

U zadnjih nekoliko desetljeća udio proizvodnje hidroenergije uvećan je za 50%, ali i dalje uvelike zaostaje za proizvodnjom termoelektrana i nuklearnih elektrana [1]. Razlog je u tome što postoje tehnička i prirodna ograničenja. Glavni razlog kojeg valja istaknuti jest potreba za obilnim izvorom vode kroz cijelu godinu. Na pojedinim lokacijama zbog utjecaja oscilacija vodostaja nastaje potreba za izgradnjom brana i akumulacija što također dovodi do povećanja investicije. Njihova izgradnja može imati značajan utjecaj na okoliš, čime dolazimo do ekonomskih, socioloških i ekoloških nedostataka. Uz spomenute nedostatke najviše se ističu gubitak obradivih površina i raseljavanje stanovništva. Pozitivna strana kod akumulacija je mogućnost za stvaranjem ribolovnog turizma. Važna karakteristika akumulacija je regulacija vodotoka rijeka. U vrijeme kada su riječni vodotoci visoki postoji mogućnost njihove regulacije pomoću akumulacije.



Slika 2.1 Shema hidroelektrane [2]



### 3. PODJELA HIDROELEKTRANA

Postoje različiti tipovi hidroelektrana, svaka sa svojim karakteristikama i načinu rada, odnosno svaka je prilagođena za određeno geografsko podneblje i energetske potrebe. Hidroelektrane se mogu podijeliti prema njihovom smještaju, regulaciji protoka, prema instaliranoj snazi, itd.

#### 3.1. Prema regulaciji protoka

Hidroelektrane s konstantnim protokom vode odnosno protočne hidroelektrane su one koje koriste energiju iz prirodnih tokova rijeka za proizvodnju električne energije u nedostatku velike brane i akumulacije. Po tome se razlikuju od konvencionalnih akumulacijskih hidroelektrana. Primjer jedne takve protočne brane vidljiv je na slici 3.1. Njihova uzvodna akumulacija se može isprazniti za manje od dva sata rada nazivne snage ili takva akumulacija uopće ne postoji. Za pokretanje vodnih turbina se gotovo direktno koristi kinetička energija vode. Ako postoji akumulacija onda se može regulirati vodeni tok i elektrana može biti u pogonu kada je najveće opterećenje mreže ili za kontinuiranu proizvodnju. Bez akumulirane vode takva hidroelektrana služi samo za najveća opterećenja mreže.



*Slika 3.1 Protočna HE John Day Dam, SAD [3]*

Postoji nekoliko prednosti protočnih hidroelektrana u odnosu na tradicionalne hidroelektrane. Prvo, protočni sustavi su jeftiniji za izgradnju i mogu se izgraditi u kraćem vremenskom roku. Imaju mali utjecaj na ekosustav pošto rijeka ne mijenja svoj prirodni tok. Ne stvara se akumulirana voda i samim time nije potrebno iseljavati okolno stanovništvo zbog mogućih poplava. S druge strane protočne hidroelektrane imaju nedostatak zbog toga što imaju malen vodeni kapacitet ili ga uopće nemaju, te ovise o prirodnom toku rijeka. Iz tog razloga ne mogu zadovoljiti ukupnu potražnju mreže jer nemaju konstantnu proizvodnju električne energije tijekom cijele godine [4].

Najčešći tip hidroelektrana jesu akumulacijske hidroelektrane. Nazivamo ih još i hidroelektrane s kontroliranim protokom jer vodu prema vodnoj turbini možemo dovoditi po potrebi. Za proizvodnju električne energije koriste potencijalnu energiju akumulacijskog jezera. Rade na principu skladištenja potencijalne energije stvaranjem akumulacijskog jezera pomoću brane (slika 3.2). Snaga akumulacijske hidroelektrane ovisi o visini vodostaja u akumulacijskom jezeru i odvodu koji je smješten nakon vodene turbine. Cijev pomoću koje dovodimo vodu iz akumulacijskog jezera do vodne turbine naziva se tlačni cjevovod.



*Slika 3.2 Hidroelektrana Dale na rijeci Cetini, Hrvatska [5]*

Prednost akumulacijskih hidroelektrana jest mogućnost skladištenja viška vode tijekom perioda u kojim je potražnja za električnom energijom izrazito niska. Ovakav tip hidroelektrana osigurava kontinuiranu proizvodnju električne energije, neovisno o količini oborina i prirodnom tokom. Akumulirana voda može se kontrolirati te se samim time može prilagođavati promjenama u potražnji za električnom energijom. Kao najveći nedostatak ovakve hidroelektrane valja istaknuti utjecaj na okoliš i ekosustav gdje se zbog akumulacije poplavljuje plodno tlo. Izgradnja akumulacija zahtjeva veliku investiciju, ali isto tako zahtjeva zaštitu od potresa kao i moguće terorističke prijetnje. Puknuće brane može imati katastrofalne posljedice [6].

Reverzibilne hidroelektrane su posebna vrsta hidroelektrana koje mogu raditi u dva smjera. Osim što mogu proizvoditi električnu energiju pomoću vode također tu istu vodu mogu pumpati. Reverzibilna hidroelektrana radi na principu izmjene vode između dva akumulacijska jezera (slika 3.3). Gornje akumulacijsko jezero služi kao i kod klasičnih hidroelektrana. Akumulacijska voda se skladišti, a njezinim prolazom kroz turbinu se stvara električna energija. Nakon prolaska vode kroz turbinu, umjesto da se vraća u osnovni tok rijeke, ona se skladišti u donjem akumulacijskom jezeru. U razdoblju niske potražnje električne energije, što je obično noću, voda se iz donjeg akumulacijskog jezera pumpa u gornje akumulacijsko jezero čime se troši višak električne energije iz proizvodnje. Tijekom razdoblja povećane potražnje za električnom energijom, vode se ponovno ispušta iz višeg akumulacijskog jezera u niže akumulacijsko jezero kroz turbine, pri čemu se potencijala energija vode pretvara u električnu energiju.



*Slika 3.3 Reverzibilna hidroelektrana Lepenica, Fužine [7]*

Prednost ovakvih hidroelektrana jest u tome što mogu spremati veliku količinu potencijalne energije vode koja se može iskoristiti za proizvodnju električne energije kada nema dovoljno vjetra ili sunčeve energije. Također imaju visoku energetska vrijednost jer reverzibilne hidroelektrane rade na razini učinkovitosti od 82%. Akumulacija jezera se može koristiti za navodnjavanje i kućnu uporabu. S druge strane mane ovakve hidroelektrane su veliki investicijski troškovi kao i narušavanje ekosustava. Sama izgradnja na zahtjevnim terenima i dostupnost vode na različitim visinama predstavlja problem [8].



### 3.2. Hidroelektrane prema instaliranoj snazi

Velike hidroelektrane su mega građevine čija snaga iznosi od nekoliko stotina MW do preko 20 GW. Najveći su proizvođači električne energije na svijetu te mogu proizvesti dvostruko više energije od trenutno instaliranih kapaciteta nuklearnih elektrana. Službeni raspon za kapacitet velike hidroelektrane ne postoji, ali se obično velikim hidroelektranama smatraju one čija snaga iznosi nekoliko stotina MW. U svijetu trenutno postoji sedam postrojenja čija snaga iznosi preko 10 GW. Najveća hidroelektrana u svijetu nalazi se u Kini, na rijeci Yangtze, pod nazivom „Branja Tri klanca“ s kapacitetom od 22,5 GW (slika 3.4).



*Slika 3.4 Hidroelektrana „Branja Tri klanca“, Kina [9]*

Veliki nedostatak ovakvih hidroelektrana jest u tome što ostavljaju negativan utjecaj na okoliš i ekosustave. Za samu izgradnju hidroelektrane „Branja Tri klanca“ bilo je potrebno poplaviti 29 milijuna četvornih metara zemlje, uključujući dva velika i 116 manjih gradova. Velike hidroelektrane imaju važnu ulogu u proizvodnji električne energije, s toga se njihova prednost ogleda kroz veliki kapacitet vode koji omogućuje proizvodnju energije [10].

Karakteristika malih hidroelektrana je da se smatra da nemaju štetan utjecaj na okoliš u usporedbi s velikim hidroelektranama. Za razliku od velikih hidroelektrana ne koriste velike brane i rezervoare koje za posljedicu imaju utjecaj na promjene u ekosustavu, utjecaj na tlo, poplavljanje, kao i povećane emisije metana. Primjer jedne male hidroelektrane vidljiv je na slici 3.5.

Kapacitet snage za male hidroelektrane se u osnovi razlikuje od države do države. Međutim, Europska komisija i Europska udruga malih hidroelektrana prihvatile su kapacitet od 10 MW instalirane snage kao gornju granicu. U Hrvatskoj se prema postojećim propisima uzima granica od 10 kW do 10 MW.



*Slika 3.5 Hidroelektrana Jaruga, rijeka Krka [11]*

Male hidroelektrane imaju kombinaciju prednosti u proizvodnji električne energije. Istovremeno u usporedbi s velikim hidroelektranama gotovo da ne pokazuju negativan utjecaj na okoliš. Proizvodnjom ne stvaraju ugljični-dioksid, pomažu u zaštiti od poplava, osiguravaju sigurnu i pouzdanu opskrbu električnom energijom, imaju stupanj djelovanja od 90% i male pogonske troškove. Iako u znatno manjoj mjeri utječu na vodotok u odnosu na velike hidroelektrane ipak postoje neki nedostaci. Postoji utjecaj na lokalnu floru i faunu, odnosno dolazi do ozljede riba, smanjenje kvalitete vode nizvodno od hidroelektrane i slično. To se sve može ublažiti određenim mjerama kao što su rezervni tok, prolaz za ribe, bio-dizajn, itd. [12].

Mikro elektrane svrstavaju se u potkategoriju malih hidroelektrana. One uglavnom imaju instaliranu snagu do 100 KW te se grade za male zajednice kao izvor jeftinije i obnovljive energije (slika 3.6). Lako su održive te se vrlo dobro nadopunjuju sa solarnim panelima. Nemaju gotovo nikakav utjecaj na okoliš jer se voda preusmjerena iz potoka ili rijeka vraća natrag u isti vodotok čime se mikro elektrane smatraju „protočnim“ sustavom.

Ovakve hidroelektrane uglavnom su ograničene samom lokacijom. Najveće ograničenje postoji kod izvora s malim protok, ali i dostupnost vode u sušnim razdobljima. U takvim uvjetima može doći do smanjenja proizvodnje električne energije ili čak do potpunog zastoja [13].



*Slika 3.6 Mikro hidroelektrana Mataković [14]*



Piko hidroelektrane su najmanji tip hidroelektrana (slika 3.7). Uglavnom imaju snagu manju od 5 kW i koriste se za jedno ili nekoliko domova u ruralnim područjima koja zahtijevaju malu količinu električne energije. Obično su to uređaji poput žarulja, radija i punjača za mobitel. Piko hidroelektrane se postavljaju kao protočne hidroelektrane. Ugradnjom piko vodne turbine s padom vode od jednog metra dobiva se od 200 do 300 W energije [15].



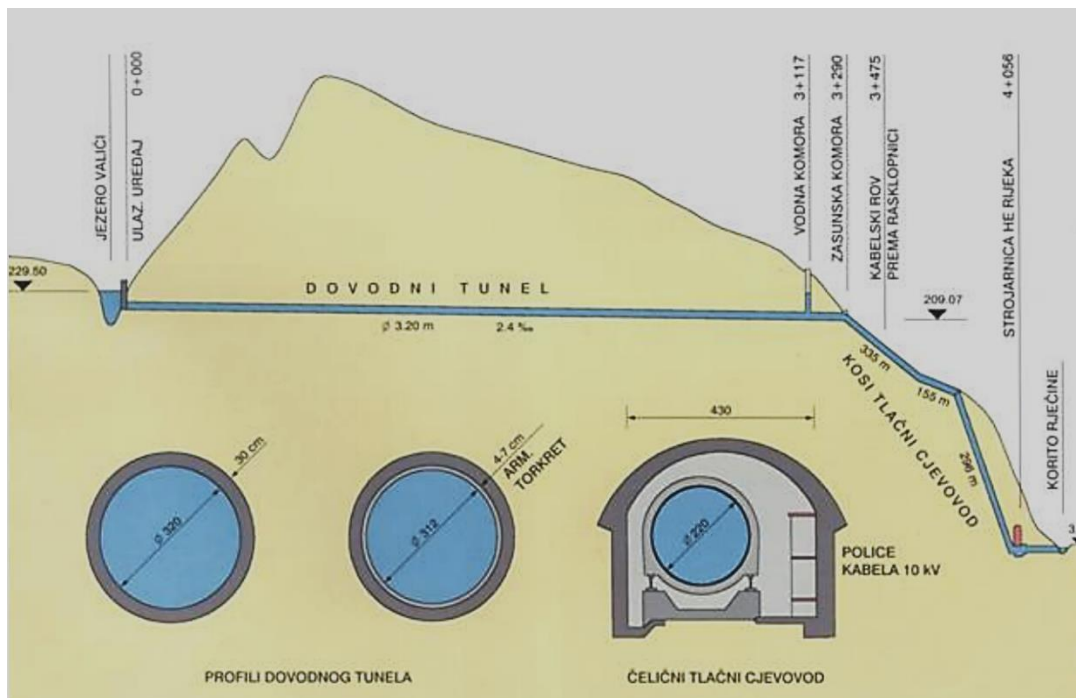
*Slika 3.7 Primjer piko hidroelektrane sa snagom od 200 W [16]*



## 4. DIJELOVI HIDROELEKTRANE

### 4.1. Dovodni kanal

Dovodni kanal je kanal koji služi za transport vode iz akumulacijskog jezera ili rijeka do turbine i ima presudnu ulogu u efikasnom radu hidroelektrane (slika 4.1). Primarna funkcija dovodnog kanala je da osigura kontinuiran i stabilan protok vode prema turbini. Stabilan protok je neophodan za postizanje optimalne efikasnosti turbine i hidroelektrane općenito. Dovodni kanal mora biti projektiran tako da se minimaliziraju gubitci energije uzrokovane trenjem i oscilacijom vode. To se postiže odgovarajućim dimenzioniranjem kao i korištenjem materijala koji smanjuju otpor. Dovodni kanal može biti otvoreni ili zatvoreni. Otvoreni kanali najčešće su izgrađeni od betona i koriste se kada je visinska razlika između izvorišta i turbine relativno mala. Zatvoreni kanali izgrađeni su od čelika i nazivaju se cjevovodi, a koriste se kod većih visinskih razlika. Prilikom izgradnje dovodnog kanala treba uzeti u obzir faktore kao što su protok vode, visinska razlika, dužina kanala, kao i utjecaj na okolinu. Adekvatna zaštita kanala od erozije kao i drugih oblika degradacije vrlo je bitna kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost samog rada hidroelektrane. Loše dizajniran kanal može dovesti do gubitka energije, smanjenje proizvodnje električne energije te povećanih troškova održavanja [17].



Slika 4.1 Presjek kroz HE Rijeka i prikaz vodne komore, dovodnog tunela i tlačnog cjevovoda [18]

## 4.2. Tlačni cjevovod

Tlačni cjevovod je skup čeličnih cijevi pomoću kojih se voda iz dovodnog kanala usmjerava prema vodnim turbinama pod visokim tlakom (slika 4.2). Za izradu cijevi kod velikih padova koristi se zavareni čelik ili kovano željezo, a kod manjih padova beton. Postavljen je koso, a u nekim slučajevima okomito. Tlačni cjevovod može biti nadzemni ili podzemni. Na ulazu tlačnog cjevovoda nalazi se zaporni uređaj čija je uloga spriječiti daljnji dotok vode u cjevovod u slučaju puknuća cijevi. Također postoji i pomoćni zaporni uređaj čija je uloga omogućavanje popravaka i pregleda glavnog zapornog kanala bez potrebe za pražnjenjem dovodnog tunela. Voda se u dovodnom kanalu kreće pod utjecajem gravitacijske sile, a zatim ulazi u cijevi u kojima se pod visokim tlakom dostavlja turbinama koristeći pritom potencijalnu energiju kako bi se dobila kinetička energija. Tlačni cjevovod završava nesimetričnom račvom kojom se voda dijeli pojedinim turbinama [19].

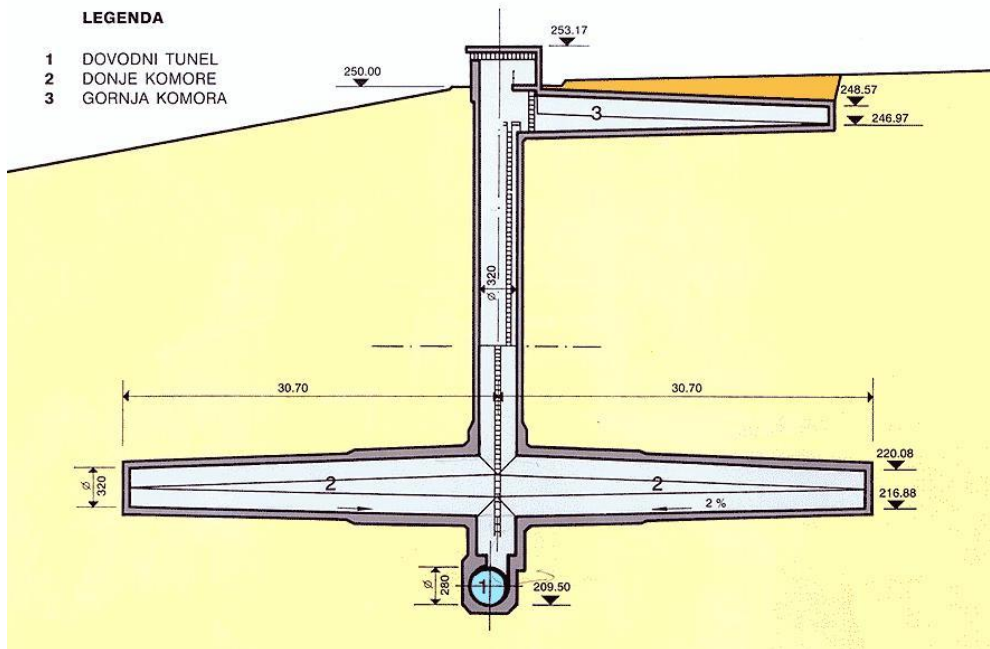


*Slika 4.2 Tlačni cjevovod Hidroelektrane Rijeka [20]*

### 4.3. Vodna komora

Vodna komora kao dio hidroelektrane ima zadatak da regulira pritisak i protok vode unutar sustava (slika 4.3). Ona svojom internom akumulacijom sprječava ulazak zraka u cjevovod koji se može javiti kod nestacionarnih pojava u cjevovodu ili kod ljuljanja vodnih masa u fazi pokretanja i zaustavljanja pogona, kao i pri radu turbina s vrlo visokim protocima.

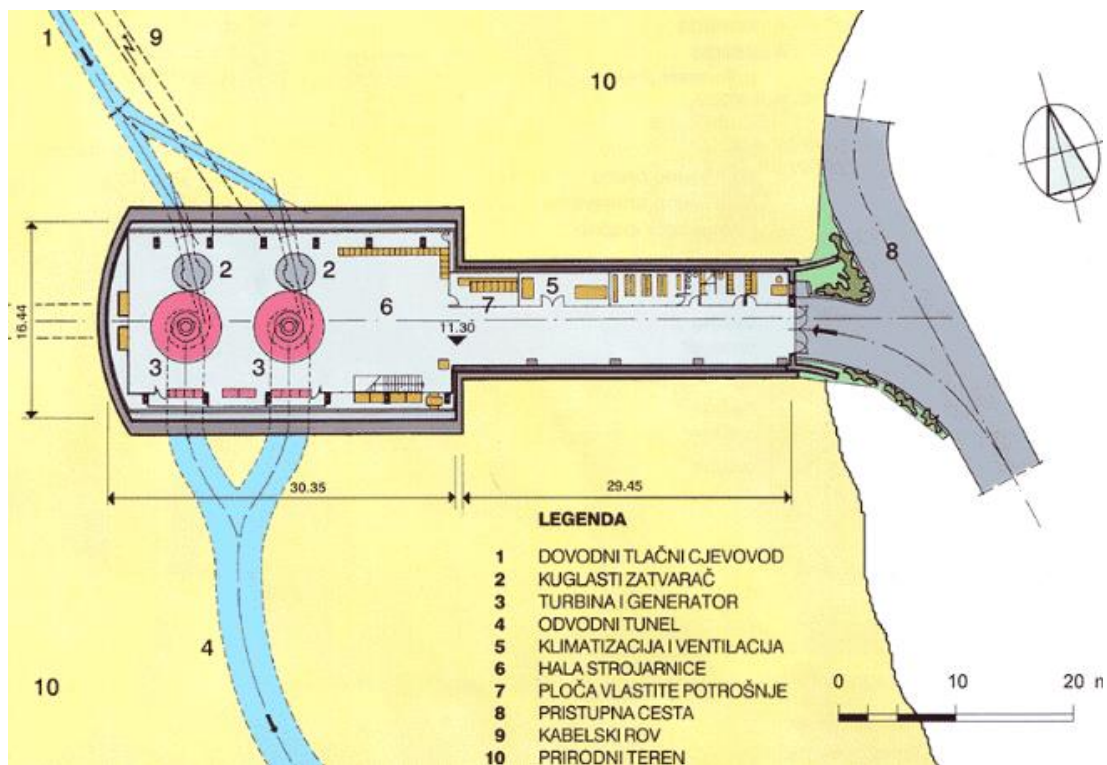
Vodna komora se obično gradi u slučaju kada je dovodni tunel dugačak, a voda masa pri pokretanju hidroelektrane ne može ostvariti brzinu da bi se na vodnim turbinama stvorila potrebna snaga za proizvodnju. U osnovi vodna komora ima zadaću osigurati dio vode turbinama prije nego što ona u dovoljnoj količini proteče kroz dovodni tunel, ali isto tako i prihvatiti višak vode koji se prilikom zaustavljanja turbina kreće dovodnim tunelom. Sve to se vrši u cilju izbjegavanja nagle promjene brzine u dovodnom kanalu, kako ne bi došlo do pojave vodnog udara [21].



Slika 4.3 Vodna komora Hidroelektrane Rijeka [22]

#### 4.4. Strojarnica

Strojarnica hidroelektrane, u širem smislu, je skup objekata i opreme koja se koristi za pretvaranje energije vode u električnu energiju te njezinu predaju distribucijskoj mreži. Može biti izgrađena na otvorenome, kao samostojeća zgrada (nadzemna strojarnica) ili može biti ukopana u zemlju (podzemna strojarnica). U strojarnici se nalaze svi potrebni uređaji za praćenje sustava i upravljanje hidroelektranom (slika 4.4). Kako bi se osigurao optimalan rad hidroelektrane prate se različiti parametri poput protoka vode, tlaka, napona, itd. Suvremene hidroelektrane uglavnom koriste automatizirane sustave za praćenje i upravljanje čime se postiže preciznije, a samim time i učinkovitije upravljanje cijelim pogonom [23].



Slika 4.4 Tlocrt strojarnice, HE Rijeka [24]

## 4.5. Turbina

Vodna turbina je energetski stroj koji najprije potencijalnu energiju vode pretvara u kinetičku energiju, a zatim se kinetička energija pretvara u mehanički rad za pokretanje električnog generatora. U osnovi se ne razlikuje od ostalih turbina, a sastoji se od kućišta sa statorskim lopaticama i rotora. Vodne turbine dijele se na reaktivne turbine i impulsne turbine. Reaktivne turbine se koriste pri niskom i srednjem hidrostatskom tlaku, dok se impulsne turbine koriste pri visokom hidrostatskom tlaku.

Hidroelektrana Rijeka za pokretanje generatora koristi dvije Francisove turbine koje pripadaju skupini reaktivnih turbina (slika 4.5). Francisova turbina ima veliki stupanj iskoristivosti kapaciteta, a to se naročito vidi kod vode gdje se optimalan rad postiže pri konstruktivnom padu od 20 do 700 metara. Izlazna snaga kod takve turbine se kreće od nekoliko kW do 750 MW. Hidroelektrana Rijeka ima raspoloživu snagu od 36,8 MW, odnosno 18,4 MW po generatoru [25].



*Slika 4.5 Francisova turbina [26]*



#### 4.6. Odvodni kanal

Nakon prolaska kroz turbinu voda se usmjerava kroz odvodni kanal, ključni sustav hidroelektrane koji omogućava kontrolirano pražnjenje vode i iskorištavanje energije za proizvodnju električne energije. Odvodni kanal karakteriziraju velike dimenzije kako bi propustio veliku količinu vode te određeni pad koji osigurava kontinuirano strujanje vode s ciljem efikasne proizvodnje električne energije. Kanal obično ima trapezni oblik jer je on najbliži hidraulički najpovoljnijem polukružnom presjeku. Optimalna brzina vode u odvodnom kanalu određuje se proračunom ekonomičnost, gdje se dobivaju vrijednosti od 2 do 3 m/s. Radi smanjenja hrapavosti tuneli su obično obloženi. Za oblaganje se koristi mala debljina armiranog betona (od 6 do 10 cm) ili asfaltnim betonom (debljine 10 do 15 cm) s dva sloja od kojih je gornji sloj vodonepropustan. Slojevi obloge se nanose kontinuirano, bez spojnica. Dijelovima kanala koji su potpuno ili djelomično ukopani potrebno je ispod obloge izvesti drenažu u sredini ili sa strane. Zadatak drenaže jest da pri praznom kanalu sprječava izdizanje obloge zbog uzgona. Drenaža je načinjena od plastičnih cijevi s narezima. Cijevi su na pojedinim mjestima spojene s dnom pomoću ventila koji sprječavaju otjecanje vode iz kanala u drenažu, a isto tako dopuštaju dotjecanje vode u kanal pri malom tlaku [27]. Odvodni kanal izgrađen je od betona ili čelika radi trajnosti, a često ima ugrađene sustave za kontrolu protoka radi optimizacije proizvodnje ili sigurnog pražnjenja vode. Za regulaciju vodostaja koriste se sustavi ventila, tako se regulacijom vodostaja sprječavaju poplave i suše u okolnom području. Kao kritičan dio postrojenja, odvodni kanal ima ključnu ulogu u cjelokupnom procesu proizvodnje električne energije. Pravilno konstruiran i održavan kanal sprječava štetu na dijelovima hidroelektrane, ponajviše na električnim turbinama. U novije odvodne kanale ugrađuju se pumpe pomoću koji se dio vode iz odvodnog kanala pumpanjem ponovno vraća u rezervoar hidroelektrane radi ponovnog korištenja [28].

## 5. Hidroelektrana Rijeka

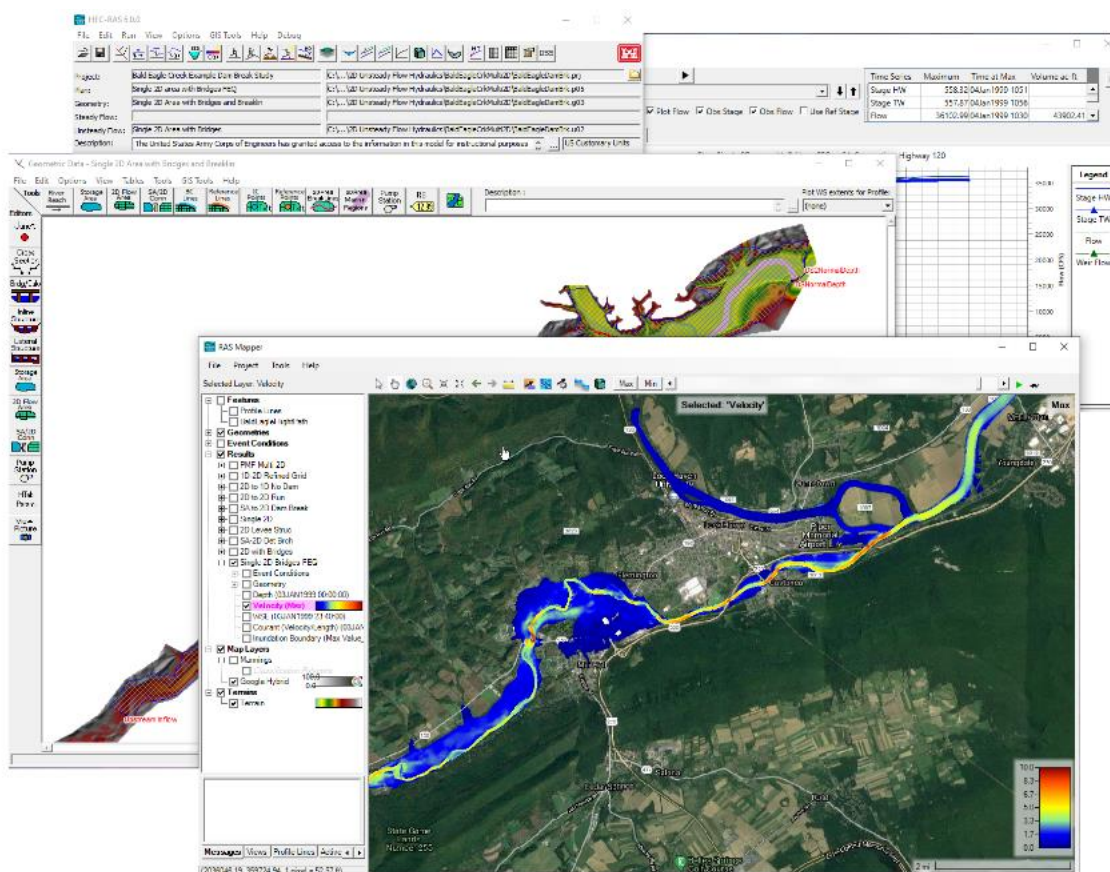
Hidroelektrana Rijeka smještena je na rijeci Rječini. To je protočna hidroelektrana koja se koristi njezinim pritokom. Izgradnjom brane na visini od 35 metara na Rječini kod sela Grohovo stvoreno je umjetno jezero. Korisni obujam jezera iznosi  $470\,000\text{ m}^3$ , s maksimalnim vodostajem od 229,5 m. Na sredini brane nalaze se dva preljevna polja, sa segmentnim zapornicama (slika 5.1). Dovodni tlačni tunel dužine 3117 m i promjera 3,2 m, dovodi vodu do brda Katarina iznad Rijeke u kojem se nalaze vodna i zasunska komora, te početak tlačnog tunela. Čelični tlačni cjevovod promjera 2,3 m prvi vrhu i 2,2 m pri dnu, dugačak je 803 m i položen u kosi rov. Tlačni cjevovod se račva ispred same strojarnice gdje se nalaze dvije proizvodne jedinice. Hidroelektrana koristi dvije Francisove turbine snage 19,8 MW, instaliranog protoka  $10,5\text{ m}^3/\text{s}$  i pad od 213 m, s predturbinskim kuglastim zatvaračem, regulatorom i tlačnom napravom. Ukupna instalirana snaga Hidroelektrane Rijeka je 36,8 MW, dok prosječno godišnje proizvodi 89GWh električne energije [29].



*Slika 5.1 Hidroelektrana Rijeka [30]*

## 6. HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center's River Analysis System ili poznatije HEC-RAS je softverski program koji se koristi za analiziranje tokova rijeka i hidrauličkih sustava, a razvio ga je Inženjerski korpus vojske Sjedinjenih Država (USACE) (slika 6.1). HEC-RAS je besplatan za preuzimanje s njihove web stranice, a prihvaćen je od strane vladinih agencija i privatnih tvrtki. Program omogućuje modeliranje protoka vode u rijekama, kanalima i sličnim hidrauličkim sustavima kako bi se analizirali razni hidraulički problemi poput poplava i erozija. Neke od dodatnih namjena ovog softvera jesu projektiranje i analiza mostova i brana, proračun brzine strujanja i pritiska vode, analiza poplavljenih područja, te omogućuje informacije o visi vode na različitim točkama u određenom vremenskom periodu. HEC-RAS program ima veliku primjenu u uspostavljanju analize rizika kao temeljne tehnologije za planiranje i analizu smanjenja šteta od poplava i zaštite objekata od erozije [31].



Slika 6.1 Sučelje HEC-RAS programa [32]



U sklopu ovog rada napravit će se geometrija odvodnog kanala hidroelektrane Rijeka te provesti analize strujanja za različite protoke. Ove analize ključne su za dobivanje jasnijeg uvida u način na koji se voda ponaša unutar odvodnog kanala, što je od velike važnosti za identifikaciju potencijalnih problema koji bi mogli dovesti do nepravilnog rada sustava, tj. poplavljanja kanala. Na ovaj način mogu se predvidjeti situacije u kojima dolazi do kritičnih opterećenja u ustavu te omogućiti pravovremenu intervenciju i prilagodbu. Budući da je riječ o strujanju fluida s otvorenom površinom, kao što su rijeke i kanali, nije potrebno provoditi složene 3D simulacije strujanja koje bi zahtijevale značajne računalne resurse. Umjesto toga dovoljno je koristiti 1D simulacije u programu HEC-RAS. Ovaj program omogućuje brzo određivanje visine vodnog lica za promatranu geometriju i definirane uvjete strujanja. Primjena 1D simulacije omogućuje značajnu uštedu vremena i resursa, a ujedno pruža i dovoljno točne rezultate.

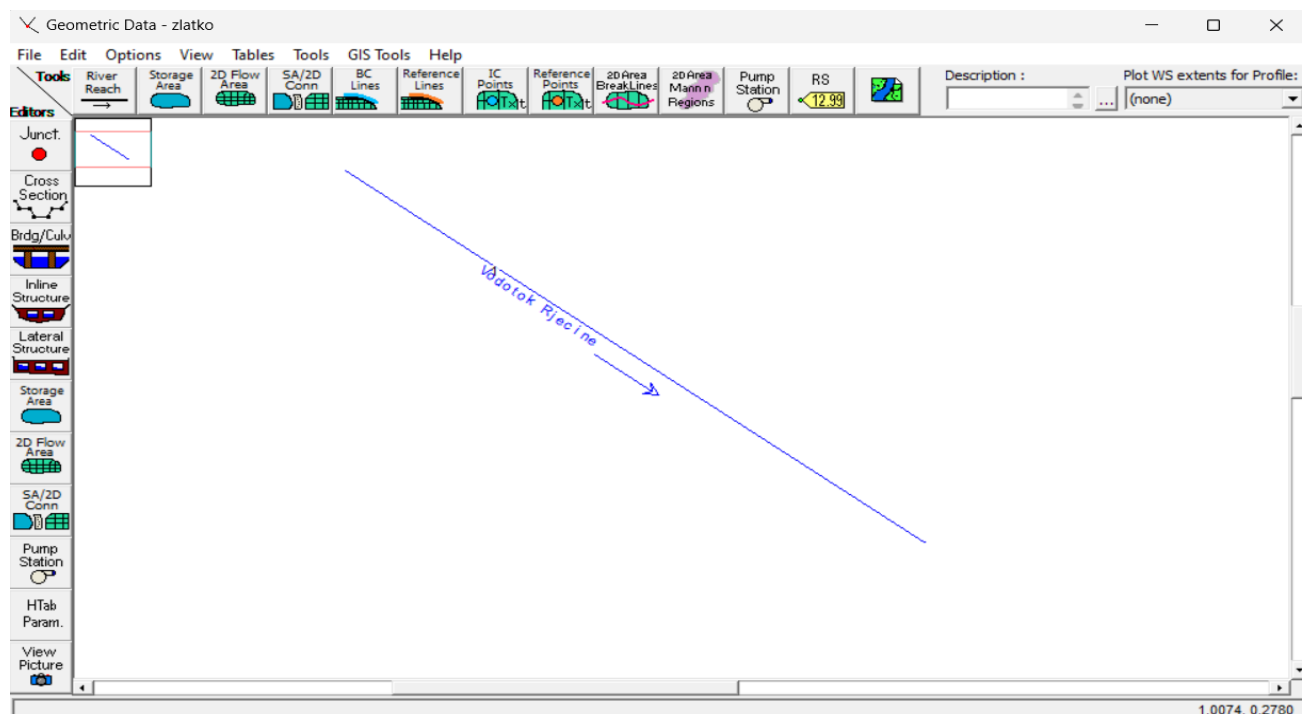
## 7. IZRADA NUMERIČKE SIMULACIJE

Numerička simulacija za cilj ima modeliranje geometrije odvodnog kanala hidroelektrane Rijeka kako bi se proučavalo strujanje fluida nakon izlaska iz turbine pri različitim protocima.

### 7.1 Izrada geometrije odvodnog kanala

Za izradu geometrije potrebno je kreirati model odvodnog kanala HE Rijeka čija duljina iznosi 186 metara. Dovodni kanal se sastoji od jedne cijevi duljine 152 metra, nakon kojega se račva na dvije grane čija dužina iznosi 34 metra.

Prvi korak u kreiranju geometrijskog modela kanala jest definiranje toka rijeke pomoću naredbe „River reach“ (slika 7.1).



Slika 7.1 Definiranje toka rijeke narednom „River reach“

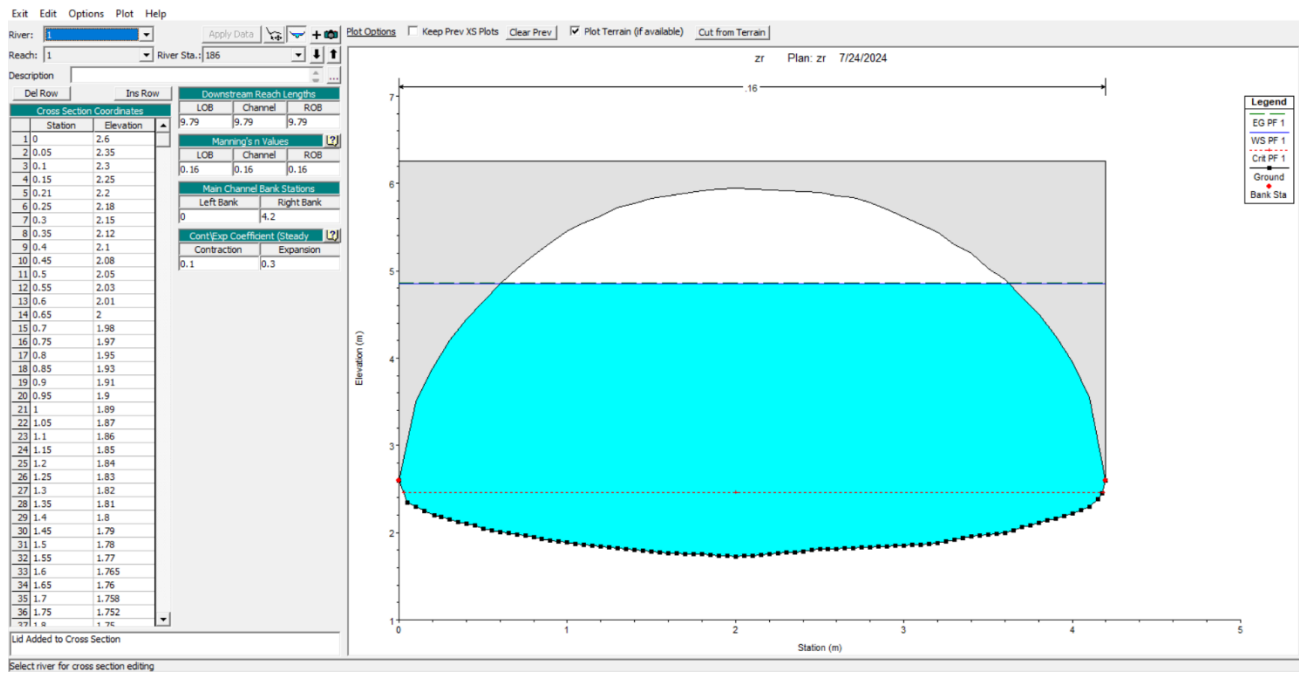
Kada je definiran tok rijeke koristi se naredba „Cross section“ gdje se unosom podataka iz tablica 7.1 i 7.2 kreiraju poprečni presjeci kanala koji su vidljivi na slikama 7.2 i 7.3. Poprečni presjeci se dobivaju tako da se prvo definira stanica na vodotoku za koju se određuje profil, a zatim se unose koordinate poprečnog presjeka kanala, koeficijenti trenja te krajnja lijeva i desna točka profila.

Tablica 7.1 Koordinate poprečnog presjeka I.profila

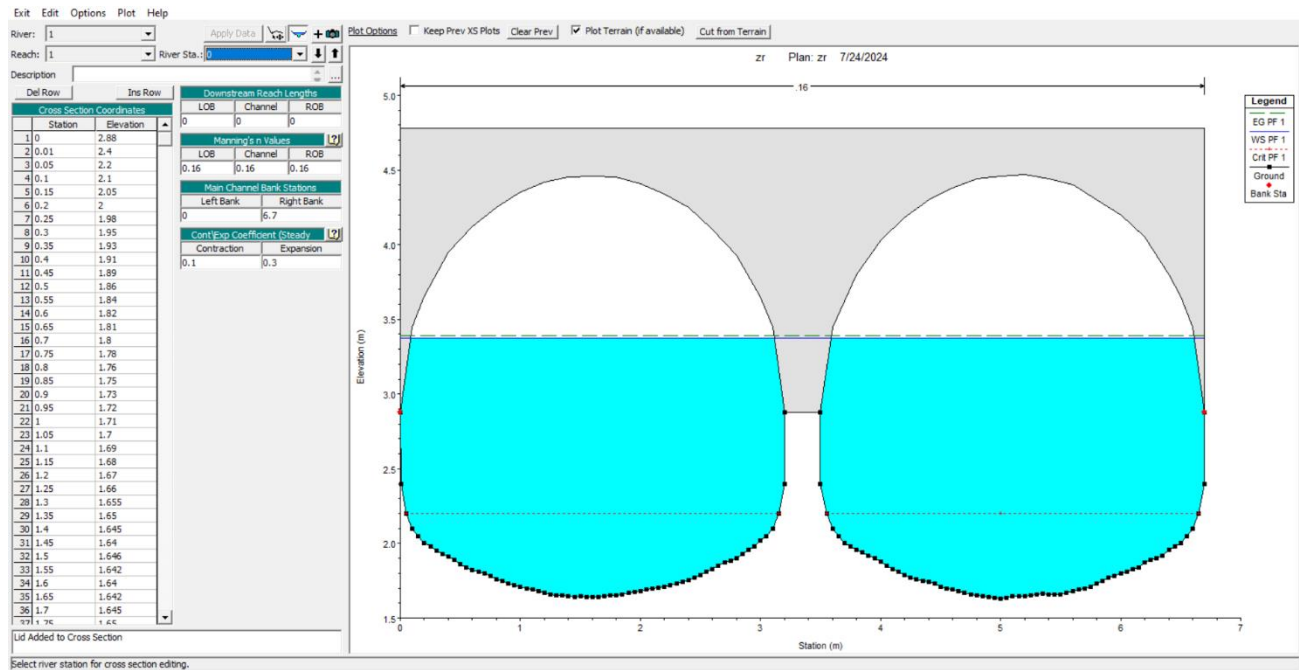
Rd.Br	x os [m]	Visina [m]	Rd.br	x os [m]	Visina [m]	Rd.br	x os [m]	Visina [m]
1	0	2.88	46	2.2	1.71	91	4.6	1.69
2	0.01	2.4	47	2.25	1.72	92	4.65	1.68
3	0.05	2.2	48	2.3	1.73	93	4.7	1.67
4	0.1	2.1	49	2.35	1.745	94	4.75	1.66
5	0.15	2.05	50	2.4	1.755	95	4.8	1.65
6	0.2	2	51	2.45	1.77	96	4.85	1.645
7	0.25	1.98	52	2.5	1.79	97	4.9	1.64
8	0.3	1.95	53	2.55	1.81	98	4.95	1.635
9	0.35	1.93	54	2.6	1.83	99	5	1.63
10	0.4	1.91	55	2.65	1.85	100	5.05	1.637
11	0.45	1.89	56	2.7	1.87	101	5.1	1.645
12	0.5	1.86	57	2.75	1.885	102	5.15	1.648
13	0.55	1.84	58	2.8	1.9	103	5.2	1.649
14	0.6	1.82	59	2.85	1.93	104	5.25	1.65
15	0.65	1.81	60	2.9	1.96	105	5.3	1.66
16	0.7	1.8	61	2.95	1.98	106	5.35	1.665
17	0.75	1.78	62	3	2.02	107	5.4	1.66
18	0.8	1.76	63	3.05	2.05	108	5.45	1.658
19	0.85	1.75	64	3.1	2.1	109	5.5	1.66
20	0.9	1.73	65	3.15	2.2	110	5.55	1.67
21	0.95	1.72	66	3.2	2.4	111	5.6	1.68
22	1	1.71	67	3.2	2.88	112	5.65	1.69
23	1.05	1.7	68	3.5	2.88	113	5.7	1.7
24	1.1	1.69	69	3.5	2.4	114	5.75	1.71
25	1.15	1.68	70	3.55	2.2	115	5.8	1.73
26	1.2	1.67	71	3.6	2.1	116	5.85	1.75
27	1.25	1.66	72	3.65	2.05	117	5.9	1.77
28	1.3	1.655	73	3.7	2	118	5.95	1.78
29	1.35	1.65	74	3.75	1.98	119	6	1.8
30	1.4	1.645	75	3.8	1.96	120	6.05	1.81
31	1.45	1.64	76	3.85	1.94	121	6.1	1.83
32	1.5	1.646	77	3.9	1.92	122	6.15	1.84
33	1.55	1.642	78	3.95	1.9	123	6.2	1.87
34	1.6	1.64	79	4	1.88	124	6.25	1.89
35	1.65	1.642	80	4.05	1.85	125	6.3	1.9
36	1.7	1.645	81	4.1	1.83	126	6.35	1.92
37	1.75	1.65	82	4.15	1.81	127	6.4	1.96
38	1.8	1.655	83	4.2	1.79	128	6.45	1.98
39	1.85	1.66	84	4.25	1.77	129	6.5	2
40	1.9	1.67	85	4.3	1.76	130	6.55	2.05
41	1.95	1.675	86	4.35	1.75	131	6.6	2.1
42	2	1.68	87	4.4	1.74	132	6.65	2.2
43	2.05	1.69	88	4.45	1.73	133	6.7	2.4
44	2.1	1.7	89	4.5	1.71	134	6.7	2.88
45	2.15	1.705	90	4.55	1.7			

Tablica 7.2 Koordinate poprečnog presjeka 2.profila

Rd. br	x os [m]	Visina [m]	Rd.br	x os [m]	Visina [m]
1	0	2.6	44	2.15	1.745
2	0.05	2.35	45	2.2	1.75
3	0.1	2.3	46	2.25	1.76
4	0.15	2.25	47	2.3	1.77
5	0.2	2.2	48	2.35	1.775
6	0.25	2.18	49	2.4	1.78
7	0.3	2.15	50	2.45	1.8
8	0.35	2.12	51	2.5	1.81
9	0.4	2.1	52	2.55	1.812
10	0.45	2.08	53	2.6	1.817
11	0.5	2.05	54	2.65	1.82
12	0.55	2.03	55	2.7	1.825
13	0.6	2.01	56	2.75	1.83
14	0.65	2	57	2.8	1.835
15	0.7	1.98	58	2.85	1.84
16	0.75	1.97	59	2.9	1.845
17	0.8	1.95	60	2.95	1.85
18	0.85	1.93	61	3	1.855
19	0.9	1.91	62	3.05	1.86
20	0.95	1.9	63	3.1	1.865
21	1	1.89	64	3.15	1.875
22	1.05	1.87	65	3.2	1.885
23	1.1	1.86	66	3.25	1.9
24	1.15	1.85	67	3.3	1.92
25	1.2	1.84	68	3.35	1.94
26	1.25	1.83	69	3.4	1.96
27	1.3	1.82	70	3.45	1.97
28	1.35	1.81	71	3.5	1.98
29	1.4	1.8	72	3.55	1.99
30	1.45	1.79	73	3.6	2
31	1.5	1.78	74	3.65	2.03
32	1.55	1.77	75	3.7	2.06
33	1.6	1.765	76	3.75	2.08
34	1.65	1.76	77	3.8	2.11
35	1.7	1.758	78	3.85	2.14
36	1.75	1.752	79	3.9	2.16
37	1.8	1.75	80	3.95	2.19
38	1.85	1.745	81	4	2.22
39	1.9	1.74	82	4.05	2.26
40	1.95	1.738	83	4.1	2.3
41	2	1.73	84	4.15	2.38
42	2.05	1.734	85	4.18	2.45
43	2.1	1.74	86	4.2	2.6

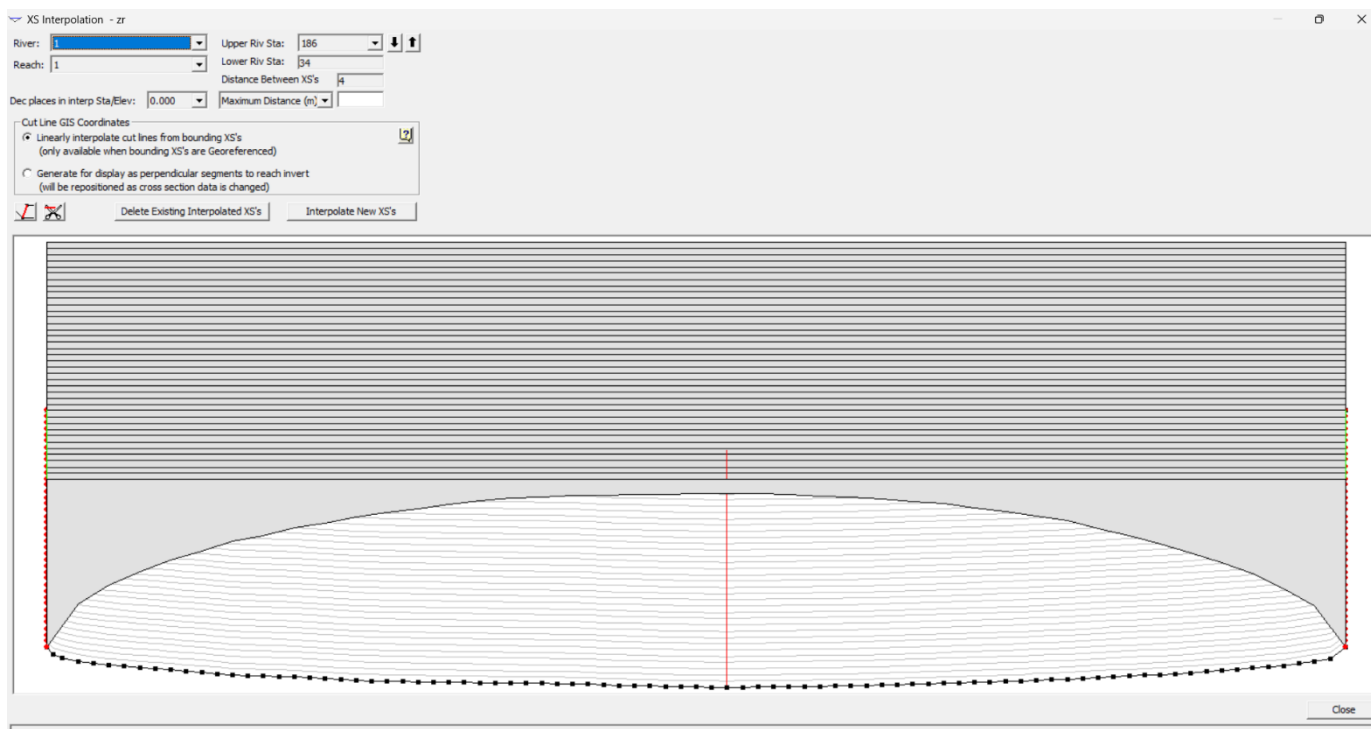


Slika 7.2 Izgled ulaznog dijela profila

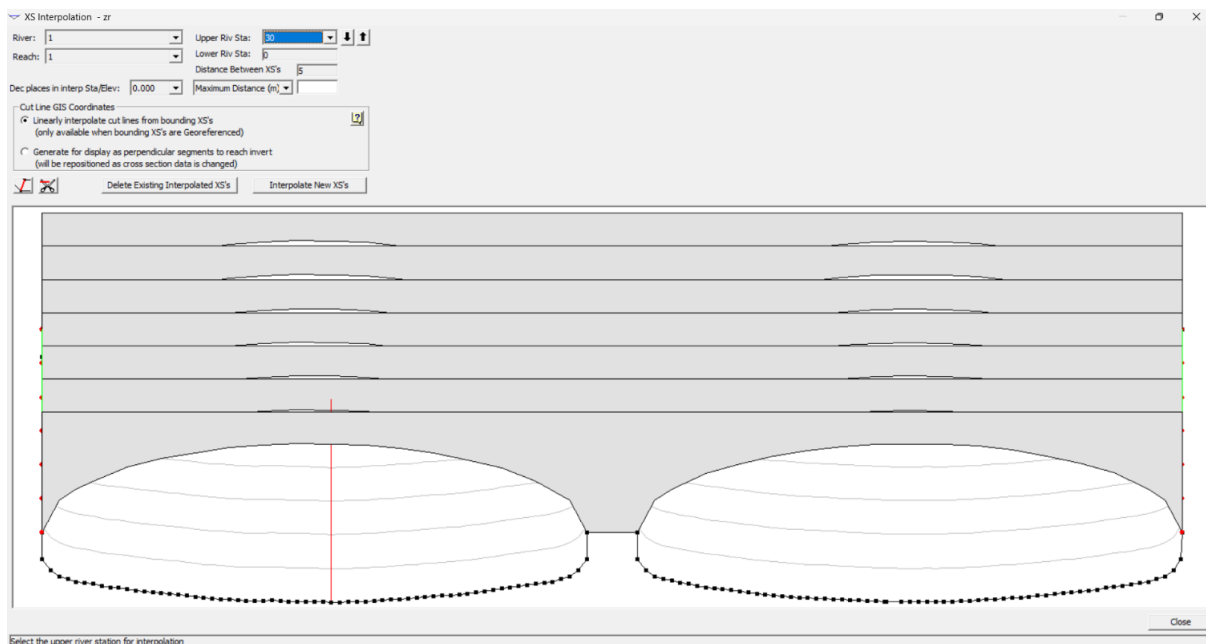


Slika 7.3 Izgled izlaznog dijela profila

Kako bi se definirali dodatni poprečni presjeci, u svrhu boljeg opisivanja geometrije modela, potrebno je napraviti interpolaciju. Interpolacija se definira između dva krajnja profila. Prvo se radi interpolacija između profila ulaznog dijela kanala, a zatim između profila izlaznog djela kanala. Za izradu same interpolacije koristi se naredba „XS interpolation“ i odabire se „Between two XS's“ nakon čega se otvara prozor gdje unosimo duljinu između profila. Duljina između poprečnih presjeka 186 i 34 iznosi 4 metra, a između 30 i 0 iznosi 5 metara što je vidljivo na sljedećim slikama (slika 7.4 i 7.5)

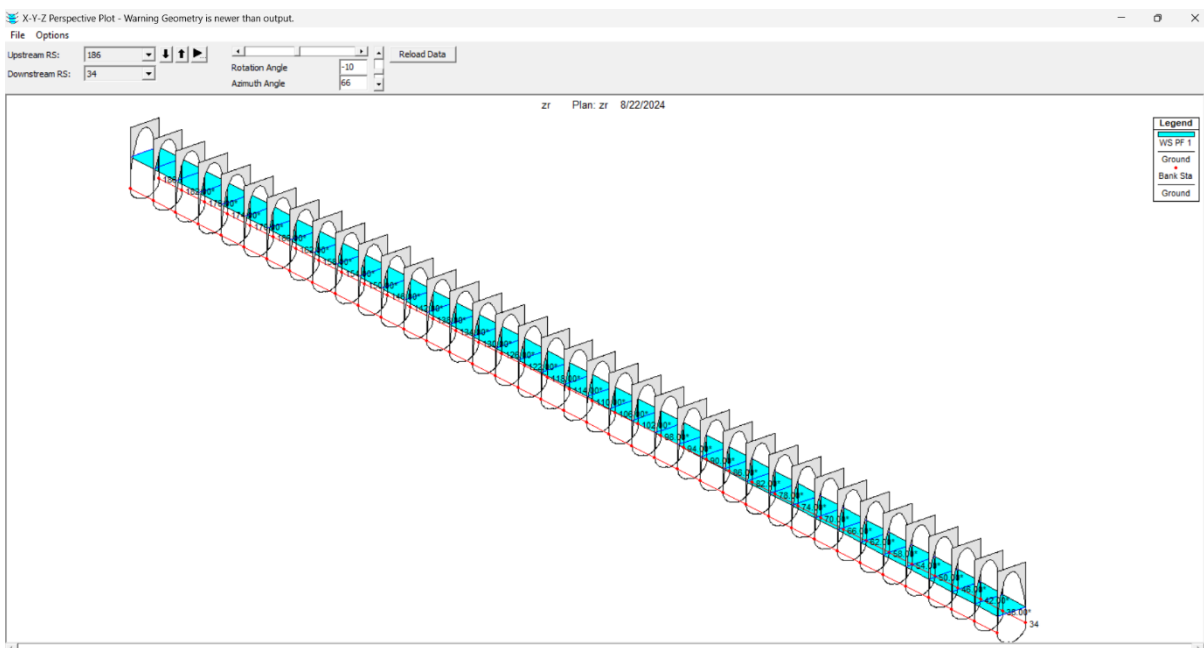


*Slika 7.4 Prikaz interpolacije između profila 186 i 34*

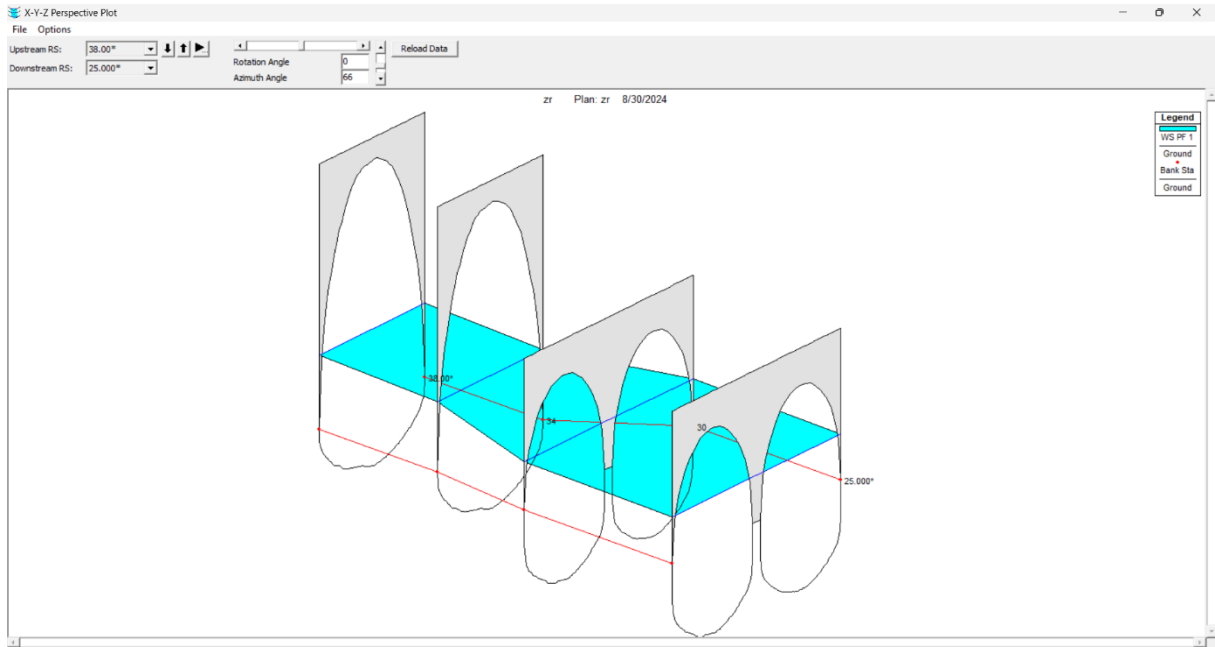


*Slika 7.5 Prikaz interpolacije između profila 30 i 0*

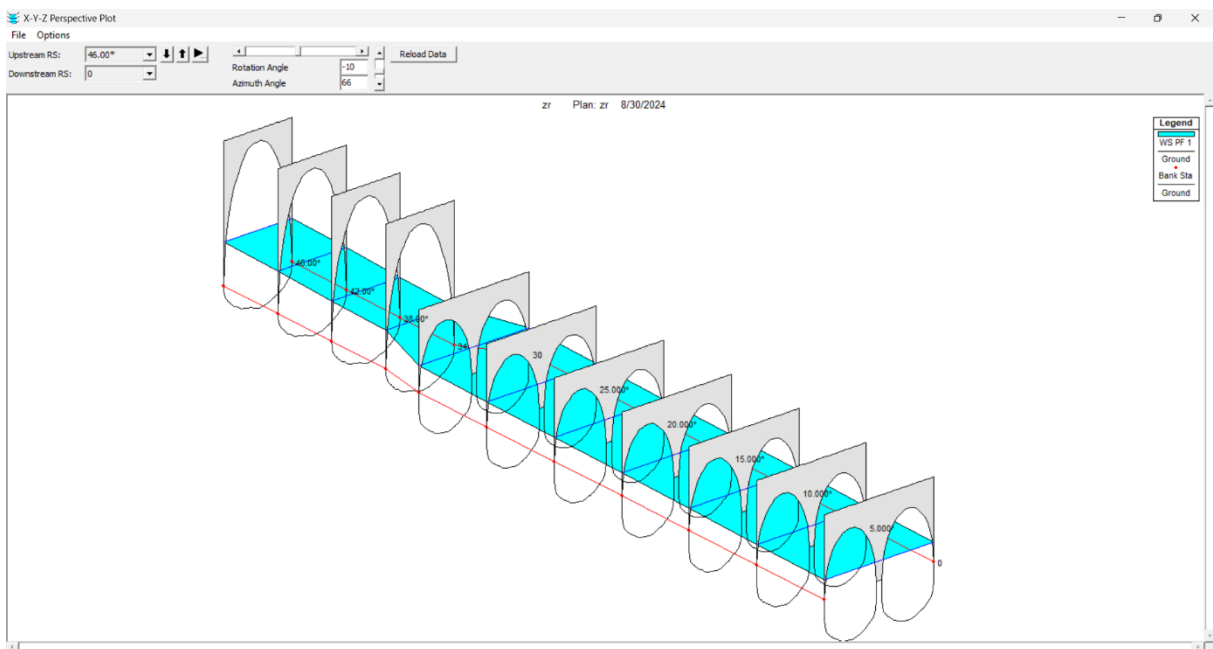
Odvodni kanal hidroelektrane Rijeka sastoji se od dva dijela. Prvi dio kanala ima kontinuirani poprečni presjek od točke 186 do točke 34, nakon čega se kanal račva na dvije cijevi između točaka 34 i 30 (slika 7.7), te ima drugačiji poprečni presjek između točke 30 i točke 0 što je prikazano na slikama 7.6 i 7.8. Cjelokupni izgled kanala prikazan je na slici 7.9.



*Slika 7.6 Prikaz poprečnog presjeka ulaznog dijela kanala*

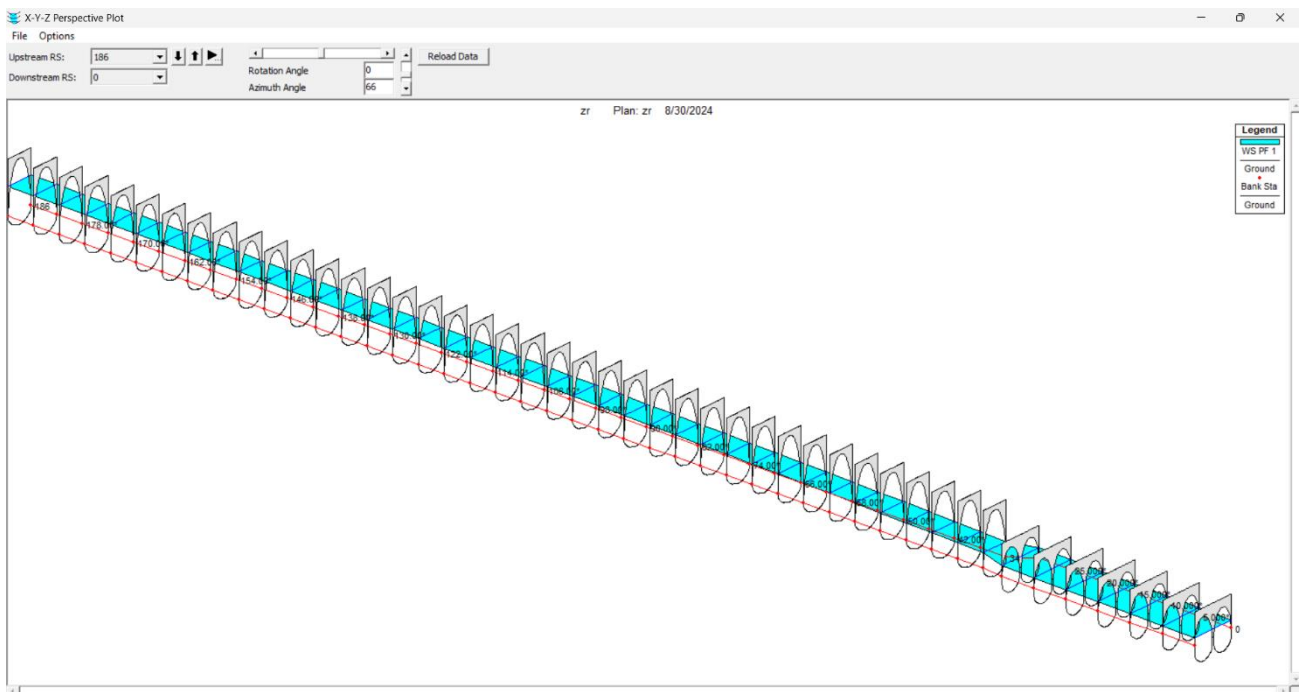


*Slika 7.7 Prikaz račvanja odvodnog kanala*



*Slika 7.8 Prikaz poprečnog presjeka izlaznog dijela kanala*

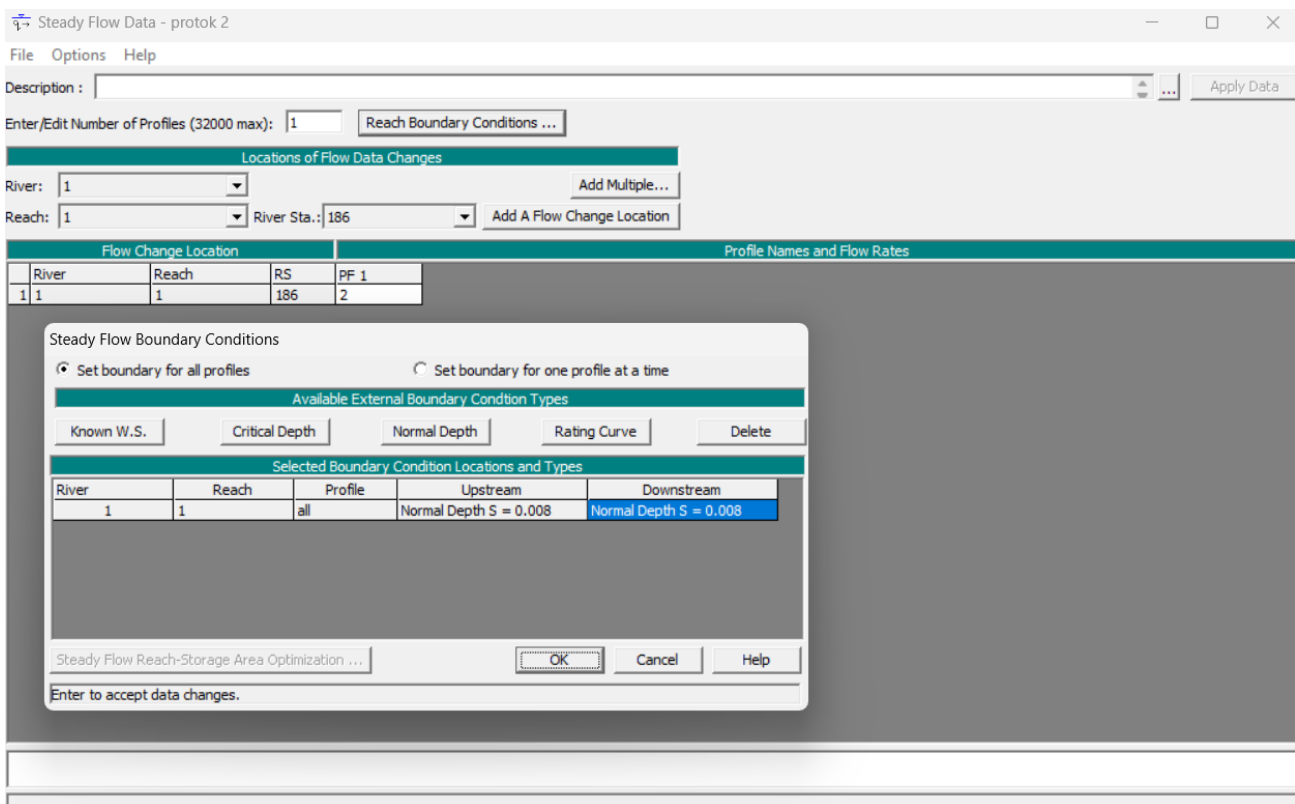




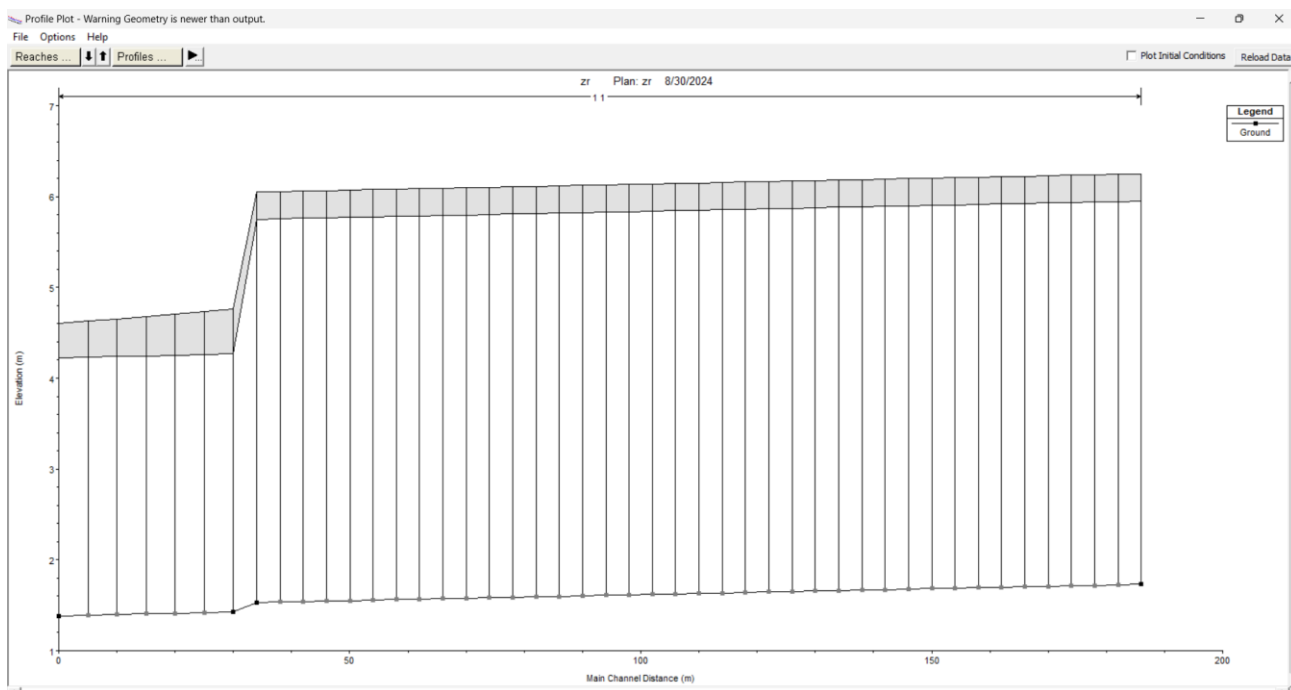
*Slika 7.9 Cjelokupni prikaz odvodnog dijela kanala*

## 7.2. Postavke simulacije

Za izradu simulacije prvo se koristi naredba „Reach boundary conditions“ gdje je potrebno unijeti nagib kanala u rubriku „Normal depth“ za uzvodnu i nizvodnu stanicu profila, te upisati željeni protok (slika 7.10). Nagib kanala se određuje pomoću bočnog progleda profila (slika 7.11) tako da se visine krajnje desne točke i krajnje lijeve točke oduzmu te podijele s ukupnom duljinom kanala čime se dobije vrijednost od 0,008 m. Normalna dubina označava dubinu protoka kanala kada je nagib vodene površine i dna kanala isti, dok je dubina vode konstantna te pretpostavljamo da fluid teče uvjetima normalnog toka.

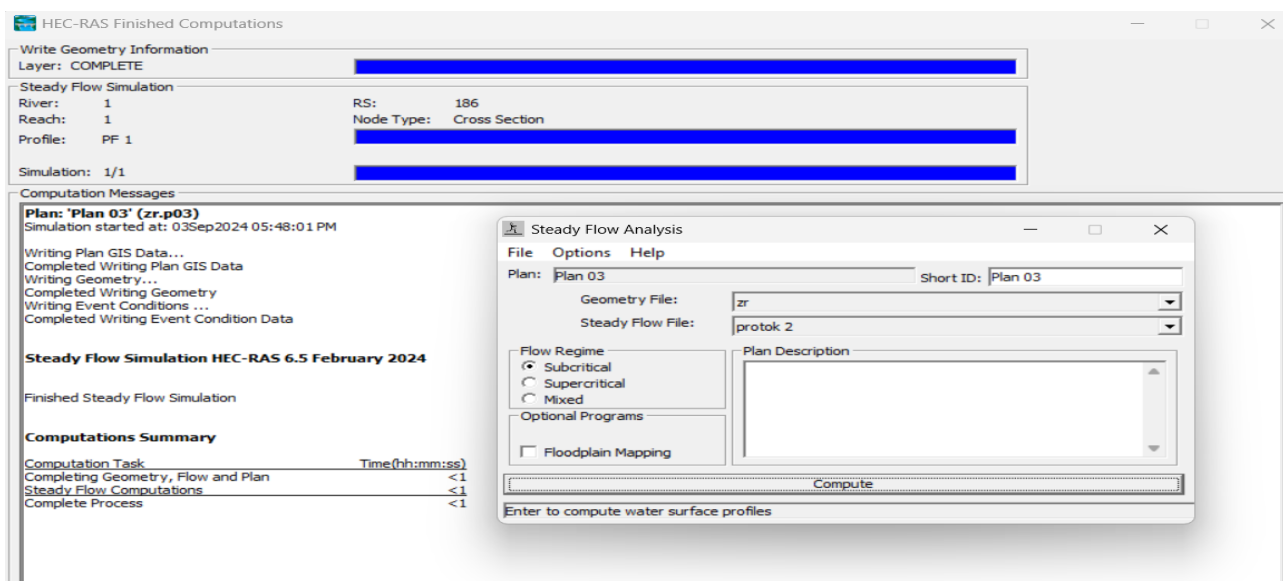


Slika 7.10 Određivanje protoka i nagiba kanala



Slika 7.11 Bočni prikaz kanala

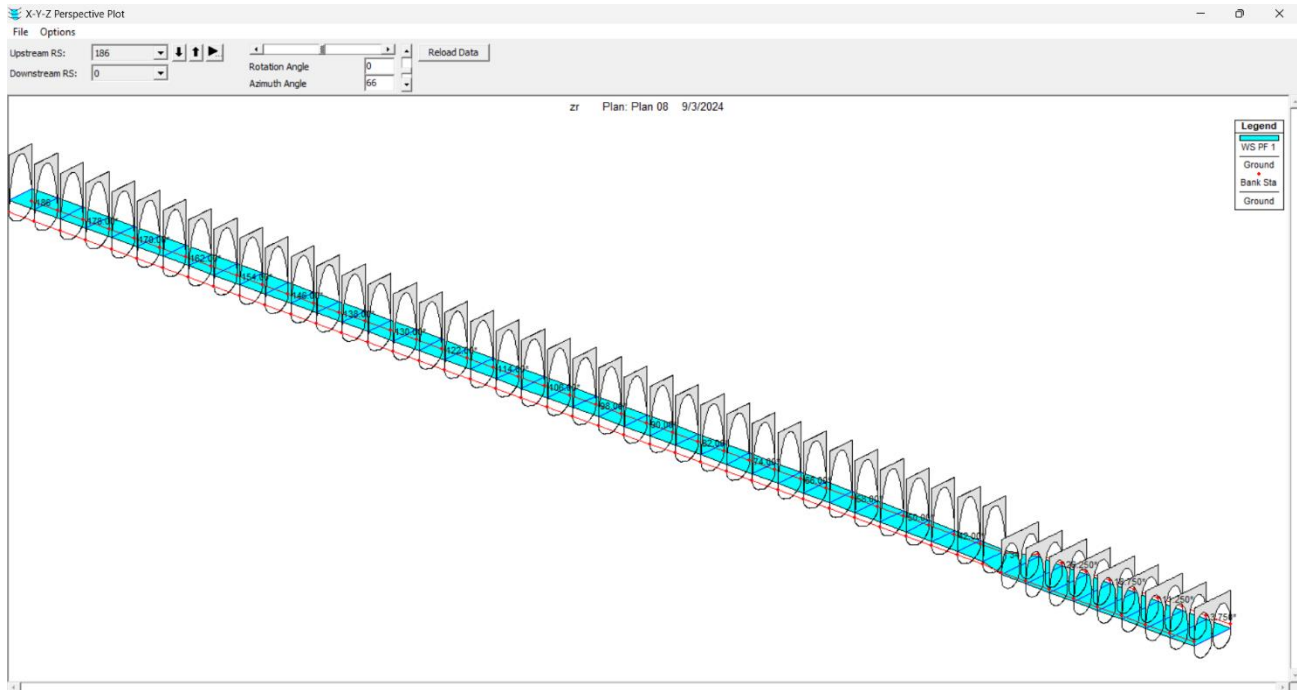
Nakon što je su određene postavke simulacije, odnosno nagib kanala i protoci pokrećemo simulaciju pomoću naredbe „Run“, zatim „Steady flow analysis“. Za određivanje načina protoka odabiremo opciju „Flow regime“, te podatke koje smo prije unijeli za „Geometry file“ i „Stady flow file“ (slika 7.12). Za ispitivanje simulacije korišteni su protoci od 2 m<sup>3</sup>/s, 5 m<sup>3</sup>/s, 7 m<sup>3</sup>/s i 8 m<sup>3</sup>/s.



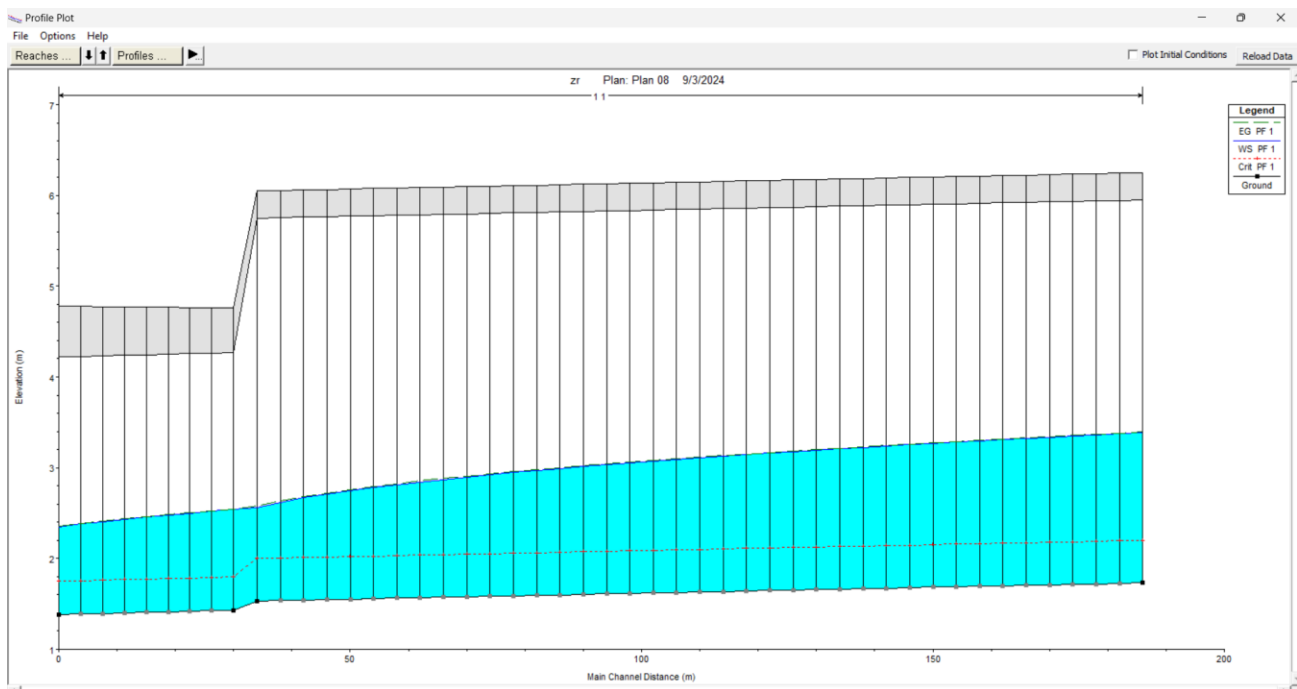
Slika 7.12 Pokretanje simulacije

## 8. REZULTATI

Završetkom simulacije dobivamo rezultate strujanja fluida kroz odvodni kanal HE Rijeka. Slika 8.1 prikazuje kretanje fluida kroz poprečne presjeke kanala s protokom  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , a na slici 8.2 vidljiv je bočni prikaz vodnog lica u odvodnom kanalu za zadane uvjete.

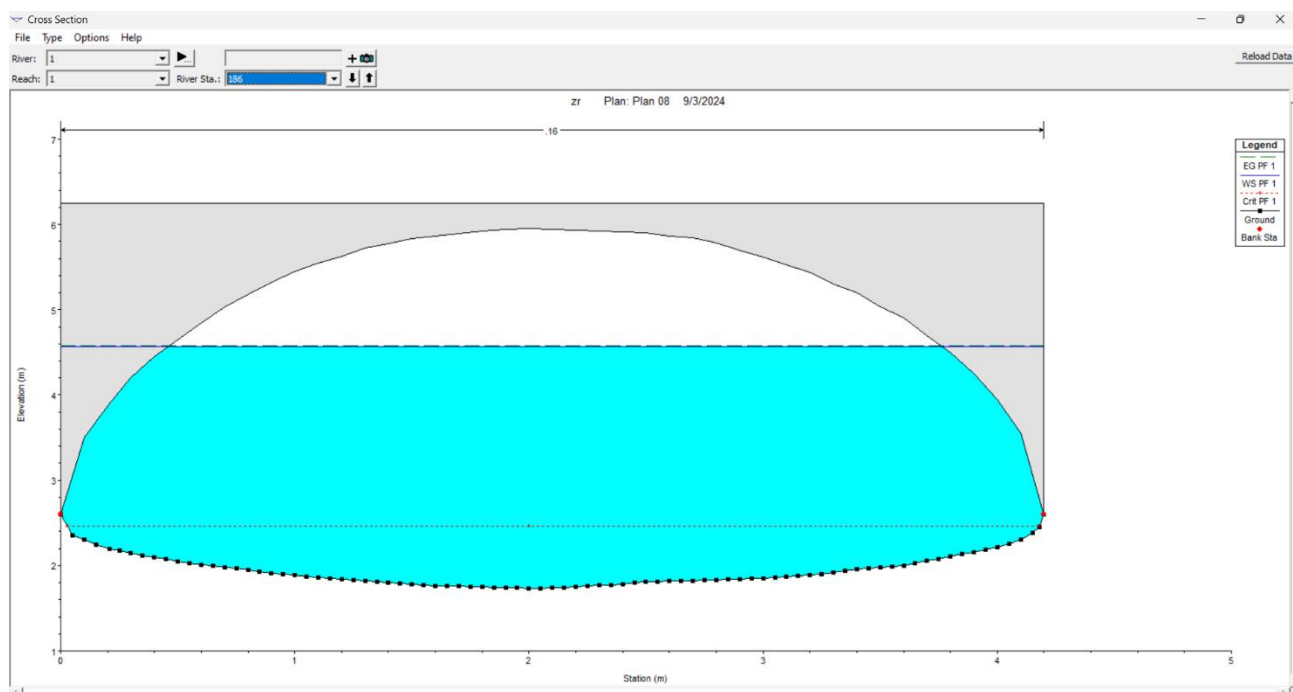


Slika 8.1 Kretanje fluida kroz poprečne presjeke za protok  $2 \text{ m}^3/\text{s}$

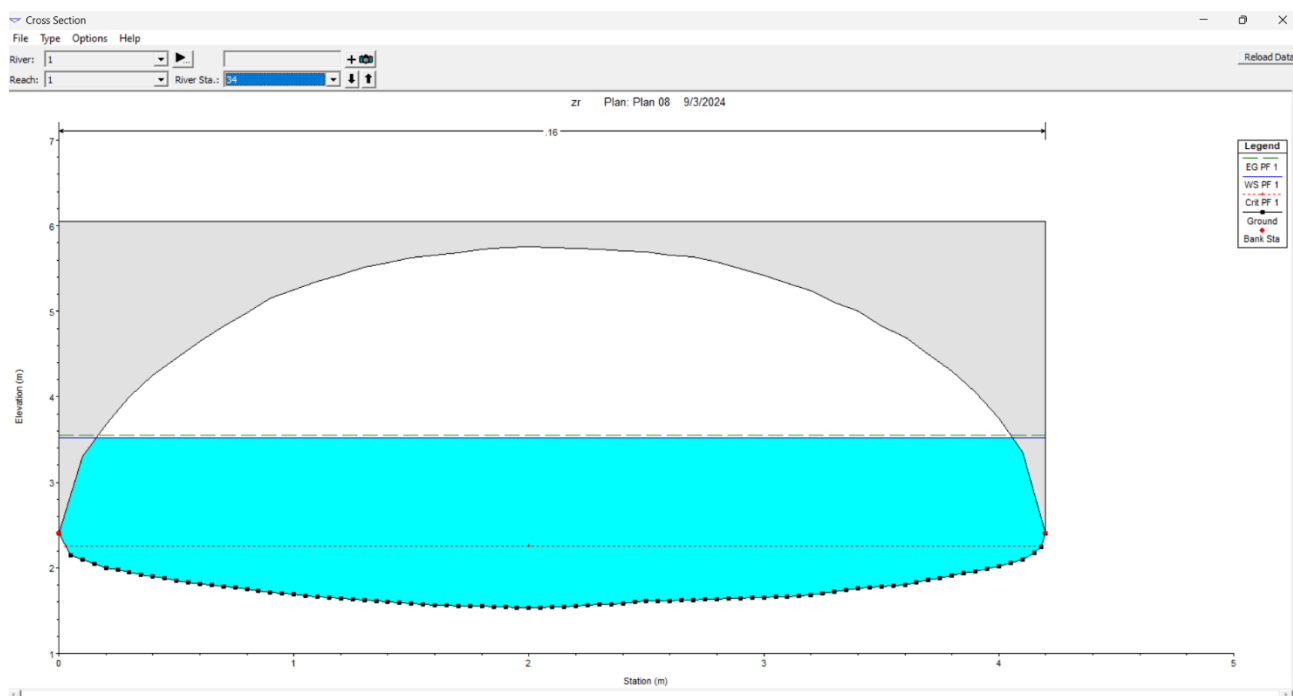


Slika 8.2 Bočni prikaz odvodnog kanala za protok  $2 \text{ m}^3/\text{s}$

Promjenom postavki simulacije gdje se odabire protok  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  dolazi do promjene kretanja fluida kroz poprečne presjeke. Na slici 8.3 i 8.4 prikazane su visine vodnih lica za poprečne presjeke profila 186 i 34.

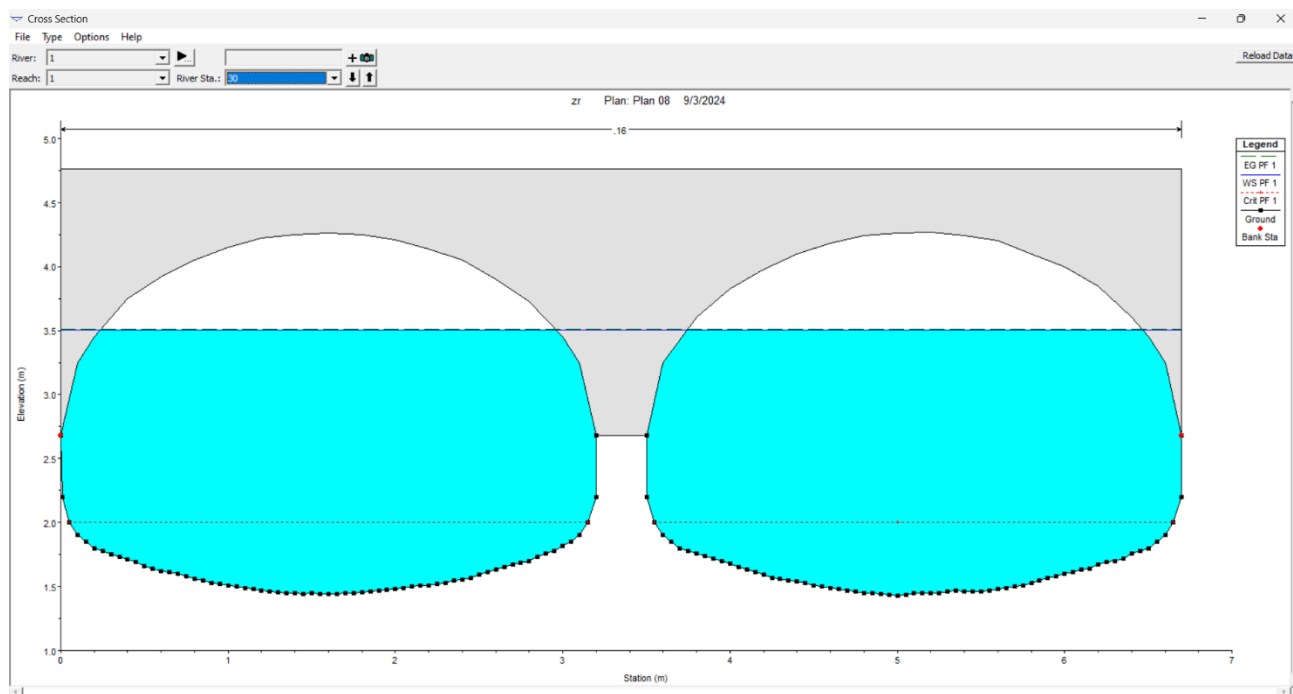


*Slika 8.3 Visina vodnog lica za poprečni presjek profila 186 za protok  $5 \text{ m}^3/\text{s}$*

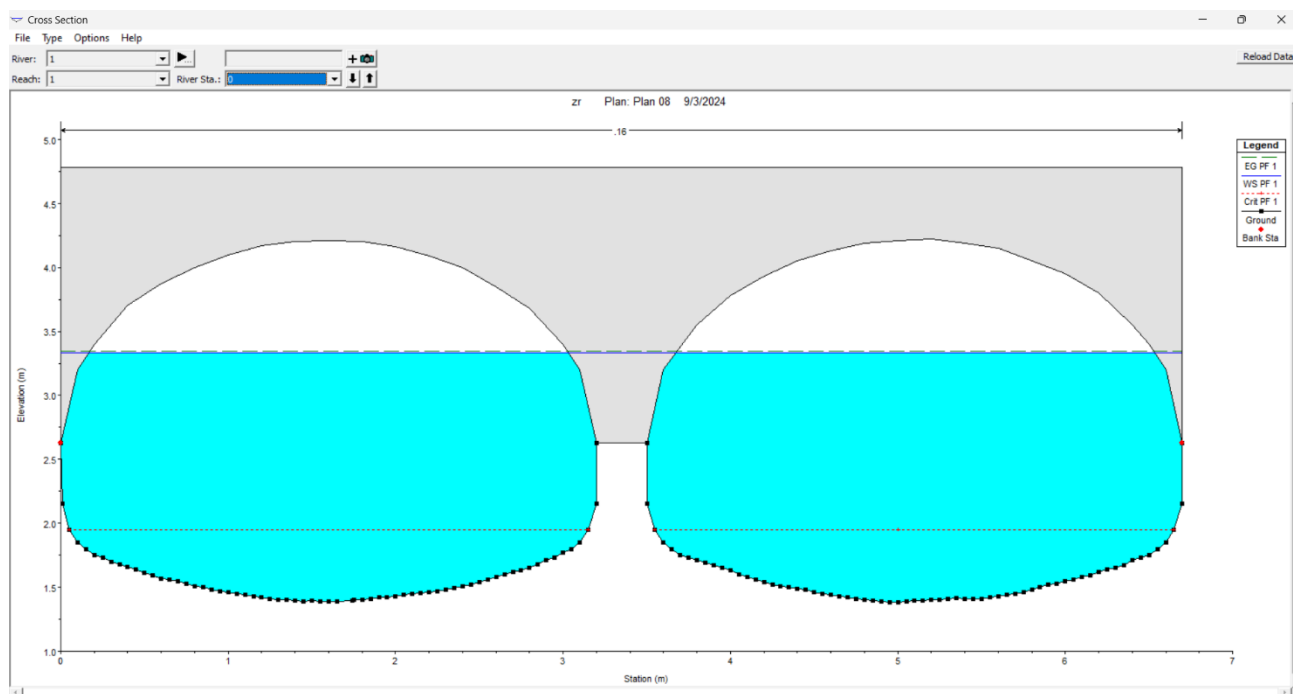


*Slika 8.4 Visina vodnog lica za poprečni presjek profila 34 za protok  $5 \text{ m}^3/\text{s}$*

Nastavak kretanja fluida kroz poprečne presjke 30 i 0 prikazan je na slikama 8.4 i 8.5 gdje je vidljivo kako količina fluida u kanala postepeno raste, a zatim opada.

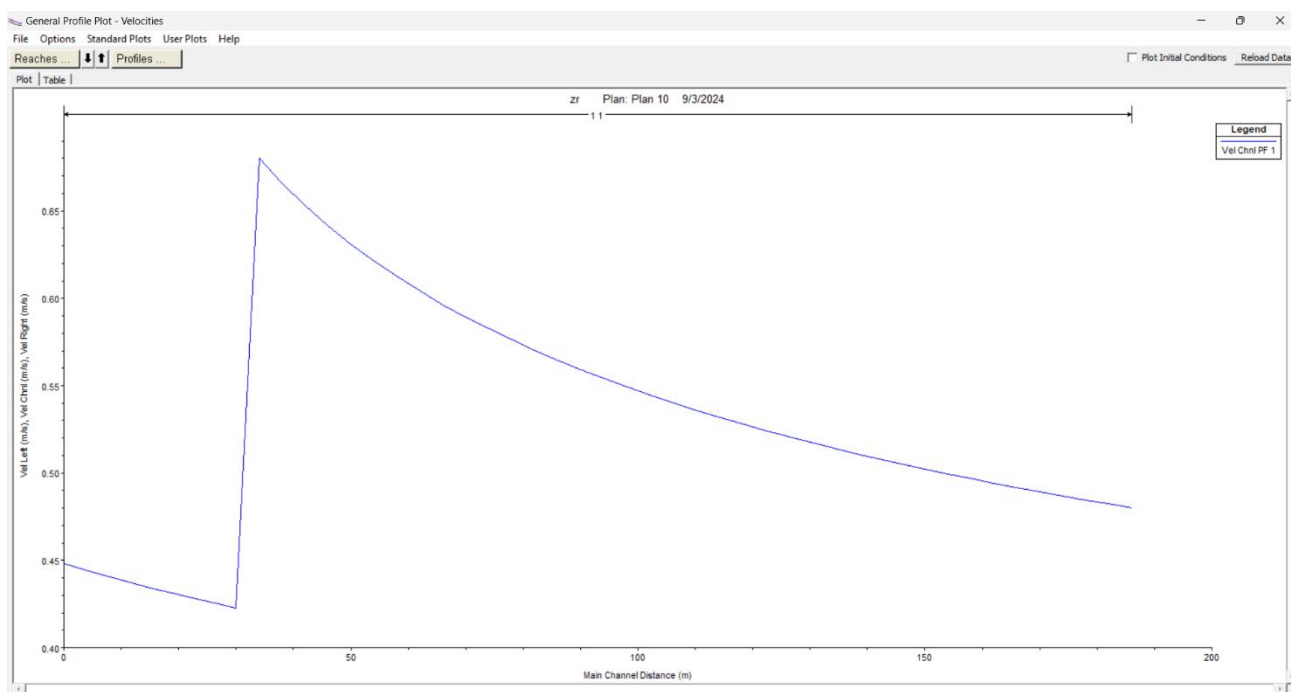


*Slika 8.5 Visina vodnog lica za poprečni presjek profila 30 za protok  $5 \text{ m}^3/\text{s}$*

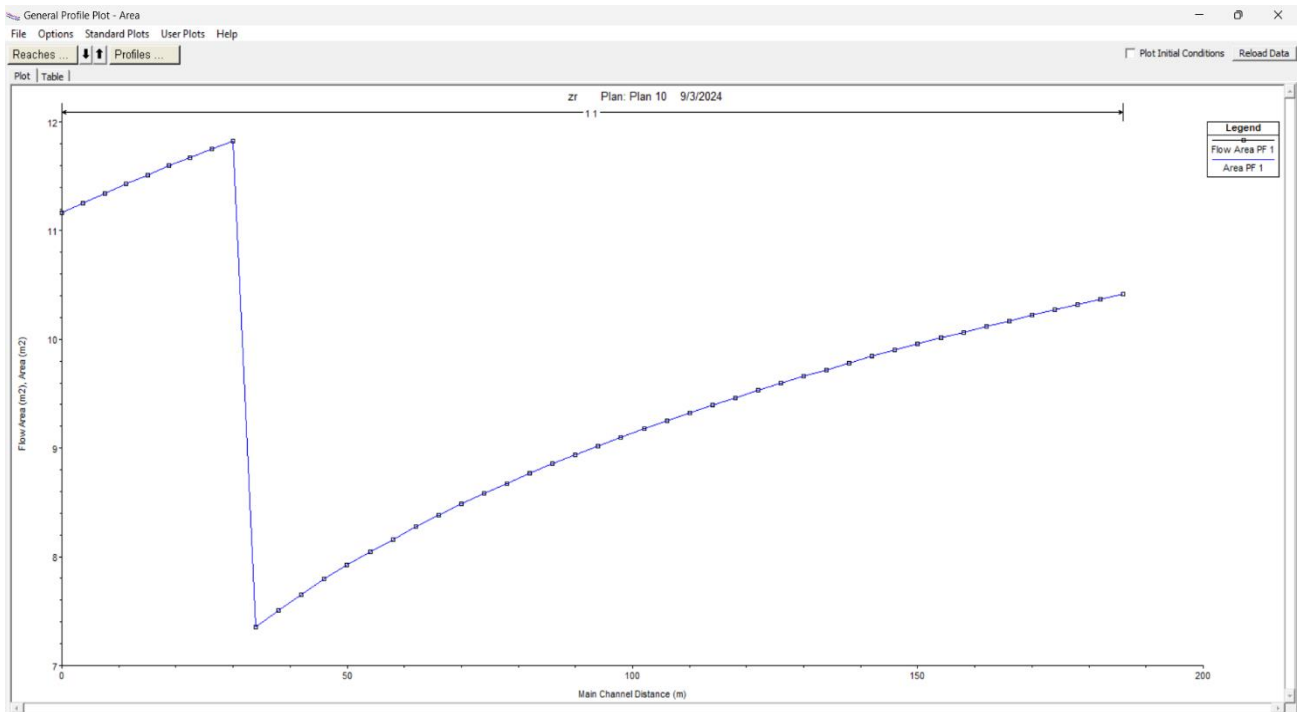


*Slika 8.6 Visina vodnog lica za poprečni presjek profila 0 za protok  $5 \text{ m}^3/\text{s}$*

Prijašnje tvrdnje mogu se potkrijepiti grafovima brzine strujanja fluida kao i grafom površine vode kroz odvodni kanal gdje povećanjem površine dolazi do smanjenja brzine. Iz grafa brzine strujanja fluida vidljivo je kako brzina ulaznog fluida postepeno raste kroz kanal i dostiže svoj maksimum prije račvanja kanala gdje naglo pada, a zatim ponovno postepeno raste (slika 8.7). S druge je pak strane na grafu površine vode (slika 8.8) vidljivo kako postepeno pada od profila 186 i dostiže svoj minimum prije račvanja odvodnog kanala, odnosno kod promjene poprečnog presjeka na profilu 34. Nakon račvanja naglo raste i sporo pada do samog izlaza.



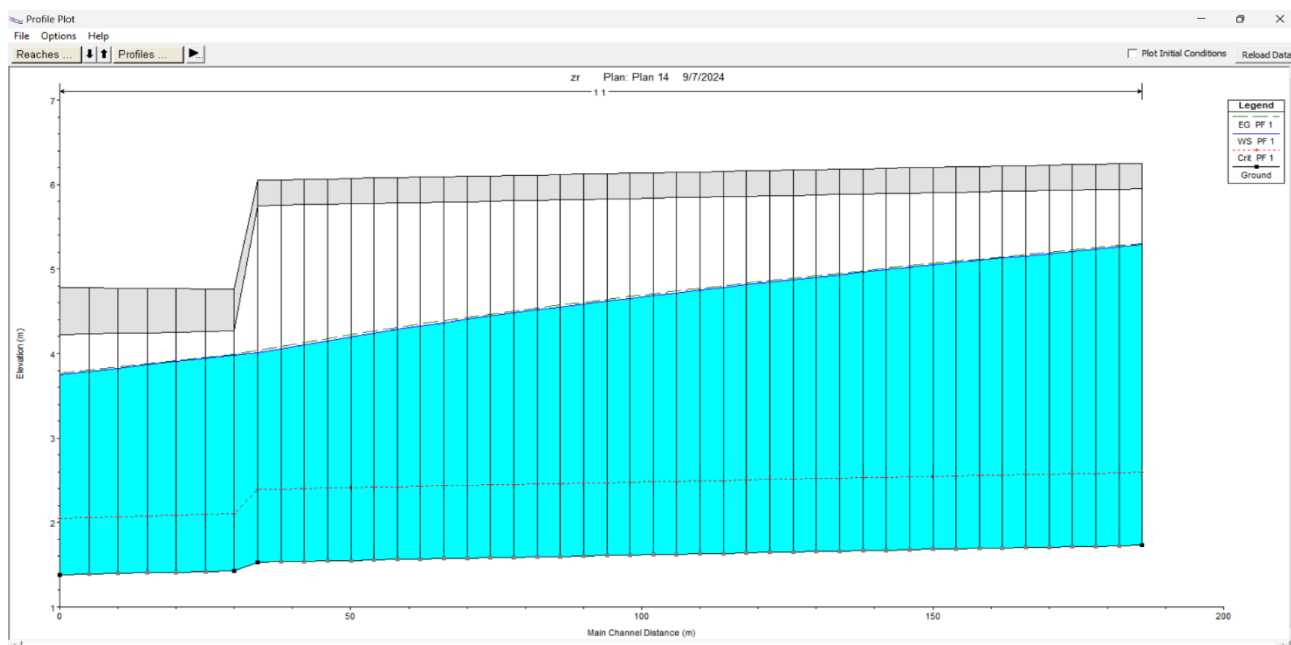
Slika 8.7 Graf brzine strujanja fluida



Slika 8.8 Graf površine vode kroz odvodni

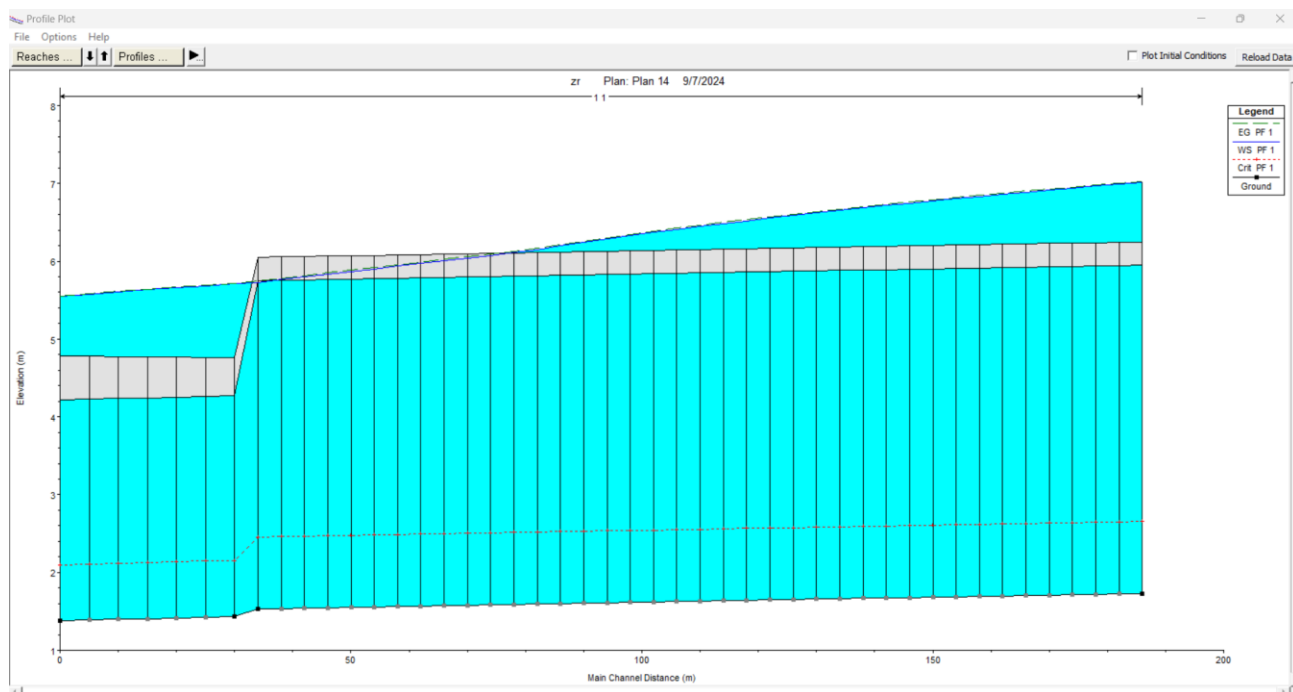


Na slikama 8.9 i 8.10 prikazana je promjena vodnog lica kroz odvodni kanal za protoke  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  i  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na slikama se vidi kako se visina vodnog lica povećava zajedno s protokom. Konkretno za ovu simulaciju dolazi do poplavlivanja već pri  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Razlog tome je što je ova simulacija vrlo pojednostavljena tj. nisu definirani lokalni gubitci između prelazaka s jednog profila na drugi, kao što nisu u potpunosti ni definirani koeficijenti trenja koji ovise o materijalu. Zapravo može se reći da je simulacija napravljena za idealne uvjete.



*Slika 8.9 Visina vodnog lica za odvodni kanal za protok  $7 \text{ m}^3/\text{s}$*

Isto tako na slici 8.10 vidljivo je poplavljanje. Program HEC-RAS u 1D simulaciji ne može simulirati strujanje pod tlakom i iz tog razloga program je pojednostavio prikaz tako da je jednostavno podignuo razinu vode na grafu. Iz tog razloga može se reći kako je upravo ovo jedan od nedostataka HEC-RAS programa.



*Slika 8.10 Visina vodnog lica za odvodni kanal za protok 8 m<sup>3</sup>/s*

## 9. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu zadatak je bio izrada geometrije i numerička analiza strujanja fluida u odvodnom kanalu hidroelektrane Rijeka. U uvodnom dijelu rada dan je teorijski pregled o hidroelektranama, principu njihova rada te potrebama njihove gradnje. Zatim je napravljena podjela hidroelektrana prema regulaciji protoka i prema instaliranoj snazi. Objašnjeni su principi rada pojedinih hidroelektrana kao i njihove prednosti i mane. Dalje se u završnom radu obrađuju najvažniji dijelovi postrojenja. U sklopu rada napravljena je geometrija i numerička analiza strujanja fluida pomoću programa HEC-RAS koji nam omogućuje izradu 1D simulaciju strujanja fluida kroz odvodni kanal hidroelektrane Rijeka. Na temelju podataka o brzini kretanja fluida i protoku ispitalo se koje uvjete rada zadovoljava geometrija odvodnog kanala. Promjena poprečnog presjeka u kanalu utječe na brzinu strujanja fluida i na površinu vode. Simulacija u HEC-RAS programu omogućuje nam da napravimo istraživanje geometrije odvodnog kanala i poboljšamo njegovu učinkovitost. Zbog značajne potrebe za računalnim resursima ne koriste se složene 3D simulacije, ali s druge se strane kod 1D simulacije javlja se problem kada u jednom dijelu dođe do poplavljanja jer model ne može simulirati strujanje fluida pod tlakom.

## 10. LITERATURA

- [1] S interneta, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>, 20.03.2024.
- [2] S interneta, [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS5eXNtbh6ZDKAKjfcG92QojFY092pdIC\\_U7cgPCrewdU3\\_WwRY](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS5eXNtbh6ZDKAKjfcG92QojFY092pdIC_U7cgPCrewdU3_WwRY), 20.3.2024.
- [3] S interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chief\\_Joseph\\_Dam.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chief_Joseph_Dam.jpg), 15.04.2024.
- [4] S interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-of-the-river\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-of-the-river_hydroelectricity), 15.04.2024.
- [5] S interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-jug/he-djale/1554>, 18.04.2024.
- [6] S interneta, [https://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE#Akumulacijske\\_hidroelektrane](https://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Akumulacijske_hidroelektrane), 18.04.2024.
- [7] S interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/rhe-lepenica/1538>, 20.04.2024.
- [8] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Reverzibilne\\_hidroelektrane](https://hr.wikipedia.org/wiki/Reverzibilne_hidroelektrane), 20.04.2024.
- [9] S interneta, <https://www.britannica.com/topic/Three-Gorges-Dam>, 20.04.2024.
- [10] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Velike\\_hidroelektrane](https://hr.wikipedia.org/wiki/Velike_hidroelektrane), 22.04.2024.
- [11] S interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-jug/he-jaruga/1550>, 22.04.2024.
- [12] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Male\\_hidroelektrane](https://hr.wikipedia.org/wiki/Male_hidroelektrane), 22.04.2024.
- [13] S interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Micro\\_hydro](https://en.wikipedia.org/wiki/Micro_hydro), 28.04.2024.
- [14] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Mikro\\_hidroelektrana\\_Matakovi%C4%87](https://hr.wikipedia.org/wiki/Mikro_hidroelektrana_Matakovi%C4%87), 28.04.2024.
- [15] S interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Pico\\_hydro](https://en.wikipedia.org/wiki/Pico_hydro), 28.04.2024.

- [16] S inetermeta, [https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR\\_5OKeeaOr42rXHDyBSYRG8YNZAasMRfcddiNDFfqPC42gsYFM](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR_5OKeeaOr42rXHDyBSYRG8YNZAasMRfcddiNDFfqPC42gsYFM), 28.04.2024.
- [17] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Provodnici\\_vode](https://hr.wikipedia.org/wiki/Provodnici_vode), 03.05.2024.
- [18] Čarija, Z.: „Vodne turbine“, Tehnički fakultet Rijeka, 2020.
- [19] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dni\\_cjevovod](https://hr.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dni_cjevovod), 03.05.2024.
- [20] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dni\\_cjevovod#/media/Datoteka:HE\\_Rijeka\\_tlacni\\_cjevovo\\_d.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Tla%C4%8Dni_cjevovod#/media/Datoteka:HE_Rijeka_tlacni_cjevovo_d.jpg), 03.05.2024.
- [21] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna\\_komora](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_komora), 10.05.2024.
- [22] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna\\_komora#/media/Datoteka:HE\\_Rijeka-vodna\\_komora.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_komora#/media/Datoteka:HE_Rijeka-vodna_komora.jpg), 10.05.2024.
- [23] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna\\_strojarnica](https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna_strojarnica), 10.05.2024.
- [24] Čarija, Z.: „Vodne turbine“, Tehnički fakultet Rijeka, 2020.
- [25] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina), 11.05.2024.
- [26] S interneta, <https://image.made-in-china.com/2f0j00FqHWEKuRgnfD/Hydraulic-Electric-100kw-Turbine-Generator-Hydro-Hydropower-Turbine-Generator.jpg>, 11.05.2024.
- [27] S interneta, <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/hidroelektrane.pdf>, 28.08.2024.
- [28] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Provodnici\\_vode](https://hr.wikipedia.org/wiki/Provodnici_vode), 28.08.2024.
- [29] S interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana\\_Rijeka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Rijeka), 20.03.2024.
- [30] S interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-rijeka/1535>, 20.03.2024.
- [31] S interneta, <https://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS>, 20.08.2024.
- [32] S interneta, <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, 20.08.2024.

## **11. SAŽETAK**

U ovom završnom radu opisan je princip rada hidroelektrana, njihova podjela prema regulaciji protoka, prema instaliranoj snazi te njihove prednosti i mane. Navedeni se i opisani glavni dijelovi hidroelektrane kao i njihova uloga. Opisan je rad u HEC-RAS programu u kojem je izrađena geometrija odvodnog kanala hidroelektrane Rijeka kao i analiza strujanja fluida kroz isti. Kreiranje geometrije kao i izrada simulacije prikazani su slikovno i grafički.

Ključne riječi: Hidroelektrana Rijeka, odvodni kanal, HEC-RAS

## **12. ABSTRACT**

This final paper describes the principle of operation of hydroelectric power plants, their division according to flow regulation, according to installed power, and their advantages and disadvantages. The main parts of the hydroelectric power plant are listed and described, as well as their role. The work is described in the HEC-RAS program, in which the geometry of the drainage channel of the Rijeka hydroelectric power plant was created, as well as the analysis of fluid flow through it. The creation of the geometry as well as the creation of the simulation are shown pictorially and graphically.

Keywords: Hydroelectric power plant Rijeka, drainage channel, HEC-RAS