

# Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec

---

Kutnjak, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:832111>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD BR. 103/GR/2024

**Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje**  
**na lokaciji Lovrentovec**

Anja Kutnjak, 0066309392

Varaždin, rujan 2024.



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstvo**



DIPLOMSKI RAD br.103/GR/2024

**Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje**  
**na lokaciji Lovrentovec**

Student:

Anja Kutnjak, 0066309392

Mentor:

izv.prof. dr. sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2024.



# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Anja Kutnjak

JMBAG 0066309392

DATUM 11.07.2024.

KOLEGIJ Vodni sustavi

NASLOV RADA Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The hydro energy potential of the river Bednja at the location Lovrentovec

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc.dr.sc. Željko Kos
- izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
- doc.dr.sc. Marko Šrajbek
- doc.dr.sc. Anđelko Crnoja-zamjenski član
- 

## Zadatak diplomskog rada

BRUI 103/GR/2024

OPIS

Rijeka Bednja ima potencijal za gradnju malih hidroelektrana. Na lokaciji Lovrentovec u blizini Varaždinskih Toplica u Varaždinskoj županiji, planira se procijeniti kolike su mogućnosti za proizvodnju električne energije korištenjem hidroelektrana koje koriste pregrade (potencijalnu energiju vode) i hidroelektrana koje koriste kinetičku energiju vode. Uz teoretsku podlogu, rad će sadržavati i praktični dio. Za određivanje ulaznih podataka kao i proračun snaga malih hidroelektrana koristiti će se raspoloživi podaci, kao i rezultati dobiveni terenskim radom. Okvirni sadržaj rada sastojati će se od uvodnih razmatranja, analize postojećeg stanja i raspoloživih podataka, prikaza rezultata dobivenih mjerenjem, analize i dobivenih zaključaka.

ZADATAK URUČEN 11.07.2024.



POTPIS MENTORA

Handwritten signature of the mentor.



**IZJAVA O AUTORSTVU**

**I**

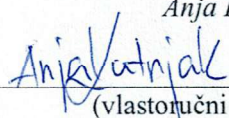
**SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Anja Kutnjak pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključiva autorica diplomskog rada pod naslovom Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:

Anja Kutnjak

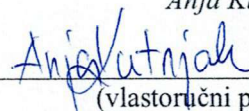
  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Anja Kutnjak neopozivo izjavljujem da sam suglasana s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom Hidroenergetski potencijal rijeke Bednje na lokaciji Lovrentovec čija sam autorica.

Studentica:

Anja Kutnjak

  
(vlastoručni potpis)

## ***Zahvala***

*Zahvaljujem ponajprije svojoj obitelji i dečku Danijelu na strpljenju i pomoći tijekom cijelog studiranja na Sveučilištu Sjever.*

*Zahvaljujem se također i mentoru izv.prof.dr.sc. Bojanu Đurinu na iskazanoj pomoći prilikom pisanja ovog diplomskog rada te na prenesenom znanju.*

*Hvala Vam!*

## Sažetak

Svrha ovog diplomskog rada je procijeniti hidroenergetski potencijal rijeke Bednje za izgradnju hidroelektrane koristeći turbine koje koriste potencijalnu energiju vode i one koje iskorištavaju kinetičku energiju vodotoka na lokaciji u blizini Lovrentovca, tj. konkretno kod mosta. Na temelju poznatih podataka na promatranoj lokaciji i terenskih mjerenja, moguće je izračunati izlaznu snagu ovisno o tome radi li se o potencijalnoj energiji ili kinetičkoj energiji vodotoka. Rijeka Bednja je jedna od rijeka na kojoj je moguće iskoristiti postrojenje koje bi moglo koristiti snagu vode za proizvodnju električne energije za obližnja naselja u Varaždinskoj županiji. Uz izmjerene podatke dobivene terenskim istraživanjem i korištenjem odgovarajućih mjernih uređaja, ovaj rad također sadrži podatke vezane uz susjedne hidrološke stanice Ključ i Tuhovec. Uz sve postojeće podatke moguće je procijeniti potencijal rijeke Bednje za izgradnju malih hidroelektrana za proizvodnju električne energije i van analizirane lokacije, odnosno poslužiti za kvalitetniju analizu. Sa svim dobivenim podacima i izračunatim izlaznim snagama može se usporediti rezultati i na taj način procijeniti stvarni potencijal rijeke Bednje. Hidroelektrane se svrstavaju u obnovljive izvore energije i stoga nemaju negativan utjecaj na okoliš u usporedbi s fosilnim gorivima. Male hidroelektrane mogu uvelike doprinijeti razvoju ruralnih područja i time poboljšati kvalitetu života u takvim regijama.

**Ključne riječi:** *potencijal rijeka, rijeka Bednja, turbine koje koriste potencijalnu energiju, turbine koje koriste kinetičku energiju, utjecaj na okoliš, male hidroelektrane*

## Summary

The purpose of this master thesis is to assess the hydropower potential of the Bednja River for the construction of a hydroelectric power plant using turbines that use the potential energy of water and those that use the kinetic energy of the water flow at a location near Lovrentovac, i.e., specifically near the bridge. Based on known data at the observed location and field measurements, it is possible to calculate the output power depending on whether it is potential energy or kinetic energy of the water flow. The Bednja River is one of the rivers on which it is possible to use a plant that could use the power of water to produce electricity for nearby settlements in Varaždin County. In addition to the measured data obtained through field research and the use of appropriate measuring devices, this paper will also contain data related to the neighboring hydrological stations Ključ and Tuhovec. It will be possible to assess the potential of the Bednja River for the construction of small hydroelectric power plants for electricity production outside the analyzed location, i.e., to serve for better analysis. With all the data obtained and the calculated output power, it is possible to compare the results and thus assess the real potential of the Bednja River. Hydropower plants are classified as renewable energy sources and do not harm the environment compared to fossil fuels. Small hydropower plants can significantly contribute to the development of rural areas and thereby improve the quality of life in such regions.

**Keywords:** *river potential, Bednja River, turbines utilizing potential energy of water, kinetic turbines, environmental impact, small hydroelectric plants*

## Popis korištenih kratica

OIE	obnovljivi izvori energije
$\rho$	gustoća medija
$A$	površina poprečnog presjeka
$v$	brzina
$\eta$	koeficijent učinkovitosti
$P$	snaga
$g$	ubrzanje sile teže
$Q$	protok
$H$	neto visina
MHE	mala hidroelektrana
RH	Republika Hrvatska
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Potencijalne i kinetičke hidroelektrane .....	4
3. Pripremne aktivnosti i postupak za proračun .....	19
3.1. Pripremne aktivnosti.....	19
3.2. Mjerni uređaj za mjerenje protoka .....	20
4. Analiza lokacije.....	24
4.1. Rijeka Bednja .....	24
4.2. Lokacija mjerenja Lovrentovec .....	28
5. Prikaz dobivenih rezultata i proračun .....	32
5.1. Rezultati dobiveni hidrometrijom.....	32
5.2. Proračun snage hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju vode.....	39
5.2.1. Profil 1 – 6.6.2024.....	39
5.2.2. Profil 2 – 6.6.2024.....	47
5.2.3. Profil 1 – 20.6.2024.....	53
5.2.4. Profil 2 – 20.6.2024.....	61
5.3. Proračun snage hidroelektrane koja koristi potencijalnu energiju vode.....	68
5.3.1. Izračun snage po profilima.....	68
5.3.2. Izračun snage na hidrološkim postajama Ključ i Tuhovec .....	71
6. Analiza dobivenih rezultata.....	74
7. Zaključak.....	76
8. Literatura .....	78
9. Popis slika .....	81
10. Popis tablica .....	83

## 1. Uvod

U današnje vrijeme kada se čovječanstvo bori protiv klimatskih promjena koje utječu na cjelokupni živi svijet nezaobilazno je koristiti obnovljive izvore energije (OIE) kao što su primjerice energija Sunca, energija vjetra, energija vodotoka, geotermalna energija, energija biomase, energija valova te energija plime i oseke. Sva energija potječe uglavnom od Sunca te je ono neiscrpni izvor energije. U ovom će se radu razmatrati energija vode, odnosno iskorištenje hidroenergije rijeka [1].

Dobrobiti hidroelektrane su brojne. Prednosti koje uključuje su čista energija bez nastajanja otpada, voda koja se koristi je besplatna i nema troškova goriva. Ipak, hidroelektrane imaju neke nedostatke koji uključuju ovisnost o oborinama te ozbiljnu prijetnju ekosustavima na mjestu elektrane i duž toka rijeke [2].

Hidroenergija je jedan od najvažnijih i najrasprostranjenijih izvora električne energije uopće. Mnoge razvijenije države svijeta uvelike koriste energiju vodotoka za dobivanje električne struje, dok s druge strane nerazvijene države su ipak u zaostatku pri iskorištavanju takvog tipa energije. Ponajprije, ruralna te raštrkana područja suočavaju se s velikim problemima što se tiče samog razvoja zbog manjka električne struje i time je upravo to danas jedan od najvažnijih problema koji je potrebno riješiti. Izgradnja hidroelektrana se danas bazira na lokacijama van velikih gradova i uglavnom prihvatljiva su područja u manjim naseljima gdje je krajnji cilj unaprijediti život stanovnika. Svakako, proces izgradnje bilo kakve vrste hidroelektrane je mukotrpan i vremenski dug period koji podrazumijeva izdašne financijske potrebe.

Kao jedan skup segment hidroelektrana, turbine su nezaobilazni dio. Vodne turbine su tzv. rotacijski hidraulički strojevi koji direktno energiju vode pretvaraju u mehaničku energiju putem generatora. Nazivaju se još i hidraulički motori [3].

Vodne turbine se dijele prema stalnosti tlaka na reakcijske turbine i na impulsne (akcijske) turbine. Kod reakcijskih turbina snaga proizlazi iz pada tlaka na turbini, dok kod akcijskih turbina dolazi do pretvorbe kinetičke energije tako da mlaznice direktno pogađaju



lopaticice. Nadalje, turbine se još dijele i prema pravcu strujanja vode (aksijalne, radijalno-aksijalne, tangencijalne) [2].

Rijeka Bednja je jedna od onih rijeka na kojima potencijal vodotoka nije dovoljno iskorišten. Iako rijeka Bednja protječe kroz više naselja, postoje pogodne lokacije za gradnju manjih hidroelektrana. Velike hidroelektrane se na ovoj rijeci neće graditi, ali gradnja male hidroelektrane je očekivana stvar. Male hidroelektrane su idealno rješenje jer drastično ne uzurpiraju vodotoke i time im je utjecaj na okoliš zanemariv. Na rijeci Bednji je u planu više takvih malih hidroelektrana, no poznato je da uz sve zakonske regulative taj postupak je postao zamoran za svakog investitora i danas je cilj olakšati taj postupak. Postojanje takvog tipa izvora energije omogućilo bi nastanku brojnih mogućnosti na širem području, od sportskih aktivnosti pa nadalje, naravno uz odgovarajuću zaštitu okoliša. Zaštita od poplava i regulacija samog toka bile bi nezaobilazni segment u takvome projektu.

Prije svega na svakoj lokaciji se moraju izvršiti sva potrebna mjerenja i analize. Rijeka Bednja još nije u potpunosti hidrološki istražena tako da je i cilj ovog rada pridonijeti u istraživanju rijeke. Mjerenja su provedena za lokaciju kod Lovrentovca (slika 1), te su u daljnjem tekstu prikazana i analizirana.

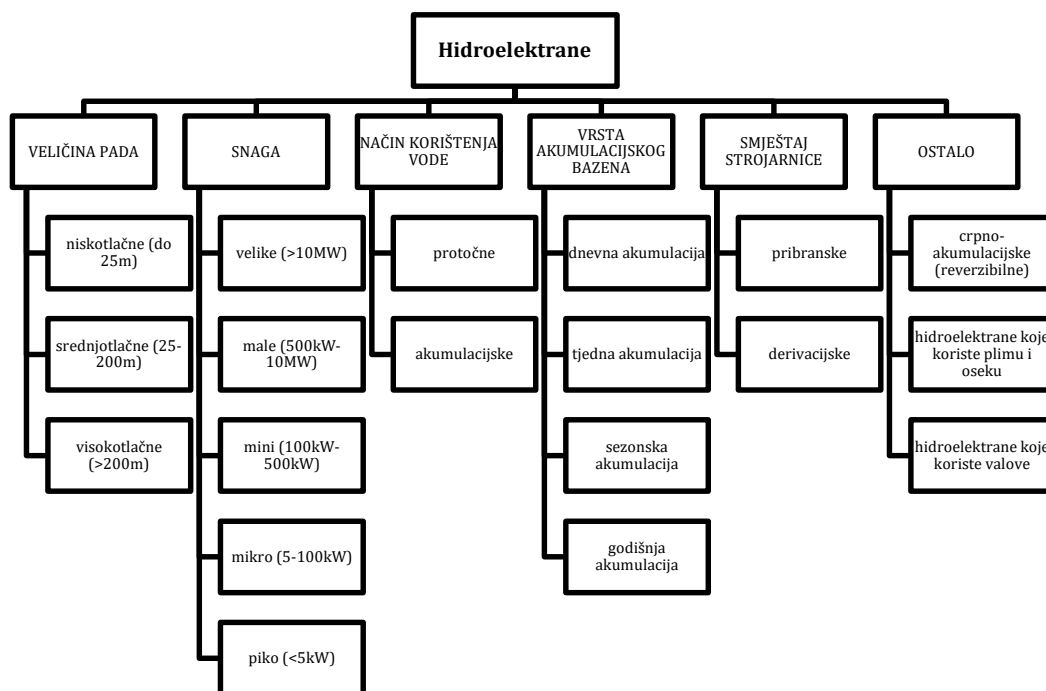


Slika 1. Most u Lovrentovcu [4]

Svrha ovog diplomskog rada je proračunati snagu turbina. Izračun snaga provodi se prema određenim izrazima (1) i (3) koji su navedeni u radu u nastavku. Proračunom snaga, odnosno dobivenim vrijednostima snage može se odrediti potencijal rijeke za gradnju turbina i odabrati adekvatnu opciju. Na mjestu u vodotoku, gdje je izračunati najveći iznos snage, postoji opcija gradnje turbina.

## 2. Potencijalne i kinetičke hidroelektrane

Općenita podjela hidroelektrana prikazana je na slici 2.

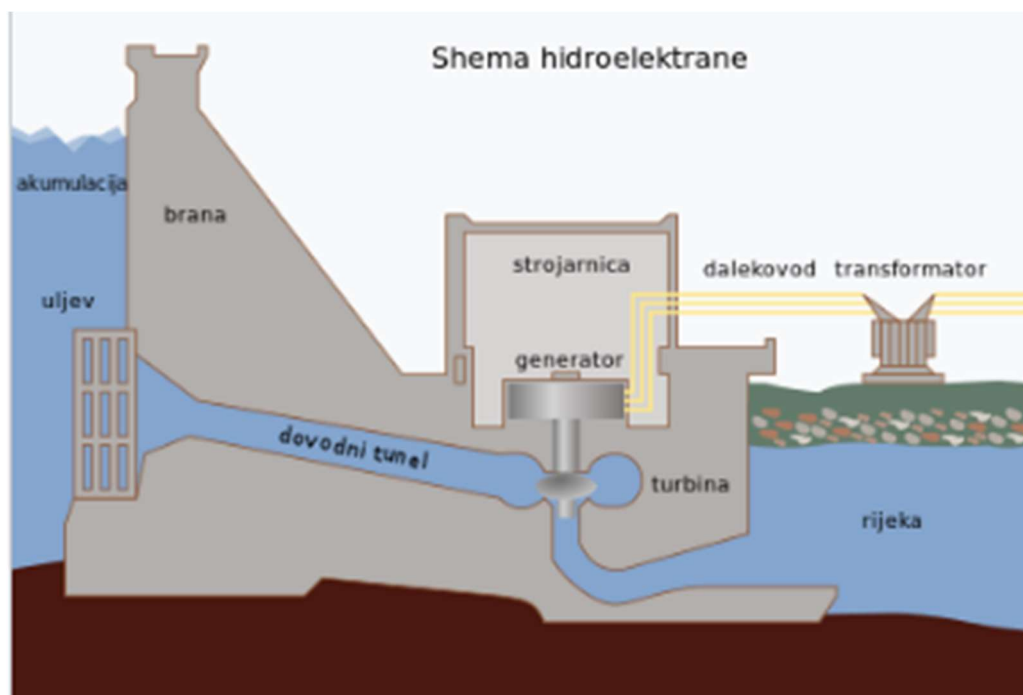


Slika 2. Podjela hidroelektrana [2]

Turbine koje koriste potencijalnu energiju vode jedna su od mogućnosti koje se koriste kod gradnje hidroelektrana. Potencijalna energija povezana je s položajem u prostoru, odnosno ovisi o padu i o protoku. S druge pak strane, kinetičke hidroelektrane koriste kinetičku energiju vode, energiju kretanja vode. Kretanje vode obuhvaća brzinu te površinu kroz koju se voda kreće.

Princip proizvodnje energije ponajprije uključuje preusmjeravanje vode usred vodotoka da bi se potom ta voda u branom ograničenom prostoru sakupila. Voda pada niz branu u postrojenje hidroelektrane gdje se nalaze turbine. Zadaća svake turbine je pretvorba energije pada vode u mehaničku energiju kojom se pokreće generator. Mehaničkom energijom pokreću se poluge koje okreću magnet u generatoru. Kretanjem magnetu uz

bakreni kolot time se direktno stvara magnetno polje koje zatim stvara električnu energiju [5]. Shema hidroelektrane nalazi se na slici 3.



Slika 3. Shema hidroelektrane [6]

Na kraju postrojenja bitan čimbenik su transformatori. Transformatori služe kako bi se jačina struje postepeno povećala dok ne bi dosegla potrebnu razinu s kojom bi se omogućila opskrba u električnoj mreži koja potom struju dovodi do kućanstva [5].

Kod korištenja potencijalne energije izlazna (efektivna) snaga na izlazu iz hidroelektrane prema izrazu glasi: [2]

$$P_{izl} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{tot} \quad (1)$$

gdje je:

$P_{izl}$  – izlazna snaga iz hidroelektrane [W]

$\rho$  – gustoća vode [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$  – ubrzanje sile teže [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$Q$  – protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$H$  – ostvareni pad (neto visina) [m]

$\eta_{tot}$  – ukupna učinkovitost

Ukupna učinkovitost  $\eta_{tot}$  je jednaka umnošku učinkovitosti prema izrazu: [2]

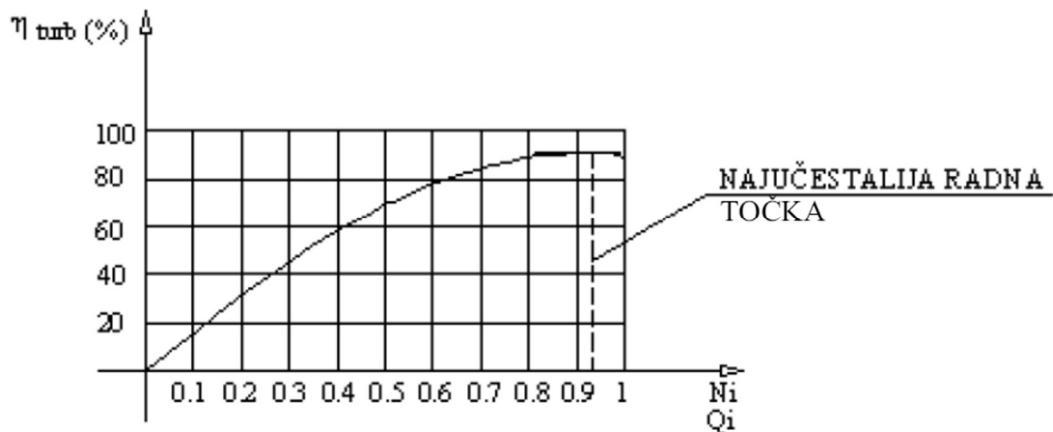
$$\eta_{tot} = \eta_{turb} \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{tr} \quad (2)$$

$\eta_{turb}$  - učinkovitost turbine

$\eta_{gen}$  – učinkovitost generatora

$\eta_{tr}$  – učinkovitost trafostanice (transformatora)

Prikaz na slici 4 predstavlja pregled raspona vrijednosti učinkovitosti turbine koji je promjenjiva veličina, odnosno ovisi o protoku turbine te je promjenjiv s promjenom snage i kreće se oko vrijednosti od 0.9 (najučestalija radna točka) [2].



Slika 4. Učinkovitost turbine [2]

Za izlaznu (efektivnu) snagu iz hidroelektrane ako se koristi kinetička energija izraz je sljedeći: [2]

$$P_{izl} = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_{tot} \quad (3)$$

gdje je:

$P_{izl}$  – izlazna snaga iz hidroelektrane [W]

$\rho$  – gustoća vode [ $\text{kg/m}^3$ ]

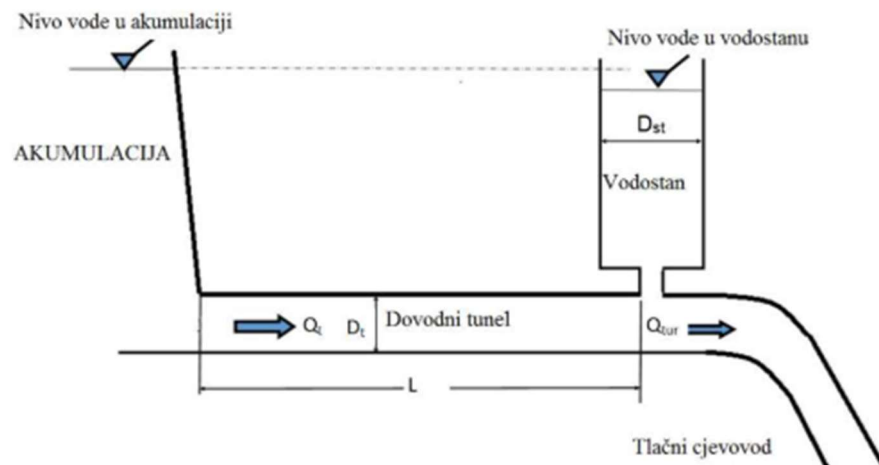
$A$  – ulazna površina [ $\text{m}^2$ ]

$v^3$  - brzina [m/s]

$\eta_{tot}$  – ukupna učinkovitost

Osnovni dijelovi svake hidroelektrane uključuju branu ili pregradu, zahvat, dovod vode, vodostan ili vodnu komoru, tlačni cjevovod, strojarnicu koju čine turbina i generator, rasklopno postrojenje te odvod vode [7]. Brana ili pregrada postoji sa svrhom da skreće vodu s njezinog prirodnog toka prema zahvatu hidroelektrane [2].

Onaj dio hidroelektrane koji služi da se dalje voda usmjerava ka dovodu, u konačnici strojarnici, naziva se zahvatom vode. Potom, dovod vode spaja zahvat s vodostanom odnosno tzv. vodnom komorom i može biti otvoren ili zatvoren, ovisno o topografiji područja na kojem se planira izgraditi hidroelektrana. Ovisnost postoji i o pogonskim zahtjevima hidroelektrane. Vodostan se nalazi na kraju dovoda, a svrha mu je smanjiti nagle promjene u tlaku [7]. Shematski prikaz dovodnog sistema vode hidroelektrane nalazi se na slici 5.



Slika 5. Shema dovodnog sistema uz prikaz vodostana [8]

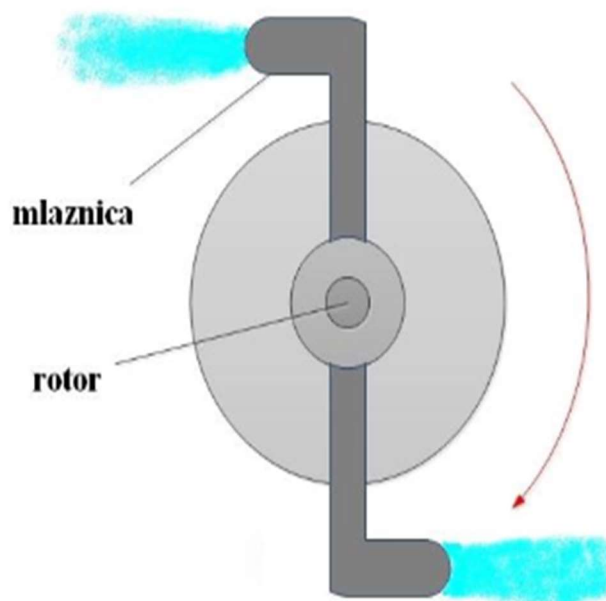
Tlačni cjevovod je sljedeća bitna stavka. Cjevovod koji služi da bi odvodio vodu iz vodostana (vodne komore) do turbina. U pravilu je izgrađen od čelika dok se za male padove može izgraditi i od betona. Nadalje, rasklopno postrojenje čini vezu između hidroelektrane i elektroenergetskog sustava neposredno u blizini strojarnice sa svrhom

transformacije energije. Na kraju se nalazi odvod vode sa svrhom vraćanja vode u vodotok rijeke [7].

Neizostavan dio svake hidroelektrane je strojarnica. Strojarnica je objekt u kojem su smještene turbine, generatori i ostala odgovarajuća oprema. Osnovna podjela turbina s obzirom na način djelovanja je na reakcijske i akcijske (impulsne) [2].

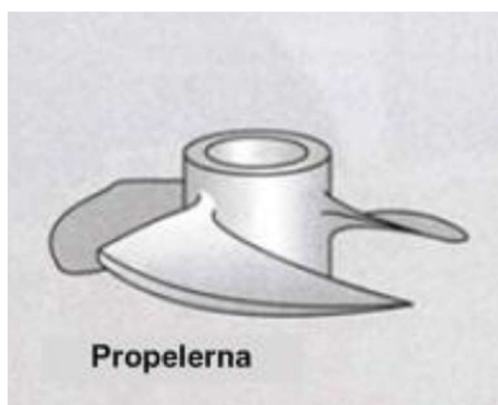
Kod reakcijskih turbina, turbina je u cijelosti potopljena pod vodom. Energija koja se koristi kod ovakvih vrsta turbina je ponajprije kinetička pa potencijalna i naposljetku tlačna energija. U reakcijske turbine ubrajaju se Propelerna, Francis i Kaplan turbina [2]. Osnovni prikaz reakcijskih turbina nalazi se na slici 6.

### Reakcijska turbina



Slika 6. Reakcijske turbine [7]

Tip turbine kao što je Propelerna je ujedno turbina s aksijalnim protokom i koristi se za male padove, slična Kaplanovoj turbini, osim što ima nepomične rotorske lopatice. Radno kolo ove turbine podsjeća na propeler ili tzv. brodski vijak pa prema tome je i dobila ime. U samom radnom kolu nalaze se od 3 do 5 lopatica. Da bi se održala stalna brzina vrtnje turbine potrebno je da iz radnog kola ne izlazi voda okomito i da je u difuzoru i izlaznom kanalu vrtložno strujanje [9]. Na slici 7 je prikazana propelerna turbina.



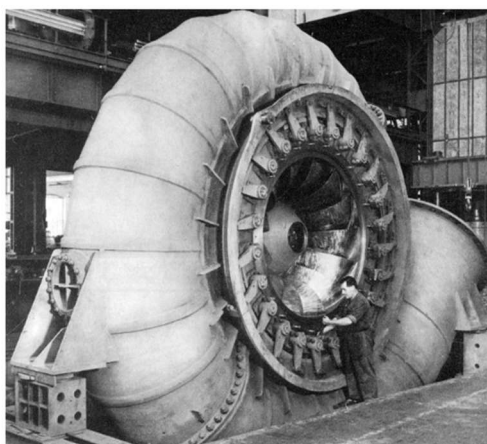
Slika 7. Propelerna turbina [2]

Francisovu turbinu (slika 8) izumio je američki inženjer James Bicheno Francis. Ova turbina je radijalnog protoka i namijenjena je za srednje padove. Francisovu turbinu obično se prepoznaje po okomitom vratilu. Turbina s vodoravnim vratilom prikladna je kad nema potrebe za velikom snagom i nalazi se visoko iznad donje razine vode i time je manje prikladna. Primjer jedne od najvećih Francisovih turbina nalazi se u Sjedinjenim Američkim Državama, ugrađena 1942.godine, te ima masu od 500 tona, promjer kola 9,5 metara [10].

Najvažniji dio ove turbine je spirala sa lopaticama. Lopatice su oblikovane na način da se s jedne strane lopatice stvara niski tlak, a s druge strane visoki tlak. Rotor turbine sadrži do sedamnaest lopatica. Ulaz vode je radijalan, a izlaz vode aksijalan [11].

Uporabom difuzora, s kojim se voda odvodi u odvodni kanal turbine, smanjuju se izlazni gubici turbine povezani kinetičkom energijom vode. Naposljetku, zakretanjem statorskih lopatica mijenja se protok kroz turbinu što za posljedicu ima promjenu kuta kod strujanja lopatica radnog kola [12].





Slika 8. Francis turbina [10]

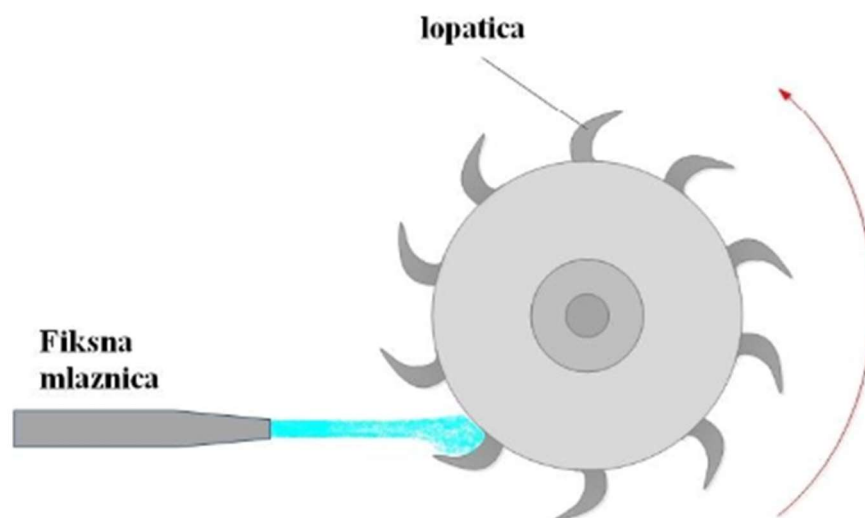
Kaplanovu turbinu izumio je češki inženjer Viktor Kaplan 1913.godine. Takav tip turbina primjenjuje se kod hidroelektrana s malim padom, ali velikim protokom vode. Kao što je i Propelerna, Kaplan turbina je reakcijska turbina s aksijalnim protokom, a slika 9 u nastavku prikazuje Kaplanovu turbinu. Jedna od najvećih Kaplanovih turbina ugrađenih je ona u ruskom Saratovu, gdje je geodetski pad od 9,7 metara, a snaga od 59,3 MW. U Hrvatskoj je najveća Kaplanova turbina ugrađena u hidroelektrani Varaždin, a snaga turbine iznosi 45 MW [13].



Slika 9. Kaplan turbina [13]

Akcijske turbine pretvaraju kinetičku energiju vode na način da mlaznice pogađaju lopatice (slika 10). U slučaju ovog tipa turbina nema pada tlaka na turbini. U akcijske (impulsne) turbine ubrajaju se Pelton, Turgo i Crossflow turbina [2].

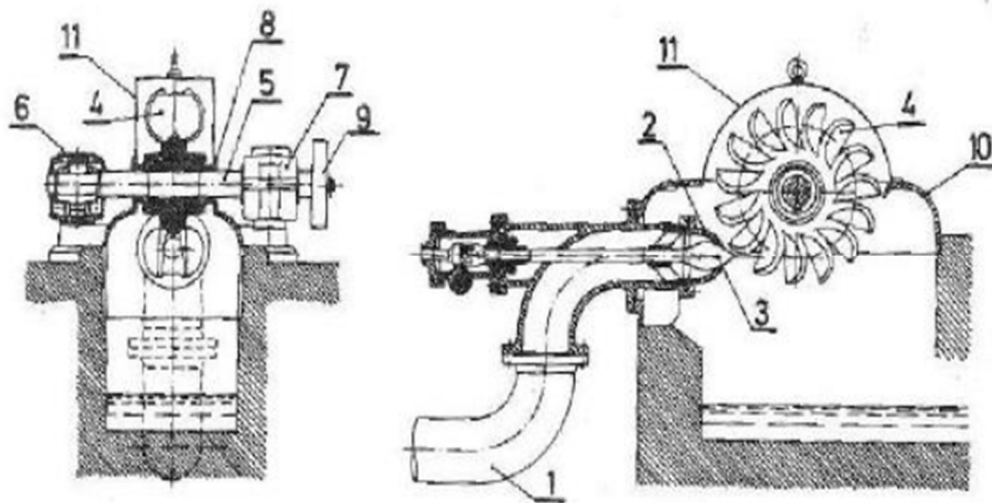
### Akcijaska turbina



Slika 10. Akcijaska turbine [7]

Peltonova turbina je akcijska turbina s jednom ili više mlaznica pri čemu svaka mlaznica osigurava kontrolu protoka kroz prskalicu s iglom. Koristi se za srednje i velike padove. Patentirana je od strane američkog inženjera Lester Allan Peltona 1880. godine. Voda se dovodi tlačnim cjevovodom tangencijalno na rotor, a pri kraju se nalaze mlaznice smještene u kućištu turbine. Ova vrsta turbine ima specifičnu malu brzinu vrtnje. Jedna od najvećih Peltonovih turbina nalazi se u hidroelektrani San Carlos u Kolumbiji, a masa rotora iznosi 23.5 tone, promjera 4.1 metar [14].

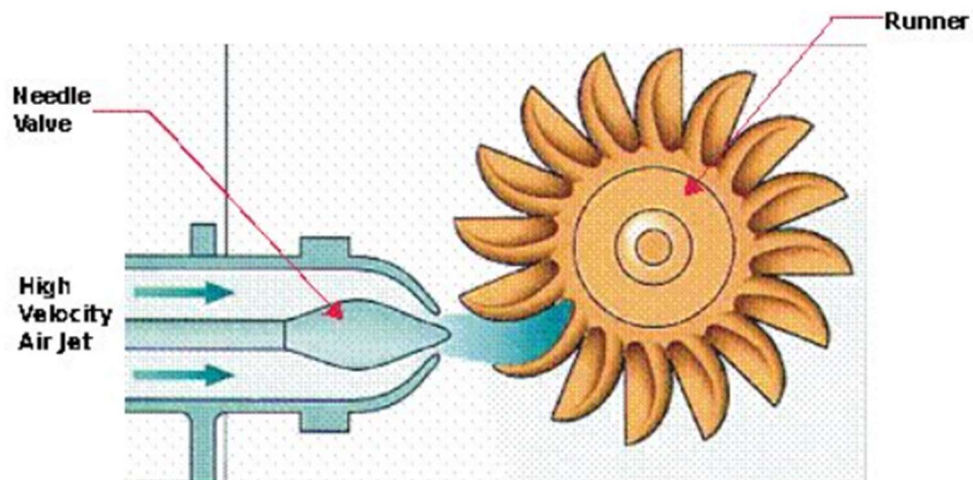
U Hrvatskoj Peltonova turbina nalazi se u hidroelektrani Vinodol [14]. Na slici 11 nalazi se shematski prikaz Peltonove turbine [15].



Slika 11. Shematski prikaz Peltonove turbine [15]

- |                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 1 – dovodni cjevovod  | 7 - ležaj     |
| 2 – mlaznica          | 8 - brtvila   |
| 3 – igla              | 9 - remen     |
| 4 – upravljački pogon | 10 – kućište  |
| 5 – držak             | 11 - poklopac |
| 6 – ležaj             |               |

Turgo turbina ima sličnosti sa Peltonovoj turbini. Ovaj tip turbine se koristi za srednje padove vode, jeftinija je od Peltonove i često se koristi kod malih hidroelektrana [16]. Shematski prikaz rada Turgo turbine nalazi se na slici 12.



Slika 12. Shematski prikaz Turgo turbine [17]

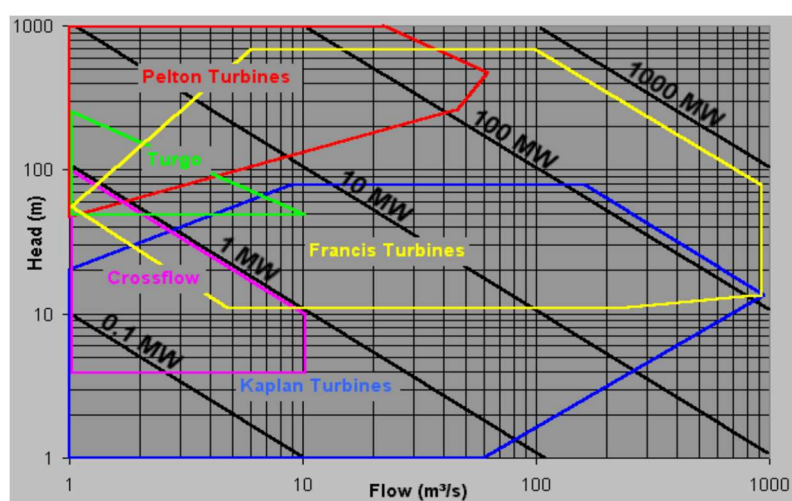
Crossflow ili Banki-Michelova turbina (još i Ossbergova) je turbina koja može biti zavidno bolja zamjena za Peltonovu i Francisovu turbinu. U pravilu, grade se na padu od 2 - 150 metara, te malim protocima. Neke od prednosti su iskorištavanje vode pri malim opterećenjima, vijek turbine je dugačak, jednostavno održavanje i nema potrebe za gradnjom brane [9].

Danas najviše korištena varijanta ove vrste turbine je Ossbergova (slika 13) i upotrebljava se kod padova od 3 do 200 metara, a snaga turbine može biti u rasponu od 5 do 30 000 kW [18].



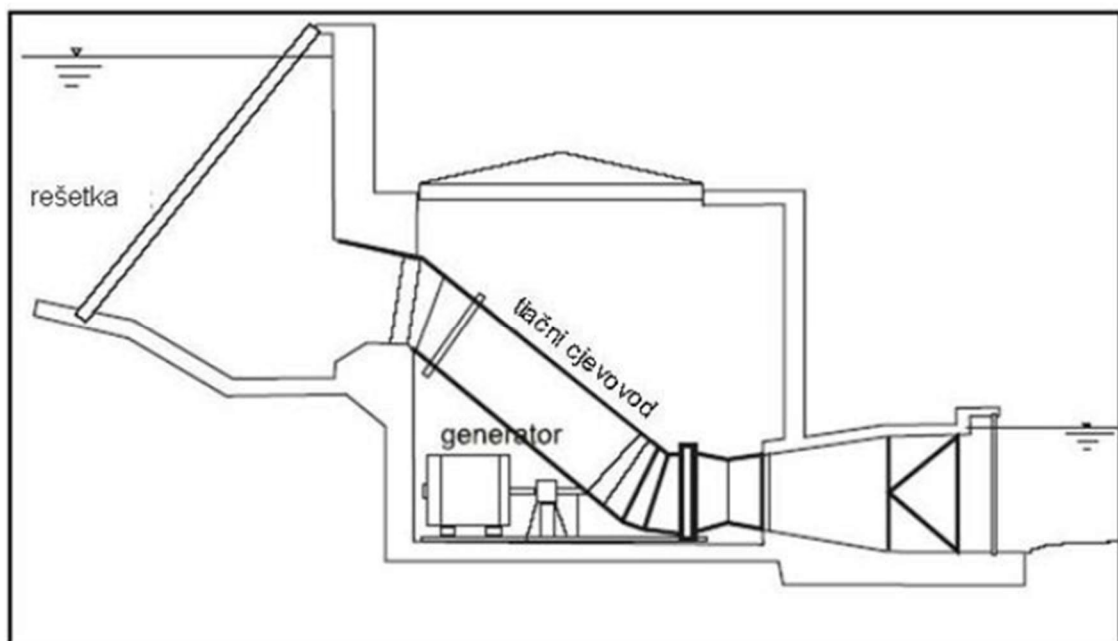
Slika 13. Ossbergova turbina [18]

Radna područja za svaku od turbina koje su predstavljane u ovom radu prikazana su na slici 14. Na apscisi je označen neto pad u metrima, a na ordinati protok u  $\text{m}^3/\text{s}$ . Područje rada za svaku od turbina ovisi o neto padu i protoku i na taj način se odabire najprikladnija turbina ovisno o potrebama. Također, prema slici 14 se može lako zaključiti da se kod manjih padova koriste uglavnom Kaplan (plavo naznačeno) i Propelerna, dok za srednje padove se koristi reakcijska turbina Francis (žuto naznačeno). Za velike padove koristi se Pelton (crveno naznačeno) turbina.



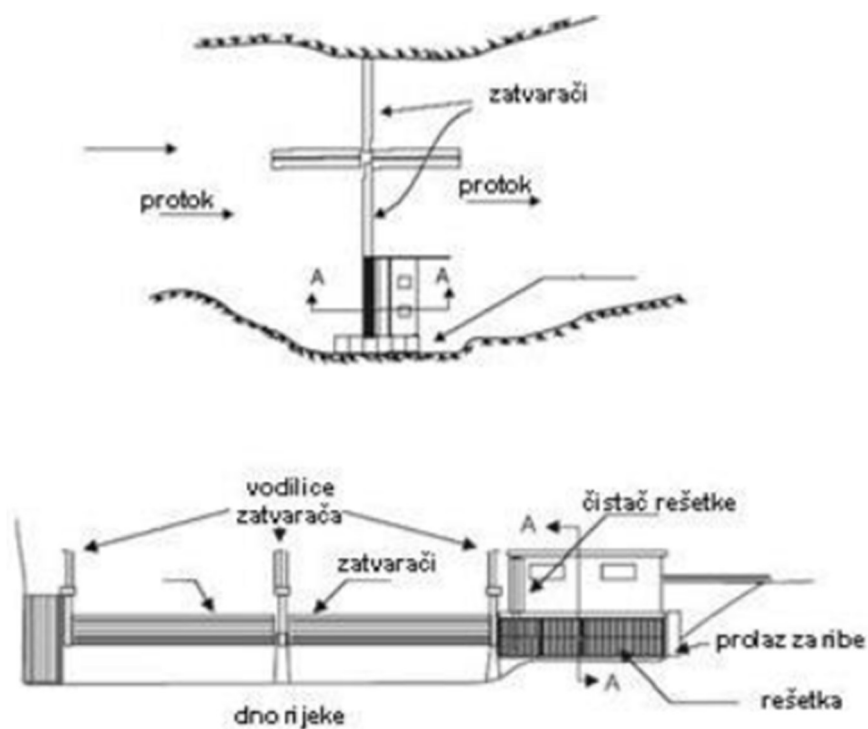
Slika 14. Radno područje turbina [2]

Male hidroelektrane (MHE) mogu se projektirati na mali pad s malim gradijentom ili na veliki pad s velikim gradijentom. Svaka MHE iskorištava snagu riječnog toka uz mogućnost postojanja manje akumulacije, a može i bez akumulacije vode. Rad MHE je mogući samo kod prisustva dovoljne količine vode, odnosno određenog protoka u koritu, a u suprotnome rad prestaje. Kod MHE s malim padom moguće je izvesti dvije tehnološke varijante od kojih prva koristi kratki tlačni cjevovod i prirodni pad do ulaza na turbinu [2] (slika 15).



Slika 15. MHE s tlačnim cjevovodom [2]

Kod druge varijante (slika 16), pad se može ostvariti izgradnjom manje pregrade sa sektorskim zatvaračima, ugrađenom ulaznom građevinom, strojarnicom i stepenastom prevodnicom za ribe [2].



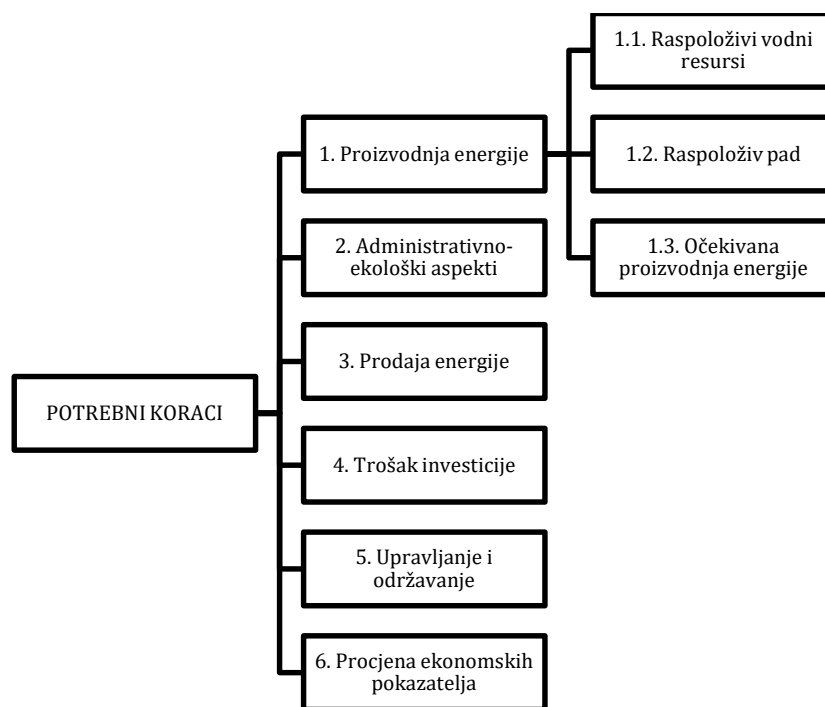
Slika 16. MHE sa sektorskim zatvaračima [2]

U Republici Hrvatskoj postoji manjak obnovljivih (fosilnih) izvora energije te taj podatak direktno upućuje na važnost zahtijevanja iskorištavanja prirodnih izvora energije, odnosno nužno ulaganje u razvoj i gradnju hidroelektrana. Svaki investitor kod takvog tipa ulaganja mora sagledati sve aspekte, ponajprije tehničko-ekonomsku analizu isplativosti projekta. Potrebno je uočiti sve posebnosti malih hidroelektrana u smjeru što većeg saznanja o samim prednostima i manama gradnje takvih objekata. Temeljne analize koje su potrebne da bi se moglo pristupiti vrednovanju i odabiru tipa MHE su [2]:

1. Topografska i geomorfološka analiza šire lokacije,
2. Analiza vodnih resursa i energetskeg potencijala,
3. Analiza lokacije i moguća rješenja,
4. Mogući odabir tipa turbine i generatora,
5. Uvjeti studije utjecaja na okoliš i mjere zaštite,
6. Ekonomska analiza i mogućí uvjeti financiranja,
7. Institucionalno jačanje i administrativna procedura za dobivanje lokalnog prihvaćanja lokacije [2].



Prikaz svih potrebnih koraka za projekt male hidroelektrane nalazi se u nastavku (slika 17).



Slika 17. Koraci za projekt MHE [2]

### **3. Pripremne aktivnosti i postupak za proračun**

#### **3.1. Pripremne aktivnosti**

Terensko istraživanje za potrebe ovog diplomskog rada provedeno je na rijeci Bednji, kod mosta u Lovrentovcu, dana 6.6. te 20.6.2024.godine.

Dolaskom na određenu lokaciju, potrebno je najprije pregledom dostupnog terena utvrditi sigurnost i mogućnost samog mjerenja. Nakon čišćenja terena kroz koji će se ući u rijeku, ponajprije je važno prema toku rijeke odrediti lijevu i desnu obalu zbog definiranja postavki kod korištenja mjernog uređaja. Na obalama postavljaju se štapovi koji služe kao učvršćenje za mjernu traku koja se razvlači okomito na kretanje vode, odnosno okomito na korito. Mjerenja na rijeci provede se u pravilnom rasteru, u ovom slučaju uzeti je raster od pola metra, budući da je preporuka struke 1/20 ukupne širine korita s obzirom na vodno lice. Širina rijeke tijekom mjerenja nije prolazila 15 metara.

Neki od parametara koji mogu utjecati na kvalitetu mjerenja su primjerice vegetacija i kamenje na dnu rijeke, razni plutajući objekti po vodi (uglavnom granje), kretanje riba i vodenih životinja i bilo kakve druge smetnje koje mogu utjecati na rezultate mjerenja.

Iz mjernog uređaja postoji mogućnost prebacivanja svih prikupljenih podataka na računalo. Na taj način dobiveni podaci sadrže točne informacije o lokaciji mjerenja, vremenskom razdoblju, metodi mjerenja, geometriji vodotoka (odnosno širina, dubina vodotoka). Osim toga, dobiju se podaci o protoku, brzini te temperaturi vode, kao i ostali podaci.

### 3.2. Mjerni uređaj za mjerenje protoka

Kod opisanog mjerenja na rijeci Bednji korišten je 2D ultrazvučni mjerni uređaj pod komerijalnim nazivom SonTek Flow Tracker 2. Prikaz mjernog uređaja nalazi se na slici 18.



Slika 18. SonTek Flow Tracker 2 [19]



Ovaj mjerni uređaj koristi ultrazvučnu (ADV) tehnologiju, te služi za precizna mjerenja brzine vode u vodotocima [20]. Uređaj se sastoji od dijelova koji zajedno čine cjelinu, a dijelovi uređaja prije sklapanja u cjelinu nalaze se na slici 19. Uređaj se sastoji od sonde FlowTracker2-a, tipkovnice, ručnog uređaja, odjeljka za baterije, LCD zaslona, kabela sonde te komunikacijskog priključka [20].



Slika 19. Dijelovi mjernog uređaja [19]

Kod svakog mjerenja važno je sondu postaviti u vodu, na područje gdje nema nikakvih smetnji za mjerenje kao što je podvodna vegetacija i slično. Dubina vode se mjeri na svakoj od mjernih vertikala. Vremenski interval mjerenja na svakoj mjernoj točki je 40 sekundi.

Mjernu traku je potrebno što preciznije postaviti okomito na kretanje rijeke (slika 20). Mjerenja se striktno provode u pravilnom rasteru koji ovisi o širini rijeke. U svakom slučaju, što je razmak između točaka manji to će rezultati biti precizniji. Mjerenjem se kreće ulaskom s uređajem u vodu. Za početak se odabire nulta točka s koje se kreće s mjerenjem. Potrebno je i unijeti informacije o određenoj točki na kojoj se mjeri (svaka mjerna točka je uglavnom na različitoj dubini). Jedna od bitnih informacija je upis obale u uređaj, radi li se o desnoj ili lijevoj obali, odnosno o otvorenom toku [20].



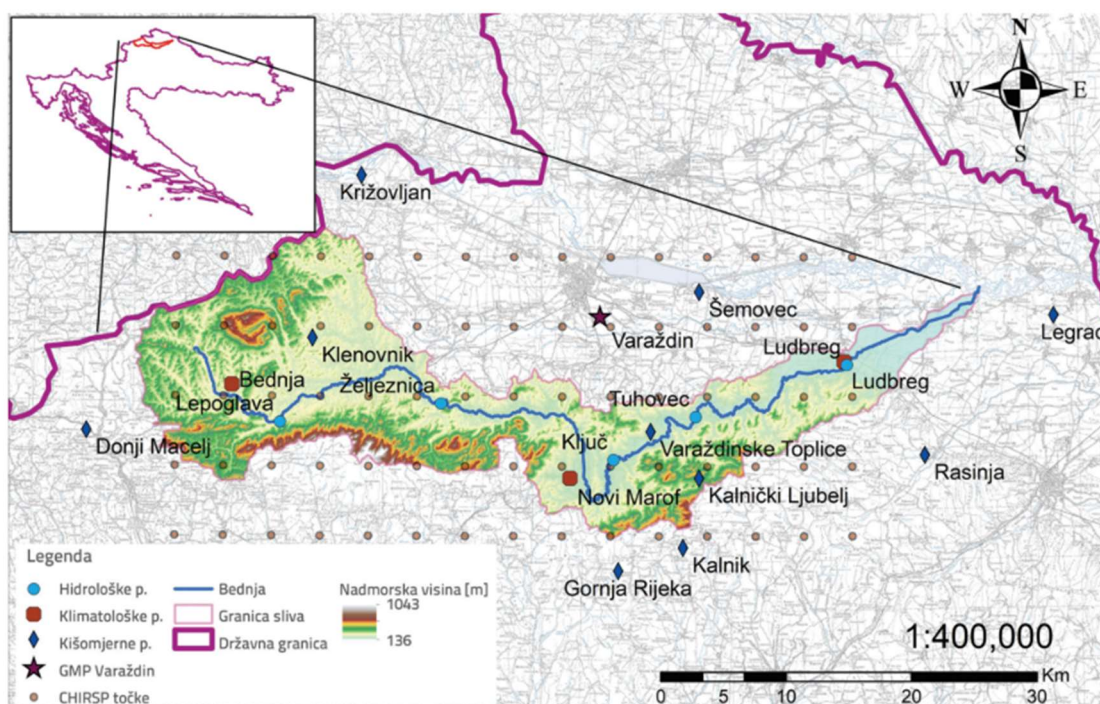


Slika 20. Prikaz mjerenja u vodotoku [19]

## 4. Analiza lokacije

### 4.1. Rijeka Bednja

Mjerenja za potrebe izrade ovog rada provedena su u naselju Lovrentovec u blizini grada Varaždinske Toplice u Varaždinskoj županiji, na rijeci Bednji. Rijeka Bednja izvire u mjestu Bednjica, kod Trakošćana u Maceljskom gorju kao dio Hrvatskog zagorja. Ova rijeka se podrazumijeva najduljom rijekom koja ima i izvor i svoje ušće u Republici Hrvatskoj (slika 21). Vodotok rijeke proteže se 133 km te spada u desni pritok rijeke Drave. Od ukupno četiri rijeke Hrvatskog zagorja jedino se rijeka Bednja ulijeva u Dravu. Rijeka Bednja teče kroz naselja; Bednja, Lepoglava, Ivanec, Beletinec, Novi Marof, Varaždinske Toplice, Ludbreg i ulijeva se kod Malog Bukovca u Dravu [21].



Slika 21. Sliv rijeke Bednje [22]

Površina porječja rijeke Bednje iznosi 596 km<sup>2</sup>, a smjer rijeke je od zapada prema istoku te joj je i porječje izduženo u tom istom smjeru. U porječju Bednje ističu se tri reljefne cjeline: aluvijalna ravan, tercijarno gorje i paleozojske gore [21].

Aluvijalna ravan je dio kompozitne doline Bednje, koju karakterizira više suženja s većim ili manjim proširenjima. Takva su proširenja Bednjansko polje, Lepoglavsko-ivanečko polje, Margečansko-završko-podevčevsko polje, Novomarofsko-ključko polje, Topličko-tuheljsko polje i Ludbreško-kapelsko-bukovačko polje, zapravo to je već dio Podravske nizine. Suženja su između Bednjansko-lepoglavskog polja; između Ivanečko-margečanskog polja gdje Bednja tvori epigeniju, te između Podevčevsko-novomarofskog polja. Bednja teče sporo zbog malog pada i male brzine gibanja vode, jako meandrira, a za vrijeme jačih padalina plavi okolna polja. Rezultat toga su zamočvarena tla. U prostoru Lepoglavskog i Podevčevskog polja prevladavaju diluvijalno-karbonatna tla, u Novomarofsko-ključkom polju raširena su diluvijalno-aluvijalna, a dalje nizvodno prema ušću rasprostranjena su uglavnom mineralno-močvarna i mineralno-organogena tla. Tercijarna prigorja blagih i zaobljenih strana, disecirana mnogobrojnim pritocima, zapremaju najveću površinu porječja. Kontakti doline i prigorja su glinasto-ilovastim nanosima nastalih spiranjem strana. Palezojske gore čine najviše dijelove porječja. Zanimljivo je da ti krajevi imaju mali broj tokova [23].

Početni tok rijeke Bednje obuhvaća brežuljkasti dio uz Ivanščicu i Kalnik, a u naselju Slanje ulazi u podravsku nizinu [24]. Podrazumijeva se da je rijeka Bednja prije regulacija bila šira nego što je to danas, te puno dublja na određenim lokacijama gdje više to nije slučaj. U prošlosti je bilo poznato da su se često događale poplave upravo zbog ove rijeke na tom području [21].

Danas se na slivu Bednje nalazi ukupno pet mjernih hidroloških postaja, a to su Lepoglava, Ključ, Željeznica, Ludbreg i Tuhovec [22]. Osnovni statistički pokazatelji dnevnih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji u razdoblju od 2000. pa do 2018. godine prikazani su u Tablici 1 [22].

Vodomjerna postaja Lepoglava započinje s radom 1986. godine, a 2005. postavljen je limnigraf. Vodomjerna postaja Željeznica počela je s radom 1958. godine, 1960. je postavljen limnigraf, a od 2006. uspostavljena je daljinska dojava vodostaja. Vodomjerna postaja Ključ počela je s radom 1986. godine, a od 2002. u funkciji je elektronički limnograf. Vodomjerna postaja Tuhovec počela je s radom 1957. godine, ukinuta je 1975.



te ponovno uspostavljena 1979., a 2003. je s radom počeo elektronički limnigraf. Vodomjerna postaja Ludbreg počela je s radom 1938. godine, a 2006. je uspostavljena daljinska dojava vodostaja [22].

Tablica 1. Prikaz statističkih pokazatelja srednjih protoka na vodomjernim postajama na rijeci Bednji [22]

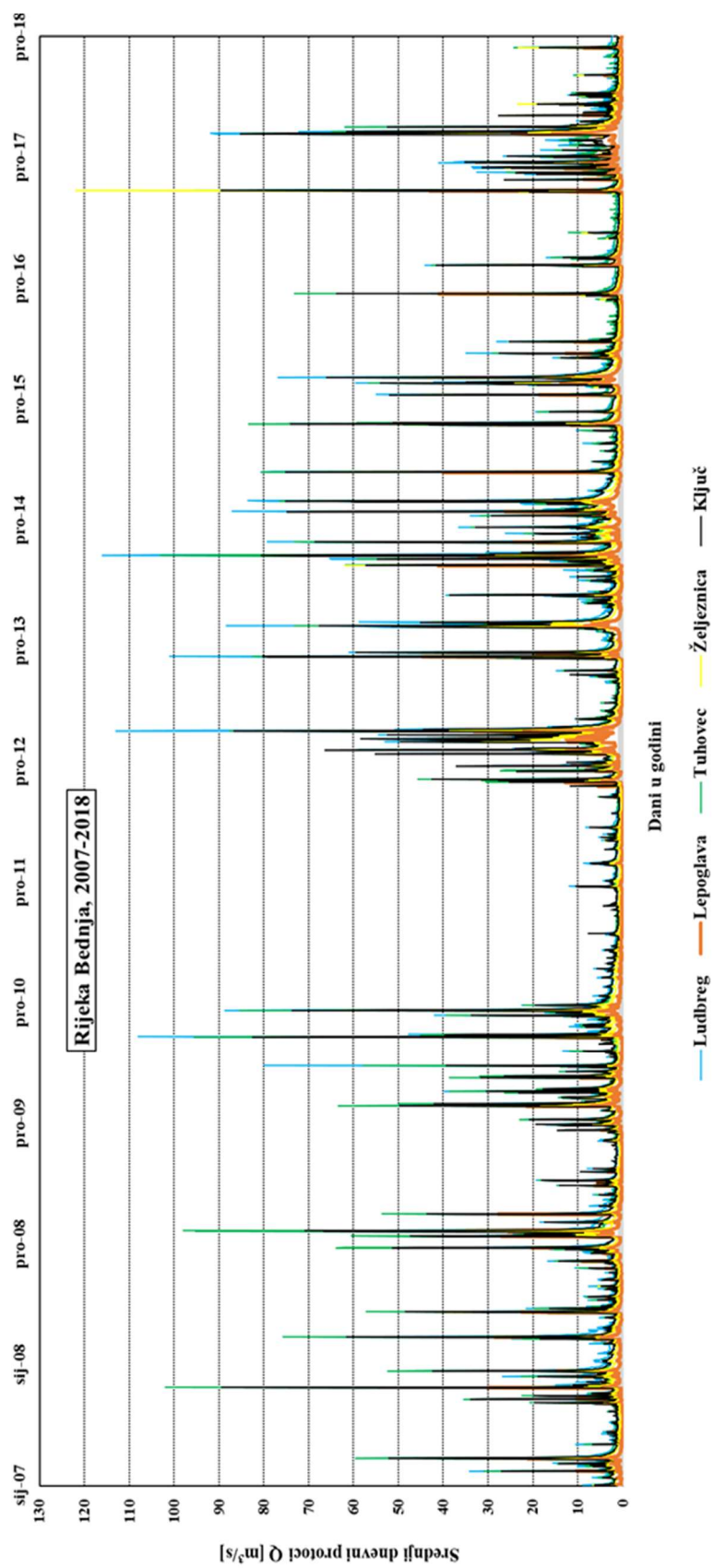
Pokazatelji Vod. postaje	Broj podataka	Ar. sred.	St. devijacija	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Lepoglava	6940	1,21	2,70	0,03	0,24	0,50	1,07	44,7
Željeznica	6940	3,30	6,38	0,21	0,80	1,44	2,91	123,0
Ključ	6435	4,91	8,86	0,33	1,33	2,21	4,20	90,2
Tuhovec	6549	5,08	9,19	0,55	1,51	2,31	4,35	103,0
Ludbreg	6940	6,10	10,09	0,43	1,90	2,95	5,68	116,0

Prema hidrološkim istraživanjima koja su izvršena, rijeka Bednja je izrazito bujični vodotok, a protok time direktno ovisi o količini padalina, ali i o otapanju snijega na izvorišnom dijelu u zimskim razdobljima [25]. Najveći protoci se javljaju u proljeće (ožujak i travanj) kad se uz proljetne kiše topi snijeg [26].

Česta su pojava i olujni pljuskovi koji se najčešće javljaju u kolovozu i rujnu. Olujni pljuskovi uzrokuju iznimno nagli porast protoka, kao i dugotrajne i obilne kiše u jesenskom dijelu godine, rujnu i listopadu. Analizom protoka na hidrološkim postajama na rijeci Bednji za razdoblje 2000. - 2018., najmanji protok od 0,032 m<sup>3</sup>/s izmjeren je 8. kolovoza 2000. na najuzvodnijoj postaji Lepoglava, a najveći protok od 123 m<sup>3</sup>/s izmjeren je 20. rujna 2017. na postaji Željeznica [22].

„Također, 20. rujna 2017. postaja Ludbreg mjerila je 76,1 m<sup>3</sup>/s, a sljedećeg dana 85,4 m<sup>3</sup>/s, što je vjerojatno posljedica izlivanja iz korita uzvodno od postaje Ludbreg. Najveći protok na postaji Ludbreg izmjeren je 14. rujna 2014., a iznosio je 116 m<sup>3</sup>/s. Iz provedene analize može se uočiti da su posljednjih godina sve češće ekstremni protoci tijekom jeseni, što dijelom pokazuje nešto značajniji utjecaj kiše, a nešto manji utjecaj snijega na protoke rijeke Bednje“ [22].

Na slici 22 nalazi se hidrogram rijeke Bednje od 2007. do 2018. godine.



Slika 22. Hidrogram rijeke Bednje od 2007. do 2018. godine [2]

## 4.2. Lokacija mjerenja Lovrentovec

Naselje Lovrentovec nalazi se u gradu Varaždinskim Toplicama, u Varaždinskoj županiji (slika 23) na 220 metara nadmorske visine i prostire se površinom od 2.75 km<sup>2</sup> [27].



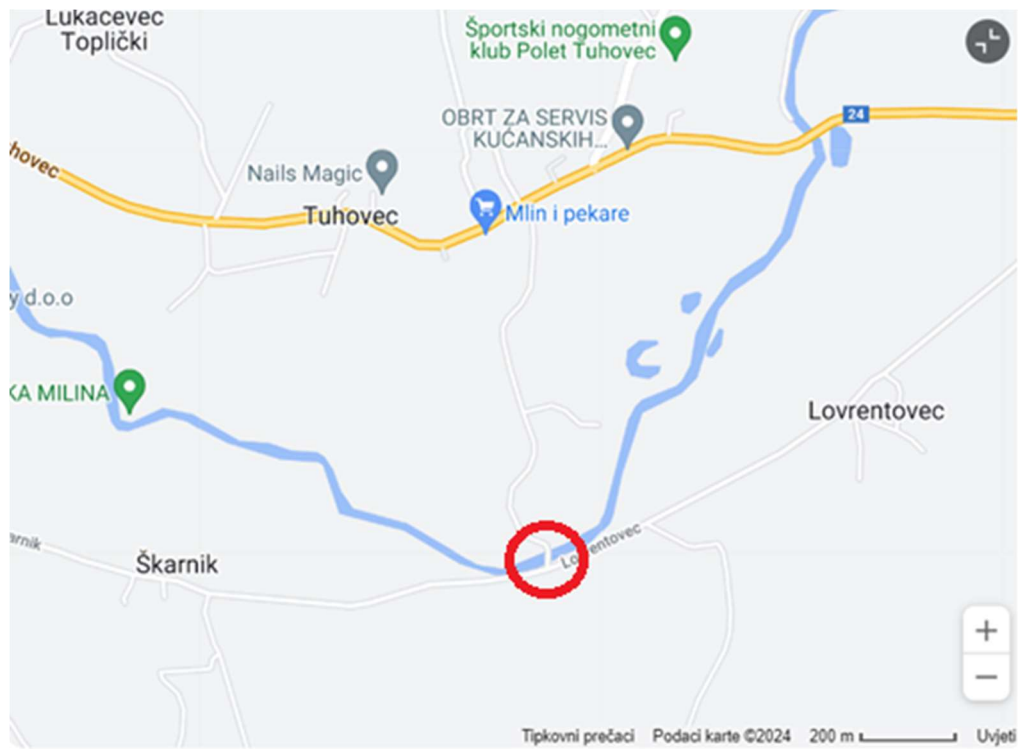
Slika 23. Položaj Lovrentovca na karti Hrvatske [27]

Na slici 24 nalazi se lokacija mjerenja, točnije prikaz mosta i okoline kod mosta, a na slici 25 nalazi se karta na kojoj je vidljivo mjesto Lovrentovec i okolna naselja.



Slika 24. Most u Lovrentovcu – lokacija terenskog istraživanja [19]

Stanovništvo na području Lovrentovca je u potpunosti hrvatsko. Okolna naselja mogu se vidjeti na slici karte (slika 25), a to su Svibovec, Tuhovec, Škarnik, Jalševac Svibovečki, Retkovec Svibovečki, Lukačevac Toplički, Drenovec, Grešćevina, Gornja Poljana i Jarki Horvatićevi. Na slici je crvenim kružićem označena točna lokacija izvršenih mjerenja [27].



Slika 25. Lovrentovec [28]

Na slikama 26 i 27 vide se mjerni profili na kojima su provedena mjerenja dana 6.6.2024. te 20.6.2024.godine.





Slika 26. Lokacija mjerenja (uzvodni profil) [19]

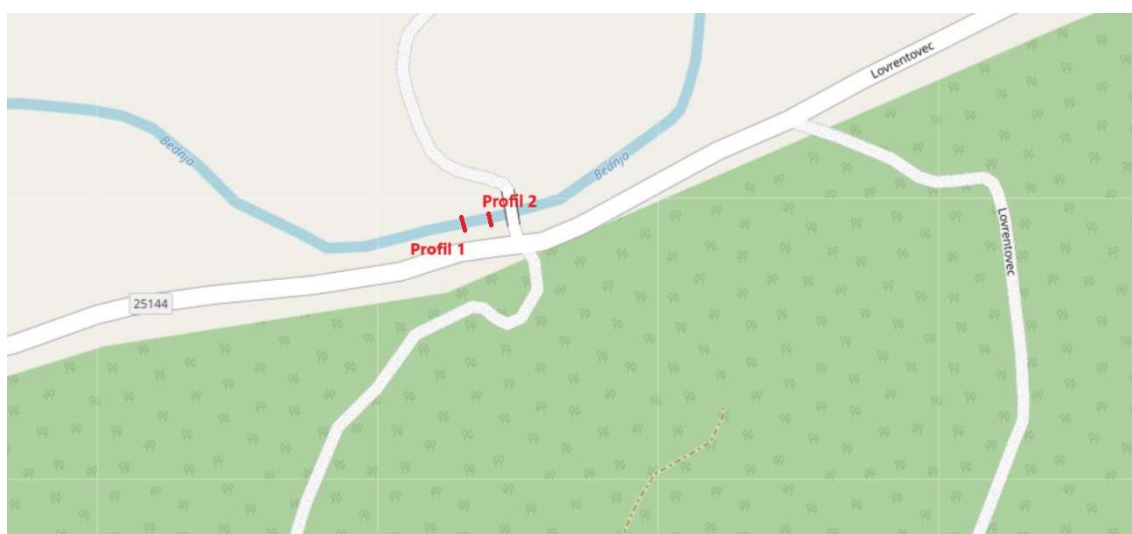


Slika 27. Pogled na mjerenje u Lovrentovcu [19]

## 5. Prikaz dobivenih rezultata i proračun

### 5.1. Rezultati dobiveni hidrometrijom

Mjerenja su provedena na dva različita profila pod rednim brojem 1 i 2 dana 6.6.2024., dok su također dana 20.6. provedena mjerenja na istim lokacijama ponovno. Na slici 28 prikazani je položaj mjerenih profila (crveno označeno). Profil 1 nalazi se uzvodno, a profil pod brojem 2 nalazi se neposredno uz sam most.



Slika 28. Prikaz položaja mjernih profila 1 i 2 [29]

Na slici 29. nalaze se osnovni podaci o izmjerenim veličinama na profilu broj 1. Mjerenje je provedeno dana 6.6.2024. godine.



# Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Bednja
<b>Site number</b>	1
<b>Operator(s)</b>	Anja
<b>File name</b>	20240606-175845_Bednja.ft
<b>Comment</b>	Lovrentovec

<b>Start time</b>	6.6.2024. 16:42	<b>Sensor type</b>	Top Setting
<b>End time</b>	6.6.2024. 17:57	<b>Handheld serial number</b>	FT2H2025030
<b>Start location latitude</b>	46,203	<b>Probe serial number</b>	FT2P2024010
<b>Start location longitude</b>	16,456	<b>Probe firmware</b>	1.30
<b>Calculations engine</b>	FlowTracker2	<b>Handheld software</b>	1.7

<b># Stations</b>	<b>Avg interval (s)</b>	<b>Total discharge (m<sup>3</sup>/s)</b>
29	40	3,178

<b>Total width (m)</b>	<b>Total area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Wetted Perimeter (m)</b>
14,000	8,735	14,464

<b>Mean SNR (dB)</b>	<b>Mean depth (m)</b>	<b>Mean velocity (m/s)</b>
40,547	0,624	0,364

<b>Mean temp (°C)</b>	<b>Max depth (m)</b>	<b>Max velocity (m/s)</b>
20,637	0,820	0,546

Discharge Uncertainty		
Category	ISO	IVE
Accuracy	1,0 %	
Depth	0,1 %	
Velocity	0,3 %	
Width	0,1 %	
Method	0,8 %	
# Stations	1,8 %	
Overall	2,2 %	

<b>Discharge equation</b>	Mean Section
<b>Discharge uncertainty</b>	IVE
<b>Discharge reference</b>	Rated

Data Collection Settings	
<b>Salinity</b>	0,000 PSS-78
<b>Temperature</b>	-
<b>Sound speed</b>	-
<b>Mounting correction</b>	0,000 %

**Summary overview**

No changes were made to this file  
Quality control warnings

Slika 29. Prikaz rezultata – osnovne informacije za profil 1

Nadalje, na slici 30 nalaze se grafički prikazi rezultata vezani za mjerenje provedeno 6.6.2024. Na prvom grafikonu je prikazan protok za svaku mjernu točku. Najveća



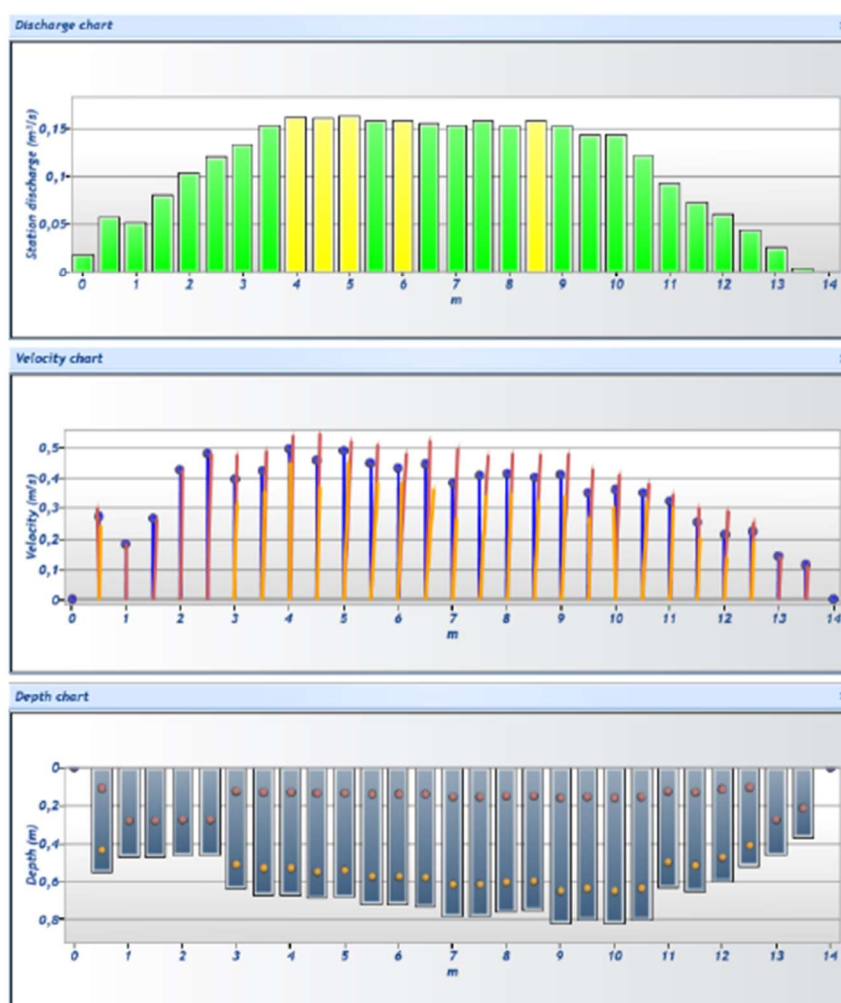
vrijednost protoka nalazi se na sredini rijeke što je i bilo za očekivati. Na drugom grafikonu nalazi se prikaz brzina za svaku od mjernih točaka, a na trećem grafičkom prikazu nalaze se izmjerene dubine.



# Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Bednja
<b>Site number</b>	1
<b>Operator(s)</b>	Anja
<b>File name</b>	20240606-175845_Bednja.ft
<b>Comment</b>	Lovrentovec

Station Warning Settings	
Station discharge OK	Station discharge < 5,000%
Station discharge caution	5,000% >= Station discharge < 10,000%
Station discharge warning	Station discharge >= 10,000%

Slika 30. Prikaz rezultata – grafički prikaz protoka, brzina te dubina za profil 1

Na slici 31 nalazi se tabelarni prikaz rezultata mjerenja (broj mjernih točaka, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina i protok).



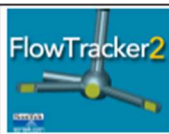
## Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Bednja
<b>Site number</b>	1
<b>Operator(s)</b>	Anja
<b>File name</b>	20240606-175845_Bednja.ft
<b>Comment</b>	Lovrentovec

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m²)	Flow (m³/s)	%Q
0	16:42	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,136	0,138	0,019	0,589
1	16:43	0,500	0,2/0,8	0,550	0,200	0,110	80	0,301	1,000	0,228	0,255	0,058	1,828
1	16:43	0,500	0,2/0,8	0,550	0,800	0,440	80	0,244	1,000	0,228	0,255	0,058	1,828
2	16:47	1,000	0,6	0,470	0,600	0,282	80	0,183	1,000	0,224	0,235	0,053	1,659
3	16:50	1,500	0,6	0,470	0,600	0,282	80	0,265	1,000	0,345	0,233	0,080	2,523
4	16:51	2,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,425	1,000	0,452	0,230	0,104	3,270
5	16:54	2,500	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,479	1,000	0,438	0,275	0,120	3,787
6	16:57	3,000	0,2/0,8	0,640	0,200	0,128	80	0,476	1,000	0,410	0,328	0,134	4,223
6	16:57	3,000	0,2/0,8	0,640	0,800	0,512	80	0,316	1,000	0,410	0,328	0,134	4,223
7	17:00	3,500	0,2/0,8	0,670	0,200	0,134	80	0,490	1,000	0,460	0,335	0,154	4,845
7	17:00	3,500	0,2/0,8	0,670	0,800	0,536	80	0,357	1,000	0,460	0,335	0,154	4,845
8	17:03	4,000	0,2/0,8	0,670	0,200	0,134	80	0,540	1,000	0,477	0,340	0,162	5,107
8	17:03	4,000	0,2/0,8	0,670	0,800	0,536	80	0,452	1,000	0,477	0,340	0,162	5,107
9	17:06	4,500	0,2/0,8	0,690	0,200	0,138	80	0,546	1,000	0,473	0,343	0,162	5,097
9	17:06	4,500	0,2/0,8	0,690	0,800	0,552	80	0,372	1,000	0,473	0,343	0,162	5,097
10	17:09	5,000	0,2/0,8	0,680	0,200	0,136	80	0,521	1,000	0,467	0,350	0,164	5,147
10	17:09	5,000	0,2/0,8	0,680	0,800	0,544	80	0,453	1,000	0,467	0,350	0,164	5,147
11	17:12	5,500	0,2/0,8	0,720	0,200	0,144	80	0,510	1,000	0,441	0,360	0,159	4,994
11	17:12	5,500	0,2/0,8	0,720	0,800	0,576	80	0,385	1,000	0,441	0,360	0,159	4,994
12	17:14	6,000	0,2/0,8	0,720	0,200	0,144	80	0,481	1,000	0,439	0,363	0,159	5,008
12	17:14	6,000	0,2/0,8	0,720	0,800	0,576	80	0,387	1,000	0,439	0,363	0,159	5,008
13	17:17	6,500	0,2/0,8	0,730	0,200	0,146	80	0,523	1,000	0,413	0,378	0,156	4,907
13	17:17	6,500	0,2/0,8	0,730	0,800	0,584	80	0,365	1,000	0,413	0,378	0,156	4,907
14	17:20	7,000	0,2/0,8	0,780	0,200	0,156	80	0,496	1,000	0,395	0,390	0,154	4,850
14	17:20	7,000	0,2/0,8	0,780	0,800	0,624	80	0,268	1,000	0,395	0,390	0,154	4,850
15	17:24	7,500	0,2/0,8	0,780	0,200	0,156	80	0,474	1,000	0,412	0,385	0,159	4,993
15	17:24	7,500	0,2/0,8	0,780	0,800	0,624	80	0,343	1,000	0,412	0,385	0,159	4,993
16	17:26	8,000	0,2/0,8	0,760	0,200	0,152	80	0,482	1,000	0,408	0,378	0,154	4,852
16	17:26	8,000	0,2/0,8	0,760	0,800	0,608	80	0,350	1,000	0,408	0,378	0,154	4,852
17	17:29	8,500	0,2/0,8	0,750	0,200	0,150	80	0,478	1,000	0,407	0,393	0,160	5,023
17	17:29	8,500	0,2/0,8	0,750	0,800	0,600	80	0,324	1,000	0,407	0,393	0,160	5,023
18	17:33	9,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,481	1,000	0,382	0,405	0,155	4,866
18	17:33	9,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,343	1,000	0,382	0,405	0,155	4,866
19	17:36	9,500	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,431	1,000	0,355	0,405	0,144	4,529
19	17:36	9,500	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	80	0,272	1,000	0,355	0,405	0,144	4,529
20	17:39	10,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,412	1,000	0,356	0,405	0,144	4,537
20	17:39	10,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,307	1,000	0,356	0,405	0,144	4,537
21	17:42	10,500	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,382	1,000	0,339	0,358	0,121	3,818
21	17:42	10,500	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	80	0,323	1,000	0,339	0,358	0,121	3,818
22	17:44	11,000	0,2/0,8	0,630	0,200	0,126	80	0,348	1,000	0,290	0,320	0,093	2,916
22	17:44	11,000	0,2/0,8	0,630	0,800	0,504	80	0,304	1,000	0,290	0,320	0,093	2,916
23	17:47	11,500	0,2/0,8	0,650	0,200	0,130	80	0,302	1,000	0,234	0,313	0,073	2,305
23	17:47	11,500	0,2/0,8	0,650	0,800	0,520	80	0,205	1,000	0,234	0,313	0,073	2,305
24	17:49	12,000	0,2/0,8	0,600	0,200	0,120	80	0,292	1,000	0,219	0,280	0,061	1,932
24	17:49	12,000	0,2/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,139	1,000	0,219	0,280	0,061	1,932
25	17:52	12,500	0,2/0,8	0,520	0,200	0,104	80	0,255	1,000	0,182	0,245	0,045	1,403
25	17:52	12,500	0,2/0,8	0,520	0,800	0,416	80	0,191	1,000	0,182	0,245	0,045	1,403
26	17:54	13,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,141	1,000	0,127	0,208	0,026	0,828
27	17:56	13,500	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,113	1,000	0,056	0,093	0,005	0,164
28	17:57	14,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000

Slika 31. Prikaz rezultata – tablično prikazane mjerne točke, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina i protok za profil 1

Na slici 32 nalaze se postavke za provjeru kvalitete i sva upozorenja koja su se javila tijekom mjerenja.



## Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Bednja
<b>Site number</b>	1
<b>Operator(s)</b>	Anja
<b>File name</b>	20240606-175845_Bednja.ft
<b>Comment</b>	Lovrentovec

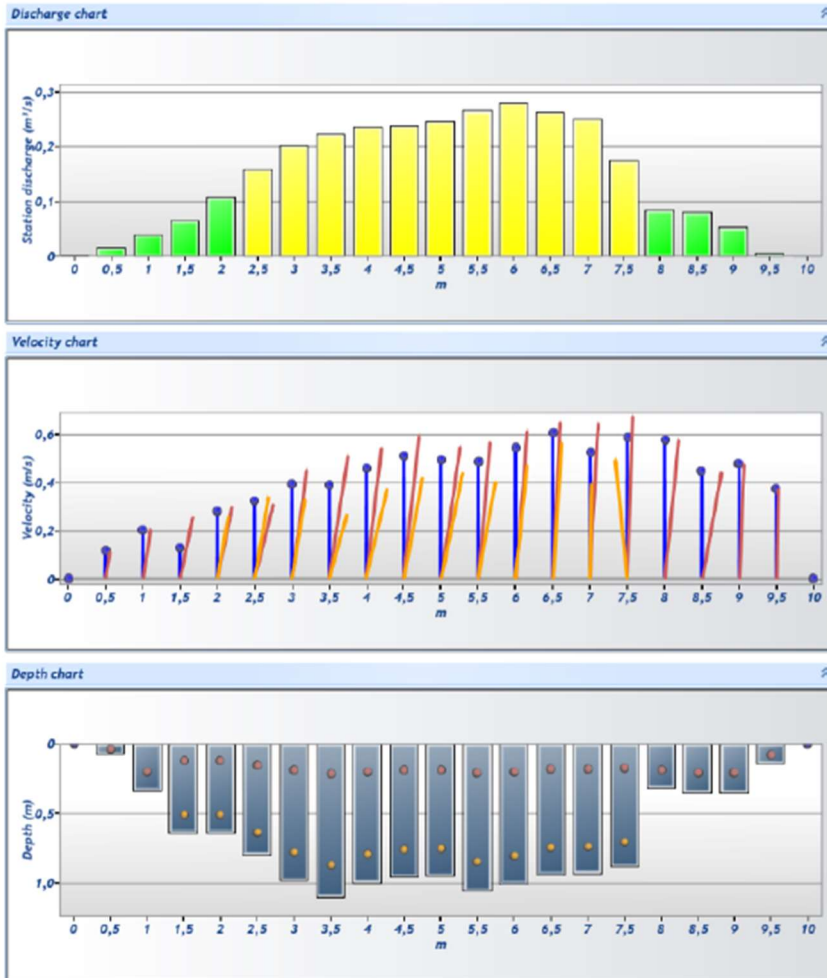
Quality Control Settings	
<b>Maximum depth change</b>	50,000%
<b>Maximum spacing change</b>	100,000%
<b>SNR threshold</b>	10,000 dB
<b>Standard error threshold</b>	0,010 m/s
<b>Spike threshold</b>	10,000%
<b>Maximum velocity angle</b>	20,000 deg
<b>Maximum tilt angle</b>	5,000 deg

Quality control warnings							
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Warnings
1	16:43	0,500	0,2/0,8	0,550	0,200	0,110	Water Depth > QC
1	16:43	0,500	0,2/0,8	0,550	0,800	0,440	Water Depth > QC
2	16:47	1,000	0,6	0,470	0,600	0,282	Boundary Interference, Standard Error > QC
6	16:57	3,000	0,2/0,8	0,640	0,200	0,128	Standard Error > QC
6	16:57	3,000	0,2/0,8	0,640	0,800	0,512	Standard Error > QC
7	17:00	3,500	0,2/0,8	0,670	0,200	0,134	Standard Error > QC
7	17:00	3,500	0,2/0,8	0,670	0,800	0,536	Standard Error > QC
9	17:06	4,500	0,2/0,8	0,690	0,200	0,138	Standard Error > QC
9	17:06	4,500	0,2/0,8	0,690	0,800	0,552	Standard Error > QC
13	17:17	6,500	0,2/0,8	0,730	0,200	0,146	Velocity Angle > QC
13	17:17	6,500	0,2/0,8	0,730	0,800	0,584	Velocity Angle > QC
28	17:57	14,000	None	0,000	0,000	0,000	Water Depth > QC

Slika 32. Upozorenja i pogreške kod mjerenja za profil 1

Za profil broj 2, grafički prikazi protoka, brzina te dubina nalaze se na slici 33. Mjerenje je provedeno 6.6.2024.

Station Warning Settings		
Station discharge OK	Station discharge < 5,000%	<span style="color: green;">■</span>
Station discharge caution	5,000% >= Station discharge < 10,000%	<span style="color: yellow;">■</span>
Station discharge warning	Station discharge >= 10,000%	<span style="color: red;">■</span>



Slika 33. Prikaz rezultata – grafički prikaz protoka, brzina te dubina za profil 2

## 5.2. Proračun snage hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju vode

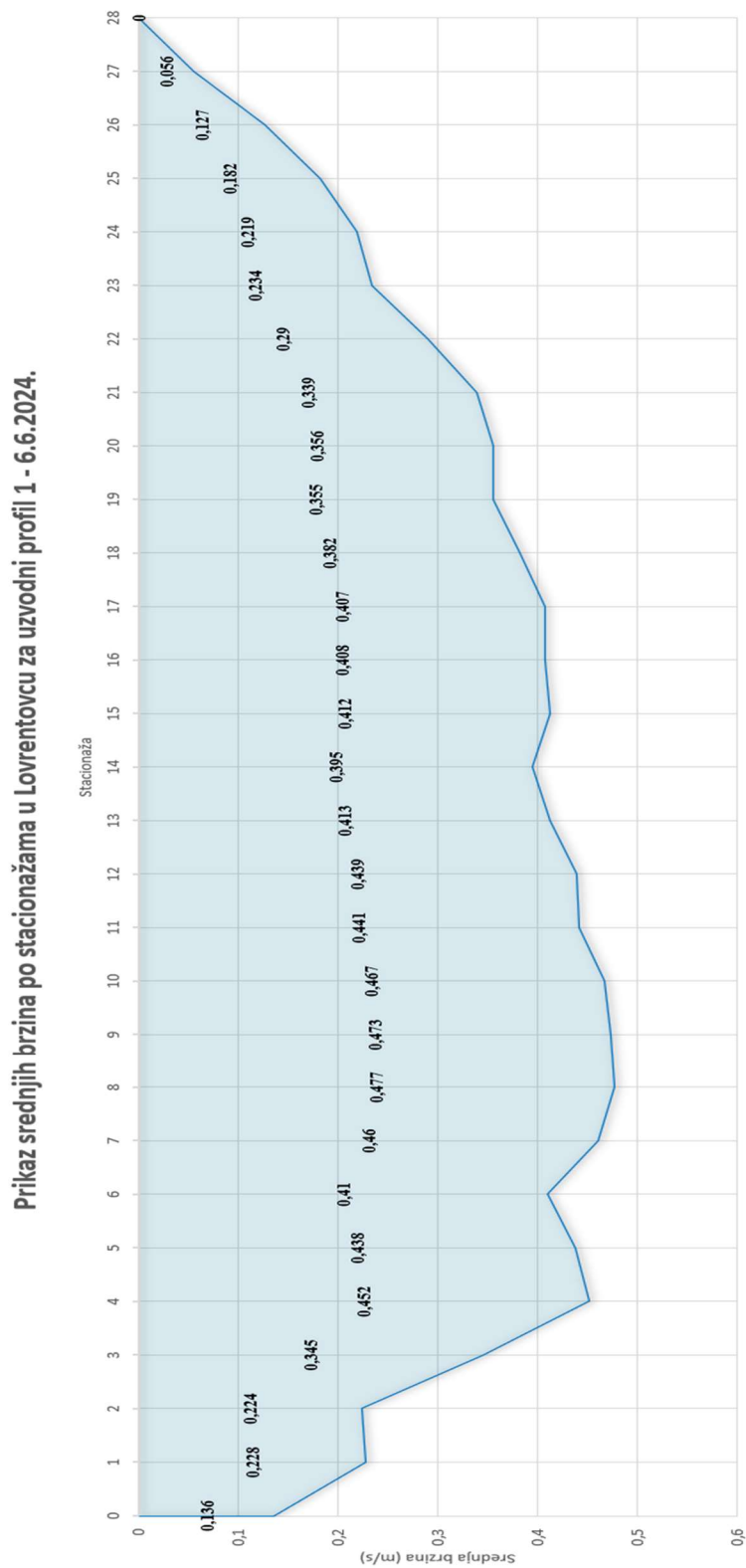
### 5.2.1. Profil 1 – 6.6.2024.

Obrađeni podaci za uzvodni profil 1 rijeke Bednje nalazi se u tablici 2. Podaci su vezani za mjerenje izvršeno dana 6.6.2024. godine u Lovrentovcu na temelju kojih se dalje proračunava snaga kinetičkih turbina.

Tablica 2. Obrađeni podaci na profilu 1 (uzvodni profil) – 6.6.2024.

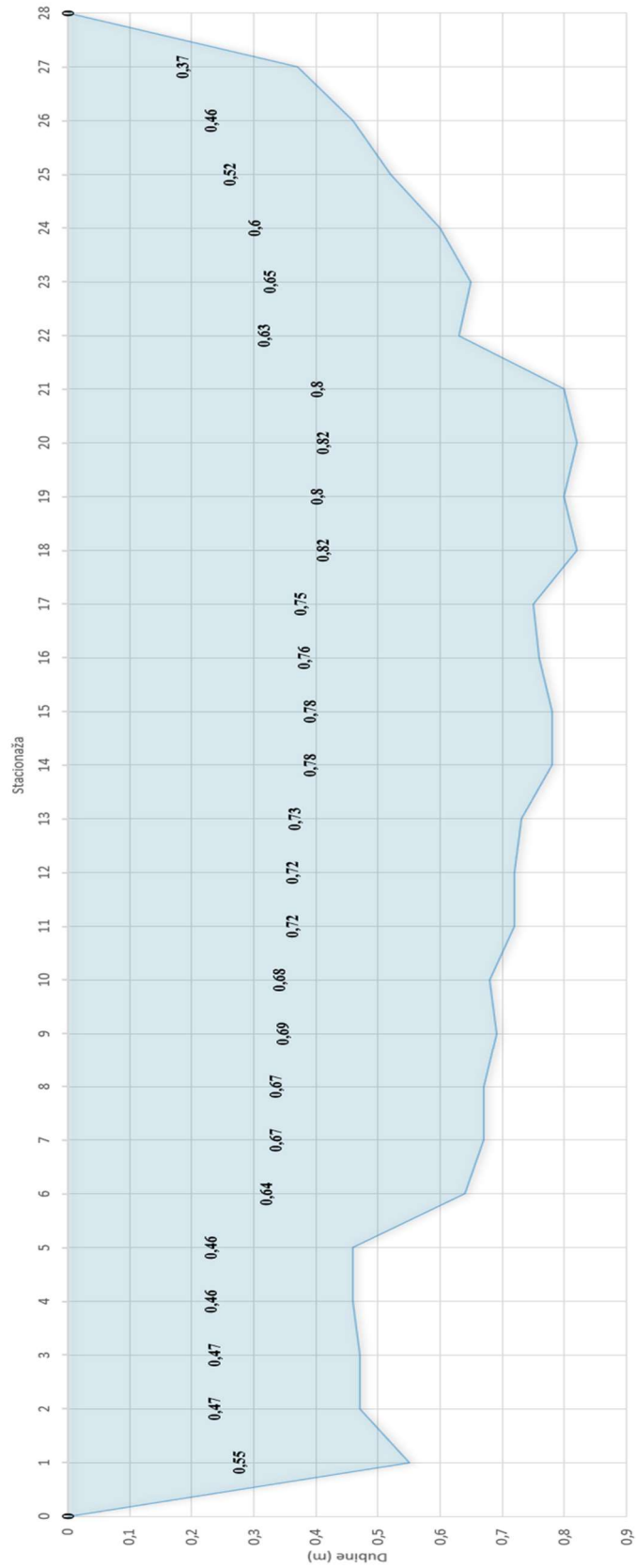
Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Srednja brzina (m/s)
0	0,5	0,136
1	0,5	0,228
2	0,5	0,224
3	0,5	0,345
4	0,5	0,452
5	0,5	0,438
6	0,5	0,41
7	0,5	0,46
8	0,5	0,477
9	0,5	0,473
10	0,5	0,467
11	0,5	0,441
12	0,5	0,439
13	0,5	0,413
14	0,5	0,395
15	0,5	0,412
16	0,5	0,408
17	0,5	0,407
18	0,5	0,382
19	0,5	0,355
20	0,5	0,356
21	0,5	0,339
22	0,5	0,29
23	0,5	0,234
24	0,5	0,219
25	0,5	0,182
26	0,5	0,127
27	0,5	0,056
28	0,5	0

Nadalje, prikaz srednjih brzina nalazi se na grafu prikazanom na slici 34, a na slici 35 nalazi se prikaz dubina po stacionažama.



Slika 34. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 1 – 6.6.2024.

Prikaz dubina po stacionažama u Lovrentovcu za uzvodni profil 1 - 6.6.2024.



Slika 35. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 1 – 6.6.2024.



Za izračun snage kinetičke turbine potrebno je pronaći prema profilu najveću srednju brzinu, potom je potrebna površina dobivena zbrajanjem površina između određenih stacionaža.

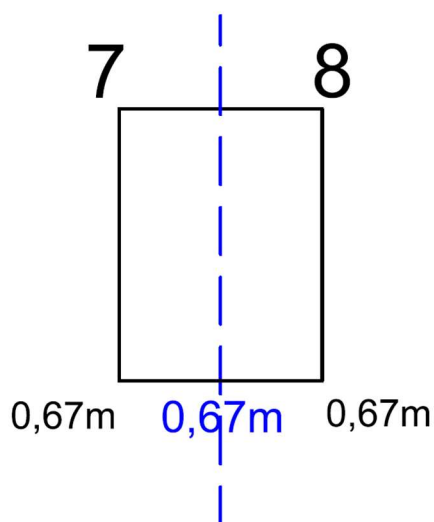
Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži 8 i iznosi 0,477 m/s. U sljedećem se koraku podrazumijeva uzeti razmak između stacionaža, koji iznosi 0,5 m, lijevo i desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode dobije se prosjekom, odnosno aritmetičkom sredinom:

$$v_{sr} = \frac{0,46+0,477+0,473}{3} = 0,47 \text{ m/s} \quad (4)$$

Ukupna površina (7) u ovom slučaju dobiva se zbrajanjem površina između stacionaže 7 i 8 (5) te stacionaže 8 i 9 (6):

Na slici 36. nalazi se prikaz izračuna između stacionaža 7 i 8.

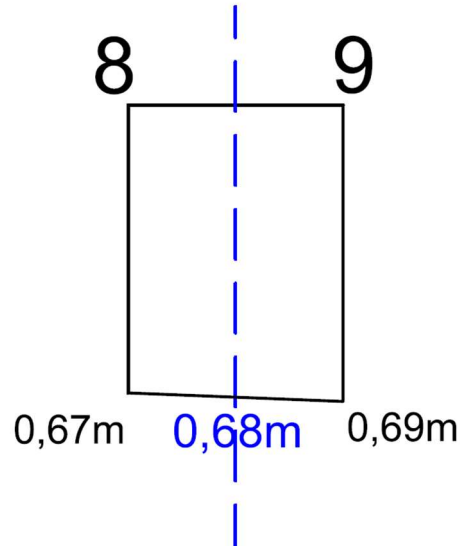
$$A_1 = 0,67 \cdot 0,5 = 0,33 \text{ m}^2 \quad (5)$$



Slika 36. Prikaz izračuna između stacionaže 7 i 8

A na slici 37. nalazi se prikaz izračuna između stacionaža 7 i 8.

$$A_2 = 0,68 \cdot 0,5 = 0,34 \text{ m}^2 \quad (6)$$



Slika 37. Prikaz izračuna između stacionaže 8 i 9

$$A = A_1 + A_2 = 0,335 \text{ m}^2 + 0,34 \text{ m}^2 = 0,68 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga će se proračunati prema formuli (3). Učinkovitost kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode uzima se 30% [30].

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,68 \text{ m}^2 \cdot \left(0,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (8)$$

$$P_{teor} = 11 \text{ W} \quad (9)$$

Nadalje, moguće je izvesti proračun za još susjednih lamela na način da se u sljedećem koraku podrazumijeva uzeti razmak između stacionaža, koji iznosi 1 m, lijevo i desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode dobije se osrednjavanjem, odnosno izračunavanjem aritmetičke sredine:

$$v_{sr} = \frac{0,41+0,46+0,477+0,473+0,467}{5} = 0,457 \text{ m/s} \quad (10)$$

Ukupna površina (15) u ovom slučaju dobiva se:

$$A_1 = 0,885 \cdot 0,5 = 0,44 \text{ m}^2 \quad (11)$$

$$A_2 = 0,60 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ m}^2 \quad (12)$$

$$A_3 = 0,655 \cdot 0,5 = 0,32 \text{ m}^2 \quad (13)$$

$$A_4 = 0,685 \cdot 0,5 = 0,34 \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,41 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,41 \text{ m}^2 \cdot \left(0,457 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (16)$$

$$P_{teor} = 20 \text{ W} \quad (17)$$

Uzme li se u obzir 1,5 metar lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,438+0,41+0,46+0,477+0,473+0,467+0,441}{7} = 0,452 \text{ m/s} \quad (18)$$

$$A_5 = 0,55 \cdot 0,5 = 0,27 \text{ m}^2 \quad (19)$$

$$A_6 = 0,70 \cdot 0,5 = 0,35 \text{ m}^2 \quad (20)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 2,04 \text{ m}^2 \quad (21)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,04 m^2 \cdot \left(0,452 \frac{m}{s}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (22)$$

$$P_{teor} = 28 W \quad (23)$$

Uzme li se u obzir 2 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,452+0,438+0,41+0,46+0,477+0,473+0,467+0,441+0,439}{9} = 0,451 m/s \quad (24)$$

$$A_7 = 0,46 \cdot 0,5 = 0,23 m^2 \quad (25)$$

$$A_8 = 0,72 \cdot 0,5 = 0,72 m^2 \quad (26)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 = 2,99 m^2 \quad (27)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,99 m^2 \cdot \left(0,451 \frac{m}{s}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (28)$$

$$P_{teor} = 41 W \quad (29)$$

Uzme li se u obzir 2,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,438 m/s \quad (30)$$

$$A = 4,18 m^2 \quad (31)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,18 m^2 \cdot \left(0,438 \frac{m}{s}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (32)$$

$$P_{teor} = 53 W \quad (33)$$

Uzme li se u obzir 3 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,418 \text{ m/s} \quad (34)$$

$$A = 5,41 \text{ m}^2 \quad (35)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,41 \text{ m}^2 \cdot \left(0,418 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (36)$$

$$P_{teor} = 59 \text{ W} \quad (37)$$

Uzme li se u obzir 3,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,405 \text{ m/s} \quad (38)$$

$$A = 6,70 \text{ m}^2 \quad (39)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,70 \text{ m}^2 \cdot \left(0,405 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (40)$$

$$P_{teor} = 67 \text{ W} \quad (41)$$

Uzme li se u obzir 4 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,389 \text{ m/s} \quad (42)$$

$$A = 7,74 \text{ m}^2 \quad (43)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7,74 \text{ m}^2 \cdot \left(0,389 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (44)$$

$$P_{teor} = 68 \text{ W} \quad (45)$$

### 5.2.2. Profil 2 – 6.6.2024.

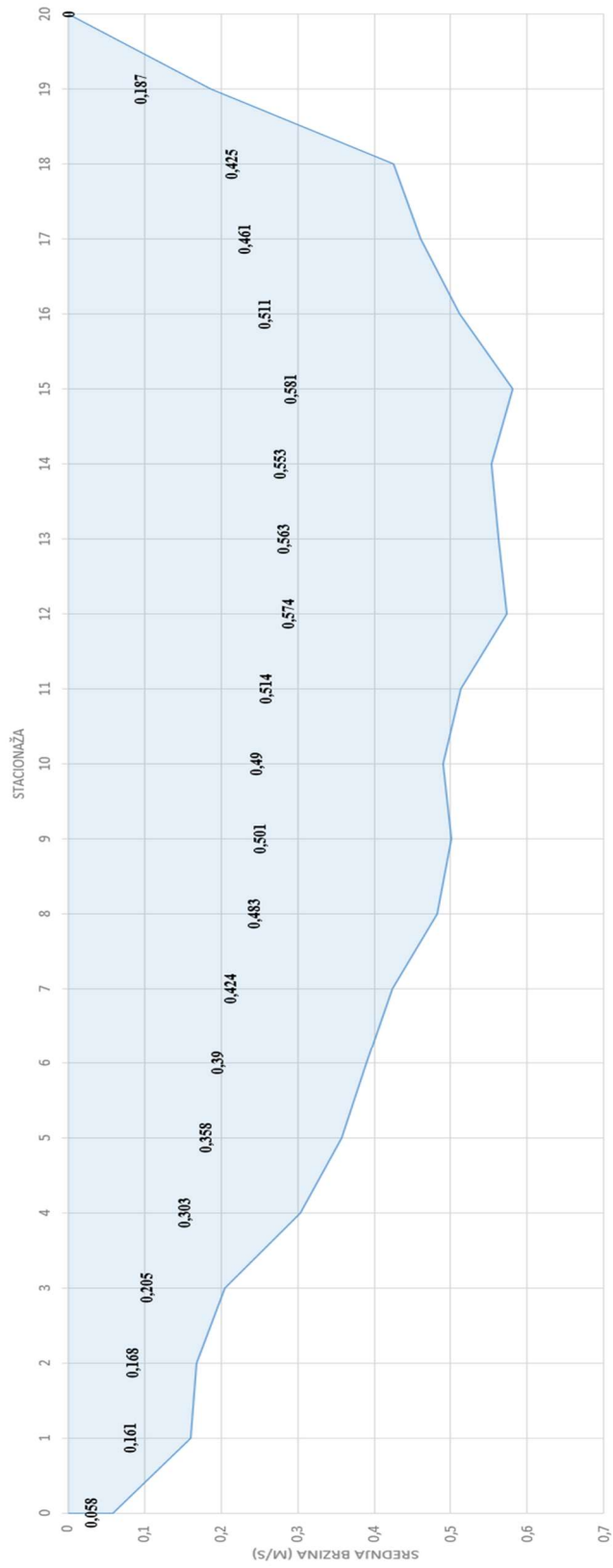
Obradeni podaci za profil 2 rijeke Bednje nalazi se u tablici 3. Mjerenje je provedeno dana 6.6.2024.

Tablica 3. Obradeni podaci za profil kod mosta 2 – 6.6.2024.

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Srednja brzina (m/s)
0	0,5	0,058
1	0,5	0,161
2	0,5	0,168
3	0,5	0,205
4	0,5	0,303
5	0,5	0,358
6	0,5	0,39
7	0,5	0,424
8	0,5	0,483
9	0,5	0,501
10	0,5	0,49
11	0,5	0,514
12	0,5	0,574
13	0,5	0,563
14	0,5	0,553
15	0,5	0,581
16	0,5	0,511
17	0,5	0,461
18	0,5	0,425
19	0,5	0,187
20	0,5	0

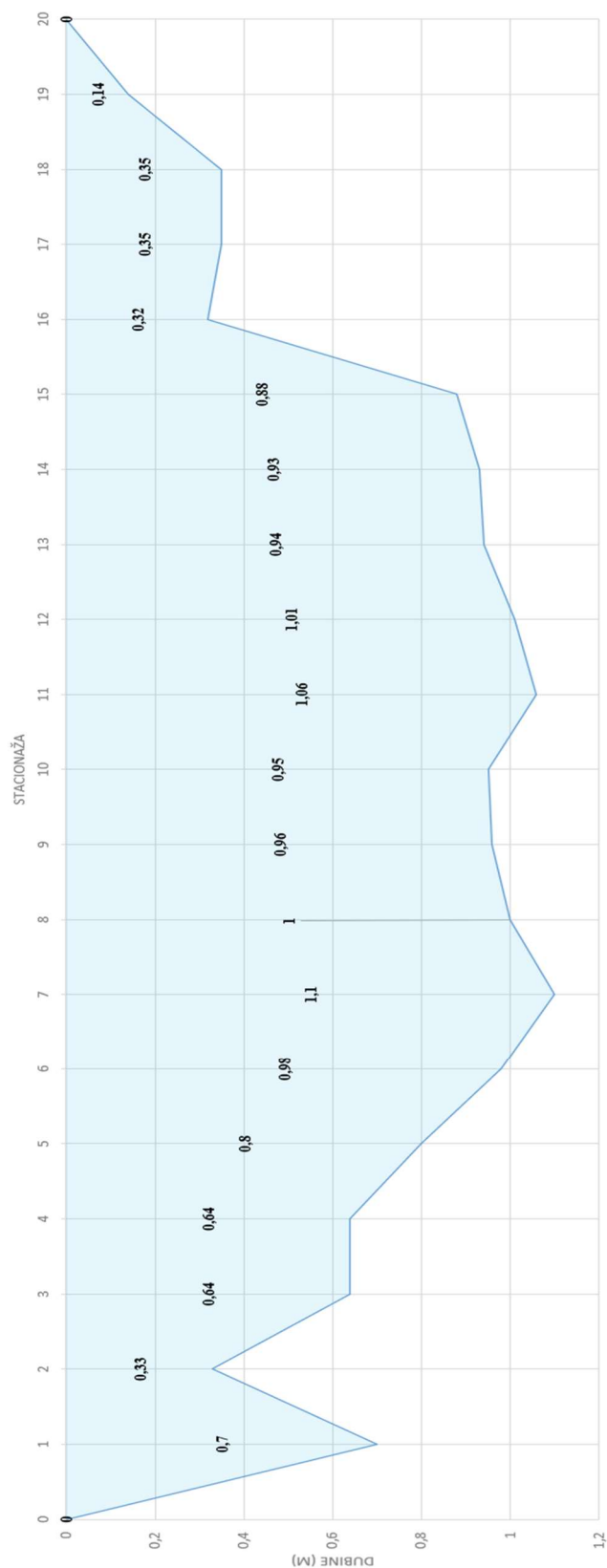
Nadalje, prikaz srednjih brzina nalazi se na grafu prikazanom na slici 38, a na slici 39 nalazi se prikaz dubina po stacionažama.

Prikaz srednjih brzina po stacionažama u Lovrentovcu za profil kod mosta 2 - 6.6.2024.



Slika 38. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 2 – 6.6.2024.

Prikaz dubina po stacionažama u Lovrentovcu za profil kod mosta 2 - 6.6.2024.



Slika 39. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 2 – 6.6.2024.



Za izračun snage kinetičke turbine potrebno je pronaći prema profilu najveću srednju brzinu, potom je potrebna površina dobivena zbrajanjem površina između određenih stacionaža.

Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži 15 i iznosi 0,581 m/s. U sljedećem se koraku podrazumijeva uzeti razmak između stacionaža, koji iznosi 0,5 m, lijevo i desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode dobije se prosjekom, odnosno aritmetičkom sredinom:

$$v_{sr} = \frac{0,553 + 0,581 + 0,511}{3} = 0,548 \text{ m/s} \quad (46)$$

Ukupna površina (49) u ovom slučaju dobiva se zbrajanjem površina između stacionaže 14 i 15 (47) te stacionaže 15 i 16 (48):

$$A_1 = 0,885 \cdot 0,5 = 0,44 \text{ m}^2 \quad (47)$$

$$A_2 = 0,60 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ m}^2 \quad (48)$$

$$A = A_1 + A_2 = 0,44 \text{ m}^2 + 0,3 \text{ m}^2 = 0,74 \text{ m}^2 \quad (49)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli (3):

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,74 \text{ m}^2 \cdot \left(0,548 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (50)$$

$$P_{teor} = 18 \text{ W} \quad (51)$$

Daljnji postupak proračuna je istovjetan kao i u prethodnom potpoglavlju 5.2.1.

$$v_{sr} = \frac{0,563 + 0,553 + 0,581 + 0,511 + 0,461}{5} = 0,534 \text{ m/s} \quad (52)$$

Ukupna površina (57) u ovom slučaju dobiva se:

$$A_1 = 0,885 \cdot 0,5 = 0,44 \text{ m}^2 \quad (53)$$

$$A_2 = 0,60 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ m}^2 \quad (54)$$

$$A_3 = 0,935 \cdot 0,5 = 0,46 \text{ m}^2 \quad (55)$$

$$A_4 = 0,335 \cdot 0,5 = 0,16 \text{ m}^2 \quad (56)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,38 \text{ m}^2 \quad (57)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,38 \text{ m}^2 \cdot \left(0,534 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (58)$$

$$P_{teor} = 31 \text{ W} \quad (59)$$

Uzme li se u obzir 1,5 metar lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,574+0,563+0,553+0,581+0,511+0,461+0,425}{7} = 0,524 \text{ m/s} \quad (60)$$

$$A_5 = 0,975 \cdot 0,5 = 0,48 \text{ m}^2 \quad (61)$$

$$A_6 = 0,35 \cdot 0,5 = 0,17 \text{ m}^2 \quad (62)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 2,04 \text{ m}^2 \quad (63)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,04 \text{ m}^2 \cdot \left(0,524 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (64)$$

$$P_{teor} = 44 \text{ W} \quad (65)$$

Uzme li se u obzir 2 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,514+0,574+0,563+0,553+0,581+0,511 \quad ,461+0,425 \quad ,187}{9} = 0,485 \text{ m/s} \quad (66)$$

$$A_7 = 1,035 \cdot 0,5 = 0,51 \text{ m}^2 \quad (67)$$

$$A_8 = 0,245 \cdot 0,5 = 0,12 \text{ m}^2 \quad (68)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 = 2,68 \text{ m}^2 \quad (69)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,68 \text{ m}^2 \cdot \left(0,485 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (70)$$

$$P_{teor} = 46 \text{ W} \quad (71)$$

Uzme li se u obzir 2,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,442 \text{ m/s} \quad (72)$$

$$A = 3,76 \text{ m}^2 \quad (73)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,76 \text{ m}^2 \cdot \left(0,442 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (74)$$

$$P_{teor} = 49 \text{ W} \quad (75)$$

### 5.2.3. Profil 1 – 20.6.2024.

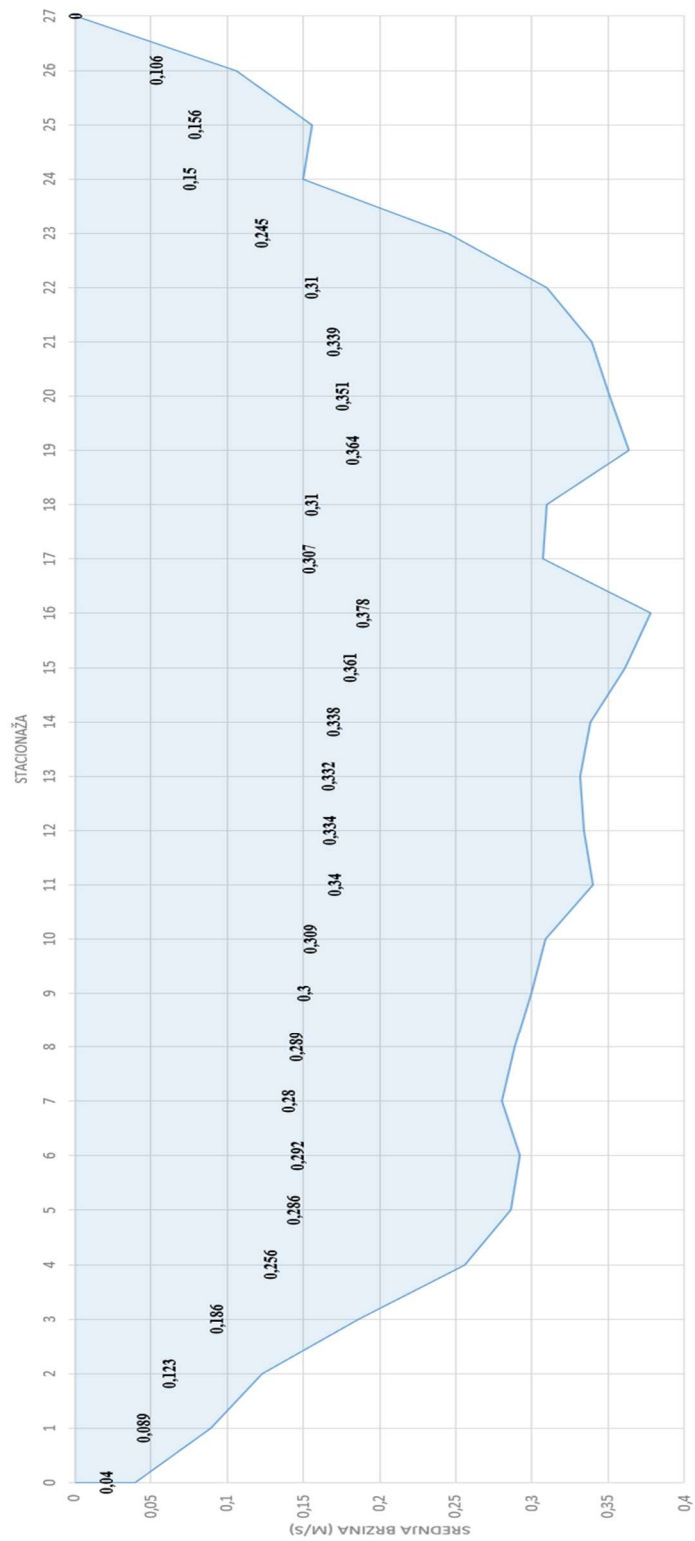
Obrađeni podaci za profil 1 rijeke Bednje nalazi se u tablici 4. Mjerenje je izvršeno dana 20.6.2024.godine.

Tablica 4. Obrađeni podaci na profilu 1 – 20.6.2024.

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Srednja brzina (m/s)
0	0,5	0,04
1	0,5	0,089
2	0,5	0,123
3	0,5	0,186
4	0,5	0,256
5	0,5	0,286
6	0,5	0,292
7	0,5	0,28
8	0,5	0,289
9	0,5	0,3
10	0,5	0,309
11	0,5	0,34
12	0,5	0,334
13	0,5	0,332
14	0,5	0,338
15	0,5	0,361
16	0,5	0,378
17	0,5	0,307
18	0,5	0,31
19	0,5	0,364
20	0,5	0,351
21	0,5	0,339
22	0,5	0,31
23	0,5	0,245
24	0,5	0,15
25	0,5	0,156
26	0,5	0,106
27	0,5	0

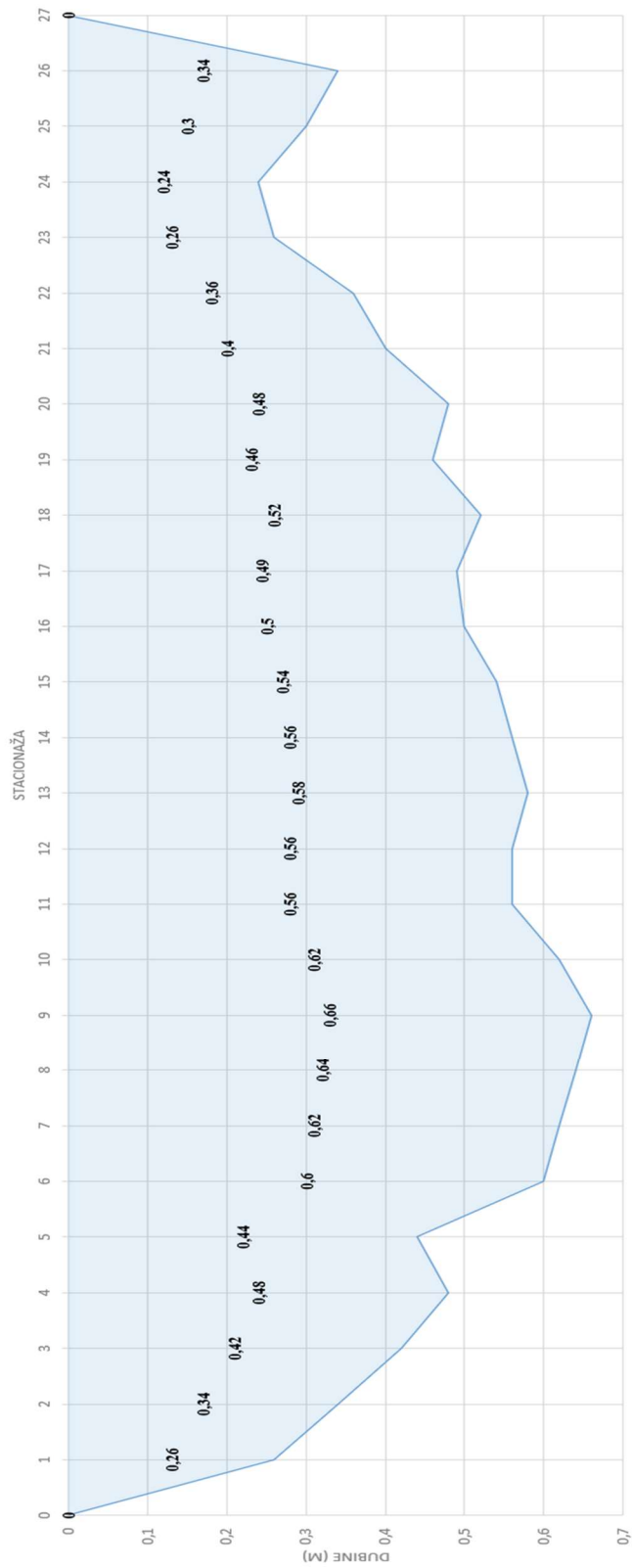
Nadalje, prikaz srednjih brzina nalazi se na grafu prikazanom na slici 40, a na slici 41 nalazi se prikaz dubina po stacionažama.

Prikaz srednjih brzina na lokaciji u Lovrentovcu za profil 1 - 20.6.2024.



Slika 40. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 1 – 20.6.2024.

Prikaz dubina po stacionažama u Lovrentovcu za profil 1 - 20.6.2024.



Slika 41. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 1 – 20.6.2024.

Za izračun snage kinetičke turbine potrebno je pronaći prema profilu najveću srednju brzinu, potom je potrebna površina dobivena zbrajanjem površina između određenih stacionaža.

Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži 16 i iznosi 0,378 m/s. U sljedećem se koraku podrazumijeva uzeti razmak između stacionaža, koji iznosi 0,5 m, lijevo i desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode dobije se prosjekom, odnosno aritmetičkom sredinom:

$$v_{sr} = \frac{0,361 + 0,378 + 0,307}{3} = 0,349 \text{ m/s} \quad (76)$$

Ukupna površina (79) u ovom slučaju dobiva se zbrajanjem površina između stacionaže 15 i 16 (77) te stacionaže 16 i 17 (78):

$$A_1 = 0,52 \cdot 0,5 = 0,26 \text{ m}^2 \quad (77)$$

$$A_2 = 0,495 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ m}^2 \quad (78)$$

$$A = A_1 + A_2 = 0,26 \text{ m}^2 + 0,24 \text{ m}^2 = 0,51 \text{ m}^2 \quad (79)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli (3):

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,51 \text{ m}^2 \cdot \left(0,349 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (80)$$

$$P_{teor} = 3 \text{ W} \quad (81)$$

Daljnji postupak proračuna je istovjetan kao i u potpoglavlju 5.2.1.

$$v_{sr} = \frac{0,338 + 0,361 + 0,378 + 0,307 + 0,31}{5} = 0,339 \text{ m/s} \quad (82)$$

Ukupna površina (87) u ovom slučaju dobiva se:

$$A_1 = 0,52 \cdot 0,5 = 0,26 \text{ m}^2 \quad (83)$$

$$A_2 = 0,495 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ m}^2 \quad (84)$$

$$A_3 = 0,55 \cdot 0,5 = 0,27 \text{ m}^2 \quad (85)$$

$$A_4 = 0,505 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2 \quad (86)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,03 \text{ m}^2 \quad (87)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,03 \text{ m}^2 \cdot \left(0,339 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (90)$$

$$P_{teor} = 6 \text{ W} \quad (91)$$

Uzme li se u obzir 1,5 metar lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,332+0,338+0,361+0,378+0,307+0,31+0,364}{7} = 0,341 \text{ m/s} \quad (92)$$

$$A_5 = 0,57 \cdot 0,5 = 0,28 \text{ m}^2 \quad (93)$$

$$A_6 = 0,49 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ m}^2 \quad (94)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 1,56 \text{ m}^2 \quad (95)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,56 \text{ m}^2 \cdot \left(0,341 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (96)$$



$$P_{teor} = 9 \text{ W} \quad (97)$$

Uzme li se u obzir 2 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,334+0,332+0,338+0,361+0,378+0,307 \quad ,31+ \quad ,364+0,351}{9} = 0,342 \text{ m/s} \quad (98)$$

$$A_7 = 0,57 \cdot 0,5 = 0,28 \text{ m}^2 \quad (99)$$

$$A_8 = 0,47 \cdot 0,5 = 0,23 \text{ m}^2 \quad (100)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 = 2,08 \text{ m}^2 \quad (101)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,08 \text{ m}^2 \cdot \left(0,342 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (102)$$

$$P_{teor} = 13 \text{ W} \quad (103)$$

Uzme li se u obzir 2,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,341 \text{ m/s} \quad (104)$$

$$A = 3,08 \text{ m}^2 \quad (105)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,08 \text{ m}^2 \cdot \left(0,341 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (106)$$

$$P_{teor} = 18 \text{ W} \quad (107)$$

Uzme li se u obzir 3 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,336 \text{ m/s} \quad (108)$$

$$A = 4,43 \text{ m}^2 \quad (109)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,43 \text{ m}^2 \cdot \left(0,336 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (110)$$

$$P_{teor} = 25 \text{ W} \quad (111)$$

Uzme li se u obzir 3,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,328 \text{ m/s} \quad (112)$$

$$A = 5,38 \text{ m}^2 \quad (113)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,38 \text{ m}^2 \cdot \left(0,328 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (114)$$

$$P_{teor} = 28 \text{ W} \quad (115)$$

Uzme li se u obzir 4 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,315 \text{ m/s} \quad (116)$$

$$A = 6,28 \text{ m}^2 \quad (117)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,28 \text{ m}^2 \cdot \left(0,315 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (118)$$

$$P_{teor} = 29 \text{ W} \quad (119)$$

Uzme li se u obzir 4,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,305 \text{ m/s} \quad (120)$$

$$A = 7,18 \text{ m}^2 \quad (121)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7,18 \text{ m}^2 \cdot \left(0,305 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (122)$$

$$P_{teor} = 31 \text{ W} \quad (123)$$

Uzme li se u obzir 5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,295 \text{ m/s} \quad (124)$$

$$A = 8,11 \text{ m}^2 \quad (125)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 8,11 \text{ m}^2 \cdot \left(0,295 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (126)$$

$$P_{teor} = 31 \text{ W} \quad (127)$$

Uzme li se u obzir 5,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,282 \text{ m/s} \quad (128)$$

$$A = 8,80 \text{ m}^2 \quad (129)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 8,80 m^2 \cdot \left(0,282 \frac{m}{s}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (130)$$

$$P_{teor} = 29 W \quad (131)$$

#### 5.2.4. Profil 2 – 20.6.2024.

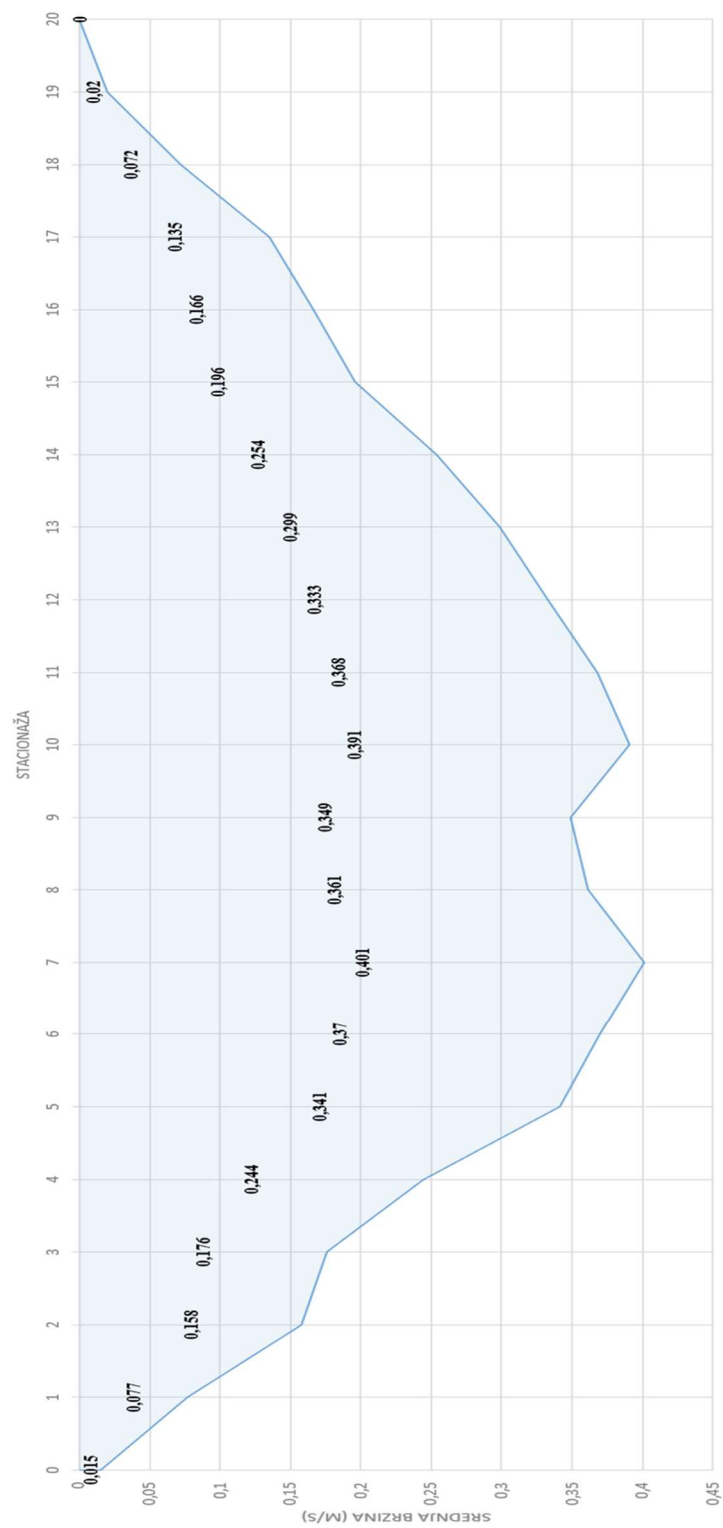
Obrađeni podaci za profil 2 rijeke Bednje nalazi se u tablici 5. Mjerenja su provedena dana 20.6.2024.

Tablica 5. Obrađeni podaci na profilu 2 – 20.6.2024.

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Srednja brzina (m/s)
0	0,5	0,015
1	0,5	0,077
2	0,5	0,158
3	0,5	0,176
4	0,5	0,244
5	0,5	0,341
6	0,5	0,37
7	0,5	0,401
8	0,5	0,361
9	0,5	0,349
10	0,5	0,391
11	0,5	0,368
12	0,5	0,333
13	0,5	0,299
14	0,5	0,254
15	0,5	0,196
16	0,5	0,166
17	0,5	0,135
18	0,5	0,072
19	0,5	0,02
20	0,5	0

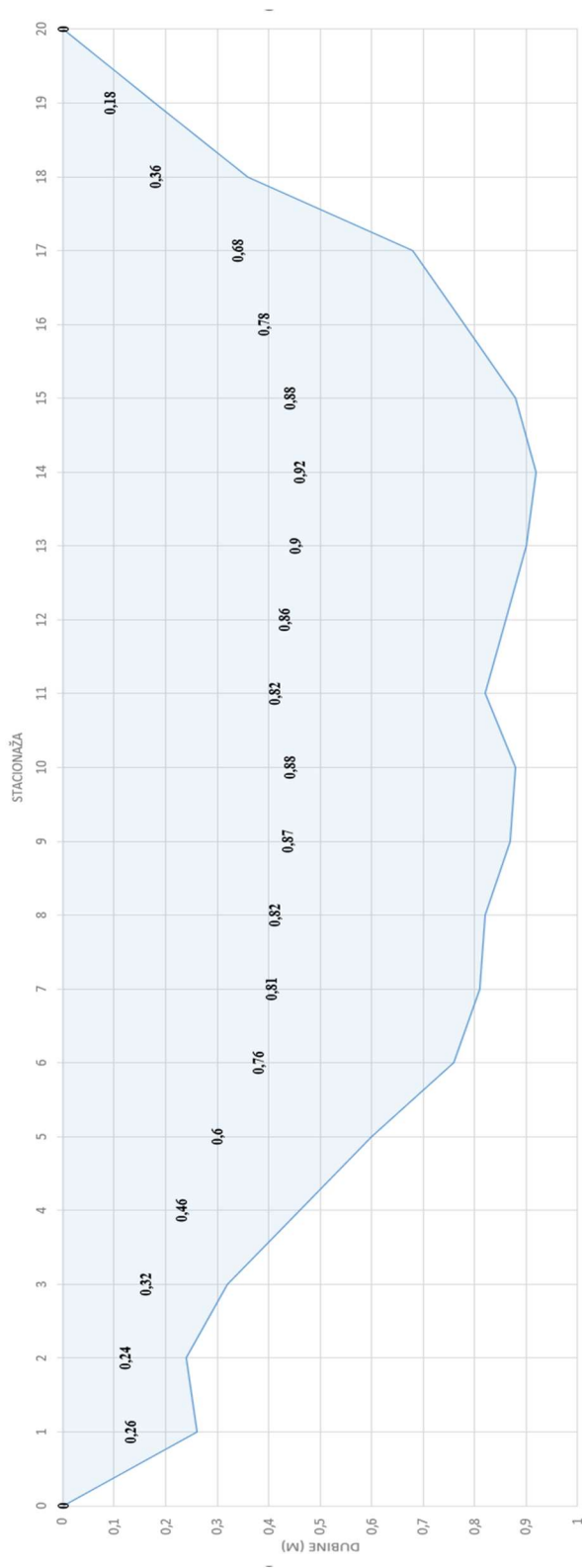
Nadalje, prikaz srednjih brzina nalazi se na grafu prikazanom na slici 42, a na slici 43 nalazi se prikaz dubina po stacionažama.

Prikaz srednjih brzina na lokaciji u Lovrentovcu za profil 2 - 20.6.2024.



Slika 42. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 2 – 20.6.2024.

Prikaz dubina po stacionažama u Lovrentovcu za profil 2 - 20.6.2024.



Slika 43. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 2 – 20.6.2024.

Za izračun snage turbina koje koriste kinetičku energiju vode potrebno je pronaći prema profilu najveću srednju brzinu, potom je potrebna površina dobivena zbrajanjem površina između određenih stacionaža.

Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži 7 i iznosi 0,401 m/s. U sljedećem se koraku podrazumijeva uzeti razmak između stacionaža, koji iznosi 0,5 m, lijevo i desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode dobije se prosjekom, odnosno aritmetičkom sredinom:

$$v_{sr} = \frac{0,37+0,401+0,361}{3} = 0,377 \text{ m/s} \quad (132)$$

Ukupna površina (135) u ovom slučaju dobiva se zbrajanjem površina između stacionaže 6 i 7 (133) te stacionaže 7 i 8 (134):

$$A_1 = 0,785 \cdot 0,5 = 0,39 \text{ m}^2 \quad (133)$$

$$A_2 = 0,815 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ m}^2 \quad (134)$$

$$A = A_1 + A_2 = 0,39 \text{ m}^2 + 0,40 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ m}^2 \quad (135)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli (3):

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,8 \text{ m}^2 \cdot \left(0,377 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (136)$$

$$P_{teor} = 6 \text{ W} \quad (137)$$

Daljnji postupak proračuna je istovjetan kao i u prethodnom potpoglavlju 5.2.1.

$$v_{sr} = \frac{0,341+0,37+0,401+0,361+0,349}{5} = 0,364 \text{ m/s} \quad (138)$$

Ukupna površina (143) u ovom slučaju dobiva se:

$$A_1 = 0,785 \cdot 0,5 = 0,39 \text{ m}^2 \quad (139)$$

$$A_2 = 0,815 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ m}^2 \quad (140)$$

$$A_3 = 0,68 \cdot 0,5 = 0,34 \text{ m}^2 \quad (141)$$

$$A_4 = 0,845 \cdot 0,5 = 0,42 \text{ m}^2 \quad (142)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,56 \text{ m}^2 \quad (143)$$

Nakon prikupljenih i izračunatih svih podataka, snaga iznosi prema formuli:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,56 \text{ m}^2 \cdot \left(0,364 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (144)$$

$$P_{teor} = 11 \text{ W} \quad (145)$$

Uzme li se u obzir 1,5 metar lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,244+0,341+0,37+0,401+0,361+0,349+0,391}{7} = 0,351 \text{ m/s} \quad (146)$$

$$A_5 = 0,53 \cdot 0,5 = 0,26 \text{ m}^2 \quad (147)$$

$$A_6 = 0,875 \cdot 0,5 = 0,44 \text{ m}^2 \quad (148)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 2,26 \text{ m}^2 \quad (149)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,26 \text{ m}^2 \cdot \left(0,351 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (150)$$



$$P_{teor} = 15 \text{ W} \quad (151)$$

Uzme li se u obzir 2 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = \frac{0,176+0,244+0,341+0,37+0,401+0,361+0,349+0,391+0,368}{9} = 0,333 \text{ m/s} \quad (152)$$

$$A_7 = 0,39 \cdot 0,5 = 0,19 \text{ m}^2 \quad (153)$$

$$A_8 = 0,85 \cdot 0,5 = 0,42 \text{ m}^2 \quad (154)$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 = 2,88 \text{ m}^2 \quad (155)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,88 \text{ m}^2 \cdot \left(0,333 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (156)$$

$$P_{teor} = 16 \text{ W} \quad (157)$$

Uzme li se u obzir 2,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,317 \text{ m/s} \quad (158)$$

$$A = 4,00 \text{ m}^2 \quad (159)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,00 \text{ m}^2 \cdot \left(0,317 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (160)$$

$$P_{teor} = 19 \text{ W} \quad (161)$$

Uzme li se u obzir 3 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,298 \text{ m/s} \quad (162)$$

$$A = 4,44 \text{ m}^2 \quad (163)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,44 \text{ m}^2 \cdot \left(0,298 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (164)$$

$$P_{teor} = 18 \text{ W} \quad (165)$$

Uzme li se u obzir 3,5 metra lijevo i desno od mjesta gdje se nalazi najveći iznos srednje brzine vode, dobije se:

$$v_{sr} = 0,276 \text{ m/s} \quad (166)$$

$$A = 5,48 \text{ m}^2 \quad (167)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,48 \text{ m}^2 \cdot \left(0,276 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \cdot 0,3 \quad (168)$$

$$P_{teor} = 17 \text{ W} \quad (169)$$

Sumarno prikazani svi dobiveni podaci nalaze se u tablici 6.

Tablica 6. Sumarni prikaz svih rezultata po profilima

PROFIL 1 - 6.6.2024.								
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m
Brzine (m/s)	0,470	0,457	0,452	0,451	0,438	0,418	0,405	0,389
Površine (m <sup>2</sup> )	0,68	1,41	2,04	2,99	4,18	5,41	6,7	7,74
Snaga (W)	11	20	28	41	53	59	67	68

PROFIL 2 - 6.6.2024.					
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m
Brzine (m/s)	0,548	0,534	0,524	0,485	0,442
Površine (m <sup>2</sup> )	0,74	1,38	2,04	2,68	3,76
Snaga (W)	18	31	44	46	49

PROFIL 1 - 20.6.2024.											
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	4,5m	5m	5,5m
Brzine (m/s)	0,349	0,339	0,341	0,342	0,341	0,336	0,328	0,315	0,305	0,295	0,282
Površine (m <sup>2</sup> )	0,51	1,03	1,56	2,08	3,08	4,43	5,38	6,28	7,18	8,11	8,8
Snaga (W)	3	6	9	13	18	25	28	29	31	31	29

PROFIL 2 - 20.6.2024.							
Širine (m)	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m
Brzine (m/s)	0,377	0,364	0,351	0,333	0,317	0,298	0,276
Površine (m <sup>2</sup> )	0,8	1,56	2,26	2,88	4	4,44	5,48
Snaga (W)	6	11	15	16	19	18	17

### 5.3. Proračun snage hidroelektrane koja koristi potencijalnu energiju vode

#### 5.3.1. Izračun snage po profilima

Kod proračuna snage hidroelektrane, gdje se koristi potencijalna energija vode za izračun su potrebni podaci prema formuli (1).

Za razliku od turbina koje koriste kinetičku energiju vode gdje se za učinkovitost turbine uzima 30%, kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode učinkovitost turbine uzima se 80% [30].

U tablici 7 nalaze se svi podaci koji su potrebni za proračun snage. Za svaki od profila vrijednosti protoka se razlikuju. Kod profila 1 vrijednost protoka iznosi 3,18 m<sup>3</sup>/s na dan 6.6.2024., za profil 2 vrijednost protoka je 3 m<sup>3</sup>/s istog dana, a 20.6.2024. za profil 1 vrijednost protoka je 1,75 m<sup>3</sup>/s, dok je za profil 2 izmjerjen protok od 1,77 m<sup>3</sup>/s tog dana 20.6.2024.

Uzimajući u obzir da je profil 1 mjereni uzvodno, a profil 2 mjereni kod mosta uviđaju su određene razlike u izmjenjenim vrijednostima protoka. Profili su izmjereni početkom lipnja, te krajem lipnja 2024.

Razlike koje se uviđaju u vrijednostima protoka upućuju da je početkom lipnja bio povećan dotok vode, što je zapravo i bilo za očekivati jer je u prethodnom razdoblju zabilježena veća količina padalina na širem području.

Snaga je izračunata ovisno o ostvarenom padu koji je promjenjiva veličina podložna promjenama.

Tablica 7. Izračunate snage za profile 1 i 2

Profil	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
1 - 6.6.2024.	3,18	1000	9,81	0,5	0,8	12470
				0,75		18706
				1		24941
				1,25		31176
				1,5		37411
				1,75		43647
				2		49882

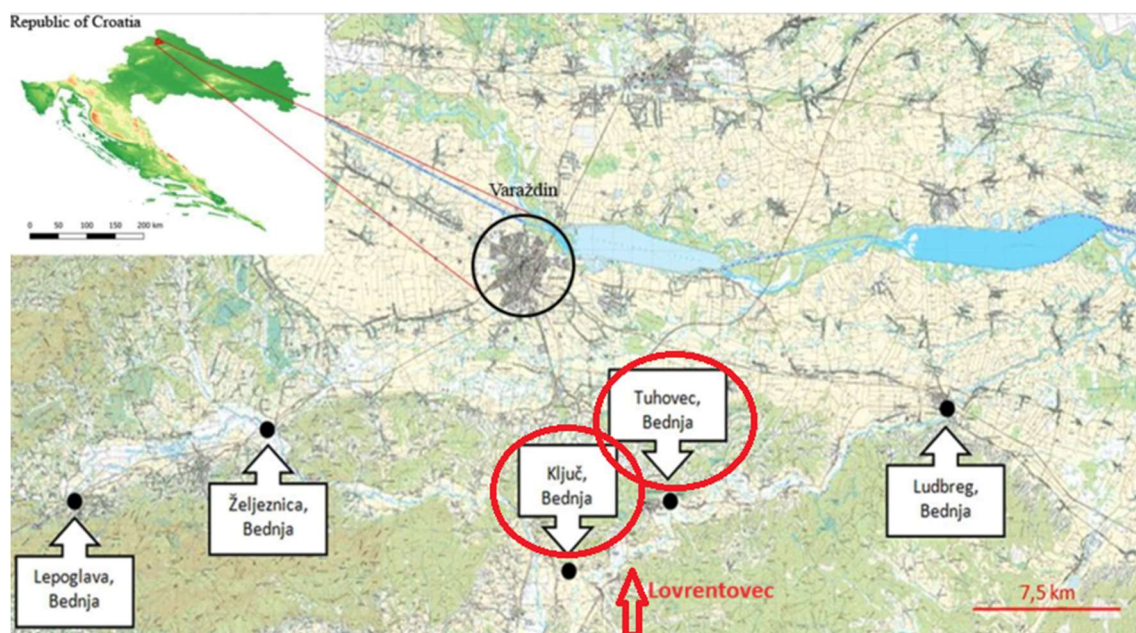
Profil	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
2 - 6.6.2024.	3,00	1000	9,81	0,5	0,8	11760
				0,75		17640
				1		23520
				1,25		29401
				1,5		35281
				1,75		41161
				2		47041

Profil	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
1 - 20.6.2024	1,75	1000	9,81	0,5	0,8	6875
				0,75		10312
				1		13750
				1,25		17187
				1,5		20625
				1,75		24062
				2		27499

Profil	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
2 - 20.6.2024	1,77	1000	9,81	0,5	0,8	6934
				0,75		10401
				1		13867
				1,25		17334
				1,5		20801
				1,75		24268
				2		27735

### 5.3.2. Izračun snage na hidrološkim postajama Ključ i Tuhovec

Lokacija na kojoj su izvršena mjerenja u Lovrentovcu nalazi se između hidroloških postaja Ključ i Tuhovec. Lovrentovec se nalazi nizvodno od hidrološke postaje Ključ, a uzvodno od postaje Tuhovec (slika 44).



Slika 44. Prikaz hidroloških postaja Ključ i Tuhovec [21]

Prema podacima na stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a) [31] sektora za hidrologiju, prema razdoblju od 2014. pa do 2023. iščitane su vrijednosti maksimalnih i minimalnih protoka na hidrološkim postajama Ključ i Tuhovec izmjenjenih za svaku od godinu u određenom razdoblju kao što je prikazano u tablici 8.

Tablica 8. Vrijednosti maksimalnih i minimalnih srednjih dnevnih protoka na postajama Ključ i Tuhovec kroz razdoblje od 2014.-2023.godine [31].

GODINA	KLJUČ		TUHOVEC	
	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Qmin (m <sup>3</sup> /s)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Qmin (m <sup>3</sup> /s)
2014	80,62	1,40	123,6	1,70
2015	77,75	1,14	84,38	1,63
2016	71,88	0,81	75,69	0,92
2017	95,87	0,88	101,5	1,23
2018	81,98	0,78	86,77	0,92
2019	78,15	1,11	85,63	0,97
2020	46,23	1,56	43,89	1,84
2021	63,82	0,91	66,55	1,16
2022	43,97	0,50	50,64	0,16
2023	85,65	1,11	112,5	1,09
Prosjeck:	72,59	1,02	83,12	1,16

Nadalje, dobivenom prosječnom vrijednošću za maksimalni protok kroz određeno razdoblje te prosječnom vrijednošću za minimalni protok za određeno razdoblje moguće je krenuti u izračun snage ovisno o maksimalnom i minimalnom protoku rijeke Bednje kroz hidrološke postaje Ključ i Tuhovec.

Za hidrološku postaju Ključ vrijednost prosječnog maksimalnog dnevnog protoka kroz određeno razdoblje iznosi 72,59 m<sup>3</sup>/s, dok je vrijednost prosječnog minimalnog dnevnog protoka 1,02 m<sup>3</sup>/s. S druge strane, za hidrološku postaju Tuhovec vrijednost prosječnog maksimalnog dnevnog protoka iznosi 83,12 m<sup>3</sup>/s, a za prosječni minimalni dnevni protok vrijednost protoka je 1,16 m<sup>3</sup>/s.

Vrijednosti maksimalnog i minimalnog dnevnog protoka kod postaje Ključ su manje naspram vrijednosti istih protoka za postaju Tuhovec.

Snaga (tablica 9) je izračunata prema formuli (1) za svaku postaju zasebno:

Tablica 9. Izračunate snage za postaje Ključ i Tuhovec.

Postaja Ključ	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
Qmax	72,59	1000	9,81	0,5	0,8	284851
				0,75		427277
				1		569702
				1,25		712128
				1,5		854553
				1,75		996979
				2		1139404

Postaja Ključ	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
Qmin	1,02	1000	9,81	0,5	0,8	4000
				0,75		6000
				1		8000
				1,25		10000
				1,5		12000
				1,75		14000
				2		16001

Postaja Tuhovec	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
Qmax	83,12	1000	9,81	0,5	0,8	326143
				0,75		489215
				1		652287
				1,25		815358
				1,5		978430
				1,75		1141501
				2		1304573

Postaja Tuhovec	Protok (m <sup>3</sup> /s)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Ubrzanje sile teže (m/s <sup>2</sup> )	Neto pad (m)	Učinkovitost (%)	P (W)
Qmin	1,16	1000	9,81	0,5	0,8	4556
				0,75		6834
				1		9112
				1,25		11389
				1,5		13667
				1,75		15945
				2		18223



## 6. Analiza dobivenih rezultata

Za promatranu lokaciju utvrđene su snage za svaku pojedinu turbinu, odnosno turbinu koja koristi kinetičku energiju vode i onu koja koristi potencijalnu energiju vode. Utvrđeno je da su snage za turbinu koja koristi potencijalnu energiju vode dosta veće naspram turbina koje bi koristile kinetičku energiju vode. Dobivene vrijednosti kod snage MHE koja koristi potencijalnu energiju vode veće su za više od 100% naspram vrijednosti koje su dobivene kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode.

Isto tako, ako se usporede rezultati, vidljivo je da se, kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode, brzine smanjuju kako se širina između lamela povećava, a s time ulazne površine se konstantno povećavaju te raste i sama snaga kinetičke turbine.

Prema rezultatima, kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode, odnosno dobivenim vrijednostima snage vidljivo je da se povećanjem ostvarenog pada povećava i sama vrijednost snage. Naime, što je veći protok to će biti i veća snaga. Najveće vrijednosti snage dobivene su kod profila 1 zato jer je i kod profila 1 najveći izmjereni protok na dan 6.6.2024. godine.

Potom, najveće vrijednosti snage na temelju srednjih dnevnih maksimalnih i minimalnih protoka (vrijednosti preuzete sa stranica DHMZ-a) dobivene su kod hidrološke postaje Tuhovec za maksimalni protok na toj lokaciji. Isto tako, ako se usporede rezultati vidljivo je da su i vrijednosti snage za minimalni protok veće na lokaciji u Tuhovcu nego kod Ključa.

Raspon snage za potencijalne turbine leži u veličini odabranog pada, odnosno visine pregrade, koji se kreće u rasponu od 0,5 m pa do 2 m, što je zapravo i promjenjiva veličina koja se može regulirati, ovisno o raspoloživom kapacitetu vodotoka, odnosno raspoloživoj visini, tako da se izbjegnu prelijevanja vode. Na vrijednosti snage kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode ulogu igra i veličina protoka. Potrebno je uzeti u obzir i da povećanje visine pregrade povećava i opterećenje na zapornicu, s obzirom na hidrostatski i hidrodinamički tlak vode.

Kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode, logično, vrijednosti ovise o samoj brzini vode na različitim dijelovima vodotoka. Za izračun snage kod kinetičkih turbina korištene su srednje brzine vode što direktno utječe na same rezultate. Vidljivo je i da su brzine najveće na sredini poprečnog presjeka korita vodotoka, dok brzine padaju kako se kreće prema rubu korita sa svake strane obale. Kod kinetičkih turbina, odnosno izračuna snage vidljivo je da povećanjem ulazne površine povećava se i sama snaga turbine. Proračunate snage hidroelektrana koje koriste kinetičku energiju vode dobivene su za niski vodostaj, odnosno male protoke u odnosu na cijelu godinu, budući da su mjerenja rađena u sušnom periodu godine. Za očekivati je da se sa povećanjem protoka povećavaju i srednje brzine tečenja vode, što uz povećanje ulazne brzine, povećava snagu takvih turbina. Ovakav proračun zahtijeva i mjerenja protoka i brzina u periodu godine sa većim protocima (kišni periodi), uz određivanje složenih veza između protoka i brzine, kao i površine poprečnih presjeka, što izlazi izvan okvira tj. svrhe i namjene ovog diplomskog rada.

## 7. Zaključak

Ovim radom cilj je bio ustanoviti hidroenergetski potencijal rijeke Bednje u naselju Lovrentovec za gradnju turbina koje koriste kinetičku ili potencijalnu energiju vode. Na određenoj lokaciji provedena su potrebna mjerenja da bi se potencijal utvrdio. Rezultati pokazuju da bi postojanje male hidroelektrane na ovom području bio moguć. Iako su vrijednosti na strani turbina koje koriste potencijalnu energiju vode poznato je da su te iste turbine skuplje kod izgradnje, odnosno očekuju se veća početna ulaganja u takvo postrojenje. Turbine koje koriste potencijalnu energiju vode iako s velikim ulagačkim resursima kasnije ne zahtijevaju puno održavanja i dodatnih troškova. S druge strane, kod turbina koje koriste kinetičku energiju vode izračunata je manja snaga no prednost ovakve gradnje leži u manjim početnim ulaganjima s konstantnim održavanjima no takva postrojenja je puno lakše staviti u pogon i konstantno kontrolirati njihov rad.

Dobivenim rezultatima za turbine koje koriste kinetičku energiju vode vidljivo je da je brzina vodotoka promjenjiva i ovisi o protoku, odnosno količini padalina u širem području oko rijeke Bednje te su time i rezultati, koji su izvršeni u dva navrata, jedan početkom lipnja, drugi krajem lipnja 2024.godine, različiti.

Na hidrološkim postajama u Tuhovcu i Ključu dobivene su vrijednosti prosječnih veličina za maksimalni i minimalni srednji dnevni protok koji je potreban za izračun snage kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode. Pošto je lokacija u Lovrentovcu na pola puta između Ključa i Tuhovca, rezultati se podudaraju s tezom da bi kod Lovrentovca vrijednosti snage za turbine koje koriste potencijalnu energiju vode trebale biti veće nego u Ključu te manje od vrijednosti snage na hidrološkoj postaji Tuhovec.

U svakom slučaju, u vrijeme kad su izražene posljedice klimatskih promjenama na svim aspektima života ulaganje u obnovljive izvore energije postaje jedno od najvažnijih tema današnjice. Iako postoji pad u izgradnji većih hidroelektrana, ovdje nastupa mjesto malim hidroelektranama koje se mogu graditi na različitim lokacijama i mogu služiti kao svakako bolje i manje štetno rješenje naspram većih hidroelektrana.

Zbog svojih brojnih prednosti male hidroelektrane pružaju mogućnost za što čišći okoliš i jeftiniju energiju. Svaka mala hidroelektrana može pomoći u zaštiti od poplava i ne postoji zahtjev za velikom potrebnom površinom. Mogućnosti za pronalazak lokacije za gradnju malih hidroelektrana su u sve većem porastu, no čovječanstvo se treba puno više uključiti u takve projekte, a ponajprije ključ leži u edukaciji o takvim vrstama postrojenja, njihovim mogućnostima, prednostima, manama i boljitku kojim mogu pridonijeti okolišu.

## 8. Literatura

- [1] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, <https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573>, datum pristupa: 8.4.2024.
- [2] Đurin, B., Vodni sustavi: Materijali za nastavu iz kolegija Vodni sustavi, Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, Varaždin, 2024.
- [3] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, <https://enciklopedija.hr/clanak/hidraulicni-strojevi>, datum pristupa 8.4.2024.
- [4] Obnovljeni drveni most u Lovrentovcu, <https://www.varazdinska-zupanija.hr/vijesti/u-naselju-lovrentovec-u-varazdinskim-toplicama-obnovljen-drveni-most-ostecen-u-potresu-ukupne-vrijednosti-422-tisuce-eura.html>, datum pristupa 8.4.2024.
- [5] Bioteka – udruga za promicanje biologije i srodnih znanosti, <https://www.bioteka.hr/modules/okolis/article.php?storyid=20>, datum pristupa 9.4.2024.
- [6] Shema hidroelektrane, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>, datum pristupa 8.4.2024.
- [7] Babić, M., Rad hidroelektrane s tri agregata, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2017.
- [8] Bubalo, A., Torlak, M., Shematski prikaz dovodnog sistema vode, Efekti konstruktivnih i radnih parametara na hidrauličke procese u vodostanu, Rim, 2019.
- [9] Štimac, M., Projekt male hidroelektrane, Diplomski rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Pula, 2022.
- [10] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/francisova-turbina>, datum pristupa 10.4.2024.
- [11] Čarija, Z., Vodne turbine: Radni materijal predavanja iz kolegija Hidraulički strojevi
- [12] Franjić, K., „Turbina, vodna“, Tehnička enciklopedija, 13.svezak Ter-Ž, 1997., str. 263

- [13] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kaplanova-turbina>, datum pristupa: 10.4.2024.
- [14] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/peltonova-turbina>, datum pristupa 12.4.2024.
- [15] Šolc, Leopold., Zgradimo majhno hidroelektrarno (3.del.), Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije, Ljubljana, 1983.
- [16] Energy Education, [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Turgo\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Turgo_turbine), datum pristupa 12.4.2024.
- [17] Shematski prikaz Turgo turbine, <https://www.turbinesinfo.com/turgo-turbines/>, datum pristupa 12.4.2024.
- [18] Turbina s križnim protokom, Wikipedija, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_s\\_kri%C5%BEnim\\_protokom](https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbina_s_kri%C5%BEnim_protokom), datum pristupa 13.4.2024.
- [19] Kutnjak, A.: Vlastita zbirka fotografija snimljenih na terenu u Lovrentovcu, Varaždin, 2024.
- [20] Sontek, <https://www.ysi.com/flowtracker2>, datum pristupa: 17.6.2024.
- [21] Petrić, H., O nekim naseljima u porječju rijeke Bednje tijekom srednjeg i početkom ranog novog vijeka, Povijesne teme, Izvorni znanstveni rad, Koprivnica – Zagreb, 2007., <https://hrcak.srce.hr/file/104278>, datum pristupa 24.4.2024.
- [22] Leskovar, K., Mrakužić, P., Meaški, H., Evaluacija daljinski opaženog produkta oborina u hidrološkom modelu sliva Bednje, Građevinar 2021, <https://hrcak.srce.hr/file/374256>, datum pristupa 24.4.2024.
- [23] Počakal, M., Hidrografske veličine porječja Bednje, Geografski glasnik, str. 86-88., <https://hrcak.srce.hr/file/58769>, datum pristupa 24.4.2024.
- [24] Crkvenčić, I., Bednja, Enciklopedija Jugoslavije, sv 1 (A-Biz), str. 539., Zagreb, 1980.
- [25] Paladin, M., Vidaković, Šutić, R., Vrcelj, B., Ričković V.; Izrada karata opasnosti i izračun šteta na slivu rijeke Bednje, Hrvatske vode na investicijskom valu, Hrvatske vode, Opatija, 2015.

- [26] Zaninović, K., Gajić-Čapka M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić A., Cindrić K., Cvitan L.; Klimatski atlas Hrvatske: 1961.-1990.; 1971.-2000., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2008.
- [27] Lovrentovec, Wikipedija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Lovrentovec>, datum pristupa 27.4.2024.
- [28] Lovrentovec, Karta Hrvatske, <https://www.auto-karta-hrvatske.com/lovrentovec/>, datum pristupa 27.7.2024.
- [29] Google Earth, <https://earth.google.com/web/@46.63087021,16.10409829,-18755.36477931a,57867.49822956d,90y,-29.65585134h,71.14831549t,0r/data=OgMKATA>, datum pristupa 27.7.2024.
- [30] Kos, Ž.; Đurin, B.; Dogančić, D.; Kranjčić, N. Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics. *Water* **2021**, *13*, 1777. <https://doi.org/10.3390/w13131777>
- [31] Državni hidrometeorološki zavod, Zavod za hidrologiju, Hidrološke postaje, <https://hidro.dhz.hr/>, datum pristupa 27.7.2024.

## 9. Popis slika

Slika 1. Most u Lovrentovcu [4] .....	3
Slika 2. Podjela hidroelektrana [2] .....	4
Slika 3. Shema hidroelektrane [6].....	5
Slika 4. Učinkovitost turbine [2].....	6
Slika 5. Shema dovodnog sistema uz prikaz vodostana [8].....	7
Slika 6. Reakcijske turbine [7].....	8
Slika 7. Propelerna turbina [2].....	9
Slika 8. Francis turbina [10] .....	10
Slika 9. Kaplan turbina [13].....	11
Slika 10. Akcijske turbine [7] .....	12
Slika 11. Shematski prikaz Peltonove turbine [15].....	13
Slika 12. Shematski prikaz Turgo turbine [17].....	14
Slika 13. Ossbergova turbina [18] .....	15
Slika 14. Radno područje turbina [2].....	15
Slika 15. MHE s tlačnim cjevovodom [2] .....	16
Slika 16. MHE sa sektorskim zatvaračima [2] .....	17
Slika 17. Koraci za projekt MHE [2].....	18
Slika 18. SonTek Flow Tracker 2 [19] .....	20
Slika 19. Dijelovi mjernog uređaja [19] .....	21
Slika 20. Prikaz mjerenja u vodotoku [19] .....	23
Slika 21. Sliv rijeke Bednje[22].....	24
Slika 22. Hidrogram rijeke Bednje od te i te godine [2].....	27
Slika 23. Položaj Lovrentovca na karti Hrvatske [27].....	28
Slika 24. Most u Lovrentovcu – lokacija terenskog istraživanja[19] .....	29
Slika 25. Lovrentovec [28] .....	30
Slika 26. Lokacija mjerenja (uzvodni profil)[19] .....	31
Slika 27. Pogled na mjerenje u Lovrentovcu[19] .....	31
Slika 28. Prikaz položaja mjernih profila 1 i 2[29].....	32



Slika 29. Prikaz rezultata – osnovne informacije za profil 1 .....	33
Slika 30. Prikaz rezultata – grafički prikaz protoka, brzina te dubina za profil 1 .....	35
Slika 31. Prikaz rezultata – tablično prikazane mjerne točke, vrijeme, lokacija, metoda mjerjenja, dubina, brzina, površina i protok za profil 1 .....	36
Slika 32. Upozorenja i pogreške kod mjerjenja za profil 1.....	37
Slika 33. Prikaz rezultata – grafički prikaz protoka, brzina te dubina za profil 2 .....	38
Slika 34. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 1 – 6.6.2024.....	40
Slika 35. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 1 – 6.6.2024.....	41
Slika 36. Prikaz izračuna između stacionaže 7 i 8.....	42
Slika 37. Prikaz izračuna između stacionaže 8 i 9.....	43
Slika 38. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 2 – 6.6.2024.....	48
Slika 39. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 2 – 6.6.2024.....	49
Slika 40. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 1 – 20.6.2024.....	54
Slika 41. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 1 – 20.6.2024.....	55
Slika 42. Grafički prikaz srednjih brzina po stacionažama – profil 2 – 20.6.2024.....	62
Slika 43. Grafički prikaz dubina po stacionažama – profil 2 – 20.6.2024.....	63
Slika 44. Prikaz hidroloških postaja Ključ i Tuhovec [21].....	71

## 10. Popis tablica

Tablica 1. Prikaz statističkih pokazatelja srednjih protoka na vodomjernim postajama [22] .....	26
Tablica 2. Obradeni podaci na profilu 1 (uzvodni profil) – 6.6.2024.....	39
Tablica 3. Obradeni podaci za profil kod mosta 2 – 6.6.2024.....	47
Tablica 4. Obradeni podaci na profilu 1 – 20.6.2024. ....	53
Tablica 5. Obradeni podaci na profilu 2 – 20.6.2024. ....	61
Tablica 6. Sumarni prikaz svih rezultata po profilima.....	68
Tablica 7. Izračunate snage za profile 1 i 2 .....	70
Tablica 8. Vrijednosti maksimalnih i minimalnih protoka na postajama Ključ i Tuhovec kroz razdoblje od 2014.-2023.godine [30].....	72
Tablica 9. Izračunate snage za postaje Ključ i Tuhovec.....	73

