

# Energetski i turistički potencijal mlinova na rijekama

---

Tuksar, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:933074>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-29**

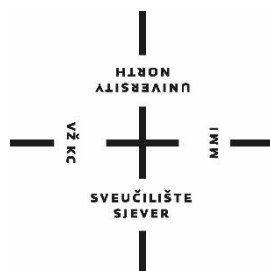


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



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



DIPLOMSKI RAD 64/GRD/2022

**ENERGETSKI I TURISTIČKI POTENCIJAL**  
**MLINOVA NA RIJEKAMA**

Lucija Tuksar, 2153/336

Varaždin, rujan 2022.



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



DIPLOMSKI RAD 64/GRD/2022

**ENERGETSKI I TURISTIČKI POTENCIJAL**  
**MLINOVA NA RIJEKAMA**

Studentica:

Lucija Tuksar, 2153/336

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2022.

# Prijava diplomskog rada

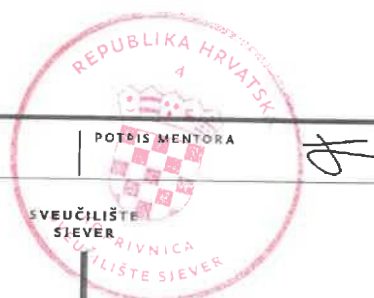
## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

|                             |   |         |                     |
|-----------------------------|---|---------|---------------------|
| ODJEL                       | Odjel za graditeljstvo  |         |                     |
| STUDIJ                      | diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo <input type="checkbox"/> |         |                     |
| PRISTUPNIK                  | Lucija Tuksar   | JMBAG   | 0336021718          |
| DATUM                       | 09.09.2022.   | KOLEGIJ | Vodni sustavi       |
| NASLOV RADA                 | Energetski i turistički potencijal mlinova na rijekama              |         |                     |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Energy and tourist potential of the mills on the rivers             |         |                     |
| MENTOR                      | Bojan Đurin   | ZVANJE  | Izvanredni profesor |
| ČLANOVI POVJERENSTVA        | 1. doc.dr.sc. Danko Markovinović                                    |         |                     |
|                             | 2. izv.prof.dr.sc.Bojan Đurin                                       |         |                     |
|                             | 3. doc.dr.sc. Domagoj Nakić   |         |                     |
|                             | 4. doc.dr.sc. Željko Kos-zamjenski                                  |         |                     |
|                             | 5. _____  |         |                     |

## Zadatak diplomskog rada

|      |  |
|------|--|
| BROJ | 64/GRD/2022  |
| OPIS | Diplomski rad prikazuje energetski potencijal korištenja mlinova u obliku vodnih kola na nekoliko rijeka u Hrvatskoj. Analizirati će se turistički potencijal na istim lokacijama, uzevši u obzir prirodne karakteristike u bližoj i daljnjoj okolini mlinova, kao i samih građevina unutar kojih se nalaze mlinovi. Predloženi okvirni sadržaj rada po poglavljima je: <ul style="list-style-type: none"><li>- Uvod</li><li>- Hidroenergija i hidroelektrane</li><li>- Vodenice</li><li>- Prikaz analiziranih lokacija</li><li>- Proračun mogućih snaga turbina u obliku vodnih kola</li><li>- Turistički potencijal mlinova na rijekama</li><li>- Zaključak</li><li>- Literatura</li></ul> |

ZADATAK URUČEN 12.09.2022.



**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, Lucija Tuksar pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivo autorica diplomskog rada pod naslovom „Energetski i turistički potencijal mlinova na rijekama“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:

*Lucija Tuksar*Lucija Tuksar

(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, Lucija Tuksar neopozivo izjavljujem da sam suglasna s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom „Energetski i turistički potencijal mlinova na rijekama“ čiji sam autorica.

Studentica:

*Lucija Tuksar*Lucija Tuksar

(vlastoručni potpis)

# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. HIDROENERGIJA I HIDROELEKTRANE.....</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1. Hidroenergija.....  | 3         |
| 2.2. Hidroelektrane.....   | 3         |
| 2.3. Podjela hidroelektrana.....   | 4         |
| 2.4. Turbine.....  | 5         |
| 2.5. Metode proračuna snage i proizvodnje električne energije za hidroelektrane općenito.....              | 9         |
| 2.6. Metode proračuna snage i proizvodnje električne energije za hidroelektrane u obliku vodnog kola ..... | 11        |
| <b>3. VODENICE.....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1. Povijest vodenica .....   | 14        |
| 3.2. Podjela vodenica .....  | 16        |
| <b>4. PRIKAZ ANALIZIRANIH LOKACIJA .....</b>   | <b>19</b> |
| 4.1. Rijeka Plitvica – Vidovićevo mlin .....   | 19        |
| 4.2. Rijeka Bednja – Margečan .....  | 27        |
| 4.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin .....  | 39        |
| 4.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik .....  | 45        |
| <b>5. PRORAČUN MOGUĆIH SNAGA TURBINA U OBLIKU VODNIH KOLA ..</b>   | <b>53</b> |
| 5.1. Rijeka Plitvica – Vidovićevo mlin .....   | 53        |
| 5.2. Rijeka Bednja – Margečan .....  | 55        |
| 5.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin .....  | 56        |
| 5.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik .....  | 59        |
| <b>6. TURISTIČKI POTENCIJAL MLINOVA NA RIJEKAMA .....</b>  | <b>62</b> |
| 6.1. Rijeka Plitvica – Vidovićevo mlin .....   | 62        |
| 6.2. Rijeka Bednja – Margečan .....  | 64        |
| 6.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin .....  | 66        |
| 6.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik .....  | 66        |
| <b>7. ZAKLJUČAK.....</b>   | <b>68</b> |
| <b>8. LITERATURA .....</b>   | <b>70</b> |
| <b>POPIS SLIKA.....</b>  | <b>73</b> |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>  | <b>76</b> |

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu prikazan je energetska i turistička potencijal starih mlinova na četiri rijeke u Hrvatskoj; na rijeci Plitvici, rijeci Bednji, rijeci Donjoj Dobri i rijeci Muri. Stare vodenice koje su se nekad koristile za proizvodnju brašna mogu se restaurirati i koristiti za proizvodnju električne energije, uz oživljavanje i pokretanje turizma te na taj način čuvati tradiciju i baštinu starijih naraštaja. U radu se govori općenito o hidroenergiji i hidroelektranama te načinu na koji se proračunava snaga turbine i količina dobivene električne energije. Najveći naglasak u radu posvećen je vodenicama pa je tako navedena povijest nastanka i razvoj vodenica te njihova podjela. Napravljena je analiza mogućnosti rekonstrukcije mlinova/vodenica koje su ili postojale ili još postoje. To su Vidovićev mlin na rijeci Plitvici, mlin u Margečanu uz rijeku Bednju, Matin mlin na Donjoj Dobri i mlin na Muri kod Žabnika. Nakon analize svake lokacije i dobivenih potrebnih parametara, izvršen je proračun snage turbine i proračun količine proizvedene električne energije. Na kraju rada, za svaku lokaciju predloženo je na koji način iskoristiti njezin turistički potencijal.

Ključne riječi: hidroenergija, turbina, mlin, rekonstrukcija, električna energija, turizam



## **SUMMARY**

This graduate thesis shows the energy and tourist potential of old mills on four rivers in Croatia; On the Plitvica, Bednja, Donja Dobra and Mura. Old water mills used to produce flour can be restored and used to produce electricity, with revival and starting tourism, thus keeping the tradition and heritage of older generations. The paper is generally referred to as hydropower and hydroelectric power, and how the turbine power and the amount of electricity obtained are calculated. The greatest emphasis in the work is dedicated to the watermills, so the history of the emergence and development of the aquatic and their division is also mentioned. An analysis of the options for reconstruction of mills/watermills that either existed or still existed. These are Vidovic's mill on the Plitvice River, a mill in Margečan along the Bednja River, Matin Mlin on the Donja Dobra, and mill on the Mura near Zabnik. After the analysis of each location and the necessary parameters obtained, the turbine power budget and the calculation of the amount of electricity produced were calculated. At the end of the work, it is proposed how to use the tourist potential for each location.

Ključne riječi: hydro energy, turbine, mill, reconstruction, electrical energy, tourism

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>A</b>                    | površina lopatice / površina poprečnog presjeka |
| <b>b</b>                    | širina lopatice                                 |
| <b>l</b>                    | duljina lopatice                                |
| <b><math>C_p</math></b>     | Betzov limit                                    |
| <b>E</b>                    | energija  |
| <b>f</b>                    | korekcijski faktor                              |
| <b>g</b>                    | ubrzanje polja sile teže                        |
| <b>HE</b>                   | hidroelektrana                                  |
| <b>T</b>                    | turbina   |
| <b>K</b>                    | faktor gubitka uslijed turbulencije             |
| <b>P</b>                    | snaga turbine                                   |
| <b><math>P_{in}</math></b>  | ulazna snaga                                    |
| <b><math>P_{kin}</math></b> | kinetička energija                              |
| <b><math>P_T</math></b>     | snaga na vratilu turbine                        |
| <b>Q</b>                    | protok  |
| <b>t</b>                    | vrijeme rada                                    |
| <b><math>v_1</math></b>     | brzina vode                                     |
| <b><math>v_2</math></b>     | brzina lopatica                                 |
| <b><math>v_m</math></b>     | prosječna tangencijalna brzina lopatice         |
| <b><math>\eta</math></b>    | učinkovitost energetske transformacije          |
| <b><math>\rho</math></b>    | gustoća vode                                    |



# 1. UVOD

Na planeti Zemlji, voda je element koji je neophodan za život, kako za ljudski tako i za životinjski i biljni. Bez vode bi došlo do narušavanja cijelog ekosustava na Zemlji što bi utjecalo na egzistenciju ljudi, flore i faune. Još od davnina ljudi su se naseljavali kraj rijeka, potoka i jezera jer im je uvijek bila dostupna pitka voda, hrana (ribe, školjke, divlje životinje i dr.).

Voda spada u obnovljive izvore energije. Njezina se energija još u davnim vremenima iskorištavala za razne gospodarske djelatnosti. Iskorištavala se za plovidbu, mljevenje žita tj. proizvodnju brašna, navodnjavanje i sl., a danas se najčešće koristi za dobivanje električne energije.

U radu će se analizirati vrlo značajan izum, koji je danas u sve manjoj uporabi i propada, odnosno nije u svojoj prvobitnoj upotrebi. Riječ je o vodenicama koje je potrebno očuvati u turističko-kulturne svrhe, a također i koristi i za proizvodnju električne energije. Nekad su služile za proizvodnju brašna, a danas je veliki broj napušten. Vodenice je moguće restaurirati na način da se izgradi sustav koji će okretati turbinu i proizvoditi električnu energiju jer vodenica je u stvari i jedan od oblika turbine. Ta obnova ujedno može biti dobar potencijal za turizam.

U nastavku rada biti će navedena kratka povijest nastanka vodenica, s njihovom podjelom. Opisati će se princip proizvodnje električne energije pomoću vodenica, najosnovniji opis i podjela hidroelektrana i turbina, kao i osnovni izrazi za izračun proizvodnje električne energije.

Analizirati će se četiri lokacije u Hrvatskoj, s obzirom na mlinove/vodenice koje su ili postojale ili još postoje. To su Vidovićev mlin na rijeci Plitvici, Margečan uz rijeku Bednju, Matin mlin na Donjoj Dobri i mlin na Muri kod Žabnika. Od toga, postojeći mlinovi su mlin na Muri kod Žabnika i Matin mlin na Donjoj Dobri, dok su zapušteni mlinovi, tj. mlinovi koji se ne koriste, nisu u funkciji ili su demontirani na lokaciji u Margečanu uz rijeku Bednju i Vidovićev mlin (Baza 2) na rijeci Plitvici. Uz proračun

potencijalnih snaga hidroelektrana i vodenica, predložiti će se i sadržaji vezani uz turistički potencijal svake analizirane lokacije.

## **2. HIDROENERGIJA I HIDROELEKTRANE**

### **2.1. Hidroenergija**

Hidroenergija je obnovljiv izvor energije koju daje voda. Potencijalna energija, odnosno tok vode koji se dovodi dovodnim kanalima ili cjevovodima, a koji je usmjeren prema turbini pretvara se u kinetičku energiju. Dolazi do okretanja turbine gdje na taj način dolazi do pretvaranja kinetičke energije vode u mehaničku energiju. Mehanička energija iz turbine u generatoru se pretvara u električnu energiju. Vratilo turbine u generatoru okreće magnet unutar zavojnice od bakrene žice, a pomak magneta u blizini vodiča dovodi do nastanka električne energije. Energetski sustavi koji se koriste za proizvodnju električne energije pomoću vode nazivaju se hidroelektrane [1].

### **2.2. Hidroelektrane**

Hidroelektrane su najrasprostranjeniji i najznačajniji oblik obnovljivih izvora energije. Smještaj hidroelektrane ovisi o topografskim, geološkim, hidrogeološkim i hidrološkim uvjetima. Važni su podaci o vrsti i veličini hidroelektrane, kao i briga o zaštiti okoliša. Svaka hidroelektrana, ovisno o tipu sadrži neke osnovne dijelove, a to su: brana, vodozahvat, dovodni cjevovod, vodostan (vodna komora), tlačni cjevovod, strojarnica, odvodni cjevovod.

Prednosti hidroelektrane su da za proizvodnju energije ne trebaju goriva nego ih pokreće voda, a koja je još uvijek besplatna u tu svrhu, to znači da ujedno i nema proizvodnje emisije ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) odnosno emisije stakleničkih plinova i ne spadaju u značajne sudionike globalnog zagrijavanja, hidroenergija je čista i nema otpada, imaju veliku učinkovitost pretvorbe energije vode u električnu energiju (do 90 %), pregradnjom rijeka i izgradnjom akumulacija doprinosi se gospodarskom rastu (turizmu, navodnjavanju, vodoopskrbi i dr.).

Nedostaci hidroelektrane su to što proizvodnja energije ovisi o oborinama tijekom godine i oscilaciji vodostaja, zbog toga je potrebno graditi akumulacije i brane, a njihova izgradnja ima negativan ekološki i društveni utjecaj. Negativni ekološki utjecaj bio bi gubitak šuma, prirodna staništa, pojedinih biljnih i životinjskih vrsta, utjecaj na prirodne akumulacije i depresije koje zadržavaju poplavne vode, dolazi do poremećaja prijenosa vode i prirodnih suspendiranih čestica, može doći do pojave i naseljavanja novih biljnih i životinjskih vrsta. Negativni društveni utjecaj bio bi zauzimanje terena, iseljavanje stanovništva, utjecaj na hidrološki ciklus, povećanje isparavanja te mijenjanje uobičajenog riječnog režima i ciklusa kruženja vode, dolazi do stvaranja nanosa, mijenja se kemijski sastav vode jer se diže ili spušta razina podzemne vode, zbog povećanog djelovanja sa površine povećani je rizik od bakterijskog onečišćenja.

U Hrvatskoj i u svijetu puno je područja s velikim hidroenergetskim potencijalom, ali za razvoj hidroenergetike vrlo velika, a ponekad i pretjerana briga za životnu okolinu predstavlja prepreku. Takvi problemi mogu se osigurati izvedbom prolaza, ribljih staza i redovnim obogaćivanjem vode kisikom te se na taj način može održavati biljni i životinjski svijet.

Najveći štetni utjecaj imaju velike hidroelektrane, stoga pažnju treba posvetiti izgradnji manjih hidroelektrana koje nemaju značajniji štetni utjecaj na okoliš ili im je utjecaj gotovo nikakav [1].

### **2.3. Podjela hidroelektrana**

Hidroelektrane se mogu podijeliti u više grupa ovisno sa kojeg stajališta ih se promatra, a u nastavku će se navesti neke podjele:

Podjela prema veličini pada [1]:

- Mali padovi – niskotlačne → pad do 25 m
- Srednji padovi – srednjotlačne → pad od 25 m do 200 m
- Visoki padovi – visokotlačne → pad veći od 200 m.

Podjela prema snazi [1]:

- Velike → veće od 10 MW
- Male → od 500 kW do 10 MW
- Mini → od 100 kW do 500 kW
- Mikro → od 5 kW do 100 kW
- Piko → manje od 5 kW.

Podjela prema načinu korištenja vode [2]:

- Protočne → one koriste prirodni protok vode, a koji se mijenja ovisno o oborinama.
- Akumulacijske → voda dolazi iz akumulacijskog jezera, a služi za spremanje viška vode u kišnom razdoblju te za povećanje broja dana normalnog protoka u sušnom razdoblju.

Podjela prema smještaju strojarnice [2]:

- Pribranske → strojarnica je smještena neposredno uz branu, unutar brane ili kao dio brane. Kod njih najčešće nema dovodni i odvodni cjevovod te vodostan.
- Derivacijske → strojarnica je smještena dalje od brane, odnosno zahvat vode i strojarnica su prostorno odvojeni i cijevima se voda dovodi do turbina.

Strojarnicom se naziva objekt u kojem se nalaze turbine, generatori i ostala neophodna oprema.

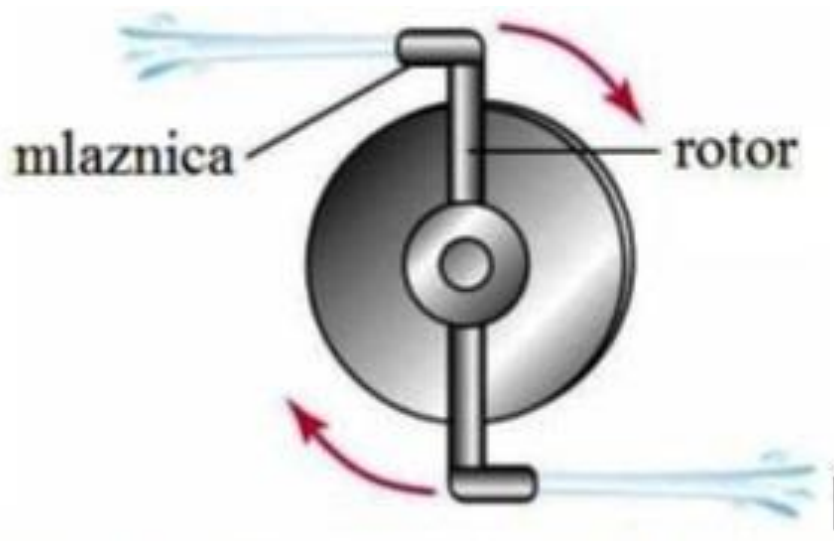
## **2.4. Turbine**

Osnovna svrha turbine je pretvorba kinetičke energije vode u mehaničku energiju rotirajućih dijelova turbine. Danas je na tržištu široki izbor različitih turbina jer imamo različite uvjete koje treba ispuniti u pogledu konfiguracije terena tj. različite kombinacije protoka i pada. Odabir tipa, oblika i dimenzija turbine ovisi o netu padu, protoku, brzini vrtnje same turbine kao i o njezinoj cijeni, a isto tako i o cijeni



sveukupne investicije. Današnja osnovna podjela vodnih turbina je na reakcijske i akcijske (impulsne) turbine [3].

Karakteristika reakcijske turbine je to što je potpuno uronjena u vodu, a snaga proizlazi iz pada tlaka na turbini te se obodna brzina pretvara u snagu vratila (Slika 1) [3].



Slika 1. Reakcijska turbina [3]

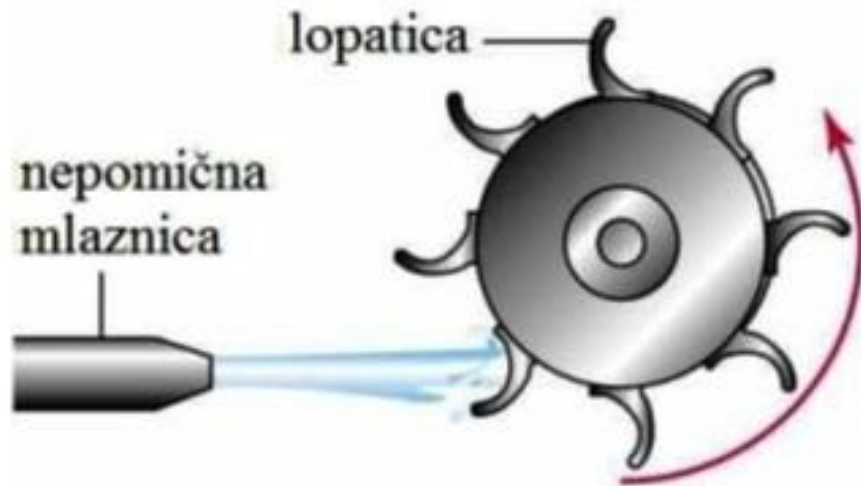
U reakcijske turbine spadaju (Slika 2) [3]:

- Francis
- Kaplan
- Propelema



Slika 2. Vrste reakcijskih turbina [3]

Princip rada akcijske turbine je taj da turbina pretvara kinetičku energiju vode u električnu energiju na način da mlaz vode pogađa lopatice turbine. Karakteristika je to što nema pada tlaka na turbini (Slika 3) [3].



Slika 3. Akcijska turbina [3]

U akcijske turbine spadaju (Slika 4) [3]:

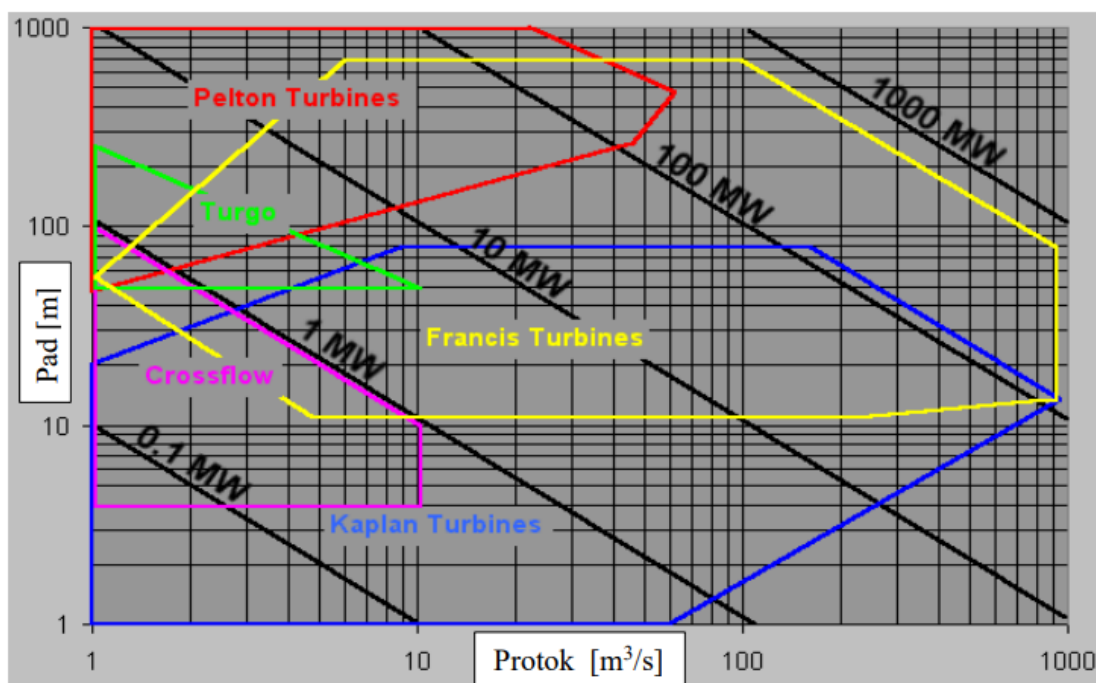
- Pelton
- Turgo
- Crossflow



Slika 4. Vrste akcijskih turbina [3]

Odabir turbine ovisi o visini pada i protoku. Tako se za manje padove koriste reakcijske turbine s aksijalnim protokom poput Kaplanove ili Propelerne turbine, za srednje padove se može koristiti reakcijska turbina radijalnog protoka kao što je Francis turbina, a za velike padove se može koristiti akcijska turbina poput Peltonove turbine s jednom ili više mlaznica.

U nastavku na slici 5 prikazan je dijagram koji prikazuje radna područja za različite vrste turbina. Drugim riječima, u ovisnosti o protoku i neto padu, odabire se prikladna turbina [3].

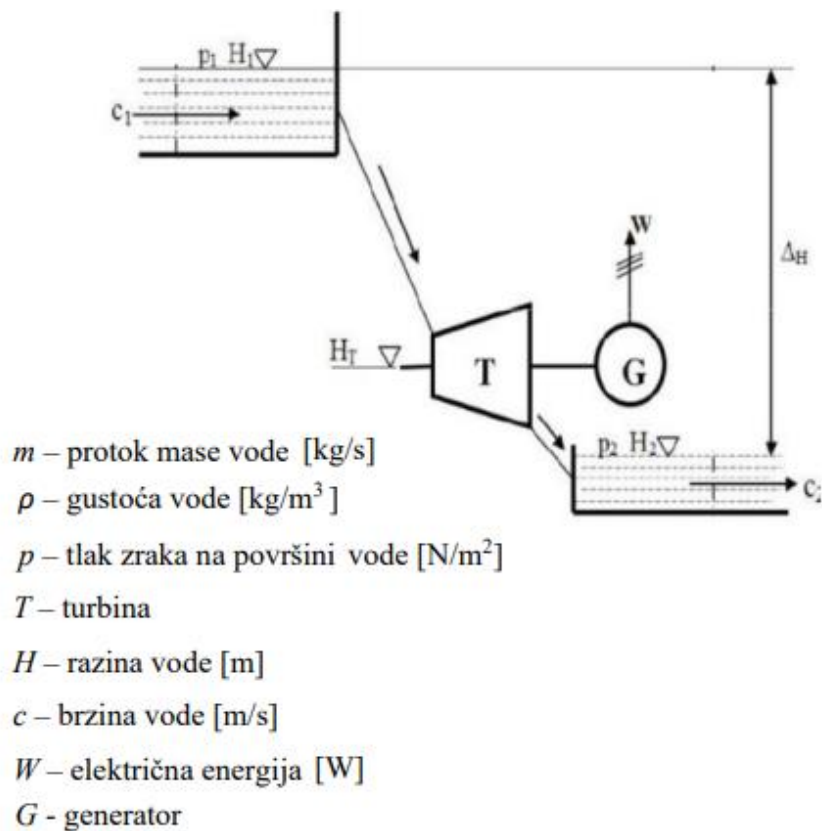


Slika 5. Dijagram: Radna područja za različite turbine [17]

## 2.5. Metode proračuna snage i proizvodnje električne energije za hidroelektrane općenito

Način proizvodnje energije kod vodenica sličan je načinu kao i kod standardnih hidroelektrana. Tok vode se dovodi na turbinu, kod vodenica na mlinsko kolo, gdje se potencijalna energija pretvara u kinetičku, a kinetička energija uz rotaciju kola u mehaničku energiju, a koja se u generatoru pretvara u električnu energiju. Prednost proizvodnje energije na taj način je što praktički nema štetnog utjecaja na okoliš, nema potrebe izgradnje brana i akumulacija te se koristi prirodni tok vode [1]. Ukoliko je vodno kolo očuvano, tada već postoji turbina što svakako smanjuje troškove gradnje i/ili rekonstrukcije novog vodnog kola.

Na slici 6 prikazan je princip proizvodnje električne energije pomoću hidroelektrane, a takav sličan način primjenjuje se i kod proizvodnje električne energije pomoću vodnog kola [5].



Slika 6. Princip proizvodnje električne energije pomoću hidroelektrane [5]

Općeniti izraz za energiju koju masa tekućine ima na ulazu u turbinu, ako se izostave gubici strujanja, primjenom zakona očuvanja energije za poznati maseni protok vode glasi [5]:

$$E = m \cdot g \cdot \Delta H [J] \quad (1)$$

Ako se maseni protok izrazi kao produkt volumnog protoka  $Q$  m<sup>3</sup>/s i gustoće  $\rho$  kg/m<sup>3</sup> dobije se izraz za vodnu snagu mase tekućine na ulazu u turbinu tj. izraz za snagu hidroelektrane, a koji glasi [5]:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H [W] \quad (2)$$

Potrebno je uvesti koeficijent čiji je naziv stupanj učinkovitosti energetske transformacije. Izračunava se kao omjer snage dobivene na vratilu turbine  $P_T$  i snage vode  $P$  na ulazu u turbinu. Razlog tome je jer je raspoloživa snaga vode na vratilu turbine manja od snage vode na ulazu u turbinu za iznos gubitaka koji nastaju uslijed strujanja vode kroz samu turbinu. Izraz glasi [5]:

$$\eta = P_T/P \quad (3)$$

Prema tome izraz za izračun raspoložive snage na vratilu turbine koje koriste potencijalnu energiju vode glasi [5]:

$$P_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta [W] \quad (4)$$

pri čemu se stupanj učinkovitosti ( $\eta$ ) vodnih turbina kreće se u rasponu od 0,75-0,92.

Izraz za izračun raspoložive snage kinetičke turbine, a isto tako i vodeničkog kola, koje koriste kinetičku energiju vode glasi [5]:

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p [W] \quad (5)$$

pri čemu je stupanj učinkovitosti ( $C_p$ ) kinetičkih turbina, a samim time i vodnih turbina najčešće oko 0,30.

## 2.6. Metode proračuna snage i proizvodnje električne energije za hidroelektrane u obliku vodnog kola

Za proračun snage hidroelektrane, osim prije navedenih osnovnih jednadžbi (4) i (5), u nastavku će se analizirati i druge jednadžbe za izračun snage vodnog kola. U većini slučajeva, navedene jednadžbe se mogu koristiti pri svakoj dubini vode. Kod korištenja jednadžbi za proračun izlazne snage turbina u obliku vodnog kola uključuju se iskustvena pravila struke, odnosno pretpostavke [17].

One su:

- kretanje vode je jednodimenzionalno, promatrano je i uzeto u obzir stacionarno stanje
- samo jedna lopatica djeluje s kretanjem vode
- lopatica je okomita na vektor brzine vode [17].

Najjednostavniji način za izračun je taj da je teorija momenta primijenjena na brzinu okretanja lopatice  $v_2$  kod neograničenog protoka, uz zanemarivanje hidrostatičke sile koju tvori razlika u visini vode na lopatici. Jednadžba glasi [17]:

$$P = \rho \cdot A \cdot (v_1 - v_2)^2 \cdot v_2 \quad (6)$$

pri čemu je  $\rho$  gustoća vode,  $A$  uronjeno područje lopatice,  $v_1$  ulazna brzina vode i  $v_2$  brzina okretanja lopatice vodnog kola. Teoretski model prikazuje najveću snagu kada je omjer  $v_2/v_1$  jednak 0,33. Pojednostavljenjem prijašnje jednadžbe (6), dobije se općenita jednadžba za proračun snage turbina koja koristi kinetičku energiju [17]:

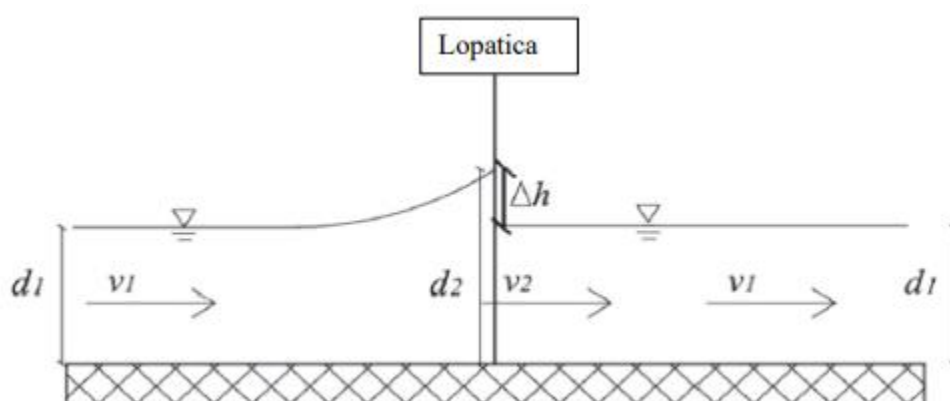
$$P_{kin} = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad (7)$$

Uvrštenjem koeficijenta učinkovitosti turbina  $C_p$  u jednadžbu (7), dobije se izraz koji predstavlja izlaznu snagu turbine u obliku vodenice [17]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot C_p \quad (8)$$

Vrijednost  $C_p$  je funkcija ulazne brzine  $v_1$ , odnosno brzine okretanja lopatice  $v_2$ , pri čemu omjer  $v_2/v_1$ , odnosno vrijednost  $C_p$  ima veličinu  $16/27=0.59$  (Betzov limit), dok je  $C_p = 0.296$  maksimalna vrijednost prema teoriji momenata. Kako razlika u visini između ulazne i izlazne razine vode nije uzeta u obzir, jednadžba (8) vrijedi za mlinska kola manjih dimenzija, a ne za mlinska kola ugrađena na kanalima s dubokom vodom. Drugim riječima, kada je  $v_2$  približno ili jednak  $v_1$ , onda vrijedi  $C_p = 0$ , tj. gubici se zanemaruju [17].

U nastavku na slici 7 prikazan je segment lopatice vodnog kola kod kretanja vode.



Slika 7. Grafički prikaz ponašanja mlinskog kola u plitkom toku [17]

Tok vode usmjeren je prema vodnom (mlinskom) kolu, kao posljedica uspora vode zbog dolaska do lopatice, gornja razina vode se povećava. Stoga, povećava se i razlika u visini vode, iako bi u idealnim okolnostima (bez gubitaka) ta razlika bila jednaka nuli. Uzimanjem u obzir prethodna promatranja učinkovitost vodnog kola jednaka je [17]:

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot (1 + d_1/d_2) \quad (9)$$

pri čemu je:

- $d_1$  dubina vode u neporemećenoj konfiguraciji (donja, ulazna, ali i izlazna razina)
- $d_2$  je dubina vode kod lopatice ( $d_1 < d_2$ ) [17].

Učinkovitost procijenjena putem jednadžbe (9) je veća nego ona dobivena eksperimentalnim rezultatima u odnosu na učinkovitost iz jednadžbe (8). Pri tome vrijedi da je  $0.6 < d_1/d_2 < 0.9$ . Gubici uslijed turbulencije tečenja vode mogu se procijeniti kao [17]:

$$P = \eta_{th} \cdot P_{in} - \gamma \cdot Q_l \cdot \Delta H - K \cdot v_m^3 \quad (10)$$

pri čemu je:

- $P_{in}$  – ulazna snaga,  $P_{in} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot (d_1 - d_2)$
- $\eta_{th}$  – učinkovitost procijenjena jednadžbom (9)
- $Q_l$  – protok, može se procijeniti kao  $Q_l = Q \cdot (1 - dh/\Delta H)$ , pri čemu je  $dh$  razlika kinetičkog tlaka, dok je  $\Delta H = d_2 - d_1$
- $K$  – faktor gubitaka uslijed turbulencija,  $K = 1/2 \cdot f \cdot \rho \cdot b \cdot l$ , pri čemu je  $b$  širina lopatice,  $l$  duljina oštrice, dok je  $f$  korekcijski faktor (usvaja se 2.5).
- $v_m$  – prosječna tangencijalna brzina lopatice [17].
- 

Za potrebe izračuna snage turbine koja koristi kinetičku energiju vode, tj. vodnog kola, u ovom radu, uporabiti će se jednadžba (8), a za učinkovitost kinetičke turbine usvojiti će se  $C_p = 0.30$ , odnosno 30% [17].

Količinu proizvedene električne energije  $E$  [kWh] dobije se preko formule:

$$E = P \cdot t \quad (11)$$

pri čemu je  $t$  vrijeme rada hidroelektrane [17].



## 3. VODENICE

### 3.1. Povijest vodenica

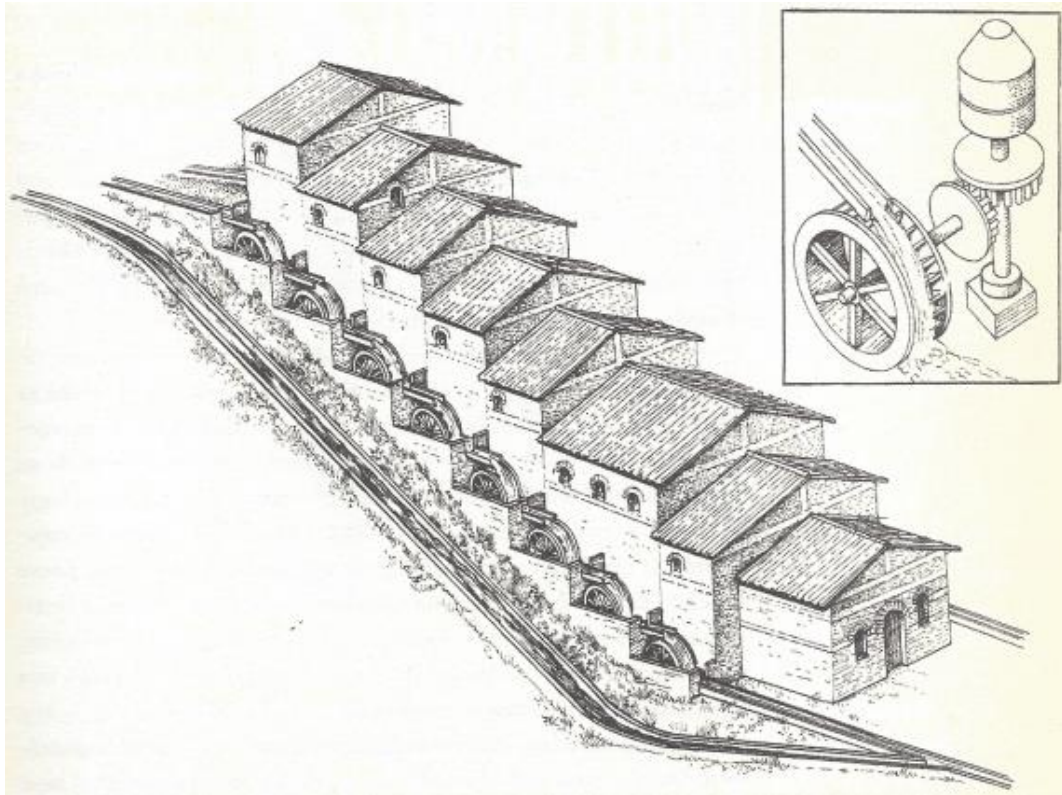
Točna povijest vodenica, kada su one nastale, odnosno tko ih je osmislio i izumio ne zna se sa sigurnošću. Izum se pripisuje Rimljanima jer ih 20 g. pr. Kr. spominje jedan njihov graditelj. Ipak najstariji izravni dokaz o rimskim vodenicama dolazi 79. godine kada je došlo do erupcije Vezuva gdje je u lavi ostao trag okomitog vodeničkog kola. Postoji jedan nešto raniji spis od grčkog geografa Strabona, koji pod kraj prvog stoljeća prije Krista opisuje bogatstva Mitridata, zemlje na crnomorskoj obali današnje Turske i u njemu spominje vodenicu: *"Njegov je dvorac bio sagrađen u Kabeiri, baš kao i vodenica, a bio je tu još i zoološki vrt te u blizini i lovište i rudnik."*[4]. Taj dvorac je sagradio Mitridatov prethodnik pa se može pretpostaviti da je vodenica sagrađena početkom prvog stoljeća prije Krista. Ističe se i Kina kao jedno od područja prvih izumitelja, ali nema dovoljno dokaza za to. Isto tako postoje podaci iz Danske da su kod Bøllea na Jutlandu pronađene brane, akumulacijska jezera, žlijebovi za dovod vode na dva horizontalna vodena kola, ali godina nastanka je neizvjesna, a pretpostavka je da su one iz prvog stoljeća nove ere ili još kasnije [4].

Bez obzira na vrijeme njihovog nastanka, tj. njihovog izuma oduvijek su imale vrlo važno ulogu u gospodarstvu, naročito u drevna vremena kada su služile za mljevenje žita. Današnjim arheološkim nalazištima zaključuje se da su one bile sastavni dio oprema vila, tvrđava i gradova diljem imperija pa do Hadrijanovog zida [4].

Najkompleksnije i najveće rimske vodenice bile su podignute oko 300. godine, u Barbégalu, kraj Arlesa na jugu današnje Francuske. Iz rijeke Durance voda se niz strmu padinu akvaduktom vodila do dva vodenička žlijeba i sa svakog se voda slijevala u kaskadama, preko osam stepenica koje su sadržavale vodno kolo. Dnevna proizvodnja bila je procijenjena na dvadeset sedam tona što je dovoljno za trideset tisuća ljudi. Najvjerojatnije je taj kompleks bio u upravi države. Na slici 8 prikazan je najveći kompleks rimskih vodenica [4].

Bizantski vojskovođa Belizar 536. godine napravio je ploveći mlin. Goti su imali vlast nad Italijom, a njegov cilj bio je osvajanje Italije radi njezinog priključenja Istočnom Rimskom Carstvu. Belizara i vojsku u Rimu su opkolili Goti i presjekli dotok vode na gradske vodenice da bi na taj način izgladnili stanovništvo. Taj čin je Belizara nadahnuo i došao je na ideju da napravi mlinove postavljene na barže usidrene na Tiboru, što je bila prevelika rijeka za njezino skretanje. Goti su niz vodu puštali niz stabala, mrtve Rimljane, a sve da upropaste Belizarov naum na način da sve zapne u kolu. No mudri vojskovođa uzvodno je postavio veliki lanac koji je zadržavao sav nanos u vodi i na taj način je grad izdržao [4].

Niz okolnosti i zbivanja u prošlosti potakle su ondašnje graditelje, vojskovođe i ostale pojedince da se snalaze i osmisle inovativne načine korištenja vodenica za potrebe pokretanja mlina da prehrane stanovništvo. Tako su se one razvijale i unaprjeđivale, no kako je već i u uvodu navedeno, danas su one u sve manjoj uporabi i propadaju. S obzirom da je vodenica vrijedan graditeljski izum njega treba očuvati, pa tako u nastavku rada slijede prijedlozi za prenamjenu vodenice koja će svojom vrtnjom proizvoditi električnu energiju [4].



*Slika 8. Najveći kompleks rimskih vodenica [4]*

### **3.2. Podjela vodenica**

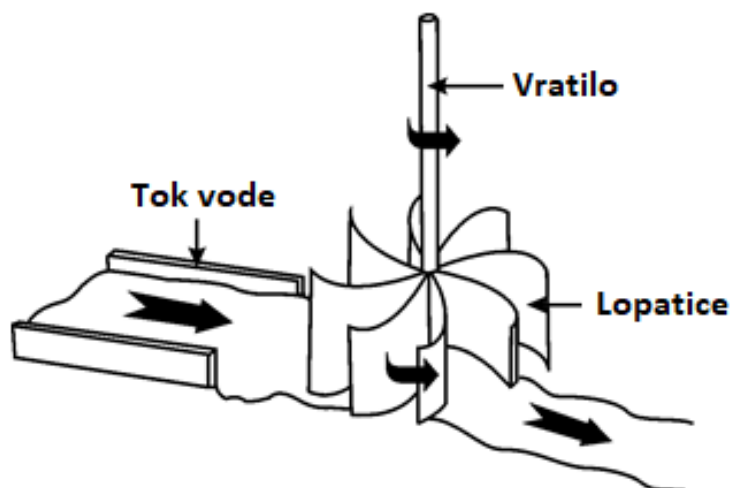
Vodenice se mogu podijeliti u odnosu na način na koji ih se promatra. Dvije su podjele i to prema položaju vratila koji prenosi snagu i vrtnju vodnog kola ili prema položaju samog vodnog kola.

U odnosu na vratilo vodnog kola, dijele se:

- Vodno kolo s horizontalnim vratilom (Slika 9)
- Vodno kolo s vertikalnim vratilom (Slika 10)



*Slika 9. Vodenica s horizontalnim vrtilom [18]*



*Slika 10. Vodenica s vertikalnim vrtilom [19]*

Podjela u odnosu na položaj vodnog kola:

- Horizontalno vodno kolo (Slika 11)
- Vertikalno vodno kolo (Slika 12)



*Slika 11. Horizontalno vodno kolo [20]*



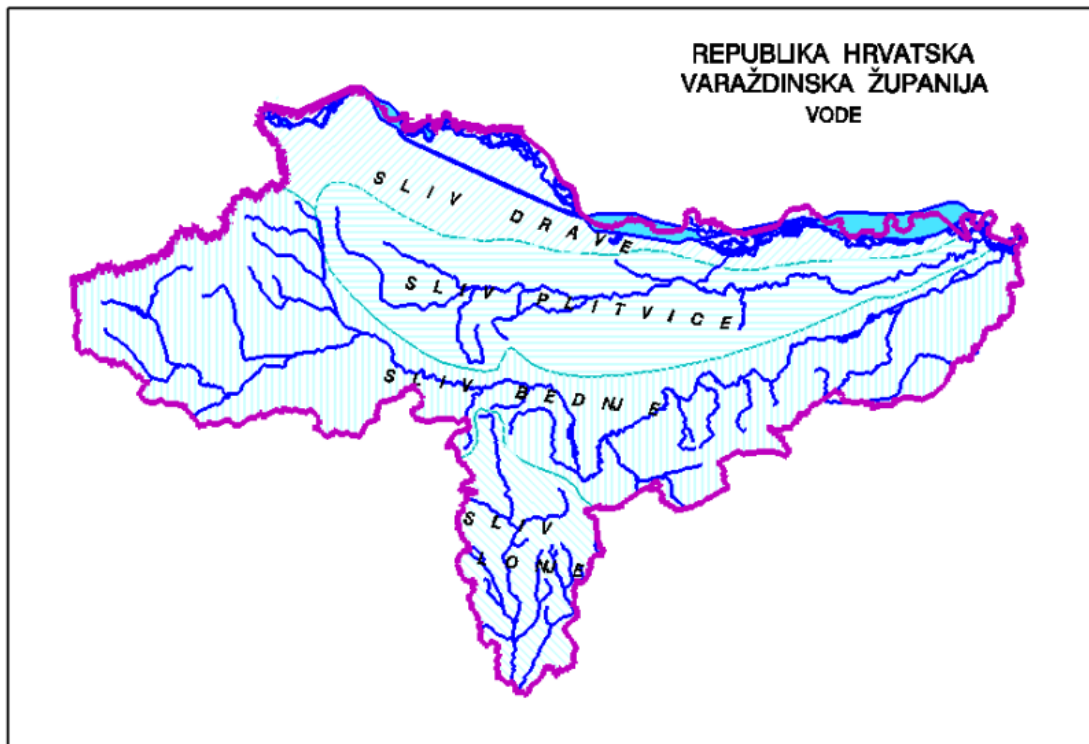
*Slika 12. Vertikalno vodno kolo [21]*

## **4. PRIKAZ ANALIZIRANIH LOKACIJA**

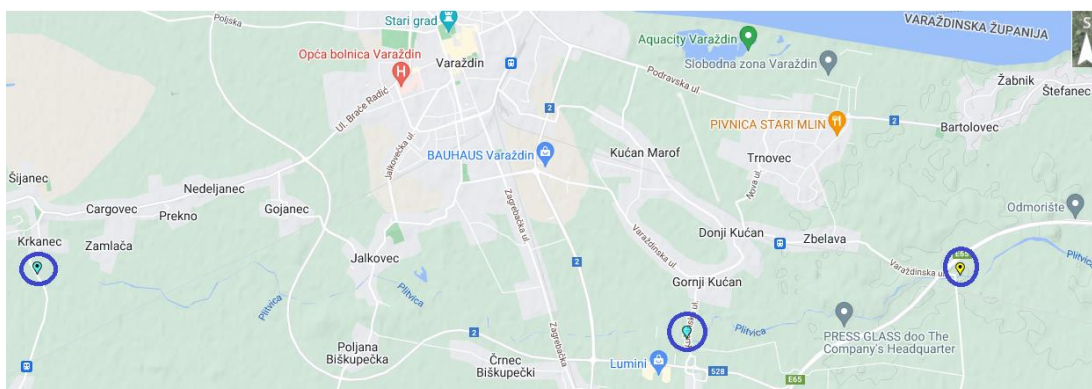
U ovom poglavlju opisat će se prostorne, hidrološke i tehničke karakteristike svake od četiri analizirane lokacije radi boljeg uvida, odnosno projekcije hidroenergetskog potencijala.

### **4.1. Rijeka Plitvica – Vidovićevo mlin**

Rijeka Plitvica nalazi se na sjeverozapadu Hrvatske, točnije, ona protječe središnjim dijelom Varaždinske županije. Plitvica je nizinska rijeka i čini desnu pritoku Drave, u koju se ulijeva kod mjesta Mali Bukovec. Smjer njezina protezanja je zapad – istok, paralelno sa vodotokom rijeke Drave. Izvire u sjeveroistočnom dijelu Maceljskog gorja, nadmorske visine oko 300 m n. m. Njezina ukupna dužina iznosi 65 km. Slivno područje Plitvice iznosi cca 144 km<sup>2</sup>, a prikazano je na slici 13. Protoci najviše ovise o intenzitetu i količini oborina na njezinom slivu jer ima kišni (pluvijalni) režim, a najveći se očekuju u proljeće i jesen nakon velikih kiša. Za mjerenje protoka na rijeci Plitvici nalaze se tri mjerne hidrološke postaje: Kneginec Donji, Krkanec i Vidovićevo mlin kod Zbelave, a prikazane su na slici 14, s lijeva na desno [6].



Slika 13. Slivno područje rijeke Plitvice [7]



Slika 14. Prikaz mjernih hidroloških postaja na rijeci Plitvici [8]

Vidovićev mlin nalazi se na dvije lokacije: Baza 1 (Spomen – muzej Vidović mlin) i Baza 2 (Vidovićev mlin) (Slika 15) [9].

Spomen – muzej Vidović mlin nalazi se u selu Gornjem Kućanu. Prije Drugog svjetskog rata u mlinu je živjelo 28 članova obitelji Vidović. Za vrijeme rata mlin je bio partizanska baza te kada su otkriveni, obitelj je završila tragičnom sudbinom. To je bio poticaj za otvaranje spomen – obilježja, uz to on je i vrijedan spomenik kulture. Od 1955. godine, rješenjem Konzervatorskog zavoda Hrvatske, nalazi se pod zaštitom. Da bi se uredio Spomen-muzej 1971. godine, izvršena je najprije adaptacija unutrašnjeg i vanjskog dijela zgrade te obnova i zaštita mlinskih postrojenja koja su bila jako dotrajala. Srušene su naknadno dozidane prostorije, zidovi su ožbukani i okrečeni. Otvoren je iste godine povodom proslave 30. godišnjice ustanka naših naroda. No u daljnjim godinama zgrada mlina je propadala. Od vlage je otpala žbuka sa zidova, a drvena građa je djelomično istrunula, a krov je prokišnjavao. Zbog toga se 1985. godine prišlo ponovnom uređenju objekta, povodom proslave Dana ustanka naroda Hrvatske, 27. srpnja 1985. godine. U njemu su izloženi dokumenti, fotografije i predmeti koji svjedoče o sudjelovanju obitelji Vidović u radničkom pokretu i NOB-u te o herojstvu i stradanju pojedinih članova ove brojne obitelji [9].

Nekoliko kilometara od tog mlina (Baza 1), u selu Zbelavi nalazio se još jedan mlin čiji su vlasnici također bili obitelj Vidović. I u tom mlinu se za vrijeme rata nalazila partizanska baza, zvana Baza 2. Danas se tu nalazi automatska mjerna limnografska postaja čija je lokacija prikazana na prijašnjoj slici 14 [9]. Budući da je vodotok rijeke Plitvice reguliran, mlin u bazi 1, koji je spomen muzej, neće se analizirati u diplomskom radu. Obraditi će se lokacija na mjestu demontiranog mlina na lokaciji Baza 2 kod mjerne postaje.





*Slika 15. Prikaz lokacije Vidovičev mlin (Baza 1 i Baza 2) [22]*

Na slici 16 prikazana je fotografija iz 1956. godine na kojoj se nalazi vlasnik mlina kod Baze 2, a u pozadini se vidi mlin. Isto tako, na slici 17 prikazana je fotografija iz 1964. godine, tada se desila poplava i vidi se kako je razina vode u vodotoku visoka. Sadašnji vlasnik kuće na lokaciji nekadašnjeg mlina kazao je da se ponovni takav vodostaj desio 50 godina kasnije, također za vrijeme poplave. Slika 16 i 17 ustupljene su od sadašnjeg vlasnika kuće na toj lokaciji. Sljedeća slika (Slika 18) prikazuje današnji izgled lokacije. Kada se usporede slike iz prošlosti, unatrag 60-ak godina, s ovim sadašnjim stanjem, vidi se da sada nedostaje prostorija koja je postojala uz kuću, odnosno demontiran je mlin u kojoj se nalazilo vodno kolo. Kao što je prije navedeno tu se nalazi i mjerna postaja što se također vidi na slici 18.



*Slika 16. Fotografija iz 1956. godine –Vidovićevo mlin (Baza 2)*

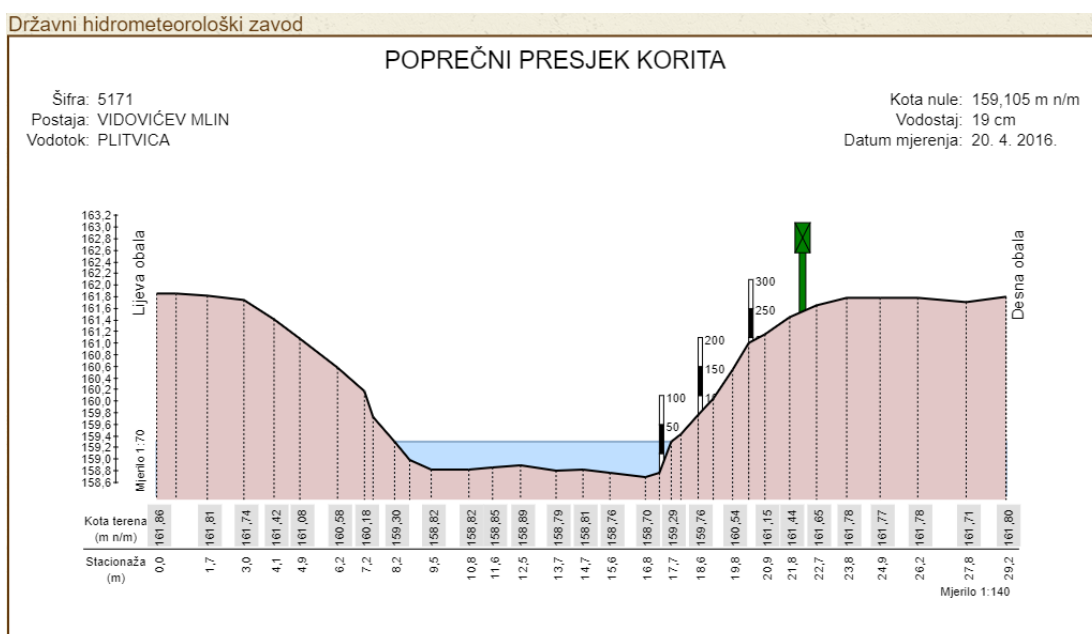


*Slika 17. Fotografija iz 1964. godine –Vidovićevo mlin (Baza 2)*



*Slika 18. Sadašnji izgled lokacije, gdje je nekad postojao mlin*

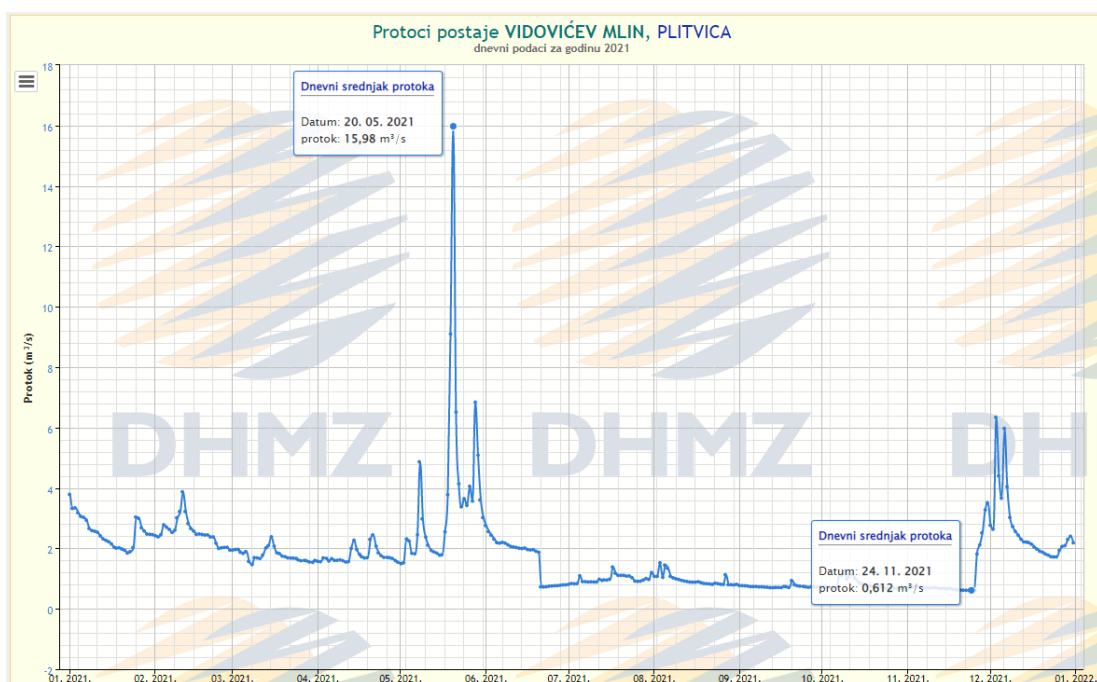
U nastavku rada na slici 19 dan je prikaz poprečnog presjeka korita vodotoka Plitvice na mjestu mjerne postaje Vidovičev mlin. Na osnovi nivograma vidljiva je promjena visine vodostaja tijekom protekle 2021. godine (Slika 20). Uočljivi su ekstremi, maksimalna i minimalna vrijednost vodostaja za analiziranu godinu pa je tako najveći, odnosno maksimalni vodostaj bio 20.05.2021. i iznosio je 129 cm, a minimalna visina vodostaja bila je 23.11.2021. i iznosila je 26 cm. Osim nivograma, dan je i hidrogram koji grafički prikazuje protok vode u ovisnosti o vremenu (Slika 21). Analiza protoka također se odnosi na 2021. godinu, a vidi se da je maksimalan protok također bio 20.05.2021. s iznosom od 15.980 m<sup>3</sup>/s, a minimalni protok izmjeren je 24.11.2021. i iznosi 0.612 m<sup>3</sup>/s.



Slika 19. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Vidovičev mlin [8]



Slika 20. Nivogram – Mjerna postaja: Vidovičev mlin [8]



Slika 21. Hidrogram – Mjerna postaja: Vidovičev mlin [8]

Analizom hidrograma vidljivo je da su srednji dnevni protoci najmanji tijekom ljetnog perioda godine. Zbog oborina i topljenja snijega, protoci su veći tijekom proljeća i zime.

## **4.2. Rijeka Bednja – Margečan**

Rijeka Bednja cijelim svojim tokom, dužine od 133 kilometara teče kroz Republiku Hrvatsku. Širina joj se kreće od 10 do 20 metara, a dubina do 3 metara [10]. Izvor joj je u Maceljskom gorju u blizini grada Trakošćana na nadmorskoj visini od 320 m n. m., no postoje i drugi navodi koji predlažu druge izvore rijeke Bednje. Ulijeva se u rijeku Dravu kao njezina desna pritoka [11].

Margečan je ivanečko naselje koje se nalazi na istočnom dijelu sjeverne strane Ivanščice, u dolini rijeke Bednje (Slika 22). Ime je dobilo po župnoj crkvi sv. Margarete. U Margečanu se nalazi mlin, koji je ujedno zaštitni znak naselja. Više se ne koristi za proizvodnju brašna, nego kao kulturno dobro koje se sve više zanemaruje, pa se današnji izgled mlina može vidjeti na slici 23. Mogu ga vidjeti prolaznici te upoznati tradiciju. U mlinu postoji etno zbirka kao podsjetnik na tradiciju i običaje, odnosno za uvid načina života u vrijeme kad je mlin bio u funkciji, početkom dvadesetog stoljeća (Slika 24). Mlinsko kolo više se ne vrti, nego je dotrajalo i propalo, nedostaju lopatice, dobilo je hrđu i mahovinu te definitivno nije u funkciji za bilo kakav oblik vrtnje (Slika 25) [12].



*Slika 22. Rijeka Bednja u naselju Margečan [13]*



*Slika 23. Današnji izgled mlina na rijeci Bednji u Margečanu*



*Slika 24. Etno zbirka u mlinu u Margečanu [12]*





*Slika 25. MliNSko kolo na mlinu u Margečanu, na rijeci Bednji, u dotrajalom stanju*

Na slici 26 i 27 vidi se vodotok rijeke Bednje i položaj mlina u odnosu na rijeku Bednju. Pretpostavka je, da je na mlin voda dolazila koritom iz rijeke Bednje i to tolikom brzinom da se morala napraviti pregrada za disipaciju energije, kojom se spriječilo erodiranje tla, ali i oštećenje vodnog kola (Slika 28). Sada je mjesto kroz koje je voda tekla pregrađeno i na taj način je onemogućen dotok vode. Tako je uz mlin revizijsko okno (šaht) tlocrtnih dimenzija 90 x 90 cm, a dubine cca 70 cm (Slika 29). Da bi se omogućilo ponovno pokretanje vodnog kola potrebno je napraviti prokop i na taj način dovesti vodu na mlin. Ukupni promjer mliNSkog kola je 390 cm, a na slici 29 i 30 vide se detaljnije dimenzije kola i kanala. Lopatice su širine 15 cm, a dužine 74 cm. Širina kanala u kojem se nalazi kolo iznosi 100 cm, a dubina 90 cm. Odvodni kanal vode nastavlja se u pravcu, dužine cca 40 m, a nadalje se podzemnim

tokom voda ulijeva u jezerce (Slika 31). Odvodni kanal je neuređen i pun vegetacije pa se kao posljedica javlja usporeni tok u kanalu, isto tako i otvor, gdje se voda ulijeva u odvodni cjevovod kojim nastavlja do jezerca, neuređeni je i premale je veličine (Slika 32).



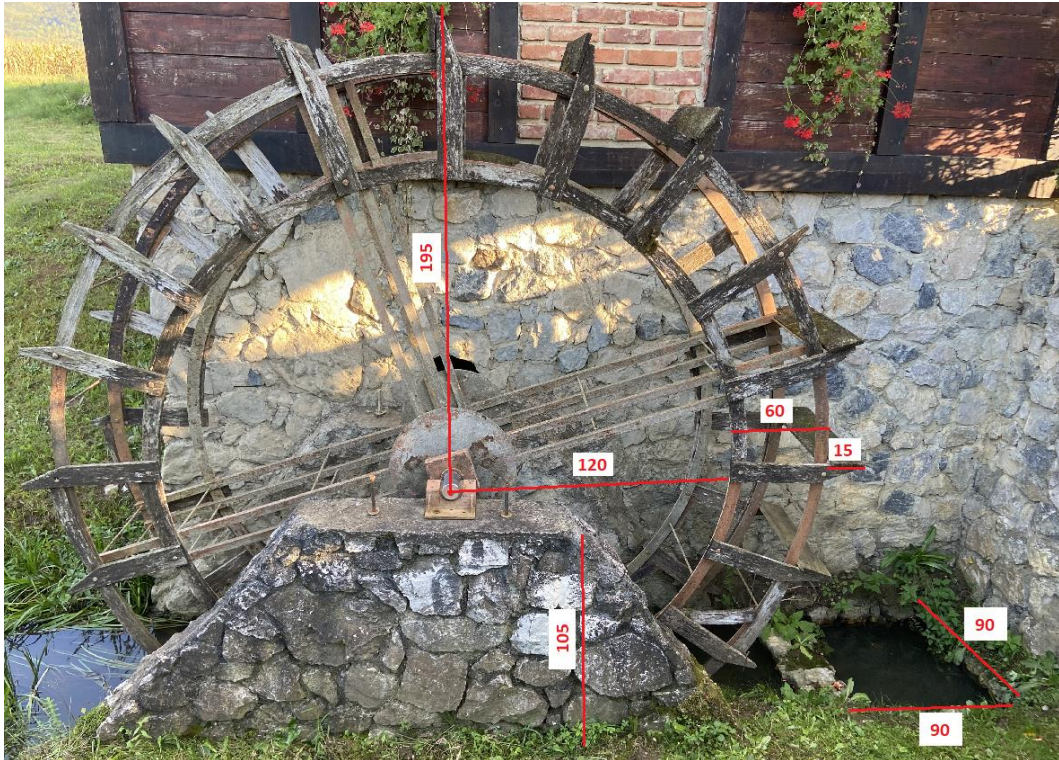
Slika 26. Tlocrtni prikaz lokacije mlina u odnosu na rijeku Bednju [22]



*Slika 27. Položaj mlina u odnosu na rijeku Bednju*



*Slika 28. Pregrada i nekadašnji smjer dotoka vode na mlinsko kolo*



*Slika 29. Prikaz dimenzija dijelova vodnog kola i šahte; dužine u cm*



*Slika 30. Prikaz dimenzija dijelova vodnog kola; dužine u cm*



*Slika 31. Shematski prikaz odvodnje vode od vodnog kola do jezerca [22]*

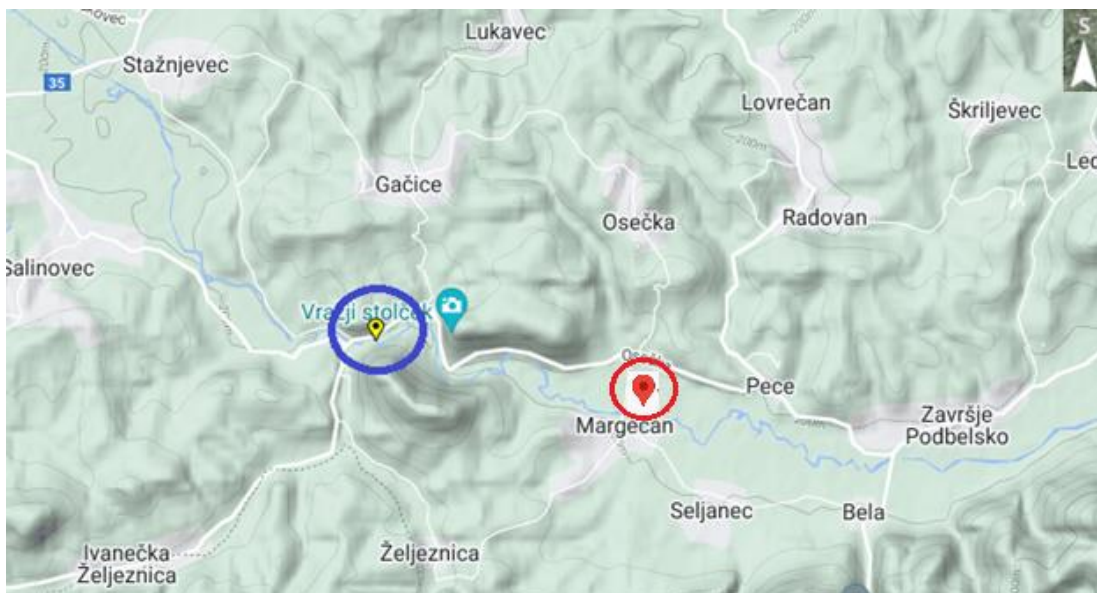


*Slika 32. Neuređeni odvodni kanal i otvor u koji se ulijeva voda u podzemni tok*

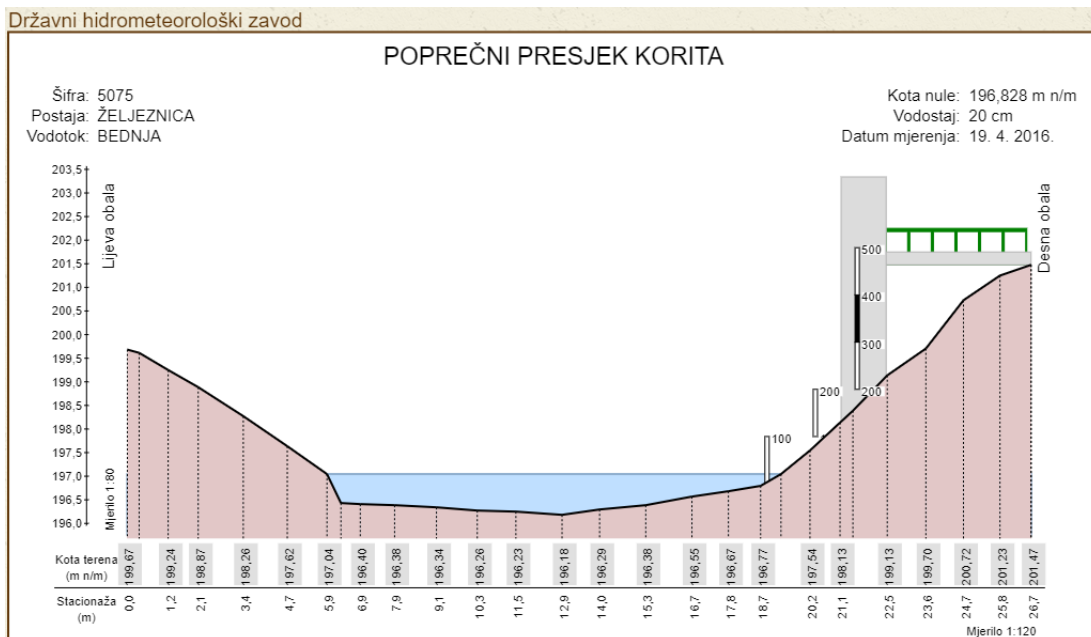
S obzirom da na lokaciji u Margečanu gdje se nalazi mlin nema mjerne postaje, podaci za analizu i proračun koristiti će se s prve najbliže mjerne postaje (Slika 33). Naziv postaje je Željeznica i to je postaja s automatskom dojavom. Na slici 34 vidi se poprečni presjek korita vodotoka Bednje na toj postaji.

Iz nivograma su preuzeti podaci o maksimalnom i minimalnom vodostaju za promatranu 2021. godinu (Slika 35). Maksimalni vodostaj koji je izmjeren na mjernoj postaji Željeznica bio je 20.05.2021. i iznosio je 205 cm, a najmanji izmjereni vodostaj bio je 15.09.2021. i iznosio je 9 cm.

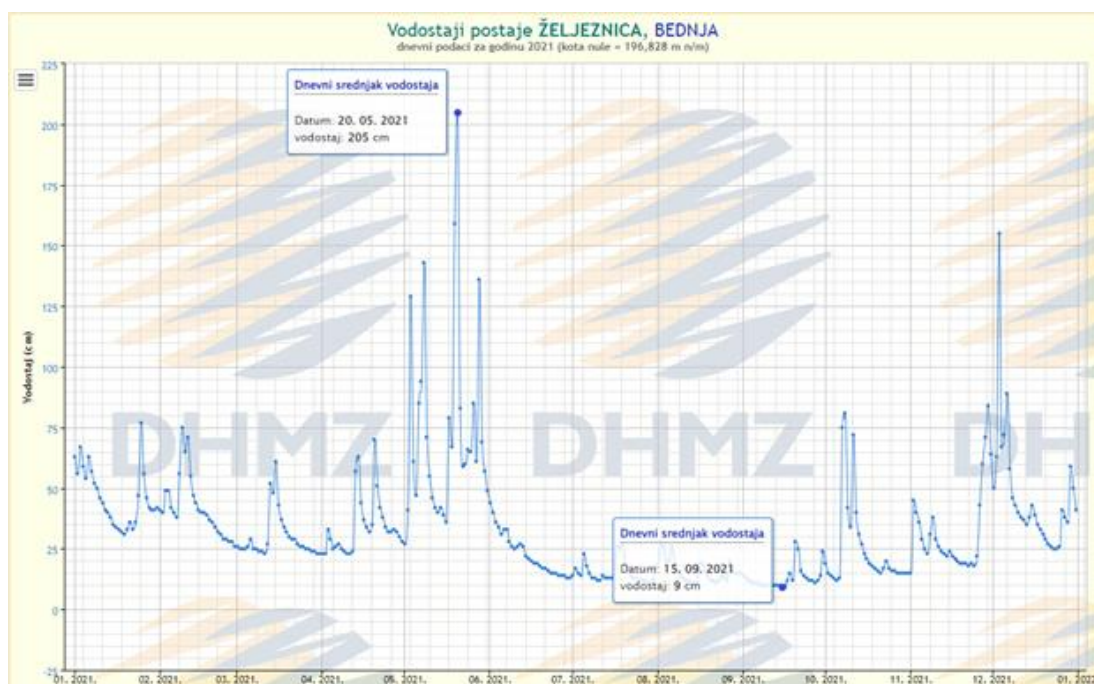
Maksimalni i minimalni protok za promatranu 2021. godinu iščitani su iz hidrograma (Slika 36). Tako je maksimalni protok bio 20.05.2021. i iznosio 47.670 m<sup>3</sup>/s, a minimalna vrijednost protoka bila je 16.09.2021. i iznosila je 0.408 m<sup>3</sup>/s.



*Slika 33. Prikaz mjesta mjerne postaje Željeznica u odnosu na lokaciju mlina u Margečanu [8]*

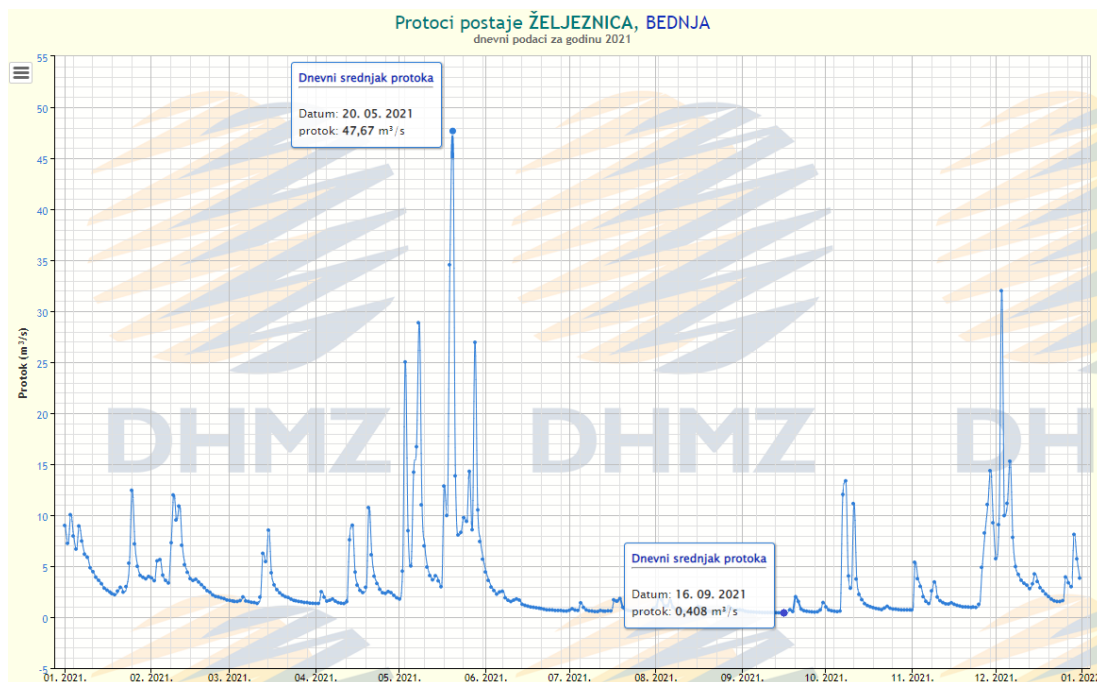


Slika 34. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Željeznica [8]



Slika 35. Nivogram – Mjerna postaja: Željeznica [8]





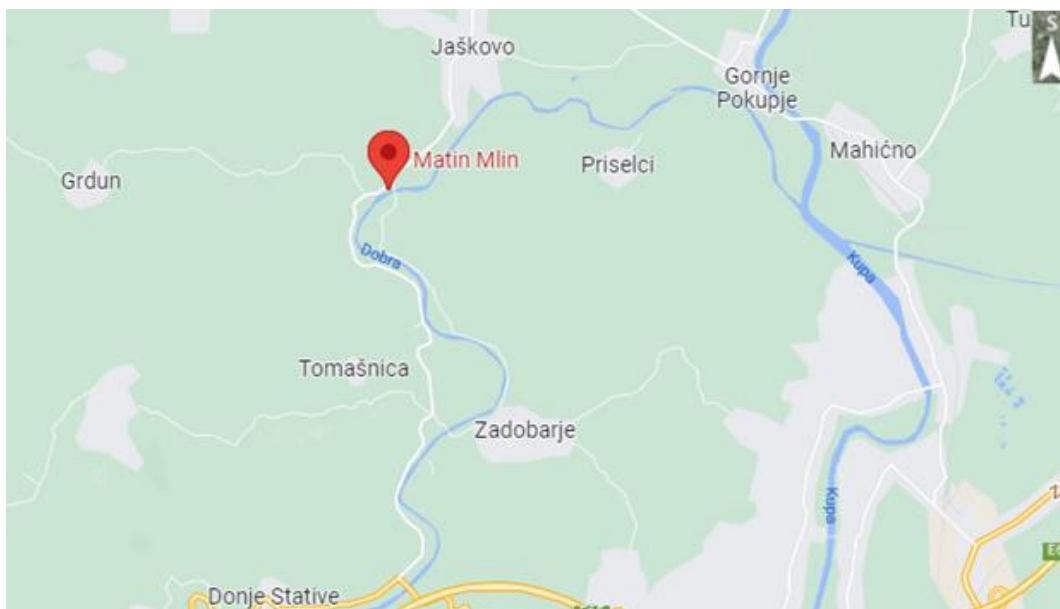
Slika 36. Hidrogram – Mjerna postaja: Željeznica [8]

U usporedbi s rijekom Plitvicom, Bednja ima veći protok, a samim time i veći potencijal za gradnju vodenica, tj. mlinova. To je vidljivo i u većem broju mlinova koji su izgrađeni na rijeci Bednji.

### 4.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin

Rijeka Dobra, jedna je od najdužih ponornica u Hrvatskoj, a tok rijeke podijeljen je na tri dijela. Prvi dio je Gornja ili Ogulinska dobra dužine 51.2 km, nadalje, rijeka u Đulinom ponoru (grad Ogulin) ponire, pa je drugi dio rijeke podzemni tok rijeke Dobre koji na površinu izbija kod sela Gojak čija zračna udaljenost od mjesta ponora do izbijanja na površinu iznosi 4.6 km. Od sela Gojak do ušća u rijeku Kupu udaljenost iznosi 52.1 km i to je treći dio rijeke, a naziva se Donja Dobra [14].

Na rijeci Donjoj Dobri u Karlovačkoj županiji u mjestu Jaškovo nalazi se Matin mlin (Slika 37). U funkciji je, a služi za povremenu proizvodnju brašna.



*Slika 37. Prikaz lokacije Matin mlin [22]*

Mlinsko kolo izvedeno je od hrastovog drva promjera 4.50 metara, ima 28 lopatica čije su dimenzije 1.60 m x 0.50 m, što se može vidjeti na slici 38 i 39, a koje su fiksirane na drveno vratilo kvadratnog poprečnog presjeka dimenzije 0.50 m x 0.50 m, ono prenosi silu na mehanizam unutar mlina i pokreće kameni žrvanj. Uronjenost lopatica u vodu ovisi o zapornici kojom se regulira količina vode koja se pušta u dovodni kanal. Kod Matinog mlina zapornica se podiže se ručno, a kod modernijih postrojenja ona se podiže hidraulički. Ispred dovodnog kanala, prije same zapornice, postavljene su

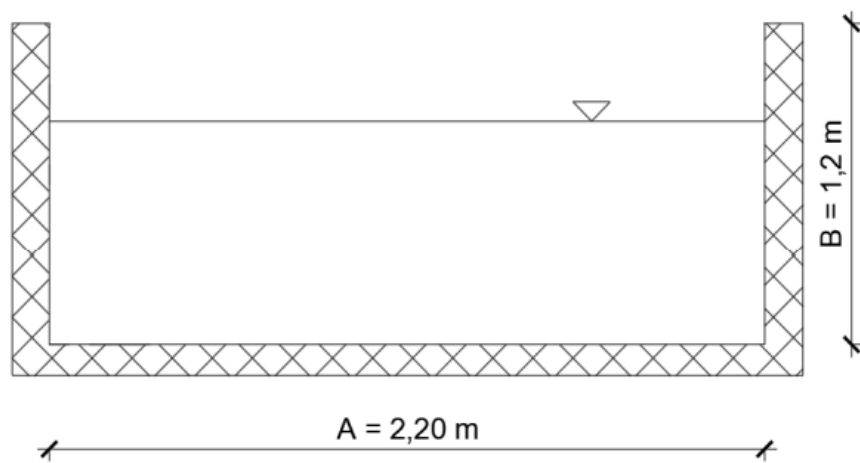
zaštitne rešetke koje sprječavaju prolaz ribama i stranim predmetima do mlinskog kola te se na taj način se sprečava oštećenje kola. Dovodni kanal je pravokutnog poprečnog presjeka, širine 2.20 m, visine 1.20 m, što se može vidjeti na slici 40, a ukupna duljina iznosi 12.60 m. Voda se kroz kanal kreće od zapornica pa do mlinskog vodnog kola, a ujedno služi i za izlaz vode nakon vodnog kola. Navedeni dijelovi Matinog mlina mogu se vidjeti na slici 41 [17].



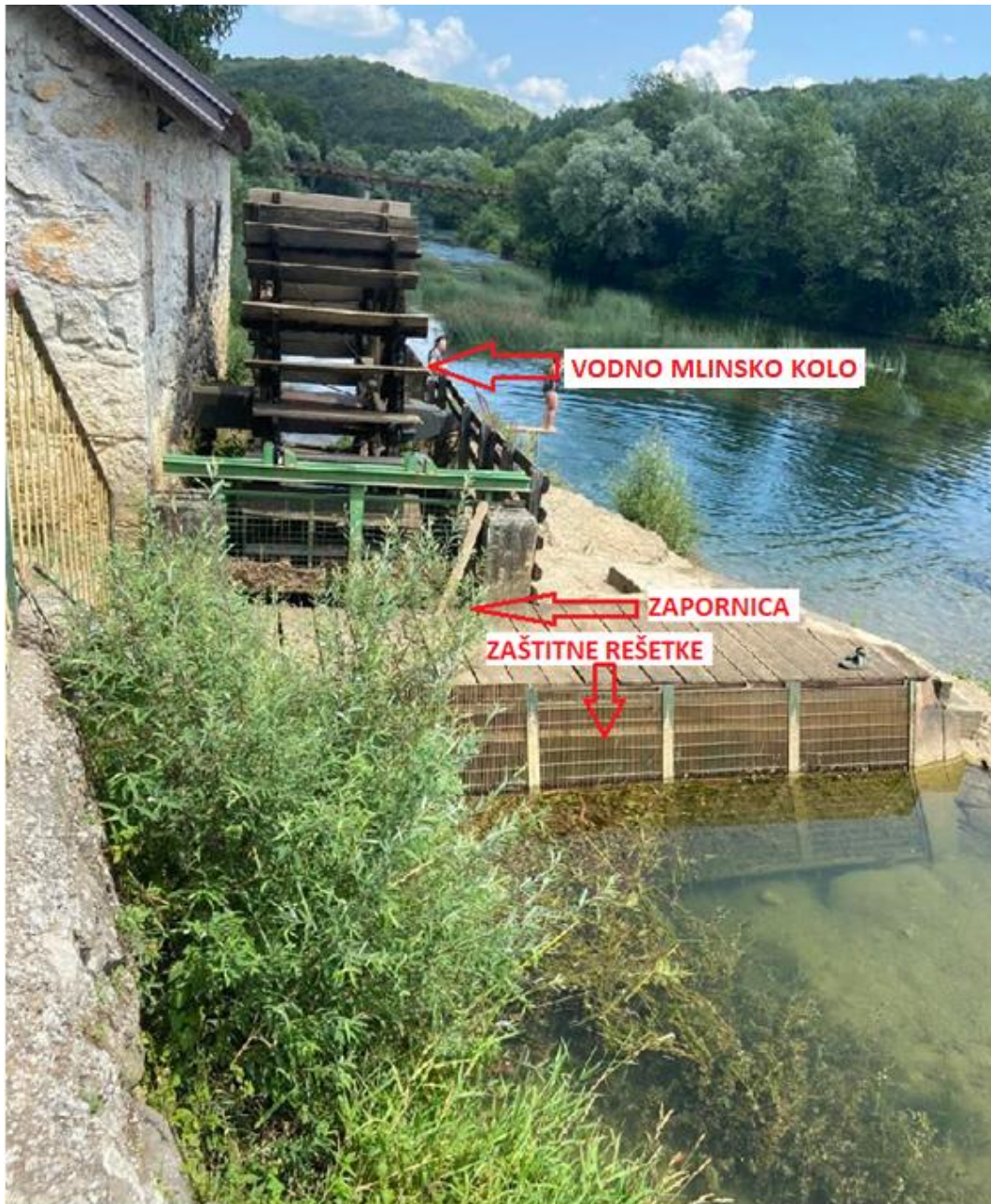
*Slika 38. Pogled na mlinsko kolo [17]*



Slika 39. Pogled na lopatice mlinskog kola [17]



Slika 40. Poprečni presjek dovodnog i odvodnog kanala [17]

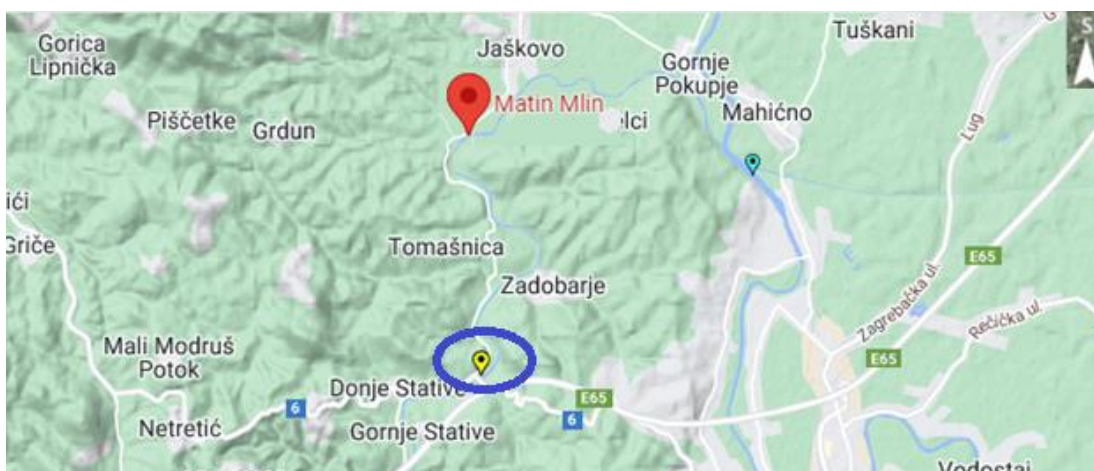


*Slika 41. Prikaz dijelova Martinog mlina*

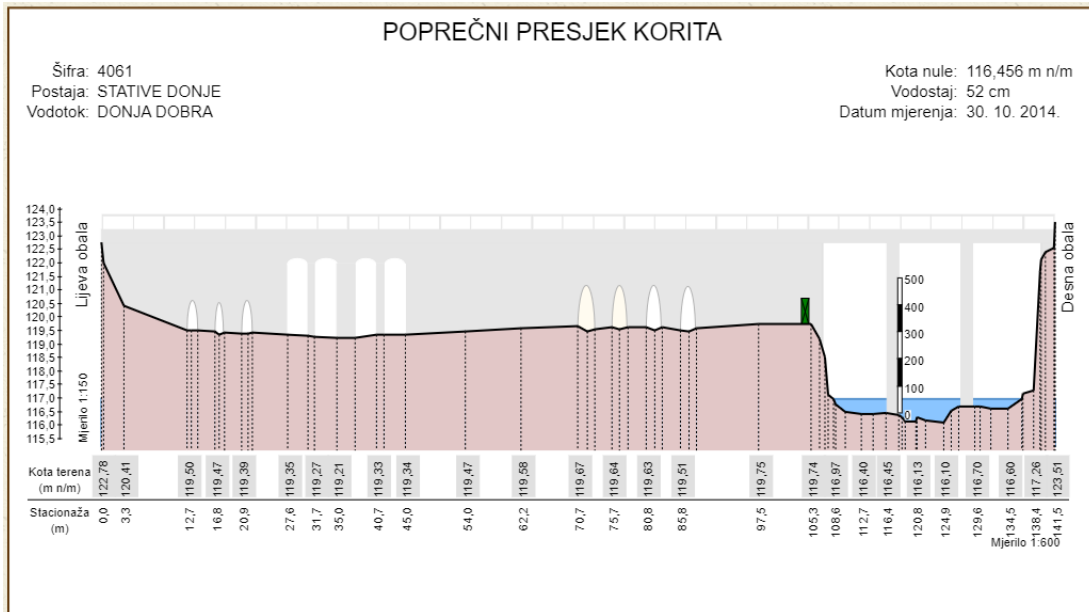
Za potrebe proračuna koristiti će se podaci izmjereni na samoj lokaciji mlina. Također, za uvid u hidrološku bilancu rijeke Donje Dobre, koristit će se podaci DHMZ-a sa automatske mjerne postajom imena Stative Donje. Na slici 42 prikazana je lokacija postaje u odnosu na lokaciju Matinog mlina. Izgled korita u poprečnom presjeku na mjestu mjerne postaje može se vidjeti na slici 43.

Na temelju izmjerenih podataka na mjernoj postaji Stative Donje iz nivograma je iščitani maksimalni i minimalni vodostaj za promatranu 2021. godinu. Maksimalni vodostaj bio je 25.01.2021. i iznosio je 334 cm, a minimalna visina vodostaja bila je 18.08.2021. i iznosila je 39 cm (Slika 44).

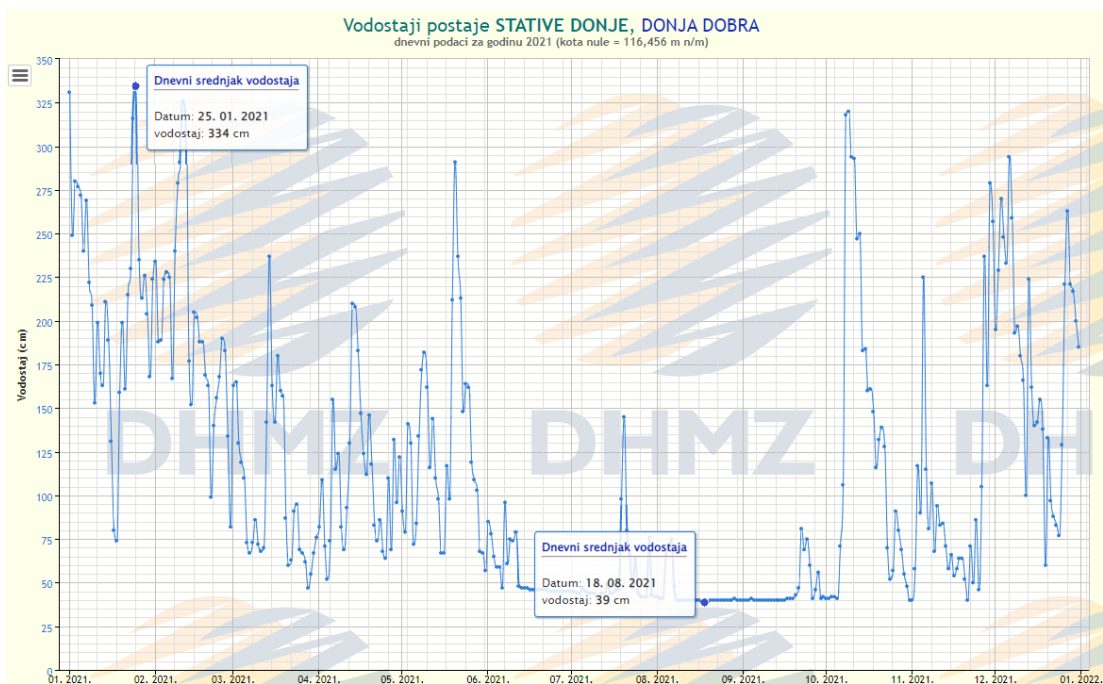
Iz hidrograma su iščitani maksimalni i minimalni protoci. Maksimalni protok bio je 25.01.2021. i iznosio je 147.800 m<sup>3</sup>/s, a minimalna vrijednost protoka bila je 18.08.2021. i iznosila je 4.286 m<sup>3</sup>/s (Slika 45).



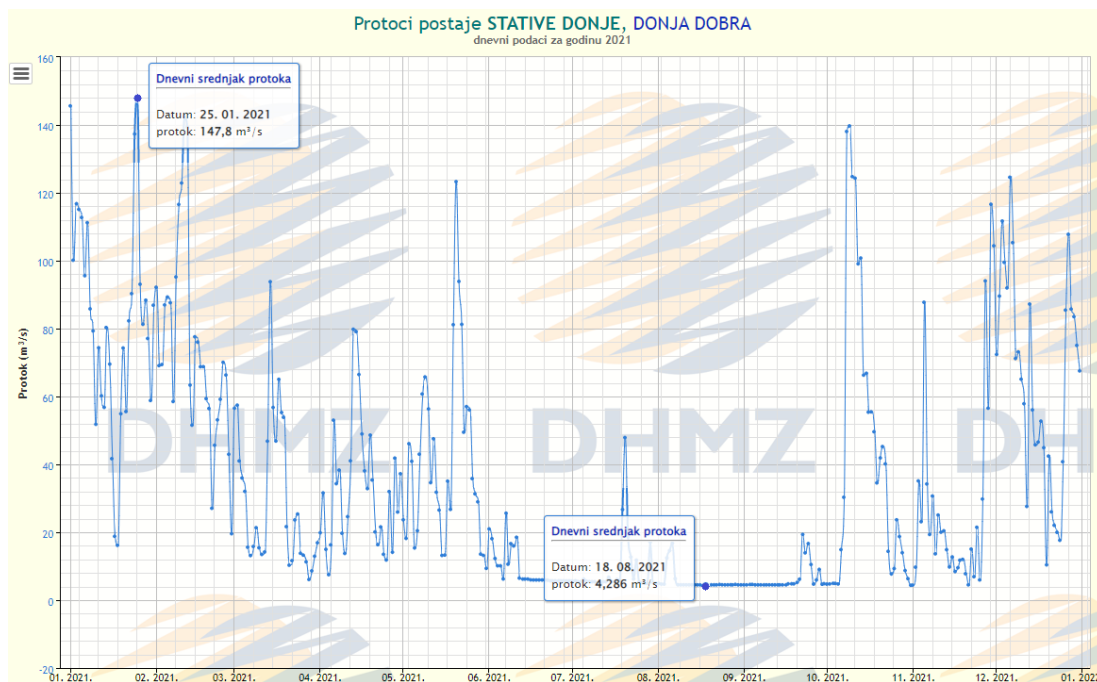
Slika 42. Prikaz mjesta mjerne postaje Stative Donje [8]



Slika 43. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Stative Donje [8]



Slika 44. Nivogram – Mjerna postaja: Stative Donje [8]



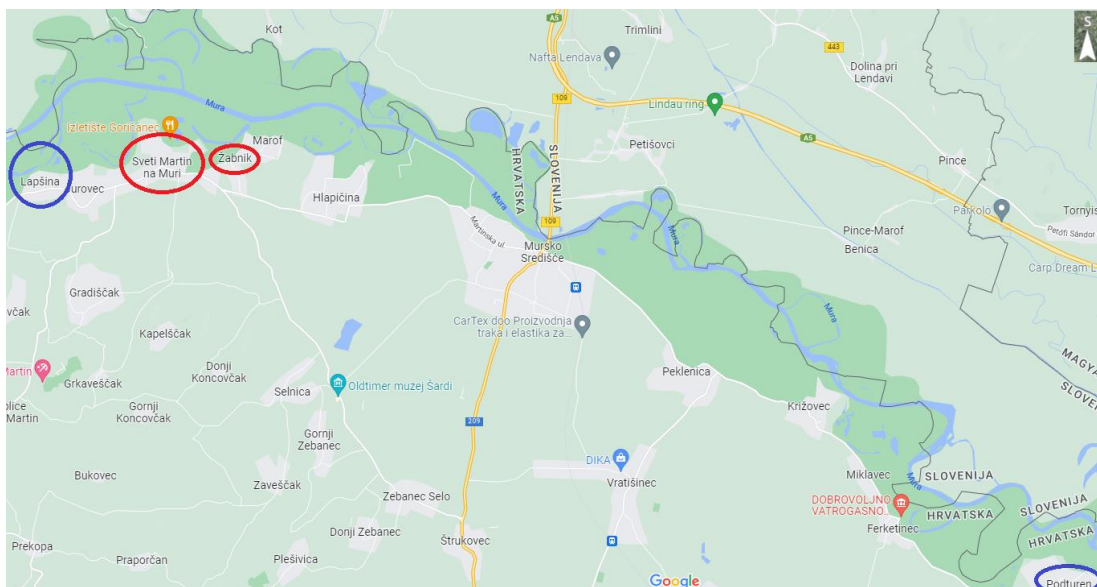
Slika 45. Hidrogram – Mjerna postaja: Stative Donje [8]

Rijeka Donja Dobra ima veliki potencijal za gradnju ne samo malih hidroelektrana u obliku vodnog kola, već i velikih hidroelektrana. Primjera radi, na Donjoj Dobri izgrađene su hidroelektrane Gojak i Ličko Lešće sa snagama od 56.00 i 41.20 MW [23].

#### 4.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik

Izvor rijeke Mure nalazi se u Austriji u nacionalnom parku Hohe Tauern (Visoke Ture), na nadmorskoj visini 1898 m n. m. Do promatrane lokacije ona se spustila za više od 1700 metara, gdje je mirna i široka rijeka. Ušće rijeke Mure je u Dravu kao njezin lijevi pritok, kod mjesta Legrad. Ukupna dužina joj je 438 kilometara, od čega se u Austriji proteže dužinom od 295 kilometara, u Sloveniji oko 70 kilometara, a u Hrvatskoj isto oko 70 kilometara [15]. Dvadesetih godina 20. stoljeća, zabilježeno je oko 90 mlinova od Lapšine do Podturna (Slika 45). Već u šezdesetim godinama taj se broj smanjio na oko 11 mlinova, a sredinom osamdesetih van upotrebe je i zadnji mlin koji se nalazio kod Žabnika u Općini Sveti Martin na Muri. Sveti Martin na Muri nalazi se na desnoj obali rijeke Mure (Slika 46) [16].





*Slika 46. Rijeka Mura od Lapšine do Podturna; Prikaz lokacije: Sv. Martin na Muri i Žabnik [22]*

Naselje Žabnik nalazi se na najsjevernijoj točki Republike Hrvatske, gdje se na rijeci Muri okreće drveno riječno kolo mlina i to je jedini ploveći mlin u Hrvatskoj (Slika 47). Taj mlin sagrađen je nedaleko od mjesta gdje je bio original koji je služio za mljevenje žita za brašno. Izgrađen je na osnovu projekta organizacije Lipa iz 2006. godine. Izgradili su ga međimurski majstori, nalik onima iz vremena kada su Murom vladali mlinovi [16].



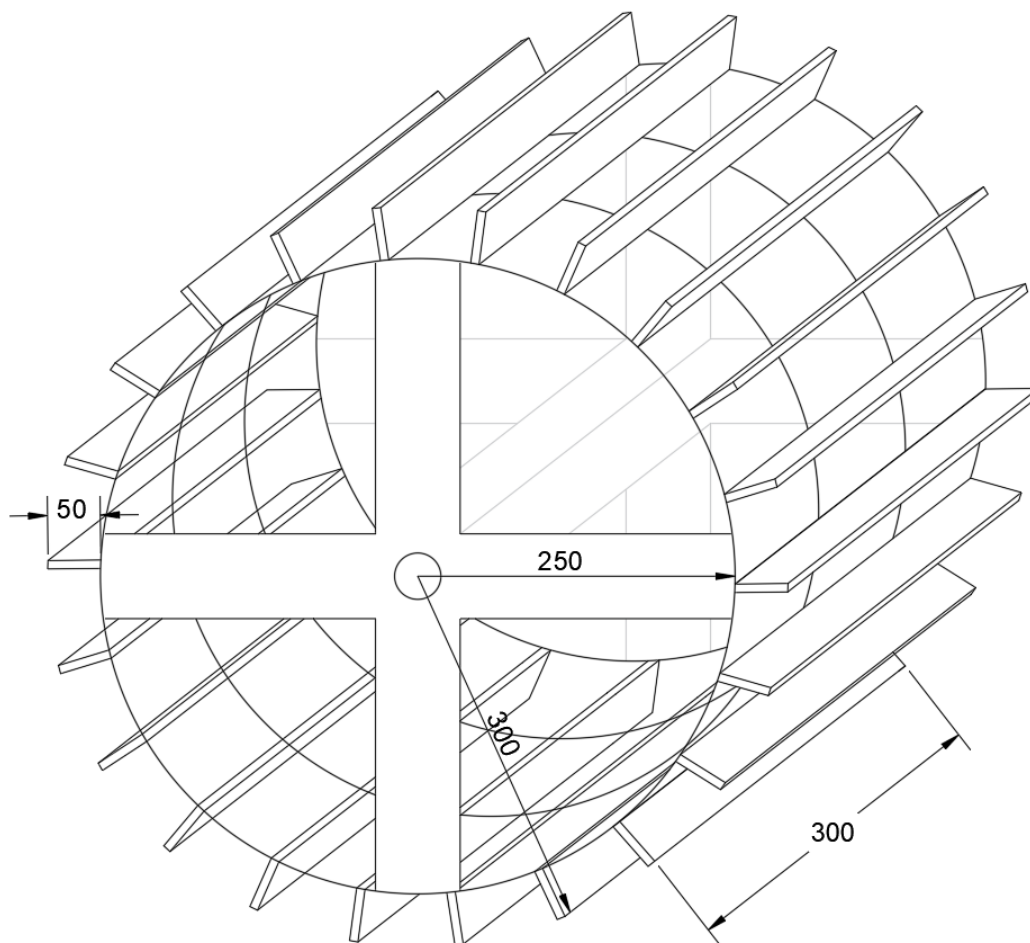
*Slika 47. Mlin na rijeci Muri kod Žabnika [16]*

U starim vremenima mlinovi su bili smješteni na debla koja su se nazivala "kompe". To je kopano hrastovo deblo dugačko preko 12 metara i široko do 2 metara. Obod debla omekšavali su vatrom da bi se usjeklo korito u njega, na koje pak se učvršćivalo vratilo koje je bilo širokog kruga iz četiriju vijenaca, a na koje su se pričvršćivale lopatice (Slika 48) [16].



*Slika 48. Mlin – vodno kolo na rijeci Muri [16]*

U nastavku na slici 49 prikazane su pretpostavljene (rekonstruirane) dimenzije vodnog kola koje će se koristiti dalje u proračunu snage turbine i električne energije, budući da nije bilo moguće doći prvo do samog mlina na vodi, kao i do relevantnih osoba koje bi mogle dati detaljnije informacije o mlinu.

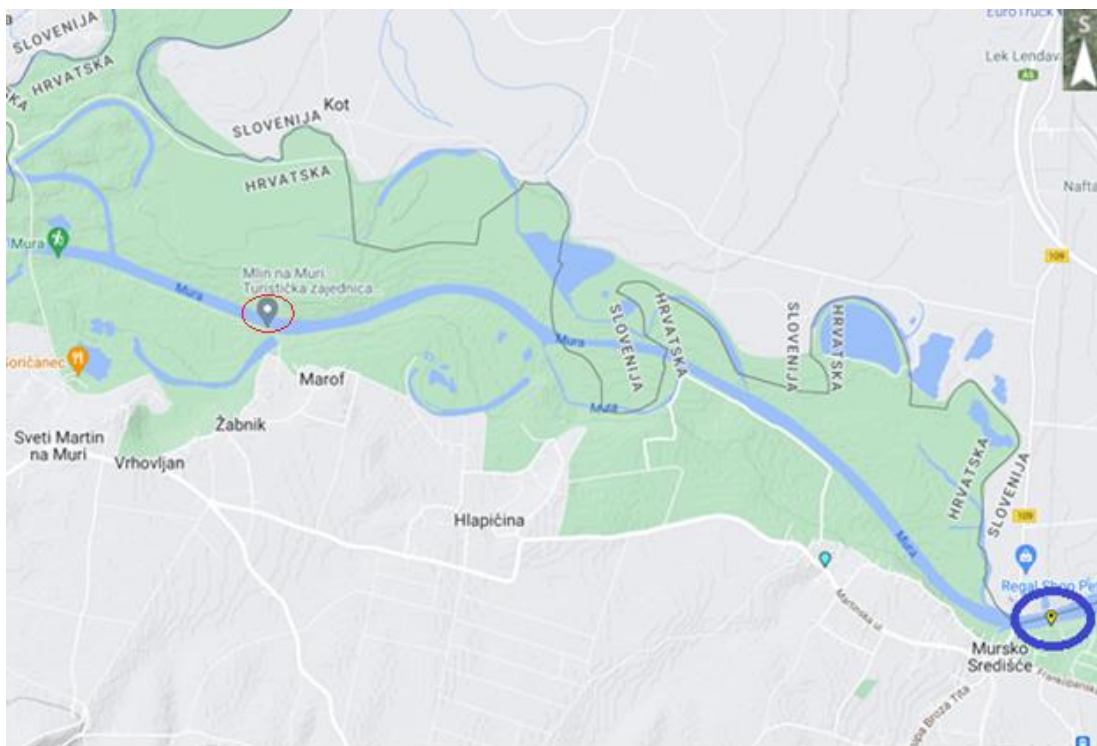


*Slika 49. Pretpostavljene dimenzije vodnog kola na rijeci Muri*

Mjerna postaja na rijeci Muri nalazi se u Murskom Središću. To je postaja s automatskom dojavom i naziv joj je Mursko Središće kao i ime grada. U nastavku rada na slici 50 prikazano je gdje se nalazi postaja u odnosu na mlin u Žabniku. Izgled korita rijeke Mure u poprečnom presjeku na samoj mjernoj postaji prikazan je na slici 51.

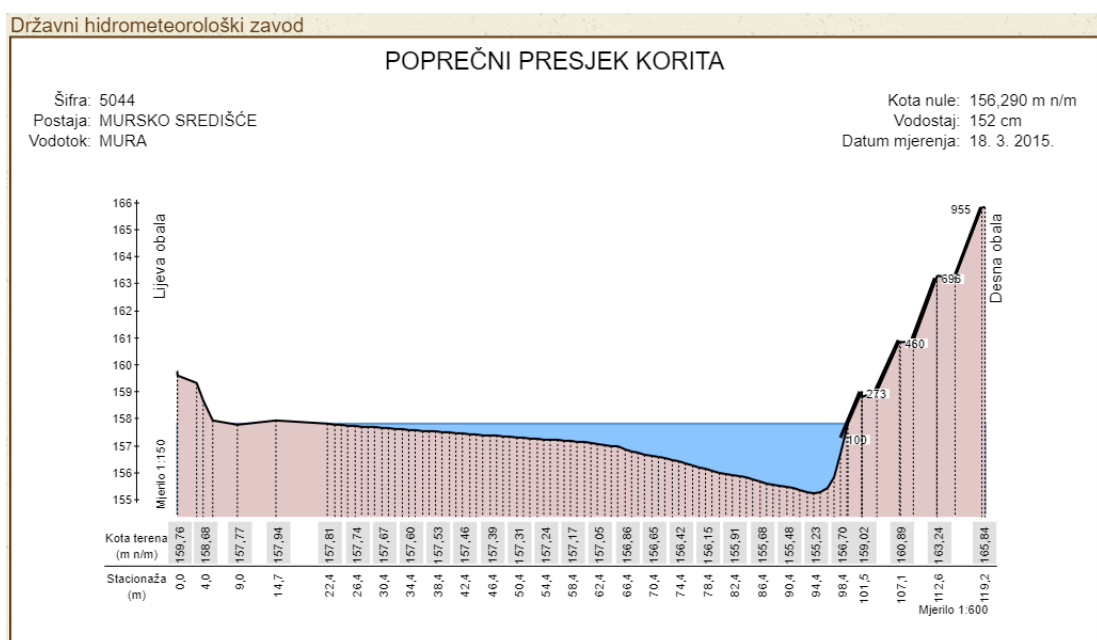
Nivogram, za promatranu 2021. godinu prikazuje kada je bio maksimalni i minimalni vodostaj. Dana 28.05.2021 bio je najviši, odnosno maksimalni vodostaj i iznosio je 295 cm, a dana 24.12.2021. bio je najniži i iznosio je 118 cm (Slika 52).

Iz hidrograma je vidljivo kada su bili maksimalni i minimalni protoci za promatranu 2021. godinu. Maksimalni protok bio je 28.05.2021. i iznosio je  $390.100 \text{ m}^3/\text{s}$ , a minimalna vrijednost protoka bila je 24.12.2021. i iznosila je  $60.950 \text{ m}^3/\text{s}$  (Slika 53).

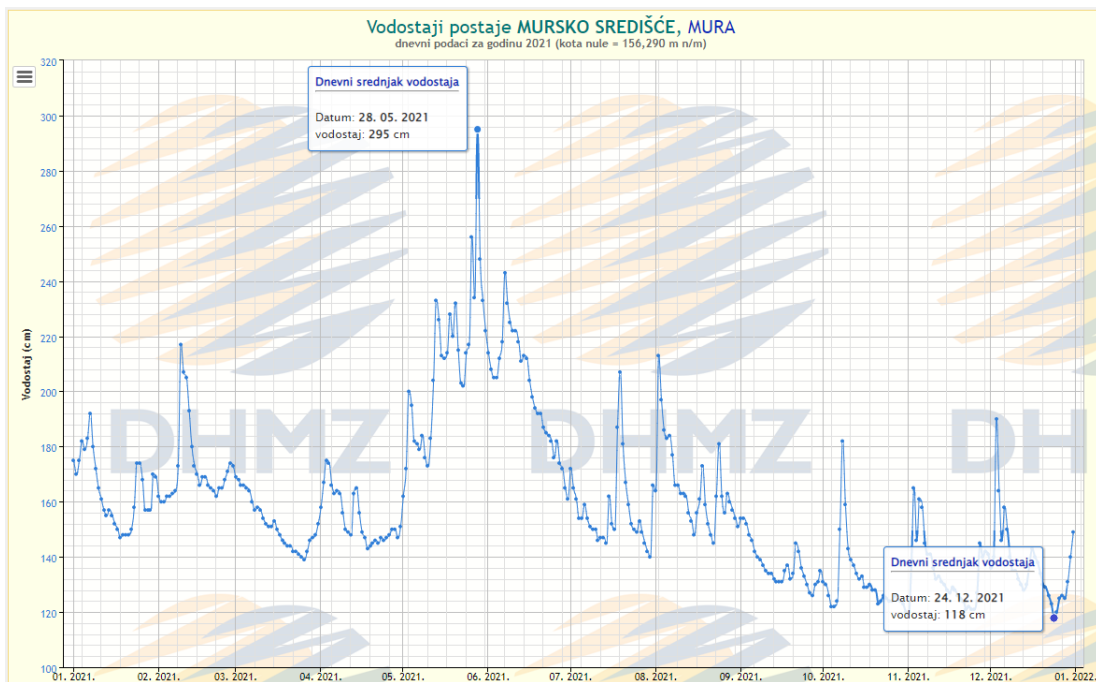


Slika 50. Prikaz mjesta mjerne postaje Mursko Središće u odnosu na mlin u Žabniku

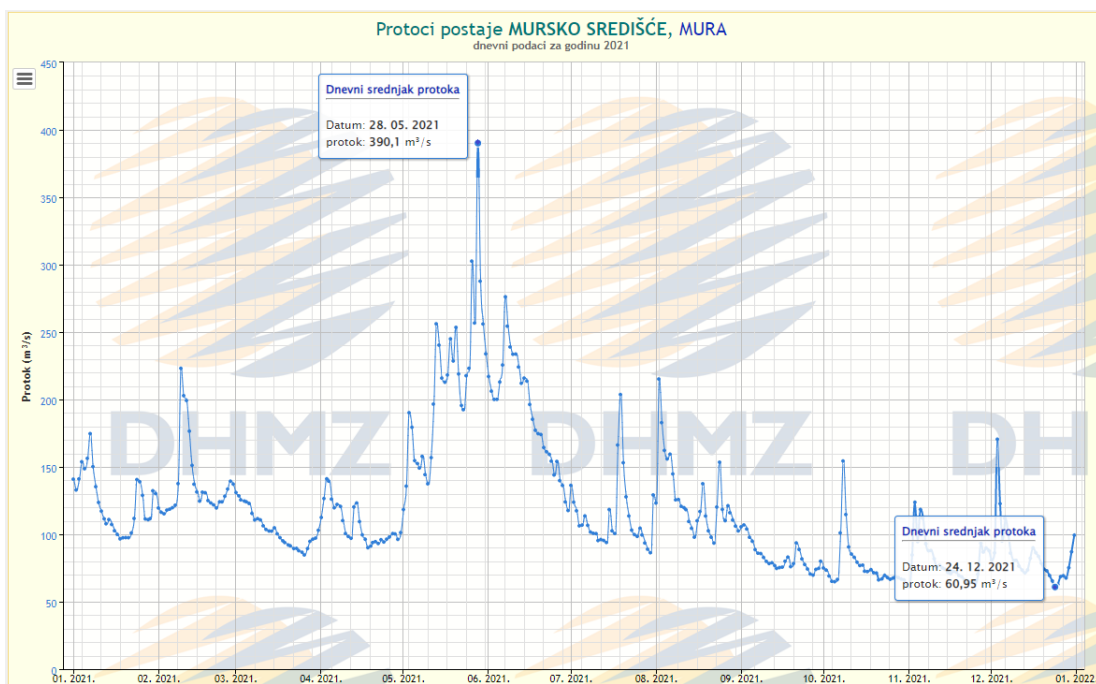
[8]



Slika 51. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Mursko Središće [8]



Slika 52. Nivogram – Mjerna postaja: Mursko Središće [8]



Slika 53. Hidrogram – Mjerna postaja: Mursko Središće [8]

Rijeka Mura ima najveće srednje dnevne protoke u odnosu na preostale analizirane rijeke, a samim time i najveći potencijal za gradnju hidroelektrana. Međutim, na rijeci Muri nikad se nisu gradile velike hidroelektrane zbog ekoloških uvjeta, odnosno degradacije vodnog sustava, tj. ugrožavanja bogate flore i faune na cijelom slivnom području.

## 5. PRORAČUN MOGUĆIH SNAGA TURBINA U OBLIKU VODNIH KOLA

Za proračun snage turbine i količine proizvedene energije hidroelektrane u obliku vodnog kola koristit će se formule (8) i (11) navedene u poglavlju 2.6. Količina proizvedene električne energije temelji se na radu u tri smjene, 7 sati rada i 1 sat pauze zbog opasnosti od pregrijavanja, radi podmazivanja, čišćenja ulazne zaštitne rešetke od raslinja i predmeta koji se nalaze u vodi i dr., tijekom pretpostavljenih 250 radnih dana u godini. To vrijeme rada usvojeno je prema pravilima struke jer treba uzeti vrijeme za redovita održavanja, kontrole, ali i moguće pojave sušnog vremena.

### 5.1. Rijeka Plitvica – Vidovićevo mlin

Za rijeku Plitvicu na mjernoj postaji Vidovićevo mlin, srednja vrijednost protoka za svaki mjesec (Tablica 1), za 2021. godinu, preuzeta je iz DHMZ-a [8]. Na temelju tih dvanaest protoka izračunata je srednja vrijednost protoka za cijelu godinu i ona iznosi  $Q_{SR} = 1.756 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tablica 1. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Plitvica

| Mjesec   | 1.    | 2.    | 3.    | 4.    | 5.    | 6.    |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 2.543 | 2.541 | 1.770 | 1.758 | 3.675 | 1.677 |

| Mjesec   | 7.    | 8.    | 9.    | 10.   | 11.   | 12.   |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 0.985 | 0.958 | 0.739 | 0.809 | 1.000 | 2.618 |

Predložena, pretpostavljena rekonstrukcija mlina bila bi na način da ulazna površina vode, tj. površina poprečnog presjeka ( $A$ ) iznosi  $1 \text{ m}^2$ . Kada se srednja vrijednost protoka podjeli s vrijednošću poprečnog presjeka, dobiva se srednja brzina vode i iznosi  $1.756 \text{ m/s}$  te sada postoji dovoljno podataka za izračun snage turbine i električne energije. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 2.



Tablica 2. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod Vidovićevog mlina

| Površina poprečnog profila [m <sup>2</sup> ] | Srednja brzina vode [m/s] | Snaga turbine [kW] | Količina električne energije [kWh/god.] |
|--|---------------------------|--------------------|---|
| 1.000  | 1.756                     | 0.812              | 4 264.07                                |

Električna energija osim što se može koristiti za vlastite potrebe, može se i prodavati. Prodati se može sva proizvedena energija ili samo višak ako se koristi za vlastite potrebe. Proizvođač mora sklopiti ugovor o otkupu električne energije s HRVATSKIM OPERATOROM TRŽIŠTA ENERGIJE d.o.o., na taj način stječe se status povlaštenog proizvođača i propisuje se Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije [25]. Poticajna cijena za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za hidroelektrane instalirane snage do uključivo 300 kW iznosi 1,07 kn/kWh [26].

*"Fizička osoba (nositelj projekta), koja će kao povlašteni proizvođač električne energije ostvarivati pravo na otkup električne energije po poticajnoj cijeni, dužna je prije primjene Ugovora o otkupu električne energije, dostaviti HRVATSKIM OPERATOROM TRŽIŠTA ENERGIJE d.o.o. dokaz o upisu u registar obveznika poreza na dohodak ili dobit. Povlašteni proizvođač dužan je uvećati osnovicu za iznos PDV-a važećim u trenutku ispostavljanja računa."* [25].

Cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, za godinu dana, bez PDV-a i s PDV-o može se vidjeti u slijedećoj tablici 3.

Tablica 3. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Vidovićev mlin, s i bez PDV-a

| Količina električne energije [kWh/god.] | Cijena el. energije iz obnovljivih izvora energije | Cijena el. energije + PDV |
|---|--|---------------------------|
| 4 264.07                                | 4 562.55 kn  | 5 703.19 kn               |

## 5.2. Rijeka Bednja – Margečan

Prije svega, da se vodno kolo u Margečanu pokrene, potrebno je vodu iz rijeke Bednje usmjeriti i dovesti do mlina. Srednja vrijednost protoka rijeke Bednje u 2021. godini iznosi  $Q_{SR} = 3.456 \text{ m}^3/\text{s}$ , podaci su dobiveni kao srednja vrijednost protoka za svaki mjesec (Tablica 4), za 2021. godinu, preuzeti iz DHMZ-a [8].

Tablica 4. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Bednja

|  |       |       |       |       |        |       |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Mjesec   | 1.    | 2.    | 3.    | 4.    | 5.     | 6.    |
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 5.114 | 4.399 | 2.316 | 3.069 | 12.050 | 1.510 |

|  |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mjesec   | 7.    | 8.    | 9.    | 10.   | 11.   | 12.   |
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 0.775 | 0.819 | 0.645 | 2.258 | 3.044 | 5.477 |

Pretpostavljene dimenzije i parametri za proračun snage turbine, odnosno vodnog kola iznosili bi: poprečni presjek otvora gdje ću voda ulaziti na mlin bio bi  $1 \text{ m}^2$ , a srednji protok  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  koji bi se trebao regulirati automatskom zapornicom, koja bi se nalazila uz rijeku Bednju na ulazu u dovodni kanal. Kada bi u rijeci Bednji vodostaj narastao na razinu koja bi uzrokovala protok na vodno kolo veći od  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , zapornica bi se trebala zatvoriti i na taj način regulirati da protok ostane na  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$ . Srednja brzina vode dobivena dijeljenjem protoka i poprečnog presjeka, a iznosi  $2.00 \text{ m/s}$ . U nastavku je proračun snage turbine i električne energije. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod mlina u Margečanu

|   |                                      |                               |   |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| Površina poprečnog profila [ $\text{m}^2$ ] | Srednja brzina vode [ $\text{m/s}$ ] | Snaga turbine [ $\text{kW}$ ] | Količina električne energije [ $\text{kWh}/\text{god.}$ ] |
| 1.000                                       | 2.000                                | 1.200                         | 6 300.00  |

Cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, za godinu dana, bez PDV-a i s PDV-om može se vidjeti u slijedećoj tablici 6.

Tablica 6. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Margečan, s i bez PDV-a

| Količina električne energije [kWh/god.] | Cijena el. energije iz obnovljivih izvora energije | Cijena el. energije + PDV |
|---|--|---------------------------|
| 6 300.00                                | 6 741.00 kn  | 8 426.25 kn               |

### 5.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin

Rezultati mjerenja potrebni za proračun snage i količine proizvedene energije preuzeti su iz Diplomskog rada izrađenog na Diplomskom sveučilišnom studiju graditeljstva na Sveučilištu Sjever, Odjelu za graditeljstvo, čiji je autor Matija Blažun [17]. Mjerenja na rijeci Donjoj Dobri izvršena su pomoću ručnog ultrazvučnog mjerača protoka i brzine vode Flow Tracker2 i radarskog mjerača protoka SQ-R Flow Metra, postavljenog na izlaznom kanalu iz vodenice.

Dana 07.09.2021. pomoću ultrazvučnog mjerača protoka Flow Tracker2 izmjereni su brzina i protok vode na izlazu dovodnog kanala kod Matinog mlina. Mjerenje pomoću uređaja SQ-R Flow Metra izvršeno je u odvodnom kanalu Matinog mlina 16.11.2021. U obzir je uzeta najmanja brzina vode, izmjerena ultrazvučnim mjeračem protoka Flow Meter te najveća brzina vode izmjerena SQ-R Flow Metrom. Budući da se sa ručnim mjeračem protoka Flow Meter nije moglo mjeriti zbog velikih brzina vode (preko 2 m/s) i moguće opasnosti za mjeritelja, korišten je SQ-R Meter, budući da kod njega nema opasnosti za mjeritelja [17].

Uređaj Flow Tracker2 služi za mjerenje vode, tj. njezine brzine u rijekama, potocima i u kanalima s manjom dubinom vode, tj. dubina koja ne predstavlja opasnost za mjeritelja prilikom mjerenja. Uređaj ima više dijelova i mora se sastaviti u jednu cjelinu (Slika 54) [17].



Slika 54. FlowTracker2

Dijelovi ultrazvučnog mjerača FlowTracker2 su:

1. Ručni uređaj
2. Baterije
3. Kabel sonde
4. Sonda
5. Postolje [17].

Radarski mjerač protoka SQ-R Flow Meter kontinuirano i beskontaktno mjeri brzinu i protok vode na rijekama, kanalima, djelomično ispunjenim cijevima te kanalima u raznim industrijama i u vodoopskrbi. Radarski mjerač protoka SQ-R nije u kontaktu s vodom i stoga se može koristiti i na lokacijama u koje mjeritelj ne može sigurno ući. Također, uređaj se može koristiti i na lokacijama u kojima su velike količine krutih tvari u vodi (ulazni i izlazni kanali kod uređaji za pročišćavanje otpadnih voda) te kod agresivnih tekućina. Uređaj je prilagodljiv raznovrsnim mogućnostima jednostavne montaže, što se može vidjeti na slici 55 [17].



*Slika 55. Mjerenja sa SQ-R Flow Meter [17]*

U nastavku je proračun snage turbine pomoću formule (8) za prije navedena dva slučaja, kada je dubina vode na zapornici 10 i 78 cm. Površina poprečnog profila dobiva se kao umnožak dubine vode na zapornici i širine dovodnog kanala, koja iznosi 2,20 m. Srednje brzine dobivene su mjernim uređajem Flow Tracker 2 i SQ-R Flow Metra. Količina električne energije proračunata je pomoću izraza (11) i temelji se na radu u tri smjene, 7 sati rada i 1 sat pauze, tijekom 250 radnih dana u godini. U ovom slučaju osim za redovita održavanja i kontrole, potrebno je uzeti i vrijeme za moguća prebacivanja rada na mlin, a ne na turbinu, s obzirom da je mlin u sklopu OPG-a te se koristi za proizvodnju brašna [17]. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 7. Pri tome je prikazan uvid u najmanju i najveću brzinu, odnosno snagu turbine, budući da je za ovaj mlin omogućeno kompletno mjerenje svih ulaznih parametara kao i najprecizniji proračun u odnosu na preostala tri mlina.

Tablica 7. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod Matinog mlina

| Uređaj          | Površina poprečnog profila [m <sup>2</sup> ] | Srednja brzina vode [m/s] | Snaga turbine [kW] | Količina električne energije [kWh/god.] |
|-----------------|--|---------------------------|--------------------|---|
| Flow Tracker2   | 0.220  | 1.084                     | 0.042              | 220.68                                  |
| SQ-R Flow Meter | 1.716  | 4.100                     | 17.740             | 93 136.42                               |

Cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, za godinu dana, bez PDV-a i s PDV-o može se vidjeti u tablici 8.

Tablica 8. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Matin mlin, s i bez PDV-a

| Količina električne energije [kWh/god.] | Cijena el. energije iz obnovljivih izvora energije | Cijena el. energije + PDV |
|---|--|---------------------------|
| 220.68                                  | 236.13 kn  | 295.16 kn                 |
| 93 136.42                               | 99 655.97 kn                                       | 124 569.96 kn             |

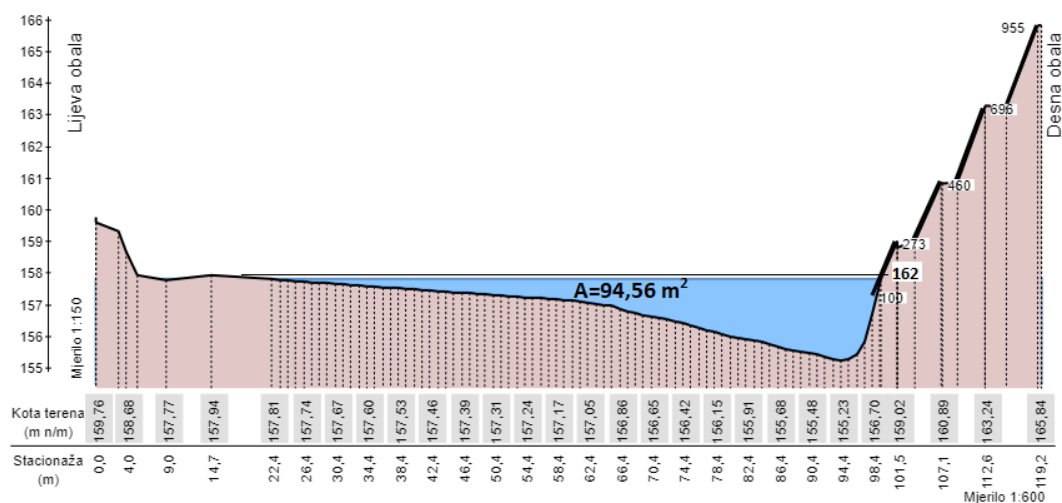
#### 5.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik

Proračun snage turbine i proizvedene električne energije na rijeci Muri za turbinu u obliku vodnog kola radi se na temelju pretpostavljenih dimenzija kola koje su prikazane u prethodnom poglavlju 4.4. S obzirom da se vodno kolo nalazi na samoj rijeci Muri, srednja brzina vode dobivena je dijeljenjem srednje vrijednosti protoka sa površinom poprečnog presjeka korita, kada je vodostaj u koritu 162 cm. Srednja vrijednost protoka u 2021. godini iznosi  $Q_{SR} = 119.620 \text{ m}^3/\text{s}$ , podaci su dobiveni kao srednja vrijednost protoka za svaki mjesec (Tablica 9), za 2021. godinu, preuzeti iz DHMZ-a [8]. Površina iznosi  $94.56 \text{ m}^2$  što je prikazano na slici 56. Srednja brzina vode iznosi  $1.265 \text{ m/s}$ , a ulazna površina iznosi  $1.500 \text{ m}^2$ , a dobivena je umnoškom dužine lopatice od  $3 \text{ m}$  i uronjenog dijela  $0.50 \text{ m}$ .

Tablica 9. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Mura

|  |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mjesec                                 | 1.      | 2.      | 3.      | 4.      | 5.      | 6.      |
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $m^3/s$ ) | 123.300 | 137.600 | 103.700 | 107.000 | 210.300 | 190.900 |

|  |         |         |        |        |        |        |
|--|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Mjesec                                 | 7.      | 8.      | 9.     | 10.    | 11.    | 12.    |
| Srednji protok $Q_{SR}$<br>( $m^3/s$ ) | 112.400 | 125.700 | 83.170 | 76.630 | 80.780 | 83.970 |



Slika 56. Poprečni presjek korita - površina vode pri vodostaju 162 cm [8]

Nadalje, u nastavku je proračun snage turbine i količine proizvedene električne energije. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Ulazni podaci i rezultati proračuna za mlin na rijeci Muri

| Površina poprečnog profila [ $m^2$ ] | Srednja brzina vode [m/s] | Snaga turbine [kW] | Količina električne energije [kWh/god.] |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|---|
| 1.500                                | 1.265                     | 0.455              | 2 391.19                                |

Cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, za godinu dana, bez PDV-a i s PDV-o može se vidjeti u tablici 11.

Tablica 11. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Mlin na Muri, Žabnik, s i bez PDV-a

| Količina električne energije [kWh/god.] | Cijena el. energije iz obnovljivih izvora energije | Cijena el. energije + PDV |
|---|--|---------------------------|
| 2 391.19                                | 2 558.57 kn  | 3 198.21 kn               |



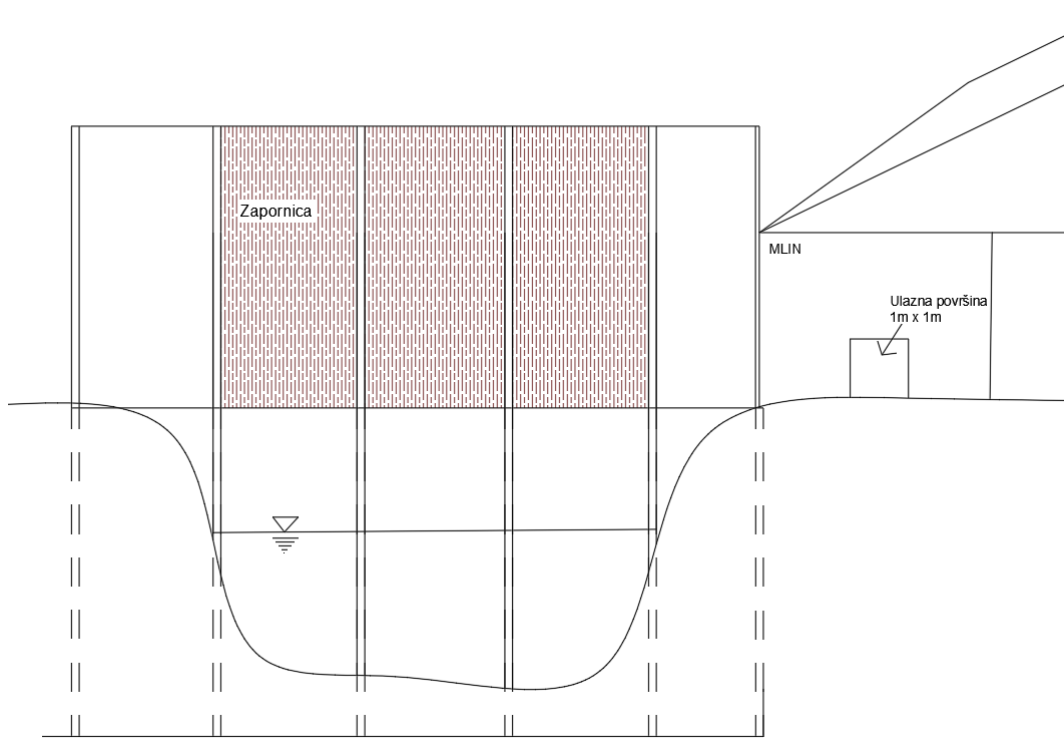
## **6. TURISTIČKI POTENCIJAL MLINOVA NA RIJEKAMA**

Svi navedeni mlinovi nose turistički potencijal jer njihovom izgradnjom čuva se povijest ljudi i sjećanja na život u prošlosti. Uz dodatne, zanimljive i atraktivne sadržaje oni mogu i turistički oživiti. U nastavku rada, za svaki mlin, posebno je naveden prijedlog na koji se način može urediti i turistički eksponirati.

### **6.1. Rijeka Plitvica – Vidovićev mlin**

Vidovićev mlin (Baza 2) na rijeci Plitvici je demontiran i ne postoji, no može se napraviti vodno kolo. Vodno kolo ne mora nužno imati funkciju mlina i služiti za proizvodnju brašna, već može poslužiti kao turbina.

Na rijeci Plitvici, osim mlina koji se može izgraditi za proizvodnju električne energije, koja će se koristiti za vlastite potrebe, a višak za prodaju, može se i oživiti turizam na tom prostoru. Revitalizacija nekadašnjeg mlina, idejno je prikazana kao shema na slici 57. Uz rijeku se može napraviti pješačko biciklistička staza koja će spajati nekadašnje mlinove Bazu 1 (Spomen – muzej Vidović mlin) i Bazu 2 (Vidovićev mlin), budući da oni predstavljaju zanimljive građevine koje su nekad bile u funkciji i svakako predstavljaju turističku atrakciju. Na tom putu, tj. stazi mogu se dodati razni sadržaji, poput ugostiteljskih objekata, park za djecu, klupice za odmor i drugi zanimljivi sadržaji. Kod Baze 1 u sklopu muzeja može se osloboditi mali prostor za prodaju suvenira, proizvoda iz lokalnih OPG-ova i sl. .



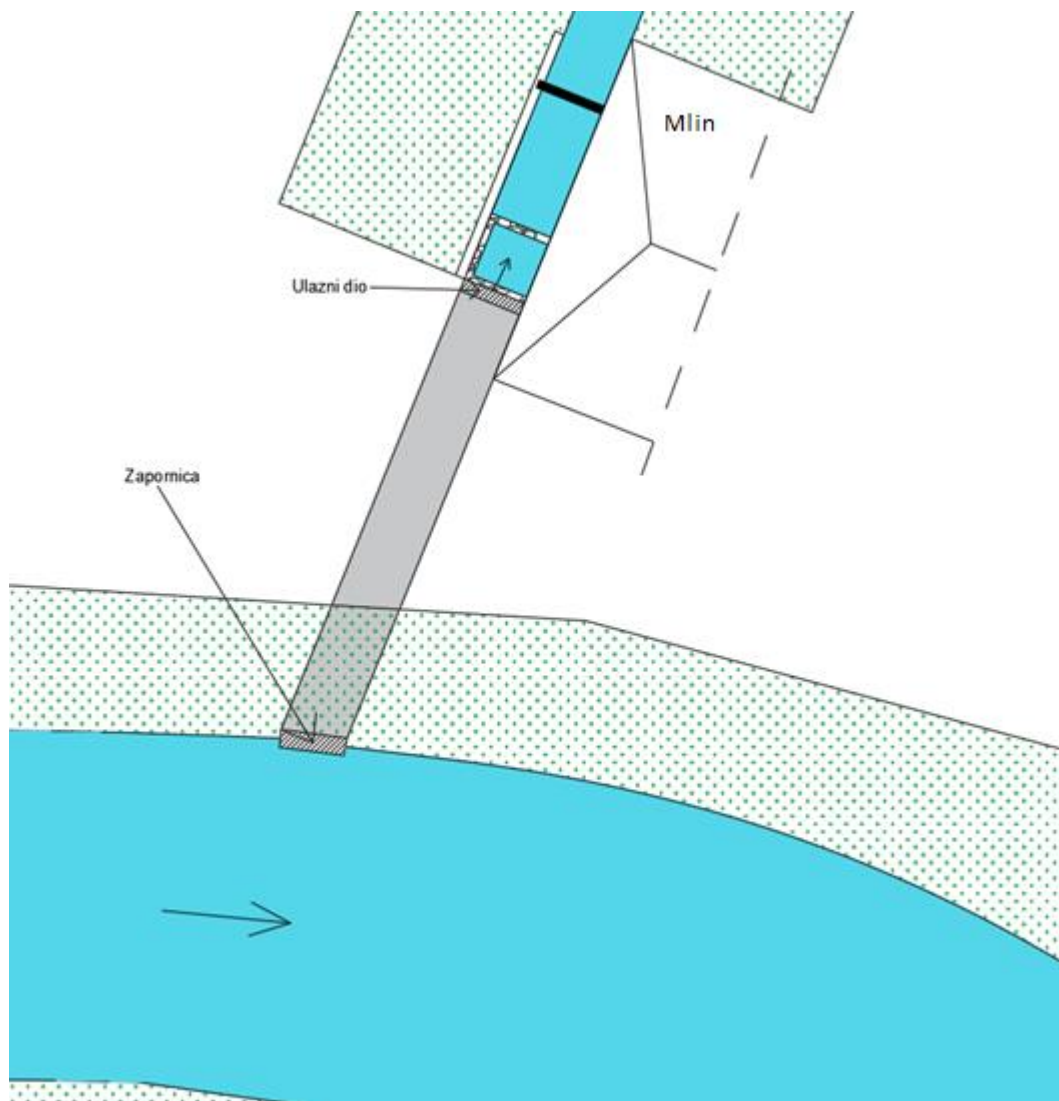
*Slika 57.* Shematski prikaz idejnog rješenja revitalizacije nekadašnjeg Vidovićevog mlina

## **6.2. Rijeka Bednja – Margečan**

Mlin na rijeci Bednji kod Margečana nije aktivan. On postoji, tj. postoji vodno kolo ali je dotrajalo, ne može se pokretati jer ima previše nanosa pijeska u kanalu, zahrđalo je i nedostaju lopatice, a osim toga nema protoka, tj. kretanja vode.

Mlin u Margečanu koristi se kao kulturno dobro i kao podsjetnik na život ljudi u prošlosti. Kao što je i prije navedeno u radu, u mlinu se nalazi etno zbirka. Taj mlin, osim toga što trenutno nosi povijesno značenje, može još više oživjeti i koristiti se u druge svrhe. Ono se može prenamijeniti i služiti za mljevenje žita ili još bolje i inovativnije za proizvodnju električne energije. Vodno kolo može se prenamijeniti u turbinu koja će služiti za proizvodnju električne energije, a koja se može koristiti za vlastite potrebe i za prodaju ono što će biti višak. Naselje Margečan može i turistički oživjeti, na način da se na tom dijelu uredi prostor. Mlin se u unutrašnjosti može pretvoriti u mali muzej koji će prikazivati povijest, a vanjski prostor se može pretvoriti u park. Uz rijeku se može urediti šetnica i/ili biciklistička staza. Park se mora urediti na način da ga mogu koristiti i djeca i odrasli. Za uživanje, djeci je potrebno sagraditi igralište, a odraslima prostor gdje se mogu opustiti, poput klupica u parku i uz rijeku. U sklopu parka se može otvoriti ugostiteljski objekt u drvenom stilu kao što je i mlin, gdje se ljudi mogu okrijepiti.

Da bi se omogućilo ponovno pokretanje vodnog kola potrebno je napraviti prokop od rijeke Bednje do ulaza vode u kanal u kojem se nalazi vodno kolo, jer kao što je i prije navedeno, mjesto gdje je bio dotok vode, pregrađeno je. Kao što je navedeno u proračunu površina poprečnog presjeka ulaznog dijela iznosi  $1\text{m}^2$ . Potrebno je izvesti i zapornicu kojom će se regulirati protok vode. Na slici 58 dan je shematski prikaz opisanog. Ako bi se krenulo u rekonstrukciju mlina, s obzirom da je odvodni kanal neuređen i pun vegetacije trebalo bi urediti kanal i definitivno bi trebalo proširiti otvor gdje se voda ulijeva u podzemni tok kojim nastavlja do rijeke Bednje.



*Slika 58. Shematski prikaz prokopa od rijeke Bednje do ulaznog dijela vode na vodno kolo*

### **6.3. Rijeka Dobra – Donja Dobra, Matin mlin**

Matin mlin na rijeci Donjoj Dobroj trenutno služi za proizvodnju brašna, ali se može prenamijeniti i koristiti za proizvodnju električne energije, a koja se može koristiti za vlastite potrebe i za prodaju ono što će biti višak. Za vrijeme ljetnih mjeseci rijeka služi kao osvježenje kupačima, a uz mlin postoji i restoran koji je otvoren i radi. Okolni prostor se može dodatno urediti i dodati mu zabavnog i rekreativnog sadržaja, nešto što će privući ljude, gdje je sve na jednom mjestu i zabava i osvježenje za vrijeme ljetnih mjeseci, a isto tako i restoran. Zabavni sadržaj može biti npr. pjeskoviti teren koji će služiti kao igralište za odbojku, stolni tenis, dječje igralište i drugi zabavni sadržaj. Može se dodati i štand za prodaju suvenira.

### **6.4. Rijeka Mura – Mlin na Muri, Žabnik**

Mlin na Muri kod Žabnika već je postao turistička atrakcija. Udaljen je od urbanog života, a nalazi se na Mlinarovom gruntu, uz Mlinarku hižu (kuću), koja je ujedno i ugostiteljski objekt uz rijeku Muru. Na gornjem katu kuće izložena je moderna interaktivna etnografska zbirka. Za posjetitelje osim tog sadržaja, nude i šetnju kroz Labirint ljubavi i energije, a to su spiralne stazice ograđene "murskim" kamenom, nadalje se može vidjeti skela na Muri, a kroz godinu se organiziraju razne manifestacije (Slika 59). U prirodnom okruženju mlina uređeni su "Mlinarov poučni put" (Slika 60) i Eko-turistička poučna pješačko biciklistička staza, dužine 4850 metara, naziva "Svetomartinska Mura" [16]. Način na koji se može dodatno poraditi na inovativnosti mlina kod Žabnika, a da ostane u prirodnom duhu kao i sada, to je prenamjena mlinskog vodnog kola na način da proizvodi električnu energiju. Energija se može koristiti za vlastite potrebe, a višak se može prodati. Uz to može se dodati i štand ili mali objekt za prodaju suvenira.



*Slika 59. Obala rijeke Mure i turistički sadržaj: Mlinarska hiža, Labirint ljubavi i energije [24]*



*Slika 60. Prikaz početka staze "Mlinarov poučni put." [24]*

## 7. ZAKLJUČAK

U radu su promatrane 4 lokacije starih mlinova koje bi se mogle rekonstruirati s ciljem dobivanja električne energije i oživljavanja u turističke svrhe. Prva situacija bila je na lokaciji rijeka Plitvica – Vidovićev mlin (Baza 2) i u tom slučaju postojala je samo informacija da je na toj lokaciji postojalo vodno kolo/mlin pa se na osnovu slika i hidroloških karakteristika promatrane lokacije radila analiza i proračun. Drugi primjer je na lokaciji rijeke Bednje kod Margečana, kad su bile poznate djelomične informacije. U tom slučaju postoji vodno kolo/mlin, čije su dimenzije bile izmjerene te na temelju tih podataka i hidroloških karakteristika zapaženih na terenu radila se analiza i proračun. Treća situacija je kada su dostupni svi ulazni podaci (Matin mlin na rijeci Donjoj Dobri kod Jaškova). I za kraj, za četvrti slučaj je bila dostupna samo slika postojeće vodenice, ali nema raspoloživih podataka o njoj, samo se znaju hidrološke osobine te lokacije, a riječ je o mlinu na rijeci Muri kod Žabnika.

Od svih analiziranih situacija, najbolji slučaj po pitanju hidroenergetskog potencijala elektrana u obliku vodnih kola je onaj kada su dostupni svi ulazni podaci, što se pokazalo na primjeru Matinog mlina na Donjoj Dobri. Razlog tome je što se u proračun ide sa stvarnim dimenzijama, stvarnim izmjerenim ulaznim parametrima te se na taj način dobiva najpouzdaniji proračun.

Najgori slučaj za analizu hidroenergetskog potencijala elektrana u obliku vodnih kola je kad postoji vodenica, ali podaci nisu raspoloživi, što je pokazano na primjeru mlina na rijeci Muri. Teško je iz slika pretpostaviti dimenzije vodnog kola, a isto tako i doći do parametara potrebnih za proračun.

Turbine u obliku vodnog kola imaju malu snagu, ali usprkos tome imaju potencijal za proizvodnju električne energije jer turbine zapravo već postoje. Snaga se može povećati postavljanjem više takvih turbina, a to je izvedivo jer je utjecaj na okoliš izgradnjom takvog oblika turbine, odnosno hidroelektrane gotovo nikakav, tj. zanemariv, a očuvanje okoliša, živog svijeta u vodi i na obali je od značajne važnosti.

Time se kompenziraju relativno male snage, kao i proizvodnja električne energije, budući da se radi o sporim vodotocima.

Osim obnove same vodenice, mogu se urediti muzeji koji će prikazati povijest vodenica općenito, njihovu prvotnu namjenu, ali i povijest same vodenice te kako se ona uredila za potrebe proizvodnje električne energije. Uz sve to može se urediti prostor s dječjim igralištima i ostalim popratnim sadržajima, stvoriti mali park gdje ljudi mogu doći i opustiti se, a uz to isto tako nešto novo vidjeti i naučiti.

Na taj način, osim dobitka električne energije, čuva se kulturno dobro i baština, čuvaju se i pokazuju običaji starih naraštaja, a ljudima se nudi turistička destinacija na kojoj mogu upoznati povijest, a opet se i zabaviti.

Na takvim turističkim kompleksima može se dobro zaraditi, prvobitno od toga što električnu energiju za vlastite potrebe dobivamo pomoću mlina, tj. turbine u obliku vodnog kola, a sav višak energije može se prodati i na taj način dodatno zaraditi. Osim zarade od proizvodnje električne energije, prihod dolazi od ugostiteljstva, posjeta muzeja, prodaje suvenira i dodatnog pratećeg sadržaja.

Problem nastaje kada u vodotoku nema dovoljne količine vode, odnosno dovoljno visokog vodostaja za pokretanje vodnog kola ili za proizvodnju potrebne količine energije. Rješenje može biti, proizvodnja električne energije pomoću energije Sunca. Mogu se dodatno postaviti solari kao mala solarna elektrana i to bi bio dodatan način za proizvodnju energije, naročito u ljetnim mjesecima kada su vodostaji niski zbog nedostatka kiše i zbog visokih temperatura.



## 8. LITERATURA

- [1] M. Babić: Rad HE s tri jednaka agregata, Diplomski rad, FERIT, Osijek, 2017. (<https://repozitorij.unios.hr/islandora/object/etfos%3A1293/datastream/PDF/view>), datum pristupa 06.05.2022.
- [2] Obnovljivi izvori energije: <https://obnovljiviizvorienergijee.weebly.com/energija-vode.html>, datum pristupa 06.05.2022.
- [3] Obnovljivi izvori energije: <https://sites.google.com/site/tehskolamojaucionica/home/obnovljivi-izvori-energije/turbine-kod-hidroelektrana>, datum pristupa 06.05.2022.
- [4] P. James, N. Thorpe: Drevni izumi, Mozaik knjiga, 2007.
- [5] [https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads\\_nastava/20180427\\_094126\\_vpelic\\_ENERGETSKI.SUSTAVI.P5.Hidroelektrane.transformacija.energije.vode.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20180427_094126_vpelic_ENERGETSKI.SUSTAVI.P5.Hidroelektrane.transformacija.energije.vode.pdf), dostupno 27.08.2018.; datum pristupa 17.06.2022.
- [6] Leskovar K, Barbir L., Đurin B.: Hidrološka analiza rijeke Plitvice pored Varaždina, Zbornik radova Međimurskog veleučilište u Čakovcu, Vol. 9 No. 2, 2018. <https://hrcak.srce.hr/215389>; datum pristupa 10.07.2022.
- [7] Prostorni plan Varaždinske županije, Varaždin, svibanj 2000. ([http://arhiva.vzz.hr/images/stories/prostorni-plan/ppvzz/1\\_PPZ\\_Varazdinske\\_zupanije\\_osnovni.pdf](http://arhiva.vzz.hr/images/stories/prostorni-plan/ppvzz/1_PPZ_Varazdinske_zupanije_osnovni.pdf)), datum pristupa 10.07.2022.
- [8] Državni hidrometeorološki zavod (<https://hidro.dhz.hr/>); datum pristupa 12.07.2022.
- [9] Glas muzeja sjeverozapadne Hrvatske: Muzejski vjesnik 9; Veljača 1986. (<https://hrcak.srce.hr/file/164181>); datum pristupa 18.07.2022.
- [10] Općina Bednja: <http://www.bednja.hr/prirodne-znamenitosti>; datum pristupa 19.07.2022.
- [11] Petrić Hrvoje: O nekim naseljima u porječju rijeke Bednje tijekom srednjega i početkom ranoga novog vijeka; Izvorni znanstveni rad, 2007 (<https://hrcak.srce.hr/file/104278>); datum pristupa 19.07.2022.

- [12] HRT Naslovnica; Margečan, idealno mjesto za odmor i relaksaciju, 2015. godine; [https://arhiv-www.hrt.hr/294927/magazin/margecan-idealno-mjesto-za-odmor-i-relaksaciju?fbclid=IwAR0USSjn\\_00ypoFDr-dj06YDSHMIK1\\_iIC2haW5Kv-IUDV8LF8zQQj0316A](https://arhiv-www.hrt.hr/294927/magazin/margecan-idealno-mjesto-za-odmor-i-relaksaciju?fbclid=IwAR0USSjn_00ypoFDr-dj06YDSHMIK1_iIC2haW5Kv-IUDV8LF8zQQj0316A), datum pristupa 19.07.2022.
- [13] Mapio.net: <https://mapio.net/pic/p-23098193/>, datum pristupa 19.07.2022.
- [14] Bonacci Ognjen, Andrić Ivo: Hidrološka analiza krške rijeke Dobre, 2010. ([https://www.researchgate.net/publication/282503192\\_Hidroloska\\_analiza\\_krske\\_rijeke\\_Dobre\\_-\\_Hydrological\\_Analysis\\_of\\_the\\_Karst\\_River\\_Dobra](https://www.researchgate.net/publication/282503192_Hidroloska_analiza_krske_rijeke_Dobre_-_Hydrological_Analysis_of_the_Karst_River_Dobra)), datum pristupa 25.07.2022.
- [15] Općina Sveti Martin na Muri: <https://opcina.svetimartin.hr/rijeka-mura/>, datum pristupa 01.08.2022.
- [16] Turistička zajednica Sveti Martin na Muri: <https://visit.svetimartin.hr/mlinarska-kuca-zabnik/>, datum pristupa 01.08.2022.
- [17] Blažun Matija; Mogućnost korištenja mlinova na rijekama za proizvodnju električne energije – primjer „Matinog mlina“ na rijeci Donjoj Dobri, Diplomski rad, Varaždin, ožujak 2022.
- [18] Vodenice: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodenice>, datum pristupa 08.05.2022.
- [19] Water-Wheels: <https://cnx.org/contents/U4mtVcB4@1.1:IRxiIGmY@1/Water-wheels>, datum pristupa 08.05.2022.
- [20] Tide Mill Institute: <https://www.tidemillinstitute.org/horizontal-wheels/>, datum pristupa 08.05.2022.
- [21] FONDECO: Kako radi vodenica?: <https://fondeco.ru/hr/kak-ustroena-vodyanaya-melnica-kak-sdelat-dekorativnuyu-vodyanuyu-melnicu/>, datum pristupa 08.05.2022.
- [22] Google: Karte; <https://www.google.com/maps/>, datum pristupa 02.08.2022.
- [23] HEP: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/1720>, datum pristupa 15.08.2022.

- [24] Lokalni.hr: <https://lokalni.vecernji.hr/zupanije/u-tradicionalnom-mlinu-naucite-kako-se-prije-100-godina-zrnje-pretvaralo-u-brasno-5691>, datum pristupa 25.08.2022.
- [25] HROTE, Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.  
([https://www.hrote.hr/poticajne-cijene-268?fbclid=IwAR2jUTO\\_IyXXOm7-A6-6a7OSxizRA3pTRykq3-Qkxm7JkDgkZbfVQgfTtIc](https://www.hrote.hr/poticajne-cijene-268?fbclid=IwAR2jUTO_IyXXOm7-A6-6a7OSxizRA3pTRykq3-Qkxm7JkDgkZbfVQgfTtIc)), datum pristupa 05.09.2022.
- [26] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN broj 133/13 i 151/13), Vlada Republike Hrvatske  
([https://files.hrote.hr/files/PDF/Tarifni\\_sustav\\_za\\_proizvodnju\\_EE\\_iz\\_OIEIK\\_NN\\_133\\_13.pdf?fbclid=IwAR2ijlnwKeUYEkIv-IWHPE4x3S8HHogJ9y8BY7kDCJG2NL2XqdJ4elEWIfs](https://files.hrote.hr/files/PDF/Tarifni_sustav_za_proizvodnju_EE_iz_OIEIK_NN_133_13.pdf?fbclid=IwAR2ijlnwKeUYEkIv-IWHPE4x3S8HHogJ9y8BY7kDCJG2NL2XqdJ4elEWIfs)), datum pristupa 5.09.2022.

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Reakcijska turbina [3].....   | 6  |
| Slika 2. Vrste reakcijskih turbina [3] .....   | 6  |
| Slika 3. Akcijska turbina [3] .....  | 7  |
| Slika 4. Vrste akcijskih turbina [3] .....   | 7  |
| Slika 5. Dijagram: Radna područja za različite turbine [17] .....                        | 8  |
| Slika 6. Princip proizvodnje električne energije pomoću hidroelektrane [5] .....         | 9  |
| Slika 7. Grafički prikaz ponašanja mlinskog kola u plitkom toku [17] .....               | 12 |
| Slika 8. Najveći kompleks rimskih vodenica [4] .....                                     | 16 |
| Slika 9. Vodenica s horizontalnim vratilom [18].....                                     | 17 |
| Slika 10. Vodenica s vertikalnim vratilom [19].....                                      | 17 |
| Slika 11. Horizontalno vodno kolo [20] .....   | 18 |
| Slika 12. Vertikalno vodno kolo [21] .....   | 18 |
| Slika 13. Slivno područje rijeke Plitvice [7].....                                       | 20 |
| Slika 14. Prikaz hidroloških postaja na rijeci Plitvici [8] .....                        | 20 |
| Slika 15. Prikaz lokacije Vidovićeve mlin (Baza 1 i Baza 2) [22].....                    | 22 |
| Slika 16. Fotografija iz 1956. godine –Vidovićeve mlin (Baza 2) .....                    | 23 |
| Slika 17. Fotografija iz 1964. godine –Vidovićeve mlin (Baza 2) .....                    | 23 |
| Slika 18. Sadašnji izgled lokacije, gdje je nekad postojao mlin .....                    | 24 |
| Slika 19. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Vidovićeve mlin [8] .....            | 25 |
| Slika 20. Nivogram – Mjerna postaja: Vidovićeve mlin [8] .....                           | 26 |
| Slika 21. Hidrogram – Mjerna postaja: Vidovićeve mlin [8].....                           | 26 |
| Slika 22. Rijeka Bednja u naselju Margečan [13] .....                                    | 28 |
| Slika 23. Današnji izgled mlina na rijeci Bednji u Margečanu .....                       | 28 |
| Slika 24. Etno zbirka u mlinu u Margečanu [12].....                                      | 29 |
| Slika 25. Mlinsko kolo na mlinu u Margečanu, na rijeci Bednji, u dotrajalom stanju ..... | 30 |
| Slika 26. Tlocrtni prikaz lokacije mlina u odnosu na rijeku Bednju [22].....             | 31 |
| Slika 27. Položaj mlina u odnosu na rijeku Bednju .....                                  | 32 |
| Slika 28. Pregrada i nekadašnji smjer dotoka vode na mlinsko kolo .....                  | 32 |
| Slika 29. Prikaz dimenzija dijelova vodnog kola i šahte; dužine u cm .....               | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 30. Prikaz dimenzija dijelova vodnog kola; dužine u cm.....                                     | 34 |
| Slika 31. Shematski prikaz odvodnje vode od vodnog kola do jezerca [22] .....                         | 35 |
| Slika 32. Neuređeni odvodni kanal i otvor u koji se ulijeva voda u podzemni tok ....                  | 35 |
| Slika 33. Prikaz mjesta mjerne postaje Željeznica u odnosu na lokaciju mlina u Margečanu [8].....     | 36 |
| Slika 34. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Željeznica [8].....                               | 37 |
| Slika 35. Nivogram – Mjerna postaja: Željeznica [8].....  | 37 |
| Slika 36. Hidrogram – Mjerna postaja: Željeznica [8] .....  | 38 |
| Slika 37. Prikaz lokacije Matin mlin [22].....  | 39 |
| Slika 38. Pogled na mlinsko kolo [17].....  | 40 |
| Slika 39. Pogled na lopatice mlinskog kola [17] .....   | 41 |
| Slika 40. Poprečni presjek dovodnog kanala [17] .....   | 41 |
| Slika 41. Prikaz dijelova Matinog mlina .....   | 42 |
| Slika 42. Prikaz mjesta mjerne postaje Stative Donje [8].....   | 43 |
| Slika 43. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Stative Donje [8].....                            | 44 |
| Slika 44. Nivogram – Mjerna postaja: Stative Donje [8] .....  | 44 |
| Slika 45. Hidrogram – Mjerna postaja: Stative Donje [8] .....   | 45 |
| Slika 46. Rijeka Mura od Lapšine do Podturna; Prikaz lokacije: Sv. Martin na Muri i Žabnik [22] ..... | 46 |
| Slika 47. Mlin na rijeci Muri kod Žabnika [16].....   | 47 |
| Slika 48. Mlin – vodno kolo na rijeci Muri [16].....  | 48 |
| Slika 49. Pretpostavljene dimenzije vodnog kola na rijeci Muri .....                                  | 49 |
| Slika 50. Prikaz mjesta mjerne postaje Mursko Središće u odnosu na mlin u Žabniku [8].....            | 50 |
| Slika 51. Poprečni presjek korita – Mjerna postaja: Mursko Središće [8] .....                         | 50 |
| Slika 52. Nivogram – Mjerna postaja: Mursko Središće [8] .....  | 51 |
| Slika 53. Hidrogram – Mjerna postaja: Mursko središće [8].....  | 51 |
| Slika 54. FlowTracker2.....   | 57 |
| Slika 55. Mjerenja sa SQ-R Flow Meter [17].....   | 58 |
| Slika 56. Poprečni presjek korita - površina vode pri vodostaju 162 cm [8].....                       | 60 |
| Slika 57. Shematski prikaz idejnog rješenja revitalizacije nekadašnjeg mlina.....                     | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 58. Shematski prikaz prokopa od rijeke Bednje do ulaznog dijela vode na vodno kolo .....          | 65 |
| Slika 59. Obala rijeke Mure i turistički sadržaj: Mlinarska hiža, Labirint ljubavi i energije [24]..... | 67 |
| Slika 60. Prikaz početka staze "Mlinarov poučni put." [24] .....  | 67 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Plitvica .....  | 53 |
| Tablica 2. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod Vidovićevog mlina .....   | 54 |
| Tablica 3. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Vidovićevo mlin, sa i bez PDV-a .....      | 54 |
| Tablica 4. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Bednja .....  | 55 |
| Tablica 5. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod mlina u Margečanu.....  | 55 |
| Tablica 6. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Margečan, sa i bez PDV-a .....             | 56 |
| Tablica 7. Ulazni podaci i rezultati proračuna kod Matinog mlina .....   | 59 |
| Tablica 8. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Matin mlin, sa i bez PDV-a.....            | 59 |
| Tablica 9. Srednja vrijednost protoka – Rijeka Mura.....   | 60 |
| Tablica 10. Ulazni podaci i rezultati proračuna za mlin na rijeci Muri .....   | 60 |
| Tablica 11. Godišnje cijene otkupa električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije za lokaciju Mlin na Muri, Žabnik, sa i bez PDV-a..... | 61 |