

Potencijal rijeke Bednje za korištenje hidrokinetičkih turbina

Bigor, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:343637>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)

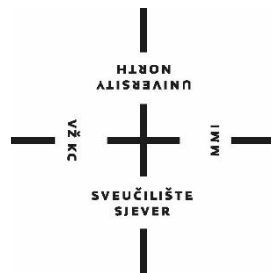


zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



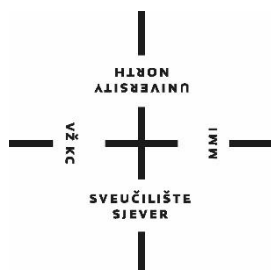
DIPLOMSKI RAD br. 28/GRD/2021

**POTENCIJAL RIJEKE BEDNJE ZA
KORIŠTENJE HIDROKINETIČKIH TURBINA**

Petra Bigor

Varaždin, srpanj 2021.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Graditeljstvo



DIPLOMSKI RAD br. 28/GRD/2021

**POTENCIJAL RIJEKE BEDNJE ZA
KORIŠTENJE HIDROKINETIČKIH TURBINA**

Student:
Petra Bigor, 1175

Mentor:
izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, srpanj 2021.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Petra Bigor

JMBAG 0160140968

DATUM 02.07.2021.

KOLEGIJ Vodni sustavi

NASLOV RADA Potencijal rijeke Bednje za korištenje hidrokinetičkih turbina

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The potential of the river Bednja for the use of hydrokinetic turbines

MENTOR dr.sc. 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
- 5.

VŽKC

MMI

Zadatak diplomskog rada

BROJ 28/GRD/2021

OPIS

Diplomski rad prikazuje potencijal primjene hidrokinetičkih turbina na nekoliko lokacija na rijeci Bednji. Naglasak rada je na hidrotehničkoj i hidrološkoj analizi, koje su ključne za daljnje razmatranje mogućnosti projektiranja i gradnje takvih turbina. Uz navedeno, dan je i osvrt na utjecaj na okoliš. Predloženi okvirni sadržaj rada po poglavljima je:

- Uvod
- Hidrokinetičke turbine
- Terensko istraživanje
- Analiza dobivenih rezultata
- Zaključak
- Literatura

ZADATAK URUČEN 01.07.2021.



POTPIS MENTORA

**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, Petra Bigor pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključiva autorica diplomskog rada pod naslovom Potencijal rijeke Bednje za korištenje hidrokinetičkih turbina te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Studentica:
Petra Bigor

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, Petra Bigor neopozivo izjavljujem da sam suglasana s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom Potencijal rijeke Bednje za korištenje hidrokinetičkih turbina čija sam autorica.

Studentica:
Petra Bigor

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	HIDROKINETIČKE TURBINE	3
2.1.	Način rada hidrokinečkih turbina	3
2.2.	Podjela hidrokinečkih turbina.....	5
2.2.1.	<i>Aksijalne turbine</i>	6
2.2.2.	<i>Cross flow (radijalne) turbine</i>	8
2.2.3.	<i>Usporedba turbina s horizontalnom i vertikalnom osi</i>	12
2.3.	Dimenzioniranje hidrokinečkih turbina s horizontalnom osi	13
3.	TERENSKO ISTRAŽIVANJE	16
3.1.	Metodologija mjerenja.....	16
3.2.	Lokacije i ulazni podaci	17
3.2.1.	<i>Lokacija Ludbreg, rijeka Bednja</i>	19
3.2.2.	<i>Lokacija Ključ, rijeka Bednja</i>	23
3.2.3.	<i>Lokacija Željeznica, rijeka Bednja</i>	26
3.3.	Opis mjernog uređaja	29
3.4.	Postupak mjerenja	32
3.5.	Rezultati mjerenja.....	36
3.5.1.	<i>Rezultati mjerenja na lokaciji u Ludbregu</i>	36
3.5.2.	<i>Rezultati mjerenja na lokaciji u Ključu</i>	41
3.5.3.	<i>Rezultati mjerenja na lokaciji u Željeznici</i>	44
4.	ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA	49
4.1.	Ludbreg	49
4.2.	Ključ	52
4.3.	Željeznica	55
4.4.	Usporedba rezultata mjerenja	58
5.	ZAKLJUČAK	59
6.	LITERATURA	60
7.	POPIS SLIKA	61
8.	POPIS TABLICA	63

SAŽETAK

U ovome je radu prikazan potencijal rijeke Bednje za građenje hidrokinetičkih turbina. Hidrokinetičke turbine smatraju se potpuno novom vrstom tehnologije u svijetu, a koja je sve više brzorastuća. Posebnost ovih turbina krije se u činjenici da za proizvodnju električne energije koriste isključivo kinetičku energiju vode te za njihov rad nisu potrebni razni hidrotehnički i građevinski zahvati koji bi imali štetni utjecaj na okoliš. Na osnovu postojećih spoznaja te mjerenjima brzine i protoka vode rijeke Bednje na tri lokacije (limnigrafska postaja Ključ, Ludbreg i Željeznica), proračunate su snage hidrokinetičkih turbina koje bi se mogle postaviti na tim lokacijama.

Ključne riječi: hidrokinetička turbina, kinetička energija, rijeka Bednja, utjecaj na okoliš

SUMMARY

This paper presents the potential of the Bednja river for the construction of hydrokinetic turbines. Hydrokinetic turbines are considered a completely new type of technology in the world, and which is increasingly fast-growing. The peculiarity of these turbines lies in the fact that for the production of electricity only kinetic energy of water is used and their operation does not require various hydraulic and construction works that could have a detrimental impact on the environment. Based on existing knowledge and measurements of the speed and water flow of the Bednja river at three locations (limnigraphic post Ključ, Ludbreg and Željeznica), the power of hydrokinetic turbines that could be installed at these locations were calculated.

Keywords: hydrokinetic turbine, kinetic energy, river Bednja, impact on the environment

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

OIE	obnovljivi izvori energije
m	metar
s	sekunda
VLH	very low head
ρ	gustoća fluida
v_0	brzina strujanja
A	površina poprečnog presjeka
η	koeficijent učinkovitosti
C_p	koeficijent snage
W	watt
TSR	omjer brzina na vrhu lopatica
km	kilometar
ADV	akustični doplerski velocimeter
LCD	liquid crystal display
P	snaga
v_{sr}	srednja brzina

1. UVOD

Naglim porastom broja stanovništva i razvitkom tehnologije dolazi do sve veće potrošnje i potrebe za električnom energijom. Većina energije danas se još uvijek proizvodi izgaranjem fosilnih goriva, čiji utjecaj na okoliš postaje sve aktualnija tema diljem svijeta. Zbog mnogobrojnih negativnih utjecaja fosilnih goriva na okoliš, a samim time i na čovjeka, sve više zemalja i ljudi okreće se korištenju obnovljivih izvora energije. Pod obnovljive izvore energije (OIE) spadaju energija vode, vjetra, sunca, geotermalna energija i energija biomase.

Hydroenergija je najznačajniji, i sa ekonomskog stajališta, najkonkurentniji obnovljivi izvor energije. Snaga vode koja se kreće vidljiva je svakom čovjeku koji se borio plivajući protiv struje, koji je svjedočio oceanskim valovima, poplavama i slično. Nove vrste tehnologija omogućuju iskorištavanje ove moći vode u kretanju kako bi ljudi bili u mogućnosti osvijetliti, zagrijati i ohladiti svoje domove, bez potrebe za izgradnjom novih brana i ostalih građevina koje imaju značajan negativan utjecaj na životinje, sam ekosustav i kvalitetu vode. Upotreba snage vode datira tisućama godina unatrag, sve do vodenih kotača Drevne Grčke, koja je energiju padajuće vode koristila za stvaranje snage za potrebe mljevenja pšenice. Danas, u doba vođeno tehnologijom i razvitkom, pruža se prilika za daljnjim razvojem u vidu iskorištavanja vodnog potencijala naših oceana i rijeka.

Sve energetske tehnologije posjeduju svojevrsan utjecaj na okoliš, ono što se može sa sigurnošću reći je da svi ti utjecaji nisu jednaki. Dok se bira koji će se energetske resursi razvijati, potrebno je odvagati njihove karakteristike i raznolike utjecaje na okoliš i zajednicu, istovremeno imajući na umu utjecaje fosilnih goriva na zagađenje zraka i vode, kao i globalno zagrijavanje.

Jedna od perspektivnih tehnologija odnosi se na iskorištavanje kinetičke energije vode. Hidrokinetičke turbine za stvaranje energije koriste isključivo kretanje vode, bez potrebe za izgradnjom raznih popratnih građevina čiji utjecaj na okoliš nije zanemariv.

Dvije glavne sheme u kojima se ovakve turbine mogu koristiti u sustavima za proizvodnju električne energije su plimna struja i riječni tokovi. Osim toga, i oceanske struje predstavljaju još jedan potencijalan izvor energije. Ovakve turbine mogu biti plutajuće ili fiksne, mogu i ne moraju biti usidrene. Za njihov rad nije potrebna gradnja brana i ostalih hidrotehničkih građevina, što znači da je utjecaj na okoliš značajno smanjen, gotovo zanemariv. Postoji više različitih vrsta hidrokinečkih turbina pa je za odabir najpogodnije za određenu lokaciju potrebno obaviti brojna mjerenja i istraživanja. Iako svi hidrokinečki uređaji rade po istim principima pretvorbe energije, neovisno o području primjene, postoje razlike u njihovom dizajnu i operativnim značajkama. Potrebno je pronaći pogodnu lokaciju, koja ima povoljne brzine vode za proizvodnju električne energije putem ovih turbina.

U ovome će radu biti prikazana terenska istraživanja, odnosno način mjerenja različitih parametara vodotoka u svrhu procjene najpogodnije lokacije za takav pothvat. Osim načina mjerenja, u radu su prikazani rezultati te proračuni snaga, čija rješenja ukazuju na najpogodniju lokaciju instalacije hidrokinečke turbine.

2. HIDROKINETIČKE TURBINE

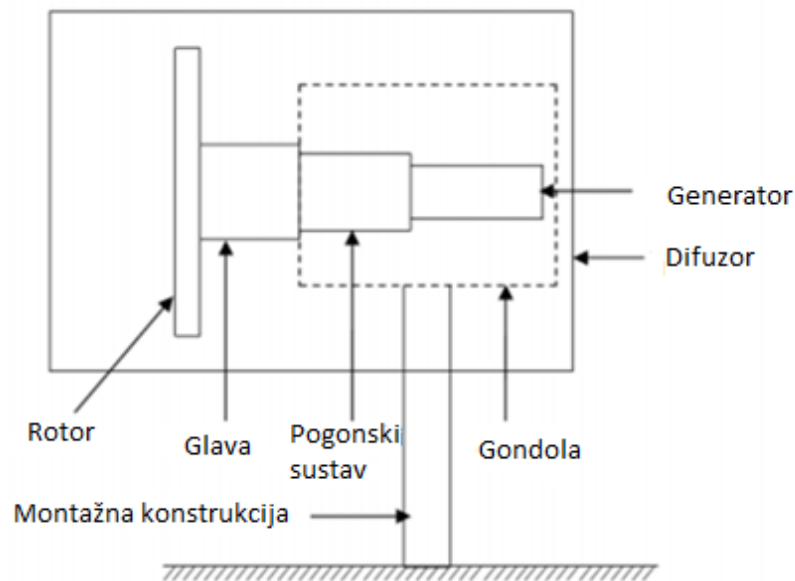
Hidrokinetičke turbine predstavljaju novu vrstu tehnologije, koja je još u nastajanju, a koristi kretanje vode za stvaranje energije. U usporedbi s tradicionalnim hidroelektranama, koje zahtijevaju poveću infrastrukturu koja može poremetiti protok i sam ekosustav, hidrokinetičke turbine smještaju se izravno u vodotok te imaju puno manji, ako ne i zanemariv, ekološki otisak. Ovakav tip turbina namijenjen je postavljaju ispod razine vode, u fiksnoj, plutajućoj ili usidrenoj konfiguraciji, na bilo kojem mjestu gdje efektivna struja vode teče minimalnom brzinom od oko 0,25 m/s [1]. Ovakva tehnologija proizvodi električnu energiju iskorištavanjem kinetičke energije vodenog tijela, odnosno energije koja proizlazi iz njegovog kretanja. Budući da je voda gušća od zraka čak 832 puta, naše plima i oseka, valovi, oceanske struje i rijeke koje slobodno teku predstavljaju neiskorišteni, snažan, visoko koncentrirani i čisti energetske resurs.

Mehanizmi za proizvodnju električne energije mogu se postaviti u pojedinačne jedinice ili u nizove te mogu biti potopljeni, plutajući ili privezani za postojeće građevine, kao što su mostovi i ostale infrastrukture u vodi.

2.1. Način rada hidrokinetičkih turbina

Kao što je već spomenuto, hidrokinetičke turbine postavljaju se izravno u vodotok kako bi koristile kinetičku energiju vode koja teče preko rotora turbine. Rotor je povezan s elektromehaničkim pretvaračem energije koji potom generira električnu energiju bez utjecaja na tok vodotoka. Glavni dijelovi tipične hidrokinetičke turbine su rotor, pogonski sustav, generator, gondola (nosač), difuzor te montažna konstrukcija. Rotor se sastoji od glave i lopatica. Gledajući sa ekonomskog i hidrodinamičkog stajališta, dizajn rotora primarni je izazov prilikom projektiranja hidrokinetičkih turbina. Pogonski sustav sastoji se od rotirajućih dijelova turbine, što uključuje osovinu male brzine (na strani rotora), prijenosnik, osovinu velike brzine (na strani generatora) i potporne ležajeve. Svrha prijenosnika jest ubrzanje brzine vrtnje rotora od niže vrijednosti do brzine prikladne za pogon standardnog generatora. Generator služi za transformaciju mehaničke energije iz rotora u električnu energiju

koja se nakon toga prenosi na mrežu. Gondola uključuje kućište turbine i glavni okvir, čija je svrha osiguranje montaže i pravilnog poravnanja komponenata pogonskog sustava. Poklopac gondole hermetički je zatvoren, kako bi zaštitio dijelove turbine od djelovanja vode. Difuzor se postavlja oko same hidrokinetičke turbine kako bi povukao što više tekućine kroz istu te povećao raspoloživi pad tlaka na turbini. Ova se opcija ne koristi na svim dostupnim izvedbama na tržištu. Montažna konstrukcija sastoji se od nosača i temelja za cijelu turbinu [2]. Općeniti prikaz hidrokinetičke turbine prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1. Općeniti prikaz hidrokinetičke turbine [2]

Prednosti hidrokinečkih turbina, gledajući sa strane dizajna, odnosno izvedbe, su mnogobrojne:

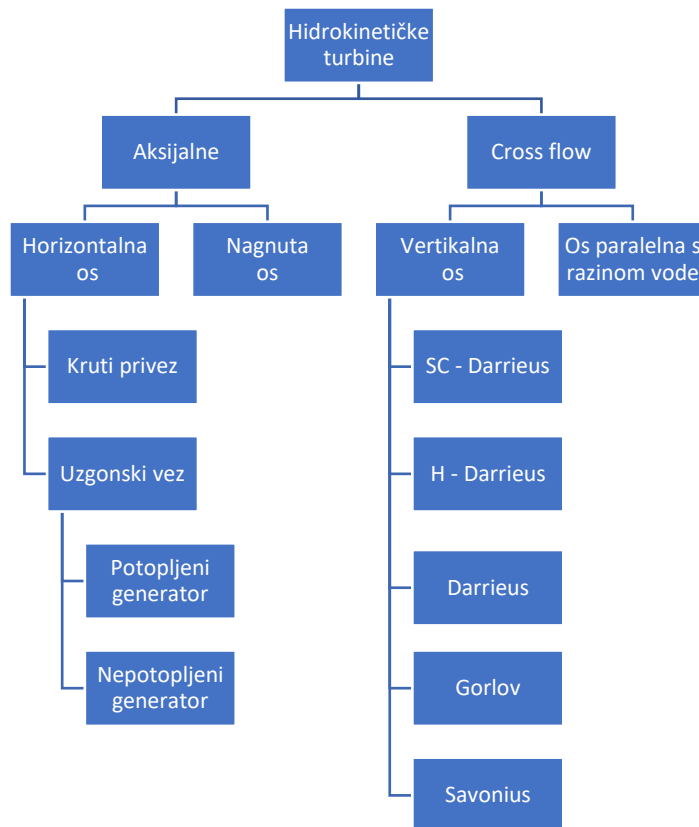
- nema potrebe za promjenom smjera toka vodotoka,
- viša razina ekstrakcije energije uslijed postavljanja blizu površine - energetski tok sadržan u vodenim tokovima ovisan je o brzini fluida, gustoći fluida te o površini poprečnog presjeka. Maksimalna energija dostupna je kada se turbina postavlja u blizini površine fluida.
- minimalna potreba za izvedbom građevinskih radova,
- minimalan utjecaj na okoliš,
- korištenje dostupnih tehnologija - osnovni dijelovi ovakvih turbina lako su dostupni na tržištu, što uvelike smanjuje troškove sustava.,
- raznolikost primjene - osnovni cilj hidrokinečkih turbina jest proizvodnja električne energije koja se može koristiti na različite načine, kao što je pogon manjih industrija, navodnjavanje, ljudska potrošnja i sl.,
- buka i estetika. Podvodne instalacije hidrokinečkih turbina ne uzrokuju buku te imaju zanemariv estetski utjecaj.

2.2. Podjela hidrokinečkih turbina

Hidrokinečke turbine dijele se temeljem smjera vrtnje rotora turbine u odnosu na protok vode na određenom mjestu. Uobičajeno se dijele na:

- Aksijalne hidrokinečke turbine,
- Cross flow (radijalne) hidrokinečke turbine [3].

Podjela hidrokinečkih turbina prikazana je na slici 2.2.

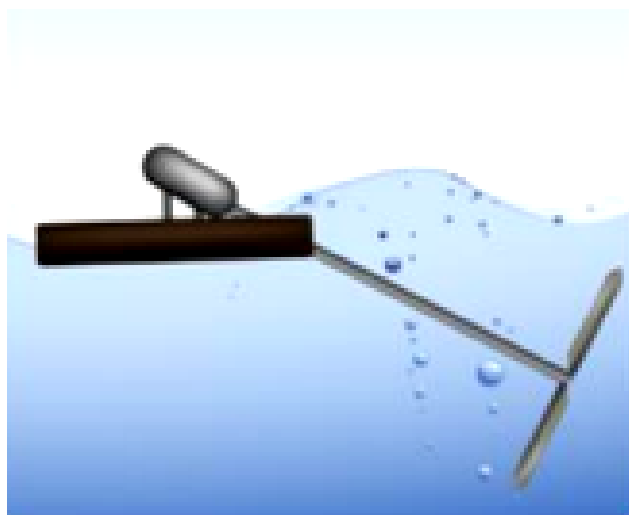


Slika 2.2. Podjela hidrokinetičkih turbina

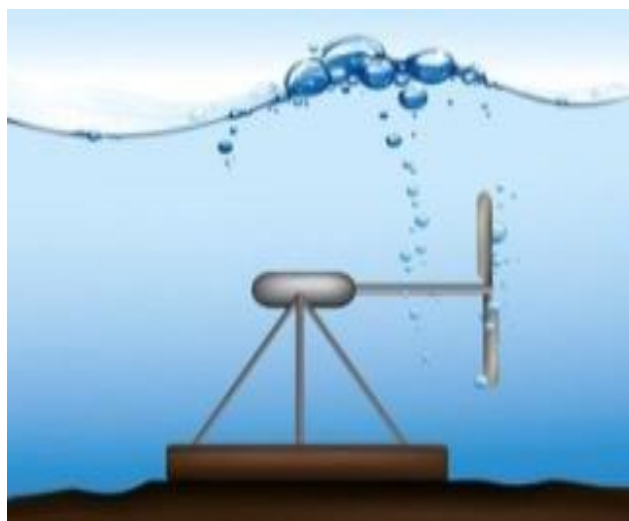
2.2.1. Aksijalne turbine

Os rotacije vodoravne (aksijalne) turbine paralelna je sa smjerom protoka. Ravnina rotora okomita je na tok kako bi se postigla odgovarajuća učinkovitost. Ovakav tip turbina ponajviše se koristi kod pretvaranja energije plime i oseke, a konceptom i dizajnom slične su modernim vjetroturbinama. Na slikama 2.3.-2.6. može se vidjeti nekoliko tipova ovakvih turbina. Turbine s nagnutom osi (slika 2.3.) najčešće se koriste kod malih vodotoka, dok se ostale prikazane turbine koriste ponajviše u oceanima (dobivanje električne energije iz morskih struja i valova). Primjer turbina s nagnutom osi je VLH (Very Low Head) turbina.

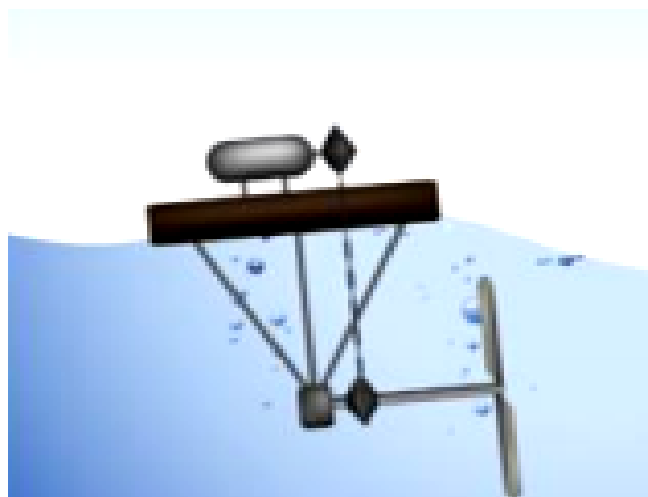
Sljedeća podjela ovakvih tipova turbina jest na čvrste (krute) privezne turbine i uzgonske privezne turbine (uključujući nepotopljene i potopljene generacijske turbine). Kod čvrstih turbina za privez generator je instaliran u blizini korita ili morskog dna [4].



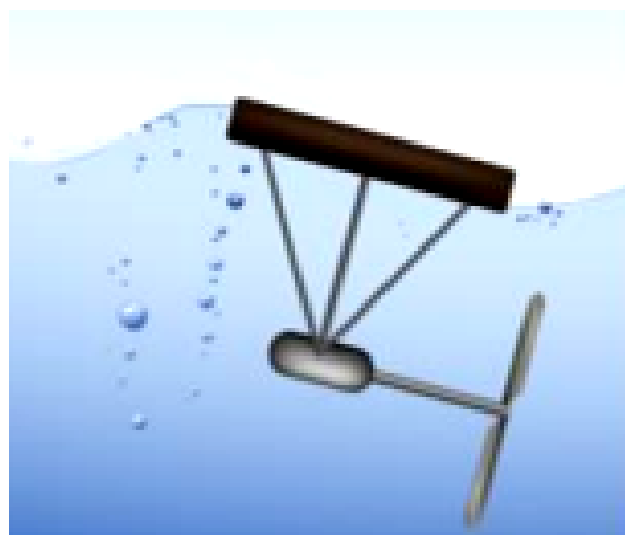
Slika 2.3. Turbina s nagnutom osi [4]



Slika 2.4. Turbina s krutim privezom [4]



Slika 2.5. Nepotopljeni generator [4]



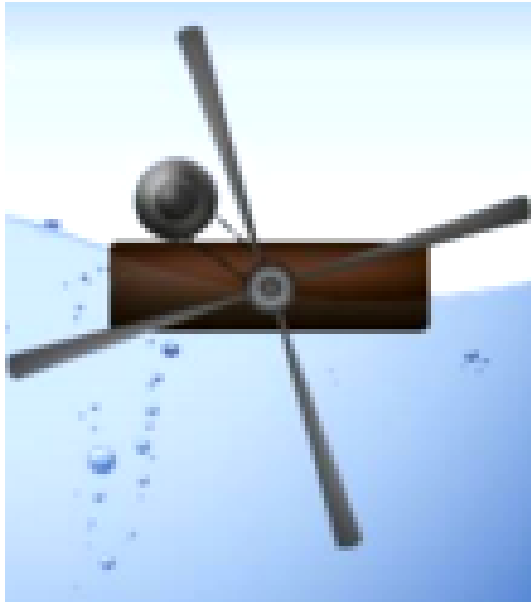
Slika 2.6. Potopljeni generator [4]

2.2.2. Cross flow (radijalne) turbine

Cross flow turbine dijele se u dvije grupe: turbine s vertikalnom osi i turbine s osi paralelnom s ravninom vode.

Turbine s vertikalnom osi imaju os rotacije okomitu na smjer vode te mogu raditi neovisno o smjeru vode. Ovakav tip turbina je jeftiniji od aksijalnih turbina i zahtijeva manje održavanje. Unatoč činjenici da turbine s vertikalnom osi nisu učinkovite kao turbine s vodoravnom osi (pokazuju vrlo malo početni moment, kao i probleme s

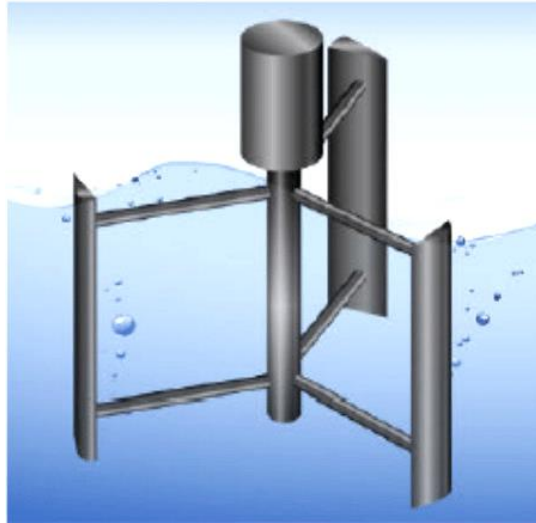
dinamičkom stabilnošću), povećan je interes za iste, zahvaljujući čemu se pokreću daljnja istraživanja u razvoju poboljšanih konstrukcija turbina. Korištenje turbina s vertikalnom osi prikladnije je za slučajeve kada je brzina protoka relativno ograničena. Na slikama 2.7.-2.12. prikazani su najpoznatiji tipovi ovakvih turbina.



Slika 2.7. Turbina s osi paralelnom s ravninom vode [4]



Slika 2.8. Squirrel cage Darrieus turbina [4]



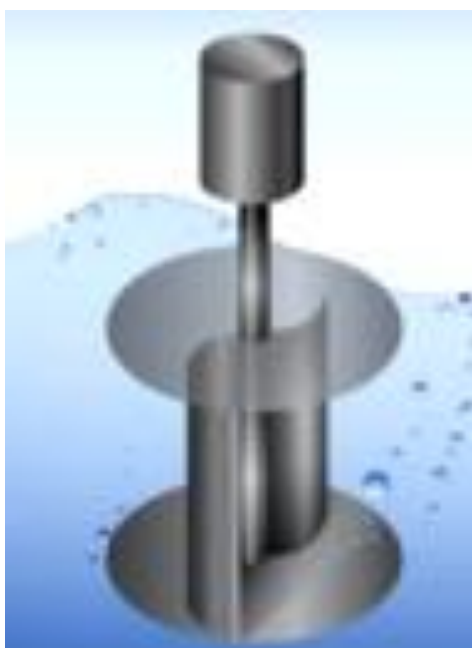
Slika 2.9. H-Darrieus turbina [4]



Slika 2.10. Darrieus turbina [4]



Slika 2.11. Gorlov turbina [4]



Slika 2.12. Savonius turbina [4]

2.2.3. Usporedba turbina s horizontalnom i vertikalnom osi

a) Dizajn

Značajna stavka za uspjeh hidrokinetičkih turbina jest jednostavnost dizajna i sami troškovi sustava. Za razliku od dizajna lopatica turbina s vodoravnom osi, koji uključuje pažljivu obradu i proizvodnju, upotreba ravnih lopatica turbina s vertikalnom osi čini dizajn mnogo jednostavnijim, samim time i jeftinijim.

b) Smještaj generatora

Kod hidrokinetičkih turbina spajanje generatora s rotorom turbine vrlo je izazovno. U vodoravnim osovinskim turbinama to se može izvesti pravokutnom spojnicom zupčanika, dugačkim dijagonalnim vratilom ili podvodnom ugradnjom generatora. Kod turbina s okomitom osi generator se može nalaziti na jednom kraju osovine, omogućujući mu da bude iznad površine vode [5].

c) Buka

Turbine s vertikalnom osi uglavnom emitiraju manje buke od onih s vodoravnom osi, što predstavlja bolji izbor za vodene organizme [5].

d) Rad u plitkim kanalima

Primjena brzine vode u okomitom smjeru kanala ima značajan utjecaj na performanse turbine. U plitkom kanalu gornji dijelovi turbine okrenuti su većim brzinama vode. U tim su slučajevima vertikalne osi turbine učinkovitije.

e) Postavljanje turbine

Aksijalne turbine najčešće su predviđene za postavljanje na dno kanala, dok se vertikalne turbine uglavnom postavljaju kao plutajuće ili površinske instalacije.

f) Učinkovitost

Početni moment kod turbina s vertikalnom osi općenito je slabiji nego kod turbina s vodoravnom osi, što znači da je za rješavanje tog problema potrebna elektromehanička oprema.

g) Kavitacija

Zbog same fizike i nestalne prirode protoka u turbinama s vertikalnom osi, rizik od kavitacije veći je nego kod turbina s vodoravnom osi.

h) Hidrodinamičke značajke

Jedna od najvažnijih prednosti turbina s vodoravnom osovinom jest ravnomjerno djelovanje sila podizanja duž lopatica, te se iz tog razloga ove turbine samostalno pokreću. Osim toga, rade i pri većim brzinama rotacije.

2.3. Dimenzioniranje hidrokinetičkih turbina s horizontalnom osi

U fazi projektiranja potrebno je pažljivo procijeniti karakteristike protoka, značajke turbine, dimenzije, dijelove, mjesto i način povezivanja dijelova turbine. Hidrokinetičke turbine s horizontalnom osi rade po istom principu kao i vjetroagregati. Teorijska snaga vode u nekom segmentu rijeke može se izračunati na sljedeći način [6]:

$$P_{\text{teor}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_0^3 \cdot \eta \quad (1)$$

Gdje je:

ρ - gustoća fluida

v_0 - brzina strujanja

A - Površina poprečnog presjeka

η – koeficijent učinkovitosti.

Korisna snaga koju turbina može proizvesti manja je od teorijski raspoložive snage vode, a određuje ju koeficijent snage, C_p . Snaga koju proizvodi turbina računa se prema sljedećem izrazu [6]:

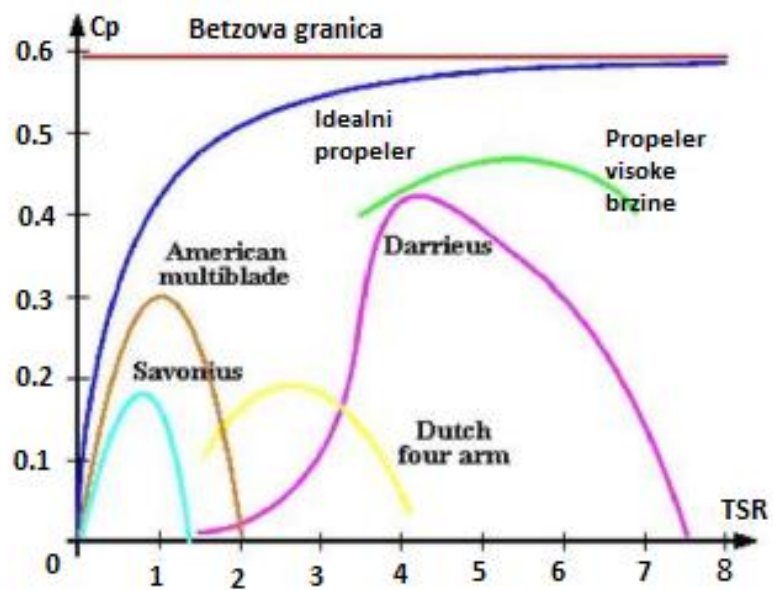
$$P_{\text{turbina}} = C_p \cdot P_{\text{teor}} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v_0^3 \quad (\text{W}) \quad (2)$$

Koeficijent snage C_p ovisan je o omjeru brzina na vrhu lopatica (TSR). Taj omjer brzina predstavlja omjer obodne brzine na vrhu lopatice i brzine slobodnog toka vode [6]:

$$TSR = \frac{\Omega R}{v_0} \quad (3)$$

Ovisnost C_p o TSR ukazuje nam na činjenicu da ukoliko je brzina vrtnje prevelika, lopatice rotora prolaziti će kroz turbulentno područje strujanja. S druge strane, ukoliko je brzina vrtnje premala, lopatice rotora neće uspjeti pretvoriti energiju vode u mehanički rad. Teorijska granica C_p koju je izveo njemački fizičar, Albert Bezt, iznosi 0,593. Prethodno spomenuta granica proizlazi iz analize provedene na kontrolnom volumenu čije granice predstavljaju površine strujne cijevi te njena dva poprečna presjeka. Rotor turbine predstavljen je rotirajućim diskom koji uzrokuje diskontinuitet tlaka fluida koji struji kroz cijev. Ova analiza temelji se na nekoliko pretpostavki:

- nema otpora trenja,
- kontrolni volumen sastoji se od homogenog, nestlačivog, stabilnog protoka,
- beskonačan broj lopatica,
- statički tlak uzvodno i nizvodno od rotora jednak je neometanom statičkom tlaku okolnog protoka zraka,
- protok je linearan i nema rotaciju,
- uniformnost potiska po cijeloj površini diska ili rotora [6].



Slika 2.13. Usporedba C_p -TSR krivulja različitih turbina [7]

3. TERENSKO ISTRAŽIVANJE

Terenska istraživanja provedena su na tri lokacije u Republici Hrvatskoj, preciznije - u Varaždinskoj županiji, na rijeci Bednji. Mjerenja su provedena sa 2D ultrazvučnim mjeračem protoka pod nazivom SonTek FlowTracker 2 te su na svim lokacijama, u suštini, provedena na jednak način.

3.1. Metodologija mjerenja

Terenska istraživanja za potrebe ovoga rada provela su se na 3 lokacije na rijeci Bednji: limnigrafska postaja Ludbreg, limnigrafska postaja Ključ i limnigrafska postaja Željeznica. Na svim lokacijama postupak mjerenja proveden je na isti način. Postupak započinje dolaskom na lokaciju i pregledom terena, važno je uvidjeti je li teren uopće pogodan za mjerenje te može li se sigurno ući u rijeku. Nakon pregleda terena pristupa se samom postupku mjerenja na način da se na lijevu i desnu obalu rijeke postave učvršćenja za mjernu traku koja se razvlači preko rijeke. Mjerenja se rade u pravilnom rasteru, uglavnom se kao raster odabire jedna dvadesetina ukupne širine rijeke na mjestu mjerenja, što je preporuka Svjetske Meteorološke Organizacije. Na sve tri lokacije mjerenja su bila obavljena u rasteru od 1 metar, a širina rijeke niti na jednoj lokaciji nije prelazila 15 metara. Što je raster mjerenja manji, to su rezultati precizniji i točniji, ali se troši i više vremena za mjerenje. Na većini stacionaža, u konkretnom slučaju, mjerenja su vršena na dvije različite dubine (metoda 0,2/0,8). Na preostalim stacionažama mjerenja su se vršila po metodi 0,6, odnosno na samo jednoj dubini, s obzirom na preporuku koju je definirao softver mjernog uređaja.

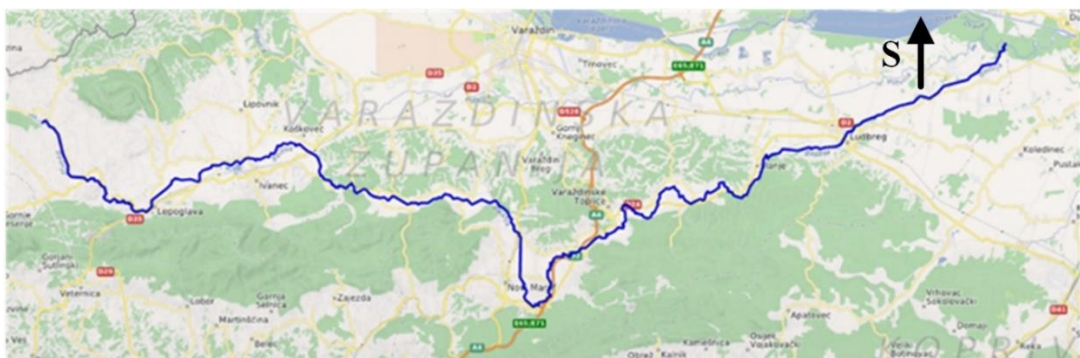
Mnogi parametri utječu na samu kvalitetu mjerenja te ih je potrebno uzeti u obzir. Na dnu korita često se nalazi vegetacija, a samom rijekom može ploviti razno granje koje uređaju predstavlja određenu vrstu smetnje te može utjecati na rezultate mjerenja.

Kada se mjerenja izvrše na svim stacionažama moguće je iz uređaja prebaciti sve podatke na računalo. Podaci sadrže informacije o lokaciji, vremenu mjerenja, metodi mjerenja, geometriji vodotoka (širina, dubina, površina), protoku, brzinama vode,

temperaturi vode i slično. Svrha terenskog istraživanja za potrebe ovog rada leži u izračunu snaga hidrokinetičkih turbina. Za svaki dio presjeka izračunava se srednja brzina i površina koje su potrebne za izračun snage turbine. Izračun snaga provodi se prema formuli (1) te se kao gustoća vode uzima 1000 kg/m^3 , dok se kao koeficijent učinkovitosti uzima vrijednost od 30 %, tj. 0.3 prema preporukama te iskustvenim smjernicama [8]. Ova vrijednost koeficijenta jest najmanja granica, što je on veći to su proračunate snage turbina veće. Kada su poznate vrijednosti snaga, potencijal lokacija vrlo je lako međusobno usporediti i odabrati najbolju. Najbolja lokacija je ona na kojoj se nalazi najveća izračunata snaga. Naravno, u stvarnosti nisu sve lokacije pogodne za postavu hidrokinetičkih turbina, no u mnogim lokacijama leži još neotkriveni potencijal.

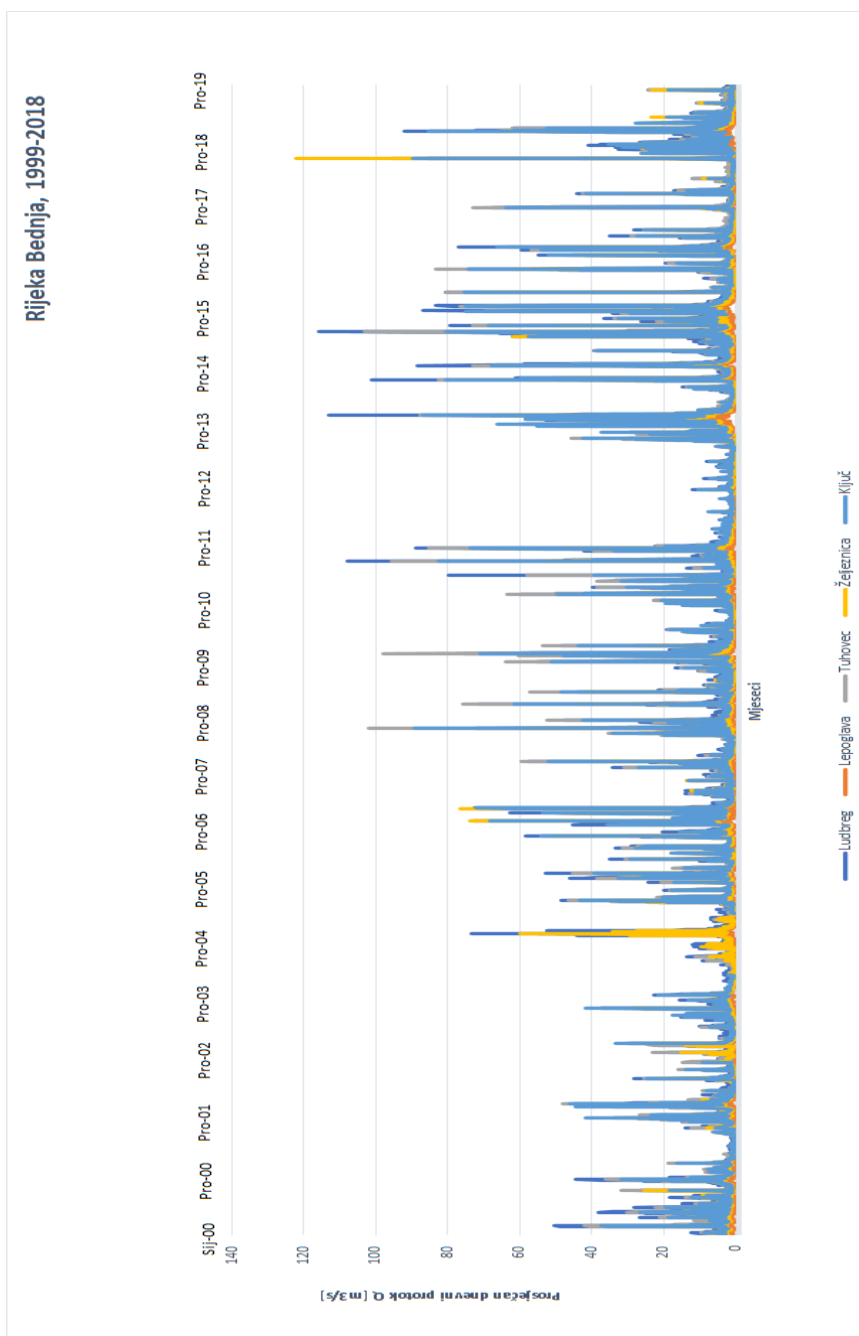
3.2. Lokacije i ulazni podaci

Mjerenje brzine i protoka vode se provelo na tri lokacije u Varaždinskoj županiji. Sve lokacije nalazi se na rijeci Bednji. Rijeka Bednja dugačka je 133 kilometara i cijelim svojim tokom teče kroz Republiku Hrvatsku, te spada u desni pritok rijeke Drave. Trenutna širina rijeke kreće se od 10 do 20 metara, a dubina do 3 metra [9]. Izvor Bednje nalazi se u blizini grada Trakošćana (Maceljsko gorje) na 320 metara nadmorske visine. Također, Bednja je najdulja hrvatska rijeka koja cijelim svojim tokom teče kroz Republiku Hrvatsku, a sam tok rijeke Bednje prikazan je na slici 3.1.



Slika 3.1. Tok rijeke Bednje [10]

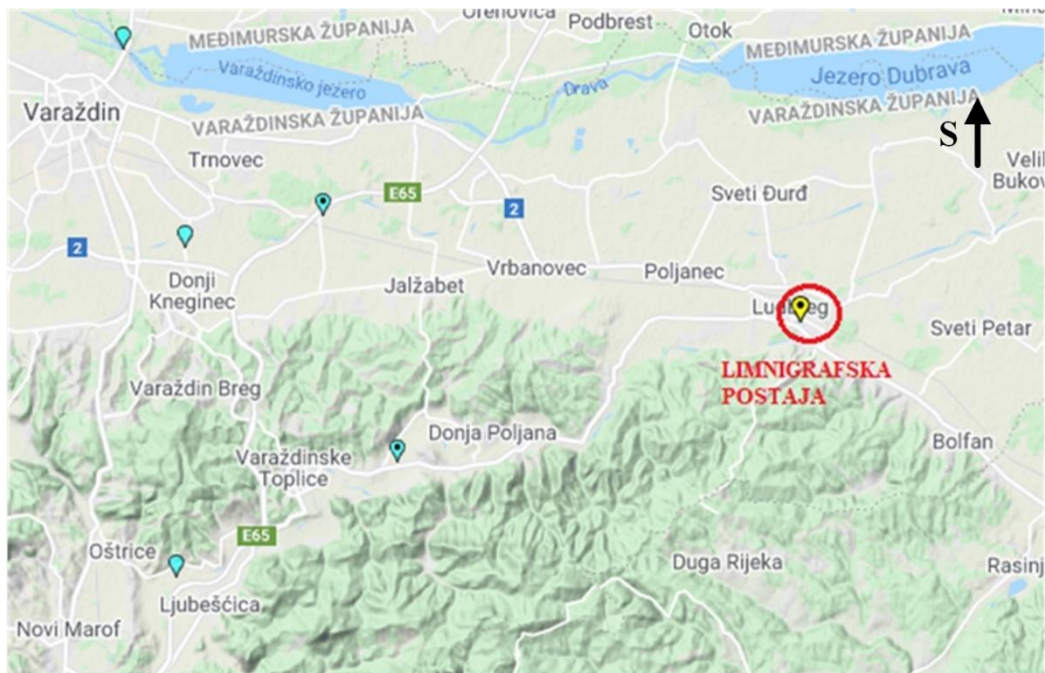
Površina sliva rijeke Bednje iznosi oko 616 km², od kojih 477 km² spada u brdski dio sliva, pri čemu je registrirano 48 bujičnih slivova s oko 250 km vodotoka. Na slivu Bednje nalazi se pet mjernih hidroloških postaja, a to su Lepoglava, Ključ, Željeznica, Ludbreg i Tuhovec [11]. Na prikazanom hidrogramu (slika 3.2.) uočava se kako je Bednja rijeka vrlo bujičnog karaktera.



Slika 3.2. Grafički prikaz prosječnih protoka Bednje u odnosu na mjesec u godini [12]

3.2.1. Lokacija Ludbreg, rijeka Bednja

Na lokaciji u Ludbregu nalazi se limnigrafska postaja i mjerna letva na kojoj se može očitati razina vode u tom trenutku. Karta grada Ludbrega, sa oznakom limnigrafske postaje, a samim time i lokacije mjerenja, nalazi se na slici 3.3.



Slika 3.3. Položaj limnigrafske postaje Ludbreg na rijeci Bednji [13]

Pobliži prikaz lokacije prikazan je na slikama 3.4. i 3.5. Također, na slici 3.5. vidljiva je i mjerna letva koja se nalazi na spomenutoj lokaciji.

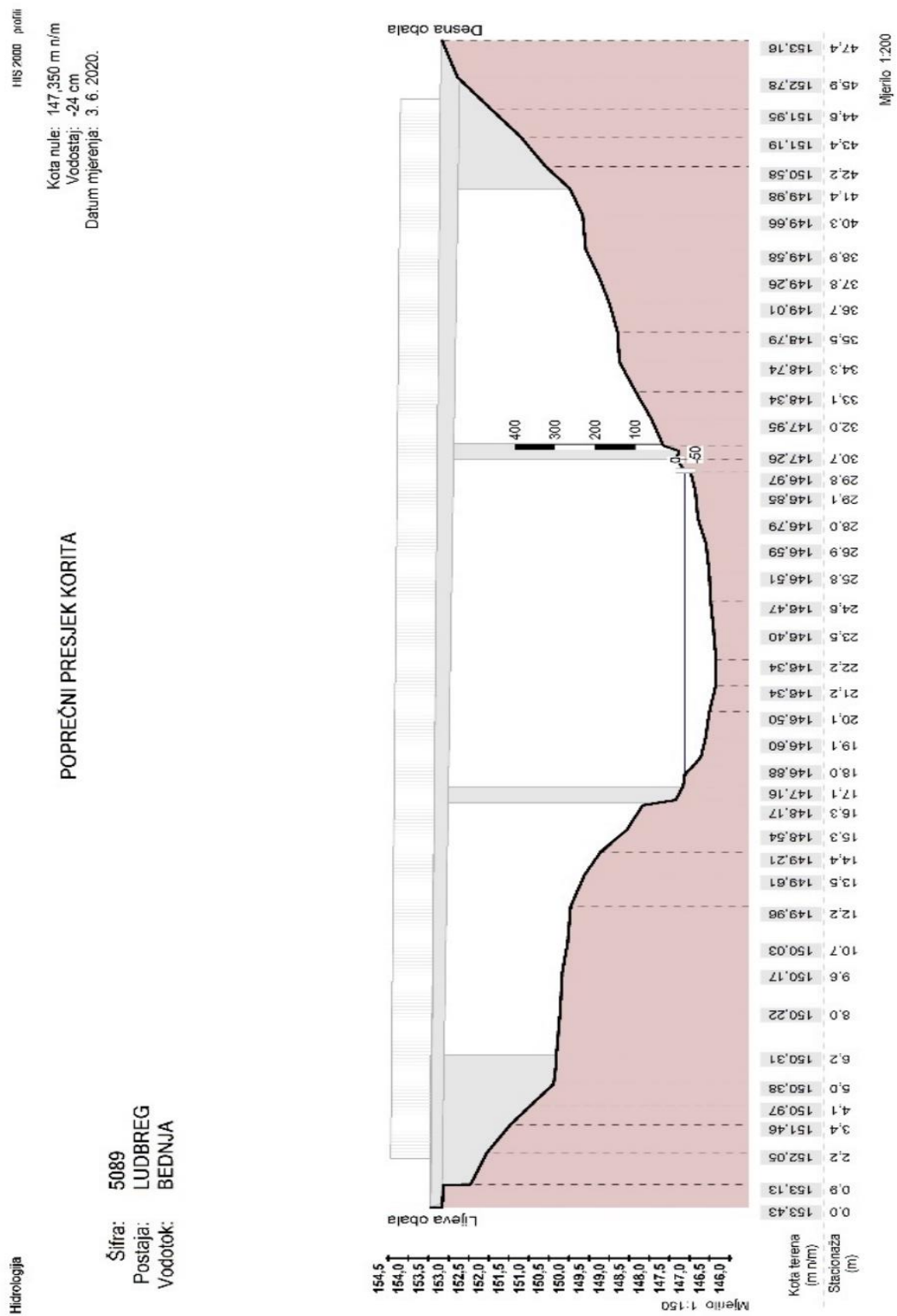


Slika 3.4. Pogled na lokaciju mjerenja u Ludbregu



Slika 3.5. Bliži pogled na lokaciju mjerenja u Ludbregu

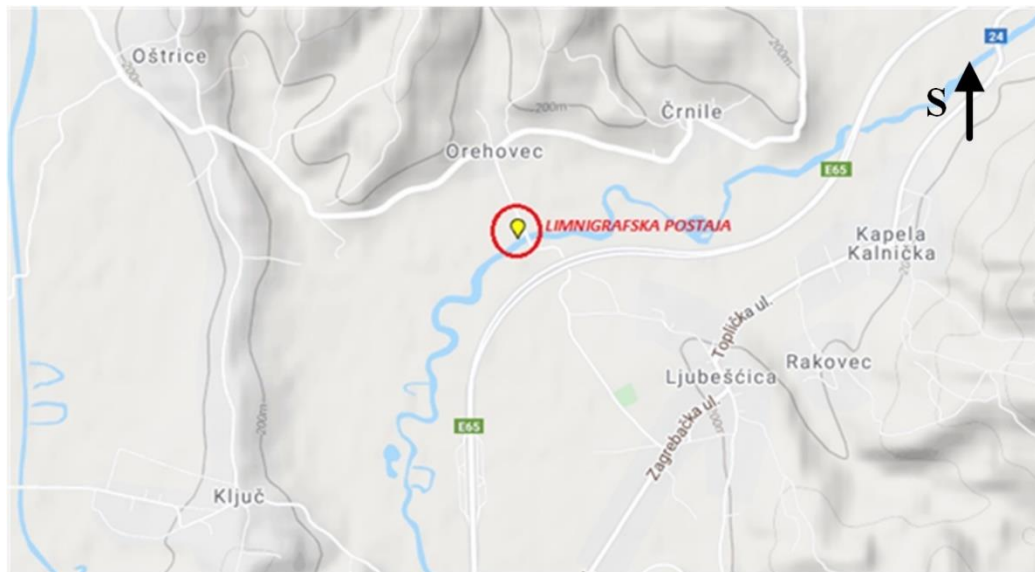
Na slici 3.6., prikazan je poprečni profil rijeke Bednje na mjernoj postaji Ludbreg.



Slika 3.6. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Ludbregu [12]

3.2.2. Lokacija Ključ, rijeka Bednja

Ključ je naselje na sjeveru Republike Hrvatske te se kao i grad Ludbreg nalazi u Varaždinskoj županiji. Naselje spada u sastav grada Novi Marof. Kao što je već spomenuto prethodno u radu, tamo se nalazi i limnografska stanica, a sama lokacija prikazana je na slici 3.7.



Slika 3.7. Položaj limnografske postaje Ključ na rijeci Bednji [13]

Na slici 3.8. поближе je prikazana rijeka Bednja na samoj lokaciji, dok je na slici 3.9. prikazan poprečni presjek korita na datoj lokaciji.

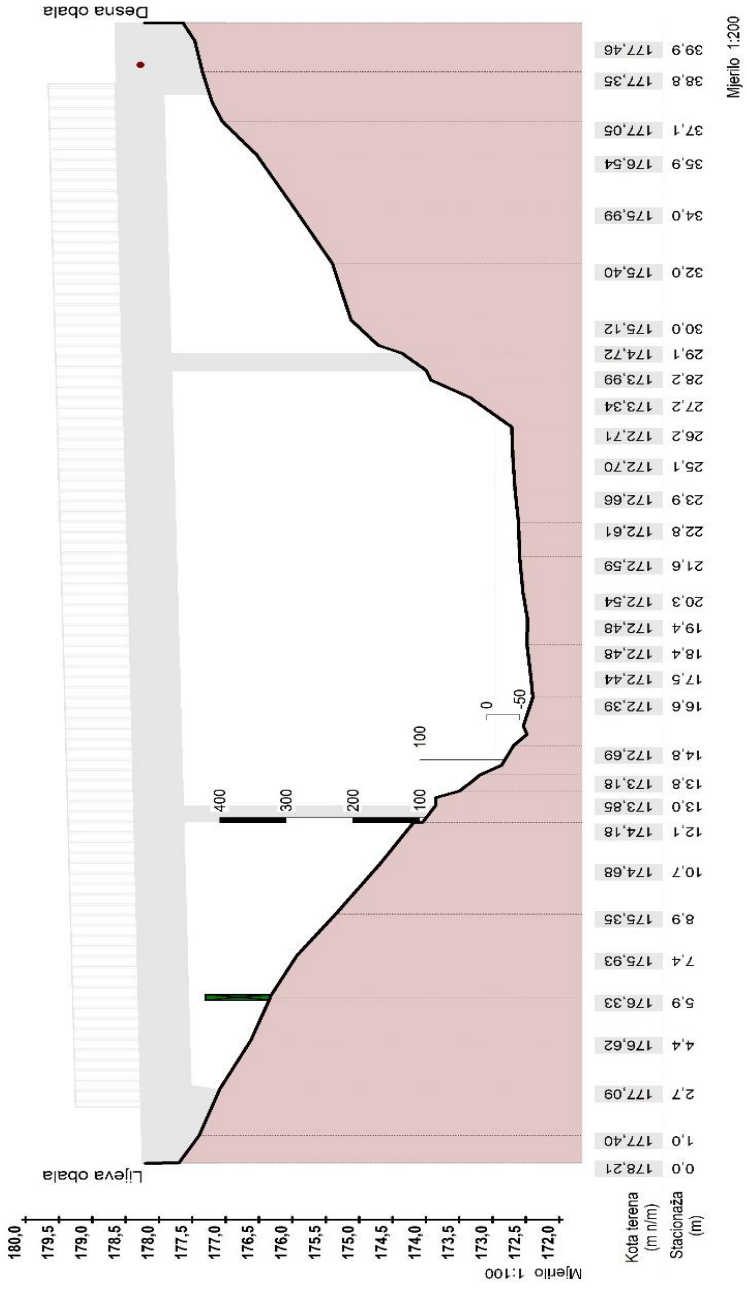


Slika 3.8. Prikaz rijeke Bednje na lokaciji u Ključu, uz prikaz mjerne letve

Hidrologija

Šifra: 5143
 Postaja: KLJUČ
 Vodotok: BEDNJA

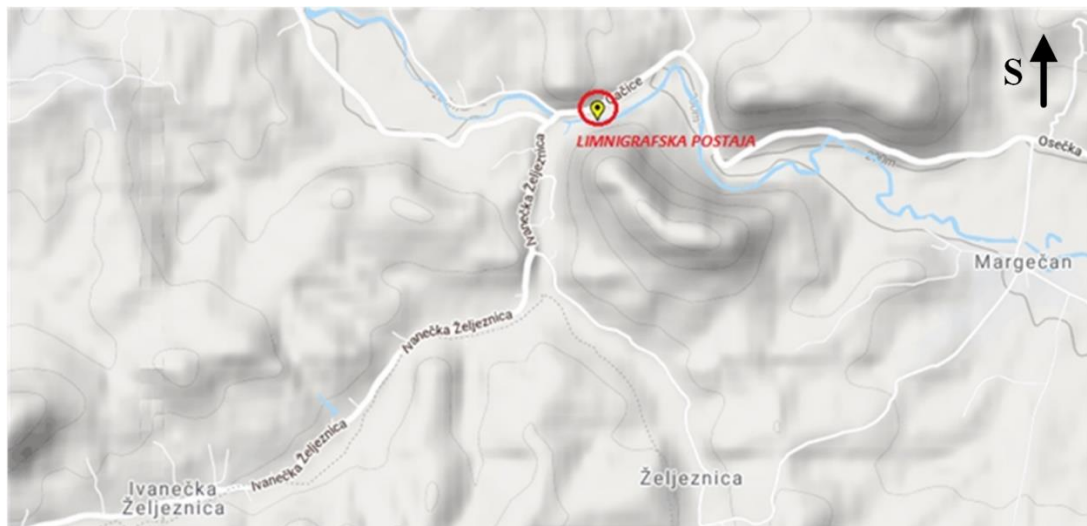
POPREČNI PRESJEK KORITA



Slika 3.9. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Ključu [12]

3.2.3. Lokacija *Željeznica, rijeka Bednja*

Naselje *Željeznica* nalazi se u *Varaždinskoj županiji* te se tamo nalazi *limnigrafska postaja* na rijeci *Bednji*, što je prikazano na slici 3.10.

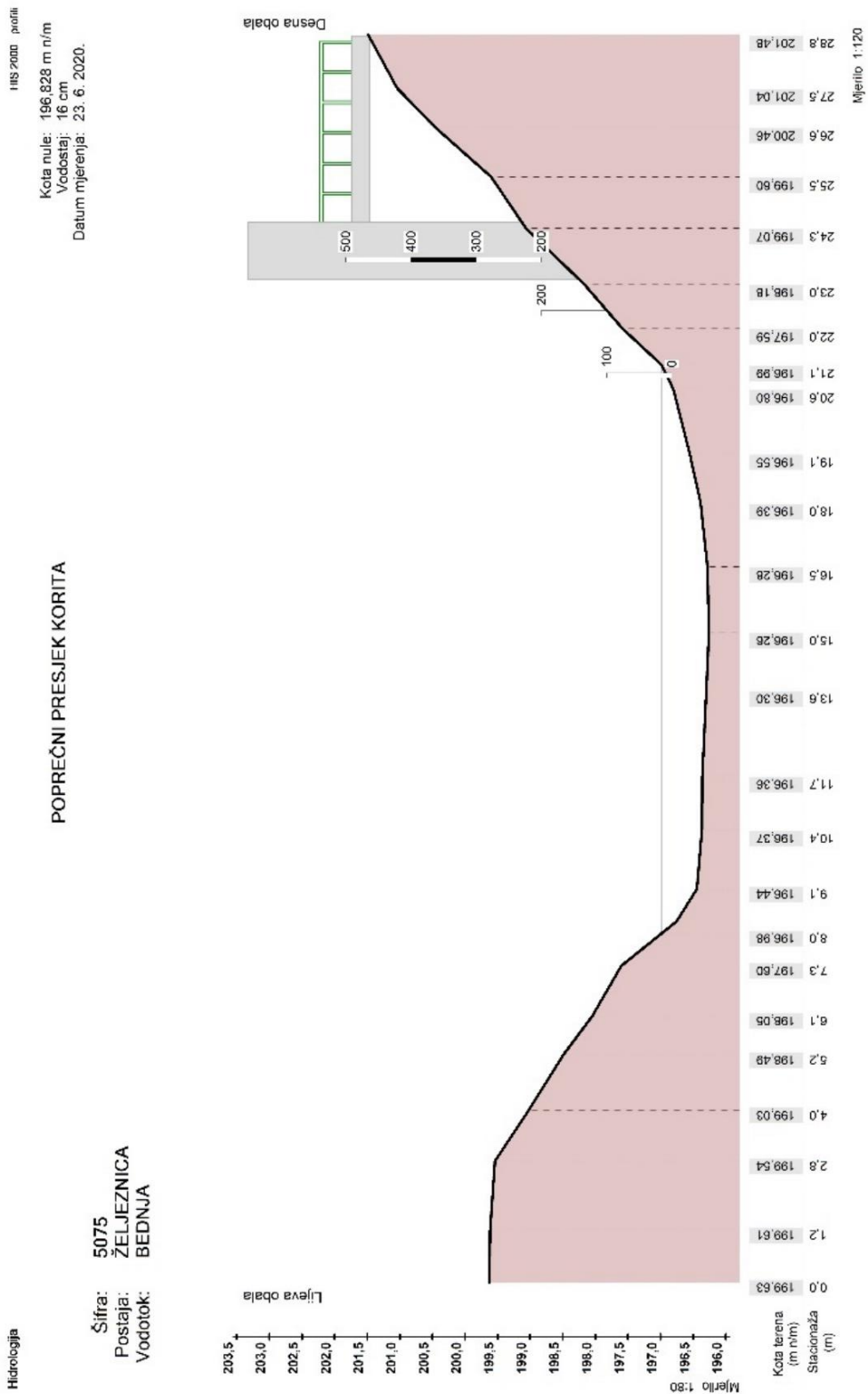


Slika 3.10. Položaj limnigrafske postaje ključ na rijeci Bednji [13]

Na slici 3.11. pobliže je prikazana lokacija mjerenja, uz prikaz mjerne letve, dok je na slici 3.12. vidljiv poprečni profil korita rijeke *Bednje* na istoj lokaciji.



Slika 3.11. Lokacija mjerenja u Željeznici, uz prikaz mjerne letve



Slika 3.12. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Željeznici [12]

3.3. Opis mjernog uređaja

Tijekom terenskih ispitivanja u Republici Hrvatskoj, a za potrebe određivanja najpogodnije hidrokineitičke turbine ovisno o lokaciji, koristio se 2D ultrazvučni mjerni uređaj SonTek FlowTracker 2. Spomenuti instrument koristi ultrazvučnu (ADV) tehnologiju u kompaktnom, ručnom izdanju, za izvršavanje preciznih mjerenja brzine vode u prirodnim potocima, rijekama, otvorenim kanalima i slično.

Instrument se sastoji od nekoliko dijelova, koji se sastavljaju u jednu cjelinu kao što je prikazano na slikama 3.13. i 3.14.



Slika 3.13. Prikaz dijelova mjernog uređaja FlowTracker 2



Slika 3.14. Prikaz mjernog uređaja FlowTracker 2

Dijelovi instrumenta (slika 3.15.) su:

1. Sonda FlowTracker2,
2. Tipkovnica,
3. Ručni uređaj (sastoji se od procesorske elektronike baterija, tipkovnice i LCD zaslona),
4. Odjeljak za baterije,
5. LCD zaslon,
6. Kabel sonde,
7. Komunikacijski priključak [14].

Ručni uređaj dizajniran je da izdrži privremeno poniranje, ali nije namijenjen podvodnom radu. LCD zaslon prikazuje ručni software FlowTracker2 te grafički prikaz sirovih podataka u stvarnom vremenu. Sonda uređaja tvornički je postavljena na tvornički kabel duljine 1500 mm, koji se spaja na ručni uređaj [14].



Slika 3.15. Dijelovi uređaja [14]

Postupak mjerenja sa instrumentom FlowTracker 2 prikladan je za uvjete niskog do srednjeg protoka, ovisno o brzini i dubini vode. Postupak mjerenja temelji se na sljedećim koracima:

- a) Potrebno je prikupiti i provjeriti podatke o mjernom mjestu prije samog mjerenja,
- b) Potrebno je odabrati mjesto mjerenja temeljem raznih kriterija, s obzirom da se uvjeti mjesta i protoka s vremenom mijenjaju,
- c) Kada se odabiru nova mjerna mjesta, preporučuje se da korisnik izvrši provjere na licu mjesta preko presjeka na određenim mjestima, kako bi se dobila procjena raspona brzina i dubine vode te geometrije kanala/korita,
- d) Potrebno je izvršiti dijagnostičko ispitivanje prije mjerenja. Sonda se postavlja u vodu dalje od ikakvih podvodnih zapreka koje bi mogle ometati mjerenje,
- e) Potrebno je razvući mjernu traku preko lokacije na kojoj će mjerenje biti izvršeno,
- f) Dubina vode mjeri se na svakoj postaji,
- g) Vremenski interval mjerenja varira između 40 i 60 sekundi za mjerenje brzine, što ovisi o uvjetima protoka,
- h) Određivanje metode srednje brzine za svaku postaju,

- i) Sondu je potrebno držati podalje od biljaka i ostalih stvari u vodotoku koje bi mogle značajno utjecati na mjerenja brzine.

3.4. Postupak mjerenja

Nakon dolaska na lokaciju u Ludbregu, detaljno se pregledao teren kako bismo uvidjeli eventualne zapreke, nakon čega se pristupilo samom ulasku u vodu. Na lijevu i desnu obalu rijeke postavila su se učvršćenja za mjernu traku koja se razvlači po poprečnom presjeku, kao što je to prikazano na slici 3.16. Isti postupak provodio se na svakoj lokaciji obrađenoj u ovome radu.



Slika 3.16. Postavljanje mjerne trake

Mjernu traku je potrebno postaviti kako bi se što preciznije odabrala svaka točka mjerenja. Mjerenja je potrebno provoditi u pravilnom rasteru, koji ovisi o samoj širini rijeke. Što je manji razmak između točaka mjerenja, to će rezultati biti precizniji. Nakon postave mjerne trake, pristupilo se sklapanju instrumenta i početku mjerenja. Prilikom ulaska u rijeku instrument se uključuje te se radi automatska provjera "Beam Check" koja vrši provjeru kontrole kvalitete prikupljenih podataka, kako bi se utvrdilo jesu li uvjeti protoka pogodni za mjerenje. Provjera radi slanjem impulsa zvuka u vodu, nakon čega iscrtava omjer signal/šum povratnog signala u odnosu na opseg za svaki prijemnik instrumenta. Te se informacije procjenjuju kako bi se utvrdilo učinkovito mjerenje, kako bi se pronašle smetnje, pregledalo mjesto postavljanja instrumenta ili za promatranje kvalitete vraćenog signala. Ukoliko je provjera zadovoljena, može se pristupiti mjerenju. Za početak se odabire nulta točka s koje započinje mjerenje te se u instrument unose osnovni podaci o istoj. Potrebno je unijeti sami naziv lokacije i ime osobe koja izvršava mjerenje, kako bi snalaženje u kasnijim rezultatima bilo što lakše i jednostavnije. Nakon toga potrebno je unijeti informaciju o točki mjerenja (o kojoj točki se radi i na kojoj dubini se ona nalazi). U ovom konkretnom slučaju, radi se o toči broj 0, na dubini 0 m, jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica. Osim ovih osnovnih informacija, potrebno je u instrumentu naznačiti radi li se o lijevoj ili desnoj strani obale, ili o otvorenom toku. Ovisno o mjestu polaska označuje se lijeva, odnosno desna obala, dok se sve točke mjerenja između obala smatraju otvorenim tokom. Kada su ove informacije ispunjene, može se pristupiti mjerenju (slika 3.17.,3.18.).



Slika 3.17. Mjerenje – Ludbreg – unašanje potrebnih parametara



Slika 3.18. Mjerenje – Ludbreg – mjerenje dubine vode

U konkretnom slučaju, mjerenja su se vršila u razmaku od 1 metar, s početkom na točki 0. Na svakoj točki mjerenja instrument treba biti stabilan i vertikalno postavljen, koliko uvjeti to omogućuju. Prije početka mjerenja potrebno je u instrument unijeti informacije o mjernoj postaji i dubini. Dubina vode određuje se očitanjem sa samog instrumenta, od dna korita prema vrhu. Samo mjerenje traje 40 sekundi na svakoj postaji, te po završetku mjerenja na svakoj od postaja prikazuje neke osnovne informacije, kao što su brzina vode, temperatura vode, koordinate lokacije i sl.. Po završetku mjerenja, moguće je odmah pogledati sve rezultate, a moguće ih je naknadno preuzeti sa instrumenta. Preuzeti rezultati mjerenja za lokaciju u Ludbregu na rijeci Bednji nalaze se u potpoglavlju 3.5.1.

3.5. Rezultati mjerenja

Postupak mjerenja na sve tri lokacije na rijeci Bednja odrađen je na potpuno jednak način. Razlike se uočavaju u prikazanim rezultatima u ovome poglavlju, dok sami ulazni podaci variraju zavisno od lokacije (različite širine, različite dubine, različite brzine, itd.).

3.5.1. Rezultati mjerenja na lokaciji u Ludbregu

Rezultati mjerenja za prvu lokaciju u Ludbregu, na rijeci Bednja, prikazani su na sljedećim fotografijama. Na slici 3.19. prikazane su opće informacije o lokaciji, na samom početku ispisa rezultata nalaze se ime i broj mjerne postaje, te ime osobe koja je provela mjerenje. Na prvoj lokaciji mjerenje je rađeno na 15 postaja, s prosječnim intervalom mjerenja od 40 sekundi. Iznosi izmjerenih parametara prikazani su na slici 3.19. Na slici 3.20. prikazani su grafikoni sa izmjerenim rezultatima. Na prvom grafikonu prikazan je protok za svaku stacionažu u Ludbregu. Kao što je i očekivano, najveći iznos protoka kao i brzine nalaze se na sredini rijeke, te se postepeno smanjuju kako se ide prema obali. Na drugom grafikonu prikazani su iznosi brzine vode za svaku stacionažu u Ludbregu, dok su na trećem prikazane dubine na svakoj stacionaži.



Discharge Measurement Summary

Site name	Bd.ludb
Site number	1
Operator(s)	Petra
File name	20210604-125916_Bd_ludb.ft
Comment	

Start time	4.6.2021. 12:06	Sensor type	Top Setting
End time	4.6.2021. 12:57	Handheld serial number	FT2H2025030
Start location latitude	46,247	Probe serial number	FT2P2024010
Start location longitude	16,619	Probe firmware	1.30
Calculations engine	FlowTracker2	Handheld software	1.6.4

# Stations	Avg interval (s)	Total discharge (m³/s)
15	40	4,995

Total width (m)	Total area (m²)	Wetted Perimeter (m)
14,000	9,950	14,319

Mean SNR (dB)	Mean depth (m)	Mean velocity (m/s)
34,658	0,711	0,502

Mean temp (°C)	Max depth (m)	Max velocity (m/s)
16,997	1,020	0,654

Discharge Uncertainty		
Category	ISO	IVE
Accuracy	1,0 %	1,0 %
Depth	0,2 %	2,9 %
Velocity	0,4 %	2,3 %
Width	0,2 %	0,2 %
Method	1,1 %	
# Stations	3,3 %	
Overall	3,7 %	3,8 %

Discharge equation	Mid Section
Discharge uncertainty	IVE
Discharge reference	Rated

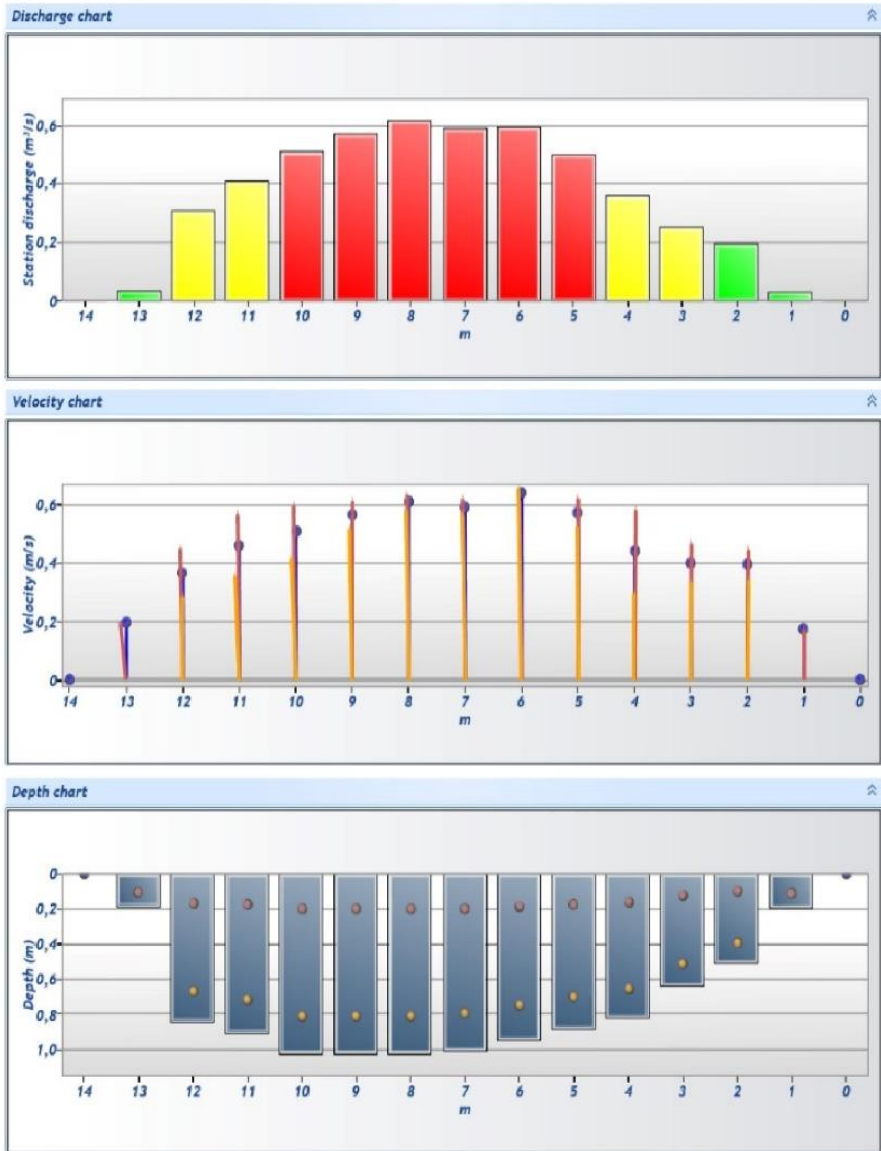
Data Collection Settings	
Salinity	0,000 PSS-78
Temperature	-
Sound speed	-
Mounting correction	0,000 %

Summary overview
No changes were made to this file
Quality control warnings

Slika 3.19. Prikaz rezultata mjerenja u Ludbregu – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Site name	Bd.ludb
Site number	1
Operator(s)	Petra
File name	20210604-125916_Bd_ludb.ft
Comment	

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 3.20. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Ludbregu – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Na slici 3.21. prikazani su rezultati mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg. U prvom stupcu nalazi se redni broj mjerne postaje. Kao što je već spomenuto, na prvoj lokaciji mjerenje se izvršilo na ukupno 15 vertikalala. U drugom stupcu prikazano je točno vrijeme početka mjerenja na svakoj postaji, dok se u trećem nalazi broj mjernih postaja, odnosno raster mjerenja, koji u ovom slučaju iznosi 1 metar. U četvrtom stupcu prikazana je metoda korištena za dobivanje rezultata. Kada se mjerenje vrši po metodi 0,6, znači da se mjerenje za svaku postaju obavlja samo na jednoj dubini. Suprotno tome, kada se mjerenje vrši metodom 0,2/0,8 tada se mjerenje vrši na dvije različite dubine. Dubina koja se očitava s instrumenta prilikom mjerenja na svakoj postaji prikazana je u stupcu 7. U preostalim stupcima prikazan je izmjereni iznos brzine vode, površine i protoka.

Site name	Bd.ludb
Site number	1
Operator(s)	Petra
File name	20210604-125916_Bd_ludb.ft
Comment	

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m ²)	Flow (m ³ /s)	%Q	
0	12:06	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,172	0,000	0,000	0,000	✓
1	12:08	1,000	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,172	1,000	0,172	0,190	0,033	0,653	✓
2	12:12	2,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,445	1,000	0,392	0,500	0,196	3,925	✓
2	12:12	2,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,339	1,000	0,392	0,500	0,196	3,925	✓
3	12:17	3,000	0,2/0,8	0,640	0,200	0,128	80	0,465	1,000	0,398	0,640	0,255	5,105	✓
3	12:17	3,000	0,2/0,8	0,640	0,800	0,512	80	0,332	1,000	0,398	0,640	0,255	5,105	✓
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,580	1,000	0,438	0,820	0,359	7,195	✓
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,296	1,000	0,438	0,820	0,359	7,195	✓
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,200	0,176	80	0,619	1,000	0,571	0,880	0,503	10,061	✓
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,800	0,704	80	0,524	1,000	0,571	0,880	0,503	10,061	✓
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,200	0,188	80	0,615	1,000	0,634	0,940	0,596	11,933	✓
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,800	0,752	80	0,654	1,000	0,634	0,940	0,596	11,933	✓
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,618	1,000	0,590	1,000	0,590	11,822	✓
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,563	1,000	0,590	1,000	0,590	11,822	✓
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,632	1,000	0,606	1,020	0,618	12,376	✓
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,580	1,000	0,606	1,020	0,618	12,376	✓
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,609	1,000	0,563	1,020	0,574	11,488	✓
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,516	1,000	0,563	1,020	0,574	11,488	✓
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,593	1,000	0,503	1,020	0,513	10,280	✓
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,413	1,000	0,503	1,020	0,513	10,280	✓
11	12:47	11,000	0,2/0,8	0,900	0,200	0,180	80	0,564	1,000	0,460	0,900	0,414	8,295	✓
11	12:47	11,000	0,2/0,8	0,900	0,800	0,720	80	0,357	1,000	0,460	0,900	0,414	8,295	✓
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,200	0,168	80	0,448	1,000	0,366	0,840	0,308	6,162	✓
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,800	0,672	80	0,285	1,000	0,366	0,840	0,308	6,162	✓
13	12:54	13,000	0,6	0,180	0,600	0,108	80	0,196	1,000	0,196	0,180	0,035	0,706	✓
14	12:57	14,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,196	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.21. Tabelarni prikaz rezultata mjerenja u Ludbregu – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina i protok

Na slici 3.22. prikazane su postavke provjere kvalitete i upozorenja koja su se javljala prilikom mjerenja. Jedno od najčešćih upozorenja bile su razne smetnje na dnu korita i nagle promjene dubine.



Discharge Measurement Summary

Site name Bd.ludb
Site number 1
Operator(s) Petra
File name 20210604-125916_Bd_ludb.ft
Comment

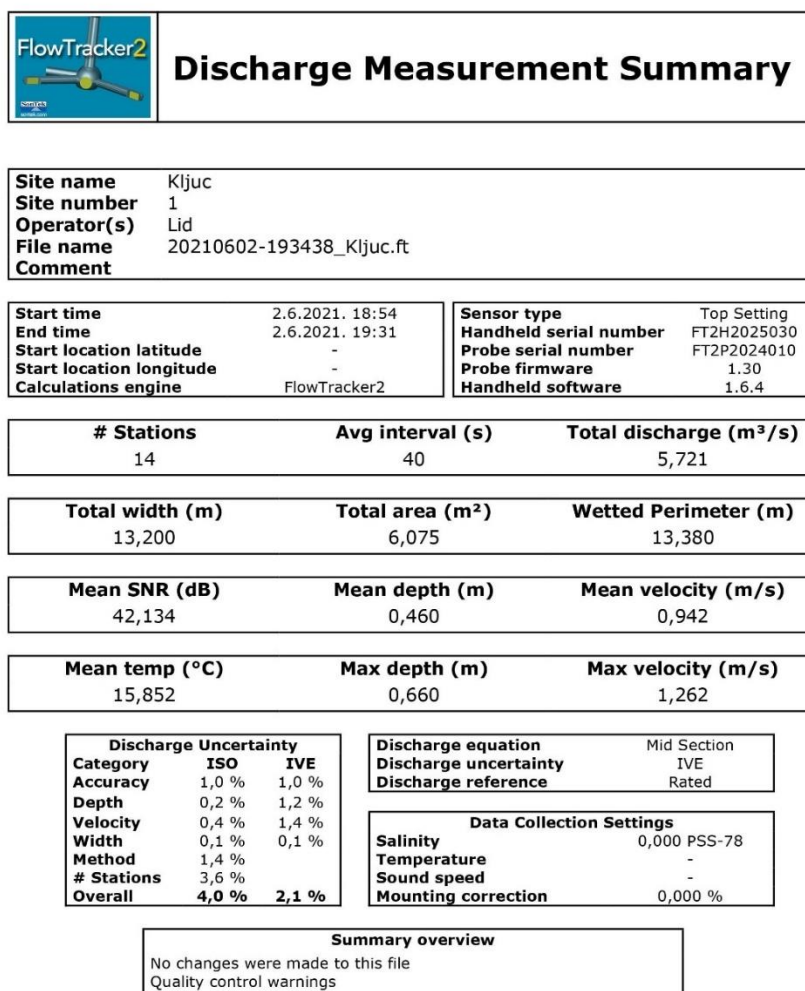
Quality Control Settings	
Maximum depth change	50,000%
Maximum spacing change	100,000%
SNR threshold	10,000 dB
Standard error threshold	0,010 m/s
Spike threshold	10,000%
Maximum velocity angle	20,000 deg
Maximum tilt angle	5,000 deg

Quality control warnings							
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Warnings
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	Standard Error > QC
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	Standard Error > QC
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,200	0,176	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,800	0,704	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,200	0,188	High Stn % Discharge
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,800	0,752	High Stn % Discharge
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	High Stn % Discharge
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	High Stn % Discharge
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	High Stn % Discharge
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	High Stn % Discharge
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,200	0,168	Water Depth > QC,Standard Error > QC
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,800	0,672	Water Depth > QC,Standard Error > QC
13	12:54	13,000	0,6	0,180	0,600	0,108	Water Depth > QC,Velocity Angle > QC

Slika 3.22. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Ludbregu




3.5.2. Rezultati mjerenja na lokaciji u Ključu

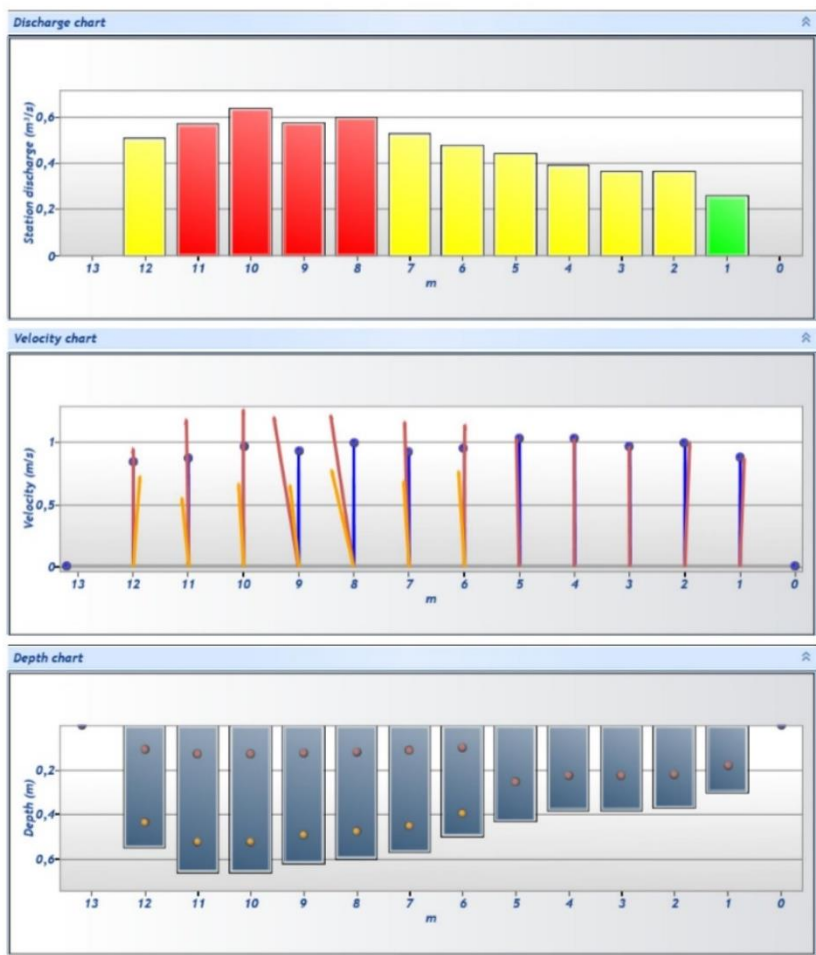
Rezultati mjerenja za drugu lokaciju u Ključu, na rijeci Bednja, prikazani su na sljedećim fotografijama. Prikaz rezultata jednak je kao i na prvoj lokaciji, razlika je, naravno, u samim rezultatima. Na ovoj lokaciji mjerenje je rađeno na 14 vertikalna, s prosječnim intervalom mjerenja od 40 sekundi. Iznosi izmjerenih parametara prikazani su na slici 3.23. Na slici 3.24. prikazani su grafikoni sa izmjerenim rezultatima. Na prvom grafikonu prikazan je protok za svaku stacionažu u Ključu. Na drugom grafikonu prikazani su iznosi brzine vode za svaku stacionažu, dok su na trećem prikazane dubine na svakoj stacionaži.



Slika 3.23. Prikaz rezultata mjerenja u Ključu – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Site name	Kljuc
Site number	1
Operator(s)	Lid
File name	20210602-193438_Kljuc.ft
Comment	

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 3.24. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Ključu – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Na slici 3.25. prikazani su rezultati mjerenja na svim stacionažama u Ključu.

Site name	Kljuc
Site number	1
Operator(s)	Lid
File name	20210602-193438_Kljuc.ft
Comment	

Measurement results														
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correcti on	Mean Velocity (m/s)	Area (m ²)	Flow (m ³ /s)	%Q	
0	18:54	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,873	0,000	0,000	0,000	✓
1	18:55	1,000	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,873	1,000	0,873	0,300	0,262	4,577	✓
2	18:57	2,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,996	1,000	0,996	0,370	0,368	6,438	✓
3	19:00	3,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,965	1,000	0,965	0,380	0,367	6,411	✓
4	19:02	4,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	1,027	1,000	1,027	0,380	0,390	6,820	✓
5	19:04	5,000	0,6	0,430	0,600	0,258	80	1,029	1,000	1,029	0,430	0,443	7,736	✓
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	1,140	1,000	0,953	0,500	0,476	8,328	✓
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,766	1,000	0,953	0,500	0,476	8,328	✓
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,200	0,114	80	1,162	1,000	0,924	0,570	0,527	9,207	✓
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,800	0,456	80	0,686	1,000	0,924	0,570	0,527	9,207	✓
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,200	0,120	80	1,216	1,000	0,997	0,600	0,598	10,456	✓
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,778	1,000	0,997	0,600	0,598	10,456	✓
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,200	0,124	80	1,199	1,000	0,926	0,620	0,574	10,040	✓
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,800	0,496	80	0,654	1,000	0,926	0,620	0,574	10,040	✓
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	1,262	1,000	0,965	0,660	0,637	11,129	✓
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,668	1,000	0,965	0,660	0,637	11,129	✓
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	1,181	1,000	0,867	0,660	0,572	10,005	✓
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,554	1,000	0,867	0,660	0,572	10,005	✓
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,200	0,110	80	0,948	1,000	0,837	0,605	0,507	8,854	✓
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,800	0,440	80	0,727	1,000	0,837	0,605	0,507	8,854	✓
13	19:31	13,200	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,837	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.25. Tabelarni prikaz rezultata mjerenja u Ključu – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina, protok...

Na slici 3.26. prikazane su postavke provjere kvalitete i upozorenja koja su se javljala prilikom mjerenja.

Site name	Kljuc
Site number	1
Operator(s)	Lid
File name	20210602-193438_Kljuc.ft
Comment	

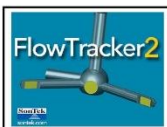
Quality Control Settings	
Maximum depth change	50,000%
Maximum spacing change	100,000%
SNR threshold	10,000 dB
Standard error threshold	0,010 m/s
Spike threshold	10,000%
Maximum velocity angle	20,000 deg
Maximum tilt angle	5,000 deg

Quality control warnings							
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Warnings
1	18:55	1,000	0,6	0,300	0,600	0,180	Standard Error > QC
2	18:57	2,000	0,6	0,370	0,600	0,222	Standard Error > QC
3	19:00	3,000	0,6	0,380	0,600	0,228	Standard Error > QC
4	19:02	4,000	0,6	0,380	0,600	0,228	Standard Error > QC
5	19:04	5,000	0,6	0,430	0,600	0,258	Standard Error > QC
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	Standard Error > QC
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	Standard Error > QC
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,200	0,114	Standard Error > QC
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,800	0,456	Standard Error > QC
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,200	0,120	Standard Error > QC, Velocity Angle > QC, High Stn % Discharge
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,800	0,480	Standard Error > QC, Velocity Angle > QC, High Stn % Discharge
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,200	0,124	Standard Error > QC, Velocity Angle > QC, High Stn % Discharge
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,800	0,496	Standard Error > QC, Velocity Angle > QC, High Stn % Discharge
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	Standard Error > QC, High Stn % Discharge
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	Standard Error > QC, High Stn % Discharge
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	Standard Error > QC, High Stn % Discharge
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	Standard Error > QC, High Stn % Discharge
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,200	0,110	Standard Error > QC
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,800	0,440	Standard Error > QC
13	19:31	13,200	None	0,000	0,000	0,000	Water Depth > QC

Slika 3.26. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Ključu

3.5.3. Rezultati mjerenja na lokaciji u Željeznici

Rezultati mjerenja za treću lokaciju u Željeznici, na rijeci Bednja, prikazani su na sljedećim fotografijama. Prikaz rezultata jednak je kao i na prve dvije lokacije. Mjerenje je rađeno na 15 postaja, s prosječnim intervalom mjerenja od 40 sekundi. Iznosi izmjerenih parametara prikazani su na slici 3.27. Na slici 3.28. prikazani su grafikoni sa izmjerenim rezultatima. Na prvom grafikonu prikazan je protok za svaku stacionažu u Željeznici. Na drugom grafikonu prikazani su iznosi brzine vode za svaku stacionažu, dok su na trećem prikazane dubine na svakoj stacionaži.



Discharge Measurement Summary

Site name	Bed
Site number	5
Operator(s)	Kb
File name	20210511-144823_Bed.ft
Comment	

Start time	11.5.2021. 13:53	Sensor type	Top Setting
End time	11.5.2021. 14:44	Handheld serial number	FT2H2025030
Start location latitude	46,220	Probe serial number	FT2P2024010
Start location longitude	16,200	Probe firmware	1.30
Calculations engine	FlowTracker2	Handheld software	1.6.4

# Stations	Avg interval (s)	Total discharge (m³/s)
15	40	4,582

Total width (m)	Total area (m²)	Wetted Perimeter (m)
14,700	10,461	14,981

Mean SNR (dB)	Mean depth (m)	Mean velocity (m/s)
39,239	0,712	0,438

Mean temp (°C)	Max depth (m)	Max velocity (m/s)
15,625	1,040	0,601

Discharge Uncertainty		
Category	ISO	IVE
Accuracy	1,0 %	1,0 %
Depth	0,2 %	2,4 %
Velocity	0,4 %	1,7 %
Width	0,2 %	0,2 %
Method	1,1 %	
# Stations	3,3 %	
Overall	3,7 %	3,1 %

Discharge equation	Mid Section
Discharge uncertainty	IVE
Discharge reference	Rated

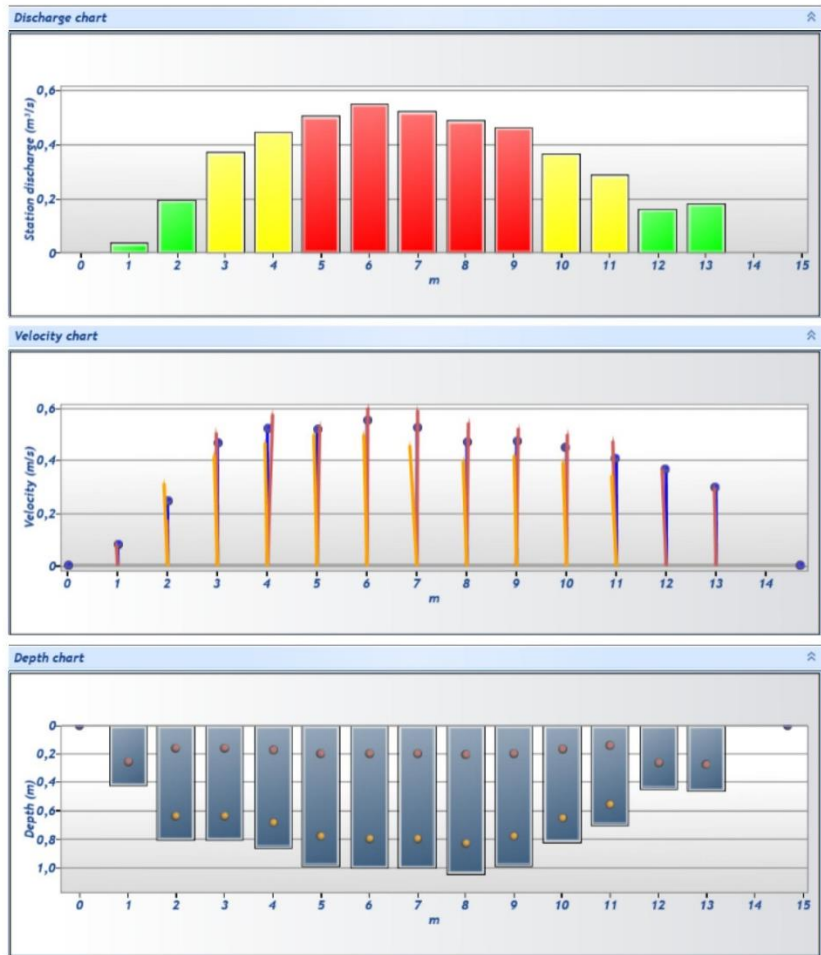
Data Collection Settings	
Salinity	0,000 PSS-78
Temperature	-
Sound speed	-
Mounting correction	0,000 %

Summary overview
No changes were made to this file
Quality control warnings

Slika 3.27. Prikaz rezultata mjerenja u Željeznici – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Site name	Bed
Site number	5
Operator(s)	Kb
File name	20210511-144823_Bed.ft
Comment	

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 3.28. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Željeznici – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Na slici 3.29. prikazani su rezultati mjerenja na svakoj stacionaži u Željeznici.

Site name	Bed
Site number	5
Operator(s)	Kb
File name	20210511-144823_Bed.ft
Comment	

Measurement results														
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m ²)	Flow (m ³ /s)	%Q	
0	13:53	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,084	0,000	0,000	0,000	✓
1	13:54	1,000	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,084	1,000	0,084	0,420	0,035	0,773	✓
2	14:01	2,000	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,176	1,000	0,245	0,800	0,196	4,281	✓
2	14:01	2,000	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	79	0,314	1,000	0,245	0,800	0,196	4,281	✓
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,506	1,000	0,463	0,800	0,370	8,080	✓
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	80	0,419	1,000	0,463	0,800	0,370	8,080	✓
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,200	0,172	80	0,576	1,000	0,522	0,860	0,449	9,799	✓
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,800	0,688	80	0,468	1,000	0,522	0,860	0,449	9,799	✓
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	80	0,533	1,000	0,516	0,980	0,506	11,037	✓
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	80	0,499	1,000	0,516	0,980	0,506	11,037	✓
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,601	1,000	0,550	1,000	0,550	12,008	✓
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,499	1,000	0,550	1,000	0,550	12,008	✓
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,591	1,000	0,524	1,000	0,524	11,448	✓
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,458	1,000	0,524	1,000	0,524	11,448	✓
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,200	0,208	80	0,545	1,000	0,471	1,040	0,490	10,689	✓
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,800	0,832	80	0,397	1,000	0,471	1,040	0,490	10,689	✓
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	80	0,523	1,000	0,472	0,980	0,462	10,088	✓
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	80	0,420	1,000	0,472	0,980	0,462	10,088	✓
10	14:34	10,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,501	1,000	0,447	0,820	0,367	8,006	✓
10	14:34	10,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,394	1,000	0,447	0,820	0,367	8,006	✓
11	14:37	11,000	0,2/0,8	0,700	0,200	0,140	80	0,476	1,000	0,409	0,700	0,287	6,255	✓
11	14:37	11,000	0,2/0,8	0,700	0,800	0,560	80	0,343	1,000	0,409	0,700	0,287	6,255	✓
12	14:40	12,000	0,6	0,440	0,600	0,264	80	0,366	1,000	0,366	0,440	0,161	3,515	✓
13	14:42	13,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,297	1,000	0,297	0,621	0,184	4,021	✓
14	14:44	14,700	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,297	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.29. Tabelarni prikaz rezultata mjerenja u Željeznici – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina, protok...

Na slici 3.30. prikazane su postavke provjere kvalitete i upozorenja koja su se javljala prilikom mjerenja.

Site name	Bed
Site number	5
Operator(s)	Kb
File name	20210511-144823_Bed.ft
Comment	

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

Quality control warnings							
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Warnings
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	Standard Error > QC
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	Standard Error > QC
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,200	0,172	Standard Error > QC
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,800	0,688	Standard Error > QC
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	High Stn % Discharge
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	High Stn % Discharge
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	Standard Error > QC,High Stn % Discharge
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	High Stn % Discharge
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	High Stn % Discharge
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,200	0,208	High Stn % Discharge
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,800	0,832	High Stn % Discharge
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	High Stn % Discharge
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	High Stn % Discharge
14	14:44	14,700	None	0,000	0,000	0,000	Water Depth > QC

Slika 3.30. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Željeznici

4. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

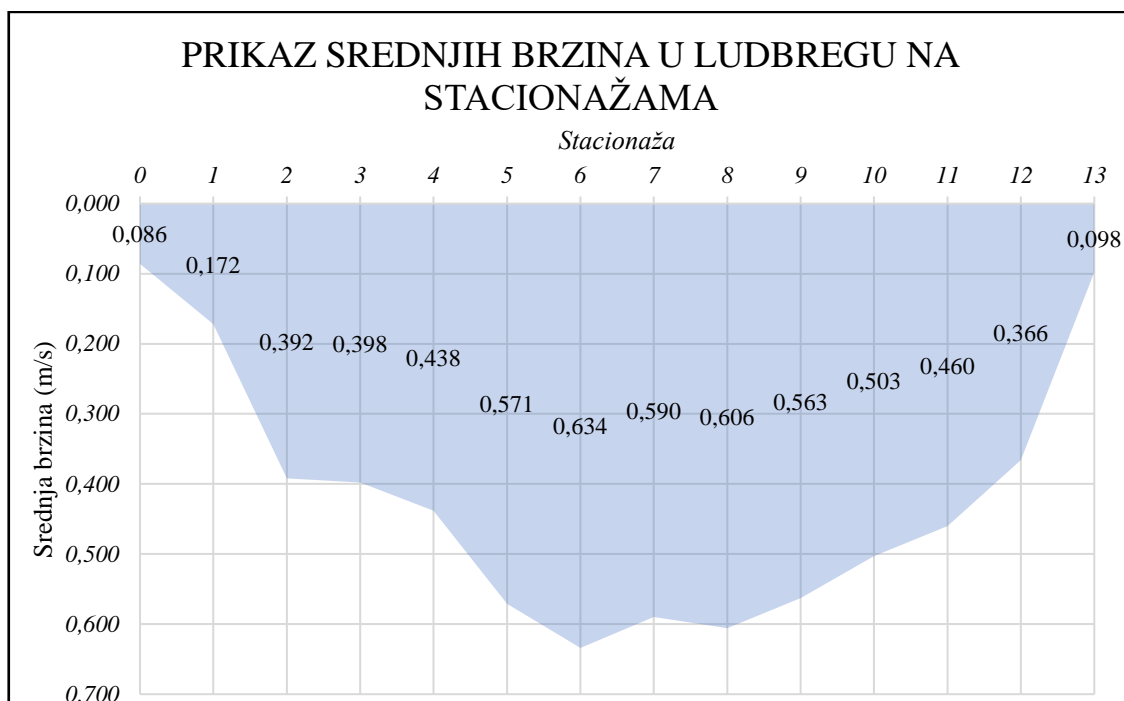
Analiza rezultata za sve tri lokacije vršena je na jednak način. Potrebno je dobiti osrednjene brzine između dviju mjernih vertikalna, tako da se korištenjem jednadžbe (1) može dobiti proračunata snaga kinetičke turbine. Između rubova korita i sljedeće, odnosno prethodne točke, brzina i površina se morala korigirati jer je na rubovima dubina 0, tako da su se vrijednosti dijelile sa 2, no to su zanemarive veličine. Osim za svaku površinu između dviju vertikalna, proračun snage izvršio se i za veću ulaznu površinu turbine, odnosno 1 metar lijevo i desno od najveće brzine te 2 metra lijevo i desno, radi boljeg uvida u potencijal analizirane lokacije.

4.1. Ludbreg

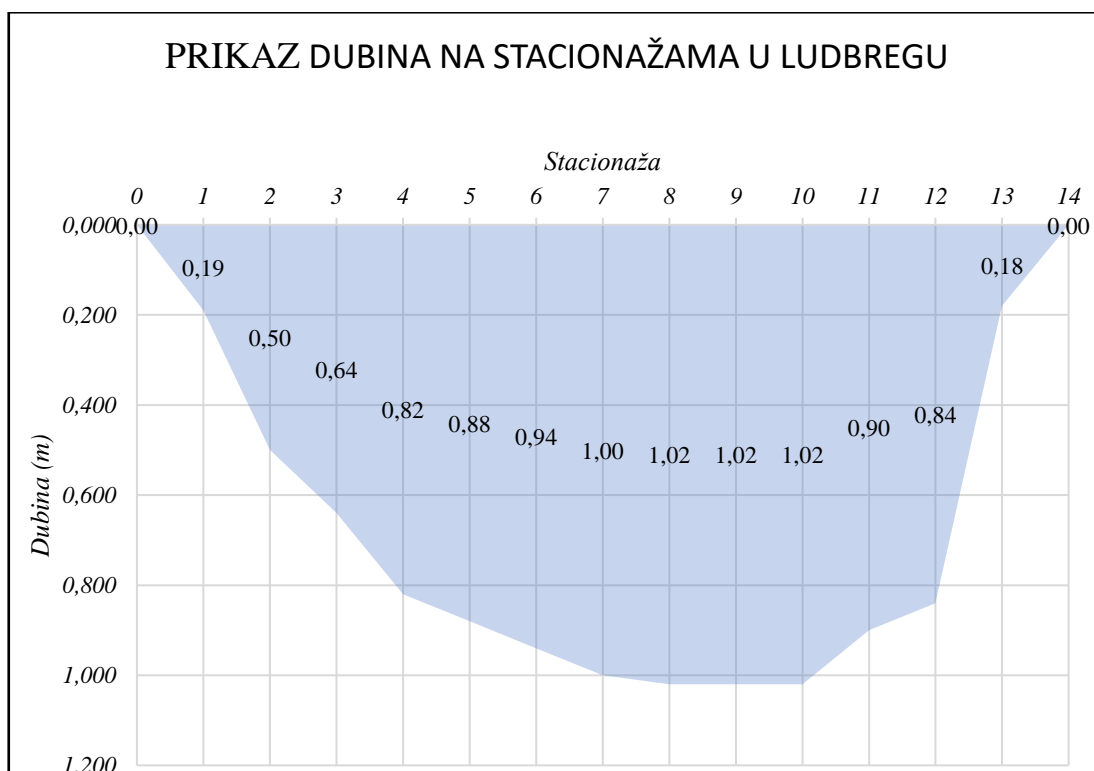
Proračun potrebne snage turbine provodi se po već spomenutoj formuli (1). Nakon uvrštavanja mjerenih vrijednosti u navedenu formulu dobivaju se sljedeći rezultati (tablica 4.1.). Na slici 4.1. grafički su prikazane srednje brzine vode na svakoj stacionaži, a na slici 4.2. prikazane su dubine na svakoj stacionaži.

Tablica 4.1. Rezultati proračuna za lokaciju Ludbreg

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Površina poprečnog presjeka (m ²)	Srednja brzina (m/s)	Snaga (W)
0-1	1	0,095	0,086	0,01
1-2	1	0,190	0,172	0,15
2-3	1	0,500	0,392	4,52
3-4	1	0,640	0,398	6,05
4-5	1	0,820	0,438	10,34
5-6	1	0,880	0,571	24,57
6-7	1	0,940	0,634	35,93
7-8	1	1,000	0,590	30,81
8-9	1	1,020	0,606	34,05
9-10	1	1,020	0,563	27,30
10-11	1	1,020	0,503	19,47
11-12	1	0,900	0,460	13,14
12-13	1	0,840	0,366	6,18
13-14	1	0,090	0,098	0,01



Slika 4.1. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Ludbregu



Slika 4.2. Grafički prikaz dubina na stacionažama u Ludbregu

Nadalje, najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži 6 i iznosi 0,634 m/s. U idućem proračunu u obzir se uzima metar lijevo i metar desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode u tom slučaju dobije se preko aritmetičke sredine, odnosno prema idućoj formuli:

$$v_{sr} = \frac{0,571+0,634+0,590}{3} = 0,598 \text{ m/s} \quad (4)$$

Površina se u ovom slučaju dobiva zbrajanjem površina između stacionaže 5 i 6 te stacionaže 6 i 7.

$$P = 0,94 \text{ m}^2 + 1,00 \text{ m}^2 = 1,94 \text{ m}^2 \quad (5)$$

Snaga sada iznosi:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,94 \text{ m}^2 \cdot (0,598 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (6)$$

$$P_{teor} = 62,23 \text{ W}$$

Uzmemo li u obzir dva metra lijevo i desno od mjesta gdje je najveći iznos srednje brzine vode, dobivamo:

$$v_{sr} = \frac{0,438+0,571+0,634+0,590+0,606}{5} = 0,57 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$P = 0,88 \text{ m}^2 + 0,94 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 1,02 \text{ m}^2 = 3,84 \text{ m}^2 \quad (8)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,84 \text{ m}^2 \cdot (0,57 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (9)$$

$$P_{teor} = 106,67 \text{ W}$$

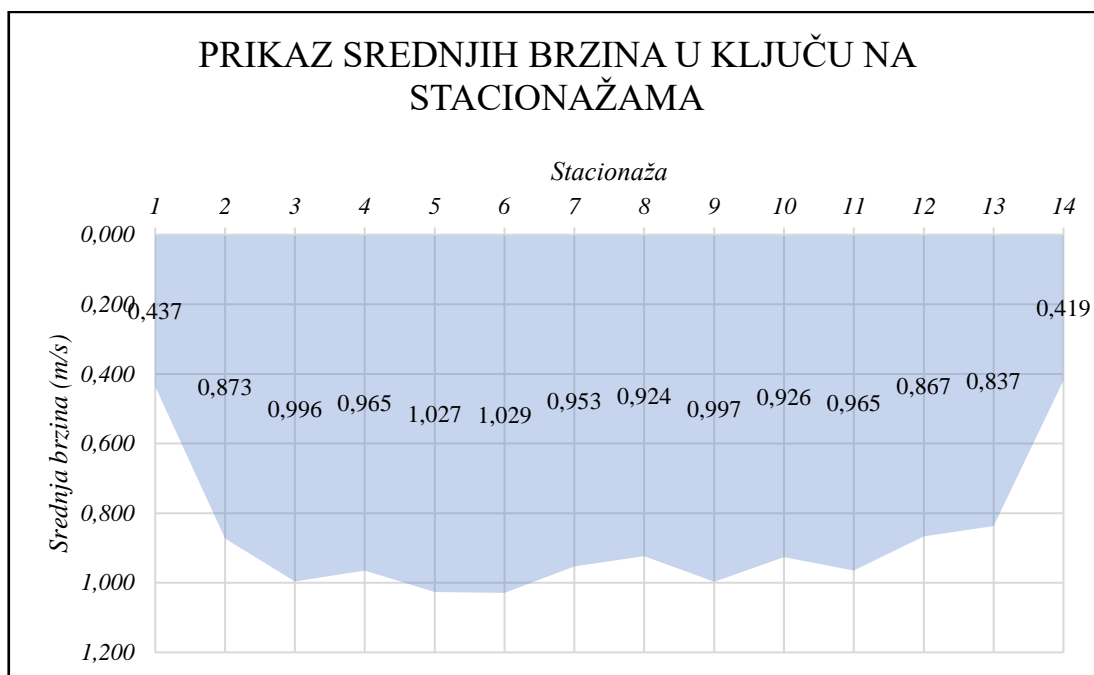
Iz priloženih rezultata vidljivo je kako se snaga povećava sa povećanjem zahvatne (ulazne) površine.

4.2. Ključ

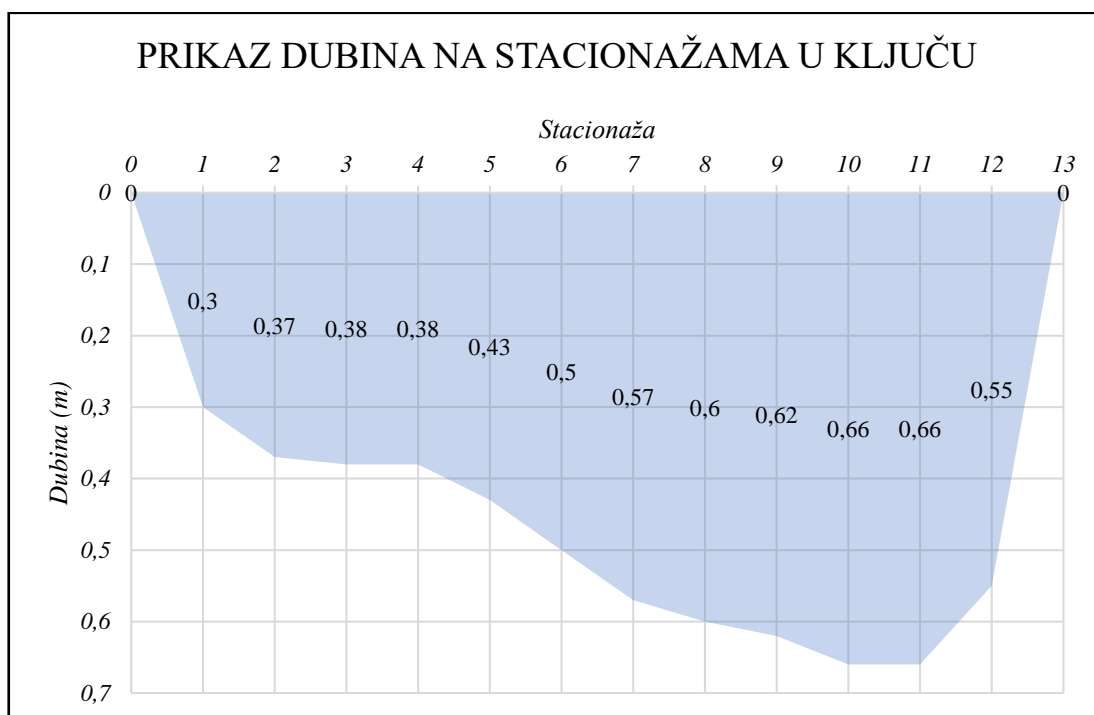
Nakon uvrštavanja mjerenih vrijednosti u formulu (1) dobivaju se sljedeći rezultati (tablica 4.2.). Na slici 4.3. grafički su prikazane srednje brzine vode na svakoj stacionaži, a na slici 4.4. dubine.

Tablica 4.2. Rezultati proračuna za lokaciju Ključ

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Površina poprečnog presjeka (m ²)	Srednja brzina (m/s)	Snaga (W)
0-1	1	0,150	0,437	1,87
1-2	1	0,300	0,873	29,94
2-3	1	0,370	0,996	54,84
3-4	1	0,380	0,965	51,22
4-5	1	0,380	1,027	61,74
5-6	1	0,430	1,029	70,28
6-7	1	0,500	0,953	64,91
7-8	1	0,570	0,924	67,45
8-9	1	0,600	0,997	89,19
9-10	1	0,620	0,926	73,84
10-11	1	0,660	0,965	88,96
11-12	1	0,660	0,867	64,52
12-13	1	0,605	0,837	53,21
13-14	1	0,303	0,419	3,33



Slika 4.3. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Ključu



Slika 4.4. Grafički prikaz dubina na stacionažama u Ključu

Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži broj 5 i iznosi 1,029 m/s. U idućem proračunu u obzir se uzima metar lijevo i metar desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode. Srednja brzina vode u tom slučaju dobije se preko aritmetičke sredine, odnosno prema idućoj formuli:

$$v_{sr} = \frac{1,027+1,029+0,953}{3} = 1,003 \text{ m/s} \quad (10)$$

Površina se u ovom slučaju dobiva zbrajanjem površina između stacionaže 4 i 5 te stacionaže 5 i 6.

$$P = 0,43 \text{ m}^2 + 0,5 \text{ m}^2 = 0,93 \text{ m}^2 \quad (11)$$

Snaga sada iznosi:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,93 \text{ m}^2 \cdot (1,003 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (12)$$

$$P_{teor} = 140,76 \text{ W}$$

Uzmemo li u obzir dva metra lijevo i desno od mjesta gdje je najveći iznos srednje brzine vode, dobivamo:

$$v_{sr} = \frac{0,965+1,027+1,029+0,953+0,924}{5} = 0,98 \text{ m/s} \quad (13)$$

$$P = 0,38 \text{ m}^2 + 0,43 \text{ m}^2 + 0,5 \text{ m}^2 + 0,57 \text{ m}^2 = 1,88 \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,88 \text{ m}^2 \cdot (0,98 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (15)$$

$$P_{teor} = 976,77 \text{ W}$$

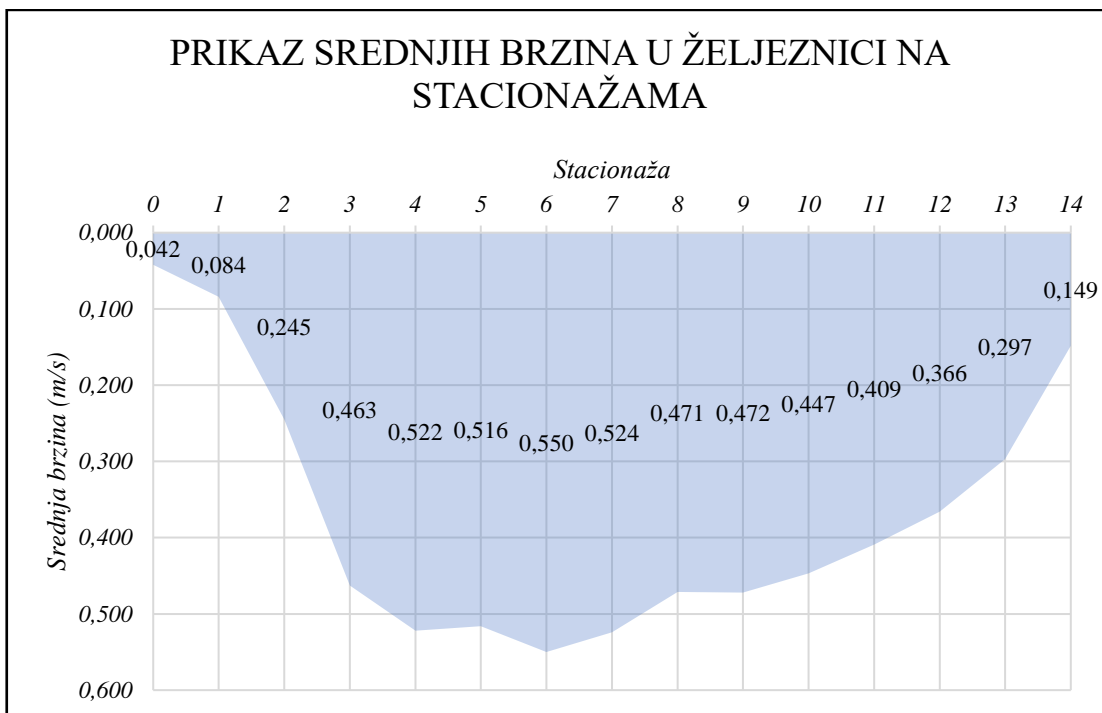
Iz priloženih rezultata vidljivo je kako se snaga i u ovom slučaju povećava sa povećanjem zahvata.

4.3. Željeznica

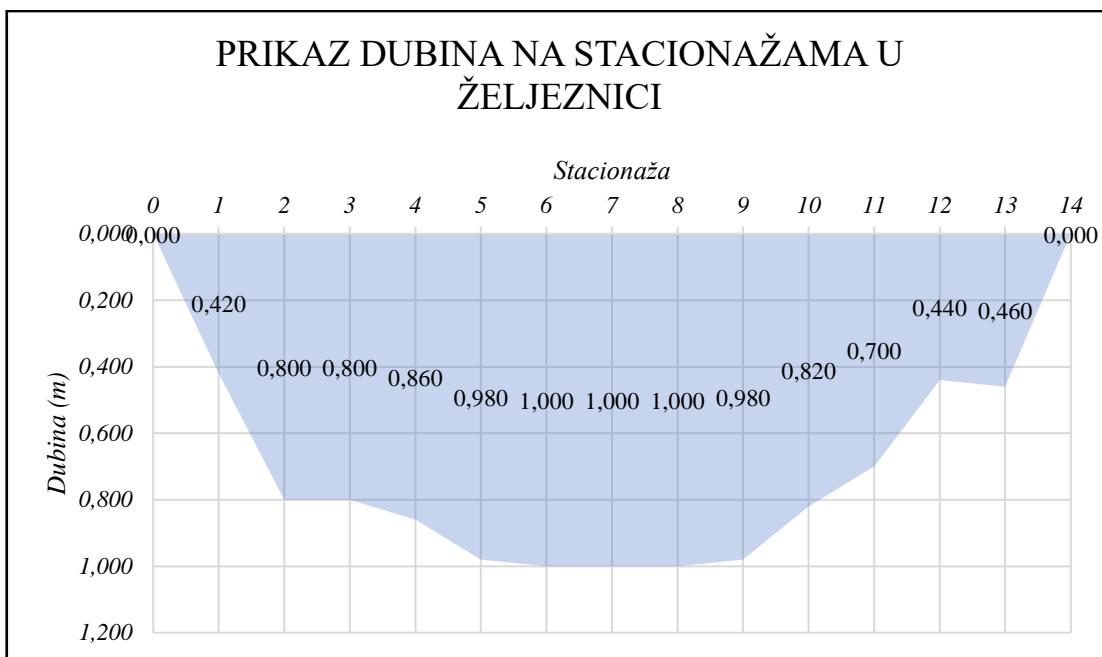
Uvrštavanjem rezultata mjerenja u formulu (1) dobivaju se sljedeći rezultati (tablica 4.3.). Na slici 4.5. grafički su prikazane srednje brzine vode na svakoj stacionaži, a na slici 4.6. dubine.

Tablica 4.3. Rezultati proračuna za lokaciju Željeznica

Stacionaža	Razmak između stacionaža (m)	Površina poprečnog presjeka (m ²)	Srednja brzina (m/s)	Snaga (W)
0-1	1	0,210	0,042	0,002
1-2	1	0,420	0,084	0,037
2-3	1	0,800	0,245	1,765
3-4	1	0,800	0,463	11,910
4-5	1	0,860	0,522	18,349
5-6	1	0,980	0,516	20,196
6-7	1	1,000	0,550	24,956
7-8	1	1,000	0,524	21,582
8-9	1	1,040	0,471	16,300
9-10	1	0,980	0,472	15,458
10-11	1	0,820	0,447	10,986
11-12	1	0,700	0,409	7,184
12-13	1	0,440	0,366	3,236
13-14	1	0,621	0,297	2,440
14-15	1	0,311	0,149	0,153



Slika 4.5. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Željeznici



Slika 4.6. Grafički prikaz dubina vode na stacionažama u Željeznici

Najveća srednja brzina vode nalazi se na stacionaži broj 6 i iznosi 0,550 m/s. Nadalje, u idućem proračunu u obzir se uzima metar lijevo i metar desno od najvećeg iznosa srednje brzine vode, kao i u prethodnim primjerima. Srednja brzina vode u tom slučaju dobije se preko aritmetičke sredine:

$$v_{sr} = \frac{0,516+0,550+0,524}{3} = 0,53 \text{ m/s} \quad (16)$$

Površina se u ovom slučaju dobiva zbrajanjem površina između stacionaže 5 i 6 te stacionaže 6 i 7.

$$P = 1 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 = 2 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Snaga sada iznosi:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 2 \text{ m}^2 \cdot (0,53 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (18)$$

$$P_{teor} = 44,66 \text{ W}$$

Uzmemo li ponovo u obzir dva metra lijevo i desno od mjesta gdje je najveći iznos srednje brzine vode, dobivamo:

$$v_{sr} = \frac{0,522+0,516+0,550+0,524+0,471}{5} = 0,52 \text{ m/s} \quad (19)$$

$$P = 0,98 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 1,04 \text{ m}^2 = 4,02 \text{ m}^2 \quad (20)$$

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,02 \text{ m}^2 \cdot (0,52 \text{ m/s})^3 \cdot 0,3 \quad (21)$$

$$P_{teor} = 84,79 \text{ W}$$

Iz priloženih rezultata vidljivo je kako se snaga i u ovom slučaju povećava sa povećanjem zahvata.

4.4. Usporedba rezultata mjerenja

Usporede li se najveće dobivene snage turbina na sve tri lokacije, vidljivo je kako je lokacija u Ključu najpovoljnija za postavu hidrokineitičke turbine. Snaga u Ludbregu iznosi 106,67 W, u Ključu 976,77 W, a u Željeznici 84,79 W za površinu/kombinaciju 2 metra lijevo i desno od lokacije s najvećim iznosom srednje brzine vode. Naravno, u obzir je potrebno uzeti mnoge parametre, kao što su naprimjer, tip turbine i proizvođač. U ovom slučaju uzela se učinkovitost od 30 %, no testne vrijednosti na pilot projektima su već i do 50 %, što značajno povećava snagu turbina. Oblik ulaznog dijela, odnosno suženje samog prostora ulaska vode u turbinu svakako povećava ulaznu brzinu, odnosno snagu.

Budući da je za pouzdani uvid u promjene brzina, odnosno konačnih snaga tijekom godine potrebno kontinuirano mjeriti brzine i protoke, odnosno definirati funkcijsku zavisnost između navedenoga, kao i veličine poprečnog presjeka, u ovom trenutku takav uvid nije moguć.

Također, prilikom postavljanja turbine čisti se dno korita na mjestu postavljanja iste kako bi se smanjile smetnje i povećao potencijal same lokacije. Prilikom odabira točne lokacije i vrste hidrokineitičke turbine, mjerenja vodenog toga potrebno je obavljati što učestalije zbog promjenjivosti samog toka, klime (naročito oborina) i slično. Uzimajući u obzir isključivo rezultate dobivene ovim mjerenjem, sa sigurnošću se može reći da lokacija u Ključu ima najveći potencijal, dok je u Željeznici najnepovoljnija situacija.

5. ZAKLJUČAK

Sve više ljudi i zemalja diljem svijeta okreće se obnovljivim izvorima energije kako bi se negativan utjecaj izgaranja fosilnih goriva smanjio te kako bi se pokušale smanjiti i zaustaviti klimatske promjene i ostale ekološke katastrofe koje zbog toga nastaju. Obećavajuće rješenje ovog problema nalazi se u kinetičkoj energiji vode, odnosno u njenom iskorištavanju putem hidrokinetičkih turbina. Kinetička energija vode predstavlja značajan obnovljivi izvor energije koji se tek počinje istraživati i iskorištavati na odgovarajući način. Hidrokinetičke turbine su nova vrsta tehnologije koja je još uvijek u razvoju, te se teži njenom što boljem razvitku. S obzirom da iskorištavaju kinetičku energiju vode, nema potrebe za izgradnjom brana, akumulacijskih jezera i sličnih hidrotehničkih građevina koje imaju značajan utjecaj na okoliš. Ovakve turbine mogu se postaviti u samo korito, ispod mostova na vertikalnim nosačima, mogu se postaviti kao plivajuće konstrukcije i slično. Prednost ovih turbina nalazi se upravo u minimalnom utjecaju na okoliš (težnja je postići utjecaj na okoliš jednak nuli), tihom radu i minimalnom održavanju.

Prilikom odabira hidrokinetičkih turbina i obavljanja terenskih istraživanja, brzina vode nije jedini parametar koji je potrebno uzeti u obzir, potrebna su učestala mjerenja raznih parametara vodotoka, posebice zato što su vrlo promjenjivi i nepredvidivi. Osim parametara vodotoka, važna je i sama lokacija i njene karakteristike te naravno, karakteristike samih turbina. Niti jedan vodotok nije jednak i iz tog razloga ne postoji jedno univerzalno rješenje, univerzalna turbina koja se može primijeniti na svim lokacijama. Kao što je već spomenuto, postoje mnogi parametri koje je potrebno uzeti u obzir prilikom donošenja ovakvih odluka, ali je potrebna i suradnja raznih struka i stručnjaka u raznim područjima kako bi se odredila najoptimalnija turbina i lokacija za njenu postavu.

6. LITERATURA

- [1] Solar Impulse Foundation, <https://solarimpulse.com/efficient-solutions/hydrokinetic-turbine>, datum pristupa 2.5.2021.
- [2] Suchi Subhra Mukherji: Design and critical performance evaluation of horizontal axis hydrokinetic turbines, diplomski rad, Missouri University of Science and Technology, 2010
- [3] Niebuhr, C.M. & van Dijk, M. & Neary, V.S. & Bhagwan, J.N.: A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier vol 113, 2019
- [4] Cristian Cardona-Mancilla, Jorge Sierra del Río, Edwin Chica-Arrieta, Diego Hincapié-Zuluaga: Horizontal axis hydrokinetic turbines: A literature review, 2018
- [5] Linqip Technews, <https://www.linqip.com/blog/hydrokinetic-turbines/>, datum pristupa 2.5.2021.
- [6] Marina Barbarić: Mogućnosti poboljšanja hidrodinamičkih karakteristika kinetičkih vodnih turbina, doktorski rad, FSB, Zagreb, 2021
- [7] W. I. Ibrahim, R. M. T. R. Ismail, and M. R. Mohamed: Hydrokinetic energy harnessing for river application, 2018
- [8] Kos, Ž.; Đurin, B.; Dogančić, D.; Kranjčić, N. Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics. Water 2021, 13, 1777.
- [9] Općina Bednja, <http://www.bednja.hr/prirodne-znamenitosti>, datum pristupa 17.6.2021.
- [10] Wikiwand, [https://www.wikiwand.com/sh/Bednja_\(rijeka\)](https://www.wikiwand.com/sh/Bednja_(rijeka)), datum pristupa 1.7.2021.
- [11] Hrvatske vode: Studija utjecaja na okoliš za EU projekt zaštite od poplava na slivu Bednje, 2018.
- [12] Državni hidrometeorološki zavod (2021.), poprečni profili rijeke Bednje na lokacijama mjernih postaja
- [13] Državni hidrometeorološki zavod - hidrologija, <https://hidro.dhz.hr/>, datum pristupa 4.5.2021.
- [14] Sontek, <https://www.sontek.com/flowtracker2>, datum pristupa 10.6.2021.

7. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Općeniti prikaz hidrokinetičke turbine

Slika 2.2. Podjela hidrokinetičkih turbina

Slika 2.3. Turbina s nagnutom osi

Slika 2.4. Turbina s krutim privezom

Slika 2.5. Nepotopljeni generator

Slika 2.6. Potopljeni generator

Slika 2.7. Turbina s osi paralelnom s ravninom vode

Slika 2.8. Squirrel cage Darrieus turbina

Slika 2.9. H-Darrieus turbina

Slika 2.10. Darrieus turbina

Slika 2.11. Gorlov turbina

Slika 2.12. Savonius turbina

Slika 2.13. Usporedba Cp-TSR krivulja različitih turbina

Slika 3.1. Tok rijeke Bednje

Slika 3.2. Grafički prikaz prosječnih protoka Bednje u odnosu na mjesec u godini

Slika 3.3. Položaj limnigrafske postaje Ludbreg na rijeci Bednji

Slika 3.4. Pogled na lokaciju mjerenja u Ludbregu

Slika 3.5. Bliži pogled na lokaciju mjerenja u Ludbregu

Slika 3.6. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Ludbregu

Slika 3.7. Položaj limnigrafske postaje u Ključu na rijeci Bednji

Slika 3.8. Prikaz rijeke Bednje na lokaciji u Ključu, uz prikaz mjerne letve

Slika 3.9. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Ključu

Slika 3.10. Položaj limnigrafske postaje u Željeznici na rijeci Bednji

Slika 3.11. Lokacija mjerenja u Željeznici, uz prikaz mjerne letve

Slika 3.12. Poprečni presjek korita rijeke Bednje na lokaciji u Željeznici

Slika 3.13. Prikaz dijelova mjernog uređaja FlowTracker 2

Slika 3.14. Prikaz mjernog uređaja FlowTracker 2

Slika 3.15. Dijelovi uređaja

Slika 3.16. Postavljanje mjerne trake

Slika 3.17. Mjerenje – Ludbreg – unašanje potrebnih parametara

Slika 3.18. Mjerenje – Ludbreg – mjerenje dubine vode

Slika 3.19. Prikaz rezultata mjerenja u Ludbregu – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Slika 3.20. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Ludbregu – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Slika 3.21. Tabela prikaz rezultata mjerenja u Ludbregu – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina, protok...

Slika 3.22. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Ludbregu

Slika 3.23. Prikaz rezultata mjerenja u Ključu – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Slika 3.24. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Ključu – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Slika 3.25. Tabela prikaz rezultata mjerenja u Ključu – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina, protok...

Slika 3.26. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Ključu

Slika 3.27. Prikaz rezultata mjerenja u Željeznici – opće informacije o lokaciji (broj mjernih postaja, širina, površina, temperatura vode, minimalne i maksimalne brzine i dubine, protok...)

Slika 3.28. Grafički prikazi rezultata mjerenja u Željeznici – prikaz protoka, brzina i dubina na svakoj mjernoj stanici

Slika 3.29. Tabela prikaz rezultata mjerenja u Željeznici – broj mjernih postaja, vrijeme, lokacija, metoda mjerenja, dubina, brzina, površina, protok...

Slika 3.30. Kontrola kvalitete (upozorenja i pogreške) u Željeznici

Slika 4.1. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Ludbregu

Slika 4.2. Grafički prikaz dubina na stacionažama u Ludbregu

Slika 4.3. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Ključu

Slika 4.4. Grafički prikaz dubina na stacionažama u Ključu

Slika 4.5. Grafički prikaz srednjih brzina vode na svakoj stacionaži u Željeznici

Slika 4.6. Grafički prikaz dubina na stacionažama u Željeznici

8. POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Rezultati proračuna za lokaciju Ludbreg

Tablica 4.2. Rezultati proračuna za lokaciju Ključ

Tablica 4.3. Rezultati proračuna za lokaciju Željeznica

