

# Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama kod mjernih postaja "Luke" i "Turkovići" na rijeci Gornjoj Dobri

---

**Martinčević-Mikić, Mihael**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2025**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:975799>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-05**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)

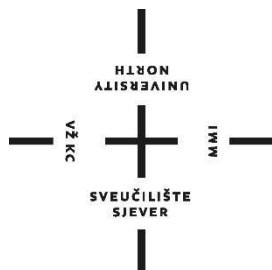


zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 116 / GRD / 2024

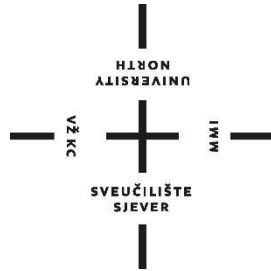
**Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama  
kod mjernih postaja „Luke“ i „Turkovići“ na  
rijeci Gornjoj Dobri**

Mihael Martinčević-Mikić

Varaždin, veljača 2025.



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstva**



DIPLOMSKI RAD br. 116 / GRD / 2024

**Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama  
kod mjernih postaja „Luke“ i „Turkovići“ na  
rijeci Gornjoj Dobri**

Student:  
Mihael Martinčević-Mikić,  
3877/336

Mentor:  
izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, veljača 2025.

# Prijavnica

Sveučilište Sjever  
Sveučilišni centar Varaždin  
104. brigade 3, HR-42000 Varaždin



## Prijava diplomskog rada

### Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Mihael Martinčević-Mikić

JMBAG 0336035874

DATUM 22.10.2024.

KOLEGIJ Vodni sustavi

NASLOV RADA Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama kod mjernih postaja "Luke" i "Turkovići"  
na rijeci Gornjoj Dobri

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Application of special types of turbines at locations near the measuring stations "Luke" and  
"Turkovići" on the Gornja Dobra River

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc.dr.sc. Marko Šrajbek
- izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
- doc.dr.sc. Domagoj Nakić
- prof.dr.sc. Božo Soldo
- 

### Zadatak diplomskog rada

BROJ 116/GRD/2024

OPIS

U ovom diplomskom radu analizirati će se rjeka Gornja Dobra kod hidroloških postaja Luke i Turkovići u svrhu određivanja potencijala i mogućnosti gradnje malih hidroelektrana na tim dijelovima vodotoka, s naglaskom na posebne vrste turbina. Provesti će se hidrološka analiza dobivenih podataka. Okvirni sadržaj rada sastojati će se od uvodnog poglavlja, teoretskih postavki o hidroelektranama, hidrološke i energetske analize, analize dobivenih rezultata i zaključka.

ZADATAK URUČEN 22.10.2024.



# Suglasnost

|  
HABOM  
A1588A100

Sveučilište  
Sjever

+

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

|

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, Mihael Martinčević-Mikić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama kod mjernih postaja „Luke“ i „Turkovići“ na rijeci Gornjoj Dobri te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:  
Mihael Martinčević-Mikić

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, Mihael Martinčević-Mikić neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom Primjena posebnih vrsta turbina na lokacijama kod mjernih postaja „Luke“ i „Turkovići“ na rijeci Gornjoj Dobri čiji sam autor.

Student:  
Mihael Martinčević-Mikić

## **Sažetak**

U ovom diplomskom radu analizira se rijeka Gornja Dobra kod hidroloških postaja Luke i Turkovići u svrhu određivanja potencijala i mogućnosti gradnje malih hidroelektrana na tim dijelovima vodotoka, s naglaskom na posebne turbine. U samom radu daje se uvid u podatke o vodostaju, protoku i poprečnim presjecima rijeke Gornje Dobre kod obje hidrološke postaje, preuzetih od „Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske“. Također u radu se obrađuju turbine, njihova podjela te sam princip rada kao i već izgrađene hidroelektrane na području rijeke Donje Dobre. U samom radu provodi se proračun turbina koje koriste potencijalnu energiju i turbina koje koriste kinetičku energiju vode, uz detaljnu analizu rezultata proračuna snage turbina. Na kraju diplomskog rada provodi se analiza dobivenih podataka te se prikazuje procjena o potencijalu tog dijela vodotoka, odnosno mogućnosti gradnje malih hidroelektrana uz primjenu posebnih vrsta turbina.

**Ključne riječi:** hidroelektrane, Gornja Dobra, posebne turbine, mjerna postaja „Luke“, mjerna postaja „Turkovići“.

## **Abstract**

This thesis analyzes the Gornja Dobra River at the Luke and Turkovići hydrological measurement stations to determine the potential and possibilities of building small hydropower plants on these parts of the watercourse, emphasizing special turbines. The paper provides insight into data on water level, flow, and cross-sections of the Gornja Dobra River at both hydrological stations, taken from the "State Hydrometeorological Institute of the Republic Croatia". The paper also discusses turbines, their classification, the principle of operation, and the hydropower plants that have already been built in the Donja Dobra River area. The paper calculates turbines that use potential energy and turbines that use the kinetic energy of water, with a detailed analysis of the results of the turbine power calculation. At the end of the thesis, an analysis of the data obtained is carried out, and an assessment of the potential of this part of the watercourse, i.e., the possibilities of building small hydropower plants using special types of turbines, is presented.

**Keywords:** hydroelectric power plants, Gornja Dobra, special turbines, measurement station "Luke", measurement station "Turkovići".



## **Popis korištenih kratica**

<b>ABM</b>	Agregat biološkog minimuma
<b>HE</b>	Hidroelektrana
<b>MHE</b>	Mala hidroelektrana
<b>DHMZ</b>	Državni hidrometeorološki zavod

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>O potencijalnim i kinetičkim turbinama</b> .....	<b>3</b>
2.1	Turbine slobodnog pada (akcijske).....	5
2.1.1	Francisova turbina.....	6
2.1.2	Kaplanova turbina.....	8
2.2	Pre tlačne turbine (reakcijske).....	9
2.2.1	Peltonova turbina.....	11
2.2.2	Turgo turbina.....	12
2.3	Kinetičke turbine.....	13
2.3.1	Turbine na vertikalnom vratilu.....	14
2.3.2	Turbine na horizontalnom vratilu.....	15
2.3.3	Oscilirajuće turbine.....	16
2.3.4	Vodenice.....	17
2.4	Posebne vrste turbina.....	24
2.4.1	Venturi turbina.....	25
2.4.2	Arhimedova spirala.....	27
2.4.3	Vortex turbina.....	28
2.4.4	„MAKO“ turbina.....	29
2.4.5	„Smart Hydro Power“ turbina.....	31
2.4.6	„EnviroGen“ turbina.....	33
2.4.7	„Idénergie“ turbina.....	35
2.4.8	„RivGen“ turbina.....	37
2.4.9	Savonius rotor.....	39
2.4.10	„Portable Floating Pico-Hydro“ turbina.....	41
2.4.11	„Minestro“ leteće krilo.....	43
<b>3</b>	<b>Općenito o rijeci Dobri</b> .....	<b>46</b>
3.1	Limnigrafska postaja Luke – hidrološki podaci.....	48

3.2	Limnigrafska postaja Turkovići – hidrološki podaci .....	52
<b>4</b>	<b>Analiza lokacija .....</b>	<b>56</b>
4.1	Provođenje hidrometrijskih mjerenja na rijeci Gornjoj Dobri .....	58
4.1.1	Ultrazvučni mjerac protoka FlowTracker2 – opis uređaja.....	60
4.1.2	Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke .....	63
4.1.3	Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići.....	76
<b>5</b>	<b>Proračun.....</b>	<b>83</b>
5.1	Proračun hidroelektrana koje koriste potencijalnu i kinetičku energiju.....	83
5.1.1	Proračun hidroelektrane koja koristi potencijalnu energiju .....	88
5.1.2	Proračun hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju .....	89
5.1.3	Proračun snage turbine pomoću „Metode lamela“.....	90
5.2	Primjena različitih vrsta turbina kod hidrološke postaje Luke.....	94
<b>6</b>	<b>Analiza i usporedba dobivenih rezultata.....</b>	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>Zaključak.....</b>	<b>101</b>
<b>8</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>102</b>
<b>9</b>	<b>Popis slika.....</b>	<b>105</b>
<b>10</b>	<b>Popis tablica .....</b>	<b>108</b>
<b>11</b>	<b>Popis priloga.....</b>	<b>109</b>
<b>12</b>	<b>Prilozi.....</b>	<b>112</b>



# 1 Uvod

Opskrba energijom u ruralnim područjima suočava se s brojnim i značajnim izazovima koji u velikoj mjeri utječu na kvalitetu života i razvoj lokalnih zajednica. Geografska izoliranost ovih područja u velikom broju slučajeva onemogućava povezivanje sa centralnim izvorom energije te nezaobilaznim čini opskrbu energijom iz alternativnih izvora, kao što su vjetroelektrane, solarni paneli i male hidroelektrane, odnosno energija vjetra, energija Sunčevog zračenja i energija vode.

Energija vode, odnosno hidroenergija, što struji nekom brzinom sastoji se od energije pritiska, potencijalne i kinetičke energije. Svaka od tih energija može se pretvoriti na pogodan način u drugi oblik, koji se pomoću strojeva transformira u mehaničku energiju. Najjednostavniji takvi strojevi su vodna kola koja se izvode za iskorištavanje kinetičke energije ili su pokretana pomoću potencijalne energije. Vodno kolo se koristilo tisućama godina za dobivanje industrijske snage. Glavni njegov nedostatak je veličina, koja ograničava iskoristivi protok i tlak. Prijelaz sa vodnog kola na moderne turbine trajao je stotinjak godina, a čiji razvoj se zbio za vrijeme industrijske revolucije [1].

U Hrvatskoj postoje rijeke na kojima su sagrađene ili bi se mogle sagrađiti male hidroelektrane (hidroenergetska postrojenja instalirane snage do 10 MW) za energetska opskrbu lokalnih i/ili udaljenih naselja u kojima geografska izoliranost infrastrukturu, potrebnu za povezivanje sa centralnim izvorom energije, čini izuzetno skupom.

Kako bi se uvidjela mogućnost gradnje jednog takvog hidroenergetskog postrojenja uz neki vodotok, prije izrade samog projekta potrebno je napraviti studiju isplativosti. Do studije isplativosti opet je mnogo drugih koraka koji se baziraju na dalekosežnim istraživanjima i opažanjima kao što su mjerenje vodostaja, brzine tečenja, dubine i širine korita, uzdužnih padova i slično [2].

Kao predmet ovog diplomskog rada u razmatranje je uzeta mogućnost gradnje malih hidroelektrana, s naglaskom na posebne vrste turbina, na rijeci Dobri, odnosno njezinom dijelu nazvanom Gornja Dobra, nedaleko grada Ogulina.

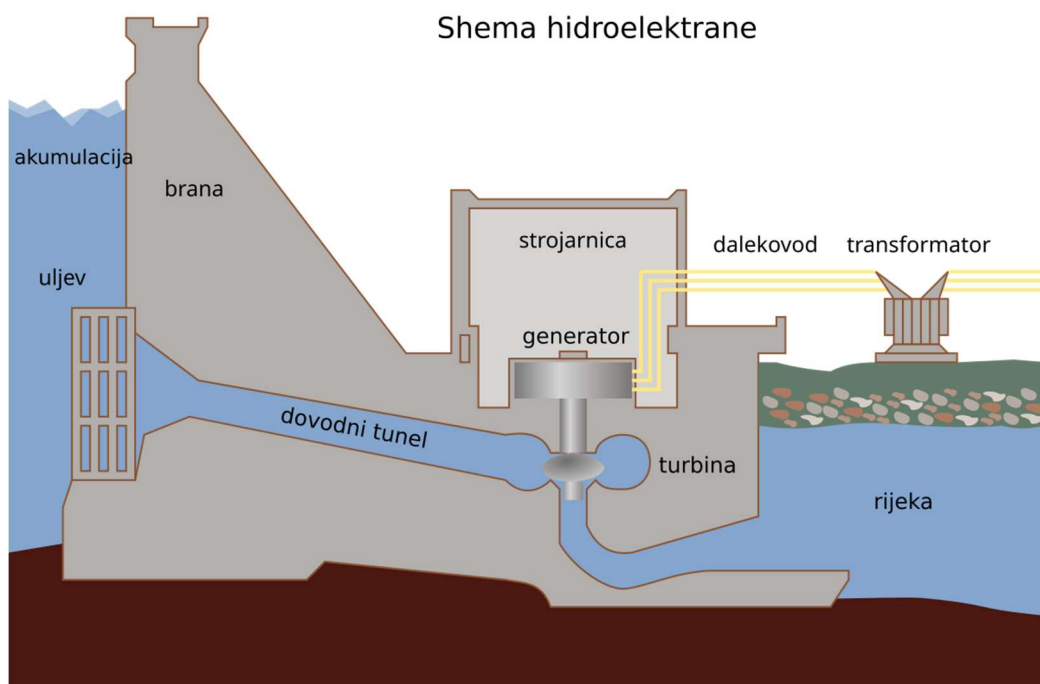
Rijeka Dobra, općenito gledajući, je rijeka ponornica duljine gotovo 108 kilometara. Načinjena je od dva izvora koji se nalaze kod Bukova vrha te kod Skrada

u Primorsko goranskoj županiji. Rijeka Dobra podijeljena je na 3 dionice: Gornju Dobru, Gojačku Dobru i Donju Dobru. Svaka od dionica obilježena je vlastitim karakteristikama i potencijalima koji gotovo čitavu rijeku Dobru čine zanimljivom u pogledu gradnje hidroenergetskih postrojenja kao što je slučaj kod Donje Dobre, gdje su smještene dvije postojeće hidroelektrane: HE Gojak i HE Lešće.

Razmatranje potencijala za gradnju male hidroelektrane na rijeci Gornjoj Dobri bazirano je na podacima dobivenim s hidroloških postaja sagrađenih na tom dijelu vodotoka; Luke i Turkovići, kao i hidrometrijskim mjerenjima. Na spomenutim postajama na raspolaganju su podaci o desetogodišnjem vodostaju, dubini i protoku rijeke Gornje Dobre kao i poprečni profili korita na tom dijelu vodotoka od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske. U daljnjem tijeku ovog rada spomenuti podaci korišteni su za konstruiranje nivograma i hidrograma, kao i proračun površina poprečnih presjeka vodotoka na analizirane dvije lokacije te brzina.

## 2 O potencijalnim i kinetičkim turbinama

Vodne turbine su energetske strojevi pomoću kojih se u energetske sustavima (hidroelektranama) potencijalna energija vode pretvara u kinetičku energiju te zatim, promjenom količine gibanja vode u radnom kolu, u mehanički rad. Vratilo turbinskog radnog kola spojeno je s trošilom, koje je u pravilu električni generator gdje se mehanički rad pretvara u električnu energiju (Slika 2.1).



Slika 2.1 Shema hidroelektrane [3]

Riječ „turbina“ osmislio je francuski inženjer Claude Bourdin početkom 19. stoljeća i dolazi od latinske riječi koja označava "vrtloženje" ili "vir". Glavna razlika između prvih vodnih turbina i vodnih kola je vrtložna komponenta gibanja vode koja daje energiju rotoru. Ta dodatna komponenta gibanja omogućava da turbina bude manjih dimenzija od vodnog kola iste snage. Zbog većih brzina vrtnje, protok vode je veći te se može iskoristiti puno veći tlak [1].

Vodne se turbine prema promjeni tlaka vode pri strujanju kroz radno kolo dijele na turbine slobodnog mlaza (akcijske) i pretlačne (reakcijske) turbine.

Za proračun snage turbina koje iskorištavaju potencijalnu energiju vode koristit će se formula u nastavku [4]:

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H [W] \quad (1)$$

Gdje su:

- $P$  – izlazna snaga turbine [W],
- $Q$  – protok [ $m^3/s$ ],
- $\rho$  - gustoća vode [ $kg/m^3$ ],
- $g$  – ubrzanje polja sile teže [ $m/s^2$ ] i
- $\Delta H$  - neto pad [m].

Za proračun snage turbina koje iskorištavaju kinetičku energiju vode koristit će se formula u nastavku [4]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 [W] \quad (2)$$

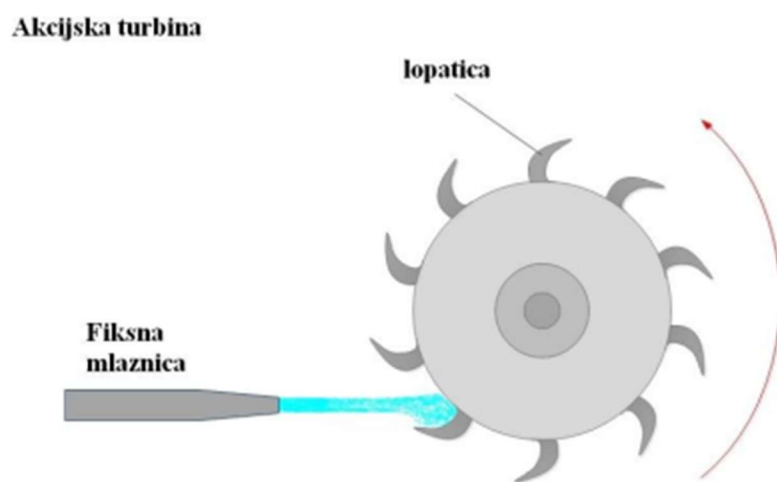
Gdje su:

- $A$  – protjecajna površina poprečnog profila vodotoka [ $m^2$ ] i
- $v$  – brzina [m/s].



## 2.1 Turbine slobodnog pada (akcijske)

U turbini slobodnog pada pretvorba potencijalne energije vode u kinetičku energiju zbiva se samo u statorskom dijelu turbine, a posljedica je toga jednak tlak vode na ulazu u kanal radnog kola i na izlazu iz njega. Aktivna zaokretna sila nastaje zbog skretanja mlaza u radnom kolu, dakle na temelju promjene količine gibanja [5]. Na slici 2.2 nalazi se shematski prikaz turbine slobodnog pada, odnosno akcijskog tipa turbine, iz kojeg je također vidljiv i princip rada spomenutih turbina.



Slika 2.2 Shema turbine slobodnog pada [6]

Karakteristike akcijskih turbina su:

- slično vodenom kolu (turbina sadrži kolo koje služi za pretvorbu energije u mehanički rad),
- udubljene lopatice - okreću se u zraku,
- za velike padove (okomito  $>10$  m),
- za velike tlakove (voda pod visokim tlakom izlazi kroz fiksnu mlaznicu te udara o lopatice te uzrokuje njihovo okretanje) i
- tu spadaju Propelerna, Francisova i Kaplanova turbina.

### 2.1.1 Francisova turbina

Francisova turbina (Slika 2.3) vrsta je turbine koju je konstruirao britansko-američki inženjer James Bicheno Francis. Spomenuta turbina je reakcijska radijalna ili radijalno-aksijalna vodna turbina namijenjena za srednje geodetske padove od 40 pa sve do 700 m i snage do 1000 MW. Gradi se bez kućišta kao otvorena i s kućištem kao spiralna. Sastoji se od spiralnoga dovoda koji preko lopatica pretprivodnoga kola jednolično raspoređuje vodu po obodu rotora. Pretprivodno kolo glavna je nosiva konstrukcija preko koje se prenose sva statička i dinamička opterećenja na betonsku konstrukciju strojarnice. Zakretanjem privodnih hidraulički oblikovanih lopatica upravlja se protokom kroz turbinu i time mijenja snaga te usmjeruje voda na lopatice rotora. U rotor s fiksnim lopaticama voda ulazi radijalno, a izlazi aksijalno u difuzor. Okomito vratilo, Francisovoj turbini omogućuje veće izlazne snage nego što je to slučaj sa horizontalnim vratilom koje je pogodnije za korištenje u manjim hidroelektranama sa manjom izlaznom snagom [7].



**Slika 2.3** Presjek kroz Francisovu turbinu [8]

Jedna od najvećih Francisovih turbina u svijetu nalazi se u hidroelektrani Itaipu u Brazilu (jedinična snaga 750 MW, uz geodetski pad 112.9 m i masu rotora 300 t). U Hrvatskoj su najveće Francisove turbine ugrađene u hidroelektranama Zakučac (snage 135 MW i 110.5 MW, uz geodetski pad od 270 m), Dubrovnik (108.2 MW, 270 m) i Orlovac (79 MW, 380 m) [7].

Francisov tip turbine najučestaliji je tip turbine koji se instalira u pogone za proizvodnju električne energije čija se proizvodnja električne energije bazira na protoku vodene mase (protočne hidroelektrane).

### 2.1.2 Kaplanova turbina

Kaplanova turbina (Slika 2.4) vrsta je pretlačne, aksijalne turbine sa zakretnim lopaticama na rotoru. Primjenjuje se za snage do 250 MW u hidroelektranama s malim padom (od 2 do 70 m), a velikim protokom. Voda se na rotor dovodi kanalom s vanjskim nizom nepokretnih statorskih lopatica (preprivedno kolo) i s unutarnjim pomičnim lopaticama (privodno kolo).



**Slika 2.4** Kaplanova turbina [9]

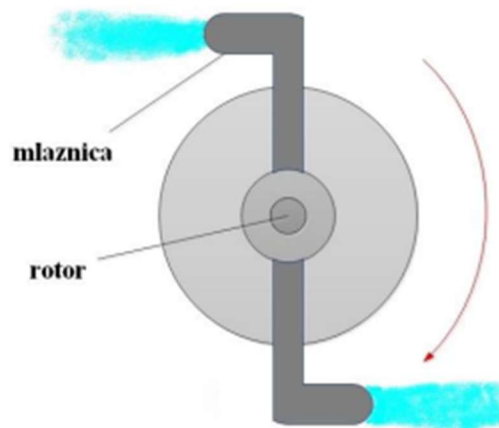
Kod većine propelerne turbine, kako bi se smanjili sudarni gubici i osiguralo strujanje vode s najmanje hidrauličkih gubitaka, omogućeno je zakretanje lopatica na radnom kolu u pogonu. Izvedba turbine sa zakretnim lopaticama rotora je složenija nego izvedba običnih propelerne turbine, no njihove energetske karakteristike su znatno povoljnije. Njihov stupanj iskorištenja može biti i preko 90 % [10].

Radi takvih karakteristika, ovakve turbine se uglavnom primjenjuju u ravninskim područjima, na rijekama koje osiguravaju cjelogodišnji visoki protok, a izgradnjom umjetnih brana se osigurava potreban pad.

## 2.2 Pretlačne turbine (reakcijske)

Pretlačne turbine su turbine u kojima se potencijalna energija vode pretvara u kinetičku energiju djelomice u statorskom, a djelomice u rotorskom dijelu. Tlak vode na ulazu u radno kolo veći je od tlaka na njegovu izlazu. Osim promjene količine gibanja, zakretanje radnog kola uzrokuju i druge sile (razlika tlaka, Coriolisova sila i dr.), dakle reaktivne sile [5]. Na slici 2.5 prikazan je shematski prikaz i dijelovi pretlačnih turbina, također iz samog prikaza vidljiv je i način rada spomenutih turbina.

Reakcijska turbina

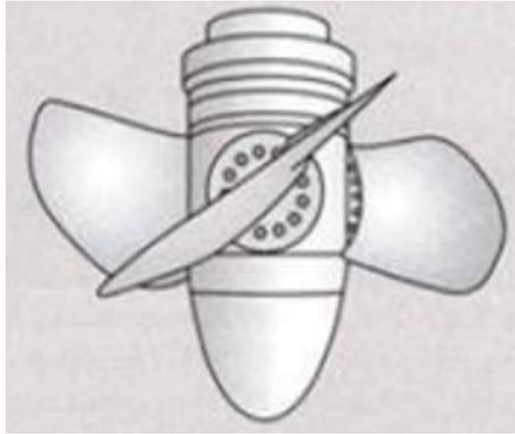


Slika 2.5 Shema pretlačne turbine [6]

Prema smjeru strujanja vode kroz radno kolo, pretlačne turbine mogu biti radijalne (Slika 2.6), poluaksijalne i aksijalne (slika 2.7).



Slika 2.6 Radijalna turbina [11]



**Slika 2.7** Aksijalna turbina [11]

Karakteristike reakcijskih turbina:

- za velika postrojenja,
- lopatice slične elisi broda – potopljene u vodi,
- za male padove, pri velikom protoku i malom tlaku i
- tu spadaju Peltonova, Turgo i Crossflow turbina.

### 2.2.1 Peltonova turbina

Peltonova turbina (Slika 2.8) vodna je turbina slobodnoga mlaza (akcijska turbina), koju je 1880. patentirao američki inženjer Lester Allan Pelton. Kod Peltonove turbine voda se dovodi na rotor tlačnim cjevovodom koji na svojem kraju ima jednu ili više mlaznica smještenih u kućištu turbine. Po obodu rotora razmještene su lopatice koje mlaz vode udara velikom brzinom i mijenja njihov smjer. Zbog skretanja mlaza, odnosno promjene količine gibanja, na lopaticu djeluje aktivna sila koja razvija zakretni moment što pokreće rotor. Iskoristivost takve turbine najveća je kada se rotor vrti obodnom brzinom, koja je nešto manja od polovice brzine mlaza vode [12].



**Slika 2.8** Peltonova turbina [13]

Peltonove turbine grade se za velike geodetske padove (od 250 do 2000 m) i razmjerno male protoke te za snage do 250 MW zbog čega je njihova specifična brzina vrtnje malena. U Hrvatskoj su Peltonove turbine ugrađene samo u hidroelektranu Vinodol. To su tri para turbina sa po dvije mlaznice, vodoravnim vratilom i ukupnom snagom nešto većom od 80 MW.

### 2.2.2 Turgo turbina

Turgo turbina (Slika 2.9) impulsna je vodna turbina slična Peltonovoj. Od Peltonove turbine razlikuje se u tome što vodeni mlaz prilazi bočno rotoru. Ova vrsta turbine koristi se za srednje neto padove vode od 50 m do 250 m te joj stupanj iskorištenosti može dostići do 87 %. Spomenutu vrstu turbine razvila je 1919. godine engleska tvrtka Gilbert Gilkes & Gordon Ltd., kao rekonstrukciju Peltonove turbine te joj time dala neke prednosti u odnosu na Peltonovu i Francisovu turbinu, posebno u radnom području koje je između te dvije vrste turbina [14].



*Slika 2.9 Turgo turbina [15]*

Prednosti u odnosu na Peltonovu turbinu:

- cijena rotora značajno je manja nego kod Peltonove turbine,
- koristi veće brzine vode i može podnijeti veće protoke, kao Peltonova turbina istog promjera i
- manji troškovi ugradnje.

Turgo turbine veoma su česte kod malih hidroelektrana, kod kojih cijena ugradnje ima značajnu ulogu u ukopnoj sumi ulaganja [14].

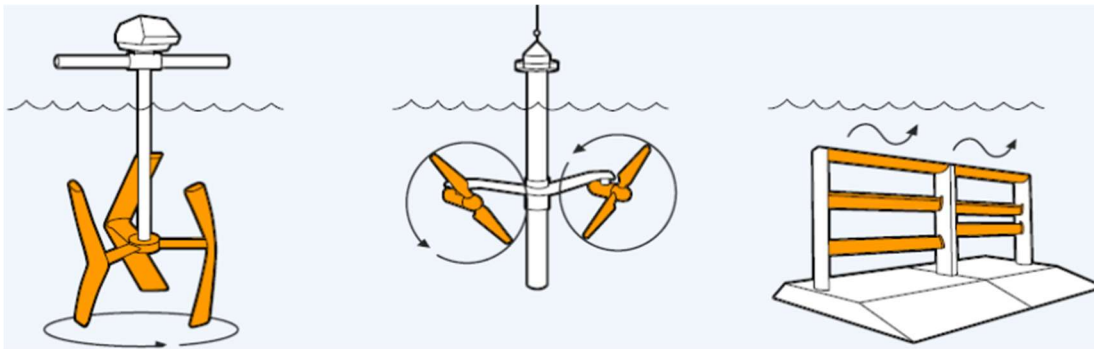


### 2.3 Kinetičke turbine

Kinetičke vodne turbine predstavljaju naprednu tehnologiju koja omogućava iskorištavanje energije iz vode u kretanju na inovativan i ekološki prihvatljiv način. Za razliku od klasičnih hidroelektrana koje zahtijevaju brane i/ili akumulacije za stvaranje neto pada vode, kinetičke turbine koriste prirodnu brzinu i protok vode bez potrebe za značajnim građevinskim zahvatima.

Glavna prednost kinetičkih turbina je u tome što ne remete ekosustav u velikoj mjeri samim time što ne mijenjaju prirodni tok rijeke i ne stvaraju prepreke za vodeni svijet. Ova vrsta turbina izuzetno je pogodna za primjenu u rijekama, za iskorištavanje morskih struja i u područjima gdje su izraženi ciklusi plime i oseke, omogućavajući proizvodnju energije iz kretanja vode.

Kinetičke vodne turbine dijele se na turbine na vertikalnom i horizontalnom vratilu te na oscilirajuće turbine („riblja peraja“) (Slika 2.10).



Slika 2.10 Shematski prikaz kinetičkih vodnih turbina [11]

### 2.3.1 Turbine na vertikalnom vratilu

Kinetičke turbine na vertikalnom vratilu (Slika 2.11) imaju drugačiji dizajn, s osovinom koja je postavljena okomito u odnosu na tok vode. Ovaj dizajn omogućava turbini da radi u promjenjivim vodotocima, jer može primati vodu iz različitih smjerova. Vertikalne osne turbine su pogodne za rijeke i morske struje sa slabijim protokom, ali i u područjima gdje se protok vode često mijenja. Zbog svoje konstrukcije, ove turbine su prilagodljive i mogu raditi u turbulentnim vodama, a njihova jednostavna konstrukcija omogućava lako održavanje. Iako su manje efikasne u uvjetima visokog protoka, njihova sposobnost rada u različitim uvjetima čini ih fleksibilnim rešenjem za različite lokacije [16].



**Slika 2.11** Prikaz kinetičke turbine na vertikalnom vratilu [11]

### 2.3.2 Turbine na horizontalnom vratilu

Kinetičke turbine na horizontalnom vratilu (Slika 2.12) rade po principu sličnom vjetroturbinama, ali se postavljaju ispod vode. Rotor s lopaticama postavlja se paralelno s tokom vode, a prolazak vode kroz lopatice pokreće rotor, prenoseći energiju na turbinu. Ova vrsta turbina je naročito pogodna za rijeke s konstantnim protokom ili morske struje. Njihova velika prednost je što ne zahtijevaju velike građevinske zahvate ili promjene u ekosustavu, čime se smanjuje negativan utjecaj na okolinu. Mogu se instalirati na relativno jednostavnim konstrukcijama, pa su i troškovi ugradnje niži u usporedbi s većim hidroenergetskim projektima. Međutim, njihov rad ovisi o brzini vode, pa u uvjetima sa slabijim strujama generiraju malu količinu energije [16].



**Slika 2.12** Prikaz kinetičke turbine na horizontalnom vratilu [11]

### 2.3.3 Oscilirajuće turbine

Oscilirajuće turbine ili takozvane „riblje peraje“ (Slika 2.13) rade slično kao horizontalne osne kinetičke turbine, ali se koriste u područjima sa stalnim morskim tokovima, a koji nastaju kao rezultat globalnih strujanja i razlika u temperaturi ili salinitetu. Ove turbine su postavljene na dnu mora ili oceana u područjima s jakim strujama, koje su pouzdan i stabilan izvor energije. Zbog konstantnog toka vode, ove turbine mogu raditi neprekidno, pružajući stabilan izvor energije bez velikih oscilacija u proizvodnji. Prednost ovih turbina leži u njihovoj sposobnosti da generiraju velike količine energije, ali njihova instalacija u dubokim morskim vodama zahtjeva napredne tehnologije i značajne investicije. Jedna od većih mana ovog tipa turbine manifestira se u pogledu održavanja u ekstremnih morskih uvjetima i na velikim dubinama [16].



**Slika 2.13** Prikaz oscilirajuće turbine („riblja peraja“) [11]

### 2.3.4 Vodenice

Vodenice (Slika 2.14) su jedan od najstarijih oblika iskorištavanja energije vode. Tradicionalno su korištene za pogon mehaničkih uređaja, kao što su mlinovi, koristeći kinetičku energiju tekuće vode iz rijeka ili potoka. Vodenica radi tako što se voda usmjerava prema kotaču s lopaticama, koji se okreće pod djelovanjem pritiska vode. Ova energija koristi se za različite svrhe; od mljevenja žita do pogona generatora za proizvodnju električne energije.



**Slika 2.14** Prikaz vodenice [11]

Modernizacija vodenica omogućava njihovu prilagodbu za male hidroelektrane, posebno u ruralnim područjima gdje su vodeni tokovi stalni. Iako su manje efikasne od suvremenih turbina, vodenice nude održivo rešenje za lokalnu proizvodnju energije, s minimalnim infrastrukturnim zahtjevima i ekološkim utjecajem.

### Proračun vodne snage kod vodenica:

Princip proizvodnje električne energije kod vodenica sličan je proizvodnji električne energije kod hidroelektrana. Kao i kod hidroelektrana, potencijalna energija vode koja se kroz dovodne kanale ili cjevovode dovodi do turbine ili u slučaju kod vodenica do mlinskog kola pretvara se u kinetičku energiju [17].

Uz zanemarivanje gubitaka strujanja, primjenom zakona očuvanja energije za maseni protok vode dobiva se općeniti izraz za energiju, koju masa tekućine ima na ulazu u turbinu [4].

$$E = m \cdot g \cdot \Delta H [J] \quad (3)$$

Maseni protok vode može se izraziti kao produkt volumnog protoka  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] i gustoće  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] te se u konačnici dobije izraz za vodnu snagu mase tekućine na ulazu u turbinu, odnosno za snagu hidroelektrane, jednadžba (1) [4].

Raspoloživa snaga na vratilu turbine manja je od snage vode na ulazu u turbinu za iznos gubitaka koji nastaju uslijed strujanja vode kroz samu turbinu. Omjer snage  $P_T$  dobivene na vratilu turbine i snage vode  $P$  na ulazu u turbinu predstavlja stupanj učinkovitosti energetske transformacije  $\eta$  [4].

$$\eta = \frac{P_T}{P} \quad (4)$$

Stupanj učinkovitosti vodenih turbina, koje koriste potencijalnu energiju vode, kreće se u rasponima od 0.75 do 0.95.

Raspoloživa snaga na vratilu turbine iznosi [4]:

$$P_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta [W] \quad (5)$$

Gdje su:

- $P_T$  - raspoloživa snaga na vratilu i
- $\eta$  – stupanj učinkovitosti energetske transformacije.

Općenito, kod određivanja snage kinetičkih turbina, odnosno i vodeničkih kola koristiti će se sljedeći izraz [4].

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p v_1^3 \quad (6)$$

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 [17].

Kod kinetičkih turbina, stupanj učinkovitosti je manji u odnosu na turbine koje koriste potencijalnu energiju vode.

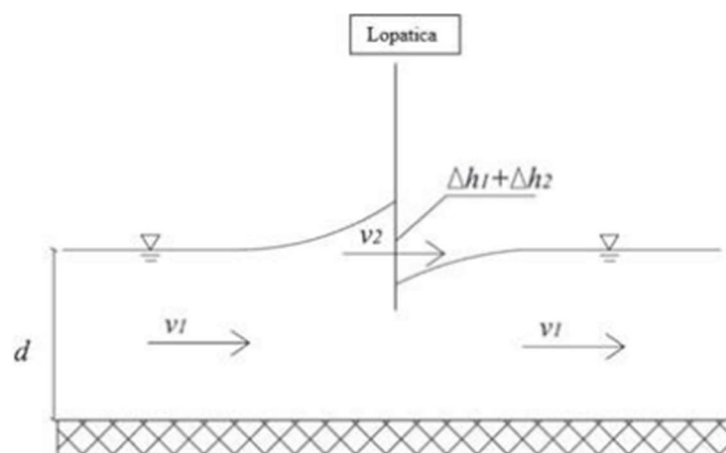
Količina proizvedene električne energije  $E$  [kWh] dobije se preko [4].

$$E = P \cdot t \quad (7)$$

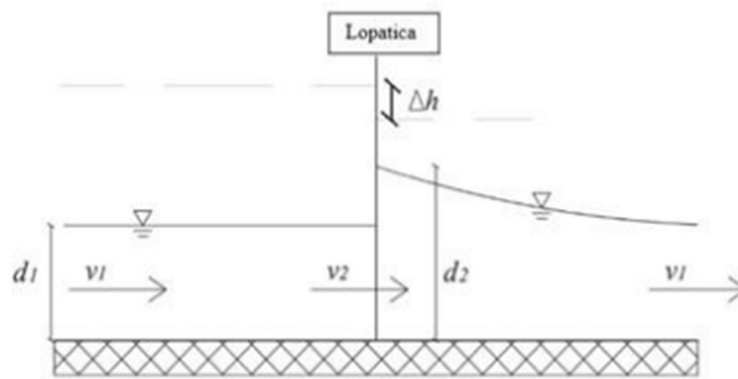
- gdje je  $t$  vrijeme rada hidroelektrane.

Slike u nastavku prikazuju segment lopatice vodnog kola kod kretanja vode za plitki tok: a) mirni režim tečenja (Slika 2.15), b) siloviti režim tečenja (Slika 2.16) i c) duboki tok (Slika 2.17).

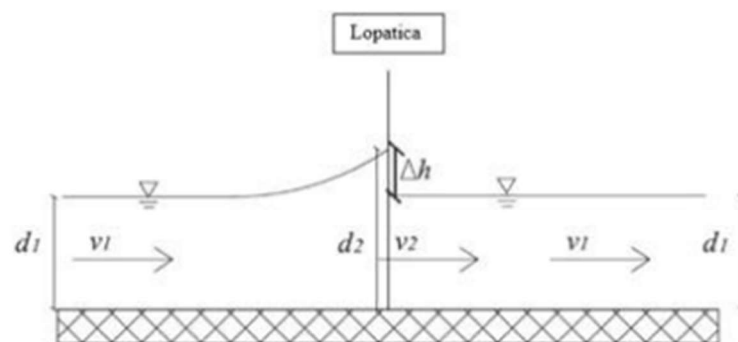
Plitki tok podrazumijeva dubinu približno jednaku visini lopatice vodnog kola. Minimalna energija nizvodnog toka, odnosno maksimalna proizvodnja energije će se postići kada dubina dosegne kritičnu dubinu [17].



Slika 2.15 Mirni režim tečenja [17]



Slika 2.16 Siloviti režim tečenja [17]



Slika 2.17 Duboki tok [17]

Za pravokutni poprečni presjek, režim tečenja definira se putem kritične dubine, jednačba (8), odnosno Froudeovog broja  $F_R$ , jednačba (9) [17].

$$d_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot B^2}} \quad (8)$$

$$F_R = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (9)$$

Gdje je:

- $F_R$  - Froudeov broj
- $d_{kr}$  – kritična dubina.

Za sve dubine  $d$  manje od  $d_{kr}$ , tok je silovit. Ukoliko je  $d$  veći od  $d_{kr}$ , tok je miran. Dubina  $d$  jednaka kritičnoj dubini  $d_{kr}$  podrazumijeva kritični tok. Kod



Froudeovog broja,  $F_R = 1$  podrazumijeva kritični tok,  $F_R$  manji od 1 predstavlja mirni, dok  $F_R$  veći od 1 podrazumijeva siloviti tok [17].

### Vodno kolo u mirnom toku kretanja vode

Najjednostavniji pokušaj procjene izlazne snage vode  $P$  opisan je u jednadžbi (10). Teorija momenta je primijenjena na brzinu okretanja lopatice  $v_2$  kod neograničenog protoka, pri čemu se zanemaruje hidrostatička sila, koju tvori razlika u visini vode na lopatici [17]:

$$P = \rho \cdot A \cdot (v_1 - v_2) \cdot v_2 [W] \quad (10)$$

Gdje je:

- $A$  - uronjeno područje lopatice [ $m^2$ ],
- $v_1$  - ulazna brzina vode [ $m/s$ ],
- $v_2$  - brzina okretanja lopatica vodnog kola (obodna brzina) [ $m/s$ ] i
- $\rho$  - gustoća vode [ $kg/m^3$ ].

Teoretski model prikazuje najveću snagu kada je omjer  $v_2/v_1$  jednak 0.33.

Brzina okretanja lopatica vodnog kola, tj. obodna brzina  $v_2$  dobije se pomoću izraza [17]:

$$v_2 = \frac{2r \cdot \pi}{T} = 2r \cdot \pi \cdot f \quad (11)$$

Gdje je:

- $T$  - period rotacije (okretaja) najčešće izražen u minutama ili sekundama [ $s$ ] i
- $f$  - frekvencija, odnosno broj okretaja u jedinici vremena [okretaja/min]

Sređivanjem odnosno pojednostavljenjem jednadžbe (10), dobije se izraz koji predstavlja izlaznu snagu turbine u obliku vodenice [17]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p v_1^3 \quad (12)$$

Voda teče prema mlinskom kolu, stoga se gornja razina vode može povećavati kao posljedica uspora zbog dolaska do lopatice. Sukladno tome povećava se i razlika u visini vode, iako bi u idealnim okolnostima (bez gubitaka) ta razlika bila jednaka nuli.

Ukoliko se prethodna promatranja uzmu u obzir, tada je učinkovitost vodnog (mlinskog) kola  $\eta$  jednaka [17]:

$$\eta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{d_1}{d_2}\right) \quad (13)$$

Uzimanjem u obzir gubitke uslijed turbulencije tečenja vode, izlazna snaga turbine može se procijeniti kao [17]:

$$P = \eta P_{in} - \gamma Q_l \Delta H - K v_m^3 \quad (14)$$

Gdje je:

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

### Vodno kolu u silovitom toku kretanja vode

Izlazna snaga turbine u obliku vodnog kola za ovaj režim kretanja vode dobije se preko sljedeća dva izraza [17]:

$$\Delta h = d_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \left(d_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right); \Delta h \geq 0 \quad (16)$$

$$d_2 = \frac{v_1}{v_2} \cdot d_1 \quad (17)$$

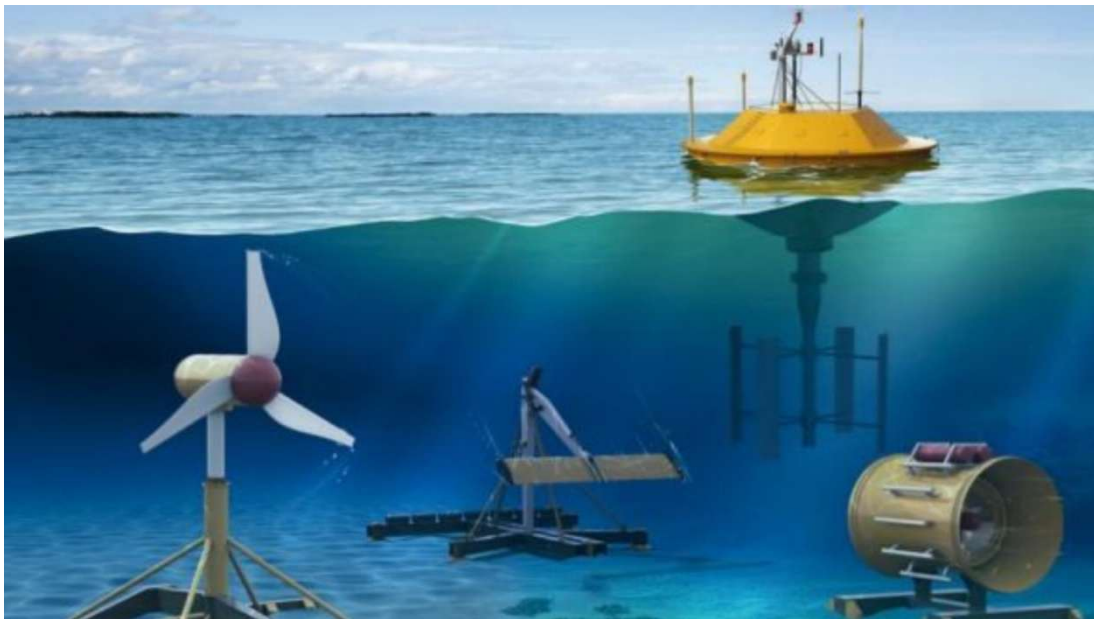
## Vodno kolo u dubokom toku vode

Duboki tok vode podrazumijeva dubinu veću od visine lopatica vodnog kola. Kako bi se postigla točnija procjena, izlazna snaga može se izračunati uzimajući u obzir idealni proces za duboki tok, koji ovisi o sili kojom na uronjenu lopaticu djeluje izmjena momenta sa malom razlikom visine. Na ovaj način se izlazna snaga može procijeniti pomoću izraza (18) [17]:

$$P = \rho \cdot g \cdot \frac{b}{2} [(d_1 + \Delta h_1)^2 - (d_2 + \Delta h_2)^2] \cdot v_2 + \rho \cdot b (d_1 + \Delta h_1)^2 \cdot (v_1 - v_2)^2 \cdot v_2 \quad (18)$$

## 2.4 Posebne vrste turbina

Posebne vrste turbina dobile su naziv zbog svoje rijetkosti pojavljivanja i korištenja za proizvodnju električne energije, kao i složenosti konstrukcije te specifičnosti načina rada. To su turbine koje na različite načine iskorištavaju kretanje vode stvarajući električnu energiju konstantno ili u periodima. Slika 2.18. prikazuje ilustraciju različitih konstrukcija vodnih turbina kao i nesvakodnevnih turbinskih sustava izražavajući tako njihovu posebnost, odnosno konstrukciju.



**Slika 2.18** Posebne vrste vodnih turbina [18]

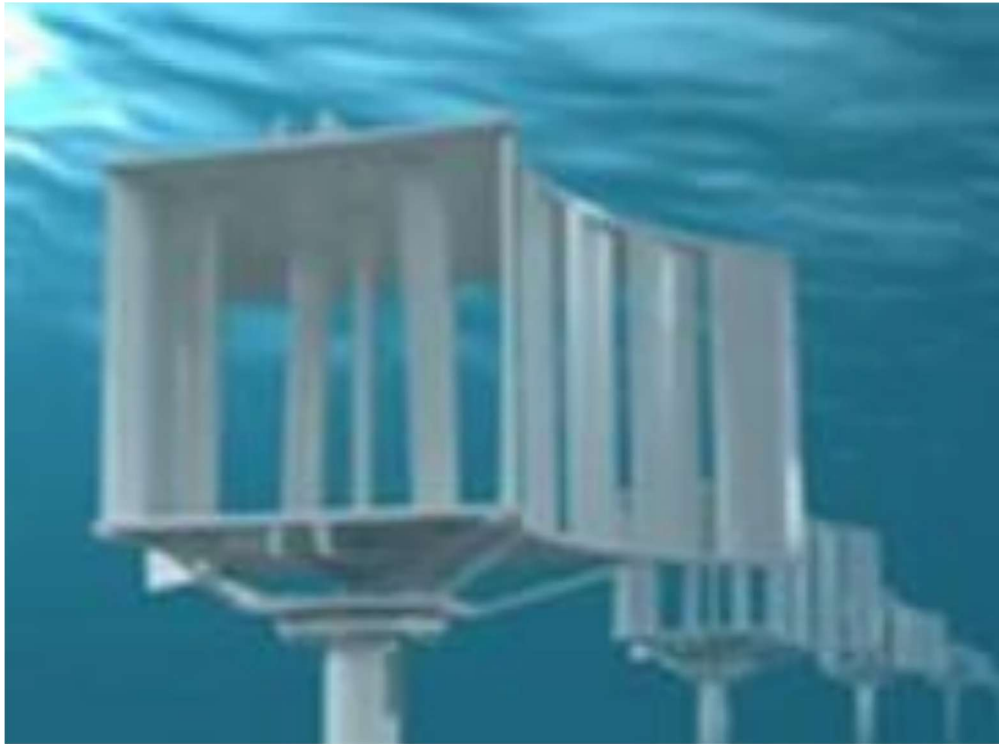
#### 2.4.1 Venturi turbina

Venturi turbine (Slika 2.19) koriste princip Venturijevog efekta, pri kojem voda koja prolazi kroz suženje u cijevi ubrzava i povećava svoju kinetičku energiju. Kada voda dostigne veću brzinu, prolazi kroz turbinu koja se rotira i generira energiju. Ovaj koncept je posebno pogodan za područja s niskim protokom vode, jer suženje cijevi omogućava povećanje brzine vode, što čini Venturi turbine efikasnim rješenjem za kanale ili vodovodne sisteme.



**Slika 2.19** Prikaz Venturi turbine prilikom ugradnje [11]

Efikasnost ovih turbina zavisi od brzine protoka vode i geometrije cijevi, ali njihova jednostavna konstrukcija omogućava laku instalaciju i korištenje u postojećim uvjetima, bez potrebe za velikim infrastrukturnim zahvatima. Na slici 2.20 prikazan je niz Venturi turbina pod vodom.



**Slika 2.20** Prikaz ugrađene Venturi turbine [11]

#### 2.4.2 Arhimedova spirala

Arhimedova spirala (Slika 2.21), poznata kao Arhimedov vijak, koristi princip rotacije vijka kako bi podizala vodu, ali se može koristiti i kao turbina koja proizvodi energiju. Kada voda prolazi kroz vijak postavljen pod blagim kutom, ona uzrokuje njegovo rotiranje, što može pokretati generator te samim time proizvoditi električnu energiju. Arhimedova spirala posebno je pogodna za male hidroelektrane sa slabim protokom ili malim padovima, što pospješuje njena konstrukcija koja omogućava efikasan rad u takvim uvjetima. Osim toga, ova turbina je ekološki prihvatljiva, jednostavna za održavanje i ima relativno niske troškove instalacije [19].



**Slika 2.21** Prikaz Arhimedove spirale u svojstvu turbine [11]

Zbog svoje jednostavnosti, Arhimedov vijak često se koristi u manjim projektima korištenja obnovljive energije, kao i za navodnjavanje ili transport vode u ruralnim sredinama.

### 2.4.3 Vortex turbina

Vortex turbina (Slika 2.22) koristi se u hidroenergetskim sustavima koji koriste vrtložni (vortex) tok vode za proizvodnju energije. Ove turbine rade tako što se voda usmjerava u kružni bazen, gdje se formira vrtlog prije ulaska vode u turbinu smještenu u centru bazena. Vrtlog usmjerava vodu prema otvoru u centru, gdje prolazi kroz turbinu i pokreće rotor, stvarajući energiju. Vortex turbine su veoma efikasne u uvjetima niskih padova, gdje druge vrste turbina ne mogu efikasno raditi. Ove turbine posebno su pogodne za male hidroelektrane u ruralnim područjima, jer mogu raditi s malim protokom i bez velikih infrastrukturnih zahtjeva [20].



**Slika 2.22** Prikaz rada Vortex turbine [11]

Njihova ekološka prihvatljivost ogleda se u činjenici da omogućavaju nesmetani prolaz ribama i drugim vodenim organizmima, dok je njihovo održavanje jednostavno i ekonomično.



#### 2.4.4 „MAKO“ turbina

„MAKO Energy“ turbine (Slika 2.23), razvijene od strane Elemental Energy Technologies Ltd, predstavljaju inovativno rješenje za iskorištavanje hidro-kinetičke energije iz vodenih tokova u kanalima, tokovima i odvodnim kanalima. Ove turbine proizvode do šest puta više električne energije po instaliranom kilovatu u usporedbi sa solarnim panelima, čineći ih troškovno učinkovitijima. Njihov sustav koristi Siemensovu elektroniku, čime se isporučuje struja spremna za mrežu. Lako su prilagodljive i ekološki prihvatljive, bez negativnog utjecaja na okoliš, zahvaljujući netoksičnim materijalima i jednostavnom održavanju [21].



Slika 2.23 Prikaz „MAKO Energy“ turbine [21]

Ključne značajke:

- **Visoka učinkovitost:** Turbine rade pri brzini vode od 1.5 do 3.0 m/s, pružajući visoku učinkovitost od 0.9 te mogu napajati lokalne sustave ili električnu mrežu,

- **Troškovna učinkovitost:** Proizvode šest puta više energije po instaliranom kilovatu u usporedbi s komercijalnim solarnim panelima, čineći ih vrlo isplativima na lokacijama s bogatim vodenim tokovima,
- **Modularnost i jednostavno održavanje:** Turbine su jednostavne za postavljanje i održavanje. Teže oko jedne tone, a promjer lopatica je dva metra, što ih čini prikladnima za širok raspon lokacija,
- **Minimalni utjecaj na okoliš:** Izrađene su od netoksičnih materijala poput čelika, staklo-plastike i ugljičnih vlakana, a njihov dizajn bez zupčanika smanjuje potrebu za održavanjem i operativne troškove i
- **Svestrana primjena:** Idealne su za pretvaranje suvišne energije iz postojećih struktura poput odvodnih kanala ili brana, smanjujući operativne troškove i doprinoseći rješenjima obnovljive energije bez promjena u strukturalnom integritetu lokacije [21].

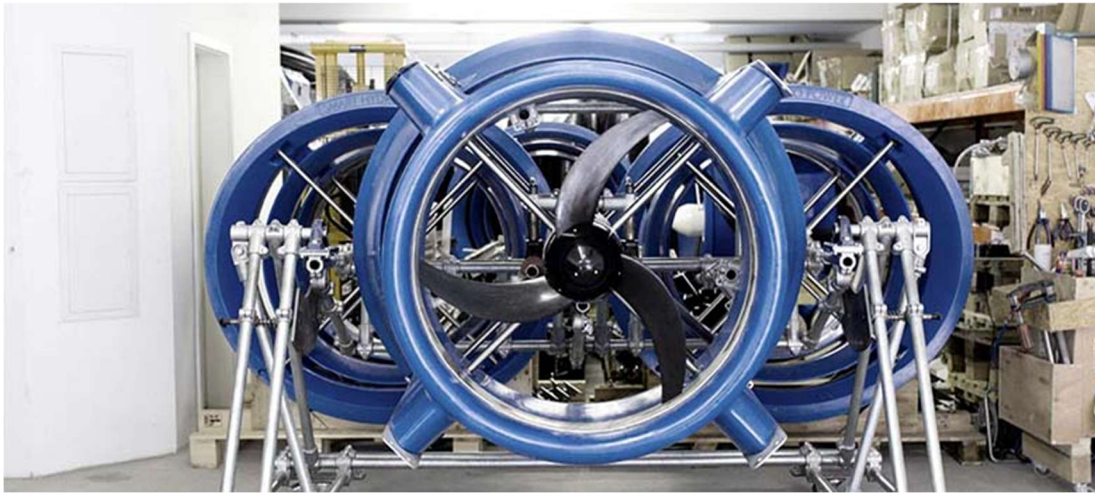
Slika 2.24 prikazuje Mako turbinu prilikom ugradnje.



*Slika 2.24 Puštanje u pogon Mako turbine [21]*

#### 2.4.5 „Smart Hydro Power“ turbina

„Smart Hydro Power“ razvija inovativne hidro-kinetičke turbine koje iskorištavaju kinetičku energiju iz rijeka i kanala. Ove turbine ne zahtijevaju izgradnju brana, što smanjuje utjecaj na ekosustave i omogućuje stalan pristup obnovljivoj energiji. Modeli kao što su SMART Monofloat (Slika 2.25) i SMART Free Stream nude fleksibilnost u instalaciji, a njihova modularna konstrukcija olakšava održavanje. Turbine se mogu kombinirati s drugim obnovljivim izvorima energije, poput solarnih panela, stvarajući hibridne sustave koji povećavaju energetska neovisnost. Osim toga, nizak trošak infrastrukture čini ih privlačnim rješenjem za različite korisnike, od kućanstava do industrijskih aplikacija [22].



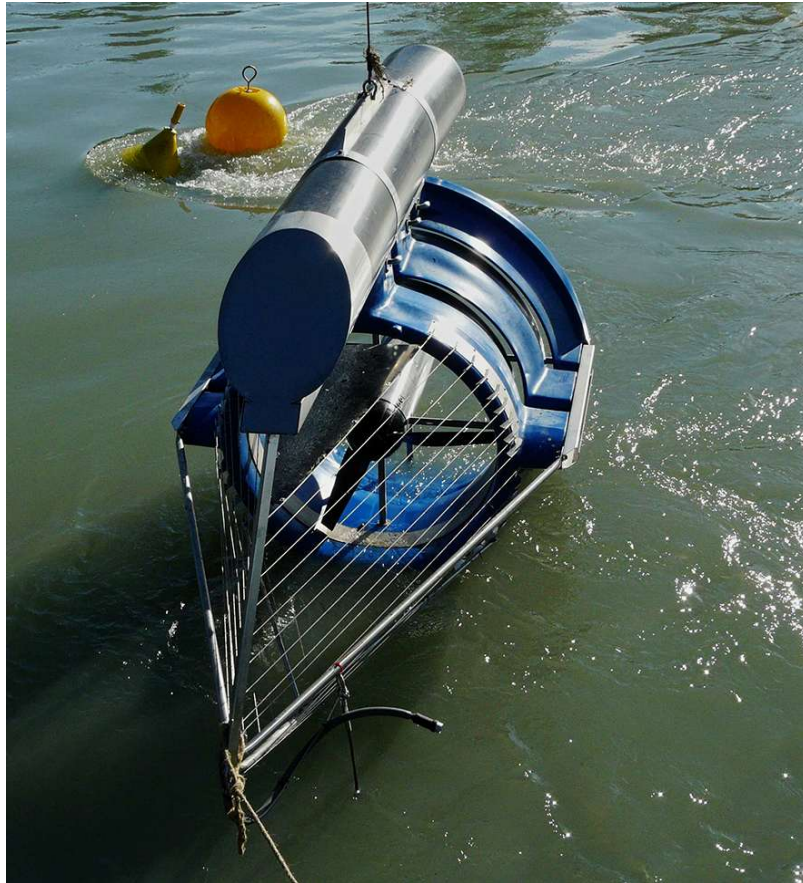
Slika 2.25 Smart Hydro turbina [22]

Ključne karakteristike:

- **Modularna konstrukcija:** Turbine se lako instaliraju i održavaju, a njihova modularnost omogućuje prilagodbu različitim uvjetima,
- **Integracija s drugim izvorima energije:** Mogu se kombinirati s fotonaponskim sustavima za stvaranje hibridnih energetska rješenja koja povećavaju energetska neovisnost,
- **Minimalni ekološki utjecaj:** Bez brana, SMART turbine omogućuju očuvanje prirodnog toka rijeka i smanjuju štetu na ekosustavima,

- **Prilagodljivost i fleksibilnost:** Ove turbine mogu se koristiti u raznim aplikacijama, od kućanstava do industrijskih postrojenja, pružajući energetske neovisne opcije za korisnike,
- **Pogodnost za off-grid sustave:** Idealne su za korištenje u udaljenim područjima bez pristupa mreži, osiguravajući stalan izvor energije i
- **Tehnološka inovacija:** Turbine su opremljene najnovijom tehnologijom koja omogućuje učinkovitu proizvodnju energije iz vodenih tokova [22].

Slika 2.26 prikazuje Smart Hydro turbinu u Rosenhaimu, prilikom spuštanja u kanal.



*Slika 2.26 Spuštanje Smart Hydro turbine u kanal – Rosenhaim [22]*

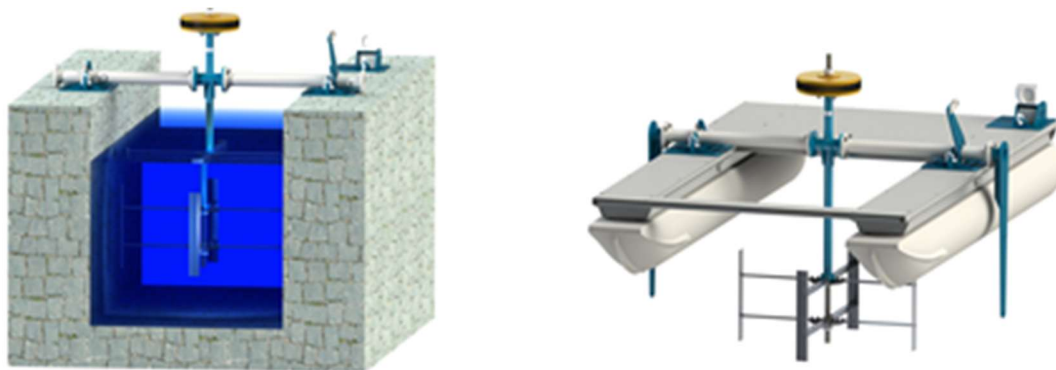
#### 2.4.6 „EnviroGen“ turbina

New Energy Corporation nudi inovativne hidro-kinetičke (Slika 2.27) turbine osmišljene za efikasno iskorištavanje kinetičke energije rijeka i kanala. Ove turbine omogućuju prijenos energije „od vode do žice“, pružajući pouzdanu opskrbu energijom bez negativnog utjecaja na okoliš [23].



**Slika 2.27** EnviroGen turbina na rijeci Thanlyin [23]

New Energy Corporation proizvodi fiksirane i plutajuće modele (ova podjela prikazana je na slici 2.28), što ih čini prilagodljivima različitim potrebama korisnika. Dostupni modeli, poput EnviroGen serije koja predstavlja Darius turbinu s vertikalnom osi, nude snagu od 5 kW do 250 kW, osiguravajući jednostavnu instalaciju i niske troškove održavanja, dok minimiziraju emisije stakleničkih plinova, čineći ih održivim rješenjem za obnovljive izvore energije.



**Slika 2.28** Prikaz fiksirane i plutajuće turbine serije EnviroGen [23]

Ključne karakteristike:

- **Jednostavna instalacija i održavanje:** Dizajn bez zupčanika olakšava montažu i smanjuje troškove održavanja i
- **Prilagodljivost:** Turbine se mogu koristiti kao samostalne jedinice ili povezane s mrežom, a dostupne su i plutajuće verzije za udaljena područja.

Slika 2.29 prikazuje primjer EnviroGen turbine u kanalu Chilla koji se nalazi u Indiji.



*Slika 2.29 EnviroGen turbina u Chilla kanalu – Indija [23]*

Primjena i održavanje:

- **Široka primjena:** Različiti modeli, poput EVG-005 i EVG-250, nude fleksibilne opcije za generiranje energije pri različitim brzinama vode i
- **Oprema za uvjetovanje energije:** Sustavi osiguravaju izlaznu energiju u potrebnom naponu i frekvenciji.

Kombinacija hidro-kinetičkih turbina s drugim izvorima energije, poput solarnih panela, pruža stabilnije energetske sustave, smanjujući rizik od prekida opskrbe [23].

#### 2.4.7 „Idénergie“ turbina

Idénergie turbina (Slika 2.30), riječna je turbina sastavljena od jednog para Deriaz turbina koje direktno pokreću generator. Sama turbina nudi inovativno i efikasno rješenje za obnovljivu energiju, dizajnirano za off-grid sustave i kućnu upotrebu. Turbina generira do 12 kWh električne energije dnevno iz protoka rijeka, pružajući pouzdan izvor energije. Zahvaljujući vodootpornom dizajnu bez osovine, održavanje je minimalno, a ugrađeni pretvarač optimizira izlaznu snagu. Sustav omogućuje daljinsko praćenje, a jednostavna instalacija zahtijeva minimalne alate. Ovaj održivi sustav idealan je za udaljene zajednice i one koji žele smanjiti svoj ugljični otisak korištenjem obnovljivih izvora [24].



Slika 2.30 Idénergie riječna turbina [24]

Ključne karakteristike:

- **Stalna proizvodnja energije:** Proizvodi do 12 kWh električne energije dnevno iz riječnih tokova, osiguravajući konstantnu opskrbu energijom za off-grid lokacije,
- **Dizajn bez vratila:** Idénergie-ova turbina sadrži vodootporan motor bez osovine, što smanjuje potrebu za redovnim održavanjem. Ovaj inovativni

dizajn čini je vrlo pouzdanom, čak i u zahtjevnim vremenskim uvjetima ili okruženjima,

- **Jednostavna instalacija:** Turbina je dizajnirana za jednostavnu upotrebu, zahtijeva minimalne alate i stručno znanje za instalaciju. Ovo je čini pristupačnom širokom spektru korisnika, uključujući one bez tehničkog iskustva,
- **Ugrađeni pretvarač:** Turbina uključuje ugrađeni pretvarač koji optimizira izlaznu energiju, osiguravajući učinkovitu proizvodnju i pohranu električne energije,
- **Daljinsko praćenje:** Opremljena funkcijama daljinskog praćenja, turbina omogućava korisnicima da prate performanse i upravljaju izlaznom energijom s udaljenosti. Ovo pruža praktičnost, posebno za udaljena područja gdje bi često fizičko praćenje moglo biti otežano.
- **Otpornost i izdržljivost:** Turbina je izrađena za podnošenje različitih vremenskih uvjeta, otporna je na vremenske utjecaje, osiguravajući dugoročnu pouzdanost. Njen dizajn posebno je prilagođen za održavanje zahtjeva kontinuiranog rada u protoku rijeka.
- **Održivost i primjene izvan mreže:** Idénergie-ova turbina idealna je za život izvan mreže, udaljene zajednice ili bilo koje područje s pristupom protoku vode, pružajući održivu, ekološku alternativu tradicionalnim plinskim generatorima.

Iskorištavanjem riječnih struja, ova turbina nudi ekološki prihvatljivo energetska rješenje za lokacije gdje tradicionalni pristup mreži nije izvediv ili održiv. To je idealan izbor za one koji žele smanjiti svoj ugljični otisak i prihvatiti obnovljive izvore energije u svakodnevnom životu [24].



#### 2.4.8 „RivGen“ turbina

Spiralne turbine (tzv. “Gorlov” turbine) predstavljaju varijantu Darrieusovih turbina. U većini slučajeva montirane su s vertikalnom osovinom i imaju prednost u smanjenju prolaznog momenta, iako početni moment ostaje problematičan. Ova vrsta turbina, kao što su one razvijene u okviru RivGen Power sustava (Slika 2.31) od strane Ocean Renewable Power Company (ORPC), predstavljaju revolucionarni pristup iskorištavanju hidroenergije. Ovaj sustav posebno je dizajniran za rad u udaljenim područjima gdje je dostupnost tradicionalnih izvora energije ograničena. RivGen sustav generira obnovljivu energiju iz vodotoka, smanjujući potrebu za dizelom i time doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova [25].



**Slika 2.31** RivGen podvodna spiralna turbina [25]

Ključne karakteristike:

- **Visoka učinkovitost:** Helikalne turbine RivGen sustava dizajnirane su za efikasno pretvaranje kinetičke energije vode u električnu energiju, čak i pri promjenjivim uvjetima protoka,
- **Modularnost:** Sustav je modularan, što omogućuje jednostavan transport i brzu instalaciju, posebno u udaljenim zajednicama,
- **Ekološka usmjerenost:** Korisne su za smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i drugih zagađivača, čime doprinose očuvanju lokalnih ekosustava,

- **Stabilna Opskrba Energijom:** Osiguravaju pouzdanu opskrbu energijom tijekom cijele godine, podržavajući domaćinstva i lokalne infrastrukture.
- **Smanjenje Troškova:** Pomažu u smanjenju troškova energije, smanjujući ovisnost o fosilnim gorivima i
- **Niska Razina Buke:** Dizajn minimizira prolazni moment, čime se smanjuju vibracije i buka tijekom rada [25].

Slika 2.32 prikazuje RivGen turbinu na rijeci Igiugia u Aljasci.



*Slika 2.32 RivGen turbina na rijeci Igiugig – Aljaska [26]*

#### 2.4.9 Savonius rotori

Savonius rotori (Slika 2.33) su vrsta vertikalnih turbina koje pretvaraju energiju toka fluida, bilo vjetra ili vode, u mehaničku snagu. Njihov jednostavan dizajn, koji se sastoji od dvije polucilindrične lopatice, omogućava im da rade na temelju sile otpora. To ih čini idealnim za okruženja s niskim brzinama protoka ili visokom turbulencijom.



*Slika 2.33 EcoCinetic, Savonius rotor na vertikalnoj osi [27]*

Jedna od glavnih prednosti Savonius rotora je visok početni moment, što znači da mogu učinkovito raditi čak i pri malim brzinama, bez potrebe za vanjskim izvorom energije. Zbog toga su vrlo pogodni za hidrokineitičke aplikacije u područjima poput rijeka i kanala, gdje su brzine vode često sporije. Njihova sposobnost stvaranja momenta pri niskim brzinama omogućava im da se pokrenu bez složenih mehanizama [27].

Iako nisu toliko učinkoviti poput Darrieusa, Savonius rotor (Slika 2.34) se često koriste zbog svoje jednostavnosti i trajnosti. Njihova konstrukcija uključuje manje pokretnih dijelova, što smanjuje rizik od mehaničkih kvarova i osigurava niske troškove održavanja. Mogu podnijeti prisutnost krhotina u vodi, poput grana ili lišća, što ih čini pogodnim za upotrebu u rijekama i potocima. Također, mogu raditi u turbulentnim strujama, što omogućava širu primjenu u različitim okruženjima, bilo urbanim vjetrovitim okruženjima ili hidrokinetičkim lokacijama [27].



**Slika 2.34** Waterotor, modificirani Savonius rotor na horizontalnoj osi [27]

#### 2.4.10 „Portable Floating Pico-Hydro“ turbina

Plutajući pico-hidro sustavi (Slika 2.35) predstavljaju inovativan i prilagodljiv pristup iskorištavanju hidroelektrične energije, posebno korisni za udaljena i ruralna područja s obiljem vodenih tokova. Ovi sustavi su dizajnirani za rad u rijekama i potocima, gdje varijabilne razine vode mogu predstavljati izazove za tradicionalne metode proizvodnje energije. Razvoj ovih sustava je ključan jer zadovoljava energetske potrebe zajednica koje možda nemaju pristup pouzdanim izvorima električne energije, nudeći održivu alternativu koja se može lako instalirati i održavati [28].



Slika 2.35 Prikaz plutajućeg vodnog kola [28]

Ključne karakteristike:

- **Kompaktan Dizajn:** Sustav Portable Floating Pico-Hydro (PFPH) ima promjer turbine od 500 mm, što ga čini prenosivim i lako primjenjivim u raznim vodama,
- **Proizvodnja Energije:** Sustav generira snage u rasponu od 10W do 223W, ovisno o brzinama protoka vode između 1.5 m/s i 4 m/s, pružajući dovoljno energije za male aplikacije,

- **Stabilizirani Napon:** Sustav održava konstantan izlazni napon od 14 volti DC pomoću PI kontrolnog algoritma, osiguravajući pouzdanu isporuku energije,
- **Nisko Održavanje:** Dizajniran za minimalno održavanje, PFPH sustav je pogodan za udaljena područja gdje su resursi za održavanje ograničeni,
- **Ekološka Održivost:** Plutajući dizajn ima mali ekološki otisak, uzrokujući minimalne smetnje u vodenim ekosustavima u usporedbi s tradicionalnim hidroelektričnim sustavima,
- **Jednostavna Upotreba:** Njegova jednostavna instalacija i operativna jednostavnost čine ga pristupačnim za zajednice koje žele koristiti obnovljivu energiju bez potrebe za opsežnim tehničkim znanjem i
- **Prilagodljivost:** PFPH se može koristiti za razne primjene, uključujući napajanje malih aparata, osvjetljenje i punjenje baterija, čime se povećava njegova svestranost u proizvodnji energije [28].

#### 2.4.11 „Minestro“ leteće krilo

Leteće krilo (Slika 2.36) predstavlja revolucionarnu tehnologiju koja omogućuje iskorištavanje energije morskih struja i plimnog toka na inovativan način. Razvijeno od strane tvrtke Minesto, ovo rješenje koristi princip sličan letenju zmaja, gdje krilo autonomno leti kroz vodu. Ova tehnologija stvara hidrodinamičku uzgonsku silu koja pokreće turbine, omogućujući učinkovitu proizvodnju električne energije iz struja koje su gustoće gotovo stotinu puta veće od zraka. Kao rezultat, leteće krilo predstavlja značajan korak prema održivoj energiji iz oceana, nudeći predvidljive i obnovljive izvore električne energije [29].

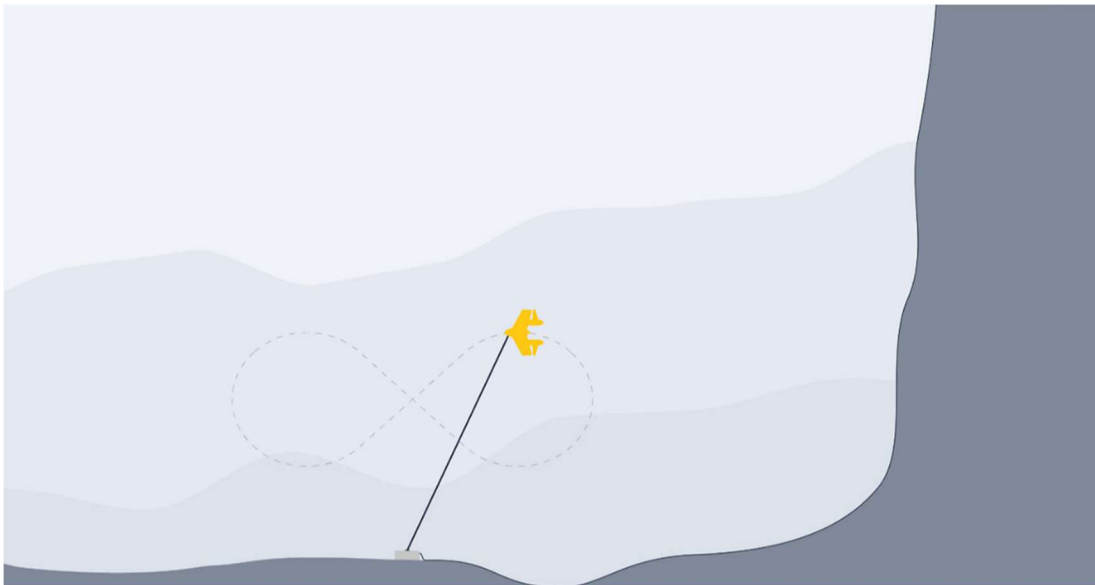


Slika 2.36 Minesto – Leteće krilo [29]

Ključne karakteristike:

- **Princip Rada:** Krilo autonomno se kreće u obliku osam, stvarajući uzgon koji pokreće turbinu kroz vodu,
- **Izvor Energije:** Sustav je sposoban generirati električnu energiju iz plimnih struja i morskih struja, što omogućava predvidljivu proizvodnju,
- **Modularnost:** Leteće krilo je dizajnirano da bude lagano i lako prenosivo, omogućujući jednostavno postavljanje i premještanje,

- **Potvrđena Tehnologija:** Minesto je ostvario prve isporuke električne energije na mrežu 2019. godine, što potvrđuje funkcionalnost sustava,
- **Ekološka Održivost:** Ova tehnologija smanjuje utjecaj na okoliš u usporedbi s konvencionalnim hidroelektričnim sustavima,
- **Visoka Učinkovitost:** Efikasnost iskorištavanja morskih struja omogućava značajnu proizvodnju energije, čime se smanjuje potreba za fosilnim gorivima i
- **Inovativni Dizajn:** Tehnologija koristi specijalizirane materijale i inženjerska rješenja koja povećavaju izdržljivost i performanse sustava [29].



**Slika 2.37** Princip rada *Letećeg krila* [29]

Princip rada (Slika 2.37):

- Tehnologija tvrtke Minesto generira električnu energiju iz plimnih struja i oceanskog toka putem jedinstvenog i patentiranog principa sličnog letenju zmaja,
- Krilo koristi hidrodinamičku uzgonsku silu koju stvara podvodna struja za pomicanje zmaja,
- Uz pomoć ugrađenog sustava kontrole, zmaj se autonomno upravlja u unaprijed određenoj putanji u obliku osam, povlačeći turbinu kroz vodu brzinom nekoliko puta većom od stvarne brzine struje i



- Osovina turbine pokreće generator koji isporučuje električnu energiju u mrežu putem naponskog kabela u užetu i umbilikalne cijevi koja ide do obale.

Leteće krilo se pokazuje kao održivo rješenje za buduće energetske potrebe, nudeći visoku učinkovitost i minimalan utjecaj na okoliš [29].

### 3 Općenito o rijeci Dobri

Rijeka Dobra Hrvatska je rijeka ponornica duljine gotovo 108 kilometara. Načinjena je od dva izvora koji se nalaze kod Bukova vrha te kod Skrada u Primorsko goranskoj županiji (Slika 3.1).

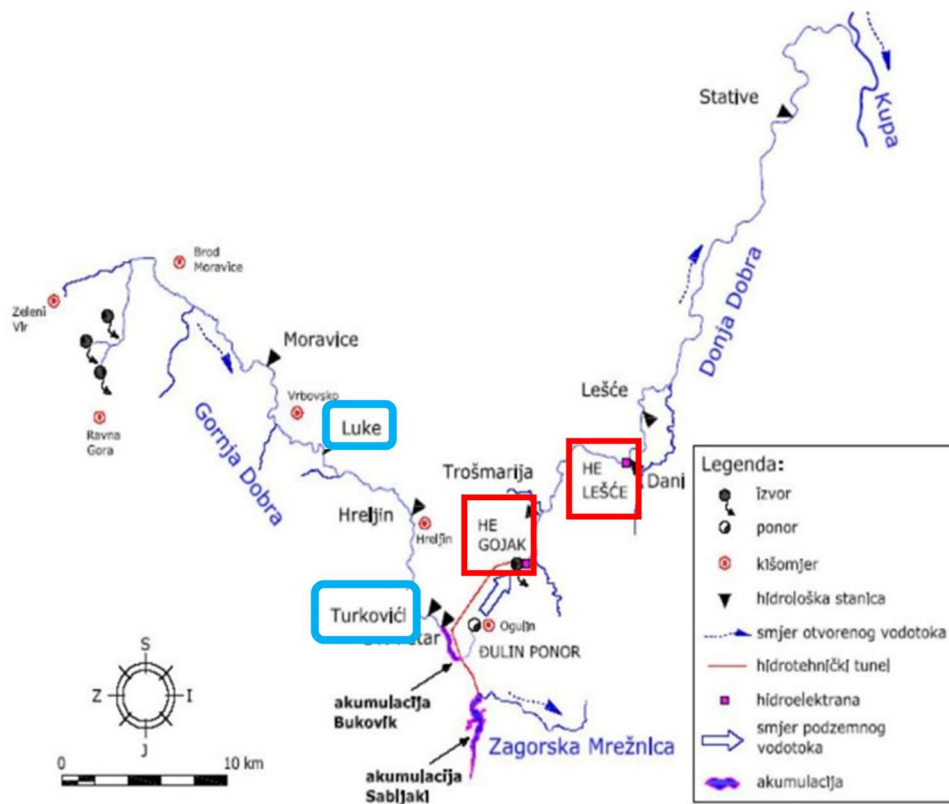


*Slika 3.1 Izvor Rijeke Dobre kod Skrada [30]*

Svojom tokom i površinom od 900 km<sup>2</sup>, Rijeka Dobra može se podijeliti u tri dionice: Gornju Dobru, Gojačku Dobru i Donju Dobru.

Od izvora do Đulinog ponora u Ogulinu ima naziv Gornja Dobra te dužinu od 51.20 kilometra. Nakon poniranja prolazi podzemljem kroz špiljski sustav Đula – Medvednica (najveći špiljski sustav u Hrvatskoj, dugačak preko 16 km), te ponovno izvire kraj sela Gojak po kojem se nekad naziva i “Gojačka Dobra”, ali uglavnom “Donja Dobra”. Nakon 52.10 kilometra toka utiče u Kupu uzvodno od Karlovca [31].

Na Donjoj Dobri izgrađene su dvije hidroelektrane. Neposredno nakon izdizanja rijeke Dobre iz podzemlja nalazi se prva hidroelektrana „Gojak“, a malo nizvodnije nešto novija hidroelektrana „Lešće“. Mikrolokacija obje hidroelektrane prikazana je na slici 3.2.

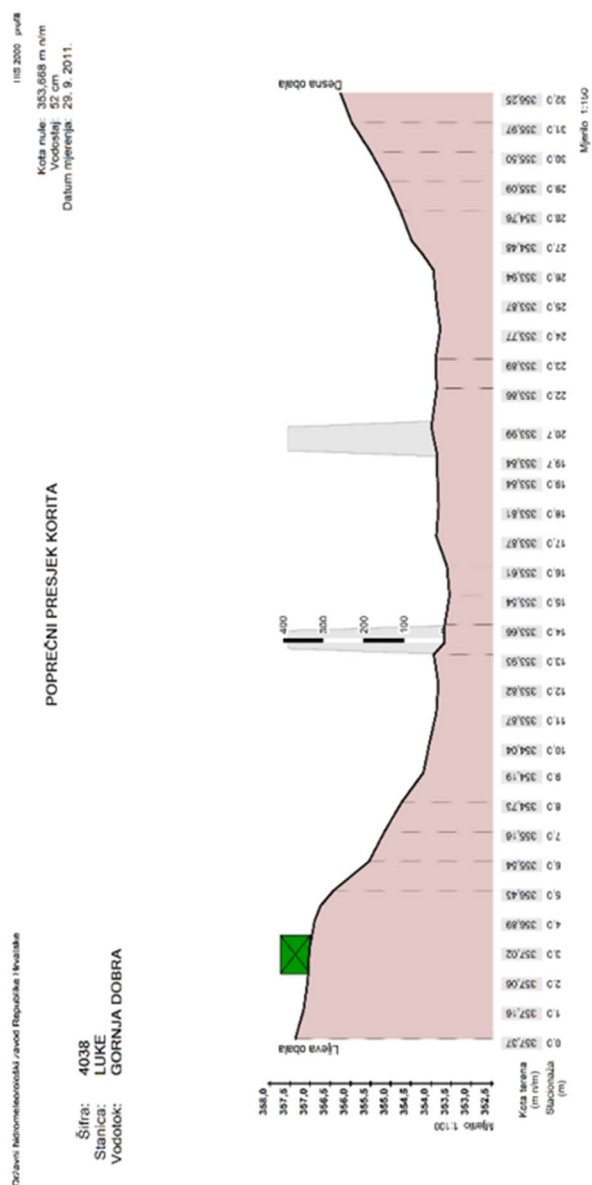


*Slika 3.2 Tok rijeke Dobre sa označenim hidroelektranama "Gojak" i "Lešće" [2]*

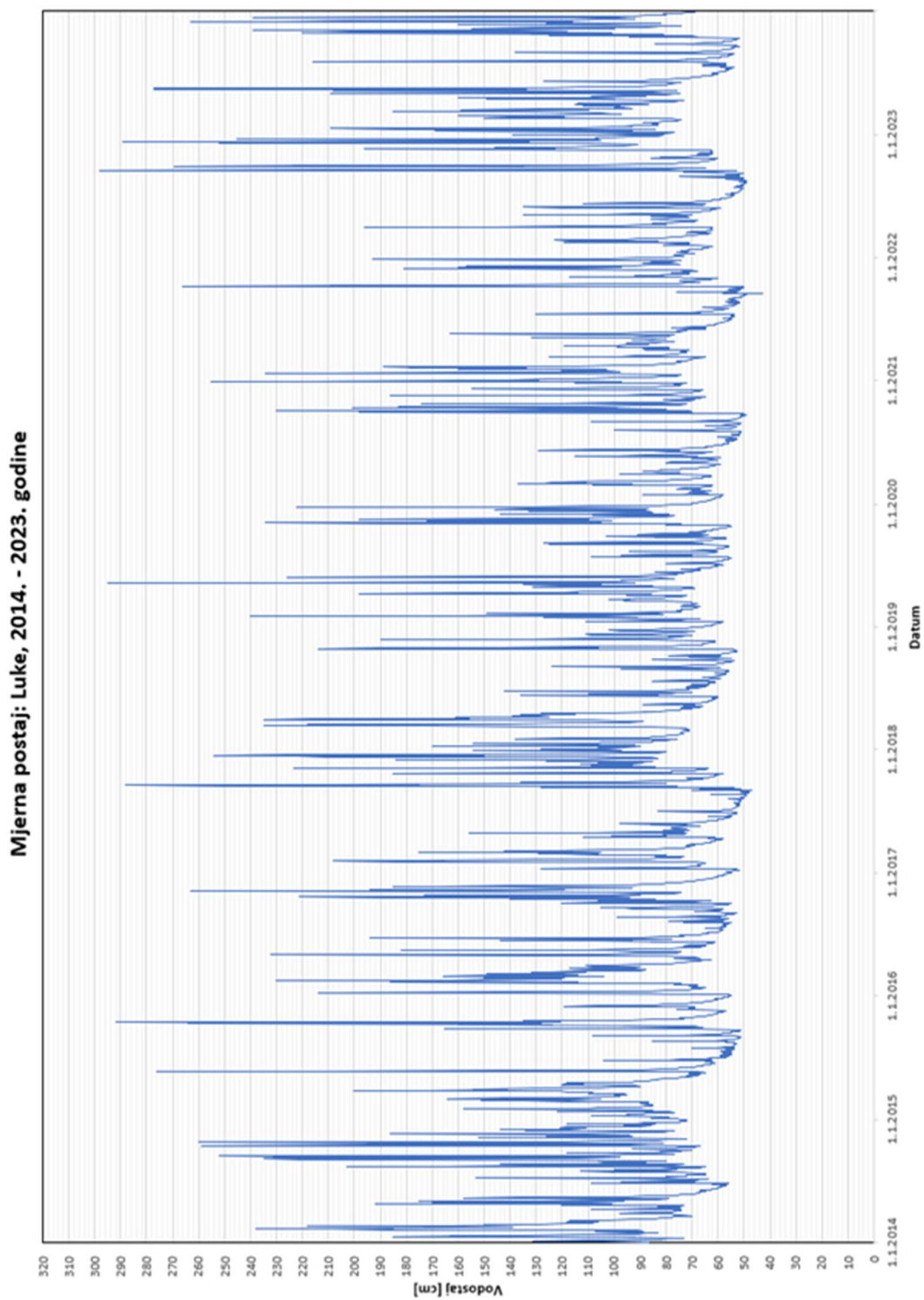
Na istoj slici također se nalaze označene limnografske postaje Luke i Turkovići. Sa spomenutih hidroloških postaja preuzeti su hidrološki podaci koji se nalaze u nastavku.

### 3.1 Limnografska postaja Luke – hidrološki podaci

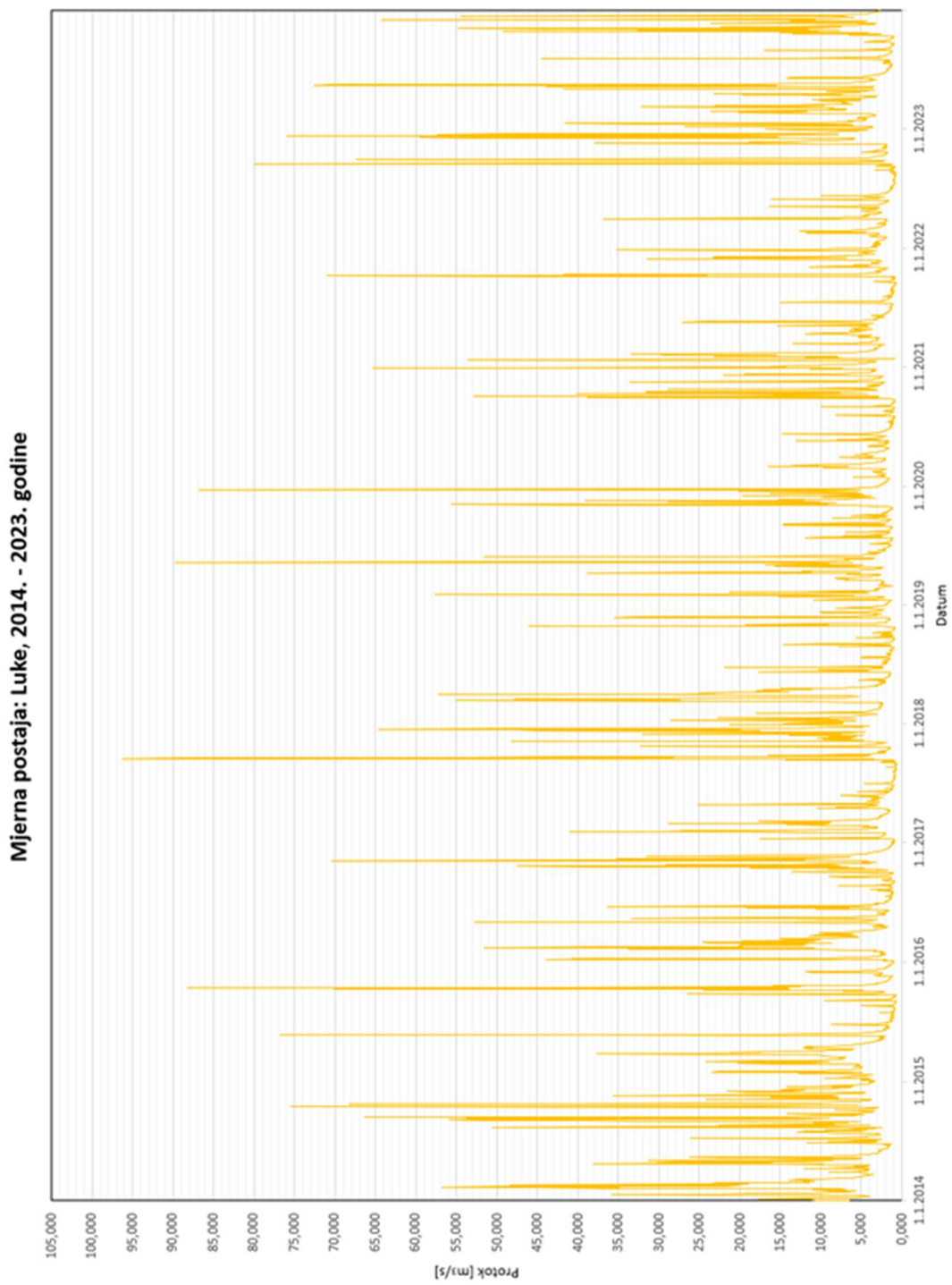
Slike u nastavku grafički su prikaz hidroloških podataka rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Luke preuzetih sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, od kojih: Slika 3.3. prikazuje poprečni profil korita na tom djelu vodotoka, Slika 3.4. prikazuje nivogram tog djela vodotoka, Slika 3.5. prikazuje hidrogram tog djela vodotoka te Slika 3.6. prikazuje rekonstruirani prikaz dubina rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Luke.



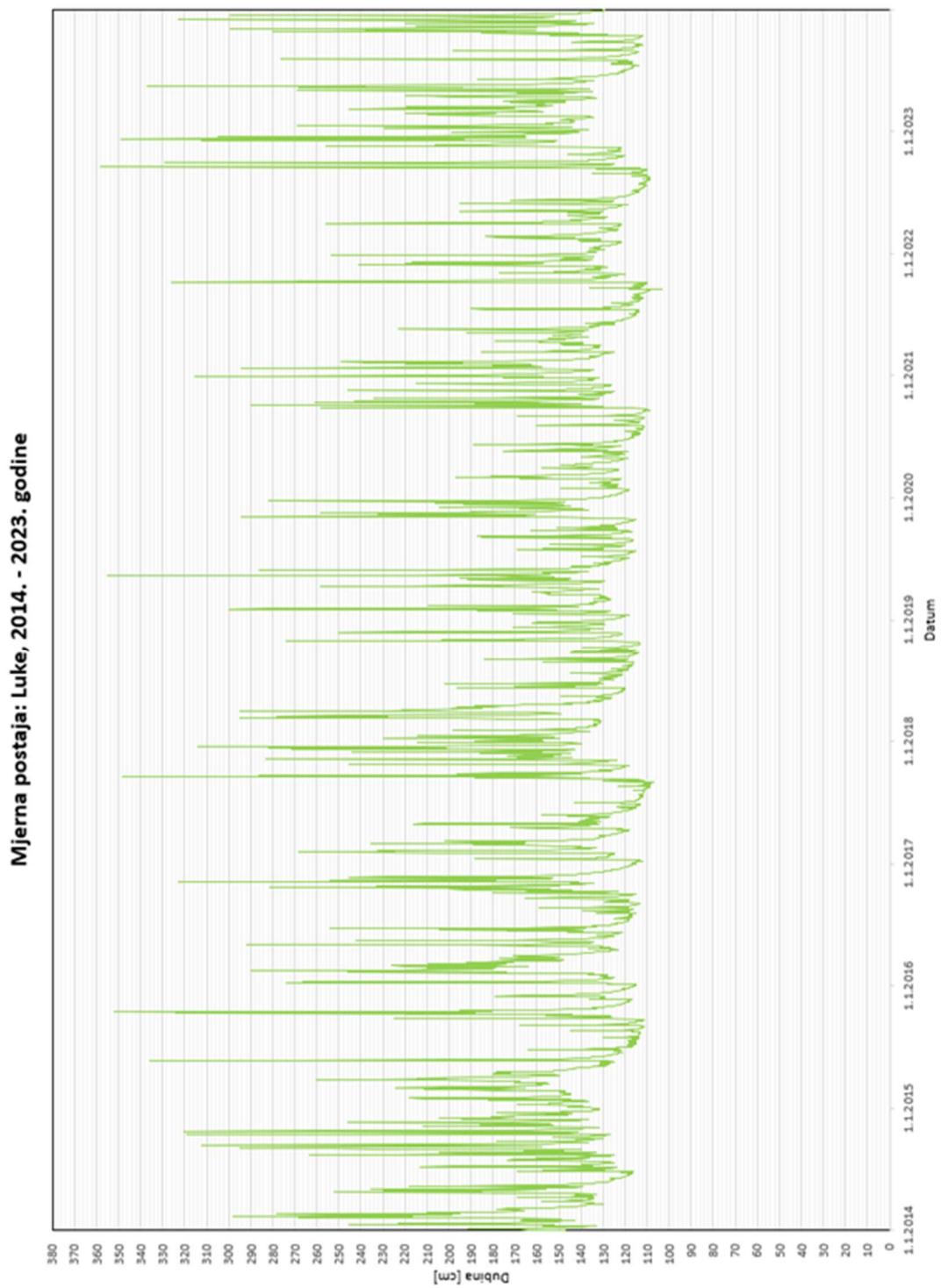
Slika 3.3 Poprečni profil korita hidrološke postaje Luke [2]



**Slika 3.4** Nivogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Luke [32]



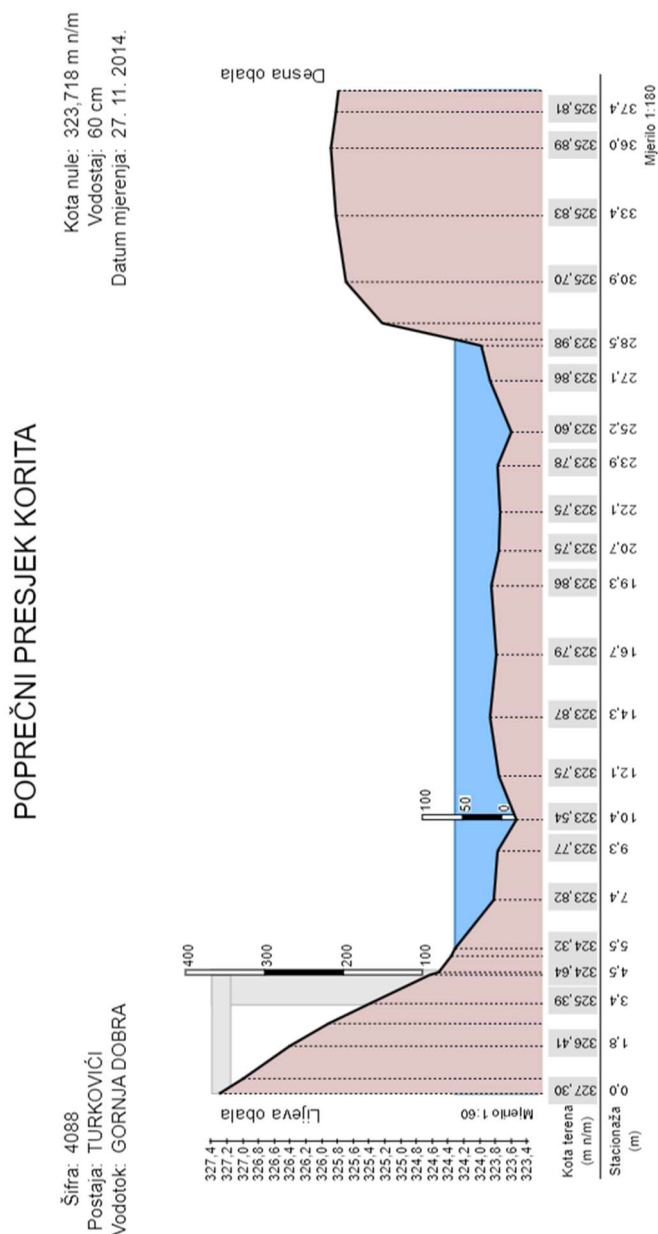
**Slika 3.5** Hidrogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Luke [32]



**Slika 3.6** Rekonstruirani prikaz dubina za hidrološku postaju Luke [32]

### 3.2 Limnografska postaja Turkovići – hidrološki podaci

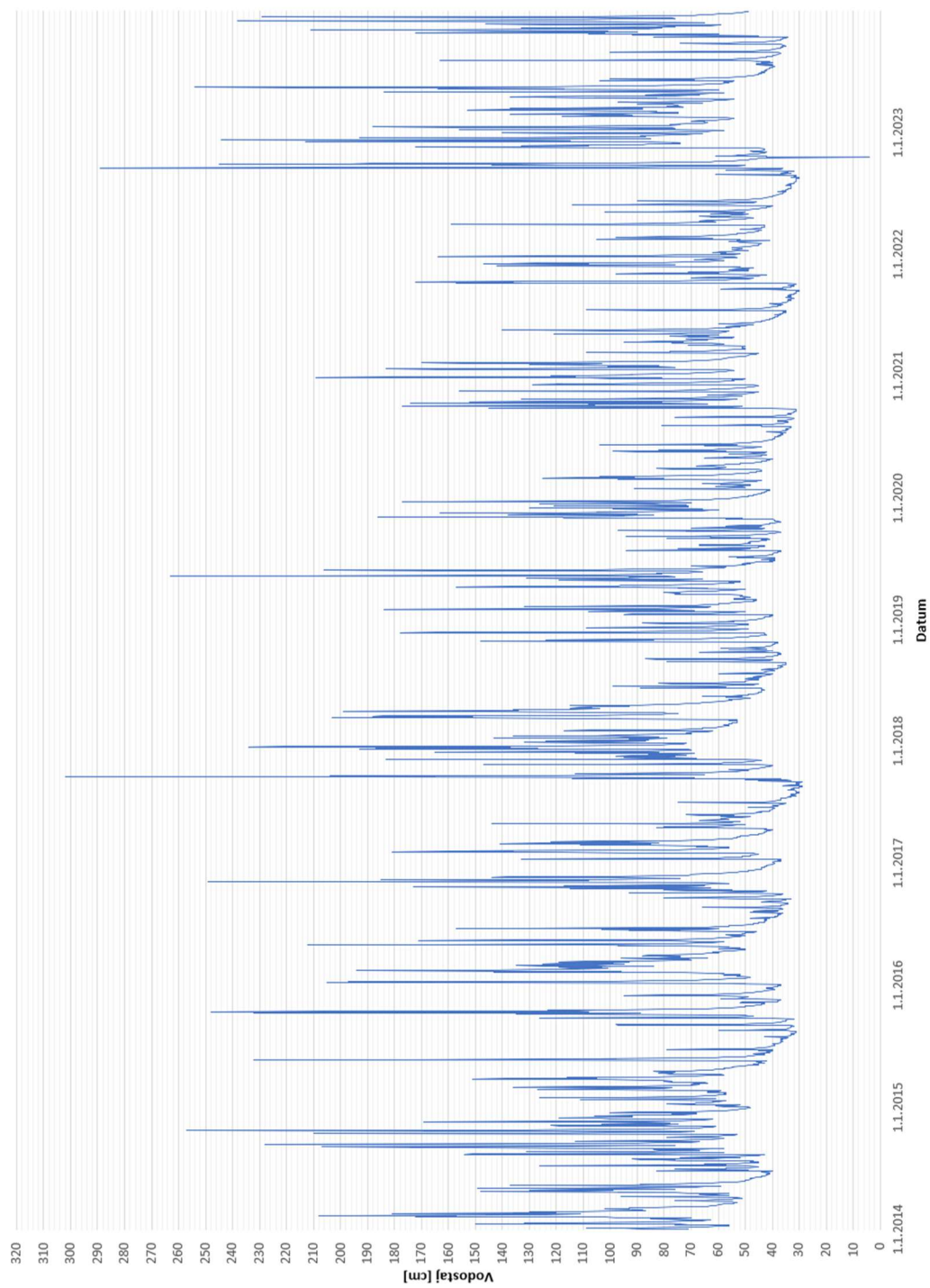
Slike u nastavku grafički su prikaz hidroloških podataka rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Turkovići, preuzetih sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, od kojih: Slika 3.7. prikazuje poprečni profil korita na tom djelu vodotoka, Slika 3.8. prikazuje nivogram tog djela vodotoka, Slika 3.9. prikazuje hidrogram tog djela vodotoka te Slika 3.10. prikazuje rekonstruirani prikaz dubina rijeke Gornje Dobre kod mjerne postaje Turkovići.



Slika 3.7 Poprečni profil korita hidrološke postaje Turkovići [32]

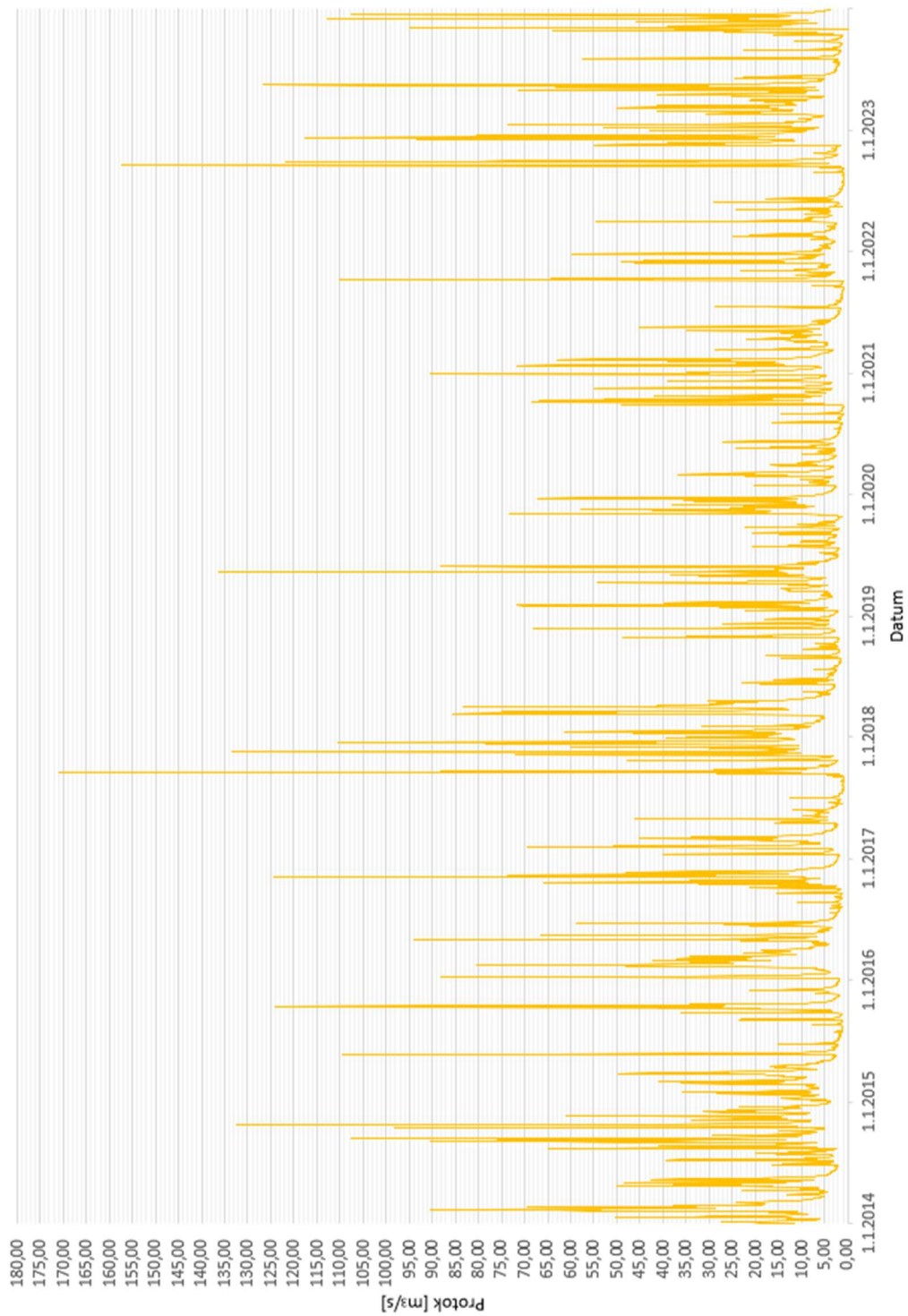


Mjerna postaja : Turkovići, 2014. - 2023. godine



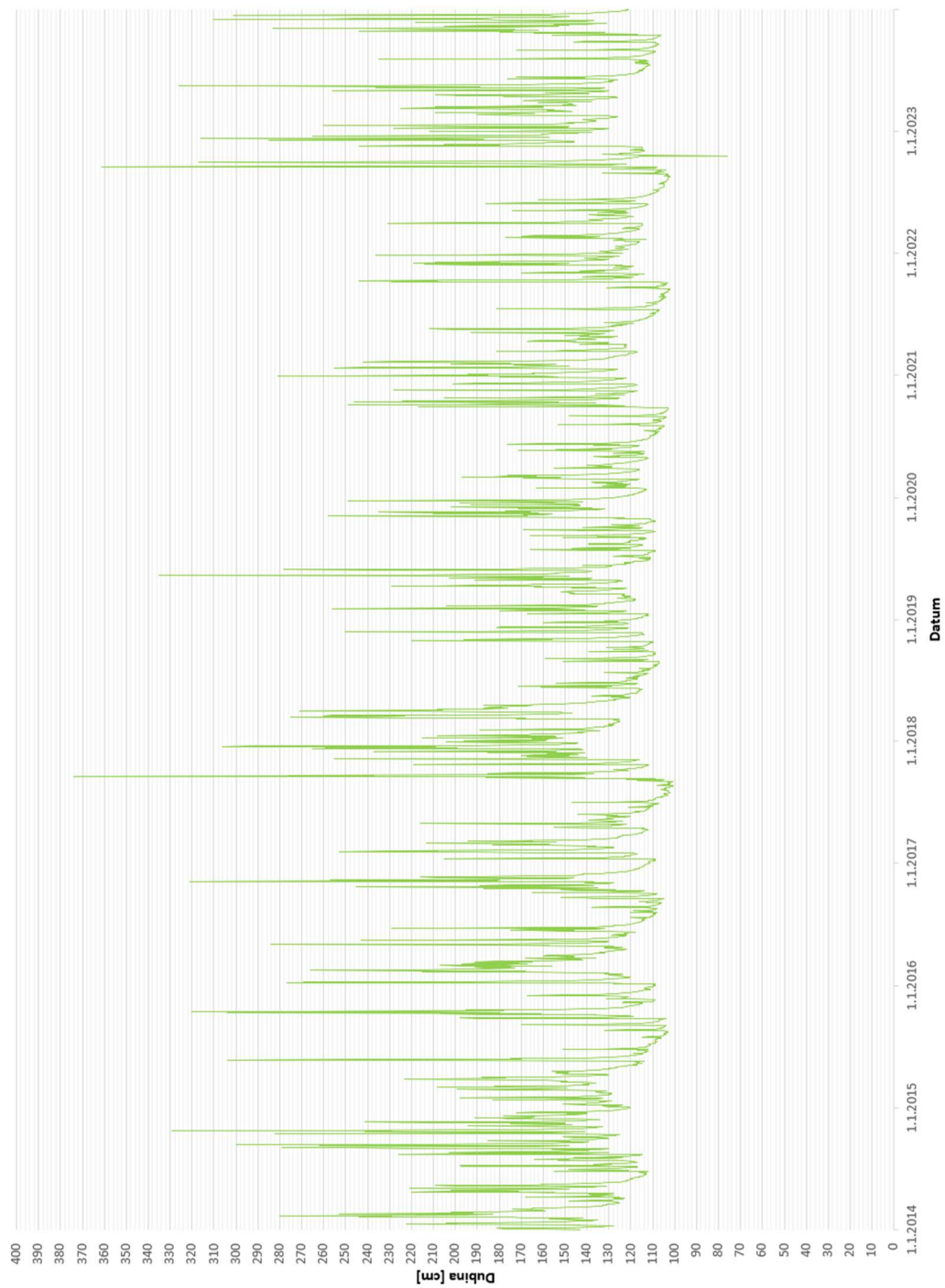
Slika 3.8 Nivogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Turkovići [32]

Mjerna postaja: Turkovići, 2014. - 2023. godine



Slika 3.9 Hidrogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Turkovići [32]

Mjerna postaja: Turkovići, 2014. - 2023. godine

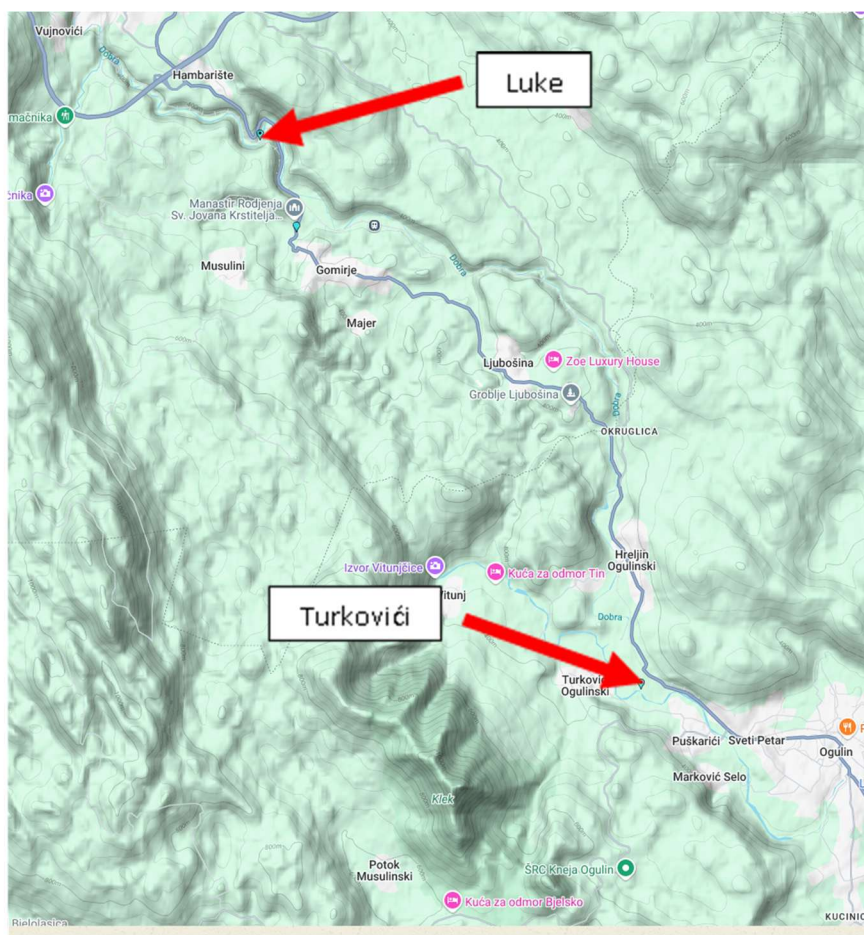


**Slika 3.10** Rekonstruirani prikaz dubina za hidrološku postaju Turkovići [32]

## 4 Analiza lokacija

Sa svojih 51.2 km duljine od izvora do Đulinog ponora u samom Ogulinu nalazi se dio rijeke Dobre nazvan Gornja Dobra. Ovaj dio rijeke Dobre je prvenstveno bujičnih karakteristika, sa naglim i velikim promjenama protoka te prosječnim padom od 1.4 %. Uvelike se razlikuje od donjeg toka koji je mirniji, jednoličan te se na njemu nalaze prethodno spomenute hidroelektrane „Gojak“ i „Lešće“.

Na dijelu gornjeg toka rijeke Dobre postoje dvije stalne lokacije mjernih hidroloških postaja: mjerna postaja „Turkovići“ i mjerna postaja „Luke“ (Slika 4.1). Na spomenutim postajama neprekidno se prikupljaju podaci o protoku i vodostaju, a koji su dostupni na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda.



Slika 4.1 Gornji tok rijeke Dobre sa označenim mjernim postajama „Turkovići“ i „Luke“ [33]

Slika 4.2 prikazuje hidrološku postaju Luke, a slika 4.3. prikazuje hidrološku postaju Turkovići.



**Slika 4.2** Hidrološka postaja Luke [34]



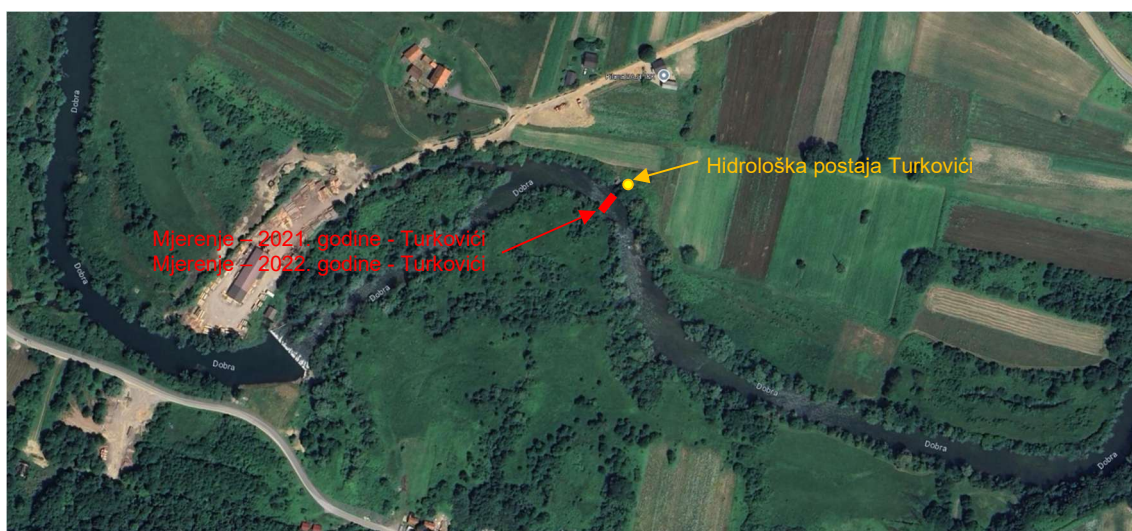
**Slika 4.3** Hidrološka postaja Turkovići [34]

#### 4.1 Provođenje hidrometrijskih mjerenja na rijeci Gornjoj Dobri

U svrhu dobivanja hidroloških podataka kao što su brzina i protok, provedena je nekolicina hidrometrijskih mjerenja na rijeci Gornjoj Dobri. Spomenuta mjerenja provedena su kod hidroloških postaja Luke i Turkovići, a mikrolokacije svih provedenih mjerenja, u obliku karte, prikazane su na slici 4.4 za hidrološku postaju Luke te na slici 4.5 za hidrološku postaju Turkovići.

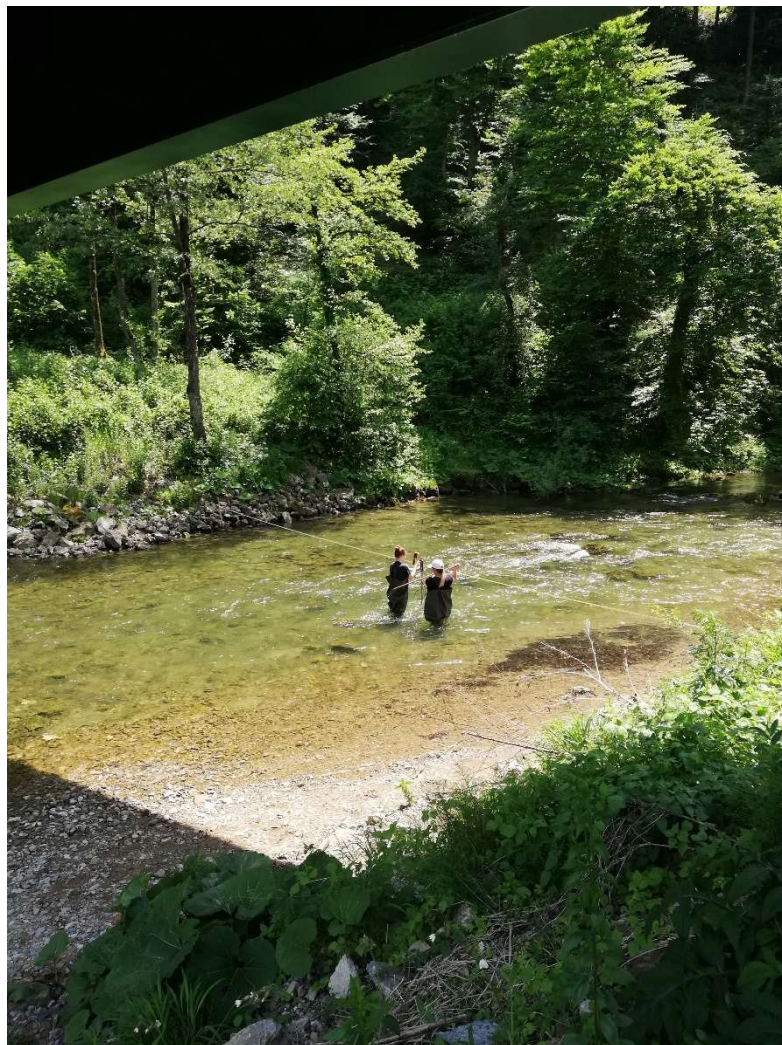


Slika 4.4 Karta mikrolokacija mjerenja kod hidrološke postaje Luke [33]



Slika 4.5 Karta mikrolokacija mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići [33]

Sva mjerenja provedena su pomoću ultrazvučnog uređaja FlowTracker2 pri čemu je kao pomoć pri mjerenju korištena mjerna traka, a u svrhu određivanja pravilnog razmaka po dužini profila kanala odnosno u svrhu stvaranja rastera koji u ovom slučaju iznosi 0.50 m. Slika 4.6. prikazuje sam postupak mjerenja pomoću spomenutog uređaja i mjerne trake.



**Slika 4.6** *Primjer provođenje mjerenja kod hidrološke postaje Luke [34]*

#### 4.1.1 Ultrazvučni mjerač protoka FlowTracker2 – opis uređaja

FlowTracker2 je svestran i visoko sofisticiran uređaj za mjerenje brzine vode i drugih hidrologijskih parametara. Ovaj napredni akustični Dopplerov uređaj idealan je alat za provođenje mjerenja protoka u potocima, rijekama i drugim plitkim vodenim tijelima. Sam uređaj predstavlja značajnu nadogradnju u odnosu na prethodni model s poboljšanjima u preciznosti mjerenja, jednostavnosti korištenja te otpornosti na teške uvjete rada [35].

Na slici 4.7. prikazan je Uređaj FlowTracker2 sa naznačenim glavnim dijelovima.



Slika 4.7 FlowTracker2 – glavne komponente [35]

Glavni dijelovi uređaja FlowTracker2:

- **Tipkovnica** – Tipkovnica FlowTracker2 dizajnirana je za brzo i učinkovito upravljanje softverom, konfiguraciju i unos podataka,
- **Ručna jedinica** – Ručna jedinica sadrži procesorsku elektroniku, baterije, tipkovnicu i LCD zaslon.



- **Odjeljak za baterije** – Odjeljak za baterije sastoji se od vodonepropusnog poklopca za bateriju i uloška za AA baterije za brzi pristup i zamjenu baterija,
- **LCD zaslon** – LCD zaslon prikazuje softver ručne jedinice FlowTracker2 i grafički prikaz sirovih podataka u stvarnom vremenu.
- **Kabel senzora** – Senzor je tvornički montiran na fleksibilni kabel duljine 1500 mm (59 inča). Ručna jedinica se povezuje s kabelom senzora putem čvrstog fleksibilnog konektora otpornog na vodu.
- **Konektor za komunikaciju** – Vodootporni (IP67) micro USB konektor na dnu ručne jedinice povezuje se s vanjskim komunikacijskim kabelom [35].

FlowTracker2 koristi ADV tehnologiju (akustična Dopplerova velocimetrija) tvrtke SonTek, koju su stručnjaci širom svijeta ispitali u hidrauličkim laboratorijima i različitim terenskim uvjetima. Akustički senzor samog uređaja nudi izvanrednu točnost, posebno u uvjetima niskog protoka. Dvodimenzionalni podaci u horizontalnoj ravnini (dostupna je opcija 2D/3D) omogućuju sveobuhvatnu kontrolu kvalitete (QC) i bolji uvid u uvjete protoka [35].

Ključne karakteristike:

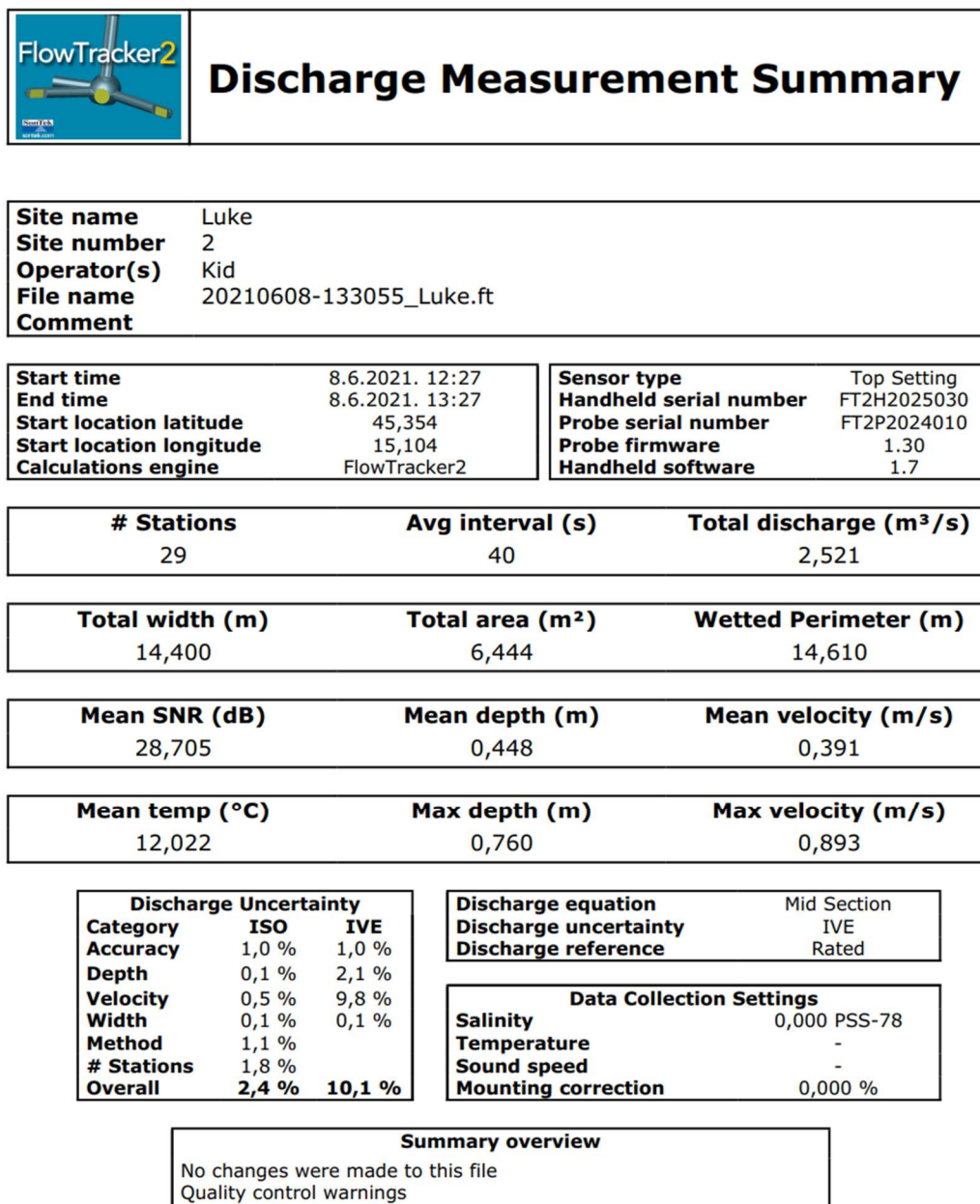
- **Visoka preciznost u mjerenju brzine vode:** FlowTracker2 koristi akustičnu Dopplerovu tehnologiju za precizno mjerenje brzine vode u tri dimenzije (X, Y i Z) što ga čini pogodnim za širok raspon okruženja, uključujući plitke potoke, rijeke i umjetne kanale,
- **Prikaz podataka u stvarnom vremenu i pohrana:** FlowTracker2 omogućuje pregled podataka u stvarnom vremenu na LCD zaslonu u boji, pružajući korisnicima trenutačnu povratnu informaciju,
- **Zapisivanje podataka i georeferenciranje:** Uređaj ima ugrađenu GPS funkciju koja omogućuje automatsko georeferenciranje mjerenja, što je ključno za velika hidrologijska istraživanja koja zahtijevaju precizne podatke o lokaciji za točnu analizu i izvještavanje,
- **Robustan dizajn spreman za teren:** Uređaj ima ocjenu vodootpornosti IP67, što znači da se može potopiti u vodu do 1 metra na ograničeno vrijeme bez oštećenja. Ova izdržljivost čini ga pogodnim za korištenje u različitim okruženjima,

- **Fleksibilne mogućnosti primjene:** FlowTracker2 dolazi s kabelom sonde duljine 1500 mm, no dostupni su nastavci koji omogućuju povećanje duljine kabela do 10 metara što omogućuje korisnicima mjerenje brzine vode u dubljim ili teže dostupnim područjima i
- **Izvoz podataka i analiza:** Prikupljeni podaci mogu se izvesti izravno iz uređaja u formatima kompatibilnim s uobičajenim softverima za analizu hidroloških podataka što pospješuje glatku integraciju FlowTracker2 u postojeće radne procese, smanjujući vrijeme obrade podataka nakon terenskog rada [35].

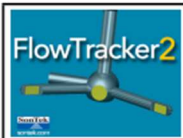
#### 4.1.2 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke

Slike koje slijede u nastavku (Slika 4.8, Slika 4.9, Slika 4.10, Slika 4.11, Slika 4.12, Slika 4.13, Slika 4.14, Slika 4.15, Slika 4.16, Slika 4.17, Slika 4.18 i Slika 4.19) prikazuju rezultate hidroloških mjerenja kod limnigrafske postaje Luke. Odrađeno je po jedno mjerenje za dva različita profila u 2021. godini te po jedno mjerenje za dva različita profila u 2022. godini. Mjerenja, kako je već prije spomenuto, su odrađena pomoću uređaja FlowTracker2 te su kao ključne vrijednosti samog mjerenja dobivene brzine pojedinih stacionaža poprečnog presjeka kao i srednja brzina promatranog dijela vodotoka.

## Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke – 2021. godina (1/2)



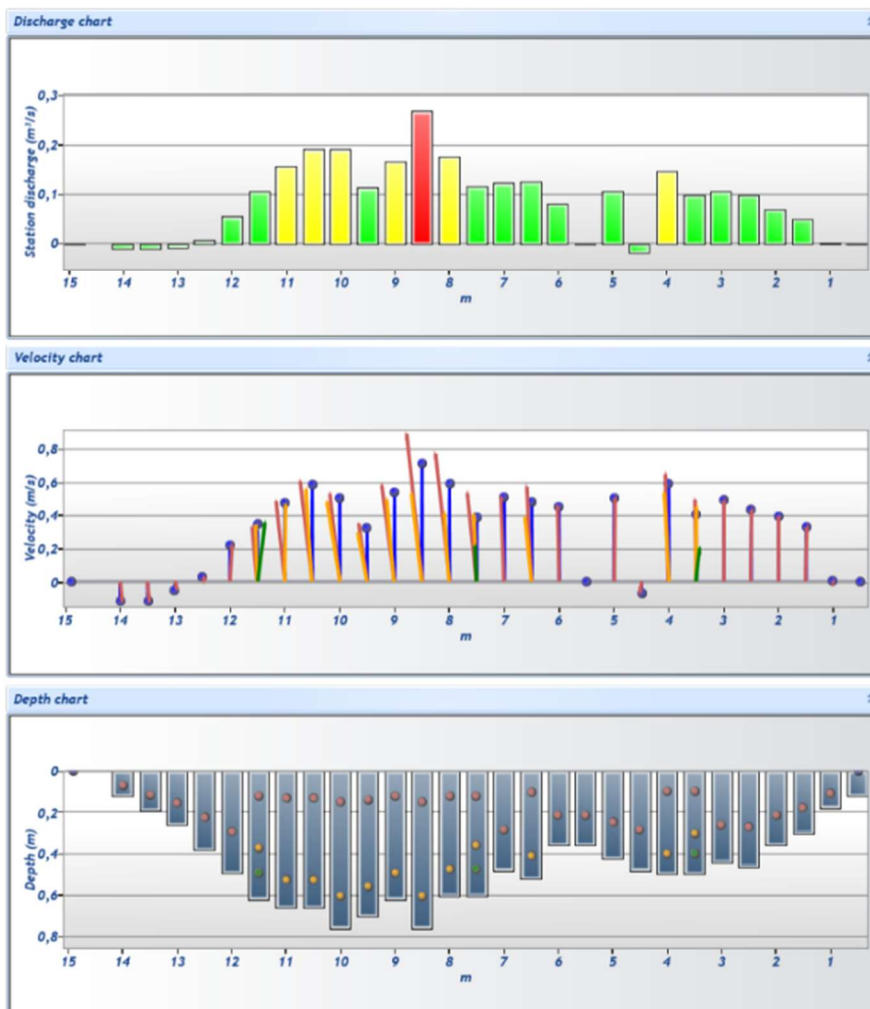
Slika 4.8 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 1/3 [34]



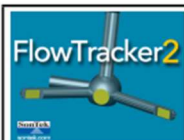
## Discharge Measurement Summary

**Site name** Luke  
**Site number** 2  
**Operator(s)** Kid  
**File name** 20210608-133055\_Luke.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 4.9 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 2/3 [34]



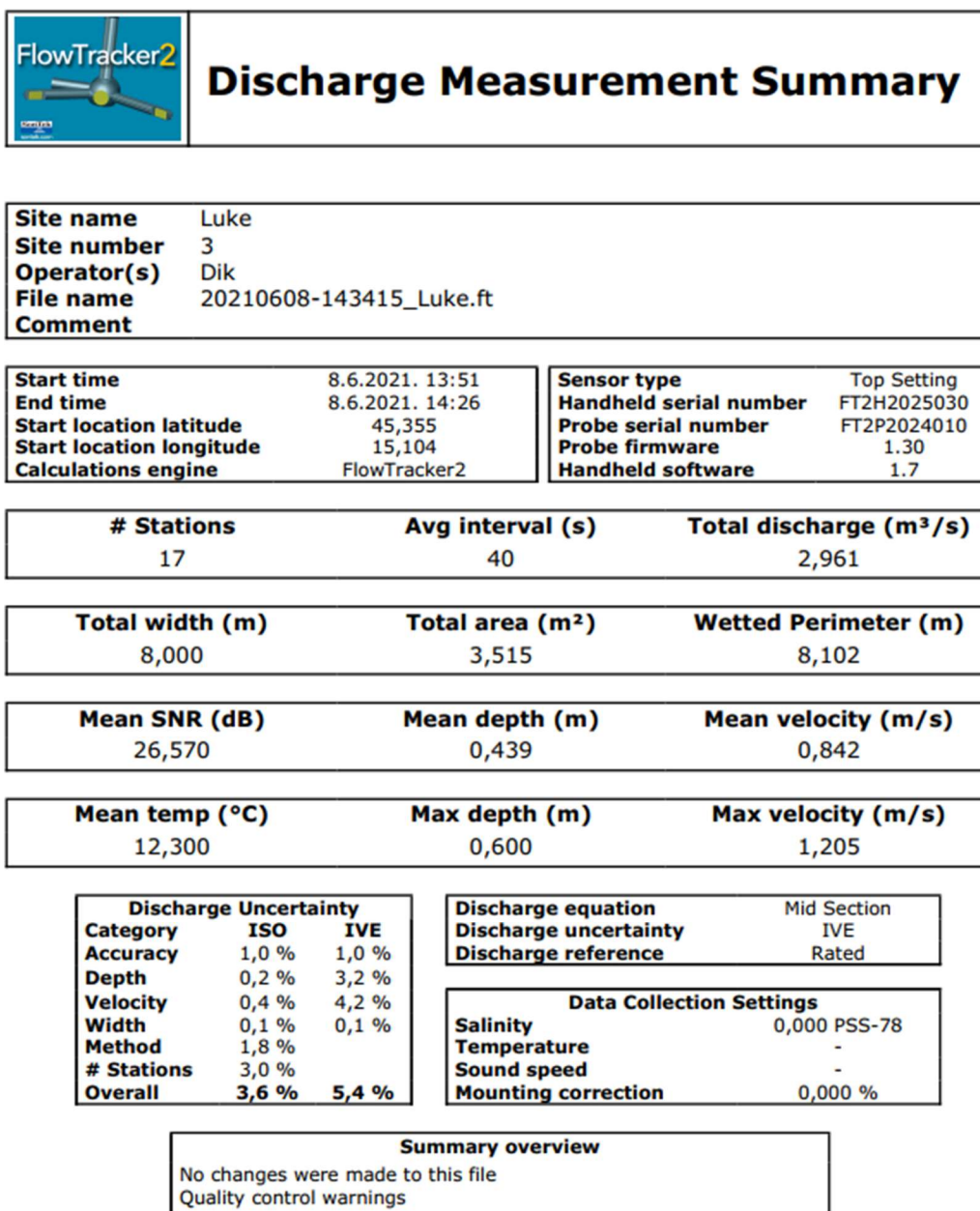
# Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Luke
<b>Site number</b>	2
<b>Operator(s)</b>	Kid
<b>File name</b>	20210608-133055_Luke.ft
<b>Comment</b>	

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	12:27	0,500	None	0,120	0,000	0,000	0	0,000	1,000	0,005	0,030	0,000	0,006	✓
1	12:27	1,000	0,6	0,180	0,600	0,108	80	0,005	1,000	0,005	0,090	0,000	0,019	✓
2	12:29	1,500	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,332	1,000	0,332	0,150	0,050	1,976	✓
3	12:30	2,000	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,395	1,000	0,395	0,180	0,071	2,819	✓
4	12:32	2,500	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,434	1,000	0,434	0,230	0,100	3,958	✓
5	12:33	3,000	0,6	0,440	0,600	0,264	80	0,489	1,000	0,489	0,220	0,108	4,269	✓
6	12:35	3,500	0,2/0,6/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,495	1,000	0,400	0,250	0,100	3,968	✓
6	12:35	3,500	0,2/0,6/0,8	0,500	0,600	0,300	80	0,451	1,000	0,400	0,250	0,100	3,968	✓
6	12:35	3,500	0,2/0,6/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,204	1,000	0,400	0,250	0,100	3,968	✓
7	12:38	4,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,650	1,000	0,593	0,250	0,148	5,878	✓
7	12:38	4,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,536	1,000	0,593	0,250	0,148	5,878	✓
8	12:41	4,500	0,6	0,480	0,600	0,288	80	-0,072	1,000	-0,072	0,240	-0,017	-0,683	✓
9	12:42	5,000	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,503	1,000	0,503	0,210	0,106	4,190	✓
10	12:44	5,500	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,000	1,000	0,000	0,180	0,000	-0,003	✓
11	12:45	6,000	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,457	1,000	0,457	0,180	0,082	3,261	✓
12	12:47	6,500	0,2/0,8	0,520	0,200	0,104	80	0,574	1,000	0,481	0,260	0,125	4,964	✓
12	12:47	6,500	0,2/0,8	0,520	0,800	0,416	80	0,389	1,000	0,481	0,260	0,125	4,964	✓
13	12:49	7,000	0,6	0,480	0,600	0,288	80	0,513	1,000	0,513	0,240	0,123	4,887	✓
14	12:50	7,500	0,2/0,6/0,8	0,600	0,200	0,120	80	0,536	1,000	0,390	0,300	0,117	4,646	✓
14	12:50	7,500	0,2/0,6/0,8	0,600	0,600	0,360	80	0,405	1,000	0,390	0,300	0,117	4,646	✓
14	12:50	7,500	0,2/0,6/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,215	1,000	0,390	0,300	0,117	4,646	✓
15	12:54	8,000	0,2/0,8	0,600	0,200	0,120	80	0,773	1,000	0,594	0,300	0,178	7,069	✓
15	12:54	8,000	0,2/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,415	1,000	0,594	0,300	0,178	7,069	✓
16	12:58	8,500	0,2/0,8	0,760	0,200	0,152	80	0,893	1,000	0,712	0,380	0,270	10,730	✓
16	12:58	8,500	0,2/0,8	0,760	0,800	0,608	80	0,530	1,000	0,712	0,380	0,270	10,730	✓
17	13:01	9,000	0,2/0,8	0,620	0,200	0,124	80	0,583	1,000	0,540	0,310	0,167	6,639	✓
17	13:01	9,000	0,2/0,8	0,620	0,800	0,496	80	0,497	1,000	0,540	0,310	0,167	6,639	✓
18	13:05	9,500	0,2/0,8	0,700	0,200	0,140	80	0,349	1,000	0,322	0,350	0,113	4,467	✓
18	13:05	9,500	0,2/0,8	0,700	0,800	0,560	80	0,295	1,000	0,322	0,350	0,113	4,467	✓
19	13:08	10,000	0,2/0,8	0,760	0,200	0,152	80	0,530	1,000	0,506	0,380	0,192	7,625	✓
19	13:08	10,000	0,2/0,8	0,760	0,800	0,608	80	0,482	1,000	0,506	0,380	0,192	7,625	✓
20	13:11	10,500	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	0,608	1,000	0,583	0,330	0,192	7,634	✓
20	13:11	10,500	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,559	1,000	0,583	0,330	0,192	7,634	✓
21	13:14	11,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	0,486	1,000	0,476	0,330	0,157	6,227	✓
21	13:14	11,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,465	1,000	0,476	0,330	0,157	6,227	✓
22	13:17	11,500	0,2/0,6/0,8	0,620	0,200	0,124	80	0,331	1,000	0,344	0,310	0,107	4,230	✓
22	13:17	11,500	0,2/0,6/0,8	0,620	0,600	0,372	80	0,345	1,000	0,344	0,310	0,107	4,230	✓
22	13:17	11,500	0,2/0,6/0,8	0,620	0,800	0,496	80	0,356	1,000	0,344	0,310	0,107	4,230	✓
23	13:21	12,000	0,6	0,490	0,600	0,294	80	0,221	1,000	0,221	0,245	0,054	2,147	✓
24	13:22	12,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,028	1,000	0,028	0,190	0,005	0,213	✓
25	13:23	13,000	0,6	0,260	0,600	0,156	80	-0,054	1,000	-0,054	0,130	-0,007	-0,278	✓
26	13:25	13,500	0,6	0,190	0,600	0,114	80	-0,121	1,000	-0,121	0,095	-0,011	-0,456	✓
27	13:26	14,000	0,6	0,120	0,600	0,072	80	-0,121	1,000	-0,121	0,084	-0,010	-0,404	✓
28	13:27	14,900	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		-0,121	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 4.10 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 3/3 [34]

Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke – 2021. godina (2/2)



Slika 4.11 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 1/3 [34]



# Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Luke
<b>Site number</b>	3
<b>Operator(s)</b>	Dik
<b>File name</b>	20210608-143415_Luke.ft
<b>Comment</b>	

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



Slika 4.12 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 2/3 [34]





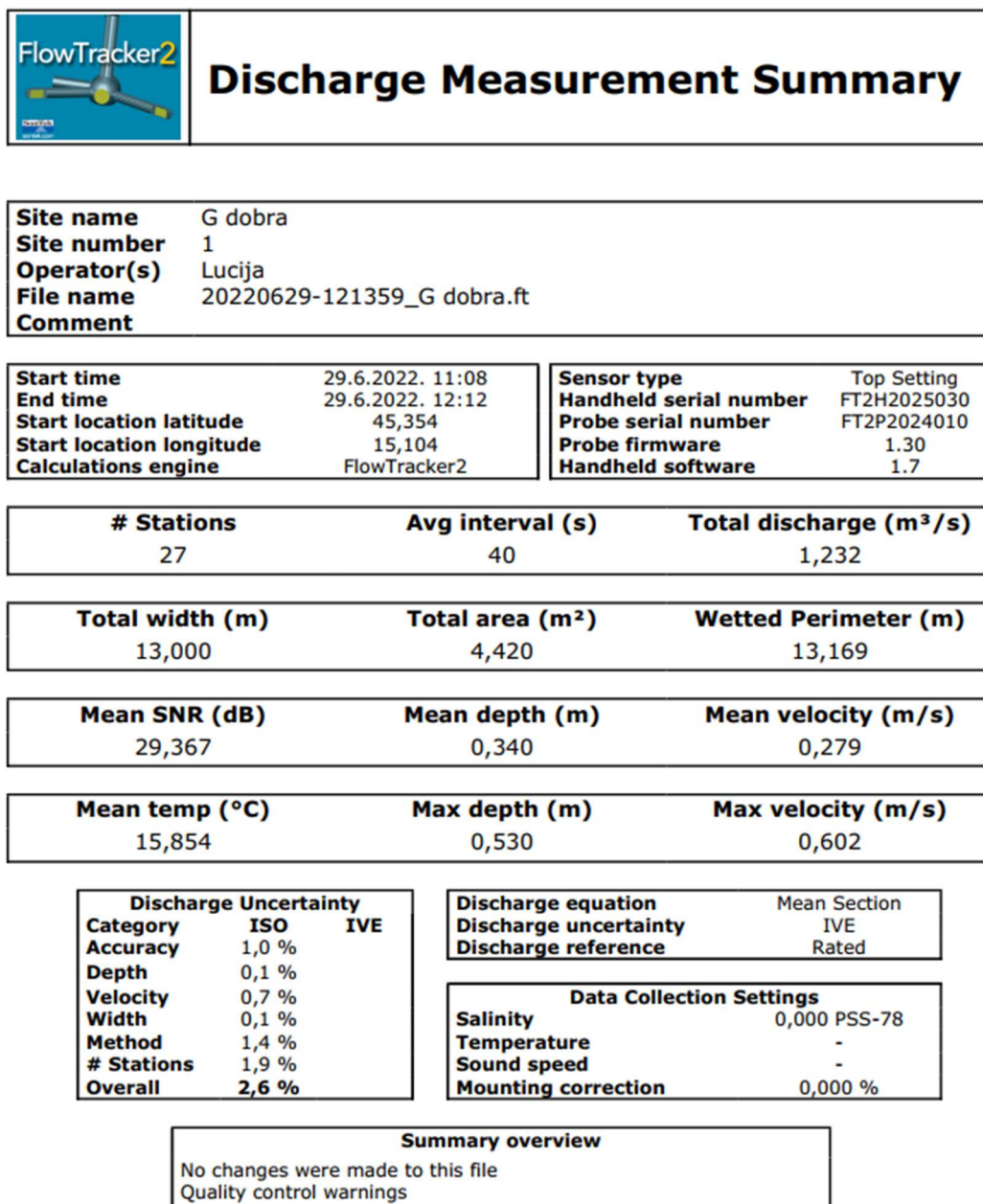
## Discharge Measurement Summary

**Site name** Luke  
**Site number** 3  
**Operator(s)** Dik  
**File name** 20210608-143415\_Luke.ft  
**Comment**

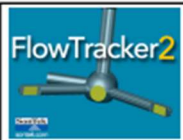
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q
0	13:51	0,500	None	0,500	0,000	0,000	0	0,000	1,000	0,448	0,125	0,056	1,891
1	13:52	1,000	0,2/0,6/0,8	0,600	0,200	0,120	80	0,660	1,000	0,448	0,300	0,134	4,539
1	13:52	1,000	0,2/0,6/0,8	0,600	0,600	0,360	80	0,489	1,000	0,448	0,300	0,134	4,539
1	13:52	1,000	0,2/0,6/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,154	1,000	0,448	0,300	0,134	4,539
2	13:56	1,500	0,2/0,8	0,520	0,200	0,104	80	0,862	1,000	0,715	0,260	0,186	6,280
2	13:56	1,500	0,2/0,8	0,520	0,800	0,416	80	0,569	1,000	0,715	0,260	0,186	6,280
3	13:59	2,000	0,6	0,480	0,600	0,288	80	0,950	1,000	0,950	0,240	0,228	7,702
4	14:01	2,500	0,6	0,490	0,600	0,294	80	1,027	1,000	1,027	0,245	0,252	8,500
5	14:04	3,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,956	1,000	0,942	0,250	0,236	7,954
5	14:04	3,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,928	1,000	0,942	0,250	0,236	7,954
6	14:07	3,500	0,6	0,450	0,600	0,270	80	1,157	1,000	1,157	0,225	0,260	8,792
7	14:08	4,000	0,6	0,480	0,600	0,288	80	1,161	1,000	1,161	0,240	0,279	9,412
8	14:10	4,500	0,6	0,470	0,600	0,282	80	0,842	1,000	0,842	0,235	0,198	6,678
9	14:13	5,000	0,2/0,8	0,580	0,200	0,116	80	1,205	1,000	1,007	0,290	0,292	9,860
9	14:13	5,000	0,2/0,8	0,580	0,800	0,464	80	0,809	1,000	1,007	0,290	0,292	9,860
10	14:16	5,500	0,6	0,400	0,600	0,240	80	1,080	1,000	1,080	0,200	0,216	7,294
11	14:18	6,000	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,747	1,000	0,747	0,210	0,157	5,299
12	14:20	6,500	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,565	1,000	0,565	0,230	0,130	4,385
13	14:21	7,000	0,6	0,280	0,600	0,168	80	0,752	1,000	0,752	0,140	0,105	3,553
14	14:23	7,500	0,6	0,240	0,600	0,144	80	0,507	1,000	0,507	0,120	0,061	2,055
15	14:24	8,000	0,6	0,260	0,600	0,156	80	0,838	1,000	0,838	0,130	0,109	3,681
16	14:26	8,500	None	0,300	0,000	0,000	0	0,000	1,000	0,838	0,075	0,063	2,124

Slika 4.13 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 3/3 [34]

## Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke – 2022. godina (1/2)



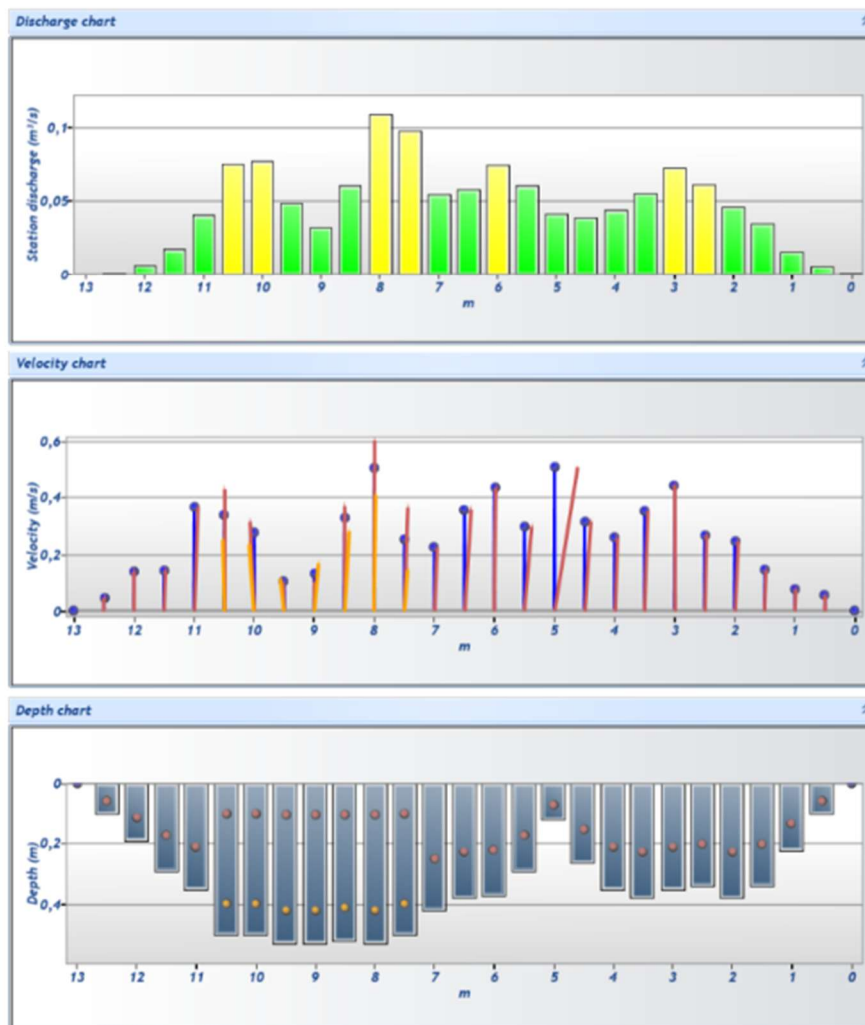
Slika 4.14 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 1/3 [34]



# Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 1  
**Operator(s)** Lucija  
**File name** 20220629-121359\_G dobra.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 4.15 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 2/3 [34]



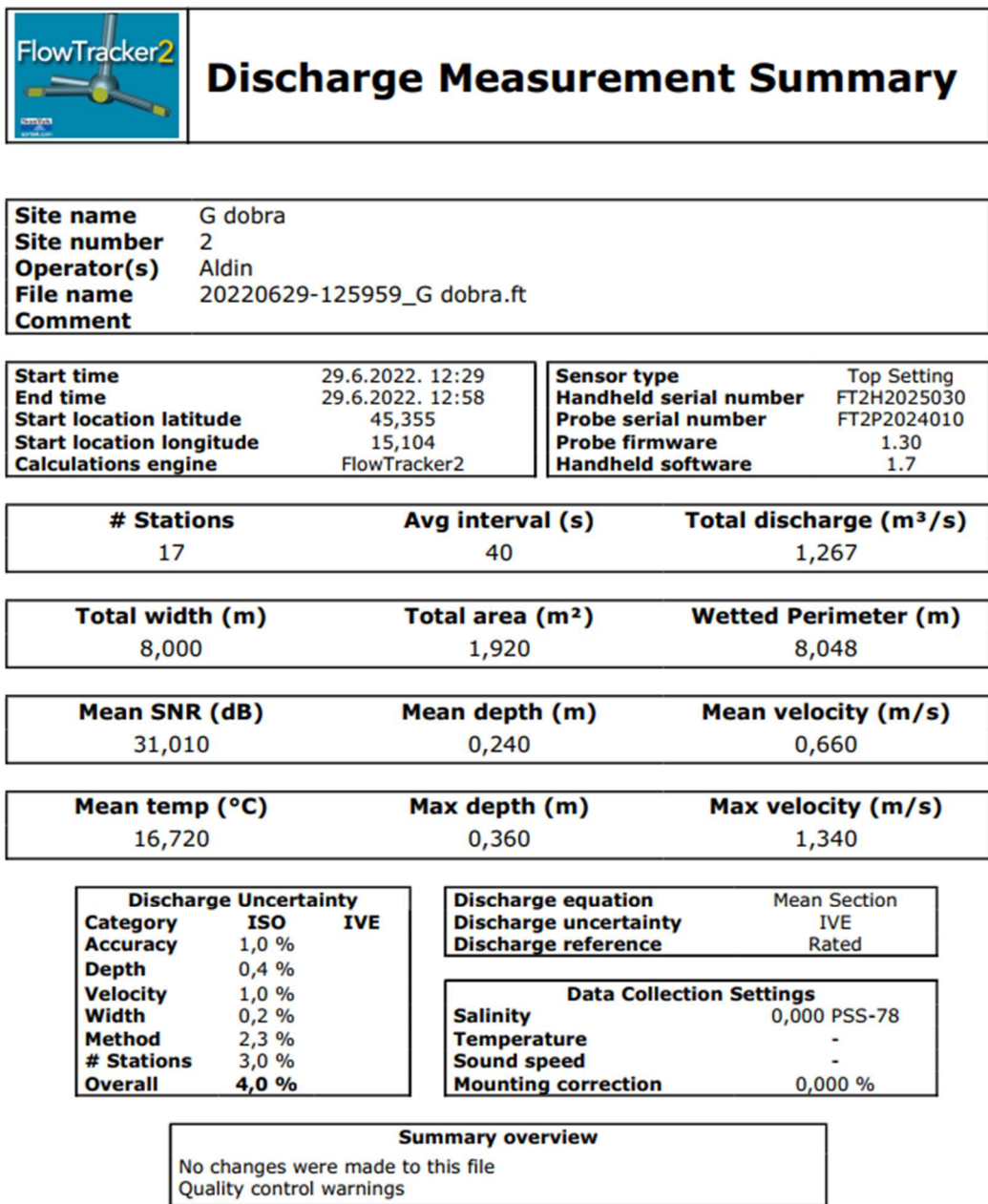
## Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 1  
**Operator(s)** Lucija  
**File name** 20220629-121359\_G dobra.ft  
**Comment**

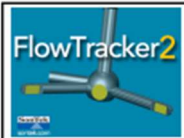
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q
0	11:08	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,028	0,025	0,001	0,058 ✓
1	11:09	0,500	0,6	0,100	0,600	0,060	80	0,057	1,000	0,068	0,080	0,005	0,439 ✓
2	11:11	1,000	0,6	0,220	0,600	0,132	80	0,079	1,000	0,112	0,140	0,016	1,271 ✓
3	11:14	1,500	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,145	1,000	0,195	0,180	0,035	2,847 ✓
4	11:16	2,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,245	1,000	0,257	0,180	0,046	3,757 ✓
5	11:18	2,500	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,270	1,000	0,357	0,173	0,062	5,003 ✓
6	11:20	3,000	0,6	0,350	0,600	0,210	80	0,445	1,000	0,399	0,183	0,073	5,906 ✓
7	11:22	3,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,352	1,000	0,305	0,183	0,056	4,521 ✓
8	11:24	4,000	0,6	0,350	0,600	0,210	80	0,258	1,000	0,287	0,153	0,044	3,557 ✓
9	11:26	4,500	0,6	0,260	0,600	0,156	80	0,317	1,000	0,412	0,095	0,039	3,177 ✓
10	11:29	5,000	0,6	0,120	0,600	0,072	80	0,508	1,000	0,403	0,103	0,041	3,353 ✓
11	11:31	5,500	0,6	0,290	0,600	0,174	80	0,299	1,000	0,366	0,165	0,060	4,908 ✓
12	11:33	6,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,434	1,000	0,397	0,188	0,074	6,035 ✓
13	11:36	6,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,359	1,000	0,291	0,200	0,058	4,724 ✓
14	11:39	7,000	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,223	1,000	0,239	0,230	0,055	4,466 ✓
15	11:40	7,500	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,365	1,000	0,380	0,258	0,098	7,951 ✓
15	11:40	7,500	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,145	1,000	0,380	0,258	0,098	7,951 ✓
16	11:44	8,000	0,2/0,8	0,530	0,200	0,106	80	0,602	1,000	0,416	0,263	0,109	8,861 ✓
16	11:44	8,000	0,2/0,8	0,530	0,800	0,424	80	0,410	1,000	0,416	0,263	0,109	8,861 ✓
17	11:49	8,500	0,2/0,8	0,520	0,200	0,104	80	0,370	1,000	0,231	0,263	0,061	4,917 ✓
17	11:49	8,500	0,2/0,8	0,520	0,800	0,416	80	0,282	1,000	0,231	0,263	0,061	4,917 ✓
18	11:52	9,000	0,2/0,8	0,530	0,200	0,106	80	0,103	1,000	0,121	0,265	0,032	2,592 ✓
18	11:52	9,000	0,2/0,8	0,530	0,800	0,424	80	0,168	1,000	0,121	0,265	0,032	2,592 ✓
19	11:55	9,500	0,2/0,8	0,530	0,200	0,106	80	0,097	1,000	0,191	0,258	0,049	3,986 ✓
19	11:55	9,500	0,2/0,8	0,530	0,800	0,424	80	0,115	1,000	0,191	0,258	0,049	3,986 ✓
20	11:59	10,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,316	1,000	0,308	0,250	0,077	6,257 ✓
20	11:59	10,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,236	1,000	0,308	0,250	0,077	6,257 ✓
21	12:02	10,500	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,430	1,000	0,354	0,213	0,075	6,103 ✓
21	12:02	10,500	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,252	1,000	0,354	0,213	0,075	6,103 ✓
22	12:05	11,000	0,6	0,350	0,600	0,210	80	0,367	1,000	0,256	0,160	0,041	3,319 ✓
23	12:07	11,500	0,6	0,290	0,600	0,174	80	0,144	1,000	0,142	0,120	0,017	1,387 ✓
24	12:09	12,000	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,140	1,000	0,095	0,073	0,007	0,557 ✓
25	12:10	12,500	0,6	0,100	0,600	0,060	80	0,049	1,000	0,025	0,025	0,001	0,050 ✓
26	12:12	13,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000 ✓

Slika 4.16 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 3/3 [34]

Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke – 2022. godina (2/2)



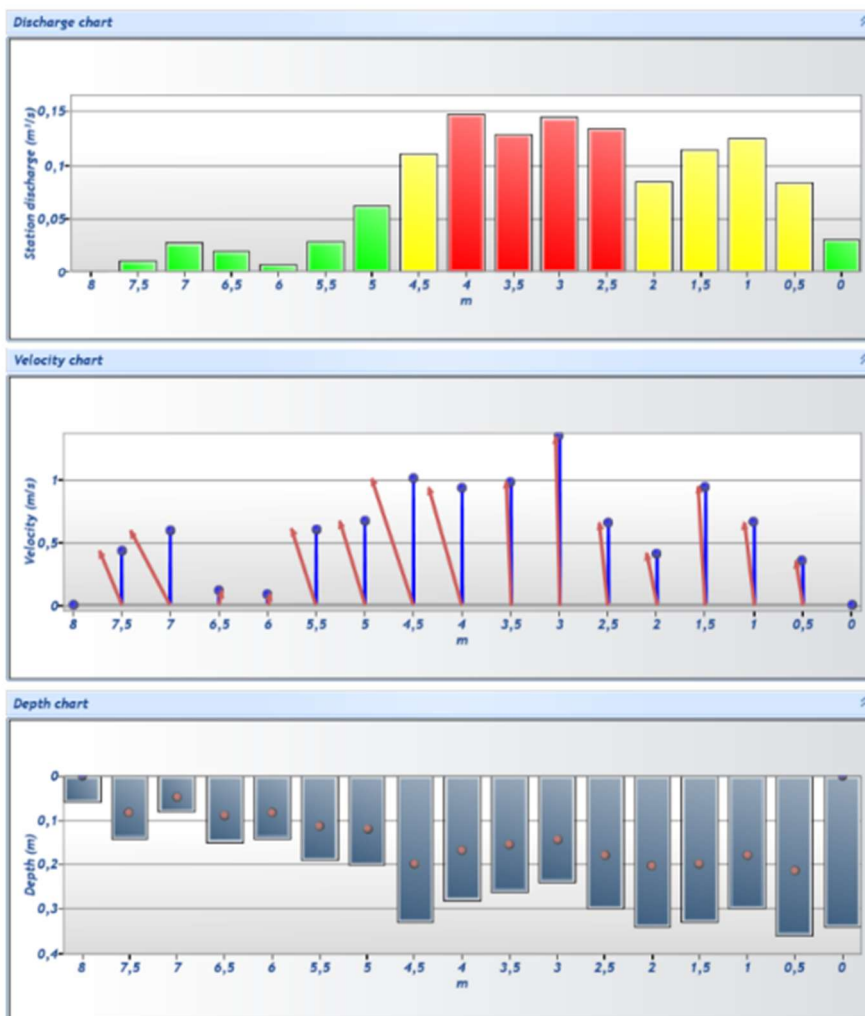
Slika 4.17 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 1/3 [34]



## Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 2  
**Operator(s)** Aldin  
**File name** 20220629-125959\_G dobra.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 4.18 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 2/3 [34]



## Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 2  
**Operator(s)** Aldin  
**File name** 20220629-125959\_G dobra.ft  
**Comment**

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	12:29	0,000	None	0,340	0,000	0,000	0	0,000		0,178	0,175	0,031	2,451	✓
1	12:31	0,500	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,355	1,000	0,507	0,165	0,084	6,605	✓
2	12:34	1,000	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,660	1,000	0,802	0,158	0,126	9,972	✓
3	12:36	1,500	0,6	0,330	0,600	0,198	80	0,945	1,000	0,681	0,168	0,114	9,002	✓
4	12:37	2,000	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,417	1,000	0,536	0,160	0,086	6,770	✓
5	12:39	2,500	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,655	1,000	0,998	0,135	0,135	10,628	✓
6	12:41	3,000	0,6	0,240	0,600	0,144	80	1,340	1,000	1,161	0,125	0,145	11,449	✓
7	12:42	3,500	0,6	0,260	0,600	0,156	80	0,982	1,000	0,957	0,135	0,129	10,196	✓
8	12:43	4,000	0,6	0,280	0,600	0,168	80	0,933	1,000	0,970	0,153	0,148	11,670	✓
9	12:45	4,500	0,6	0,330	0,600	0,198	80	1,007	1,000	0,838	0,133	0,111	8,763	✓
10	12:47	5,000	0,6	0,200	0,600	0,120	80	0,669	1,000	0,640	0,098	0,062	4,921	✓
11	12:48	5,500	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,610	1,000	0,351	0,083	0,029	2,284	✓
12	12:50	6,000	0,6	0,140	0,600	0,084	80	0,092	1,000	0,105	0,073	0,008	0,601	✓
13	12:52	6,500	0,6	0,150	0,600	0,090	80	0,118	1,000	0,356	0,058	0,020	1,614	✓
14	12:54	7,000	0,6	0,080	0,600	0,048	80	0,593	1,000	0,512	0,055	0,028	2,223	✓
15	12:56	7,500	0,6	0,140	0,600	0,084	80	0,431	1,000	0,216	0,050	0,011	0,851	✓
16	12:58	8,000	None	0,060	0,000	0,000	0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	✓

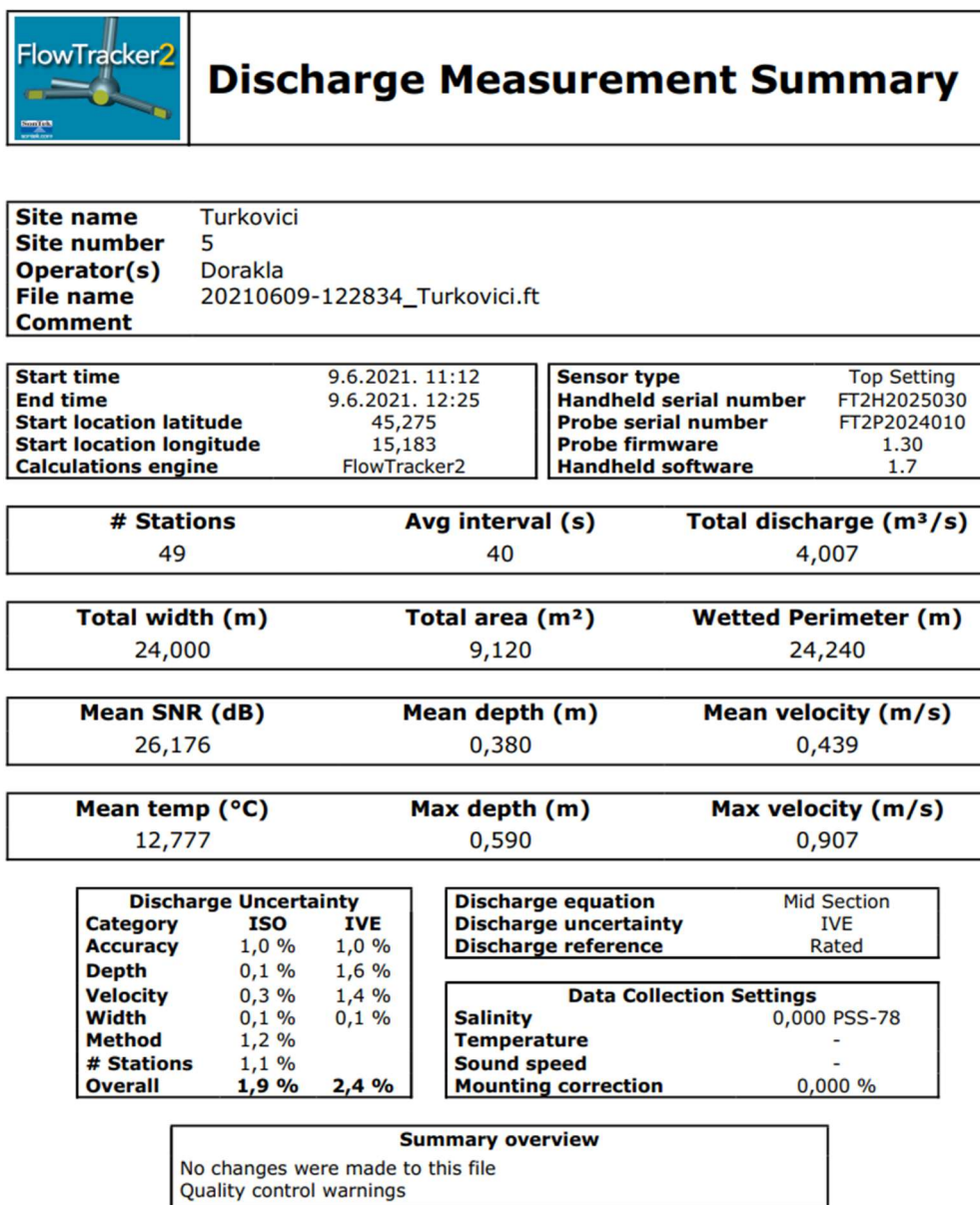
Slika 4.19 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 3/3 [34]

#### 4.1.3 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići

Slike koje slijede u nastavku (Slika 4.20, Slika 4.21, Slika 4.22, Slika 4.23, Slika 4.24 i Slika 4.25) prikazuju rezultate hidroloških mjerenja kod limnigrafske postaje Turkovići. Odrađeno je jedno mjerenje u 2021. godini te jedno mjerenje u 2022. godini. Mjerenja su odrađena pomoću uređaja FlowTracker2 te su kao ključne vrijednosti samog mjerenja dobivene brzine pojedinih stacionaža poprečnog presjeka kao i srednja brzina promatranog dijela vodotoka.



## Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići – 2021. godina



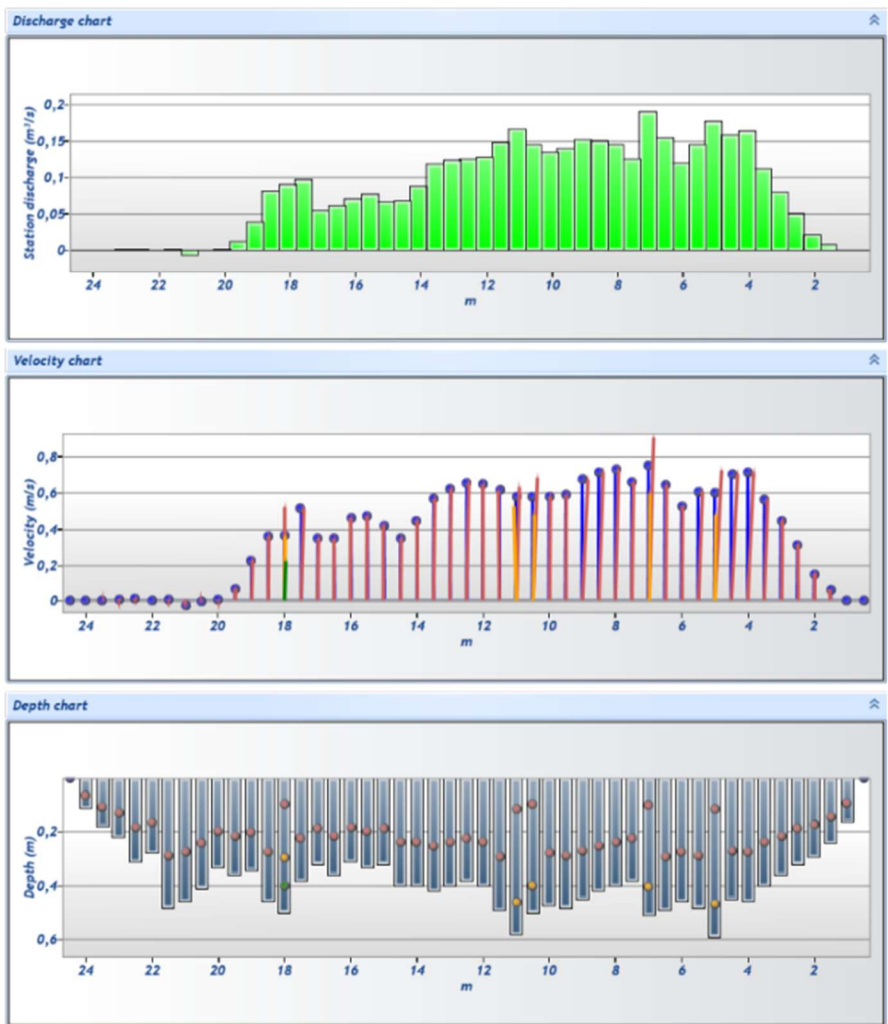
Slika 4.20 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2021.– str. 1/3 [34]



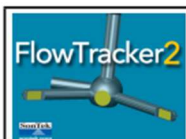
# Discharge Measurement Summary

<b>Site name</b>	Turkovici
<b>Site number</b>	5
<b>Operator(s)</b>	Dorakla
<b>File name</b>	20210609-122834_Turkovici.ft
<b>Comment</b>	

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 4.21 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovici 2021.– str. 2/3 [34]



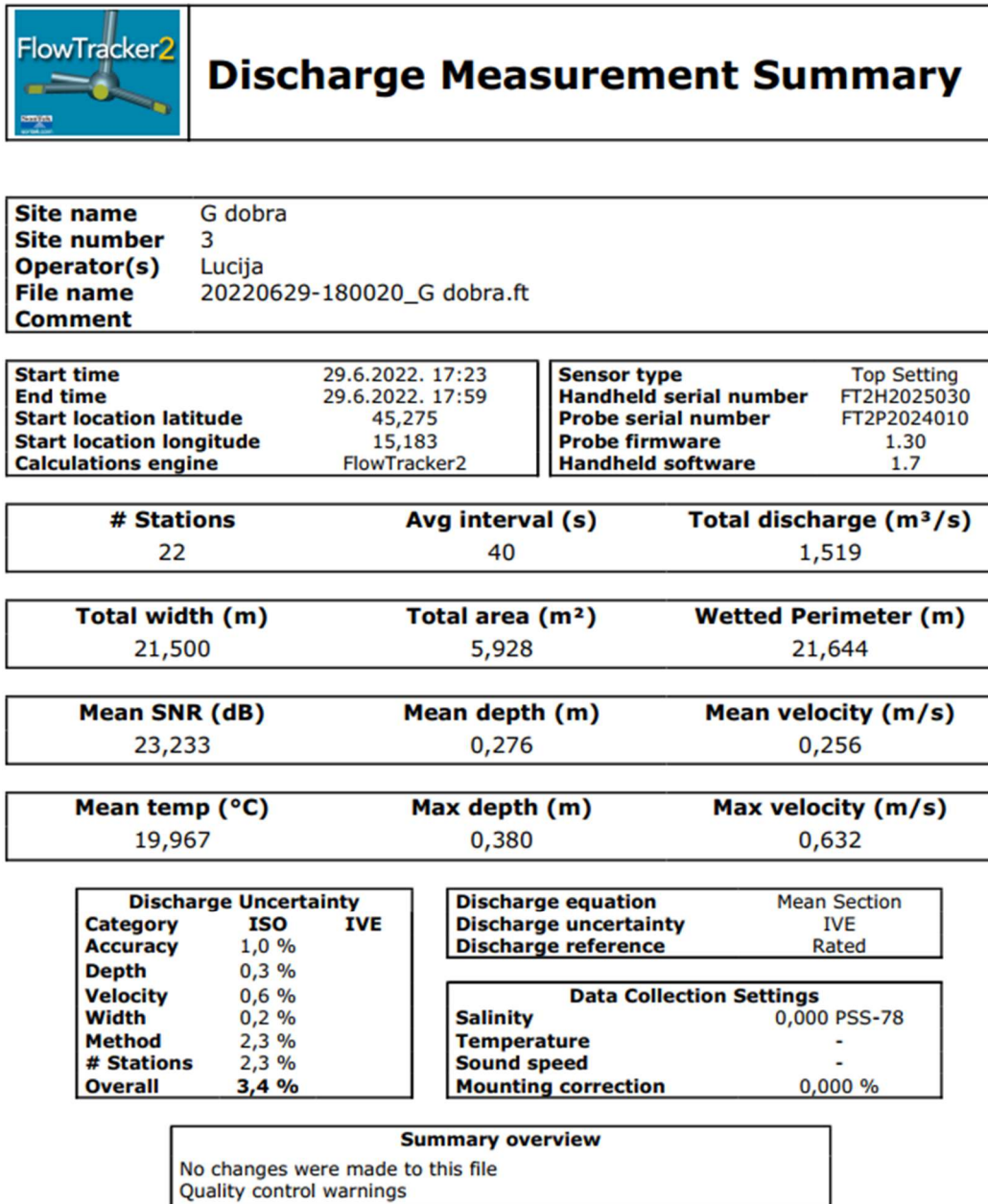
# Discharge Measurement Summary

**Site name** Turkovici  
**Site number** 5  
**Operator(s)** Dorakla  
**File name** 20210609-122834\_Turkovici.ft  
**Comment**

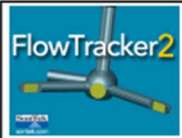
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correcti on	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q
0	11:12	0,500	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		-0,001	0,000	0,000	0,000
1	11:14	1,000	0,6	0,160	0,600	0,096	80	-0,001	1,000	-0,001	0,080	0,000	-0,001
2	11:15	1,500	0,6	0,240	0,600	0,144	80	0,063	1,000	0,063	0,120	0,008	0,189
3	11:17	2,000	0,6	0,290	0,600	0,174	80	0,150	1,000	0,150	0,145	0,022	0,544
4	11:18	2,500	0,6	0,320	0,600	0,192	80	0,312	1,000	0,312	0,160	0,050	1,246
5	11:19	3,000	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,445	1,000	0,445	0,180	0,080	2,000
6	11:21	3,500	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,562	1,000	0,562	0,200	0,112	2,803
7	11:22	4,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,717	1,000	0,717	0,230	0,165	4,114
8	11:23	4,500	0,6	0,450	0,600	0,270	80	0,704	1,000	0,704	0,225	0,158	3,951
9	11:24	5,000	0,2/0,8	0,590	0,200	0,118	80	0,724	1,000	0,600	0,295	0,177	4,420
9	11:24	5,000	0,2/0,8	0,590	0,800	0,472	80	0,477	1,000	0,600	0,295	0,177	4,420
10	11:27	5,500	0,6	0,480	0,600	0,288	80	0,607	1,000	0,607	0,240	0,146	3,635
11	11:28	6,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,526	1,000	0,526	0,230	0,121	3,019
12	11:29	6,500	0,6	0,490	0,600	0,294	80	0,639	1,000	0,639	0,245	0,157	3,906
13	11:31	7,000	0,2/0,8	0,510	0,200	0,102	80	0,907	1,000	0,750	0,255	0,191	4,775
13	11:31	7,000	0,2/0,8	0,510	0,800	0,408	80	0,594	1,000	0,750	0,255	0,191	4,775
14	11:33	7,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,660	1,000	0,660	0,190	0,125	3,130
15	11:35	8,000	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,728	1,000	0,728	0,200	0,146	3,633
16	11:36	8,500	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,717	1,000	0,717	0,210	0,151	3,758
17	11:37	9,000	0,6	0,450	0,600	0,270	80	0,675	1,000	0,675	0,225	0,152	3,788
18	11:39	9,500	0,6	0,480	0,600	0,288	80	0,588	1,000	0,588	0,240	0,141	3,519
19	11:40	10,000	0,6	0,470	0,600	0,282	80	0,580	1,000	0,580	0,235	0,136	3,403
20	11:41	10,500	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,684	1,000	0,581	0,250	0,145	3,623
20	11:41	10,500	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,477	1,000	0,581	0,250	0,145	3,623
21	11:44	11,000	0,2/0,8	0,580	0,200	0,116	80	0,633	1,000	0,579	0,290	0,168	4,193
21	11:44	11,000	0,2/0,8	0,580	0,800	0,464	80	0,526	1,000	0,579	0,290	0,168	4,193
22	11:46	11,500	0,6	0,490	0,600	0,294	80	0,610	1,000	0,610	0,245	0,150	3,731
23	11:48	12,000	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,648	1,000	0,648	0,200	0,130	3,232
24	11:50	12,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,657	1,000	0,657	0,190	0,125	3,114
25	11:51	13,000	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,623	1,000	0,623	0,200	0,125	3,107
26	11:52	13,500	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,567	1,000	0,567	0,210	0,119	2,972
27	11:54	14,000	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,445	1,000	0,445	0,200	0,089	2,219
28	11:55	14,500	0,6	0,400	0,600	0,240	80	0,347	1,000	0,347	0,200	0,069	1,730
29	11:56	15,000	0,6	0,320	0,600	0,192	80	0,421	1,000	0,421	0,160	0,067	1,680
30	11:57	15,500	0,6	0,330	0,600	0,198	80	0,472	1,000	0,472	0,165	0,078	1,943
31	11:59	16,000	0,6	0,310	0,600	0,186	80	0,456	1,000	0,456	0,155	0,071	1,763
32	12:00	16,500	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,341	1,000	0,341	0,180	0,061	1,532
33	12:01	17,000	0,6	0,320	0,600	0,192	80	0,345	1,000	0,345	0,160	0,055	1,379
34	12:02	17,500	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,513	1,000	0,513	0,190	0,097	2,431
35	12:04	18,000	0,2/0,6/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,522	1,000	0,362	0,250	0,090	2,257
35	12:04	18,000	0,2/0,6/0,8	0,500	0,600	0,300	80	0,355	1,000	0,362	0,250	0,090	2,257
35	12:04	18,000	0,2/0,6/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,215	1,000	0,362	0,250	0,090	2,257
36	12:08	18,500	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,358	1,000	0,358	0,230	0,082	2,057
37	12:09	19,000	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,224	1,000	0,224	0,170	0,038	0,952
38	12:10	19,500	0,6	0,360	0,600	0,216	80	0,067	1,000	0,067	0,180	0,012	0,300
39	12:11	20,000	0,6	0,330	0,600	0,198	80	0,006	1,000	0,006	0,165	0,001	0,025
40	12:12	20,500	0,6	0,410	0,600	0,246	80	-0,004	1,000	-0,004	0,205	-0,001	-0,018
41	12:14	21,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	-0,027	1,000	-0,027	0,230	-0,006	-0,155
42	12:15	21,500	0,6	0,480	0,600	0,288	80	0,005	1,000	0,005	0,240	0,001	0,029
43	12:17	22,000	0,6	0,280	0,600	0,168	80	0,000	1,000	0,000	0,140	0,000	0,000
44	12:18	22,500	0,6	0,310	0,600	0,186	80	0,013	1,000	0,013	0,155	0,002	0,050
45	12:19	23,000	0,6	0,220	0,600	0,132	80	0,010	1,000	0,010	0,110	0,001	0,026
46	12:21	23,500	0,6	0,180	0,600	0,108	80	-0,001	1,000	-0,001	0,090	0,000	-0,003
47	12:22	24,000	0,6	0,110	0,600	0,066	80	0,000	1,000	0,000	0,055	0,000	-0,001
48	12:25	24,500	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000

Slika 4.22 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2021.– str. 3/3 [34]

## Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići – 2022. godina



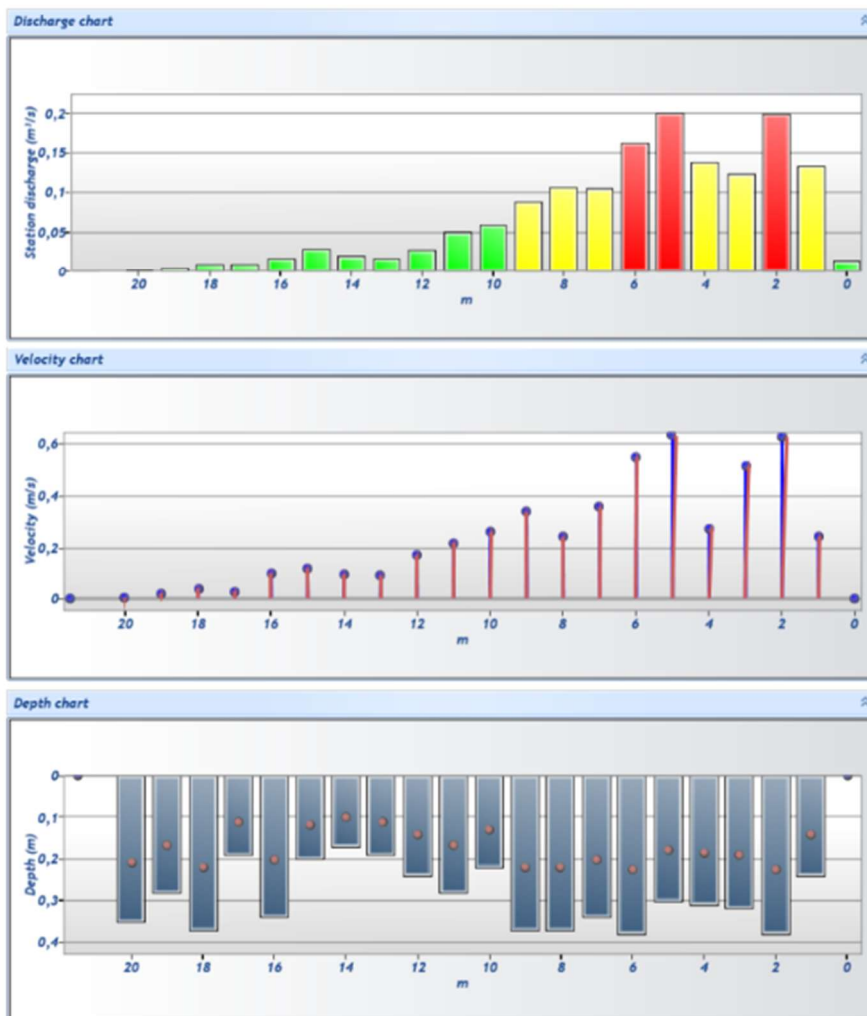
Slika 4.23 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 1/3 [34]



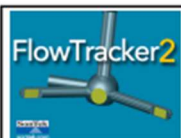
# Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 3  
**Operator(s)** Lucija  
**File name** 20220629-180020\_G dobra.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 4.24 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 2/3 [34]



## Discharge Measurement Summary

**Site name** G dobra  
**Site number** 3  
**Operator(s)** Lucija  
**File name** 20220629-180020\_G dobra.ft  
**Comment**

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	17:23	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,120	0,120	0,014	0,948	✓
1	17:24	1,000	0,6	0,240	0,600	0,144	80	0,240	1,000	0,433	0,310	0,134	8,848	✓
2	17:26	2,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,627	1,000	0,571	0,350	0,200	13,169	✓
3	17:29	3,000	0,6	0,320	0,600	0,192	80	0,516	1,000	0,395	0,315	0,124	8,186	✓
4	17:30	4,000	0,6	0,310	0,600	0,186	80	0,274	1,000	0,453	0,305	0,138	9,097	✓
5	17:32	5,000	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,632	1,000	0,591	0,340	0,201	13,224	✓
6	17:33	6,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,549	1,000	0,453	0,360	0,163	10,735	✓
7	17:35	7,000	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,357	1,000	0,297	0,355	0,106	6,951	✓
8	17:37	8,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,238	1,000	0,287	0,370	0,106	7,002	✓
9	17:38	9,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,337	1,000	0,298	0,295	0,088	5,781	✓
10	17:41	10,000	0,6	0,220	0,600	0,132	80	0,258	1,000	0,237	0,250	0,059	3,910	✓
11	17:42	11,000	0,6	0,280	0,600	0,168	80	0,217	1,000	0,193	0,260	0,050	3,298	✓
12	17:44	12,000	0,6	0,240	0,600	0,144	80	0,169	1,000	0,129	0,215	0,028	1,827	✓
13	17:45	13,000	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,089	1,000	0,092	0,180	0,016	1,085	✓
14	17:47	14,000	0,6	0,170	0,600	0,102	80	0,094	1,000	0,106	0,185	0,020	1,287	✓
15	17:48	15,000	0,6	0,200	0,600	0,120	80	0,117	1,000	0,108	0,270	0,029	1,919	✓
16	17:50	16,000	0,6	0,340	0,600	0,204	80	0,098	1,000	0,064	0,265	0,017	1,121	✓
17	17:52	17,000	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,030	1,000	0,034	0,280	0,010	0,633	✓
18	17:54	18,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,039	1,000	0,029	0,325	0,010	0,630	✓
19	17:55	19,000	0,6	0,280	0,600	0,168	80	0,020	1,000	0,014	0,315	0,004	0,286	✓
20	17:57	20,000	0,6	0,350	0,600	0,210	80	0,007	1,000	0,004	0,263	0,001	0,064	✓
21	17:59	21,500	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 4.25 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 3/3 [34]

## 5 Proračun

Projektiranje male hidroelektrane (MHE) kao i same turbine sastoji se od određivanja približnih izmjera, hidrodinamičkog proračuna i modelskog ispitivanja. Razvojem vodnih turbina nastale su konstrukcije koje su se potvrdile u praksi. Na temelju tih praktičnih iskustava, projektiranje se turbine ne temelji samo na hidrodinamičkim proračunima, već i na aproksimacijskim izrazima i koeficijentima dobivenim iz statističkih podataka o izgrađenim turbinama. Strujni aparat statora i radnog kola nije moguće unificirati i proračunati pomoću statističkih podataka o izvedenim turbinama, jer svaka pojedina turbina radi u drugačijim radnim uvjetima (u prvom redu zbog različitih hidropotencijala), pa se ti dijelovi turbine uvijek proračunavaju metodama hidrodinamičke teorije. Zbog specifičnih iskustava pojedinih proizvođača turbina, ti se proračuni katkad bitno razlikuju i obično su tvornička tajna. Cijela se turbina modelski ispituje (razvojna ispitivanja) da bi se na modelu otkrili eventualni nedostaci, koji se ispravljaju prilikom izradbe (prototipa) objekta [4].

### 5.1 Proračun hidroelektrana koje koriste potencijalnu i kinetičku energiju

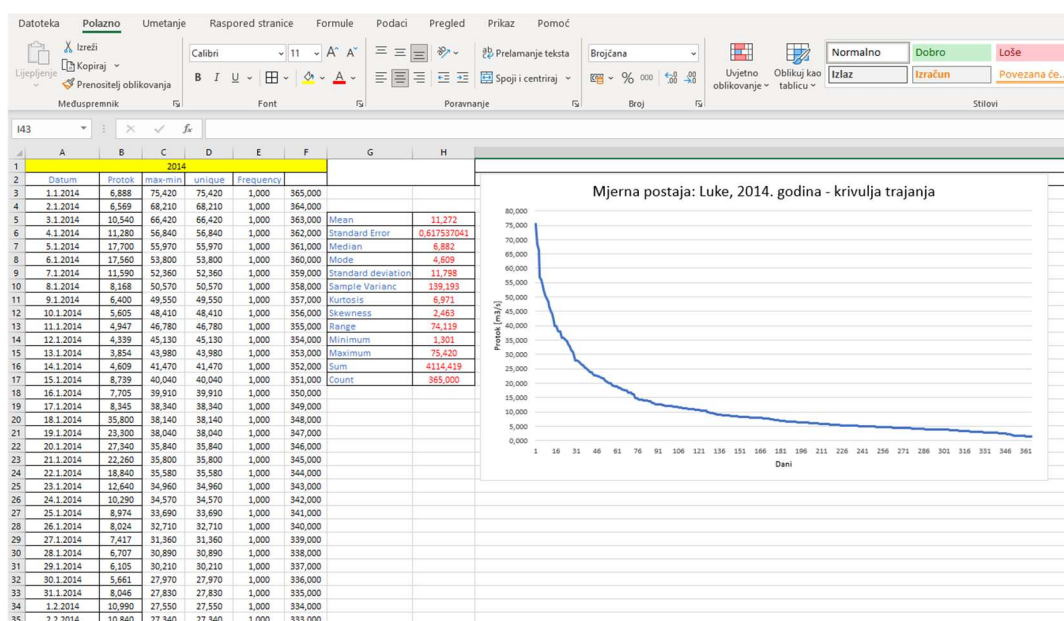
Za potrebe ovog djela diplomskog rada računski će se odrediti snaga hidroelektrane koja koristi potencijalnu i hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju. Proračuni će se provesti na temelju podataka preuzetih sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda te rezultata terenskih izmjera dobivenih za profil kod hidrološke postaje Luke. Nakon provedenih proračuna analizirati će se dobivene vrijednosti te promatrati mogućnost provedbe samog zahvata.

U svrhu određivanja same mogućnosti gradnje MHE, sa hidroloških postaja „Luke“ i „Turkovići“ dobiveni su podaci o protoku, vodostaju i poprečnom profilu rijeke Gornje Dobre koji će dalje biti analizirani i obrađeni. Svi korišteni podaci ustupljeni su od strane DHMZ-a za vremenski period od 10 godina (2014. - 2023.) čime se dobiva određena točnost i pouzdanost prilikom određivanja referentnih vrijednosti za gradnju MHE.

Za analizu vodotoka rijeke Dobre kod mjernih postaja „Luke“ i „Turkovići“ potrebno je u razmatranje uzeti podatke dobivene izmjerama za razdoblje od deset godina te iste promatrati pojedinačno po godinama i sveobuhvatno za cijelo razdoblje.

Za potrebe razmatranja potencijala vodotoka potrebno je konstruirati krivulje trajanja koje će nam prikazati raspoloživost vodnih resursa za svih deset godina, poredanih po veličini. Kao što je prije navedeno svi podaci korišteni u analizi ustupljeni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda, u tabličnom obliku te je iz njih vidljivo kako tok rijeke Dobre na području obje hidrološke postaje nikad ne presušuje.

Statistička obrada prikupljenih podataka za obje postaje te svaku godinu odrađena je pomoću programa „Excel“ te se svodi na grafički prikaz vodostaja i protoka svih godina. Slika 5.1 prikazuje primjer obrade podataka u Excelu za hidrološku postaju „Luke“ u 2014. godini.



Slika 5.1 Statistička obrada podataka u Excelu, hidrološka postaja Luke 2014. god

Pomoću statističke analize protoka 2014. godine dobiju se značajni podaci poput minimuma, maksimuma, medijana, ukupne sume, raspona i sl. Kao ključni podaci nameću se vrijednosti minimuma i maksimuma niza kao i raspon između spomenutih vrijednosti. Za razdoblje 2014. godine minimalan protok iznosio je 1.301 m<sup>3</sup>/s, a maksimalan 75.520 m<sup>3</sup>/s.

Nakon konstruiranja krivulje trajanja koja prikazuje raspoloživost vodnih resursa u vremenskom periodu od jedne godine, provodi se statistička analiza obzirom na frekvenciju i učestalost ponavljanja, koja se zatim raspoređuje na svih 365 dana u promatranoj godini. Raspon protoka od minimalne do maksimalne vrijednosti



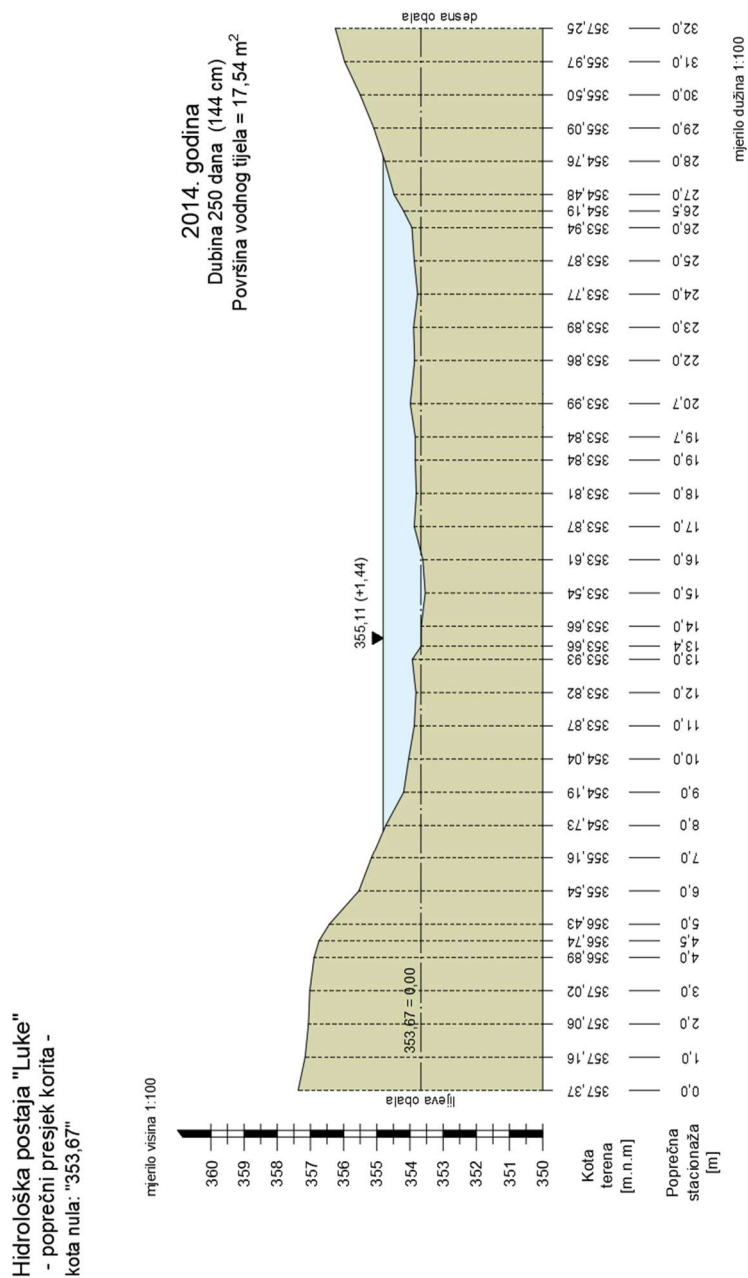
prikazuje se zatim dijagramom kod kojeg je na ordinati prikazana veličina protoka, a na apscisi definirano vrijeme. Prema smjernicama za projektiranje i dimenzioniranje hidroelektrana, preporuča se uzimanje ulaznog podatka za trajanje srednjeg dnevnog protoka 250 dana. U ovom slučaju za mjernu postaju „Luke“ za 2014. godinu kao protok od 250 dana dobivena je vrijednost 4.831 m<sup>3</sup>/s dok protok za mjernu postaju „Turkovići“ iznosi 17.890 m<sup>3</sup>/s. Sve ostale vrijednosti dubina i protoka, dobivene statističkom analizom za raspon od 2014. do 2023. godine, prikazane su u tablici 5.1.

**Tablica 5.1** Statistička obrada podataka - hidrološka postaja Luke i Turkovići

GODINA	Mjerna postaja: "Luke"		Mjerna postaja: "Turkovići"	
	Nivogram	Hidrogram	Nivogram	Hidrogram
	Dubina 250 dana [m]	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Dubina 250 dana [m]	Protok [m <sup>3</sup> /s]
2014	114	4.831	87	17.890
2015	99	1.778	67	8.820
2016	106	2.032	72	12.350
2017	96	1.653	68	10.200
2018	96	1.930	67	9.810
2019	97	2.202	71	11.380
2020	80	1.940	57	7.090
2021	92	2.212	65	9.443
2022	63	1.972	59	7.006
2023	74	3.163	83	15.240
<b>PROSJEK</b>	<b>91.700</b>	<b>2.371</b>	<b>69.600</b>	<b>10.923</b>

Brzina vode  $v$  [m/s] u direktnoj je vezi sa površinom poprečnog presjeka vodotoka  $A$  [m<sup>2</sup>] kroz koju teče te protokom  $Q$  [m<sup>3</sup>/s]. S obzirom na proračunate vrijednosti protoka i vodostaja te dostupne poprečne presjeke korita, potrebno je rekonstruirati presjek sa referentnim vodnim licem temeljem kojeg će se dobiti površina poprečnog presjeka vodotoka „A“.

Sama rekonstrukcija poprečnog presjeka korita za obje postaje, odrađena je u programu AutoCAD za period od deset godina, a rekonstruirani poprečni presjek za hidrološku postaju „Luke“ u 2014. godini prikazan je na slici 5.2.



Slika 5.2 Prikaz rekonstruiranih dubina kod mjerne postaje Luke za 2014. god

Nakon rekonstrukcije svih dubina, dobiveni rezultati kao i pripadajuće brzine prikazani su u tablici u 5.2. za hidrološku postaju „Luke“ te u tablici 5.3 za hidrološku postaju „Turkovići“.

**Tablica 5.2** Prikaz proračunatih površina i brzina – hidrološka postaja „Luke“

GODINA	Mjerna postaja: "Luke"			
	Nivogram	Hidrogram	AutoCAD	Proračun
	Dubina 250 dana [m]	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Površina pop. presjeka [m <sup>2</sup> ]	Brzina [m/s]
2014	114	4.831	17.540	0.275
2015	99	1.778	14.540	0.122
2016	106	2.032	15.920	0.128
2017	96	1.653	13.870	0.119
2018	96	1.930	13.870	0.139
2019	97	2.202	13.960	0.158
2020	80	1.940	10.940	0.177
2021	92	2.212	13.190	0.168
2022	63	1.972	7.840	0.252
2023	74	3.163	9.830	0.322
<b>PROSJEK</b>	<b>91.700</b>	<b>2.371</b>	<b>13.150</b>	<b>0.186</b>

**Tablica 5.3** Prikaz proračunatih površina i brzina– hidrološka postaja „Turkovići“

GODINA	Mjerna postaja: "Turkovići"			
	Nivogram	Hidrogram	AutoCAD	Proračun
	Dubina 250 dana [m]	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Površina pop. presjeka [m <sup>2</sup> ]	Brzina [m/s]
2014	87	17.890	18.130	0.987
2015	67	8.820	12.610	0.699
2016	72	12.350	14.500	0.852
2017	68	10.200	13.550	0.753
2018	67	9.810	13.220	0.742
2019	71	11.380	14.260	0.798
2020	57	7.090	10.980	0.646
2021	65	9.443	12.850	0.735
2022	59	7.006	11.450	0.612
2023	83	15.240	17.150	0.889
<b>PROSJEK</b>	<b>69.6</b>	<b>10.9229</b>	<b>13.87</b>	<b>0.771</b>

Dobivši srednje vrijednosti površina poprečnog presjeka vodotoka, srednje brzine tečenja i srednjih protoka, može se izračunati snaga same hidroelektrane te ovisno o dobivenim vrijednostima zaključiti o kakvoj se vrsti radi.

### 5.1.1 Proračun hidroelektrane koja koristi potencijalnu energiju

Za izlaznu snagu, koristeći se potencijalnom energijom koristiti ćemo ranije navedeni izraz (1). Spomenuta izlazna snaga potencijalnih turbina proračunata je za slučajeve u kojima se neto pad vode kreće u rasponu od 0.50 do 2.00 m u inkrementima od 0.25 m radi prikaza ovisnosti izlazne snage i neto pada. Rezultati proračuna snage hidroelektrana koje koriste potencijalnu energiju prikazani su u tablici 5.4 za hidrološku postaju Luke te u tablici 5.5 za hidrološku postaju Turkovići.

**Tablica 5.4** Prikaz proračunatih potencijala (potencijalna energija) – „Luke“

Mjerna postaja: "Luke" - proračun								
Srednja vrijednost	Ostvareni neto pad	Vrijednost protoka	Ubrzanje sile teže	Gustoća vode	Učinkovitost hidroelektrane	Potencijalna energija		
	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	g [m/s <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	η <sub>HE</sub> [%]	Izlazna snaga [kW]	Proizvodnja energije 250 dana [kWdan]	Proizvodnja energije 250 dana [kWh]
	0.5	2.37	9.81	1000	80 [11]	9.305	2326	55830
0.75	13.957					3489	83745	
1	18.610					4652	111660	
1.25	23.262					5816	139575	
1.5	27.915					6979	167490	
1.75	32.567					8142	195405	
2	37.220					9305	223320	

**Tablica 5.5** Prikaz proračunatih potencijala (potencijalna energija) – „Turkovići“

Mjerna postaja: "Turkovići" - proračun								
Srednja vrijednost	Ostvareni neto pad	Vrijednost protoka	Ubrzanje sile teže	Gustoća vode	Učinkovitost hidroelektrane	Potencijalna energija		
	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	g [m/s <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	η <sub>HE</sub> [%]	Izlazna snaga [kW]	Proizvodnja energije 250 dana [kWdan]	Proizvodnja energije 250 dana [kWh]
	0.5	10.92	9.81	1000	80 [11]	42.861	10715	257169
0.75	64.292					16073	385753	
1	85.723					21431	514338	
1.25	107.154					26788	642922	
1.5	128.584					32146	771506	
1.75	150.015					37504	900091	
2	171.446					42861	1028675	

### 5.1.2 Proračun hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju

Za izlaznu snagu, koristeći se kinetičkom energijom koristiti ćemo ranije navedeni izraz (2). Rezultati proračuna snage hidroelektrana koje koriste kinetičku energiju prikazani su u tablici 5.6 za hidrološku postaju Luke te u tablici 5.7 za hidrološku postaju Turkovići.

**Tablica 5.6** Prikaz proračunatih potencijala (kinetička energija) – „Luke“

Mjerna postaja: "Luke" - proračun							
Srednja vrijednost					Kinetička energija		
	Ulazna površina	Srednja brzina tečenja	Gustoća vode	Učinkovitost hidroelektrane	Izlazna snaga	Proizvodnja energije	Proizvodnja energije
	A [m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\eta_{HE}$ [%]	[kW]	250 dana [kWdan]	250 dana [kWh]
	13.15	0.186	1000	30 [11]	0.013	3.172	76.125

**Tablica 5.7** Prikaz proračunatih potencijala (kinetička energija) – „Turkovići“

Mjerna postaja: "Turkovići" - proračun							
Srednja vrijednost					Kinetička energija		
	Ulazna površina	Srednja brzina tečenja	Gustoća vode	Učinkovitost hidroelektrane	Izlazna snaga	Proizvodnja energije	Proizvodnja energije
	A [m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\eta_{HE}$ [%]	[kW]	250 dana [kWdan]	250 dana [kWh]
	13.87	0.771	1000	30 [11]	0.954	238.555	5725.328

### 5.1.3 Proračun snage turbine pomoću „Metode lamela“

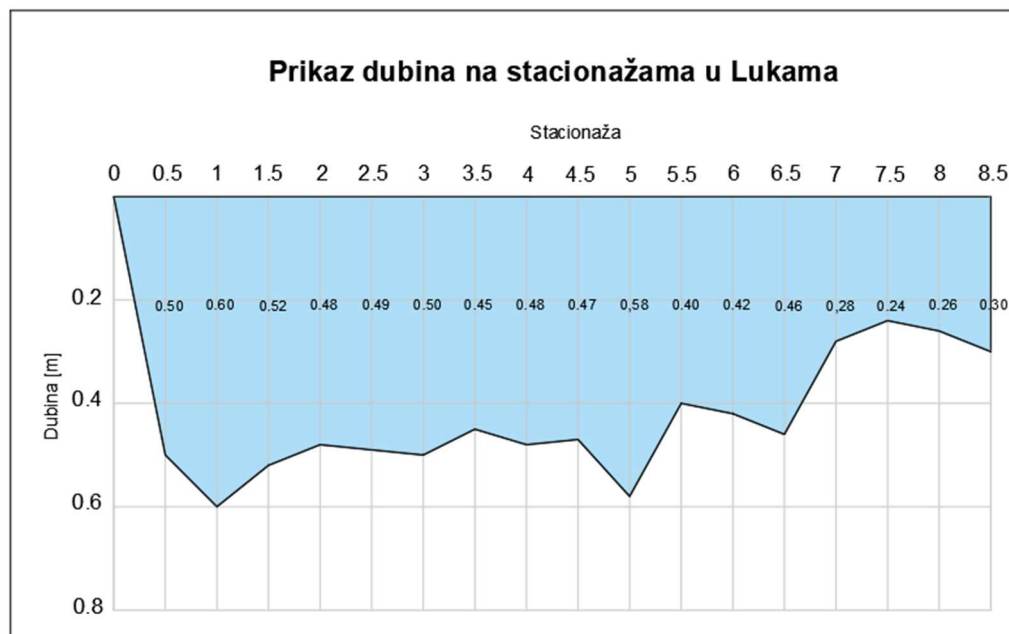
U ovom djelu diplomskog rada proračunat će se najveća teoretska snaga turbine, kod hidrološke postaje Luke, na temelju terenskih izmjera provedenih pomoću uređaja FlowTracker 2. Ispitivanja su provedena na dijelu vodotoka, između dva upornjaka koji se nalaze na međusobnom razmaku od 8 metara. Rezultati spomenutog mjerenja prikazani su u poglavlju „4.1.2. Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke“, pod nazivom „Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Luke – 2021. godina (2/2)“. Zbog malih brzina mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići, dobiveni rezultati nisu uzeti u daljnje razmatranje i proračun srednjih brzina vodotoka.

Proračun snage turbine između dva upornjaka povest će se pomoću takozvane „Metode lamela“. Sama metoda nalaže podjelu profila vodotoka na lamele, u ovom slučaju širine 0.5 m, od kojih svaka posjeduje vlastitu površinu i srednju brzinu. Podjela na lamele sa pripadajućim površinama i srednjim brzinama prikazana je u tablici 5.8 koja se nalazi u nastavku.

**Tablica 5.8** *Obrađeni podaci za hidrološku postaju Luke*

Stacionaža	Razmak između stacionaža [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Srednja brzina [m/s]
0 - 0.5	0.5	0.250	0.224
0.5 - 1	0.5	0.550	0.448
1 - 1.5	0.5	0.560	0.715
1.5 - 2	0.5	0.500	0.950
2 - 2.5	0.5	0.485	1.027
2.5 - 3	0.5	0.495	0.942
3 - 3.5	0.5	0.475	1.157
3.5 - 4	0.5	0.465	1.161
4 - 4.5	0.5	0.475	0.842
4.5 - 5	0.5	0.525	1.007
5 - 5.5	0.5	0.490	1.080
5.5 - 6	0.5	0.410	0.747
6 - 6.5	0.5	0.440	0.565
6.5 - 7	0.5	0.370	0.752
7 - 7.5	0.5	0.260	0.507
7.5 - 8	0.5	0.250	0.838
8 - 8.5	0.5	0.280	0.419

Kao prvi korak proračuna potrebno je rekonstruirati dubine profila na kojem je provedeno mjerenje (Slika 5.3). Na temelju rekonstruiranih dubina provest će se grafička analiza površine profila koja kasnije ulazi u sam proračun snage turbina.

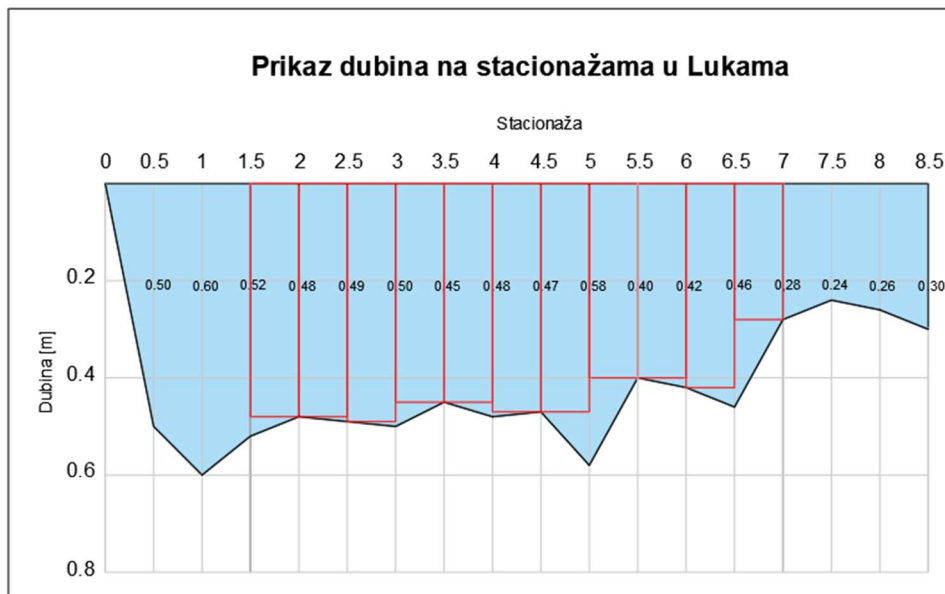


**Slika 5.3** Prikaz dubina na stacionažama u Lukama

Za potrebe proračuna teoretske snage kinetičkih turbina na tom djelu vodotoka usvojit će se površina između stacionaža 1.5 i 7. Prilikom uzimanja ovih stacionaža kao graničnih, osigurala se dovoljna dubina za ugradnju turbinskih sustava kao i brzina vode koja direktno utječe, kako na snagu turbine, tako i na proizvodnju električne energije u konačnici.

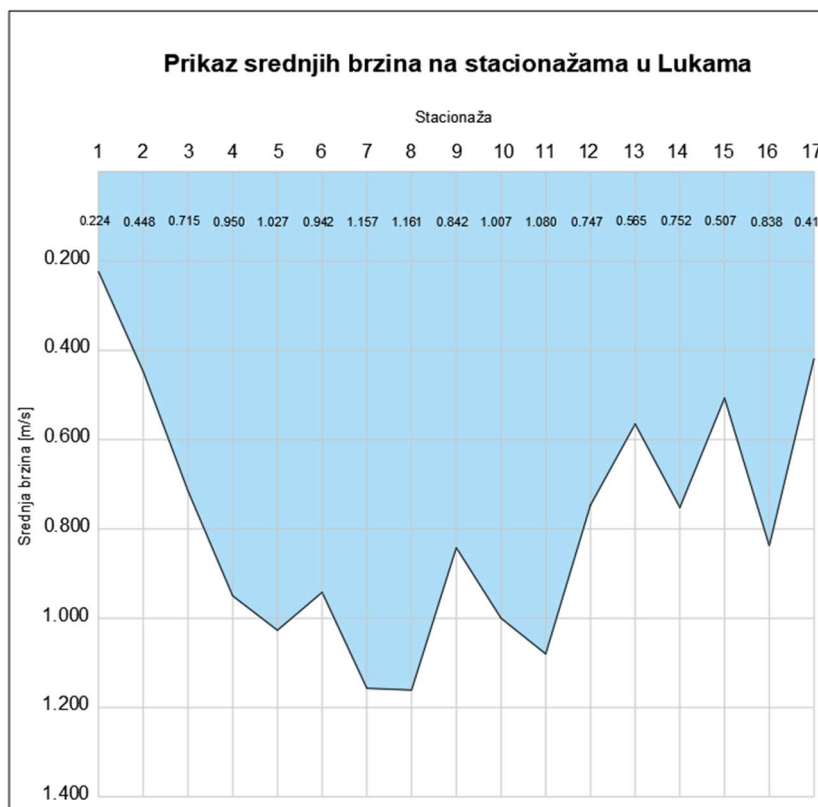
Površina koja ulazi u proračun u ovom slučaju dobiva se zbrajanjem površina između stacionaža 1.5 i 7 („zbrajanjem po pravokutnicima“ – slika 5.4):

$$\begin{aligned}
 A &= (0.48+0.48+0.49+0.45+0.45+0.47 \\
 &\quad +0.47+0.40+0.40+0.42+0.28) \cdot 0.50 \\
 A &= 2.155 \text{ [m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$



**Slika 5.4** Proračun površine poprečnog profila

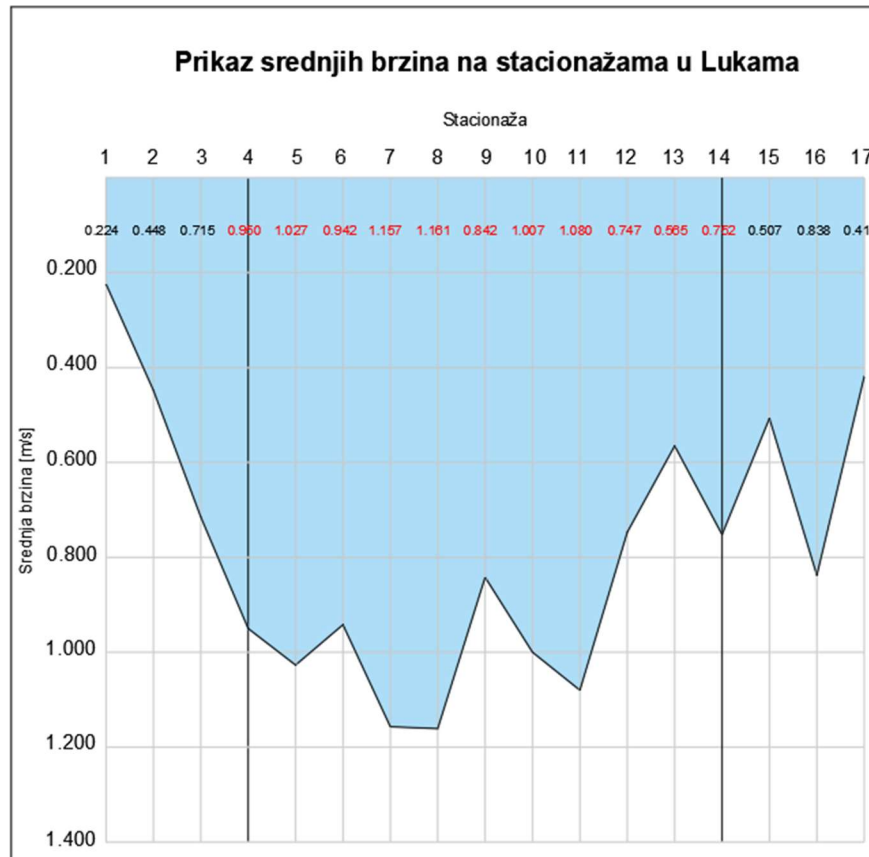
Nakon izračunavanja dubine koja ulazi u proračun, potrebno je rekonstruirati srednje brzine duž profila vodotoka. Prikaz rekonstruiranih srednjih brzina prikazan je na slici 5.5.



**Slika 5.5** Prikaz srednjih brzina na stacionažama u Lukama



Za dobivanje srednje brzine potrebno je u razmatranje uzeti stacionaže korištene prilikom proračuna površine poprečnog presjeka (stacionaže 1.5 - 7). Brzine koje pripadaju tom djelu poprečnog presjeka označene su na slici 5.6 crvenom bojom.



Slika 5.6 Proračun srednje brzine vodotoka

$$V_{sr} = (0.950 + 1.027 + 0.942 + 1.157 + 1.161 + 0.842 + 1.007 + 1.080 + 0.747 + 0.565 + 0.752) / 11$$

$$V_{sr} = 0.93 \text{ [m/s]}$$

Na temelju proračunate površine i srednje brzine može se pomoću izraza (2) proračunati teoretski najveća snaga koju neka kinetička turbina na tom djelu vodotoka može postići:

$$P_{teor} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 2.155 \text{ m}^2 \cdot (0.93 \text{ m/s})^3 \cdot 0.30$$

$$P_{teor} = 260.01 \text{ [W]}$$

## 5.2 Primjena različitih vrsta turbina kod hidrološke postaje Luke

Za potrebe ovog dijela rada korišteni su podaci dobiveni sa terenskih izmjera. Spomenuti podaci prvenstveno uključuju dimenzije upornjaka kao i njihov međusobni razmak, odnosno dimenzije moguće konstrukcije primjenjivih turbinskih sustava. Na temelju izmjera, konstruirani su upornjaci sa stvarnim mjerama te turbine koje se mogu primijeniti na analiziranoj lokaciji. Sama konstrukcija nalazi se na dijelu vodotoka Gornje Dobre kod hidrološke postaje Luke (Slika 5.7 i Slika 5.8).

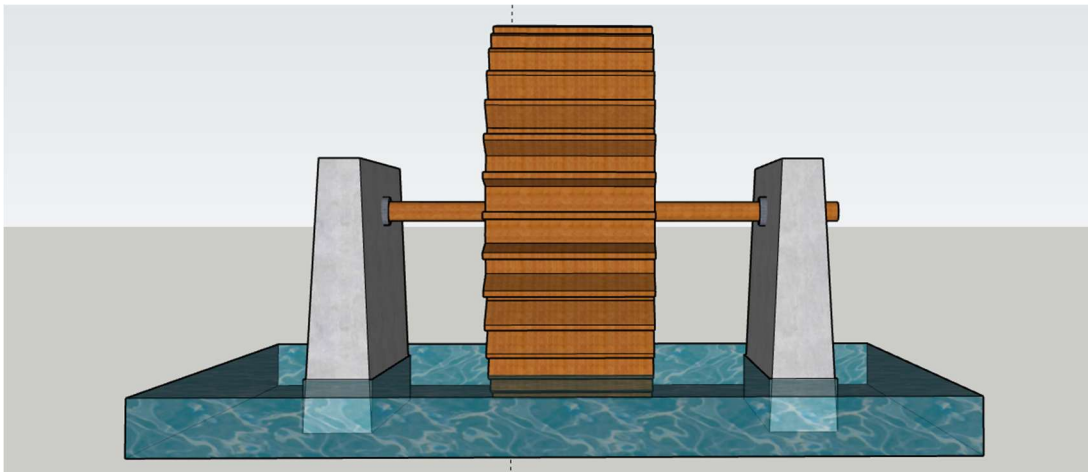


*Slika 5.7 Rijeka Gornja Dobra kod hidrološke postaje Luke [34]*

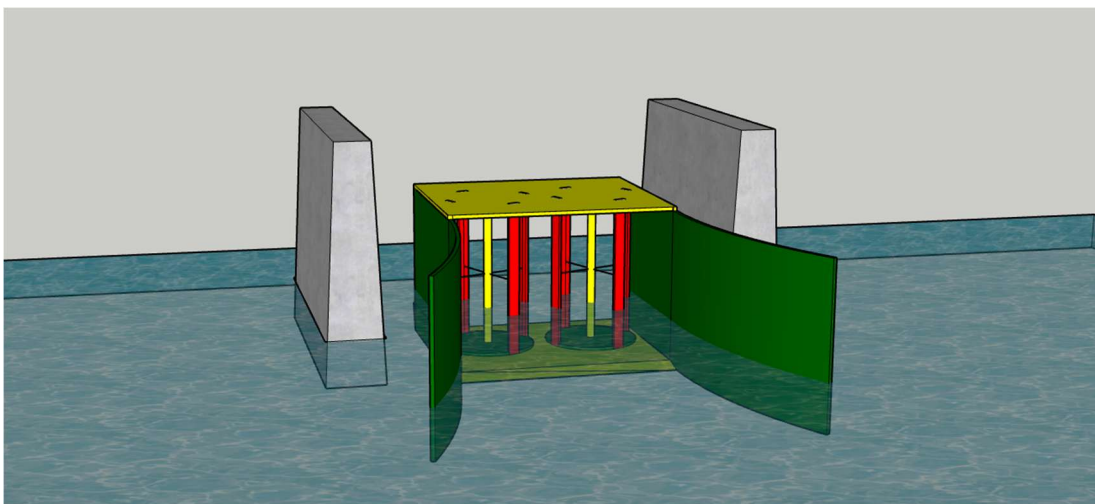


*Slika 5.8 Prikaz postojeće konstrukcije za ugradnju vodnog kola [34]*

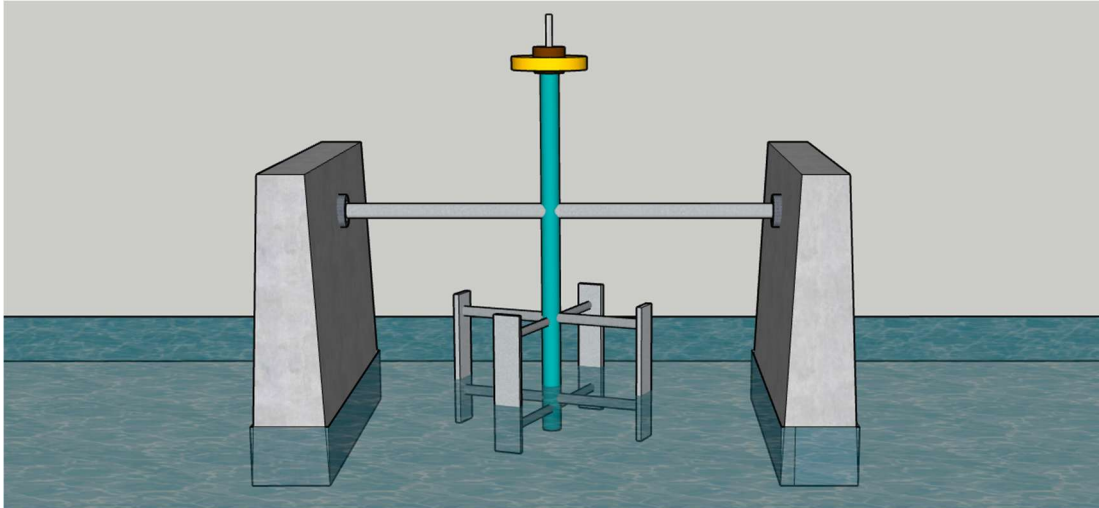
Slike u nastavku prikazuju kinetičke turbine obrađene u ovom radu koje su primjenjive za promatrani profil rijeke Gornje Dobre kod hidrološke postaje Luke, na kojem se nalaze i dva prikazana upornjaka. Slika 5.9 prikazuje vodno kolo, slika 5.10 prikazuje Venturi turbinu, slika 5.11 prikazuje Envirogen turbinu, slika 5.12 prikazuje Idenergie turbinu, slika 5.13 prikazuje Savonius turbinu i slika 5.14 prikazuje Portable Floating Pico Hydro turbinu.



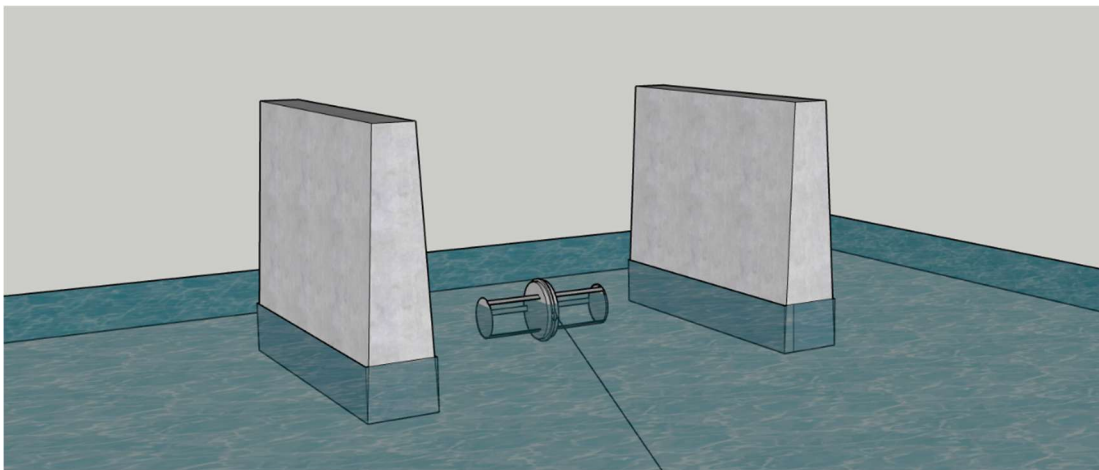
**Slika 5.9** Grafički prikaz vodnog kola na postojećoj konstrukciji



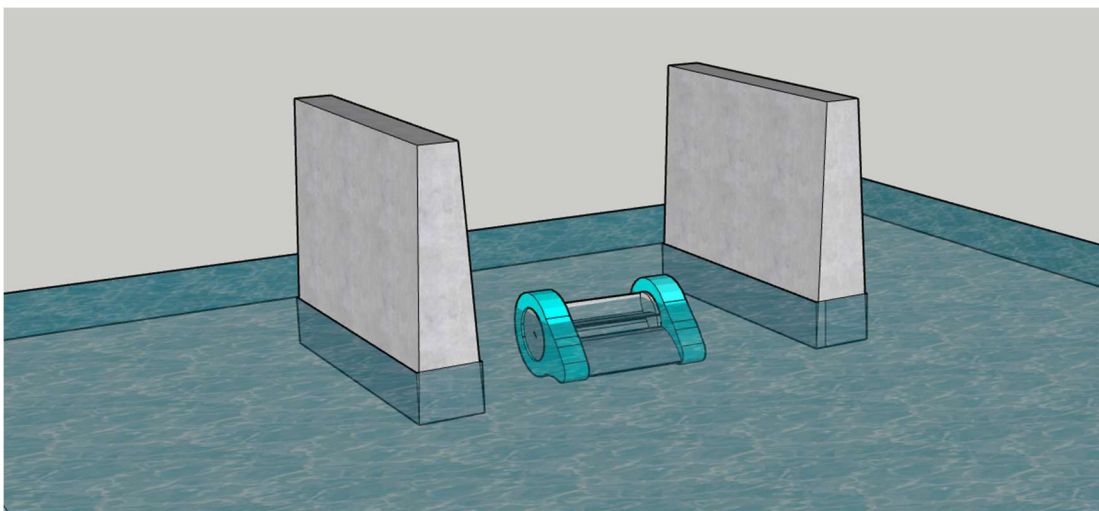
**Slika 5.10** Grafički prikaz Venturi turbine



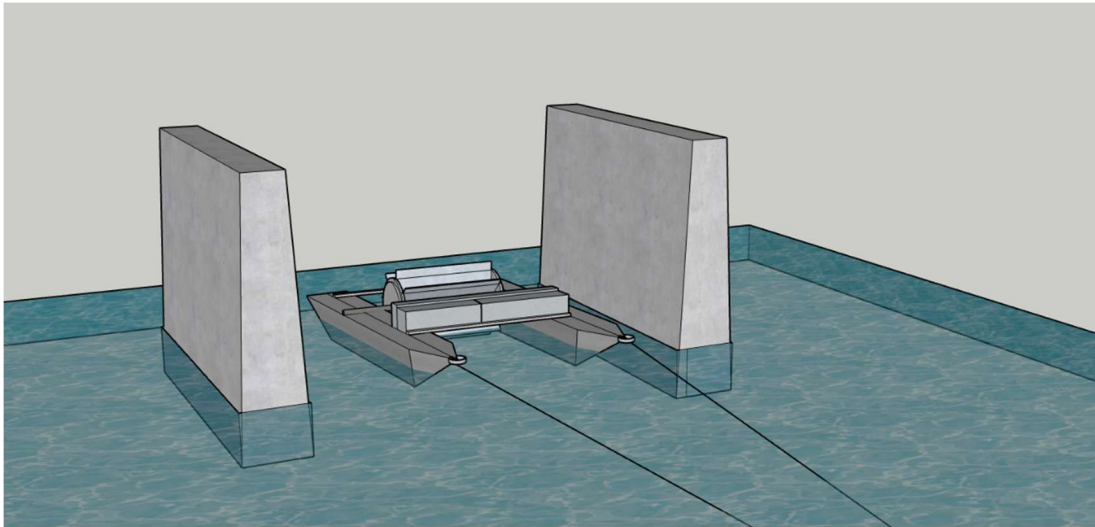
**Slika 5.11** Grafički prikaz Envirogen turbine na postojećoj podlozi



**Slika 5.12** Grafički prikaz Idenergie vodne turbine



**Slika 5.13** Grafički prikaz Waterotor – modificirani savonius rotor



**Slika 5.14** Grafički prikaz „Portable Floating Pico-Hydro“ turbine

## 6 Analiza i usporedba dobivenih rezultata

Nakon provedene analize dobivenih rezultata vidljivo je kako je snaga turbine koja koristi potencijalnu energiju višestruko veća u odnosu na turbinu koja koristi kinetičku energiju vode, što je izazvano malim srednjim brzinama tečenja vode. Kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode snaga turbine raste proporcionalno sa povećanjem visine same brane, odnosno pregrade, čija se visina može mijenjati ovisno o samim zahtjevima elektrane kao i o konfiguraciji terena.

Na temelju podataka preuzetih sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda proračunate su snage hidroelektrana koje koriste potencijalnu energiju vode te se kreću u rasponu od 9.305 kW do 37.220 kW za hidrološku postaju Luke te od 42.861 kW do 171.446 kW za hidrološku postaju Turkovići, dok vrijednost snage hidroelektrane koja koristi kinetičku energiju vode iznosi 0.013 kW u slučaju hidrološke postaje Luke, a za hidrološku postaju Turkovići ona iznosi 0.954 kW.

Budući da se brzina vodotoka kroz godinu mijenja te ju nije moguće proračunati pomoću raspoloživih podataka, prilikom proračuna snage turbine koja koristi kinetičku energiju, korištene su srednje godišnje brzine koje mogu uvelike varirati od brzina tokom godine kao i od raspodjele brzina na poprečnom presjeku korita. U pravilu, brzina je najveća u sredini poprečnog presjeka, a smanjuje se prema rubovima i dnu korita.

Potrebno je također uzeti u obzir odstupanje raspoloživih poprečni presjeka sa stvarnim poprečnim presjecima. S obzirom na bujične karakteristike vodotoka nije isključena mogućnost promjene poprečnih presjeka zbog nanosa, odnosno zbog erozije dna korita kao i zbog pojave mogućih prepreka u obliku srušenih stabala, obraslog korita i sl. što svakako utječe na brzinu, odnosno na same vodostaje, čime se mijenja i protok, a time i količina proizvedene električne energije, odnosno snaga same hidroelektrane. Slika 6.1. prikazuje promjenu poprečnog profila vodotoka zbog prepreka u samom vodotoku u obliku stabala.



*Slika 6.1 Uvid u promjene poprečnog presjeka na mjernoj postaji Luke [34]*

Na temelju terenskih mjerenja, provedenih za hidrološku postaju Luke, proveden je dodatni proračun i analiza snage turbine koja koristi kinetičku energiju vode. Kao rezultati mjerenja dobiven je poprečni presjek tog dijela vodotoka, sa pripadajućim dubinama, kao i srednje brzine na svakih 0.50 m. Nakon provedenih proračuna kao maksimalna vrijednost dobivena je snaga turbine od 260.01 W. Ovu vrijednost potrebno je uzeti sa oprezom jer ona predstavlja trenutnu snagu turbine u vremenu provođenja mjerenja te kao takva može uvelike varirati u ovisnosti o vremenskih i drugim uvjetima tokom godine. Za dobivanje točnijih rezultata potrebno je napraviti modeliranja u kojima je prikazana ovisnost brzine o protoku i površini poprečnog presjeka vodotoka, što je izuzetno složeno. Na ovaj način dala se aproksimativna procjena hidroenergetskog potencijala vodotoka te je potrebno još hidroloških mjerenja, naročito kod velikih protoka, odnosno vodostaja, za dobivanje točnijih rezultata.

Nakon provedene analize lokacije može se primijetiti kako se većina obrađenih kinetičkih turbina može primijeniti na analiziranom profilu sa dva upornjaka, kod hidrološke postaje Luke. Neke od turbina koje se mogu primijeniti na toj lokaciji su: vodeno kolo, Venturi turbina, MAKO turbina, Smart HydroPower turbina, EnviroGen turbina, Idenergie turbina, RivGen turbina, Savonius turbina i Portable Floating Pico Hydro turbina.

S obzirom na spomenute turbine, kao rješenje za promatrane lokacije nameću se tri turbine: Vodno kolo, Idenergie turbina te Portable Floating Pico Hydro turbina. Svaka od spomenutih turbina pogodna je za promatrane lokacije, s obzirom na brzinu i vodostaj na promatranom dijelu vodotoka. Kao konstruktivno rješenje kod lokacije sa dva upornjaka nameće se vodno kolo kao optimalno, koje konstruktivnim rješenjem odgovara spomenutoj lokaciji. Što se tiče ostalih lokacija mjerenja, Idenergie i Portable Floating Pico Hydro turbina predstavljaju tipsko rješenje koje je primjenjivo na svakoj od lokacija mjerenja te gotovo svim lokacijama promatranog vodotoka. Zbog načina ugradnje koji ne iziskuje gotovo nikakva konstruktivna rješenja, troškovi ugradnje i instalacije, čine ove dvije vrste turbina izuzetno pogodnima te povoljnijima od ostalih turbina.

S obzirom da se radi o konceptualnom rješenju, jako teško dati čak i aproksimativnu procjenu cijene, počevši od cijene samih turbina, budući da se u ovom slučaju ne može dati prosjek cijene po vatu snage ili po proizvedenom kilowatu. Također cijena same turbine, odnosno turbinskog sustava, ne ovisi samo o vlastitim troškovima već i o troškovima potrebne dokumentacije, troškovima istražnih radova, troškovima montaže, troškova transporta (ukoliko se radi o transportu iz inozemstva) te ostalim popratnim troškovima koji izradu same procjene koštanja ovakvih i sličnih turbinskih sustava čine izuzetno zahtjevnim i gotovo nemogućima u odnosu na dostupne podatke.



## **7 Zaključak**

Nakon provedene analize i određivanja potencijala, odnosno mogućnosti gradnje hidroelektrane te njezine snage i količine proizvedene energije tokom godine, vidljivo je kako rijeka Gornja Dobra, kod hidroloških postaja Luke i Turkovići ima potencijal za gradnju mikro-hidroelektrane.

Kao „zeleni“ izvor električne energije ova vrsta elektrane gotovo da i nema štetnih utjecaja na okoliš te time predstavlja idealno rješenja za ruralne sredine i zabačena mjesta kao što je i šire područje oko sliva rijeke Gornje Dobre. Ova vrsta elektrana također predstavlja praktično rješenje, nije skupa te se lako montira i demontira čime dodatno olakšava korisnicima prilikom odabira jednog takvog postrojenja.

Uzevši u obzir mogućnost odstupanja dostupnih podataka od stvarnog stanja, za potvrđivanje dobivenih rezultata te stvarnog uvida u potencijal rijeke Dobre preporuča se provesti terenska ispitivanja na lokaciji za koju je provedena analiza te ostalim lokacijama pogodnima za gradnju malih hidroelektrana.

## 8 Literatura

- [1] Smailbegović, S.: Vodne turbine; Visoka škola „CEPS – Centar za poslovne studije“ Kiseljak, studijski program Energetika, seminarski rad
- [2] Vlašić, I.: Potencijal za gradnju mikro hidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri; Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, studijski program Graditeljstvo, diplomski rad.
- [3] Wikipedija, slobodna enciklopedija; <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>; Datum pristupa: 22.07.2024.
- [4] Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet; [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); Datum pristupa: 05.11.2024.
- [5] Hrvatska tehnička enciklopedija; [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/turbina\\_vodna.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/turbina_vodna.pdf); Datum pristupa: 22.07.2024.
- [6] Babić, M.: Rad hidroelektrane s tri jednaka agregata; Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, studijski program Elektrotehnika, diplomski rad.
- [7] Tehnički leksikon; <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/francisova-turbina>; Datum pristupa: 24.07.2024.
- [8] Wikipedija, slobodna enciklopedija; [https://hr.wikipedia.org/wiki/Francisova\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Francisova_turbina); Datum pristupa: 24.07.2024
- [9] Wikipedija, slobodna enciklopedija; [https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Kaplan\\_Turbine.JPG](https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Kaplan_Turbine.JPG); Datum pristupa: 24.07.2024
- [10] Wikipedija, slobodna enciklopedija; [https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina); Datum pristupa: 24.07.2024
- [11] Đurin, B.: Turbine, male hidroelektrane; Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, kolegij: Vodni sustavi.
- [12] Hrvatska enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/peltonova-turbina>; Datum pristupa: 24.07.2024
- [13] Wikipedija, slobodna enciklopedija; [https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina); Datum pristupa: 24.07.2024

- [14] Wikipedija, slobodna enciklopedija;  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Turgo\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Turgo_turbina); Datum pristupa: 24.07.2024
- [15] Chongqing Hydropower Equipment Co., Ltd. (CHPE);  
<http://www.cchpe.net/ProductInfo.aspx?get=32>; Datum pristupa: 24.07.2024.
- [16] Kirke, B.: Small hydrokinetic turbines; Researchgate,  
<https://www.researchgate.net>.
- [17] Blažun, M.: Primjena različitih postupaka dimenzioniranja hidroelektrane u obliku vodnog kola – primjer Matinog mlina na rijeci Donjoj Dobri u Jaškovu; Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, studijski program Graditeljstvo, diplomski rad.
- [18] LinkedIn; <https://www.linkedin.com/pulse/unleashing-power-flowing-water-rise-hydrokinetic-hydropower/>; Datum pristupa: 14.02.2025.
- [19] Spaans Babcock;  
<https://www.spaansbabcock.com/wp-content/uploads/2017/10/SB17016-Screw-Turbine-RS-LR.pdf>; Datum pristupa: 05.11.2024.
- [20] Wikipedija, slobodna enciklopedija;  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation\\_water\\_vortex\\_power\\_plant](https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_water_vortex_power_plant); Datum pristupa: 05.11.2024.
- [21] MAKO energy; <https://www.mako.energy>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [22] Smart hydro power; <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [23] New Energy corporation; <https://www.newenergycorp.ca/products>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [24] Idénergie; <https://idenergie.ca/en/home/>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [25] ORPC, Rivgen power systems and integrated microgrid solutions;  
<https://orpc.co/rivgen-power-system-integrated-microgrid-solutions/>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [26] LinkedIn; <https://www.linkedin.com/pulse/run-of-river-power-generation-case-study-rivgen-robert-barrentine/>; Datum pristupa: 08.10.2024.
- [27] ResearchGate;  
[https://www.researchgate.net/publication/358161733\\_Small\\_hydrokinetic\\_turbines](https://www.researchgate.net/publication/358161733_Small_hydrokinetic_turbines); Datum pristupa: 03.10.2024.

- [28] ResearchGate;  
[https://www.researchgate.net/publication/338849667\\_Design\\_and\\_implementation\\_Portable\\_Floating\\_Pico-Hydro#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/338849667_Design_and_implementation_Portable_Floating_Pico-Hydro#fullTextFileContent); Datum pristupa: 03.10.2024.
- [29] Minesto; <https://minesto.com/our-technology/>; Datum pristupa: 03.10.2024.
- [30] Moj planinarski dnevnik; <https://gorja.net/putopisi/121/skrad-skradski-vrh-vrazji-prolaz-zeleni-vir-skrad/>; Datum pristupa: 25.07.2024.
- [31] Travel Croatia Live; <https://travelcroatia.live/listing/rijeka-dobra/>; Datum pristupa: 25.07.2024.
- [32] DHMZ, sektor za hidrologiju; Dostupno na: <https://hidro.dhz.hr>, Datum pristupa: 08.08.2024.
- [33] Google Maps; <https://www.google.com/maps>: 22.08.2024.
- [34] Đurin, B.: Rezultati i slike s terenskog mjerenja.
- [35] Geotech Environmental;  
[https://www.geotechenv.com/Manuals/SonTek\\_Manuals/sontek\\_flowtracker2\\_manual.pdf](https://www.geotechenv.com/Manuals/SonTek_Manuals/sontek_flowtracker2_manual.pdf); Datum pristupa: 04.11.2024.

## 9 Popis slika

Slika 2.1 Shema hidroelektrane [3] .....	3
Slika 2.2 Shema turbine slobodnog pada [6] .....	5
Slika 2.3 Presjek kroz Francisovu turbinu [8] .....	6
Slika 2.4 Kaplanova turbina [9] .....	8
Slika 2.5 Shema pretlačne turbine [6] .....	9
Slika 2.6 Radijalna turbina [11] .....	9
Slika 2.7 Aksijalna turbina [11] .....	10
Slika 2.8 Peltonova turbina [13] .....	11
Slika 2.9 Turgo turbina [15] .....	12
Slika 2.10 Shematski prikaz kinetičkih vodnih turbina [11] .....	13
Slika 2.11 Prikaz kinetičke turbine na vertikalnom vratilu [11] .....	14
Slika 2.12 Prikaz kinetičke turbine na horizontalnom vratilu [11] .....	15
Slika 2.13 Prikaz oscilirajuće turbine („riblja peraja“) [11] .....	16
Slika 2.14 Prikaz vodenice [11] .....	17
Slika 2.15 Mirni režim tečenja [17] .....	19
Slika 2.16 Siloviti režim tečenja [17] .....	20
Slika 2.17 Duboki tok [17] .....	20
Slika 2.18 Posebne vrste vodnih turbina [18] .....	24
Slika 2.19 Prikaz Venturi turbine prilikom ugradnje [11] .....	25
Slika 2.20 Prikaz ugrađene Venturi turbine [11] .....	26
Slika 2.21 Prikaz Arhimedove spirale u svojstvu turbine [11] .....	27
Slika 2.22 Prikaz rada Vortex turbine [11] .....	28
Slika 2.23 Prikaz „MAKO Energy“ turbine [21] .....	29
Slika 2.24 Puštanje u pogon Mako turbine [21] .....	30
Slika 2.25 Smart Hydro turbina [22] .....	31
Slika 2.26 Spuštanje Smart Hydro turbine u kanal – Rosenhaim [22] .....	32
Slika 2.27 EnviroGen turbina na rijeci Thanlyin [23] .....	33
Slika 2.28 Prikaz fiksirane i plutajuće turbine serije EnviroGen [23] .....	33
Slika 2.29 EnviroGen turbina u Chilla kanalu – Indija [23] .....	34
Slika 2.30 Idenergie riječna turbina [24] .....	35

Slika 2.31 RivGen podvodna spiralna turbina [25] .....	37
Slika 2.32 RivGen turbina na rijeci Igiugig – Aljaska [26] .....	38
Slika 2.33 EcoCinetic, Savonius rotor na vertikalnoj osi [27].....	39
Slika 2.34 Waterotor, modificirani Savonius rotor na horizontalnoj osi [27] .....	40
Slika 2.35 Prikaz plutajućeg vodnog kola [28] .....	41
Slika 2.36 Minestro – Leteće krilo [29] .....	43
Slika 2.37 Princip rada Letećeg krila [29].....	44
Slika 3.1 Izvor Rijeke Dobre kod Skrada [30] .....	46
Slika 3.2 Tok rijeke Dobre sa označenim hidroelektranama.....	47
Slika 3.3 Poprečni profil korita hidrološke postaje Luke [2] .....	48
Slika 3.4 Nivogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Luke [32] .....	49
Slika 3.5 Hidrogram rijeke Gornje Dobre za hidrološku postaju Luke [32] .....	50
Slika 3.6 Rekonstruirani prikaz dubina za hidrološku postaju Luke [32] .....	51
Slika 3.7 Poprečni profil korita hidrološke postaje Turkovići [32] .....	52
Slika 4.1 Gornji tok rijeke Dobre sa označenim mjernim postajama „Turkovići“ i „Luke“ [33] .....	56
Slika 4.2 Hidrološka postaja Luke [34].....	57
Slika 4.3 Hidrološka postaja Turkovići [34] .....	57
Slika 4.4 Karta mikrolokacija mjerenja kod hidrološke postaje Luke [33] .....	58
Slika 4.5 Karta mikrolokacija mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići [33].....	58
Slika 4.6 Primjer provođenje mjerenja kod hidrološke postaje Luke [34] .....	59
Slika 4.7 FlowTracker2 – glavne komponente [35] .....	60
Slika 4.8 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 1/3 [34] .....	64
Slika 4.9 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 2/3 [34] .....	65
Slika 4.10 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 3/3 [34] .....	66
Slika 4.11 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 1/3 [34] .....	67
Slika 4.12 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 2/3 [34] .....	68

Slika 4.13 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2021.– str. 3/3 [34] .....	69
Slika 4.14 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 1/3 [34] .....	70
Slika 4.15 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 2/3 [34] .....	71
Slika 4.16 Rezultati prvog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 3/3 [34] .....	72
Slika 4.17 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 1/3 [34] .....	73
Slika 4.18 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 2/3 [34] .....	74
Slika 4.19 Rezultati drugog mjerenja kod hidrološke postaje Luke 2022.– str. 3/3 [34] .....	75
Slika 4.20 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2021.– str. 1/3 [34]	77
Slika 4.21 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2021.– str. 2/3 [34]	78
Slika 4.22 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2021.– str. 3/3 [34]	79
Slika 4.23 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 1/3 [34]	80
Slika 4.24 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 2/3 [34]	81
Slika 4.25 Rezultati mjerenja kod hidrološke postaje Turkovići 2022.– str. 3/3 [34]	82
Slika 5.1 Statistička obrada podataka u Excelu, hidrološka postaja Luke 2014. god	84
Slika 5.2 Prikaz rekonstruiranih dubina kod mjerne postaje Luke za 2014. god .....	86
Slika 5.3 Prikaz dubina na stacionažama u Lukama .....	91
Slika 5.4 Proračun površine poprečnog profila .....	92
Slika 5.5 Prikaz srednjih brzina na stacionažama u Lukama .....	92
Slika 5.6 Proračun srednje brzine vodotoka .....	93
Slika 5.7 Rijeka Gornja Dobra kod hidrološke postaje Luke [34] .....	94
Slika 5.8 Prikaz postojeće konstrukcije za ugradnju vodnog kola [34] .....	94
Slika 5.9 Grafički prikaz vodnog kola na postojećoj konstrukciji .....	95
Slika 5.10 Grafički prikaz Venturi turbine .....	95
Slika 5.11 Grafički prikaz Envirogen turbine na postojećoj podlozi .....	96
Slika 5.12 Grafički prikaz Idenergie vodne turbine .....	96

Slika 5.13 Grafički prikaz Waterotor – modificirani savonius rotor .....	96
Slika 5.14 Grafički prikaz „Portable Floating Pico-Hydro“ turbine .....	97
Slika 6.1 Uvid u promjene poprečnog presjeka na mjernoj postaji Luke [34].....	99



## 10 Popis tablica

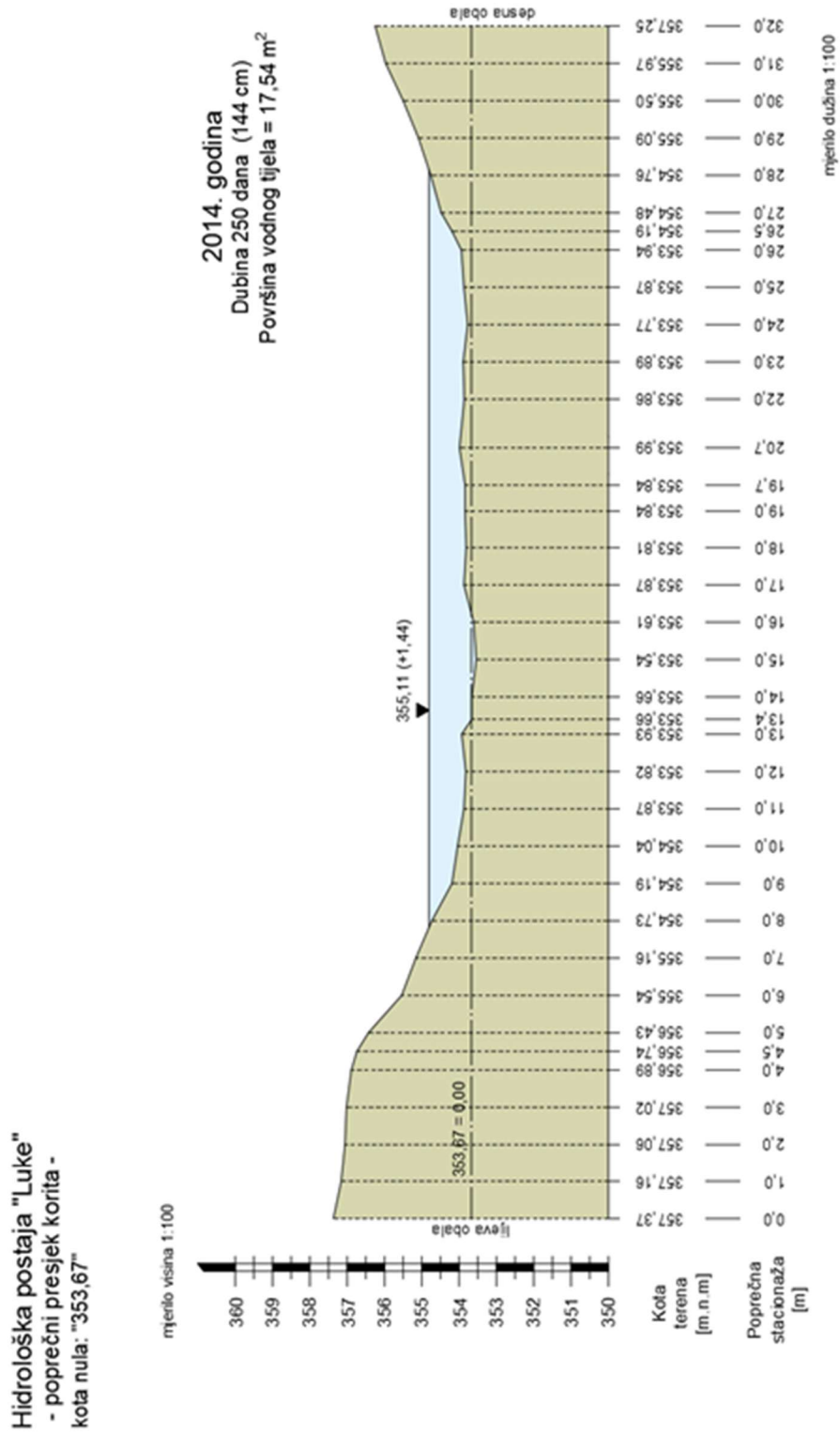
Tablica 5.1 <i>Statistička obrada podataka - hidrološka postaja Luke i Turkovići</i> .....	85
Tablica 5.2 <i>Prikaz proračunatih površina i brzina – hidrološka postaja „Luke</i> .....	87
Tablica 5.3 <i>Prikaz proračunatih površina i brzina– hidrološka postaja „Turkovići“</i> .....	87
Tablica 5.4 <i>Prikaz proračunatih potencijala (potencijalna energija) – „Luke“</i> .....	88
Tablica 5.5 <i>Prikaz proračunatih potencijala (potencijalna energija) – „Turkovići“</i> .....	88
Tablica 5.6 <i>Prikaz proračunatih potencijala (kinetička energija) – „Luke“</i> .....	89
Tablica 5.7 <i>Prikaz proračunatih potencijala (kinetička energija) – „Turkovići“</i> .....	89
Tablica 5.8 <i>Obradeni podaci za hidrološku postaju Luke</i> .....	90

## 11 Popis priloga

<i>Prilog 12.1 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2014. god.....</i>	112
<i>Prilog 12.2 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2015. god .....</i>	113
<i>Prilog 12.3 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2016. god .....</i>	114
<i>Prilog 12.4 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2017. god .....</i>	115
<i>Prilog 12.5 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2018. god .....</i>	116
<i>Prilog 12.6 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2019. god .....</i>	117
<i>Prilog 12.7 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2020. god .....</i>	118
<i>Prilog 12.8 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2021. god .....</i>	119
<i>Prilog 12.9 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2022. god .....</i>	120
<i>Prilog 12.10 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2023. god .....</i>	121
<i>Prilog 12.11 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2014. god. ....</i>	122
<i>Prilog 12.12 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2015. god. ....</i>	123
<i>Prilog 12.13 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2016. god. ....</i>	124
<i>Prilog 12.14 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2017. god. ....</i>	125
<i>Prilog 12.15 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2018. god. ....</i>	126
<i>Prilog 12.16 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2019. god. ....</i>	127
<i>Prilog 12.17 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2020. god. ....</i>	128
<i>Prilog 12.18 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2021. god. ....</i>	129
<i>Prilog 12.19 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2022. god. ....</i>	130
<i>Prilog 12.20 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2023. god. ....</i>	131
<i>Prilog 12.21 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke: 2014. – 2023 god.</i>	132
<i>Prilog 12.22 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2014. god...</i>	133
<i>Prilog 12.23 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2015. god...</i>	134
<i>Prilog 12.24 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2016. god...</i>	135
<i>Prilog 12.25 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2017. god...</i>	136
<i>Prilog 12.26 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2018. god...</i>	137
<i>Prilog 12.27 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2019. god...</i>	138
<i>Prilog 12.28 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2020. god...</i>	139
<i>Prilog 12.29 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2021. god...</i>	140
<i>Prilog 12.30 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2022. god...</i>	141

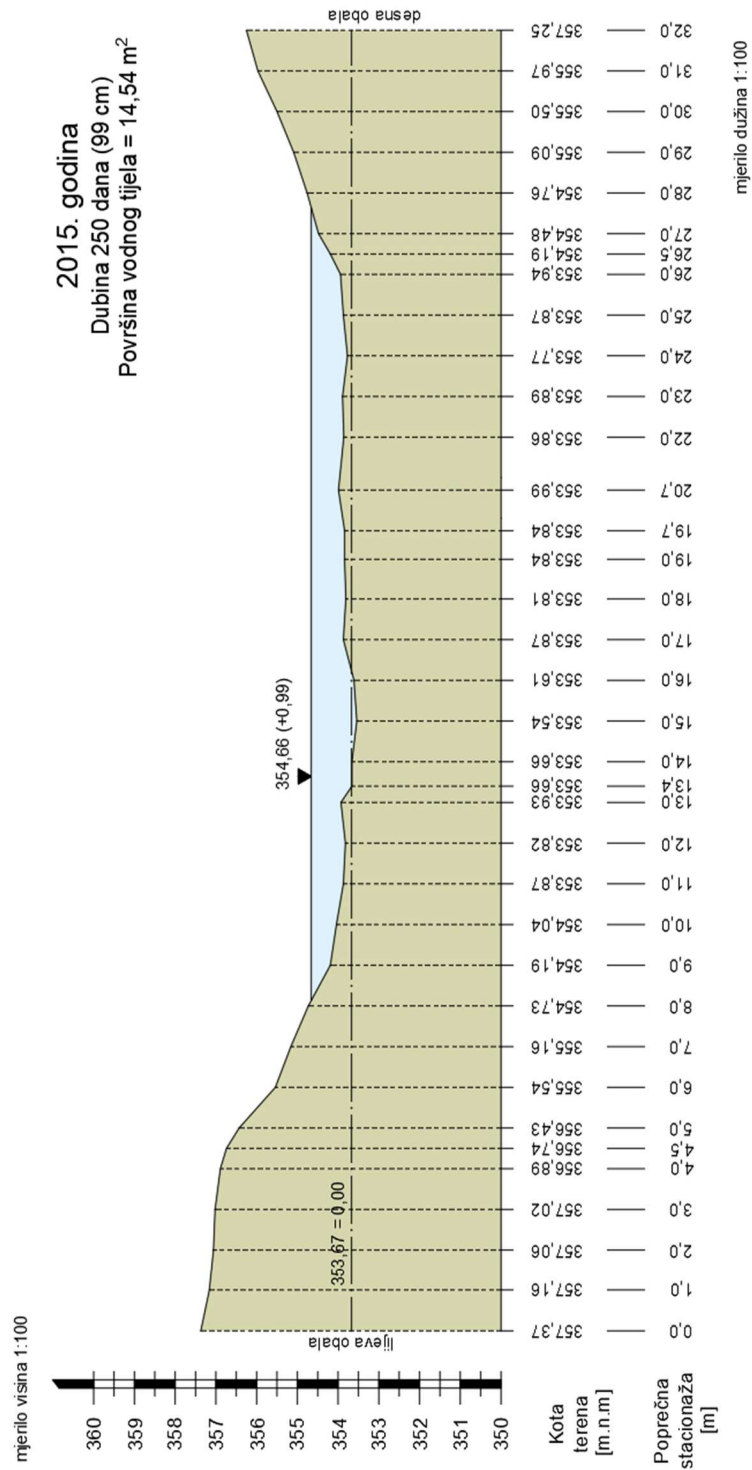
<i>Prilog 12.31 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2023. god...</i>	142
<i>Prilog 12.32 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2014. god....</i>	143
<i>Prilog 12.33 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2015. god....</i>	144
<i>Prilog 12.34 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2016. god....</i>	145
<i>Prilog 12.35 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2017. god....</i>	146
<i>Prilog 12.36 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2018. god....</i>	147
<i>Prilog 12.37 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2019. god....</i>	148
<i>Prilog 12.38 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2020. god....</i>	149
<i>Prilog 12.39 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2021. god....</i>	150
<i>Prilog 12.40 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2022. god....</i>	151
<i>Prilog 12.41 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2023. god....</i>	152
<i>Prilog 12.42 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići 2014 - 2023. god</i> .....	153

## 12 Prilozi



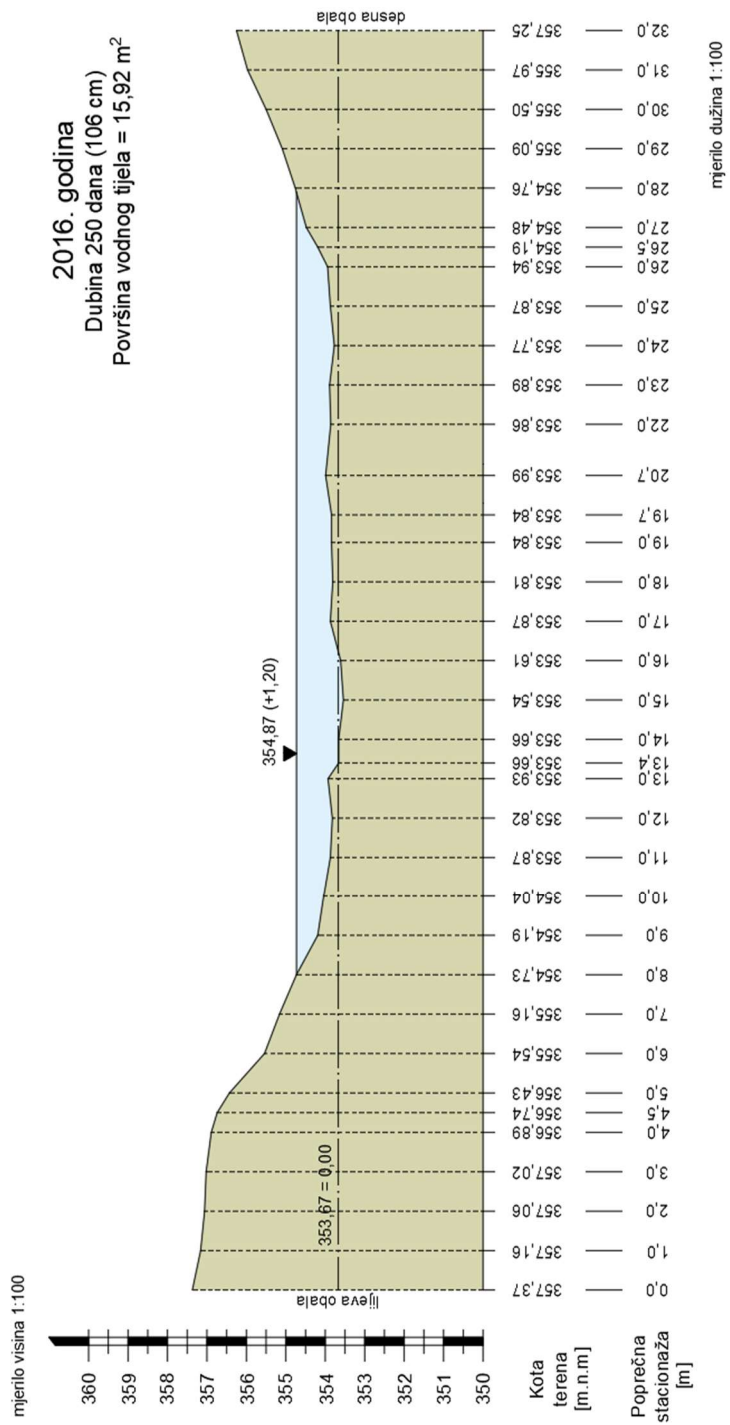
Prilog 12.1 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2014. god

Hidrološka postaja "Luke"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



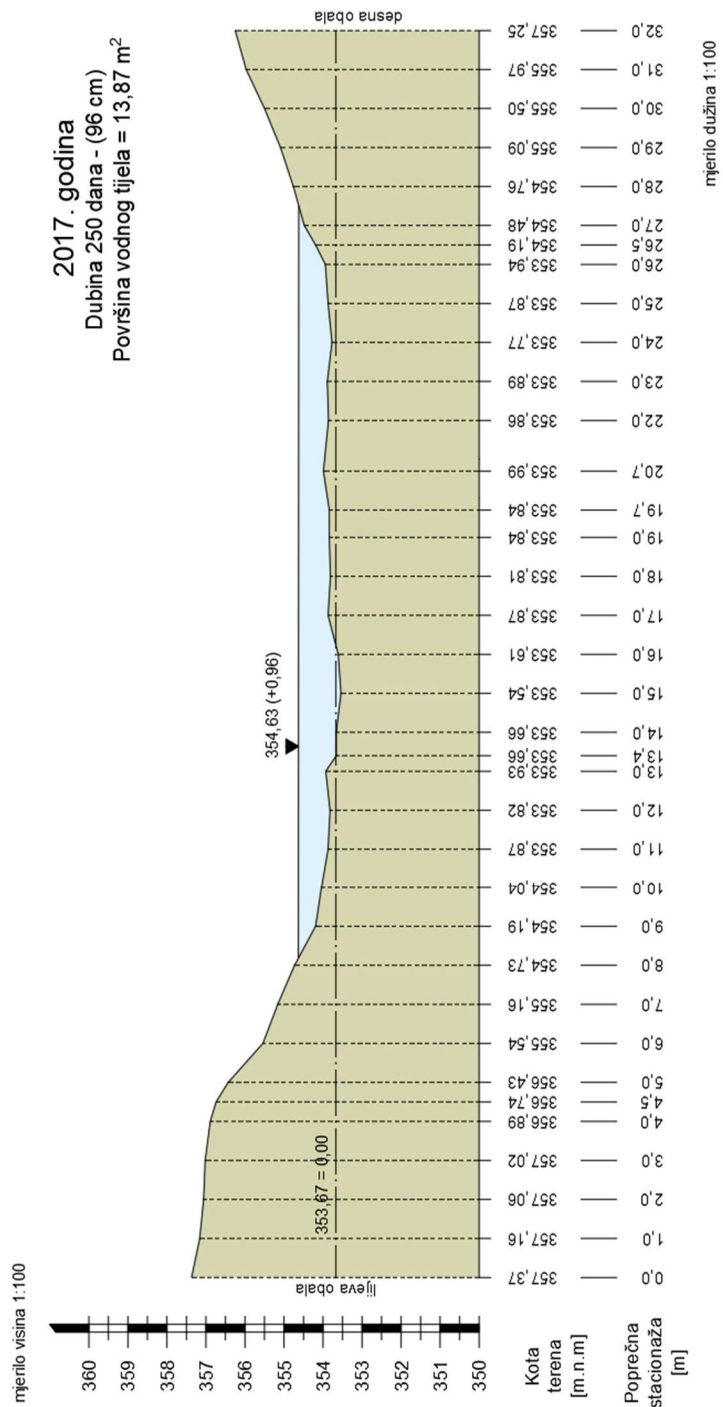
Prilog 12.2 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2015. god

**Hidrološka postaja "Luke"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



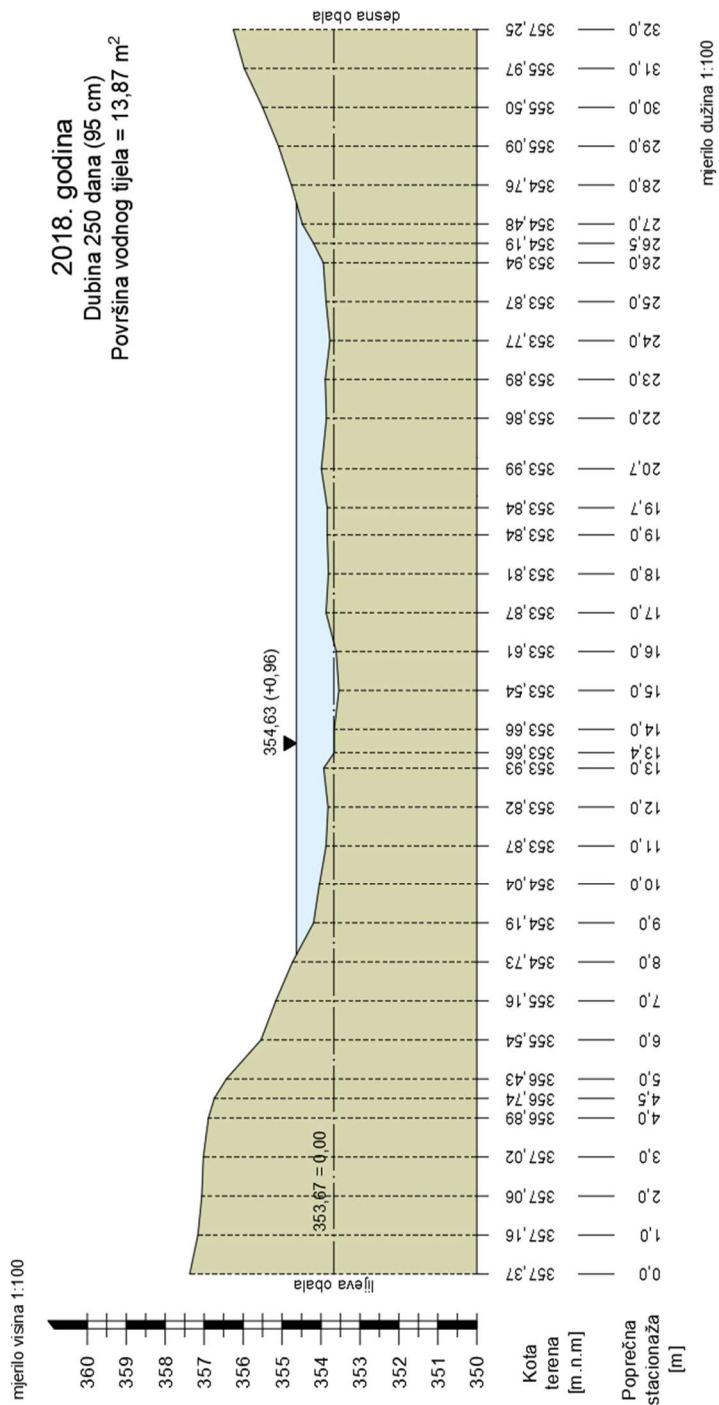
**Prilog 12.3** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2016. god

Hidrološka postaja "Luke"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



Prilog 12.4 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2017. god

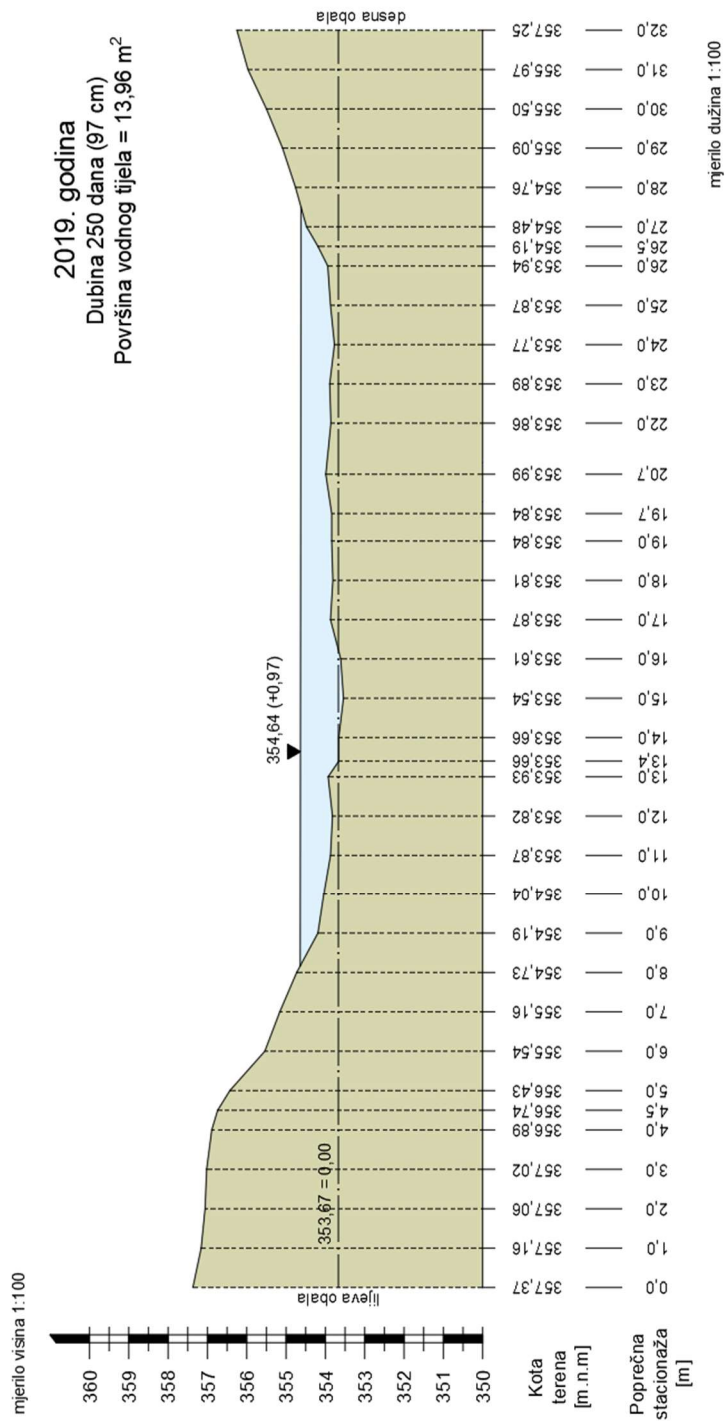
Hidrološka postaja "Luke"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



Prilog 12.5 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2018. god

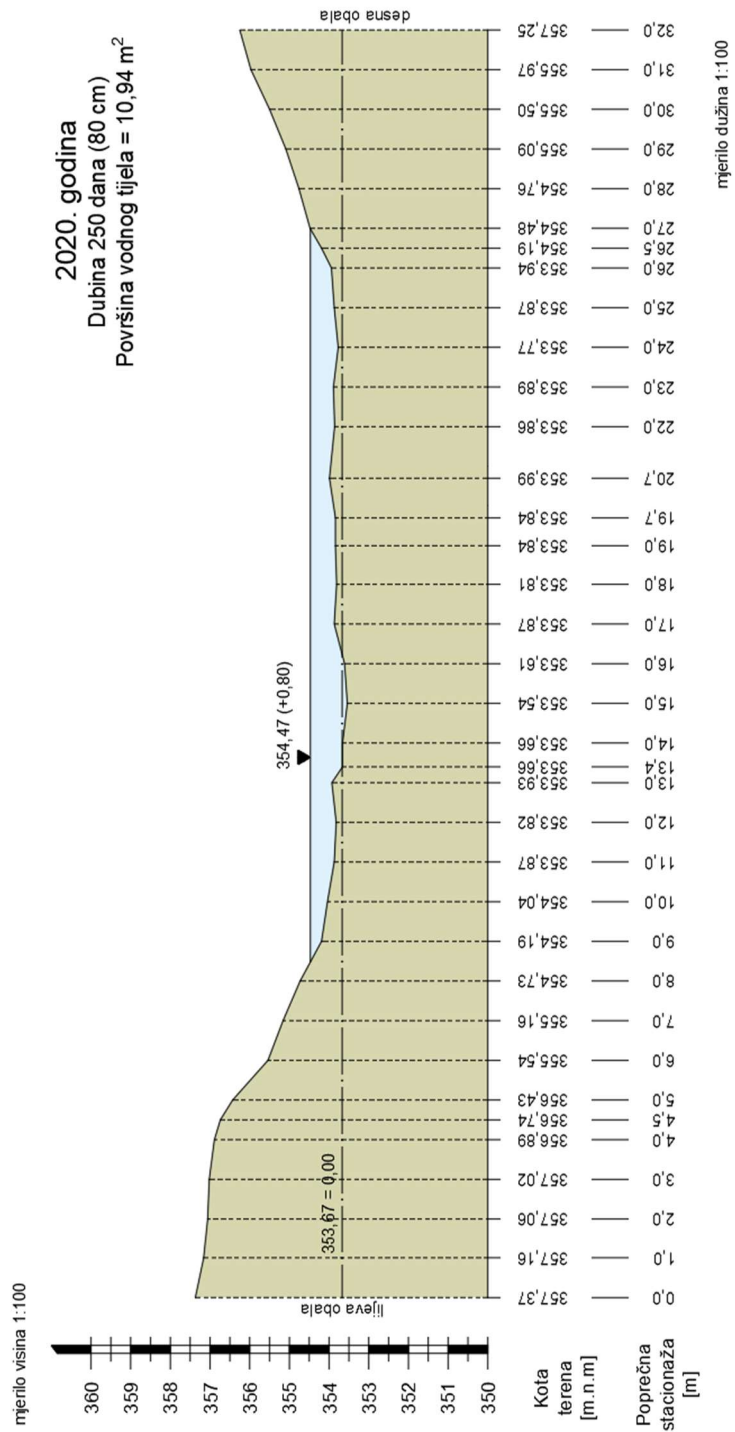


Hidrološka postaja "Luke"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



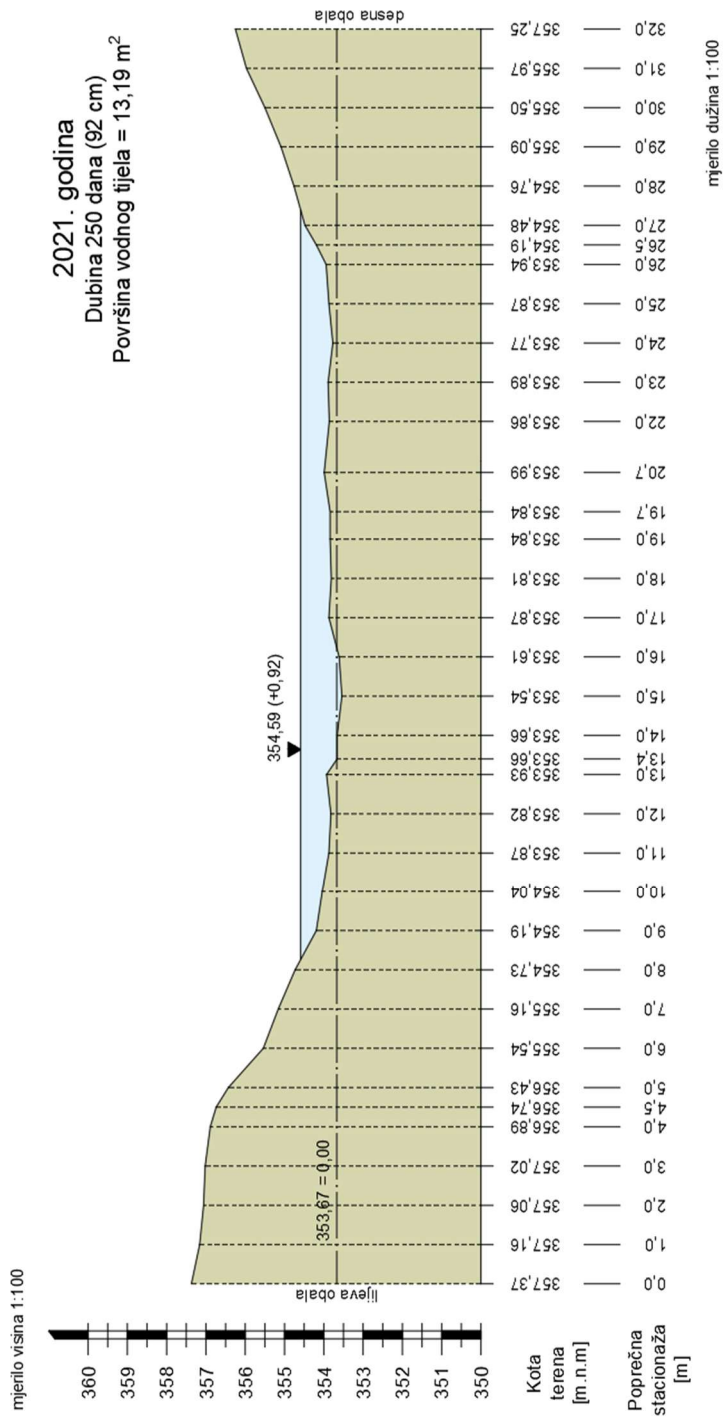
Prilog 12.6 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2019. god

**Hidrološka postaja "Luke"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



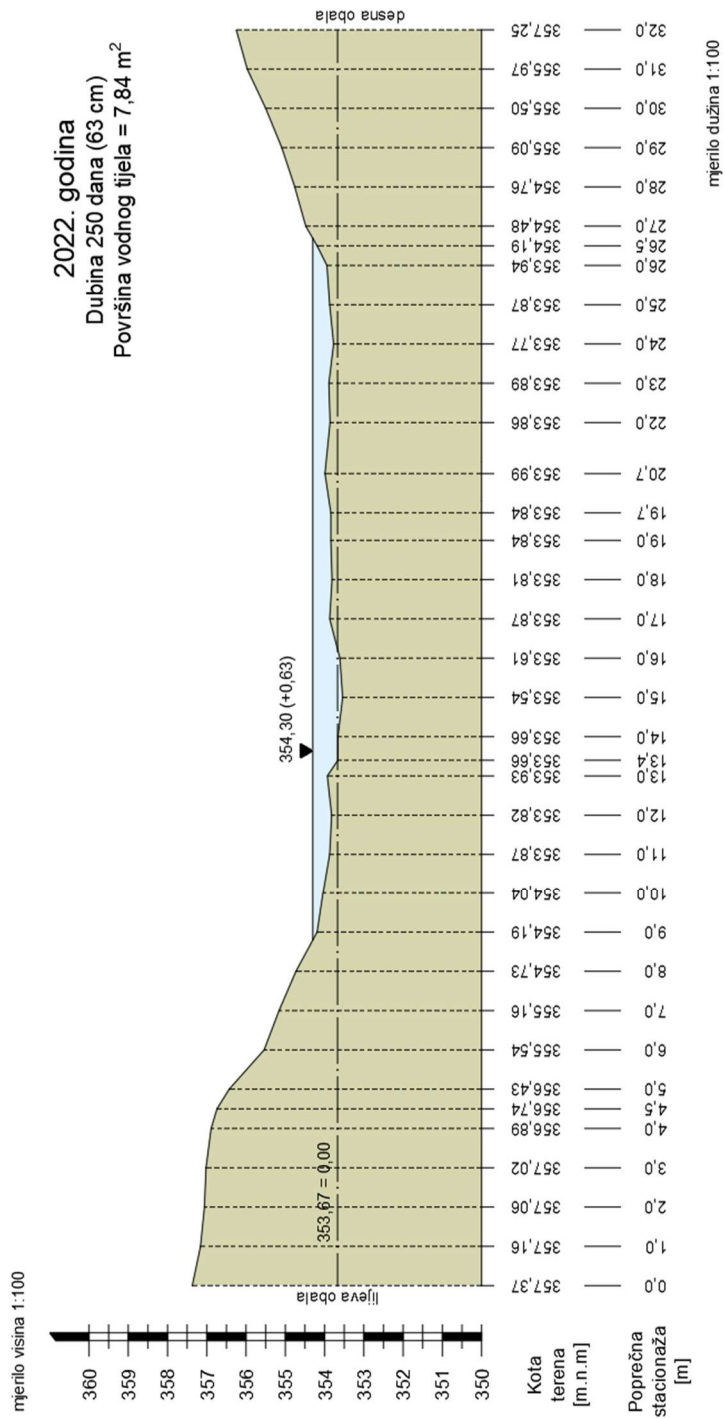
**Prilog 12.7** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2020. god

**Hidrološka postaja "Luke"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



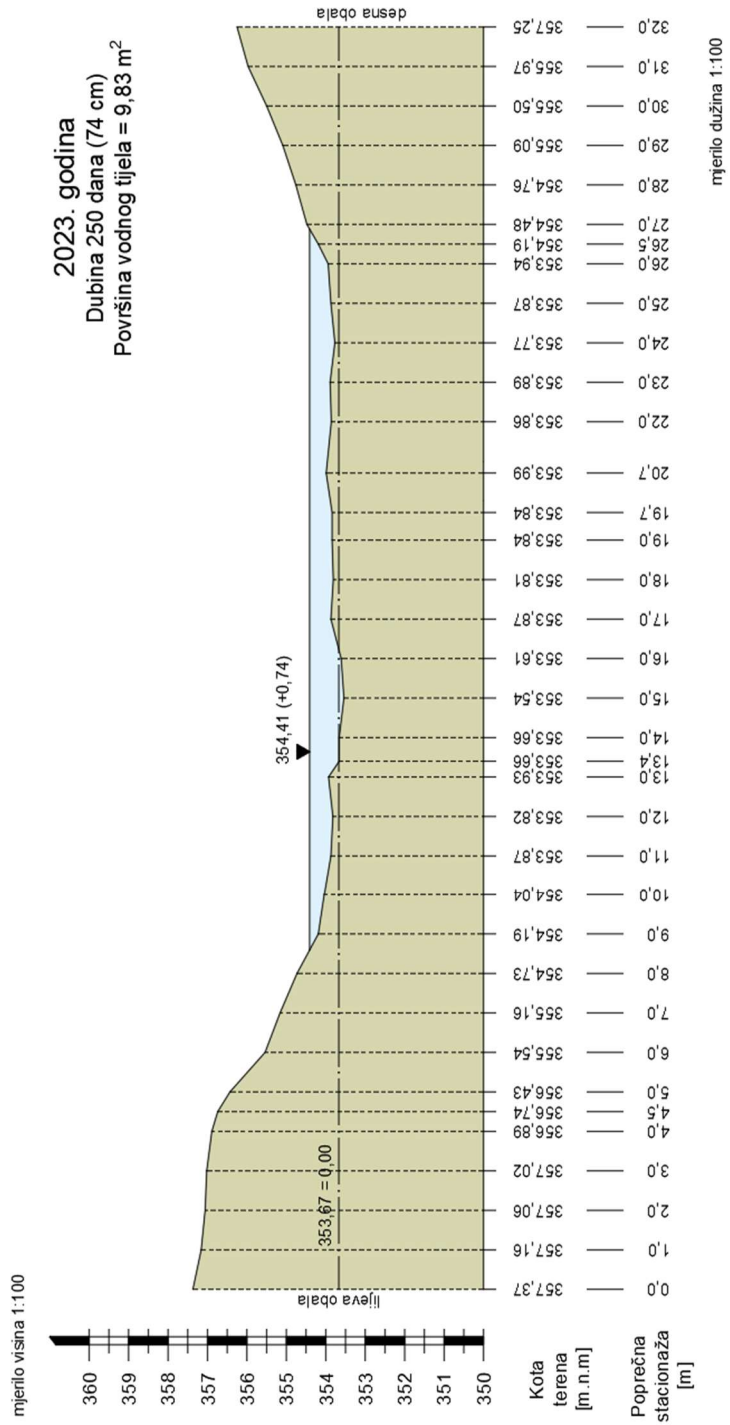
**Prilog 12.8 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2021. god**

**Hidrološka postaja "Luke"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



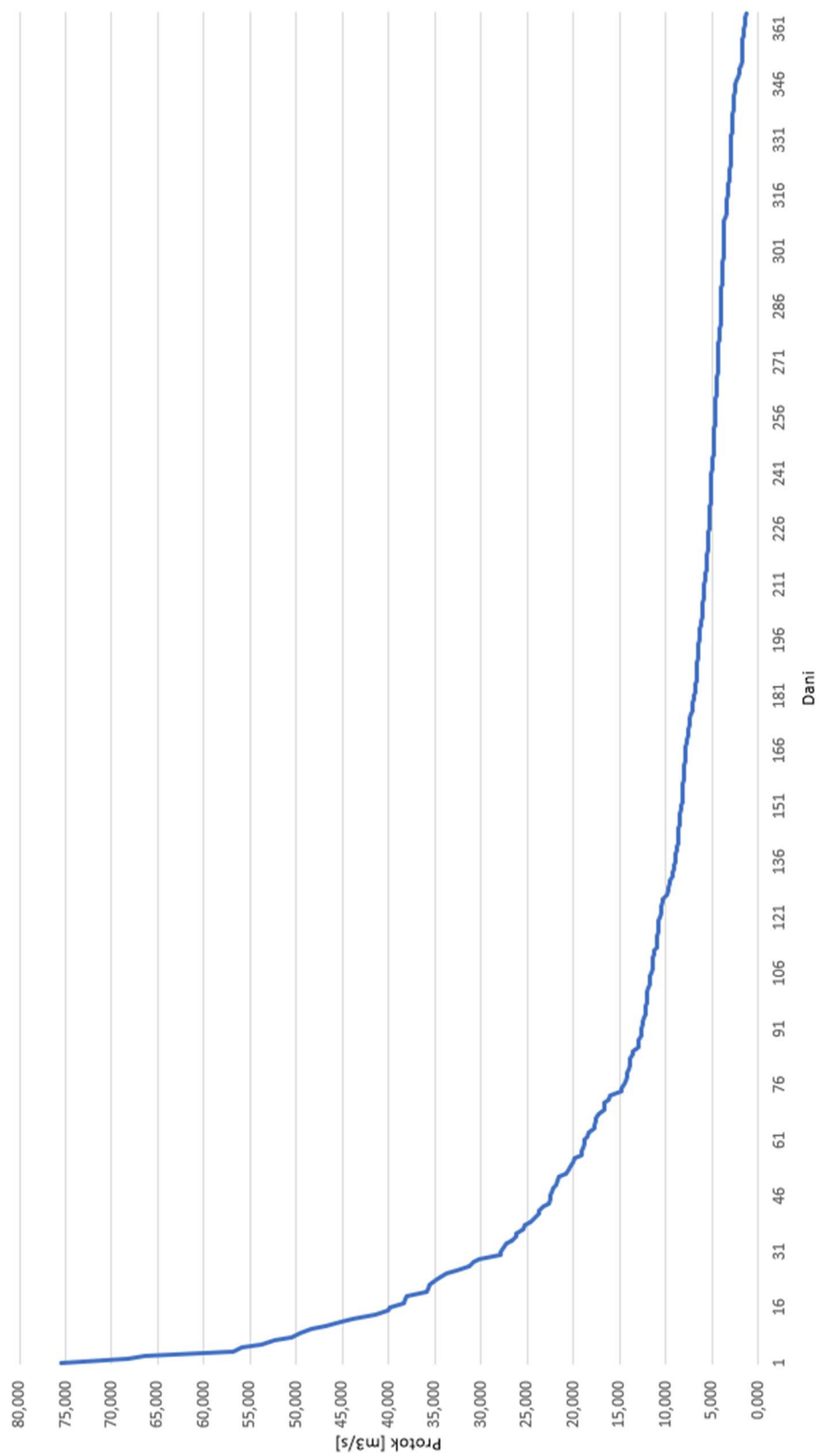
**Prilog 12.9 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2022. god**

Hidrološka postaja "Luke"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "353,67"



Prilog 12.10 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Luke – 2023. god

Mjerna postaja: Luke, 2014. godina - krivulja trajanja



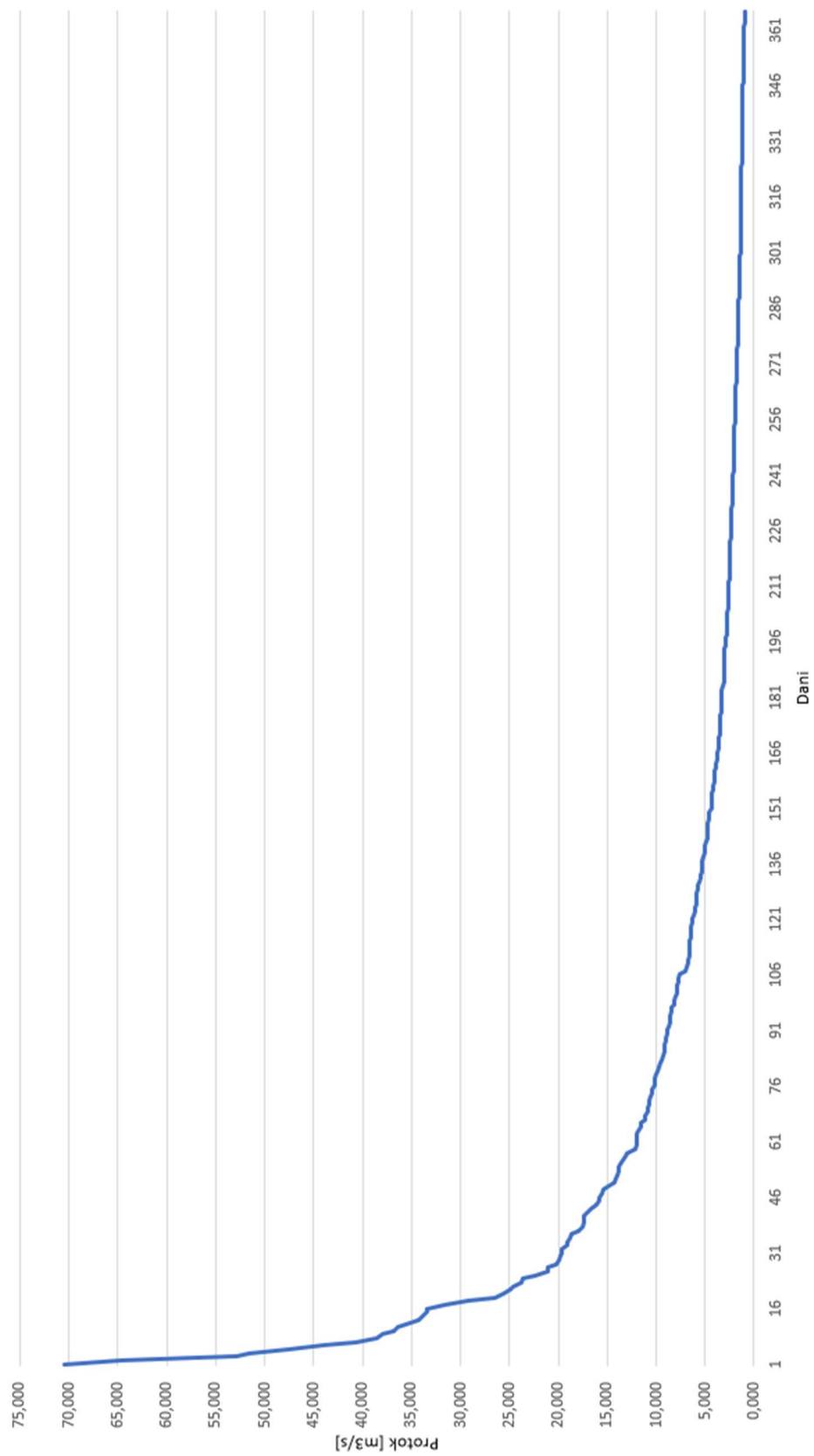
Prilog 12.11 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2014. god.

Mjerna postaja: Luke, 2015. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.12 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2015. god.

Mjerna postaja: Luke, 2016. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.13 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2016. god.

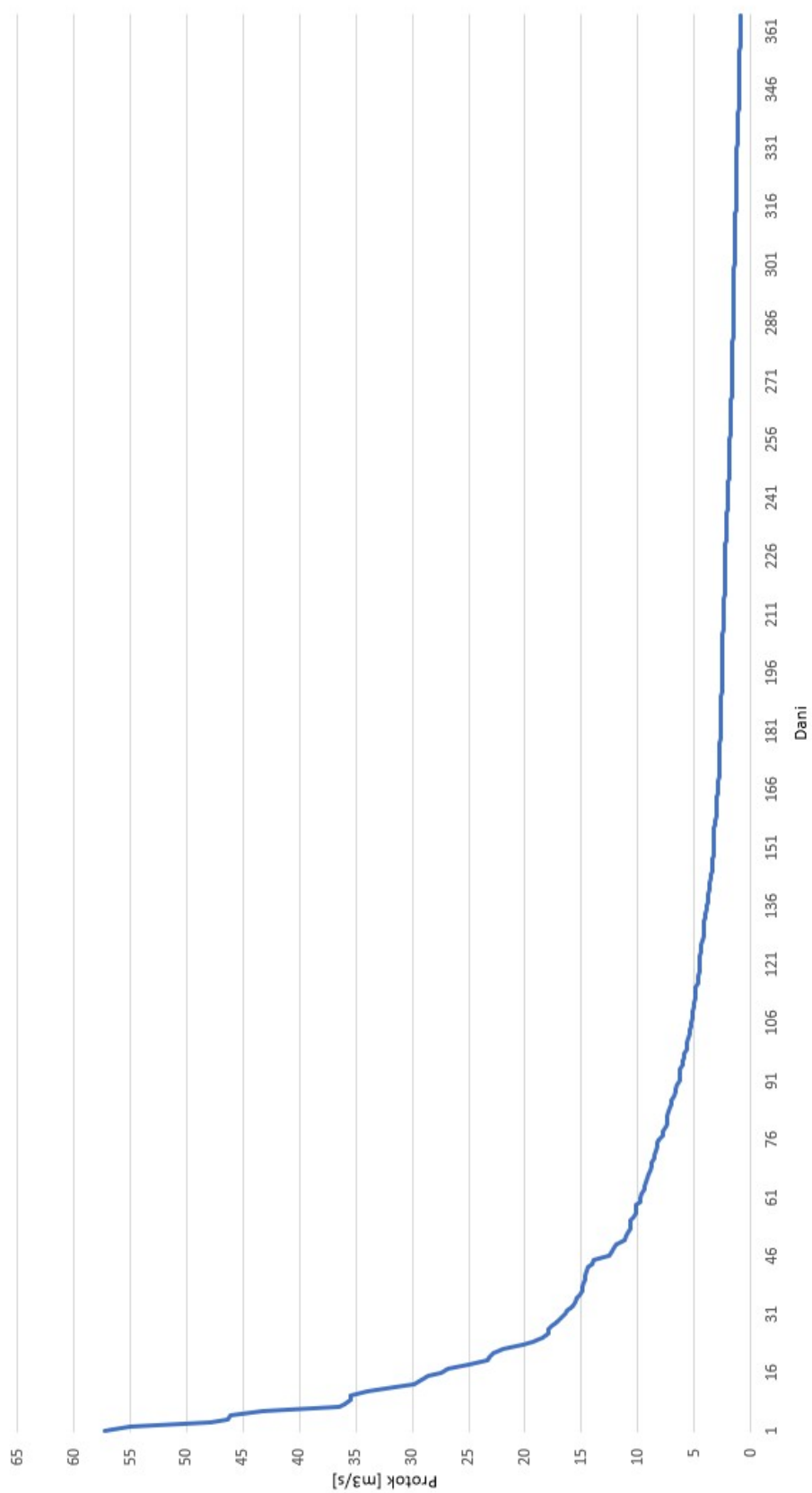


Mjerna postaja: Luke, 2017. godina - krivulja trajanja



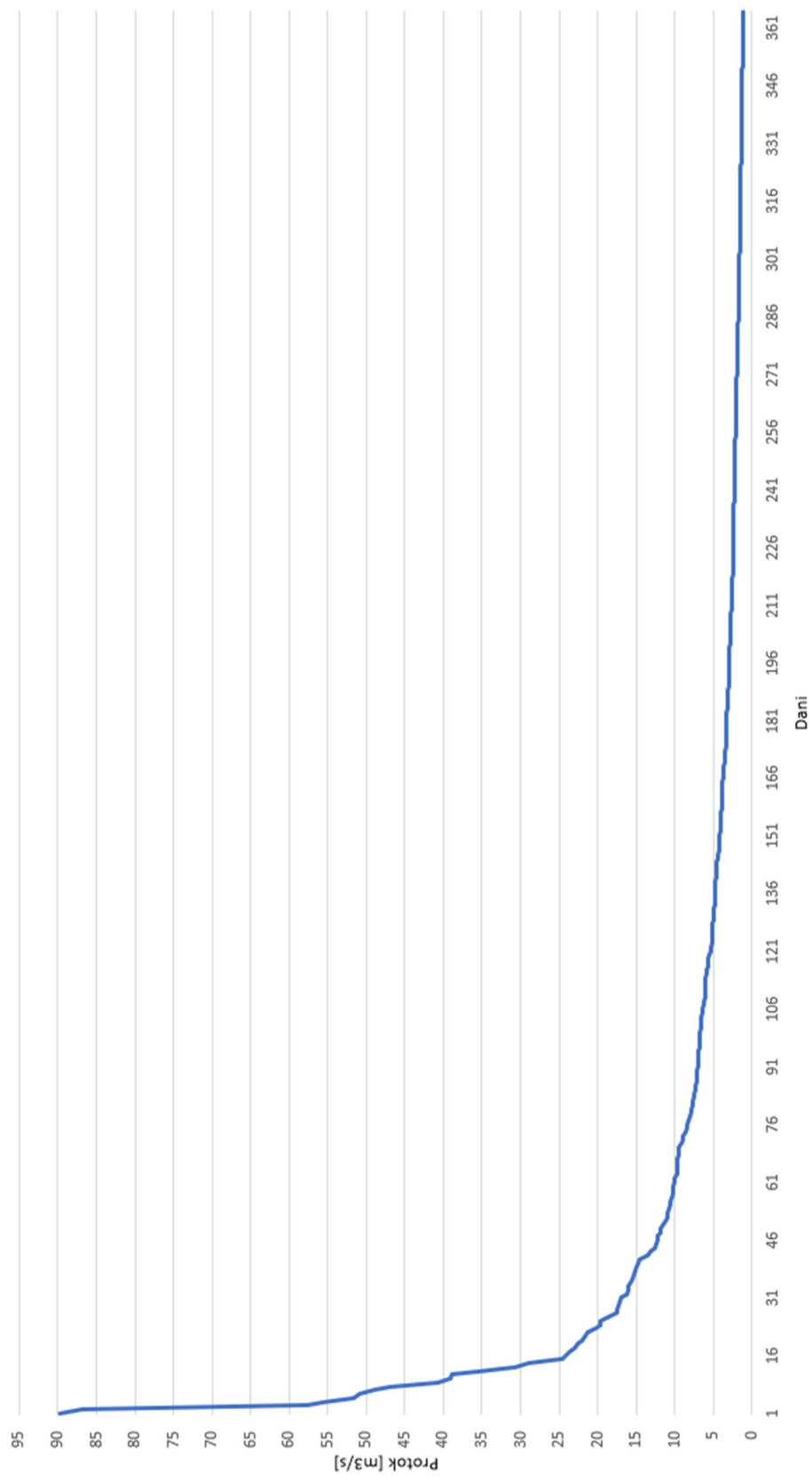
Prilog 12.14 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2017. god.

Mjerna postaja: Luke, 2018. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.15 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2018. god.

Mjerna postaja: Luke, 2019. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.16 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2019. god.

Mjerna postaja: Luke, 2020. godina - krivulja trajanja



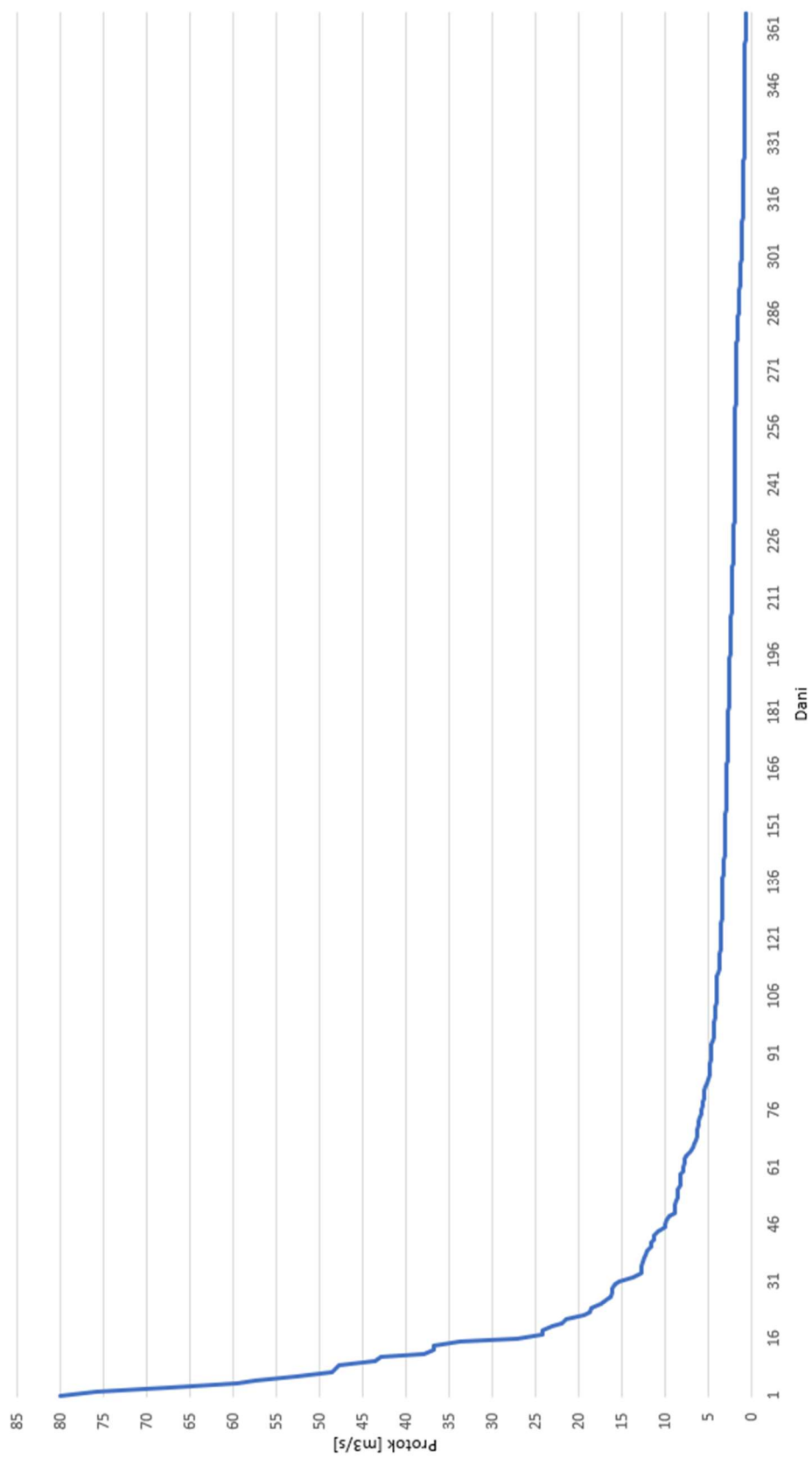
**Prilog 12.17** Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2020. god.

Mjerna postaja: Luke, 2021. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.18 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2021. god.

Mjerna postaja: Luke, 2022. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.19 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2022. god.

Mjerna postaja: Luke, 2023. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.20 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke – 2023. god.

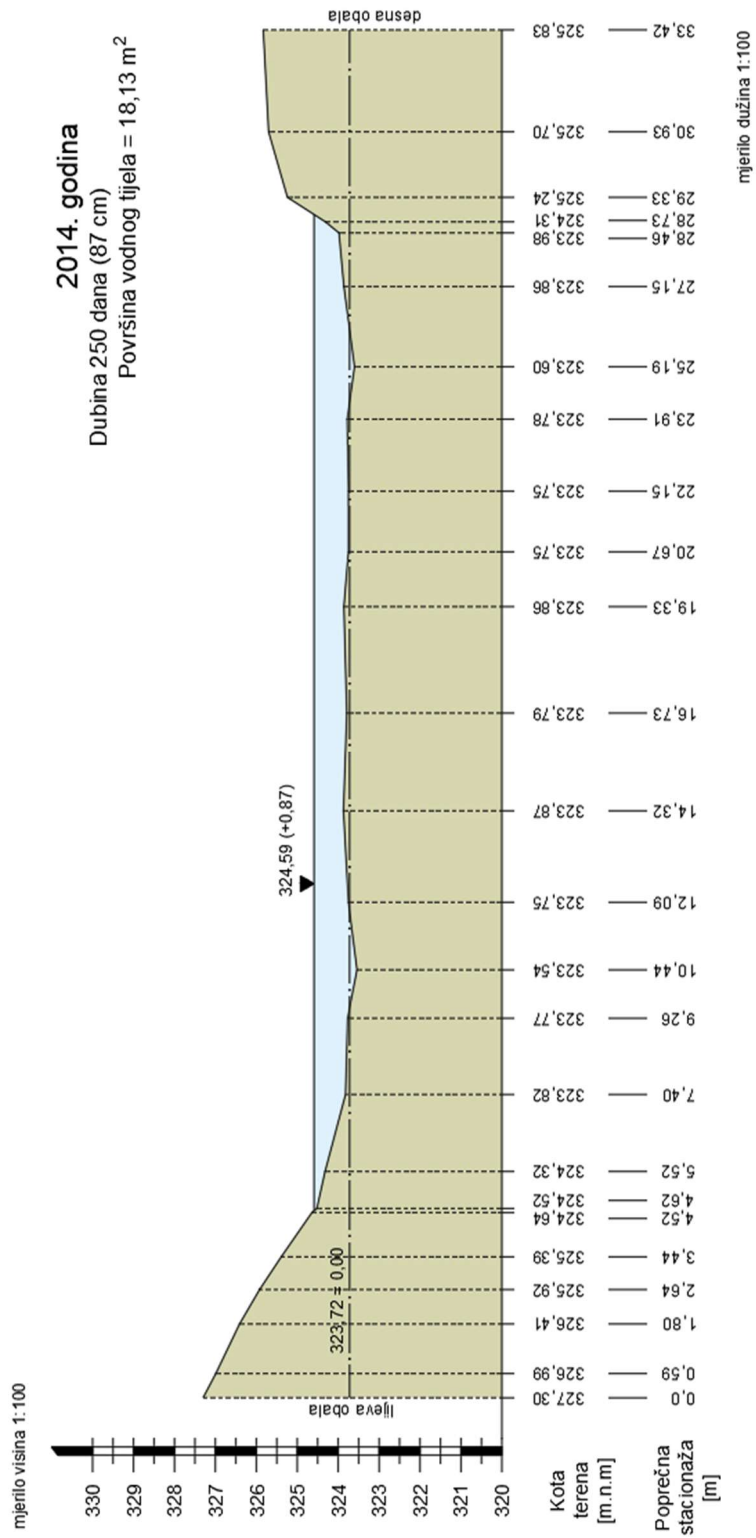
Mjerna postaja: Luke, 2014. - 2023. - krivulja trajanja



Prilog 12.21 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Luke: 2014. – 2023 god.

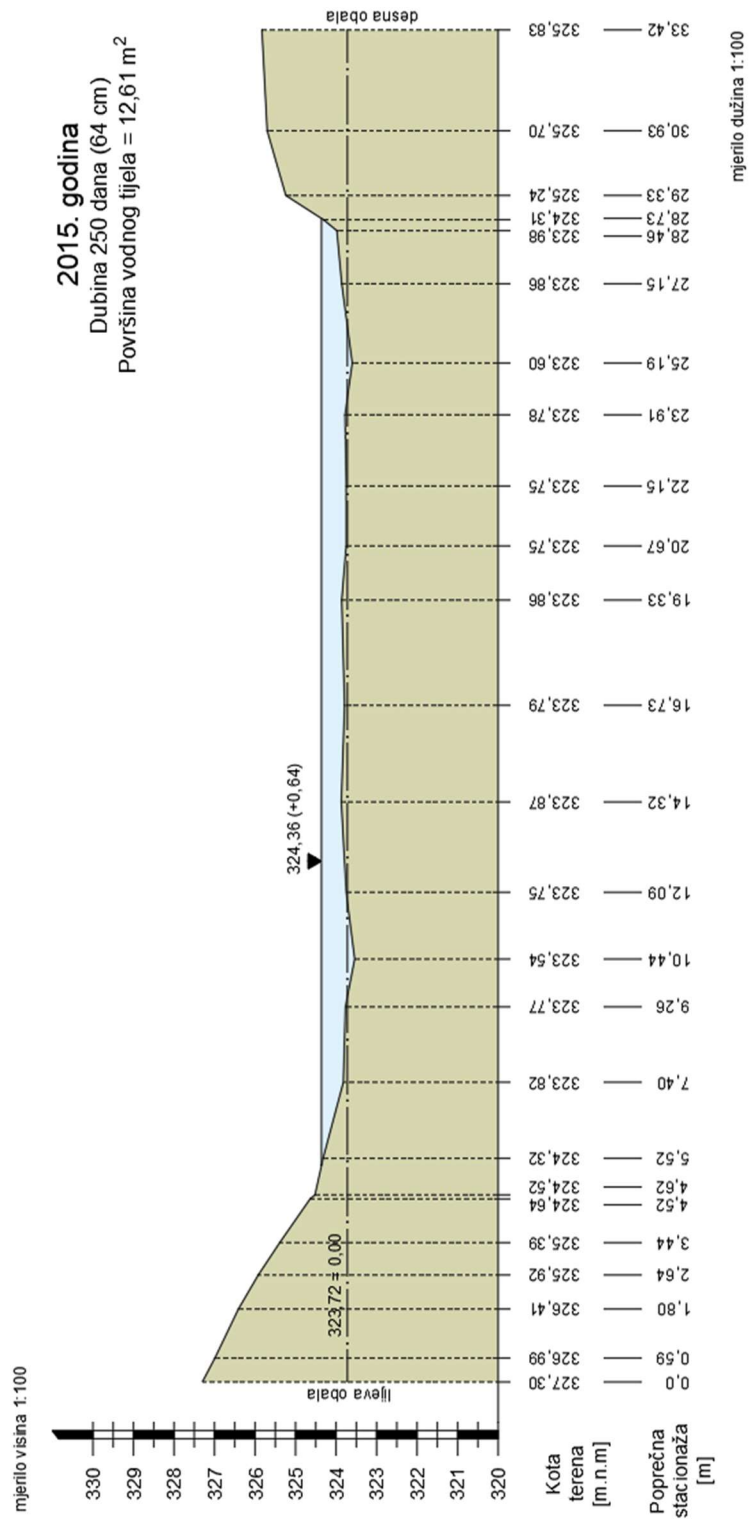


**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 koča nula: "323,72"



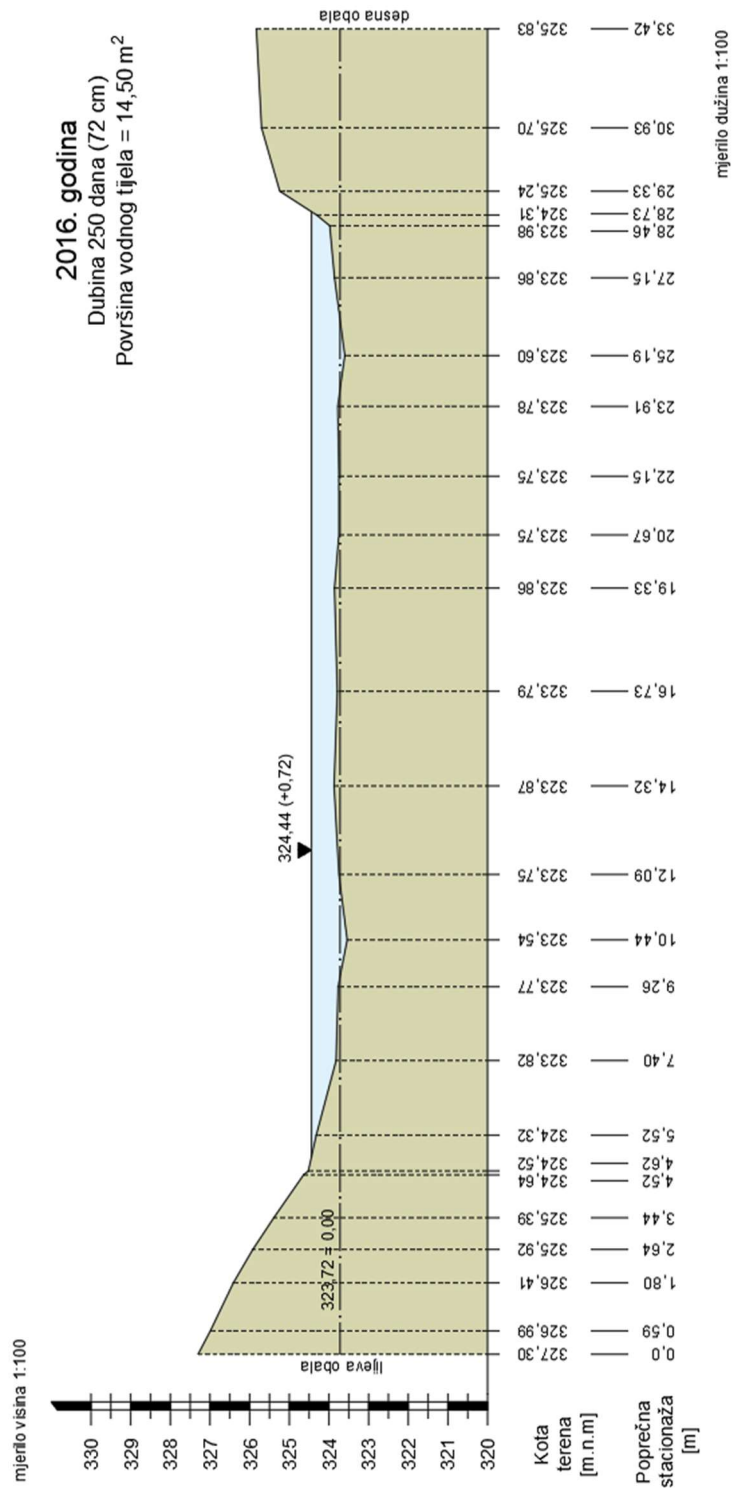
**Prilog 12.22** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2014. god

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



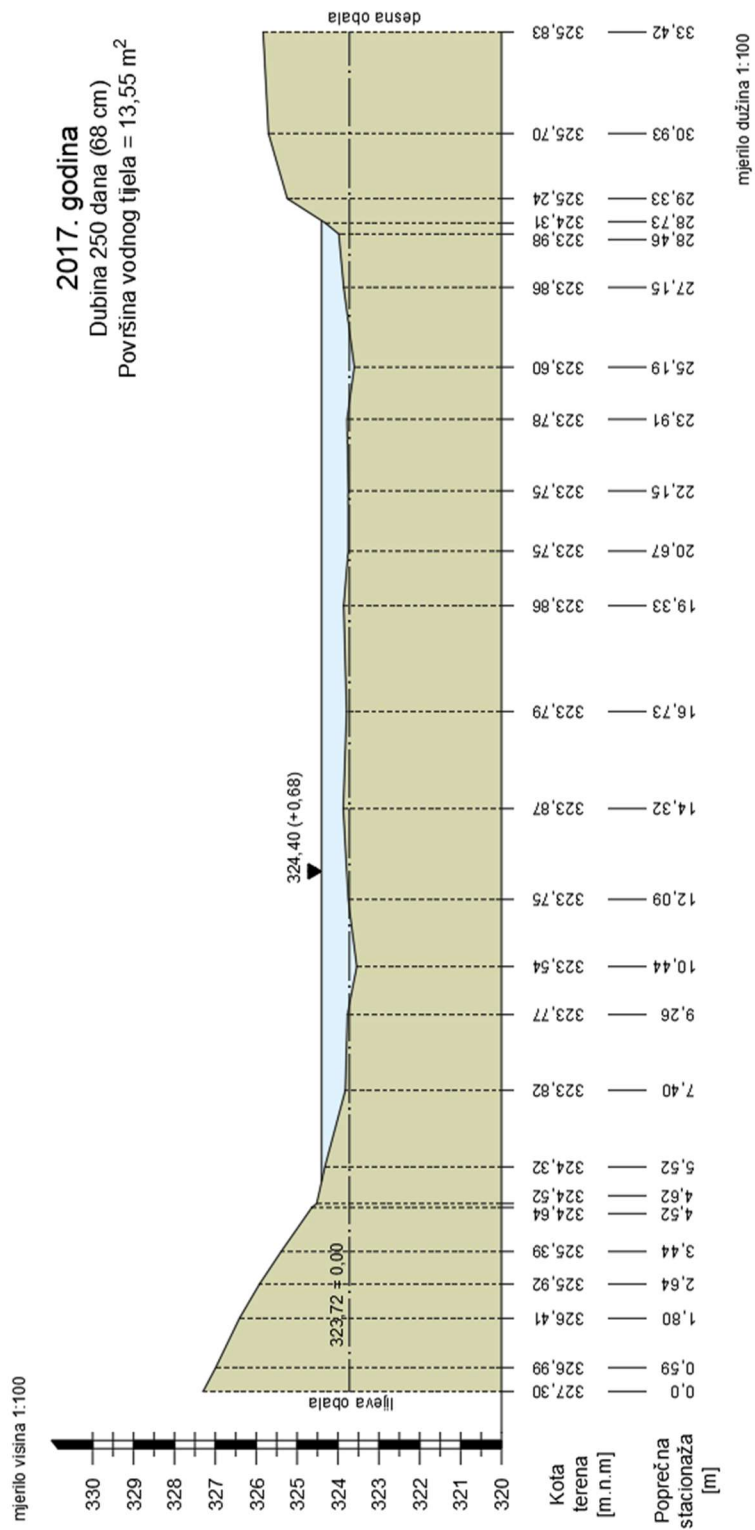
**Prilog 12.23** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2015. god

Hidrološka postaja "Turkovići"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



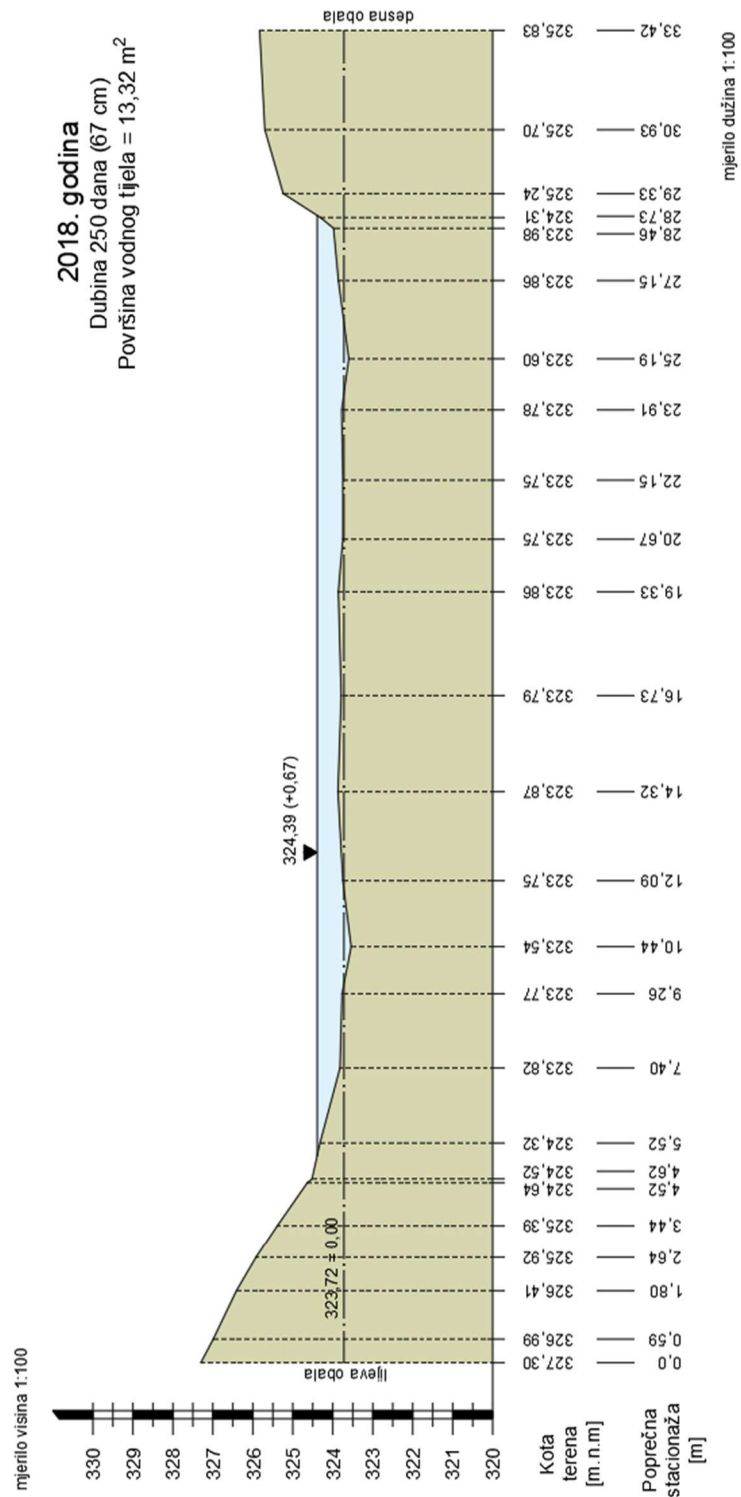
Prilog 12.24 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2016. god

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



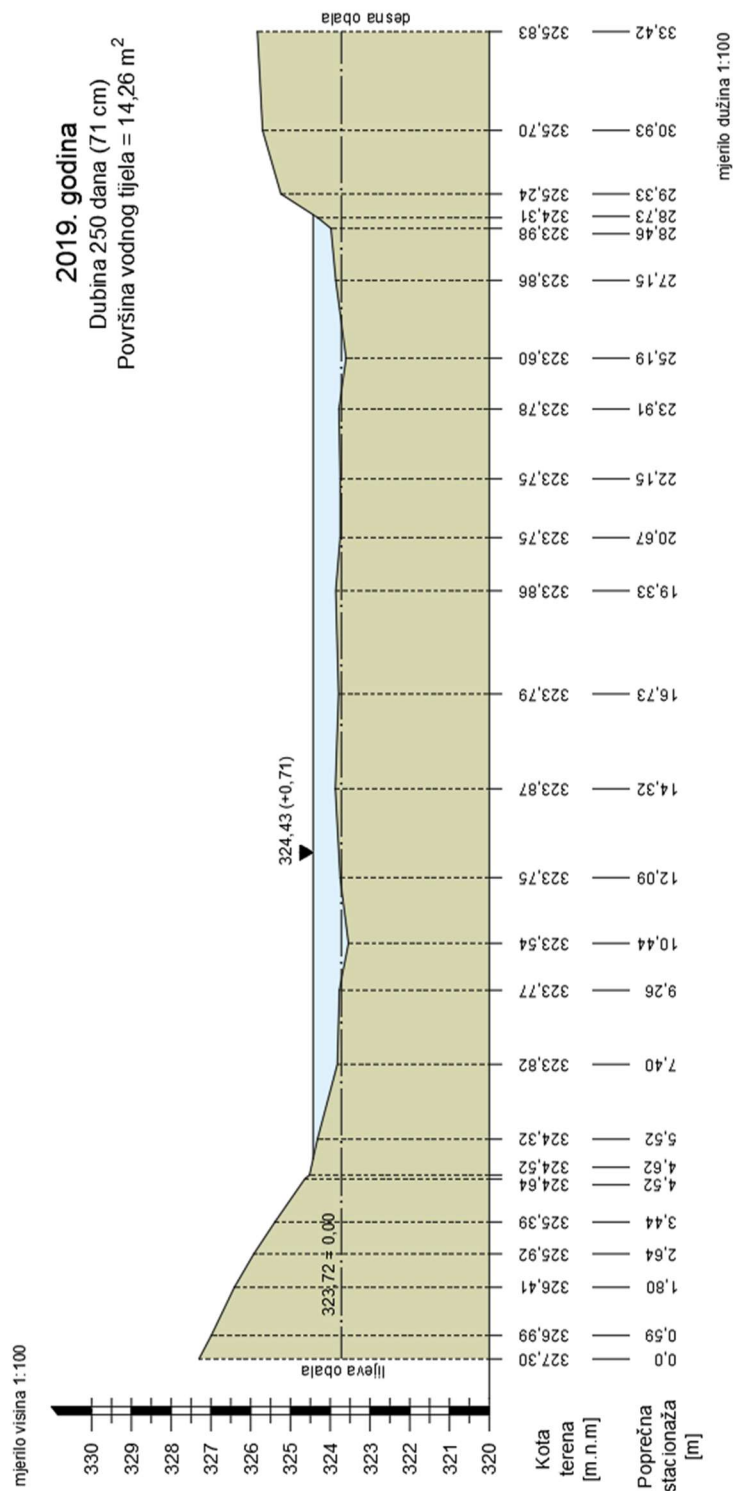
**Prilog 12.25** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2017. god

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



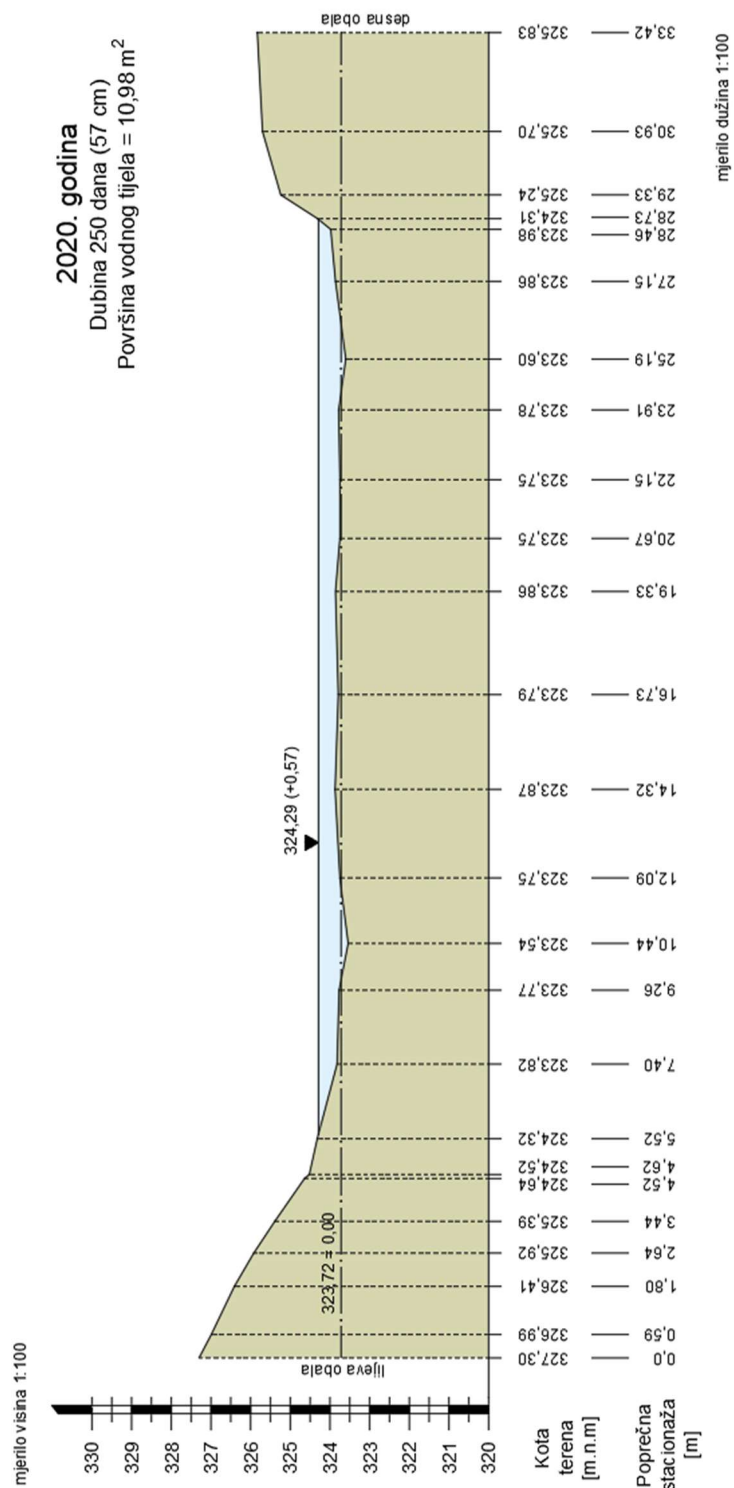
**Prilog 12.26** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2018. god

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



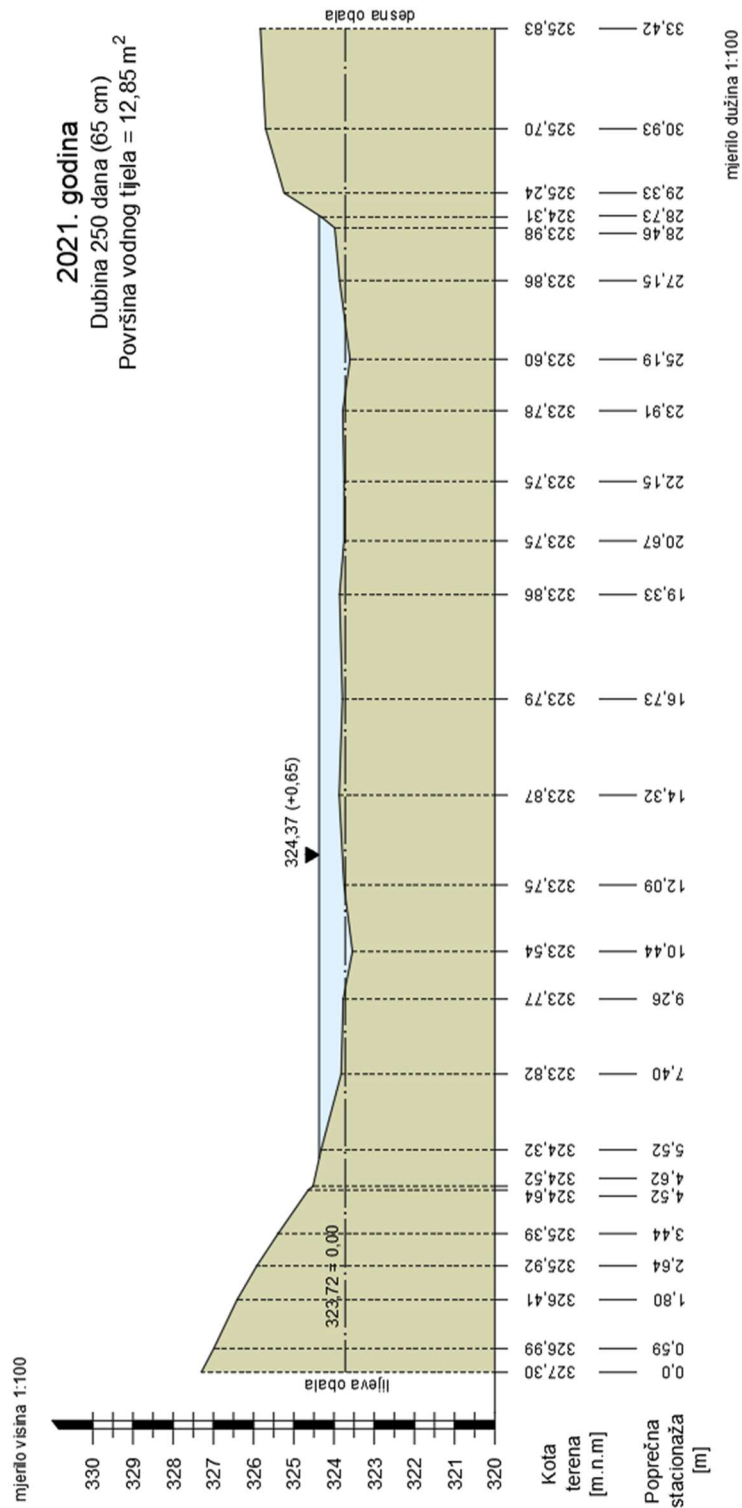
*Prilog 12.27 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2019. god*

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



**Prilog 12.28** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2020. god

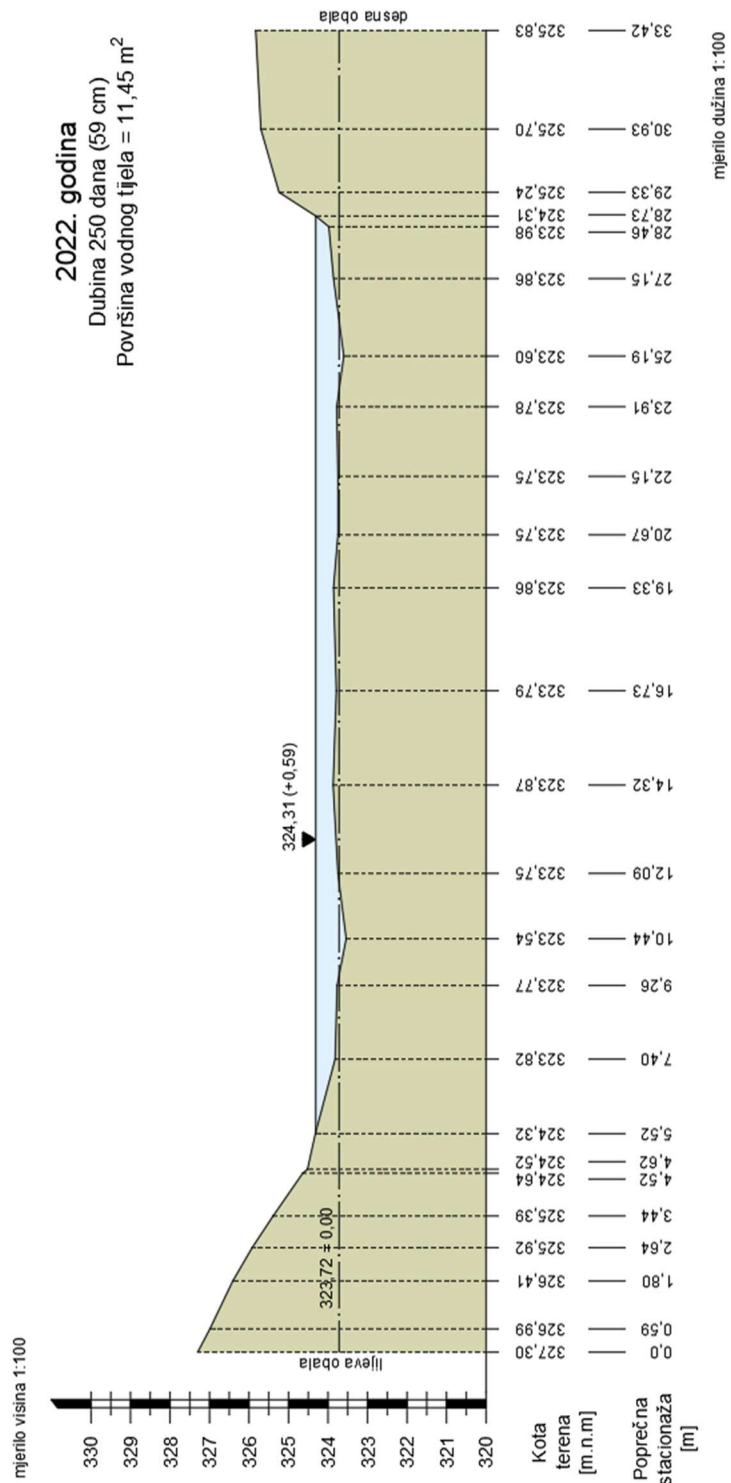
**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



**Prilog 12.29** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2021. god

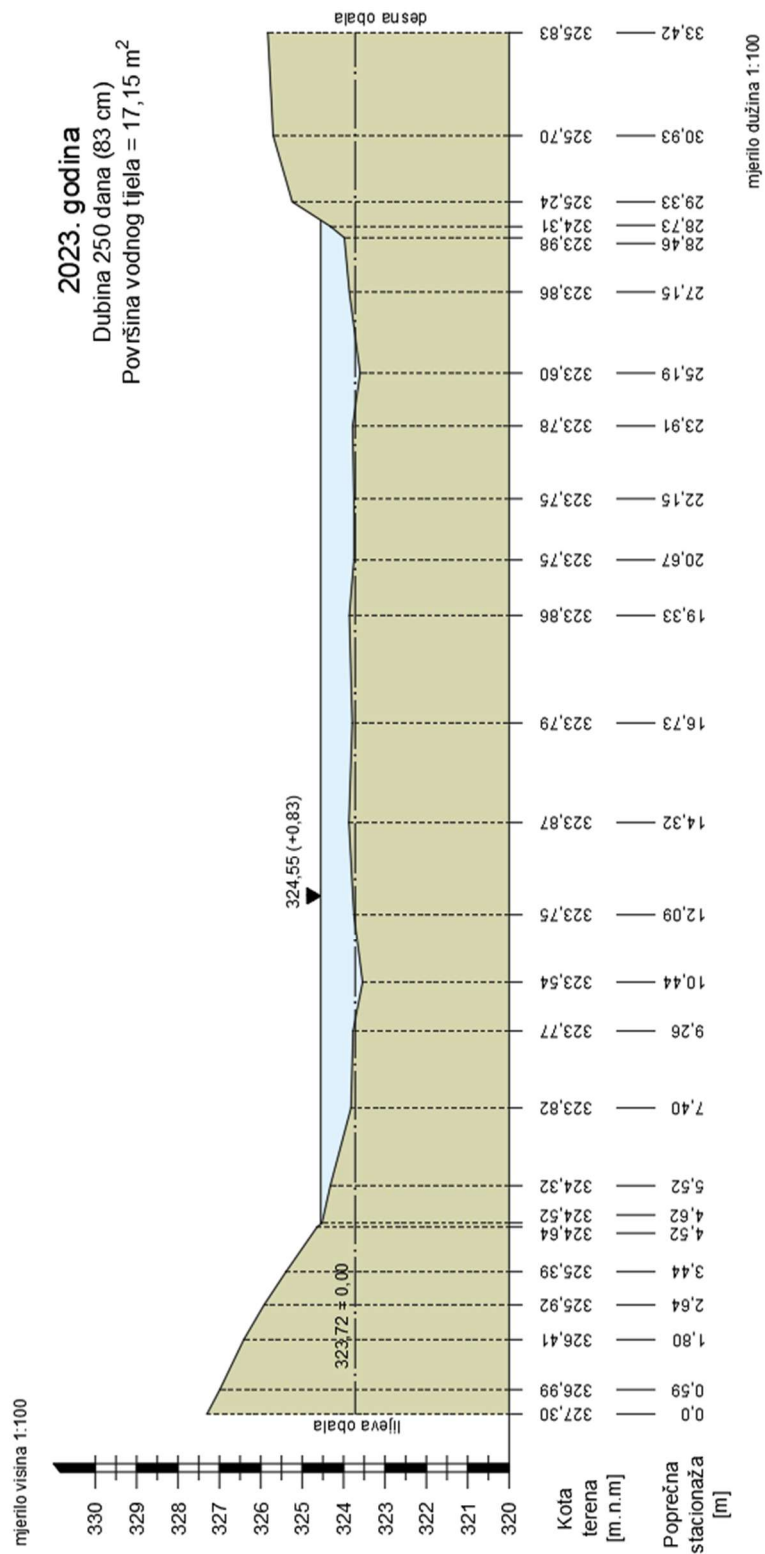


Hidrološka postaja "Turkovići"  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



Prilog 12.30 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2022. god

**Hidrološka postaja "Turkovići"**  
 - poprečni presjek korita -  
 kota nula: "323,72"



**Prilog 12.31** Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Turkovići – 2023. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2014. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.32 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2014. god.

Mjerna postaja: Turkovići. 2015. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.33 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2015. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2016. godina - krivulja trajanja



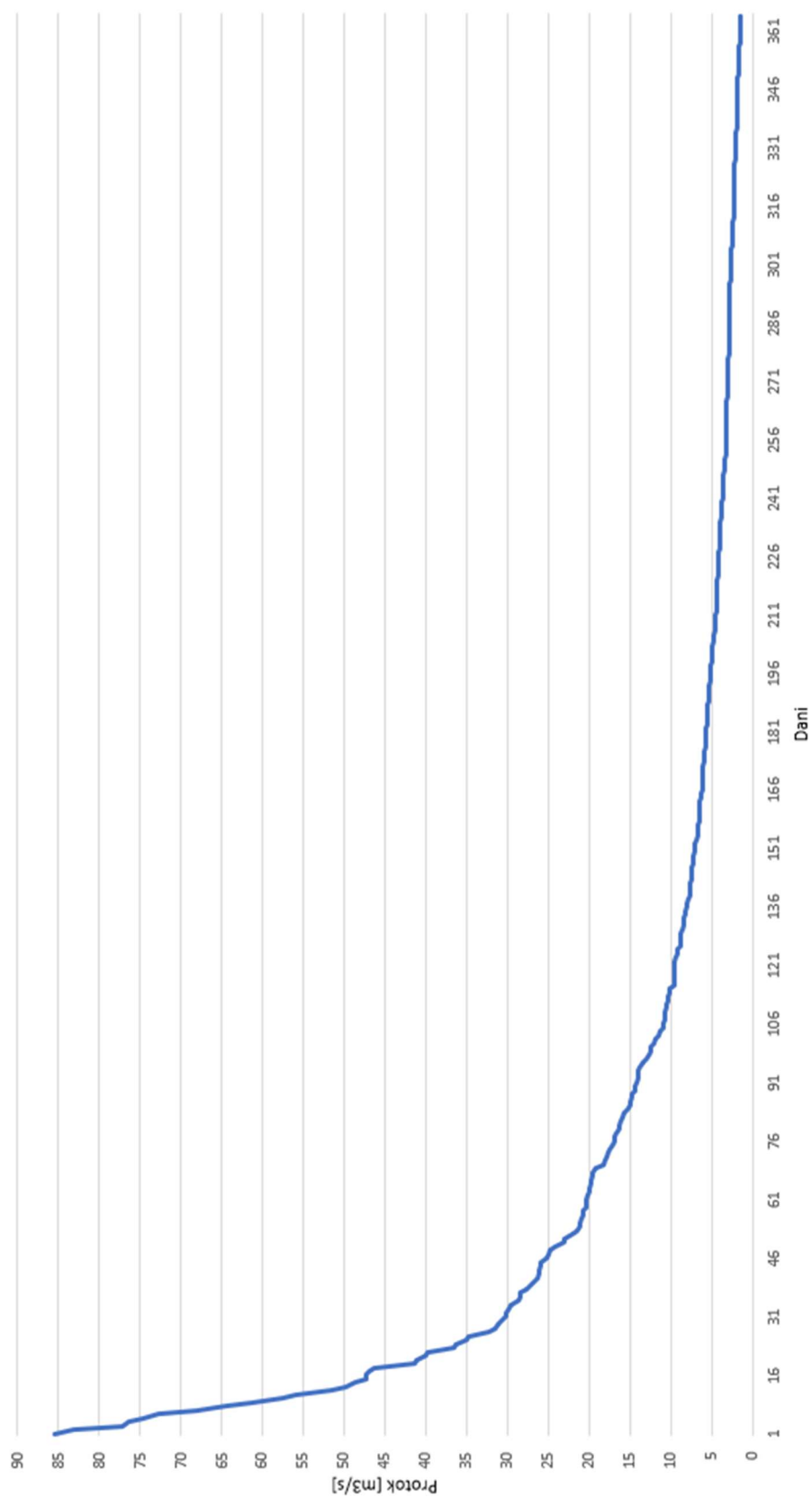
Prilog 12.34 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2016. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2017. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.35 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2017. god

### Mjerna postaja: Turkovići, 2018. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.36 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2018. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2019. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.37 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2019. god



Mjerna postaja: Turkovići, 2020. godina - krivulja trajanja



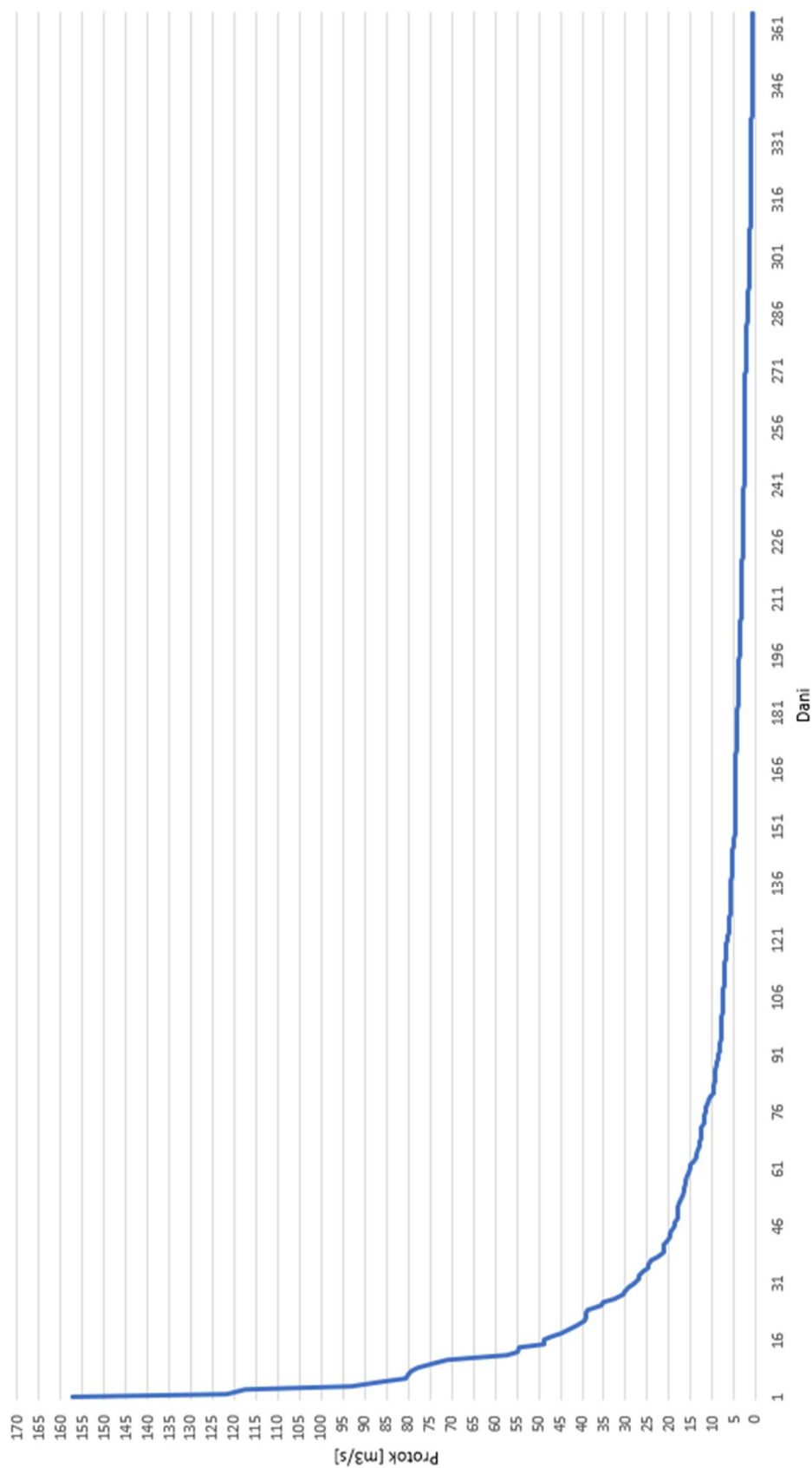
Prilog 12.38 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2020. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2021. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.39 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2021. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2022. godina - krivulja trajanja



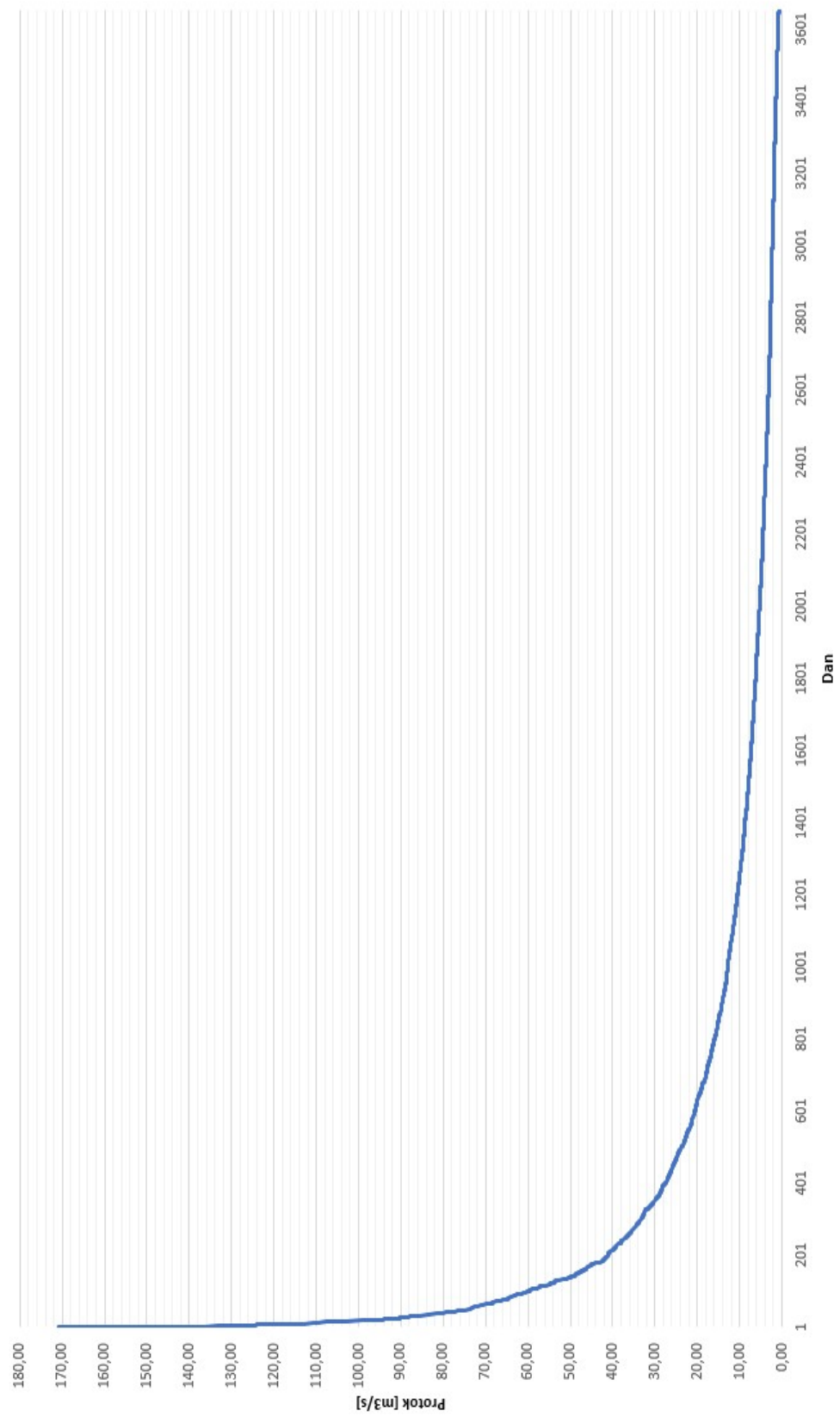
Prilog 12.40 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2022. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2023. godina - krivulja trajanja



Prilog 12.41 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići – 2023. god

Mjerna postaja: Turkovići, 2014. - 2023. godine - krivulja trajanja



Prilog 12.42 Krivulja trajanja protoka za mjeru postaju Turkovići 2014 - 2023. god