

# Potencijal za gradnju mikrohidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri

---

Vlašić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:004083>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-04**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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



DIPLOMSKI RAD br. 29 / GRD / 2021

**Potencijal za gradnju mikro hidroelektrana na  
rijeci Gornjoj Dobri**

Ivan Vlašić

Varaždin, srpanj 2021. godine

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij : Građevinarstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 29 / GRD / 2021

**Potencijal za gradnju mikro hidroelektrana na  
rijeci Gornjoj Dobri**

Student :  
Ivan Vlašić,014917321

Mentor :  
izv.prof.dr.sc.Bojan Đurin

Varaždin, srpanj 2021. godine

# 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	Ivan Vlašić	JMBAG	014917321
DATUM	01.07.2021.	KOLEGIJ	Vodni sustavi
NASLOV RADA	Potencijal za gradnju mikrohidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Potential for construction of microhydro power plants on the river Gornja Dobra		
MENTOR	dr.sc. Bojan Đurin	ZVANJE	Izvanredni profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Danko Markovinović 2. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin 3. doc.dr.sc. Domagoj Nakić 4. doc.dr.sc. Željko Kos 5. _____		

VZ  
K

M  
M

### Zadatak diplomskog rada

BROJ	29/GRD/2021
OPIS	U diplomskom radu razmatra se mogućnost gradnje mikrohidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri. Pri tome se analiziraju turbine koje koriste potencijalnu i kinetičku energiju vode. Predloženi okvirni sadržaj rada po poglavljima je: 1. Uvod 2. Hidroelektrane 3. Rijeka Dobra 4. Potencijal za gradnju hidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri 5. Analiza dobivenih rezultata 6. Zaključak 7. Literatura

ZADATAK URUČEN 01.07.2021.



df



# SUGLASNOST

UNIVERSITET  
SIEVER

Sveučilište  
Sjever

SVEUČILIŠTE  
SIEVER


## 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, IVAN VLAŠIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POTENCIJAL ZA GRADNJU MIKROHIDROELEKTRANA NA RJEČI GORNJI DOBRI (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)


  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

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

Ja, IVAN VLAŠIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POTENCIJAL ZA GRADNJU MIKROHIDROELEKTRANA (upisati naslov) čiji sam autor/ica. NA RJEČI GORNJI DOBRI

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

  
\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

# PREDGOVOR

## ENERGIJA

*“Neće proći mnogo naraštaja i naše će strojeve pokretati energija koja će se moći dobiti na svakoj točki u svemiru. Je li ta energija statička ili kinetička? Ako je statička, naše su nade uzaludne; no ako je kinetička – a mi pouzdano znamo da jest – tada je tek pitanje vremena kada će ljudima poći za rukom da svoje strojeve priključe izravno na sam pogonski kotač prirode”, Nikola Tesla.*

I priključili smo razne strojeve, pogone, čitava postrojenja uređaja, a sve kako bi dobili energiju koja je neophodna za život baš poput vode i hrane. Energija je ona koja nas spaja i ona je uvijek tu prisutna, u različitim oblicima. Ne može nestati. Biva tu u jednom stanju i u nekoliko treptaja je u drugom. Priroda nam nudi vjetar, Sunce, vodu i sl., a mi smo ti koji ćemo prirodu i njene resurse iskoristiti u našu dobrobit. Uvijek dobronamjerno, barem bi tako trebalo biti. Prirodi uzeti, prirodi vratiti. Jer priroda je obnovljiva, zalazak sunca donosi novi izlazak, isparena voda opet se poput atmosferilija vraća u prirodu. Kod potrebe za energijom ključno je da razmišljamo o obnovljivim izvorima koji su gore spomenuti jer tako kad uzimamo ujedno brinemo o sebi i budućim naraštajima. Ništa ne trošimo, samo prebacujemo iz stanja u stanje. Danas smo na različite načine priključeni na taj „pogonski kotač prirode“ da bi dobili energiju iz iste. Voda kao najstariji potencijal za energijom a nešto noviji su sunce i vjetar. Ovdje se bavimo dobivenom energijom iz vode i njezinim mogućnostima. Hidroenergija je snaga dobivena iz sile ili energije tekuće vodene mase koju ćemo kasnije pretvoriti u električnu energiju, a voda će ostati „netaknuta“.

Ovim putem zahvaljujem se svom mentoru, izv.prof.dr.sc. Bojanu Đurinu, dipl.ing. na pomoći, strpljenju i dostupnosti u svakom trenutku kod izrade rada. Jednako tako zahvaljujem supruzi Jeleni Vlašić na podršci i poticaju koji su mi trebali jednako kao što ih trebaju naša troja djeca. Ona je uvijek bila tu kao drugi mentor.

Hvala!

Ivan Vlašić

## **SAŽETAK**

U ovom diplomskom radu prikazati će se potencijal za gradnju hidroelektrana na rijeci Gornjoj Dobri. Pri tome se podrazumijevaju hidroelektrane koje koriste potencijalnu i kinetičku energiju krške rijeke Gornje Dobre. U diplomskom radu će se proračunati snage i količina proizvedene električne energije iz obje vrste turbina te dati smjernice vezane uz navedeno. Analiza će se napraviti za dvije mjerne hidrološke postaje, Luke i Turkoviće, budući da su za njih ustupljeni podaci od strane Državnog Hidrometeorološkog Zavoda (DHMZ-a). Također, diplomski rad daje uvid u hidrološke, geološke i hidrogeološke karakteristike analiziranog područja, uz prikaz postojećih, već izgrađenih hidroelektrana. Uz navedeno, prikazati će se postojeća saznanja i tehnologije proizvodnje električne energije iz hidroelektrana.

Ključne riječi: hidroelektrana, krivulja trajanja, krivulja protoka, DHMZ, mjerna postaja, dubina, protok, brzina.

## **ABSTRACT**

This graduate thesis will present the potential for the construction of hydropower plants on the river Gornja Dobra. This includes hydropower plants that use the potential and kinetic energy of the karst river Gornja Dobra. The diploma thesis will calculate the power and amount of electricity produced from both types of turbines and give guidelines related to the above. The analysis will be made for two measuring hydrological stations, Luka and Turkovici, since the data for them have been provided by the Croatian Meteorological and Hydrometeorological Service (CMHS). Also, the graduate thesis provides an insight into the hydrological, geological and hydrogeological characteristics of the analyzed area, with an overview of existing, already built hydropower plants. In addition, the existing knowledge and technologies for the production of electricity from hydropower plants will be presented.

Keywords: hydropower plant, duration curve, flow curve, DHMZ, measuring station, depth, flow, speed.

## Popis korištenih kratica

**DHMZ** Državni hidrometeorološki zavod

**HEP** Hrvatska Elektroprivreda

**PP** Proizvodno područje

**cm** Centimetar

**m** Metar

**m<sup>2</sup>** Kvadratni metar

**m<sup>3</sup>** Kubični metar

**km<sup>2</sup>** Kvadratni kilometar

**kWh** Kilovatsat

**GWh** Gigavatsat

**v** brzina

**q** protok

**A** površina

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. HIDROELEKTRANE</b> .....	5
<b>2.1. Povijesni pregled</b> .....	5
<b>2.2. Općenito o hidroelektranama</b> .....	6
<b>2.3. Snaga i energija iz hidroelektrane</b> .....	10
<b>3. RIJEKA DOBRA</b> .....	12
<b>3.1. Općenito o rijeci Dobri</b> .....	12
<b>3.2. Izgrađene hidroelektrane i zahvati</b> .....	14
3.2.1. HE Gojak .....	14
3.2.2. HE Lešće .....	17
<b>4. POTENCIJAL ZA GRADNJU HIDROELEKTRANA NA RIJECI GORNJOJ DOBRI</b> .....	19
<b>4.1. Analizirane lokacije</b> .....	19
<b>4.2. Hidrološka postaja „Luke“</b> .....	21
<b>4.3. Hidrološka postaja „Turkovići“</b> .....	24
<b>4.4. Proračun snaga hidroelektrana koje koriste potencijalnu i kinetičku energiju rijeke Dobre</b> .....	28
<b>5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA</b> .....	35
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	38
<b>7. POPIS LITERATURE</b> .....	39
<b>8. POPIS SLIKA</b> .....	40
<b>9. POPIS TABLICA</b> .....	42
<b>10. POPIS PRILOGA</b> .....	43
<b>11. PRILOZI</b> .....	46
<b>11.1. Poprečni presjeci mjerne postaje „Luke“</b> .....	46
<b>11.2. Krivulje trajanja protoka mjerne postaje „Luke“</b> .....	57

<b>11.3. Poprečni presjeci mjernih postaja „Turkovići“.....</b>	<b>63</b>
<b>11.4. Krivulje trajanja protoka mjerne postaje „Turkovići“.....</b>	<b>74</b>

## 1. UVOD

U današnje vrijeme, broj stanovnika na zemlji približava se prema 8 milijardi. Prije samo dvadesetak godina bio je 6 milijardi., a još 80 ih godina prošlog stoljeća ispod 5 milijardi. Teško je predvidjeti trend povećanja broja stanovnika u budućnosti, no procjene su preko 10 milijardi ljudi na zemlji do 2050 godine. Tablica 1.1. prikazuje svjetsku populaciju u realnom vremenu [1].

Tablica 1.1. Prikaz svjetske populacije u realnom vremenu na 26.01.2021. [1].

SVJETSKA POPULACIJA	
7.841.703.187,00	Trenutna svjetska populacija
9.955.291,00	Rođenih ove godine
360.355,00	Rođenih danas
4.179.469,00	Umrlih ove godine
151.285,00	Umrlih danas
5.775.822,00	Neto rast stanovništva ove godine
209.070,00	Neto rast stanovništva danas

Iz tablice 1.1. vidi se da je dnevni neto prirast stanovništva 209 tisuća, što je na razini godine gotovo 76 milijuna. Takvom dinamikom za dvije godine svjetska populacija u realnom vremenu biti će preko 8 milijardi. Kako raste broj ljudi, jednako raste potreba za najbitnijim resursima nužnim za čovjekov opstanak, a to su: hrana, pitka voda te energija pogodna za život, koja je još i povećana samim tehnološkim napretkom i stilom života.

Prema podacima iz raznih izvora i medicinskih priručnika u odnosu na tjelesnu masu, visinu, dob, tjelesnu aktivnost i sl., čovjek dnevno ima potrebu od 1600-2400 kcal. energije [2]. Istovremeno čovjek koristi i potroši preko 20 puta više energije iz raznih izvora. Samim porastom čovječanstva preko 10 milijardi u narednih dvadesetak godina očekuje se i porast svjetske potrošnje hrane, vode, ali i energije za 35-50 %. U tablici 1.2. prikazana je dostupnost energije u realnom vremenu [3].

Tablica 1.2. Prikaz korištenja dostupne energije na 26.01.2021. [3]

<b>DOSTUPNA SVJETSKA ENERGIJA U REALNOM VREMENU</b>	
443.224.405,00	Upotrebljena energija danas ( MWh )
377.297.641,00	iz neobnovljivih izvora ( MWh ) - cca 85%
66.745.730,00	iz obnovljivih izvora ( MWh ) - cca 15 %
2.777.266.149.484,00	Sunčeva energija koja pogađa Zemlju danas ( MWh )
90.905.227,00	Ispumpano nafte danas ( barel )
1.484.202.979.345,00	Preostalo nafte ( barel )
15.478,00	Dana do kraja zaliha nafte ( 42.god )
1.091.052.342.861,00	Preostalo prirodnog plina
57.424,00	Dana do kraja zaliha plina ( 157.god )
4.309.170.850.915,00	Preostalo ugljena
148.592,00	Dana do kraja zaliha ugljena ( 407.god )

Energija se dobiva iz raznih načina kao što su: drvo, ugljen, nafta, prirodni plin, nuklearna energija. Zovemo ih neobnovljivim izvorima energije. Neki od spomenutih energenata nisu vječni te je približno procijenjen dan njihovog nestanka, što je prikazano u tablici 1.2. Međutim, bez obzira na sklonost nestanka istih, oni su i štetni za okoliš. Što se više približavamo trenutku nestanka tih resursa i cijena dobivene energije iz tih resursa će rasti, a to opet dovodi do drugih problema poput nedostupnosti siromašnom stanovništvu i sl.

S druge strane, postoji energija dobivena od sunčevog zračenja, energija dobivena vjetrom, geotermalna energija, energija valova te plime i oseke, hidroenergija hidroelektrana i sl. Energijom dobivenom iz tih izvora ne zagađuje se okoliš. Zovemo ih obnovljivim izvorima energije. [4]. Čista energija neće se iscrpiti kao energenti za koje je spomenuto približno vrijeme nestanka vidljivo iz tablice 1.2.

Odnos snaga danas je približno 15/85 % u korist neobnovljivih izvora [5]. Tendencija je da se nastavlja pozitivan trend korištenja obnovljivih izvora sa smanjenjem neobnovljivih. S obzirom na godinama ograničene resurse poput nafte i plina vidljivo u tablici 1.2. ne preostaje ništa drugo osim okretanja prema obnovljivim izvorima energije.



ENERGETSKI MIKS EU U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE 2010. – 2020. – 2030.



Slika 1.1. Odnos korištenja različitih oblika energije za 2010., 2020. i 2030. godinu. [5].

Kad se govori o obnovljivim izvorima energije (OIE), Hrvatska po svojim geografskim i raznolikim obilježjima ima velik potencijal za dobivanje iste iz obnovljivih izvora, posebice što se tiče iskorištavanja vodnih resursa [6].

Tehnologija koja se koristi u hidroelektranama je razvijena tijekom zadnjih 130 godina, a velika početna ulaganja u takve zahvate isplate se za petnaestak godina, ovisno o veličini projekta. Mogući potencijal u Hrvatskoj za gradnju hidroelektrana je oko 20 TWh na godinu. Trenutno se iskorištava samo polovica tog potencijala.

U Hrvatskoj postoje rijeke na kojima su sagrađene ili bi se mogle sagraditi veće hidroelektrane za opskrbu regija, gradova i naselja energijom. Istodobno postoji mnogo manjih vodotoka, koji jednako tako svojim potencijalom mogu opskrbiti manja izolirana ili udaljena naselja.

Samo po sebi nameće se pitanje cijene izgradnje mreže i duge infrastrukture da se takva mjesta energetske osiguraju iz velikih postrojenja. U slučaju da je to iznimno daleko i skupo, a u okolici imamo manji vodotok, tendencija bi morala biti da se isti iskoristi lokalno. To će onda biti manji zahvati, male hidroelektrane, mikro, piko postrojenja, ali će zadovoljiti potrebe lokalnog naselja ili regije.

Kako bi se uvidjela mogućnost gradnje jednog takvog hidroenergetskog postrojenja uz neki vodotok, prije izgradnje 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, uzdužni padovi i sl.

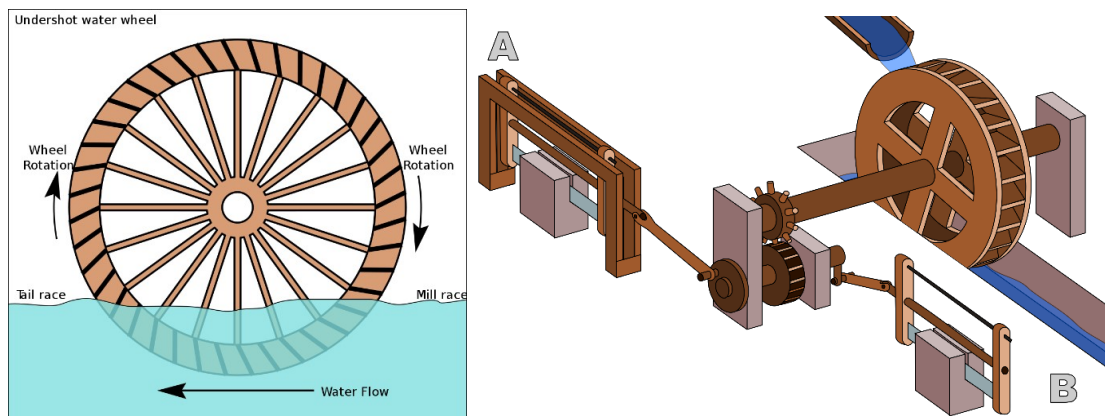
U ovom diplomskom radu odabrana je rijeka Gornja Dobra u blizini grada Ogulina. Na raspolaganju za proračun potencijala korištenja hidroenergije korišteni su podaci o desetogodišnjem vodostaju i protoku. Mjerenja su dobivena na mjernim limnografskim postajama „Luke“ i „Turkovići“.

## 2. HIDROELEKTRANE

### 2.1. POVIJESNI PREGLED

Vodeničko kolo jedna je od najstarijih ideja iskorištenja vode za dobivanje rada a seže u vrijeme 200. godina prije Krista. Kinezi su koristili snagu okretanja vodeničkog kola za mljevenje brašna. Negdje u isto vrijeme Grci i Rimljani koriste vodeno kolo za podizanje vode na višu razinu, transport vode iz rudnika, piljenje kamenih blokova i sl. [7].

Vodeničko kolo sastoji se od „kotača“ smještenog na osovini sa velikim brojem lopatica. Tečenjem vode lopatice koje su uronjene u vodeno tijelo okreću se zajedno sa kotačem na koji su pričvršćene te putem centralne osovine, remenice ili zupčanika prenose snagu.



Slika 2.1.1. Primjer vodeničkog kola te primjena u rezanju kamenih blokova [7].

Do sredine 18. stoljeća nema bitnijih promjena u principu rada vodeničkog kola, međutim francuski inženjer Bernard Forest de Bélidor objavljuje knjigu „Architecture Hydraulique“ u kojoj opisuje hidraulične strojeve [8].

To je značilo da ideja za napretkom dugo postoji. Nakon izuma i razvoja električnih generatora od 1881. do 1895. godine gradi se prva hidroelektrana u svijetu na slapovima Niagare. Kod puštanja u pogon nakon dva dana proradila je druga hidroelektrana, ali ovaj puta u Hrvatskoj - hidroelektrana Jaruga 1. [8]. Instalirana je snaga od 550kW te je električna energija puštena trasom prema Šibeniku kao prvom gradu na svijetu koji je svijetlio noću.

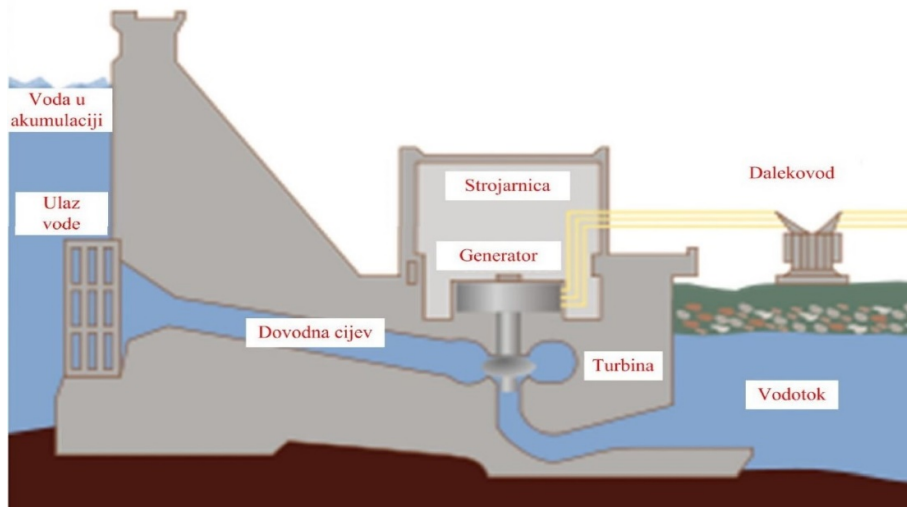


Sl. 10. Spomen ploča "IEEE Milestone Krka-Šibenik 1895."

Slika 2.1.2. Ostaci vodne turbine Jaruga 1. i spomen ploča

## 2.2. OPĆENITO O HIDROELEKTRANAMA

Vodeno kolo je globalno bilo začetnik ideje za iskorištavanje vode i pretvorbe u rad, međutim današnjim razvojem turbina i generatora te kombinacijom u projektiranju čitavog kompleksa okolo hidroelektrane to je podignuto na novu razinu. Osnovni princip je korištenje vode za pokretanje turbine, tj. pretvaranje potencijalne energije vode u mehaničku energiju. Te nakon toga generatorom u električnu. Akumulirana ili protočna voda dolazi do lopatica turbine te ih pokreće. Dolazi do pretvaranja kinetičke energije u mehaničku, a putem generatora u električnu koja se dalje distribuira u trafostanice te mrežu. Ovisno o ostvarenom padu razine vode, neto razlici između zahvata i turbine određuje se snaga hidroelektrane [8].



Slika 2.2.1. Osnovni poprečni presjek kroz hidroelektranu [8].

Slika 2.2.1 slijeva prikazuje vodeno tijelo, akumuliranu vodu u (daljnjem tekstu akumulacija) koja je pregrađena branom određene i projektirane visine. Zadržana voda čini akumulaciju te većom visinom daje veći tlak na dovodnu cijev pri dnu, a samim time i veću efikasnost turbine, pa na kraju i snagu hidroelektrane. Takav princip nazivamo akumulacijskim hidroelektranama. Osim načina zadržavanja vode u akumulaciji, hidroelektrana može biti građena i kao protočna što znači da se određenom pregradom i smještajem turbine iskorištava samo trenutna voda u vodotoku koja dotječe na turbinu. Kombinacijom spomenute akumulacijske i protočne hidroelektrane može se dobiti i treća varijanta kao reverzibilnu hidroelektranu od kojih se dio vode koji nije potreban pomoću viška električne energije u elektroenergetskom sustavu pumpa na veću visinu (uzvodno), odakle se pušta kada je potrebnije u ponovni proces.

S obzirom na načine korištenja vode hidroelektrane imaju nekoliko podjela i to [8]:

- Akumulacijske
- Protočne
- Reverzibilne

Navedena podjela odnosi se na korištenje vode kod hidroelektrana. Osim spomenute podjele vezane na korištenje vode, hidroelektrane možemo podijeliti i na druge načine.

Podjela prema instaliranoj snazi je:

- Velike ( $> 10$  MW)
- Male ( $< 10$  MW)
- Mikro ( $< 100$  kW)
- Piko ( $< 5$  kW)

Na podjelu prema snazi utječe mnogo faktora, npr. širina, dubina, pad dna i brzina vodotoka, njegov prirodni potencijal te ostali čimbenici na koje možemo utjecati projektiranjem a to su: visina akumulacije, odabir strojarske i elektrotehničke opreme, razlika u visini između ulaza i izlaza i sl. To je ujedno i ključna podjela u financijskom smislu, kao i smislu veličine zahvata. Sve ostale podjele vezane su na podjelu snage.

Podjela prema visini, padu vodotoka odnosno razlici u visini između zahvata i ispusta je na:

- Niskotlačne : razlika u visini do 25 m
- Srednjetačne : razlika u visini između 25 i 200 m
- Visokotlačne : razlika u visini iznad 200 m

Podjela prema smještaju strojarnice je:

- Pribranske
- Derivacijske

Na slici 2.2.2 prikazana je jedna od trenutno najveće hidroelektrane u svijetu, Tri klanca, sa instaliranom snagom od 22 500 MW, kroz 34 turbine. Slika 2.2.2. prikazuje mjesto brane sa smještenim strojarnicama, gornju akumulaciju te donji ispust. [9].



Slika 2.2.2. Pogled na branu hidroelektrane „Tri klanca „[9].



Slika 2.2.3. Jedna od 34 turbine sa hidroelektrane Tri klanca [9].



### 2.3. SNAGA I ENERGIJA IZ HIDROELEKTRANE

Dva su osnovna načina dobivanja energije iz vode kod hidroelektrana. Korištenjem potencijalne, kinetičke ili kombinacijom dviju energija vode koja se zatim turbinama pretvara u mehaničku rotacijsku energiju, pa preko osovine prenosi do generatora gdje se pretvara u elektromagnetskom polju u električnu energiju [8].

Općenito, energiju zavisnu o položaju može se prikazati kao:

#### Potencijalna energija

$$E_{pot} = m \times g \times H (J) \quad (1)$$

gdje je:

$m$  - masa (kg)

$g$  - ubrzanje sile teže ( $m/sec^2$ )

$H$  - visina stupca vode (m)

Energija zavisna o gibanju prikazuje se kao :

#### Kinetička energija

$$E_{kin} = m \times \frac{v^2}{2} (J) \quad (2)$$

gdje je:

$m$  - masa (kg)

$v$  - brzina (m/s)

Uzimajući u obzir volumni protok, razliku visine pada vode , ubrzanje sile teže, te gustoću vode, možemo odrediti snagu hidroelektrane koristeći potencijalnu energiju pomoću sljedeće jednadžbe:

#### Izlazna snaga hidroelektrane iz potencijalne energije:



$$P_{izlazna} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_{totalna} \quad (W) \quad (3)$$

gdje je:

$\rho$  – gustoća vode ( kg/ m<sup>3</sup>)

$g$  – ubrzanje sile teže (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  – protok (m<sup>3</sup>/s)

$H$  – visina, ostvareni pad (m)

$\eta_{totalna}$  – ukupna učinkovitost je u ovisnosti umnoška niza drugih učinkovitosti a koje ovise o proizvođaču opreme a to su :

$\eta_{generatora}$  – učinkovitost generatora

$\eta_{turbine}$  – učinkovitost turbine

$\eta_{trafostanice}$  – učinkovitost trafostanice

Maksimalna vrijednost za idealno kod učinkovitosti je 1.

### **Izlazna snaga dobivena iz kinetičke energije:**

$$P_{izlazna} = \rho/2 \times A \times v^3 \times \eta_{totalna} \quad (W) \quad (4)$$

gdje je:

$\rho$  – gustoća vode ( kg/m<sup>3</sup>)

$A$  – ulazna površina (m<sup>2</sup>)

$v$  – srednja brzina tečenja (m/s)

$\eta_{totalna}$  – ukupna učinkovitost je u ovisnosti umnoška niza drugih učinkovitosti a koje ovise o proizvođaču opreme a to su :

$\eta_{generatora}$  – učinkovitost generatora

$\eta_{turbine}$  – učinkovitost turbine

$\eta_{trafostanice}$  – učinkovitost trafostanice

Maksimalna vrijednost za idealno kod učinkovitosti je 1.

### 3. RIJEKA DOBRA

#### 3.1. OPĆENITO O RIJECI DOBRI

Rijeka Dobra je rijeka dužine gotovo 108 km, pretežito smještena u Gorskom Kotaru. Izvor joj je na dvije lokacije u selu Gornja Dobra po kojem je i dobila ime, te kod Skrada u Primorsko goranskoj županiji.

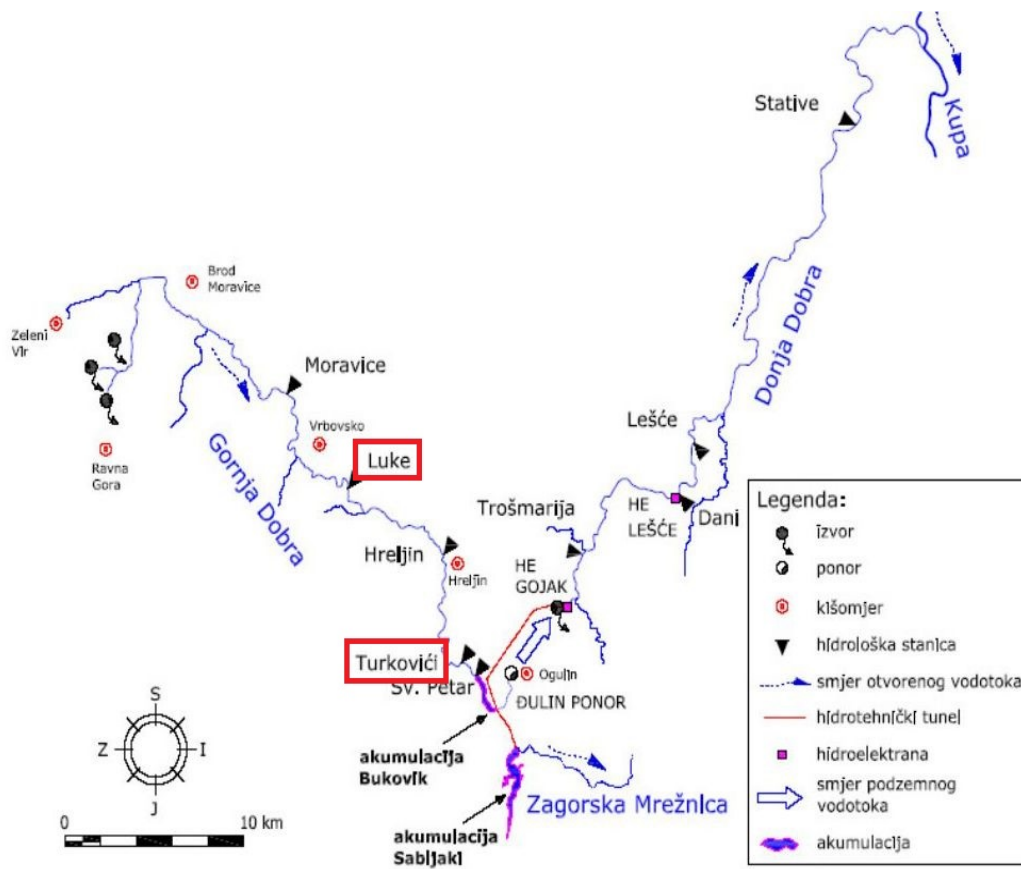


Slika 3.1.1. Izvor rijeke Dobre kod Skradinskog vrha [10].

Svojim tokom i površinom od 900 km<sup>2</sup> može se podijeliti u tri dionice a to su: Gornja Dobra, Gojačka Dobra i Donja Dobra.

Od izvora pola svoje ukupne duljine otpada na Gornju Dobru, točnije nakon 51.2 km nestaje u kanjonu „Đulin ponor“ u samom Ogulinu. Nakon poniranja prolazi podzemljem kroz čitav špiljski sustav dosad istražene duljine od 16 km. Izlaskom iz špiljskog sustava kraj sela Gojak drugi dio dionice zove se Gojačkom Dobrom. Nakon iskorištenja vodotoka izgrađenom hidroelektranama, ostatak dionice nazivamo Donjom Dobrom. Potez od 52.1 km završava u Kupi pored Karlovca [10].

Gornji dio Dobre ima manji vodni potencijal i razlikuje se od Donjeg na kojem su izrađene dvije hidroelektrane.



Slika 3.1.2. Tok rijeke Gornje Dobre i označene mjerne hidrološke postaje Luke i Turkovići [10].

## **3.2. IZGRAĐENE HIDROELEKTRANE I ZAHVATI**

Na Donjoj Dobri izgrađene su dvije hidroelektrane. Neposredno nakon ponovog izlaska iz podzemlja napravljena je prva hidroelektrana „Gojak“, a nešto dalje i u novijoj povijesti druga „Lešće“.

### **3.2.1. HE GOJAK**

HE Gojak izgrađena je 1959. godine. To je akumulacijsko – protočna hidroelektrana na rijeci Dobri i pritoku Zagorske Mrežnice. Zagorska Mrežnica i Dobra pregrađene su branama te su napravljene dvije akumulacije za čuvanje vode. Akumulacije čine dva međusobno cijevima povezana jezera na razmaku od 1,50 km; „Sabljaci“ i „Bukovnik“. Do same elektrane voda iz njih zatim dolazi podzemnim betonskim tunelom duljine gotovo 9,30 km. [11].

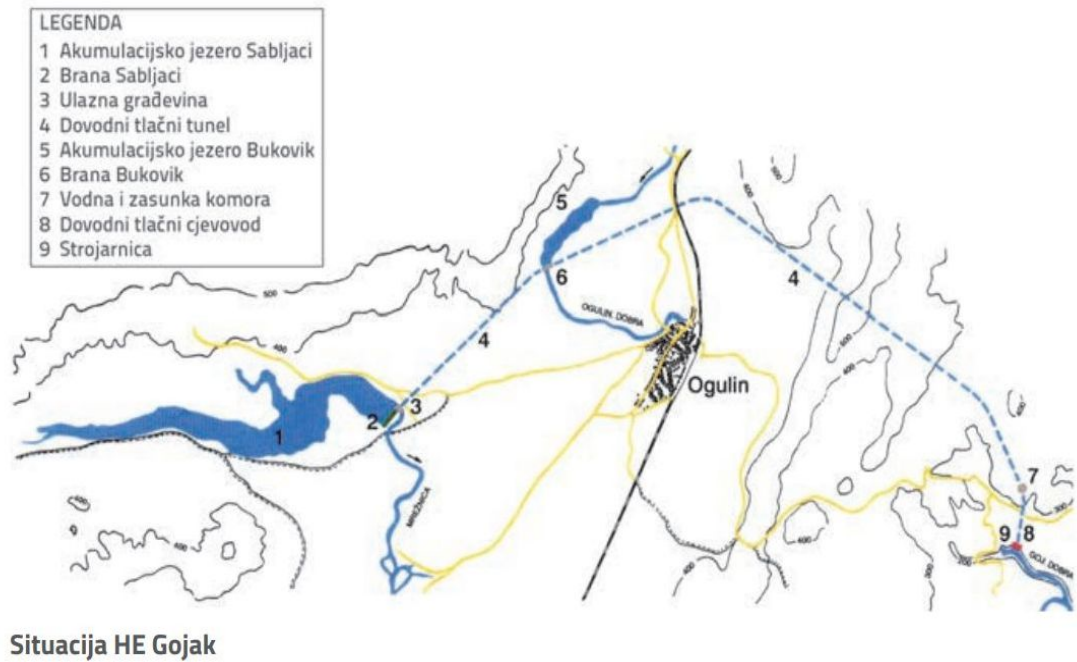
#### **Tehničko tehnološki podaci:**

Hidroelektrana ima tri agregata snage 22,5 MW, 18,6 MW, 18,6 MW te "kućni" agregat snage 320 kW. Instalirani protok iznosi 57 m<sup>3</sup>/s, a konstruktivni neto pad 109 m.

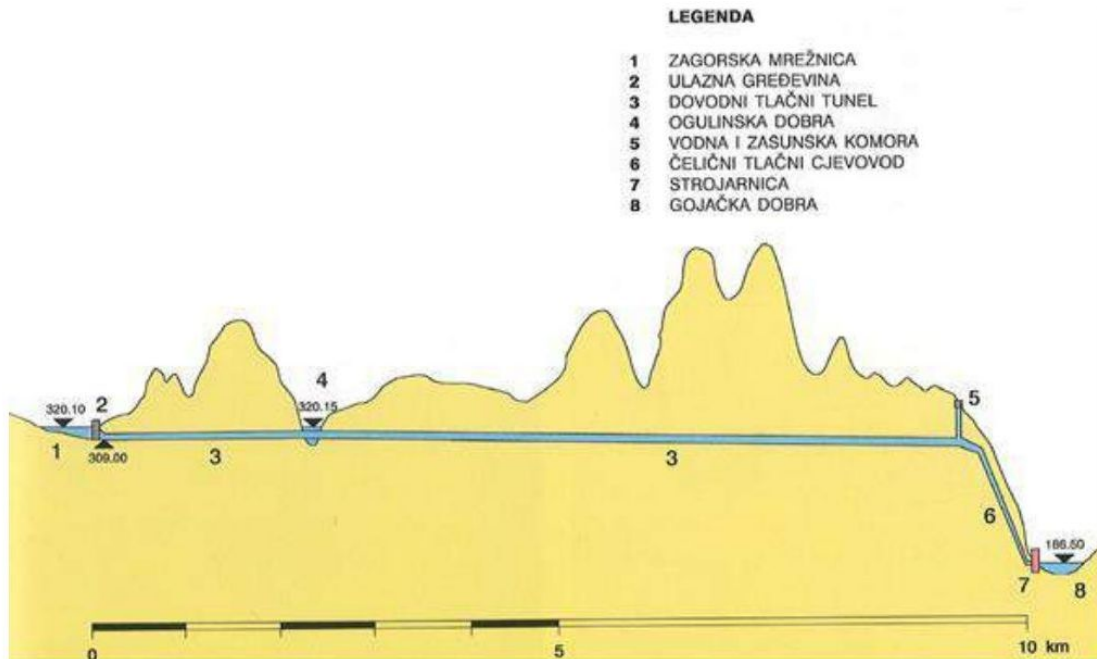
Na elektrani je u razdoblju od 2000. do 2014.god. obnovljena sva oprema i sustavi kako bi se smanjili gubici te optimizirao rad agregata. Ugrađeni su novi transformatori 10,5/115,5 kV, nazivne snage 25 MVA, nove turbine (Francis, vertikalne) nazivne snage 24,1 MW i nazivnog protoka 20,5 m<sup>3</sup>/s zajedno s turbinskom regulacijom. Promijenjen je kompletan sustav za upravljanje, nadzora te poboljšana stabilnost i protočnost dovodnog tunela.

Agregati HE Gojak su na prijenosni elektroenergetski sustav priključeni preko vanjskog 110 kV postrojenja. Srednja godišnja proizvodnja u cijelom eksploatacijskom razdoblju iznosi 198 GWh. U razdoblju nakon završene zamjene svih triju turbina, 2007. - 2017. godina, prosječna godišnja proizvodnja iznosi oko 213,5 GWh. Omjer instaliranog protoka i srednjeg dotoka svrstava HE Gojak u hidroelektrane s tjednom regulacijom.

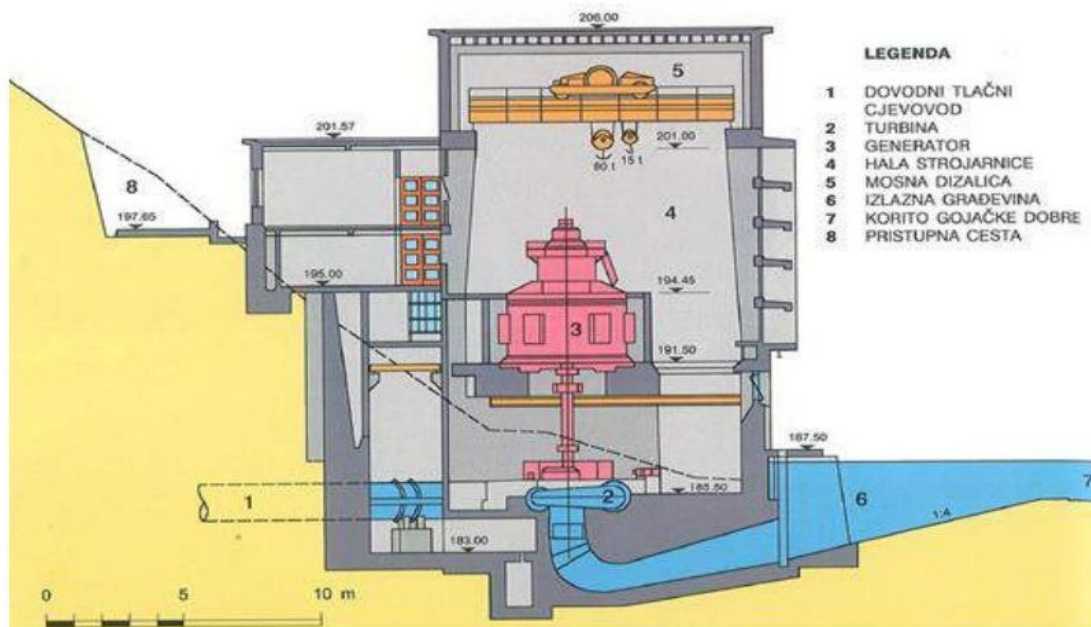
Kada je puštena u pogon, s priključkom na 110 kV mrežu predstavljala je vrlo značajan izvor električne energije u zapadnom dijelu elektroenergetskog sustava Hrvatske [11].



Slika 3.2.1. Akumulaciona jezera „Sabljaci“ i „Bukovik“ sa trasom cjevovoda prema Hidroelektrani Gojak

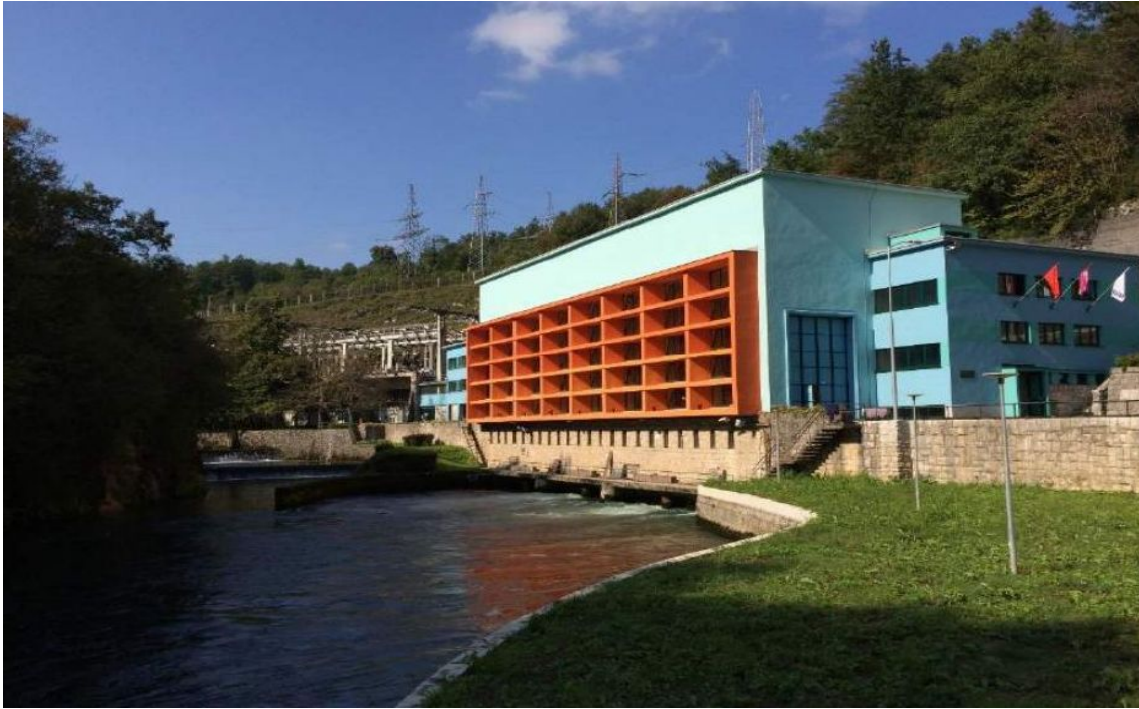


Slika 3.2.2. Uzdužni presjek dovodnog tlačnog cjevovoda



Slika 3.2.3. Presjek kroz strojarnicu HE Gojak





Slika 3.2.4. Izlaz vode iz strojarnice ispod upravne zgrade HE Gojak

### 3.2.2. HE LEŠĆE

HE Lešće kao druga hidroelektrana na donjem toku Dobre izgrađena je nešto kasnije, točnije 2010.god. To je pribranska akumulacijsko – protočna hidroelektrana izgrađena u klanecu rijeke Dobre . Klanac je pregrađen betonskom gravitacijska branom. Visina brane je 52,5 metara a duljina 176,5 metara te ona čini umjetno jezero ukupnog obujma 25,7 m<sup>3</sup> [12].

#### **Tehničko tehnološki podaci :**

HE Lešće je postrojenje snage 42,29 MWa. Instalirane su dvije glavne proizvodne jedinice (2x 20,6 MW) te instaliranog protoka 2x60 m<sup>3</sup>/s i agregatom biološkog minimuma (ABM) instalirane snage 1,09 MW sa protokom 2,7 m<sup>3</sup>/s.

Prijenos proizvedene električne energije glavnih proizvodnih jedinica odvija se preko 110 kV, a ABM-a 35 kV. Srednja godišnja proizvodnja električne energije od 2010. do 2016. iznosila je 102 GWh [12].



Slika 3.2.5. HE Lešče



Slika 3.2.6. Strojarnica HE Lešče

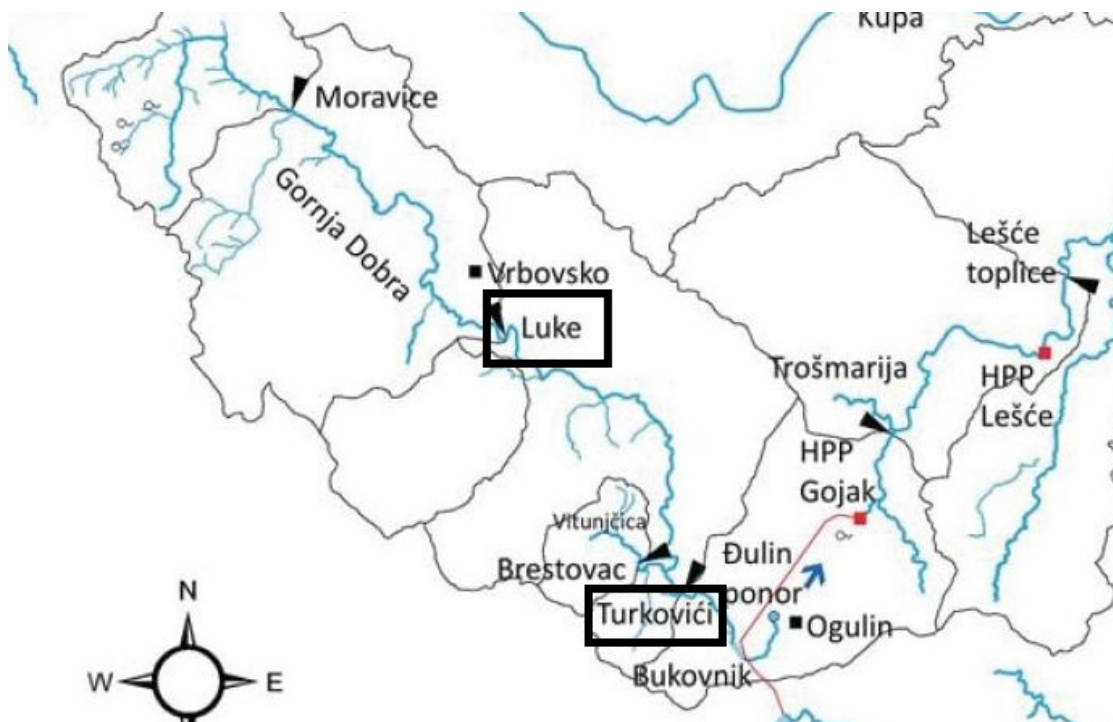


## **4. POTENCIJAL ZA GRADNJU HIDROELEKTRANA NA RIJECI GORNJOJ DOBRI**

### **4.1. ANALIZIRANE LOKACIJE**

Sa svojih 51.2 km duljine od izvora do Đulinog ponora u samom Ogulinu dio rijeke Dobre nazivamo Gornja Dobra. Ovaj tip Gornje Dobre je prvenstveno bujičnih karakteristika sa prosječnim padom od 1,4 %. Naglih je i velikih promjena protoka, odnosno bujičnog je režima. Razlikuje se od donjeg toka koji je mirniji, jednoličan te se na njemu nalaze prethodno spomenute hidroelektrane.

Na dijelu gornjeg toka postoje dvije stalne lokacije mjernih hidroloških postaja na kojima se prikupljaju podaci, „Turkovići“ i „Luke“ [13].



Sl. 4.1.1. Gornja Dobra sa prikazanim stalnim mjernim postajama „Turkovići „ i „Luke“ [13].

Iz navedenih hidroloških postaja dobiveni su podaci koji nam koriste za daljnje istraživanje potencijala a to su: poprečni profili, nivogrami i hidrogrami [13].

Na pozicijama hidroloških postaja, slika 4.2.1 i 4.3.1 izmjerom iz 2011. godine napravljeni su poprečni profili kroz korito slika 4.2.2. i slika 4.3.2. Profili su preuzeti sa DHMZ-a (2019) godine. [13].

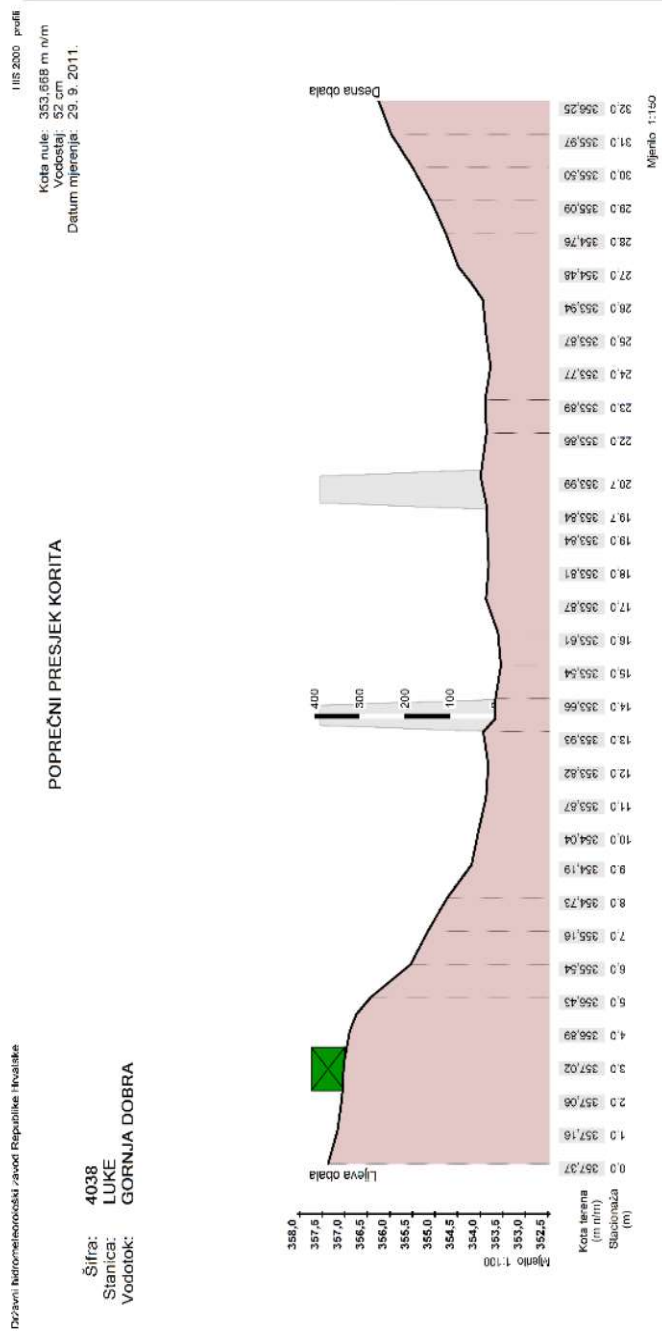
U vremenskom periodu od 10 godina, (2009-2018) na navedenim postajama svakodnevno se bilježi vodostaj u određenom vremenu. Izmjereni nivo vode upisuje se kao podatak tabelarno te je isti preuzeti jednako tako sa DHMZ-a. Slika 4.2.3. i slika 4.3.3. [13], odnosno prikazuje se grafički u obliku nivograma. Nivogrami nisu pogodni za analizu jer označavaju relativni položaj vodnog lica, stoga se oni moraju svesti s obzirom na traženu lokaciju koja će biti merodavna za određivanje dubine.

Protoci u određenom vremenskom razdoblju jednako tako preuzeti su za desetogodišnji period ( 2009-2018), od strane DHMZ-a te prikazani grafički na slikama 4.2.4 i slikama 4.3.4. [13].

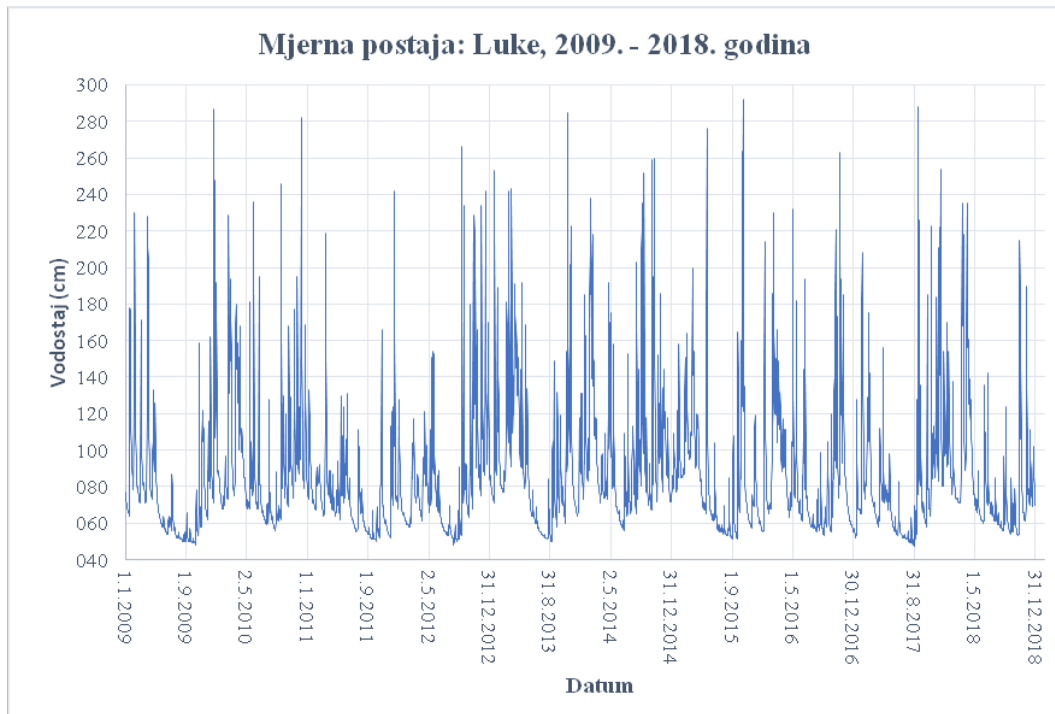
## 4.2. HIDROLOŠKA POSTAJA „LUKE“.



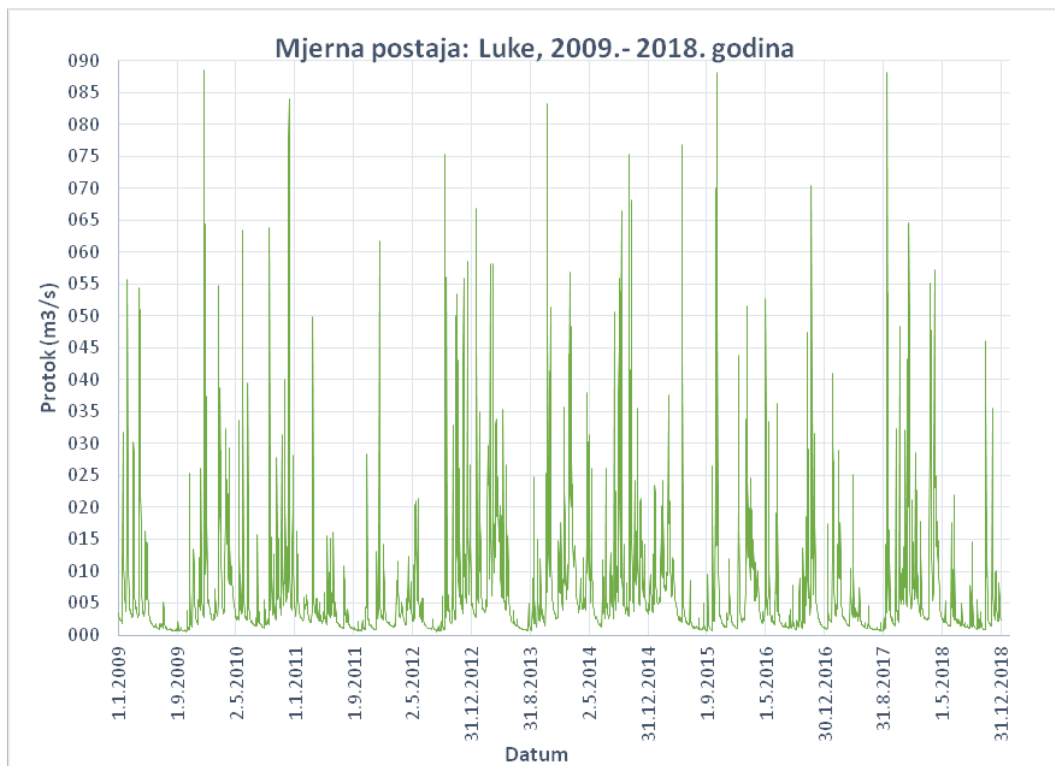
Sl. 4.2.1.Hidrološka postaja Luke



Sl. 4.2.2. Poprečni profil korita na hidrološkoj postaji Luke



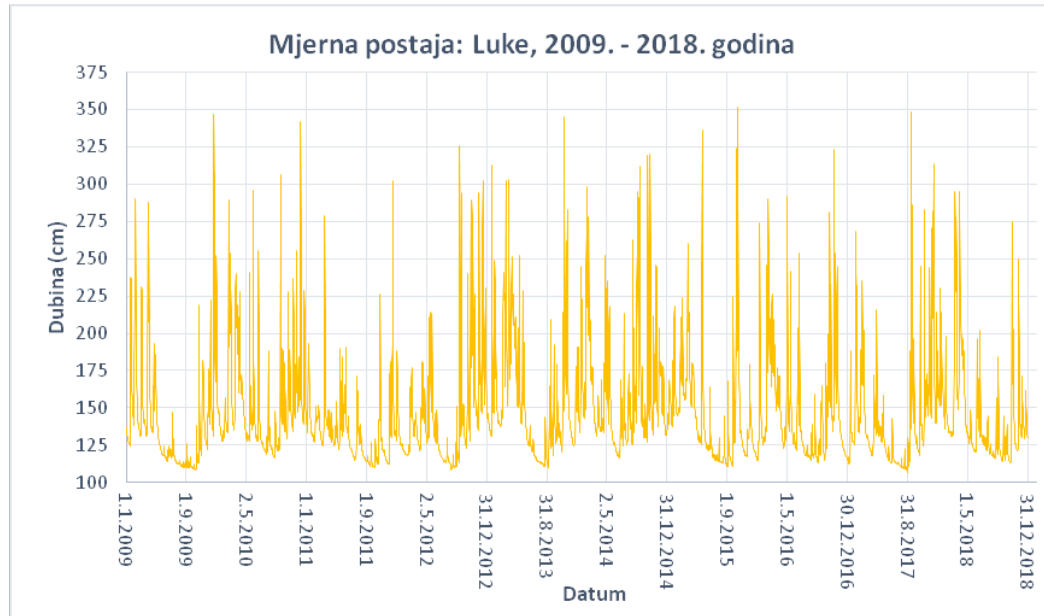
Sl. 4.2.3. Nivogram rijeke Gornje Dobre na hidrološkoj postaji Luke



Sl. 4.2.4. Hidrogram rijeke Gornje Dobre na hidrološkoj postaji Luke



Nakon preuzetih podataka od strane DHMZ-a o nivou vode za svih 10 godina u odnosu na referentnu točku 0, koja je postavljena 60 cm niže od stalne i fiksne vodomjerne letve dobivena je stvarna dubina korita. U odnosu na tu 60 cm nižu referentnu točku, stvarna dubina korita prikazuje se na način da se na svakodnevni vodostaj dodaje 60 cm, što je utvrđeno terenskim istraživanjima.

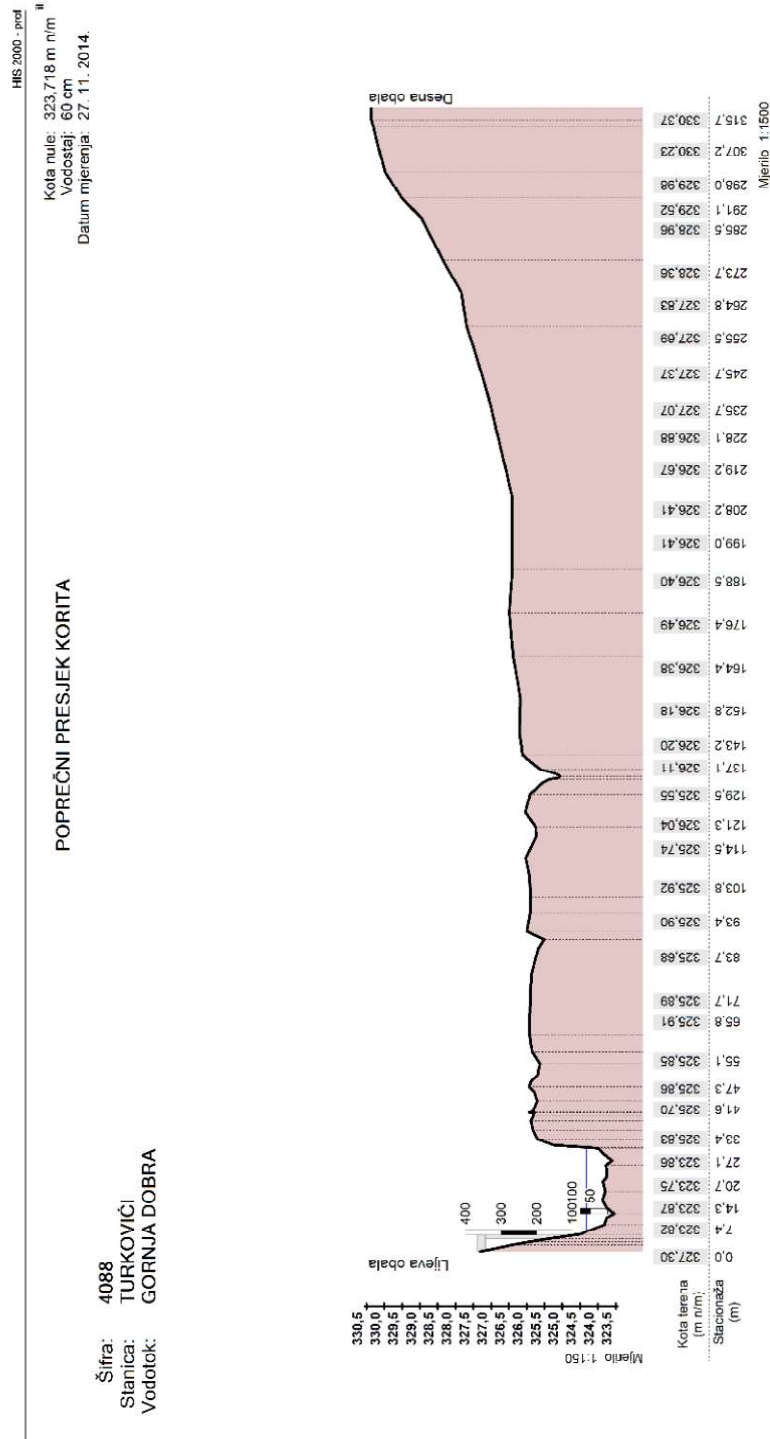


Sl. 4.2.5. Rekonstruirani prikaz dubina na hidrološkoj postaji Luke

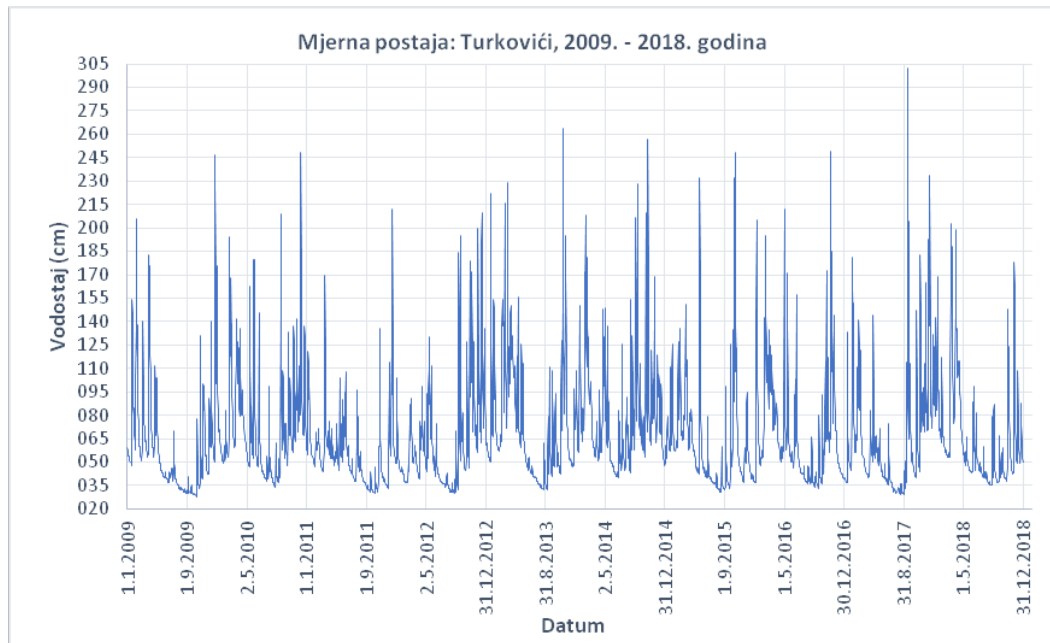
### 4.3. HIDROLOŠKA POSTAJA „TURKOVIĆI“.



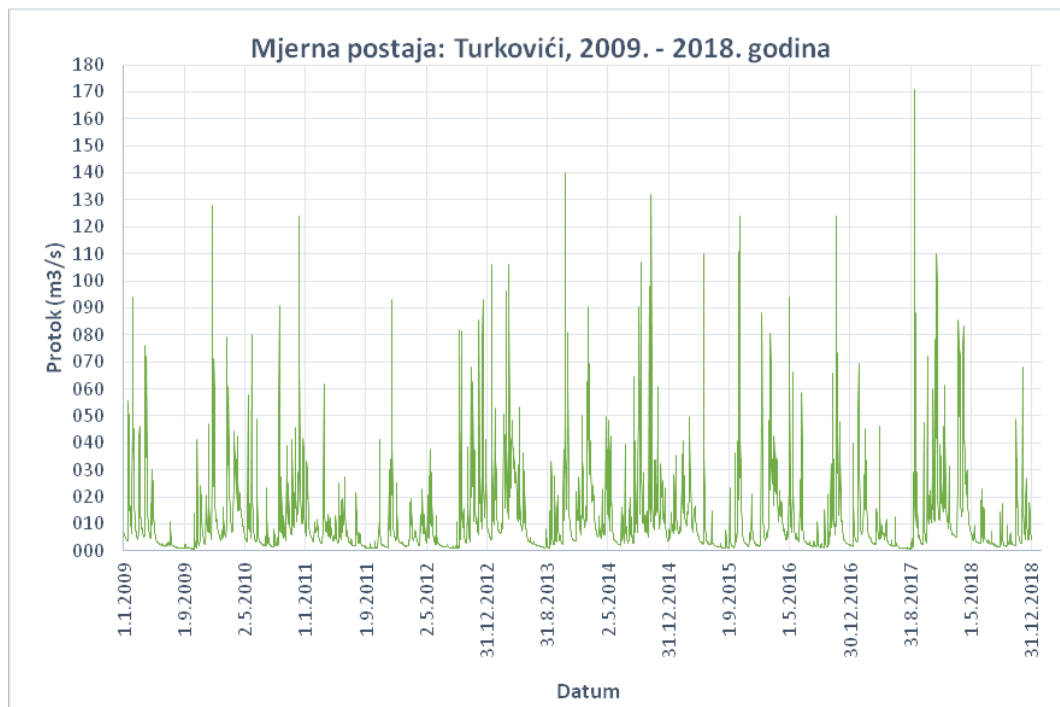
Sl. 4.3.1 Hidrološka postaja Turkovići



Sl. 4.3.2. Poprečni profil korita na hidrološkoj postaji Turkovići



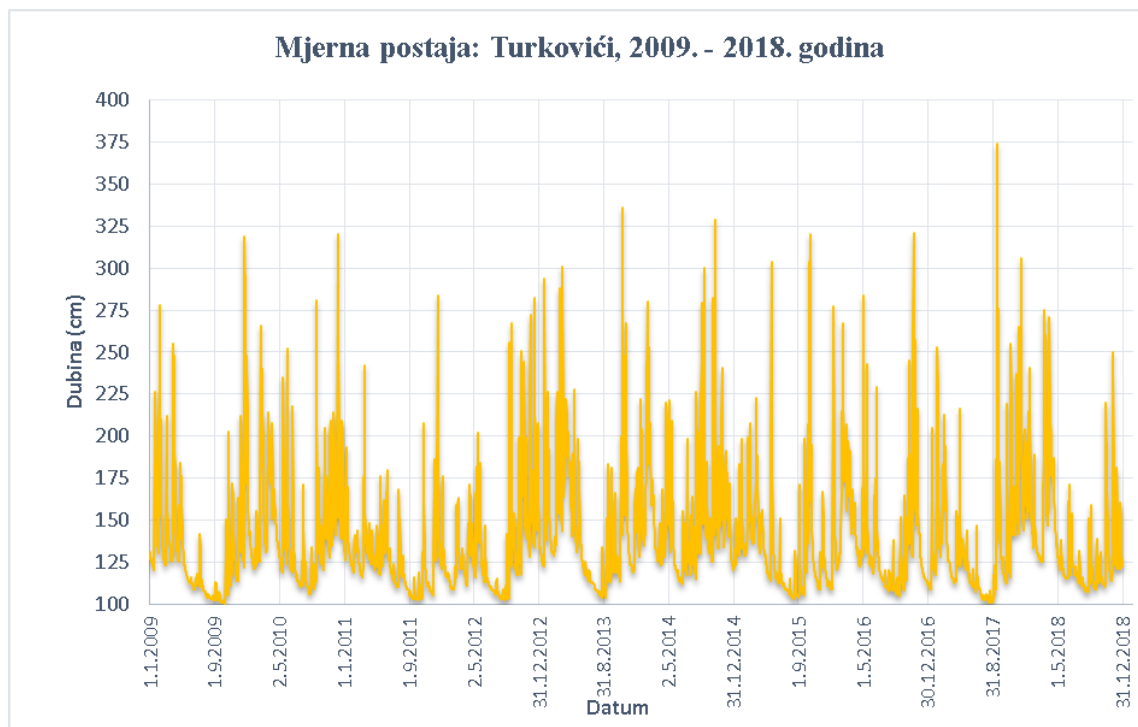
Sl. 4.3.3. Nivogram na hidrološkoj postaji Turkovići



Sl. 4.3.4. Hidrogram na hidrološkoj postaji Turkovići



Nakon preuzetih podataka od strane DHMZ-a o nivou vode za svih 10 godina u odnosu na referentnu točku koja je postavljena 72 cm niže od stalne i fiksne vodomjerne letve dobivena je stvarna dubina korita. U odnosu na tu 72 cm nižu referentnu točku tj. stvarnu dubinu korita prikazujemo desetogodišnje dubine na način da se na svakodnevni vodostaj dodaje 72 cm.



Sl. 4.2.2.5. Rekonstruirani prikaz dubina na hidrološkoj postaji Turkovići

#### **4.4. PRORAČUN SNAGA HIDROELEKTRANA KOJE KORISTE POTENCIJALNU I KINETIČKU ENERGIJU RIJEKE DOBRE**

Temeljem prikazanih hidroloških podataka za postaje „Luke“ i „Turkovići“ vidljivo je da tok rijeke Dobre nikad ne presušuje te da sukladno tome ima konstantan protok.

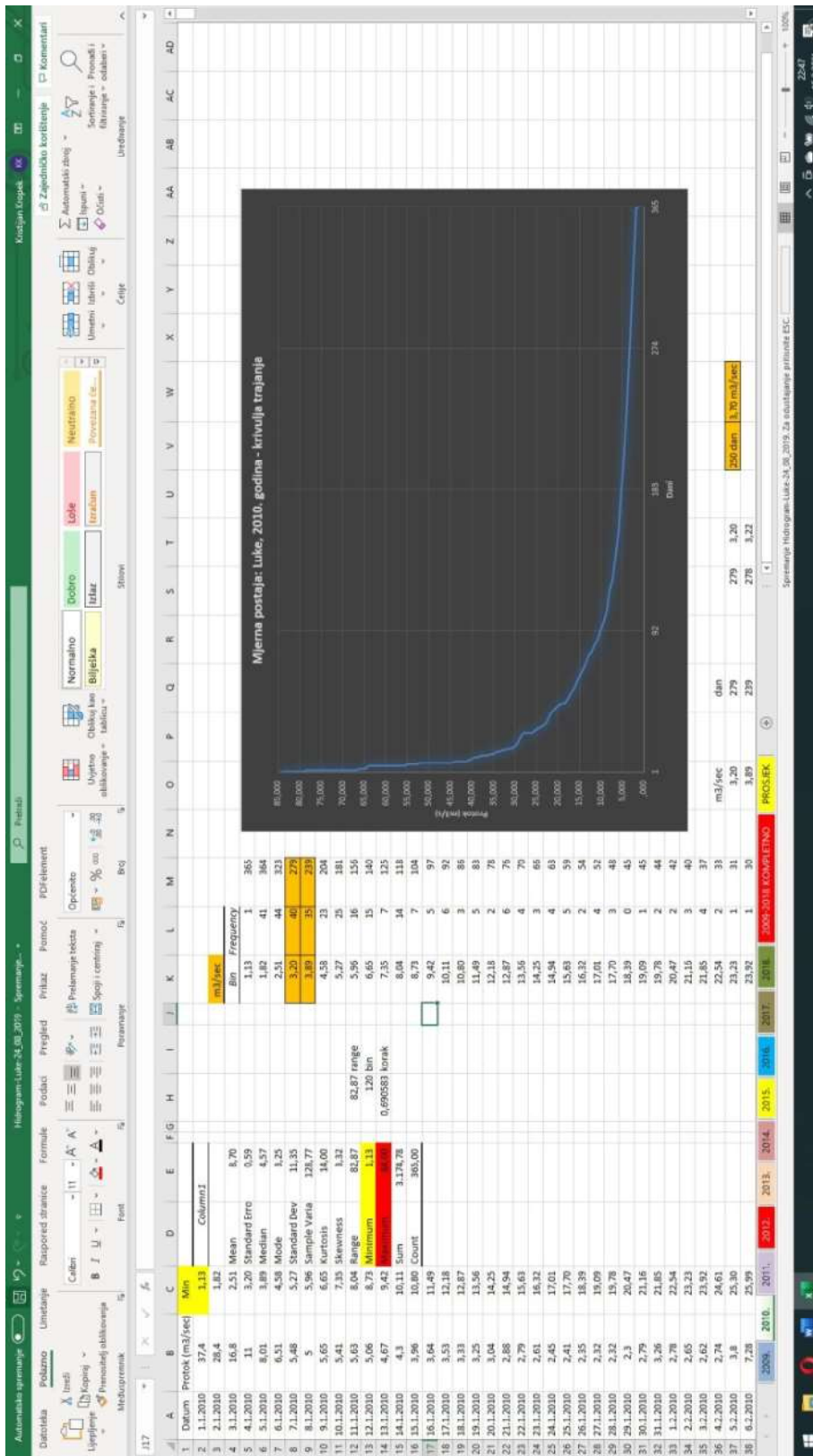
Kako je navedeno ranije, podaci iz izmjera preuzeti su od DHMZ-a u „Excel“ formatu za svaki dan od 01.01.2009 do 31.12.2018., odnosno za niz od deset godina.

Za analizu svake od postaja najbitnije je odvojiti cijelo desetogodišnje izmjereno razdoblje pojedinačno na godine, te za svaku godinu napraviti analizu kao i za prosjek svih godina.

Nastavak traženja potencijala odnosi se na traženje krivulje trajanja protoka za svih deset godina i prosjek za obje postaje. Krivulja trajanja prikazati će nam raspoloživost vodnih količina u godini poredanih po veličini od najmanje do najveće.

Analiza podataka radi se odvojeno za rekonstruirane dubine ( nivogram ) , te zasebno za protoke (hidrogram) iz kojih ćemo dobiti krivulju trajanja. Obrada podataka za svaku godinu pomoću programa excel svodi se na statističku obradu prikupljenih podataka. Grafički prikaz nivograma te hidrograma svih godina i prosjek za obje postaje bit će prikazan u priložima.

Na slici 4.3.1. prikazan je primjer statističke obrade protoka za mjernu postaju Luke u 2010-godini.



Sl. 4.3.1. Statistička razrada u Excelu na primjeru, postaja Luka 2010.god

Statističkom analizom protoka za svih 365 dana u 2010. godini dobiju se ključni podaci poput minimuma, maksimuma, medijana, ukupne sume, raspona i sl.

Nama su ključni podaci minimum, maximum te njihov raspon. Da bi raspon između minimalne i maksimalne vrijednosti postao pregledan i detaljniji integriramo ga na manje isječke ( korake ) po kojima dalje raspoređujemo vrijednosti u manjim isječcima od postavljenog minimuma do maximuma.

U ovom primjeru minimalan protok bio je  $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , a maksimalan  $84 \text{ m}^3/\text{s}$ . Raspon od  $82,87 \text{ m}^3/\text{s}$  podijelili smo na korake po  $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nakon takve raspodjele da bi dobili krivulju trajanja koja će nam prikazati raspoloživost vodnih količina u odnosu na tijek godine provodimo statistiku o odnosu na frekvenciju i učestalost ponavljanja te je raspoređujemo na svih 365 dana u godini.

Dijagramom na kraju prikazujemo raspon protoke od minimalne do maksimalne vrijednosti po ordinati dok apscisom definirano vrijeme.

Smjericama za projektiranje i dimenzioniranje hidroelektrana , za uzimanje ulaznog podatka preporuča se trajanje srednjeg dnevnog protoka od 250 dana. U ovom prezentiranom slučaju mjerne postaje „Luke“ za 2010. godinu za 250 dan dobiven je srednji dnevni protok  $3,70 \text{ m}^3/\text{s}$  što je zasjenjeno označeno u tablici 4.3.2.

Nakon svih obrađenih godina i prosjeka za obje postaje prikazujemo zbirno dobivene rezultate nivograma i hidrograma u tabeli 4.3.2.

Tablica 4.3.2. Tabela prikaz statistički obrađenih podataka po godinama za obje postaje

DOBIVENI PODACI STATISTIČKOM OBRADOM - Excel				
GODINA	TURKOVIĆI		LUKE	
	NIVOGRAM	HIDROGRAM	NIVOGRAM	HIDROGRAM
	DUBINA 250 DANA (m)	Q PROTOK (m <sup>3</sup> /s)	DUBINA 250 DANA (m)	Q PROTOK (m <sup>3</sup> /s)
2009	113,00	3,03	119,00	2,22
2010	126,00	6,60	134,00	<b>3,70</b>
2011	117,00	3,46	123,00	2,40
2012	116,00	3,68	125,00	2,49
2013	123,00	5,45	130,00	3,26
2014	133,00	8,33	139,00	5,42
2015	116,00	3,92	124,00	2,59
2016	120,00	4,90	127,00	2,60
2017	116,00	3,88	122,00	2,54
2018	119,00	4,32	127,00	2,49
<b>SREDNJE</b>	<b>130,00</b>	<b>7,93</b>	<b>138,00</b>	<b>4,30</b>

Brzina vode  $v$  (m/sec) u direktnoj je vezi sa površinom  $A$  (m<sup>2</sup>) kroz koju teče te protokom  $Q$  (m<sup>3</sup>/s).

S obzirom na protoku i nivo vode koje smo izračunali te dostupne poprečne presjeke korita potrebno je rekonstruirati presjek sa vodenim licem iz kojeg ćemo dobiti površinu poprečnog presjeka  $A$ . Isto je napravljeno u AutoCadu za obje postaje, svih deset godina te presjek.

U ovom prezentiranom slučaju iz tablice 4.3.2. za mjernu postaju „Luke“ u 2010.godinu prema Autocad-u prikazujemo dobivene rezultate.

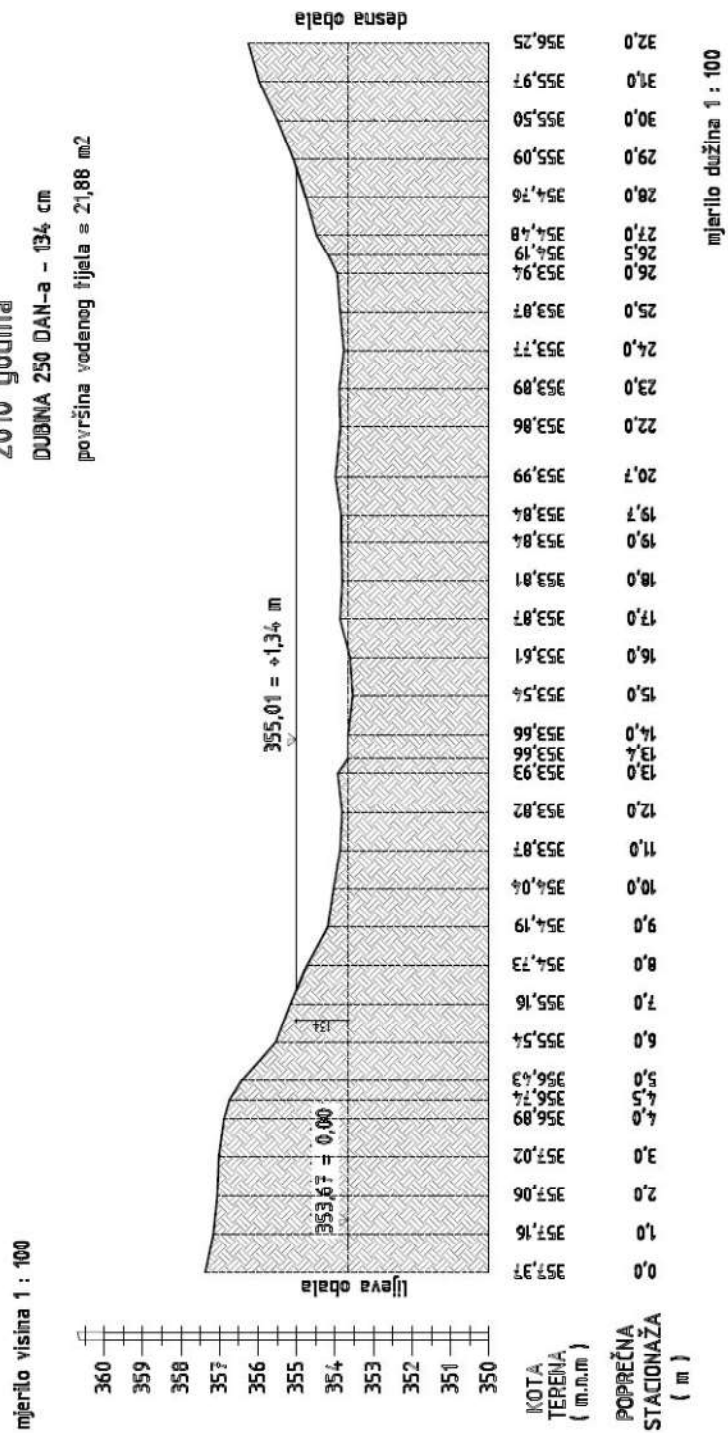
**POPREČNI PRESJEK KORITA – LUKE**

kota mule : 353,67 m n/m

**2010 godina**

**DUBINA 250 DAN-a - 134 cm**

**površina vodenog tijela = 21,88 m<sup>2</sup>**



Sl. 4.3.3. Prikaz rekonstruiranih dubina za izračun površine A, mjerna postaja Luke 2010.god

Nakon svih ucrtanih dubina, odnosno njihovih prikaza i rekonstrukcija, u tablici 4.3.4. prikazani su zbirno dobiveni rezultati izračunatih srednjih brzina i srednjih protoka.

Tablica 4.3.4. Tabelarni prikaz izračunatih brzina i protoka

ULAZNI PODACI								
GODINA	TURKOVIĆI				LUKE			
	NIVOGRAM	HIDROGRAM	AUTOCAD		NIVOGRAM	HIDROGRAM	AUTOCAD	
	DUBINA 250 DANA (m)	PROTOK (m <sup>3</sup> /s)	POVRŠINA POPREČNOG PRESJEKA (m <sup>2</sup> )	v ( BRZINA ) m/s	DUBINA 250 DANA (m)	PROTOK (m <sup>3</sup> /s)	POVRŠINA POPREČNOG PRESJEKA (m <sup>2</sup> )	v ( BRZINA ) m/s
2009	113,00	3,03	24,83	<b>0,12</b>	119,00	2,22	18,75	<b>0,12</b>
2010	126,00	6,60	28,08	<b>0,24</b>	134,00	3,70	21,88	<b>0,17</b>
2011	117,00	3,46	25,83	<b>0,13</b>	123,00	2,40	19,56	<b>0,12</b>
2012	116,00	3,68	25,82	<b>0,14</b>	125,00	2,49	19,95	<b>0,12</b>
2013	123,00	5,45	27,33	<b>0,20</b>	130,00	3,26	21,03	<b>0,16</b>
2014	133,00	8,33	29,85	<b>0,28</b>	139,00	5,42	22,96	<b>0,24</b>
2015	116,00	3,92	25,82	<b>0,15</b>	124,00	2,59	19,77	<b>0,13</b>
2016	120,00	4,90	26,58	<b>0,18</b>	127,00	2,60	20,40	<b>0,13</b>
2017	116,00	3,88	25,82	<b>0,15</b>	122,00	2,54	19,35	<b>0,13</b>
2018	119,00	4,32	29,09	<b>0,15</b>	127,00	2,49	20,40	<b>0,12</b>
<b>SREDNJE</b>	<b>130,00</b>	<b>7,93</b>	<b>29,09</b>	<b>0,27</b>	<b>138,00</b>	<b>4,30</b>	<b>22,74</b>	<b>0,19</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.

Za izlaznu snagu, koristeći se potencijalnom energijom koristiti ćemo ranije navedeni izraz :

$$P_{izlazna} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_{totalna} \quad (W) \quad (3)$$

Za izlaznu snagu koristeći se kinetičkom energijom koristiti ćemo ranije navedeni izraz :



$$P_{izlazna} = \rho/2 \times A \times v^3 \times \eta_{totalna} \quad (W) \quad (4)$$

Za učinkovitost turbine, kako je objašnjeno u poglavlju 2.3, usvaja se 80 % za turbinu koja koristi potencijalnu energiju vode, dok će se za turbinu koja koristi kinetičku energiju vode usvojiti učinkovitost od 30 % [Grundfos Pump handbook; GRUNDFOS Management A/S: Bjerringbro, 2004; Kirke, B. Hydrokinetic turbines for moderate sized rivers. Energy Sustain. Dev. 2020, 58, 182–195, doi:https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.08.003.]. Radi uvida u promjenu snage turbine koja koristi potencijalnu energiju vode, varirane su visine pregrade, odnosno neto visinskog pada. Pri tome se krenulo od 0.5 m sa povećanjem od 0.25 m, sve do konačne vrijednosti dubine od 2 m. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 4.3.5.

Tablica. 4.3.5. Prikaz izračunatih potencijala za obje postaje

PRORAČUN											
POTENCIJALNA ENERGIJA						KINETIČKA ENERGIJA					
srednja vrijednost	Ostvareni neto pad	Vrijednost protoka	Ubrzanje sile teže	Gustoća vode	Učinkovitost hidroelektrane	Izlazna snaga hidroelektrane - potencijalna	Proizvodnja energije	Ulazna površina	Srednja brzina tečenja	Učinkovitost hidroelektrane	Izlazna snaga hidroelektrane - kinetička
	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	g (m/s <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	η HE (80%)	$P_{HE} = (\rho \times g \times H \times \eta_{HE} \times Q) / 1.000$ kW	$E = P \times 250$ dana (kW)	A (m <sup>2</sup> )	v (m <sup>3</sup> /s)	η HE (30%)	$P_{HE} = \rho/2 \times A \times v^3 \times \eta(30\%) / 1000$ kW
<b>LUKE</b>	0,5	4,30	9,81	1000	80%	16,87	4.218,30	22,74	0,19	30%	0,023
	0,75					25,31	6.327,45				
	1					33,75	8.436,60				
	1,25					42,18	10.545,75				
	1,5					50,62	12.654,90				
	1,75					59,06	14.764,05				
	2					67,49	16.873,20				
<b>TURKOVČI</b>	0,5	7,93	9,81	1000	80%	31,12	7.779,33	29,09	0,27	30%	0,088
	0,75					46,68	11.669,00				
	1					62,23	15.558,66				
	1,25					77,79	19.448,33				
	1,5					93,35	23.337,99				
	1,75					108,91	27.227,66				
	2					124,47	31.117,32				

Iz dobivenih rezultata zaključuje se da se radi o mikrohidroelektranama.

## 5. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Za obje analizirane lokacije, snage turbina koje koriste potencijalnu energiju vode su veće u odnosu na turbine koje koriste kinetičku energiju vode. To se objašnjava malim srednjim brzinama tečenja vode. Kod turbina koje koriste potencijalnu energiju vode snage su veće sa većim visinama brane, odnosno pregrade, a na što se može utjecati. Količina proizvedene električne energije iz kinetičkih turbina nije navedena, budući da je za navedeno potreban prikaz promjene brzina tijekom godine, što nije moguće izračunati iz raspoloživih podataka.

Proračunate snage hidroelektrana kreću se od 16,87 kW do 124,47 kW za turbine koje koriste potencijalnu energiju vode, dok se snage hidroelektrana koje koriste kinetičku energiju vode kreću od 0,023 kW do 0,088 kW promatrajući obje postaje.

Međutim, potrebno je u obzir uzeti da se prikazani proračuni potencijala korištenjem kinetičke energije vode svode na korištenje usrednjene brzine kretanja vode po cijelom poprečnom presjeku. U pravilu, brzina je najveća u sredini poprečnog presjeka, a smanjuje se prema rubovima i dnu korita.

Terenskim izmjerama i usporedbom sa raspoloživim poprečnim profilima vodotoka, utvrđeno je da stvarni presjeci odudaraju od izmjerenim. Potrebno je uzeti u obzir da su raspoloživi poprečni presjeci iz 2011. godine za Luke, odnosno 2014. godine za Turkoviće. S obzirom na bujične karakteristike vodotoka, nije isključena mogućnost promjene poprečnih presjeka zbog nanosa, odnosno zbog erozije dna korita. Konkretno, na terenskom mjerenju u lipnju 2021. godine, primijećene su prepreke u obliku srušenih stabala i obraslosti poprečnog presjeka, na lokaciji same mjerne postaje, slika 5.1. Navedeno svakako utječe na brzinu i protočnost vode, odnosno na same vodostaje, što mijenja vrijednosti stvarnih protoka.



Slika 5.1. Uvid u promjene poprečnog presjeka na mjernoj postaji Luke

U ovakvim slučajevima, odstupanja od stvarnih vrijednosti protoka utječu i na vrijednosti srednje brzine. Obično su kod mjernih hidroloških postaja brzine tečenja manje radi konstrukcije limnigrafa koja je u pravilu na ravnom dijelu vodotoka, a često se u blizini nalaze i brzaci, kao što je to slučaj kod mjerne postaje Turkovići, slika 5.2.





Slika 5.2. Uvid u promjene karakteristika tečenja 20 metara nizvodno od mjerne postaje Turkovići

Prikazano ukazuje na potrebe mjerenja brzina i protoka vode i na uzvodnim te na nizvodnim lokacija u odnosu na mjernu postaju. Time se dobije realniji uvid u potencijal vodotoka za proizvodnju električne energije iz turbina.

U ovom radu u poglavlju 3 prikazane su hidrogeološke karakteristike analiziranog područja, ali i problem koji je nastao gradnjom spomenutih hidroelektrana. Radi se o krškom području u kojem su složeni geološki, hidrološki i hidrogeološki uvjeti, što analizu riječnog sliva dodatno komplicira. Gradnjom hidroelektrana "transportirane" su određene količine vodnih resursa iz sliva, čime se položaj, količina te dinamika vodnih resursa remeti. Time su promijenjen i režim podzemnih voda, što u krškim područjima svakako utječe i na površinske vodotoke. Promjenjivi utjecaj klimatskih promjena ima utjecaj na oborine, što dovodi do promjene ulaznih količina vode u promatrani sliv rijeke Gornje Dobre.

## 6. ZAKLJUČAK

Svrha diplomskog rada bila je odrediti potencijal, odnosno snage i količinu proizvedene električne energije za rijeku Gornju Dobru za lokacije na kojima su dvije hidrološke mjerne postaje, Luke i Turkovići, a za koje postoje raspoloživi podaci DHMZ-a, potrebni za proračun. U svakom slučaju, rijeka Gornja Dobra ima potencijal za gradnju mikrohidroelektrana, naročito jer je na terenu utvrđeno da postoje lokacije koje imaju prirodne karakteristike za navedeno, naročito gdje su brzaci.

Uzevši u obzir raspoložive podatke te dobivene rezultate, u svakom slučaju preporuča se provesti terenska istraživanja u sklopu kojih bi se izmjerile brzine i protoci na prethodnom navedenim lokacijama u svrhu realnijeg uvida u potencijal za gradnju malih hidroelektrana. Ovakve hidroelektrane na rijeci Gornjoj Dobri imaju snažno uporište jer predstavljaju "zeleni" izvor električne energije, koji praktički da i nema utjecaj na okoliš, nije skup, lako se montira i demontira, a u zabačenim, izoliranim i ruralnim područjima, kao što je i šira lokacija oko sliva rijeke Gornje Dobre, predstavlja jedini izvor električne energije jer rijeka Gornja Dobra praktički da i ne presušuje. S obzirom na se veliki dio područja rijeke Gornje Dobre nalazi unutar područja Nature 2000, takvi mali zahvati ne predstavljaju problem za odobrenje njihovog građenja.

## 7. POPIS LITERATURE

- [1]. Worldometer, Current world population; <https://www.worldometers.info/world-population/>. Datum pristupa: 26.01.2021.
- [2]. Vis Viva; <http://www.vis-viva-energija.com/energija-danas-i-sutra/>. Datum pristupa: 26.01.2021.
- [3]. Worldometer, Current world population; <https://www.worldometers.info/world-population/energy/>. Datum pristupa: 26.01.2021.
- [4]. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi\\_izvori\\_energije](https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi_izvori_energije) / Datum pristupa: 01.02.2021.
- [5]. <http://www.vis-viva-energija.com/energija-danas-i-sutra/> Datum pristupa: 01.02.2021.
- [6]. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroenergija/> Datum pristupa: 01.02.2021.
- [7]. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodeničko\\_kolo/](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vodeničko_kolo/) Datum pristupa: 07.02.2021.
- [8]. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana/> Datum pristupa: 07.02.2021
- [9]. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana\\_Tri\\_klanca/](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Tri_klanca/) Datum pristupa: 12.02.2021
- [10]. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Dobra> / Datum pristupa: 06.03.2021
- [11]. Hep proizvodnja; <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-gojak/1542> / Datum pristupa: 14.03.2021
- [12]. Hep proizvodnja; <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543> / Datum pristupa: 17.03.2021
- [13]. Državni hidrometeorološki zavod. Sektor za hidrologiju. Hidrološke postaje. Dostupno na: <http://161.53.81.21/>. Datum pristupa: 20.03.2021.

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1.3. Prikaz odnosa snaga korištenja energije po izvorima za 2010., 2020., 2030. godinu

Slika 2.1.1. Primjer vodeničnog kola te primjena u rezanju kamenih blokova

Slika 2.1.2. Ostaci vodne turbine Jaruga 1. te spomen ploča

Slika 2.2.1. Osnovni poprečni presjek kroz hidroelektranu

Slika 2.2.2. Pogled na branu hidroelektrane „Tri klanca „

Slika 2.2.3. Jedna od 34 turbine sa hidroelektrane.

Slika 3.1.1. Izvor rijeke Dobre kod Skradinskog vrha

Slika 3.1.2. Tok rijeke Dobre i označene postaje Luke, Turkovići

Slika 3.2.1. Akumulaciona jezera „Sabljaci“ i „Bukovik“ sa trasom cjevovoda prema Hidroelektrani Gojak

Slika 3.2.2. Uzdužni presjek dovodnog tlačnog cjevovoda.

Slika 3.2.3. Presjek kroz strojarnicu HE Gojak

Slika 3.2.4. Izlaz vode iz strojarnice ispod upravne zgrade HE Gojak

Slika 3.2.5. HE Lešće

Slika 3.2.6. Strojarnica HE Lešće

Slika 4.1.1. Gornja Dobra sa prikazanim stalnim mjernim postajama „Turkovići „ i „Luke“

Slika 4.2.1. Hidrološka postaja Luke

Slika 4.2.2. Poprečni profil korita na hidrološkoj postaji Luke

Slika 4.2.3. Nivogram na hidrološkoj postaji Luke

Slika 4.2.4. Hidrogram na hidrološkoj postaji Luke

Slika 4.2.5. Rekonstruirani prikaz dubina na hidrološkoj postaji Luke

Slika 4.3.1. Hidrološka postaja Turkovići

Slika 4.3.2. Poprečni profil korita na hidrološkoj postaji Turkovići



Slika 4.3.3. Nivogram na hidrološkoj postaji Turkovići

Slika 4.3.4. Hidrogram na hidrološkoj postaji Turkovići

Slika 4.3.5. Rekonstruirani prikaz dubina na hidrološkoj postaji Turkovići

Slika 4.4.1. Statistička razrada u excelu.

Slika 4.3.3. Prikaz rekonstruiranih dubina za izračun površine A, postaja Luke 2010.god

Slika 5.1. Uvid u promjene poprečnog presjeka na mjernoj postaji Luke

Slika 5.2. Uvid u promjene karakteristika tečenja 20 metara nizvodno od mjerne postaje Turkovići

## **9. POPIS TABLICA**

Tablica 1.1. Prikaz svjetske populacije u realnom vremenu na 26.01.2021.

Tablica 1.2. Prikaz korištenja dostupne energije na 26.01.2021.

Tablica 4.3.2. Tabelarni prikaz statistički obrađenih podataka po godinama za obje postaje

Tablica 4.3.4. Tabelarni prikaz izračunatih brzina

Tablica 4.3.5. Tabelarni prikaz izračunatih potencijala za obje postaje

## 10. POPIS PRILOGA

- Prilog 11.1.1. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2009.god.
- Prilog 11.1.2. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2010.god.
- Prilog 11.1.3. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2011.god.
- Prilog 11.1.4. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2012.god.
- Prilog 11.1.5. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2013.god.
- Prilog 11.1.6. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2014.god.
- Prilog 11.1.7. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2015.god.
- Prilog 11.1.8. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2016.god.
- Prilog 11.1.9. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2017.god.
- Prilog 11.1.10. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2018.god.
- Prilog 11.1.11. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke 2009 / 2018 prosjek
- Prilog 11.2.1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009.god.
- Prilog 11.2.2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2010.god.
- Prilog 11.2.3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2011.god.
- Prilog 11.2.4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2012.god.
- Prilog 11.2.5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2013.god.
- Prilog 11.2.6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2014.god.
- Prilog 11.2.7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2015.god.
- Prilog 11.2.8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2016.god.
- Prilog 11.2.9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2017.god.
- Prilog 11.2.10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2018.god.
- Prilog 11.2.11. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009-2018.god.  
(10.god.)

Prilog 11.2.12. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009-2018.god. (prosjeck.)

Prilog 11.3.1. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2009.god.

Prilog 11.3.2. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2010.god.

Prilog 11.3.3. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2011.god.

Prilog 11.3.4. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2012.god.

Prilog 11.3.5. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2013.god.

Prilog 11.3.6. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2014.god.

Prilog 11.3.7. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2015.god.

Prilog 11.3.8. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2016.god.

Prilog 11.3.9. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2017.god.

Prilog 11.3.10. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2018.god.

Prilog 11.3.11. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke 2009 / 2018 prosjek

Prilog 11.4.1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009.god.

Prilog 11.4.2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2010.god.

Prilog 11.4.3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2011.god.

Prilog 11.4.4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2012.god.

Prilog 11.4.5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2013.god.

Prilog 11.4.6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2014.god.

Prilog 11.4.7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2015.god.

Prilog 11.4.8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2016.god.

Prilog 11.4.9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2017.god.

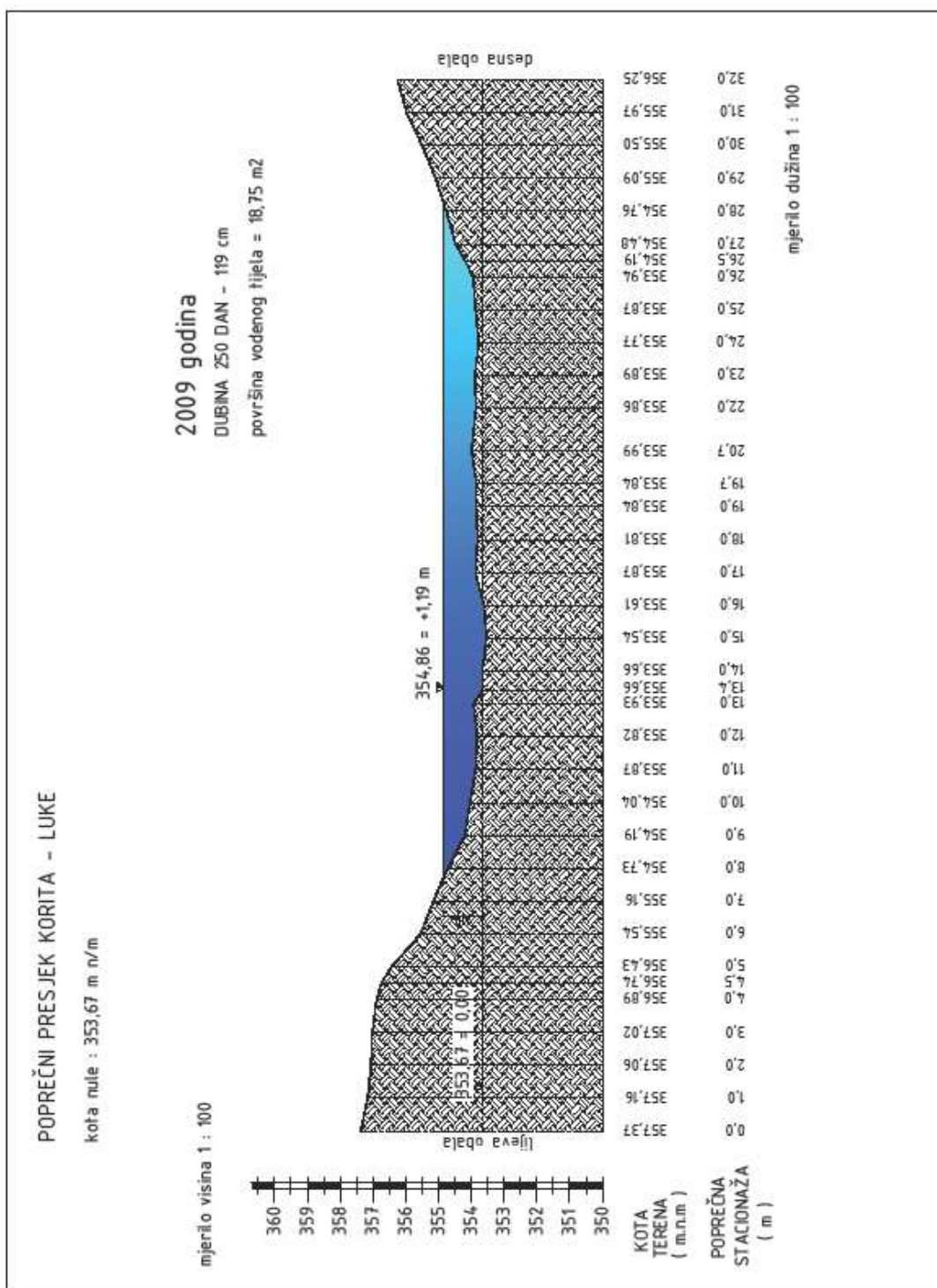
Prilog 11.4.10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2018.god.

Prilog 11.4.11. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009-2018.god. (10.god.)

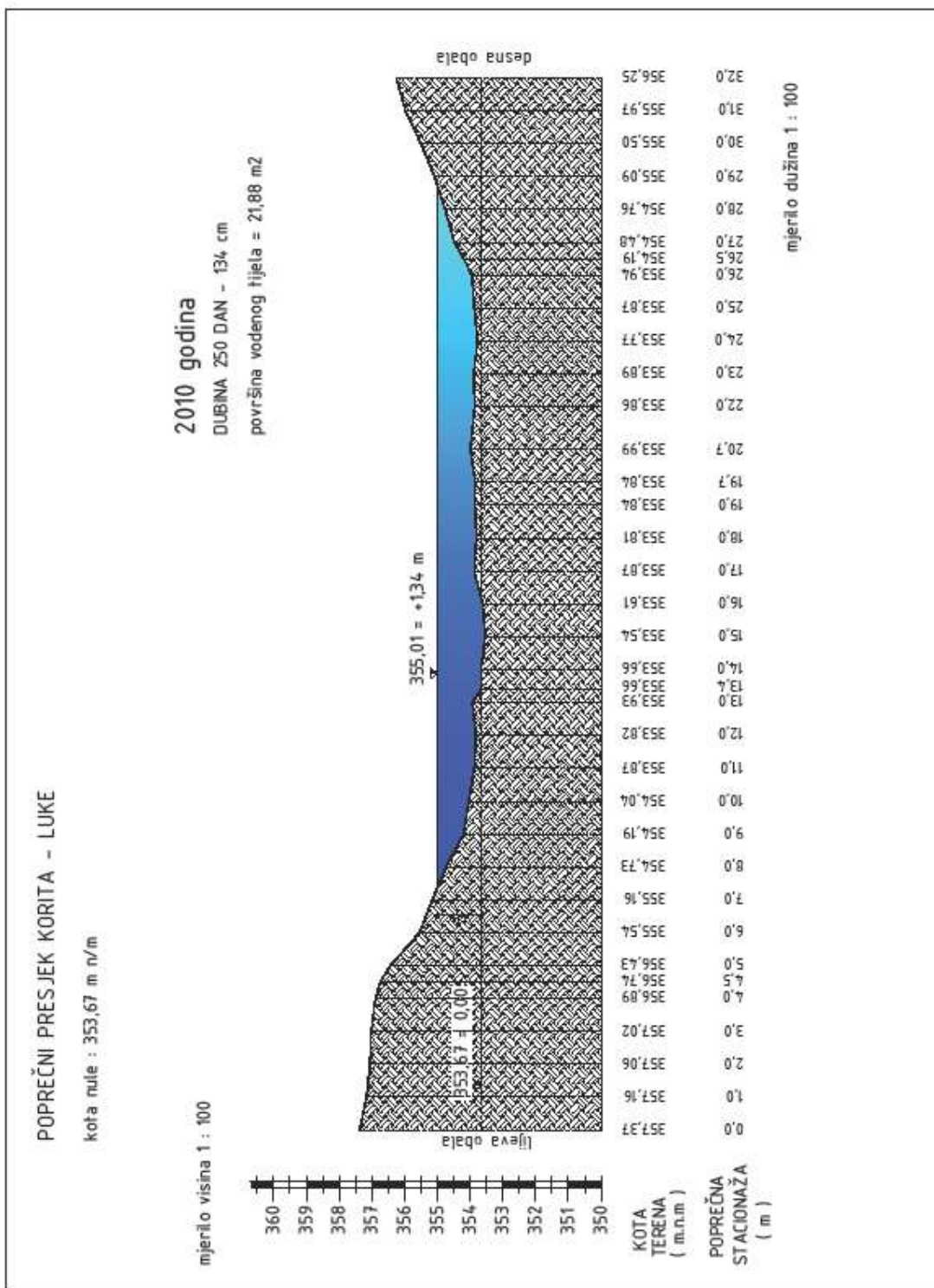
Prilog 11.4.12. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009 - 2018.god. (prosjeak)

# 11. PRILOZI

## 11.1. Poprečni presjeci postaja „Luke“

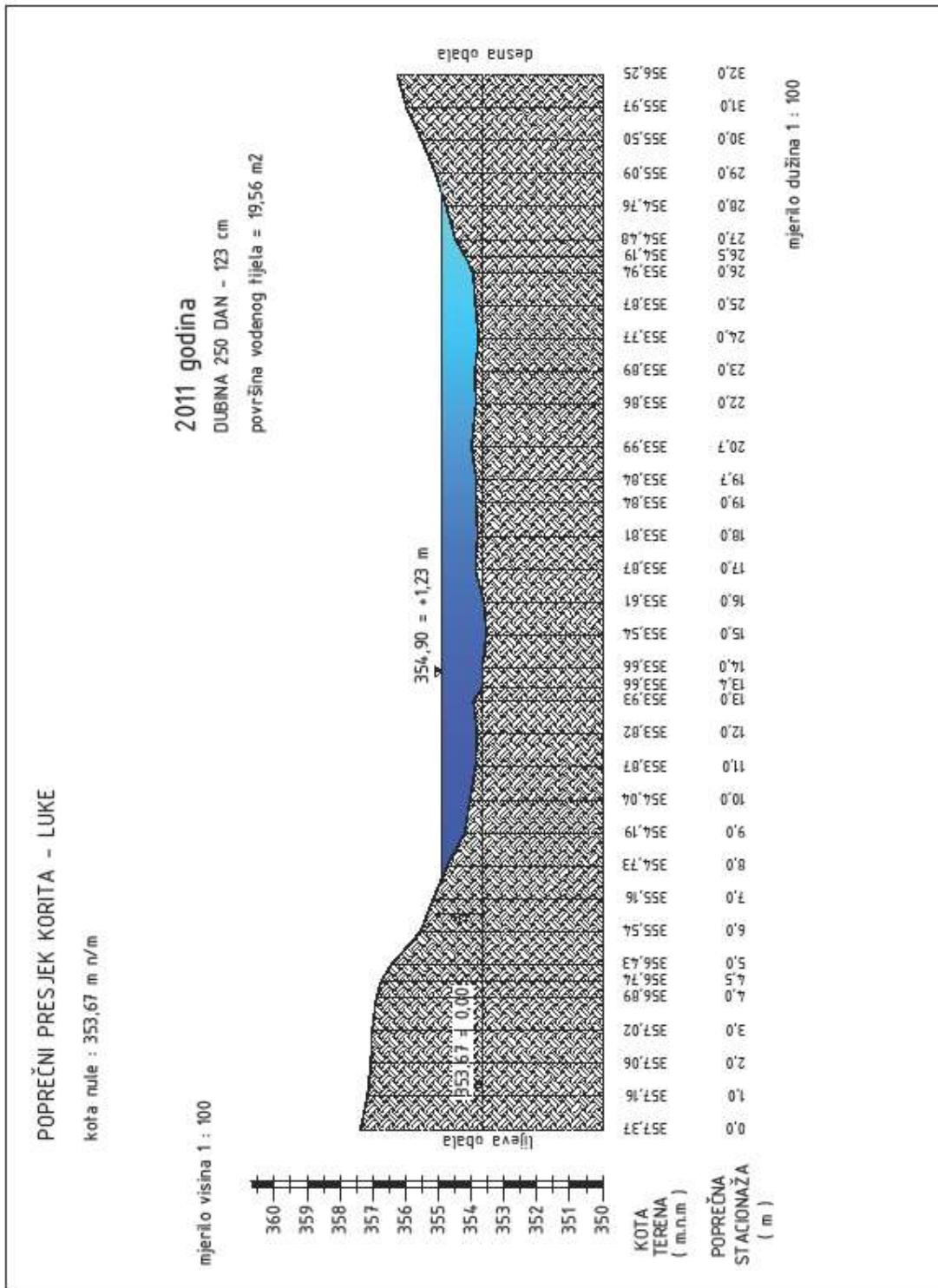


Prilog 11.1.1. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2009.god.

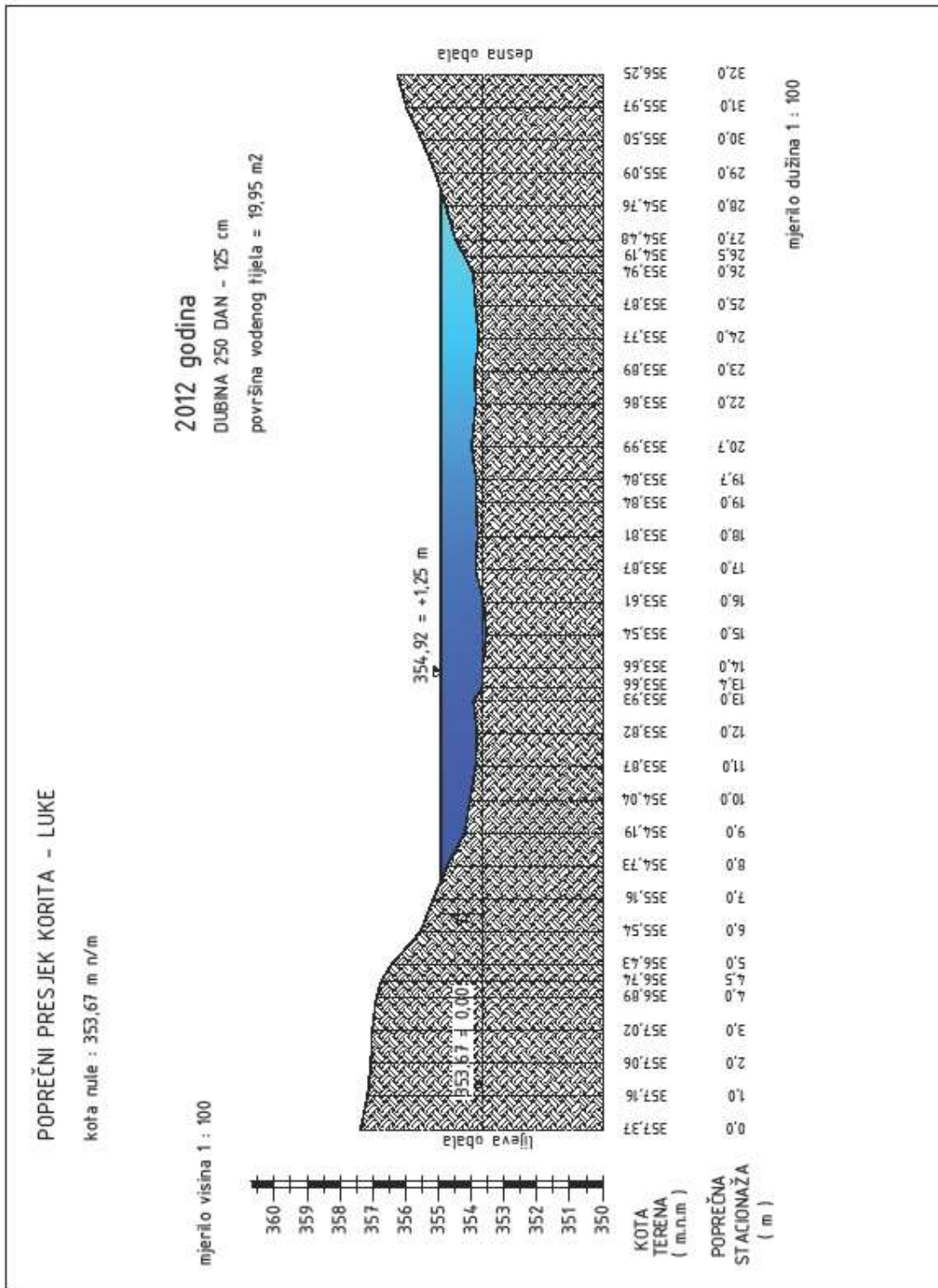


Prilog 11.1.2. Poprečni presjek korita na mornoj postaji Luke iz 2010.god.

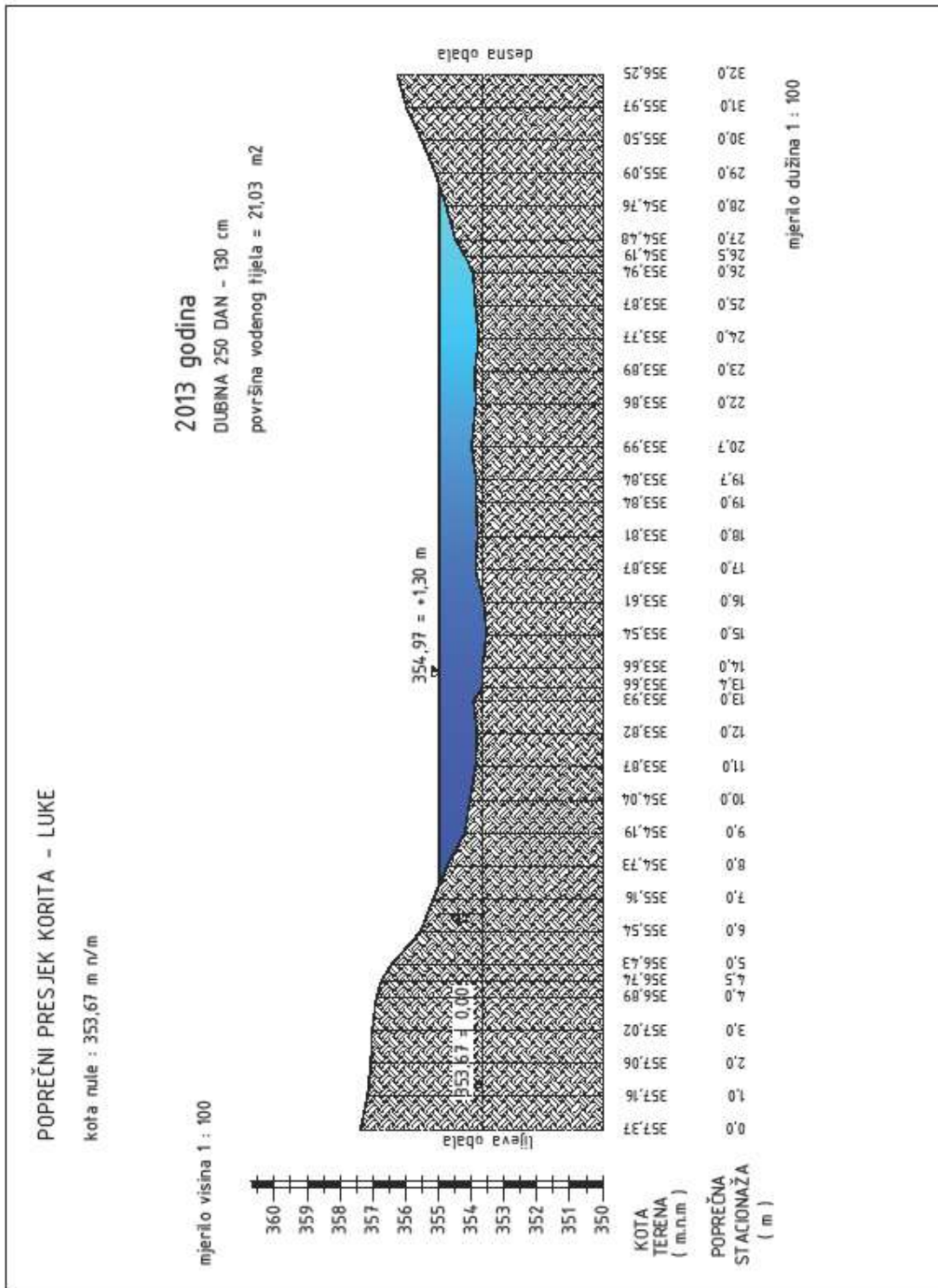




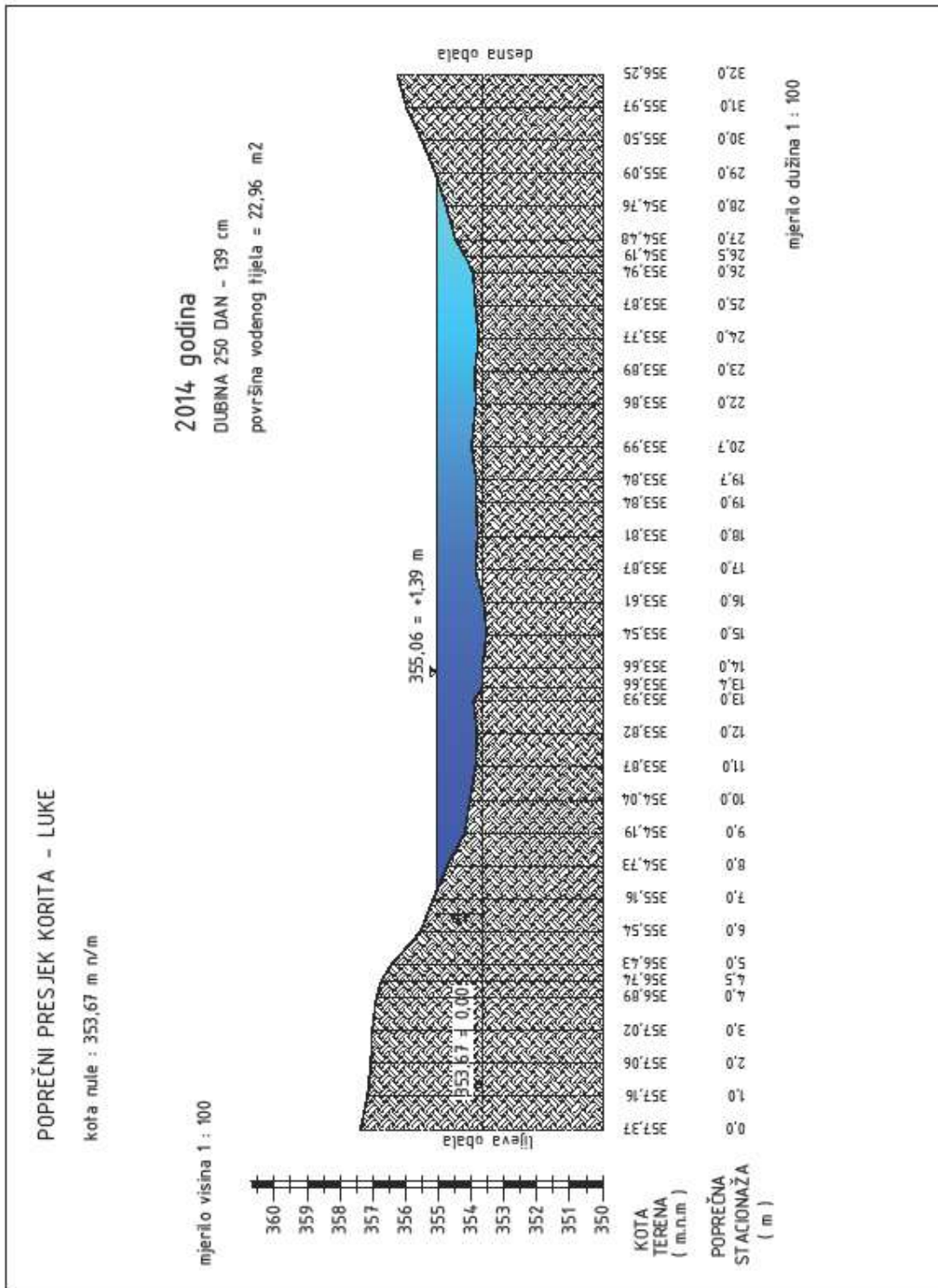
Prilog 11.1.3. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2011.god.



Prilog 11.1.4. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2012.god.

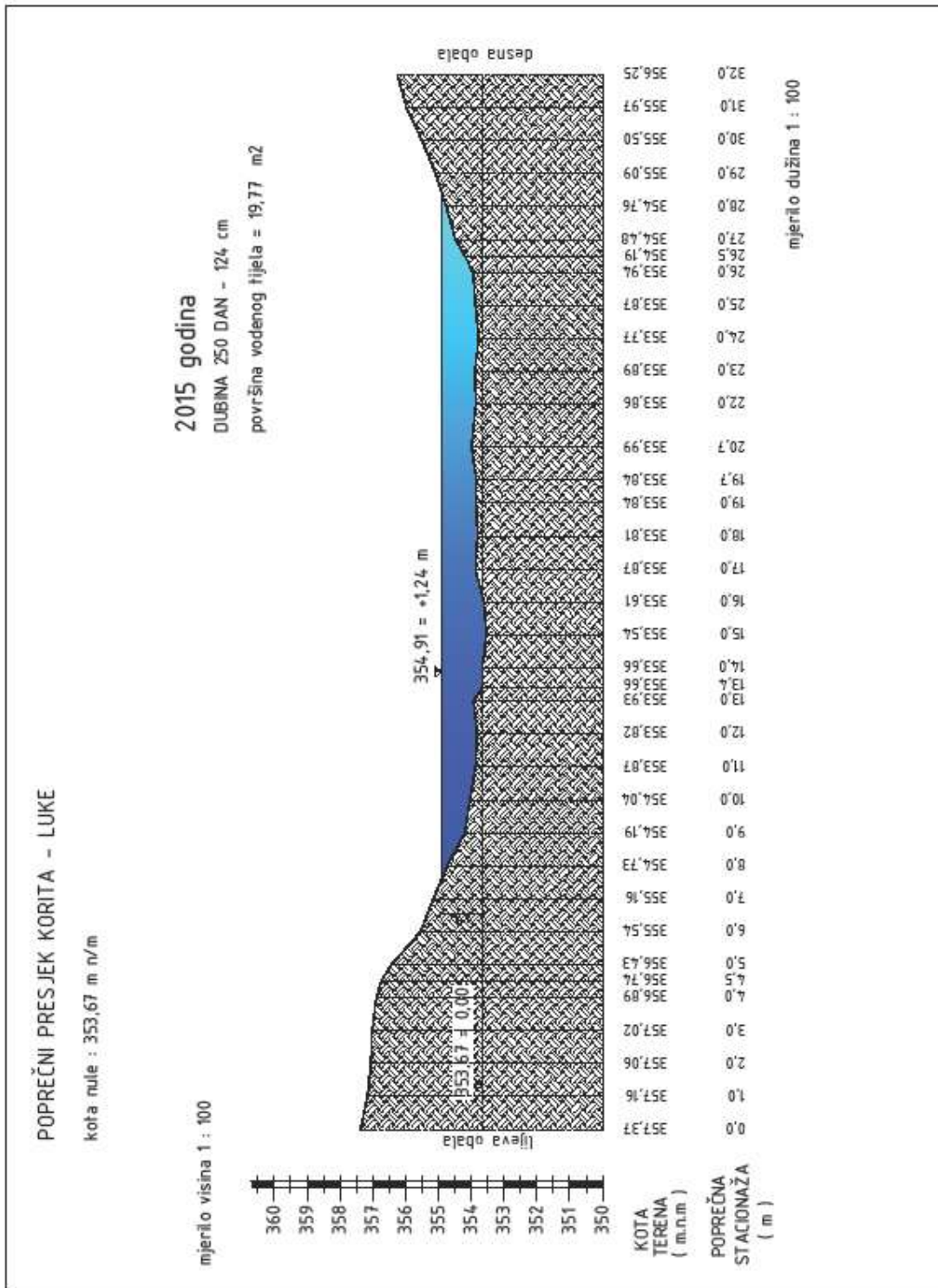


Prilog 11.1.5. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2013.god.

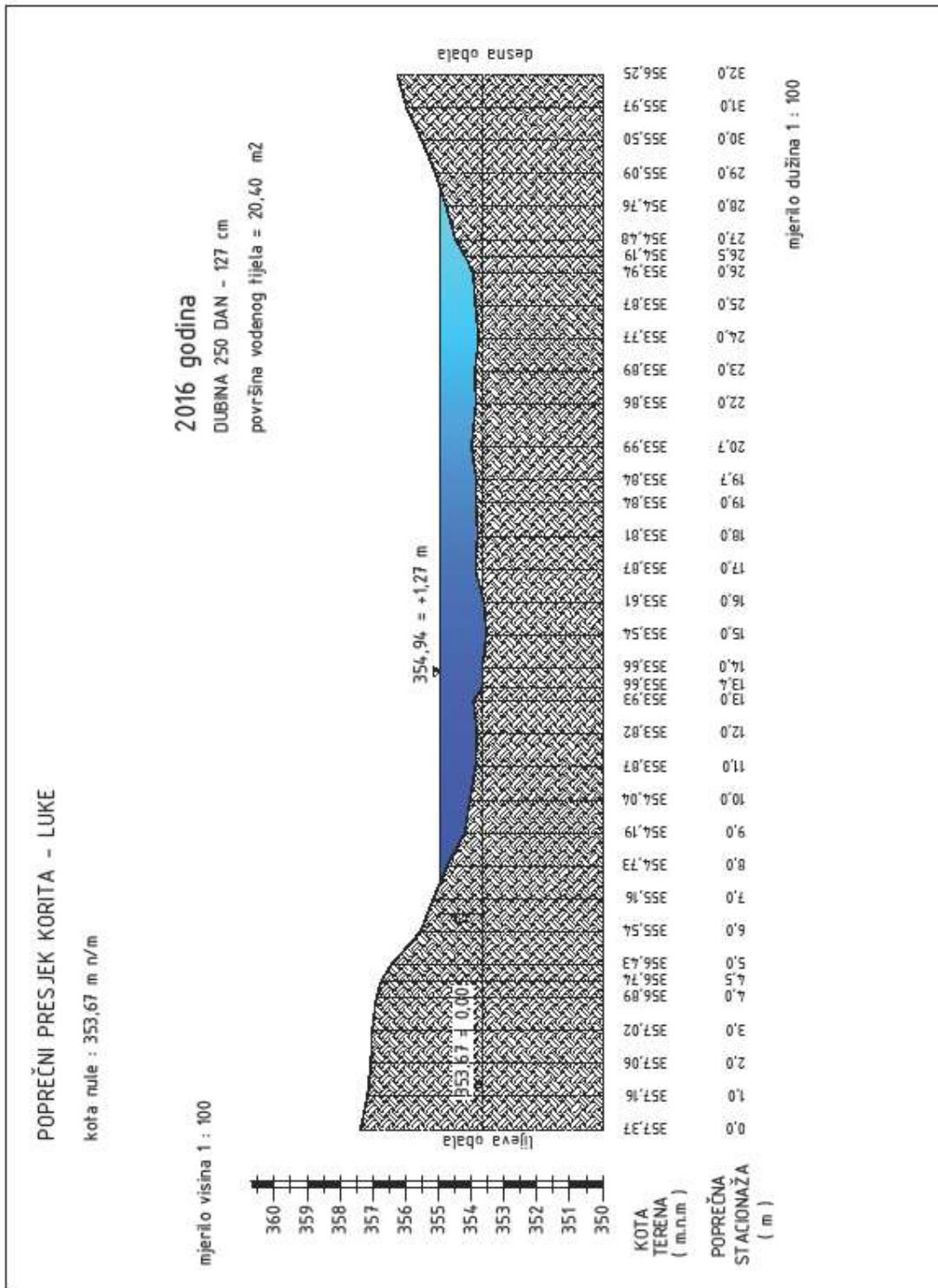


Prilog 11.1.6. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2014.god.

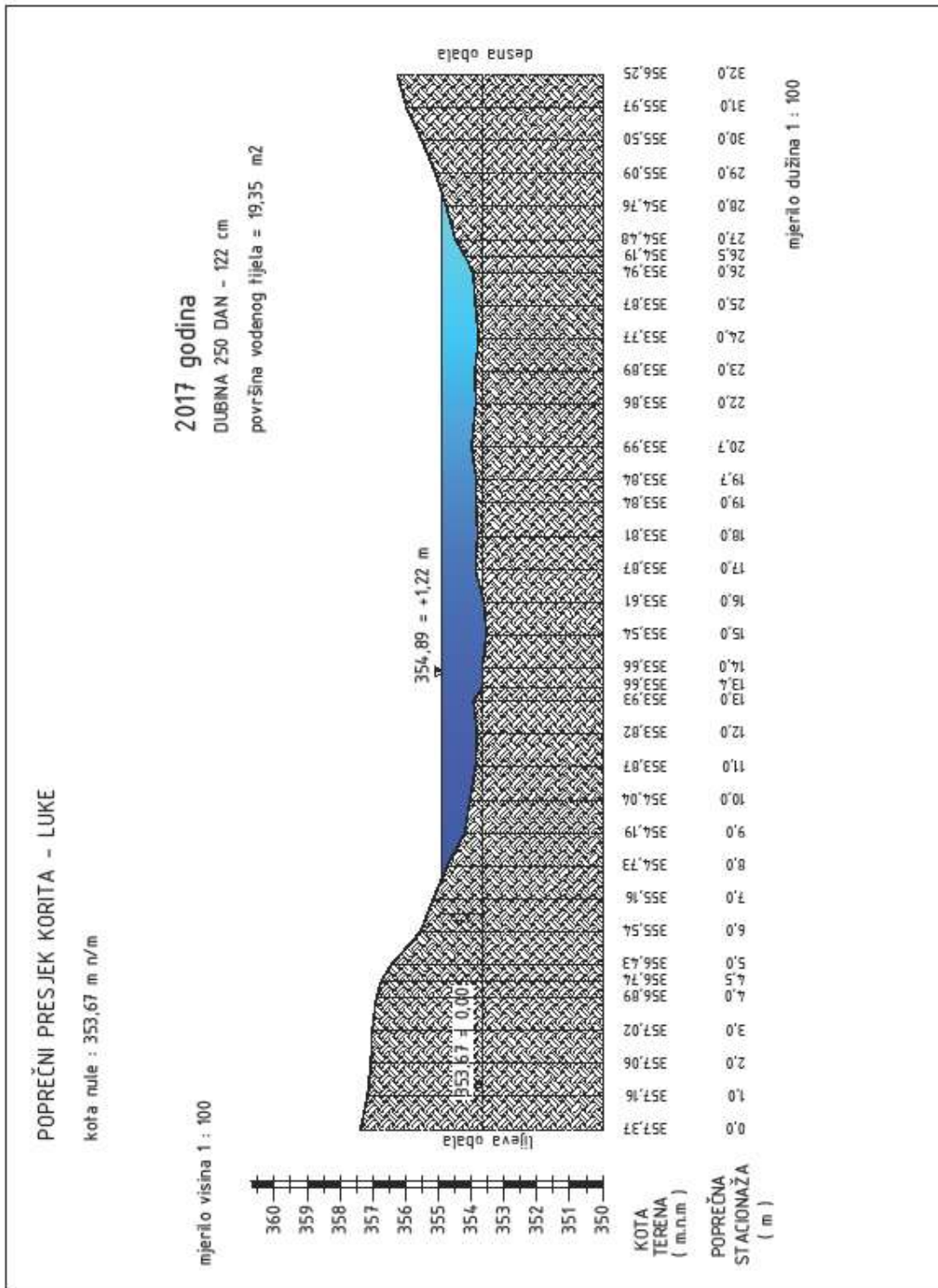




Prilog 11.1.7. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2015.god.

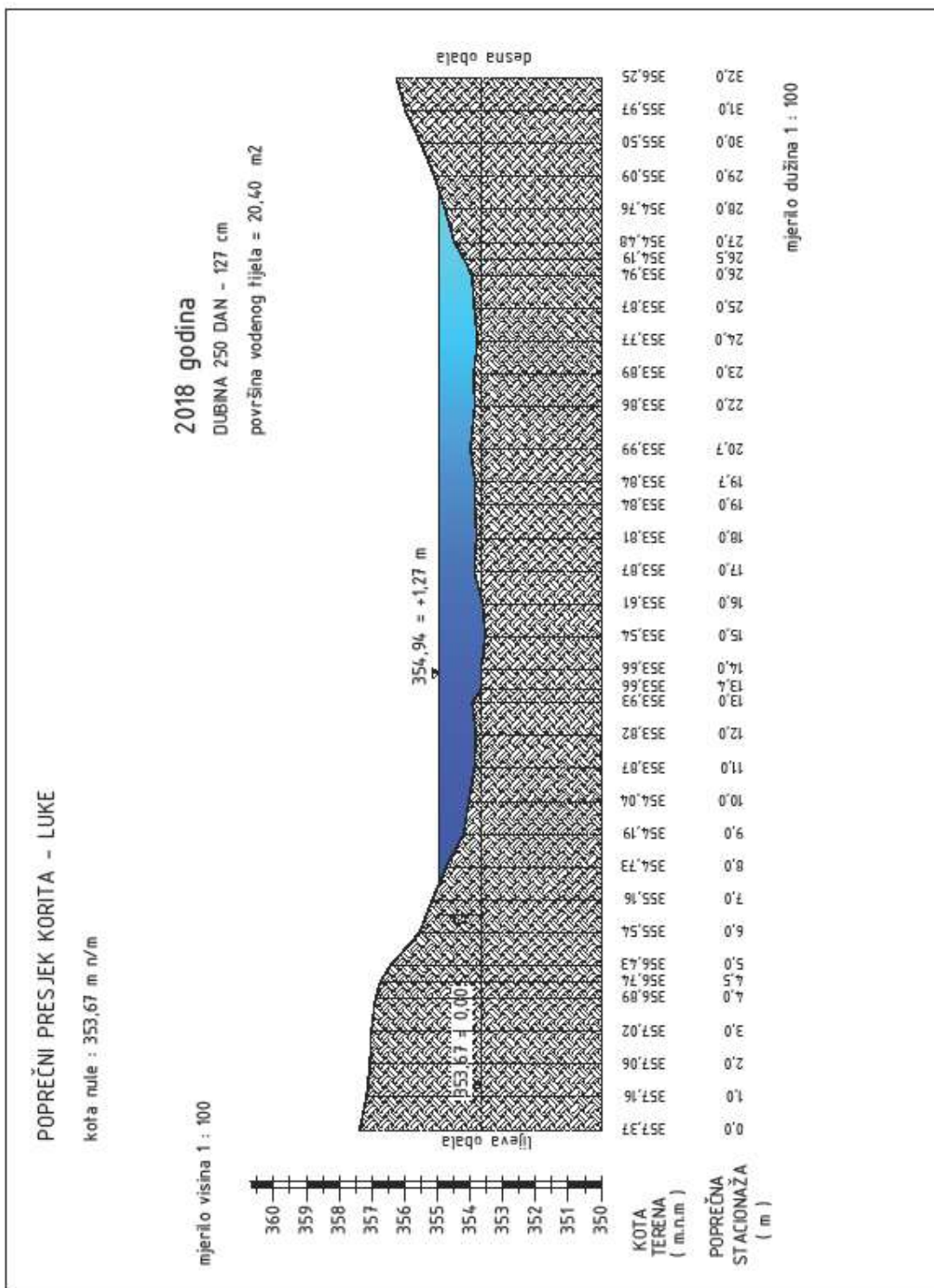


Prilog 11.1.8. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2016.god.

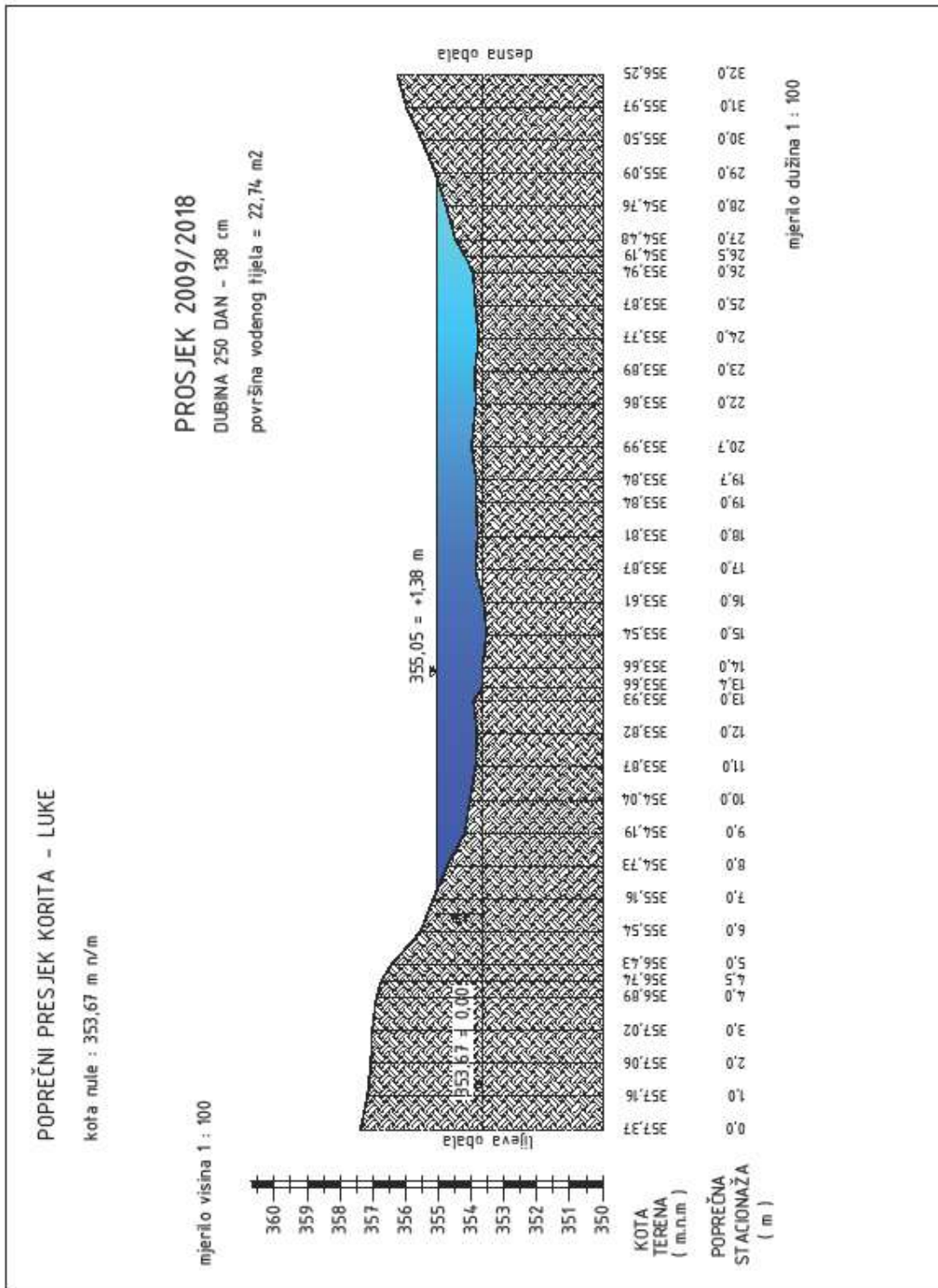


Prilog 11.1.9. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2017.god.





Prilog 11.1.10. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke iz 2018.god.



Prilog 11.1.11. Poprečni presjek korita na mornoj postaji Luke 2009 / 2018 prosjek

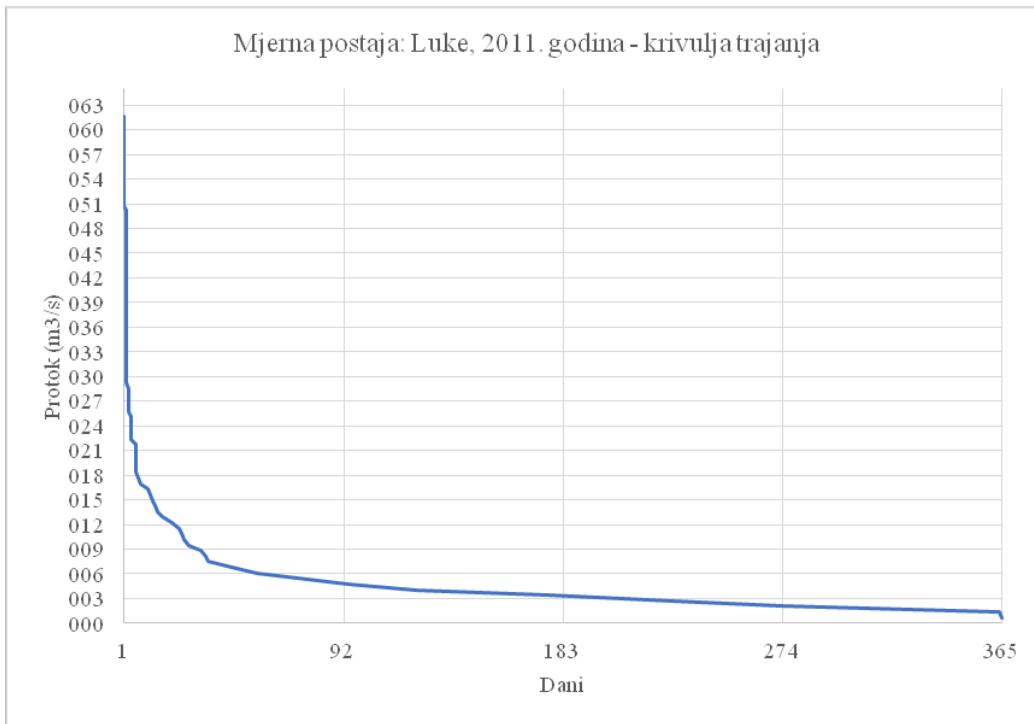
## 11.2. Krivulje trajanja protoka postaje „Luke“



Prilog 11.2.1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009.god.



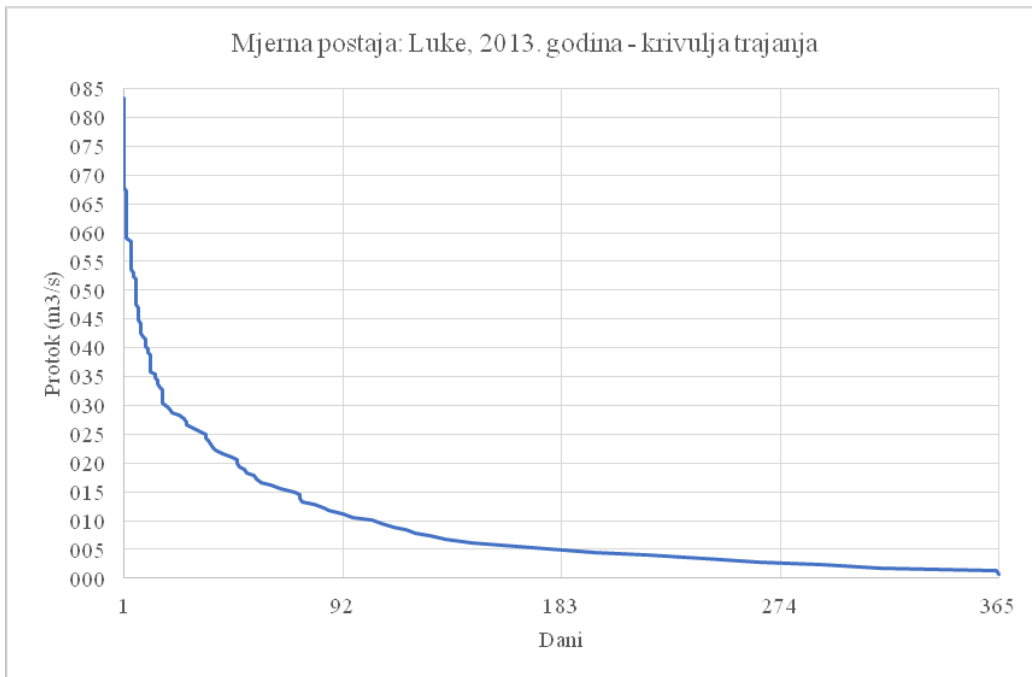
Prilog 11.2.2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2010.god.



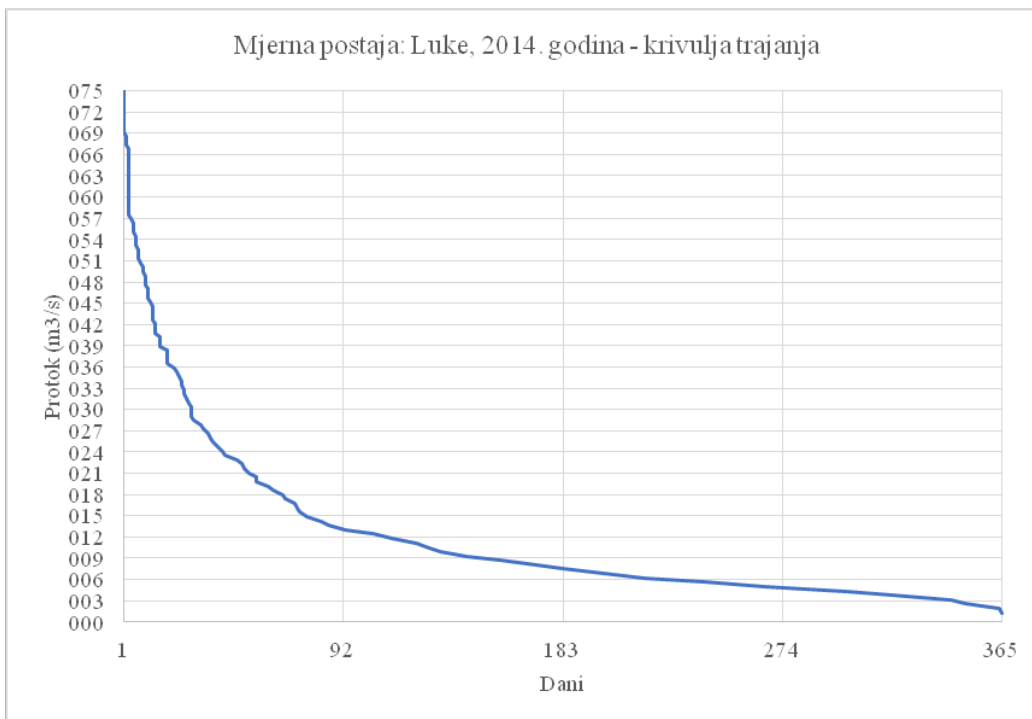
Prilog 11.2.3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2011.god.



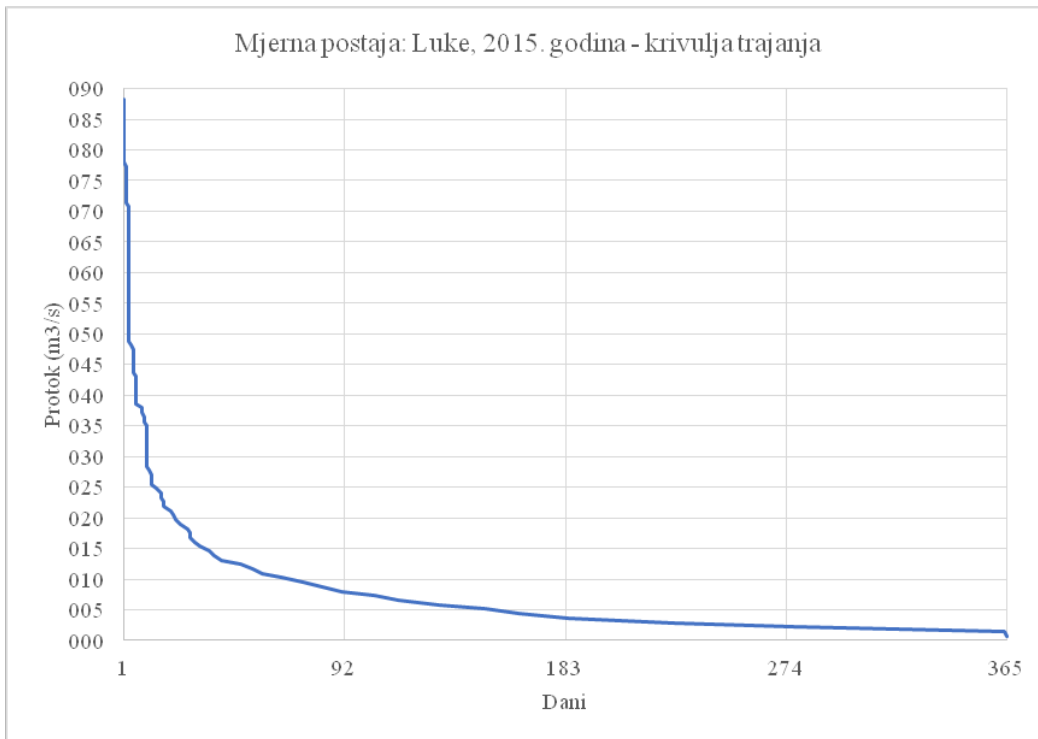
Prilog 11.2.4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2012.god.



Prilog 11.2.5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2013.god.



Prilog 11.2.6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2014.god.



Prilog 11.2.7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2015.god.



Prilog 11.2.8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2016.god.



Prilog 11.2.9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2017.god.

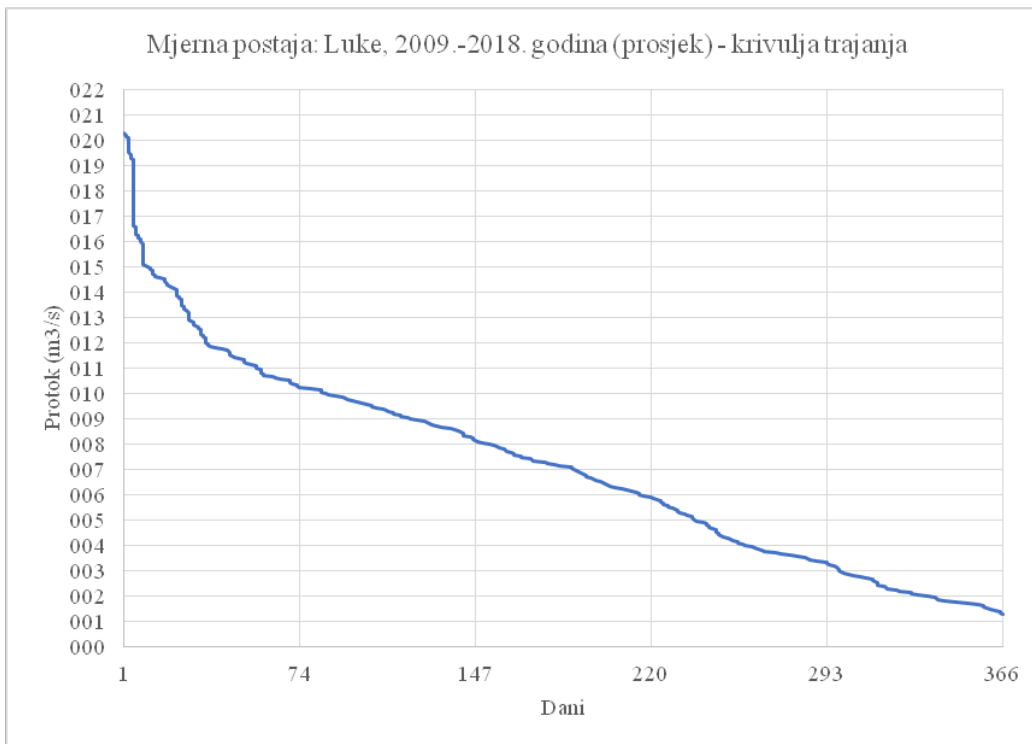


Prilog 11.2.10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2018.god.



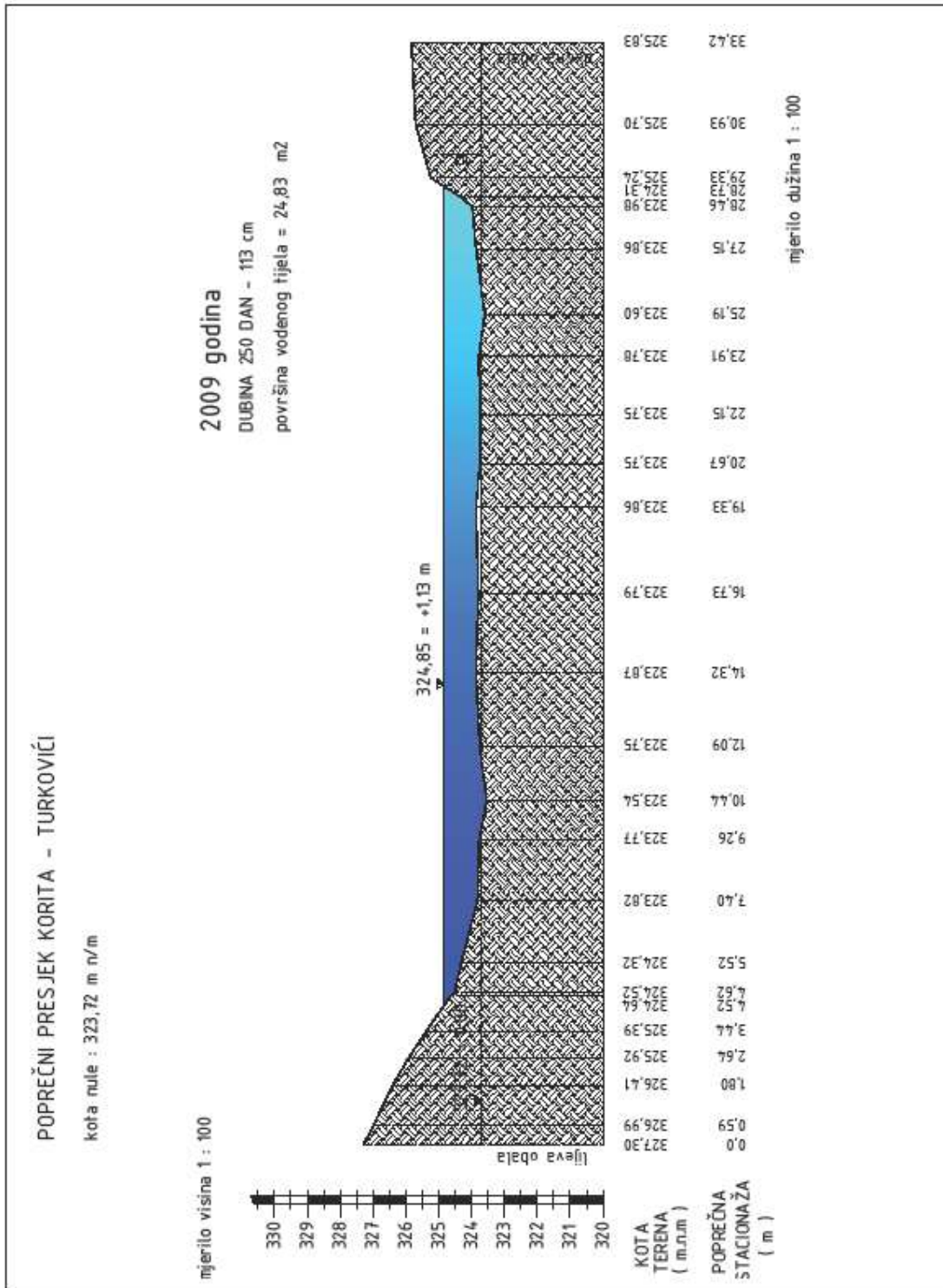


Prilog 11.2.11. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009-2018.god. (10.god.)

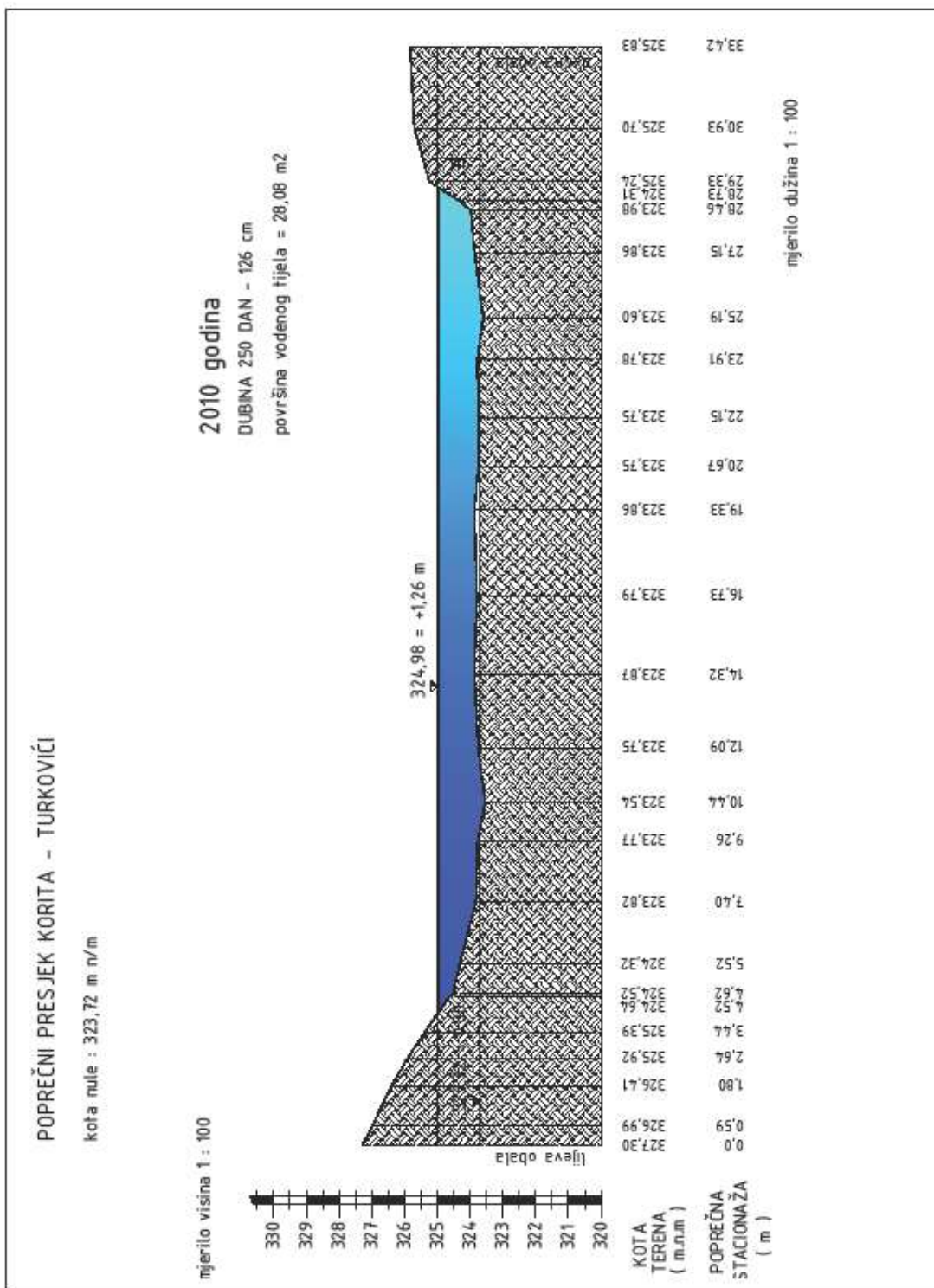


Prilog 11.2.12. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Luke za 2009-2018.god. (prosjeak)

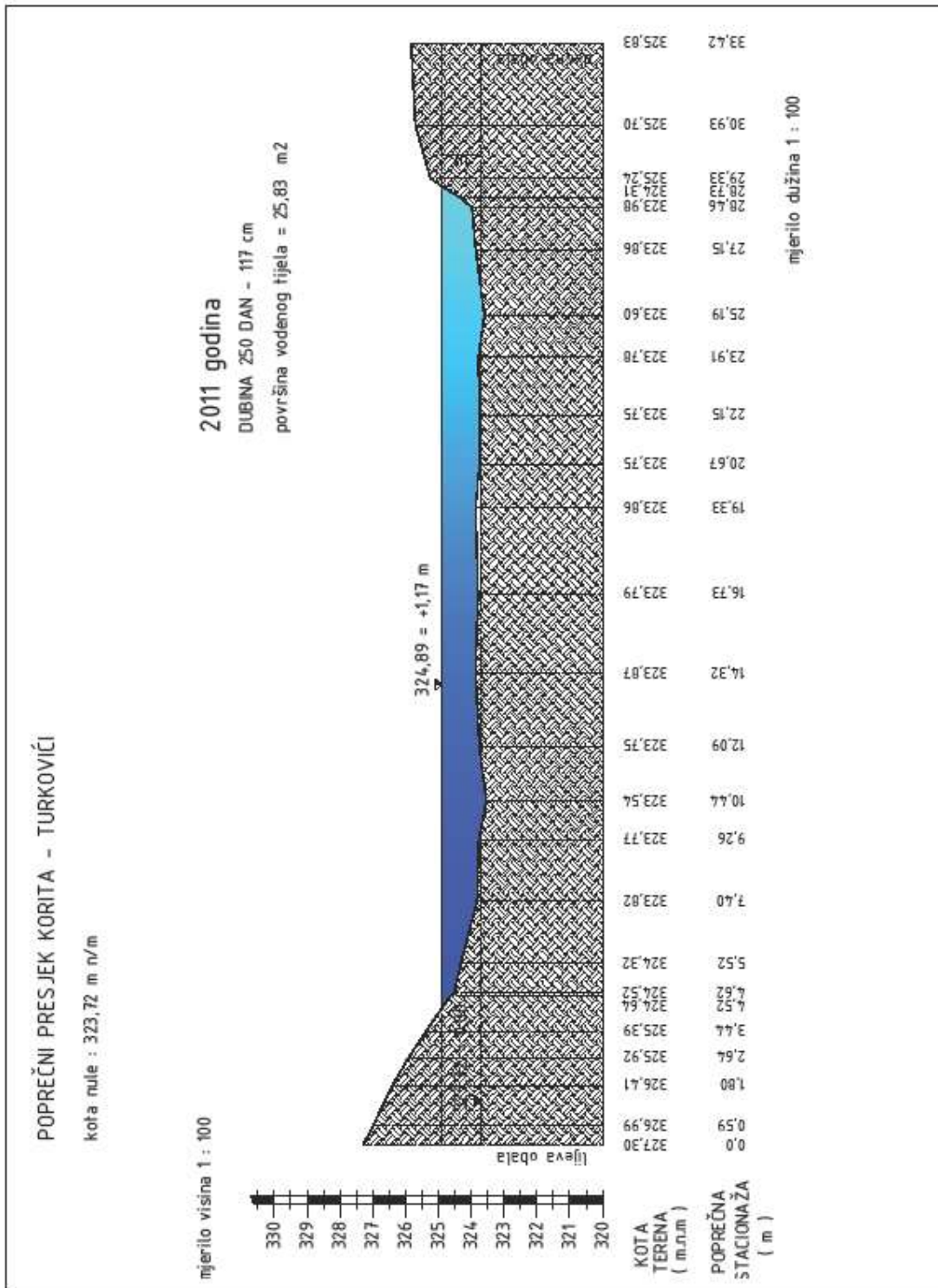
### 11.3. 11.3. Poprečni presjeci postaja „Turkovići“



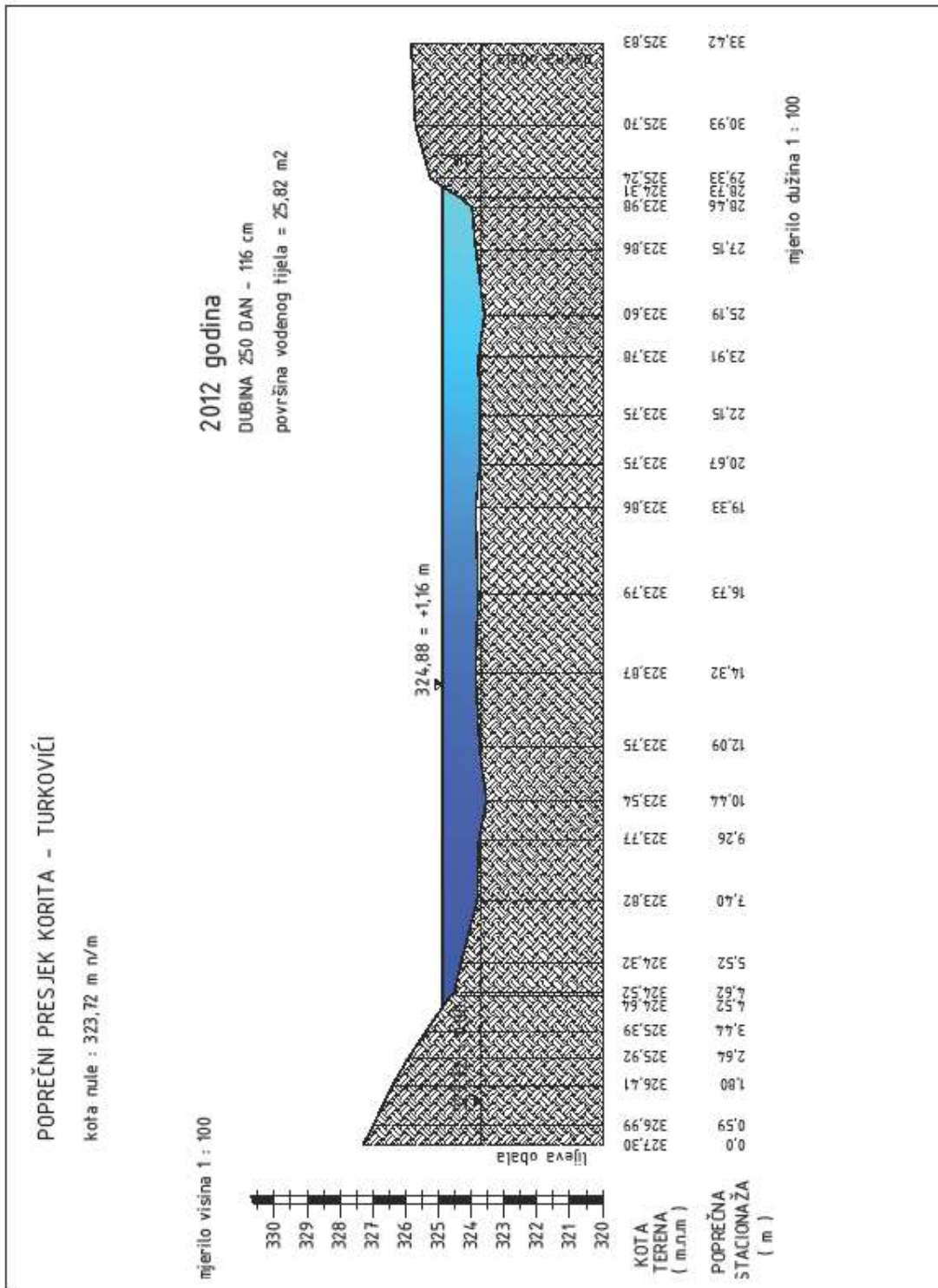
Prilog 11.3.1. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2009.god.



Prilog 11.3.2. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2010.god.

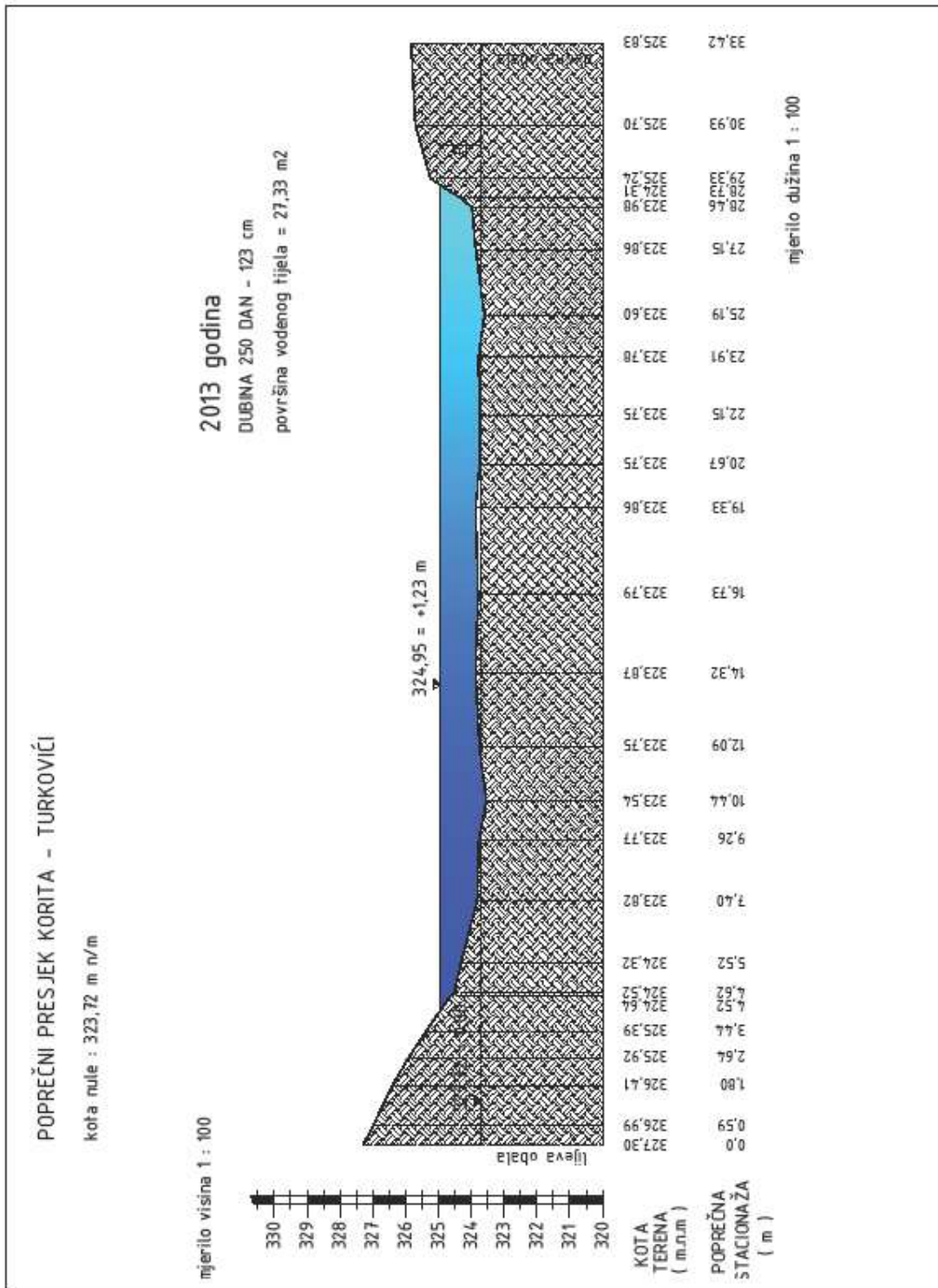


Prilog 11.3.3. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2011.god.

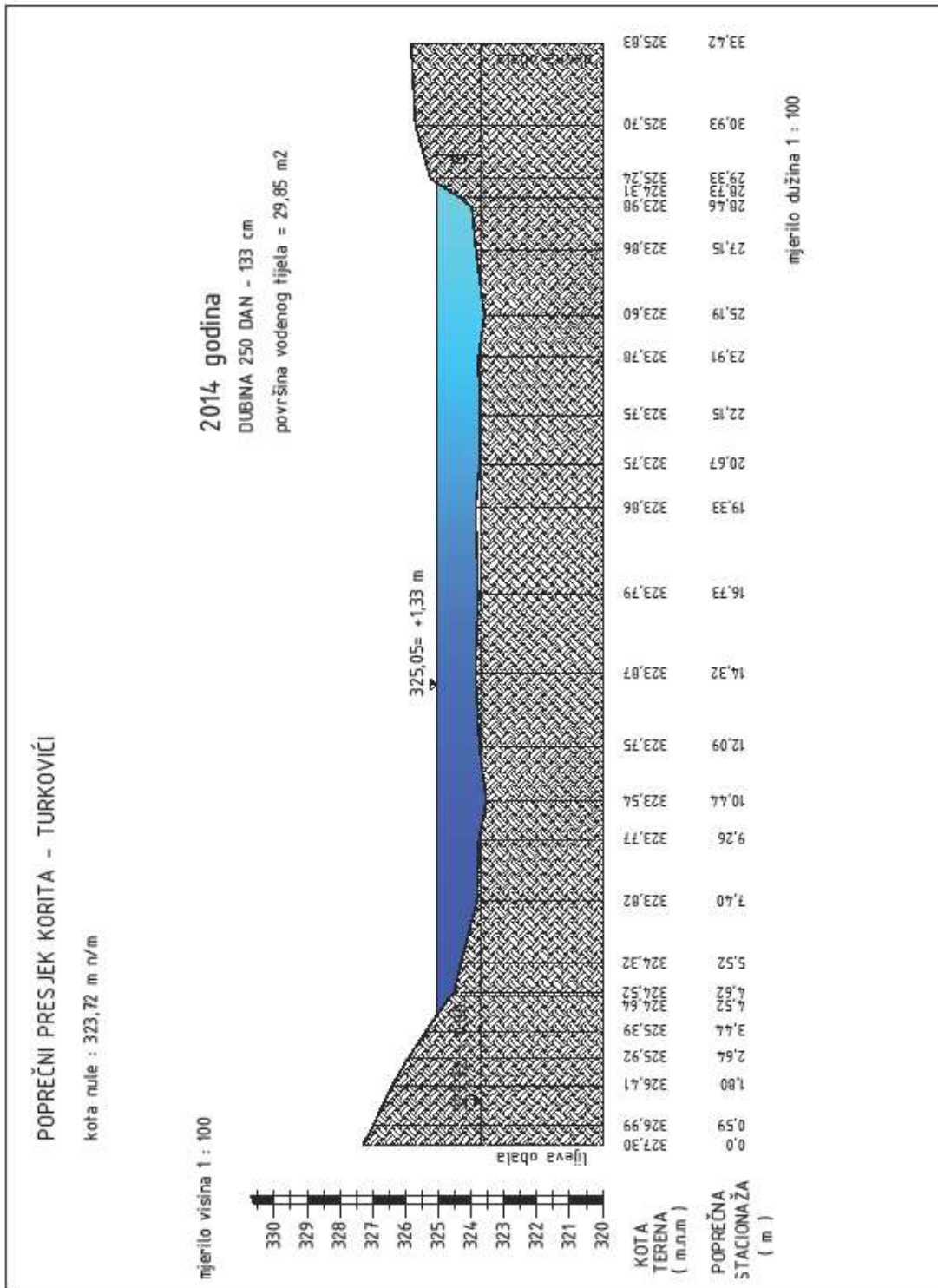


Prilog 11.3.4. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2012.god.



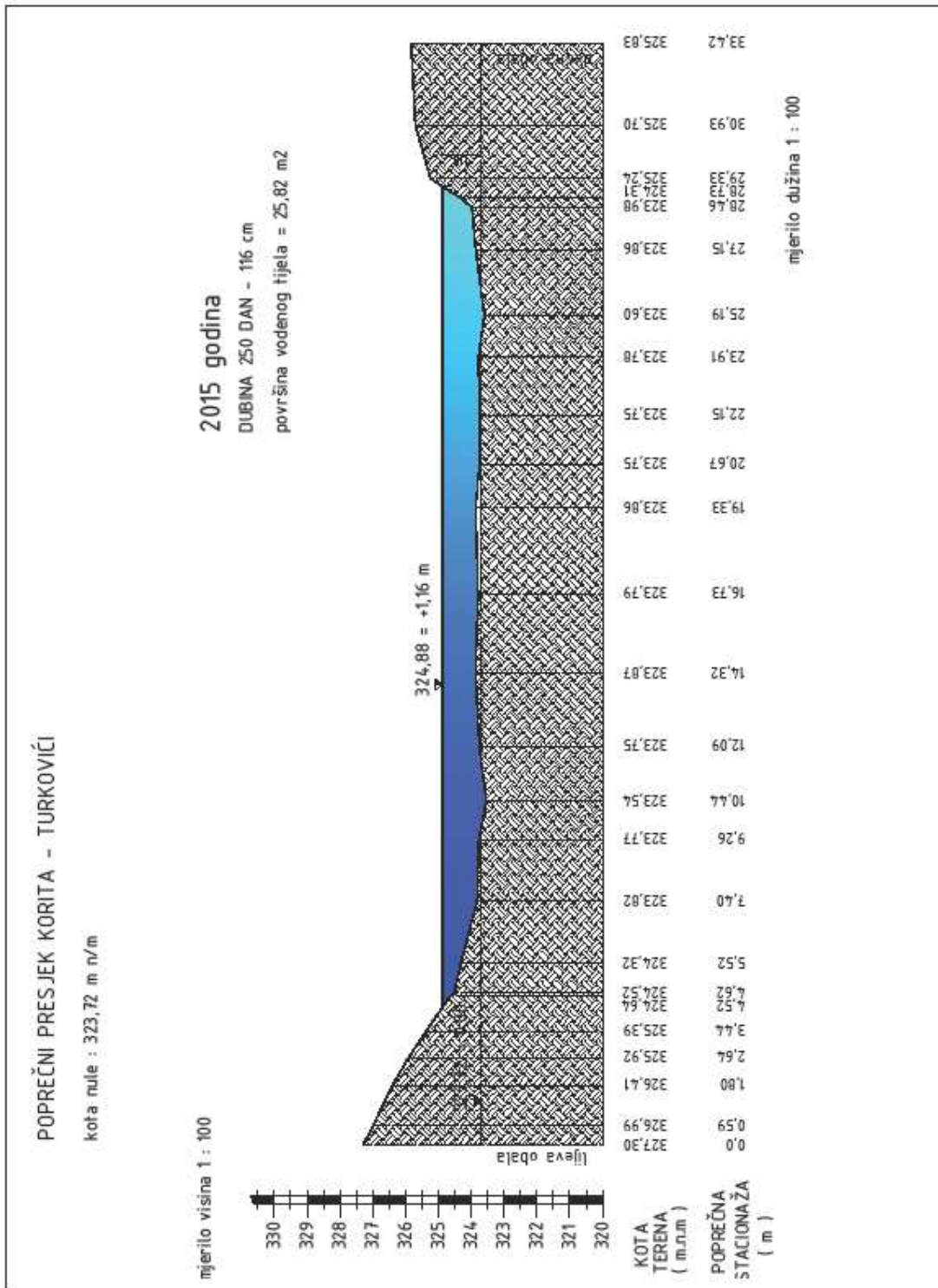


Prilog 11.3.5. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2013.god.

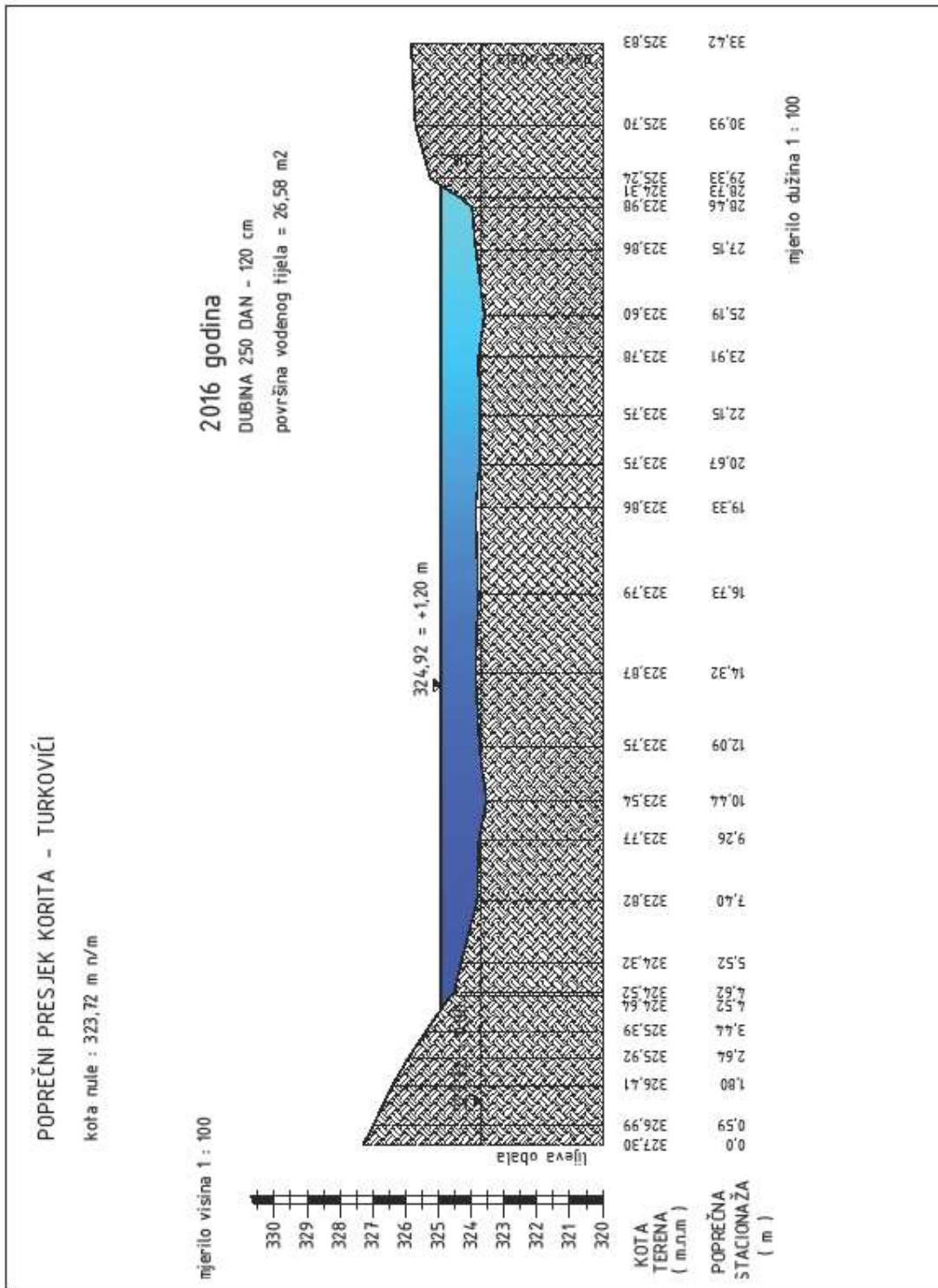


Prilog 11.3.6. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2014.god.

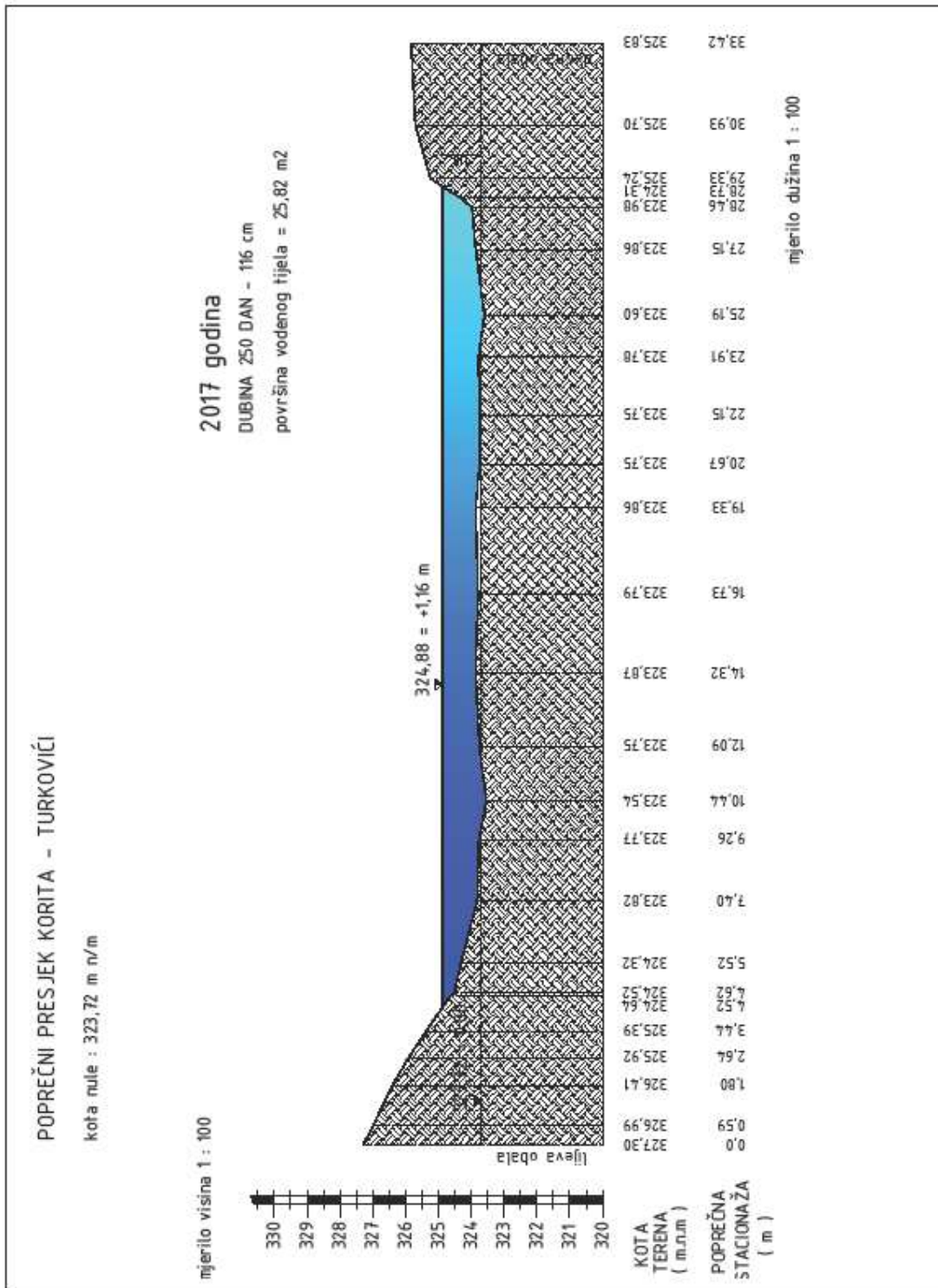




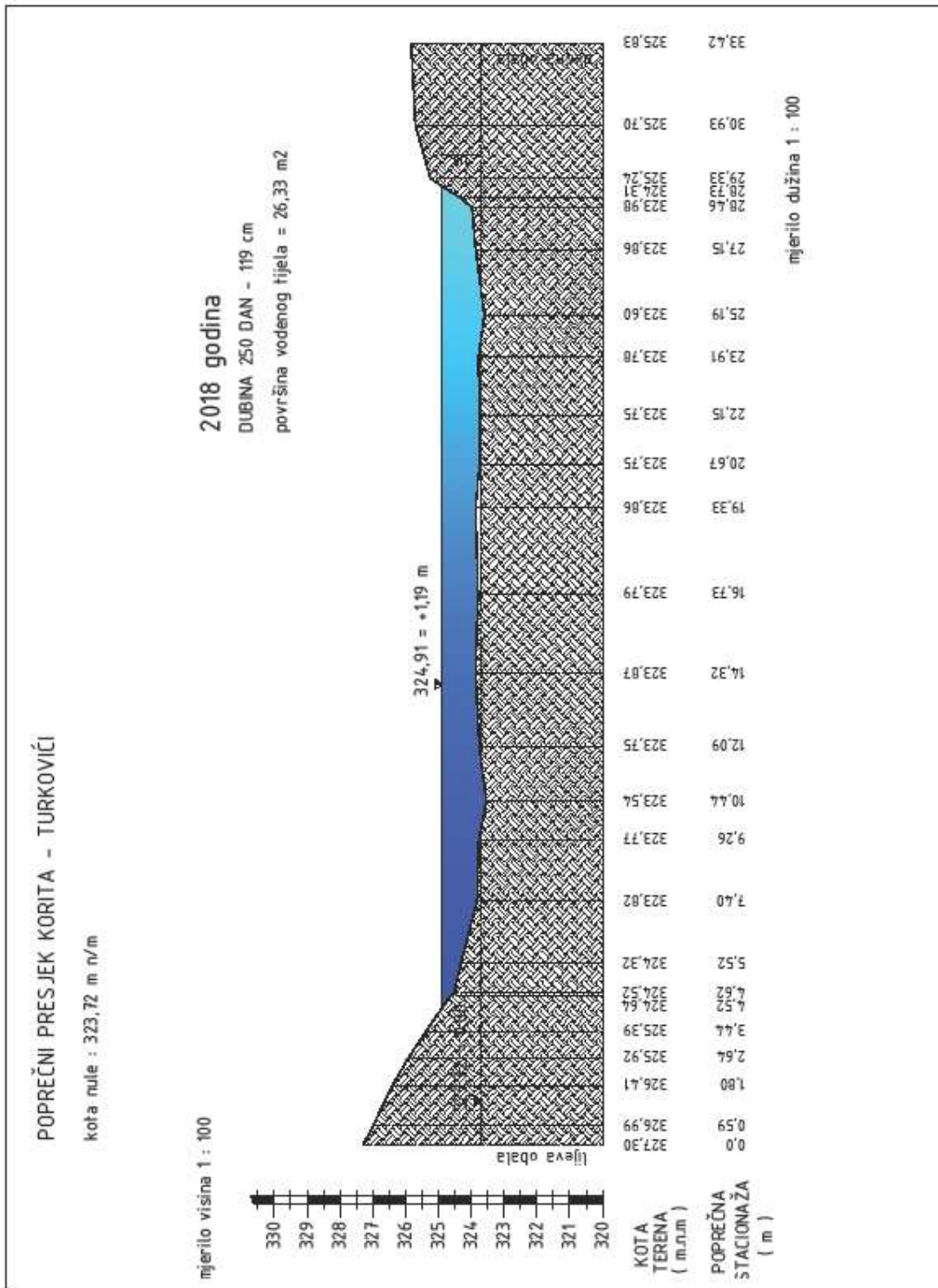
Prilog 11.3.7. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2015.god.



Prilog 11.3.8. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2016.god.

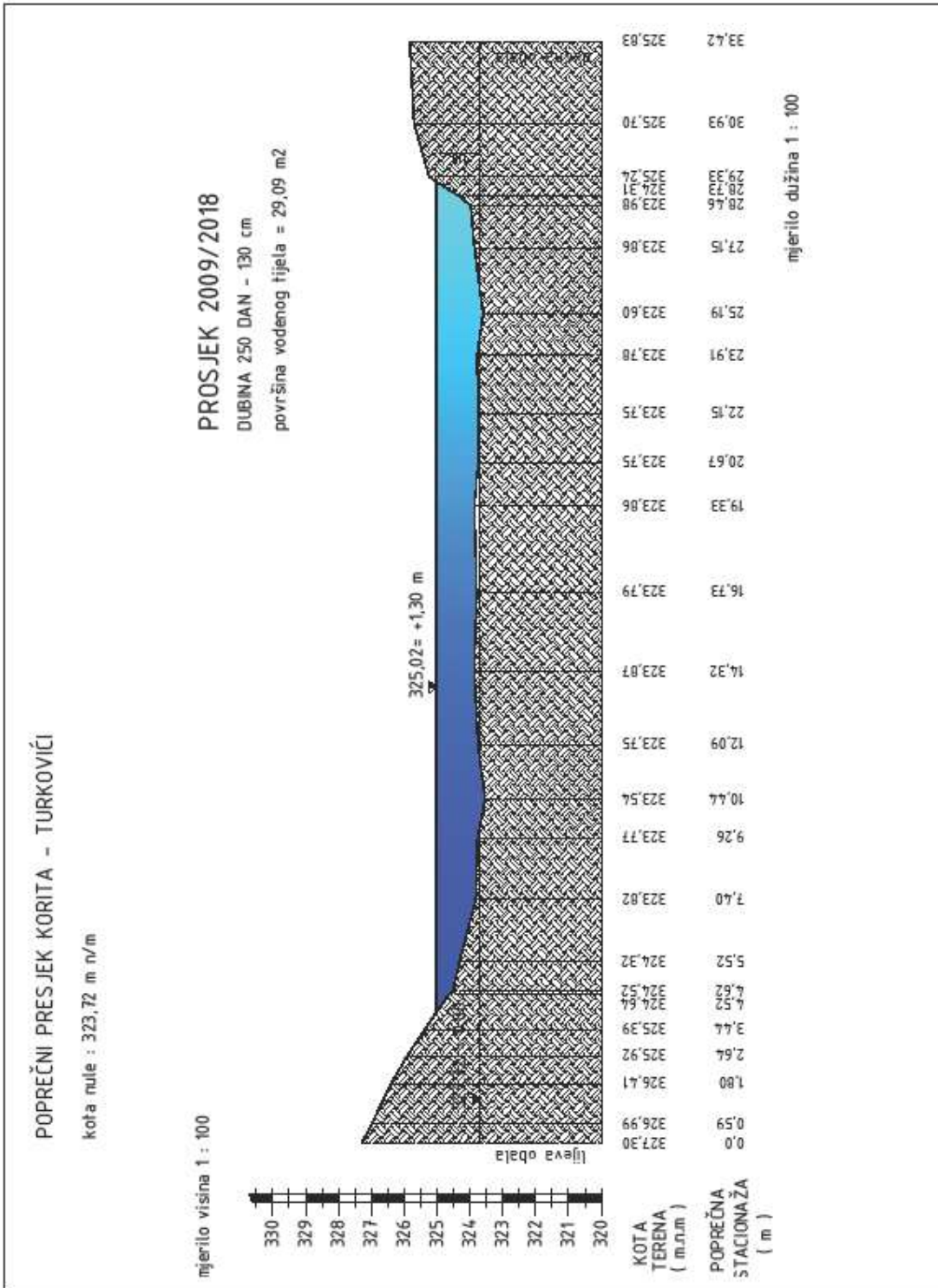


Prilog 11.3.9. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2017.god.



Prilog 11.3.10. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Turkovići iz 2018.god.





Prilog 11.3.11. Poprečni presjek korita na mjernoj postaji Luke 2009 / 2018 prosjek

#### 11.4. 11.4. Krivulje trajanja protoka postaje „Turkovići“



Prilog 11.4.1. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009.god.



Prilog 11.4.2. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2010.god.

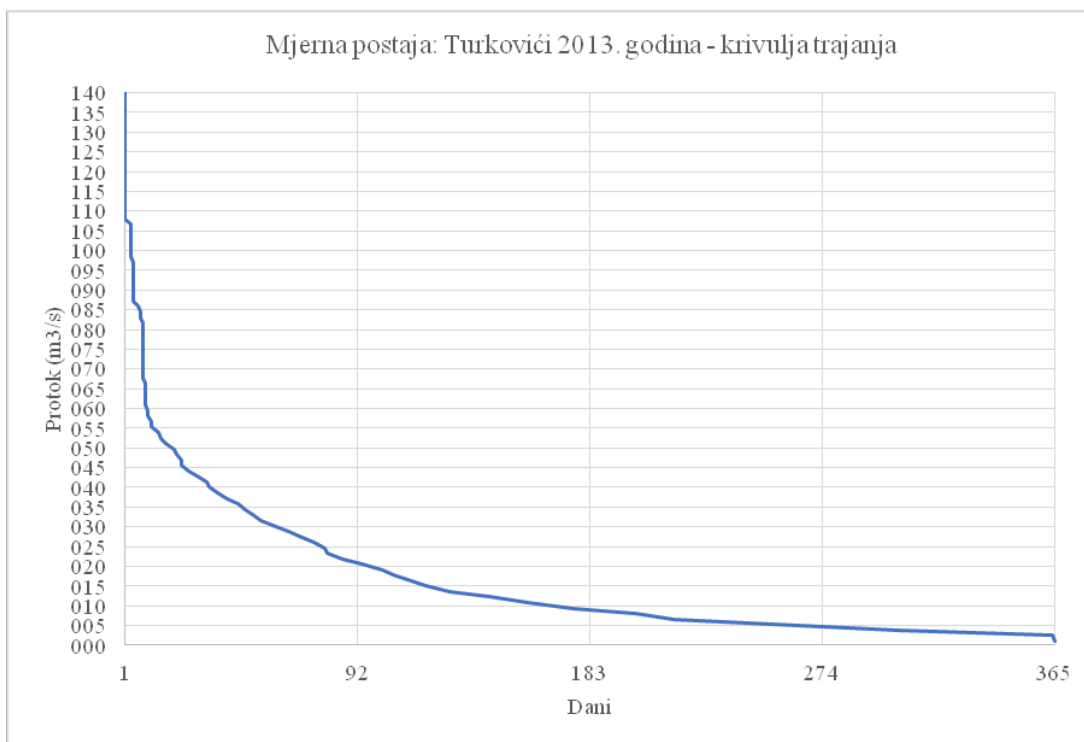


Prilog 11.4.3. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2011.god.



Prilog 11.4.4. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2012.god.





Prilog 11.4.5. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2013.god.



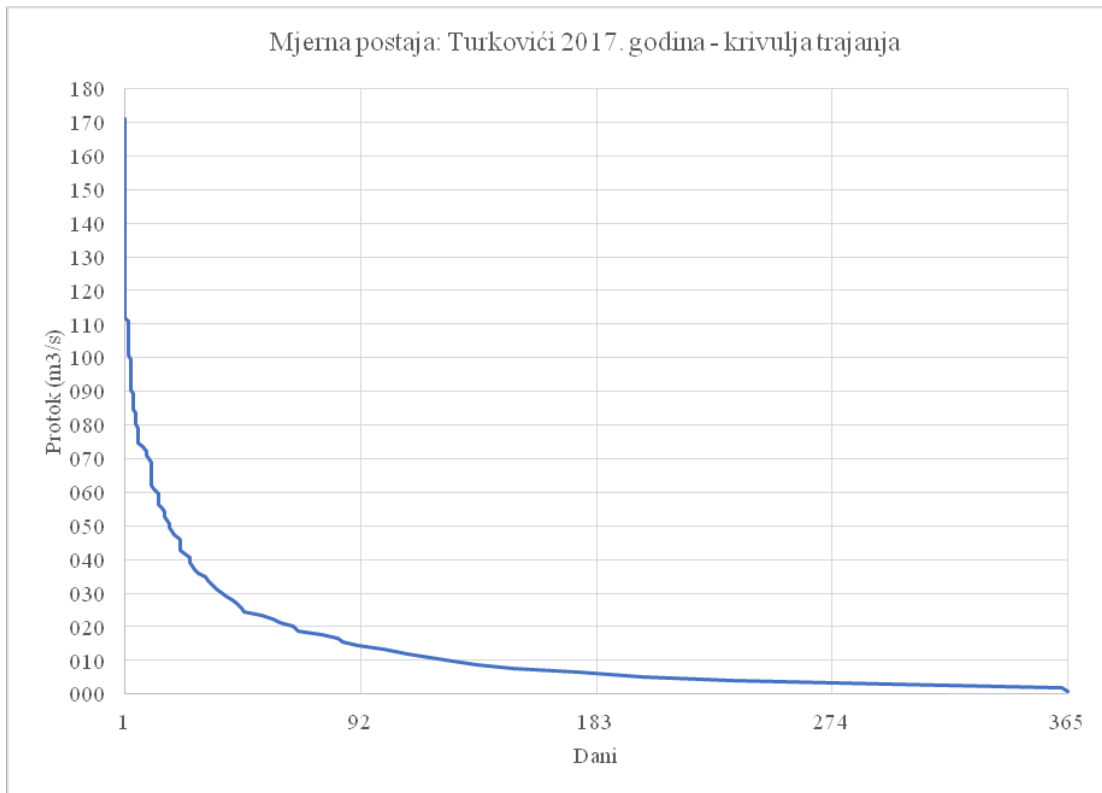
Prilog 11.4.6. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2014.god.



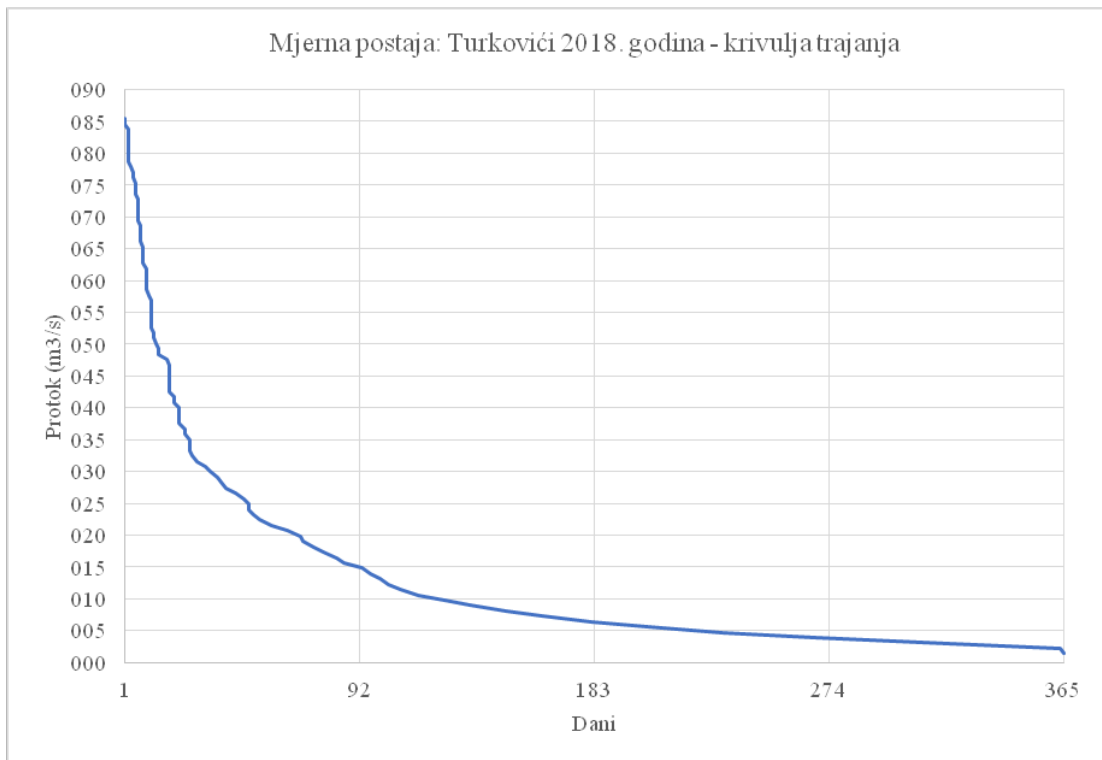
Prilog 11.4.7. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2015 god.



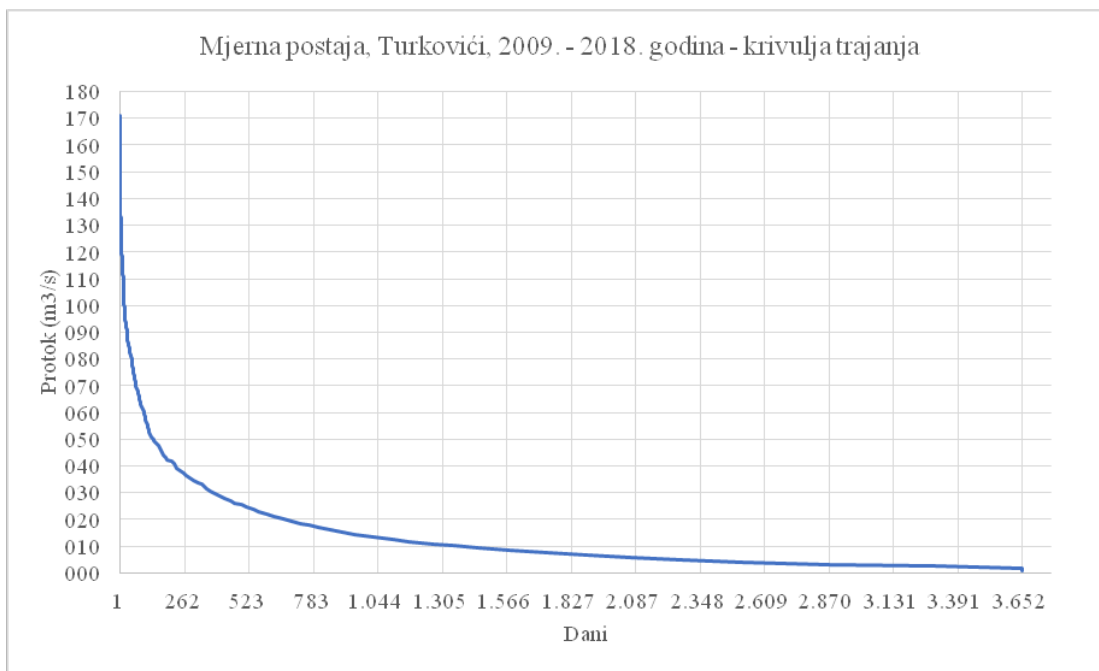
Prilog 11.4.8. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2016 god.



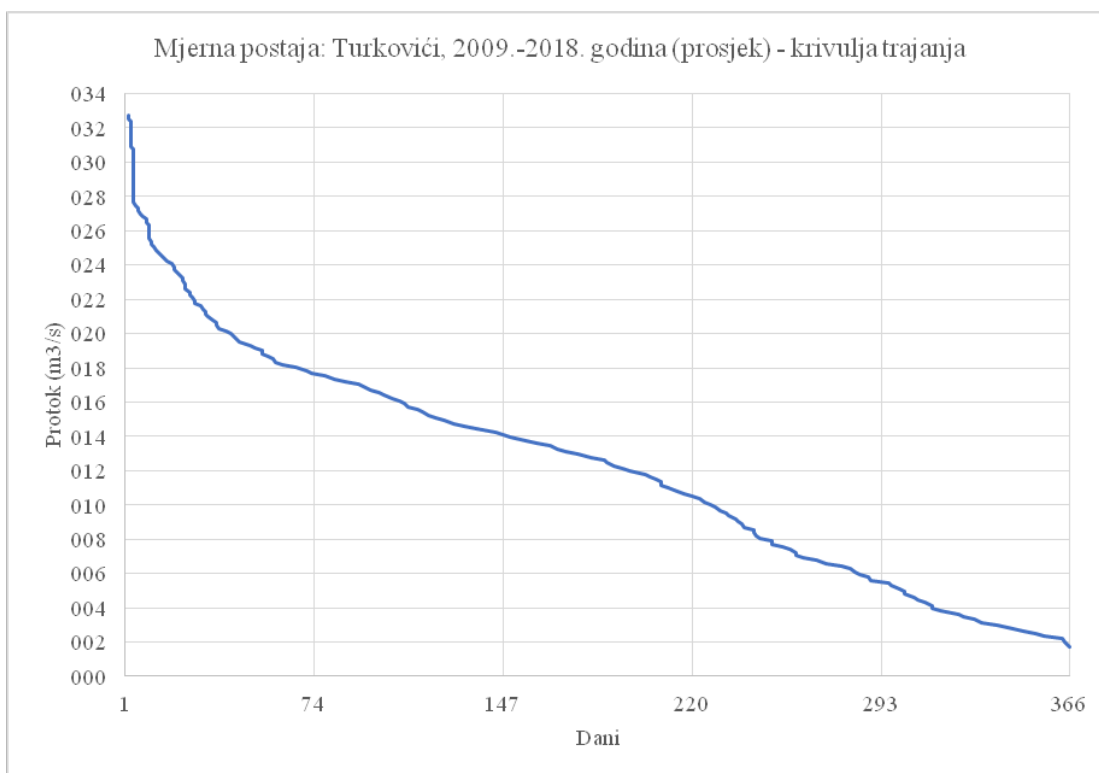
Prilog 11.4.9. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2017 god.



Prilog 11.4.10. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2018 god.



Prilog 11.4.11. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009-2018.god. (10.god.)



Prilog 11.4.12. Grafički prikaz krivulje trajanja protoka postaje Turkovići za 2009 - 2018.god. (prosjeak)