

# Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice kod Varaždina

---

Kelin, Marija Helena

Undergraduate thesis / Završni 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:122:810951>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



# Sveučilište Sjever

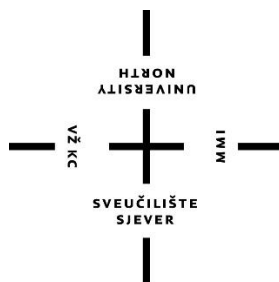
Završni rad br. 431/GR/2021

## **Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice pored Varaždina**

**Marija Helena Kelin, 0174/336**

Varaždin, rujan 2021. godine





# **Sveučilište Sjever**

**Odjel za Graditeljstvo**

**Završni rad br. 431/GR/2021**

## **Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice pored Varaždina**

### **Student**

Marija Helena Kelin, 0174/336

### **Mentor**

Izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2021. godine



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, Marija Helena Kelin pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog rada pod naslovom „Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice pored Varaždina“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

Marija Helena Kelin

  
(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, Marija Helena Kelin neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog rada pod naslovom „Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice pored Varaždina“ čiji sam autor/ica.

Student/ica:

Marija Helena Kelin

  
(vlastoručni potpis)

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Marija Helena Kelin

JMBAG 0160134105

DATUM 20.09.2021.

KOLEGIJ Regulacije i melioracije

NASLOV RADA Analiza parametara tečenja u vodotocima na primjeru rijeke Plitvice pored Varaždina

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Analysis of flow parameters in watercourses on the example of the river Plitvica near Varaž

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc.dr.sc. Danko Markovinović
2. Izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
3. Doc.dr.sc. Domagoj Nakić
4. Doc.dr.sc. Željko Kos
- 5.

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 431/GR/2021

OPIS

Završni rad analizira parametre tečenja vode na primjeru rijeke Plitvice kod Luke Ludbreške. Korištenjem teoretskih postavki i hidrometrijskih mjerenja, izvršiti će se proračun protočnosti korita na promatranoj lokaciji.

Predloženi okvirni sadržaj rada po poglavljima je:

- Uvod
- Proračun protoka u otvorenim vodotocima
- Primjer analize parametara tečenja na primjeru rijeke Plitvice
- Analiza dobivenih rezultata
- Zaključak
- Literatura

ZADATAK URUČEN 20.09.2021.

POTPIS MENTORA



## **Sažetak**

U ovome radu prikazana je analiza parametara tečenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška korištenjem podataka dobivenih mjerenjem pomoću ultrazvučnog mjerača protoka. Pri tome je izmjerena brzina i protok vodotoka na promatranom poprečnom presjeku. Nakon hidrometrijskih mjerenja, podaci su obrađeni, analizirani i uspoređeni s podacima sa sva tri mjerenja te su napravljeni proračuni nagiba dna korita uzevši u obzir zatečenu hrapavost uz primjenu Manningove formule. Analizirani su odnosi protoka i različitih hrapavosti.

**KLJUČNE RIJEČI:** parametri tečenja, rijeka Plitvica, hrapavost korita, hidrometrijska mjerenja, Manningova formula.

## Summary

This paper presents an analysis of flow parameters on the Plitvica river in Luka Ludbreška using data obtained by measurement using an ultrasonic flow meter. The speed and flow of watercourses on the observed cross section were measured. After hydrometric measurements, the data were processed, analyzed and compared with the data from all three measurements, and calculations of the slope of the bed bottom were made, taking into account the existing roughness using the Manning formula. The ratios of flow and different roughnesses were analyzed.

**KEYWORDS:** flow parameters, river Plitvica, trough roughness, hydrometric measurements, Manning formula.

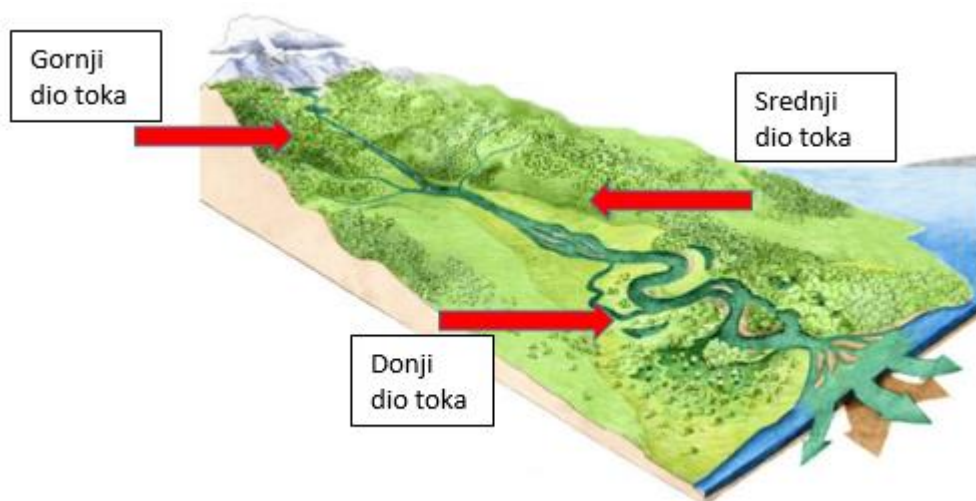


## Sadržaj

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| <b>1.</b> | <b>Uvod</b> .....  | 1  |
| <b>2.</b> | <b>Proračun protoka u otvorenim vodotocima</b> .....                         | 5  |
|           | 2.1. Tečenje u otvorenim vodotocima.....                                     | 5  |
|           | 2.2. Vrste otvorenih vodotoka.....   | 9  |
| <b>3.</b> | <b>Primjer analize parametara tečenja na primjeru rijeke Plitvice</b> .....  | 11 |
|           | 3.1. Opis lokacije mjerenja.....   | 11 |
|           | 3.2. Hidrometrijska mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška..... | 13 |
| <b>4.</b> | <b>Analiza dobivenih rezultata</b> .....                                     | 18 |
|           | 4.1. Prikaz izvršenih mjerenja.....  | 18 |
|           | 4.2. Proračun pada dna korita $i$ .....                                      | 28 |
|           | 4.3. Proračun protoka $Q$ .....  | 30 |
| <b>5.</b> | <b>Zaključak</b> .....   | 32 |
| <b>6.</b> | <b>Literatura</b> .....  | 34 |

## 1. Uvod

Voda u koritu teče pod utjecajem gravitacije, s veće geodetske visine prema manjoj geodetskoj visini. Početak nekog vodotoka je na izvoru u planinama ili brdima, a završava u nekom drugom vodotoku ili moru. Vodotok dijelimo na tri dijela: gornji, srednji i donji tok. U gornjem se vodotoku voda brže spušta od izvora u planinama preko kamenih, stjenovitih dijelova u brzacima. Nakon gornjeg dijela dolazi do srednjeg dijela u dolinu u kojoj usporava i širi se. U srednjem dijelu toka prevladavaju naslage šljunka. U donjem toku, u nizinama rijeka također gubi na brzini te se širi i počinje zamuljivati i meandrirati. U ovom dijelu dno korita rijeke čini pijesak i mulj. Na slici 1.1. je shematski prikaz vodotoka.



*Slika 1.1. Shematski prikaz vodotoka [1]*

Postoje četiri vrste hidrauličkih proračuna vodotoka, a to su: proračuni tečenja, proračuni stabilnosti korita, proračuni pronosa nanosa i proračuni promjene oblika korita. U ovom radu ćemo se baviti proračunima tečenja, točnije tečenje u glavnom koritu prirodnog vodotoka. Proračune tečenja možemo podijeliti na tečenje u kanalima, tečenje u glavnom koritu prirodnog vodotoka i tečenje u koritu za veliku vodu. Tečenje u glavnom koritu je stacionarno, znači da se dubina, brzina, protok i tlak ne mijenjaju tijekom vremena. Također je i nejednoliko jer se oblik i površina poprečnog presjeka, i pad kanala mijenjaju. Tečenje je jednodimenzionalno, konzervativno i turbulentno, dok su korita nepravilnog oblika [2].

Bez obzira da li se radi o prirodnom ili umjetnom vodotoku, na njihovu protočnost, odnosno režim protoka utječu određene veličine, koje se nazivaju parametri tečenja.

Parametri tečenja su protok  $Q$ , hrapavost izražena preko Manningovog koeficijenta hrapavosti  $n$ , hidraulički radijus  $R$ , površina poprečnog presjeka  $A$  i nagib dna kanala  $I$ . Općenito, protok ovisi o brzini tečenja i površini poprečnog presjeka. Protok je veličina od iznimne važnosti za projektiranje i gradnju hidrotehničkih objekata koji se koriste za različite potrebe poput sustava za zaštitu od poplava, hidroelektrane, sustavi za navodnjavanje, itd.

Protok se može dobiti mjerenjem na samom vodotoku ili analitičkim proračunom s obzirom na ulazne podatke. Budući da njegova veličina ovisi o oborinama, on se mijenja tijekom vremena. Usprkos svim mogućim metodama analize, odnosno matematičkim modelima, zbog stohastičke naravi teško je predvidjeti njegovu promjenu tijekom vremena. Tomu u prilog ide i učinak klimatskih promjena, odnosno česte pojave ekstremnih vremenskih događaja, kao što su suše i poplave. Primjerice, isti vodotok tijekom godine može nabujati (Slika 1.2.), a također može i presušiti na istom mjestu (Slika 1.3.).



*Slika 1.2. Prikaz velikog protoka rijeke Plitvice kod Varaždina [3]*



*Slika 1.3. Prikaz malog protoka rijeke Plitvice kod Varaždina [3]*

Brojni građevinski, odnosno hidrotehnički zahvati također utječu na promjene režima tečenja, kao što je vidljivo na slici 1.4. na primjeru obaloutvrde.



*Slika 1.4. Primjer obaloutvrde na rijeci Plitvici kod Varaždina [3]*

Također, vegetacija, odnosno obraslost korita uvelike utječe na protočnost korita (Slika 1.5.).



*Slika 1.5. Prikaz vegetacije u koritu rijeke Plitvice [3]*

Općenito, vidljivo je da na protočnost rijeke utječu i prirodni, ali i antropogeni čimbenici. Bujične rijeke kao što je Plitvica naročito su podložne nagloj promjeni protoka, što je i jedan od razloga za analizu protočnosti rijeke, odnosno analizu parametara tečenja koji utječu na to.

Cilj završnog rada je prikazati raspon protočnosti koja se dobije ukoliko se mijenja hrapavost podloge. Svrha tog postupka je uvid u mogućnost obrade dna i korita vodotoka, uzevši u obzir utjecaj na okoliš, odnosno potrebu za minimalnim ili drastičnim regulacijskim zahvatima.

## 2. Proračun protoka u otvorenim vodotocima

Općenito, protok se računa prema formuli

$$Q = A \times v \quad (1)$$

gdje je:

$Q$ -protok [ $m^3/s$ ]

$A$ -površina poprečnog presjeka [ $m^2$ ]

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

Za proračun protoka u otvorenim vodotocima, također se koristi i Manningova formula, Manning-Stricklerova formula i Cheziyeva formula. Parametri tečenja mijenjaju se tijekom velikih protoka, ali i sušnih perioda, odnosno tijekom vremena [4].

### 2.1. Tečenje u otvorenim vodotocima

Tečenje u otvorenim vodotocima se dijeli na stacionarno i nestacionarno. Stacionarno tečenje se dijeli na jednoliko i nejednoliko, dok se nejednoliko dijeli na s postupnim promjenama i na s naglim promjenama. Nestacionarno tečenje se dijeli na tečenje s postupnim promjenama i na tečenje s naglim promjenama. Tečenje je stacionarno ukoliko se dubina toka, srednja brzina, iznos protoka, tlak i ostali parametri ne mijenjaju tijekom vremena, a nestacionarno tečenje kod kojeg se parametri tečenja mijenjaju kroz vrijeme u bilo kojoj točki poprečnog presjeka [5].

Manningova formula koristi se za izračunavanje srednjeg protoka [4]:

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times A \times \sqrt{I} \quad (2)$$

gdje je:

$Q$ -protok [ $m^3/s$ ]

$n$ -Manningov koeficijent hrapavosti [ $s \times m^{\frac{-1}{3}}$ ]

$R$ -hidraulički radijus poprečnog presjeka [ $m$ ]

$A$ -površina poprečnog presjeka [ $m^2$ ]

$I$ -nagib dna kanala [1]

Chezyjev broj, tj. Chezyev koeficijent hrapavosti ovisi o Stricklerovom koeficijentu glatkosti korita, tj. o recipročnoj vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti i o dimenzijama poprečnog presjeka korita, tj. o hidrauličkom radijusu [4].

$$C = \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

gdje je:

C-Chezyjev broj [ $m^{\frac{1}{2}}/s$ ]

iz koje dobivamo srednju brzinu, što je ujedno Manning-Stricklerova formula za jednoliko stacionarno tečenje [4].

$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

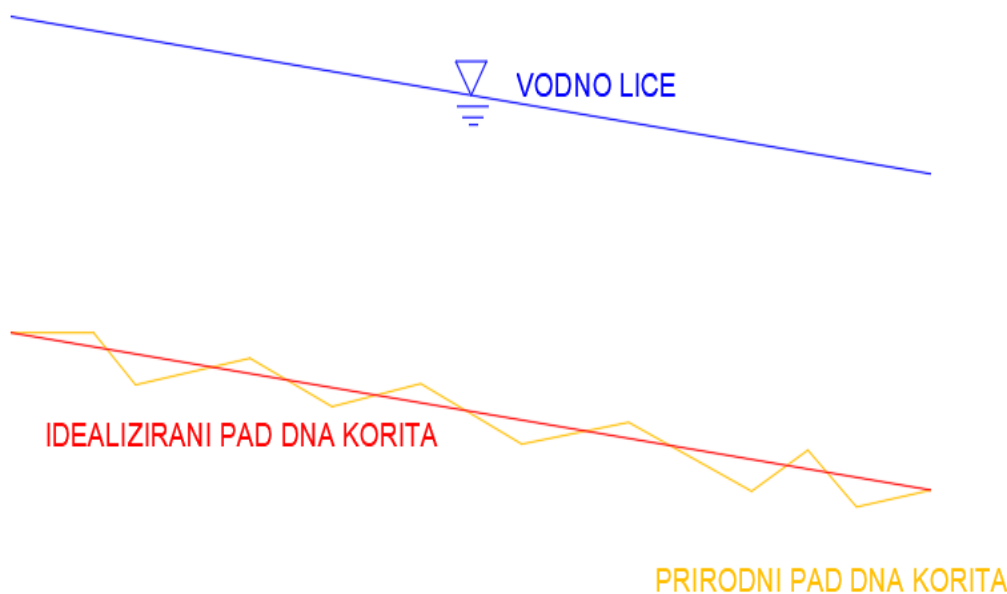
Hidraulički radijus dobivamo prema formuli [6]:

$$R = \frac{A}{O} \quad (5)$$

gdje je:

O-omočeni obod [m]

Općenito gledajući, dno svakog vodotoka, a naročito prirodnog je nepravilno, (Slika 2.1.).



*Slika 2.1. Uzdužni profil idealiziranog pada dna korita i prirodnog pada dna korita*

U svrhu olakšavanja proračuna, postupak se svodi na idealiziranje dna profila korita, čime se nastoji da "ravni" dijelovi budu što duži. Sa inženjerskog aspekta, dno vodotoka određuje se geodetski, slika 2.2.



*Slika 2.2. Geodetsko određivanje nagiba dna vodotoka [3]*



Što je veći broj "točkanja", odnosno mjesta na kojima se određuje nagib dna, odnosno uzdužni i poprečni profil vodotoka, dobiveni prikazi geometrije korita su precizniji. Zbog različite hrapavosti poprečnog presjeka u prirodnim vodotocima napravljena je tablica od šesnaest kategorija hrapavosti i glatкости (Tablica 1), za različite materijale obloženosti korita za preciznije proračune. Manningov  $n$  i Stricklerov  $K_s$  koeficijent služe za izračunavanje gubitka specifične energije u vodotocima i cjevovodima. U nastavku prikazane su vrijednosti Manningovog i Stricklerovog koeficijenta hrapavosti i glatкости za različite materijale obloženosti korita.

Tablica 1. Vrijednosti Manningovog ( $n$ ) i Stricklerovog ( $K_s$ ) koeficijenta hrapavosti i glatкости za različite materijale obloženosti korita [6]

| Kateg. | VRSTA STIJENKI   | $n$         | $K_s=1/n$ |
|--------|--|-------------|-----------|
| I      | Osobito glatke površine – emajlirane ili glazirane   | 0.009       | 111       |
| II     | Vrlo dobro blanžane daske, dobro sastavljene; najbolja zaglađena cementna žbuka  | 0.010       | 100       |
| III    | Najbolja cementna žbuka (1/3 pijeska); cijevi od lijevanog željeza; dobro sastavljene željezne cijevi                              | 0.011       | 90.9      |
| IV     | Vodovodne cijevi u normalnim okolnostima, bez veće inkrustacije; vrlo čiste cijevi za otpadnu vodu i vrlo dobar beton              | 0.012       | 83.3      |
| V      | Drvena obloga dobro obrađena; dobra obloga od opeke; cijevi za otpadnu vodu; ponešto nečiste vodovodne cijevi                      | 0.013       | 76.9      |
| VI     | Zaprljane cijevi (vodovodne i za otpadnu vodu); betonirani kanali u osrednjem stanju   | 0.014       | 71.4      |
| VII    | Srednje dobra obloga od opeke; tarac od klesanog kamena u srednjem stanju; dosta zaprljane cijevi za otpadnu vodu                  | 0.015       | 66.7      |
| VIII   | Dobar tarac od lomljenog kamena; stara (oštećena) obloga od kamena; relativno grub beton   | 0.017       | 58.8      |
| IX     | Kanali pokriveni debelim stabilnim slojem mulja; kanali u zbijenom sitnom šljunku s neprekidnim tankim slojem mulja                | 0.018       | 55.6      |
| X      | Srednje dobar tarac od lomljena kamena; tarac od oblutka; kanali usječeni u kamenu, pokriveni tankim muljem                        | 0.020       | 50.0      |
| XI     | Kanali u zbijenoj glini, lesu, šljunku i zemlji, pokriveni isprekidano tankim slojem mulja; veliki zemljani kanali u dobrom stanju | 0.022       | 44.4      |
| XII    | Veliki zemljani kanali srednje održavanosti; rijeke (čisto pravolinijsko korito bez urušavanja obala)                              | 0.025       | 40.0      |
| XIII   | Zemljani veliki kanali u nešto slabijem stanju i mali kanali u srednjem stanju   | 0.027       | 36.4      |
| XIV    | Zemljani kanali u slabom stanju (šaš, oblutice ili šljunak na dnu) ili prilično zarasli travom i s odronjavanjem obala             | 0.030       | 33.3      |
| XV     | Kanali s nepravilnim profilom, prilično zatrpani kamenom ili obrasli; rijeke u relativno dobrom stanju, s nešto kamena i šaši      | 0.035       | 28.6      |
| XVI    | Kanali u veoma lošem stanju; rijeke s većom količinom kamena i šaši, vijugavim koritima i pojavom plićaka                          | $\geq 0.04$ | $\leq 25$ |

## **2.2. Vrste otvorenih vodotoka**

Otvoreni vodotoci dijele se na prirodne i umjetne vodotoke. Prirodni otvoreni vodotoci su potoci, rijeke, rječice koje nemaju pravilan poprečni presjek i korito im je sastavljeno od različitog materijala. Hrapavost korita se mijenja tijekom vremena zbog prirodnih procesa poput erozije, suše, poplave, rasta vegetacije i drugih prirodnih i neprirodnih pojava (regulacijskih zahvata). Također, tijekom vremena mijenja se i dužina vodotoka i dubina korita. Zbog tih prirodnih promjena teško je primijeniti teorijsku hidrauliku za dobivanje rezultata koji se slažu sa stvarnošću. Primjer prirodnih promjena može se vidjeti na slici 1.3., koja prikazuje mali protok tijekom sušnog razdoblja na rijeci Plitvici kod Varaždina [5].

Umjetni otvoreni vodotoci su umjetno izgrađena korita poput plovnih i irigacijskih kanala, drenažnih kanala, melioracijskih kanala, kanali za kontrolu poplava, akvadukti, ispusti brana, hidrotehnički tuneli, propusti, sabirni kanalizacijski kanali i ostali. Primjer umjetnog otvorenog vodotoka može se vidjeti na slici 2.3. Uloga mu je skupljanje oborinskih voda, kao i voda koje se procjeđuju kroz tijelo brane i iz podzemlja.



*Slika 2.3. Drenažni kanal uz jezero Donja Dubrava kod sela Dubovica*

### 3. Primjer analize parametara tečenja na primjeru rijeke Plitvice

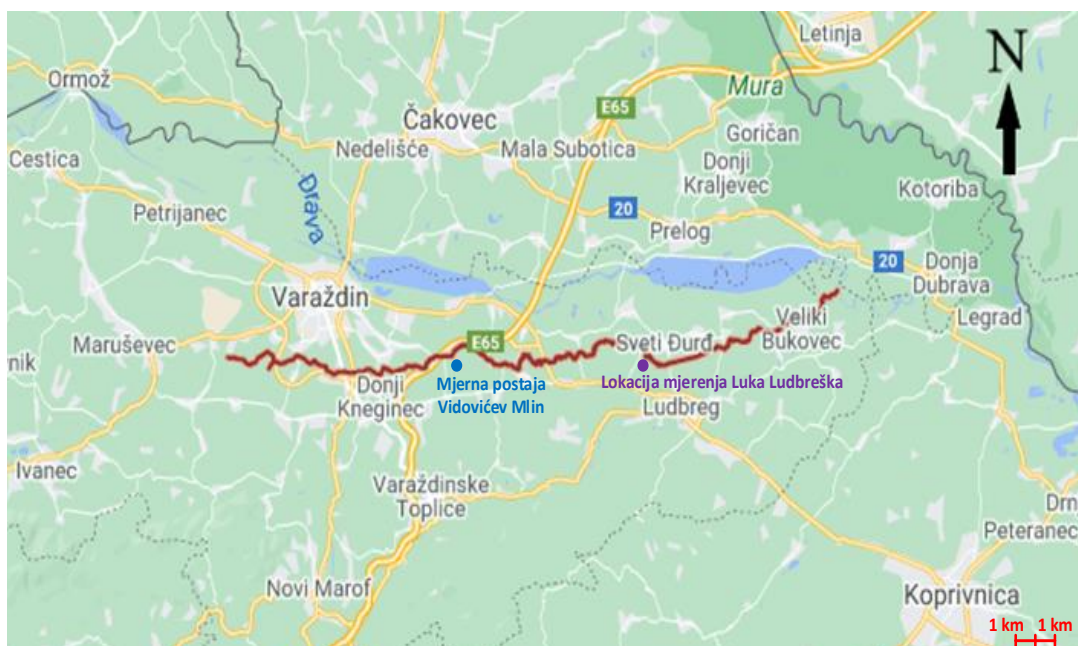
Metodologija razrade opisane problematike sastoji se od više dijelova:

1. Terenski pregled analizirane lokacije.
2. Hidrometrijsko mjerenje.
3. Analiza dobivenih rezultata.
4. Modeliranje parametara tečenja.

Zbog razine razrade problematike, odnosno praktičnosti inženjerskog problema, usvaja se jednoliko i stacionarno tečenje vode u vodotoku, čime se ne gubi na pouzdanosti dobivenih proračuna.

#### 3.1. Opis lokacije mjerenja

Rijeka Plitvica izvire u Maceljskom gorju, a ulijeva se u rijeku Dravu kod sela Mali Bukovec. Izvor joj se nalazi sjeverno od naselja Plitvica Voćanska na Maceljskom gorju u Hrvatskom Zagorju na nadmorskoj visini od 216 metara, a ulijeva se u rijeku Dravu kod sela Mali Bukovec na nadmorskoj visini od 135 metara. Plitvica nije plovna. Duga je 65 kilometara [7].



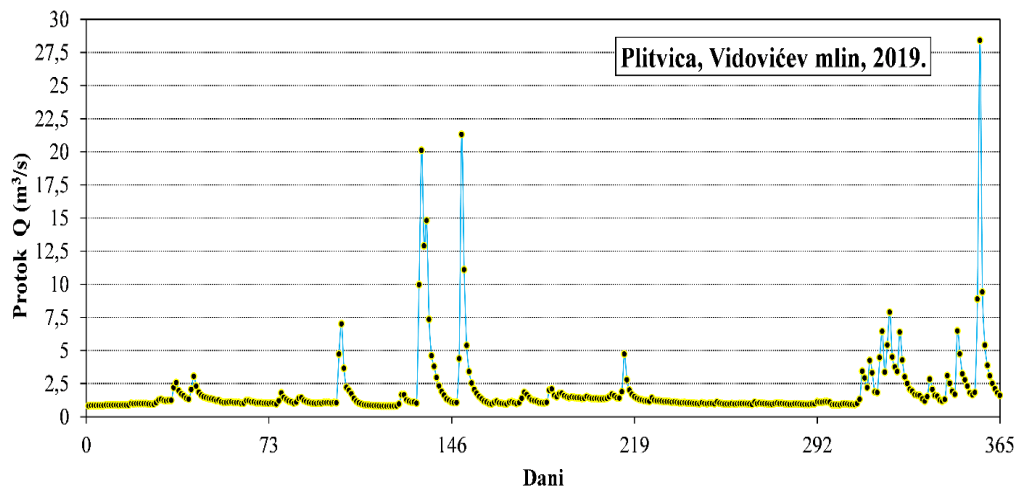
Slika 3.1. Rijeka Plitvica od izvora do ušća [8]

Na rijeci Plitvici, nizvodno od lokacije starog zapuštenog mlina kod Luke Ludbreške, slika 3.2., izvršeno je hidrometrijsko mjerenje, odnosno uređaj mjeri/proračunava brzinu vode, protok, kao i površinu poprečnog presjeka.



*Slika 3.2. Lokacija hidrometrijskog mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška [8]*

Hydrogram na slici 3.3. prikazuje srednje dnevne protoke dobivene na mjernoj hidrološkoj postaji Vidovićev mlin. Pri tome se vidi bujični karakter rijeke Plitvice za 2019. godinu, Protoci se mijenjaju ovisno o oborinama, tako da su najveći u proljeće zbog topljenja snijega, kao i u jesen zbog povećanih oborina.



Slika 3.3. Hidrogram (prikaz srednjih dnevnih protoka) rijeke Plitvice kod Varaždina na mjernoj postaji Vidovićevo mlin za 2019. godinu [9]

### 3.2. Hidrometrijska mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška

Na lokaciji Luka Ludbreška na rijeci Plitvici izvršena su tri hidrometrijska mjerenja. Prvo mjerenje je izvršeno 02.06.2021., drugo mjerenje 04.06.2021. i treće mjerenje 03.09.2021. Slika 3.4. prikazuje mjerenje na terenu pomoću uređaja za hidrometrijska mjerenja, odnosno ultrazvučnog mjerača protoka na određenom poprečnom profilu korita. Kod hidrometrijskog mjerenja prvo je bitno razgledati teren oko korita, kao i u samom koritu te raščistiti i osloboditi trasu mjerenja od plutajućih nakupina i smeća.



*Slika 3.4. Prikaz prvog (02.06.2021.) hidrometrijskog mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška u uvjetima relativno neobraslog korita [3]*

Mjerenje je izvršeno uređajem ultrazvučnim mjeračem protoka pod komercijalnim nazivom Flow tracker 2 Handheld-ADV, (Slika 3.5.). Uređaj nije kompliciran za korištenje, lako je prenosiv i precizan. Izuzetno je pogodan za mjerenje zbog "user-friendly" okruženja pogodnog za praktično korištenje, kao i sustava koji upozorava na moguća odstupanja i greške uzrokovane što neispravnim rukovanjem (naginjanje i loše usmjerenje mjernog uređaja, greške kod očitavanja dubine i lokacije mjerenja), što preprekama koje u vodi ometaju mjerenja (kamenje, biljke, cirkulacija vode, pojava riba i ostalih životinja).

Sastoji se od nekoliko dijelova koje treba sastaviti prije korištenja, pažljivo ih koristiti kod mjerenja te nakon mjerenja rastaviti uređaj. Uređaj se koristi tako da se nakon uključivanja namjestite sve postavke i unesu potrebni podaci o lokaciji koja se mjeri. To su općeniti podaci o lokaciji mjerenja i mjeritelju, metode proračuna te se podešava sonda ovisno o dubini, obliku korita, razmaku profila mjerenja i sl. Za očitavanje svake točke na profilu potrebno je pričekati 40 sekundi da uređaj izmjeri sve potrebne podatke. Uređaj na osnovu mjerenja brzine i dubine (poprečnog presjeka) izračunava protok. Nakon mjerenja ti se podaci kontroliraju i prebace na računalo te se dalje obrađuju i analiziraju.



*Slika 3.5. Ultrazvučni mjerač protoka Flow Tracker 2*

Slika 3.6. prikazuje korito rijeke Plitvice te izgled okoliša oko rijeke i samog korita, prema čemu se može procijeniti kategorija hrapavosti dna i korita.





*Slika 3.6. Pogled u smjeru toka vode rijeke Plitvice na lokaciji hidrometrijskog mjerenja dana 02.06.2021., prvo mjerenje [3]*

Slika 3.7. prikazuje treće mjerenje u uvjetima iznimno niskog vodostaja i velike obraslosti korita.



*Slika 3.7. Prikaz trećeg hidrometrijskog mjerenja (03.09.2021.) u uvjetima iznimno niskog vodostaja i velike obraslosti korita [3]*

U pravilu, uvijek bi trebalo odabrati lokaciju mjerenja koja je u ravnini, bez prirodnih ili umjetnih prepreka, kao i dotoka vode, ili izlaza vode iz vodotoka. Time se smanjuje utjecaj strujanja i vrtloženja na mjerenje. S obzirom na očuvanje ekosustava, svako oštećenje flore te remećenja staništa faune trebalo bi svesti na minimum.

## 4. Analiza dobivenih rezultata

U nastavku će se prikazati rezultati dobiveni na tri hidrometrijska mjerenja, pri čemu će se analizirati samo podaci nužni sa analizu parametara tečenja.

### 4.1. Prikaz izvršenih mjerenja

Prvo mjerenje izvršeno je 02.06.2021. godine, a dobiveni su sljedeći podaci (Slika 4.1.).

|                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| <b>Site name</b>   | Luka                    |
| <b>Site number</b> | 1                       |
| <b>Operator(s)</b> | LiD                     |
| <b>File name</b>   | 20210602-150014_Luka.ft |
| <b>Comment</b>     |                         |

|                                 |                 |                               |             |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|
| <b>Start time</b>               | 2.6.2021. 14:16 | <b>Sensor type</b>            | Top Setting |
| <b>End time</b>                 | 2.6.2021. 14:48 | <b>Handheld serial number</b> | FT2H2025030 |
| <b>Start location latitude</b>  | 46,281          | <b>Probe serial number</b>    | FT2P2024010 |
| <b>Start location longitude</b> | 16,582          | <b>Probe firmware</b>         | 1.30        |
| <b>Calculations engine</b>      | FlowTracker2    | <b>Handheld software</b>      | 1.6.4       |

|                   |                         |  |
|-------------------|-------------------------|--|
| <b># Stations</b> | <b>Avg interval (s)</b> | <b>Total discharge (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| 12                | 40                      | 1,794                                    |

|                        |                                   |                             |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Total width (m)</b> | <b>Total area (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Wetted Perimeter (m)</b> |
| 10,700                 | 6,838                             | 10,980                      |

|                      |                       |                            |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Mean SNR (dB)</b> | <b>Mean depth (m)</b> | <b>Mean velocity (m/s)</b> |
| 39,359               | 0,639                 | 0,262                      |

|                       |                      |                           |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| <b>Mean temp (°C)</b> | <b>Max depth (m)</b> | <b>Max velocity (m/s)</b> |
| 18,663                | 0,880                | 0,415                     |

|                              |              |              |
|------------------------------|--------------|--------------|
| <b>Discharge Uncertainty</b> |              |              |
| <b>Category</b>              | <b>ISO</b>   | <b>IVE</b>   |
| <b>Accuracy</b>              | 1,0 %        | 1,0 %        |
| <b>Depth</b>                 | 0,2 %        | 3,8 %        |
| <b>Velocity</b>              | 0,5 %        | 3,8 %        |
| <b>Width</b>                 | 0,2 %        | 0,2 %        |
| <b>Method</b>                | 1,3 %        |              |
| <b># Stations</b>            | 4,2 %        |              |
| <b>Overall</b>               | <b>4,6 %</b> | <b>5,4 %</b> |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| <b>Discharge equation</b>    | Mid Section |
| <b>Discharge uncertainty</b> | IVE         |
| <b>Discharge reference</b>   | Rated       |

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

Slika 4.1. Dobiveni parametri nakon prvog hidrometrijskog mjerenja na dan 02.06.2021.

Izmjereni/proračunati parametri tečenja potrebni za proračun su:

Protok  $Q= 1,794$  [m<sup>3</sup>/s]

Širina korita  $B= 10,70$  [m]

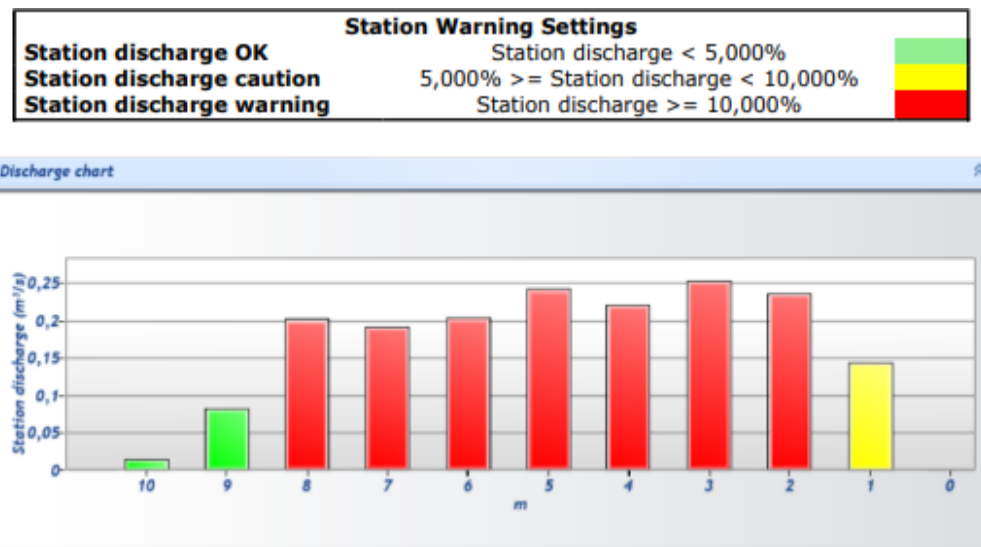
Površina presjeka  $A= 6,838$  [m<sup>2</sup>]

Omočeni obod  $O= 10,980$  [m]

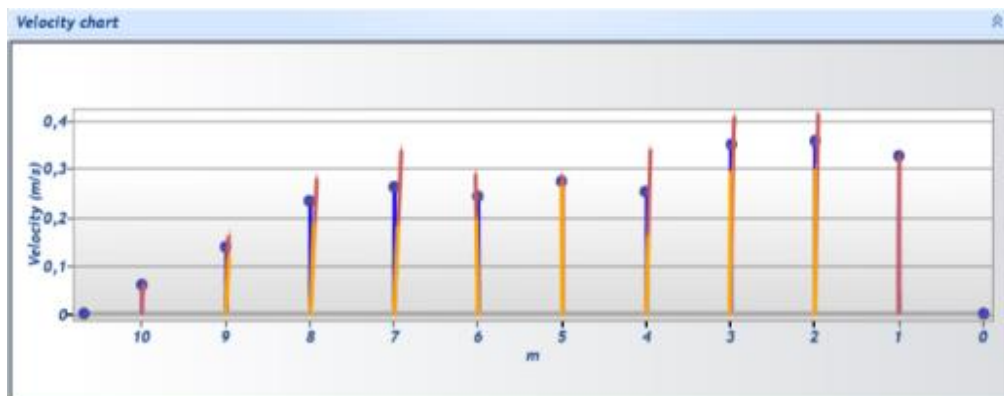
Srednja dubina  $h= 0,639$  [m]

Srednja brzina  $v= 0,262$  [m/s]

Iz dijagrama (Slika 4.2., Slika 4.6. i Slika 4.10. ) može se zaključiti da je najveći protok vode u sredini korita, a manji protok uz rub korita.



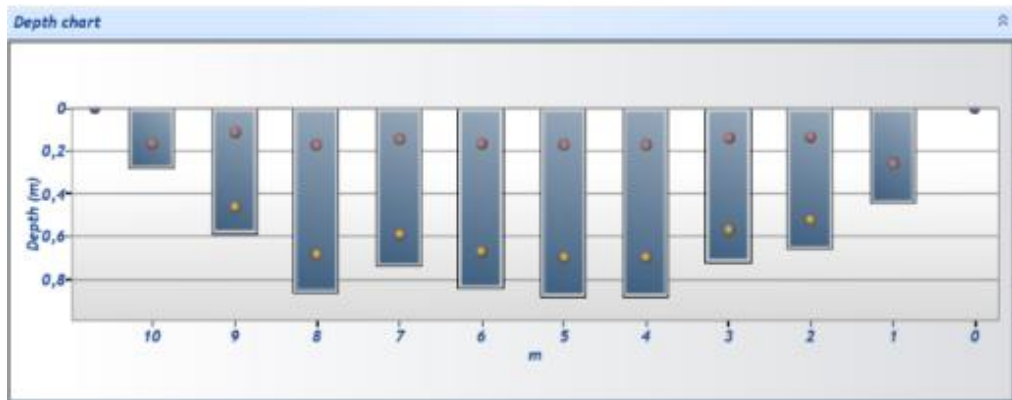
Slika 4.2. Dijagram protoka u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.



Slika 4.3. Dijagram brzine u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.

Kod dijagrama brzina (Slika 4.3., Slika 4.7. i Slika 4.11.), bitno je napomenuti da se kod mjerenja može dogoditi da uređaj očita negativnu brzinu, a to se događa zbog toga

jer je ispred uređaja za mjerenje izvjesna smetnja, tj. kamen, trave i ostale prirodne prepreke. Promjena smjera toka vode također može uzrokovati navedeno. Plave strelice pokazuju vektore osrednjene brzine s obzirom na okomicu na poprečni presjek korita, tj. mjerni profil. Ostale strelice u različitim bojama pokazuju vektore stvarne brzine u mjerenim točkama po vertikali.



Slika 4.4. Dijagram dubine u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.

Iz dijagrama (Slika 4.4., Slika 4.8. i Slika 4.12.) može se vidjeti da je brzina mjerena na jednu, dvije pa i tri točke na svakoj vertikali zbog preciznijih rezultata. Vertikale bi prema pravilu struke i ISO standardu trebale biti na razmaku 1/20 širine korita [10, 11], no ukoliko se traži veća preciznost, razmaci vertikala trebaju biti što manji i obratno. Konkretno, ukoliko su brzine prioritet, minimalni razmak treba biti 0.5 m. Ukoliko je protok prioritet, minimalni razmak vertikala treba biti 1 m. Veći broj vertikala i točaka na svakoj vertikali podrazumijeva i dulje vrijeme mjerenja, kao što je i to bilo u slučaju kod trećeg mjerenja 03.09.2021.

U tablici 2., tablici 3. i tablici 4., prikazani su rezultati svih parametara koji su mjereni na sva tri mjerenja plus njihova razrada koja je napravljena u programskom paketu Flow Tracker 2, koji dolazi u sklopu mjernog uređaja, a također je besplatan za preuzimanje. Proračun protoka izvršen je osrednjavanjem po mjenim dijelovima uzevši u obzir površine poprečnih presjeka i osrednjene brzine.

Tablica 2. Rezultati prvog mjerenja 02.06.2021.

| St# | Time  | Location (m) | Method  | Depth (m) | %Depth | Measured Depth (m) | Samples | Velocity (m/s) | Correct on | Mean Velocity (m/s) | Area (m <sup>2</sup> ) | Flow (m <sup>3</sup> /s) | %Q     |   |
|-----|-------|--------------|---------|-----------|--------|--------------------|---------|----------------|------------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|---|
| 0   | 14:16 | 0,000        | None    | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,327               | 0,000                  | 0,000                    | 0,000  | ✓ |
| 1   | 14:17 | 1,000        | 0,6     | 0,440     | 0,600  | 0,264              | 80      | 0,327          | 1,000      | 0,327               | 0,440                  | 0,144                    | 8,027  | ✓ |
| 2   | 14:19 | 2,000        | 0,2/0,8 | 0,660     | 0,200  | 0,132              | 80      | 0,415          | 1,000      | 0,358               | 0,660                  | 0,236                    | 13,161 | ✓ |
| 2   | 14:19 | 2,000        | 0,2/0,8 | 0,660     | 0,800  | 0,528              | 80      | 0,300          | 1,000      | 0,358               | 0,660                  | 0,236                    | 13,161 | ✓ |
| 3   | 14:22 | 3,000        | 0,2/0,8 | 0,720     | 0,200  | 0,144              | 80      | 0,408          | 1,000      | 0,352               | 0,720                  | 0,254                    | 14,131 | ✓ |
| 3   | 14:22 | 3,000        | 0,2/0,8 | 0,720     | 0,800  | 0,576              | 80      | 0,296          | 1,000      | 0,352               | 0,720                  | 0,254                    | 14,131 | ✓ |
| 4   | 14:25 | 4,000        | 0,2/0,8 | 0,880     | 0,200  | 0,176              | 80      | 0,341          | 1,000      | 0,252               | 0,880                  | 0,222                    | 12,347 | ✓ |
| 4   | 14:25 | 4,000        | 0,2/0,8 | 0,880     | 0,800  | 0,704              | 80      | 0,162          | 1,000      | 0,252               | 0,880                  | 0,222                    | 12,347 | ✓ |
| 5   | 14:29 | 5,000        | 0,2/0,8 | 0,880     | 0,200  | 0,176              | 80      | 0,285          | 1,000      | 0,275               | 0,880                  | 0,242                    | 13,487 | ✓ |
| 5   | 14:29 | 5,000        | 0,2/0,8 | 0,880     | 0,800  | 0,704              | 80      | 0,265          | 1,000      | 0,275               | 0,880                  | 0,242                    | 13,487 | ✓ |
| 6   | 14:32 | 6,000        | 0,2/0,8 | 0,840     | 0,200  | 0,168              | 80      | 0,290          | 1,000      | 0,244               | 0,840                  | 0,205                    | 11,402 | ✓ |
| 6   | 14:32 | 6,000        | 0,2/0,8 | 0,840     | 0,800  | 0,672              | 80      | 0,197          | 1,000      | 0,244               | 0,840                  | 0,205                    | 11,402 | ✓ |
| 7   | 14:36 | 7,000        | 0,2/0,8 | 0,740     | 0,200  | 0,148              | 80      | 0,339          | 1,000      | 0,261               | 0,740                  | 0,193                    | 10,775 | ✓ |
| 7   | 14:36 | 7,000        | 0,2/0,8 | 0,740     | 0,800  | 0,592              | 80      | 0,184          | 1,000      | 0,261               | 0,740                  | 0,193                    | 10,775 | ✓ |
| 8   | 14:39 | 8,000        | 0,2/0,8 | 0,860     | 0,200  | 0,172              | 80      | 0,281          | 1,000      | 0,235               | 0,860                  | 0,202                    | 11,278 | ✓ |
| 8   | 14:39 | 8,000        | 0,2/0,8 | 0,860     | 0,800  | 0,688              | 80      | 0,190          | 1,000      | 0,235               | 0,860                  | 0,202                    | 11,278 | ✓ |
| 9   | 14:42 | 9,000        | 0,2/0,8 | 0,580     | 0,200  | 0,116              | 80      | 0,163          | 1,000      | 0,142               | 0,580                  | 0,082                    | 4,577  | ✓ |
| 9   | 14:42 | 9,000        | 0,2/0,8 | 0,580     | 0,800  | 0,464              | 80      | 0,120          | 1,000      | 0,142               | 0,580                  | 0,082                    | 4,577  | ✓ |
| 10  | 14:46 | 10,000       | 0,6     | 0,280     | 0,600  | 0,168              | 80      | 0,061          | 1,000      | 0,061               | 0,238                  | 0,015                    | 0,815  | ✓ |
| 11  | 14:48 | 10,700       | None    | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,061               | 0,000                  | 0,000                    | 0,000  | ✓ |

Drugo mjerenje izvršeno je 04.06.2021. godine, a dobiveni su sljedeći podaci (Slika 4.5.).

|                    |                         |  |
|--------------------|-------------------------|--|
| <b>Site name</b>   | Luka                    |  |
| <b>Site number</b> | 2                       |  |
| <b>Operator(s)</b> | Kp                      |  |
| <b>File name</b>   | 20210604-152401_Luka.ft |  |
| <b>Comment</b>     |                         |  |

|                                 |                 |                               |             |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|
| <b>Start time</b>               | 4.6.2021. 14:56 | <b>Sensor type</b>            | Top Setting |
| <b>End time</b>                 | 4.6.2021. 15:21 | <b>Handheld serial number</b> | FT2H2025030 |
| <b>Start location latitude</b>  | 46,282          | <b>Probe serial number</b>    | FT2P2024010 |
| <b>Start location longitude</b> | 16,582          | <b>Probe firmware</b>         | 1.30        |
| <b>Calculations engine</b>      | FlowTracker2    | <b>Handheld software</b>      | 1.6.4       |

|                   |                         |  |
|-------------------|-------------------------|--|
| <b># Stations</b> | <b>Avg interval (s)</b> | <b>Total discharge (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| 12                | 40                      | 1,581                                    |

|                        |                                   |                             |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Total width (m)</b> | <b>Total area (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Wetted Perimeter (m)</b> |
| 11,000                 | 6,330                             | 11,231                      |

|                      |                       |                            |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Mean SNR (dB)</b> | <b>Mean depth (m)</b> | <b>Mean velocity (m/s)</b> |
| 40,065               | 0,575                 | 0,250                      |

|                       |                      |                           |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| <b>Mean temp (°C)</b> | <b>Max depth (m)</b> | <b>Max velocity (m/s)</b> |
| 20,554                | 0,830                | 0,401                     |

|                              |              |              |
|------------------------------|--------------|--------------|
| <b>Discharge Uncertainty</b> |              |              |
| <b>Category</b>              | <b>ISO</b>   | <b>IVE</b>   |
| <b>Accuracy</b>              | 1,0 %        | 1,0 %        |
| <b>Depth</b>                 | 0,2 %        | 4,0 %        |
| <b>Velocity</b>              | 0,6 %        | 4,1 %        |
| <b>Width</b>                 | 0,2 %        | 0,2 %        |
| <b>Method</b>                | 1,5 %        |              |
| <b># Stations</b>            | 4,2 %        |              |
| <b>Overall</b>               | <b>4,6 %</b> | <b>5,9 %</b> |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| <b>Discharge equation</b>    | Mid Section |
| <b>Discharge uncertainty</b> | IVE         |
| <b>Discharge reference</b>   | Rated       |

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

Slika 4.5. Dobiveni parametri nakon drugog hidrometrijskog mjerenja 04.06.2021.

Izmjereni/proračunati parametri tečenja potrebni za proračun su:

Protok  $Q= 1,581$  [m<sup>3</sup>/s]

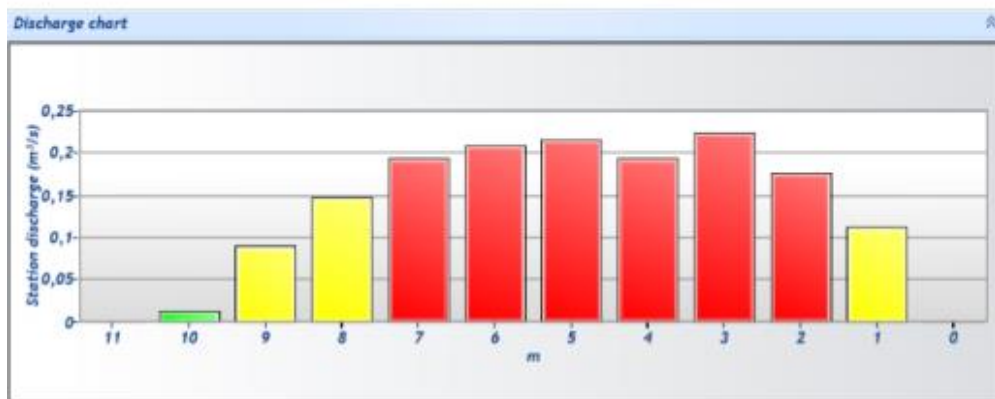
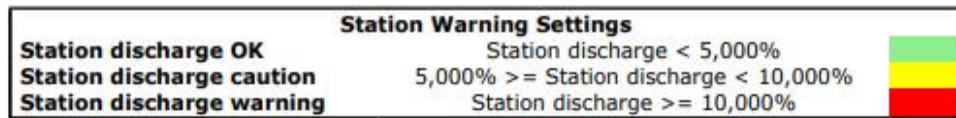
Širina korita  $B= 11$  [m]

Površina presjeka  $A= 6,330$  [m<sup>2</sup>]

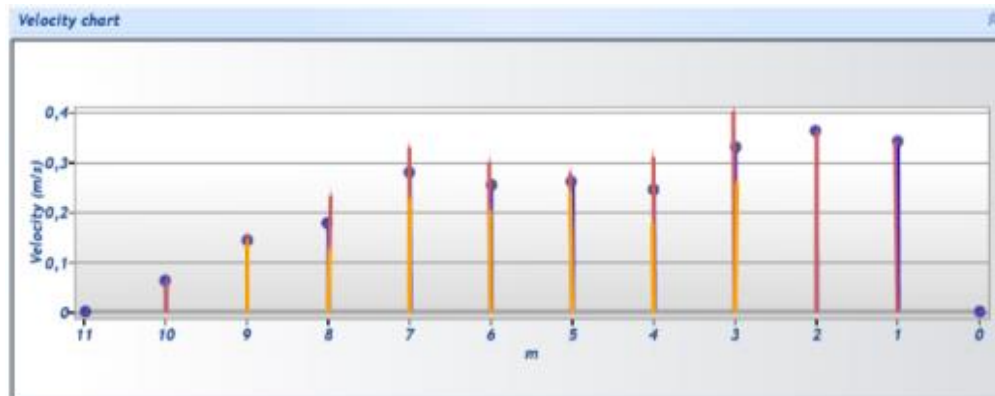
Omočeni obod  $O= 11,231$  [m]

Srednja dubina  $h= 0,575$  [m]

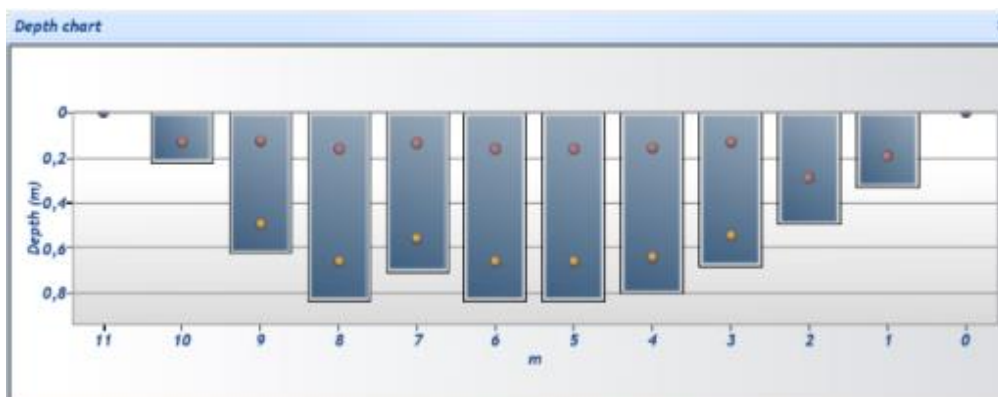
Srednja brzina  $v= 0,250$  [m/s]



Slika 4.6. Dijagram protoka u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.



Slika 4.7. Dijagram brzine u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.



Slika 4.8. Dijagram dubine u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.



Tablica 3. Rezultati drugog mjerenja 04.06.2021.

| Measurement results |       |              |         |           |        |                    |         |                |            |                     |                        |                          |        |   |
|---------------------|-------|--------------|---------|-----------|--------|--------------------|---------|----------------|------------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|---|
| 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                   | 14:56 | 0,000        | None    | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,341               | 0,000                  | 0,000                    | 0,000  | ✓ |
| 1                   | 14:57 | 1,000        | 0,6     | 0,330     | 0,600  | 0,198              | 80      | 0,341          | 1,000      | 0,341               | 0,330                  | 0,112                    | 7,113  | ✓ |
| 2                   | 14:59 | 2,000        | 0,6     | 0,490     | 0,600  | 0,294              | 80      | 0,362          | 1,000      | 0,362               | 0,490                  | 0,178                    | 11,232 | ✓ |
| 3                   | 15:01 | 3,000        | 0,2/0,8 | 0,680     | 0,200  | 0,136              | 80      | 0,401          | 1,000      | 0,330               | 0,680                  | 0,225                    | 14,201 | ✓ |
| 3                   | 15:01 | 3,000        | 0,2/0,8 | 0,680     | 0,800  | 0,544              | 80      | 0,259          | 1,000      | 0,330               | 0,680                  | 0,225                    | 14,201 | ✓ |
| 4                   | 15:04 | 4,000        | 0,2/0,8 | 0,800     | 0,200  | 0,160              | 80      | 0,310          | 1,000      | 0,243               | 0,800                  | 0,195                    | 12,303 | ✓ |
| 4                   | 15:04 | 4,000        | 0,2/0,8 | 0,800     | 0,800  | 0,640              | 80      | 0,176          | 1,000      | 0,243               | 0,800                  | 0,195                    | 12,303 | ✓ |
| 5                   | 15:06 | 5,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,200  | 0,166              | 80      | 0,279          | 1,000      | 0,261               | 0,830                  | 0,216                    | 13,677 | ✓ |
| 5                   | 15:06 | 5,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,800  | 0,664              | 80      | 0,242          | 1,000      | 0,261               | 0,830                  | 0,216                    | 13,677 | ✓ |
| 6                   | 15:09 | 6,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,200  | 0,166              | 80      | 0,300          | 1,000      | 0,252               | 0,830                  | 0,209                    | 13,237 | ✓ |
| 6                   | 15:09 | 6,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,800  | 0,664              | 80      | 0,204          | 1,000      | 0,252               | 0,830                  | 0,209                    | 13,237 | ✓ |
| 7                   | 15:12 | 7,000        | 0,2/0,8 | 0,700     | 0,200  | 0,140              | 80      | 0,330          | 1,000      | 0,278               | 0,700                  | 0,194                    | 12,292 | ✓ |
| 7                   | 15:12 | 7,000        | 0,2/0,8 | 0,700     | 0,800  | 0,560              | 80      | 0,225          | 1,000      | 0,278               | 0,700                  | 0,194                    | 12,292 | ✓ |
| 8                   | 15:14 | 8,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,200  | 0,166              | 80      | 0,233          | 1,000      | 0,179               | 0,830                  | 0,149                    | 9,399  | ✓ |
| 8                   | 15:14 | 8,000        | 0,2/0,8 | 0,830     | 0,800  | 0,664              | 80      | 0,125          | 1,000      | 0,179               | 0,830                  | 0,149                    | 9,399  | ✓ |
| 9                   | 15:17 | 9,000        | 0,2/0,8 | 0,620     | 0,200  | 0,124              | 80      | 0,151          | 1,000      | 0,145               | 0,620                  | 0,090                    | 5,667  | ✓ |
| 9                   | 15:17 | 9,000        | 0,2/0,8 | 0,620     | 0,800  | 0,496              | 80      | 0,138          | 1,000      | 0,145               | 0,620                  | 0,090                    | 5,667  | ✓ |
| 10                  | 15:19 | 10,000       | 0,6     | 0,220     | 0,600  | 0,132              | 80      | 0,063          | 1,000      | 0,063               | 0,220                  | 0,014                    | 0,878  | ✓ |
| 11                  | 15:21 | 11,000       | None    | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,063               | 0,000                  | 0,000                    | 0,000  | ✓ |

Treće mjerenje je izvršeno 03.09.2021. godine, a dobiveni su sljedeći podaci ( Slika 4.9. ).

|                    |                              |  |
|--------------------|------------------------------|--|
| <b>Site name</b>   | Plit luke                    |  |
| <b>Site number</b> | 3                            |  |
| <b>Operator(s)</b> | Helena                       |  |
| <b>File name</b>   | 20210903-125228_Plit luke.ft |  |
| <b>Comment</b>     |                              |  |

|                                 |                 |                               |             |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|
| <b>Start time</b>               | 3.9.2021. 11:40 | <b>Sensor type</b>            | Top Setting |
| <b>End time</b>                 | 3.9.2021. 12:49 | <b>Handheld serial number</b> | FT2H2025030 |
| <b>Start location latitude</b>  | 46,282          | <b>Probe serial number</b>    | FT2P2024010 |
| <b>Start location longitude</b> | 16,581          | <b>Probe firmware</b>         | 1.30        |
| <b>Calculations engine</b>      | FlowTracker2    | <b>Handheld software</b>      | 1.7         |

|                   |                         |  |
|-------------------|-------------------------|--|
| <b># Stations</b> | <b>Avg interval (s)</b> | <b>Total discharge (m<sup>3</sup>/s)</b> |
| 19                | 40                      | 0,552                                    |

|                        |                                   |                             |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Total width (m)</b> | <b>Total area (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Wetted Perimeter (m)</b> |
| 9,200                  | 4,116                             | 9,417                       |

|                      |                       |                            |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Mean SNR (dB)</b> | <b>Mean depth (m)</b> | <b>Mean velocity (m/s)</b> |
| 30,633               | 0,447                 | 0,134                      |

|                       |                      |                           |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| <b>Mean temp (°C)</b> | <b>Max depth (m)</b> | <b>Max velocity (m/s)</b> |
| 17,298                | 0,620                | 0,326                     |

|                              |              |            |
|------------------------------|--------------|------------|
| <b>Discharge Uncertainty</b> |              |            |
| <b>Category</b>              | <b>ISO</b>   | <b>IVE</b> |
| <b>Accuracy</b>              | 1,0 %        |            |
| <b>Depth</b>                 | 0,2 %        |            |
| <b>Velocity</b>              | 3,1 %        |            |
| <b>Width</b>                 | 0,1 %        |            |
| <b>Method</b>                | 1,6 %        |            |
| <b># Stations</b>            | 2,6 %        |            |
| <b>Overall</b>               | <b>4,5 %</b> |            |

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

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

Slika 4.9. Dobiveni parametri nakon trećeg hidrometrijskog mjerenja 03.09.2021.

Izmjereni/proračunati parametri tečenja potrebni za proračun su:

Protok  $Q= 0,552$  [m<sup>3</sup>/s]

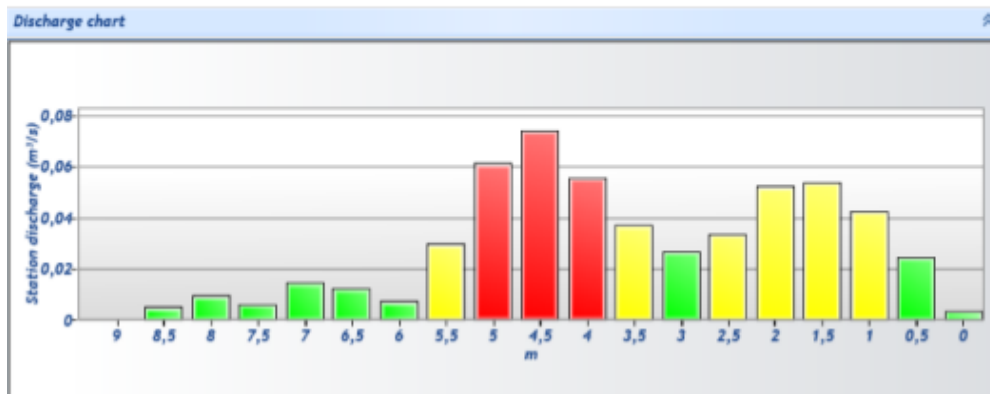
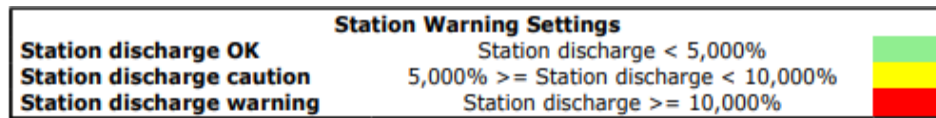
Širina korita  $B= 9,20$  [m]

Površina presjeka  $A= 4,116$  [m<sup>2</sup>]

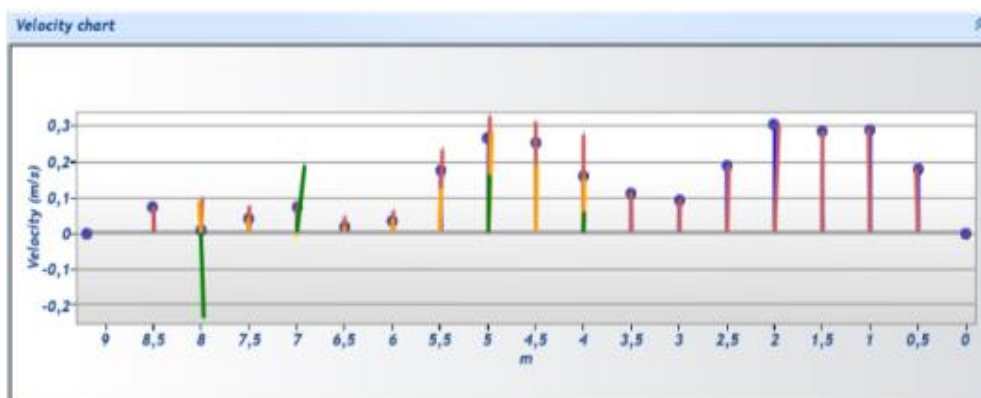
Omočeni obod  $O= 9,417$  [m]

Srednja dubina  $h= 0,447$  [m]

Srednja brzina  $v= 0,134$  [m/s]



Slika 4.10. Dijagram protoka u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.



Slika 4.11. Dijagram brzine u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.



Slika 4.12. Dijagram dubine u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.

Kod trećeg mjerenja na dijagramu dubine (Slika 4.12.) se može vidjeti da je brzina mjerena na tri dubine zbog preciznijih rezultata. Potrebno je naglasiti da mjerni uređaj

sam predlaže broj mjerenja, ovisno o dubini, kao i uvjetima u vodotoku. Tako primjerice, zbog naglih promjena dubine, kao i vegetacije koja se smatra preprekom, uređaj prepoznaje veću odnosno manju dubinu, čime se većim ili manjim brojem mjerenja to kompenzira.

Tablica 4. Rezultati trećeg mjerenja od 03.09.2021.

| 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   | 11:40 | 0,000        | None        | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,089               | 0,040                  | 0,004                    | 0,647  | ✓ |
| 1   | 11:41 | 0,500        | 0,6         | 0,160     | 0,600  | 0,096              | 80      | 0,179          | 1,000      | 0,234               | 0,105                  | 0,025                    | 4,443  | ✓ |
| 2   | 11:51 | 1,000        | 0,6         | 0,260     | 0,600  | 0,156              | 80      | 0,289          | 1,000      | 0,285               | 0,150                  | 0,043                    | 7,744  | ✓ |
| 3   | 11:55 | 1,500        | 0,6         | 0,340     | 0,600  | 0,204              | 80      | 0,281          | 1,000      | 0,292               | 0,185                  | 0,054                    | 9,781  | ✓ |
| 4   | 11:58 | 2,000        | 0,6         | 0,400     | 0,600  | 0,240              | 80      | 0,302          | 1,000      | 0,244               | 0,215                  | 0,053                    | 9,512  | ✓ |
| 5   | 12:00 | 2,500        | 0,6         | 0,460     | 0,600  | 0,276              | 80      | 0,186          | 1,000      | 0,138               | 0,245                  | 0,034                    | 6,104  | ✓ |
| 6   | 12:02 | 3,000        | 0,6         | 0,520     | 0,600  | 0,312              | 80      | 0,089          | 1,000      | 0,100               | 0,273                  | 0,027                    | 4,937  | ✓ |
| 7   | 12:04 | 3,500        | 0,6         | 0,570     | 0,600  | 0,342              | 80      | 0,111          | 1,000      | 0,134               | 0,275                  | 0,037                    | 6,689  | ✓ |
| 8   | 12:07 | 4,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,200  | 0,106              | 80      | 0,274          | 1,000      | 0,204               | 0,275                  | 0,056                    | 10,152 | ✓ |
| 8   | 12:07 | 4,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,600  | 0,318              | 80      | 0,150          | 1,000      | 0,204               | 0,275                  | 0,056                    | 10,152 | ✓ |
| 8   | 12:07 | 4,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,800  | 0,424              | 80      | 0,056          | 1,000      | 0,204               | 0,275                  | 0,056                    | 10,152 | ✓ |
| 9   | 12:13 | 4,500        | 0,2/0,8     | 0,570     | 0,200  | 0,114              | 80      | 0,311          | 1,000      | 0,256               | 0,290                  | 0,074                    | 13,445 | ✓ |
| 9   | 12:13 | 4,500        | 0,2/0,8     | 0,570     | 0,800  | 0,456              | 80      | 0,190          | 1,000      | 0,256               | 0,290                  | 0,074                    | 13,445 | ✓ |
| 10  | 12:16 | 5,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,590     | 0,200  | 0,118              | 80      | 0,326          | 1,000      | 0,219               | 0,280                  | 0,061                    | 11,114 | ✓ |
| 10  | 12:16 | 5,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,590     | 0,600  | 0,354              | 80      | 0,280          | 1,000      | 0,219               | 0,280                  | 0,061                    | 11,114 | ✓ |
| 10  | 12:16 | 5,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,590     | 0,800  | 0,472              | 80      | 0,160          | 1,000      | 0,219               | 0,280                  | 0,061                    | 11,114 | ✓ |
| 11  | 12:21 | 5,500        | 0,2/0,8     | 0,530     | 0,200  | 0,106              | 80      | 0,232          | 1,000      | 0,105               | 0,288                  | 0,030                    | 5,449  | ✓ |
| 11  | 12:21 | 5,500        | 0,2/0,8     | 0,530     | 0,800  | 0,424              | 80      | 0,121          | 1,000      | 0,105               | 0,288                  | 0,030                    | 5,449  | ✓ |
| 12  | 12:24 | 6,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,620     | 0,200  | 0,124              | 80      | 0,059          | 1,000      | 0,026               | 0,288                  | 0,007                    | 1,337  | ✓ |
| 12  | 12:24 | 6,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,620     | 0,600  | 0,372              | 80      | 0,036          | 1,000      | 0,026               | 0,288                  | 0,007                    | 1,337  | ✓ |
| 12  | 12:24 | 6,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,620     | 0,800  | 0,496              | 80      | 0,000          | 1,000      | 0,026               | 0,288                  | 0,007                    | 1,337  | ✓ |
| 13  | 12:29 | 6,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,200  | 0,106              | 80      | 0,043          | 1,000      | 0,045               | 0,273                  | 0,012                    | 2,229  | ✓ |
| 13  | 12:29 | 6,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,600  | 0,318              | 80      | 0,016          | 1,000      | 0,045               | 0,273                  | 0,012                    | 2,229  | ✓ |
| 13  | 12:29 | 6,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,800  | 0,424              | 80      | -0,001         | 1,000      | 0,045               | 0,273                  | 0,012                    | 2,229  | ✓ |
| 14  | 12:33 | 7,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,560     | 0,200  | 0,112              | 80      | 0,083          | 1,000      | 0,054               | 0,273                  | 0,015                    | 2,688  | ✓ |
| 14  | 12:33 | 7,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,560     | 0,600  | 0,336              | 80      | 0,008          | 1,000      | 0,054               | 0,273                  | 0,015                    | 2,688  | ✓ |
| 14  | 12:33 | 7,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,560     | 0,800  | 0,448              | 80      | 0,188          | 1,000      | 0,054               | 0,273                  | 0,015                    | 2,688  | ✓ |
| 15  | 12:39 | 7,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,200  | 0,106              | 80      | 0,074          | 1,000      | 0,022               | 0,275                  | 0,006                    | 1,106  | ✓ |
| 15  | 12:39 | 7,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,600  | 0,318              | 80      | 0,038          | 1,000      | 0,022               | 0,275                  | 0,006                    | 1,106  | ✓ |
| 15  | 12:39 | 7,500        | 0,2/0,6/0,8 | 0,530     | 0,800  | 0,424              | 80      | 0,000          | 1,000      | 0,022               | 0,275                  | 0,006                    | 1,106  | ✓ |
| 16  | 12:43 | 8,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,570     | 0,200  | 0,114              | 80      | 0,096          | 1,000      | 0,039               | 0,245                  | 0,009                    | 1,713  | ✓ |
| 16  | 12:43 | 8,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,570     | 0,600  | 0,342              | 80      | 0,084          | 1,000      | 0,039               | 0,245                  | 0,009                    | 1,713  | ✓ |
| 16  | 12:43 | 8,000        | 0,2/0,6/0,8 | 0,570     | 0,800  | 0,456              | 80      | -0,235         | 1,000      | 0,039               | 0,245                  | 0,009                    | 1,713  | ✓ |
| 17  | 12:47 | 8,500        | 0,6         | 0,410     | 0,600  | 0,246              | 80      | 0,070          | 1,000      | 0,035               | 0,144                  | 0,005                    | 0,910  | ✓ |
| 18  | 12:49 | 9,200        | None        | 0,000     | 0,000  | 0,000              | 0       | 0,000          |            | 0,000               | 0,000                  | 0,000                    | 0,000  | ✓ |

## 4.2. Proračun pada dna korita $i$

Na temelju dobivenih podataka nakon hidrometrijskog mjerenja  $i$  prema Manningovoj formuli (2) izračunava se pad dna korita prema izrazu:

$$i = \frac{Q^2 \times n^2}{A^2 \times R^{\frac{4}{3}}} \quad (6)$$

Hidraulički radijusi za svako mjerenje izračunati su korištenjem izraza (5):

-Mjerenje 1, 02.06.2021.:

$$R = \frac{A}{O} = \frac{6,838}{10,980} = 0,623 [m]$$

-Mjerenje 2, 04.06.2021.:

$$R = \frac{A}{O} = \frac{6,330}{11,231} = 0,564 [m]$$

-Mjerenje 3, 03.09.2021.:

$$R = \frac{A}{O} = \frac{4,116}{9,417} = 0,437 [m]$$

Manningov koeficijent hrapavosti  $n$  očita se iz Tablice 1. za XV. kategoriju, pri čemu on iznosi  $n = 0,035$ . Pomoću jednadžbe (6) izračunati su prosječni nagibi dna korita:

-Mjerenje 1, 02.06.2021.:

$$i = \frac{1,794^2 \times 0,035^2}{6,838^2 \times 0,623^{\frac{4}{3}}} = 0,00015$$

-Mjerenje 2, 04.06.2021.:

$$i = \frac{1,581^2 \times 0,035^2}{6,330^2 \times 0,564^{\frac{4}{3}}} = 0,00016$$

-Mjerenje 3, 03.09.2021.:

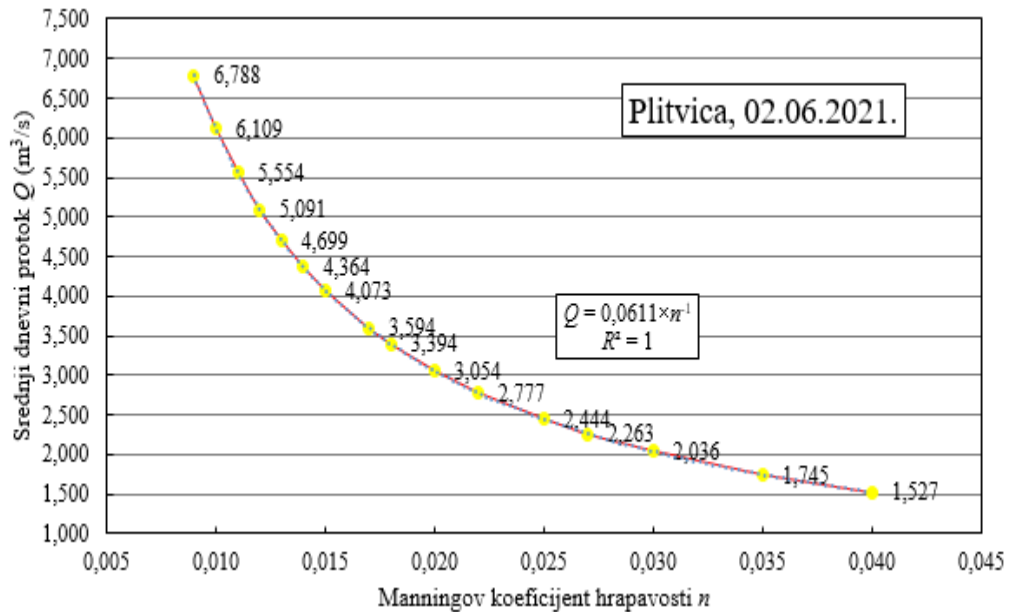
$$i = \frac{0,552^2 \times 0,035^2}{4,116^2 \times 0,437^{\frac{4}{3}}} = 0,00007$$

Izračunati srednji nagib dna korita služi kao konstantna vrijednost za sve hrapavosti kod svakog pojedinog analiziranog slučaja. U sljedećim koracima proračunava se protočnost, odnosno količina vode u sekundi koju taj profil/vodotok može preuzeti ako se mijenja hrapavost.

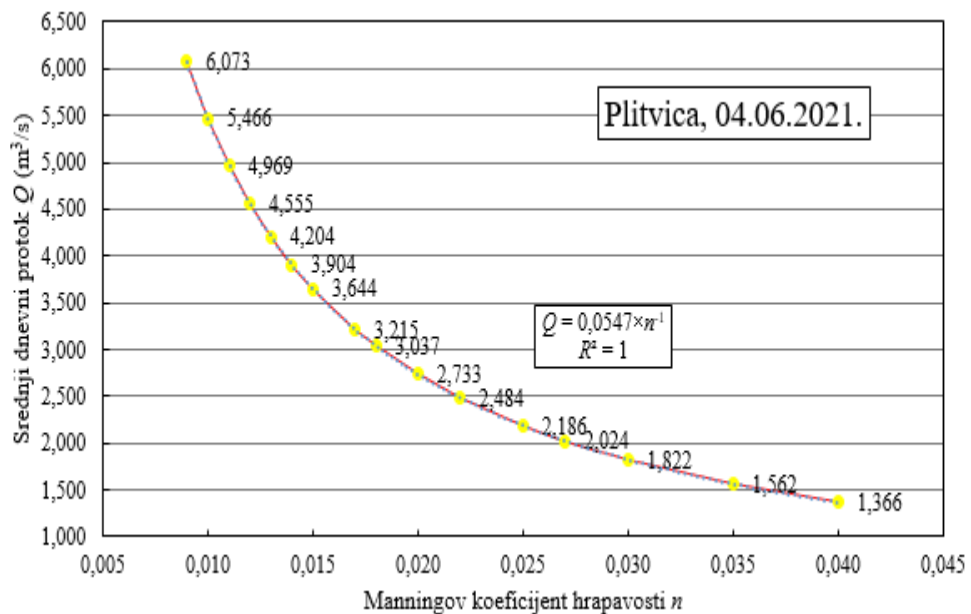
Glatke podloge su uglavnom umjetne i predstavljaju nagrđivanje okoliša te remećenje prirodnih uvjeta. Ukoliko je glađa površina, više vode otječe jer je i veća brzina, čime se vodni valovi ublažavaju i brže otječu van naseljenih mjesta. Praktičnost prikazane metodologije analize je uvid u vrstu obloge koja se želi napraviti, ukoliko se radi regulacija ili uređenje korita.

### 4.3. Proračun protoka $Q$

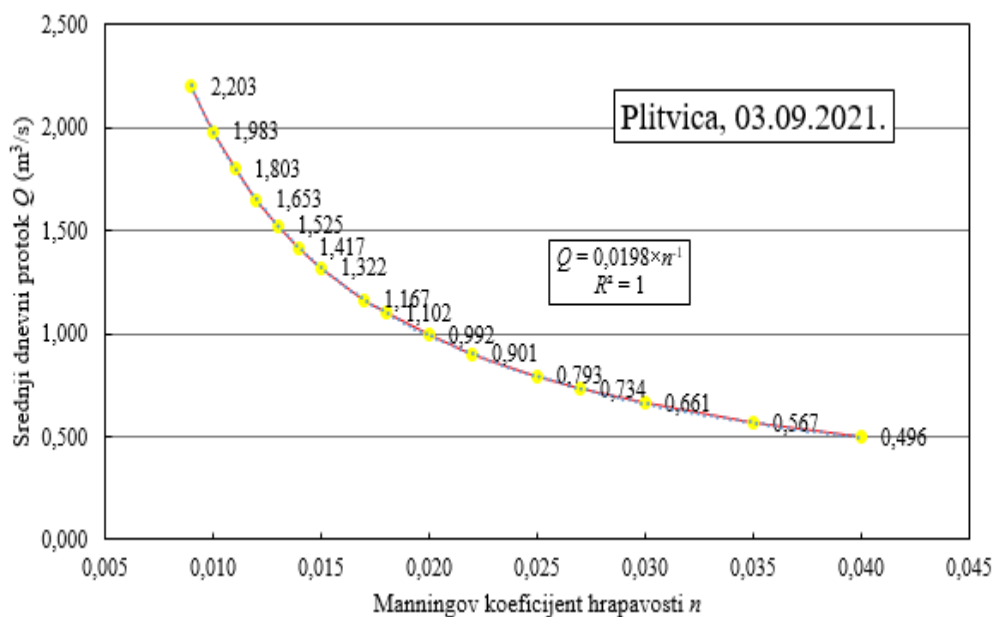
Na dijagramima (Slika 4.13., Slika 4.14. i Slika 4.15.) prikazani su proračunati protoci za svaku kategoriju, tj. vrijednost Manningovog koeficijenta hrapavosti.



Slika 4.13. Dijagram protoka i hrapavosti s prvog mjerenja 02.06.2021.



Slika 4.14. Dijagram protoka i hrapavosti s drugog mjerenja 04.06.2021.



Slika 4.15. Dijagram protoka i hrapavosti s trećeg mjerenja 03.09.2021.

Razlika u postocima najvećeg i najmanjeg protoka kod prvog mjerenja (02.06.2021.) iznosi 78% što se može vidjeti iz proračuna:

$$\Delta Q = \frac{6,788 - 1,527}{6,788} = 0,78 = 78 \%$$

Razlika u postocima najvećeg i najmanjeg protoka kod drugog mjerenja (04.06.2021.) iznosi 78 % što je jednako kao i kod prvog mjerenja:

$$\Delta Q = \frac{6,073 - 1,366}{6,073} = 0,78 = 78 \%$$

Razlika u postocima najvećeg i najmanjeg protoka kod trećeg mjerenja (03.09.2021.) iznosi također 78% kao i u prvom i u drugom mjerenju:

$$\Delta Q = \frac{2,203 - 0,496}{2,203} = 0,78 = 78 \%$$



## 5. Zaključak

Regulacija uz svrshodno uređenje okoliša je svrhovita izgradnja hidrotehničkih objekata u svrhu različitih namjena, kao što je to prvenstveno zaštita od poplava i navodnjavanje zemljišta, uređenje dijelova vodotoka radi postrojenja za proizvodnju električne energije te ostale svrhe. Bujične rijeke kao što je rijeka Plitvica ugrožavaju okolno područje tijekom visokih vodostaja te je potrebno regulirati i uređivati njezino korito. U tu svrhu, izvode se regulacijski zahvati poput obaloutvrda, pragova, pregrada, nasipa, prokopa i dr. Uz regulacije, potrebno je i redovito održavati prostor u koritu i izvan njega košnjom trave i vegetacije, odnosno krčenjem raslinja oko korita.

U svrhu održive primjene regulacijskih zahvata, odnosno pojedinih hidrotehničkih zahvata, kao i utjecaja regulacija na protočnost vode, potrebna je analiza parametara tečenja na vodotoku, u ovom slučaju rijeci Plitvici. Potrebno je težiti što manjoj "betonizaciji" i "kanaliziranju" vodotoka, odnosno što većoj razini održanja prirodnih uvjeta tečenja. Pri tome se misli na postizanje što veće brzine tečenja, odnosno veće protočnosti vodotoka u blizini urbanih sredina, ali uz minimalne zahvate. Također, izvan naseljenih mjesta, regulacijske zahvate trebalo bi svesti na minimum i omogućiti slobodno prelijevanje vode u prirodna staništa (močvarne šume, bare, rukavce i ostalo).

Ovaj rad je temeljen ne samo na teorijskom dijelu, nego i na praktičnom. Napravljena su tri hidrometrijska mjerenja, dva u lipnju 2021. godine, dok je treće mjerenje napravljeno u rujnu 2021. godine. Iz rezultata mjerenja i analize može se zaključiti da su u sušnom dijelu godine protoci više-manje jednaki te da se ovisno o hrapavosti korita protoci povećavaju ili smanjuju. Ukoliko je glatka površina, a korito regulirano i uređeno, protočnost će biti veća, a ukoliko je hrapavost veća, protočnost će biti manja, kao što je i prikazano u radu.

Dakle u sva tri slučaja mjerenja, razlika najvećeg i najmanjeg protoka nije se mijenjala kao ni Manningov koeficijent hrapavosti. Usporedbom izmjerenih protoka s proračunatim, vidljivo je da su odstupanja veća što je i izmjereni (kontrolni) protok veći.

Kao preporuka za daljnju analizu, a u svrhu realnije procjene utjecaja hrapavosti na protočnost, potrebno je izvršiti hidrometrijska mjerenja kod većih vodostaja (protoka).

Pri tome se mora utvrditi u kojoj veličini se srednji nagibi dna korita mijenjaju s povećanjem protoka. Kod niskih vodostaja, protok kao i brzina tečenja su mali, čime dolazi do stvaranja nanosa i usporenja toka, što utječe na objektivnost proračuna srednjeg nagiba dna kanala.

Mjesto i datum

Potpis studenta

## 6. Literatura

- [1] Priroda Hrvatske: <http://prirodahrvatske.com/hidrografija/>, dostupno 17.06.2021.
- [2] Sveučilište u Zagrebu-Građevinski fakultet u Zagrebu:  
[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/V01-Nejednoliko\\_tecenje.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/V01-Nejednoliko_tecenje.pdf),  
dostupno 17.06.2021.
- [3] Đurin, B.: Autorske fotografije, 2021.
- [4] Agroskin, I.I., Dmitrijević, G.T., Pikalo, F.I.: Hidraulika; Sveučilište u Zagrebu; Tehnička knjiga, Zagreb, 1964.
- [5] Skripta: prof.dr.sc.dr.h.c. Mladen Kranjčec, dipl. ing., Predavanja iz Temelja Hidraulike-Treći dio, 2021.
- [6] Sveučilište u Zagrebu-Građevinski fakultet u Zagrebu:  
[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/H02Tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/H02Tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf),  
dostupno 17.06.2021.
- [7] Wikipedija: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Plitvica> , dostupno 24.08.2021.
- [8] Google karte:  
[https://www.google.com/search?q=rijeka+plitvica+karta&rlz=1C1GCEA\\_enHR896HR896&ei=Q3DMYOrFCu\\_7UPxbKTKAU&oq=rijeka+plitvica+karta&gs\\_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEBYQHjoHCAAQRxCwAzoCCABQphBYuhhg7yNoAXACeACAAb8BiAHqB5IBAzAuN5gBAKABAaoBB2d3cy13aXrIAQjAAQE&sclient=gws-wiz&ved=0ahUKEwiq8\\_Pf96DxAhXv\\_7sIHUXZBFIQ4dUDCA4&uact=5](https://www.google.com/search?q=rijeka+plitvica+karta&rlz=1C1GCEA_enHR896HR896&ei=Q3DMYOrFCu_7UPxbKTKAU&oq=rijeka+plitvica+karta&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEBYQHjoHCAAQRxCwAzoCCABQphBYuhhg7yNoAXACeACAAb8BiAHqB5IBAzAuN5gBAKABAaoBB2d3cy13aXrIAQjAAQE&sclient=gws-wiz&ved=0ahUKEwiq8_Pf96DxAhXv_7sIHUXZBFIQ4dUDCA4&uact=5),  
dostupno 24.08.2021.
- [9] Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske (DHMZ), meteorološki i hidrološki podaci za Varaždin 2021., DHMZ:Zagreb, Hrvatska, 2021.: <https://hidro.dhz.hr/>,  
dostupno 04.09.2021.
- [10] Library WMO: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=219](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=219) ,  
dostupno 11.09.2021.
- [11] Csmgeo:  
[http://csmgeo.csm.jmu.edu/geollab/whitmeyer/IrelandDocuments/Hydrometry\\_Measurement\\_2007.pdf](http://csmgeo.csm.jmu.edu/geollab/whitmeyer/IrelandDocuments/Hydrometry_Measurement_2007.pdf) , dostupno 11.09.2021.

## Popis slika

*Slika 1.1. Shematski prikaz vodotoka [1]*

*Slika 1.2. Prikaz velikog protoka rijeke Plitvice kod Varaždina [3]*

*Slika 1.3. Prikaz malog protoka rijeke Plitvice kod Varaždina [3]*

*Slika 1.4. Primjer obaloutvrde na rijeci Plitvici kod Varaždina [3]*

*Slika 1.5. Prikaz vegetacije u koritu rijeke Plitvice [3]*

*Slika 2.1. Uzdužni profil idealiziranog pada dna korita i prirodnog pada dna korita*

*Slika 2.2. Geodetsko određivanje nagiba dna vodotoka [3]*

*Slika 2.3. Drenažni kanal uz jezero Donja Dubrava kod sela Dubovica*

*Slika 3.1. Rijeka Plitvica od izvora do ušća [8]*

*Slika 3.2. Lokacija hidrometrijskog mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška [8]*

*Slika 3.3. Hidrogram (prikaz srednjih dnevnih protoka) rijeke Plitvice kod Varaždina, na mjernoj postaji Vidovićevo mlin, za 2019. godinu [9]*

*Slika 3.4. Prikaz prvog (02.06.2021.) hidrometrijskog mjerenja na rijeci Plitvici u mjestu Luka Ludbreška u uvjetima relativno neobraslog korita [3]*

*Slika 3.5. Ultrazvučni mjerač protoka Flow Tracker 2*

*Slika 3.6. Pogled u smjeru toka vode rijeke Plitvice na lokaciji hidrometrijskog mjerenja dana 02.06.2021., prvo mjerenje [3]*

*Slika 3.7. Prikaz trećeg hidrometrijskog mjerenja (03.09.2021.) u uvjetima iznimno niskog vodostaja i velike obraslosti korita [3]*

*Slika 4.1. Dobiveni parametri nakon prvog hidrometrijskog mjerenja na dan 02.06.2021.*

*Slika 4.2. Dijagram protoka u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.*

*Slika 4.3. Dijagram brzine u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.*

*Slika 4.4. Dijagram dubine u koritu s prvog mjerenja 02.06.2021.*

*Slika 4.5. Dobiveni parametri nakon drugog hidrometrijskog mjerenja 04.06.2021.*

*Slika 4.6. Dijagram protoka u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.*

*Slika 4.7. Dijagram brzine u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.*

*Slika 4.8. Dijagram dubine u koritu s drugog mjerenja 04.06.2021.*

*Slika 4.9. Dobiveni parametri nakon trećeg hidrometrijskog mjerenja 03.09.2021.*

*Slika 4.10. Dijagram protoka u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.*

*Slika 4.11. Dijagram brzine u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.*

*Slika 4.12. Dijagram dubine u koritu s trećeg mjerenja 03.09.2021.*

*Slika 4.13. Dijagram protoka i hrapavosti s prvog mjerenja 02.06.2021.*

*Slika 4.14. Dijagram protoka i hrapavosti s drugog mjerenja 04.06.2021.*

*Slika 4.15. Dijagram protoka i hrapavosti s trećeg mjerenja 03.09.2021.*

## **Popis tablica**

*Tablica 1. Vrijednosti Manningovog ( $n$ ) i Stricklerovog ( $K_s$ ) koeficijenta hrapavosti i glatkosti za različite materijale obloženosti korita [6]*

*Tablica 2. Rezultati prvog mjerenja od 02.06.2021.*

*Tablica 3. Rezultati drugog mjerenja od 04.06.2021.*

*Tablica 4. Rezultati trećeg mjerenja od 03.09.2021.*