

# Mjerenje protoka otvorenog vodotoka primjenom radarske tehnologije

---

**Baranašić, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:979988>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**MJERENJE PROTOKA OTVORENOG VODOTOKA  
PRIMJENOM RADARSKE TEHNOLOGIJE**

Mentor: Prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Rijeka, lipanj 2023.

Dario Baranašić  
0069087025

Rijeka, 19. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za mehaniku fluida i računarsko inženjerstvo**  
Predmet: **Mehanika fluida**  
Grana: **2.15.04 mehanika fluida**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

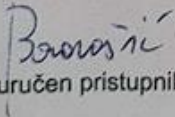
Pristupnik: **Dario Baranašić (0069087025)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Mjerenje protoka otvorenog vodotoka primjenom radarske tehnologije/Open Channel Flow Measurement Using Radar Technology**

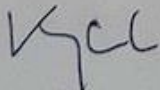
### Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati bezkontaktne tehnologije mjerenja protoka otvorenih vodotoka. Provesti mjerenja protoka na izabranom otvorenom vodotoku upotrebom radara. Radarskim uređajem izmjeriti brzinu vode na površini s različitim motrišnih točaka. Na osnovu izmjerene površinske brzine te uzimajući u obzir profil brzine po dubini postaviti izraz za izračun protoka fluida.

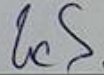
Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

  
Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. dr. sc. Lado Kranjčević

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

#### IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad pod naslovom „*Mjerenje protoka otvorenog vodotoka primjenom radarske tehnologije*“ izradio samostalno, koristeći uređaj *Viatronics SVR-3 Pro* i pomoćnu opremu na lokaciji most Marganoavo, u Rijeci, a sve pripadajuće fotografije su moje vlasništvo. Za izradu završnog rada koristio sam se navedenim izvorima i literaturom uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Lade Kranjčevića te stečenim znanjem tijekom studija i ranijeg školovanja.

Dario Baranašić

*Baranašić*

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	STRUJANJE FLUIDA.....	2
2.1.	Mehanika fluida.....	2
2.2.	Vrste strujanja fluida .....	4
3.	STRUJANJE U KANALU.....	7
3.1.	Strujanje u otvorenom kanalu.....	7
3.1.1.	Strujanje u otvorenim koritima .....	8
3.2.	Profil brzina u otvorenom kanalu .....	8
4.	BESKONTAKTNA TEHNOLOGIJA MJERENJA PROTOKA .....	9
4.1.	Korišteni alat Viatronics SVR-3 Pro .....	11
5.	MJERENJE PROTOKA RIJEKE .....	13
5.1.	Odabrana lokacija mjerenja .....	13
5.2.	Postupak mjerenja.....	16
5.3.	Izračun protoka .....	20
6.	ZAKLJUČAK .....	22
7.	LITERATURA.....	23
8.	PRILOZI.....	25
	SAŽETAK.....	26
	SUMMARY .....	27

# 1. UVOD

Tema ovog završnog rada je mjerenje protoka otvorenog vodotoka primjenom radarske tehnologije. Jedna od osnovnih aktivnosti kojima se bavi znanost o vodi, hidrologija, je mjerenje protoka vode na vodotocima. Mjerenje protoka i vodostaja daje cjelovitu sliku o stanju vode na određenom vodotoku, a to je od iznimne važnosti za poljoprivredu, ekologiju, energetiku, odnosno za gospodarstvo uopće. Protok vode jedna je od najvažnijih vrijednosti koja se treba poznavati o nekom otvorenom protoku. Posebno je važna pri izgradnji hidroelektrana, brana, nasipa, propusta ili drugih građevina na vodi jer prema dimenziji vodotoka određuje se dimenzija same građevine. Prema tim podacima može se izračunati koliko se energije može proizvesti, a isto tako i koliko količinu vode treba zadržavati u slučaju izgradnje brane, odnosno kolika naprezanja brana treba izdržati bez popuštanja vode.

Zadatak u ovom završnom radu je izvršiti mjerenje protoka otvorenog vodotoka koristeći beskontaktnu radarsku tehnologiju. Mjerenje se izvršava radarskim uređajem Viatronics model VT-SVR-PRO3. Princip rada ovog uređaja je mjerenje površinske brzine strujanja fluida, ali nama za izračun nije dovoljna samo površinska brzina fluida nego srednja brzina i površina poprečnog presjeka vodotoka.

U drugom poglavlju je definirana i objašnjena mehanika i strujanje fluida i sve vrste strujanja fluida. Strujanje u kanalima i profil brzina u otvorenom kanalu objašnjeni su u trećem, a princip beskontaktno radarske tehnologije kao i sam uređaj, koji je korišten za mjerenje, u četvrtom poglavlju. Samo mjerenje na terenu, pripadajuće fotografije i izračun, dio su pretposljednog, petog poglavlja.

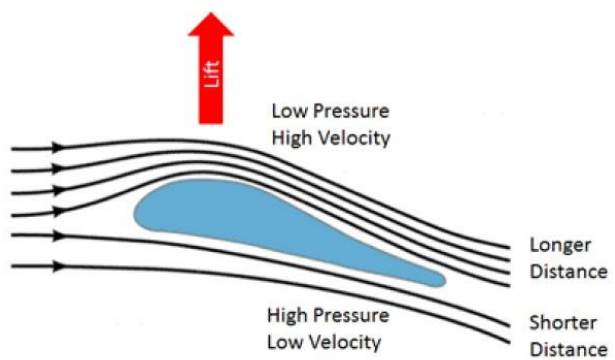
## 2. STRUJANJE FLUIDA

### 2.1. Mehanika fluida

Mehanika fluida ili hidromehanika grana je fizike koja proučava zakone ravnoteže i strujanja fluida [1]. Fluid (lat. *fluidum*: tekućina) je kapljevina ili plin, tekuća ili plinovita kemijska tvar kojoj molekule lako mijenjaju svoj relativan položaj (voda, zrak i drugo) [2]. Mehanika fluida se dijeli na dvije temeljne grane: statika fluida i dinamika fluida. Statika fluida se bavi proučavanjem pojava i sila na fluid koji miruje. Dinamika fluida je grana mehanike fluida koja se bavi zakonima gibanja tekućina i pojavama uzrokovanim uzajamnim djelovanjem struje tekućine i tijela koje graniči s tekućinom u gibanju. [3] Još od davnih vremena čovjek je bio prisiljen ovladati upravljanjem strujanja vode i ostalih fluida. Od kopanja kanala za navodnjavanje polja za poljoprivredu (Slika 2.1) sve do izrade oblika avionskog krila za određen protok fluida koji omogućava silu uzgona te postepeno i sam let (Slika 2.2.).



*Slika 2.1 Kanal za navodnjavanje polja*



*Slika 2.2 Strujanje fluida oko avionskog krila*



## 2.2. Vrste strujanja fluida

Gibanje fluida još zovemo strujanjem ili protjecanjem. Postoji više uzroka strujanje fluida, dva najutjecajnije su sila teža ili razlika tlakova između dva mjesta strujanja. Kod rijeka i potoka je sila teža ono što pokreće fluid. Voda koja padalinama padne na vrh planine zbog sile teže se eventualno spusti sve do mora. Od malih potočića do velikih rijeka sila teža jednako privlači svu vodu. No to ne obuhvaća sva strujanja fluida na Zemlji. Strujanje fluida je svuda oko nas, od slavine za vodu, koju pogoni tlak, sve do aerodinamike bolida Formule 1, koji pokušava proći što većom brzinom kroz fluid (zrak) uz što manji gubitak brzine, zbog čega je važna optimizacija protoka. Postoji više vrsta strujanja fluida, svaki sa svojim karakteristikama.

Dvije osnovne vrste strujanja fluida su laminarno i turbulentno strujanje. Na prijelazu iz jednog u drugo strujanje također se javlja i prijelazno strujanje.

### 2.2.1. Reynoldsov broj

Reynoldsov broj  $R_e$  (po Osborneu Reynoldsu), bezdimenzionalna fizikalna veličina koja služi kao kriterij za predviđanje hoće li u danim okolnostima strujanje fluida biti laminarno ili turbulentno. [4] To jedan od glavnih kontrolnih parametara u svim strujanjima i najosnovniji podatak koju moramo poznavati za točno tumačenje i razumijevanje ponašanja fluida i njegovog strujanja.

Reynoldsov broj se određuje preko izraza (2.1):

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu}, \quad (2.1)$$

gdje je:

$v$  – karakteristična brzina strujanja [m/s],

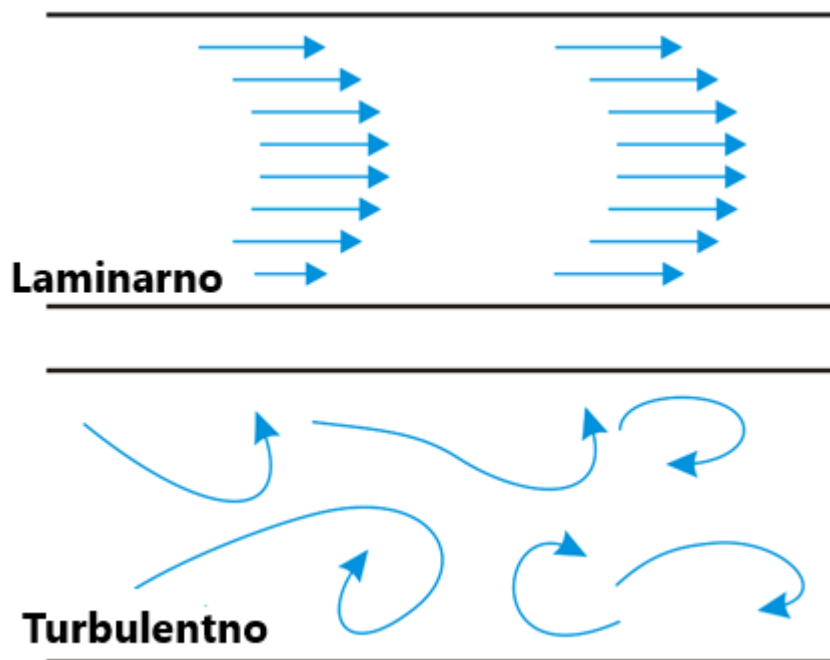
$D$  – promjer cijevi ili druge karakteristične dužine [m],

$\nu$  – kinematički viskozitet [m<sup>2</sup>/s].

Laminarno strujanje se javlja u vrijednostima  $R_e \leq 2300$  dok se za vrijednosti  $R_e > 4000$  strujanje karakterizira kao turbulentno. Vrijednosti između dva navedena intervala se naziva prijelazno strujanje.

### 2.2.2. Laminarno strujanje

*Laminarno strujanje* je mirno, jednolično, usporedno gibanje svih slojeva fluida jednakom brzinom. Održava se pri niskim vrijednostima Reynoldsova broja. [6] Laminarno strujanje nastaje kad je brzina fluida mala i njegova viskoznost dominira nad inercijskim silama. Karakteristično za laminarno strujanje je da su svi slojevi fluida paralelni, bez miješanja između slojeva (slika 2.3). Ovakvo strujanje je povoljno u mehanici fluida jer se gibanje čestica može lako predvidjeti i prikazati matematičkim jednadžbama i modelima. Jednostavan primjer laminarnog strujanja bi bio da napunimo balon vodom i pustimo da voda sama istekne iz njega, rezultirajući mlaz predstavlja laminarno strujanje.



Slika 2.3 Prikaz laminarnog i turbulentnog strujanja

### 2.2.3. Turbulentno strujanje

*Turbulentno strujanje* je nejednoliko gibanje fluida u kojem se slojevi miješaju, a vektori brzina čestica razlikuju se u smjerovima i iznosima. [7] Turbulentno strujanje je kaotično, nepravilno, slojevi fluida se miješaju i vrtlože, sklono učestalim promjenama tlaka i smjera protoka (slika 2.1). Turbulentno strujanje nastupa pri velikim brzinama fluida i prilikom jačanja inercijskih sila u odnosu na viskoznost. U ovakvom strujanju skloni smo velikom gubitku energije zbog promjena smjera vektora brzine, pad tlaka i vrtloženja. Ovakvo strujanje se ne može poput laminarnog predvidjeti i prikazati matematičkim metodama.

### 2.2.4. Prijelazno strujanje

Prijelazno strujanje je mješavina laminarnog i turbulentnog strujanja, s turbulencijama u središtu cijevi i laminarnog strujanja blizu rubova. Svaki od ovih protoka ponaša se na različite načine u smislu gubitka energije tijekom protoka i ima različite jednadžbe koje predviđaju njihovo ponašanje. [8] Primjerice, ako zamislimo mirujući fluid, njegov Reynoldsov broj iznosi 0, zatim taj isti fluid kreće strujati laminarno sve dok inercijske sile ne nadvladaju viskozne do te mjere da se svako malo pojavljuju turbulentni naleti. To znači da je Reynoldsov broj prešao vrijednost od 2300, ako nastavimo daljnjim povećavanjem brzine strujanje će postati sve turbulentnije dok u konačnici  $Re$  prođe 4000 te je strujanje u potpunosti turbulentno. Jedan takav primjer je dim cigarete (slika 2.4).

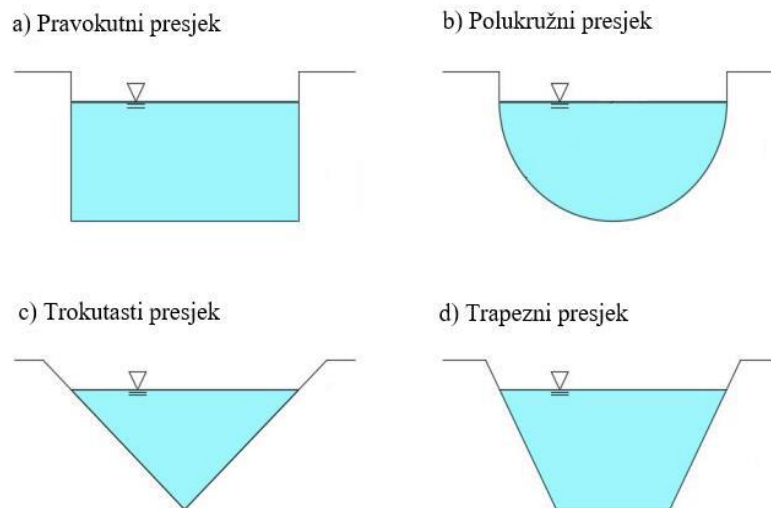


*Slika 2.4 Prijelaz strujanja*

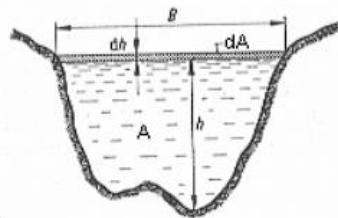
### 3. STRUJANJE U KANALU

#### 3.1. Strujanje u otvorenom kanalu

Još u doba drevnog Egipta, rani hidrotehničari, koji su pokušavali kopati kanale i usmjeriti protok vode iz rijeke Nil u obližnja polja za poljoprivredu, suočavali su se s prvim tipom strujanja vode, strujanje u otvorenom kanalu. Ovaj tip strujanja obuhvaća gibanje vode u prirodnim vodotocima, kanalizacijskim sustavima, kanalima za navodnjavanje i odvodnjavanje. U ovakvom slučaju, voda graniči s okolnom atmosferom s gornje strane, dok sve ostale strane graniče s različitim površinama u kojima se voda nalazi, bilo to prirodno oblikovano riječko korito ili umjetno napravljeni betonski kanal. U praksi razlikujemo četiri osnovna presjeka kanala: pravokutni, polukružni, trokutasti i trapezni oblik (slika 3.1). Površinu poprečnog presjeka možemo izračunati pomoću podataka o širini i dubini korita što se vidi iz definicijske skice (slika 3.2)



Slika 3.1 Presjeci kanala



Slika 3.2 Definićijska skica poprečnog presjeka otvorenog korita

### 3.1.1. Strujanje u otvorenim koritima

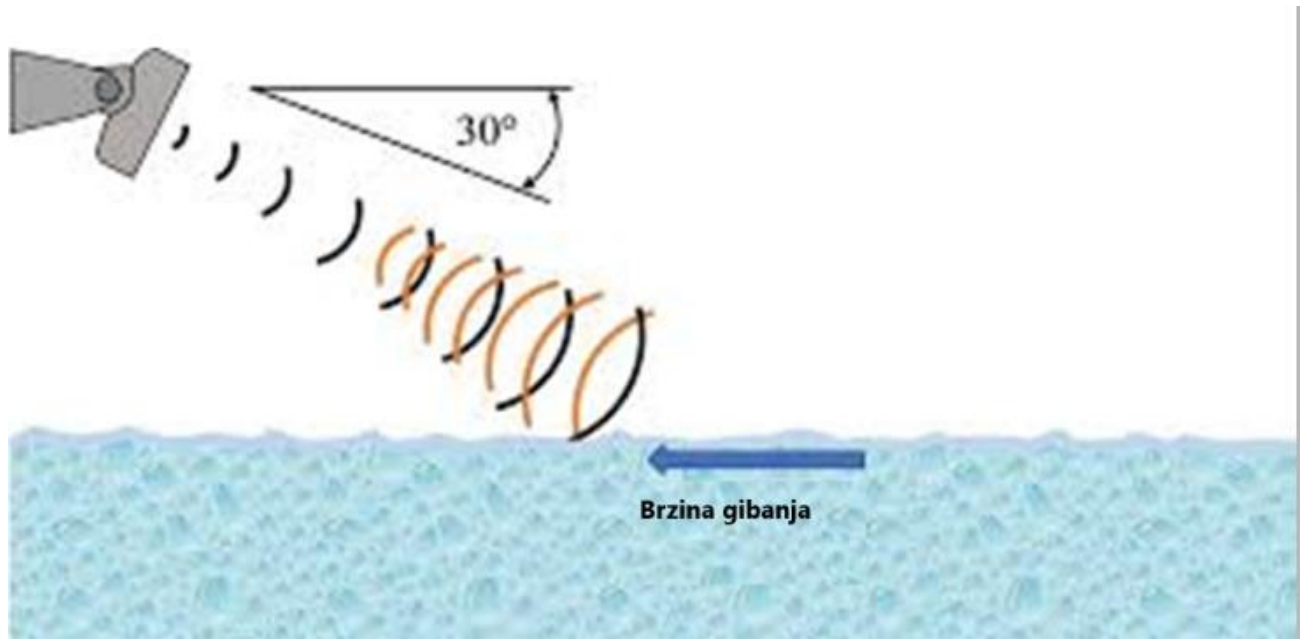
Tečenje u otvorenim koritima je najčešći problem s kojim se susreću hidrotehničari, a obuhvaća tečenje u prirodnim vodotocima (uspori u akumulacijama, pronos nanosa, pronos zagađivala), strujanje u sagrađenim kanalima za navodnjavanje i odvodnjavanje, kanalizacijskim sustavima itd. [9] Karakteristika strujanja u otvorenom koritu je slobodna površina na kojoj vlada atmosferski tlak. U inženjerskoj praksi se tečenje u otvorenim koritima promatra s obzirom na promjenu oblika vodnog lica i promjenu parametara toka (npr. brzine, dubine, ..) u vremenu. [10] Strujanje se s obzirom na oblik vodnog lika može dijeliti na jednoliko i nejednoliko, s obzirom na promjenu vremena razlikujemo stacionarna i nestacionarna. U stacionarnim strujanjima se veličine kojima su ona opisana (brzina, dubina vode, tlakovi, sile i energija) ne mijenjaju tijekom vremena. [11] Jednoliko strujanje opisuje pojam pod kojim duž cijelog svog toka strujanje ima jednake karakteristike. U nestacionarnim strujanjima se vodostaji i protoci mijenjaju tijekom vremena duž korita i u principu su uvijek nejednolika. [12] Nestacionarna strujanja se javljaju uslijed djelovanja vanjskih faktora poput jake bure, bujne kiše ili nekih ljudskih faktora, poput rušenja brane ili remećenje protoka vode zbog rada hidroelektrane.

### 3.2. Profil brzina u otvorenom kanalu

Strujanje vode u otvorenim vodotocima je u većini slučajeva trodimenzionalna, a njena brzina toka se sastoji od tri komponente, no zbog pojednostavljenja problema u praksi se koristi jednodimenzionalna analiza u kojoj se srednja brzina toka usvaja kao brzina po presjeku. Brzina u vodotoku nije jednaka u svim točkama. Gornja površina strujanja u otvorenom kanalu je u dodir s atmosferom, stoga strujanje zraka može utjecati za brzinu strujanja u kanalu. Ako je na primjer jak vjetar koji puše niz riječko korito on može itekako ubrzati vodu na površini i poremetiti naša mjerenja. Zato se za srednju brzinu vodotoka uzima brzina vode u sredini vodotoka blizu njegove površine kao najmjerodavnija vrijednost.

#### **4. BESKONTAKTNA TEHNOLOGIJA MJERENJA PROTOKA**

Radar (akronim od engl. Radio Detection and Ranging: otkrivanje i određivanje udaljenosti radiovalovima), elektronički uređaj za određivanje udaljenosti, azimuta, elevacije i brzine nekog objekta na temelju elektromagnetskih valova emitiranih iz uređaja i reflektiranih od taj objekt. [13] Temeljno načelo rada radara kreće od njegovih komponenti. Radar se sastoji od antene, radioprijamnika i odašiljača te računala za obradu i prikaz podataka. SVR (eng. Surface Velocity Radar) uređaji su posebni radarski mjerni uređaji razvijeni za mjerenje površinske brzine nekog fluida. Uređaj preko radioodašiljača konstantom frekvencijom ispaljuje radio valove prema površini fluida pri čemu se dio tih valova i energija valova vraća nazad prema uređaju koji ga očitava preko radioprijamnika (slika 4.1). Valovi koji se vrata u uređaj imaju drugačiju vrijednost frekvencije od one koja je prvotno ispaljena, taj pomak u frekvenciji proporcionalan je brzini objekta, u ovom slučaju fluida, od kojeg se radio val reflektirao. Računalo ugrađeno u radarski uređaj uspoređuje te dvije frekvencije i na temelju toga nam ispisuje brzinu fluida kojeg pokušavamo izmjeriti. Prednost ovakvog mjerenja u odnosu na druge sustave mjerenja leži u tome što ovaj sustav ne ovisi o svojstvima fluida kojeg promatramo (temperatura, gustoća, viskoznost). Mjerenja se čine beskontaktno, što je praktično u slučajevima kad je u pitanju sigurnost mjeritelja.



*Slika 4.1 Princip rada radarske tehnologije*

#### 4.1. Korišteni alat Viatronics SVR-3 Pro

Za mjerenje protoka otvorenog vodotoka korišten je radarski uređaj Viatronics SVR-3 Pro. To je ručni radar sličan izgledu baterijske bušilice. Uređaj je finskog proizvođača namijenjen za beskontaktno mjerenje površinske brzine rijeka, potoka, kanala itd. Uređaj sadrži LCD zaslon, koji također služi kao svojevrsni *touch screen*, preko kojeg se upravlja uređajem i očitavaju podaci. Uređaj je ovisan o kutnom položaju te je prije mjerenja potrebno odrediti pod kojim kutom se izvršava mjerenje. Uređaj to čini preko ugrađenog nagibnog senzora. Prije početka mjerenja potrebno je samo odrediti nulti kut. Mjerenje se vrši iz stacionarnog položaja, najčešće s mosta iznad vodotoka ili na obali pokraj samog vodotoka. Kad se mjeri mora se obratiti pozornost na više čimbenika koji mogu utjecati na mjerodavnost rezultata. Točnije treba pripaziti je li u vrijeme mjerenja vjetar koji može uzrokovati valove na površini vodotoka te tako smanjiti preciznost mjerenja. Drugi važan čimbenik je kiša. Kapljice kiše mogu uzrokovati odbijanje odaslanih signala prije samog vodotoka što ne osigurava idealne uvjete za mjerenje. Dobro odabrana lokacija te dobri vremenski uvjeti su važan dio pripreme na koji treba pripaziti želimo li dobiti precizne rezultate mjerenja. U nastavku je dana tablica 4.1 koja sadrži tehničke specifikacije uređaja te slika 4.2 koja predstavlja sam uređaj.



Slika 4.2 Slika uređaja



Tablica 4.1 - Tehničke specifikacije Viatronics model VT-SVR-PRO3

<b>Karakteristike mjerenja</b>	
Najveća i najmanja brzina	0,1 - 80 m/s
Točnost mjerenja	±0,3 %
<b>Mehaničke karakteristike</b>	
Težina	1,5 kg
Dimenzije (d/v/š)	(19/26,4/8,6) cm
Materijal kućišta	aluminij i kompoziti
<b>Općenite karakteristike</b>	
Korekcija vodoravnog kosinusnog kuta	0-60 °
Zona osjetljivosti	0-8
Udaljenost	<100 m
<b>Parametri antene</b>	
Tip / nazivna frekvencija prijenosa	Ka-band/ 34,7 GHz
Polarizacija / širina zrake	kružna/ 12 ± 1 °
Nominalna izlazna snaga zrake	15 mW
<b>Parametri ekrana na dodir</b>	
Veličina / tip	2.4in / IPS LCD
Razlučivost / boja	320*240 / 65000
Osvjetljenje / kontrast	800 cd/m <sup>2</sup> / 1000:1
Kut gledanja / pozadinsko osvjetljenje	160°/ bijela led svijetla
<b>Uvjeti</b>	
Radna temperatura	-30°C- + 70°C
Najveća vlažnost	90% relativne vlažnosti na 37°C
Vodootpornost	IP64
<b>Snaga</b>	
Potrebna voltaža	7,2VDC - 20VDC
Snaga	Li-ion baterija 18V/1,3Ah
<b>Potrošnja</b>	
Pripravnost / antena uključena	0,2A / 0,45A

## 5. MJERENJE PROTOKA RIJEKE

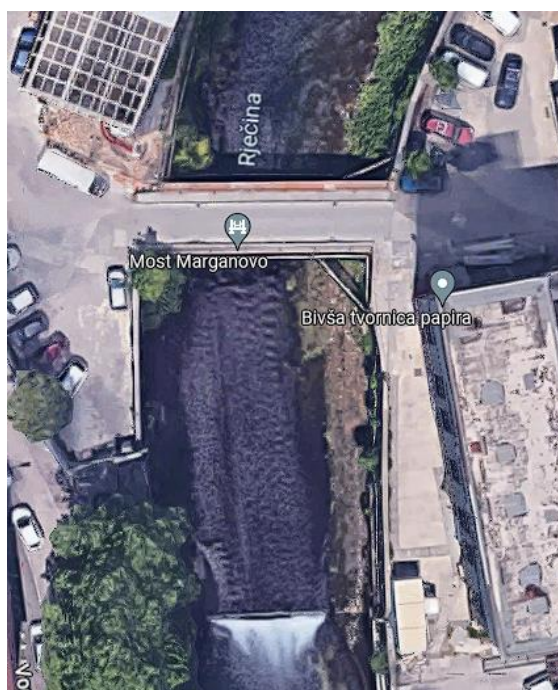
### 5.1. Odabrana lokacija mjerenja

Prije početka mjerenja potrebno je odabrati mjernu lokaciju. Lokacija treba biti lako dostupna i pogodna za mjerenje, trebala bi se nalaziti iznad otvorenog vodotoka poput mosta koji je pogodan da bi se mjerenja izvršila na njemu. Prije mjerenja potrebno je poznavati dubinu i širinu odabranog vodotoka kako bi se mogla izračunati površina poprečnog presjeka na dijelu vodotoka na kojem se vrši mjerenje podataka. Izmjeriti širinu bilo je jednostavno, no trebalo je osmisliti pouzdan način kako bi se mogla izmjeriti dubina rijeke. Također je trebalo ispitati kakvog je sastava dno rijeke koja se promatra. Na mostu je trebalo odabrati više motrenih točaka s kojih se vrši mjerenje dubine i brzine. Važno je i vrijeme kada se vrši mjerenje, potrebno je izbjeći mjerenje po neadekvatnim vremenskim uvjetima poput vjetera i kiše.

Odabrana lokacija je mjerna postaja pokraj bivše tvornice papira u Rijeci na Rječini (slika 5.1). Iznad rijeke se proteže most Marganovo koji je optimalno mjesto za mjerenje (slika 5.2).



*Slika 5.1 Bivša tvornica papira Rijeka*



*Slika 5.2 Most Marganovo*

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda možemo saznati, putem njihove web stranice sektora za hidrologiju, dodatne informacije o mjernoj postaji. U zadnjih trideset godina (završno s 2021. godinom) provodila su se mjerenja o vodostaju i protoku postaje. Objavljeni podaci prikazuju ekstreme vodostaja i protoka u razdobljima od 1998. do 2021. godine.

Mjerenja postaje	
Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1998. - 2002. Kota nule: 0,564 m n/m Minimum: 17. 5. 1998. 11 cm Maksimum: 19. 10. 1998. 313 cm
	<b>Razdoblje:</b> 2003. - 2021. Kota nule: 0,824 m n/m Minimum: 30. 7. 2003. 1 cm Maksimum: 25. 12. 2009. 384 cm
	<b>Godine mjerenja:</b> 1998-2021
PROTOK	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1999. - 2021. Minimum: 21. 7. 2020. 0,147 m <sup>3</sup> /s Maksimum: 21. 11. 2016. 215,6 m <sup>3</sup> /s
	<b>Godine mjerenja:</b> 1999-2002 2010-2021
VODOMJERENJA	<b>Broj mjerenja:</b> 106
PROFILI	<b>Broj mjerenja:</b> 4

Slika 5.3 Slika tablice podataka mjerenja postaje

Iz slike 5.3 možemo vidjeti da se vodostaj rijeke nalazio na svom minimumu sredinom srpnja, što zapravo ima smisla s time da je sredina ljeta, najtoplije i najsušnije vrijeme, možemo pretpostaviti da se sličan podatak pojavljivao iz godine u godinu. Isto to vrijedi i za njegov maksimum, zabilježen krajem prosinca, usred razdoblja koje karakterizira najviše padalina na riječkom području. Protok prati sličan trend kao i vodostaj. Tijekom ljeta, kada je najmanje padalina, protok je najmanji, a na prijelazu iz jesenskog u zimsko razdoblje, kada je najviše padalina, protok je najveći. Kada bi usporedili podatke o padalinama i podatke o vodostaju i protoku vidjeli bi da su podaci proporcionalni.

## 5.2. Postupak mjerenja

Dolaskom na most Marganovo prvo smo pripremili svu potrebnu opremu za obavljanje mjerenja, a to uključuje: radarski uređaj Viatronics SVR-3 Pro, špage u više dijelova, traka za lijepljenje, mjerna traka, metar za mjerenje i visak (slika 5.4).. Visak smo napravili tako što smo uzeli 4 komada olova te ga trakom za lijepljenje zalijepili.



*Slika 5.4 Oprema za mjerenje*

Mjerenja su se izvršila s tri lokacije na mostu na otprilike jednakim udaljenostima. Na svakoj lokaciji je izmjerena dubina i površinska brzina vode (slika 5.5).



*Slika 5.5 Most Marganovo i mjerne točke*

Cilj je dobiti prosječnu dubinu. Izraz za aritmetičke vrijednosti(5.1):

$$\mathcal{X} = \frac{\Sigma \bar{x}}{n} \quad (5.1)$$

Gdje je: n broj mjerenja

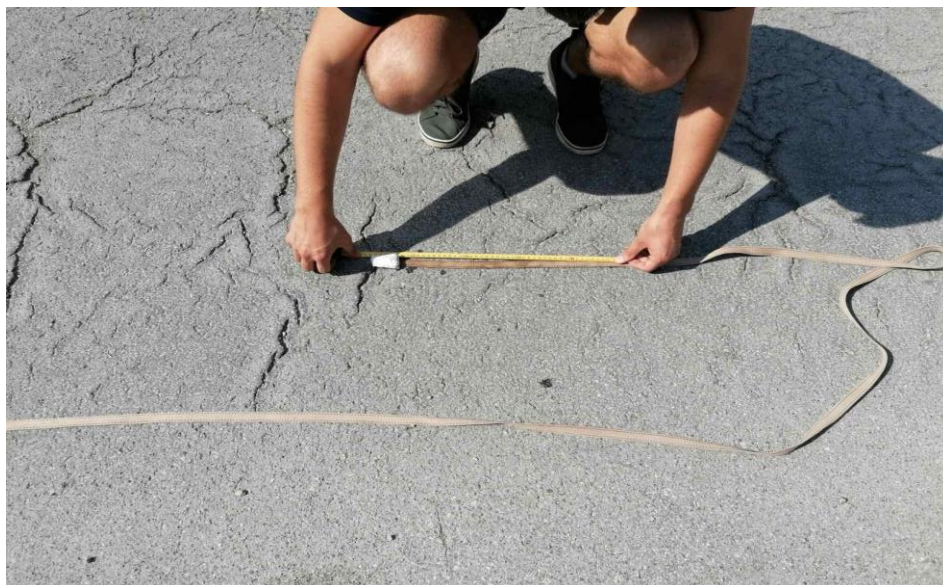
$\bar{x}$  tražena vrijednost

Prema tome izrazu zaključak je da veći broj mjerenja osigurava tačniji rezultat, osim u slučajevima gdje dolazi do grube greške, ali u praksi se taj broj uoči i ne prihvaća se nego se obavlja ponovno mjerenje.

Zatim smo špagu zavezali jednu o drugu kako bi ih produžili da možemo doći do dna korita rijeke. Spojeni visak i špagu smo uronili u vodu, spustili do dna korita te izvadili i izmjerili mokri dio špage pripadajućim metrom (slika 5.6). Taj podatak uzimamo kao dubinu na mjernoj točki. Također smo uz mjernu traku izmjerili i širinu vodotoka.

*Tablica 5.1 tablica izmjerenih dubina*

Pozicija	Izmjerena dubina
1.	0,4 m
2.	0,62 m
3.	0,47 m



*Slika 5.6 Mjerenje mokrog dijela špage*

Za kraj je ostalo izmjeriti površinsku brzinu vode. Pri ovom mjerenju pripazili smo na kut držanja uređaja. Prislonili smo ga na ogradu mosta i držali pod određenim (na uređaju definiranim) kutom (slika 5.7).

*Tablica 5.2 tablica izmjerenih brzina*

Pozicija	Izmjerena brzina
1.	0,8 m/s
2.	0,7 m/s
3.	0,5 m/s



*Slika 5.7 Mjerenje površinske brzine vode*



### 5.3. Izračun protoka

Kada smo prikupili sve potrebne podatke za izračun protoka vode, možemo krenuti u sam izračun. Formula za računanje protoka vode glasi(5.2) :

$$Q = A * v \quad (5.2)$$

Gdje je:  $A$  površina poprečnog presjeka [ $m^2$ ]

$v$  brzina strujanja fluida [ $m/s$ ]

Površinu poprečnog presjeka možemo izračunati. Izračunamo aritmetičku sredinu dubine te tu vrijednost pomnožimo sa širinom vodotoka. Dobivenu vrijednost prihvaćamo kao površinu poprečnog presjeka vodotoka. Aritmetička sredina svih dubina iznosi 0,496 metara, a izmjerena širina vodotoka 9,12 metara. Prema tome, površina poprečnog presjeka iznosi  $A = 4,52 m^2$ .

Kada je poznata vrijednost površine poprečnog presjeka, potrebno je odrediti srednju brzinu strujanja rijeke kako bi se izračunao i njezin protok. Rezultati dobiveni mjerenjem brzine radarskim uređajem, odgovaraju brzini rijeke na njezinoj površini, no ona se razlikuje od vrijednosti srednje brzine koja je potrebna za računanje protoka. S obzirom da je u ovom slučaju površinska brzina strujanja rijeke poznata, kao i sastav dna kanala, moguće je srednju brzinu strujanja aproksimirati pomoću koeficijenta hrapavosti  $P$ . Vrijednosti koeficijenta hrapavosti za riječna dna obložena šljunkom iznosi  $P = 0,6$ . Prema tome, srednju brzinu strujanja rijeke  $v$  računamo prema izrazu(5.3):

$$v = v_p * P \quad (5.3)$$

Gdje je :  $v_p$  prosječna površinska brzina strujanja [ $m/s$ ]

Prosječnu površinsku brzinu strujanja računamo prema izrazu za aritmetičku sredinu(5.1) koristeći izmjerene vrijednosti površinskih brzina. Ona iznosi  $v_p = 0,66 m/s$ . Prema tome, srednja brzina strujanja rijeke ima vrijednost  $v = 0,396 m/s$ . Uz sve poznate podatke, sada je moguće izračunati protok otvorenog vodotoka pomoću formule za računanje protoka vode. Prema svim prikupljenim podacima za ovaj otvoreni vodotok, protok vode iznosi  $Q = 1,789 m^3/s$ . Za usporedbu, moramo

spomenuti i ranije odrađeno mjerenje na istoj lokaciji. Mjerenje obavljeno u veljači 2023. godine je imalo protok  $Q = 3,55 \text{ m}^3/\text{s}$ . Možemo primijetiti kako je protok bio dvostruko veći u zimskom razdoblju godine, što ima smisla s obzirom da je u to doba puno više padalina.

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je opisati beskontaktnu tehnologiju mjerenja protoka otvorenog vodotoka, provesti mjerenje protoka upotrebom radara, radarskim uređajem Viatronics SVR-3 Pro, izmjeriti brzinu vode te na osnovu izmjerene površinske brzine i površinskog presjeka vodotoka, postaviti i izračunati protok vode. Obavljena mjerenja otvorenog vodotoka, prošla su bez poteškoća te možemo reći da smo zadovoljni slijedom događaja i finalnim rezultatom. Možemo zaključiti da je korišteni radarski uređaj vrlo praktičan zbog njegove beskontaktnosti mjerenja.

Treba uzeti u obzir da se dobivena vrijednost izračunatog protoka otvorenog vodotoka ne podudara u potpunosti s onom stvarnom. Aproksimacija srednje brzine fluida pomoću koeficijenta hrapavosti i izmjerene površinske brzine strujanja vode rezultira relativnom greškom prilikom računanja protoka. Ako možemo vjerovati pouzdanosti uređaja, dobiveni rezultati se mogu prihvatiti i oni daju sliku stanja vode na nekom otvorenom vodotoku.

Za pouzdanije podatke o prosječnom protoku vode, mjerenja treba ponoviti više puta u dužem razdoblju jer na njegovu vrijednost utječu razni faktori, poput količina oborina, razina vodostaja i brzina strujanja vode. Takvi se podaci uvijek mogu preuzeti iz državnog hidrometeorološkog zavoda, koji ima mjerne stanice specijalizirane za obavljanje mjerenja ovakvih vrsta.

## 7. LITERATURA

- [1] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, [https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika\\_fluida](https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika_fluida), pristupljeno 31.5.2023.
- [2] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, [https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika\\_fluida](https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika_fluida). pristupljeno 31.5.2023.
- [3] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, [https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika\\_fluida](https://enciklopedija.cc/index.php?title=Mehanika_fluida). pristupljeno 31.5.2023.
- [4] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=70861>. pristupljeno 31.5.2023.
- [5] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=70861>. pristupljeno 31.5.2023.
- [6] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58473>. pristupljeno 31.5.2023.
- [7] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58473>. pristupljeno 31.5.2023.
- [8] "The Engineering Toolbox", s interneta, [https://www.engineeringtoolbox.com/laminar-transitional-turbulent-flow-d\\_577.html](https://www.engineeringtoolbox.com/laminar-transitional-turbulent-flow-d_577.html). pristupljeno 31.5.2023.
- [9] [Mrežno]. Available:  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h02-tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h02-tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf). pristupljeno 1.6.2023.

- [10] "Sveučilište u Zagrebu Građevinski Fakultet", s interneta,  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h02-tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h02-tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf). pristupljeno 1.6.2023..
- [11] "Sveučilište u Zagrebu Građevinski Fakultet", s interneta,  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h02-tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h02-tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf). pristupljeno 1.6.2023..
- [12] "Sveučilište u Zagrebu Građevinski Fakultet", s interneta,  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h02-tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h02-tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf). pristupljeno 1.6.2023..
- [13] "Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža 2021.", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51409>. pristupljeno 1.6.2023.

## 8. PRILOZI

Slika 2.1 Kanal za navodnjavanje polja

<http://www.aurora-invest.hr/ponuda/fattori/kanali-za-natapanje-betonske-kanalete>, 31.5.2023.

Slika 2.2 Strujanje fluida oko avionskog krila

<https://engre.co/blogs/articles/from-ailerons-to-flaps-the-main-stages-of-design-of-an-aircraft-wing/>, 31.5.2023.

Slika 2.3 Prikaz laminarnog i turbulentnog strujanja

<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=laminarno+strujanje>, E. Generalic, 31.5.2023.

Slika 2.4 Prijelaz strujanja

<https://studentski.hr/vijesti/hrvatska/euro-utjecao-i-na-cijenu-cigareta-neke-su-poskupjele-a-ovo-je-novi-cjenik>, 31.5.2023.

Slika 3.2 Definijska skica poprečnog presjeka otvorenog korita

[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/PREDAVANJA\\_1/PREDAVANJA/h02-tecenje\\_u\\_otvorenim\\_koritima.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/PREDAVANJA_1/PREDAVANJA/h02-tecenje_u_otvorenim_koritima.pdf) 31.5.2023.

Slika 4.1 Princip rada radarske tehnologije

[https://www.fondriest.com/pdf/ott\\_svr\\_100\\_wp.pdf](https://www.fondriest.com/pdf/ott_svr_100_wp.pdf), 1.6.2023.

Slika 4.2 Slika uređaja

<https://www.viatronics.fi>, 1.6.2023.

Tablica 4.1 Tehničke specifikacije Viatronics model VT-SVR-PRO3

<https://www.viatronics.fi/uploads/Brochures/Viatronics-SVR-3-Pro-ENG.pdf>, 1.6.2023.

Slika 5.1 Bivša tvornica papira Rijeka

<https://hidro.dhz.hr/hidroweb/slike/6144.jpg>, 1.6.2023.

Slika 5.2 Most Marganovo

<https://www.google.com/maps>, 14.6.2023.

Slika 5.3 Slika tablice podataka mjerenja postaje

<https://hidro.dhz.hr/>, 14.6.2023.

## SAŽETAK

Cilj završnog rada bio je izmjeriti protok otvorenog vodotoka uz pomoć radara. Izlaskom na teren, radarskim uređajem su provedena mjerenja površinske brzine strujanja fluida. Površina poprečnog presjeka vode izračunata je umnoškom širine vodotoka i prosječnom dubinom vodotoka, vrijednosti koje smo sami izmjerili. Poznavanjem površinske brzine vode odredili smo srednju brzinu te umnoškom s površinom poprečnog presjeka, izračunali smo i volumni protok samog vodotoka.

Ključne riječi: vodotok, radarski uređaj, protok, površinska brzina, poprečni presjek.

## **SUMMARY**

The purpose of this final work was to measure the flow of an open watercourse using a surface velocity radar (SVR). By going out into the field, measurements of the surface velocity of the fluid flow were carried out with the radar device. The cross-section was calculated by multiplying the watercourse width and the average watercourse depth, which was measured by ourselves. By knowing the value of the surface velocity of the fluid we determined the mean velocity, and by multiplying it with the cross-sectional area, we calculated the volume flow of the watercourse itself.

Key words: watercourse, radar, flow, surface velocity, cross section.