Mjerenje protoka hidrometrijskim krilom i analiza razdiobe brzina tečenja u koritu vodotoka

Herceg, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:983941

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

MJERENJE PROTOKA HIDROMETRIJSKIM KRILOM I ANALIZA RAZDIOBE BRZINA TEČENJA U KORITU VODOTOKA

Diplomski rad

Hrvoje Herceg

GI 306

Zagreb, 2018.

Zahvaljujem mojoj mentorici prof. dr. sc. Jeleni Parlov na predloženoj temi i korisnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Veliko hvala mojoj obitelji na pomoći i podršci tijekom cijelokupnog studiranja.

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

MJERENJE PROTOKA HIDROMETRIJSKIM KRILOM I ANALIZA RAZDIOBE BRZINA TEČENJA U KORITU VODOTOKA HRVOJE HERCEG

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Brzina toka vode u protjecajnim profilima vodotoka može se mjeriti hidrometrijskim krilom kojim se određuje brzina vodotoka s obzirom na broj okretaja propelera u jedinici vremena koji je uronjen u vodu. Na temelju izmjerene brzine vodotoka u više točaka protjecajnog profila, izračunava se ukupni protok. Hrvatski zavod za norme izdao je tri normativna dokumenta iz područja hidrologije u skladu s međunarodnom organizacijom za norme (ISO). Tim dokumentima su opisani dijelovi instrumenta, metode mjerenja brzina, načini kalibriranja, uvjeti korištenja instrumenta i način prikazivanja i obrade podataka. Propisanim metodama izmjerene su brzine a zatim grafičkim i aritmetičkim metodama određen protok, te analiza prostorne razdiobe brzina tečenja potoka Lomnica u naselju Lukavec na dva hidrološka profila.

Ključne riječi: protok, raspodjela brzina, hidrometrijsko krilo
Diplomski rad sadrži: 46 stranica, 30 slika, 20 tablica i 8 referenci
Jezik izvornika: Hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica rudarsko-geološko-naftnog fakultetta, Pierottijeva 6, Zagreb
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov, RGNF
Povjerenstvo: Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov, RGNF
Doc. dr. sc. Krešimir Pavlić, RGNF
Prof. dr. sc. Kristijan Posavec, RGNF

Datum obrane : 19. listopad 2018., Rudarsko-geološko-naftni fakultet

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master´s Thesis

DISCHARGE MEASUEREMENT USING CURRENT-METER AND ANALAYSIS OF VELOCITY DISTRIBUTION IN THE WATER CHANNEL

HRVOJE HERCEG

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Commonly used instrument in order to determine the velocity of fluid is current-meter witch is immersed in water and the number of revolutions of the rotor measured with current-meter during a specified time interval is used for computation of discharge. Water flow velocity measuered in multiple location in cross-sectional area are used for discharge computation. Croatian Standards Institute issued three normative documents in accordance with the Internation Organization for Standardization (ISO). These documents specifies the operational requirements, construction, calibration, and maintenance of rotating-element devices for the measurment of flow velocities and methods for determining the velocity. Using prescriptive methods water flow velocities are determined, and then for computation of discharge are used arithmetical and graphical methods. Analysis of spatial water flow velocity distribution in two hydrological cross-section areas has been made on Lomnica stream in Lukavec.

Keywords: discharge, velocity distribution, current-meter

Thesis contains: 46 pages, 30 figures, 20 tables and 8 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor, Jelena Parlov, PhD

Reviewers: Associate Professor, Jelena Parlov, PhD
Assistant Professor, Krešimir Pavlić, PhD
Full Professor, Kristijan Posavec, PhD

Date of defense: 19th of October, 2018, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Mjerenje protoka hidrometrijskim krilom 2

2.1. Hidrometrijski profili i uvjeti odabira lokacije 2

2.2. Instrumentarij 3

2.3. Postupak mjerenja 7

3. Obrada podataka mjerenja 11

3.1. Grafoanalitička metoda obrada podataka 11

3.2. Aritmetička metoda obrade podataka 13

4. Rezultati 15

4.1. Odabir lokacije mjerenja 15

4.2. Podaci mjerenja brzina 17

4.4. Proračun protoka pomoću grafoanalitičkih metoda 34

4.5. Proračun protoka pomoću aritmetičke metode 39

4.6. Sumarni prikaz rezultata 42

7. Zaključak 44

8. Literatura 46

Popis slika

Slika 2-1. Model hidrometrijskog krila s vijencem čašica 4
Slika 2-2. Model hidrometrijskog krila s propelerom 4
Slika 2-3. Različiti oblici propelera 5
Slika 2-4. Kutija s hidrometrijskim krilom u dijelovima 6
Slika 2-5. Elektronski brojač okretaja propelera 4
Slika 2-6. Mjerenje dubine profila i definiranje točaka mjerenja brzine 7
Slika 2-7. Položaj hidrometrijskog krila na okomici 9
Slika 2-8. Mjerenje brzine 10
Slika 2-9. Mjerenje dubine profila.....9
Slika 2-10. Položaj hidrometrijskog krila na okomici.....10
Slika 2-11. Mjerenje brzine 11
Slika 3-1. Dijagram metode prosječnog presjeka.....13
Slika 3-2. Dijagram metode srednjeg presjeka.....14
Slika 4-1. Lokacija mjerenja.....15
Slika 4-2. Hidrometrijski profil 1-1´ 16
Slika 4-3. Hidrometrijski profil 2-2´ 16
Slika 4-4. Mjerne točke hidrometrijskih profila 1-1' i 2-2'.....17
Slika 4-5. Krivulje brzina profila 1-1´.....27
Slika 4-6. Krivulje brzina profila 2-2´.....28
Slika 4-7. Postavljanje ulaznih podataka 27
Slika 4-8. Odabir željene metode interpolacije 27
Slika 4-9. Podešavanje geometrije profila 28
Slika 4-10. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom kriging 29
Slika 4-11. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom inverzne udaljenosti.....29
Slika 4-12. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom radijalnih baznih funkcija.....30
Slika 4-13. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom lokalnih polinoma.....30
Slika 4-14. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom kriging 32
Slika 4-15. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom inverzne udaljenosti.....32
Slika 4-16. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom radijalnih baznih funkcija.....33
Slika 4-17. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom lokalnih polinoma.....33

Popis tablica

Tablica 2-1. Broj okomica obzirom na širinu kanala 7
Tablica 4-1. Podaci mjerenja s profila 1-1´ 18
Tablica 4-2. Podaci mjerenja s profila 2-2´ 19
Tablica 4-3. Brzine toka na lokaciji 0,2 od ukupne dubine za profil 1-1´ 20
Tablica 4-4. Brzine toka na lokaciji 0,6 od ukupne dubine za profil 1-1´ 21
Tablica 4-5. Brzine toka na lokaciji 0,8 od ukupne dubine za profil 1-1´ 22
Tablica 4-6. Brzine toka na lokaciji 0,2 od ukupne dubine za profil 2-2´ 23
Tablica 4-7. Brzine toka na lokaciji 0,6 od ukupne dubine za profil 2-2´ 24
Tablica 4-8. Brzine toka na lokaciji 0,8 od ukupne dubine za profil 2-2´ 25
Tabica 4-9. Proračun protoka – kriging za profil 1-1´ 34
Tablica 4-10. Proračun protoka – metoda inverznih udaljenosti za profil 1-1´ 35
Tablica 4-11. Proračun protoka – metoda radijalnih baznih funkcija za profil 1-1´ 35
Tablica 4-12. Proračun protoka – interpolacija lokalnih polinoma za profil 1-1´ 36
Tabica 4-13. Proračun protoka – kriging za profil 2-2´ 37
Tablica 4-14. Proračun protoka – metoda inverznih udaljenosti za profil 2-2´ 38
Tablica 4-15. Proračun protoka – metoda radijalnih baznih funkcija za profil 2-2´ 38
Tablica 4-16. Proračun protoka – interpolacija lokalnih polinoma za profil 2-2´ 39
Tablica 4-17. Proračun protoka metodom srednjeg presjeka za profil 1-1´ 40
Tablica 4-18. Proračun protoka metodom srednjeg presjeka za profil 2-2´ 41
Tablica 4-19. Prikaz rezultata svih metoda proračuna protoka za profil 1-1´i profil 2-2´ 41

1. Uvod

Protok predstavlja količinu vode koja protječe poprečnim presjekom vodotoka u jedinici vremena, a izražava se u m^3/s ili l/s. Iznimno promjenjiva hidrološka veličina koja se kontinuirano mijenja u vremenu, a služi kao osnovna i najznačajnija informacija za većinu hidroloških zadataka. Metode mjerenja protoka površinskih vodotoka razlikuju se prvenstveno s obzirom na veličinu protoka. Mjerenje površinskog otjecanja vode dijeli se na četiri vrste, izravno mjerenje protoka volumenskom metodom (posude različitih oblika i različitih volumena), određivanje protoka na temelju mjerenja brzine tečenja vode, mjerenje protoka različitim uređajima i preljevnim građevinama te mjerenje protoka uvođenjem pojedinih kemijskih, kolorimetričkih ili radioaktivnih elemenata u vodotok (kuhinjska sol, radioaktivni obilježivači). Metode mjerenja brzina vode u vodotoku dijele se na mjerenje površinskih brzina i mjerenje brzina u okomicama protjecajnog profila. Protjecajni profili predstavljaju poprečne profile pomoću kojih se uz protok dobivaju podaci vodostaja, otjecanja vode, temperature i drugih fizičkih svojstava vode. Na postavljenim hidrološkim profilima protok se određuje mjerenjem brzine toka vode i površine poprečnog presjeka vodotoka, odnosno vrijednost protoka jednaka je umnošku površine profila i brzine toka. Mjerenje brzina u okomicama prethodno postavljenih protjecajnih profila izvodi se pomoću hidrometrijskog krila. Hidrometrijsko krilo je instrument kojim se na temelju broja okretaja propelera uronjenog u vodu određuje brzina toka, a mjerenje se temelji na pretpostavci da između brzine okretaja propelera i brzine vode postoji funkcionalna zakonitost. Razdioba brzina u protjecajnom profilu vodotoka nije jednaka, a uzrok tome je otpor koji nastaje kao posljedica trenja između vode i tla te vode i zraka. Maksimalna brzina protjecanja je u matici rijeke ili potoka, dok su najmanje brzine uz rubne dijelove, stoga brzinu toka nije dovoljno odrediti u jednoj točci profila, nego ju je potrebno mjeriti na nizu točaka na pravilno raspoređenim okomicama. Broj okomica hidrometrijskog profila određuje se na temelju analize profila, a njihov broj prvenstveno ovisi o obliku i veličini profila. Za svaku pojedinu okomicu se izračunava protok na temelju izmjerenih brzina i površine okomice, te se zbrajanjem specifičnog protoka svake pojedine okomice dobiva ukupni protok u protjecajnom profilu. Zadatak rada je utvrditi optimalnu metodu mjerenja brzina s obzirom na različite lokacije mjerenja i konfiguracije vodotoka, odnosno testirati

interpolacijske metode za izradu karata izotaha potrebne za izračun ukupnog protoka kroz postavljene protjecajne profile (Žugaj, 2015).

2. Mjerenje protoka hidrometrijskim krilom

Hrvatski zavod za norme (Croatian Standards Institute) izdao je tri normativna dokumenta iz područja mjerenja protoka hidrometrijskim krilom u skladu s međunarodnom organizacijom za norme (ISO). Hrvatski zavod za norme je javna ustanova kao nacionalno normirno tijelo Republike Hrvatske koje za glavne ciljeve ima povećanja razine sigurnosti proizvoda i procesa, te poboljšanje kvalatitete proizvoda i usluga. Norma predstavlja dokument donesen sporazumom koji za opću i višekratnu uporabu daje pravila, upute za određenu djelatnost, te se temelji na provjerenim znanstvenim i tehničkim rezultatima. Normativni dokumenti vezani za hidrometriju korišteni u ovom radu su ISO 2537, ISO 748 i ISO 1088, kojima su opisani instrumenti, uvjeti korištenja instrumenata, metode mjerenja, kalibracija podataka i način prikazivanja prikupljenih podataka. Navedeni normativni dokumenti korišteni su kao teoretska podloga za provedena terenska mjerenja i analizu dobivenih podataka.

2.1. Hidrometrijski profili i uvjeti odabira lokacije

Normativnim dokumentom propisani su uvjeti koje lokacija odabrana za provedbu hidrometrijskih mjerenja mora u što većoj mjeri ispunjavati. Uvjeti koje lokacija mora ispunjavati su:

a) kanal na lokaciji mjerenja mora biti bez nagiba kako bi se minimalizirala abnormalna distribucija brzine,

b) smjer toka u svim točkama mjerenja duž profila mora biti paralelan i pod pravim kutem u odnosnu na postavljeni profil,

c) korito i obala kanala moraju biti stabilni u svim dijelovima profila,

d) krajnje točke postavljenog profila moraju biti jasno vidljive i očišćene od vegetacije koja može uzrokovati poteškoće tijekom mjerenja,

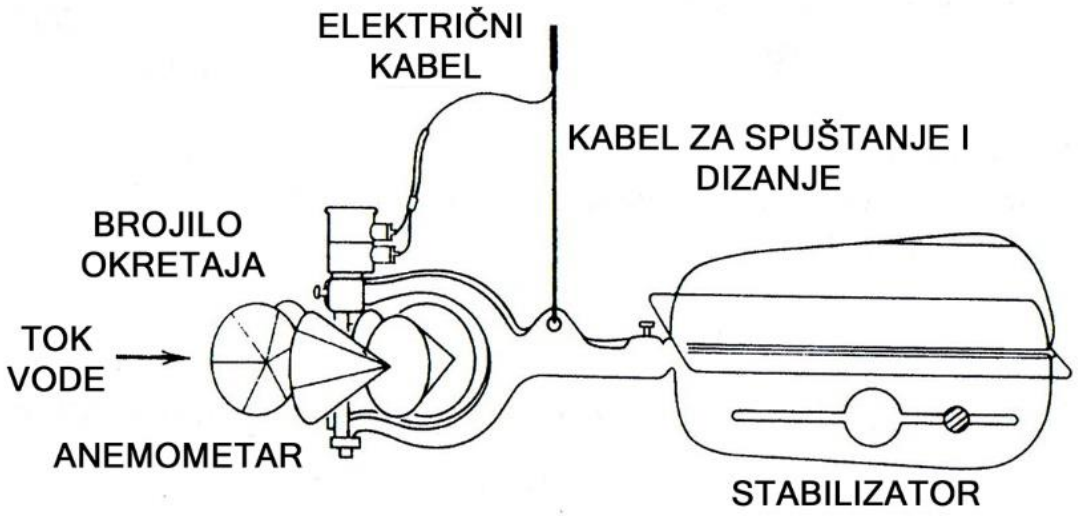
e) razina vodostaja vodoka mora biti dovoljno visoka kako bi se hidrometrijsko krilo u potpunosti uronilo,

f) lokacija mjerenja ne smije se nalaziti u blizini crpnih zdenaca, dovoda i odvoda vode u kanal u vremenu njihovog rada kako bi se izbijeglo stvaranje nestabilnih uvjeta toka,

g) lokacije na kojima postoji konvergentni ili divegentni tok trebaju se izbjegavati.

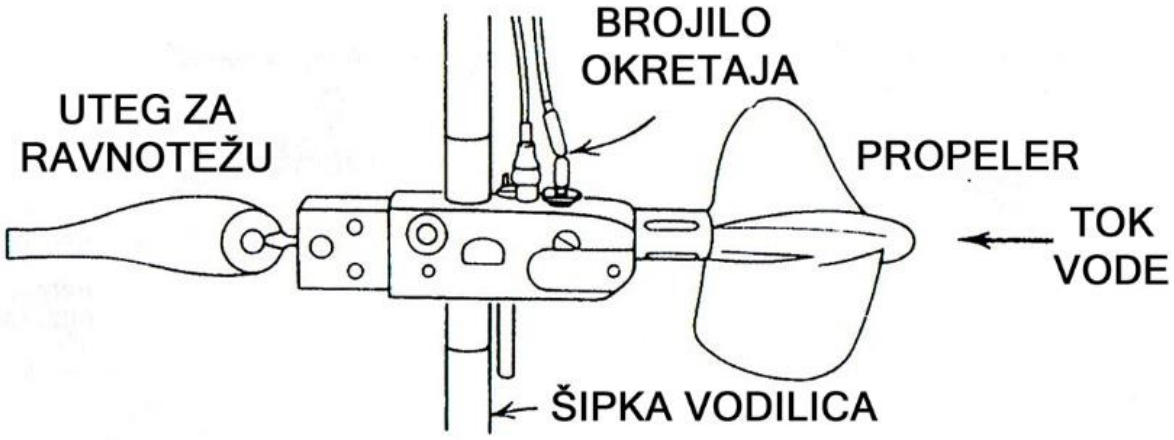
2.2. Instrumentarij

Rotirajući elementi, odnosno propeler hidrometrijskog krila pokreće fluid kutnom ili rotirajućom brzinom koja je proporcionalna lokalnoj brzini fluida, a do pokretanja dolazi kada brzina premaši kritičnu vrijednost (Bačani, 2006). Kako bi se odredila brzina toka, hidrometrijsko krilo se uranja u određenu točku vodotoka i na temelju broja okretaja propelera u jedinici vremena određuje se brzina toka ili na temelju vremena potrebnog propeleru da izvrši određen broj okretaja. Na temelju izmjerenog broja okretaja propelera u jedinici vremena, brzina toka očitava se iz kalibracijskih tablica ili kalibracijskih jednadžbi. Broj okretaja propelera instrumenta određuje se emitiranjem signala, kao što je električni impuls, korištenjem prikladnim brojačem okretaja. Generalno, postoje dva tipa hidrometrijskih krila ovisno o tipu rotirajućih elemenata, odnosno hidrometrijsko krilo s propelerom s rotacijom oko horizontalne osi, te hidrometrijsko krilo s vijencem čašica s rotacijom oko vertikalne osi. Hidrometrijsko krilo s vijencem čašica (engl.: *Cup-type current-meter*) prikazano na slici 2-1., sastoji se od niza konusnih čašica postavljenih na jednakim intervalima oko osi rotacije. Propeler instrumenta mora se sastojati od minimalno šest šupljih konusa (Žugaj, 2015).



Slika 2-1. Model hidrometrijskog krila s vijencem čašica

Hidrometrijsko krilo s propelerom (engl.: *Propeller-type current-meter*) odnosno prikazano na slici 2-2., sadrži propeler koji se sastoji od niza ravnih ili zakrivljenih krilaca postavljenih na jednakim udaljenostima oko osi rotacije koja mogu biti različitih dimenzija i zakrivljenosti (Žugaj, 2015).



Slika 2-2. Model hidrometrijskog krila s propelerom

Postoje različiti oblici propelera s obzirom na nagib krilaca i njihov promjer. Za svaki oblik propelera definirani su uvjeti u kojima se koristi, odnosno svaki od propelera ima određen

spektar brzina vodotoka za koji je namijenjen što propisuje proizvođač. Bez obzira na razliku u načinu mjerenja brzine toka, ne postoji značajna razlika u točnosti dobivenih podataka (Slika 2-3.).



Slika 2-3. Različiti oblici propelera

Kako bi se utvrdila brzina vodotoka na temelju broja okretaja prolelera, odnos između kutne brzine propelera i brzine vodotoka se mora eksperimentalno utvrditi, što se naziva kalibacija. Rezultati kalibracije se prikazuju kalibracijskim tablicama, a često zajedno s kalibracijskom krivuljom. Kalibracija instrumenta valjana je jedino za raspon brzina za koje je instrument proizveden i za korištenje u fluidima koji su slični onima koji su korišteni pri njegovom kalibriranju. Hidrometrijsko krilo izrađeno je od materijala otpornih na koroziju ili materijala koji su zaštićeni od uvjeta koji vladaju u slatkoj vodi. Korištenjem instrumenta u uvjetima za koje nije namijenjen, kao što je slana voda i voda s velikom količinom suspendiranih čestica, bitno se skraćuje njegov radni vijek. U ovom radu za mjerenje protoka korišteno je hidrometrijsko krilo marke *„Seba Hydrometrie“*. Model instrumenta konstruiran je za mjerenje brzine toka u točkama mjerenja unutar postavljenih okomica. Raspon brzina za koji je instrument namjenjen je od 0,025-5,000 m/s, ovisno o obliku i zakrivljenosti krilaca propelera. Nosač propelera izrađen je od nehrđajućeg čelika dimenzije 146 mm, dok je propeler izrađen od anodiziranog aluminija. Šipka instrumenta sastoji se od tri dijela, ukupne visine 150 cm i promjera 9 mm, s centimetarskom podjelom (Slika 2-4.).



2-4. Kutija s hidrometrijskim krilom u dijelovima

Prilikom mjerenja hidrometrijskim krilom korisiti se i dodatni uređaj za određivanje broja okretaja propelera uronjenog dijela instrumenta. Elektronički brojač omogućuje primanje frekvencija za sve brzine toka. Rotacijom propelera instrumenta stvaraju se impulsi na temelju kojih se u predhodno odabranom vremenskom intervalu na zaslonu brojača prikazuje broj okretaja. Z6 brojač je vrlo jednostavne konstrukcije, kojeg pokreće blok baterija od 9 V. Sastoji se od zaslona koji ima mogućnost prikazivanja do pet znamenki, velikim tipkama i remenom za lakše korištenje prilikom mjerenja. Maksimalna frekvencija brojača je 40 pulseva po sekundi, a mjerna točnost brojača je 0,001 s (Slika 2-5.).



Slika 2-5. Elektronički brojač okretaja propelera

2.3. Postupak mjerenja

Mjerenje brzine toka, ako uvjeti to omogućuju, se izvodi istovremeno s mjerenjem dubine profila tj. mjerenja površine poprečnog presjeka profila. Na slici 2.6. prikazano je zasebno mjerenje dubine profila i određivanje točaka mjerenja brzine. Zbog čestih mjerenja na kanalima širine manje od 5 m, definiran je minimalan broj mjerenja koje je potrebno provesti na profilu (Tablica 2-1.).

Tablica 2-1. Broj okomica s obzirom na širinu kanala

Širina kanala	Broj okomica
< 0,5 m	5-6
0,5-1 m	6-7
1-3 m	7-12
3-5 m	13-16
> 5 m	> 22

Broj okomica kod kanala sa širinom većom od 5 m, mora biti takav da svaka pojedina okomica predstavlja 5-10% od ukupne širine kanala.



Slika 2-6. Mjerenje dubine profila i definiranje točaka mjerenja brzine

Mjerenje brzine toka izvodi se na način da se rotirajući elementi instrumenta uranjaju u vodotok u prethodno definirane točke mjerenja. Odabir metode određivanja brzine toka ovisi o nekoliko uvjeta: dostupnom vremenu, dubini i širini kanala, značajkama korita, stupnju željene točnosti podataka te o instrumentariju. Normativnom dokumentacijom propisane i opisane su tri moguće metode određivanja srednje brzine toka u okomicama:

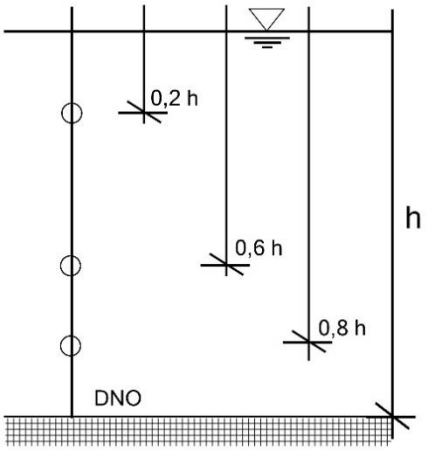
1) Metoda distribucije brzina
2) Metode reducirajućih točaka
3) Integracijska metoda

Metoda distribucije brzina temelji se na mjerenju brzine toka u određenom broju točaka smještenih u okomici između površine vode i dna. Broj i razmak između točaka nije definiran. Jedini uvijet prilikom odabira razmaka i broja točaka mjerenja je da dobiveni podaci budu reprezentativni i precizni... Međutim, razlika u očitanju brzine dviju susjednih točaka ne smije biti veća od 20% u odnosu na veću vrijednost.

Integracijskom metodom hidrometrijsko krilo se spušta i podiže po cijeloj dubini pojedine okomice ujednačenom mjerom. Brzina toka u točki u kojoj je krilo spušteno ili podignuto ne smije biti viša od 5% u odnosu na prosječnu brzinu toka i ne smije prekoračiti brzinu od 0,04 m/s. Dva cjelovita ciklusa mjerenja moraju se provesti za svaku vertikalu. U slučaju da je razlika u rezultatima veća od 10%, oba ciklusa mjerenja se moraju ponavljati sve dok rezultati nisu unutar dopuštenog odstupanja. Integracijska metoda daje vrlo precizne podatke, međutim postupak je dugotrajan.

Metode reducirajućih točaka su metode s manje ograničenja u odnosu na ostale metode te je za njihovu provedbu potrebno znatno manje vremena. U metode reducirajućih točaka ubrajaju se i metode jedne, dvije, četiri i pet točaka gdje se mjerenja izvode pri samom dnu, na 0,2, 0,4, 0,6 i 0,8 od ukupne dubine i pri samoj površini. Metodom „tri točke“ mjerenje brzina se izvodi na način da se hidrometrijsko krilo izlaže vodotoku u tri točke mjerenja na 0,2, 0,6 i 0,8 od ukupne prethodno izmjerene dubine vodotoka (Slika 2-7.). Srednja vrijednost brzine za pojedinu okomicu korištenjem metode „tri točke“ određuje se jednadžbom:

$$v = 0{,}25 \cdot (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) \qquad (2\text{-}1)$$



Slika 2-7. Položaj hidrometrijskog krila na okomici

Brzina u svakoj odabranoj točci mjerenja mjeri se na način da se hidrometrijsko krilo izlaže brzini vodotoka minimalno 30 sekundi, u poziciji da je nožica instrumenta paralelna smjeru toka, odnosno okomita na protočni profil (Slika 2-8.). Budući da je instrument izložen vodotoku 30 sekundi, dobiveni broj okretaja propelera potrebno je naknadno preračunati u broj okretaja po sekundi, kako bi se brzina toka prikazala u m/s. Tijekom prenošenja instrumenta iz jedne vertikale u drugu potrebno ga je izvaditi iz vode radi vizualnog pregledavanja kako bi se umanjila mogućnost nastanka pogreške.



Slika 2-8. Mjerenje brzine

Postupak mjerenja je takav da se za svaku okomicu u kojoj su postavljene točke mjerenja, instrument postavi na poziciju 0,2 od ukupne dubine, pokrene se brojač koji nam zatim prikaže broj okretaja propelera u 30 sekundi, te se postupak ponavlja za poziciju 0,6 i 0,8 dubine za svaku okomicu.

3. Obrada podataka mjerenja

Mjerenja brzina izvodila su se instrumentom na kojem je izveden postupak standardne kalibracije u laboratoriju. Kao rezultat postupka kalibracije dobivena je kalibracijska tablica na temelju koje se iz broja okretaja propelera u sekundi očitanog s brojača određuje konačna brzina toka izražena u m/s. Za sva izvršena mjerenja korišten je propeler promjera 50 mm i nosač propelera od 250 mm te pripadajuća kalibracijska tablica. Kalibracijska tablica podijeljena je u dva skupa podataka, s obzirom na broj okretaja propelera u sekundi. Ukoliko je broj okretaja u rasponu od 0 do 1,74 za proračun brzine toka koristi se jednadžba 3-1, a u slučajevima gdje je broj okretaja u rasponu od 1,74 do 10 koristi se jednadžba 3-2.

$$V= 0{,}0123+0{,}2473 \cdot n \quad (3\text{-}1)$$

$$V=-0{,}0042+0{,}2568 \cdot n \quad (3\text{-}2)$$

Korištenjem kalibracijskih tablica pomoću prikupljenih podataka terenskim mjerenjem očitane su brzine toka za svaku točku mjerenja, točnije očitane su brzine toka na 0,2, 0,6 i 0,8 od ukupne dubine vodotoka.

Metode proračuna ukupnog protoka protočnog profila generalno se mogu podijeliti na grafičke metode i aritmetičke metode. Pod grafičke metode ubraja se integracijska metoda dubina-brzina i metoda izotaha, dok se u aritmetičke metode ubrajaju metoda neovisnih okomica, metoda srednje vrijednosti i metoda središnjeg presjeka.

3.1. Grafoanalitička metoda obrada podataka

Računalni program korišten za grafoanalitičku metodu obrade podataka je Surfer. Surfer je računalni program razvijen od strane Golden Software Inc. tvrtke, koji se ponajprije koristi za interpolaciju podataka, oblikovanje te 2D i 3D prikazivanje unešenih podataka, kartiranje itd.

Za analitičku metodu obrade podataka odabrana je metoda izotaha, metoda kojom se pomoću linija koje povezuju točke iste vrijednosti brzina prikazuje razdioba brzina tečenja protočnim profilom.

Alati programa omogućuju provedbu postupka interpolacije ulaznih podataka, odnosno na temelju geometrije profila i brzine toka. Procjena, odnosno interpolacija predstavlja vrijednost varijabli na lokacijama na kojima nisu izmjerene, a uglavnom se temelji na sličnim

vrijednostima primarne varijable uz korištenje sekundarnih varijabli na istom području, uz uvjet da su korelirane s vrijednostima primarne varijable. Korištene su četiri metode interpolacije s ciljem odabira optimalne metode interpolacije za konačni izračun količine protoka kroz protjecajni profil (kriging, metoda inverzne udaljenosti, interpolacija radijalnim baznim funkcijama, interpolacija lokanih polinoma).

Kriging je multidisciplinarna geostatistička metoda koja se koristi za procjenjivanje vrijednosti slučajne varijable u prostoru na temelju mreže točaka. Statistička metoda koja se koristi u rudarstvu, agronomiji, hidrogeologiji i ostalim prirodoslovno-inženjerskim područjima. Metodom se vrlo jednostavno izrađuju vizualno privlačne karte iz nepravilno raspoređenih točkastih podataka. Kriging je vrlo fleksibina metoda koja nastoji na temelju ulaznih podataka izraziti trendove u podacima i grafički ih vrlo jednostavno prikazati. Procjena krigingom može se opisati linearnim izrazom koji se raspisuje u obliku matričnih jednadžbi. Kriging se u Surferu može koristiti kao precizni ili izglađujući interpolator, ovisno o specificiranim parametrima (Malvić, 2008).

Metoda inverzne udaljenosti jedna je od najčešćih matematičkih interpolacijskih metoda koja se često primjenjuje u geostatističkim zadacima (*Inverse distance to a power*). Egzaktni ili izglađujući interpolator koji procijenjuje vrijednosti na temelju relativnog jednostavnog matematičkog izraza. Utjecaj svake točke obrnuto je proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procijenjuje vrijednost. Broj točaka uključenih u procjenu određen je radijusom kružnice postavljene oko spomenute lokacije. Rezultat metode ovisi o vrijednosti eksponenta udaljenosti koji najčešće iznosi 2 jer je tada i račun najjednostavniji. Ova metoda često se koristi kao alternativa geostatističkim postupcima (Malvić, 2008).

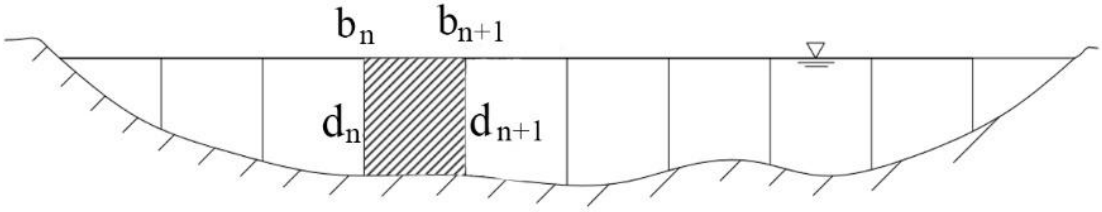
Interpolacija radijalnim baznim funkcijama je isto tako multidisciplinarna metoda, koja se koristi za mjerenje npr. temperature na površini Zemlje u meteorološkim stanicama ili mjerenje na nekim drugim objektima u više dimenzija, od kojih se onda radi interpolacija. Radijalna bazna funkcija je stvarna vrijednost funkcije čija vrijednost ovisi jedino o udaljenosti od izvorišta ili u alternativnom obliku o udaljenosti od slučajne točke. U smislu prilagođavanja ulaznim podacima, multikvadrik metoda se smatra jednom od najbolji uz koju se u ovu metodu interpolacije ubrajaju inverzni multikvadrik i multilog. Sve metode interpolacije radialnim baznim funkcijama su precizni interpolatori.

Interpolacija lokalnih polinoma je numerička metoda interpolacija skupa podataka polinomom najnižeg stupnja koji prolazi kroz točke skupa podataka. Ovom metodom se svakoj točki dodjeljuju procijenjene vrijednosti unutar elipse pretraživanja koja je dodjeljuje svim točkama mreže podataka.

3.2. Aritmetička metoda obrade podataka

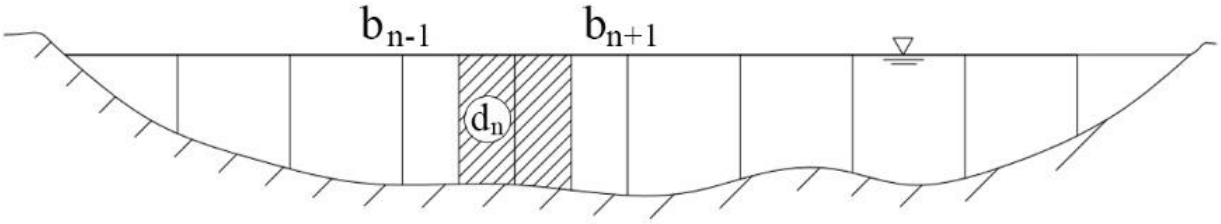
Za određivanje protoka aritmetičkom metodom normativnom dokumentacijom propisane su dvije metode, metoda prosječnog presjeka (engl.: *mean-section method*) i metoda srednjeg presjeka (engl.: *mid-section method*). Glavni uvjet za provedbu aritmetičke metode proračuna protoka je taj da se hidrometrijski profil sastoji od određenog broja okomica u kojima su se izvršila mjerenja brzine.

Metoda prosječnog presjeka primjenjuje se u slučaju kada je hidrometrijski profil sastavljen od niza okomica koje su omeđene s vertikala u kojima su provedena mjerenja brzine (Slika 3-1.).



Slika 3-1. Dijagram metode prosječnog presjeka

Metoda srednjeg presjeka primjenjuje se kada se hidrometrijski profil sastoji od okomica na čijim se presječnicama izvodi mjerenje brzine. Protok svake pojedine vertikale određuje se kao umožak prosječne brzine i dubine prema odgovarajućoj širini okomice (Slika 3-2.). Vrijednost širine koja se koristi u jednadžbi za proračun protoka predstavlja zbroj polovica vertikale s lijeve i desne strane od vertikale za koju se proračunava protok. Umnožak srednje brzine i dubine u vertikalama uz početak i kraj profila uzima se kao 0.



Slika 3-2. Dijagram metode srednjeg presjeka

Za ovu metodu, specifični protok za svaku pojedinu vertikalu određuje se prema formuli:

$$q = v_n \cdot d_n(\frac{b_{n+1}-b_{n-1}}{2}) \quad (3\text{-}3)$$

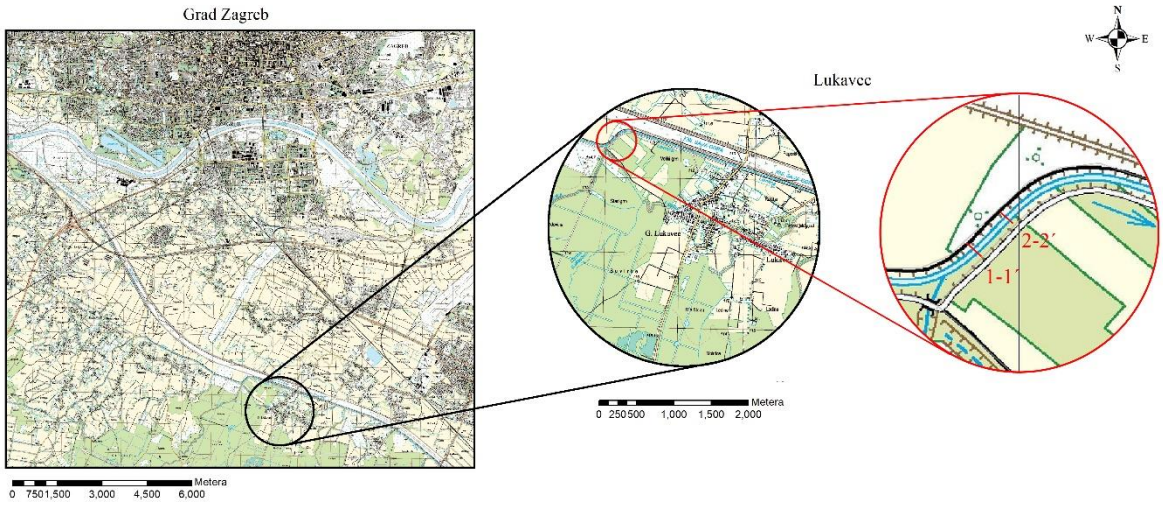
Nakon proračuna specifičnog protoka za svaku pojedinu vertikalu, ukupni protok hidrometrijskog profila predstavlja zbroj svih specifičnih protoka:

$$Q = \sum v_n \cdot d_n(\frac{b_{n+1}-b_{n-1}}{2}) \quad (3\text{-}4)$$

4. Rezultati

4.1. Odabir lokacije mjerenja

Mjerenja su provedena u potoku Lomnica u naselju Lukavec koje se nalazi jugozapadno od grada Velika Gorica (slika 4-1). Izvor potoka Lomnica nije točno definiran, no prema topografskoj karti može se zaključiti da njegov tok započinje u naselju Rakov Potok. Tok se kreće prema naselju Strmec, pa zatim prema Odranskom Obrežu gdje svoj tok nastavlja paralelno odteretnom kanalu Sava-Odra, te završava ulijevanjem u sam odteretni kanal u naselju Okuje. Potok Lomnica pripada crnomorskom slivu, porječju rijeke Save. U naselju Obrež nalazi se hidrološka postaja koja je započela s mjerenjem 1975. godine, te od tada kontinuirano sve do 2016. godine su se vršila mjerenja vodostaja i protoka. Duž toka potoka Lomnica nekoliko je pritoka manjih potoka kao što su Bukovec, Bukovica, Starča, Kukeljnjak, Lipnica i Peščenjak.



Slika 4-1. Lokacija mjerenja

Nakon obavljenog rekognosciranja terena odabrane su dvije lokacije za postavljanje protočnih profila na potoku Lomnica. Postavljena su dva hidrometrijska profila međusobne udaljenosti oko 130 m. Između postavljenih profila nema pritoka, a međusobno se razlikuju prema značajkama podloge, točnije prema obliku i materijalu korita. Profil 1-1´ postavljen je na kanaliziranom dijelu potoka s pravilnim koritom od betona (Slika 4-2.), dok je profil 2-2´postavljen na dijelu s prirodnim, nepravilnim oblikom korita (Slika 4-3.).



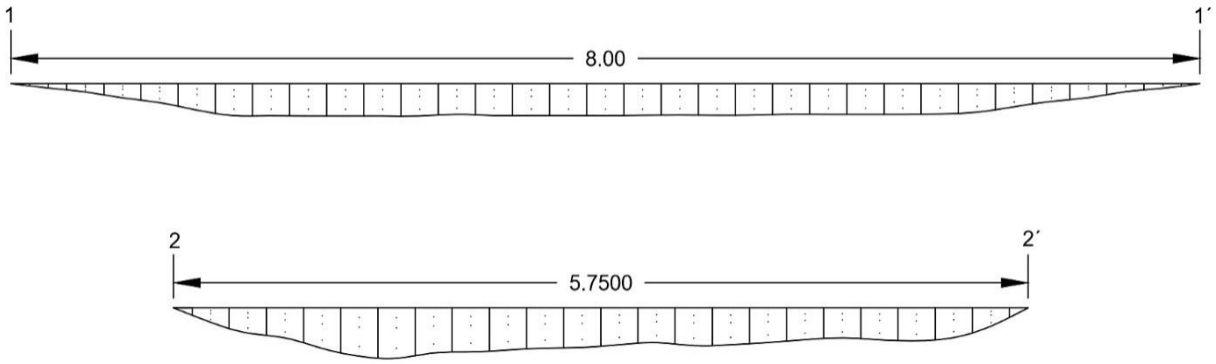
Slika 4-2. Hidrometrijski profil 1-1´



Slika 4-3. Hidrometrijski profil 2-2´

Budući da su oba postavljena profila širine veće od 5 m, podijeljeni su na više od 22 okomice, odnosno lamele kako je propisano normativom dokumentacijom. Profili su podijeljeni u

okomice s međusobnom udaljenošću od 25 cm, što znači da se profil 1-1´sastoji od 33 okomice, dok profil 2-2´ima 24 okomice (Slika 4-4.). Na krajnjim točkama profila postavljene su metalne cijevi kojima se povezala mjerna vrpca postavljena neposredno iznad razine vode, kako bi se tijekom mjerenja brzina instrument postavio na odgovarajuću udaljenost od nulte kote profila. Mjerenje dubine za oba profila izvedeno je svakih 25 cm, odnosno za svaku pojedinu okomicu.



Slika 4-4. Mjerne točke hidrometrijskih profila 1-1’ i 2-2’

4.2. Podaci mjerenja brzina

Temeljem detaljnog pregleda lokacija mjerenja, kao optimalna metoda određivanja brzina odabrana je jedna od metoda reducirajućih točaka. Ove metode, manje striktne od ostalih metoda, češće se koriste iz razloga što je vrijeme potrebno za izvršavanje mjerenja znato kraće u odnosu metodu distribucije brzina i integracijske metode.

Tablica 4-1 prikazuje podatke terenskog mjerenja na profilu 1-1´, gdje su upisani redni broj okomice, njena udaljenost od početka profila, mjerena dubina, dubina točke mjerenja u poziciji 0,2, 0,6 i 0,8 i očitani broj okretaja propelera za svaku točku. Oznaka NP u tablici predstavlja mjerenje na kojem je brzina toka bila manja od kritične brzine potrebne za postizanje okretanja propelera instrumenta, dok ćelije označene s točkom predstavljaju točke mjerenja u kojima propeler zbog konfiguracije instrumenta nije bio u potpunosti uronjen u vodu. U tablici 4-2 prikazani su podaci mjerenja na profilu 2-2´, profilu s prirodnim, nepravilnim koritom.

Tablica 4-3 prikazuje izračunatu dubinu lokacije mjerenja za poziciju 0,2 od ukupne dubine, broj okretaja u razdoblju od 30 sekundi i broj okretaja u sekudi koji se koristi kao ulazni

podatak za očitavanje brzina toka. Tablica 4-4 i tablica 4-5 prikazuju brzine toka na 0,6 od ukupne dubine, odnosno na 0,8 od ukupne dubine. Tablice 4-6, 4-7 i 4-8 se odnose na profil 2-2´.

Tablica 4-1. Podaci mjerenja u profilu 1-1´

Profil 1-1´			0,2 · d		0,6· d		0,8 · d	
Br. točke	Udaljenost [d]	Dubina, d [cm]	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja
1	0	0	0	NP	0	NP	0	NP
2	25	2,8	0,56	NP	1,68	NP	2,24	NP
3	50	5,4	1,08	NP	3,24	16	4,32	·
4	75	9,2	1,84	NP	5,52	20	7,36	20
5	100	12,3	2,46	19	7,38	23	9,84	24
6	125	17,1	3,42	23	10,26	29	13,68	29
7	150	20,6	4,12	21	12,36	31	16,48	34
8	175	20,7	4,14	25	12,42	30	16,54	33
9	200	20,8	4,16	25	12,48	32	16,64	36
10	225	20,7	4,14	22	12,42	33	16,56	37
11	250	20,7	4,14	28	12,42	34	16,56	40
12	275	20,7	4,14	23	12,42	34	16,56	38
13	300	19,8	3,96	29	11,88	36	15,84	40
14	325	20,6	4,12	29	12,36	37	16,48	38
15	350	20,5	4,01	28	12,3	35	16,40	35
16	375	20,5	4,01	27	12,3	37	16,40	38
17	400	20,7	4,14	27	12,42	35	16,56	40
18	425	20,4	4,08	27	12,24	36	16,32	37
19	450	20,2	4	28	12,12	37	16,16	39
20	475	20,4	4,08	26	12,24	35	16,32	38
21	500	20,2	4	27	12,12	37	16,16	40
22	525	19,7	3,94	30	11,82	34	15,76	38
23	550	19,8	3,96	29	11,88	36	15,84	37
24	575	19,8	3,96	28	11,88	34	15,84	36
25	600	19,8	3,96	24	11,88	33	15,84	34
26	625	19,5	3,9	23	11,70	30	15,6	31
27	650	18,4	3,68	20	11,04	27	14,72	28
28	675	14,9	2,98	18	8,94	24	11,92	23
29	700	11,5	2,3	14	6,90	16	9,2	·
30	725	9	1,08	NP	5,4	16	7,2	·
31	750	5,2	1,04	NP	3,12	·	4,16	·
32	775	3	0,6	NP	1,8	NP	2,4	·
33	800	0	0	NP	0	NP	0	NP

Tablica 4-2. Podaci mjerenja u profilu 2-2´

Profil 2-2´			0,2 · d		0,6· d		0,8 · d	
Br. točke	Udaljenost [d]	Dubina, d [cm]	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja	Dubina mjerenja [cm]	Broj okretaja
1	0	0	0	NP	0	NP	0	NP
2	25	9,4	1,88	NP	5,64	0	7,52	3
3	50	16,3	3,26	0	9,78	3	13,04	0
4	75	19,4	3,88	16	11,64	19	15,52	19
5	100	26,1	5,22	21	15,60	28	20,88	28
6	125	31,2	6,24	22	18,72	26	24,96	20
7	150	32,5	6,5	23	19,5	18	26	19
8	175	29,1	5,82	16	17,46	17	23,28	21
9	200	28,4	5,68	19	17,04	24	22,72	28
10	225	27,2	5,44	29	16,32	35	21,76	37
11	250	26	5,20	41	15,60	46	20,80	45
12	275	25,5	5,1	51	15,30	55	20,40	56
13	300	23,8	4,76	48	14,28	56	19,04	57
14	325	22,4	4,48	43	13,44	51	17,92	50
15	350	24,4	4,88	36	14,64	43	19,52	42
16	375	23,8	4,76	30	14,28	36	19,04	36
17	400	22,4	4,48	28	13,44	35	17,92	36
18	425	20,5	4,40	29	12,30	34	16,40	37
19	450	19,4	3,88	26	11,64	29	15,52	28
20	475	20,6	4,12	22	12,36	30	16,48	29
21	500	21,3	4,26	27	12,78	32	17,04	30
22	525	19,2	3,84	29	11,52	31	15,36	30
23	550	11,9	2,38	12	7,14	28	9,52	·
24	575	0	0	NP	NP	NP	NP	NP

Tablica 4-3. Brzine toka na lokaciji 0,2 od ukupne dubine za profil 1-1´

Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,2 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	2,8	0,56	NP	·	0
3	50	5,4	1,08	NP	·	0
4	75	9,2	1,84	NP	·	0
5	100	12,3	2,46	19	0,63	0,168
6	125	17,1	3,42	23	0,77	0,203
7	150	20,6	4,12	21	0,70	0,185
8	175	20,7	4,14	25	0,83	0,218
9	200	20,8	4,16	25	0,83	0,218
10	225	20,7	4,14	22	0,73	0,193
11	250	20,7	4,14	28	0,93	0,242
12	275	20,7	4,14	23	0,77	0,203
13	300	19,8	3,96	29	0,97	0,252
14	325	20,6	4,12	29	0,97	0,252
15	350	20,5	4,01	28	0,93	0,242
16	375	20,5	4,01	27	0,90	0,235
17	400	20,7	4,14	27	0,90	0,235
18	425	20,4	4,08	27	0,90	0,235
19	450	20,2	4	28	0,93	0,242
20	475	20,4	4,08	26	0,87	0,227
21	500	20,2	4	27	0,90	0,235
22	525	19,7	3,94	30	1,00	0,26
23	550	19,8	3,96	29	0,97	0,252
24	575	19,8	3,96	28	0,93	0,242
25	600	19,8	3,96	24	0,80	0,21
26	625	19,5	3,9	23	0,77	0,203
27	650	18,4	3,68	20	0,67	0,178
28	675	14,9	2,98	18	0,60	0,161
29	700	11,5	2,3	14	0,47	0,129
30	725	9	1,08	NP	·	0
31	750	5,2	1,04	NP	·	0
32	775	3	0,6	NP	·	0
33	800	0	0	NP	·	0

Tablica 4-4. Brzine toka na lokaciji 0,6 od ukupne dubine za profil 1-1´

Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,6 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	2,8	1,68	NP	·	0
3	50	5,4	3,24	16	0,53	0,143
4	75	9,2	5,52	20	0,67	0,178
5	100	12,3	7,38	23	0,77	0,203
6	125	17,1	10,26	29	0,97	0,252
7	150	20,6	12,36	31	1,03	0,267
8	175	20,7	12,42	30	1,00	0,26
9	200	20,8	12,48	32	1,07	0,277
10	225	20,7	12,42	33	1,10	0,284
11	250	20,7	12,42	34	1,13	0,292
12	275	20,7	12,42	34	1,13	0,292
13	300	19,8	11,88	36	1,20	0,309
14	325	20,6	12,36	37	1,23	0,316
15	350	20,5	12,3	35	1,17	0,302
16	375	20,5	12,3	37	1,23	0,316
17	400	20,7	12,42	35	1,17	0,302
18	425	20,4	12,24	36	1,20	0,309
19	450	20,2	12,12	37	1,23	0,316
20	475	20,4	12,24	35	1,17	0,302
21	500	20,2	12,12	37	1,23	0,316
22	525	19,7	11,82	34	1,13	0,292
23	550	19,8	11,88	36	1,20	0,309
24	575	19,8	11,88	34	1,13	0,292
25	600	19,8	11,88	33	1,10	0,284
26	625	19,5	11,7	30	1,00	0,26
27	650	18,4	11,04	27	0,90	0,235
28	675	14,9	8,94	24	0,80	0,21
29	700	11,5	6,9	16	0,53	0,141
30	725	9	5,4	16	0,53	0,141
31	750	5,2	3,12	·	·	0
32	775	3	1,8	NP	·	0
33	800	0	0	NP	·	0

Tablica 4-5. Brzine toka na lokaciji 0,8 od ukupne dubine za profil 1-1´

Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,8 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	2,8	2,24	NP	·	0
3	50	5,4	4,32	·	·	0
4	75	9,2	7,36	20	0,67	0,178
5	100	12,3	9,84	24	0,80	0,21
6	125	17,1	13,68	29	0,97	0,252
7	150	20,6	16,48	34	1,13	0,292
8	175	20,7	16,54	33	1,10	0,284
9	200	20,8	16,64	36	1,20	0,309
10	225	20,7	16,56	37	1,23	0,316
11	250	20,7	16,56	40	1,33	0,341
12	275	20,7	16,56	38	1,27	0,326
13	300	19,8	15,84	40	1,33	0,341
14	325	20,6	16,48	38	1,27	0,326
15	350	20,5	16,4	35	1,17	0,302
16	375	20,5	16,4	38	1,27	0,326
17	400	20,7	16,56	40	1,33	0,341
18	425	20,4	16,32	37	1,23	0,316
19	450	20,2	16,16	39	1,30	0,334
20	475	20,4	16,32	38	1,27	0,326
21	500	20,2	16,16	40	1,33	0,341
22	525	19,7	15,76	38	1,27	0,326
23	550	19,8	15,84	37	1,23	0,316
24	575	19,8	15,84	36	1,20	0,309
25	600	19,8	15,84	34	1,13	0,292
26	625	19,5	15,6	31	1,03	0,267
27	650	18,4	14,72	28	0,93	0,242
28	675	14,9	11,92	23	0,77	0,203
29	700	11,5	9,2	·	·	0
30	725	9	7,2	·	·	0
31	750	5,2	4,16	·	·	0
32	775	3	2,4	·	·	0
33	800	0	0	NP	·	0

Tablica 4-6. Brzine toka na lokaciji 0,2 od ukupne dubine za profil 2-2´

Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,2 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	9,4	1,88	NP	·	0
3	50	16,3	3,26	0	0	0,012
4	75	19,4	3,88	16	0,53	0,143
5	100	26,1	5,22	21	0,70	0,185
6	125	31,2	6,24	22	0,73	0,193
7	150	32,5	6,5	23	0,77	0,203
8	175	29,1	5,82	16	0,53	0,143
9	200	28,4	5,68	19	0,63	0,168
10	225	27,2	5,44	29	0,97	0,252
11	250	26	5,2	41	1,37	0,351
12	275	25,5	5,1	51	1,70	0,433
13	300	23,8	4,76	48	1,60	0,408
14	325	22,4	4,48	43	1,43	0,363
15	350	24,4	4,88	36	1,20	0,309
16	375	23,8	4,76	30	1,00	0,26
17	400	22,4	4,48	28	0,93	0,242
18	425	20,5	4,4	29	0,97	0,252
19	450	19,4	3,88	26	0,87	0,227
20	475	20,6	4,12	22	0,73	0,193
21	500	21,3	4,26	27	0,90	0,235
22	525	19,2	3,84	29	0,97	0,252
23	550	11,9	2,38	12	0,40	0,111
24	575	0	0	NP	·	0

Tablica 4-7. Brzine toka na lokaciji 0,6 od ukupne dubine za profil 2-2´

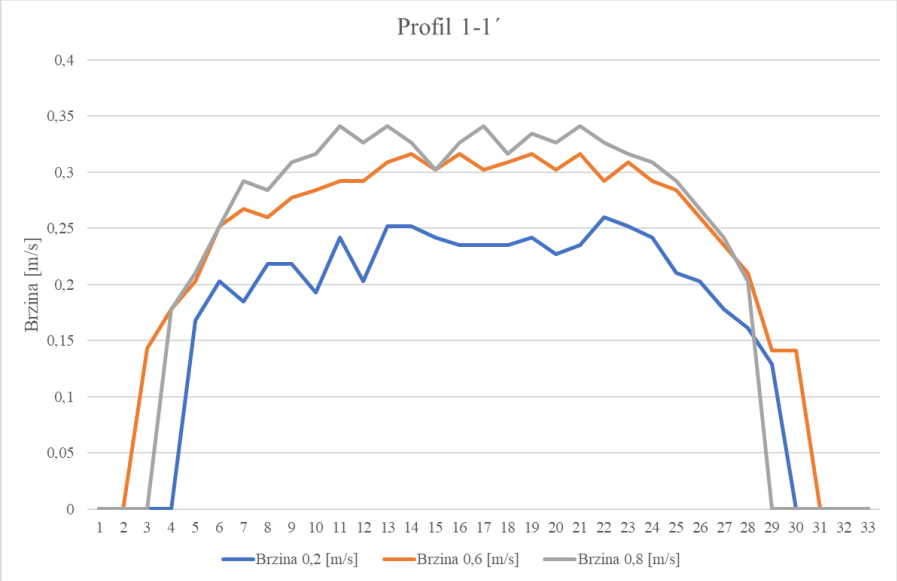
Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,6 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	9,4	5,64	0	0	0,012
3	50	16,3	9,78	3	0,10	0,037
4	75	19,4	11,64	19	0,63	0,168
5	100	26,1	15,6	28	0,93	0,242
6	125	31,2	18,72	26	0,87	0,227
7	150	32,5	19,5	18	0,60	0,161
8	175	29,1	17,46	17	0,57	0,153
9	200	28,4	17,04	24	0,80	0,21
10	225	27,2	16,32	35	1,17	0,302
11	250	26	15,6	46	1,53	0,391
12	275	25,5	15,3	55	1,83	0,466
13	300	23,8	14,28	56	1,87	0,476
14	325	22,4	13,44	51	1,70	0,433
15	350	24,4	14,64	43	1,43	0,366
16	375	23,8	14,28	36	1,20	0,309
17	400	22,4	13,44	35	1,17	0,302
18	425	20,5	12,3	34	1,13	0,292
19	450	19,4	11,64	29	0,97	0,252
20	475	20,6	12,36	30	1,00	0,26
21	500	21,3	12,78	32	1,07	0,277
22	525	19,2	11,52	31	1,03	0,267
23	550	11,9	7,14	28	0,93	0,242
24	575	0	0	NP	·	0

Tablica 4-8. Brzine toka na lokaciji 0,8 od ukupne dubine za profil 2-2´

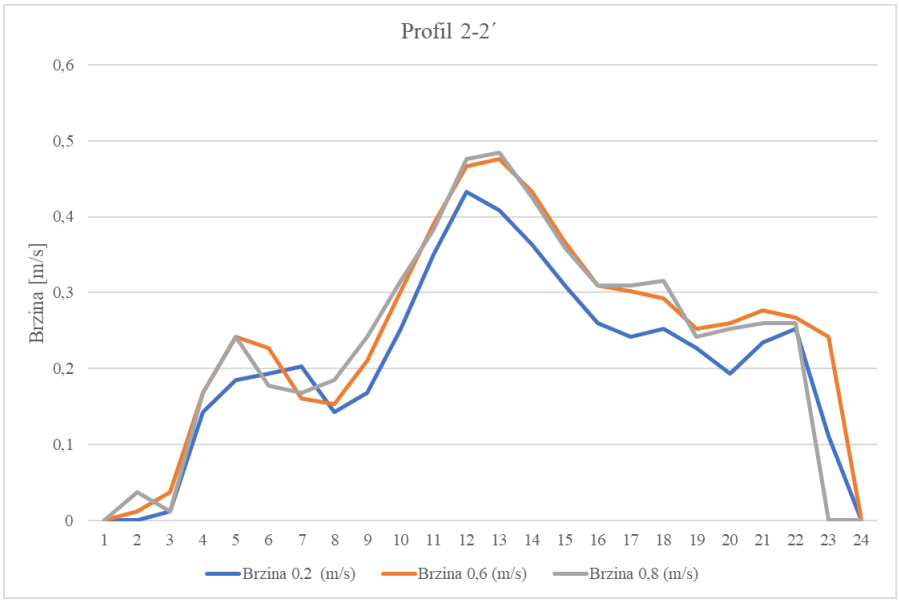
Br. Točke	Udaljenost [cm]	Dubina, d [cm]	0,8 · d, [cm]	Broj okretaja [30s]	Broj okretaja [s]	Brzina [m/s]
1	0	0	0	NP	·	0
2	25	9,4	7,52	3	0,10	0,037
3	50	16,3	13,04	0	0,00	0,012
4	75	19,4	15,52	19	0,63	0,168
5	100	26,1	20,88	28	0,93	0,242
6	125	31,2	24,96	20	0,67	0,178
7	150	32,5	26	19	0,63	0,168
8	175	29,1	23,28	21	0,70	0,185
9	200	28,4	22,72	28	0,93	0,242
10	225	27,2	21,76	37	1,23	0,316
11	250	26	20,8	45	1,50	0,383
12	275	25,5	20,4	56	1,87	0,476
13	300	23,8	19,04	57	1,90	0,484
14	325	22,4	17,92	50	1,67	0,425
15	350	24,4	19,52	42	1,40	0,359
16	375	23,8	19,04	36	1,20	0,309
17	400	22,4	17,92	36	1,20	0,309
18	425	20,5	16,4	37	1,23	0,316
19	450	19,4	15,52	28	0,93	0,242
20	475	20,6	16,48	29	0,97	0,252
21	500	21,3	17,04	30	1,00	0,26
22	525	19,2	15,36	30	1,00	0,26
23	550	11,9	9,52	·	·	0
24	575	0	0	NP	·	0

Na slici 4-5 prikazane su krivulje brzina toka za 0,2, 0,6 i 0,8 od ukupne dubine za profil 1-1´, gdje se vidi izrazita razlika između brzina pri dnu i površini toka, dok slika 4-6 prikazuje krivulje brzina za profil 2-2´ u kojem je isto vidljiva razlika u brzinama ovisno o dubini mjerenja. Prikazani dijagrami jasno prikazuju razlike u načinu tečenja u području profila 1-1´ i profila 2-2˙. Dijagram brzina profila 1-1´ prikazuje postupno povećanje, odnosno sniženje brzina na rubnim dijelovima profila s maksimalnom brzinom u središnjem dijelu profila što jasno ukazuje na laminaran tok, dok na dijagram brzina za profila 2-2´ je vidljiva promjenjivost brzine kroz profil, uz maksimalnu brzinu u središnjem dijelu, što je i očekivano budući da se radi o profilu

postavljenom na dijelu s nepravilnim koritom, promjenjivim padom i podlogom koja pruža veći otpor tečenju, odnosno radi se o toku smanjene laminarnosti.



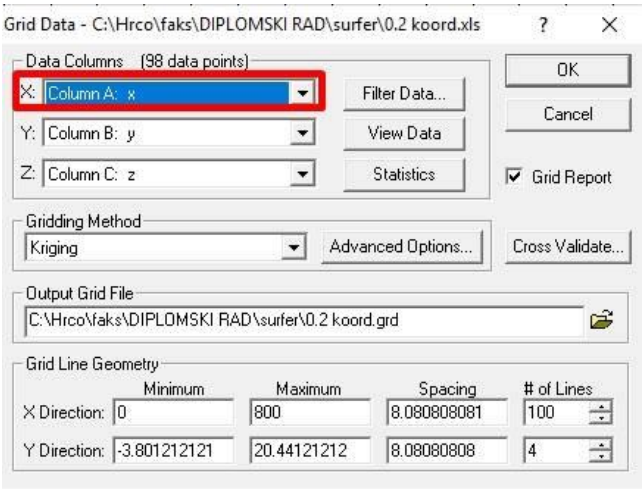
Slika 4-5. Krivulje brzina profila 1-1´



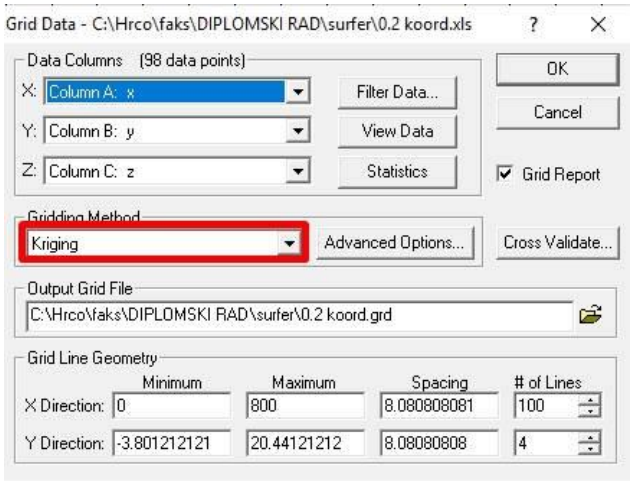
Slika 4-6. Krivulje brzina profila 2-2´

4.3. Karte izotaha

Za kreiranje karte izotaha (izotahe, linije istih brzina) pomoću programskog paketa Surfer, potrebno je za provođenje postupka interpolacije pripremiti ulazne podatke u formatu Excel tablice. Tablica se sastoji od tri stupca, x, y i z, gdje nam u slučaju interpolacije brzina tečenja vode x i y vrijednosti predstavljaju podatke geometrije protočnog profila (pozicija točke mjerenja), dok se podaci u stupcu z odnose na vrijednosti brzina toka (Slika 4-7.). Nakon unosa podataka potrebno je korelirati stupce A, B i C s unešenom tablicom i odabrati željenu metodu interpolacije (Slika 4-8.).

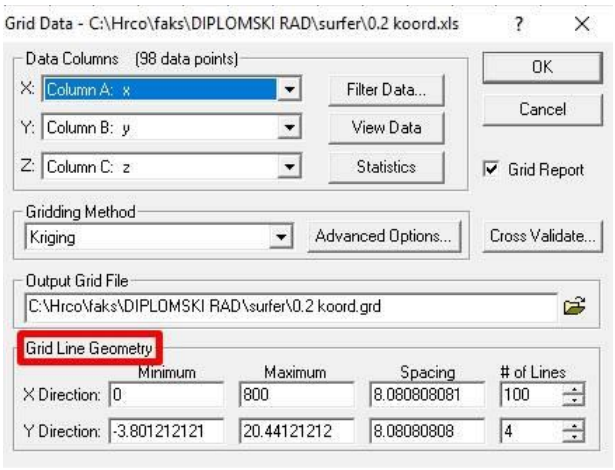


Slika 4-7. Postavljanje ulaznih podataka



Slika 4-8. Odabir željene metode interpolacije

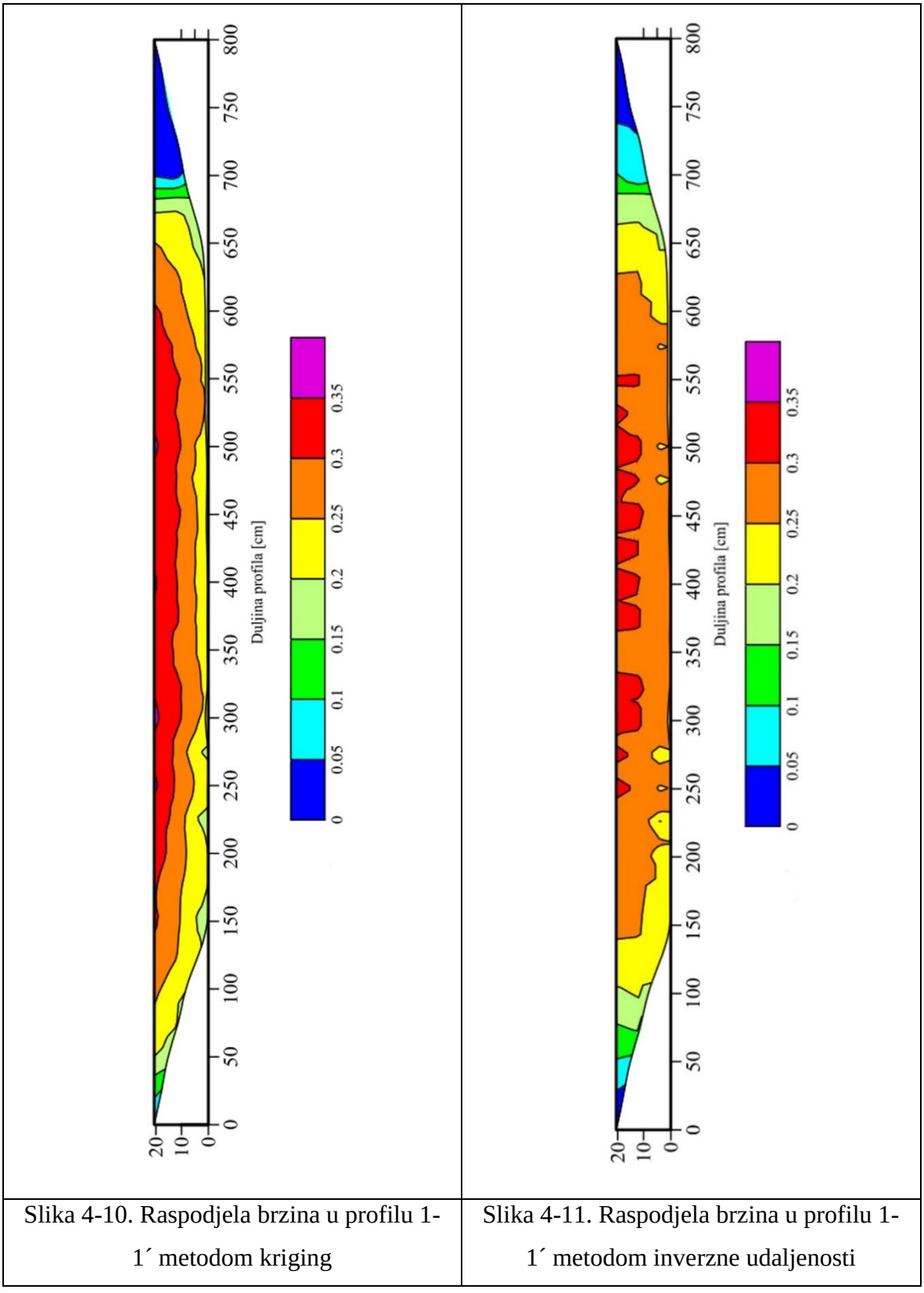
Nakon odabira metode interpolacije potrebno je podesiti geometriju profila. Na temelju podataka terenskog mjerenja unose se podaci maksimalne dubine i širine protočnog profila koji definiraju područje interpolacije (Slika 4-9.).



Slika 4-9. Podešavanje geometrije profila

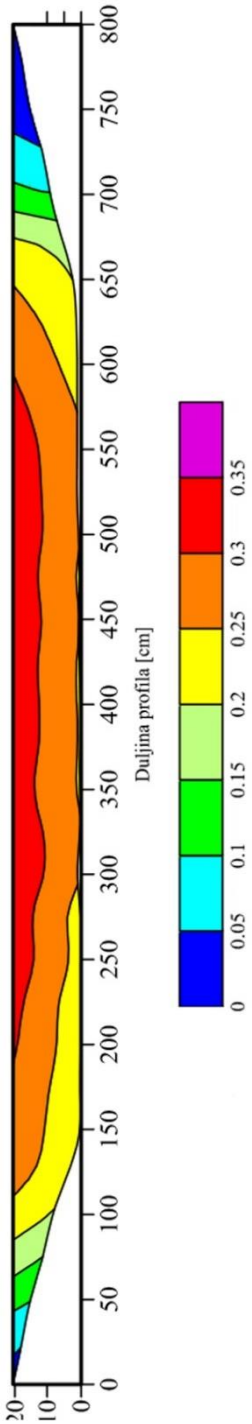
Nakon podešavanja ulaznih parametara izrađuje se karta, točnije karta izotaha odabranom metodom interpolacije. Nadalje, kako bi dobiveni podatak mogao biti što jasniji i jednostavniji potrebno je postaviti vrijednost ekvidistance, mjerilo i ispunu površine između pojedinih izotaha. Kao optimalna vrijednost ekvidistance za oba profila i sve četiri metode interpolacije postavljena je 0,05 m/s, a mjerilo, s obzirom da su profili različitih duljina, je postavljeno individualno za svaki profil radi što jasnijeg prikaza. Budući da podloga prikazivanja izolinijskih profila ima mogućnost podešavanja dimenzija, horizontalno i vertikalno mjerilo profila podešeno je 1:10 radi jednostavnije daljnje obrade.

Kako su u predhodnom poglavlju redom opisane metode interpolacije tako su i prikazani interpolirani profili na slikama, pa tako slika 4-10. prikazuje profil dobiven kriging interpolacijom, slika 4-11. metodom inverzne udaljenosti, slika 4-12. profil dobiven metodom radijalnim baznim funkcijama te slika 4-13. profil konstruiran metodom lokalnih polinoma.

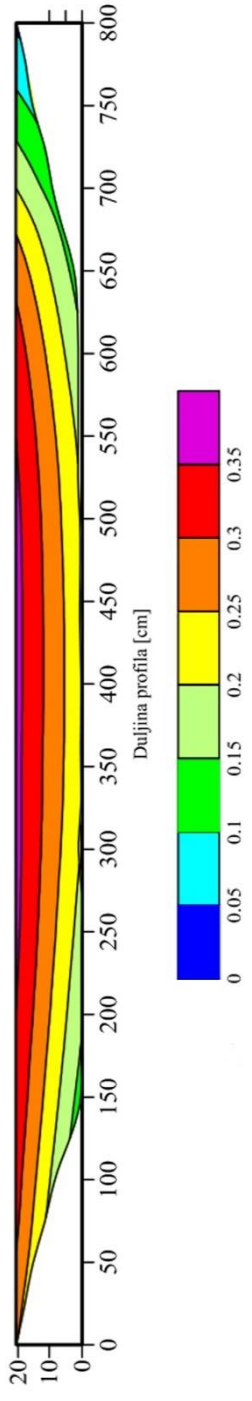


Slika 4-10. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom kriging

Slika 4-11. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom inverzne udaljenosti



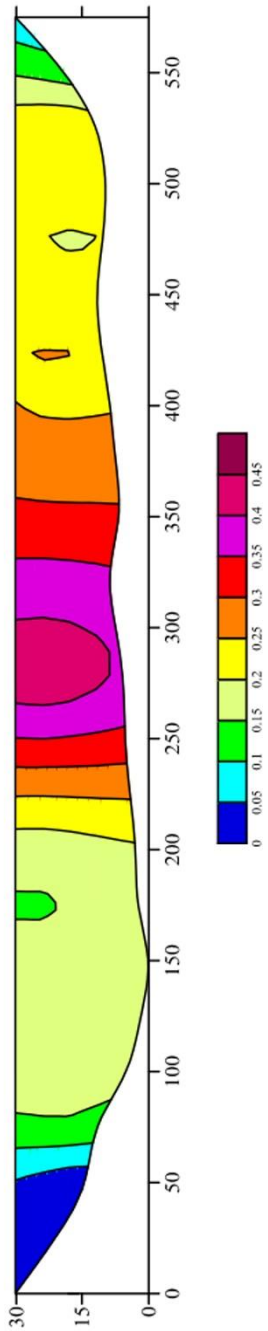
4-12. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom radijalnih baznih funkcija



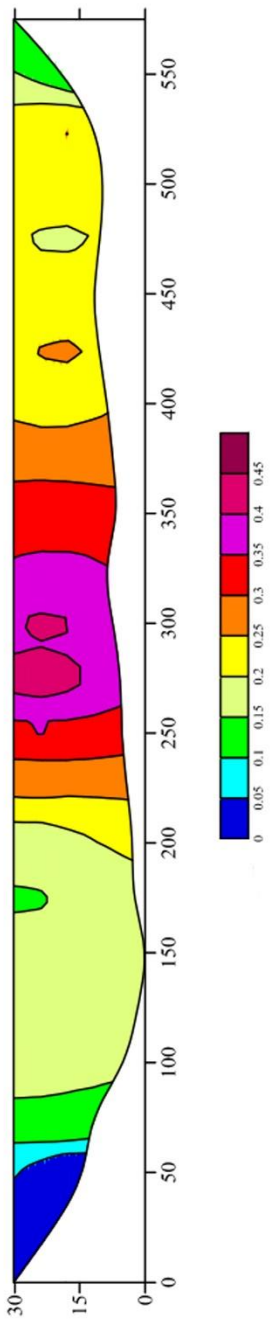
Slika 4-13. Raspodjela brzina u profilu 1-1´ metodom lokalnih polinoma

Slike 4-10. do 4-13. prikazuju profil 1-1´ na kojem je proveden postupak interpolacije sa sve četiri metode. Iz profila je vrlo jasno vidljiva raspodjela brzina u protočnom profilu. Kao što je već prije spomenuto, brzina toka je najveća na površini, a s povećanjem dubine, odnosno prema koritu i rubnim dijelovima brzina toka se smanjuje što je vidljivo na profilima. Interpolacijom lokalnih polinoma i radijalnim baznim funkcija dobiveni su profili s izglađenim, pravilnim izolinijama i ravnomjernom raspodjelom brzina, za razliku od profila dobivenih kriging metodom gdje su izolinije zakrivljenije, a metodom inverznih udaljenosti dobivene izolinije su nepravilnih, jastučastih oblika najveće brzine pri samoj površini. Interpolacijom lokalnih polinoma i krigingom brzine dosežu vrijednost od 0,35 m/s, dok s ostale dvije metode vrijednost brzine ne prelazi 0,3 m/s.

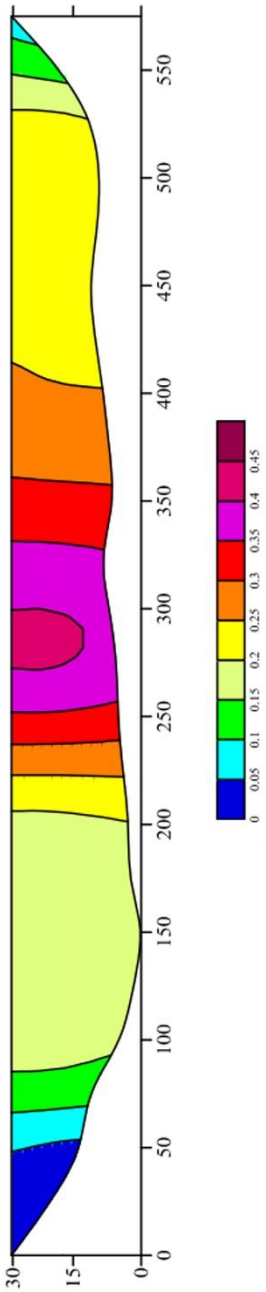
Slika 4-14. prikazuje interpolirane podatke profila 2-2´ krigingom, slika 4-15. metodom inverznih udaljenost, slika 4-16. prikazuje interpolaciju podataka metodom radijalnih baznih funkcija, a slika 4-17. profil konstruiran interpolacijskom metodom lokanih polinoma.



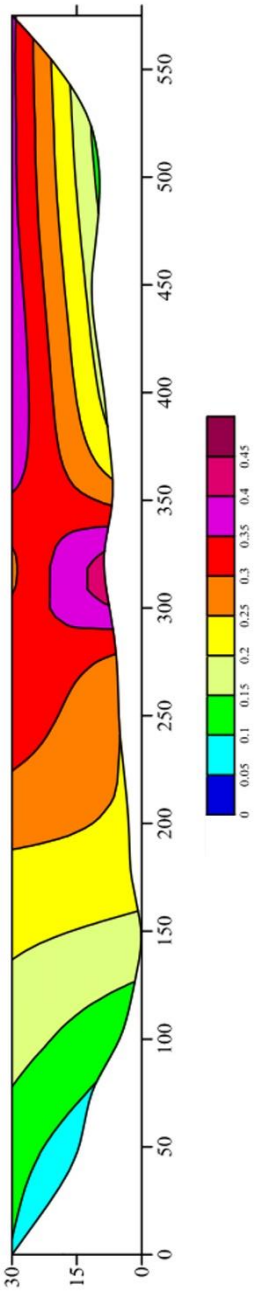
Slika 4-14. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom kriging



Slika 4-15. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom inverzne udaljenosti



4-16. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom radijalnih baznih funkcija



Slika 4-17. Raspodjela brzina u profilu 2-2´ metodom lokalnih polinoma

Slike 4-14. do 4-17. prikazuju karte izotaha u profilu 2-2´. Kao i za profil 1-1' provedena je interpolacija podataka sa četiri različite metode. Kod profila 2-2´jasno je vidljiva razlika u obliku i položaju izolinija dobivenih interpolacijom lokalnih polinoma, gdje su izolinije pravilnih i približno međusobno paralenih položaja, dok kod ostale tri metode izolinije su pretežito vertikalnog položaja i očekivano znatno gušće u središnjem dijelu profila. Maksimalne brzine koje se mogu očitati s profila veće su u odnosu na profil 1-1´ i dosežu vrijednosti od 0,45 m/s.

4.4. Proračun protoka pomoću grafoanalitičkih metoda

Budući da se protok prema normativnoj dokumentaciji korištenjem grafoanalitičke metode određuje kao umožak površine između dvije susjedne izotahe i brzine, potrebno je odrediti vrijednost površina između dvaju izotaha. Površine koju omeđuju izotahe određene su računalno koristeći se alatima računalnog programa AutoCAD.

Korištenjem AutoCAD alata za proračun površina dobivene su površine potrebne za proračun ukupnog protoka (Tablica 4.9 do Tablica 4.12). Svakoj pojedinoj površini dodijeljena je brzina i njihovim množenjem dobiveni su protoci čija suma predstavlja ukupni protok.

Tabica 4-9. Proračun protoka – kriging za profil 1-1´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0592	0
0,05	0,0124	0,00062
0,1	0,0153	0,00153
0,15	0,04907136	0,007360704
0,2	0,3658	0,07316
0,25	0,4446	0,11115
0,3	0,3283	0,09849
0,35	0,00669301	0,002342554
	1,28136437	**0,294653258**
	Protok (l/s)	**294,653**

Tablica 4-10. Proračun protoka – metoda inverznih udaljenosti za profil 1-1´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0286	0
0,05	0,0501	0,002505
0,1	0,0278	0,00278
0,15	0,0689	0,010335
0,2	0,2363	0,04726
0,25	0,7209	0,180225
0,3	0,1569	0,04707
	1,2895	**0,290175**
	Protok (l/s)	**290,175**

Tablica 4-11. Proračun protoka – metoda radijalnih baznih funkcija za profil 1-1´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0278	0
0,05	0,0371	0,001855
0,1	0,0345	0,00345
0,15	0,0528	0,00792
0,2	0,25635995	0,05127199
0,25	0,5927	0,148175
0,3	0,2792	0,08376
	1,28045995	**0,29643199**
	Protok (l/s)	**296,432**

Tablica 4-12. Proračun protoka – interpolacija lokalnih polinoma za profil 1-1´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0005	0
0,05	0,01278465	0,00063923
0,1	0,04971696	0,0049717
0,15	0,16208681	0,02431302
0,2	0,35686264	0,07137253
0,25	0,36809992	0,09202498
0,3	0,2903	0,08709
0,35	0,048	0,0168
	1,28835098	**0,29721146**
	Protok (l/s)	**297,211**

U tablicama 4.9 do 4.12 prikazan je proračun ukupnog protoka kroz protočni profil 1-1´. Konačan rezultat protoka izražen je u m^3/s i l/s radi lakše daljnje usporedbe rezultata. Protok izračunat iz karte izotaha dobivene kriging interpolacijom iznosi 0,2946 m^3/s, odnosno 294,6 l/s, protok proračunat iz karte izotaha konstruirane interpolacijom inverznih brzina 290,175 l/s, metodom radijalnih baznih funkcija 296,43 l/s, a metodom lokalnih polinoma protok iznosi 297,21 l/s. Srednja vrijednost protoka profila 1-1' iznosi 294,64 l/s. Najmanja vrijednost protoka dobivena je pomoću interpolacije inverznih brzina, a najveća metodom lokalnih polinoma, uz odstupanja od srednje vrijednosti za maksimalno 1,5%.

Kao i za profil 1-1´ i za profil 2-2´ površina između dvije izotahe određena je korištenjem AutoCAD alata za očitavanje površine zatvorenih poligona. Iz tablica 4-13 do 4-16 koje prikazuju proračunate protoke za profil 2-2´ iz karata izotaha, vidljiva je razlika u ukupnom protoku ovisno o metodi interpolacije podataka mjerenja. Vrijednosti protoka izražene su u m^3/s i l/s. Kao i u profilu 1-1´ vrijednost ukupnog protoka za interpolacijsku metodu lokalnih polinoma znatno je veća u odnosu na proračunate protoke ostalih metoda koji iznosi 281,19 l/s, dok je krigingom dobiven rezultat od 259,02 l/s, metodom inverznih udaljenosti 262,03 l/s, a metodom radijalnih baznih funkcija 259,76 l/s. Srednja vrijednost protoka u profilu 2-2' iznosi 265,5 l/s. Najmanja vrijednost protoka dobivena je pomoću kriging interpolacije i odstupa od srednje vrijednosti za 2,5%, a najveća metodom lokalnih polinoma s odstupanjem od srednje vrijednosti za 5,5%.

Tabica 4-13. Proračun protoka – kriging za profil 2-2´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0534	0
0,05	0,0243	0,001215
0,1	0,0543	0,00543
0,15	0,3715	0,055725
0,2	0,3199	0,06398
0,25	0,1299	0,032475
0,3	0,0996	0,02988
0,35	0,1169	0,040915
0,4	0,0735	0,0294
		0,25902
	Protok (l/s)	**259,020**

Tablica 4-14. Proračun protoka – metoda inverznih udaljenosti za profil 2-2´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0395	0
0,05	0,0148	0,00074
0,1	0,071	0,0071
0,15	0,3567	0,053505
0,2	0,3246	0,06492
0,25	0,1179	0,029475
0,3	0,1262	0,03786
0,35	0,1514	0,05299
0,4	0,0386	0,01544
		0,26203
	Protok (l/s)	**262,030**

Tablica 4-15. Proračun protoka – metoda radijalnih baznih funkcija za profil 2-2´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0,0473	0
0,05	0,0316	0,00158
0,1	0,0561	0,00561
0,15	0,3627	0,054405
0,2	0,3019	0,06038
0,25	0,1505	0,037625
0,3	0,11	0,033
0,35	0,1437	0,050295
0,4	0,0422	0,01688
		0,259775
	Protok (l/s)	**259,775**

Tablica 4-16. Proračun protoka – interpolacija lokalnih polinoma za profil 2-2´

Brzina (m/s)	Površina (m^2)	Protok (m^3/s)
0	0	0
0,05	0,04461729	0,002230865
0,1	0,12181249	0,012181249
0,15	0,17238403	0,025857605
0,2	0,2361	0,04722
0,25	0,26738391	0,066845978
0,3	0,296	0,0888
0,35	0,0996	0,03486
0,4	0,008	0,0032
		0,281195696
	Protok (l/s)	**281,196**

4.5. Proračun protoka pomoću aritmetičke metode

Temeljem odabranog načina mjerenja, metoda srednjeg presjeka je odabrana kao aritmetička metoda određivanja protoka. Tablica 4-17 prikazuje proračun protoka aritmetičkom metodom za profil 1-1´, a tablica 4-18 proračun protoka za profil 2-2´.

Budući da je kao metoda mjerenja brzina odabrana metoda tri točke, srednja vrijednost brzine korištena u aritmetičkoj metodi određivanja protoka određena je na temelju jednadžbe (3-1). Vrijednosti dubine su podaci dobiveni terenskim mjerenjem tijekom mjerenja brzina, dok stupac „širina“ predstavlja udaljenost središnjeg presjeka okomice od početka profila. Iz priloženih tablica vidljivo je da su protoci oba profila veoma slični, za profil 1-1´iznosi 330,076 l/s, dok za profil 2-2´ 330,53 l/s. Mogući razlog sličnog rezultata dvaju profila je njihova konfiguracija i mogućnost pridobivanja terenskih podataka. U svakoj okomici profila 1-1´gdje mjerenja nisu mogla biti izvedena vrijednosti brzine su jednaki 0. Samim time i vrijednost protoka u okomici u kojoj je srednja brzina 0 i protok iznosi 0. Profil 2-2´ iako ima manji broj okomica i manju duljinu profila, svojom geometrijom omogućio je prikupljanje veće količine podataka, tako da za profil 2-2´ sve lamele osim prve i posljednje imaju određenu vrijednost specifičnog protoka.

Tablica 4-17. Proračun protoka metodom srednjeg presjeka za profil 1-1´

Brzina (m/s)	Dubina (m)	Širina (m)	Protok (m^3/s)
0	0	0	0
0	0,028	0,25	0
0,0715	0,054	0,5	0,00096525
0,1335	0,092	0,75	0,0030705
0,196	0,123	1	0,006027
0,23975	0,171	1,25	0,010249313
0,25275	0,206	1,5	0,013016625
0,2555	0,207	1,75	0,013222125
0,27025	0,208	2	0,014053
0,26925	0,207	2,25	0,013933688
0,29175	0,207	2,5	0,015098063
0,27825	0,207	2,75	0,014399438
0,30275	0,198	3	0,014986125
0,3025	0,206	3,25	0,01557875
0,287	0,205	3,5	0,01470875
0,29825	0,205	3,75	0,015285313
0,295	0,207	4	0,01526625
0,29225	0,204	4,25	0,01490475
0,302	0,202	4,5	0,015251
0,28925	0,204	4,75	0,01475175
0,302	0,202	5	0,015251
0,2925	0,197	5,25	0,014405625
0,2965	0,198	5,5	0,01467675
0,28375	0,198	5,75	0,014045625
0,2675	0,198	6	0,01324125
0,2475	0,195	6,25	0,012065625
0,2225	0,184	6,5	0,010235
0,196	0,149	6,75	0,007301
0,10275	0,115	7	0,002954063
0,0705	0,09	7,25	0,00158625
0	0,052	7,5	0
0	0,03	7,75	0
0	0	8	0
			0,330529875
		Protok (l/s)	**330,530**

Tablica 4-18. Proračun protoka metodom srednjeg presjeka za profil 2-2´

Brzina (m/s)	Dubina (m)	Širina (m)	Protok (m^3/s)
0	0	0	0
0,01525	0,094	0,25	0,000358375
0,0245	0,163	0,5	0,000998375
0,16175	0,194	0,75	0,007844875
0,22775	0,261	1	0,014860688
0,20625	0,312	1,25	0,0160875
0,17325	0,325	1,5	0,014076563
0,1585	0,291	1,75	0,011530875
0,2075	0,284	2	0,0147325
0,293	0,272	2,25	0,019924
0,379	0,26	2,5	0,024635
0,46025	0,255	2,75	0,029340938
0,461	0,238	3	0,0274295
0,4135	0,224	3,25	0,023156
0,35	0,244	3,5	0,02135
0,29675	0,238	3,75	0,017656625
0,28875	0,224	4	0,01617
0,288	0,205	4,25	0,01476
0,24325	0,194	4,5	0,011797625
0,24125	0,206	4,75	0,012424375
0,26225	0,213	5	0,013964813
0,2615	0,192	5,25	0,012552
0,14875	0,119	5,5	0,004425313
0	0	5,75	0
			0,330075938
		Protok (l/s)	**330,076**

4.6. Sumarni prikaz rezultata

U Tablici 4-19. prikazani su rezultati izračuna protoka u oba profila. Protok u profilu 1-1´ veći je u odnosu na profil 2-2´ bez obzira na primijenjenu metodu. Budući da njegova ukupna širina iznosi 8 m, a profila 2-2´ 5,75 m, te uz razliku između maksimalnih dubina od 11,7 cm takvi rezultati su očekivani. Veće vrijednosti protoka u profilu 1-1´ posljedica su značajki korita, tj. profil 1-1' nalazi se na kanaliziranom dijelu korita gdje se očekuje manji otpor podloge prema tečenju, odnosno manji utjecaj trenja na kontaktu voda-korito i posljedično veća laminarnost toka. Pofil 2-2´ postavljen je na dijelu s prirodnim koritom gdje se očekuje promjenjiv pad kanala, veći koeficijent hrapavosti podloge, veće brzine (što je vidljivo iz podataka mjerenja) i posljedično pojava turbuletnog toka što ima za posljedicu i do 12% manje vrijednosti protoka. Razlika u načinu tečenja vode u profilima vidljiva je i iz karti izotaha.

Nadalje, jasno je vidljiva i razlika u rezultatima između pojedinih grafoanalitičkih metoda u oba profila, pa je tako najmanja vrijednost protoka dobivena pomoću interpolacije inverznih brzina, a najveća metodom lokalnih polinoma, uz odstupanja od srednje vrijednosti za maksimalno 1,5% za profil 1-1´, dok je za profil 2-2´ najmanja vrijednost protoka dobivena pomoću kriging interpolacije koja odstupa od srednje vrijednosti za 2,5%, dok najveća metodom lokalnih polinoma s odstupanjem od srednje vrijednosti za 5,5%.

Aritmetičkom metodom u oba profila dobiveni su veoma slični rezultati. Budući da je glavni parametar za proračun protoka aritmetičkom metodom umožak srednje brzine toka pojedine okomice i njene dubine, u profilu 1-1´zbog blagog i postupnog povećanja dubine, odnosno smanjenja dubine na kraju profila, u rubnim okomicama nije bilo moguće izvršiti mjerenja brzine. Nadalje, zbog nedostatka mjerenja brzina na rubnim dijelovima profila 1-1´, smanjen je broj specifičnih protoka potrebnih za proračun ukupnog protoka što uzrokuje nerealan krajnji rezultat zbog nedostataka rubnih podataka. Za razliku od profila 1-1´, kod profila 2-2´ povećanje dubine je strmije, a samim time je omogućeno mjerenje brzina na rubnim dijelovima profila, što znači da je dobiveni rezutat realniji u odnosu na rezultat profila 1-1´. Na temelju iznesenih činjenica, može se zaključiti da aritmetička metoda srednjeg presjeka u slučaju, postupnog i blagog povećanja dubine ne može dati stvarnu i očekivanu vrijednost protoka.

Tablica 4-19. Prikaz rezultata svih metoda proračuna protoka za profil 1-1´i profil 2-2´

Grafoanalitička metoda	Profil 1-1´; protok [l/s]	Profil 2-2´; protok [l/s]
Kriging	294,65	259,02
Metoda inverzne udaljenosti	290,18	262,03
Metoda radijalnih baznih funkcija	296,43	259,78
Metoda lokalnih polinoma	297,21	281,20
Aritmetička metoda	Profil 1-1´; protok [l/s]	Profil 2-2´; protok [l/s]
Metoda srednjeg presjeka	330,53	330,06

7. Zaključak

Lokacije postavljanja hidrometrijskih profila treba pažljivo odabrati, jer ukoliko odabrana lokacija ne ispunjava zahtjeve propisane normativnom dokumentacijom, podaci dobiveni terenskim mjerenjem mogu značajno odstupati od realne situacije. Mjerenje brzine toka korištenjem hidrometrijskog krila u uvjetima laminarnog toka, uz prethodnu adekvatnu pripremu, može se izvesti vrlo efektivno i brzo. Hidrometrijsko krilo je instrument jednostavan za korištenje, a dobiveni podaci su vrlo precizni. Metoda kojom će se izvršiti mjerenja brzine ovisi prvestveno o uvjetima koji vladaju na terenu, te je iz tog razloga vrlo bitno detaljno istražiti područje mjerenja i normativnu dokumentaciju kako bi se odabrala optimalna metoda mjerenja. Odabir metode mjerenja utječe i na glavni cilj mjerenja, određivanje protoka. Ukoliko se odabere neadekvatna metoda mjerenja krajnji rezultat može biti nezadovoljavajući i nerealan. Odabrana metoda mjerenja brzina, metoda tri točke, pokazala se pogodna za mjerenje na odabranoj lokaciji, s obzirom na geometriju vodotoka, okolinu i raspoloživ instrumentarij.

Računalni program Surfer, korišten za interpolaciju terenskih podataka, omogućuje interpolaciju mnogim statističkim metoda. Interpolacijske metode kojima raspolaže Surfer primjenjuju se u raznim strukama, od kojih mnoge u području hidrologije neće dati stvarnu i očekivanu razdiobu prostornih brzina tečenja. Korištene interpolacijske metode su jedine metode kojima je dobivena stvarna i očekivana raspodijela brzina protjecajnih profila. Dobiveni izolinijski profili raspodijele brzina korišteni su za grafoanalitičku metodu proračuna ukupnog protoka.

Grafoanalitička metoda proračuna protoka za svoju provedbu zahtijeva veći broj sati i poznavanje računalnih programa koji svojim alatima omogućuju očitavanje vrijednosti duljina i površina s dobivenih karata izotaha. Protok dobiven grafoanalitičkom metodom za korištene metode interpolacije približnih je vrijednosti za oba profila, osim interpolacijske metode lokalnih polinoma, čiji ukupni protok odstupa od srednje vrijednosti protoka ostalih metoda. Iz podataka se može zaključiti da bez obzira što metoda daje očekivanu raspodjelu brzina, krajnji rezultat ipak nije zadovoljavajući u usporedbi rezultatima ostalih interpolacijskih metoda.

Rezultati dobiveni aritmetičkom metodom srednjeg presjeka, u odnosu na rezultate grafoanalitičke metode se bitno razlikuju, dok su rezultati profila 1-1´i 2-2´ međusobno veoma sličnih vrijednosti. Razlog tome vjerojatno je geometrija profila, posebice profila 1-1´. Zbog

konfiguracije profila u pojedinim okomicama nije bilo moguće izmjeriti brzine, a aritmetičkom metodom u okomicama bez vrijednosti srednje brzine uzima se vrijednost 0, što je propisano normativnom dokumentacijom. Kao zaključak može se navesti da aritmetička metoda proračuna protoka ne daje precizne rezultate u profilima koji su sastavljeni od okomica u kojima nije moguće izmjeriti brzine toka, odnosno profilima s gustim rasporedom okomica i velikom širinom korita.

8. Literatura

BAČANI, A. (2006): *Hidrogeologija I*. Zagreb: Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, 23-26 str.

HRVATSKA NORMA HRN ISO 2537, *Hidrometrija – Hidrometrijsko krilo*

HRVATSKA NORMA HRN EN ISO 748, *Hidrometrija – Mjerenje protoka u otvorenim kanalima uporabom hidrometrijskih krila ili plovaka*

HRVATSKA NORMA HRN ISO 1088, *Hidrometrija – Metode brzina-površina uporabom hidrometrijskih krila – Prikupljanje i obrada podataka za određivanje mjerne nesigurnosti pri mjerenju protoka*

MALVIĆ, T. (2008): *Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka*. Zagreb: Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, 47-57 str.

ŽUGAJ, R. (2015): *Hidrologija*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, 247-255 str.

Web izvori:

https://www.hzn.hr/ (11.8.2018.)

https://www.seba-hydrometrie.com/ (11.8.2018.)