

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Cvetko, P., 2013. Meritve pretokov vodotoka z dvema različnima instrumentoma. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentor Rusjan, S.): 62 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Cvetko, P., 2013. Meritve pretokov vodotoka z dvema različnima instrumentoma. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Rusjan, S.): 62 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

PRVOSTOPENJSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
OKOLJSKO INŽENIRSTVO (UN)

Kandidat/-ka:

PETRA CVETKO

**MERITVE PRETOKOV VODOTOKA Z DVEMA RAZLIČNIMA
INSTRUMENTOMA**

Diplomska naloga št.: 11/B-VOI

**STREAM FLOW MEASUREMENTS WITH TWO DIFFERENT
INSTRUMENTS**

Graduation thesis No.: 11/B-VOI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:

asist. dr. Simon Rusjan

Ljubljana, 17. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Petra Cvetko izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**MERITVE PRETOKOV VODOTOKA Z DVEMA RAZLIČNIMA INSTRUMENTOMA**«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka kot tiskana.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, _____2013

(Podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	556.164:551.46(043.2)
Avtor:	Petra Cvetko
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	asist. dr. Simon Rusjan
Naslov:	Meritve pretokov vodotoka z dvema različnima instrumentoma
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	62 str., 18 pregl., 67 sl., 2 graf., 32 en.
Ključne besede:	hidrometrija, pretok, hitrost vode, meritve, metoda razredčenja, Flo-Tracer, FlowTracker, Dopplerjev efekt

Izvilleček

Hidrometrija je znanost merjenja različnih parametrov, ki označujejo tok v naravnih ali umetnih vodotokih in ceveh. Dve glavni spremenljivki, ki sta značilni za tok sta višina vode (H) in pretok vode (Q). Diplomska naloga se nanaša na pretok vode, ki je prostornina, ki steče skozi izbrano površino oz. prečni prerez na enoto časa.

S časoma so se instrumenti in metode merjenja pretoka zelo spreminjale. V prvem delu diplomske naloge so opisane nekatere najbolj uporabljene metode merjenja pretokov v odprtih vodotokih. Največ časa pa smo posvetili dvema najpogostejšima instrumentoma, to sta: Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV (metoda hitrost – površina) in merilnik FloTracer, ki deluje na podlagi metode razredčenja.

Drugi del diplomske naloge je praktični del, saj smo oba instrumenta tudi uporabili v praksi. In sicer, na manjšem hudourniku Mačkov graben, v treh različnih časovnih obdobjih. Podani so rezultati vseh meritev, ter primerjava rezultatov obeh instrumentov med seboj.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.164:551.46(043.2)
Author: Petra Cvetko
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. Simon Rusjan, Ph. D.
Title: Stream flow measurements with two different instruments
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 62 p., 18 tab., 67 fig., 2 gra., 32 eq.
Key words: hydrometry, discharge, water velocity, measurement, dilution method, Flo-Tracer, FlowTracker, Doppler effect

Abstract

Hydrometry is the science of measurement of various parameters characterizing flow in natural or artificial waterways and pipelines. Two main variables in order to characterize the flow are water height (H) and discharge (Q). Thesis refers to the flow of the water volume flowing through the selected area or cross-section per unit of time.

Over time, the instruments and methods of measuring the streamflow were changed. In the first part of the thesis some of the most used methods for measuring flows in open streams are described. Two most common instruments, namely: Doppler flow meter FlowTracker Handheld ADV (velocity – area method) and FloTracer (acting on the basis of the method of dilution) were introduced.

The second part of the thesis is the practical part. Both instruments were used in practice. Namely, in a small stream Mačkov graben in three different time periods. Results of all measurements are presented and comparison of the results of the both instruments is done.

ZAHVALA

Ob zaključku svoje diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj, za vso strokovno pomoč in podane nasvete. Iskreno hvala tudi somentorju asist. dr. Simonu Rusjanu in Nejcju Bezaku za vso pomoč na terenu.

Posebna zahvala gre mojim staršem, ki so mi omogočili študij, in vsem ostalim sorodnikom in prijateljem, ki so mi ves čas študija stali ob strani in me oblegali s spodbudnimi besedami.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD.....	1
1.1 Cilj diplomskega dela.....	1
2 POMEN HIDROMETRIJE IN PRETOKA.....	2
2.1 Hidrometrija	2
2.2 Pretok	2
3 POSREDNE METODE MERJENJA PRETOKA.....	4
3.1 Metoda hitrost - površina	4
3.1.1 Izbira in izmera prereza	5
3.1.2 Meritve hitrosti	5
3.1.3 Določitev pretoka	9
3.1.4 Instrumenti za merjenje hitrosti vode.....	11
3.2 Metoda naklon - površina.....	24
3.3 Metoda razredčenja	26
3.3.1 Priprava in izbira sledila	31
3.3.2 Izbira profila meritve.....	31
3.3.3 Injiciranje soli	31
3.3.4 Merilnik pretoka Flo-tracer	31
3.4 Akustična metoda	33
3.5 Elektro - magnetna metoda.....	35
4 OPIS POREČJA MAČKOVEGA GRABNA	36
4.1 Osnovni podatki	36
4.2 Podnebje	38
4.3 Topografija.....	38
4.4 Geologija	39
4.5 Pedologija.....	40
4.6 Pokrovnost in raba prostora	41
5 METODE DELA IN MERITVE	43
5.1 Merilno mesto	43
5.2 Merska oprema.....	44
5.3 Metode dela.....	44
5.3.1 FlowTracker Handheld ADV.....	44
5.3.2 Flo-tracer	46
6 REZULTATI.....	48
6.1 Ocena pretoka s pomočjo Manningove enačbe	48

6.2	FlowTracker Handheld ADV	49
6.2.1	1. niz meritev	49
6.2.2	2. niz meritev	50
6.2.3	3. niz meritev	51
6.2.4	Povzetek rezultatov meritev z instrumentom FlowTracker Handheld ADV	52
6.3	Flo-tracer	52
6.3.1	1. niz meritev	52
6.3.2	2. niz meritve	54
6.3.3	3. niz meritev	55
6.3.4	Povzetek rezultatov meritev z instrumentom Flo-tracer.....	56
7	PRIMERJAVA IN ANALIZA REZULTATOV.....	57
8	ZAKLJUČKI.....	59
VIRI		60

KAZALO SLIK

Slika 1: Zveza med nivogramom, pretočno krivuljo in hidrogramom (Musy in Higy, 2011).....	3
Slika 2: Slikovni opis osnovne enačbe za pretok (Geology happens, 2013)	4
Slika 3: Prečni profil z označenimi merskimi vertikalami in pripadajočimi dimenzijami (WMO, 1994)	5
Slika 4: Izotahe v naravni (nesimetrični) strugi (Coolgeography, 2013)	6
Slika 5: Izotahe v enotni strugi (Coolgeography, 2013)	6
Slika 6: Porazdelitev hitrosti vzdolž struge (Studyblue, 2013)	6
Slika 7: Porazdelitev hitrosti zaradi trenja (Extension, 2012)	6
Slika 8: Povprečna hitrost po grafični metodi (Boiten, 2000)	7
Slika 9: Profil hitrosti po vertikali (Boiten, 2000)	7
Slika 10: Meritev v eni točki (Boiten, 2000).....	8
Slika 11: Meritev v dveh točkah (Boiten, 2000)	8
Slika 12: Metoda glavnega prereza	9
Slika 13: Metoda srednjega prereza	10
Slika 14: Grafična metoda izračna pretoka (Boiten, 2000).....	11
Slika 15: Oblike plovcev (Herschey, 1978).....	12
Slika 16: Različne velikosti hidrometričnih kril (Cgsplus, 2013)	13
Slika 17: Dopplerjev pojav (Boiten, 2000)	13
Slika 18: Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV SonTek (Hoskin, 2013)	14
Slika 19: Prikaz delovanja in uporabe merilnika pretočnih hitrosti FlowTrackerja ADV (SonTek, 2013).....	15
Slika 20: 2-D in 3-D meritve hitrosti (SonTek, 2013).....	16
Slika 21: Bistatična os (SonTek, 2002).....	17
Slika 22: Princip izračna pretoka (SonTek, 2003).....	18
Slika 23: Tipkovnica (SonTek, 2003).....	18
Slika 24: Preverimo datum in uro (SonTek, 2003)	18
Slika 25: Glavni meni (SonTek, 2003)	18
Slika 26: Nastavitev parametrov (SonTek, 2003)	19
Slika 27: Funkcije sistem (SonTek, 2003)	19
Slika 28: Ime datoteke s podatki (SonTek, 2003)	19
Slika 29: Izmerjeni in vnešeni podatki po koncu meritve (SonTek, 2003)	20
Slika 30: Starflow (Act, 2011).....	21
Slika 31: Postavitev Starflow-a (USBR, 2004).....	22
Slika 32: Sontek ADP (Hoskin Scientific, 2013).....	22
Slika 33: Katamaran z instrumentom SonTek ADP (Sontek, 2013)	23
Slika 34: SonTek ADP pritjen na ladjo (USGS, 2013)	23
Slika 35: Nivoji meritve hitrosti z merilnikom SonTek ADP (Sontek, 2013)	24
Slika 36: Konstantno injiciranje sledila pri metodi razredčenja (Musy in Higy, 2011)	27
Slika 37: Princip injiciranja sledila pri metodi razredčenja (Musy in Higy, 2011)	28
Slika 38: Rezultat meritve pri metodi razredčenja.....	28
Slika 39: Potovanje oblaka sledla (Flow-tronic, 2003)	29
Slika 40: Merilnik Flo-tracer.....	32
Slika 41: Princip akustične metode (Boiten, 2000)	34
Slika 42: Lega porečja Gradaščice (Rusjan, 2013).....	36
Slika 43: Lega Mačkovega grabna in Kuzlovca (Geopedija, 2013).....	37
Slika 44: Ortofoto posnetek porečja Mačkovega grabna (Google earth, 2013).....	37
Slika 45: Topografija porečja Gradaščice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)	38
Slika 46: Geološka karta porečja Gradaščice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)	39
Slika 47: Pedološka karta porečja Gradaščice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)	40

Slika 48: Pokrovnost in raba prostora porečja Mačkovega Grabna (Rusjan, 2013)	41
Slika 49: Lokacija meritev (Geopedija, 2013)	43
Slika 50: Merilno mesto.....	43
Slika 51: Merski trak razpet čez mersko mesto	44
Slika 52: Pravilna postavitev sonde.....	45
Slika 53: Izvajanje meritve z instrumentom FlowTracker Handheld ADV.....	46
Slika 54: Priprava raztopine injiciranja	46
Slika 55: Sonda v matici toka	47
Slika 56: Prečni profil in označene vertikale pri moji prvi meritvi.....	49
Slika 57: Rezultati prvega niza meritev s FlowTrackerjem (21. 6. 2013).....	49
Slika 58: Prečni profil in označene vertikale pri moji drugi meritvi.....	50
Slika 59: Rezultati drugega niza meritev s FlowTrackerjem (9. 7. 2013)	50
Slika 60: Prečni profil in označene vertikale pri moji tretji meritvi.....	51
Slika 61: Rezultati tretjega niza meritev s FlowTrackerjem (15. 7. 2013).....	51
Slika 62: Prva meritev v prvem nizu s Flo-tracerjem (21. 6. 2013).....	53
Slika 63: Druga meritev v prvem nizu s Flo-tracerjem (21. 6. 2013)	53
Slika 64: Prva meritev v drugem nizu s Flo-tracerjem (9. 7. 2013)	54
Slika 65: Druga meritev v drugem nizu s Flo-tracerjem (9. 7. 2013).....	54
Slika 66: Prva meritev v tretjem nizu s Flo-tracerjem (15. 7. 2013).....	55
Slika 67: Druga meritev v tretjem nizu s Flo-tracerjem (15. 7. 2013)	55

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Redukcijski faktorji površinskega in paličnega plovca (Boiten, 2000: str. 99)	12
Preglednica 2: Tehnični podatki FlowTrackerja ADV (SonTek, 2013)	15
Preglednica 3: Rezultati meritve (SonTek, 2003)	20
Preglednica 4: Tehnični podatki merilnika Starflow (Unidata, 2013)	21
Preglednica 5: Določitev parametrov za izračun n_G (Steinman, 2010: str. 150)	24
Preglednica 6: Izračun hidravličnega radija za pravokotni in trapezni prečni prerez	25
Preglednica 7: Tehnični podatki instrumenta Flo-tracer (Flo-tronic, 1999)	32
Preglednica 8: Osnovni podatki porečja Mačkovega grabna	38
Preglednica 9: Opis posameznih geoloških enot porečja Gradaščice (Rusjan, 2013)	40
Preglednica 10: Opis posameznih pedoloških enot porečja Gradaščice (Rusjan, 2013)	41
Preglednica 11: Opis posameznih šifrantov iz karte pokrovnosti in rabe prostora (Rusjan, 2013)	42
Preglednica 12: Povzetek rezultatov meritev pretokov v vseh treh časovnih nizih in z obema instrumentoma	48
Preglednica 13; Uporaba Manningove enačbe na hudourniku Mačkov graben	48
Preglednica 14: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikali pri prvem nizu meritev s FlowTrackerjem	49
Preglednica 15: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikali pri drugem nizu meritev s FlowTrackerjem	50
Preglednica 16: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikali pri tretjem nizu meritev s FlowTrackerjem	51
Preglednica 17: Pregled rezultatov pridobljenih s FlowTrackerjem	52
Preglednica 18: Pregled rezultatov pridobljenih s Flo-tracerjem	56

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Diagram odvisnosti koncentracije in elektroprevodnosti z umeritveno premico razmerja C/EP (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999)	30
Graf 2: Grafični prikaz rezultatov vseh meritev	57

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Hidrologija je znanost, ki se ukvarja s proučevanjem pojavov, lastnosti in gibanja vode v hidrosferi ter njenega razmerja do okolja (Brilly in Šraj, 2005). Ena izmed vej te hidrološke znanosti je hidrometrija, v katero spada tudi merjenje pretoka.

Voda je javna dobrina in v Sloveniji za upravljanje z vodami skrbi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), ki deluje v okviru Ministrstva za kmetijstvo in okolje RS. Naloge agencije so: pripravljane programov za izvajanje monitoringa stanja voda, stalno izvajanje meritve in opazovanje posameznih elementov vodnega kroga, hidrometrične meritve in meritve gladin za določanje pretokov rek, spremljanje njihovih režimov in ugotavljanje sprememb, opozarjanje pred poplavami rek in morja, opozarjanje na upadanje gladin podzemnih in površinskih voda, ipd. Stalna opazovanja na vodomernih postajah so potrebna za splošne družbene potrebe.

Za potrebe posameznih projektov, študij, pridobitev soglasij ipd. pa se izvajajo tudi občasna merjenja. Ta morajo biti izvedena z zanesljivimi in kalibriranimi instrumenti in po predpisanih standardih (ISO 772, 1996). Metodologije merjenja in različnimi instrumenti za merjenje hitrosti in pretokov vode so predstavljeni v nalogi.

1.1 Cilj diplomskega dela

Hidrologija površinskih voda temelji na poznavanju dveh glavnih hidroloških parametrov – gladini vode in pretoku. Podatki niso potrebni le za hidrološke namene, temveč tudi za upravljanje visokih in nizkih voda. Služijo splošnim potrebam, tako danes, kot tudi v prihodnje. Namen diplomske naloge je predstaviti različne načine merjenja pretoka, izvesti meritve z dvema sodobnima, a različnima instrumentoma, analizirati in primerjati rezultate ter podati ugotovitve. Meritve smo izvedli z najsodobnejšima instrumentoma, to sta: merilnik pretoka vode Flo-tracer z metodo razredčenja in merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV. Terenske meritve so izvedene na potoku Mačkov graben, ki se nahaja v bližini Polhovega Gradca.

2 POMEN HIDROMETRIJE IN PRETOKA

2.1 Hidrometrija

Hidrometrija je znanost merjenja različnih parametrov, ki označujejo tok v naravnih ali umetnih vodotokih in ceveh. Dve glavni spremenljivki, ki sta značilni za tok sta (Musy in Higy, 2011):

- raven površine gravitacijske vode, označena z H in izražena v metrih (m) in
- pretok vode, označen z Q in izražen v m^3/s ali l/s .

Naloge hidrometrije so (Brilly in Šraj, 2005):

- izvajanje meritev lastnosti režima voda,
- razvoj različnih metod in orodij za kvantitativno določanje,
- analizo in obdelavo pridobljenih podatkov z merjenjem na osnovi različnih orodij in metod merjenja,
- določanje napak pri teh meritvah in
- organizacija mreže merskih postaj v času in prostoru, da bi pridobili najboljše informacije.

2.2 Pretok

Pretok je prostornina, ki steče skozi izbrano površino oz. prečni prerez na enoto časa. Enota pretoka je m^3/s , za manjše vodotoke, pa se uporablja enota l/s (ARSO, 2013). Meritve pretoka delimo v dve skupini (Cerar in sod., 2000):

- *neposredne meritve pretoka* so uporabne pri manjših količinah vode. Meritev izvajamo z volumsko metodo, kjer neposredno merimo pretok s pomočjo umerjene merilne posode in z merjenjem časa polnitve posode in z metodami mešanja substanc v vodno maso in
- *posredne meritve pretoka*, kjer pretok običajno izračunamo na podlagi meritev veličin, ki so funkcija pretoka. V osnovi jih delimo v tri skupine: metoda površina-hitrost, metoda naklon-površina in metode z uporabo merilnih korit in jezov .

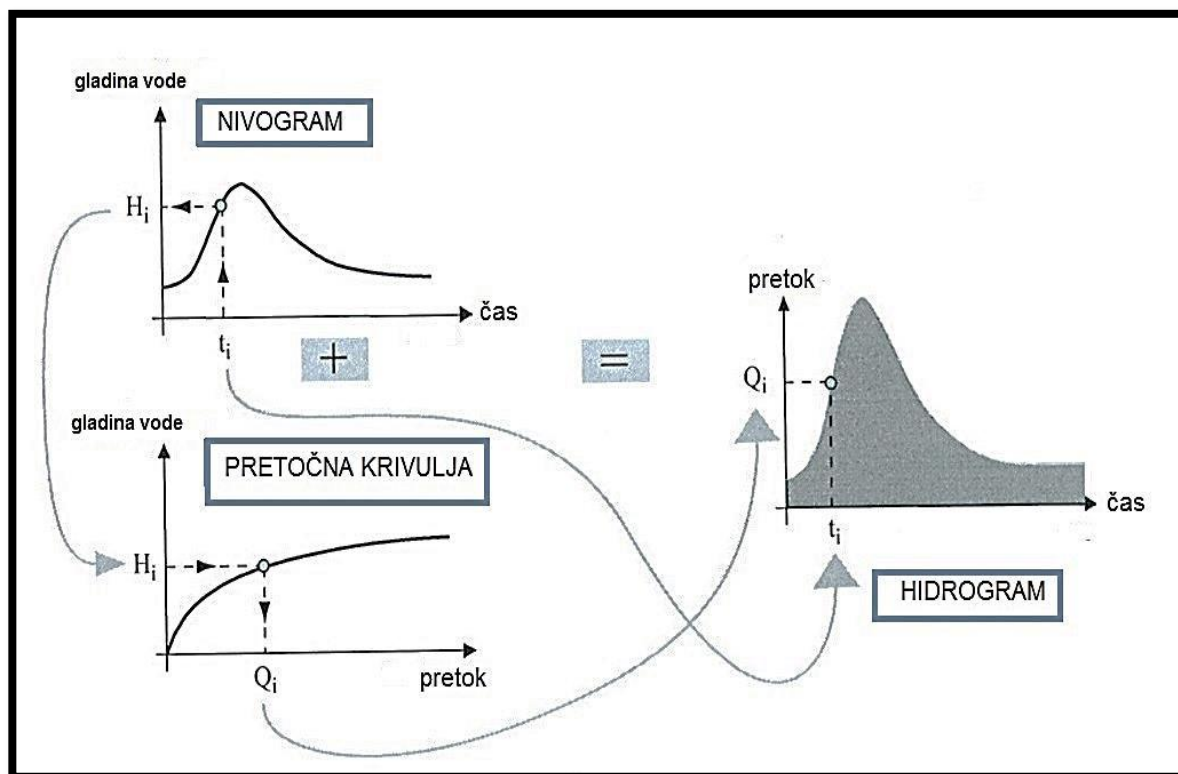
V odprtih kanalih (umetno narejeni kanali in naravni vodotoki) je v vsakem prečnem prerezu pretok podan z enačbo 1.

$$Q = v \times A, \tag{1}$$

pri čemer je:

- Q pretok [m^3/s],
- v hitrost [m/s] in
- A površina prečnega prereza [m^2].

Količina vode v vodotoku se zlahka meri, vendar je reprezentativna samo v opazovani točki in se s časom spreminja. Pretok je edina spremenljivka, ki fizično odraža vedenje območja porečij v času in prostoru. Praviloma se pretoka ne meri neposredno in neprekinjeno, ampak le občasno. S konstantnim monitoringom vodnih gladin v dani točki ter občasnimi meritvami obeh spremenljivk, pa lahko pretoke ocenjujemo s pomočjo pretočne krivulje (slika 1).



Slika 1: Zveza med nivogramom, pretočno krivuljo in hidrogramom (Musy in Higy, 2011)

Gladine se na hidrometričnih profilih merijo z limnigrafi in s pomočjo teh meritev dobimo nivogram. Nas pa zanimajo predvsem pretoki oziroma hidrogrami, ki jih dobimo s pomočjo pretočne krivulje, ki predstavlja odvisnost gladin od pretoka ($H = f(Q)$). Pretočno krivuljo pa konstruiramo s pomočjo občasnih meritev gladin in pretokov hkrati. Pri tem morajo biti meritve izvedene ob čim bolj različnih gladinah vode.

Informacije o pretoku rabimo za (Boiten, 2000):

- projektiranje jezov in akumulacij ter za bilateralne sporazume, kjer vodotok poteka po meji med dvema državama,
- distribucijo vode za potrebe namakanje,
- industrijske obrate, kjer se njihova odpadna voda odvaja v javne vodne površine,
- rečno navigacijo,
- vodno upravljanje v urbanih in ruralnih območjih,
- vodenje evidence in statistik ipd.

3 POSREDNE METODE MERJENJA PRETOKA

Ključnega pomena pri meritvah pretoka je sama izbira metode. Dejavniki, ki vplivajo na izbiro metode so zahtevana natančnost in točnost podatkov, instrumenti, ki so nam na voljo, dostopnost vodotoka, širina in globina vodotoka, hitrost vode in pogostost meritev (občasna, stalna) (Boiten, 2000).

Posamezne meritve so meritve, ki se izvajajo občasno ali kratko časovno obdobje. Sem spadajo naslednje metode:

- metoda hitrost - površina,
- metoda naklon - površina,
- metoda razredčenja.

Včasih tudi akustična metoda in objekti za meritev pretokov.

Stalne meritve se izvajajo konstantno, brez prekinitev. Sem spadajo:

- akustična metoda,
- elektro - magnetna metoda in
- objekti za meritev pretokov.

Včasih tudi metoda razredčenja.

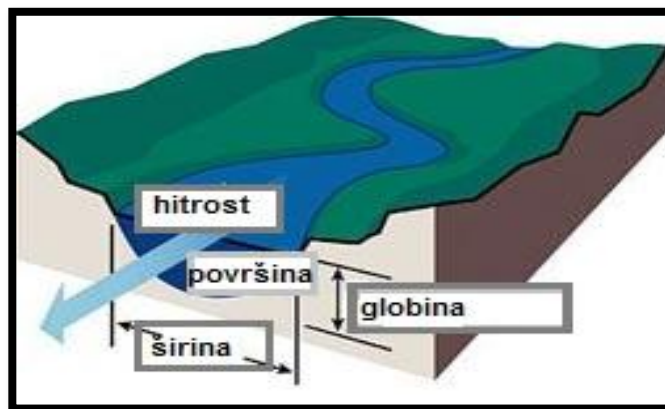
3.1 Metoda hitrost - površina

Metoda hitrost - površina temelji na osnovni enačbi za pretok (Boiten, 2000) (slika 2):

$$Q = \bar{v} \times A , \quad (2)$$

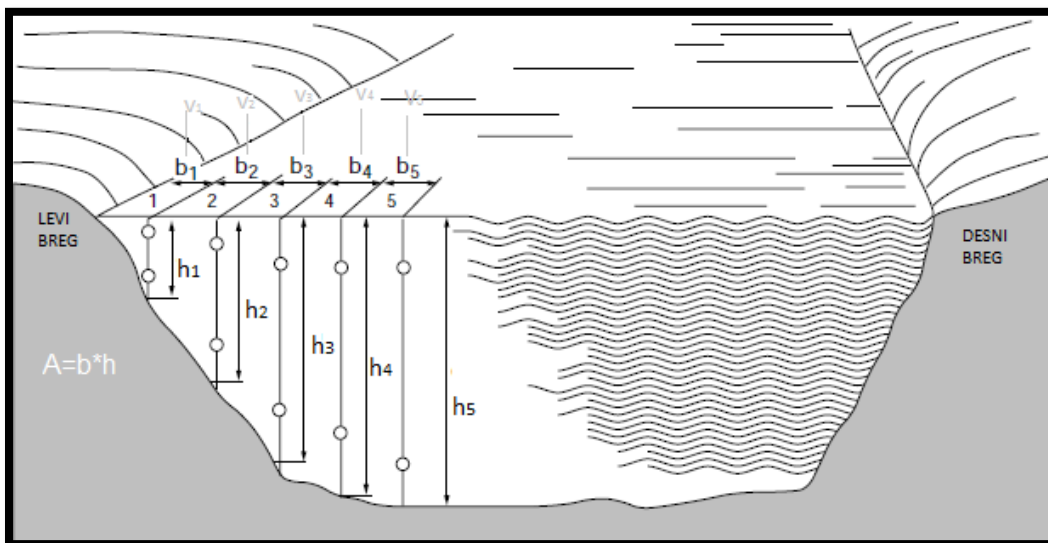
kjer je:

- Q pretok [m^3/s],
 \bar{v} povprečna hitrost [m/s] in
 A površina izbranega profila [m^2].



Slika 2: Slikovni opis osnovne enačbe za pretok (Geology happens, 2013)

Površina je določena s produktom širine in globine vode v posamezni vertikali (slika 3).



Slika 3: Prečni profil z označenimi merskimi vertikalami in pripadajočimi dimenzijami (WMO, 1994)

Preden se lotimo meritev pretoka, moramo najprej poiskati ustrezen profil, da bodo meritve reprezentativne. Območja, izbrana za meritve, naj bi imela naslednje lastnosti (Brilly in Šraj, 2005):

- hitrosti v profilu morajo biti vzporedne in pravokotne na profil,
- porazdelitev hitrosti v prečnem in vzdolžnem profilu mora biti pravilna, brez vrtincev,
- hitrost vode mora biti večja od 10 do 15 cm/s,
- dno in breg sta stabilna in pravilno oblikovana,
- voda se ne sme prelivati čez bregove in
- dno ne sme biti poraščeno.

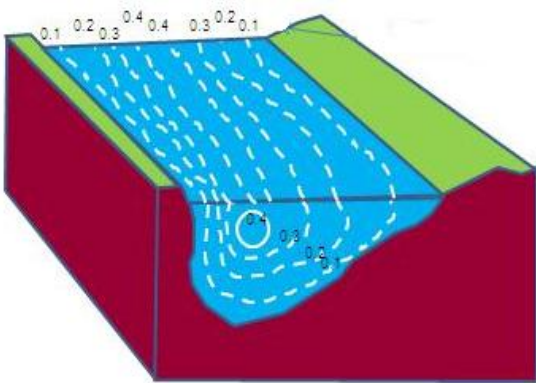
3.1.1 Izbira in izmera prereza

Točnost meritve pretoka je odvisna od števila vertikal, kjer merimo hitrost in globino. Vertikale izbiramo tako, da čimbolj opredelimo razlike v nadmorski višini v strugi in horizontalne razlike v hitrosti. Na splošno interval med dvema vertikalama ne sme biti večji od 1/20 celotne širine in pretok med dvema vertikalama ne sme biti večji od 10 % celotnega pretoka (WMO, 1994).

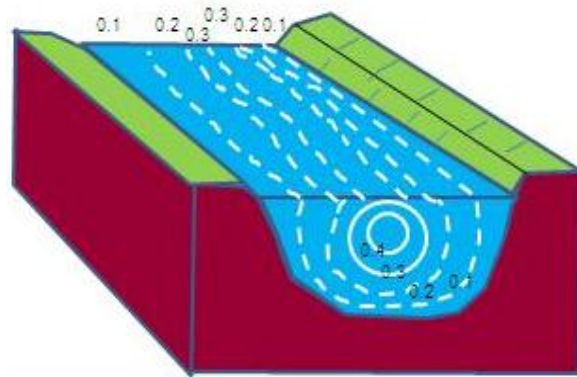
Širino struge in razdaljo med vertikalami, je potrebno izmeriti iz znane točke, ki mora biti v isti ravnini kot prečni profil. Širina se ponavadi izmeri s pomočjo merskega traku. Globina vode pa se izmeri s pomočjo graduiranih letev, ki se uporabljajo predvsem pri manjših globinah in tam, kjer so hitrosti manjše. Kadar se soočamo z večjimi globinami in z večjimi hitrostmi uporabimo utež z jekleno vrvjo (Brilly in Šraj, 2005).

3.1.2 Meritve hitrosti

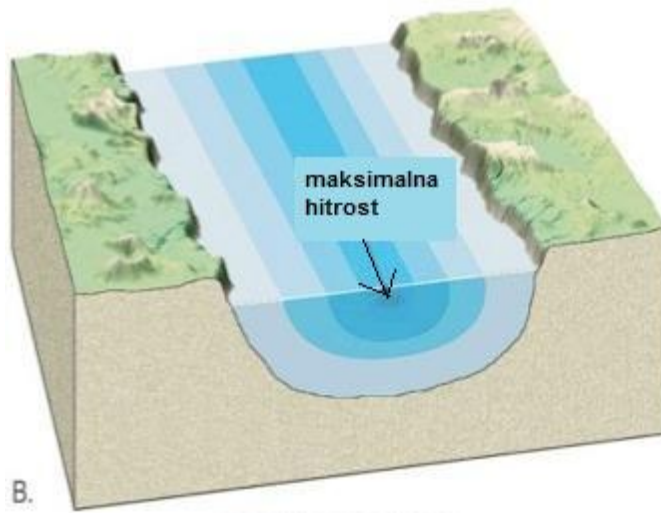
Hitrosti vode v prečnem prerezu so v vsaki točki prereza drugačne in se spreminjajo tako po višini kot po širini prereza. Črte, ki povezujejo točke z isto hitrostjo v prečnem profilu, imenujemo izotahe. Na slikah 4 in 5 sta primera simetrične in nesimetrične struge z njuno porazdelitvijo hitrosti oz. izotah.



Slika 4: Izotahe v naravni (nesimetrični) strugi (Coolgeography, 2013)

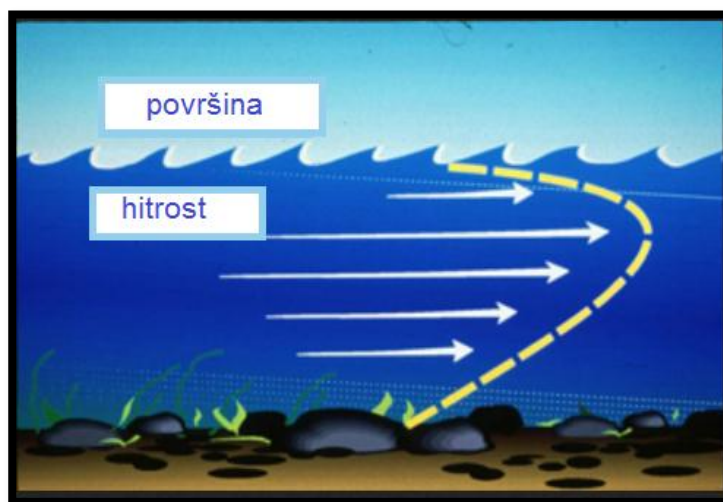


Slika 5: Izotahe v enotni strugi (Coolgeography, 2013)



Slika 6: Porazdelitev hitrosti vzdolž struge (Studyblue, 2013)

Zaradi trenja na površini in na dnu vodotoka, se največja hitrost v pravilnem koritu pojavi na globini 1/3 celotne globine, merjene od površine proti dnu (sliki 6 in 7) (Extension, 2012).



Slika 7: Porazdelitev hitrosti zaradi trenja (Extension, 2012)

Določitev povprečne hitrosti v posamezni vertikali, lahko določimo na naslednje načine (WMO, 1994):

- grafična metoda,
- metoda meritev v nekaj točkah in
- integralna metoda.

3.1.2.1 Grafična metoda

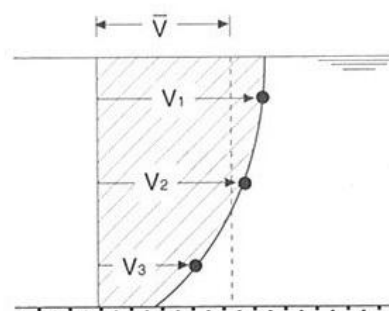
Povprečno hitrost po grafični metodi dobimo tako, da merimo hitrosti po vertikali na več globinah (slika 8). Te hitrosti prikažemo v grafični obliki in dobimo graf porazdelitve hitrosti. Nad oziroma pod zadnjo točko meritev, graf ekstrapoliramo in samo podaljšamo do črt, ki predstavljajo dno in gladino vodotoka.

Povprečna hitrost se nato določi po enačbi:

$$\bar{v} = \frac{A \times \text{horizontalna skala} \times \text{vertikalna skala}}{d}, \quad (3)$$

kjer je:

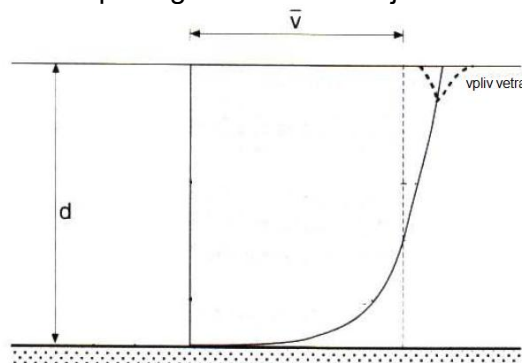
- \bar{v} povprečna hitrost [m/s],
- A obravnavano območje [cm²],
- d globina vode [m],
- horizontalna skala* (primer: 1 cm \approx 0.50 m/s),
- vertikalna skala* (primer: 1 cm \approx 1.0 m).



Slika 8: Povprečna hitrost po grafični metodi (Boiten, 2000)

3.1.2.2 Metoda meritev v nekaj točkah

V vzdolžnem prerezu toka ima profil hitrosti značilno parabolično obliko (slika 9), kar omogoča razporeditev hitrosti na podlagi meritev v nekaj točkah vertikale.

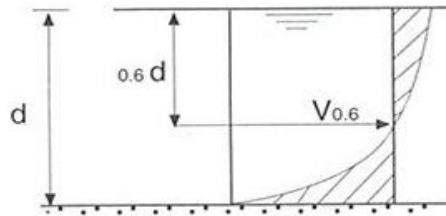


Slika 9: Profil hitrosti po vertikali (Boiten, 2000)

Število točk v vertikali izberemo na podlagi želene točnosti in globine vode (Brilly in Šraj, 2005 in WMO, 1994):

- Meritev v eni točki (slika 10) – merimo na globini $0.6 \times H$ od gladine in merjeno vrednost sprejemamo kot povprečje vertikale. To metodo uporabljamo predvsem takrat, kadar je globina vode manjša od 25 cm.

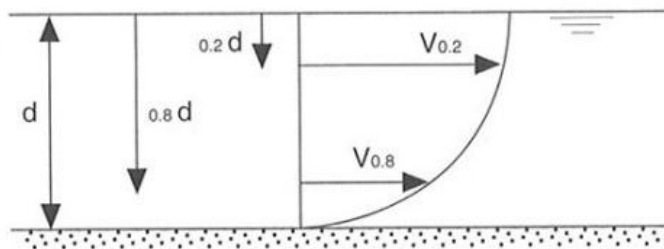
$$v_{sr} = v_{0.6} \quad (4)$$



Slika 10: Meritev v eni točki (Boiten, 2000)

- Meritev v dveh točkah (slika 11) – merimo na globinah $0.2 \times H$ in $0.8 \times H$ od gladine, kot prikazuje slika 11. Kot povprečje v vertikali sprejemamo njuno povprečje. V dveh točkah merimo ponavadi takrat, kadar je porazdelitev hitrosti normalna in globina večja od 60 cm.

$$v_{sr} = 0.5 \times (v_{0.2} + v_{0.8}) \quad (5)$$



Slika 11: Meritev v dveh točkah (Boiten, 2000)

- Meritev v treh točkah – merimo na globinah $0.2 \times H$, $0.6 \times H$ in $0.8 \times H$ od gladine. Povprečna vrednost hitrosti se izračuna po enačbi 6. Uporabljamo jo takrat, kadar je struga poraščena ali kadar se nam pojavi led.

$$v_{sr} = 0,25 \times v_{0.2} + 0,5 \times v_{0.6} + 0,25 \times v_{0.8} \quad (6)$$

- Meritev v petih točkah – merimo na površini, na globinah $0.2 \times H$, $0.6 \times H$ in $0.8 \times H$ od gladine in na dnu. Srednja vrednost hitrosti se izračuna po enačbi 7. Uporabimo jo, kadar je porazdelitev hitrosti zelo neenakomerna.

$$v_{sr} = 0.1 \times (v_{površ.} + 3 \times v_{0.2} + 3 \times v_{0.6} + 2 \times v_{0.8} + v_{dna}) \quad (7)$$

- Meritev v šestih točkah – merimo na površini, na globinah $0.2 \times H$, $0.4 \times H$, $0.6 \times H$ in $0.8 \times H$ od gladine in na dnu. Srednjo vrednost izračunamo po enačbi 8.

$$v_{sr} = 0.1 \times (v_{površ.} + 2 \times v_{0.2} + 2 \times v_{0.4} + 2 \times v_{0.6} + 2 \times v_{0.8} + v_{dna}) \quad (8)$$

3.1.2.3 Integralna metoda

Kadar želimo izvajati hitrejše in manj natančne meritve uporabljamo integralno metodo. Instrument za merjenje pomikamo enakomerno skozi celoten prerez in ugotavljamo povprečno hitrost vode. Merimo v dveh ciklih, hitrost pomikanja instrumenta, pa mora biti manjša od 5 % hitrosti vode (Boiten, 2000).

3.1.3 Določitev pretoka

Iz izmerjenih hitrosti lahko pretok določimo s pomočjo dveh osnovnih metod (WMO, 1994):

- aritmetične metode in
- grafične metode.

3.1.3.1 Aritmetična metoda

3.1.3.1.1 Metoda glavnega prereza

Prečni prerez je sestavljen iz večih odsekov. Vsak odsek je iz obeh strani omejen s sosednjima vertikalama (slika 12). Pretok se za vsak odsek posebej določi po enačbi:

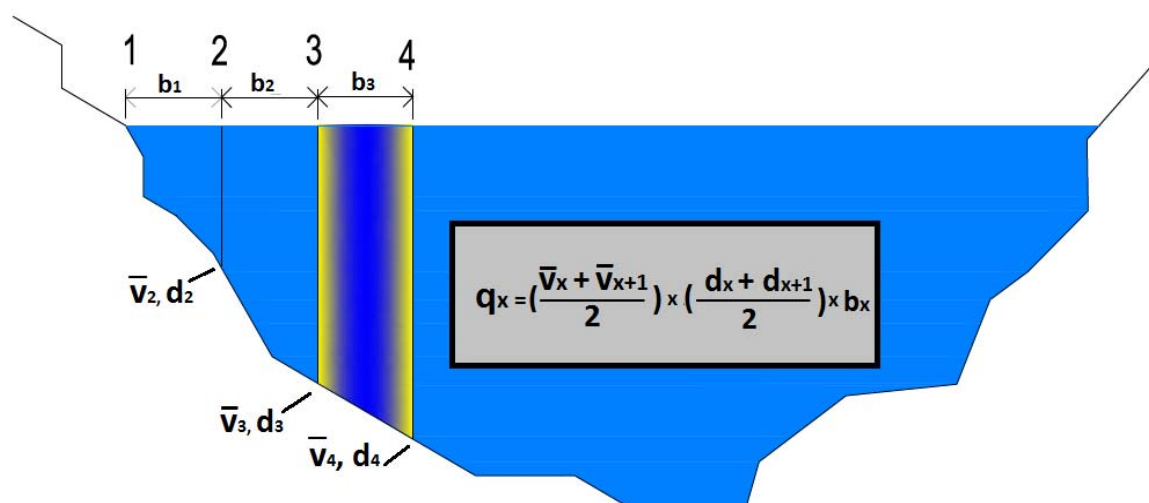
$$q = \left(\frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2} \right) \times \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \times b, \quad (9)$$

kjer je:

- q pretok v posameznem odseku [m^3/s],
- \bar{v}_1 povprečna hitrost v prvi vertikali [m/s],
- \bar{v}_2 povprečna hitrost v drugi vertikali [m/s],
- d_1 globina v prvi vertikali [m],
- d_2 globina v drugi vertikali [m] in
- b razdalja med vertikalama [m].

Pretoke, ki so na eni strani omejeni z brežino, dobimo tako, da upoštevamo na tisti strani ničelno hitrost in globino.

Celoten pretok Q dobimo tako, da seštejemo vse pretoke posameznih odsekov.



Slika 12: Metoda glavnega prereza

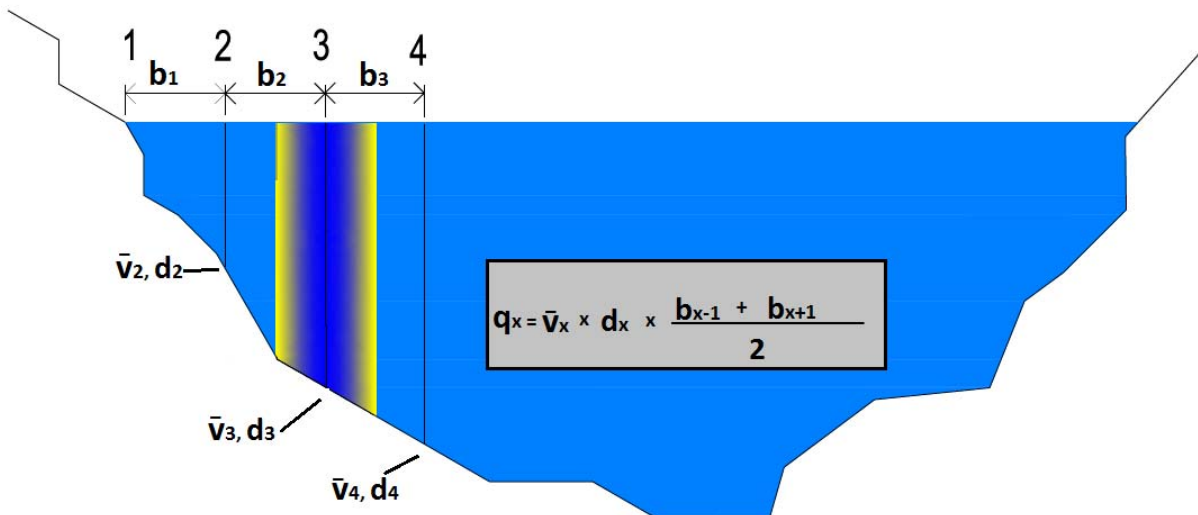
3.1.3.1.2 Metoda srednjega prereza

Po tej metodi sta povprečna hitrost in globina v vsaki vertikali pomnožena s širino vodne gladine, ki jo vzamemo kot seštevek polovične razdalje do ustrezne vertikale (slika 13). Pretok posameznega odseka je izračunan po enačbi:

$$q = \bar{v} \times d \times \left(\frac{b_1 + b_2}{2} \right), \quad (10)$$

kjer je:

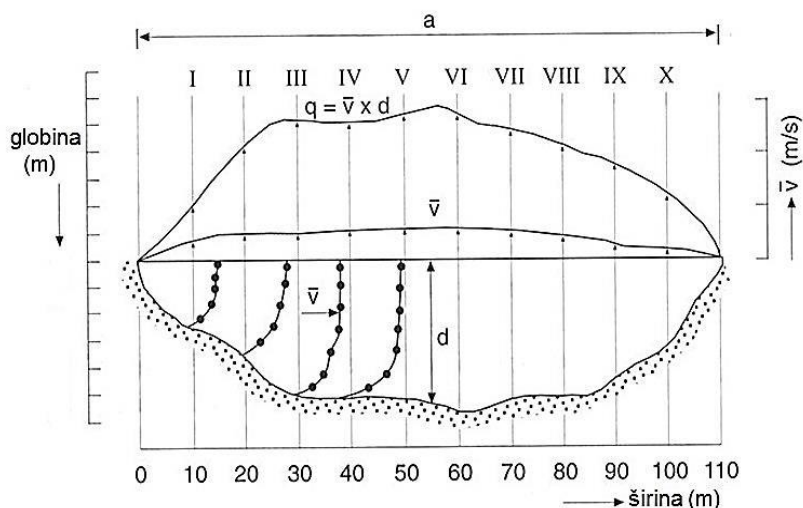
- q pretok posameznega odseka [m^3/s],
- \bar{v} povprečna hitrost v vertikali [m/s],
- d globina v vertikali [m],
- b_1 širina odseka na eni strani vertikale [m] in
- b_2 širina odseka na drugi strani vertikale [m].



Slika 13: Metoda srednjega prereza

3.1.3.2 Grafična metoda

V vsaki vertikali zrišemo krivuljo odvisnosti globine in hitrosti. To naredimo tako, da v vsaki globini opazovanja naneseemo točko s hitrostjo in te točke povežemo med seboj (slika 14). Površino nam predstavlja produkt povprečne hitrosti in globine. Tako dobimo delne pretoke vertikal (q) in te vrednosti naneseemo na graf v odvisnosti od širine struge oz. položaja vertikal. Površina tega grafa nam predstavlja celoten pretok.



Slika 14: Grafična metoda izračna pretoka (Boiten, 2000)

3.1.4 Instrumenti za merjenje hitrosti vode

Najpogostejši instrument za merjenje hitrosti vode, ki so ga uporabljali pred razvojem Dopplerjevih instrumentov, je bilo hidrometrično krilo. Krilo nam omogoča meritve hitrosti vode od 0,025 m/s do 10 m/s.

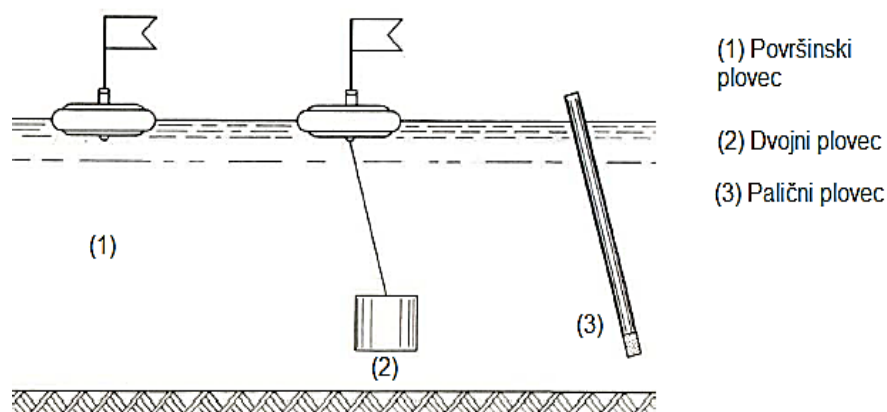
V današnjem času se za meritve hitrosti vode, vedno bolj uporabljajo avtomatski merilniki, ki delujejo na principu Dopplerjevega efekta. So natančni, hitri in enostavni za uporabo, uporabljajo pa se tako za stalne, kot za enkratne meritve (Brilly in Šraj, 2005).

3.1.4.1 Metoda s plovci

Najstarejši način merjenja hitrosti vode je s pomočjo plovcev. To metodo uporabljamo predvsem, kadar meritev s hidrometričnim krilom ni mogoča. To je predvsem, kadar imamo premajhne hitrosti. Slaba stran te metode je, da ne dobimo natančnih podatkov, ampak le podatke o površinski hitrosti in velik vpliv vetra na rezultate (Brilly in Šraj, 2005).

Izbrani odsek meritev mora biti kar se da raven in pravilnih oblik, tako da imamo čimbolj enakomeren tok. Izberemo si tri prereze, enega na začetku, drugega na sredini in tretjega na koncu odseka. Razdalja med prerezi mora biti taka, da je potovalni čas plovca vsaj 20 s. Poznamo tri oblike plovcev, ki se največ uporabljajo (slika 15) (Boiten, 2000):

- Površinski plovec, kjer je globina potopitve manjša od 10 % vodne globine in imamo velik vpliv vetra.
- Dvojni plovec, kjer je plovec povezan z vrvico na majhno utež, ki je potopljena na globini 0,6 celotne globine. S tem načinom naj bi pridobili povprečno hitrost.
- Palični plovec, kjer je globina potopitve 75 % celotne globine ali več, vendar se ne sme dodikati dna. Uporaben je le v umetnih vodotokih ali kanalih, kjer je struga pravilnih oblik in brez ovir.



Slika 15: Oblike plovcev (Herschly, 1978)

Povprečna hitrost pri metodi s površinskim in paličnim plovcem je določena z enačbo:

$$\bar{v} = k \times v_{plovca} , \quad (11)$$

kjer je:

- \bar{v} povprečna hitrost vode [m/s],
- k redukcijski faktor [1] in
- v_{plovca} hitrost plovca [m/s].

Redukcijski faktor se pri površinskem plovcu določi glede na hrapavost struge n , pri paličnem plovcu pa glede na razmerje med globino potopitve y in celotno globino d (preglednica 1).

Preglednica 1: Redukcijski faktorji površinskega in paličnega plovca (Boiten, 2000: str. 99)

Površinski plovec		Palični plovec	
n	k	y/d	k
0,029 – 0,037	0,78	0,10	0,86
0,021 – 0,028	0,84	0,25	0,88
0,017 – 0,022	0,87	0,50	0,90
0,014 – 0,019	0,89	0,75	0,94
0,012 – 0,016	0,90	0,95	0,98

3.1.4.2 Hidrometrično krilo

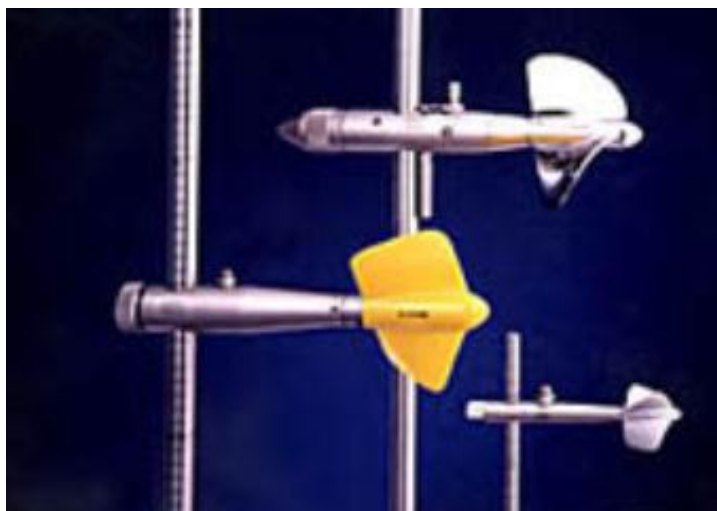
Hidrometrično krilo je instrument, ki deluje tako, da voda poganja propeler z znanim kotom krilc na horizontalni osi. Vsak obrat je v razmerju s hitrostjo vode in z nagibom krilc propelerja (Boiten, 2000). Časovni interval trajanja obratov je 30, 60 ali 100 s. Osnovna enačba po kateri določimo hitrost je:

$$v = K \times n \times \Delta , \quad (12)$$

kjer je:

- v hitrost vode [m/s],
- K kot krilc propelerja glede na horizontalno hitrost [m],
- n število obratov [1/s] in
- Δ karakteristična konstanta krila [m/s].

Za meritve hitrosti uporabljamo različna krila (slika 16). Pri večjih hitrostih, uporabimo propeler z majhnim kotom krilc in krilo obtežimo, da ga lahko spustimo v vodo. Za postavitev instrumenta na želeno vertikalno uporabljamo čoln, most ali posebne žične premostitve (Brilly in Šraj, 2005).

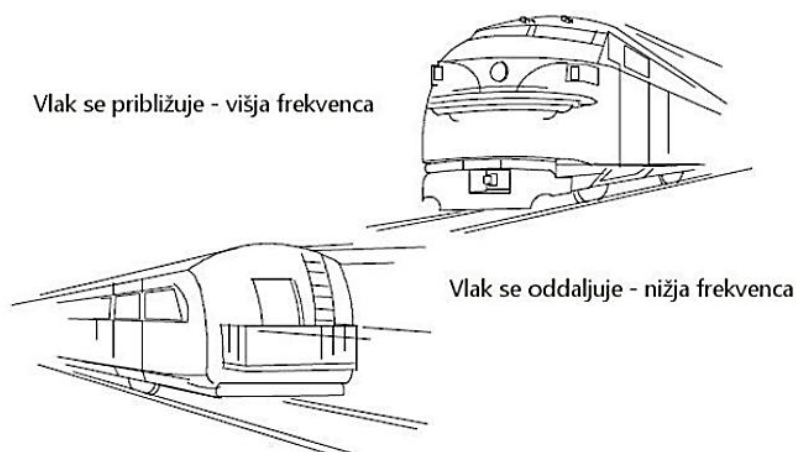


Slika 16: Različne velikosti hidrometričnih kril (Cgsplus, 2013)

3.1.4.3 Dopplerjev merilnik hitrosti

Dopplerjev merilnik hitrosti je instrument, s katerim lahko merimo hitrost vode od dna pa vse do gladine vodotoka. Temelji na principu Dopplerjevega efekta. Dopplerjev efekt je sprememba v opazovani frekvenci, ki rezultira iz relativnega gibanja. Primer Dopplerjevega efekta je zvok mimoidečega vlaka (slika 17). Kadar se nam vlak približuje je akustična frekvenca višja, in nižja, kadar se oddaljuje. Ta sprememba v frekvenci je sorazmerna s hitrostjo vlaka.

Dopplerjev pojav pri mimoidečem vlaku



Slika 17: Dopplerjev pojav (Boiten, 2000)

Dopplerjev merilnik hitrosti v bistvu meri hitrost suspendiranih delcev v vodi oziroma hitrost vode določa z merjenjem spremembe v frekvenci zvoka, ki se odbija od posameznega delca v vodi. Osnovna predpostavka je, da sta hitrosti in smeri delcev in vode enaki.

Dopplerjev princip pravi, da če se vir zvoka relativno premika glede na sprejemnik, se frekvenca zvoka, ki ga zazna sprejemnik razlikuje od dejanske frekvence, kar opisuje enačba (SonTek, 2002):

$$F_d = -F_s \times \frac{v}{c} , \quad (13)$$

kjer je:

F_d	sprememba v sprejeti frekvenci,
F_s	frekvenca oddanega zvoka,
v	relativna hitrost izvora zvoka glede na sprejemnik [m/s] in
c	hitrost zvoka v vodi ($\cong 1500$ m/s).

Če se razdalja med viroma zvoka in sprejemnikom manjša, potem se frekvenca zvoka povečuje in obratno.

3.1.4.3.1 Merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV

Opis instrumenta

Dopplerjev profilni merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV je sodoben instrument za merjenje hitrosti vode v vodotokih. Je natančen, hiter in enostaven za uporabo. Sestavljen je iz ročnega upravljalnika, ki vsebuje procesorsko elektroniko, baterije, tipkovnico, zaslon LCD in zunanji priključek, kot prikazuje slika 18.

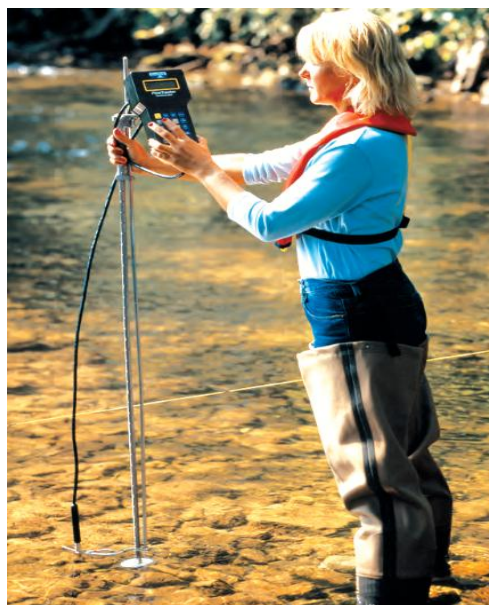
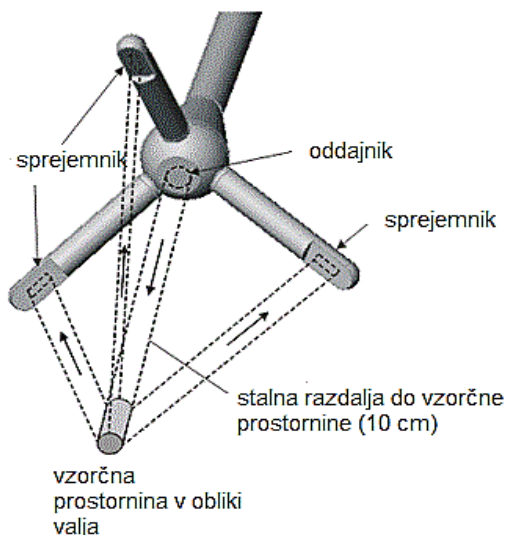


Slika 18: Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV SonTek (Hoskin, 2013)

FlowTracker Handheld ADV je zasnovan za začasne potopitve, ni pa predviden za stalno podvodno delovanje. Funkcije posameznih delov instrumenta (SonTek, 2003; Katedra za splošno hidrotehniko, 2013):

- Tipkovnica je namenjena hitremu in učinkovitemu vnašanju ukazov in merskih parametrov.
- LCD zaslon se uporablja za prikaz vnešenih merskih parametrov, izbora ukazov in izmerjenih količin.
- Zunanji priključek omogoča prenos izmerjenih podatkov z instrumenta na osebni računalnik. Med merjenjem mora biti zaščiten z gumijastim pokrovom.

- Sondni kabel je dolg 200 cm in povezuje sondo in ročni upravljalnik.
- Sonda je sestavljena iz enega oddajnika in treh sprejemnikov kratkih pulzov zvočnih valov določene frekvence ter temperaturnega senzorja. Sonda je med izvajanjem meritev pritrjena na stojalo, ki je opremljeno z merilno skalo, ki omogoča enostavno nastavitve sonde na željeno globino merjenja (slika 19).



Slika 19: Prikaz delovanja in uporabe merilnika pretočnih hitrosti FlowTrackerja ADV (SonTek, 2013)

Preglednica 2: Tehnični podatki FlowTrackerja ADV (SonTek, 2013)

Razpon merskih hitrosti	0,01 – 500 cm/s
Vzorčna prostornina	0,25 m ³
Minimalna merska globina	2 cm
Točnost meritve	± 1% merjene hitrosti
Frekvenca merjenja	10 pulzov/sekundo
Frekvenca zapisa merskih podatkov	1/s
Natančnost temperaturnega senzorja	0,1°C
Minimalni SNR	3
Čas trajanja meritve na posameznem merskem mestu	10 – 1000 s
Interni spomin	64 datotek z do 100 merilnimi mesti

Področja uporabe instrumenta FlowTracker Handheld ADV (SonTek, 2003; Katedra za splošno hidrotehniko, 2013):

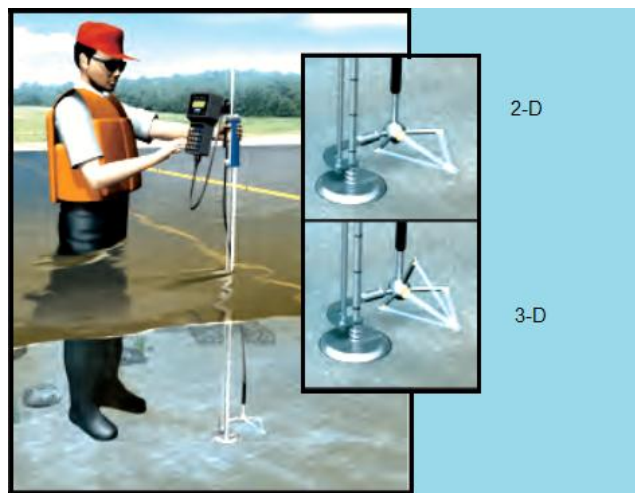
- meritve pretoka v naravnih vodotokih,
- meritve pretoka v kanalih s prosto gladino,
- meritve pretoka v velikih cevovodih,
- meritve pretoka v rudniških rovih,
- več točkovne meritve hitrosti in
- monitoring na napravah za oskrbo z vodo.

Delovanje instrumenta

Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti je bistatični instrument, kar pomeni, da se za oddajnik in sprejemnik uporabljajo ločeni zvočni elementi. Oddajnik oddaja zvok, sprejemnik pa

sprejema zaznani zvok. Zvok je koncentriran v tanek žarek. Postavitev oddajnika in sprejemnikov je taka, da se njihovi žarki sekajo v majhni prostornini vode. Ta prostornina je 10 cm oddaljena od oddajnika. Dovoljeno je odstopanje do 0,5 cm, odvisno od oddajnika. Oblika vzorčne prostornine je valj s premerom 6 mm in višino 9 mm (SonTek, 2002).

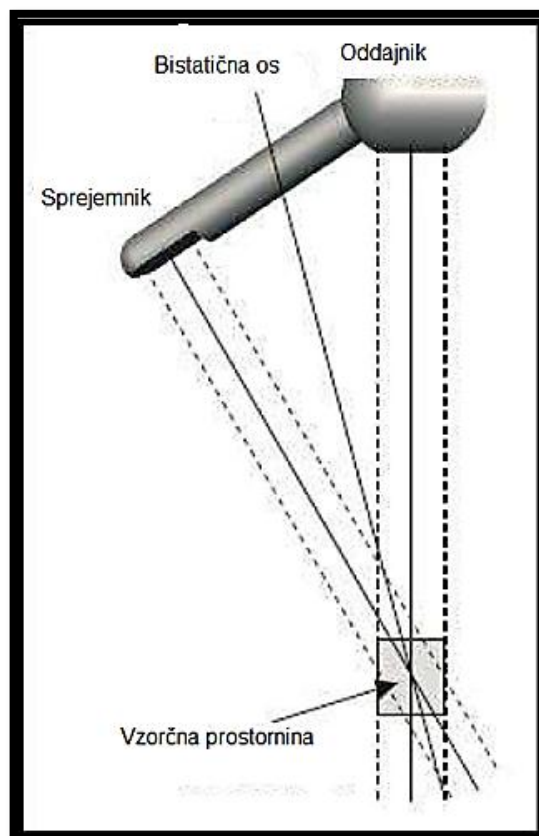
Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti lahko izmeri 2D (po x in y osi) ali 3D (po x, y in z osi) hitrosti vode (slika 20). Pričakovan pogrešek instrumenta je 1 %. Meritev posameznega vzorca traja 1 s. V tej 1 s je hitrost izmerjena kar desetkrat, in iz teh desetih je potem izračunano povprečje hitrosti, ki se shrani v instrumentu (SonTek, 2002).



Slika 20: 2-D in 3-D meritev hitrosti (SonTek, 2013)

Za določitev Dopplerjevega efekta in hitrosti vode, je pomembna hitrost zvoka, ki pa je odvisna od temperatura in slanosti vode. Če se temperatura spremeni za 5°C, potem se hitrost zvoka spremeni za 1 %, posledično pa nastane napaka pri hitrosti vode, ki je kar 2 %. FlowTracker ima senzor, ki meri temperaturo vode in ta podatek uporabljamo za avtomatsko uravnavanje sprememb hitrosti zvoka. Podatek o slanosti pa moramo vnesti sami in če ga vnesemo na 2 ‰, ne bomo imeli napak zaradi slanosti pri izmerjeni hitrosti.

Postopek merjenja z instrumentom je opisan v nadjelvanju. Oddajnik odda zvok z znano frekvenco, ki potuje vzdolž osi oddajnika do vzorčne prostornine (slika 21). Na tem mestu zvočni signal zadane suspendiran delec in signal se razprši. Nekaj oddanega pulza se odbije tudi v smeri osi sprejemnikov, ki nato ta zvočni pulz sprejmejo. Instrument glede na oddani in sprejeti signal izmeri razliko v frekvenci. Dopplerjev pojav je proporcionalen s hitrostjo suspendiranih delcev, glede na bistatično os sprejemnikov in oddajnika, katera se nahaja točno na sredini med njimi. Vsak par posebej (oddajnik/sprejemnik) meri projekcijo 3D hitrosti vode na bistatično os. To hitrost imenujemo bistatična hitrost (SonTek, 2002).



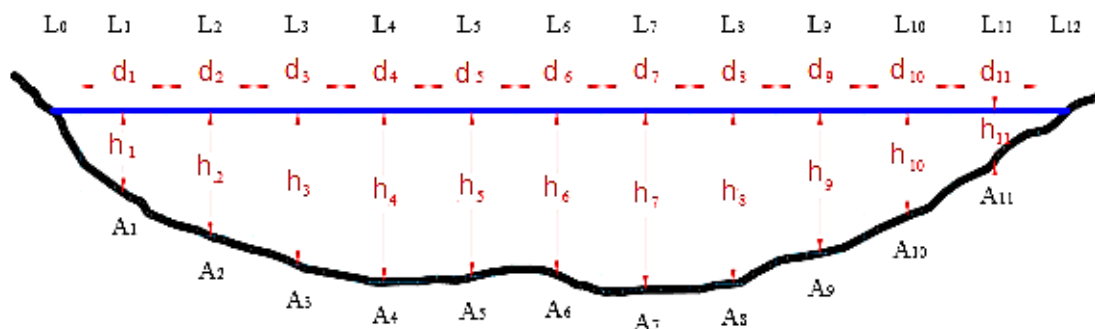
Slika 21: Bistatična os (SonTek, 2002)

FlowTracker Handeld ADV ima vgrajen poseben algoritem, ki omogoča tudi neposredni izračun pretoka na podlagi merjenih pretočnih hitrosti. Ta postopek zahteva postopen pomik čez merski profil vodotoka in merjenje hitrosti v različnih vertikalah po celem prečnem prerezu. Izračun je vezan tudi na podatke o lokaciji merilnega mesta in globini vode.

Pretočne hitrosti se lahko merijo na različnih globinah vode, kot je opisano v poglavju 3.1.2.2 (Katedra za splošno hidrotehniko, 2013). Princip izračuna pretoka je prikazan na sliki 22,

kjer je:

- L_i lokacija odseka [m],
- d_i širina odseka ($d_i = \frac{L_{i+1}-L_i}{2} + \frac{L_i-L_{i-1}}{2}$) [m],
- h_i globina vode [m],
- A_i površina odseka ($A_i = d_i \times h_i$) [m²],
- Q_i pretok odseka ($Q_i = A_i \times v_i$) [m³/s] in
- Q celotni pretok ($Q = \sum Q_i$) [m³/s].

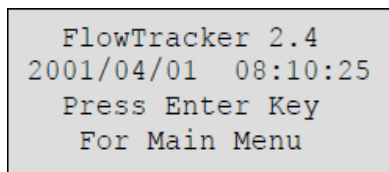
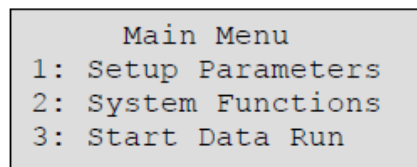


Slika 22: Princip izračuna pretoka (SonTek, 2003)

Uporaba instrumenta

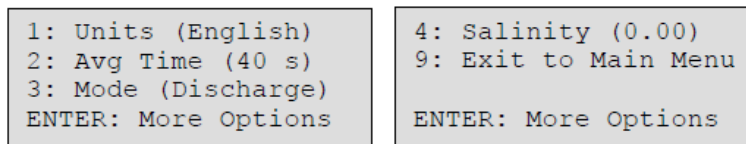
Pred začetkom uporabe instrumenta moramo najprej prezračiti ročni upravljalnik, saj je le ta popolnoma zatesnjen in pri tem lahko pride do različne temperature in tlaka v njem in zunaj njega. Posledice neprezračanja so vpliv na delovanje tipkovnice, točnost meritve in na sistemske operacije. Prezračitev omogočimo tako, da gumijasti pokrovček, ki pokriva zunanji priključek, odpremo za nekaj sekund. Po prezračitvi priključimo sondo na ročni upravljalnik s posebnim kablom. Kabel je občutljiv, zato ga zaščitimo pred nategovanjem, tresenjem, ipd. Sondo nato pritrdimo na posebno konzolo, ki je priložena. S tem omogočimo lažje in natančnejše merjenje.

Ko imamo instrument pripravljen, sledi vklop instrumenta s tipko ON/OFF (slika 23), ki jo držimo približno 1 s oziroma do takrat, ko vidimo, da se je LCD zaslon vključil. Preverimo ali sta datum in ura enaka dejanski uri in datumu (slika 24). Nato s pritiskom na tipko ENTER preidemo v glavni meni (slika 25).

Slika 23: Tipkovnica
(SonTek, 2003)Slika 24: Preverimo datum in
uro (SonTek, 2003)Slika 25: Glavni meni (SonTek,
2003)

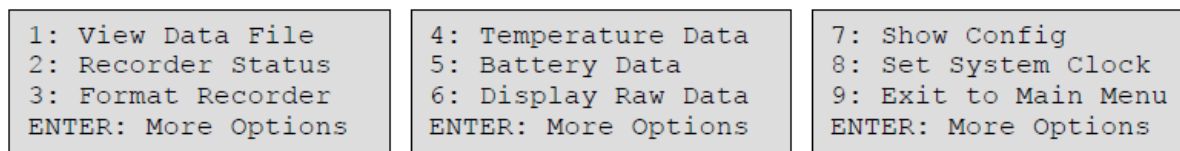
S pritiskom na tipko 1 preidemo v nastavitve naslednjih parametrov (slika 26):

- Merske enote (UNITS) – nastavimo lahko metrične ali angleške merske enote.
- Čas, v katerem se bodo pridobivali podatki (AVERAGING TIME) – nastavimo lahko na 1 s natančno. Interval pridobivanja podatkov je lahko velik od 10 do 1000 s.
- Način pridobivanja podatkov (MODE) – kadar merimo v vodotoku izberemo način DISCHARGE, drugače izberemo GENERAL.
- Slanost vode (SALINITY) – vpliva na hitrost zvoka, zato mora biti natančno določena.



Slika 26: Nastavitev parametrov (SonTek, 2003)

Po nastavitvi teh parametrov pritisnemo tipko 9, da se vrnemo v glavni meni. Nato sledi pritisek tipke 2, s katero odpremo meni sistemskih funkcij (slika 27):

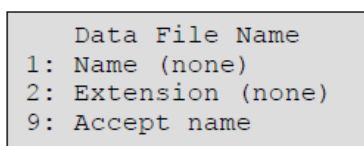


Slika 27: Funkcije sistem (SonTek, 2003)

V meniju sistemskih funkcij preverimo naslednje nastavitve in lastnosti:

- Stanje spomina – preverimo, ali imamo dovolj prostora za zapis naših podatkov.
- Temperatura – preverimo ali je približno enaka zunanji temperaturi.
- Stanje baterij – preverimo ali si baterije dovolj polne za naše meritve.
- Sistemska ura – preverimo če se ura in datum ujemata z dejansko.

Po končanem preverjanju parametrov izberemo številko 9, da se vrnemo spet nazaj v glavni meni. Tam pritisnemo številko 3. Odpre se nam okence, kjer vtipkamo ime datoteke z našimi podatki, in kjer izberemo vse nastavitve glede imena (slika 28). Sistem preveri, ali ime datoteke že obstaja, nato pa se odprejo informacije o začetnem profilu. Vnesemo višino začetnega profila in ocenjen pretok. Ti podatki nimajo nobenega vpliva na operacijo, ampak so vnešeni le zaradi dokumentacije podatkovnega niza. Nastavimo tudi podatek o začetnem robu profila, kjer bomo meritev izvajali.



Slika 28: Ime datoteke s podatki (SonTek, 2003)

Nato spet pritisnemo tipko 9, da se vrnemo v glavni meni. Sledi začetek meritev s pritiskom na tipko MEASURE. Po koncu vsake posamezne meritve se nam na zaslonu prikažejo glavni podatki meritve. To meritev lahko potrdimo ali zavržemo in ponovimo. Če imamo v vertikali, kjer merimo več kot eno meritev, potem sistem nadaljuje z naslednjo meritvijo hitrosti. Drugače nam prikaže naslednjo vertikalo. Če želimo lahko posamezno vertikalo izbrišemo in ponovimo meritev.

Po zaključku vseh meritev pritisnemo tipko END SECTION in nato tipko CALC.DISH, s katerima zaključimo izračune pretoka in zapremo datoteko. Ko je postopek končan so nam na voljo izmerjeni in vnešeni podatki, ki se prikažejo na LCD zaslonu (slika 29).

File: SITE100.002 Mode: DISCHARGE 2002/06/20 10:02:03 9=Exit or Enter=More	File: SITE100.002 TotalQ: 15.653 cfs RatedQ: 16.200 cfs 9=Exit or Enter=More
Num Stations 27 Mean V 1.43 ft/s Max V 2.21 ft/s 9=Exit or Enter=More	Width 23.0 ft Area 47.3 ft ² Max Depth 2.50 ft 9=Exit or Enter=More
Mean SNR 16.5 dB Mean σV 0.05 ft/s Boundary BEST 9=Exit or Enter=More	

Slika 29: Izmerjeni in vnešeni podatki po koncu meritve (SonTek, 2003)

Opis oziroma pomen prikazanih podatkov, je prikazan v preglednici 3.

Preglednica 3: Rezultati meritve (SonTek, 2003)

RatedQ	ocenjeni pretok	ft ³ /s	m ³ /s
TotalQ	izračunan pretok	ft ³ /s	m ³ /s
Stations	število postaj		
Mean V	povprečna hitrost	ft/s	cm/s
Max V	maksimalna hitrost	ft/s	cm/s
Width	širina	ft	m
Area	površina	ft ²	m ²
Max depth	največja globina	ft	m
MeanSNR	povprečna vrednost SNR*	dB	dB
Mean σV	povprečna standardna napaka hitrosti	ft/s	cm/s
Boundary	povprečna meja QC vrednosti*		

*SNR je merilo za jakost odbitega zvočnega signala glede na raven zunanjega hrupa FlowTrackerja

*imamo štiri možnosti: najboljše (nimamo meje, maksimalna hitrost je 3,5m/s), dobro, pošteno in revno (velike meje, maksimalna hitrost je 1,2 m/s).

Preden izklopimo instrument s pritiskom na tipko ON/OFF, ki jo držimo približno 3 s, se moramo vrniti nazaj v glavni meni, saj se nam bodo le tako podatki shranili.

3.1.4.3.2 Dopplerjev merilnik pretočnih hitrosti Starflow

Dopplerjev merilnik Starflow meri pretočne hitrosti, globino in temperaturo vode. Prikazan je na sliki 30. Uporabljamo ga za meritve hitrosti vode v kanalih, ceveh in manjših vodotokih, ne glede na kvaliteto vode. Slabost tega instrumenta je, da meri hitrost le v eni dimenziji, in sicer tisti, ki je prevladujoča, kar pa ni primerno za strme vodotoke (USBR, 2013).



Slika 30: Starflow (Act, 2011)

Tehnične značilnosti tega instrumenta so podane v preglednici 4.

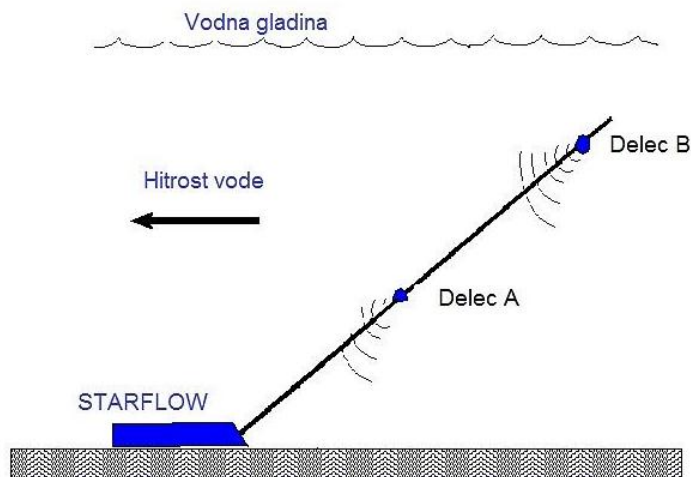
Preglednica 4: Tehnični podatki merilnika Starflow (Unidata, 2013)

Hitrost	interval meritve	od 21 mm/s do 4100 mm/s	
	natančnost	2% izmerjene hitrosti	
Globina	interval meritve	od 0 do 5 m	
	odstopanja	0-2,5 m: 2,5 mm	2,5-5 m: 5 mm
Temperatura	interval meritve	od -17 do 60°C	
	odstopanja	0,1°C	
Spomin	velikost	100 kB	
Čas	interval meritve	od 5 s do 1 teden	
Kabel	velikost	15 m	
Napajanje	Zunanja baterija 12 V		
Dimenzije	290 mm × 70 mm × 25 mm		
Teža	850 g (s kablom 2 kg)		
Material ohišja	PVC, montažna plošča iz nerjavečega jekla		

Na meritev pretočnih hitrosti s tem instrumentom vpliva hitrost potovanja zvoka, ki je posledica gostote vode, ta pa se spreminja glede na tlak, temperaturo, slanost in sestavo vsebovanih plavin. Najpomembnejši faktor je seveda temperatura, ki jo sam instrument izmeri in uporabi pri korekciji meritev pretočnih hitrosti.

Starflow je instrument, ki zelo dobro zaznava spremembe v hitrosti vode. Kljub temu, da je lahko pretok v določenem časovnem intervalu konstanten, pa se razporeditev hitrosti po merskem profilu vedno spreminja. Obstajajo tako imenovani sekundarni vodni tokovi, ki včasih potujejo z levega na desni breg, spet drugič pa potujejo od spodaj navzgor (USBR, 2004).

Instrument postavimo na dno vodotoka, kot kaže slika 31. Na podlagi hidrostatičnega tlaka, ki ga instrument izmeri na dnu vodotoka, določi globino vode. Starflow vsebuje tudi avtomatski zapisovalec podatkov, ki lahko povpreči v izbranem oziroma v nastavitvah določenem časovnem intervalu.



Slika 31: Postavitev Starflow-a (USBR, 2004)

3.1.4.3.3 Dopplerjev profilni merilnik SonTek ADP

Merilnik SonTek ADP (Acoustic Doppler Profiler) je visoko zmogljiv, natančen in zanesljiv instrument. Meri 3-D hitrost vode in je enostaven za uporabo. Je najbolj primeren instrument za merjenje večjih pretokov, predvsem je uporaben za merjenje pretoka v času poplav, v oceanografiji, ipd. (Egdb, 2006).



Slika 32: Sontek ADP (Hoskin Scientific, 2013)

Najbolj razširjen je merilnik s tremi oddajniki, kot prikazuje slika 32. Poznamo pa tudi merilnike z dvema ali s štirimi oddajniki.

Meritve ADP se lahko izvajajo na dva načina: dinamično ali statično. Pri dinamični čolniček z ADP merilnikom zvezno premikamo čez merski profil od enega proti drugemu bregu in nazaj. Instrument meri globine in hitrosti vode. Ustrezen program nato z metodo integracije hitrosti in sproti izmerjene geometrije struge, izračuna skupen pretok v profilu vodotoka.

S statičnim načinom meritev izvajamo stacionarno iz izbrane pozicije na merskem profilu. Instrument vsakih 5 s izmeri vrednosti hitrosti po vertikalnem profilu na vsakih 20 cm globine. V intervalu 40 s tako dobimo 8 hitrostnih vertikalnih profilov na merski poziciji. V turbulentnem toku dolžino meritve ponavadi podaljšamo do 2 minuti in s tem dobimo boljše povprečja oscilacij pretokov in boljše rezultate. Po končani meritvi na eni lokaciji se s

čolničkom, kjer je montiran ADP, nato premaknemo na naslednjo lokacijo. Razdalje med merskimi lokacijami morajo biti ustrezno majhne. Velja pravilo, da v enem merskem profilu izmerjen pretok ne sme biti večji od 10 % celotnega pretoka. Protokol stacionarne meritve je podoben protokolom meritve s klasičnimi propelerskimi merilci hitrosti. Ustreza ISO merskim tehnikam določanja hitrostnih polj za integriranje pretokov po metodi hitrost - površina (Vidmar in sod., 2011).

Ob večjih pretokih se pri dnu struge povečajo strižne napetosti, zato se gramozno in peščeno dno začne premikati. Standardno izvajamo meritve hitrosti tako, da se s konstantno hitrostjo začnemo premikati iz ene brežina proti drugi (dinamična meritve). To nam v osnovi ponuja ADP sistem. Za ta namen je treba sistemu izmeriti referenco, na katero se navežejo izmerjene hitrosti vode po vertikali. Zaradi premikajočega se dna je avtomatsko ob meritvi izračunan pretok vedno manjši od resničnega pretoka. Kot primer: rečno dno se premika s hitrostjo 0,2 m/s, vodna hitrost pa je 1 m/s. ADP merilec se ne premika na vodni gladini, zato izmeri vodno hitrost 0,8 m/s. Problema se znebimo z uporabo metode »Lopp«, s katero popravimo in nadomestimo pojav premikajočega se dna.

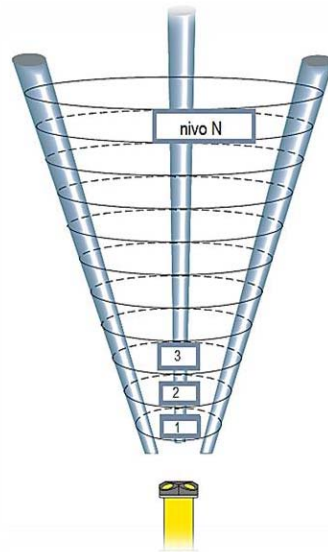
SonTek ADP uporabljamo tako, da usmerimo senzorje, ki so del glave, navzdol proti dnu vodotoka. Ti senzorji oddajajo tanke žarke signalov. Glavo lahko namestimo na ladje, čolne ali katamarane (sliki 33 in 34). Instrument hitrosti meri v različnih nivojih, kot je prikazano na sliki 35.



Slika 33: Katamaran z instrumentom SonTek ADP (Sontek, 2013)



Slika 34: SonTek ADP pritjen na ladjo (USGS, 2013)



Slika 35: Nivoji meritve hitrosti z merilnikom SonTek ADP (Sontek, 2013)

3.2 Metoda naklon - površina

Metoda naklon - površina je najpogosteje uporabljena oblika posrednega merjenja pretoka. Najpogosteje uporabljamo to metodo pri določitvi konice pretoka med poplavo (Boiten, 2000). Uporablja se predvsem kadar metoda hitrost - površina ni mogoča. Takšna situacija se največkrat pojavi v času poplav, saj poplave vsebujejo veliko plavajočih snovi in delcev, ki onemogočijo delovanje instrumentov in opreme. Do uporabe te metode včasih pride tudi zaradi nerazpoložljivosti sredstev in opreme. Metoda naklon - površina nam omogoča grobo oceno določitve pretoka, kjer uporabljamo Manningovo in Chézyjevo enačbo (Chaskar, 2013).

Največkrat uporabljamo Manningovo enačbo:

$$Q = \frac{1}{n_G} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times S, \quad (14)$$

kjer je:

- Q pretok [m^3/s],
- n_G Manningov koeficient hrapavosti [$\text{m}^{-1/3} \times \text{s}$],
- R hidravlični radij [m],
- I padec dna struge [l] in
- S površina prečnega prereza [m^2].

Primeren način za določanje Manningovega koeficienta n_G je leta 1972 podal W. H. Shen. Določanje poteka po osnovni enačbi, ki zajema celo vrsto vplivov na določitev n_G (preglednica 5) (Steinman, 2010):

$$n_G = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m. \quad (15)$$

Preglednica 5: Določitev parametrov za izračun n_G (Steinman, 2010: str. 150)

vpliv	Stanje korita	Vrednosti parametrov	
Material, ki	zemlja		0.020
	izkop v skali		0.025

sestavlja korito	fini gramoz	n_0	0.024
	grobi gramoz		0.028
Stopnja hrapavosti območnega oboda	zablateno korito	n_1	0.000
	majhna		0.005
	srednja		0.010
	velika		0.020
neprizmatičnost	postopna	n_2	0.000
	občasna		0.005
	pogosta		0.010-0.015
Relativni vpliv ovir v koritu	zanemarljiv	n_3	0.000
	majhen		0.010-0.015
	znaten		0.020-0.030
	velika		0.040-0.060
Zaraslost z vegetacijo	nizka	n_4	0.005-0.010
	srednja		0.010-0.025
	visoka		0.025-0.050
	ekstremna		0.050-0.100
Stopnja meandriranja	majhna	m	1.00
	srednja		1.15
	velika		1.30

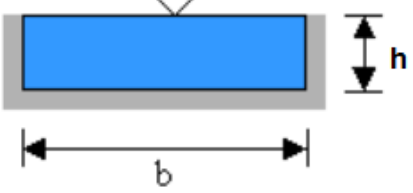
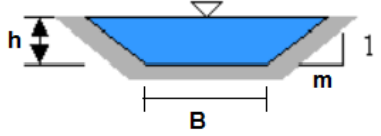
Hidravlični radij predstavlja razmerje med omočenim obodom preseza in površino prečnega preseza (enačba 16):

$$R = \frac{S}{P}, \quad (16)$$

kjer je:

S površina prečnega preseza [m^2] in
 P omočeni obod preseza [m].

Preglednica 6: Izračun hidravličnega radija za pravokotni in trapezni prečni prerez

<p>pravokotni prerez</p> 	$S = b \times h$ $P = b + 2 \times h$ $R = \frac{S}{P}$
<p>trapezni prerez</p> 	$S = B \times h + m \times h^2$ $P = B + 2 \times h \times \sqrt{1 + m^2}$ $R = \frac{S}{P}$

Chézyjeva enačba se uporablja kot alternativa Manningovi.

$$Q = C \times R^{\frac{1}{2}} \times I^{\frac{1}{2}} \times S, \quad (17)$$

kjer je:

Q	pretok [m^3/s],
C	Chézyjev koeficient [$\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$],
R	hidravlični radij, ki ga določimo z enačbo $R = \frac{S}{P}$ [m],
P	omočeni obod prereza [m],
I	padec dna struge [‰] in
S	površina prečnega prereza [m].

Chézyjev koeficient hrapavosti se določi po enačbi:

$$C = 18 \times \log \frac{12R}{k}. \quad (18)$$

3.3 Metoda razredčenja

Ta metoda se uporablja za hudourniške vodotoke z močno nepravilnim dnom korita in s turbulentnim vodnim tokom. To, da je tok turbulenten nam pove Reynoldsovo število, ki ga določimo po enačbi (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}, \quad (19)$$

kjer je:

Re	Reynoldsovo število [–],
v	hitrost toka [m/s],
D	globina vode [m] in
ν	viskozoznost [m^2/s].

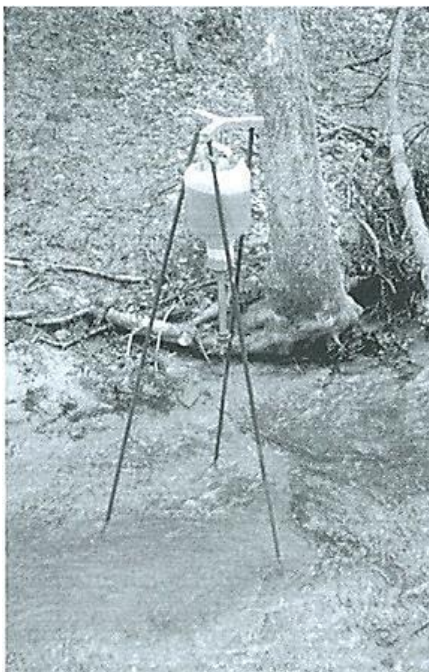
Vrednosti Reynoldsovega števila nam določajo:

- laminarni tok: $Re < 400$,
- prehodni tok: $400 < Re < 800$,
- turbulentni tok: $Re > 800$ – to je primer najbolj pogostega toka v naravi.

Metoda je uporabna tudi za močno zaraščene vodotoke in tam, kjer meritve s hidrometričnim krilom niso mogoče.

Pri tej metodi se v merjeni pretok injicira umetno sledilo. Princip temelji na dejstvu, da se pri večjem pretoku umetno sledilo bolj razredči, kot pri manjšem. Uporabljata se dve metodi injiciranja sledila (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

- metoda konstantnega (trajnega) injiciranja (slika 36), kjer se za sledilo uporablja Na-fluoresein oz. uranin



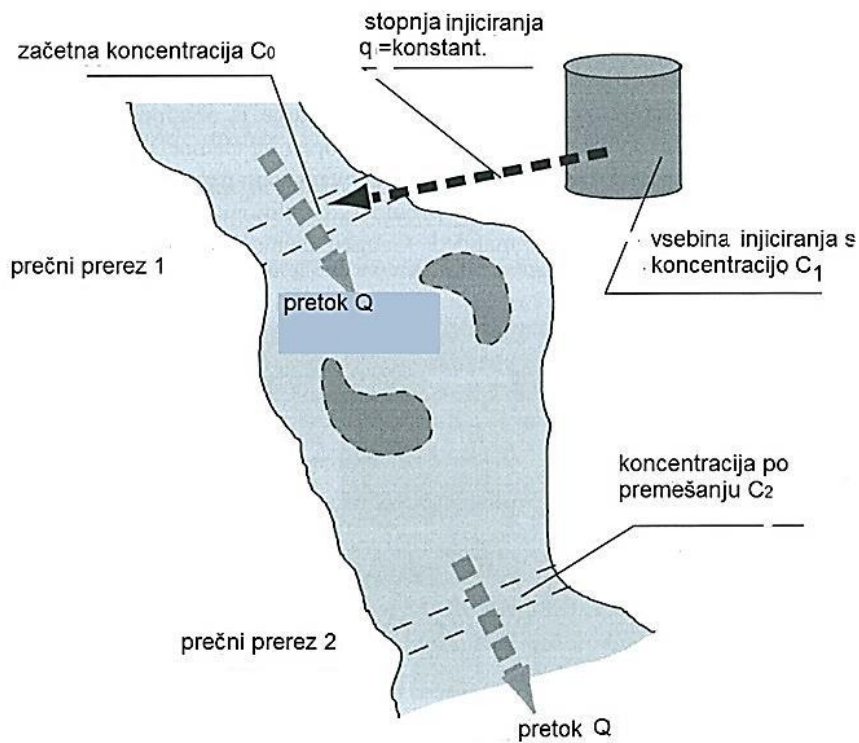
Slika 36: Konstantno injiciranje sledila pri metodi razredčenja (Musy in Higy, 2011)

- metoda trenutnega injiciranja (integracijska metoda), kjer je sledilo navadna kuhinjska sol oz. NaCl. Metoda je podrobneje opisana v podpoglavju 3.3.4.2.

Kot je že omenjeno se pri integracijski metodi v vodotok vlije določena količina sledila znane koncentracije. Na razdalji, dolvodno od mesta injiciranja, kjer je sledilo v vodotoku že popolnoma premešano, se v fiksni merski točki v čim krajših časovnih intervalih določa koncentracija v vodotoku razredčene sledilne raztopine (slika 37). Pogoji, ki jih moramo upoštevati pri tej metodi so (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

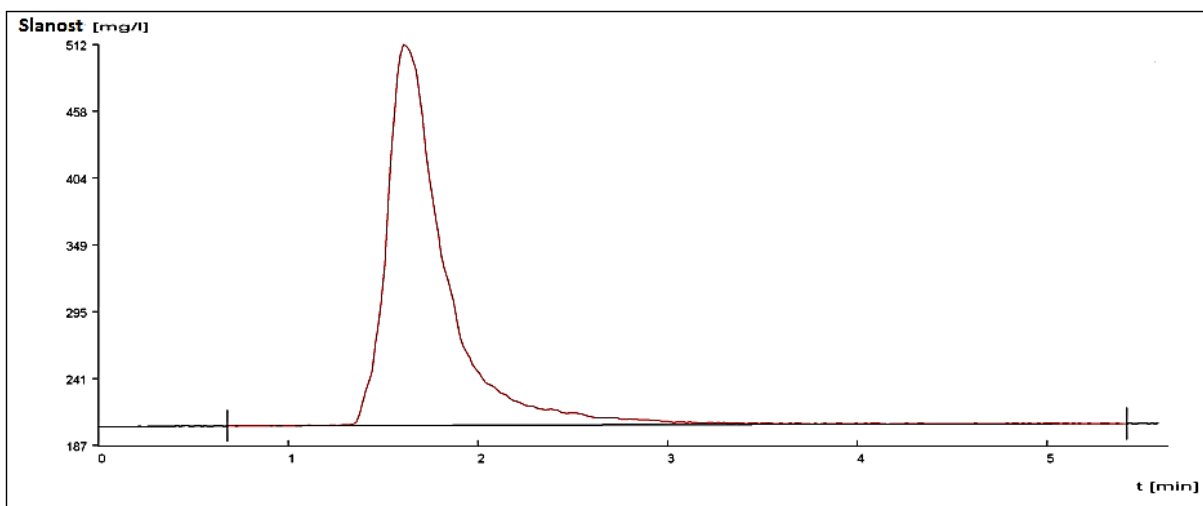
- pretok tekom meritve mora biti konstanten,
- skozi merski profil mora teči celotna količina sledilne raztopine in
- sledilna raztopina mora biti popolnoma premešana, tako da je zagotovljeno, da skozi vsako točko merskega profila preteče enaka količina sledila.

Princip merjenja pretoka po metodi razredčenja je prikazan na sliki 37.



Slika 37: Princip injiciranja sledila pri metodi razredčenja (Musy in Higy, 2011)

Rezultat meritve pri metodi razredčenja (meritve s Flo-tracerjem) je diagram, ki prikazuje časovno spreminjanje koncentracije sledila v merski točki. Pretok je tako ploščina, ki jo graf oklepa z x osjo (slika 38). Ker je potek sledila krivulja, izračunamo pretok s pomočjo integracije.

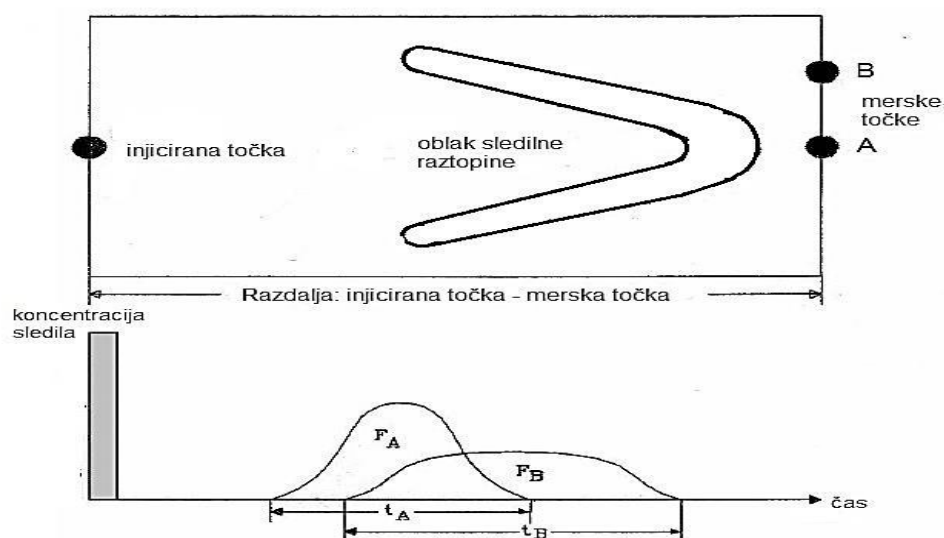


Slika 38: Rezultat meritve pri metodi razredčenja

Vsebnost oziroma koncentracijo soli v vodi se enostavno in točno ugotavlja s konduktometri za meritve elektroprevodnosti vode. Podatki o časovnem poteku koncentracije sledila, se beležijo neposredno preko potopljene sonde, ki je s kablom povezana z ročnim merilnikom, kjer se podatki shranjujejo. Upoštevati pa moramo, da je vsaka voda v naravi že do neke mere mineralizirana. To pomeni, da ima že neko stopnjo elektroprevodnosti. Ta vrednost mora biti pri računu pretoka upoštevana in iz njega izločena. Za to vrednost se upoštevajo

podatki o elektroprevodnosti, ki se beležijo na začetku in na koncu meritve, še preden v merski profil priteče oblak sledila oziroma, ko sledilo že odteče (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999).

Pri integracijski metodi merjenja pretoka merimo v eni točki v profilu časovni potek koncentracije sledila. Ker upoštevamo pogoj, da je sledilo popolnoma premešano velja, da v vsaki točki merskega profila preteče enaka količina sledila, s tem da je časovni potek koncentracije različen glede na razporeditev hitrosti. To nam prikazuje slika 39. V matici, kjer so hitrosti velike, je pretok sledila hiter in z visokimi koncentracijami, v točkah z nižjimi hitrostmi pa sledilna raztopina potuje dalj časa in z nižjo koncentracijo.



Slika 39: Potovanje oblaka sledla (Flow-tronic, 2003)

Enačba za izračun pretoka je (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

$$Q = \frac{M}{C \times t} = \frac{M}{F}, \quad (20)$$

kjer je:

- Q pretok [l/s],
- M količina injiciranega sledila [g],
- C izmerjena koncentracija sledila [g/l],
- t čas [s] in
- F površina diagrama poteka koncentracije sledila skozi mersko točko $\left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \times \text{s}\right]$.

Enačba bi veljala, v kolikor bi bil graf časovnega poteka koncentracij sledila pravokotnik. Ker moramo izračunati površino F pod krivuljo časovnega poteka koncentracij, moramo enačbo še integrirati:

$$Q = \frac{M}{\int_t c(t) dt} \left[\frac{\text{g}}{\frac{\text{g} \times \text{s}}{\text{l}}} = \frac{\text{l}}{\text{s}} \right]. \quad (21)$$

V tej enačbi še nismo upoštevali umeritvenega koeficienta e , ki ga ponazarja naklon umeritvene premice:

$$\tan \alpha = \frac{C}{EP} = e, \quad (22)$$

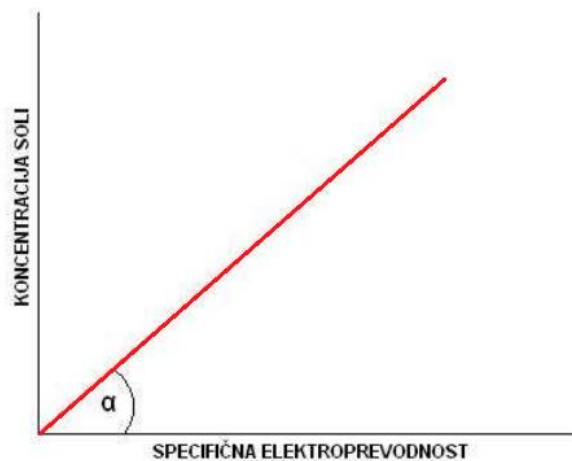
kjer je:

$$e \quad \text{umeritveni koeficient} \left[\frac{\frac{mg}{l}}{\frac{\mu S}{cm}} \right],$$

$$EP \quad \text{specifična elektroprevodnost vode} [\mu S/cm] \text{ in}$$

$$C \quad \text{izmerjena koncentracija sedila} [g/l].$$

Umeritveni koeficient omogoča pretvorbo podatkov o elektroprevodnosti v podatke o koncentraciji sledilne raztopine. Princip določanja umeritvenega koeficienta je tak da, znani količini vode postopoma dodajamo določeno količino raztopine soli v znani koncentraciji. Vsakič se tako nastali raztopini izmeri vrednost elektroprevodnosti. Iz teh podatkov konstruiramo umeritveno premico v diagramu koncentracija – elektroprevodnost (graf 1). Naklon te premice predstavlja umeritveni koeficient.



Graf 1: Diagram odvisnosti koncentracije in elektroprevodnosti z umeritveno premico razmerja C/EP (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999)

Kadar upoštevamo pri izračunu pretoka tudi vrednost bazne elektroprevodnosti **BEP**, je enačba za določitev koncentracije sledeča (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

$$C(t) = e \times (EP(T) - BEP(t)) \quad (23)$$

oziroma enačba za izračun pretoka:

$$Q = \frac{M}{e \times \int_0^t (EP(T) - BEP(t)) dt} \left[\frac{mg}{\frac{\mu S}{cm} \times \left(\frac{\mu S}{cm}\right) \times S} = \frac{l}{s} \right]. \quad (24)$$

Popolna enačba za izračun pretoka, upošteva kot **BEP** podatek o **EP** na začetku in na koncu meritve:

$$Q = \frac{M}{e \times \left(\sum_{i=1}^n EP(i) - n \times \frac{EP(\text{začetek}) + EP(\text{konec})}{2} \right) \times \Delta t} \quad (25)$$

kjer je:

Q	pretok [l/s],
M	količina injiciranega sledila [mg],
e	umeritveni koeficient [$\frac{\text{mg}}{\frac{1}{\mu\text{S}} \cdot \text{cm}}$],
n	število opravljenih meritev [/],
i	tekoči indeks zaporednja podatkov,
Δt	čas trajanja časovnega intervala med vsako meritvijo [s],
$EP(i)$	el. prevodnost i-tega podatka [$\mu\text{S}/\text{cm}$],
$EP(\text{začetek})$	el. prevodnost v prvi minuti meritve [$\mu\text{S}/\text{cm}$] in
$EP(\text{konec})$	el. prevodnost v zadnji minuti meritve [$\mu\text{S}/\text{cm}$].

3.3.1 Priprava in izbira sledila

Lastnosti sledila (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999):

- sledilo ne sme biti strupeno,
- sledilo mora biti topno v vodi pri normalni temperaturi,
- sledilo ne sme obstajati kot naraven del vodotoka, razen v minimalnih količinah in
- sledilo ne sme reagirati z naravnimi elementi in vodo.

Najpogosteje uporabljeno sledilo je kuhinjska sol zaradi svoje široke dostopnosti, ugodne cene, dobre topnosti (do 350 g/l), pušča majhne posledice na floro in favno, enostavno odmerjanje, ipd. Uporabljena sol mora biti stehtana na 1 % natančno. Količina uporabljene soli je odvisna od turbulence toka in od širine in dolžine odseka, kjer bomo meritve izvajali. Odvisna pa je tudi od bazne vrednosti elektroprevodnosti in izkušenj izvajalca meritev. Količina injiciranja soli mora povzročiti dvig elektroprevodnosti v vodi vsaj za 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Potrebno količino soli se določi na osnovi ocene pretoka v profilu. Običajno se uporabi od 2 do 12 g soli na liter/sekundo pretoka (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999).

3.3.2 Izbira profila meritve

Od tega, kje bomo sledilo injicirali je odvisna tudi točnost meritve. Najboljši primeri so odseki s turbulentnim tokom, saj se tam sol najboljše premeša. Nasprotno se je potrebno izogibati predelom s stoječo vodo, saj so tam možne izgube in zastoji sledila. Razdalja med injicirano in mersko točko se lahko določi tudi kot 20 – 50 -kratna srednja širina profila oziroma kot 100 -kratnik najožjega profila. Zožitve, zavoji in stopnje nam pripomorejo k premešanju sledila.

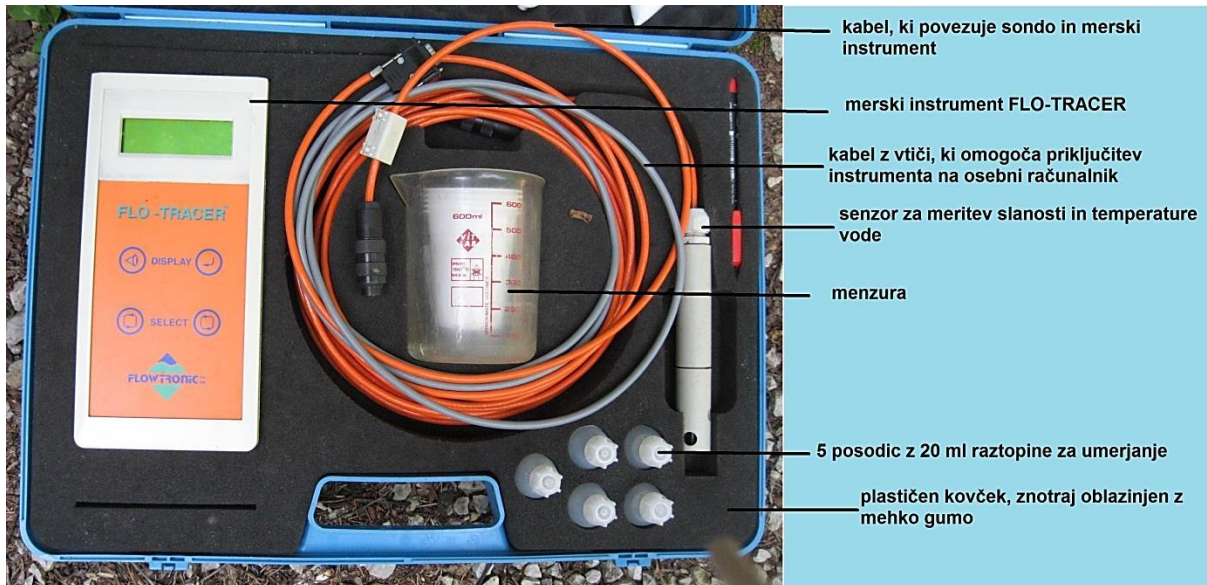
Merska sonda se v praksi največkrat vstavi v območje matice z največjimi hitrostmi. Sonda mora biti popolnoma potopljena v vodo, lahko jo obtežimo s kamnom na dno struge (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999).

3.3.3 Injiciranje soli

Sol med mešanjem v nekaj litrih vode raztopimo v PVC vedru. Raztopino v trenutku vlijemo v vodotok, in takoj za tem vedro tudi izplaknemo. V merski točki se beleži celoten časovni potek koncentracije sledilne raztopine (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999).

3.3.4 Merilnik pretoka Flo-tracer

Instrument Flo-tracer je komercialno ime za instrument, ki meri pretok vode po metodi razredčenja (slika 40). Dejansko je merilnik elektroprevodnosti vode, z uporabo metode razredčenja pa je mogoče iz meritev elektroprevodnosti posredno izračunati pretok vode.



Slika 40: Merilnik Flo-tracer

Je zanesljivo mersko orodje in obenem tudi podatkovni registrator, ki ima dolgo življensko dobo in potrebuje le minimalno vzdrževanje. Je instrument z visoko natančnostjo (preglednica 7) (Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999).

Preglednica 7: Tehnični podatki instrumenta Flo-tracer (Flo-tronic, 1999)

TEHNIČNI PODATKI	
PARAMETER	ENOTA
Napajanja	4 alkalne baterije 1.5 V
Trajanje baterij	30 ur pri normalnih pogojih obratovanja
Razpon meritev slanosti	0-2000 mg/l, z adapterjem do 5000 mg/l
Občutljivost	0.1 mg/l
Natančnost	$\pm 1\%$ maks
Količnik: elektroprevodnost/slanost ($\mu\text{S}/(\text{mg}/\text{l})$)	1.780
Razpon meritev temperatur	0-40°C
Natančnost temperaturnih meritev	$\pm 0.2^\circ\text{C}$

3.3.4.1 Umerjanje instrumenta

Sam instrument nas vodi skozi celoten postopek umerjanja. Pred začetkom umerjanja pa moramo izvesti določene predpriprave. Najprej pripravimo izmerjeno količino navadne vode kot začetni testni vzorec in nekaj kalibracijskih solnih raztopin enakih količin v znani koncentraciji. Raztopine morajo biti pripravljene s soljo, ki jo bomo kasneje tudi uporabili in z dvakrat destilirano čisto vodo z elektroprevodnostjo $1 \mu\text{S}/\text{cm}$. Kalibracijske raztopine eno za drugo dodajamo začetnemu testnemu vzorcu navadne vode. Po vsakem dodajanju imamo na voljo dva nova podatka. To sta podatek o koncentraciji dodane raztopine in izmerjena vrednost elektroprevodnosti tako nastale raztopine. Vsak par podatkov se vnaša v diagram. Iz množice dobljenih točk se po principu najmanjših kvadratov in z računom linearne regresije določi umeritvena premica. Iz umeritvene premice nato določimo umeritveni koeficient e . Običajna vrednost koeficienta se giblje med 0.4 in $0.6 \frac{\text{mg}}{\mu\text{S}} \frac{\text{l}}{\text{cm}}$ in je odvisna od kvalitete soli. Za vsako uporabljeno vrsto sledila oziroma soli ga ponovno določimo, kadar pa

uporabljamo isto raztopino, pa zadostuje če instrument umerimo na vsakih 20 meritev (Flo-tronic, 2003)

3.3.4.2 Izvedba meritve

Instrument vklopimo s pritiskom na tipko »<<« in po dveh sekundah se nam na ekranu prikaže ime instrumenta. Dve sekundi po napisu »FLO-TRACER« se nam prikaže glavi meni, kjer so nam na voljo štiri možnosti (Flo-tronic, 2003):

- ACQUISITION način: vnos podatkov za mersko mesto in začetek meritve na izbranem merskem profilu.
- CALIBRATION način: umerimo sondo zaradi morebitnih odstopanj pri meritvah slanosti. Umerjanje je opisano pod točko 3.3.4.1.
- MULTIMETRE način, kjer merimo kakovost vode. Instrument konstantno meri temperaturo, slanost in elektroprevodnost vode. Umeritveni koeficient je tovarniško definiran.
- END način: izklop aparata.

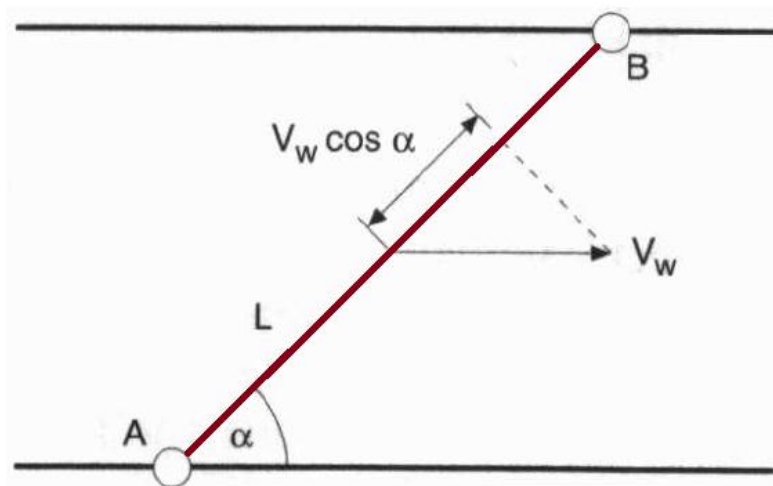
Za merjenje pretoka izberemo način ACQUISITION. Vnesti moramo ustrezne parametre (Flo-tronic, 2003):

- Izbira merskega profila. V primeru, ko so na merskem profilu že bile opravljene meritve, se bo na zaslonu prikazala vrednost te meritve oziroma pretok v l/s. Če se prikaže »?«, pomeni, da meritev ni bila popolna. Če izberemo merski profil, na katerem so že bile izvedene meritve, se stari podatki prepisejo z novimi.
- Izbira intervala meritev. Izbira intervala 1, 2, 4, 8, 16 ali 32 sekund je odvisna od pričakovanega časa v katerem bo oblak sledila odtekel skozi merski profil. Velikost spomina je 995 meritev. Interval meritev je potrebno prilagoditi glede na značilnosti vodotoka. V hitrem in turbulentnem toku se voda hitro premeša in zato se tudi sledilo hitro prenaša, kar omogoča krajše intervale meritev in injiciranje sledila na manjši razdalji od merskega profila. Tam, kjer imamo velike pretoke, je potrebno sledilo injicirati daleč nad merskim profilom, in tako je tudi čas prehoda sledila skozi mersko točko daljši. V tem primeru je tudi interval meritve daljši.
- Izbira opisa vremenskih pogojev – le ta ne vpliva na meritve. Na voljo imamo izbire: sončno, lepo in vroče, lepo in hladno, oblačno, pretežno oblačno, deževno, močan dež, nevihta, dež in veter, dež in sneg, sneg, zmrzal.
- Vnos vodostaja – ne vpliva na meritve. S tem vnosom je omogočena korelacija med pretokom in vodostajem.
- Količina injicirane soli.
- Oddaljenost točke injiciranja od merskega profila je odvisna predvsem od narave vodotoka oziroma razdalje na kateri se oblak soli enakomerno porazdeli po celotni širini vodotoka. V turbulentnem toku je mešanje in redčenje hitrejše, zato naj bo mesto injiciranja bližje merski točki.

Pred začetkom meritve je potrebno prilagoditi temperaturo sonde temperaturi vode.

3.4 Akustična metoda

Načelo akustične metode je meritev pretoka na določeni globini vodotoka z oddajanjem zvočnih pulzov skozi vodo iz ene brežine na drugo. Na obeh brežinah sta nameščena pretvornika, ki pulze oddajata in sprejemata. Nameščena sta pod vodno gladino na določeni globini, in sta nameščena tako, da ustvarjata neko merilno diagonalo, kot je prikazano na sliki 41. Pulzi imajo obojestransko lastnost, to pomeni, da potujejo v obe smeri (Boiten, 2000).



Slika 41: Princip akustične metode (Boiten, 2000)

Če nimamo pretoka, je čas potovanja od A do B enak času potovanja od B do A. Čas potovanja pulza dobimo po enačbi:

$$t_1 = t_2 = \frac{L}{C}, \quad (26)$$

kjer je:

- t_1 čas potovanja od A do B [s],
- t_2 čas potovanja od B do A [s],
- L razdalja med točkama [m] in
- C hitrost zvoka v vodi [m/s].

Vendar pa se v praksi s tem primerom ne srečujemo. Namreč v vodotoku imamo pretok, in takrat je signal t_1 pospešen, t_2 pa upočasnjen. V tem primeru dobimo čas potovanja enačbah:

$$t_1 = \frac{L}{C + v_W \times \cos \alpha} \quad (27)$$

in

$$t_2 = \frac{L}{C - v_W \times \cos \alpha}, \quad (28)$$

kjer je:

- v_W vektor hitrosti vode,
- α kot med vektorjem in daljico med A in B [°].

Iz razlike časov v potovanju signala v obeh smereh, dobimo hitrost vode po spodnji enačbi:

$$v_W = \frac{L}{2 \times \cos \alpha} \times \left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} \right). \quad (29)$$

Končno hitrost dobimo, ko vektor hitrosti vode pomnožimo s korekcijskim faktorjem K . Torej, dobimo enačbo:

$$v = v_W \times K. \quad (30)$$

Vrednost korekcijskega faktorja je med 0.9 in 1.1, odvisen pa je od globine vode, hrapavosti dna vodotoka in oblike prečnega prereza (Boiten, 2000).

3.5 Elektro - magnetna metoda

Elektro – magnetna metoda je sodobna metoda za merjenje pretoka v vodotokih. Princip delovanja je sledeč: gibanje oziroma tok vode seka magnetno polje, v navpični smeri, ki ga ustvarja velika magnetna tuljava, zakopana pod rečnim dnom, skozi katero teče električni tok. V vodo se inducirajo elektromagnetni signali. Pulze merimo z elektrodami, ki so postavljene na obeh straneh vodotoka. Ta majhna vrednost je neposredno sorazmerna s povprečno hitrostjo toka v prečnem prerezu (Boiten, 2000).

Faradejev zakon o elektro-magnetni indukciji:

$$E = v \times b \times B , \quad (31)$$

kjer je:

E	jakost inducirane električne polja [V],
v	povprečna hitrost vode [m/s],
b	dolžina konduktorja, enaka širini struge [m] in
B	intenziteta magnetnega polja [t].

V praksi pa je teoretični izhodni potencial iz signalnih elektrod zmanjšan v odvisnosti od prevodnosti dna vodotoka in od prevodnosti same vode. V tem primeru zapišemo Hencevo enačbo:

$$Q = K \times \left(\frac{E \times R_W}{I \times R_B} - C \right)^n , \quad (32)$$

kjer je:

Q	pretok [m ³ /s],
K	dimenzijska konstanta [/],
E	jakost inducirane električne polja [V],
R_W	upornost vode [Ω /m],
I	električni tok [A],
R_B	upornost dna [Ω],
C	konstanta postaje [V/mA] in
n	eksponent [/].

Dimenzijska konstanta, konstanta postaje in eksponent so empirične vrednosti, ki jih dobimo s kalibracijo sistema (Boiten, 2000).

Elektro-magnetno metodo uporabljamo v naslednjih primerih (Boiten, 2000):

- v očiščeni in neočiščeni odpadni vodi,
- v vodi, ki je v pripravi za pitno vodo,
- v hladilni vod, ki se uporablja v industriji,
- v vodotokih, kjer imamo zaraščenost struge in
- v vodotokih z nestabilnim dnom in velikim transportom sedimentov.

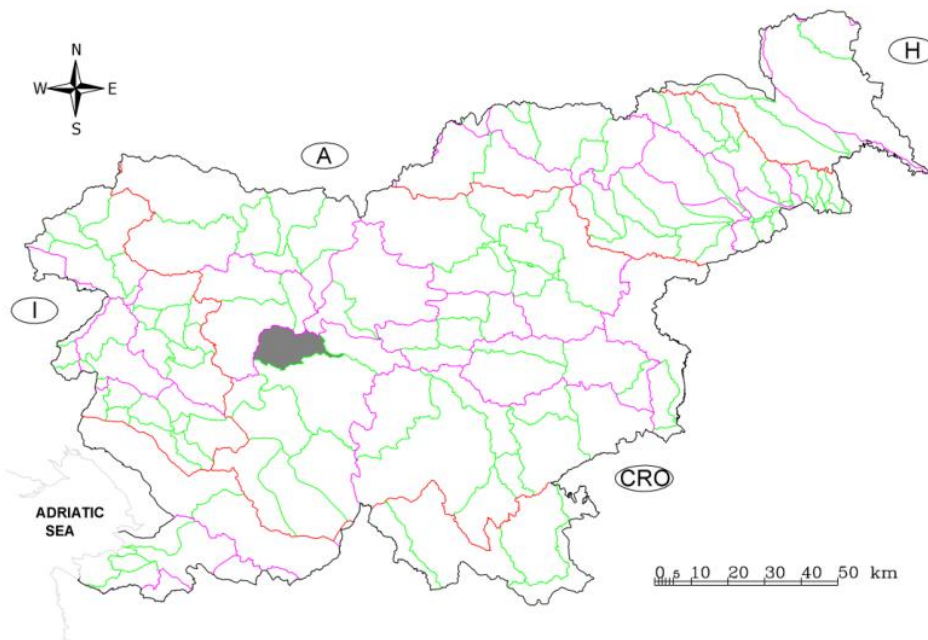
Pri izbiri merskega profila se izogibamo območjem z daljnovodi, razdelilnim in transformacijskim postajam, kajti v okolici vseh teh objektov je magnetno polje, ki vpliva na točnost meritve (Boiten, 2000).

4 OPIS POREČJA MAČKOVEGA GRABNA

4.1 Osnovni podatki

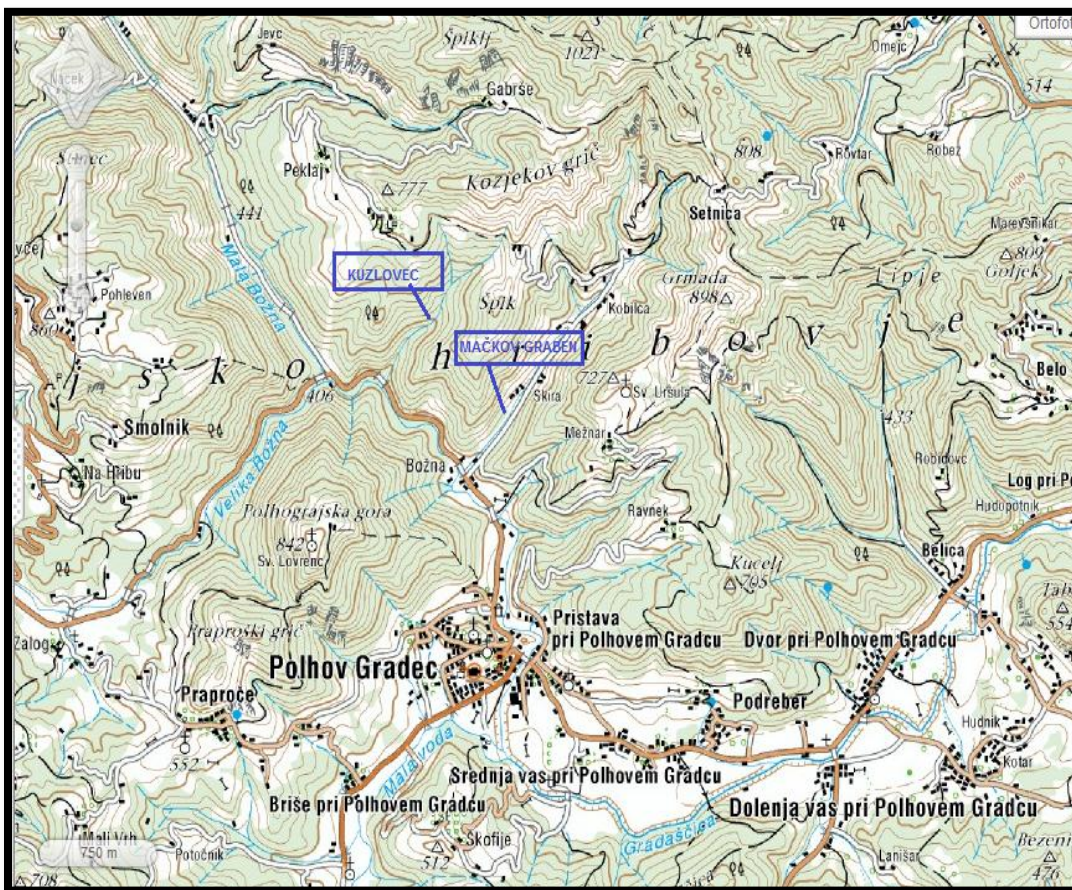
Mačkov graben je hudourniški potok, ki izvira v Polhograjskem hribovju, zahodno od Ljubljane. Njemu sosednji hudournik je Kuzlovec in oba se izlivata v Božno. Od sotočja Božne z Malo vodo pa se vodotok imenuje Gradaščica. Zato porečje Mačkovega grabna spada v porečje Gradaščice.

Porečje Gradaščice leži v osrednji Sloveniji na prehodnem območju med dinarskim in alpskim svetom (slika 42). Povirni del zaznamujejo različni gorski reliefi dolomitov, ki ga oblikujejo številne soteske in doline. Celotno prispevno območje Gradaščice meri 158,82 km² in obsega velik del Polhograjskega hribovja. Za to območje so značilni visoki vrhovi, strma pobočja in obilne padavine, kar se odraža v zelo hitrem naraščanju vodostajev in posledično v hudourniškem odzivu Gradaščice in njenih pritokov (Rusjan, 2013).

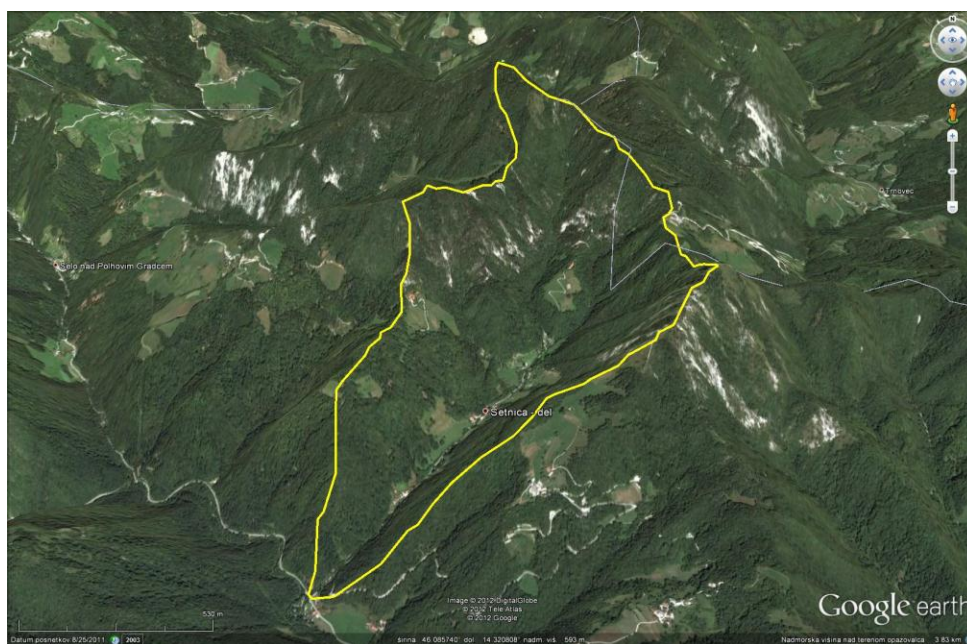


Slika 42: Lega porečja Gradaščice (Rusjan, 2013)

Na sliki 43 je prikazana lega hudournikov Mačkov graben in Kuzlovec, na sliki 44 pa ortofoto posnetek porečja Mačkovega grabna. Osnovni podatki porečja so predstavljeni v preglednici 8.



Slika 43: Lega Mačkovega grabna in Kuzlovca (Geopedija, 2013)



Slika 44: Ortofoto posnetek porečja Mačkovega grabna (Google earth, 2013)

Preglednica 8: Osnovni podatki porečja Mačkovega grabna

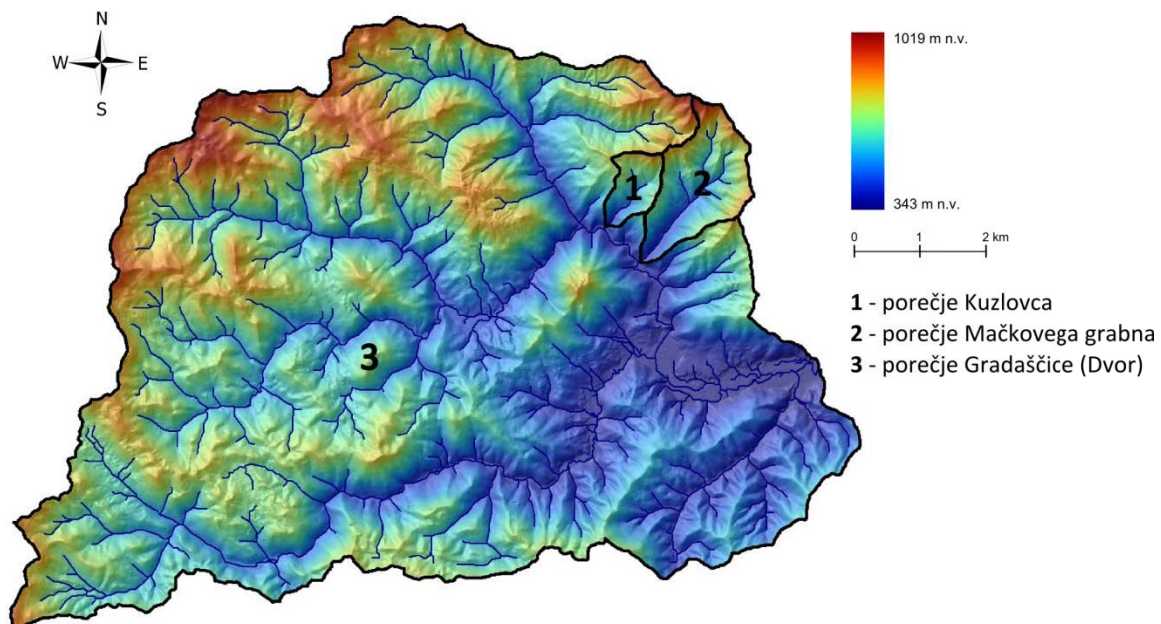
Prispevna površina	2,33 km ²
Nadmorska višina (min, max, srednja)	384 m; 1015 m; 649 m n.v.
Naklon porečja (max, povprečje)	58,5° (163,5%); 30,5° (59%)
Lega	SW
Letna količina padavin	1600 – 1800 mm
Dolžina glavne struge	1780 m
Naklon struge (povprečje)	9,3%

4.2 Podnebje

Polhograjsko hribovje in porečje Gradašnice uvrščamo v zmerno celinski podnebni tip, ki je v Sloveniji površinsko najbolj obširen. Za ta tip je značilna povprečna temperatura najhladnejšega meseca med 0 in -3°C, najtoplejšega meseca pa med 15 in 20°C. Na temperature v Polhograjskem hribovju bolj kot absolutna nadmorska višina vpliva reliefna lega. Na prisojnih pobočjih med 600 in 800 m nadmorske višine se pojavi termalni pas, kjer je zaradi temperaturne inverzije pozimi pogosto topleje kot v dolinah (Rusjan, 2013).

Lega porečja Gradašnice na Alpsko-dinarski meji je vzrok za velike količine padavin. Največja zabeležena letna količina padavin je padla leta 1965 in sicer 2750 mm. Večje količine padavin zaznamo v jesenskem času, kar je značilno za mediteransko podnebje. Prav tako pa beležimo velike količine padavin tudi poleti, kar kaže na vpliv kontinentalnega podnebja (Rusjan, 2013).

4.3 Topografija



Slika 45: Topografija porečja Gradašnice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)

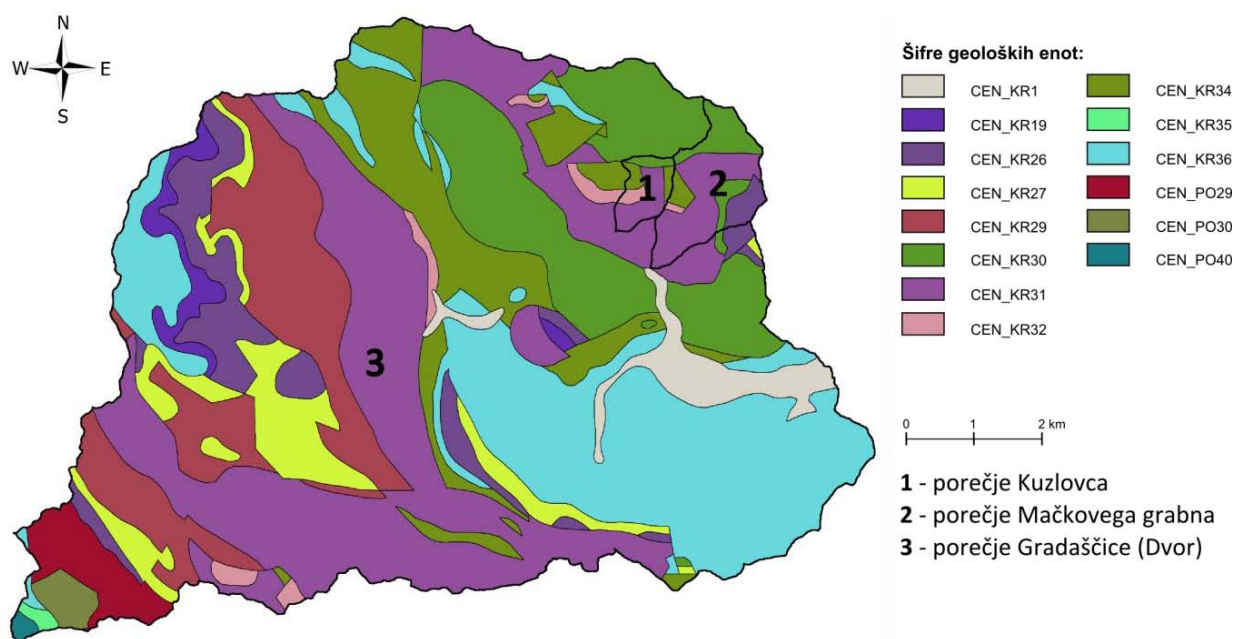
Porečje Gradašnice obsega topografsko raznolika območja (slika 45). Polhograjsko hribovje na severnem delu porečja in ljubljansko kotlino na jugozahodnem delu porečja. Severni del porečja razmejuje greben Polhograjskega hribovja z vrhovi Toško čelo, Sveta Katarina, Grmada, Tošč in Pasja ravan. Nato se meja preusmeri na greben z vrhovi Sivka, Gabrovec,

Špik in Kovčka. Vzporedno z grebenom Tošča se nahaja dolina Gradaške. Razgiban teren z ozkimi dolinami in strmimi pobočji v povirnem delu (sevni in severozahodni del porečja) je oblikovala vodna erozija. Za dolomitna območja so značilne največje strmine, povprečen naklon znaša v obravnavanem hribovju dobrih 20°. Proti jugu in jugovzhodu se dolina razširi in pojavijo se topografske karakteristike nižavja. Najvišji vrh porečja je Pasja ravan, najnižja točka pa je sotočje Gradaščice in Ljubljanice (Rusjan, 2013).

4.4 Geologija

Za Polhograjsko hribovje so značilne hitre spremembe med karbonatno in nekarbonatno osnovo z vmesnimi plastmi mlajših kvartarnih kamnin. Posledično v porečju Gradaščice najdemo tako rečne kot kraške morfološke značilnosti. Med nekarbonatnimi kamninami prevladujejo predvsem peščenjaki in glinovci iz paleozoika. Med karbonatnimi kamninami je približno polovica dolomita, ki prevladuje v osrednjem delu hribovja. Relief območja je zelo razgiban z redkimi ravnimi področji. Najstarejši agregati izhajajo iz permokarbonatov (glinasti melj, alevroliti, peščenjaki in konglomerati). Najdemo jih vzhodno od sotočja vodotokov Božne in Male vode. Iz zgodnjega perma izhaja zrnat in porozen dolomit. Najbolj razširjene so triasne kamenine, kot so laporni apneneci, dolomiti in peščeni skrilavci. Dna dolin so prekrite s srednje debelimi plastmi rečnih nanosov (Rusjan, 2013).

Iz slike 46 je razvidno, da je porečje Mačkovega grabna, označeno s številko 2, geološko zelo raznoliko. Največ območja je iz lapornega apnenca, dolomita, peščenega skrilavca in oolitnega apnenca. Najdemo pa tudi svetlo siv kristalast dolomit, neplastovit dolomit, rdeč peščenjak, alevrolit ter prehode v skrilavce in konglomerate.



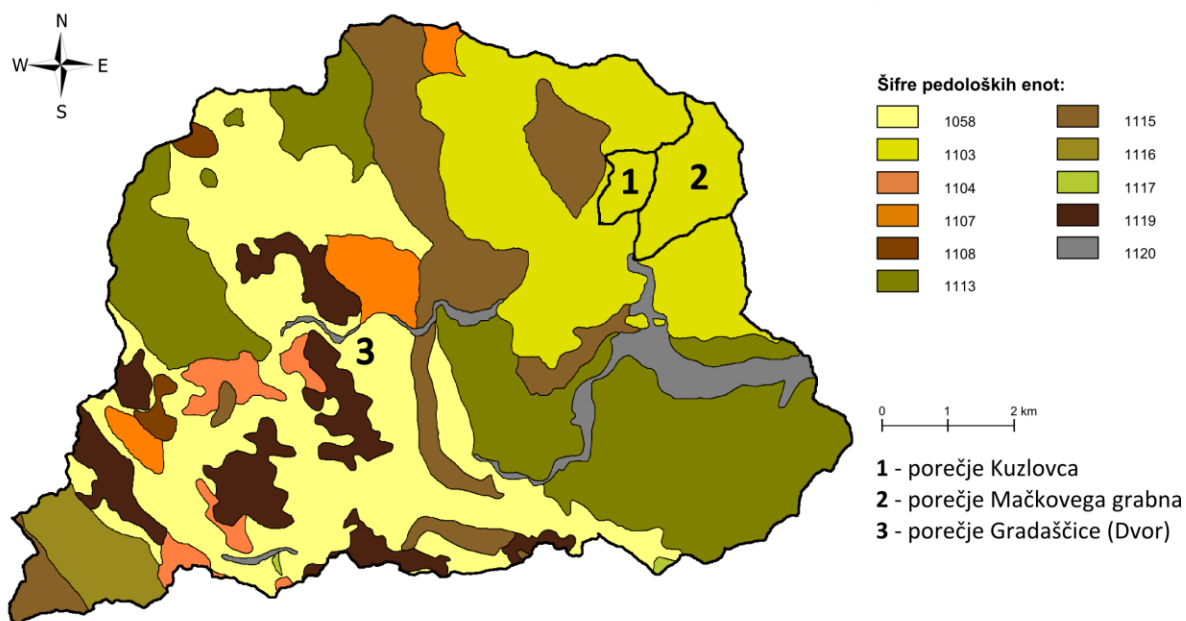
Slika 46: Geološka karta porečja Gradaščice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)

Preglednica 9: Opis posameznih geoloških enot porečja Gradaščice (Rusjan, 2013)

Šifra	Opis šifre
CEN_KR1	Nanosi rek in potokov
CEN_KR19	Pisan peščenjak, argilit, tufit, apnenec, ponekod z rožencem
CEN_KR26	Svetlo siv kristalast dolomit
CEN_KR27	Piroklastiti, apnenec
CEN_KR29	Dolomit, ploščast apnenec
CEN_KR30	Neplastovit dolomit
CEN_KR31	Laporni apnenec, dolomit, peščen skrilavec, oolitni apnenec
CEN_KR32	Temno siv apnenec in dolomit - žažarske plasti
CEN_KR34	Grödenski skladi - rdeč peščenjak, alevrolit, prehodi v skrilavec in konglomerat
CEN_KR35	Grödenski skladi - zelenkasto siv peščenjak, alevrolit, prehodi v skrilavec in konglomerat
CEN_KR36	Glinast skrilavec, alevrolit, peščenjak in konglomerat
CEN_PO29	Glavni dolomit
CEN_PO30	Karbonatne in klastične kamenine; boksit
CEN_PO40	Kremenov peščenjak in glinast skrilavec

4.5 Pedologija

Samo porečje Gradaščice je pedološko zelo raznoliko. Porečje Mačkovega grabna pa je v celoti sestavljeno iz rendzine, na apnencu in dolomitu, prhninasta 50 % in rendzine, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta 50 %. Pedologija celotnega porečja Gradaščice je predstavljena na sliki 47 (Rusjan, 2013).



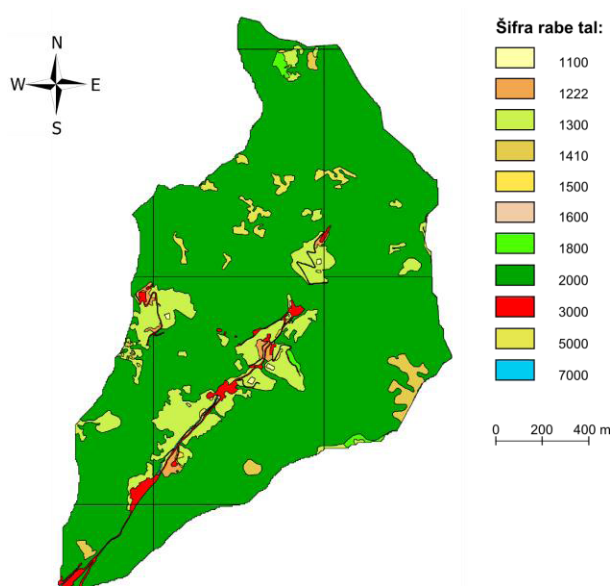
Slika 47: Pedološka karta porečja Gradaščice in obeh obravnavanih hudournikov (Rusjan, 2013)

Preglednica 10: Opis posameznih pedoloških enot porečja Gradaščice (Rusjan, 2013)

Šifra	Opis šifre
1058	Rendzina, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta 80%, rendzina, na apnencu in dolomitu, prhninasta 20%
1103	Rendzina, na apnencu in dolomitu, prhninasta 50%, rendzina, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta 50%
1104	Rendzina, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta 70%, rjava, pokarbovatna tla, na apnencu in dolomitu, tipična 30%
1107	Evtrična rjava tla, na laporju, tipična 80%, evtrična rjava tla, na mehkih karbonatih kamninah (lapornati apnenci), tipična 20%
1108	Evtrična rjava tla, na vezanih klastičnih pelitskih in psamitskih kamninah, tipična 70%, distrična rjava tla, na vezanih klastičnih kamninah, tipična 20%
1113	Distrična rjava tla, na permo-karbonskih skrilavcih in peščenjakih, tipična 80%, ranker, distričen, erozijski 20%
1115	Distrična rjava tla, na grodenskih peščenjakih, tipična 80%, ranker, distričen, erozijski 20%
1116	Distrična rjava tla, na vezanih klastičnih kamninah, tipična 80%, ranker, distričen, erozijski 20%
1117	Distrična rjava tla, na vezanih klastičnih kamninah, tipična 60%, ranker, distričen, regolitični 40%
1119	Rjava pokarbovatna tla, na apnencu in dolomitu, tipična 80%, rendzina, na apnencu in dolomitu, sprsteninasta 20%
1120	Obrečna tla, evtrična, srednje globoka 50%, obrečna tla, evtrična, zmerno oglašena 30%, obrečna tla, evtrična, globoka 20%

4.6 Pokrovnost in raba prostora

Porečje Mačkovega grabna je v veliki večini pokrito z mešanim gozdom (40,4%), sledi mu listnati gozd (28%) in kmetijske površine z večjimi območji naravne vegetacije (11,6%). Pokrovnost porečja Mačkovega grabna je prikazana na sliki 48.



Slika 48: Pokrovnost in raba prostora porečja Mačkovega Grabna (Rusjan, 2013)

Preglednica 11: Opis posameznih šifrantov iz karte pokrovnosti in rabe prostora (Rusjan, 2013)

Šifra	Opis rabe tal	Površina [km ²]	Delež [%]
2000	Gozd	1.966	84.8
1300	Trajni travnik	0.217	9.4
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	0.033	1.4
1500	Drevesa in grmičevje	0.004	0.2
1222	Ekstenzivni travniški sadovnjak	0.014	0.6
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	0.039	1.7
1100	Njive	0.002	0.1
5000	Odprto zemljišče s posebnim rastlinskim pokrovom	0.029	1.3
1800	Kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem	0.011	0.5
7000	Vodne površine	0.003	0.1

5 METODE DELA IN MERITVE

5.1 Merilno mesto



Slika 49: Lokacija meritev (Geopedija, 2013)

Mačkov graben je manjši hudournik, ki ni predstavljal problema pri izbiri merilnega mesta, vendar pa je ponavadi hudourniška struga s stališča izvedbe meritev lahko problematična, na kar kažejo tudi rezultati meritev. Meritev smo izvedli približno 2 km stran od njegovega izliva v Božno, kot prikazuje slika 49. Okolico merilnega mesta predstavlja velik, urejen prostor, ki je omogočal vse potrebno za izvajanje meritev. Sam hudorunik na tem mestu poteka po trasi z manjšim naklonom, približno 20 m dolvodno od merilnega mesta pa je vgrajena hudourniška pregrada. Na izbiro merilnega mesta je vplivalo tudi gramozno dno, ki je sestavljeno iz zaobljenih kamnov vseh velikosti. Zato smo poiskali mesto, kjer so velikosti kamnov bolj ali manj enake. Na sliki 50 je prikazana lokacija merilnega mesta.



Slika 50: Merilno mesto

5.2 Merska oprema

Za opravljanje meritev na hudourniku Mačkov graben smo uporabljali dva instrumenta za merjenje pretokov. Prvi instrument je FlowTracker Handheld ADV, ki deluje na principu Dopplerjevega pojava, drugi instrument, Flo-Tracer, pa izmeri pretok vode na podlagi metode razredčenja.

Instrument FlowTracker Handheld ADV proizvajalca SonTek, je merilnik pretočnih hitrosti na podlagi Dopplerjevega pojava. Meritve so izvedene hitro in natančno. Instrument je sestavljen iz ročnega upravljalnika, preko katerega vnesemo vse potrebne parametre za izvedbo meritev. Upravljalnik je povezan preko kabla s sondo, ki je sestavljena iz oddajnika in treh sprejemnikov ter temperaturnega senzorja. Vse skupaj je montirano na posebno stojalo, ki je opremljeno z merilno skalo, za lažjo nastavitve sonde, na željeno globino merjenja. Podrobnejši opis instrumenta je opisan v poglavju 3.1.4.3.1.

Flo-tracer je instrument proizvajalca Flow-Tronic, ki meri pretoke na podlagi metode razredčenja. Je natančen in zelo enostaven za uporabo. Uporablja se v vodotokih z velikim padcem dna struge in hitrim tokom, ter predvsem na območjih z veliko zaraščenostjo. Najpogostejše sledilo je kuhinska sol NaCl. Znano količino soli zmešamo z vodo, da se popolnoma raztopi in nato vlijemo v vodotok. Na določeni razdaji, dolvodno od injeciranja, je v matici toka v določeni merski točki, na dno pritrjena sonda, ki meri koncentracijo soli. Poseben program, vgrajen v instrument, izračuna pretok na podlagi izmerjene koncentracije in vnešenih parametrov. Več o instrumentu v poglavju 3.3.4.

5.3 Metode dela

5.3.1 FlowTracker Handheld ADV

Na samem začetku meritev je potrebno čez merski profil napeti merski trak, kot prikazuje slika 51.



Slika 51: Merski trak razpet čez mersko mesto

Nato smo izmerili širino struge in jo razdelili na odseke tako, da smo natančno opisali dno struge. Pri tem pa smo upoštevali oba potrebna pogoja, to sta, da širina odseka posamezne vertikale ne sme biti večja od $1/20$ celotne širine struge in, da pretok v posamezni vertikali ne sme biti večji od 10 % celotnega pretoka.

Posamezni nizi meritev (različni datumi) so potekali vedno na približno isti lokaciji oz. odstopanja so do 10 cm gorvodno oziroma dolvodno. Ker je prečni prerez potoka relativno majhen in zato občutljiv na vsako spremembo lokacije, smo prečni prerez izmerili pri vsakem nizu meritev posebej. Prečni prerezi so predstavljeni v poglavju Rezultati.

Sledila je priprava instrumenta. Najprej smo pritrdili sondo na stojalo, nato pa jo preko kabla povezali z ročnim upravljalnikom. Vse to omogoča enostavnejše in natančnejše meritve v vodotoku. Sledilo je preverjanje baterij, spomina in systemske ure ter vnos nekaterih parametrov, pomembnih za izvajanje meritev, kot so: merske enote, interval pridobivanja podatkov in način pridobivanja podatkov. Izbrali smo interval zajema podatkov 60 s in način DISCHARGE – pretok. Po vseh nastavitvah je sledilo merjenje. Meritve smo izvajali iz levega proti desnemu bregu. Na začetku vsake meritve hitrosti posamezne vertikale, je potrebno izmeriti globino vode in jo vnesti v sistem. Globino vode smo odčitali s pomočjo merilne skale, ki je označena na stojalu. Meritev je v vsaki vertikali potekala v eni točki, in sicer na globini $0,6 \times d$ od gladine, kjer je d celotna globina vode. Meritev v večih točkah ni bila potrebna niti smiselna, saj je bila globina vode premajhna. Ves čas meritev smo bili pozorni na to, da je sonda pravilno postavljena, kot kažeta sliki 52 in 53.



Slika 52: Pravilna postavitev sonde

Po 60 s je instrument izpisal delne rezultate. Če je slučajno prišlo do kakšne napake, nas je o tem obvestil in nam ponudil možnost ponovne meritve. V kolikor ni napak, sledi meritev v naslednji vertikali.



Slika 53: Izvajanje meritve z instrumentom FlowTracker Handheld ADV

5.3.2 Flo-tracer

Flo-tracer je instrument, ki zahteva nekoliko manj priprav kot FlowTracker, je pa potrebno pravilno pripraviti raztopino sledila. Kot sledilo smo uporabili navadno kuhinjsko sol. Glede na pravilo, ki velja, da naj se uporabi od 2 do 12 g sledila na 1 l/s pretoka smo za eno meritev uporabili približno 500 g soli. Točna količina vode nas ne zanima, saj na rezultate ne vpliva. Sol in vodo smo zmešali v vedru, tako da se je sol popolnoma raztopila (slika 54).

Sledi priprava instrumenta. Sondo smo povezali z merskim instrumentom preko kabla ter vključili merilnik. Za način meritve smo izbrali ACQUISITION ter nastavili interval meritve na 1 s. Naslednja nastavitvev, je nastavitvev vremena, ki je bilo takrat sončno. Vendar ta nastavitvev ne vpliva na rezultate. Sledil je vnos vodostaja, ki omogoča korelacijo med pretokom in vodostajem. Najbolj pomembna parametra za vnos sta količina soli, ki jo injeciramo in oddaljenost točke injiciranja od merskega mesta. Mersko mesto je bilo pri vseh meritvah 20 m dolvodno od mesta injiciranja.



Slika 54: Priprava raztopine injiciranja

Ko smo imeli vse pripravljeno, smo postavili sondo v matico toka (slika 55). Ker je sonda ležala na tleh, ni bilo potrebne nobene dodatne obežitve. Sledil je priklop instrumenta in injiciranje raztopine v vodotok. Ko je celoten oblak raztopine pretekel skozi merski profil je instrument meritve zaključil.



Slika 55: Sonda v matici toka

6 REZULTATI

Vse meritve so potekale v sončnem vremenu in brez večjih količin dežja v predhodnih dneh, zato so rezultati dokaj podobni. Meritve so potekale v treh nizih. V vsakem nizu meritev smo izvedli eno meritev s FlowTrackerjem in dve meritvi s Flo-tracerjem. Zaradi nekaj neviht v začetku julija, je pretok izmerjen 9. 7. 2013 nekoliko višji od ostalih dveh.

V preglednici 12 so povzeti vsi rezultati meritev, ki so podrobneje predstavljeni v podpoglavjih 6.2 in 6.3.

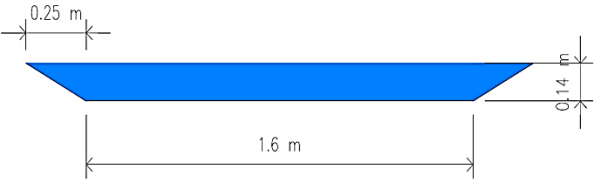
Preglednica 12: Povzetek rezultatov meritev pretokov v vseh treh časovnih nizih in z obema instrumentoma

	Flow-Tracker	Flo-Tracer	
21. 6. 2013	78,6 l/s	69,55 l/s	94,21 l/s
9. 7. 2013	85,6 l/s	81,4 l/s	78,09 l/s
15. 7. 2013	71,6 l/s	78,32 l/s	72,4 l/s

6.1 Ocena pretoka s pomočjo Manningove enačbe

Prvo oceno pretoka smo naredili po metodi naklon – površina z uporabo Manningove enačbe (poglavje 3.2; enačba 14). Uporaba Manningove enačbe za oceno srednje pretočne hitrosti se priporoča v strugah, katerih vzdolžni padec je manjši od 2 %. Pri izračunu smo upoštevali podatke iz 1. niza meritev. Podatki so prirejani zaradi lažjega izračuna (preglednica 13). Vzeta je približna vrednost srednje globine, kar predstavlja 14 cm. Korito pa sem opisala kot simetrično in trapezno.

Preglednica 13; Uporaba Manningove enačbe na hudourniku Mačkov graben



- $B = 1,6 \text{ m}$
- $h = 0,14 \text{ m}$
- $\frac{25}{14} = \frac{m}{1} \rightarrow m = 1,79$
- $I = 2 \%$
- $n_G = (0,028 + 0,020 + 0,005 + 0,040 + 0,01) \times 1,0 = 0,103$
- $S = B \times h + m \times h^2 = 1,6 \times 0,14 + 1,79 \times 0,14^2 = 0,259 \text{ m}^2$
- $P = B + 2 \times h \times \sqrt{1 + m^2} = 1,6 + 2 \times 0,14 \times \sqrt{1 + 1,79^2} = 2,17 \text{ m}$
- $R = \frac{S}{P} = \frac{0,259}{2,17} = 0,119 \text{ m}$

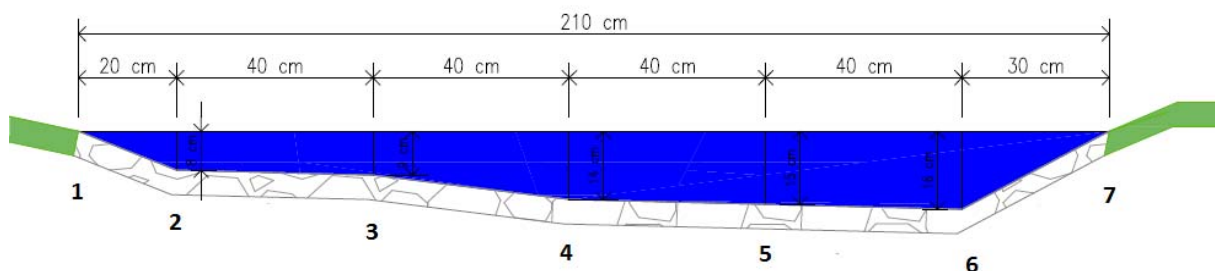
$Q = \frac{1}{n_G} \times R^{2/3} \times \sqrt{I} \times S = \frac{1}{0,103} \times 0,119^{2/3} \times \sqrt{0,02} \times 0,259 = 0,086 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{86 \text{ l/s}}$

Ocenjeni pretok je v primerjavi s 1. nizom meritev (FlowTracker Handheld ADV) večji za 9,41 %, kar je pravzaprav dobra ocena.

6.2 FlowTracker Handheld ADV

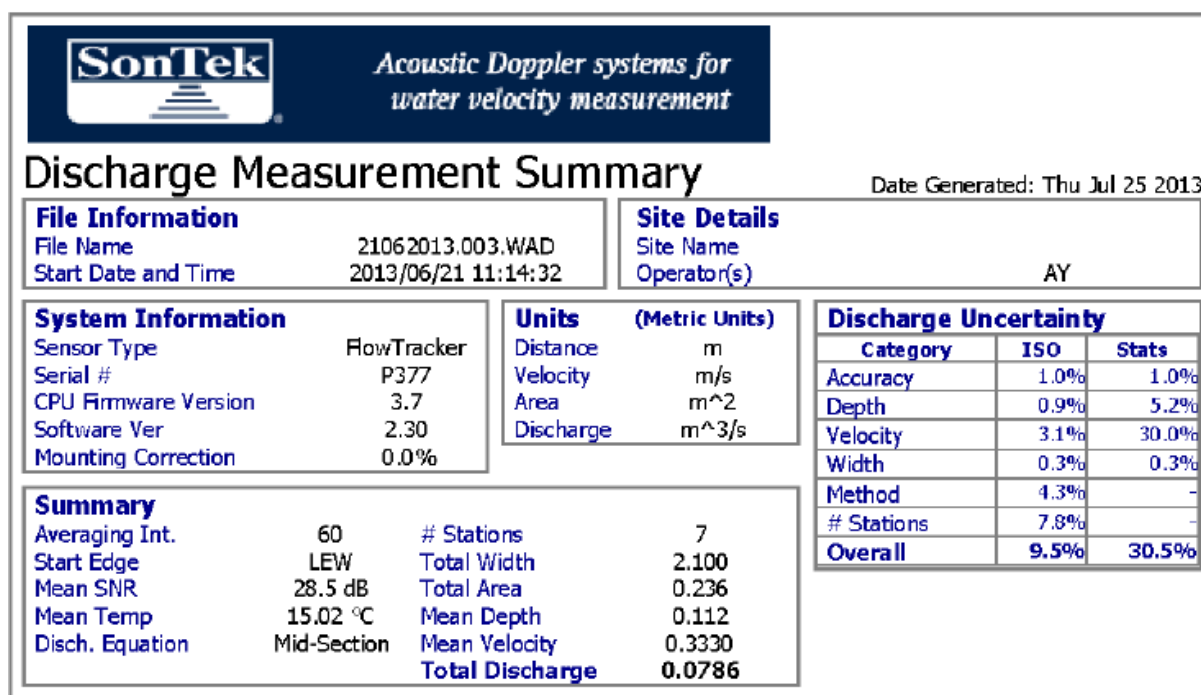
6.2.1 1. niz meritev

Prvi niz meritev smo izvedli dne 21. 6. 2013. Prečni prerez je razdeljen na šest odsekov oz. sedem vertikal, ki natančno opisujejo dno struge (slika 56).



Slika 56: Prečni profil in označene vertikale pri moji prvi meritvi

Pridobljeni rezultati pri tem nizu meritev so prikazani na sliki 57, kjer lahko vidimo, da je skupni pretok merskega prosila enak 78,6 l/s. Preglednica 14 pa prikazuje kako so hitrosti in pretok porazdeljeni po posameznih vertikalah.



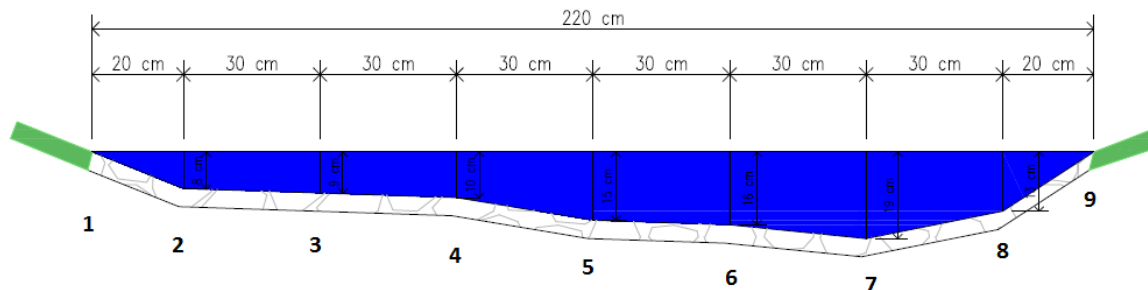
Slika 57: Rezultati prvega niza meritev s FlowTrackerjem (21. 6. 2013)

Preglednica 14: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikali pri prvem nizu meritev s FlowTrackerjem

Številka vertikale	1	2	3	4	5	6	7
Hitrost [m/s]	0	0.0381	0.1871	0.6733	0.3419	0.2027	0
Pretok [m ³ /s]	0	0.0009	0.0067	0.0377	0.0219	0.0114	0
Pretok [%]	0	1.2	8.6	48	27.8	14.4	0

6.2.2 2. niz meritev

Drugi niz meritev je potekal 9. 7. 2013. Prečni prerez je razdeljen na osem odsekov oz. devet vertikal kot prikazuje slika 58.



Slika 58: Prečni profil in označene vertikale pri moji drugi meritvi

Skupni izmerjeni pretok v drugem nizu meritev je bil 85,6 l/s (slika 59). Porazdelitev hitrosti in pretoka v posamezni vertikali prikazuje preglednica 15.

File Information		Site Details	
File Name	201397.WAD	Site Name	AY
Start Date and Time	2013/07/09 10:28:35	Operator(s)	AY

System Information		Units (Metric Units)		Discharge Uncertainty		
Sensor Type	FlowTracker	Distance	m	Category	ISO	Stats
Serial #	P377	Velocity	m/s	Accuracy	1.0%	1.0%
CPU Firmware Version	3.9	Area	m ²	Depth	0.8%	6.8%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	1.6%	35.9%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.3%	0.3%
				Method	4.2%	-
				# Stations	5.8%	-
				Overall	7.4%	36.6%

Summary			
Averaging Int.	60	# Stations	9
Start Edge	LEW	Total Width	2.200
Mean SNR	27.8 dB	Total Area	0.260
Mean Temp	13.58 °C	Mean Depth	0.118
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	0.3297
		Total Discharge	0.0856

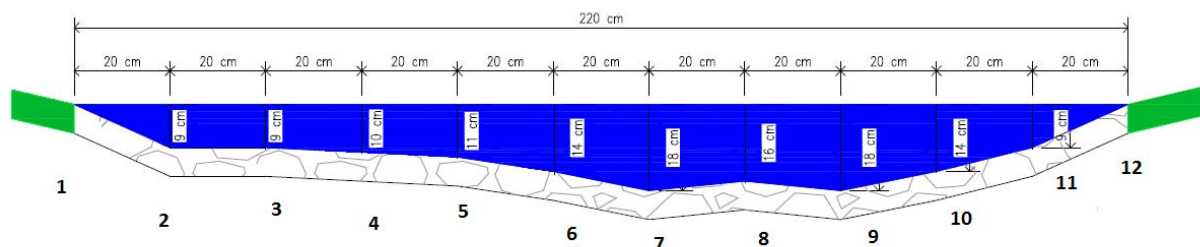
Slika 59: Rezultati drugega niza meritev s FlowTrackerjem (9. 7. 2013)

Preglednica 15: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikali pri drugem nizu meritev s FlowTrackerjem

Številka vertikale	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hitrost [m/s]	0	0.0032	0.0949	0.3958	0.6374	0.1479	0.6152	0.0068	0
Pretok [m ³ /s]	0	0.0001	0.0026	0.0119	0.0287	0.0071	0.0351	0.0002	0
Pretok [%]	0	0.1	3.0	13.9	33.5	8.3	41.0	0.3	0

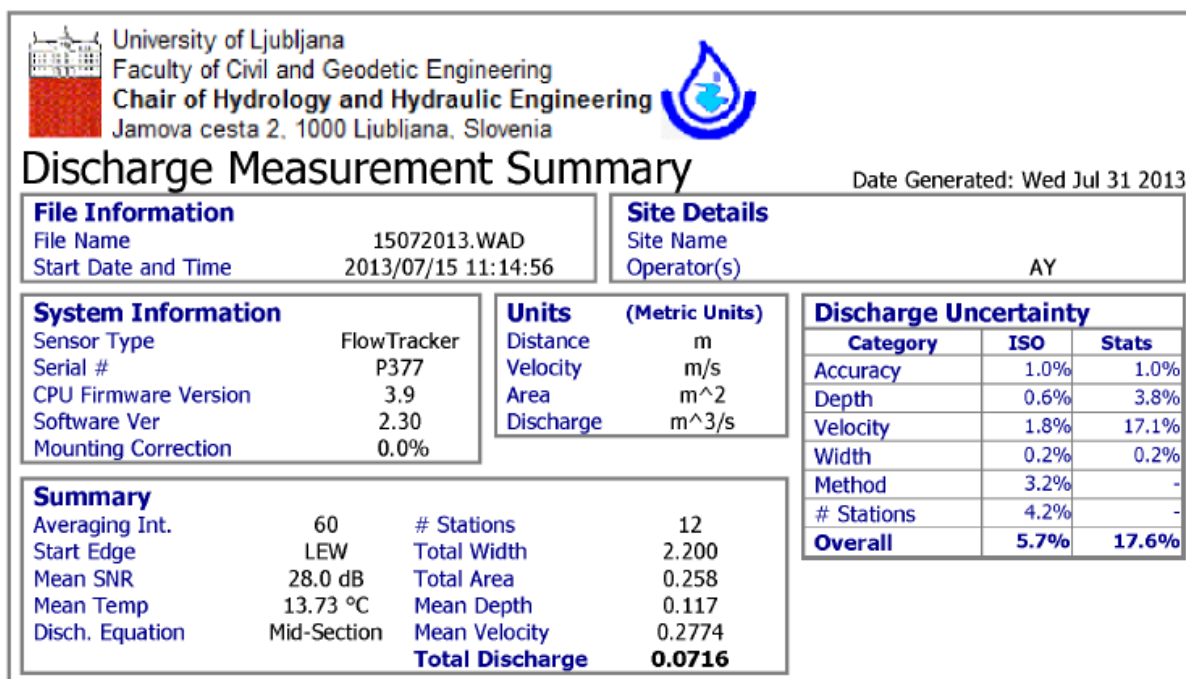
6.2.3 3. niz meritev

Tretji in hkrati zadnji niz meritev je potekal 15. 7. 2013. Prečni prerez te meritve je prikazan na sliki 60.



Slika 60: Prečni profil in označene vertikale pri moji tretji meritvi

Skupni izmerjeni pretok čez celoten prerez je znašal 71,6 l/s (slika 61). Hitrosti in pretok skozi posamezno vertikalno prikazuje preglednica 16.



Slika 61: Rezultati tretjega niza meritev s FlowTrackerjem (15. 7. 2013)

Preglednica 16: Porazdelitev hitrosti v posamezni vertikalni pri tretjem nizu meritev s FlowTrackerjem

Vertikala	1	2	3	4	5	6
Hitrost [m/s]	0	0.0048	0.0534	0.2339	0.3006	0.5488
Pretok [m ³ /s]	0	0.0001	0.001	0.0047	0.0072	0.0154
Pretok [%]	0	0.1	1.3	6.5	10.1	21.5
Vertikala	7	8	9	10	11	12
Hitrost [m/s]	0.4226	0.1253	0.4853	0.2594	-0.0386	0
Pretok [m ³ /s]	0.0152	0.004	0.0175	0.0073	-0.0007	0
Pretok [%]	21.3	5.6	24.4	10.1	-1	0

Izmerjena negativna pretočna hitrost v vertikali 11, je posledica meritve ob brežini, kjer je tok vode zastajal oziroma se odbijal v različne smeri. Sonda zazna tudi te smeri toka in zato lahko poda negativne vrednosti, ki so kljub vsemu pravilne.

6.2.4 Povzetek rezultatov meritev z instrumentom FlowTracker Handheld ADV

Povzetek rezultatov meritev vseh treh nizov je predstavljen v preglednici 17.

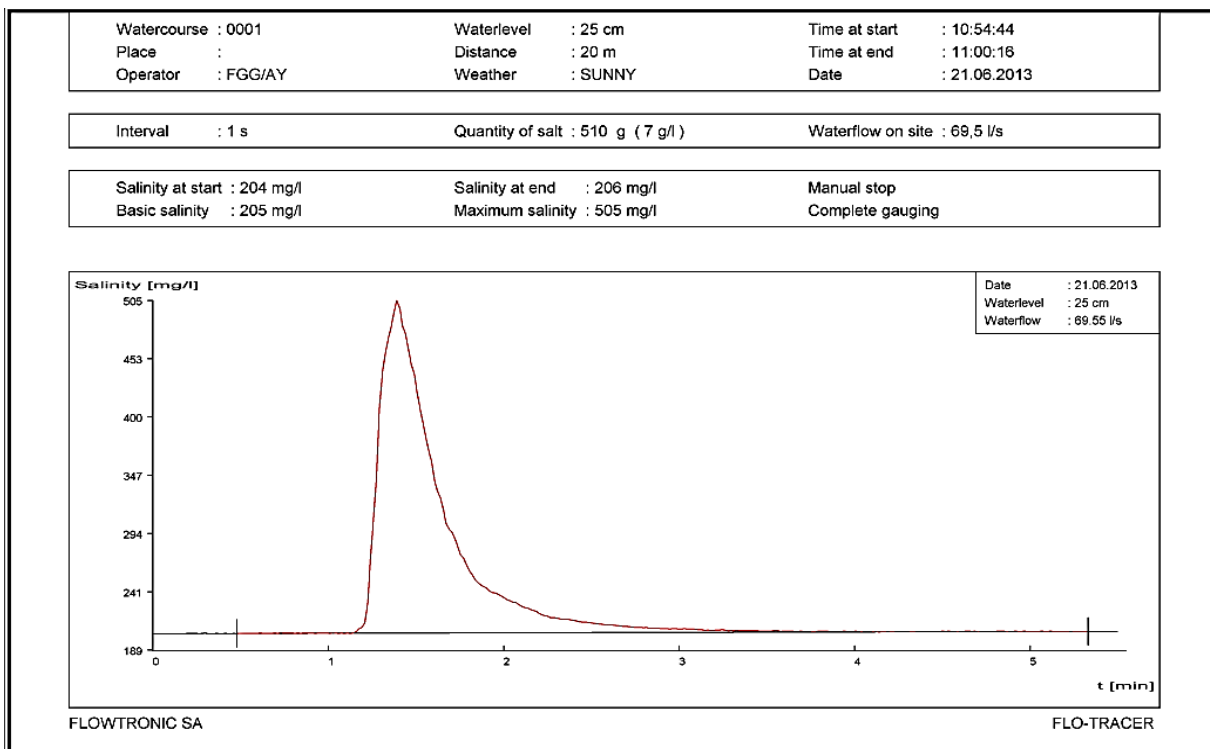
Preglednica 17: Pregled rezultatov pridobljenih s FlowTrackerjem

	Način merjenja	Metoda	Število vertikal	Povprečni čas meritve [s]	Izmerjena površina prečnega prereza [m ²]	Izmerjen pretok [m ³ /s]
1. meritev (21. 6. 2013)	Človek z instrumentom	Meritve v eni točki	7	60	0.236	0.0786
2. meritev (9. 7. 2013)	Človek z instrumentom	Meritve v eni točki	9	60	0.260	0.0856
3. meritev (15. 7. 2013)	Človek z instrumentom	Meritve v eni točki	12	60	0.258	0.0716

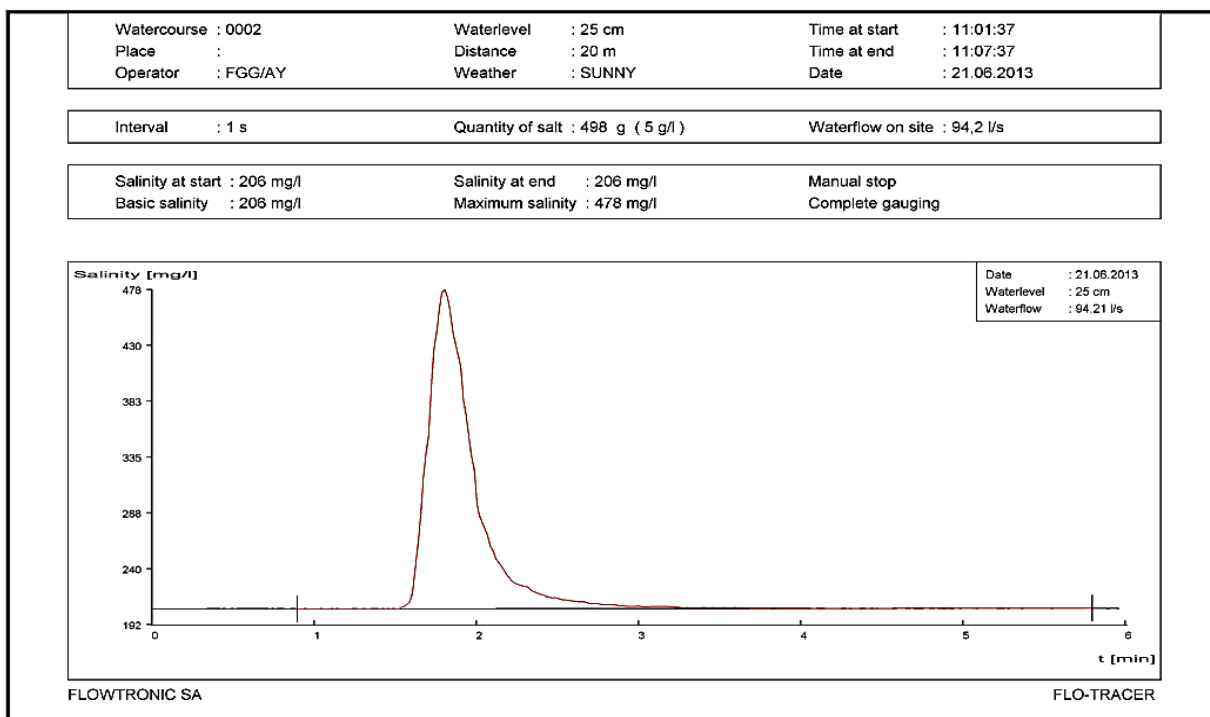
6.3 Flo-tracer

6.3.1 1. niz meritev

Z instrumentom Flo-tracer meritve pretokov oprailo relativno hitro, zato smo ga pri vsakem nizu meritev uporabili dvakrat. Pri prvi meritvi (slika 62) smo dobili končni pretok 69,5 l/s, pri drugi meritvi (slika 63) pa je pretok znašal 94,21 l/s. Količina soli pri prvi meritvi je bila 510 g in pri drugi 498 g.



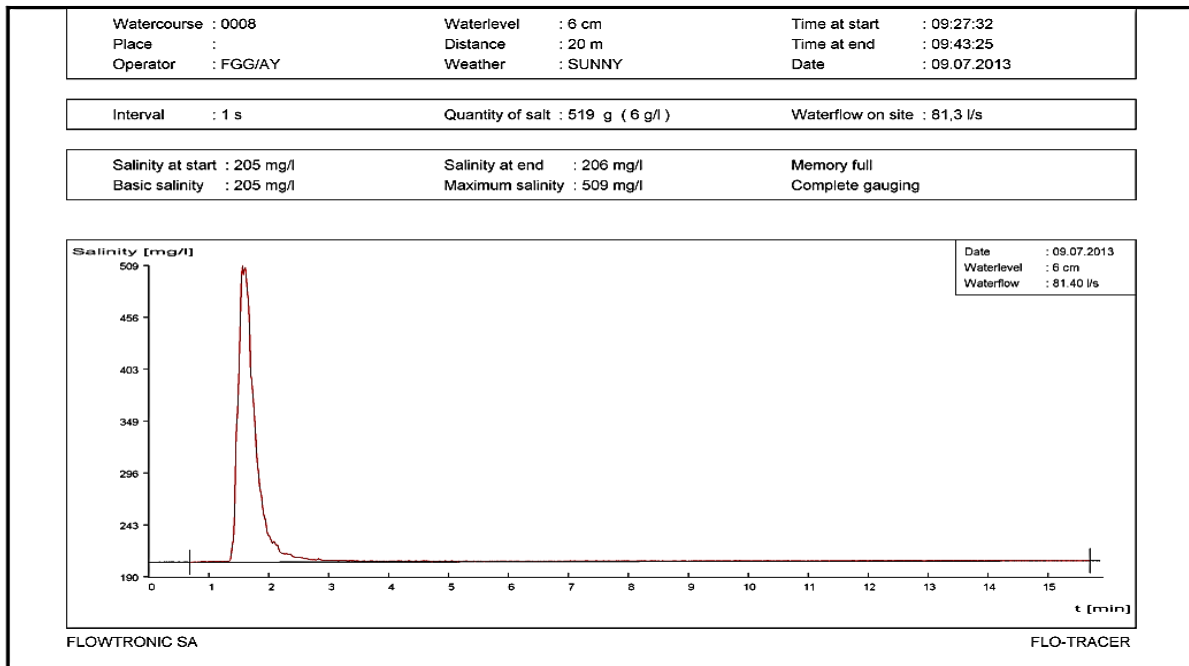
Slika 62: Prva meritev v prvem nizu s Flo-tracerjem (21. 6. 2013)



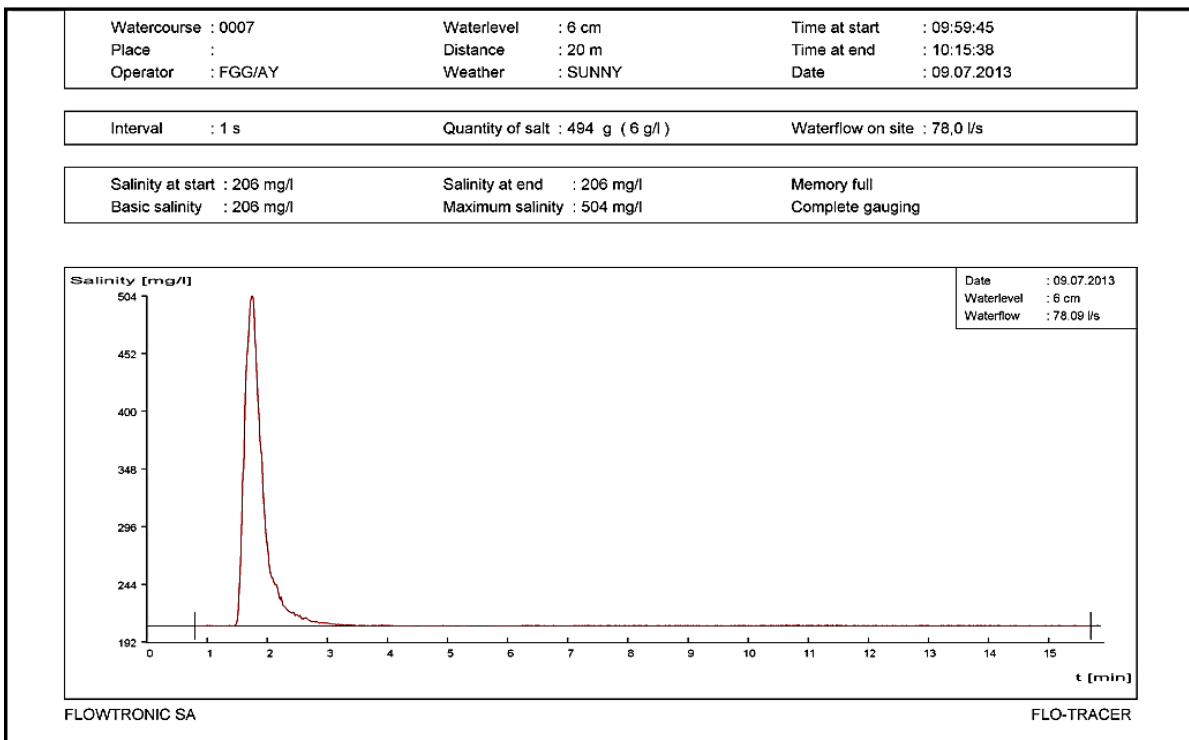
Slika 63: Druga meritev v prvem nizu s Flo-tracerjem (21. 6. 2013)

6.3.2 2. niz meritve

V drugem nizu meritev sta oba izmerjena pretoka podobna. Razlika je zelo majhna, in sicer dobre 3 l/s. Pri prvi meritvi (slika 64) smo izmerili pretok 81,4 l/s, pri drugi meritvi (slika 65) pa 78,09 l/s. Količina soli pri prvi meritvi je bila 519 g in pri drugi meritvi 494 g. Pri obeh približno 6 g/l.



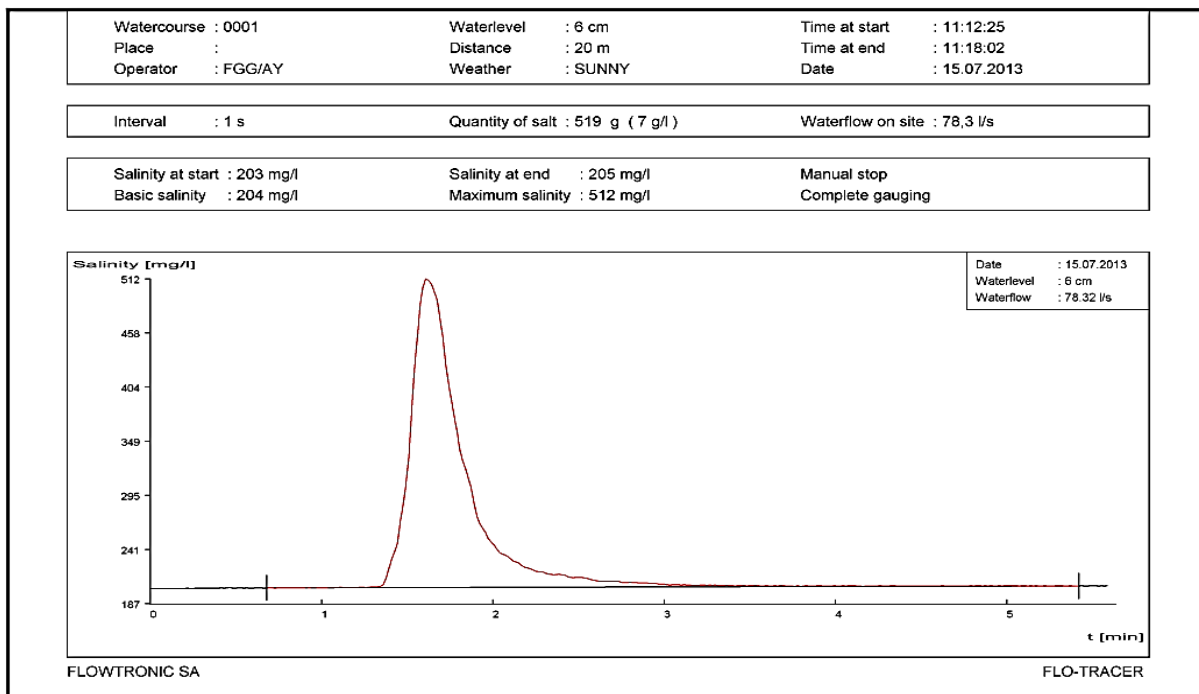
Slika 64: Prva meritev v drugem nizu s Flo-tracerjem (9. 7. 2013)



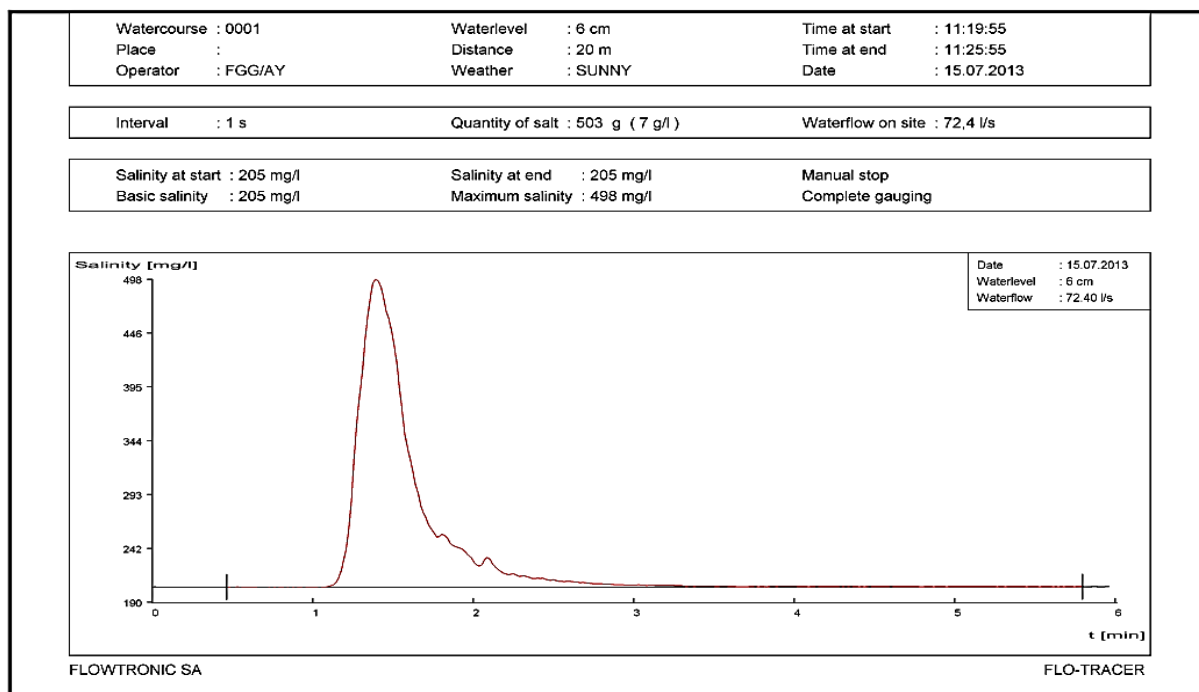
Slika 65: Druga meritev v drugem nizu s Flo-tracerjem (9. 7. 2013)

6.3.3 3. niz meritev

V tretjem nizu smo pri prvi meritvi uporabili 519 g soli in izmerili pretok 78,32 l/s (slika 66). Drugo meritev smo izvedli s 503 g soli in izmerili pretok vode 72,4 l/s (slika 67).



Slika 66: Prva meritev v tretjem nizu s Flo-tracerjem (15. 7. 2013)



Slika 67: Druga meritev v tretjem nizu s Flo-tracerjem (15. 7. 2013)

6.3.4 Povzetek rezultatov meritev z instrumentom Flo-tracer

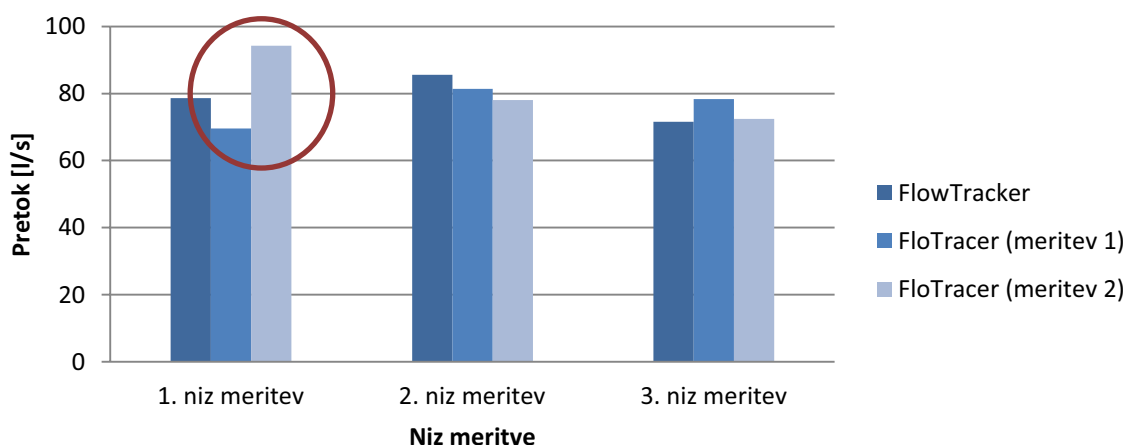
Najpomembnejši podatek potreben za meritev pretoka s Flo-tracerjem je količina soli, ki jo zmešamo z vodo in injiciramo gorvodno od mesta kjer merimo. Preglednica 18 prikazuje količino soli in izmerjen pretok posamezne meritve.

Preglednica 18: Pregled rezultatov pridobljenih s Flo-tracerjem

	Številka meritve	Količina soli [g]	Izmerjen pretok [m ³ /s]
1. niz meritev (21. 6. 2013)	1	510	0.0695
	2	498	0.09421
2. niz meritev (9. 7. 2013)	3	519	0.0814
	4	494	0.07809
3. niz meritev (15. 7. 2013)	5	519	0.07832
	6	503	0.0724

7 PRIMERJAVA IN ANALIZA REZULTATOV

Analiza 1. niza meritev je pokazala, da je izmerjeni pretok druge meritve s Flo-tracerjem zelo verjetno napačen. Tako veliko odstopanje (26.2 %) pri meritvah z enakim instrumentom in v enakem prečnem prerezu ni mogoče in ni dopustno (graf 2). Ugotovili smo, da je napaka posledica skoraj prazne baterije. Kasneje smo baterijo zamenjali in tako ta vzrok napak odpravili. Iz tega razloga druge meritve 1. niza v nadaljevanju nismo upoštevali pri primerjavah in analizah.



Graf 2: Grafični prikaz rezultatov vseh meritev

Primerjava rezultatov meritev z obema instrumentoma kaže, da sta pri 1. in 2. nizu meritev izmerjena pretoka s FlowTrackerjem višja od pretokov izmerjenih s Flo-tracerjem. V 1. nizu je razlika 9.05 l/s, kar predstavlja 11.5 %. Pri 2. nizu sta razliki nekoliko manjši, in sicer 4.9 % s prvo meritvijo in 9.6 % z drugo meritvijo. Pri 3. nizu meritev je meritev s FlowTrackerjem manjša od meritev s Flo-tracerjem. Razlika je 9.4 % s prvo meritvijo in 1,1 % z drugo meritvijo.

Eden od razlogov, zakaj so odstopanja med meritvami s FlowTrackerjem in Flo-tracerjem ponavadi nekoliko višja, je turbulentni tok. Zaradi zelo neenakomernega dna in ovir na dnu (kamni) pride do turbulentnega toka, ki ga z meritvami s FlowTrackerjem težko v celoti opišemo in zajamemo. V kolikšni meri bodo motnje toka upoštewane, je odvisno predvsem od natančnosti posnetka profila.

Če primerjamo med seboj samo rezultate meritev s Flo-tracerjem (metoda razredčenja), lahko ugotovimo, da je bila razlika med meritvami pri 2. nizu meritev 3.31 l/s (4.1 %), pri 3. nizu meritev pa 5.92 l/s (7.6 %) (graf 2).

FlowTracker je instrument, ki pretok izračuna na podlagi izmerjenih pretočnih hitrosti v izbranih merskih vertikalah in na izbranih globinah. Pri vsakem novem nizu meritev smo izbrali več vertikal in tako bolje opisali prečni prerez struge. Dno obravnavanega hudournika je zelo geometrijsko nepravilno, kar je posledica gramoza in večjih kamnov, ki ležijo na dnu. Ugotovili smo, da se z večanjem števila vertikal zmanjšuje razlika med rezultati meritev z obema instrumentoma. Teoretično bi morali biti rezultati v vsakem nizu meritev enaki, seveda pa praktično ni tako. Vsaka metoda merjenja in instrument imata neko toleranco odstopanja od vrednosti v naravi.

V podobni raziskavi na Švedskem (NVE, 2004), kjer so naredili primerjavo rezultatov meritev pretokov, izvedenih z metodo razredčenja, hidrometričnim krilom in akustičnimi merilniki so ugotovili razlike podobnega velikostnega razreda. V njihovem primeru je metoda razredčenja dala za 5,5 % višje vrednosti kot meritev s FloTrackerjem. Ugotovili so tudi, da ima pri metodi

razredčenja količina soli majhen vpliv na natančnost rezultatov, je pa bolje, če je večja. Opravili so 23 meritev z različnimi količinami soli (5, 3 in 1 kg). Razlika med rezultati izvedenimi s 5 kg in 1 kg je bila le 1,4 % (NVE, 2004). Za meritve s FloTrackerjem v turbulentnem toku pa so ugotovili, da je natančnost večja, kadar vzamemo večje število vertikal in večji povprečni čas meritve. Tudi Mejak (Mejak, 2010) je pri primerjavi FloTrackerja in Flo-tracerja z meritvami pretokov na Radomeljski mlinščici dobil višje vrednosti s Flo-tracerjem. So se pa v njegovem primeru razlike gibale od 8 do 25 %.

8 ZAKLJUČKI

Cilj oziroma namen diplomske naloge je bil predstaviti dve metodi merjenja pretoka, izvesti meritve z dvema instrumentoma, to sta: FlowTracker Handheld ADV in Flo-tracer ter analizirati in primerjati dobljene rezultate. Glavni cilj naloge je bil, spoznati terensko delo, naučiti se praktično uporabljati oba instrumenta, spoznati ozadje njunega delovanja in naučiti se interpretirati rezultate.

Primerjava rezultatov obeh instrumentov kaže, da so razlike do 11.5 %. Največ vpliva na meritve s FlowTrackerjem ima človeški faktor: pravilna postavitve instrumenta, pravilno izmerjena širina struge, pravilno izmerjena globina, zadostno število vertikal, ipd. Na meritve s Flo-tracerjem pa imajo največji vpliv: natančnost tehtanja sledila, izbira pravilne količine soli, natančnost pri injeciranju, pravilna izbira odseka vodotoka (brez izgub, tok ni prepočasen, popolnoma premešano sledilo), ipd.

FlowTracker je natančen instrument in dokaj enostaven za uporabo. Sam instrument je zasnovan tako, da nas vodi skozi celotno meritve. Vedno nam sporoči, kaj moramo storiti v nadaljevanju in opozarja na možne nepravilnosti pri izvedbi meritve. In temu primerno je zasnovana tudi tipkovnica. Hudournik, na katerem smo izvajali meritve je majhen in zelo turbulenten. Problem pri meritvah s FlowTrackerjem nastopi pri zelo nizkih vodostajih in večjih vodotokih, kjer ni nobenih premostitev in moramo izvesti meritve v vodi, kar je lahko zelo nevarno. Meritve tudi niso dovolj točne, če izberemo premajhno število vertikal. Kadar imamo velik vodotok in s tem večje število vertikal in meritve v večjih točkah, potekajo meritve veliko časa, kar je zelo zamudno. Največji vpliv na natančnost in točnost meritve ima seveda postavitve sonde, ki mora biti ves čas meritve vzporedna s tokom vode.

Flo-tracer je enostavnejši za uporabo kot FlowTracker. Zahteva manj začetnih nastavitvev in med potekom meritve ne zahteva nobenih dodatnih nastavitvev. Pri meritvah s Flo-tracerjem uporabljamo kot sledilo kuhinjsko sol, ki je cenovno ugodna in dostopna. Pri uporabi soli moramo biti pozorni predvsem na količino, ki je potrebna. Lahko pride do napake, če napačno ocenimo pretok, in je tako količina soli napačna. Velika prednost meritvev s Flo-tracerjem je, da lahko merimo tudi v težko dostopnih ali nedostopnih vodotokih in vodotokih, kjer meritve z drugimi instrumenti niso možne. Primeren je predvsem tam, kjer imamo veliko turbulenco, veliko hitrost vode in veliko plavajočih delcev v vodotoku. Turbulenca je pravzaprav zaželeno, saj se tako sledilo popolnoma premeša in rezultati so točnejši. Če imamo počasne vodotoke, kjer so hitrosti majhne, je meritvev s Flo-tracerjem lahko zamudna, saj oblak sledila potuje počasi in potrebuje veliko časa, da priteče mimo sonde.

Za raziskave je vedno najbolje, če meritve izvedemo z dvema različnima instrumentoma in rezultate primerjamo med seboj. Sicer pa je v dostopnih hudourniških strugah najlažje uporabiti Flo-tracer oz. metodo razredčenja, saj sam turbulentni tok pripomore k še boljšemu premešanju sledila. V takih strugah so možne tudi meritve s FlowTrackerjem, vendar le, če izberemo ustrezno merilno mesto, kjer nam razgibano dno in večje ovire (kamni) ne kvarijo meritve.

VIRI

Alliance for Coastal Technologies (ACT). 2011. Starflow.

<http://www.act-us.info/sensordetail.php?ID=9064&cat=&type> (Pridobljeno: 18. 6. 2013.)

Boiten, W. 2000. Hidrometry. Rotterdam, A. A. Balkema: 246 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Cerar, U., Banovec, P., Steinman, F. 2000. Hidravlična ustreznost merilnih mest za merjenje pretokov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 87 str.
<ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a28-uc.pdf> (Pridobljeno: 23. 4. 2013.)

Changing channel characteristics. 2013. Coolgeography.

<http://www.coolgeography.co.uk/A-level/AQA/Year%2012/Rivers,%20Floods/Channel%20characteristics/Channel%20Characteristics.htm> (Pridobljeno: 19. 6. 2013.)

Chaskar, D.S. 2013. Hydrology project, Training of trainers in hydrometry, Estimation of discharge by area-slope method. Government of India. Central water commission.
<http://www.hydrology-project.gov.in> (Pridobljeno: 18. 6. 2013.)

Energetski pretvorniki in elektrarne. 2012. Bobnar, M., Šajn, A., Gubina, A., Blažič, B.. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko.

http://leon.fe.uni-lj.si/media/uploads/files/EPE_I_Vaje-Hidro_pdf.pdf
(Pridobljeno: 19. 6. 2013.)

Flo-tronic. 2003. Manual for flo-tracer. Belgium, Flow Tronic: 22 str.

Geology happens. 2013. Studying stream velocity in the Grand Canyon.

<http://geologyhappens.blogspot.com/2013/06/studying-stream-velocity-in-grand-canyon.html>
(Pridobljeno: 1. 7. 2013.)

Geopedija.

<http://www.geopedia.si> (Pridobljeno: 1. 7. 2013.)

Google earth.

<http://www.google.com/earth> (Pridobljeno: 22. 7. 2013.)

Herscy, R.W. 1978. Hidrometry-principles and practices. Bristol, John Willey & Sons: 511 str.

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 1999. Meritve pretokov vode z metodo razredčenja. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 33 str.

Hidrometrična oprema. 2012. Inovativne informacijske in okoljske tehnologije.

<http://www.cgsplus.si/tabid/159/Default.aspx#C2> (Pridobljeno: 17. 6. 2013.)

Hoskin Scientific. 2013. Catalog. Sontek.

http://www.hoskin.ca/catalog/index.php?main_page=index&manufacturers_id=4 (Pridobljeno: 18. 6. 2013.)

ISO 772: 1996. Hydrometric determinations – Vocabulary and symbols. Ženeva: 99 str.

Mejak, A. 2010. Primerjava meritev pretokov na manjšem vodotoku z Dopplerjevim merilnikom in metodo razredčenja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Mejak): 99 str.

Merska oprema. 2013. Ljubljana, Katedra za splošno hidrotehniko, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/index.htm> (Pridobljeno: 18. 6. 2013.)

Musy, A., Higy C., 2011. Hydrology, A science of nature. ZDA, CRC Press: 326 str.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 2004. Comparasion of Dilution, Hydroacoustic and Current meter Discharge Measurements at Älgån, Sweden. Report no 5-04.

Pretok. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje.

www.arso.gov.si (Pridobljeno: 23. 4. 2013.)

Research Equipment Database. 2006. Sontek Acoustic Doppler Profiler (ADP).

<http://eqdb.nrf.ac.za/equipment/sontek-acoustic-doppler-profiler-adp>

(Pridobljeno: 16. 7. 2013.)

Rusjan, S. 2013. Opis porečja Gradaščice in Mačkovega grabna. Osebna komunikacija. (26. 6. 2013.)

SonTek. 2002. FlowTracker Handeln ADV Principles of Operation. San Diego, SonTek/YSI: 16 str.

SonTek. 2003. FlowTracker Handeln ADV Operation Manual Firmware Version 2.4. San Diego, SonTek/YSI: 87 str.

Sontek. 2013. FlowTracker Handheln ADV.

www.sontek.com (Pridobljeno: 18.6. 2013.)

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

Stream Energies and Vegetation. 2012. Extension.

<http://www.extension.org/pages/62492/riparian-health-understanding-if-you-have-adequate-vegetation> (Pridobljeno: 19.6. 2013.)

Studyblue. 2013. Geology 2nd Exam Terms.

<http://www.studyblue.com/notes/n/geology-2nd-exam-terms/deck/6304946> (Pridobljeno: 1. 7. 2013.)

Unidata. 2013.

<http://www.unidata.com.au/> (Pridobljeno: 19.6. 2013.)

USGS. Science for a changinr world. 2013. Moving-Boat Deployments.

http://hydroacoustics.usgs.gov/movingboat/mbd_deployments.shtml

(Pridobljeno: 20. 6.2013.)

U. S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. 2004. A Laboratory Evaluation of Unidata's Starflow Doppler Flowmeter and MGD Technologies Acoustic Doppler FlowMeter(ADFM).

www.usbr.gov (Pridobljeno: 18. 6.2013.)

Vidmar, A., Čotar, A., Globevnik L., Brilly, M. 2011. Hidravlične lastnosti reke Save v Brežicah – Meritve ekstremnih pretokov.

<http://mvd20.com/LETO2011/R26.pdf> (Pridobljeno: 26. 6. 2013.)

WMO, 1994. Guide to Hydrological practices, No.168, Fifth edition, Geneva: 141 – 173 str.