

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidat:

Alen Mejak

Primerjava meritev pretokov na manjšem vodotoku z Dopplerjevim merilnikom in metodo razredčenja

Diplomska naloga št.: 156

Mentor:
doc. dr. Mojca Šraj

Somentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 2010

Stran za popravke

Izjava o avtorstvu

Podpisani **ALEN MEJAK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**PRIMERJAVA MERITEV PRETOKOV NA MANJŠEM VODOTOKU Z DOPPLERJEVIM MERILCEM IN METODO RAZREDČENJA**«

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 03.11.2010

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.536(043.2)
Avtor:	Alen Mejak
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj,
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Primerjava meritev pretokov na manjšem vodotoku z Dopplerjevim merilcem in metodo razredčenja
Obseg in oprema :	104 strani, 30 preglednic, 43 slik, 7 grafov, 23 enačb
Ključne besede:	pretok, hitrost vode, meritve, Dopplerjev efekt, elektroprevodnost, metoda razredčenja, FloTracker, Flo-tracer

Izveček

Meritve pretokov so nujne, če želimo opredeliti hidrološke pojave. Pretok je definiran kot volumen vode, ki v določenem času preteče skozi nek prečni prerez. Z leti so se izoblikovale številne tehnike in metode merjenja. Razvili so se tudi številni instrumenti in naprave, s katerimi merimo. Pri izdelavi instrumentov za meritve ima zanesljivost prednost pred točnostjo, kajti izpada meritve zaradi pokvarjenega instrumenta ne moremo več nadomestiti. V diplomskem delu je velika večina teh instrumentov opisanih in predstavljenih. Podrobneje sta opisani metoda razredčenja ter meritev s pomočjo Dopplerjevega efekta. Princip metode razredčenja temelji na dejstvu, da je pri višjih pretokih sledilo bolj premešano, pri nižjih pa manj. To merimo s pomočjo elektroprevodnosti vode. Več kot je sledila (soli), bolj je voda elektroprevodna. Dopplerjev efekt je pojav, ko instrument odda zvočni signal, ta se odbije od nekega predmeta v gibanju, zaradi tega se frekvenca oddanega signala spremeni. Na podlagi spremembe v frekvenci med oddanim in sprejetim signalom se določi hitrost. V diplomskem delu sta primerjani obe omenjeni metodi. Za vsako metodo je narejenih devet meritev. Meritve sem izvajal na istem vodotoku in v istem prerezu. Izvedene so bile v treh različnih časovnih obdobjih, tako da je bil pretok vsakič drugačen. Zanimala nas je primerjava rezultatov, dobljenih po obeh metodah. Instrumenta sem primerjal tudi iz praktičnega vidika uporabe.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	556.536(043.2)
Autor :	Alen Mejak
Supervisor:	Assist. Prof. PhD. Mojca Šraj
Co-supervisor:	Prof. PhD. Mitja Brilly
Title:	Comparison of dilution and Doppler discharge measurement methods
Notes:	104 pages, 30 tables, 43 pictures, 7 graph, 23 equations
Key words:	discharge, water velocity, measurement, Doppler effect, electrical conductivity, dilution method, FloTracker, Flo-tracer

Abstract

Measurements are essential if we are to define hydrological phenomena. The flow is defined as the volume of water within a certain time passes through a cross-section. Over the years, a number of techniques and methods of measurement were created. A number of instruments and devices that measure discharge were developed. By instruments the reliability take precedence over accuracy, because the loss of measurements due to faulty instrument can not be replaced. In my thesis, the majority of those instruments are described and presented. The dilution method and method using the Doppler effect were described in detail. Principle of the dilution method is injecting a tracer and determining its dilution. This is measured by means of electrical conductivity of water. Doppler effect is the change in frequency of a wave for an observer moving relative to the source. On the basis of change in frequency between sent and received signals the velocity is determined. This thesis compared both methods. For each method nine measurements were made. Measurements were conducted on the same stream and in the same cross section, but in three different days, so that the discharge was different every time. Comparison of measured discharges with both instruments was made. Both instruments were compared also from a practical point of view.

Zahvala

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju prof. dr. Mitja Brilly. Hvala tudi vsem na Katedri za splošno hidrotehniko, ki so mi omogočili izdelavo diplomske naloge ter prijetno delovno vzdušje.

Zahvalil bi se tudi svojim staršema, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč ter me vzpodbujala in podpirala.

Kazalo vsebine

1. Uvod	15
2. Metode merjenja in instrumenti	16
2.1 Objekti za meritev pretokov	19
2.1.1 Široki prag	19
2.1.2 Preliv	20
2.1.3 Zožitev	21
2.2 Elektro-magnetna metoda merjenja pretoka	22
2.3 Akustična metoda merjenja pretoka	23
2.4 Metoda naklon-površina	24
2.5 Metoda hitrost-površina	26
2.5.1 Razpored hitrosti po prečnem prerezu	26
2.5.2 Določitev pretoka	29
2.5.3 Hidrometrično krilo	31
2.5.4 Elektro-magnetni merilec hitrosti	32
2.5.5 Meritve hitrosti s pomočjo plovca	33
2.5.6 Dopplerjev merilec hitrosti	35
2.6 Metoda razredčenja	48
2.6.1 Izbira in priprava sledila	51
2.6.2 Izbira profila meritve	52
2.6.3 Merilec pretoka vode Flo-tracer	52
3. Metode dela in meritve	58
3.1. Opis porečja Kamniške Bistrice	58
3.1.1. Podnebje in padavine	58
3.1.2 Geografske in hidrografske značilnosti	58

3.2 Merska oprema in merske metode.....	61
3.2.1 Uvod	61
3.2.2 Merska oprema	62
3.2.3 Merilno mesto	63
3.2.4 Metode dela	66
3.2.4.1 FlowTracker handheld ADV	67
3.2.4.2 Flo-tracer	70
4. Primerjava in analiza rezultatov.....	73
4.1 Rezultati meritev.....	73
4.1.1 FlowTracker handheld ADV	73
4.1.2 Flo-tracer.....	84
4.2 Primerjava rezultatov	89
4.3 Analiza rezultatov.....	93
5. Zaključki	96
Viri	100

Kazalo slik

Slika 1 : široki prag (<http://www.jfccivilengineer.com>)

Slika 2 : preliv (Bos, 1989)

Slika 3 : zožitev (Bos, 1989)

Slika 4: Princip akustične metode (W. Boiten, 2000)

Slika 5: parabolčna razporeditev hitrosti po vertikali (UNESCO, 1994)

Slika 6 : razpored hitrosti po prečnem profilu – izotahe (W. Boiten 2000)

Slika 7 : Krivulje hitrost-površina pri grafični metodi (Herschey, 1978)

Slika 8 : hidrometrično krilo (www.valeport.co.uk/current_meters)

Slika 9 : elektromagnetni merilec hitrosti (<http://hydroaxys.com>)

Slika 10 : različne oblike plovcev (Herschey, 1978)

Slika 11 : Prikaz bistatične osi in vzorčne prostornike (SonTek, 2003)

Slika 12: Merilec pretočnih hitrosti FlowTracker (www.sontek.com)

Slika 13: Prikaz izpisa na lcd zaslonu (SonTek, 2003)

Slika 14: Dopplerjev merilec STARFLOW (<http://www.hydrosurvey.cn>)

Slika 15: Postavitev instrumenta (UNIDATA, 2000)

Slika 16: Nivoji meritve (<http://www.sontek.com/adp-adcp.php>)

Slika 17: Tri različice instrumenta (SonTek, 2000)

Slika 18 : Katamaran na katerem je pritrjen SonTek ADP (ksh.fgg.uni-lj.si/ksh)

Slika 19 : Potek meritve po metodi razredčenja (Flow-tronic, 2003)

Slika 20 : Potovanje oblaka sledila (Flow-tronic, 2003)

Slika 21: Instrument Flo-tracer z vso opremo (<http://www.flow-tronic.com>)

Slika 22 : Lega porečja Kamniške Bistrice v Sloveniji (<http://nfp-si.eionet.europa.eu/>)

Slika 23 : Mreža vodotokov na porečju kamniške Bistrice z glavnimi podporečji (<http://nfp-si.eionet.europa.eu/>)

Slika 24 : Radomeljski jez z levoobrežnim odvzemom z zapornicami in talnim izpustom v času nizkega vodostaja (Bogataj, 2009)

Slika 25 : Lokacija izvajanja meritev (www.geopedia.si)

Slika 26 : Lokacija izvajanja meritev (www.geopedia.si)

Slika 27: Slika lokacije meritev

Slika 28 : Dimenzije prečnega prereza

Slika 29 : Postavitev merskega traka

Slika 30 : Prečni prerez z označenimi merskimi vertikalami

Slika 31 : Pričetek meritve

Slika 32: Postavitev sonde po metodi 0,6

Slika 33: Postavitev sonde pri metodi razredčenja

Slika 34 : Razdalja med profilom injiciranja in merjenja

Slika 35 : Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

Slika 36 : Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

Slika 37 : Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

Slika 38: Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

Slika 39: Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

Slika 40: Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

Slika 41: Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (6.10.2010)

Slika 42: Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (6.10.2010)

Slika 43: Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem(6.10.2010)

Kazalo preglednic

- Preglednica 1: pregled metod meritev pretoka (Boiten, 2000 str. 120)
- Preglednica 2 : Mednarodni standardi iz področja meritev pretokov (Boiten, 2000 str. 154)
- Preglednica 3 : razdalja od dna povprečne hitrosti (Boiten, 2000)
- Preglednica 4 : nekaj vrednosti redukcijskih faktorjev (Boiten, 2000 str. 173)
- Preglednica 5: Tehnične lastnosti Dopplerjevega merilca STARFLOW
(<http://www.unidata.com.au>)
- Preglednica 6: Globina meritve glede na frekvenco oddanega signala (SonTek, 2000)
- Preglednica 7: Tehnični podatki instrumenta (Flow-tronic, 2003)
- Preglednica 8 : Povprečne mesečne višine padavin za obdobje 1961-1990 za padavinsko postajo Domžale (<http://www.arso.gov.si>)
- Preglednica 9: Pregled izmerjenih pretokov s FloTrackerjem za vsa tri časovna obdobja
- Preglednica 10: Rezultati prve meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)
- Preglednica 11: Hitrosti prve meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)
- Preglednica 12: Rezultati druge meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)
- Preglednica 13: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)
- Preglednica 14: Rezultati tretje meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)
- Preglednica 15: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)
- Preglednica 16: Rezultati prve meritve s FloTrackerjem (16.9.2010)
- Preglednica 17: Hitrosti prve meritve vzdolž prečnega prereza (16.9.2010)

Preglednica 18: Rezultat druge meritve s FloTrackerjem (16.9.2010)

Preglednica 19: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (16.9.2010)

Preglednica 20: Rezultat tretje meritve s FloTrackerjem (16.9.2010)

Preglednica 21: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (16.9.2010)

Preglednica 22: Rezultat prve meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Preglednica 23: Hitrosti prve meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Preglednica 24: Rezultat druge meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Preglednica 25: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Preglednica 26: Rezultat tretje meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Preglednica 27: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Preglednica 28: Pregled izmerjenih pretokov s Flo-tracerjem za vsa tri časovna obdobja

Preglednica 29: Pregled vseh izmerjenih pretokov

Preglednica 30: Odstopanja med rezultati obeh instrumentov

Kazalo grafikonov

Grafikon 1: Umeritvena premica

Grafikon 2: Povprečne mesečne višine padavin za obdobje 1961-1990 za padavinsko postajo Domžale

Grafikon 3: Primerjava rezultatov 1. niza meritev z obema instrumentoma

Grafikon 4: Primerjava rezultatov 2. niza meritev z obema instrumentoma

Grafikon 5: Primerjava rezultatov 3. niza meritev z obema instrumentoma

Grafikon 6: Nihanja hitrosti znotraj posamezne meritve v isti vertikali

Grafikon 7: Potek koncentracije sledila v vodotoku

1. Uvod

Meritev pretokov je ena od temeljnih nalog hidrometrije oziroma v širšem smislu ena od temeljnih nalog hidrologije. Meritve so nujne, če želimo opredeliti hidrološke pojave. Pretok je definiran kot volumen vode, ki v določenem času preteče skozi nek prečni prerez. Ta podatek uporabljamo za različne namene, kot so rečna navigacija, vodenje evidenc, vodni menagement v urbanih in ruralnih območjih, za potrebe namakanja, za vodo oskrbne namene in tako dalje. Z leti so se izoblikovale številne tehnike in metode merjenja. Razvili so se tudi številni instrumenti in naprave, s katerimi merimo. Pri izdelavi instrumentov za meritve ima zanesljivost prednost pred točnostjo, kajti izpada meritve zaradi pokvarjenega instrumenta ne moremo več nadomestiti. Metodo, po kateri bomo meritve opravili, velikokrat izberemo glede na zahtevano natančnost, dostopnost vodotoka, finančne omejitve, merski instrument, ki ga imamo na razpolago, pogostost meritve itd. Razlikovati moramo ali meritve opravimo enkratno za raziskave ali pa je to redna periodična meritev za vodenje evidence in statistik. Nekateri instrumenti so bolj primerni za trenutne meritve, drugi pa za neprekinjene. Velikokrat z instrumenti za trenutne meritve kalibrirano tiste za neprekinjene meritve. Da nam je delo olajšano je izdanih kar nekaj mednarodnih standardov (ISO) s področja merjenja pretoka, kjer je opisano kako izmerimo pretok, da bodo rezultati točni in reprezentativni.

Namen diplomskega dela je predstaviti različne metode merjenja pretokov ter narediti primerjavo dveh pogosto uporabljenih metod v praksi. Prva metoda je metoda razredčenja druga pa meritev pretoka s pomočjo instrumenta, ki deluje na osnovi Dopplerjevega efekta. Ti dve metodi in oba instrumenta Flo-tracer (Flowtronic S.A.) in FloTracker Handheld ADV (SonTek/YSI Inc.) sem podrobno spoznal že pri izdelavi seminarske naloge, v sklopu diplomskega dela, pa sem se ju naučil tudi praktično uporabljati na terenu.

2. Metode merjenja in instrumenti

Pretok spada med pomembnejše hidrološke veličine. Definiramo ga kot volumen vode, ki v določenem času preteče skozi nek prečni prerez vodotoka (Mikoš in sod., 2002). V odprtih kanalih (umetni kanali in naravni vodotoki) v vsakem prečnem prerezu je pretok podan kot

$$Q = v \times A \quad (\text{enačba 1})$$

Tako je pretok lahko določen, če poznamo površino prečnega prereza A in hitrost vode v . Pretok merimo zaradi različnih potreb (Hersch, 1978; Brilly in Šraj, 2005):

- Osnovne informacije o pretoku za projektiranje jezov in akumulacij ter za bilateralne sporazume kjer vodotok poteka po meji med dvema državama
- Za distribucijo vode za potrebe namakanja
- Informacije o pretoku za industrijske obrate kjer se njihova odpadna voda odvaja v javne vodne površine
- Za rečno navigacijo
- Vodni menagement v urbanih in ruralnih območjih
- Dolgoletna merjenja pretokov za vodenje evidence in statistik

Poznamo dva načina meritev pretokov, in sicer enkratno (trenutno) merjenje in kontinuirno merjenje. Enkratna merjenja se opravljajo občasno, za kratek čas, pogosto za kalibracijo ene od kontinuiranih metod merjenja ali za neko raziskavo, študijo. Kontinuitetne pa za redno spremljanje dogajanja v vodotoku (monitoring), ter vodenje evidence in statistik. Preglednica 1 prikazuje to delitev.

Preglednica 1: pregled metod meritev pretoka (Boiten, 2000 str. 120)

	Pogostost meritve	
METODA	Trenutna meritve	Konstantna meritve
Metoda hitrost-površina	■	—

Metoda razredčenja	■	včasih
Metoda naklon-površina	■	–
Akustična metoda	včasih	■
Elektro-magnetna metoda	–	■
Objekti za meritev pretokov	včasih	■

Na izbiro metode meritve pretoka vplivajo naslednji dejavniki (Boiten, 2000) :

- Zahtevana natančnost podatkov
- Merilni instrumenti, ki jih imamo na razpolago
- Dostopnost vodotoka
- Denarne omejitve (koliko finančnih sredstev je namenjenih za naše meritve)
- Širina in globina vodotoka
- Hitrost toka
- Pogostost meritev

Mednarodne standarde s področja meritev pretokov predstavlja spodnja preglednica

Preglednica 2 : Mednarodni standardi iz področja meritev pretokov (Boiten, 2000: str. 154)

STANDARD	LETO	KRATEK OPIS
ISO 9555/1	1994	Metode razredčenja, za meritev pretokov
ISO 748	1997	Metoda hitrost-površina
ISO 772	1996	Glosar izrazov
ISO 1070	1992	Metoda naklon-površina

ISO 1088	1985	Metode hitrost-površina
ISO 1100/2	1982	Določitev odvisnosti med odtokom in prerezom
ISO 2425	1982	Meritve pretokov v kanalih pod vplivom bibavice
ISO 2537	1988	Hidrometrična krila
ISO 3455	1976	Kalibracija hidrometričnih kril v ravnih odprtih cevovodih
ISO 4375	1979	Meritve na vodotokih z vrvjo napeto preko struge
ISO 4369	1969	Metoda premikajoče ladje
ISO 5168	1978	Negotovost pri meritvah pretokov
ISO 6416	1992	Meritve pretokov po akustični metodi
ISO 6418	1985	Akustični merilci pretokov
ISO 8363	1997	Splošna navodila za izbiro metode meritve
ISO 9196	1992	Meritve pretokov pod ledeno ploskvijo
ISO 9213	1992	Elektromagnetna metoda meritve pretoka
ISO 9825	1993	Meritve pretokov v širokih vodotokih in poplavnih pretokih
ISO 11655	1995	Osnovne specifikacije za hidrometrično opremo
ISO 11656	1993	Potrebna razdalja za premešanje sledila
ISO 19974	1998	Elektro-magnetni merilec

2.1 Objekti za meritev pretokov

Objekti za meritve pretoka so objekti, postavljeni v odprtih kanalih ali zaprtih cevovodih s prosto gladino, s pomočjo katerih določimo pretok iz gorvodno izmerjene gladine vode. V bistvu z objekti umetno zmanjšamo prečni prerez kanala ali cevi, da se gorvodno poviša nivo vode. Če je zmanjšanje zadostno, lahko dobimo razmerje med vodno gladino in pretokom. Na to razmerje vplivata bolj ali manj samo oblika in dimenzije objekta, zelo malo pa geometrija kanala oziroma cevi, gorvodno od objekta. Običajno razmerje dobimo s hidravličnimi poizkusi. Funkcije objektov:

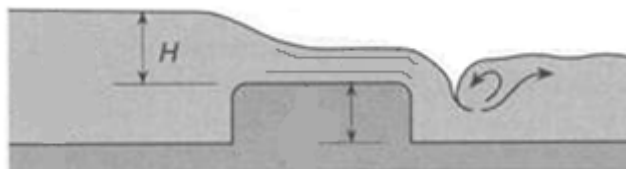
- Nadzor vodne gladine (gorvodno od objekta). Predvsem v kanalih za potrebe namakanja.
- Meritve pretokov. Ko tej objekti služijo samo meritvam pretoka, nimajo nikakršnega mehanizma za uravnavanje pretoka. Običajno jih uporabljamo v naravnih vodotokih, namakalnih in drenirnih kanalih ter v hidravličnih laboratorijih. Sodobne merilne postaje so opremljene s napravami, ki izmerjeno gladino vode direktno pretvorijo v digitalne posnetke pretoka.
- Regulacije in meritve pretoka. V osnovi so tej objekti projektirani za uravnavanje ter meritve pretoka. Običajno jih najdemo v reguliranih vodotokih in namakalnih sistemih.
- Razdelitev vode (pretoka). Pogosto se zgodi, da v namakalnih jarkih glavni tok vode želimo razporediti med druge jarke. Objekt za razdelitev vode lahko razporeja konstanten delež, lahko pa so zgrajeni tako, da uravnavamo sami glede na potrebe.
- Preusmeritev odvečnega pretoka. Zna se zgoditi da, pri povečanih pretokih vode pride do materialne škode, zato del pretoka preusmerimo drugam. (Boiten, 2000)

2.1.1 Široki prag

Dolžina praga mora biti taka, da na kroni zabeležimo tokovnice vzporedne s krono praga, kot je prikazano na sliki 1. Krona mora biti določene višine. Široki prag omogoča točne meritve pri večjih pretokih in prepuščanje plavajočih predmetov. Najbolj uporabljeni so široki pragovi trikotne oblike, zaobljene oblike (pravokotne s močno zaobljenimi robovi) in pravokotne oblike. Osnovna enačba po kateri izračunamo pretok je :

$$Q = \mu * \sqrt{g} * b * H^{3/2} \quad (\text{enačba 2})$$

Kjer H je globina vode nad pragom, μ pretočni koeficient (odvisen od oblike praga), b širina praga in g gravitacijski pospešek. (UNESCO 1994)



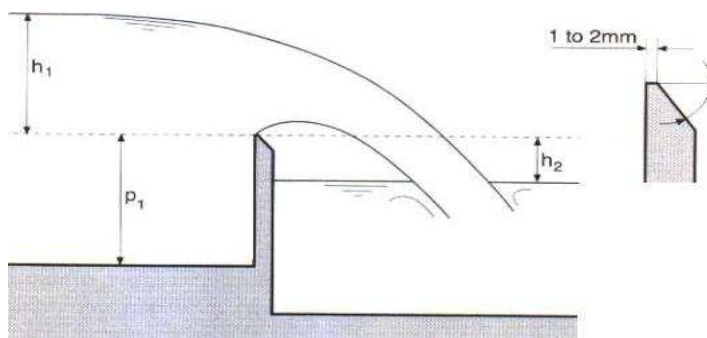
Slika 1 : široki prag (<http://www.jfccivilengineer.com>)

2.1.2 Preliv

Dolžina prelivne krone je od 1 do 2 mm kot je prikazano na sliki 2. Kota prelivne krone mora biti višja od gladine spodnje vode. Geometrija prelivnega prečnega prereza je lahko trikotna (Thompson), pravokotna (Rehbock), trapezna (Cipoletti) in proporcionalna (Sutro). Pomanjkljivost prelivov je, da ne prepuščajo plavajočih predmetov ali proda, zato jih v naravnih vodotokih ne uporabljamo. Enačba po kateri izračunamo pretok, je sledeča:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2g} * H^{2/3} \quad (\text{enačba 3})$$

Kjer H je globina vode nad pragom, μ pretočni koeficient (odvisen od oblike preлива), b širina preлива in g gravitacijski pospešek (UNESCO, 1994).



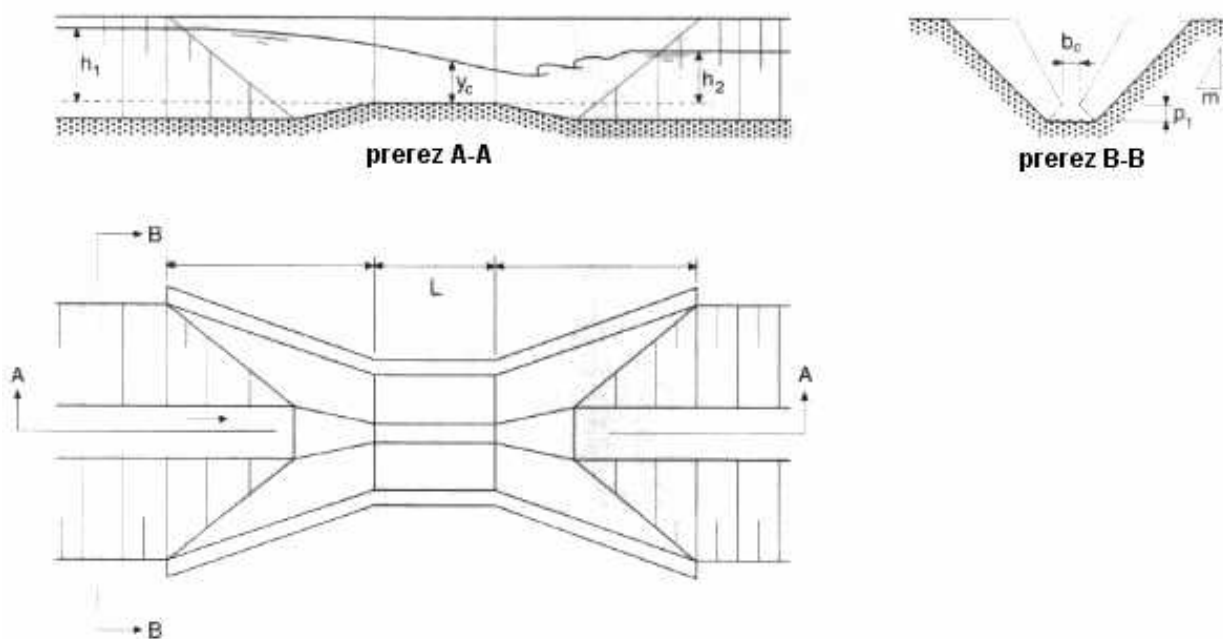
Slika 2 : preliv (Bos, 1989)

2.1.3 Zožitev

Kjer imamo na voljo minimalen padec struge, za meritev pretoka uporabljamo zožitev. Glede na dolžino grla (ožine) jih delimo na zožitve s kratkim in dolgim grlom. Glede na obliko pa poznamo zaokroženo zožitev, pravokotno in trapezno zožitev, ki je prikazana na sliki 3. Omogočajo dober pretok voda, zato jih velikokrat vgrajujemo tam, kjer je to pogoj. Običajno jih ugradimo v manjše vodotoke, ter v namakalne jarke. Najlažja za izvedbo je pravokotna zožitev, vendar je najmanj natančna, zato tam, kjer je zahtevana natančnost meritve uporabljamo trapezno zožitve. Pri pravokotni zožitvi izračunamo pretok po enačbi :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{2/3} * \sqrt{g} * b * h^{3/2} \quad (\text{enačba 4})$$

Kjer je h globina vode v zožitvi, g gravitacijski pospešek in b efektivna dolžina grla zožitve (UNESCO, 1994).



Slika 3 : zožitev (Bos, 1989)

2.2 Elektro-magnetna metoda merjenja pretoka

Je ena od modernih metod merjenja pretoka v vodotokih. Metoda je bila razvita in prinešena v uporabo v Veliki Britaniji (Hersch, 1978). Primerna je za meritve pretokov v:

- Neobdelani in obdelani odpadni vodi
- Vode v fazi pripravljanja za potrebe gospodinjstev (pitna voda)
- Hladilne vode v industriji.
- Vodotokih z veliko poraščenostjo struge
- Vodotokih z nestalnim dnom in intenzivnim transportom sedimentov

Priporočeno je izogibati se meritvam v bližini daljnovodov, razdelilnih postaj ali transformatorskih postaj, kajti okoli vseh naštetih objektov je magnetno polje ki lahko vpliva na točnost naše meritve.

Voda, ki teče v vodotoku, seka navpično magnetno polje, ki ga ustvarja velika tuljava pokopana pod rečnim dnom, skozi katero teče električni tok. V vodo se inducirajo elektro-magnetni signali. Pulzi se merijo s elektrodami ki so postavljene na obeh straneh struge. Ta zelo majhna napetost je neposredno sorazmerna s povprečno hitrostjo toka v prečnem prerezu. Faradejev zakon o elektro-magnetni indukciji, ki se nanaša na naš primer pravi:

$$E = v * b * B \quad (\text{enačba 5})$$

Pri čemer je E jakost inducirane električnega polja, v povprečna hitrost vode, b dolžina konduktorja, enaka širini struge in B intenziteta magnetnega polja. V praksi je teoretični izhodni potencial iz signalnih elektrod zmanjšan v odvisnosti od prevodnosti dna vodotoka in vode. Zato lahko napišemo Hincevo enačbo :

$$Q = K * \left(\frac{E * R_w}{I * R_b} - C \right)^n \quad (\text{enačba 6})$$

Kjer je Q pretok, K dimenzijska konstanta, R_w upornost vode, R_b upor dna, I električni tok, C konstanta postaje in n eksponent. Vrednosti K -ja C -ja in n -ja so empirične vrednosti, ki jih dobimo s kalibracijo sistema.

V izoliranih vodotokih s prečnim profilom pravilne oblike lahko pričakujemo napako meritve nekje do 5 %, v neizoliranih do 10 %. Najmanjša hitrost, ki se po tej metodi še zazna je 0,002 m/s. (Boiten, 2000)

2.3 Akustična metoda merjenja pretoka

Princip te metode je meritev pretoka na znani globini vode z oddajanjem zvočnih pulzov skozi vodo iz ene brežine vodotoka na drugo (Boiten, 2000). Zvočne signale oddajata pretvornika, ki se nahajata na obeh brežinah vodotoka, pod vodno gladino na znani globini in sta postavljena tako, da ustvarjata neko merilno diagonalo kot je prikazano na sliki 4. Akustični pulzi so poslani iz točke A v točko B in obratno. Če ni pretoka, je čas potovanja od A do B (t_1) enak času potovanja od B do A (t_2). Čas potovanja dobimo po enačbi:

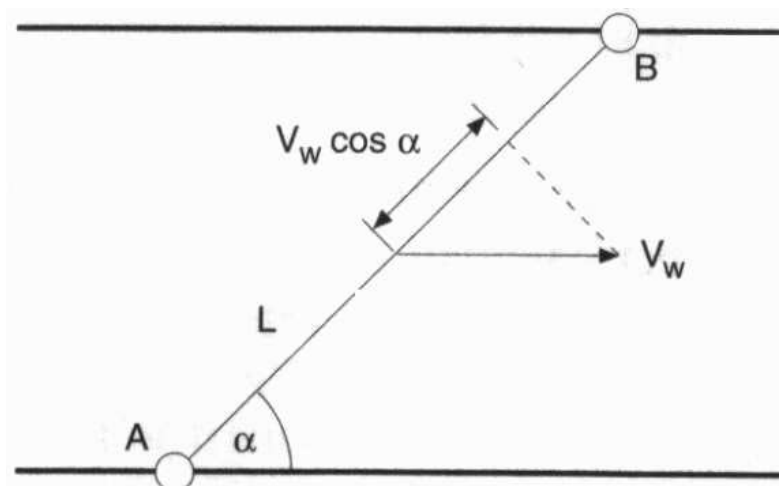
$$t_1 = t_2 = L/C \quad (\text{enačba 7})$$

Kjer L je razdalja med točkama in C je hitrost zvoka v vodi (nekje med 1450 in 1480 m/s). Če v vodotoku je pretok, je signal od A do B pospešen in od B do A pa upočasnen (vpliv pretoka). Čas potovanja, če v vodi je pretok dobimo po spodnjih enačbah:

$$t_1 = \frac{L}{C + V_w \cdot \cos \alpha} \quad \text{in} \quad t_2 = \frac{L}{C - V_w \cdot \cos \alpha}$$

V_w je vektor hitrosti vode, α je kot med vektorjem in daljico med A in B. Iz razlike v potovanju signala v eno in drugo smer se dobi hitrost vode, kot kaže spodnja enačba. (Boiten, 2000).

$$V_w = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha} * \left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t_1} \right) \quad (\text{enačba 8})$$



Slika 4: Princip akustične metode (Boiten, 2000)

Za izračun realne hitrosti v , moramo izmerjeno hitrost v_w pomnožiti s korekcijskim faktorjem K , ki je odvisen od :

- Globine vode prečnega profila kjer merimo
- Hrapavosti dna vodotoka
- Oblike prečnega prereza

Korekcijski faktor K ima običajno vrednosti med 0,9 in 1,1 (Boiten, 2000).

Na zvočni signal vplivajo tudi dejavniki kot so temperaturni gradient, slanost vode, kontrakcije sedimentov in zračnih mehurčkov v vodi. Minimalna globina na kateri merimo je odvisna od razdalje L med točkama A in B in od frekvence oddanega zvočnega signala. Običajno je to 200 kHz ali 400 kHz. (Boiten, 2000)

2.4 Metoda naklon-površina

Ta metoda je večinoma uporabljena za določitev konice pretoka med poplavo (Boiten, 2000). Ko je poplavni val že mimo, pusti za seboj sledi, do kjer je voda segala. Iz tega določimo naklon, površino prečnega prereza in hidravlični radij. Pretok pa določimo s pomočjo Manningove ali Chezijeve formule.

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad (\text{enačba 9})$$

Kjer je Q pretok, n Manningov koeficient hrapavosti, S energijski gradient in R hidravlični radij, ki ga dobimo po enačbi $R = \frac{A}{P}$ kjer sta A površina prečnega prereza in P omočeni obod prereza. Alternativa Manningovi enačbi je Chezyjeva formula:

$$Q = C * R^{\frac{1}{2}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad (\text{enačba 10})$$

C je Chezijev koeficient, ki ga dobimo po enačbi $C = 18 * \log \frac{12R}{k}$

Naklon lahko dobimo tudi s meritvami vodne gladine na začetku in na koncu izbranega odseka in ga določimo po spodnji enačbi:

$$S = \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (\text{enačba 11})$$

Površina prečnega prereza A in omočeni obod P sta izračunana iz meritev na najmanj treh mestih izbranega odseka, na začetku, na koncu in nekje na sredini. Če je odsek večinoma nepravilnih oblik, potem povprečno površino \bar{A} in povprečni omočeni obod \bar{P} dobimo po enačbah: $\bar{A} = \frac{(A_1 + 2A_2 + A_3)}{4}$ in $\bar{P} = \frac{(P_1 + 2P_2 + P_3)}{4}$ (Boiten, 2000)

Metoda naklon površina je veliko manj natančna kot ostale metode merjenja pretoka. Zato jo uporabljamo samo tedaj ko ostale metode niso možne. Postopek po katerem pridemo do rezultata (Boiten, 2000):

- Izberemo odsek vodotoka, kjer tok je približno nespremenljiv
- Izmerimo prečne profile v točkah ena dva in tri, izračunamo njihovo površino, omočeni obod ter hidravlični radij.
- Določimo naklon struge iz sledi, ki jih je pustila visoka voda ali izmerimo gladine vode v izbranih profilih
- Določimo Manningov oziroma Chezyjev koeficient hrapavosti (sestava struge, vegetacija itd.) pomagamo si s literaturo o rečni hidravliki
- Izračunamo pretok

2.5 Metoda hitrost-površina

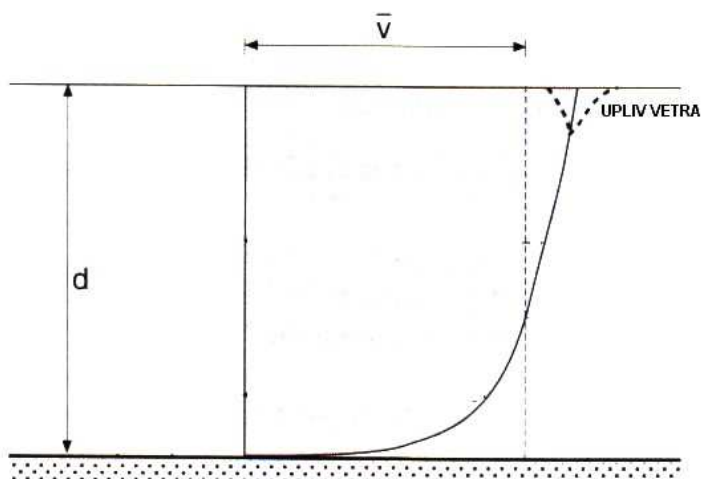
Osnova za to metodo je enačba:

$$Q = A * \bar{v} \quad (\text{enačba 12})$$

Kjer je Q pretok, \bar{v} povprečna hitrost v izbranem profilu in A površina profila. Profil izberemo tam, kjer je smer toka čim bolj pravokotna na prečni prerez. Površina je izračunana iz izmerjene širine profila in vodne globine v vertikalah. Širino običajno izmerimo z merskim trakom, lahko pa tudi na kakšen drug način. Globino merimo v nekaj vertikalah, ki so enakomerno razporejene vzdolž prečnega profila. Število vertikal naj bo tako, da je oblika prečnega profila natančno opisana. V hidrometriji je nenapisano pravilo, da meritve vseh parametrov izvajamo iz leve brežine proti desni (Brilly in Šraj 2005). Razporeditev hitrosti lahko določimo samo z zadostnim številom vertikal. Nemogoče je določiti povprečno hitrost \bar{v} brez ustreznih meritev.

2.5.1 Razpored hitrosti po prečnem prerezu

Enakomerni tok je definiran kot $\frac{dQ}{dt} = 0$. V vseh točkah prečnega prereza se hitrost s časom ne spreminja, oziroma se spreminja po času, ki je bistveno daljši od časa naše meritve. Zaradi trenja dna vodotoka, je hitrost tik nad rečnim dnom manjša od hitrosti tik pod vodno gladino. Po vertikali je razporeditev hitrosti odvisna tudi od tega ali je tok laminaren, ali turbulenten. To nam pove Reynoldsovo število. Če je manjše kot 400 gre za laminaren tok (takšen tok v naravi zelo redek), če pa je večje od 800 gre za turbulenten tok (najbolj pogost tok v naravi). Vmes je prehodni tok. Razpored hitrosti po vertikali za turbulenten tok je parabolične oblike, kot kaže slika 5.



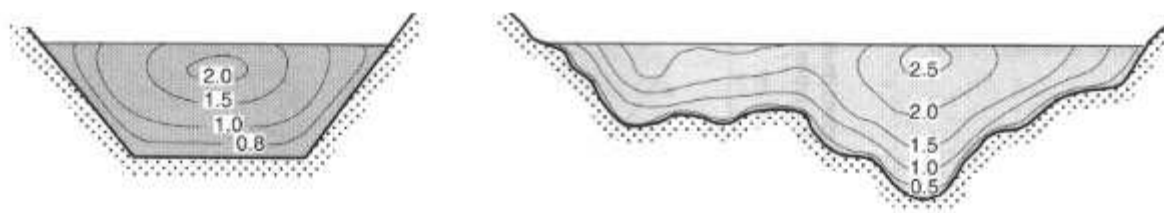
Slika 5: parabolična razporeditev hitrosti po vertikali (UNESCO, 1994)

Povprečna hitrost vodotoka se nahaja približno na razdalji $0,4d$ od dna vodotoka, kjer d predstavlja višino gladine vode. Ta razdalja se spreminja v odvisnosti od količnika n , kot je prikazano v preglednici 3. Parameter n je odvisen od hrapavosti dna. (Boiten, 2000)

Preglednica 3 : razdalja od dna povprečne hitrosti (Boiten, 2000)

n	Razdalja od dna
3 (zelo hrapavo dno)	0,422d
5	0,402d
6 (običajna vrednost)	0,397d
7	0,393d
10 (zelo gladko dno)	0,386d

V vsaki točki vertikale je hitrost v bistvu neko povprečje, kajti gre za turbulenten tok. Zaradi tega je priporočljivo, da ko merimo hitrost v poljubni točki prečnega prereza merimo vsaj od 30 do 60 sekund. Razpored hitrosti po horizontali prečnega prereza pa je več ali manj odvisna samo od oblike struge. Črte, ki povezujejo točke z isto hitrostjo v prečnem profilu imenujemo izotahe. Lep primer izotah v naravnem in reguliranem vodotoku je prikazan na sliki 6.



Slika 6 : razpored hitrosti po prečnem profilu – izotahe (Boiten 2000)

Torej da dobimo povprečno vrednost hitrosti, moramo opraviti več meritev po širini in globini. V kolikih točkah bomo izmerili, pa je odvisno od tega, koliko želimo, da je naša meritev natančna. Po mednarodnih standardih je najmanjše število vertikal 10 (UNESCO, 1994). Vsaka vertikala pa naj nosi enak delež pretoka.

Zaradi relativno počasnega spreminjanja pogojev pretoka, lahko opravljamo meritve hitrosti v vsaki vertikali posebej, eno za drugo. Da bi izmerili celoten hitrostni profil v razumno kratkem času, je hitrostni profil poenostavljen z končnim številom točk pod predpostavko, da je razporeditev hitrosti parabolna. Na voljo so spodaj naštet metode. (UNESCO, 1994)

- Če je globina vode nekje do 0,25 metra merimo v eni točki. $\bar{v} = v_{0,6}$ Kjer $v_{0,6}$ je hitrost izmerjena na globini 0,6 d od vodne gladine. d je celotna globina vode.
- Če je globina vode (d) nekje med 0,25 in 0,5 m merimo v dveh točkah vertikale.
 $\bar{v} = 0,5 (v_{0,2} + v_{0,8})$ Kjer sta $v_{0,2}$ in $v_{0,8}$ hitrosti izmerjeni na globini 0,2d in 0,8d od vodne gladine.
- Če je globina vode (d) več kot 0,5 m merimo v vsaj treh točkah. Ko merimo v treh točkah je enačba izračuna povprečne hitrosti $\bar{v} = 0,25v_{0,2} + 0,5v_{0,6} + 0,25v_{0,8}$ to je v bistvu kombinacija metode s eno točko in dvema točkama. Ko merimo v petih točkah pride v poštev enačba $\bar{v} = 0,1(v_s + 3v_{0,2} + 2v_{0,6} + 3v_{0,8} + v_b)$ kjer v_s je hitrost na površini vode in v_b hitrost na dnu vodotoka.
- Ko želimo izvajati hitrejše in manj natančne meritve ponemo to po integralni metodi. Instrument za merjenje hitrosti pomikamo enakomerno skozi celoten prerez in

ugotavljamo povprečno hitrost vode. Hitrost pomikanja naj bo manjša od 5% hitrosti vode. Priporočljivo je meriti v dveh ciklih.

- Če porazdelitev hitrosti po vertikali ni parabolična ali ne poznamo porazdelitve uporabimo grafično metodo. Iz znanih hitrosti narišem graf porazdelitve hitrosti. Nad oziroma pod zadnjo točko meritev graf ekstrapoliramo in samo podaljšamo do črt ki predstavljajo spodaj dno zgoraj pa gladino vodotoka.

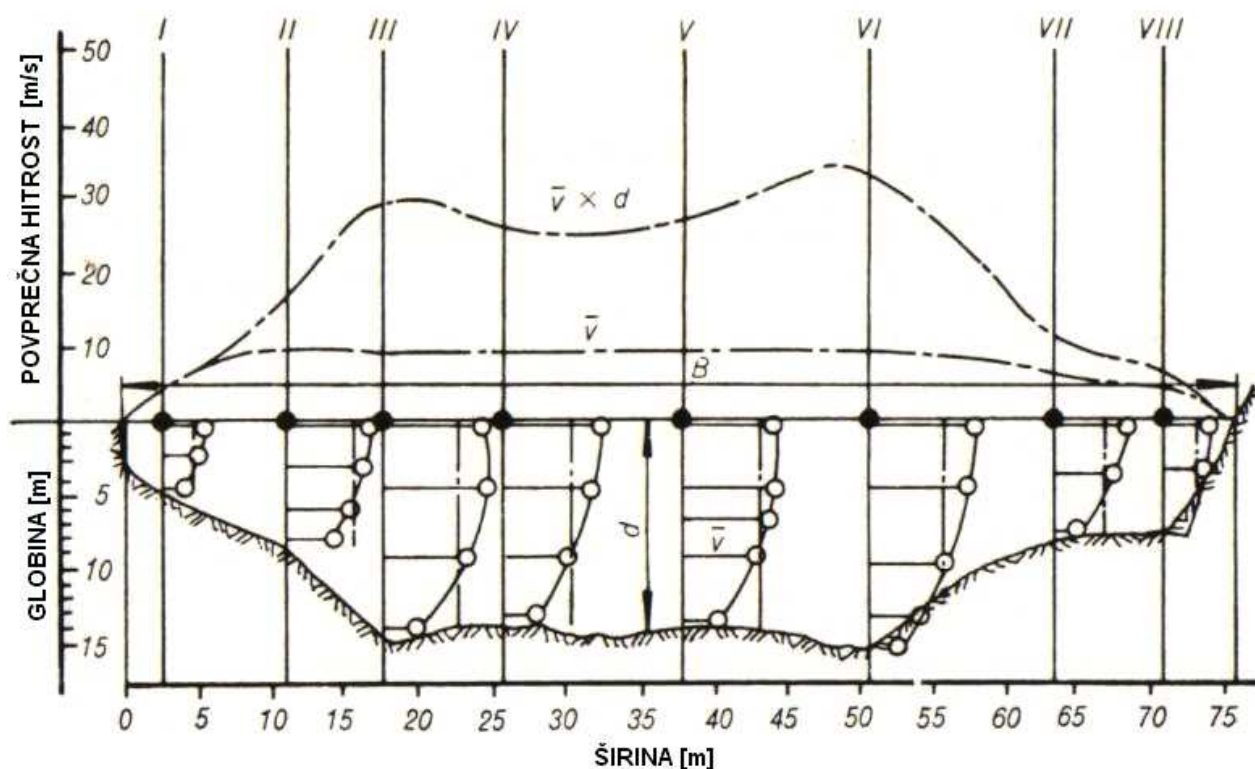
Hitrost merimo s številnimi instrumenti. Opisani so v naslednjih nekaj poglavjih.

2.5.2 Določitev pretoka

Iz izmerjenih hitrosti lahko pretok določimo s pomočjo treh metod in sicer grafično z integracijo globine in hitrosti ter aritmetično po metodi glavnega prereza in srednjega prereza. Katero metodo bomo izbrali je odvisno od načina meritve hitrosti, razmer v vodotoku med meritvijo in od zahtevane natančnosti.

2.5.2.1 Grafična metoda

V vsaki vertikali narišemo krivuljo hitrost-globina. To naredimo tako, da v vsaki točki opazovanja naneseemo točko s hitrostjo in te točke med seboj povežemo, kot je prikazano na sliki 7. Nato izmerimo površino vsake take krivulje in njihovo vrednost naneseemo nad vodno gladino. Te točke nad gladino povežemo in dobimo krivuljo. Površina med krivuljo in vodno gladino predstavlja celoten pretok (Herschey, 1978).



Slika 7 : Krivulje hitrost-površina pri grafični metodi (Herschky, 1978)

2.5.2.2 Metoda glavnega prereza

Prečni prerez razdelimo na odseke. Vsak odsek je omejen z leve in desne s dvema sosednjima vertikalama. Pretok za vsak odsek je določen po enačbi

$$q = \left(\frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2} \right) * \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \quad (\text{enačba 13})$$

Kjer q je pretok za posamezen odsek, \bar{v}_1 povprečna hitrost v prvi vertikali, \bar{v}_2 povprečna hitrost v drugi vertikali, d_1 globina v prvi vertikali, d_2 globina v drugi vertikali in b je širina odseka (razdalja med vertikalama). Celoten pretok dobimo tako, da seštejemo pretoke za posamezne odseke. Pretoke za tiste odseke, ki mejijo na brežine dobimo tako, da upoštevamo na eni strani ničelno hitrost in globino. (Herschky, 1978)

2.5.2.3 Metoda srednjega prereza

Po tej metodi je produkt med hitrostjo \bar{v} in globino d v vsaki vertikali pomnožen s širino vodne gladine, ki jo vzamemo kot seštevek polovične razdalje do ustrezne vertikale. Pretok torej dobimo po enačbi

$$q = \bar{v} * d * \left(\frac{b_1 + b_2}{2} \right) \quad (\text{enačba 14})$$

Kjer q je pretok, \bar{v} povprečna hitrost v vertikali, d globina v vertikali, b_1 širina odseka na eni strani vertikale in b_2 širina odseka na drugi strani vertikale. (Herschly, 1978)

2.5.3 Hidrometrično krilo

Instrument deluje tako, da propeler z znanim kotom krakov na horizontalni osi poganja voda, ki teče mimo njega. Vsak obrat propelerja je v razmerju s hitrostjo vode in s nagibom krakov propelerja. Če je hitrost vode visoka, uporabljamo propeler s majhnim kotom krilc, če ne pa tistega s večjim kotom (Boiten, 2000). Iz števila obratov v nekem časovnem intervalu dobimo hitrost vode. Osnovna enačba po kateri kalibriramo hidrometrično krilo je

$$v = K * n * \Delta \quad (\text{enačba 15})$$

Kjer v je hitrost vode, K kot krilc propelerja glede na horizontalno os, n število obratov in Δ karakteristična konstanta instrumenta (Boiten, 2000). Običajno časovni interval merjenja obratov traja 30, 60 ali 100 sekund. Obstajata dve vrsti hidrometričnega krila. Majhno ali mini, ki ga uporabljamo v hidravličnih laboratorijih ali majhnih kanalih ter univerzalno, ki je dosti bolj široko uporabljeno. Primer univerzalnega hidrometričnega krila je na sliki 8. Ko uporabljamo instrument tako, da je pritrjen na palico, je priporočeno, da ima palica na koncu ploščico, ki preprečuje, da bi se zarila v dno. Paziti moramo, da je instrument postavljen pravokotno na smer toka. Če namesto na palici instrument uporabljamo tako, da visi na vrvi, ki je napeta čez strugo ga moramo obtežiti s utežjo. Večja kot je hitrost, težjo utež potrebujemo. Najmanjša hitrost ki jo lahko še merimo je med 0,03 in 0,06 m/s odvisno od

kota in premera uporabljenega propelerja. Pri majhnih hitrostih je točnost meritve slaba, zato je boljše če merimo več kot 60 sekund (Herschy, 1978). Tako se natančnost meritve nekoliko poveča.

Hidrološko krilo je odličen instrument za hitre in natančne meritve. Pomembno je le, da pravilno ravnamo z njim, ga vzdržujemo in redno kalibriramo.



Slika 8 : hidrometrično krilo (www.valeport.co.uk/current_meters)

2.5.4 Elektro-magnetni merilec hitrosti

Instrument deluje na principu Faradeyevga zakona (1832). Prevodnik, ki se giblje v magnetnem polju ustvarja napetost električnega toka. Tako voda (prevodnik), ki se giblje v magnetnem polju ustvarja napetost, ki je linearno odvisna od hitrosti toka vode. Že pred leti so ta princip praktično uporabljali za meritve pretoka v cevovodih in za določitev hitrosti ladij. Danes pa se magnetna indukcija uporablja tudi za določitev hitrosti vode v odprtih cevovodih. To je eden od tistih instrumentov, ki predstavljajo alternativo hidrometričnemu krilu. Hitrost dobimo, po enačbi

$$v = \frac{E}{B \cdot b} \quad (\text{enačba 16})$$

Kjer v je hitrost toka vode, E je izmerjena napetost električnega toka, B je moč magnetnega toka in b dolžina med elektrodama (Boiten, 2000). Izhodna napetost v senzorju je izmerjena v dveh posebnih elektrodah. Da bi se izognili termoelektričnim in elektrokemičnim problemom se oddaja izmenično elektromagnetno polje (periodično menjavanje smeri toka) (Hersch, 1978). Pri meritvah lahko pride do minimalnih napak, zaradi hidrodinamičnih vplivov. Senzor je običajno cilindrične oziroma ovalne oblike. Zaradi upora senzor nekoliko vpliva na tok vode. Moč magnetnega polja je obratno sorazmerna s kvadratom razdalje od izvora. To pomeni, da največji potencial je tik ob senzorju. Tam je tudi največji vpliv senzorja na tok vode, zato mora biti senzor čim bolj hidrodinamične oblike. Instrument je primeren za meritve v plitvih vodotokih. Namestimo ga na palico podobno kot hidrometrično krilo, kot je to prikazano na sliki 9. Minimalna zahtevana prevodnost medija je 5 η S (prevodnost navadne vode je 50 η S) (Hersch, 1978).

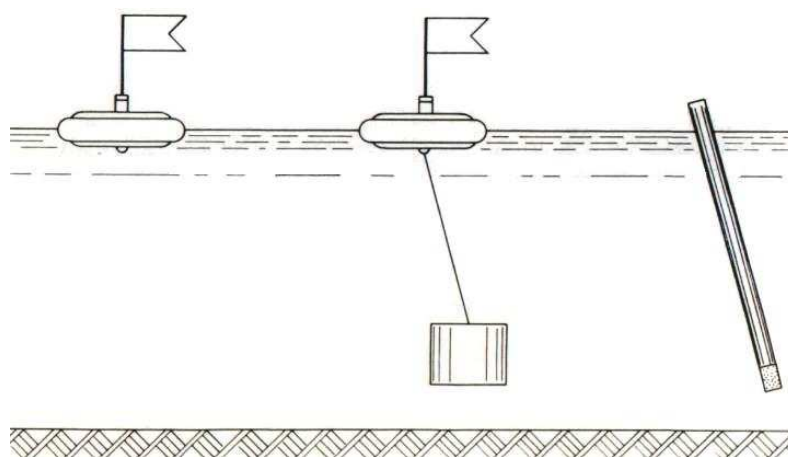


Slika 9 : elektromagnetni merilec hitrosti (<http://hydroaxys.com>)

2.5.5 Meritve hitrosti s pomočjo plovcia

Plovec je najbolj enostaven instrument za meritve hitrosti pretoka vode. To tehniko uporabljamo, ko je nemogoče uporabljati hidrometrično krilo (ekstremno hiter tok ali prepočasen tok) in ko ne potrebujemo natančne meritve, ampak samo informativno

vrednost. Izbrani odsek meritve mora biti kar se da raven in pravih oblik, da je tok čim bolj enakomeren. Izberemo tri prereze, enega na začetku, enega na koncu in enega na sredini našega odseka. Izbrane prereze označimo na brežinah s označevalnimi reperji, razdalja med njimi mora biti taka, da je potovalni čas med vsakim prerezom vsaj dvajset sekund. Najbolj uporabljeni in poznani plovci so površinski plovec, dvojni plovec in palični plovec (v obliki palice). Prikazani so na sliki 10.



Slika 10 : različne oblike plovcev (Herschly, 1978)

- **Površinski plovec** Globina potopitve je manjša od 10% vodne globine. Uporabljamo jih med poplavami. Slaba lastnost je, da na njegovo hitrost vpliva veter.
- **Dvojni plovec** Plovček z majhnim uporom je povezan z vrvico na majhno utež, ki je potopljena na globini 0,6 celotne globine vode. Tako naj bi se dobilo povprečno hitrost.
- **Palični plovec** Globina potopitve je nekje 75% ali več od celotne globine vode, vendar ne sme tikati dna vodotoka. Uporablja se ga samo v umetnih vodotokih ali kanalih kjer je struga pravih oblik brez morebitnih ovir v njej. (Herschly, 1978)

Različni tipi plovcev imajo redukcijske faktorje k , ki imajo vrednosti od 0,75 do 0,98. Povprečno hitrost dobimo po enačbi:

$$\bar{v} = k * v_{\text{plov}} \quad (\text{enačba 17})$$

Nekaj vrednosti redukcijskega faktorja k za površinski in palični plovec je podanih v spodnji preglednici. Za površinski plovec je k funkcija hrapavosti struge, za palični funkcija razmerja med globino potopitve y in celotno globino d . (Boiten, 2000)

Preglednica 4 : nekaj vrednosti redukcijskih faktorjev (Boiten, 2000 str. 173)

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

2.5.6 Dopplerjev merilec hitrosti

Meritve s tem instrumentom so relativno nove in zaradi enostavnosti uporabe vse bolj priljubljene. S takim instrumentom lahko merimo v vseh točkah prečnega prereza vodotoka (od dna pa vse tja do gladine vode). Že ime inštrumenta nam pove, da meri hitrosti vode na principu Dopplerjevega efekta. Hitrost je določena s merjenjem spremembe v frekvenci zvoka, ki ga oddaja predmet v gibanju. Najbolj pogost in skoraj vsem poznan primer Dopplerjevega efekta je vozilo s sireno. Ko se nam približuje na primer gasilsko vozilo, slišimo višji ton sirene, med tem pa pri oddaljevanju slišimo nižji ton sirene, kot pa je dejanski. Nekaj podobnega je tudi če opazujemo valove na vodni gladini. V določenem časovnem intervalu gre na primer mimo nas osem valov. Če se začnemo gibati v nasprotni smeri toka, gre mimo nas v istem časovnem intervalu več kot osem valov – frekvenca valov

zgleda višja. Če pa se začnemo gibati v smeri toka, gre v istem časovnem intervalu mimo nas manj kot osem valov – frekvenca valov je navidezno nižja. Ta pojav imenujemo Dopplerjev efekt. Dopplerjev merilec pretočnih hitrosti v bistvu meri hitrost suspendiranih delcev v vodi, oziroma hitrost vode določa z merjenjem spremembe v frekvenci zvoka, ki se odbija od posameznega suspendiranega delca v vodi. Osnovna predpostavka je, da je hitrost in smer suspendiranih delcev enaka hitrosti in smeri vode. Izkazalo se je, da to je zelo zanesljiva in točna predpostavka. Če bi bila voda popolnoma čista, ta metoda meritve ne bi bila možna. V naravnih vodotokih je to praktično nemogoče. Tudi če je količina suspendiranih delcev majhna, to zadostuje za meritev. Tudi velikost delcev ne predstavlja ovire, kajti že zelo majhni delci uspešno odbijajo oddane pulze instrumenta.

Dopplerjev princip pravi, da če se vir zvoka relativno premika glede na sprejemnik, se frekvenca zvoka ki ga zazna sprejemnik razlikuje od dejanske frekvence. To opisuje naslednja enačba :

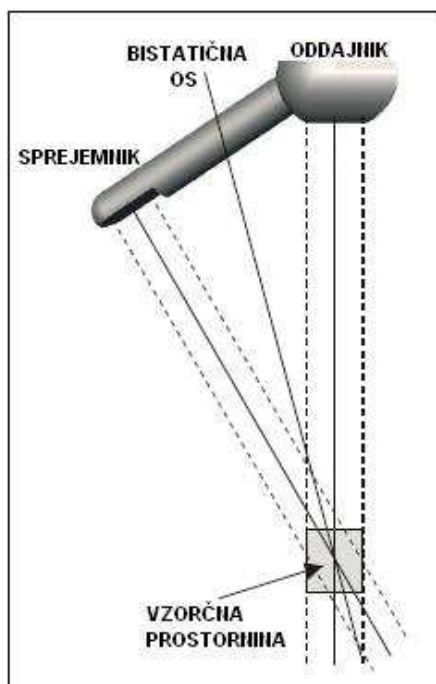
$$F_d = - F_s (V / C) \quad \text{(enačba 19)}$$

Kjer F_d je sprememba v sprejeti frekvenci, F_s je frekvenca oddanega zvoka, V je relativna hitrost izvora glede na sprejemnika in C je hitrost zvoka. Hitrost zvoka v vodi približno 1500 m/s. Če se razdalja med virom zvoka in sprejemnikom manjša, se frekvenca zvoka povečuje, če pa se razdalja večja, se frekvenca zmanjšuje (SonTek, 2002).

Dopplerjev merilec hitrosti je bistatični merilni instrument, to pomeni da se za oddajnik in sprejemnik uporabljajo ločeni zvočni elementi. Oddajnik odda zvok, ki je koncentriran v tanek žarek, sprejemniki pa zaznajo zvok, ki je koncentriran v tanek žarek. Oddajnik in sprejemniki so postavljeni tako, da se njihovi žarki sekajo v majhni prostornini vode, imenovani vzorčna prostornina vode. Vzorčna Prostornina je običajno 10 cm oddaljena od centra sonde (oddajnika) vendar ima točna pozicija odstopanje 0.5 cm odvisno od sonde do sonde. Oblika vzorčne prostornine je valj z premerom 6mm in višino 9mm. Ti instrumenti lahko izmerijo 2D (po x in y osi) ali 3D (po x, y, z osi) hitrost vode. Za naše meritve potrebujemo samo x komponento hitrosti (je vzporedna z tokom vode), kajti izračun pretoka bomo opravili po metodi hitrost-površina kot je bilo na začetku tega poglavja opisano. (SonTek, 2002)

Dopplerjev merilec izmeri hitrost na sledeči način:

Oddajnik odda zvočni pulz z znano frekvenco, ki potuje vzdolž osi oddajnika do vzorčne prostornine. Tukaj zvočni signal zadene ob nek suspendiran delec in signal se razprši na vse strani. Nekaj oddanega pulza se odbije tudi v smeri osi sprejemnikov, ki ta zvočni pulz sprejmejo. Instrument glede na oddan in sprejet signal izmeri razliko v frekvenci. Dopplerjev efekt je proporcionalen s hitrostjo suspendiranih delcev glede na bistatično os sprejemnikov in oddajnika, katera se nahaja točno na sredini med njimi. Bistatična os se nahaja točno med žarkom oddajnika in sprejemnika (na enaki razdalji med obema) to je lepo prikazano na spodnji sliki. Vsak posamezen par (oddajnik/sprejemnik) meri projekcijo 3D hitrosti vode na bistatično os. Hitrost, ki jo izmeri vsak posamezen sprejemnik imenujemo bistatična hitrost. Bistatično hitrost pretvorimo v kartezični koordinatni sistem (X,Y,Z) s pomočjo geometrije sonde (glede na kote oddajnih in sprejemnih žarkov). (SonTek, 2002)



Slika 11 : Prikaz bistatične osi in vzorčne prostornine (SonTek, 2002)

2.5.6.1 Merilec pretočnih hitrosti FloTracker

Dopplerjev profilni merilec s tržnim imenom Flow Tracker Handheld ADV je sodoben instrument, za merjenje hitrosti vode na terenu. Flow Tracker uporablja preizkušeno tehnologijo SonTek/YSI akustičnega Dopplerjevega merilca hitrosti (Acoustic Doppler Velocimeter), ki je senzor visoke ločljivosti. Tehnologija ADV zagotavlja številne prednosti:

- Natančne meritve hitrosti
- 2D in 3D meritve hitrosti
- ni potrebe periodične kalibracije
- kratek odzivni čas
- enostavne operacije in uporaba
- deluje odlično za nizke in prav tako za visoke pretoke (točnost meritve na 1% natančnosti)

Z enostavno uporabo in brez priklopa na osebni računalnik, ga lahko uporabimo za:

- merjenje pretokov v naravnih vodotokih
- merjenje pretokov v kanalih s prosto gladino
- meritve v velikih cevovodih
- meritve v rudniških rovih
- večtočkovne meritve hitrosti
- monitoring na napravah za oskrbo z vodo

Flow tracker lahko izmeri 2D ali 3D hitrost vode in sicer od 0,01 cm/s do 5 m/s. Izmerjena hitrost je natančna na 1%. Meritev vsakega vzorca traja 1 sekundo. Podatek o hitrosti lahko uporabimo takoj brez nobene korekcije. Hitrost (2D ali 3D) je prikazana v kartezičnih koordinatah (x,y,z) v odvisnosti od postavitve sonde. Hitrost izmeri 10 krat v sekundi. Iz povprečja teh desetih meritev naredi zvorec hitrosti za vsako sekundo, ki se shrani v instrumentu. (SonTek, 2002)

Za določitev Dopplerjevega efekta in iz tega hitrost vode, je pomembna hitrost zvoka. Hitrost zvoka v vodi je odvisna od temperature in slanosti. Če se temperatura spremeni za 5°C se hitrost zvoka spremeni za 1%. Napaka v hitrosti zvoka 1% je posledično napaka v hitrosti vode 2%. Flow tracker ima senzor za temperaturo vode, tako da sam opravi korekcijo hitrosti zvoka. Podatke o slanosti moramo sami vnesti. Če vnesen podatek je na 2 ‰ natančen, upoštevana hitrost zvoka ne bo imela vpliv na izmerjeno hitrost vode. Instrument ni potrebno periodično umerjati, razen če pride do fizične poškodbe sonde. Takrat to opravimo preventivno. (SonTek, 2002)

Zgradba (opis) instrumenta in njegovih komponent:

- **Lcd zaslon** LCD zaslon nam prikaže vnesene podatke izbrane ukaze in izmerjene količine.
- **Tipkovnica** Tipkovnica je nameščena na prednji strani instrumenta. Uporablja se za hiter in enostaven vnos ukazov ter merskih parametrov.
- **Zunanji (komunikacijski) priključek** Zunanji priključek se nahaja na spodnjem delu instrumenta, namenjen je prenosu podatkov na osebni računalnik. Ko ga ne uporabljamo (med meritvami) je pokrit z gumijastim pokrovčkom, kateri ga ščiti pred vlago in umazanijo.
- **Sondni kabel** Sondni kabel je dolg 2m. Povezuje ročni upravljalnik in sondo.
- **Ročni upravljalnik** Ročni upravljalnik vsebuje procesorsko elektroniko, baterije, tipkovnico, LCD zaslon ter zunanji priključek. Zasnovan je tako, da zdrži začasne potopitve, vendar ni predviden za podvodno uporabljanje.
- **Sonda** sonda je sestavljena iz oddajnika, dveh ali treh sprejemnikov (odvisno ali merimo 2D ali 3D hitrost vode) , ter temperaturnega senzorja. Oddajnik odda kratke pulze zvočnih valov določene frekvence, sprejemniki pa sprejmejo nekaj teh pulzov, ki se odbijejo nazaj od suspendiranih delcev. S podatkom o temperaturi inštrument sam uravnava spremembe hitrosti zvoka, ki so odvisne tudi od temperature medija po katerem se širi zvok, v našem primeru je to voda.

Vsi opisani deli instrumenta so označeni na spodnji sliki



Slika 12: Merilec pretočnih hitrosti FlowTracker (www.sontek.com)

Uporaba instrumenta:

Prezračevanje ročnega upravljalnika Ročni upravljalnik je popolnoma zatesnjen. Zato lahko v njem pride do različne temperature kot je zunanja in višjega tlaka kot je zunanji. To lahko vpliva na delovanje tipkovnice, točnost meritve in na systemske operacije. Da bi to preprečili pred vsako uporabo ročni upravljalnik prezračimo. To storimo tako, da gumijasti pokrovček na spodnji strani inštrumenta (kjer priklopimo komunikacijski kabel) za nekaj sekund odpremo in nato ponovno zapremo.

Montiranje sonde Sondni kabel je zelo občutljiv, zato z njim ravnamo zelo previdno. Zaščititi ga moramo pred pretiranim tresenjem, nategovanjem... Firma Sontek ima na razpolago tudi konzolo, na katero pritrdimo sondo, za lažje in bolj natančno merjenje.

Prižig FlowTrackerja Pritisnemo gumb **ON/OFF**, in ga držimo za približno eno sekundo, oz. dokler ne vidimo da se je LCD zaslon vklopil. Nato pritisnemo **ENTER**, da preidemo v glavni meni (main menu). Ko je FlowTracer prižgan, pa lahko preverimo spodaj našete nastavitve in lastnosti.

- **Stanje spomina** Preverimo če je na vgrajenem spominu zadosti prostora za zapis podatkov naše meritve.
- **Temperaturo** Temperatura je pomembna pri hitrosti zvoka in zato tudi pri računanju hitrosti. Preverimo če je približno skladna z zunanjo temperaturo (npr. če sredi poletja kaže 3°C pomeni da je nekaj narobe s inštrumentom).
- **Stanje baterij** Preveriti moramo če so baterije dovolj polne za našo meritev. Paziti moramo tudi, da uporabljamo pravilne baterije, kajti napačne lahko trajno uničijo inštrument.
- **Sistemska ura** FlowTracker ima vgrajeno uro in datum. Zato pregledamo če se ujemata s dejansko uro in datumom ko našo meritev opravimo.

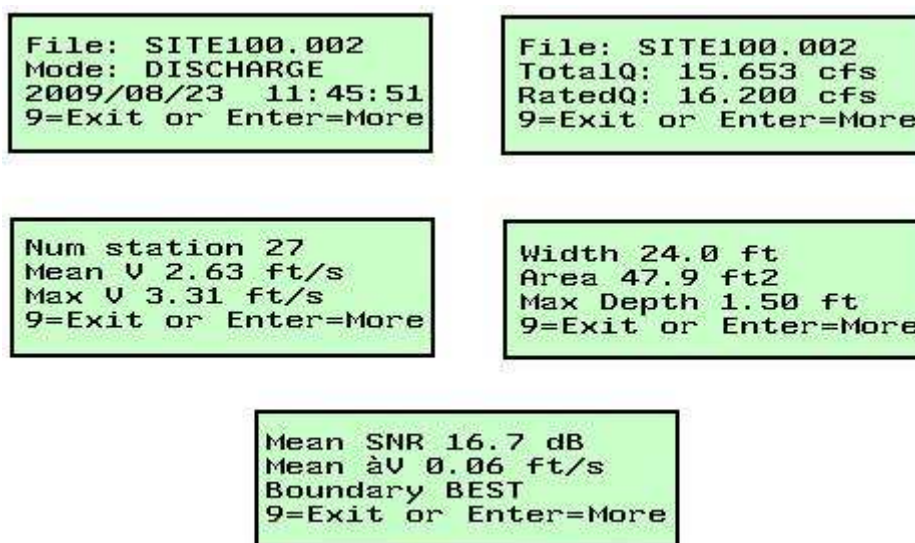
Ko smo vse to preverili moremo nastaviti še določene sistemske parametre. Nastavitve parametrov vplivajo na to, kako bo FlowTracker shranjeval in pridobival podatke. Najprej nastavimo merske enote. Na razpolago imamo dve možnosti in sicer metrične merske enote in angleške merske enote. Nato nastavimo čas v katerem se bodo pridobivali podatki (Averaging time), to lahko nastavimo na 1 sekundo natančno. Interval pridobivanja podatkov, pa je lahko dolg od 10 do 1000 sekund. Kot zadnje pa nastavimo način pridobivanja podatkov in slanost vode. V našem primeru nastavimo na DISCHARGE (odtok). Slanost je lastnost vode, katera tudi vpliva na hitrost širjenja zvoka, zato tudi to mora biti pravilno nastavljeno. (SonTek, 2002)

V nadaljevanju, pa je opisano nekaj osnovnih korakov, s katerimi zberemo podatke med meritvijo. V glavnem meniju (main menu) pritisnemo številko 3 in se nam odpre okence kjer vtipkamo ime datoteke z našimi podatki, in kjer izberemo vse nastavitve glede imena. Ko to storimo, sistem preveri če ime datoteke že obstaja, nato pa se nam odprejo informacije o začetnem profilu. Tukaj vtipkamo višino začetnega profila ter ocenjen pretok. Te podatki nimajo nikakršnega vpliva na operacijo, ampak jih sistem uporablja samo za dokumentacijo podatkovnega niza. Nastavimo tudi podatke o začetnem robu, kjer bomo začeli z meritvami.

Ko so vse vrednosti pravilno nameščene lahko pričnemo z meritvami (pritisnemo gumb **MEASURE**). Ko je meritev končana se nam na zaslonu prikažejo glavni podatki meritve.

Meritev lahko potrdimo ali pa zavrnemo in ponovimo. Če v točki imamo več kot eno meritev, sistem nadaljuje z naslednjo meritvijo, v nasprotnem primeru pa nam prikaže naslednjo merilno točko (profil).

Če želimo lahko posamezno točko meritve izbrišemo ali ponovimo meritev. Ko smo zaključili vse meritve pritisnemo **END SECTION**. Nato pritisnemo **CALC. DISH**. Da zaključimo izračune pretoka in zapremo datoteko. Ko je celoten postopek zaključen so nam na voljo podatki kot kaže naslednja slika.



Slika 13: Prikaz izpisa na lcd zaslonu (SonTek, 2002)

Zelo pomembno je, da preden izklopimo napravo, se vrnemo nazaj v glavni meni, kajti samo tako se nam bodo naši podatki shranili.

2.5.6.2 Dopplerjev merilec pretočnih hitrosti STARFLOW

Dopplerjev merilec STARFLOW je eden redkih instrumentov, ki lahko merijo pretočno hitrost vode, globino vode ter njeno temperaturo. Z njim lahko merimo v zaprtih cevovodih (s prosto gladino), kanalih in večjih ali manjših vodotokih. Sposoben je meriti v vodah s različno kakovostjo. Lahko merimo v čistih vodah vodotokov, v odpadnih vodah kanalizacijskih sistemov in celo v morski vodi. Njegovi najboljši lastnosti sta prav gotovo enostavna uporaba ter to, da z enim samim instrumentom lahko izmerimo tri parametre (hitrost, temperaturo, globino vode). Običajno ga uporabimo, ko so pogoji v vodi takšni, da drugih instrumentov ne moremo uporabiti, ali bi bila njihova uporaba dražja. (UNIDATA, 2000) Kako zgleda instrument je prikazano na sliki 14. Njegove osnovne tehnične lastnosti so opisane v spodnji preglednici.

Preglednica 5: Tehnične lastnosti Dopplerjevega merilca STARFLOW

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

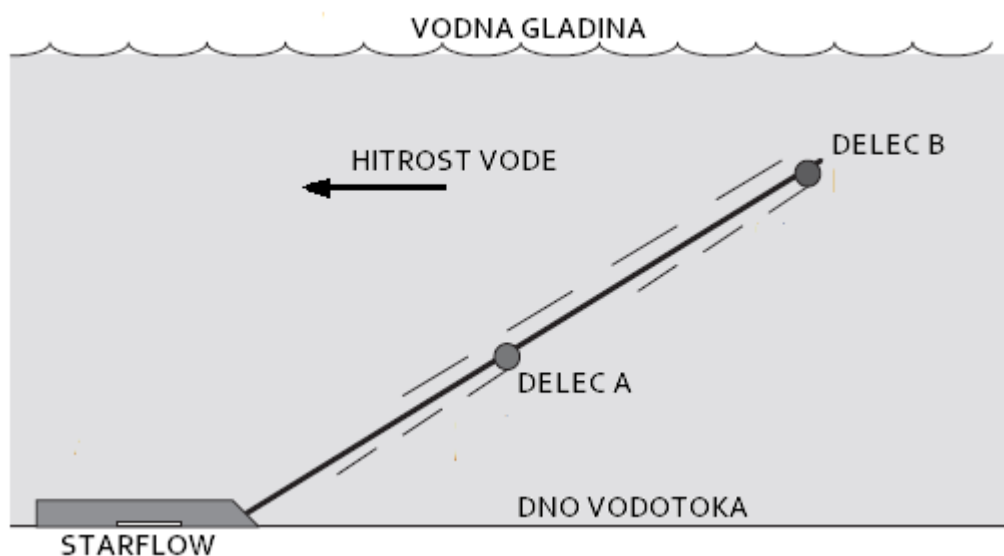
HITROST	
Interval meritve	Od 2.1 cm/s do 450 cm/s (4.5 m/s)
natančnost	2% izmerjene hitrosti
GLOBINA	
Interval meritve	Od 0 do 5m
odstopanja	0-2.5m: 2.5mm
	2.5-5m: 5mm
TEMPERATURA	
Interval meritve	Od -17°C do 60°C voda od 0°C do 60°C

odstopanje	0,1°C
SPOMIN	100 Kb
ČASOVNI INTERVAL MERITVE	Od 5 sekund do 1 teden
DOLŽINA KABLA	15 m
NAPAJANJE	Zunanja baterija 12V
DIMENZIJE	290mm x 70mm x 25mm
TEŽA	850g (2kg s 15m kabla)
MATERIAL OHIŠJA	PVC , montažna plošča iz nerjavečega jekla



Slika 14: Dopplerjev merilec STARFLOW (<http://www.hydrosurvey.cn>)

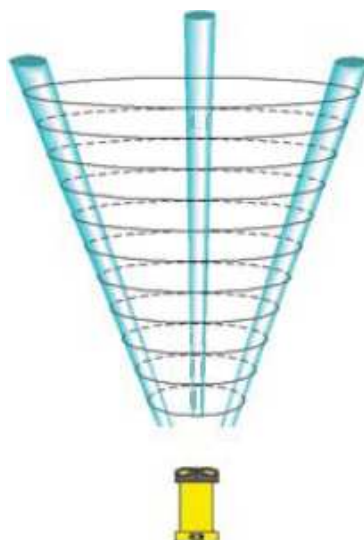
Instrument določi hitrost vode s pomočjo Dopplerjevega efekta. STARFLOW ima senzor, ki meri hidrostatični tlak. Instrument postavimo na dno vodotoka kot prikazuje slika 15. Na podlagi hidrostatičnega tlaka na dnu vodotoka, instrument določi globino vode. Instrument lahko meri temperaturo vode. Temperaturo meri, ker je hitrost zvoka v vodi močno odvisna od temperature, zato jo uporabi pri korekciji meritev pretočnih hitrosti. Vsebuje tudi avtomatski zapisovalec podatkov, ki lahko povpreči v izbranem oziroma v nastavitvah določenem časovnem intervalu (UNIDATA, 2000).



Slika 15: Postavitev instrumenta (UNIDATA, 2000)

2.5.6.3 Dopplerjev profilni merilec SonTek ADP

Dopplerjev profilni merilec SonTek ADP je visokozmogljivi instrument, ki je zelo natančen, zanesljiv in enostaven za uporabo. Instrument meri 3D hitrost vode v globinah, ki smo jih nastavili. Lahko meri vse do globine 220m, v nivojih kot prikazuje slika 16.



Slika 16: Nivoji meritve (<http://www.sontek.com/adp-adcp.php>)

SonTek ADP je na voljo v številnih konfiguracijah, odvisno od naših potreb. Zaradi robustne konstrukcije in ker nima mehanskih premikajočih delov, je zelo vzdržljiv na udarce in kompakten. Vzdrževanje je minimalno in ne potrebuje kalibracije po opravljeni meritvi. Instrument meri s pomočjo Dopplerjevega efekta. Uporabljene elektronske komponente zmanjšujejo stranske motnje, ki vplivajo na točnost meritve. Najbolj široko uporabljen je profilni merilec s tremi oddajniki. Za posebne primere (odvisno od naših potreb) sta na voljo še SonTek ADP z dvema ali štirimi oddajniki (<http://www.sontek.com/adp-adcp.php>). Vse tri različice instrumenta so prikazane na sliki 17.



Slika 17: Tri različice instrumenta (SonTek, 2000)

Uporabljamo ga za potrebe hidrologije, lahko pa tudi oceanografije. Običajno instrument uporabljamo tako, da ga iz čolna ali manjše ladje usmerimo proti dnu vodotoka. Če vodotok ni primeren za plovbo, si lahko pomagamo s manjšim katamaranom, kot je prikazano na sliki 18. Glede na frekvenco oddanega signala se razlikuje tudi globina pri kateri instrument meri (<http://www.sontek.com/adp-adcp.php>). To je prikazano v preglednici 6. Natančnost meritve je nekje 1% od izmerjene hitrosti.

Preglednica 6: Globina meritve glede na frekvenco oddanega signala (SonTek, 2000)

Frekvenca [Khz]	3000	1500	1000	500	250
Globina [m]	3 do 6	15 do 25	25 do 35	70 do 100	120 do 180

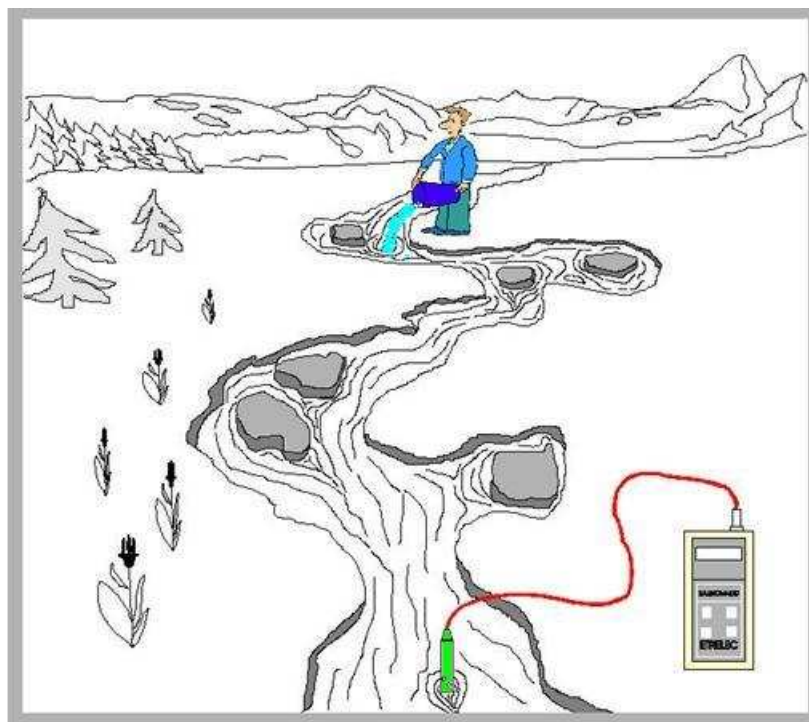


Slika 18 : Katamaran na katerem je pritrjen SonTek ADP (ksh.fgg.uni-lj.si/ksh)

2.6 Metoda razredčenja

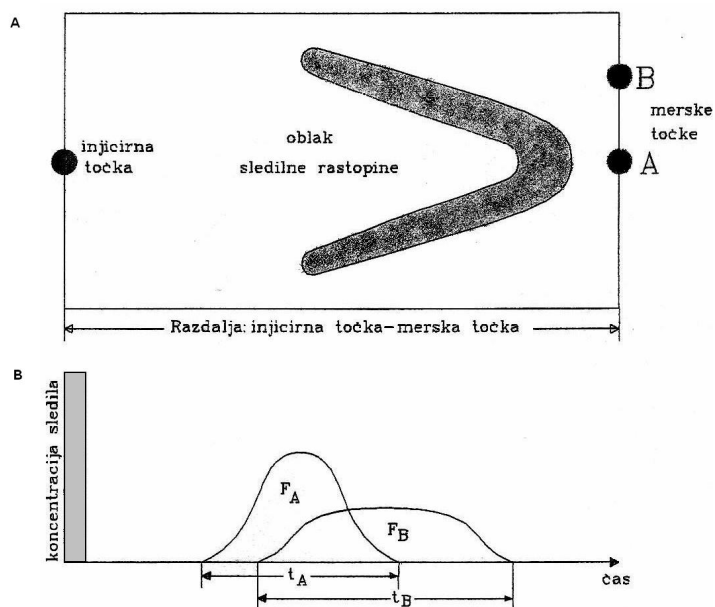
S to metodo merimo pretok predvsem v manjših vodotokih s strmim padcem, kjer je tok izredno hiter in neenakomeren. Metodo uporabljajo tudi v zaraščeni profilih oz. v vodotokih kjer bi bila s hidrometričnim krilom meritev nemogoča. Princip metode je ta, da je enaka količina sledila pri večjem pretoku bolj razredčena kot pri manjšem. Pri tej metodi se injicira kemično raztopino. Injicirana kemična raztopina (sledilo) spremeni elektroprevodnost vode. Dolvodno na izbrani razdalji pa merimo časovno spremembo elektroprevodnosti. Uporabljata se dve metodi injiciranja sledila: metoda konstantnega oz. trajnega injiciranja in metoda trenutnega injiciranja oz. integracijska metoda. Sledilo, ki se uporablja pri prvi metodi je natrijev fluorescein oziroma uranin, pri drugi pa kuhinjska sol (NaCl). Na določeni razdalji dolvodno od mesta injiciranja sledila (kjer je sledilo že popolnoma premešano) se v fiksni merski točki v čim krajših časovnih intervalih določa koncentracija razredčenega sledila. Upoštevati pa moramo tudi naslednje pogoje:

- med našo meritvijo more bit pretok konstanten
- skozi naš profil more teči celotna količina raztopljenega sledila (nobenih izgub)
- sledilo mora biti popolnoma raztopljeno in premešano tako, da skozi vsako točko merskega profila preteče enaka količina raztopine.



Slika 19 : Potek meritve po metodi razredčenja (HMZ, 1999)

Če so izpolnjeni pogoji, se brez težave izračuna celoten pretok skozi izbran merski profil. Rezultat meritve je diagram časovnega spreminjanja koncentracije sledila v merjeni točki kot kaže slika 21. Vedeti moramo da je hitrost vode preko celotnega profila različna, zato je tudi časovni potek koncentracij preko profila različen. V matici je pretok sledilnega oblaka hiter, v točkah z nižjimi hitrostmi pa sledilna raztopina potuje počasneje, kot kaže slika 20. (HMZ, 1999)



Slika 20 : Potovanje oblaka sledila (Flow-tronic, 2003)

Vsaka voda v naravi ima neko elektroprevodnost, zato moramo to pri naših meritvah upoštevati. Za bazno elektroprevodnost ali naravno ozadje so upoštevani podatki o elektroprevodnosti preden oblak naše raztopine doseže merilno mesto in pa ko oblak sledila že odteče mimo merilnega mesta. Z drugimi besedami povedano upoštevamo podatke na začetku in na koncu meritve. Enačba za izračun pretoka je naslednja:

$$Q = \frac{M}{C \cdot t} = \frac{M}{F} \quad (\text{enačba 20})$$

Kjer M je količina injiciranega sledila, C izmerjena koncentracija sledila, t je čas in F pa je površina diagrama poteka koncentracije sledila skozi našo mersko točko. Vendar ker naš graf ni pravokotnik moremo enačbo integrirati.

$$Q = \frac{M}{\int_t c(t)dt} \quad (\text{enačba 21})$$

Koncentracijo sledila merimo v bistvu preko elektroprevodnosti. Zato moramo poznati umeritveni koeficient e , ki predstavlja odvisnost koncentracije sledila C od elektroprevodnosti vode EP , ki jo merimo v enotah $\mu\text{S}/\text{cm}$.

$$e = \frac{C}{EP}$$

Za vsako vrsto sledila mora biti določen umirjevalni koeficient, kajti vsaka vrsta sledila ima svojo elektroprevodnost. Enačba po kateri izračunamo pretok ob upoštevanju bazne elektroprevodnosti BEP je naslednja:

$$C(t) = e * (EP(t) - BEP)$$

$$Q = \frac{M}{e * \int_0^1 (EP(t) - BEP) dt}$$

Končna enačba po kateri računamo upošteva za bazno elektroprevodnost, elektroprevodnost na začetku (EP_1) in na koncu (EP_2) meritve

$$Q = \frac{M}{e * (\sum_{i=1}^n EP(i) - n * \frac{EP_1 + EP_n}{2}) * \Delta t} \quad (\text{enačba 22})$$

V zgornji enačbi n pomeni število opravljenih meritev, Δt čas trajanja časovnega intervala med vsako meritvijo.

Voda ima že svojo elektroprevodnost ki je nekje med 25 in 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Zato moramo uporabiti zadostno količino sledila, da povzročimo dvig elektroprevodnosti. Metoda je pomanjkljiva oziroma ni primerna v času ko se sneg topi, kajti takrat elektroprevodnost naraste tudi za 10 krat, zaradi soljenja cest. (HMZ, 1999)

2.6.1 Izbira in priprava sledila

Sledilo za merjenje pretoka mora imeti naslednje lastnosti:

- ne sme biti strupeno pri izbranih koncentracijah
- mora biti lahko topno v vodi pri normalnih temperaturah
- ne sme obstajati kot naraven del vodotoka razen v minimalnih količinah

- ne sme reagirati z vodo in naravnimi elementi

Najpogosteje uporabljeno sledilo je kuhinjska sol. Razlogov je več in sicer, zaradi lahke dostopnosti, ugodne cene, dobre topnosti in ker pravzaprav nima posledic na floro in favno v vodotoku. Količina uporabljene soli je odvisna od turbulence toka vode, širine in dolžine odseka, kjer bomo izvajali naše meritve, od bazne elektrtoprevodnosti ter od izkušenj izvajalca meritev. Običajno se uporabi nekje med 2 in 12 g soli na liter/sekundo pretoka, pretok pa sami ocenimo. Dvig elektroprevodnosti vode naj bo vsaj za 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (HMZ, 1999)

2.6.2 Izbira profila meritve

Natančnost meritve je odvisna tudi od izbire profila, kjer bomo merili. Zato so zaželeni odseki z turbulentnim tokom, da se tako sol lahko dobro premeša. Izogibati se je potrebno gladkim kanaliziranim odsekom, stoječi vodi ter območjem kjer so možne izgube in zastoji sledila. Razdalja med točko, kjer injiciramo sledilo in med merilno točko naj bo 20-50 kratna srednja širina profila. Teoretično je vseeno v kateri točko profila merimo koncentracijo sledila, vendar se v praksi meri v matici toka kjer so hitrosti največje. Sonda mora biti popolnoma potopljena v vodo, lahko si pomagamo tudi s kamnom, ki jo drži na dnu struge. (HMZ, 1999)

2.6.3 Merilec pretoka vode Flo-tracer

Merilec pretoka vode Flo-tracer je tržno ime za instrument ki meri pretok vode z metodo razredčenja. Izdeluje ga podjetje Flow-tronic. Flo-tracer v bistvu meri elektroprevodnost vode. Iz elektroprevodnosti z metodo razredčenja dobimo pretok vodotoka. Podatke o časovnem poteku koncentracije sledila zaznava potopljena sonda ter se beležijo in shranjujejo v podatkovnem registru, ki se nahaja v ročnem merilcu. Ta je preko kabla povezan s sondo. Sonda meri tudi podatek o temperaturi vode, kajti temperatura pomembno vpliva na elektroprevodnost. (Flo-tronic, 2003)

2.6.3.1 Opis instrumenta

FLO-TRACER je zanesljivo mersko orodje in podatkovni registrator obenem, z dolgo življenjsko dobo, ki potrebuje minimalno vzdrževanje. Čeprav je robustne izdelave za težke pogoje dela, je ob enem visoko natančen inštrument, zato ga zaščitimo pred udarci najlažje tako, da ga hranimo v plastičnem kovčku, ki je namenjen zaščiti in prenosu inštrumenta ter opreme, ki sodi zraven kot kaže slika 21. Osnovni tehnični podatki pa so opisani v preglednici 7. Glavni sestavni deli Flo-tracerja s katerimi izvajamo meritve so :

- ročni merilec, ki ga sestavljajo podatkovni registrator, program za izračun pretoka in uporabniški vmesnik
- sonda za merjenje elektroprevodnosti in temperature vode
- kabel, ki povezuje sondo z ročnim merilcem in služi za prenos podatkov

Preglednica 7: Tehnični podatki instrumenta (Flow-tronic, 2003)

TEHNIČNI PODATKI	
Napajanje	4 alkalne baterije 1.5V
Razpon meritve slanosti	0-2000 mg/l, z adapterjem povečanje obsega do 5000 mg/l
Občutljivost	0.1 mg/l
Natančnost	$\pm 1\%$
Količnik elektroprevodnost/slanost	1.780 (mg/l)/(μ S/cm)
Razpon meritev temperatur	0-40° C
Natančnost temperaturnih meritev	$\pm 0.2^{\circ} C$



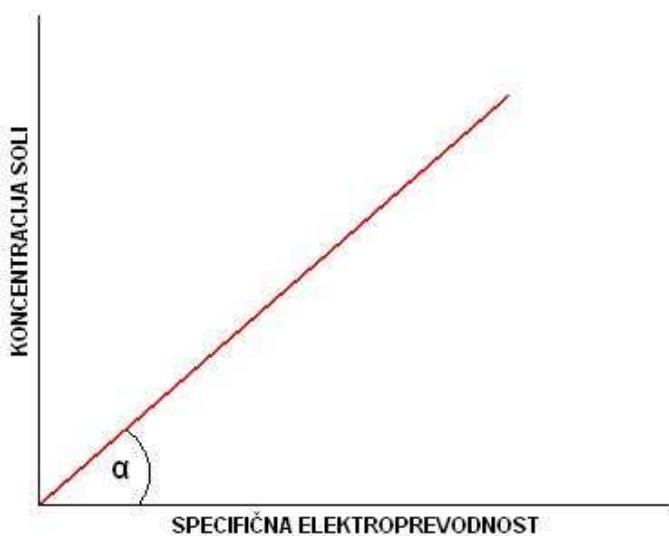
Slika 21: Instrument Flo-tracer z vso opremo (<http://www.flow-tronic.com>)

2.6.3.2 Umerjanje inštrumenta

Z umeritvijo instrumenta dobimo koeficient e . Ta nam omogoča pretvorbo podatkov o elektroprevodnosti v podatke o koncentraciji sledila v vodi. $[(\text{mg/l})/(\mu\text{S/cm})]$. Princip določanja je naslednji: Znani količini navadne vode postopoma dodajamo določeno količino raztopine soli v znani koncentraciji. Vsakič tako nastali raztopini izmerimo vrednost elektroprevodnosti. Iz teh podatkov konstruiramo umeritveno premico v diagramu. Naklon te premice predstavlja naš umeritveni koeficient kot kaže spodnja enačba.

$$\text{tg } \alpha = e$$

(enačba 23)



Graf 1: Umeritvena premica

Umerjanje inštrumenta je enostavno, kajti inštrument nas sam vodi s koraki skozi to. Najprej pripravimo izmerjeno količino vode kot začetni testni vzorec in nekaj kalibracijskih solnih raztopin enakih količin v znani koncentraciji. Te raztopine morajo biti pripravljene s soljo, ki se bo uporabljala pri meritvi pretokov in z dvakrat destilirano vodo, ki ima elektroprevodnost pod $1 \mu\text{S}/\text{cm}$. Med umerjanjem kalibracijske raztopine eno za drugo dodajamo začetnemu testnemu vzorcu navadne vode. Po vsakem dodajanju raztopine se vnaša točka v diagram odvisnosti koncentracije od elektroprevodnosti. Iz množice tako dobljenih točk se določi koeficient e , ki ima običajno vrednosti med 0.4 in 0.6 (mg/l)/($\mu\text{S}/\text{cm}$). Umerjanje inštrumenta je obvezno opraviti ob vsaki zamenjavi sledila oziroma soli. Pri uporabi enake soli, pa zadostuje umerjanje nekje na vsakih 20 meritev. (Flo-tronic, 2003)

2.6.3.3 Izvedba in potek meritve

Ko vklopimo instrumenta se nam prikaže glavni meni kjer so nam na voljo tri možnosti uporabe instrumenta in sicer MULTIMETRE, CALIBRATION in ACQUISITION.

Na načinu MULTIMETRE instrument meri kakovost vode. Konstanto-neprekinjeno meri temperaturo, slanost in elektroprevodnost vode. Pri tem je parameter e tovarniško definiran in sicer 1.780.

Z funkcijo CALIBRATION umerimo sondo, kot je bilo povedano v poglavju Umerjanje inštrumenta.

Za merjenje pretoka pa izberemo ACQUISITION in vnesemo potrebne parametre:

- Izberemo merski profil, kjer bomo opravljali meritve (CHOICE OF SITE).
- Izberemo interval meritve (INTERVAL). Izbira intervala meritve je odvisna od pričakovanega časa, ko bo oblak sledila odtekel skozi naš merski profil. Spomin omogoča 995 meritev. Interval meritev moremo prilagoditi značilnostim vodotoka. V hitrem in turbulentnem toku, se voda hitro premeša, zato lahko delamo krajše intervale in injiciranje sledila na krajši razdalji gor vodno. Pri velikih pretokih je čas prehoda oblaka sledila skozi merski profil daljši, sledilo pa je potrebno injicirati na veliko večji razdalji od našega mesta meritve. Zelo pomembne so izkušnje.
- Opišemo vremenske pogoje (METEO SITUATION). Izbira vremena ne vpliva na našo meritve.
- Vnesemo vodostaj (WATER LEVEL) , tudi ta parameter ne vpliva na rezultate meritev, omogoča pa korelacijo med vodostajem in pretokom.
- Vnesemo količino injicirane soli (QUANTITY OF SALT). Flow-tracer omogoča dobre meritve pretoka za razpon injicirane soli od 1 g do 1000 kg in dobre rezultate že pri 10% povečanju koncentracije slanosti oz za 15 mg/l glede na naravno ozadje.
- Oddaljenost točke injiciranja od merskega profila (INJECTION DISTANCE). To izberemo glede na naravo vodotoka. V bol turbulentnih tokih je lahko bliže v bol enakomernih in počasnih tokih pa bol oddaljeno od mesta meritve. Ta parameter ne vpliva na rezultate meritve, ampak je le informativen.

Ko smo vpisali vse te parametre preverimo še, ali je temperatura sonde izenačena s temperaturo vode, da se izognemo napaki meritve zaradi vpliva slanosti vode.

Raztopino soli hipno vlijemo v vodotok in takoj za tem izplaknemo posodo, v kateri je bila raztopina. Po začetku meritve inštrument opravlja meritve v izbranih intervalih. Za vsako meritev se na zaslonu izpišeta vrednost temperature T in slanosti S. Instrument preverja predhodno slanost do prihoda oblaka sledila. Pred prihodom oblaka sledila more bit opravljenih vsaj 100 meritev za pravilen izračun pretoka. Takoj po pojavu sledila, instrument zabeleži začetno slanost-IS. Instrument tako beleži slanost do znižanja slanosti na začetno vrednost (dokler oblak sledila ne gre mimo našega merskega profila).

Med potekom meritve se ves čas preverja ali je oblak sledila že mimo našega merilnega mesta. Ko se na zaslonu instrumenta izpiše END OF CLOUD STOP moremo preveriti, če je slanost padla na začetno vrednost. Če temu ni bilo tako, moramo počakati da gre vso sledilo mimo in s pritiskom na gumb zaključimo meritev in instrument nam pokaže izračunani pretok – CALCULATED FLOW. Če instrument ne zazna sam konca prehoda sledila in sami po svoji presoji prekinemo meritev se nam izpiše ESTIMATED FLOW. Če smo pravilno določili začetek in konec oblaka sledila na merskem profilu je tudi ta dobljeni pretok pravilen. (Flo-tronic, 2003)

3. Metode dela in meritve

3.1. Opis porečja Kamniške Bistrice

Meritve pretokov sem izvajal na eni od številnih mlinščic v porečju reke Kamniške Bistrice, zato je v nadaljevanju opisano njeno porečje.

3.1.1. Podnebje in padavine

Porečje Kamniške Bistrice spada v območje zmerno celinskega podnebja osrednje Slovenije. Povprečna temperatura na Kamniškem znaša 9° C (povprečna januarska temperatura znaša -1°C, povprečna julijska pa 19° C), povprečno to pade 1400 mm padavin. Vreme na tem območju je izredno spremenljivo, saj imajo nanj velik vpliv Kamniško - Savinjske Alpe, zato se število padavin proti severu hitro povečuje, proti vzhodu pa hitro upada. Velik vpliv na podnebje imajo Kamniško - Savinjske Alpe. Te poskrbijo na pestro razporeditev padavin, da so poletja sveža, zime pa lahko tudi zelo mrzle in bogate s snegom. (<http://www.kamnik-tourism.si>)

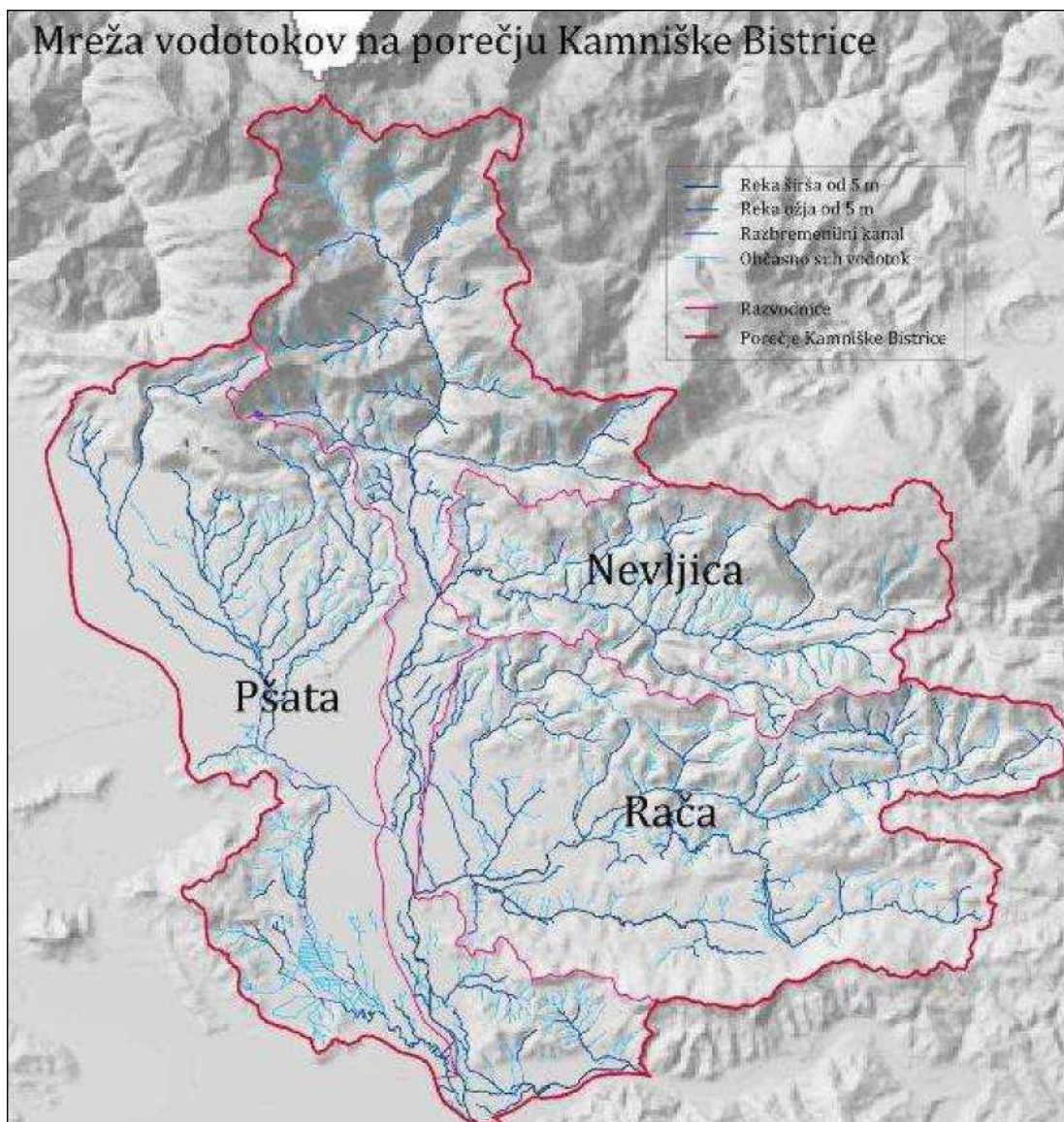
3.1.2 Geografske in hidrografske značilnosti

Kamniška Bistrica, levi pritok reke Save, izvira na južnem vznožju Kamniško-Savinjskih Alp. Iz slike 22 je razvidna lokacija porečja Kamniške Bistrice v Sloveniji. Celotno območje je dobro razgibano, saj združuje tako visokogorja, kot tudi del sredogorja ter obsežna ravninska področja. Kamniška Bistrica izvira pod Kamniškimi planinami, z značilnim kraškim izvirom v obliki obrha, na nadmorski višini 623 m. Preko prodnate ravnine se v rahlo nakazanemu vršaju med Kamnikom, Mengšem, Domžalami in Dolom brez velikih zavojev izliva v Savo. S svojo 539 km² veliko vodozbirno površino predstavlja enega od največjih pritokov reke Save. (Globevnik, 2002).



Slika 22 : Lega porečja Kamniške Bistrice v Sloveniji (<http://nfp-si.eionet.europa.eu/>)

Kamniška Bistrica je dolga nekaj manj kot 33 km. Njeno porečje sestavljajo tri večja in več manjših podporečij njenih pritokov. Večja podporečja predstavljajo pritoki Nevljica, Rača z Radomljo in Pšata, manjša pa Kamniška Bela, Korošica, Grohat, Bistričica in Črna (Brečko Grubar, 2007). Na sliki 23 je prikazana mreža vodotokov porečja Kamniške Bistrice s podporečij večjih pritokov.



Slika 23 : Mreža vodotokov na porečju kamniške Bistrice z glavnimi podporečji (<http://nfp-si.eionet.europa.eu/>)

Porečje kamniške Bistrice se nahaja na območju devetih slovenskih občin: Kamnika, Domžal, Trzina, Mengša, Komende, Cerkelj na Gorenjskem, Lukovice, Moravč in Dola pri Ljubljani.

Reka ima dežno-snežni odtočni režim, kar pomeni, da ima največ vode jeseni (novembra) in pozno spomladi (maja), najmanj voda pa poleti (avgusta) in pozimi (februarja). Kljub temu, da le dober kos poti teče po ravnini, ima vzdolž s svojega celotnega teka hudourniški značaj. Sorazmerna velika vodnatost in velik padec dna omogočata veliko izrabo vodne energije, kar so znali izkoriščati že v zgodovini, saj so se že v preteklih stoletjih ob strugi Kamniške

Bistrice pojavljali prvi mlini, žage in kasneje male hidroelektrarne, kar je botrovalo velikemu razmahu industrije na tem območju. Ena od poglobitnih značilnosti Kamniške Bistrice pa je tudi njen kontakt s podtalnico. Kot vse reke v Ljubljanski kotlini tudi Kamniška Bistrica v svojem spodnjem toku praviloma bogati podtalnico. Ob nizkovodnih stanjih lahko v podtalnico zateka precejšen delež vode, ki sicer teče po strugi Kamniške Bistrice. (<http://www.domzale.si>).

3.2 Merska oprema in merske metode

3.2.1 Uvod

Ena od temeljnih veličin v hidrotehniko je vsekakor pretok. Podatke o pretokih potrebujemo pri načrtovanju novih in sanaciji starih objektov, pri spremljanju in modeliranju pojavov v naravi in laboratorijih, pri nadzoru procesov v industrijski proizvodnji, pri spremljanju emisij iz virov onesnaževanja in še v mnogih drugih primerih. Meritve se lahko izvajajo občasno ali kontinuirano, odvisno od cilja in potreb meritev. Usposobljenost za meritve pretokov zahteva specifična znanja, orodja in izkušnje, posebnosti pa so tudi v samih postopkih. Merske metode za merjenje pretokov lahko delimo na neposredne in posredne. Neposredno merjenje izvajamo z volumensko metodo, kjer neposredno merimo pretok s pomočjo umerjene merilne posode in z merjenjem časa polnitve in z metodami mešanja substanc v vodno maso. Pri posrednih metodah pretok običajno izračunamo na podlagi meritev veličin, ki so funkcija pretoka.

3.2.2 Merska oprema

Meritve sem opravljal v drugi polovici leta 2010. Uporabljal sem instrumenta Flow Tracker Handheld ADV proizvajalca SonTek in Flo-tracer proizvajalca Flow-tronic.

3.2.2.1 FlowTracker Handheld ADV

Dopplerjev profilni merilec pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV je sodoben merilni instrument za natančno, hitro in enostavno merjenje hitrosti vode na terenu. Upravlja se s preprostim ročnim upravljalnikom, ki vsebuje procesorsko elektroniko, baterije, tipkovnico, zaslon LCD in zunanji priključek, ki omogoča enostaven prenos podatkov z instrumenta na osebni računalnik. Sonda in ročni upravljalnik sta povezana z 200 cm dolgim upogljivim kablom. Sonda je sestavljena iz oddajnika in treh sprejemnikov kratkih pulzov zvočnih valov določene frekvence ter temperaturnega senzorja. Med izvajanjem meritev sondo s posebno montažno prečko pritrdimo na stojalo. Stojalo je opremljeno z merilno skalo, ki omogoča enostavno nastavitve sonde na želeno globino merjenja. (www.ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/predstavitev/oprema)

3.2.2.2 Flow-tracer

Flo-tracer meri pretoke po metodi razredčenja. Je lahek, natančen in zelo enostaven za uporabo. Uporabljam ga predvsem na vodotokih z velikim padcem in hitrim tokom ter na zaraščenih in za meritve s hidrometričnim krilom neustreznih profilih. Kot sledilo se običajno uporablja kuhinjska sol NaCl. V vodotok se vlije mešanica soli in vode z znano koncentracijo. Na določeni razdalji dolvodno od injeciranja, kjer je sledilo že popolnoma premešano, se v merski točki določa koncentracija soli. Vgrajen program pa na podlagi koncentracije in vnešenih zahtevanih parametrov izračuna pretok. Instrument ima tudi senzor za merjenje temperature. (www.flow-tronic.com)

3.2.3 Merilno mesto

Meritve sem izvajal na eni od številnih mlinščic na Kamniški Bistrici in sicer na Radomeljski mlinščici. Dobra lastnost izbrane mlinščice je ta, da je prečni prerez je pravilne oblike, zato ga je lažje definirati. Zajem za Radomeljsko mlinščico je izveden na dvostopenjskem jezcu Volčji Potok (Slika 24), ki je lociran na glavni strugi Kamniške Bistrice med naseljema Volčji Potok in Šmarca. Voda teče v mlinščico preko dveh vzporednih lesenih zapornic ob levi brežini. Večinoma se uporablja le leva zapornica, ki že sama zadostno napolni mlinščico.

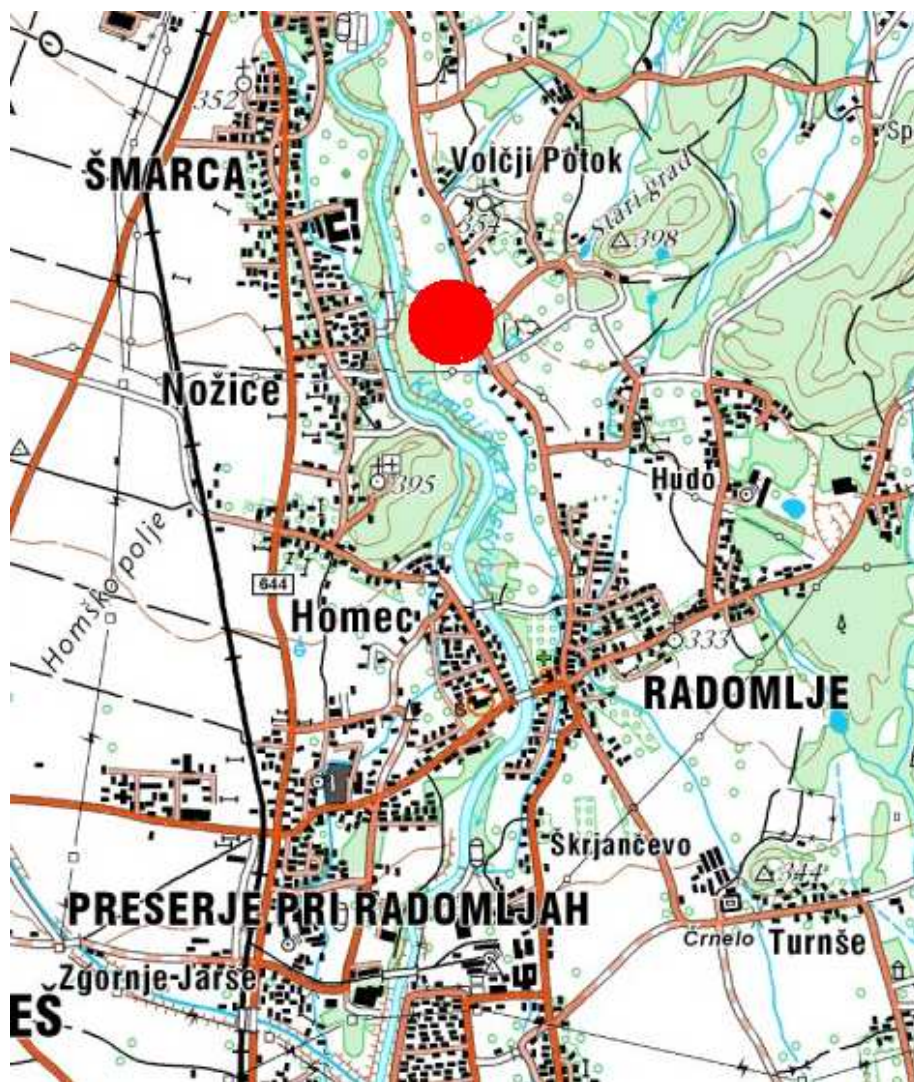


Slika 24 : Radomeljski jez z levoobrežnim odvzemom z zapornicami in talnim izpustom v času nizkega vodostaja (Bogataj, 2009)

Iz Radomeljske mlinščice se na poti do izliva odcepita dva razbremenilna kanala visokih voda. Prvi pred naseljem Hudo in drugi pred vtokom v pokrit kanal nad papirnico v Količevem. Mlinščica se izliva v reko Račo dolvodno od naselja Podrečje. Mlinščica je bila

zgrajena z namenom omogočanja izrabe vode. Prvotno so izrabljali vodno moč za pogon mlinskih koles in žag, kasneje za pogon celotnih industrijskih obratov. V zadnjih desetletjih se ju uporablja za dovajanje tehnološke vode industriji in za pogon malih hidroelektrarn. (Bogataj, Brilly, 2009)

Lokacija izvajanja meritev je prikazana na slikah 25 in 26.



Slika 25 : Lokacija izvajanja meritev (www.geopedia.si)



Slika 26 : Lokacija izvajanja meritev (www.geopedia.si)

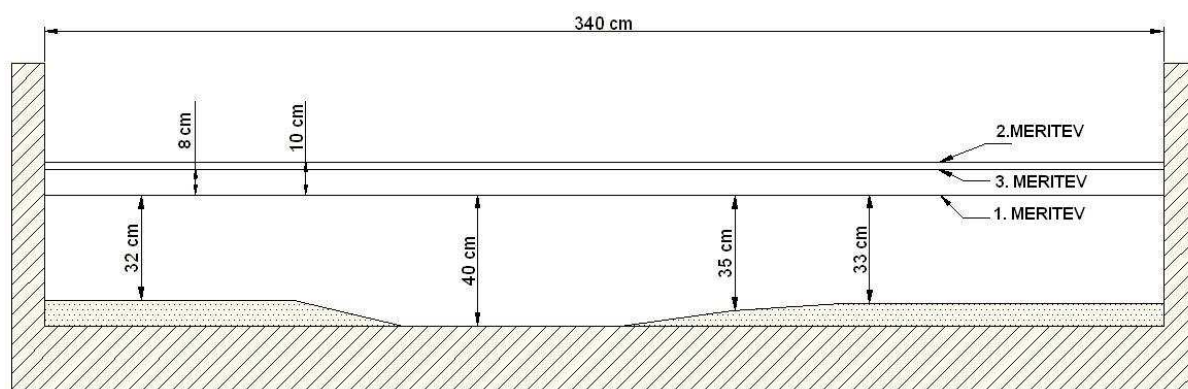
Koordinate lokacije merjenja so $46^{\circ}11'8.98''$ $14^{\circ}36'14.88''$. Na sliki 27 je prikazano dejansko stanje lokacije mojih meritev.



Slika 27: Slika lokacije meritev

3.2.4 Metode dela

Meritve na terenu sem izvedel v izbranem prečnem prerezu v treh različnih časovnih obdobjih, tako da so bili pretoki med seboj čim bolj različni. Izbrani prečni prerez meritev z vsemi dimenzijami je prikazan na sliki 28. Vsakič sem opravil tri meritve z vsakim instrumentom. Torej devet meritev z vsakim instrumentom, skupno osemnajst meritev.



Slika 28 : Dimenzije prečnega prereza

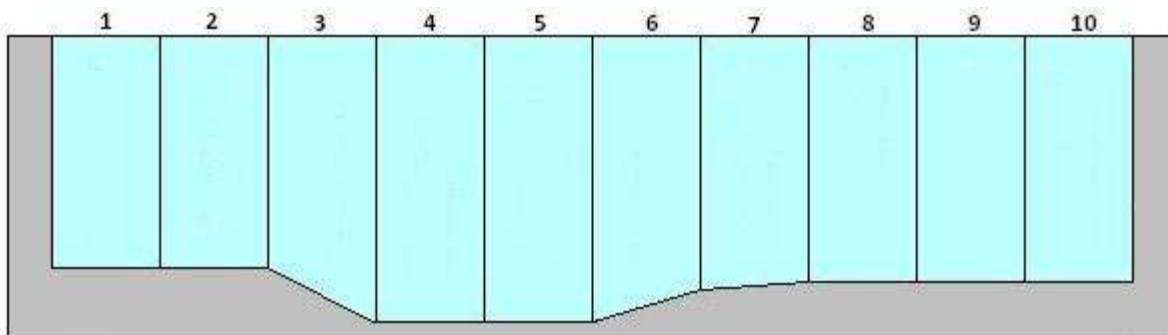
3.2.4.1 FlowTracker handheld ADV

Najprej sem čez merski profil, pravokotno na smer toka, postavil merski trak, kot prikazuje slika 29.



Slika 29 : Postavitev merskega traka

Izmeril sem širino struge, ter jo razdelil na deset enakih odsekov. Na sliki 30 je prikazana razdelitev prečnega prereza.



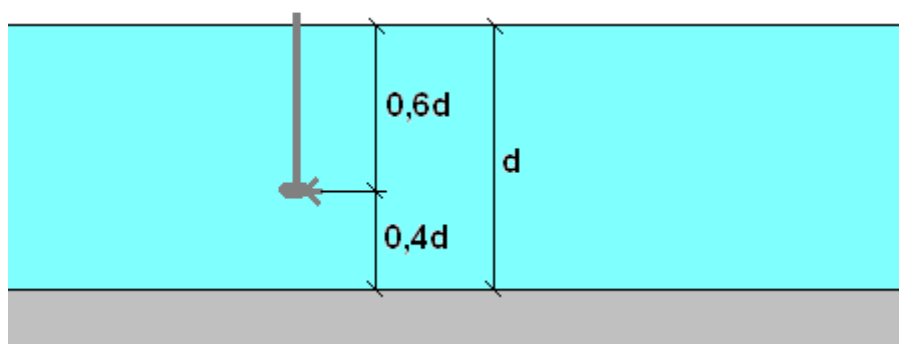
Slika 30 : Prečni prerez z označenimi merskimi vertikalami

Ko je bil izbrani prerez izmerjen sem pripravil še instrument. Preveril sem stanje baterij, stanje spomina ter sistemsko uro. Nastavil oziroma preveril sem še nekaj parametrov kot so merske enote, interval pridobivanja podatkov (v mojem primeru 40 sekund za vsako vertikalno prečnega prereza) in način pridobivanja podatkov (za moje meritve DISCHARGE - pretok). Instrument sem pritrdil na priloženo konzolo ter se lotil meritev. Meril sem od levega proti desnemu bregu kot prikazuje slika 31. Paziti sem moral, da je bila sonda (in s tem tudi konzola) skozi celoten čas merjenja pravilno postavljena.



Slika 31 : Pričetek meritve

Na vsaki vertikali je meritev trajala 40 sekund. Po 40-ih sekundah instrument izpiše delne rezultate (hitrost ter ostale parametre vertikale). Če pride do morebitne napake pri meritvi nas na to opozori in lahko ponovimo samo tisto meritev. Meril sem po metodi $0,6d$. To pomeni, da je bila sonda na globini $0,6d$ od vodne gladine, kjer d je celotna globina kot je prikazano na sliki 32.



Slika 32: Postavitev sonde po metodi $0,6$

3.2.4.2 Flo-tracer

V istem profilu kot s FlowTrackerjem sem meril tudi s Flo-tracerjem. Preden sem začel s meritvami sem namestil sondo ter nastavil parametre na instrumentu. Sondo sem namestil v matico toka, kot prikazuje slika 33. Teoretično je vseeno kje v prečnem prerezu namestimo sondo, vendar so izkušnje pokazale, da je boljše, če jo postavimo v območje, kjer je tok vode najmočnejši. Sonda je bila popolnoma potopljena, zato ni bilo potrebne nobene dodatne obtežbe.

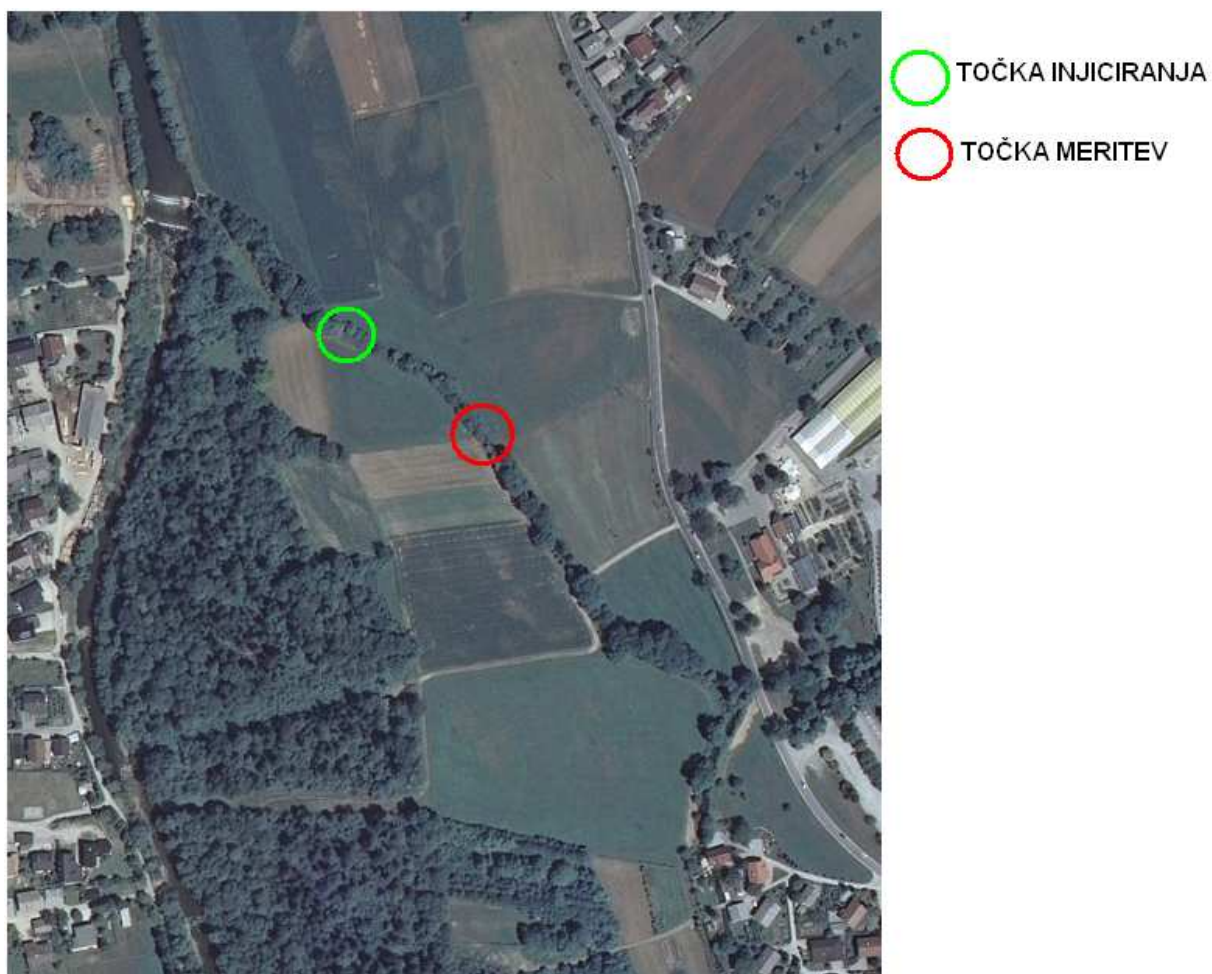


Slika 33: Postavitev sonde pri metodi razredčenja

Pretok sem ocenil na nekaj več kot 1000 l/s. Ob upoštevanju pravila, da moramo uporabiti nekje od 2 do 12g sledila na 1 l/s pretoka sem pripravil 3 kg sledila za vsako meritev. Kot sledilo sem uporabil navadno kuhinjsko sol. V vseh devetih meritvah je bila sol enakega tipa

ter proizvajalca. Količino soli sem stehal s tehtnico, ki je natančna na desetinko grama. Izbrano količino soli sem raztopil v dveh posodah volumna približno desetih litrov. Točna količina vode nas ne zanima, kajti na rezultate vpliva samo količina soli. Parametre sem vnesel po naslednjem vrstnem redu:

- Za merjenje pretoka sem izbral AQUISITION
- Interval meritve sem nastavil na 1 sekundo (izbira intervala meritve je odvisna od pričakovanega časa, ko bo oblak sledila odtekel skozi merski profil)
- Vremenski pogoji: sunny (sončno) (to sicer ne vpliva na meritev in rezultate)
- Vodostaj: 32 cm (tudi to ne vpliva na rezultate, omogoča pa korelacijo med vodostajem in pretokom)
- Vnesemo količino injicirane soli: 3000g
- Oddaljenost točke injiciranja od merskega profila (To izberemo glede na naravo vodotoka. V bolj turbulentnih tokih je lahko bližje, v bolj enakomernih in počasnih tokih pa bolj oddaljeno od mesta meritve. Ta parameter ne vpliva na rezultate meritve, ampak je le informativen.) Izbrana razdalja injiciranja je bila 50 m od merskega profila, kot prikazuje slika 34.



Slika 34 : Razdalja med profilom injiciranja in merjenja

Meritve sem začel nekje 1 minuto pred injiciranjem sledila, ter končal ko je to možnost ponudil instrument. Med potekom meritve sem spremljal zaslon instrumenta, da nebi prišlo do napak oziroma do izpada meritve.

4. Primerjava in analiza rezultatov

4.1 Rezultati meritev

Meritve so bile izvedene v treh različnih časovnih obdobjih, tako da je bil pretok vodotoka čim bolj različen. Prvi niz meritev je bil izveden 9.8.2010, drugi 16.9.2010 in tretji 6.10.2010. Vsakič po tri meritve z vsakim instrumentom.

4.1.1 FlowTracker handheld ADV

Ob nakupu instrumenta, dobimo zraven še programsko opremo za osebni računalnik (Sontek Software). Program nam omogoča prenos podatkov meritev iz instrumenta na osebni računalnik. Pregled izmerjenih vrednosti je podan v preglednici 9. Podrobnejše rezultate opravljenih meritev pa sem predstavil naslednjih straneh.

Preglednica 9: Pregled izmerjenih pretokov s FloTrackerjem za vsa tri časovna obdobja

Št. meritve	Dan meritve – pretok [m ³ /s]		
	9.8.2010	16.9.2010	6.10.2010
1	1,277 m ³ /s	1,791 m ³ /s	1,641 m ³ /s
2	1,254 m ³ /s	1,768 m ³ /s	1,722 m ³ /s
3	1,261 m ³ /s	1,758 m ³ /s	1,593 m ³ /s

4.1.1.1 1. niz meritev (9.8.2010)

V preglednicah 10 do 15 so predstavljeni rezultati meritev, ki sem jih opravil 9.8.2010. Predhodno pred mojimi meritvami je bilo poletno sušno obdobje, to se je tudi poznalo na gladini vode saj je bila visoka 32 cm.

Preglednica 10: Rezultati prve meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN2.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/08/09 10:34:34	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.5%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	1.0%	3.5%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.4%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.1%	4.0%
Mean SNR	22.5 dB	Total Area	1.121			
Mean Temp	10.23 °C	Mean Depth	0.330			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.1394			
		Total Discharge	1.2772			

Preglednica 11: Hitrosti prve meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.1998
2	1.3927
3	1.2444
4	1.2093
5	1.1518
6	1.3694
7	1.0787
8	1.1414

9	0.8178
10	0.7084
Min	0.7084
Max	1.3927
Povprečje	1.13137 ± 0.07

Preglednica 12: Rezultati druge meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN3.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/08/09 11:19:06	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.7%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	1.0%	3.6%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.5%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.1%	4.1%
Mean SNR	22.7 dB	Total Area	1.118			
Mean Temp	10.66 °C	Mean Depth	0.329			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.1213			
		Total Discharge	1.2538			

Preglednica 13: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	0.9957
2	1.2884
3	1.3628
4	1.196
5	1.392
6	1.2002
7	0.987
8	1.0772
9	0.7728

10	0.825
Min	0.7728
Max	1.392
Povprečje	1.10971 ± 0.068

Preglednica 14: Rezultati tretje meritve s FloTrackerjem (9.8.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN4.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/08/09 11:56:52	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.7%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	0.8%	2.7%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.5%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.1%	3.3%
Mean SNR	22.7 dB	Total Area	1.118			
Mean Temp	10.92 °C	Mean Depth	0.329			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.1280			
		Total Discharge	1.2613			

Preglednica 15: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (9.8.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.0802
2	1.408
3	1.3465
4	1.148
5	1.3288
6	1.2868
7	1.1337
8	0.8781

9	0.813
10	0.7736
Min	0.7736
Max	1.408
Povprečje	1.11967 ± 0.073

4.1.1.2 2. niz meritev (16.9.2010)

V preglednicah 16 do 21 so predstavljeni rezultati meritev, ki sem jih opravil 16.9.2010. Nekaj dni pred mojo meritvijo so bile obilne padavine. Na dan ko sem meril sicer jih ni bilo, so pa takoj naslednji dan spet zajele celotno Slovenijo (poplave 18.-19. 9.2010). Gladina med drugim nizom meritev je bila 42 cm.

Preglednica 16: Rezultati prve meritve s FloTrackerjem (16.9.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN5.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/09/16 10:19:09	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.3%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	0.8%	1.6%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.5%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.0%	2.3%
Mean SNR	19.4 dB	Total Area	1.437			
Mean Temp	10.58 °C	Mean Depth	0.423			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.2472			
		Total Discharge	1.7919			

Preglednica 19: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (16.9.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.0606
2	1.3464
3	1.3856
4	1.3667
5	1.4276
6	1.514
7	1.1241
8	1.2447
9	1.0305
10	0.6531
Min	0.6531
Max	1.514
Povprečje	1.21533 ± 0.08

Preglednica 20: Rezultat tretje meritve s FloTrackerjem (16.9.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN7.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/09/16 10:56:25	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.3%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	0.8%	2.4%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.5%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.1%	3.0%
Mean SNR	19.3 dB	Total Area	1.437			
Mean Temp	10.71 °C	Mean Depth	0.423			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.2235			
		Total Discharge	1.7578			

Preglednica 21: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (16.9.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.0428
2	1.4186
3	1.3234
4	1.4079
5	1.5279
6	1.4186
7	1.2077
8	1.1716
9	0.9777
10	0.569
Min	0.569
Max	1.5279
Povprečje	1.20652 ± 0.09

4.1.1.3 niz meritev (6.10.2010)

V preglednicah 22 do 27 so predstavljeni rezultati meritev, ki sem jih opravil 6.10.2010. Tiste dni ni bilo padavin. Poznalo pa se je, da 10 dni prej so bile obilne padavine z poplavami kajti gladina je bila visoka 40 cm.

Preglednica 22: Rezultat prve meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN8.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/10/06 10:48:02	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.4%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	0.8%	1.8%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.5%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.1%	2.5%
Mean SNR	24.1 dB	Total Area	1.373			
Mean Temp	9.15 °C	Mean Depth	0.404			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.1954			
		Total Discharge	1.6413			

Preglednica 23: Hitrosti prve meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	0.9657
2	1.3384
3	1.3809
4	1.3764
5	1.4881
6	1.3371
7	1.1564
8	1.0907
9	0.9234
10	0.7178
Min	0.7178
Max	1.4881
Povprečje	1.17749 ± 0.079

Preglednica 24: Rezultat druge meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN9.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/10/06 11:05:01	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.4%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	0.8%	2.2%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method	2.4%	-
Averaging Int.	40	# Stations	12	# Stations	4.2%	-
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	Overall	5.0%	2.8%
Mean SNR	23.5 dB	Total Area	1.373			
Mean Temp	9.19 °C	Mean Depth	0.404			
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.2544			
		Total Discharge	1.7223			

Preglednica 25: Hitrosti druge meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.3444
2	1.4469
3	1.3869
4	1.2689
5	1.4388
6	1.4678
7	1.2944
8	1.0863
9	1.0753
10	0.7031
Min	0.7031
Max	1.4678
Povprečje	1.25128 ± 0.075

Preglednica 26: Rezultat tretje meritve s FloTrackerjem (6.10.2010)

Discharge Measurement Summary				Date Generated: Fri Oct 8 2010		
File Information		Site Details				
File Name	ALEN10.WAD	Site Name				
Start Date and Time	2010/10/06 11:20:51	Operator(s)	ALEN			
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	3.7	Area	m ²	Depth	0.2%	1.4%
Software Ver	2.30	Discharge	m ³ /s	Velocity	1.2%	5.2%
Mounting Correction	0.0%			Width	0.2%	0.2%
Summary				Method		
Averaging Int.	40	# Stations	12	2.5%		
Start Edge	LEW	Total Width	3.400	# Stations		
Mean SNR	22.4 dB	Total Area	1.373	4.2%		
Mean Temp	9.20 °C	Mean Depth	0.404	Overall		
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	1.1601	5.1%		
		Total Discharge	1.5928	5.4%		

Preglednica 27: Hitrosti tretje meritve vzdolž prečnega prereza (6.10.2010)

Št. Vertikale	Hitrost [m/s]
1	1.2202
2	1.2822
3	0.8862
4	1.4083
5	1.364
6	1.4352
7	1.1214
8	1.1131
9	0.9944
10	0.6721
Min	0.6721
Max	1.4352
Povprečje	1.14971 ± 0.077

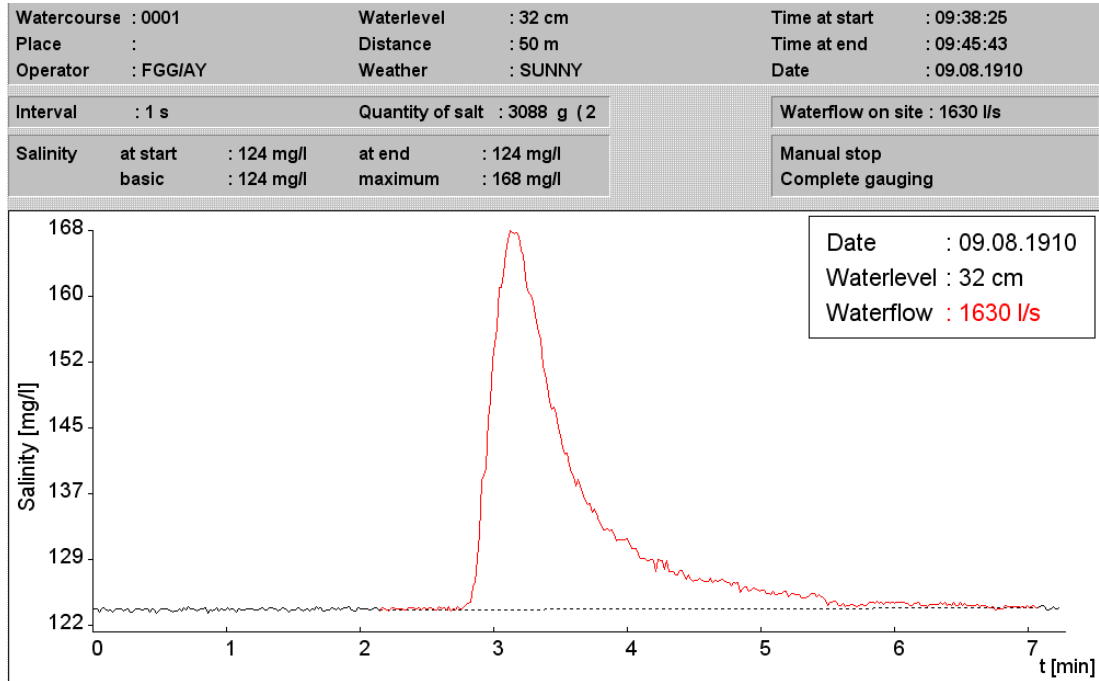
4.1.2 Flo-tracer

Skupaj z instrumentom dobimo program, s pomočjo katerega prenesemo rezultate iz instrumenta na osebni računalnik. Rezultate nam prikaže v obliki, kot je prikazano na naslednjih straneh. Pregled izmerjenih vrednosti s Flo-tracerjem je prikazan v preglednici 19, podrobnejši rezultati posameznih meritev pa v nadaljevanju.

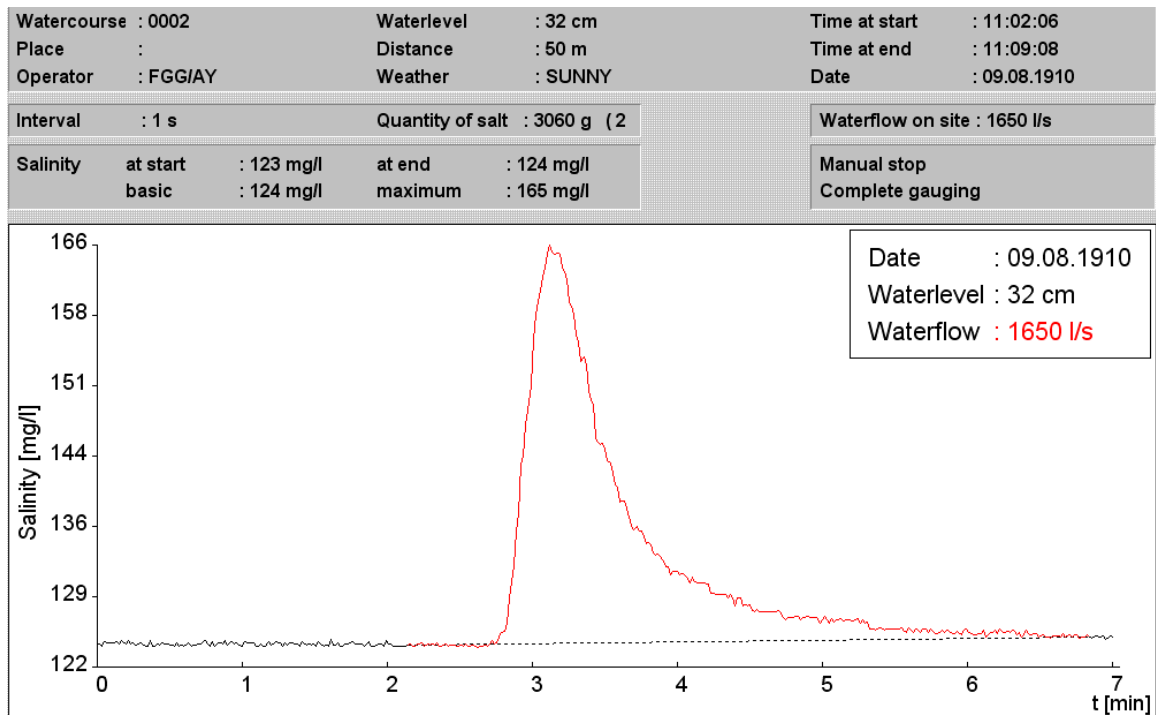
Preglednica 28: Pregled izmerjenih pretokov s Flo-tracerjem za vsa tri časovna obdobja

Št. meritve	Dan meritve – pretok [m ³ /s]		
	9. 8. 2010	16. 9. 2010	6. 10. 2010
1	1,630 m ³ /s	2,000 m ³ /s	1,970 m ³ /s
2	1,650 m ³ /s	1,930 m ³ /s	1,930 m ³ /s
3	1,690 m ³ /s	2,150 m ³ /s	1,950 m ³ /s

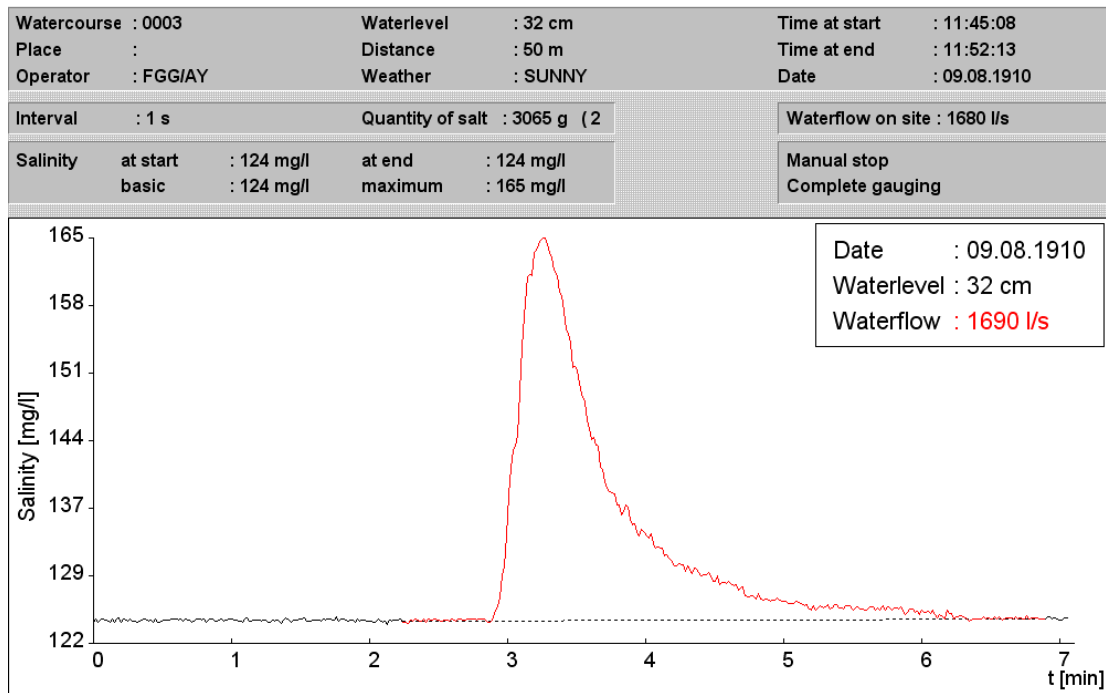
4.1.2.1. 1. niz meritev (9.8.2010)



Slika 35 : Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

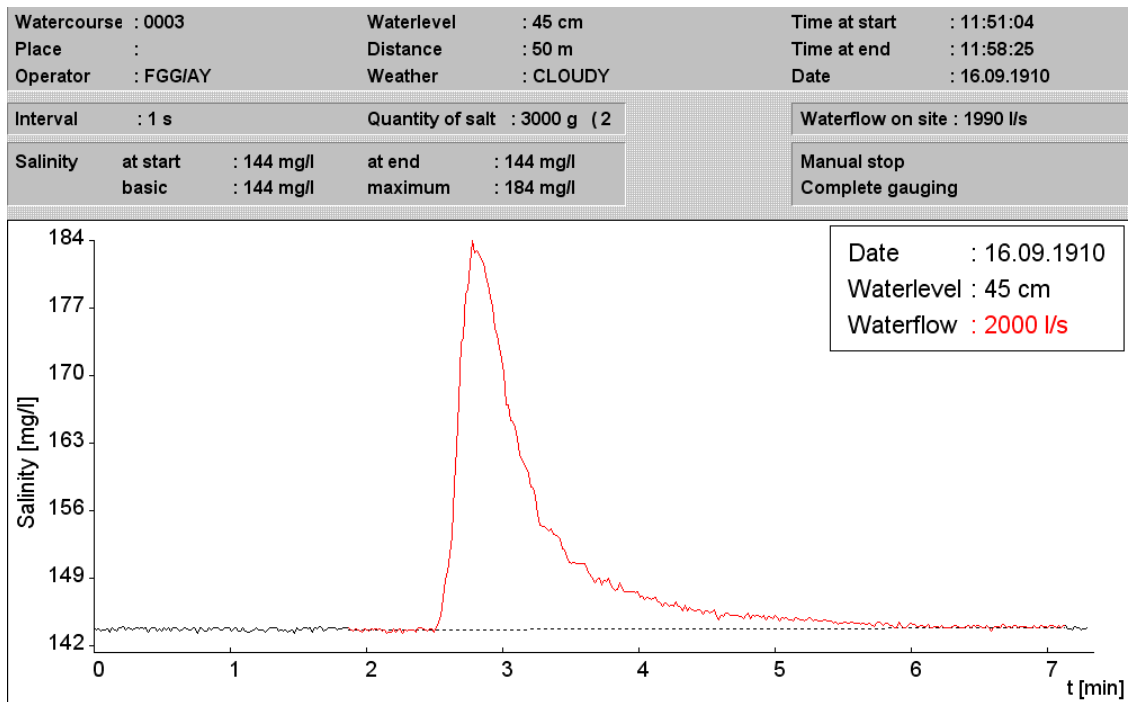


Slika 36 : Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

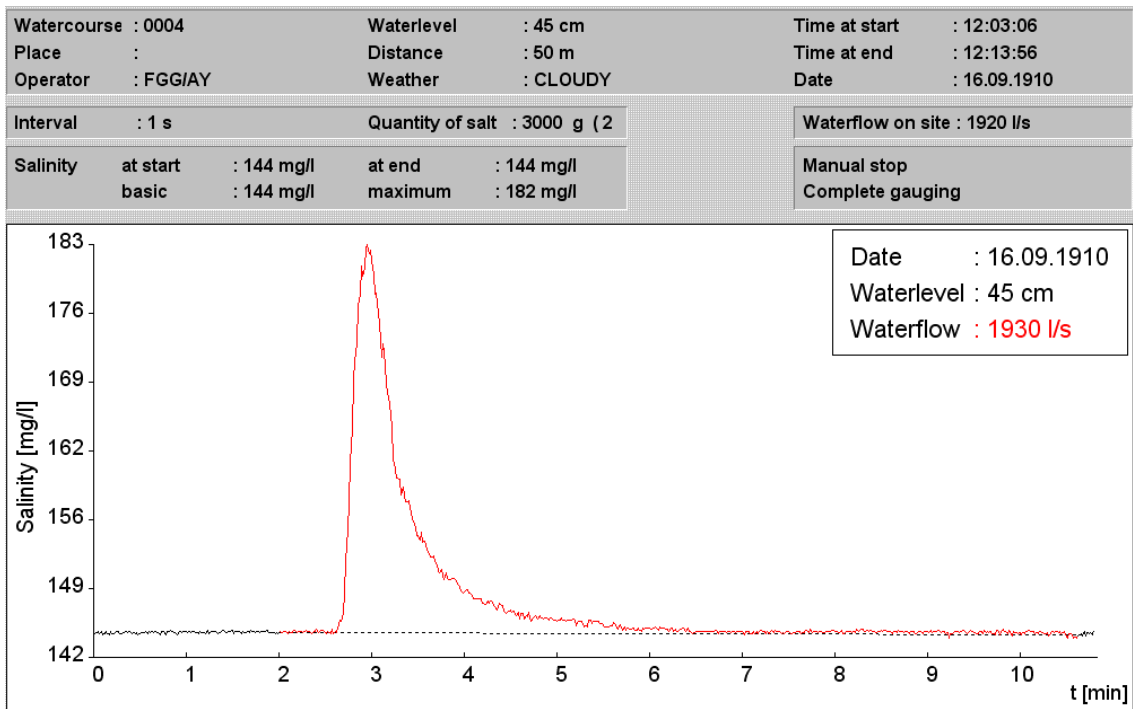


Slika 37 : Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem (9.8.2010)

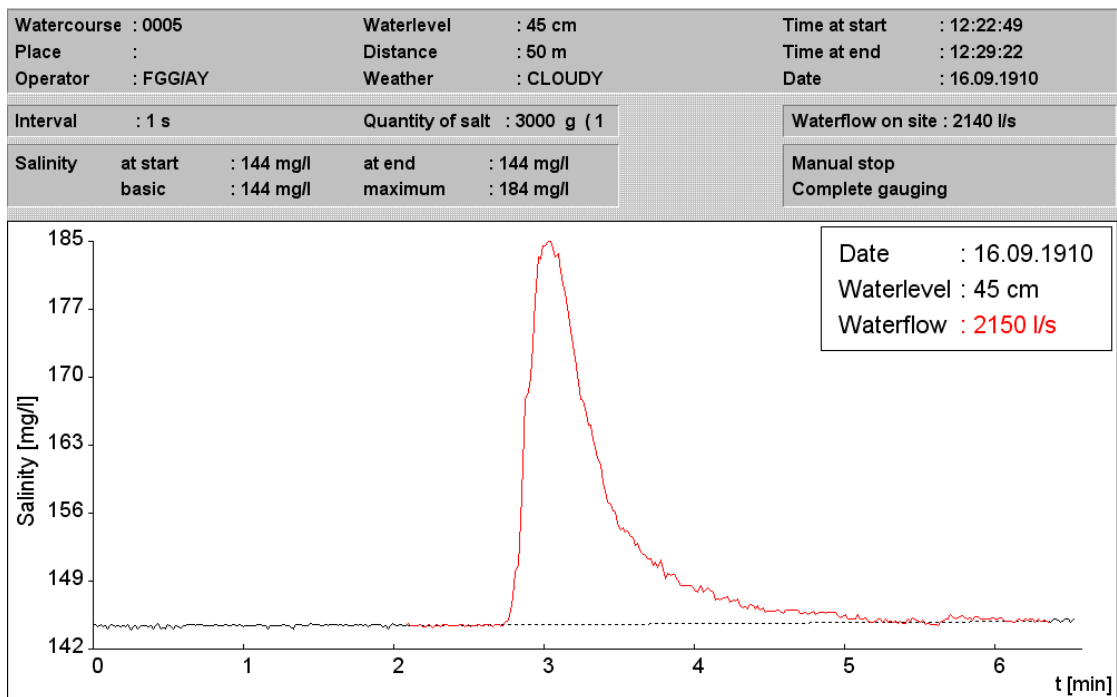
4.1.2.2. 2. niz meritev (16. 9.2010)



Slika 38: Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

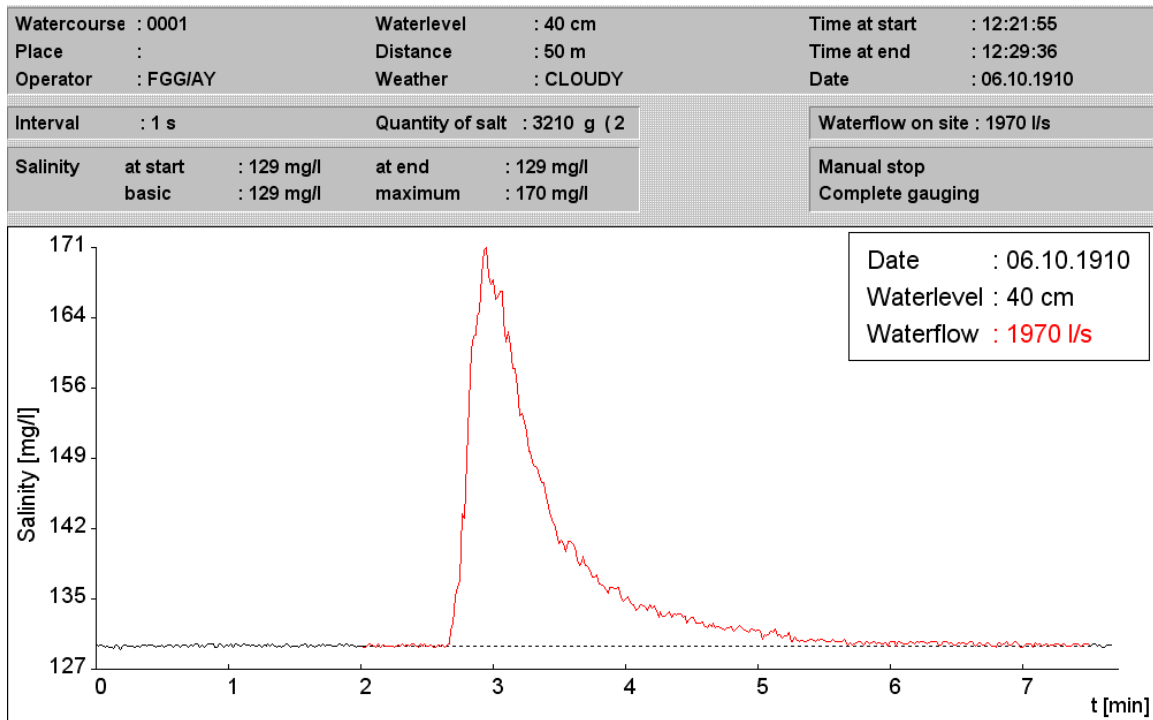


Slika 39: Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

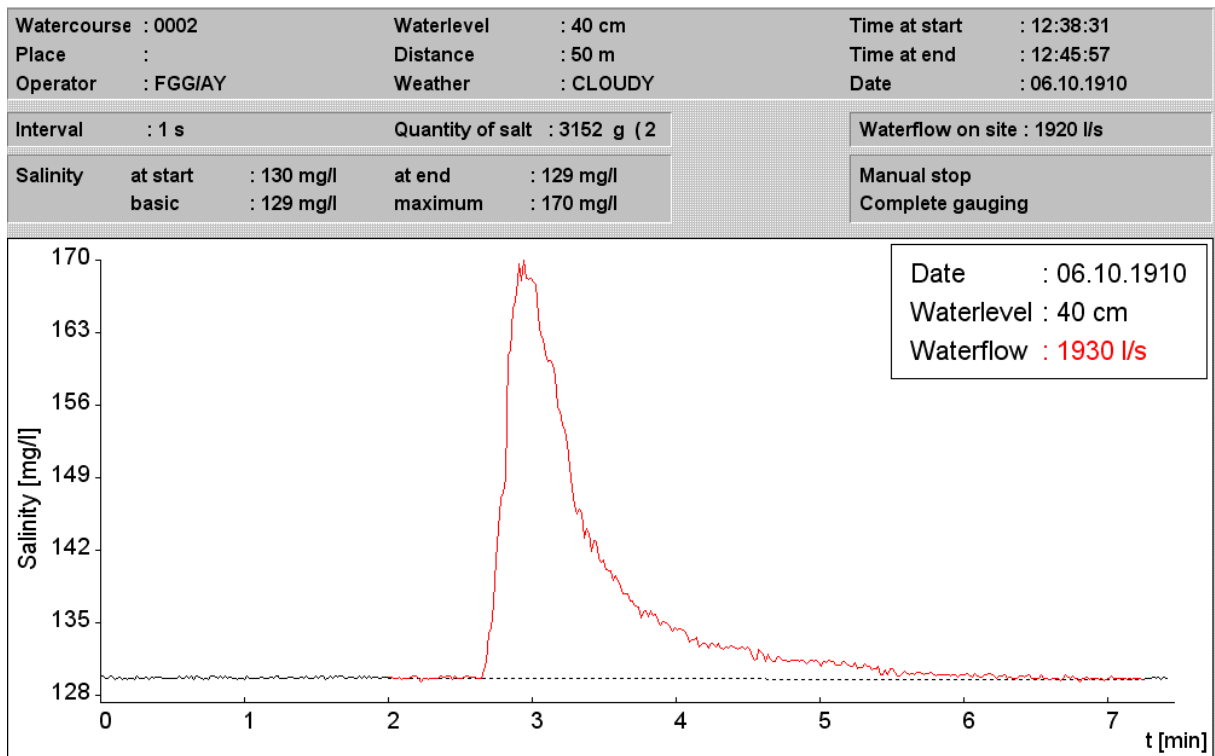


Slika 40: Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

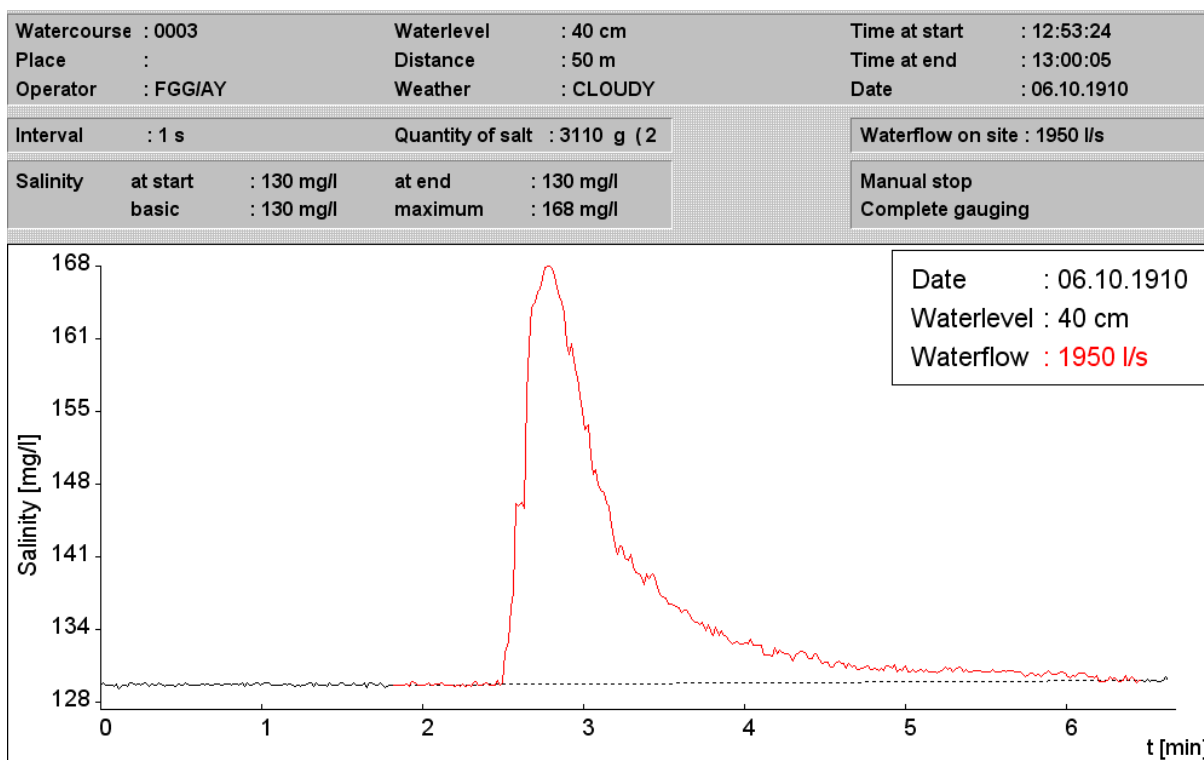
4.1.2.3 3. niz meritev (6.10. 2010)



Slika 41 : Prikaz prve meritve s Flo-tracerjem (6.10.2010)



Slika 42: Prikaz druge meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)



Slika 43: Prikaz tretje meritve s Flo-tracerjem (16.9.2010)

4.2 Primerjava rezultatov

Teoretično bi moral dobiti z obema instrumentoma enake rezultate. V praksi pa vidimo, da ni tako. Vsaka metoda ima zagotovo neko odstopanje od realne vrednosti v naravi. Preglednica 29 prikazuje vse izmerjene pretoke.

Preglednica 29: Pregled vseh izmerjenih pretokov

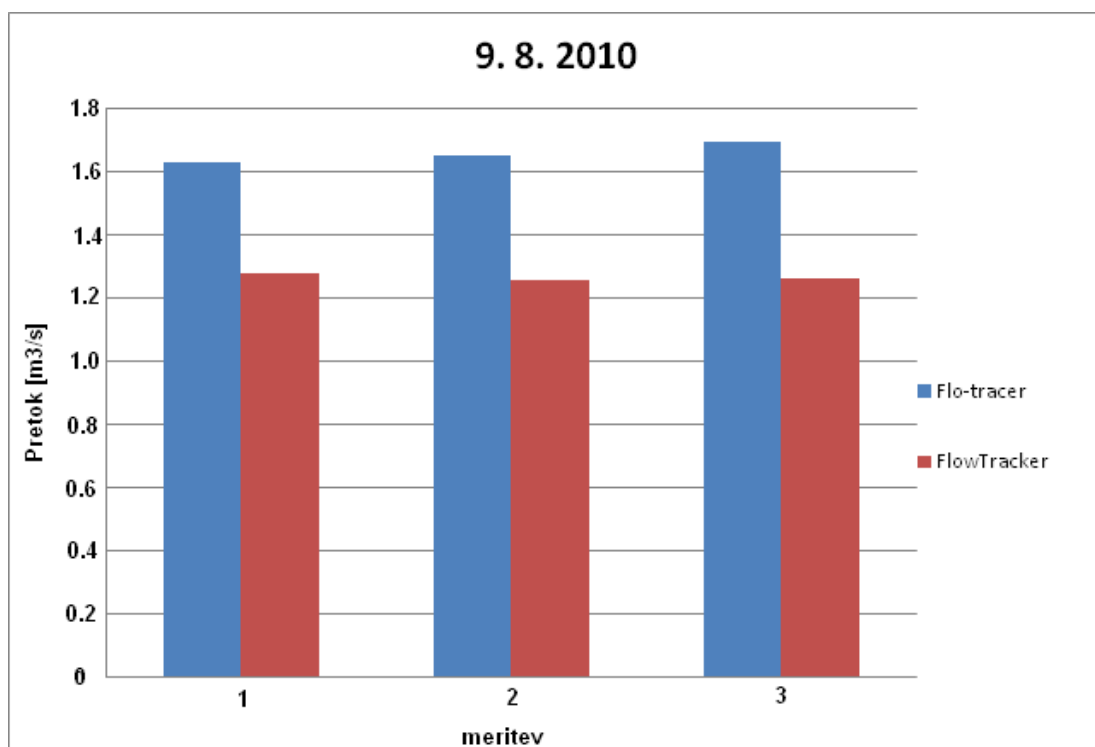
		Pretok [m³/s]		
		9. 8. 2010	16. 9. 2010	6. 10. 2010
	Št. meritve			
Flo-tracer	1	1.630 m ³ /s	2.000 m ³ /s	1.970 m ³ /s
	2	1.650 m ³ /s	1.930 m ³ /s	1.930 m ³ /s
	3	1.690 m ³ /s	2.150 m ³ /s	1.950 m ³ /s
	povprečje	1.656 ± 0.018 m ³ /s	2.026 ± 0.065 m ³ /s	1.950 ± 0.012 m ³ /s
FlowTracker	1	1.277 m ³ /s	1.791 m ³ /s	1.641 m ³ /s
	2	1.254 m ³ /s	1.768 m ³ /s	1.722 m ³ /s
	3	1.261 m ³ /s	1.758 m ³ /s	1.593 m ³ /s
	povprečje	1.264 ± 0.007 m ³ /s	1.772 ± 0.009 m ³ /s	1.652 ± 0.037 m ³ /s

Vidimo, da so rezultati, izmerjeni z Flo-tracerjem, pri vseh meritvah nekoliko višji od tistih izmerjenih z FlowTrackerjem. V preglednici 30 sem prikazal odstopanje med izmerjenimi vrednostmi v odstotkih.

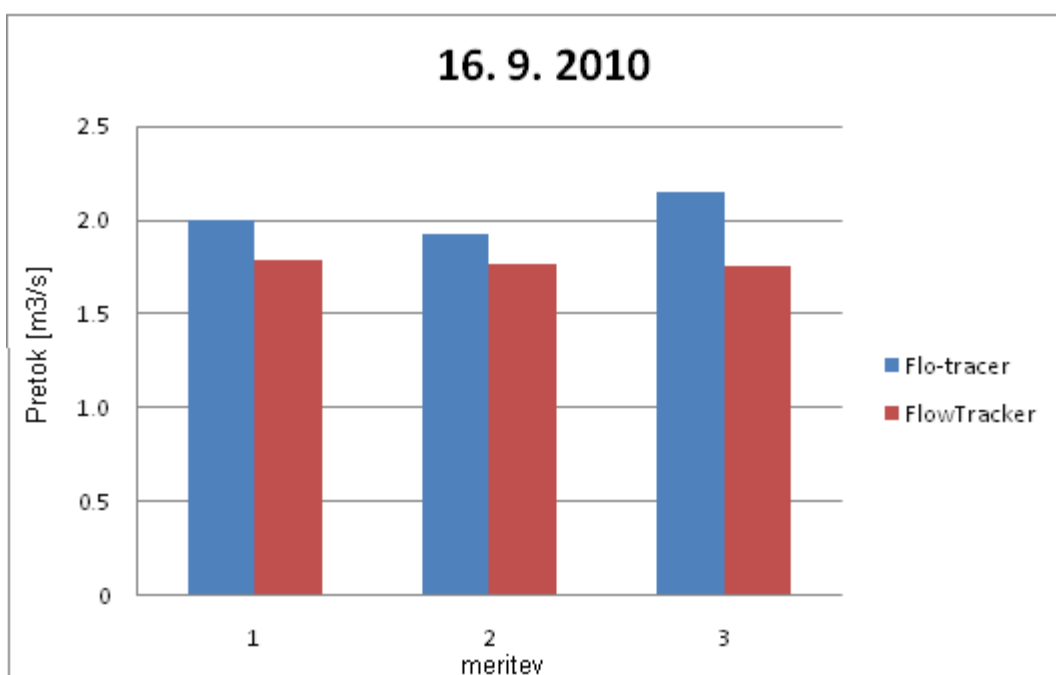
Preglednica 30: Odstopanja med rezultati obeh instrumentov

Dan meritve – odstopanje rezultatov obeh instrumentov [%]			
Št. meritve	9. 8. 2010	16. 9. 2010	6. 10. 2010
1	21.66	10.45	16.70
2	24	8.40	10.78
3	25.38	18.23	18.31
povprečje	23.68 ± 1.08	12.36 ± 2.99	15.26 ± 2.29

Ugotovimo lahko, da so v povprečju izmerjeni pretoki s Flo-tracerjem približno 15 % višji kot izmerjeni z FlowTrackerjem. Primerjava posameznih meritev z obema instrumentoma je prikazana na grafikonih 3 do 5.



Graf 3: Primerjava rezultatov 1. niza meritev z obema instrumentoma



Graf 4: Primerjava rezultatov 2. niza meritev z obema instrumentoma

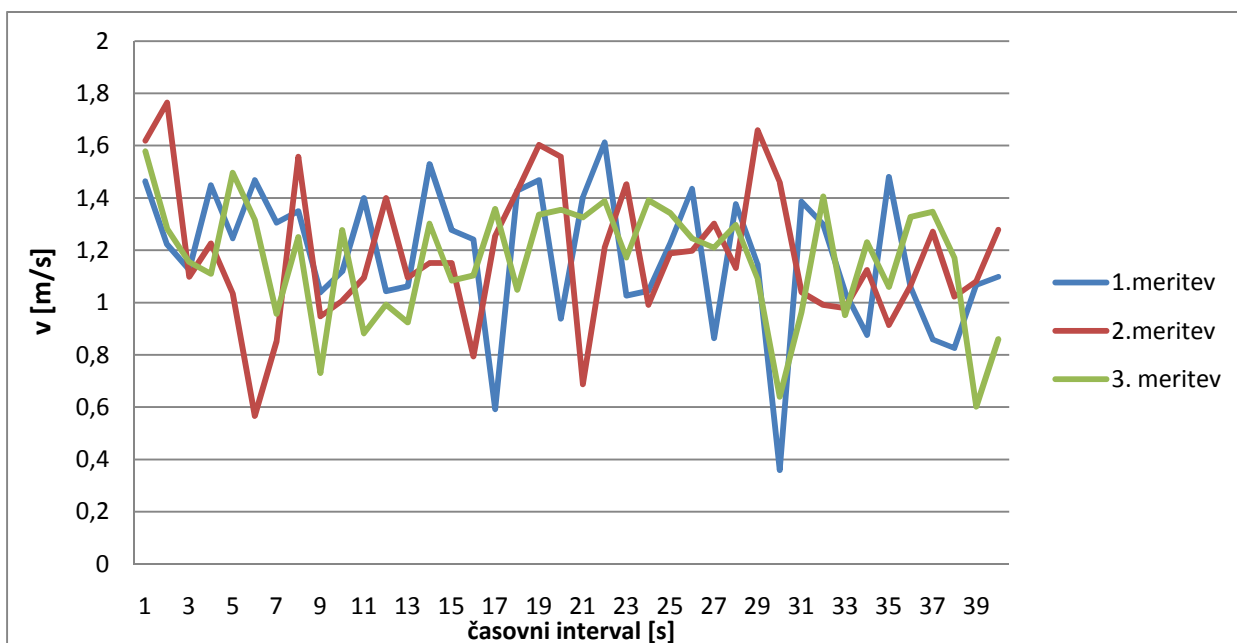


Graf 5: Primerjava rezultatov 3. niza meritev z obema instrumentoma

4.3 Analiza rezultatov

Kot sem že ugotovil pride pri rezultatih do razlik. Razlike med posameznimi meritvami s istim instrumentom so majhne in sicer pri meritvah z Flo-tracerjem rezultati med seboj odstopajo za 5,6%, pri meritvah z FlowTrackerjem pa za 4%. Razlika med meritvami z obema instrumentoma pa so dosti bolj očitne (15 %).

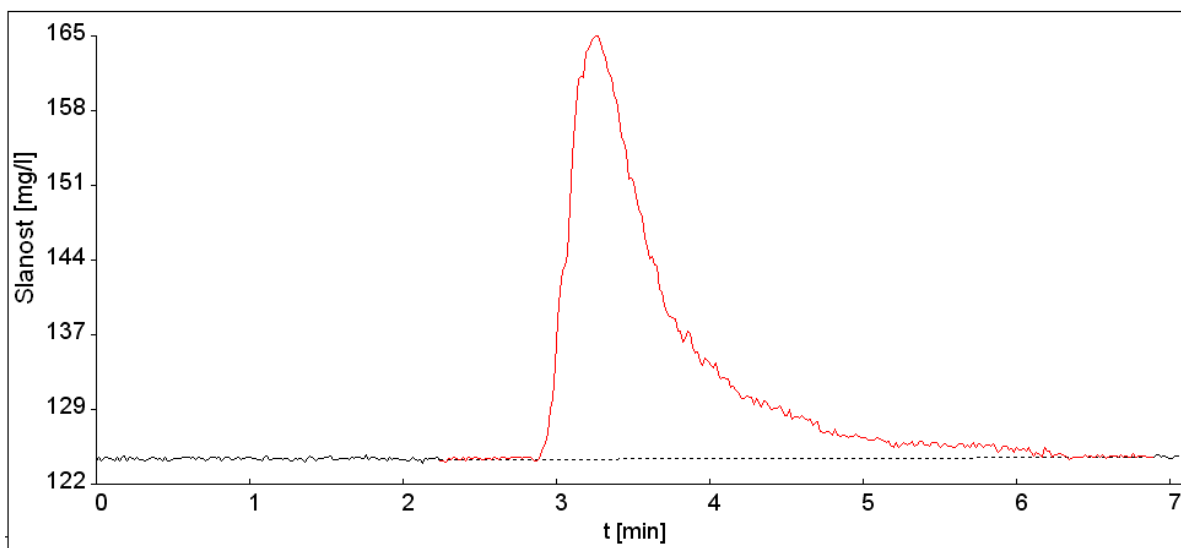
Pri določevanju pretoka s pomočjo Dopplerjevega efekta so rezultati, ki jih dobimo natančni na 5 % (SonTek, 2002). Pri tej metodi je človeški faktor bistvenega pomena. Metoda sama po sebi ima napako 2,5 %, ostalo so človeški faktorji, kot npr. pravilno določena širina in globina merjenega prereza, zadostno število vertikal, pravilna postavitev instrumenta itd.(SonTek, 2002). Podatek, da ima metoda po standardu določeno napako 2,5 %, se zdi mogoče nepričakovan. Vendar ko spoznamo metodo ter opravimo meritve na terenu, se nam ta podatek zdi povsem razumljiv. Če narišemo graf poteka hitrosti med intervalom meritve, vidimo kako hitrost niha (pulzira). Do tega pride, ker je tok v vodotoku turbulenten. Voda se vrtinči in meša, zato lahko pride do ekstremnih hitrosti, ki trajajo samo za trenutek. Na grafikonu 6 je prikazano nihanje hitrosti znotraj ene meritve dolge 40 sekund za isto vertikalo. Za interval štiridesetih sekund je instrument določil povprečno hitrost, glede na hitrosti izmerjene vsako sekundo.



Graf 6: Nihanja hitrosti znotraj posamezne meritve v isti vertikali

Agencija za geološke raziskave Združenih Držav je kupila več kot 100 Dopplerjevih merilcev pretoka in sicer znamke Flow Tracker. Nekaj izmed njih so jih testirali v hidravličnem laboratoriju v Missisippiju. Testirali so jih na več načinov pri različnih hitrostih ter globinah vode. Rezultati, ki so jih dobili so se razlikovali za 5 %. Ugotovili so tudi, da če merimo hitrost na vsako sekundo, je ta hitrost ki jo instrument izmeri natančna na 1 % (Setephen F. Blanchard, 2004)

Kot vemo, je rezultat meritve pri metodi razredčeniadiagram časovnega spreminjanja koncentracije sledila v merjeni točki oziroma tokovnici. To pomeni, da je vrednost pretoka ploščina, ki jo graf oklepa z x osjo. Če bi bil graf pravilne oblike (pravokotnik), bi samo pomnožili koncentracijo s časom in bi dobili ploščino. Ker ima potek koncentracije sledila v vodotoku obliko vala (Grafikon 7), je potrebna integracija.



Graf 7: Potek koncentracije sledila v vodotoku

Iz grafikona 7 je lepo razvidno, kako oblak sledila in s tem tudi koncentracija soli počasi narašča, doseže svoj vrh in nato počasi upada. Pri upadanju koncentracije vidimo, da črta ni gladka, ampak je nazobčena. To je po moje posledica zelo hitrega toka in s tem tudi velikih turbulenc v vodi. Pri vseh meritvah so rezultati, ki jih dobim s Flo-tracerjem približno 15 % višji kot izmerjeni s FlowTrackerjem. Do podobnih zaključkov je prišel tudi Capesibus s sodelavci (Capesibus in sod., 2005). Rezultati meritev, ki so jih v svoji raziskavi dobili po metodi razredčenja, so bili konstantno višji od pretoka izmerjenega s hidrometričnim krilom, katerega smatrajo za točnega. Rezultati so bili višji za približno 14 %.

5. Zaključki

Namen diplomskega dela je predstaviti metode merjenja pretoka, dve od najpogosteje uporabljenih metod pa natančneje predstaviti (metodo razredčenja ter metodo, kjer merimo s pomočjo Dopplerjevega efekta), se naučiti praktično uporabljati instrumenta FloTracker handheld ADV (SonTek Inc.) in Flo-tracer (Flowtronic), opraviti meritve na terenu in narediti primerjavo in analizo rezultatov.

Primerjava obeh metod merjenja kaže, da so rezultati meritev s Flo-tracerjem konstantno višji od rezultatov, izmerjenih s FloTrackerjem. Pri meritvah s Flo-tracerjem ima človeški faktor manj vpliva na natančnost in točnost meritve. Natančen moraš biti pri tehtanju sledila, izbiri pravilne količine ter pri injiciranju. Kilpatrick in Cobb (1985) v svojih navodilih opozarjata še na to, da je priporočljivo izbrati odsek vodotoka, kjer ni izgub, tok vode ni prepočasen in da mora biti sledilo popolnoma raztopljeno. Z FlowTrackerjem pa je stvar nekoliko bolj zakomplicirana. Pozoren moraš biti na mnogo več dejavnikov. S tem, ko sem se naučil meriti s obema instrumentoma, sem tudi spoznal številne prednosti in slabosti obeh načinov merjenja. Pomanjkljivosti in prednosti obeh instrumentov:

Flowtracker:

Prednosti, ki sem jih sam ugotovil:

- Instrument je enostaven za uporabo (sam nas vodi skozi meritve, programska oprema za povezavo z osebnim računalnikom enostavno zasnovana)

Prednosti ostalih avtorjev:

- Lahko meri hitrosti od 0.01 m/s do 4.5 m/s brez nikakršne menjave nastavitev ali sonde
- Lahko meri v vodotokih do 3cm globine
- Ni potrebne nobene kalibracije (razen če pride do fizične poškodbe)

- Sonda ne vpliva na izmerjeno hitrosti (z njenim uporom na tok vode)

Pomanjkljivosti, ki sem jih sam ugotovil:

- Če ni nobene premostitve, moramo za meritev iti v vodo (pri hitrih vodotokih zna biti tudi nevarno)
- Hitro pride do napak (pravilno razdeljen vodotok na vertikale, odčitek gladin, pravilna drža sonde instrumenta, postavitve merskega traku)
- V večjih vodotokih je metoda zelo zamudna (če je struga vodotoka zelo široka, moramo narediti veliko vertikal, da pravilno opišemo prečni prerez struge)
- Visoka cena instrumenta

Pomanjkljivosti ostalih avtorjev:

- Držanje instrumenta v pravilnem položaju med meritvijo je precej zahtevno
- Kabel med sondo in instrumentom dolg samo 2m
- Ne moremo ga obesiti iz neke večje premostitve v vodotok (kot npr. hidrometirčno krilo)
- Nekoliko slabše meritve v vodotokih z malo suspendiranimi delci
- Pri vodotokih z spremenljivimi robnimi pogoji pride do napak zaradi popačenega odboja signala

Flo-tracer:

Prednosti, ki sem jih sam ugotovil:

- Enostavna uporaba (sam nas vodi skozi meritev, programska oprema za povezavo z osebnim računalnikom enostavno zasnovana)

- Enostavnost nabave sledila (običajno uporabljamo navadno kuhinjsko sol, ki je cenovno ugodna ter dostopna v vsaki trgovini s živili)
- Merimo lahko kar iz brežine
- Med potekom meritve lahko že pripravljamo sledilo za naslednjo meritev

Prednosti ostalih avtorjev:

- Kjer z ostalimi instrumenti meritve niso več možne, s tem lahko še vedno merimo (visoka hitrost toka, velika turbulenca, veliko plavajočih in lebdečih delcev v vodotoku)
- Lahko merimo tudi v nedostopnih vodotokih

Pomanjkljivosti, ki sem jih sam ugotovil:

- Zamudna priprava sledila (kljub konstantnemu mešanju, sledilo se počasi topi)
- V počasnih vodotokih dolg potek meritve (oblak sledila potuje počasi, zato potrebuje veliko časa da gre mimo potopljene sonde)

Pomanjkljivosti ostalih avtorjev:

- Če je tok prepočasen in premalo turbulenten, se sledilo slabo premeša, posledično so rezultati netočni

Z vidika uporabnika se mi zdi metoda razredčenja veliko bolj praktična. Čeprav se zdi, da je metoda merjenja dolgotrajna, temu ni tako. Raztapljanje soli (sledila) sicer traja nekaj časa, kljub vsemu pa je meritev hitrejša kot z Dopplerjevim merilcem (premikanje po vertikalnih prečnega prereza), poleg tega pa nam ni potrebno v vodo. V današnjih časih je povsem upravičena tudi primerjava s finančnega vidika. Dopplerjev merilec FlowTracker je mnogo dražji od Flo-tracerja. Čeprav so rezultati, ki jih dobimo s Flo-tracerjem nekoliko višji, sta oba

instrumenta natančna in za inženirsko prakso zelo uporabna, glede na naše možnosti in potrebe pa se odločimo za enega ali drugega.

6. Viri in literatura

Bogataj, J. 2009. Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 11 str.

Boiten, W. 2000. Hidrometry. Rotterdam, A.A. Balkema: 244 str.

Brečko Grubar V. 2007. Vloga naravnogeografskih značilnosti porečja pri sonaravnem upravljanju z vodnimi viri v porečju Kamniške Bistrice. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije: 17 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 286 str.

Capesius, J.P., Sullivan, J.R., O'Neill, B., G. 2002. Using the tracer-dilution discharge method to develop streamflow records for ice-affected streams in Colorado. Colorado, U.S. Geological Survey: 14 str.

Cerar U., Banovec P., Steinman F. 2000. Hidravlična ustreznost merilnih mest za merjenje pretokov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 13 str.

Flow – tronic. 2003. Manual for flo-tracer. Belgium, Flow Tronic: 25 str.

Gary, T., Scott, E. 2002 , Discharge measurements in shallow urban streams using a hydroacoustic current meter. Indianapolis, United States Geological Survey: 10 str.

Globevnik L. 2002. Vodnogospodarska osnova povodja Kamniške Bistrice. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut, družba za gospodarjenje z vodami d.o.o.: 92 str.

Hersch, R.W. 1978. Hydrometry – principles and practices. Bristol, John Willey & Sons: 511 str.

Hidrologija. 1999. Meritve pretokov vode z metodo razredčenja. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Slovenije: 33 str.

Kilpatrick, F., A., Cobb, D., E.1985. Measurement of discharge using tracers. Washington, U.S. Geological Survey: 63 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Maticič, B., Muller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko Izrazje - Terminology in Hydrometry. Acta hydrotechnica 20, 32.
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (15. 4. 2010)

Setphen, F. Blanchard. 2004. Office of surface water technical memorandum 2004.04. Mississippi, U.S. Geological Survey :9 str.

SonTek. 2002. FlowTracker Handheld ADV Operation Manual Firmware Version 2.3. San Diego, SonTek/YSI: 98 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

UNESCO. 1994. Applied hydrology for technicians. Paris, International Hydrological programme: 87 str.

Ward, C., Tepper, M. 2002. The use of Doppler methods for measuring velocity and discharge in streams less than 1.5m depth. Colorado, Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers: 10 str.

Spletne strani

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/> (4. 5. 2010)

<http://www.jfccivilengineer.com> (14. 3. 2010)

http://www.valeport.co.uk/current_meters (21. 4. 2010)

<http://www.hydroaxys.com> (7. 4. 2010)

<http://www.pfmb.uni-mb.si> (12. 2. 2010)

<http://www.sontek.com> (4. 5. 2010)

<http://www.hydrosurvey.cn> (2. 5. 2010)

<http://www.sontek.com/adp-adcp.php> (4. 5. 2010)

<http://www.unidata.com.au> (25. 1. 2010)

<http://www.kamnik-tourism.si> (27. 9. 2010)

<http://www.arso.gov.si> (27. 9. 2010)

<http://nfp-si.eionet.europa.eu/> (29. 9. 2010)

<http://www.domzale.si> (29.9.2010)

www.ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/predstavitev/oprema (30.9.2010)

www.flow-tronic.com (30.9.2010)

www.geopedia.si (1.10.2010)