

# Aktualno stanje hidrometrije u svijetu s obzirom na otjecanje

---

**Somogji, Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:472375>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Aktualno stanje hidrometrije u svijetu s obzirom na otjecanje

---

**Somogji, Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:472375>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-10-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

MARIJA SOMOGJI

AKTUALNO STANJE HIDROMETRIJE U SVIJETU S OBZIROM NA OTJECANJE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

AKTUALNO STANJE HIDROMETRIJE U SVIJETU S OBZIROM NA OTJECANJE

KANDIDAT:

Marija Somogji

MENTOR:

Doc. dr. sc. Bojan Đurin

VARAŽDIN, 2017.

## **SAŽETAK**

Marija Somogji

Aktualno stanje hidrometrije u svijetu s obzirom na otjecanje

Projektiranje i građenje prvenstveno hidrotehničkih građevina te svih ostalih vrsta građevina u niskogradnji pa čak i u visokogradnji nezamislivo je bez određivanja otjecanja, odnosno površinskog kretanja vode. Otjecanje se mjeri odnosno opisuje kvalitativno i kvantitativno. Hidrometrija je znanost o mjerenju i analizi vode u svim njezinim oblicima pojavljivanja na Zemlji, uključujući metode, mjerne tehnike i instrumentarij koji se koristi u hidrologiji.

U mjerenju otjecanja važno je pravilno odabrati metode i uređaje s obzirom na točnost i svrhu mjerenja i utjecaj pojedine metode na rezultate mjerenja. Rad će prikazati aktualno stanje u svijetu vezano uz metode i karakteristike uređaja za mjerenje otjecanja, njihovu podjelu i usporedbu metoda za mjerenje.

**KLJUČNE RIJEČI:** otjecanje, metode za određivanje otjecanja, uređaji, hidrometrija

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

AKTUALNO STANJE HIDROMETRIJE U JUVETU I OBRZIROM NA OTJECANJE

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc. dr. sc. Bojana Đurina**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 5.09.2017.

MARNA SOHOVI  
(Ime i prezime)

Sno  
(Vlastoručni potpis)

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE OTJECANJA .....	2
2.1. ZADACI HIDROMETRIJE I OSNOVNI POJMOVI .....	2
2.2. VODOSTAJ .....	3
2.3. DUBINA .....	6
2.4. BRZINA VODE .....	7
2.5. PROTOK .....	11
2.5.1. <i>Neposredno mjerenje protoka</i> .....	12
2.5.2. <i>Posredno mjerenje protoka</i> .....	14
3. MEĐUSOBNA USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE OTJECANJA .....	23
4. ZAKLJUČAK .....	27
POPIS LITERATURE .....	28
POPIS SLIKA .....	30

## 1. UVOD

Otjecanje je fizikalna veličina koja označava volumen tekućine koji prolazi kroz neku točku prostora u određenom trenutku vremena odnosno obujam vode koji protječe kroz poprečni profil vodotoka. Hidrometrija je znanost koja se bavi metodama i tehnikama mjerenja komponenata hidrološkog ciklusa, analizom i povezivanjem podataka za svaki način pojavljivanja vode na Zemlji. Ovisno o mjestu pojavljivanja vode hidrometrija se dijeli na hidrometriju mora, atmosferskih voda, površinskih voda i podzemnih voda, a može se promatrati i s obzirom na komponente hidrološkog ciklusa [1].

Kroz povijest, metode za mjerenje otjecanja mijenjale su se s obzirom na čovjekove potrebe pa se od jednostavnih metoda mjerenja pomoću mjernih posuda, štapova i jednostavnih hidrotehničkih građevina došlo do ultrazvučnih uređaja i modifikacija na cijelim profilima rijeka koje omogućuju preciznije podatke i lakša mjerenja.

Svaka metoda i uređaj imaju točno određene specifikacije koje određuju područje djelovanja i način korištenja. Metode za mjerenje protoka odnosno brzine tečenja ovise o brojnim karakteristikama; veličini korita, da li je korito prirodno ili umjetno, kakav je utjecaj na živi svijet unutar korita i da li može doći do utjecaja na uređaje za mjerenje potoka. Uz navedeno, važno je odrediti kako bi primjena metode mogla utjecati na tok, da li bi fluid ili neko strano tijelo moglo utjecati na rad uređaja ili ga čak oštetiti.

Svako mjerenje iziskuje pomno planiranje i razmišljanje, a odabir uređaja ili metode ovisi o mnogo čimbenika. Iz tog je razloga vrlo važno poznavanje metoda i uređaja, iskustvo mjerenja na raznim modelima uređaja na više lokacija te pomna analiza podataka i iskustvo opažača.



## **2. METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE OTJECANJA**

### **2.1. Zadaci hidrometrije i osnovni pojmovi**

Osnovni zadaci hidrometrije su razrada metoda i pribora (opreme) za kvantitativno određivanje i proučavanje raznih elemenata režima voda, obrada podataka dobivenih mjerenjem na temelju raznih metoda i korištenjem više vrsta pribora te organizacija hidrometrijskih stanica u svrhu dobivanja optimalnih informacija potrebnih za razvoj modela hidrološkog ciklusa [1].

Osnovni hidrometrijski radovi na rijekama, jezerima i akumulacijama su: izbor mjesta i položaja mjerenja, postavljanje i opremanje postaja za mjerenje raznih karakteristika u vezi s vodom, mjerenje dubina i oblika dna, mjerenje kolebanja nivoa vode, mjerenje pada vodnog lica, mjerenje temperature vode, opažanje boje, prozirnosti i specifične težine, mjerenje i proučavanje brzine i smjera toka, mjerenje i proučavanje protoka nanosa u pokretu, vučenog i suspendiranog i mjerenje i proučavanje sastava nanosa u pokretu s dna [1].

Hidrometrijska postaja je lokacija (profil) na vodotoku u kojem se vrše mjerenja razine vode i protoka, a omogućuje kontinuirano praćenje rezultata mjerenja na određenoj lokaciji. Kriteriji za odabir lokacije hidrometrijske postaje su pristupačnost mjernog mjesta, stabilnost korita, dovoljno velika osjetljivost na promjene, približno jednolika raspodjela brzina i mogućnost postavljanja glavnog i kontrolnog repera. Reperi su stalne mjerne točke na hidrometrijskoj postaji u odnosu na koje se vrše mjerenja [1].

Stabilnost korita je otpornost na promjene oblika korita pod utjecajem erozije, poplava i drugih mehaničkih čimbenika. Osjetljivost na promjene je izraženija ako velike promjene u razini vode rezultiraju malim promjenama u veličini protoka. Osnovni hidrološki parametri koji definiraju otjecanje su vodostaj, dubina, brzina vode i protok [1].

## 2.2. Vodostaj

Vodostaj je vertikalna udaljenost između stalne točke vodomjerne letve i trenutnog nivoa vode u mjernom profilu vodotoka. Mjeri se povremeno tijekom nekog vremenskog razdoblja vodomjernom letvom ili kontinuirano limnigrafom, a vrijednost se izražava u centimetrima ili metrima [2].

Vodomjerna letva, Slika 1, najjednostavniji je vodomjerni uređaj. Sastoji se od drvene, željezne, čelične ili plastične ploče na kojoj su ocrtane vrijednosti, najčešće u decimetrima (dm). Skala vodomjerne letve podijeljena je na segmente od 2 centimetra (cm), a brojevi predstavljaju iznos vodostaja u decimetrima. Postavlja se strogo vertikalno, a ako je obala rijeke kosa, postavlja se više vodomjernih letvi tako da se sljedeća nastavlja na prethodnu kao što je prikazano na Slici 2 [2].



Slika 1. Vodomjerna letva [3]



Slika 2. Stepenasti vodomjer [4]

Ako je obala rijeke uređena, može se postaviti kosa vodomjerna letva što je vidljivo na Slici 3 [2].



Slika 3. Kosa vodomjerna letva [4]

Limnigraf je uređaj koji se koristi za kontinuirano mjerenje vodostaja te zapisivanje dobivenih vrijednosti. Klasičan tip limnigrafa sastoji se od plovka, protuutega, spojnog sustava plovka s perom i registratora s ugrađenim satnim mehanizmom što je vidljivo na Slici 4. Izmjerene vrijednosti automatski se zapisuju ili šalju u centralno mjesto za pohranjivanje podataka. Elektronski limnigraf sastoji se od sonde, pojačala i registratora, a pogodan je za mjerenje lako promjenjivih vodostaja,

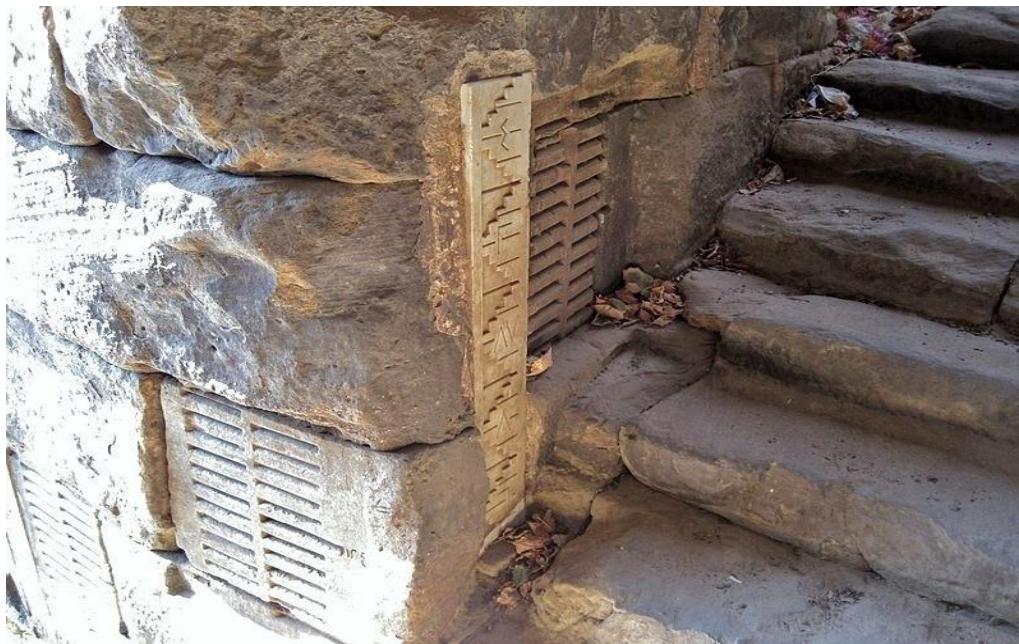
ukoliko se primjerice pojave valovi. Pneumatski limnigraf radi na principu ispuštanja plina, najčešće dušika ili zraka, ispod razine vode. Na regulacijskom ventilu se mjeri tlak koji je jednak statičkom tlaku iznad ventila i služi za izračun hidrostatskog stupca vode iznad ispusta. Koristi se kod mjerenja podzemne vode u piezometru ili na mjestima gdje je postavljanje klasičnog limnigrafa neizvedivo ili neekonomično [4].



Slika 4. Limnigraf [5]

Nivogram je grafički prikaz promjene vodostaja tokom vremena u mjernom profilu vodotoka na odabranoj hidrometrijskoj postaji [2].

Mjerenje vodostaja započinje prije više od 4000 godina na području drevnog Egipta, čija je civilizacija uvelike ovisila o rijeci Nil. Vodostaji su se pratili pomoću nilometra, građevine izrađene u formi stepeništa, prikazane na Slici 5, na koje je ulazila voda iz Nila. Vodostaje su bilježili svećenici koji su živjeli u hramu na Slonovom otoku (lokacija nilometra). Rezultati mjerenja izražavali su se u jedinici kubit, koja je iznosila 52.4 cm, što je ujedno bila i visina pojedine stepenice. Pomoću nilometra izvedene su prve hidrološke prognoze, a skala je označavala kakva će biti žetva te je faraonu omogućila određivanje godišnje dadžbine podanika [4].



Slika 5. Nilometar [6]

### 2.3. Dubina

Dubina  $h$  je vertikalna udaljenost između kote dna i trenutnog nivoa vode u mjernom profilu vodotoka. Dubina je hidrološka veličina koja definira geometrijske osobine profila korita ispod površine vode. Obično se provodi tijekom razdoblja najnižeg vodostaja, a izražava se u centimetrima (cm) ili metrima (m). Mjerenja se izvode pomoću motke ili letve s obilježenim kotama ili čeličnog graduiranog užeta s utegom te akustičnim postupkom korištenjem ehosondera [7].

Ehosonder je uređaj koji mjeri vrijeme koje je potrebno od slanja zvučnog vala do njegovog povratka te na temelju brzine pulsa i vremena povratka zvučnog vala određuje dubinu korita [8].

Hidrostatska metoda mjerenja dubine temelji se na osnovnom zakonu hidrostatičke koji govori da je tlak  $P$  (Pa) u bilo kojoj točki dubinske vertikale jednak umnošku gustoće fluida  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), ubrzanja sile teže  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) i dubine  $h$  (m). Mjerenja se izvode pomoću manometra koji se spušta prema dnu vodotoka te mjeri težina (pritisak) stupca vode okomito iznad njega na različitim dubinama. Poznavajući

parametar gustoće, tlaka i ubrzanja sile teže, pomoću prethodno navedene relacije izračuna se dubina mjerenja. Mjerenje manometrom može se izvoditi trenutno ili kontinuirano, no najčešće se pribjegava drugim metodama [7].

## 2.4. Brzina vode

Brzina vode  $v$  ( $\text{ms}^{-1}$ ), u prirodnim vodotocima mijenja se po veličini i smjeru u svakoj točki promatranog profila. Razlog tome je turbulentni režim tečenja te je zbog toga potrebno uvesti pojmove trenutne i srednje brzine vode. Trenutna brzina vode je brzina vode u točno određenoj točki poprečnog presjeka u točno određenom trenutku. Srednja brzina vode je rezultat osrednjavanja skupa trenutnih brzina vode u određenoj točki poprečnog presjeka tijekom odabranog vremenskog razdoblja [7].

Pulzacija brzine vode je odstupanje trenutne brzine vode od srednje vrijednosti u odabranoj točki vodotoka. Pulzacija brzine vode veća je pri dnu korita zbog trenja koje nastaje uslijed hrapavosti korita [7].

Metode mjerenja brzine vode su mjerenje brzine plivajućeg tijela, mjerenje brzinske visine, mjerenje brzine okretanja potopljene elise, mjerenje inducirano napona i mjerenje Dopplerovog efekta [9].

Mjerenje brzine plivajućeg tijela najstariji je hidrometrijski postupak, a izvodi se pomoću plovka. Mjeri se vrijeme  $t$ , u sekundama (s), koje je potrebno da plovak prijeđe udaljenost  $L$ , u metrima (m), a mjerenje se provodi na tri poprečna profila (ulazni, mjerni i izlazni) te se rezultati mjerenja dobivaju pomoću izraza (1):

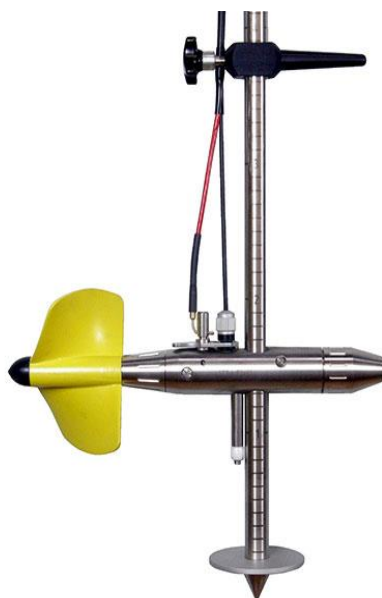
$$v = \frac{SL}{St} \quad (1)$$

Mjerenje "brzinske visine" odnosno brzine izražene u metrima izvodi se pomoću Pitot-ove cijevi, a zasniva se na principu prevođenja kinetičke energije vode (dinamički tlak) u potencijalnu energiju (statički tlak). Izraz za određivanje brzine vode izveden je

iz Bernoullijeve jednadžbe. Bernoullijeva jednadžba (2) je matematički prikaz zakona o očuvanju energije koji govori da je zbroj energije položaja, kinetičke energije i energije hidrostatskog tlaka konstantan u svakom presjeku cijevi, gdje je  $p$  statički tlak,  $(\rho v^2)/2$  dinamički tlak, a  $\rho gh$  hidrostatski tlak. Sva tri izraza koja čine jednadžbu (2) izražavaju se u paskalima (Pa), a pojedinačno gustoća  $\rho$  u ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), brzina  $v$  u ( $\text{m}/\text{s}$ ),  $g$  ubrzanje sile teže u ( $\text{m}/\text{s}^2$ ), a  $h$  je udaljenost između referentne plohe i visine točke mjerenja (m).

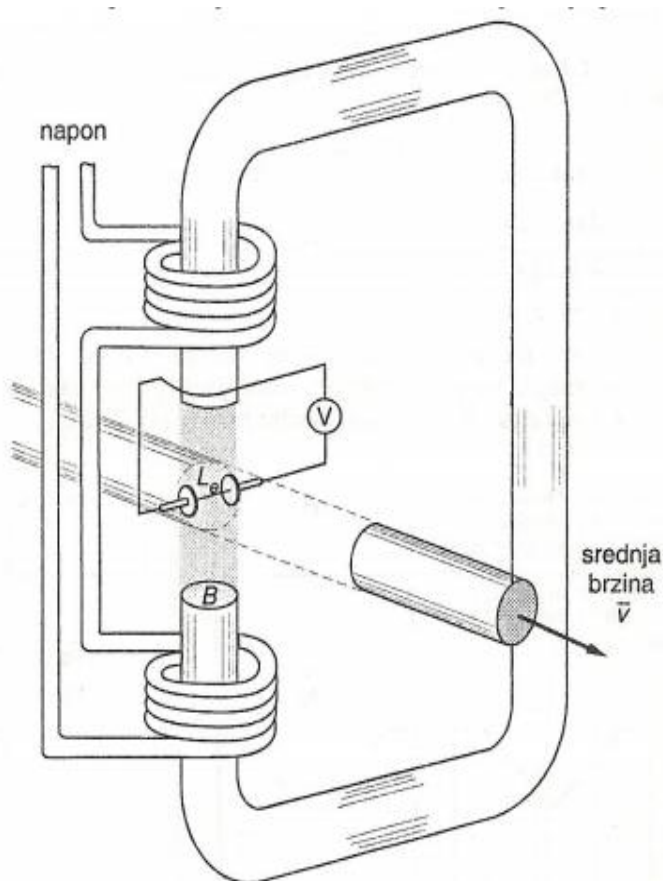
$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g h = \text{const.} \quad (2)$$

Hidrometrijsko krilo, prikazano na Slici 6, je mehanički uređaj za mjerenje brzine vode. Broj okretaja elise hidrometrijskog krila u izravnom je odnosu sa brzinom protjecanja vode. Pošto nema standardnih dimenzija i dizajna, svaki proizvođač bira na koji će način izraditi hidrometrijsko krilo, a veza između brzine i broja okretaja određuje se baždarenjem za svaki uređaj posebno. U novije vrijeme, umjesto korištenja grafa baždarenja, dobivene vrijednosti očitaju se na ekranu uređaja uz mogućnost elektronskog (digitalnog) zapisa [4].



Slika 6. Hidrometrijsko krilo [10]

Mjerenje induciranog napona jedan je od novijih oblika mjerenja brzine vode. Elektromagnetski mjerači rade na principu Faradayevog zakona elektromagnetske indukcije čiji je princip rada prikazan na Slici 7, a pogodni su za mjerenja brzina otpadnih voda. Zavojnica u senzoru uređaja proizvodi magnetno polje u kojem voda ili neka druga provodljiva tekućina inducira električni napon. Inducirani napon mjeri se parom elektroda smještenim u senzoru mjerača te se prenosi do centralne memorijske jedinice. Inducirani napon proporcionalan je brzini gibanja vode, a rezultati se dobivaju u realnom vremenu [7]. Elektromagnetski uređaj, poput prikazanog na Slici 8 mjeri brzinu tečenja koja se, na sličan način kao kod mjerenja hidrometrijskim krilom, mjeri na nekoliko segmenata poprečnog profila vodotoka. Jednostavnim proračunima izmjerene brzine tečenja i površine poprečnog profila dobiva se vrijednost protoka za taj dio vodotoka.



Slika 7. Shema principa rada elektromagnetskog mjerača [11]





Slika 8. Elektromagnetski mjerač protoka [4]

Mjerenje Dopplerovog efekta brz je i vremenski neprekinut način mjerenja brzine vode, samim time može se koristiti i za mjerenje protoka, dubine i prikaza oblika korita. Transduktor odašilje ultrazvučni signal koji se odbija od ledbećih čestica te se dio energije vraća na izvor. Razlika emitirane i primljene energije određuje se kao promjena frekvencije ultrazvuka, Dopplerov pomak [7]. Uređaj, prikazan na Slici 9, uranja se u vodu na određenim poprečnim stacionažama i na određenim dubinama te se korištenjem Dopplerovog efekta mjeri brzina kretanja vode. Također, na velikim vodotocima, gdje fizički nije moguće hodati po vodotoku, uređaj se postavlja na čamac koji se kreće po željenoj putanji (trajektoriji) na površini toka, a osim što registrira brzinu strujanja vode, uređaj daje podatak o brzini kretanja čamca te relativni odnos površine i dna vodotoka. Takav uređaj (Slika 9) pomoću ugrađenog softvera pruža podatke o brzini kretanja vode, brzini čamca te dubini korita, a rezultati se mogu dobiti u računskom ili grafičkom obliku, ovisno o želji izvođača mjerenja. Jedna od prednosti mjerenja ultrazvučnim uređajem je relativno kratko trajanje samog mjerenja s obzirom na ostale metode [4].



Slika 9. Ultrazvučni uređaj za mjerenje brzine [12]

## 2.5. Protok

Protok  $Q$  je fizikalna veličina koja označava volumen tekućine koja prolazi kroz neku točku prostora u određenom trenutku vremena. Mjerna jedinica protoka je ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Kod određivanja protoka u vodotocima, radi se o obujmu vode koja protječe kroz poprečni profil vodotoka [4].

Hidrogram je grafički prikaz promjene protoka tijekom nekog promatranog perioda. Krivulja protoka ili konsumpcijska krivulja je grafički prikaz odnosa vodostaja i protoka, a za svaki poprečni profil vodotoka mora se izraditi nova konsumpcijska krivulja zbog razlika u izgledu korita, erozije ili premještanja materijala sa dna. Mjerenje protoka može se podijeliti na neposredno i posredno [2].

Neposredno mjerenje protoka je mjerenje pomoću mjernih posuda, a ograničeno je na male izvore i vodotoke. Obično se izvodi pomoću Milneove posude, prikazane na Slici 10 ili danaide, prikazane na Slici 11 [8]. Posredno mjerenje protoka ne izvodi se pomoću mjernih posuda već se koriste drugačiji postupci. Najčešći postupci su postupak površina – brzina, postupak mješavina i postupak korištenjem mjernih objekata [9].

Postupak površina – brzina je mjerenje u više točaka poprečnog profila hidrometrijskim krilom, elektromagnetskim uređajem ili ultrazvučnim uređajem da bi se mogao izračunati protok kroz točno određeni profil korita u danom trenutku. Postupak mješavina je postupak kod kojeg se koriste tvari poznatih svojstava da bi se odredile informacije o vodotoku. Obilježivač (traser) je tvar koja se koristi kako bi se odredilo kretanje fluida unutar vodotoka. Postupak korištenjem mjernih objekata je postupak mjerenja protoka pomoću preljeva, mjernih kanala i kontrolnih profila [1].

### 2.5.1. Neposredno mjerenje protoka

Neposredno mjerenje protoka je mjerenje pomoću mjernih posuda, a ograničeno je na male izvore i vodotoke. Obično se izvodi pomoću Milneove posude ili Danaida.

Milneova posuda je posuda s dva spremnika, što je vidljivo na Slici 10, koji imaju jednaku zapreminu. Kada se jedan spremnik napuni, prevrće se zbog samog težišta spremnika, isprazni, te započinje s punjenjem drugog spremnika. Brojanjem količine prevrtanja  $n$  i moženjem sa zapreminom vode  $V_n$  ( $\text{m}^3$ ) dobiva se podatak o ukupnom obujmu vode u određenom vremenu  $V_{uk}$  ( $\text{m}^3$ ), jednadžba (3). Protok  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (4) izračunamo tako da podijelimo ukupan obujam  $V_{uk}$  ( $\text{m}^3$ ) s vremenom mjerenja  $t$  (s) [8].

$$V_{uk} = V_n \times n \quad (3)$$

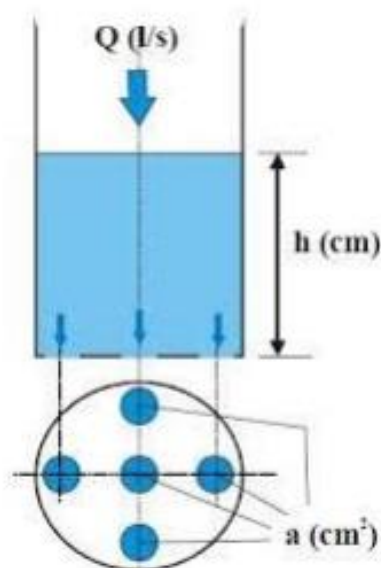
$$Q = \frac{V_{uk}}{t} \quad (4)$$



Slika 10. Milneova posuda [8]

Danajda je okrugli spremnik s nekoliko kružnih otvora na dnu kroz koje istječe voda. Shema danaide prikazana je na Slici 11. Kod dotjecanja konstantnog protoka, razina vode u danaidi se stabilizira te se protok može izračunati po formuli (5) gdje su  $\mu$  koeficijent istjecanja,  $n$  broj otvora sapunice,  $A$  površina otvora sapunice ( $\text{m}^2$ ),  $g$  ubrzanje sile teže ( $\text{m/s}^2$ ) i  $H$  (m) visina vode u danaidi [8].

$$Q = mnA\sqrt{2gH} \quad (5)$$



Slika 11. Shema danaide [8]

### 2.5.2. Posredno mjerenje protoka

Posredno mjerenje protoka ne izvodi se pomoću mjernih posuda već se koriste drugačiji postupci. Najčešći postupci su postupak površina – brzina, postupak mješavina i postupak korištenjem mjernih objekata [1]. Kod posrednog mjerenja protoka potrebno je definirati geometrijske karakteristike protoka (poprečni presjek) i odrediti brzinu u više različitih mjernih profila na različitim dubinama vodotoka.

Postupak površina – brzina u osnovi je mjerenje brzine tečenja vode u više točaka poprečnog profila odnosno u više poprečnih stacionaža na različitim dubinama. Ako je dubina vode manja od 0,25 m brzina se mjeri u jednoj točki, od 0,25 m do 0,5 m u dvije točke, a kod dubina većih od 0,5 m u 3 ili više točaka brzinske vertikale. Kod dubina većih od 1 m obično se uzima 5 točaka na brzinskoj vertikali i određeni broj točaka mjerenja na poprečnom profilu tako da dobijemo prosječnu brzinu na točno određenom profilu rijeke. Postupak se ponavlja za svaku određenu horizontalnu stacionažu.

Srednja brzina (m/s) na pojedinim vertikalama s obzirom na broj točaka na

kojima se mjeri dubina računa se pomoću jednostavnih izraza:

- Za jednu točku:  $v_{sr} = v_{0,6}$  (6)

- Za dvije točke:  $v_{sr} = 0,5 (v_{0,2} + v_{0,8})$  (7)

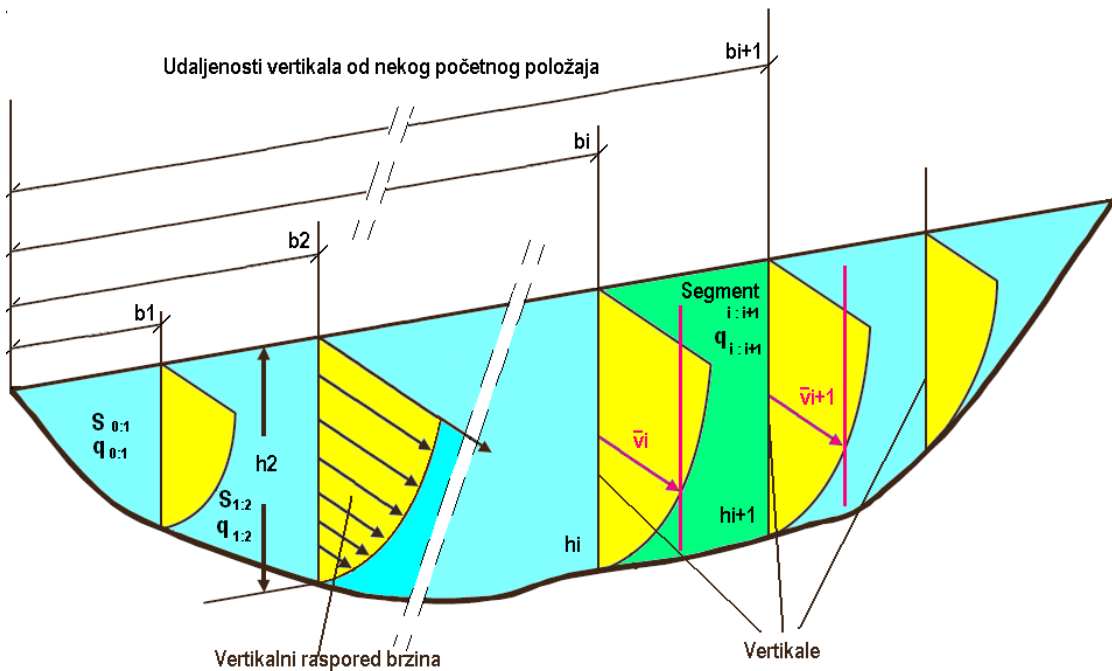
- Za tri točke:  $v_{sr} = 0,25 v_{0,2} + 0,5 v_{0,6} + 0,25 v_{0,8}$  (8)

- Za pet točaka:  $v_{sr} = 0,1 (v_s + 3 v_{0,2} + 2 v_{0,6} + 3 v_{0,8} + v_b)$  (9)

pri čemu je  $v_s$  brzina na površini, a  $v_b$  brzina pri dnu vodotoka [4].

Preporuka Svjetske meteorološke organizacije (WMO) je da udaljenost između dvije mjerne vertikale ne bi smjela biti veća od 1/20 ukupne širine vodotoka. Ova metoda može se primijeniti kod prirodnih i umjetnih otvorenih tokova te kod tokova pod tlakom (cijevima) koji su promjera većeg od 0,8 m [8].

Grafički prikaz protoka radi se tako da se najprije nacrtaju poprečni profil vodotoka na kojem se za svaku vertikalu nacrtaju dijagrami brzina, a zatim se izmjere površine dijagrama iz kojih se odrede protoci. Izgled jednog takvog profila vidljiv je na Slici 12. Površina između dobivene krivulje i vodnog lica odgovara ukupnom protoku  $Q$  ( $m^3/s$ ) [4].



Slika 12. Izgled poprečnog profila sa rasporedom brzina tečenja [4]

Kod ove vrste mjerenja potrebno je precizno odrediti geometriju korita. Širina samog korita mjeri se mjernim trakama ili optičkim instrumentima, a podvodna konfiguracija sondirkama ili ultrazvučnim dubinomjerima. Izbor uređaja za mjerenje ovisi o širini i dubini promatranog korita [8].

Postupak mješavina (traseza) prikazan na Slikama 13, 14 i 15 je postupak kod kojeg se koriste tvari poznatih svojstava da bi se definirali slivovi, protoci, informacije o podzemnim tokovima, površinskim tokovima, transport tvari u koritu i vrijeme zadržavanja tvari u vodonosnicima [13].



Slika 13. Ubacivanje traseza [14]



Slika 14. Obojenje traserom [15]



Slika 15. Opažanje nadolaska trasera [16]

Obilježivač (traser) je bilo koja vrsta tvari u vodi ili ubačena u vodu pomoću koje možemo dobiti potrebne informacije. Od umjetnih trasera najčešće se koriste fluorescentni traseri ili soli poznate koncentracije. Ranije su se koristili radioaktivni izotopi koji su danas zabranjeni zbog negativnog utjecaja na živi svijet u vodotocima ili na kvalitetu vode za piće [13].

Prirodni traseri su tvari odnosno drugim riječima fizička svojstva vode koja su prirodno prisutna u promatranom vodotoku. Čestični traseri su obično mineralne ili organske tvari ili mikroorganizmi koji se lako vežu na druge onečišćujuće tvari pa se pomoću njih lako određuje utjecaj onečišćenja na vodotoke. Fizikalna svojstva vode, npr. temperatura, također su dobar prirodni traseri jer prirodne vode imaju veliki toplinski kapacitet pa ne dolazi do naglih promjena temperature [13].

Vrste trasera s obzirom na njihovu sigurnost su: sigurni, oni koji nemaju utjecaj na okoliš i nisu toksični te ne čine opasnost za ljude ili živa bića u vodi, sigurni s ograničenjem, mogu biti opasni za zdravlje ljudi, živih bića i biljnog svijeta ako se nepravilno doziraju i mogu poremetiti sastav vode, opasni su po zdravlje te se moraju



koristiti u vrlo malim količinama [13].

Kod postupka trasiranja najvažnije je prikupiti prvobitne podatke prije ubacivanja trasera, odabrati vrstu trasera pogodnu za istraživanje, odabrati najbolje mjesto i način ubacivanja trasera, odabir lokacije opažanja trasera i metoda uzorkovanja, izračun potrebne količine trasera, laboratorijske analize i interpretacija podataka, a protok se određuje na temelju empirijskih formula [13].

Postupak korištenjem mjernih objekata je postupak mjerenja kojim se posredno mjeri protok. Kod ovakve vrste mjerenja postoji neposredna veza između razine vode i protoka. Postoji više vrsta objekata kojima se može posredno mjeriti protok. To su oštrobridni preljevi, mjerni kanali i kontrolni profili [1].

Oštrobridni preljevi razlikuju se po obliku presjeka kojim protječe voda. Razlikujemo trokutaste, trapezne, pravokutne i pravokutne preljeve s bočnim suženjem. Preljevi moraju biti izvedeni tako da preljev bude nepotopljen, a voda nizvodno od preljeva ne utječe na brzinu vode iznad preljeva što bi se loše odrazilo na preciznost mjerenja. Preljev je potrebno prije uporabe baždariti što se radi na modelu ili u prirodi. U situacijama kada se mjere veći protoci pogodniji su pravokutni preljevi, a kod manjih protoka bolje je koristiti trokutaste. [17]

Trokutasti preljevi, poput prikazanog na Slici 16, obično se postavljaju na koritima manjih protoka. Uronjeni kut obično je  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  ili  $90^\circ$ , a dubina vode se mora mjeriti na adekvatnoj udaljenosti uzvodno od samog preljeva. [17]



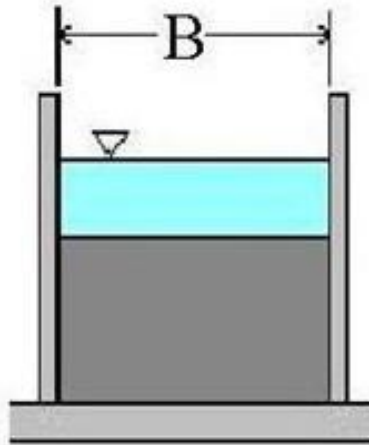
Slika 16. Trokutasti preljev [18]

Trapezni preljevi odnosno Cipolettijev preljev, vidljiv na Slici 17, obično se koristi kod mjerenja protoka sustava navodnjavanja. Sastoji se od horizontalne baze i kosih stranica koje se od baze uzdižu u omjeru približno 1:4 (horizontalno:vertikalno) [19].

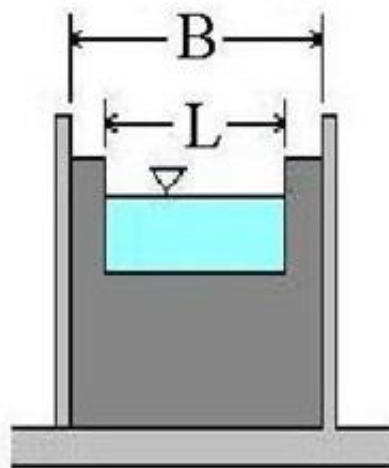


Slika 17. Cipolettijev preljev [20]

Pravokutni preljevi prikazani na Slici 18.a i pravokutni preljevi sa bočnim suženjem prikazani na Slici 18.b obično se koriste kod sustava navodnjavanja, otpadnih voda i kanalizacijskih sustava [19].



Slika 18. a) Pravokutni preljev [21]



Slika 18. b) Pravokutni preljev s bočnim suženjem [21]

Kod manjih korita, umjesto oštrobriđnih preljeva, koriste se mjerni kanali sa suženjem kakav je prikazan na Slici 19. Prednost ovakvih mjernih objekata je eliminacija problema nanosa koji se često javljaju kod preljeva. Samim time povećava se preciznost i olakšava održavanje kanala jer nanosi prolaze kroz njega, a ne akumuliraju se kao kod preljeva. Kao i preljevi, i mjerni kanali moraju se bađdariti prije upotrebe. Iako se već tijekom projektiranja određuje odnos vodostaja i protoka, građevinski radovi, izgled terena i vrsta korištenih materijala može utjecati na točnost projektiranih svojstava kanala. Zbog toga se odnos vodostaja i protoka ponovno

određuje (analizira) nakon izgradnje kanala [8].



Slika 19. Mjerni kanal sa suženjem [22]

Za utvrđivanje protoka koriste se i kontrolni profili poput prikazanog na Slici 20. Kontrolni profili su pragovi ili pregrade koje se koriste kod rijeka sa većim koritom ili kada je korito promjenjivo [8].



Slika 20. Kontrolni profil [23]

Kod promjenjivog korita javlja se problem preciznosti mjerenja vodostaja, no ugradnjom kontrolnih profila dolazi do promjene riječnog korita na taj način da se dobije pravilan oblik kod kojeg je lako odrediti protok iz samog nivoa vode. Kontrolnim profilima omogućuje se veza vodostaj-protok od najmanjeg očekivanog protoka do

najvećeg. Da bi veza između vodostaja i protoka bila točna, potrebna je visoka preciznost proračuna i izvedbe samog projekta. Najveći problem predstavlja dinamika prirodnih vodnih tokova te je samim time i proces modifikacije istih vrlo zahtjevan [8].

### 3. MEĐUSOBNA USPOREDBA METODA ZA ODREĐIVANJE OTJECANJA

Svaka metoda i uređaj imaju svoje prednosti i nedostatke koje ovise o raznim faktorima. Kod otvorenih korita koristi kombinacija više uređaja i načina mjerenja te je sama priprema za mjerenje kompleksna i dugtrajna. Također, bitna je i željena preciznost mjerenja, kod nekih metoda preciznost je bitno veća nego kod drugih pa s obzirom na važnost protoka za određeni projekt koriste se više ili manje precizni uređaji. Kod mjerenja u prirodnim tokovima, važno je izabrati metodu ili uređaj koji najmanje utječe na živi svijet ili oblik korita.

Jedan od važnijih faktora je cijena izvedbe mjerenja i pojedinih uređaja, koja može značajno varirati pa je stoga potrebno dobro promisliti i odabrati koja metoda i uređaj je najpovoljnija i najbolja solucija za projekt ili istraživanje koje se izvodi. Bitno je procijeniti koja preciznost podataka je nužna te u skladu s tim odabrati metodu i uređaj koji daju dovoljno precizne podatke, a nisu preveliko financijsko opterećenje za sam projekt.

Metode određivanja protoka ovise o veličini korita koje mjerimo. Kod manjih izvora i korita koriste se neposredne metode mjerenja, dok se kod većih korita koriste posredne metode mjerenja.

Neposredne metode mjerenja podrazumijevaju korištenje mjernih posuda, Milneove posude ili danaida. Pomoću obje metode dobije se volumni protok, rezultati su približno jednake točnosti, a ograničene su na male protoke pa se rijetko koriste. Prednost danaida je, nakon što se jednom stabilizira tok, postizanje jednakosti dotoka i istjecanja fluida. Kod Milneove posude tok vode se prekida tijekom cijelog trajanja mjerenja, a kod danaide nema prekida toka zbog ravnomjernog istjecanja nakon stabilizacije.

Posredne metode mjerenja su kompleksnije metode koje ovise o vrsti korita, protoku, vrsti fluida i brojnim drugim faktorima. Postupak površina-brzina koristi se za dobivanje protoka kroz određeni poprečni profil na koritu vodotoka. Točnost dobivenih

podataka ovisi o kvaliteti uređaja za mjerenje, preciznosti opažача, veličini korita, dubini mjerenja i brojnim drugim parametrima. Da bi se smanjila pogreška mjerenja, potrebno je napraviti pripreme i razraditi dobar plan kako će se mjerenje provesti. Plan provedbe započinje odabirom lokacije. Lokacija mora biti lako dostupna, a bilo bi dobro da postoji most ili žičara pomoću koje se uređaj može pomicati širinom korita. Zatim treba odrediti izgled korita te na temelju dobivenog profila odlučiti na kojim udaljenostima će se obavljati mjerenja.

Pošto je brzina vode na različitim pozicijama dubinske vertikale i pojedinih dijelova (segmenata) profila različita, potrebno je dobiti što veći broj mjerenja na različitim dubinama odnosno poprečnim stacionažama vodotoka. Na kraju se podaci osrednjuju pri čemu se dobivaju približni protoci kroz različite segmente profila, a daljnjim izračunima dobije se ukupni protok kroz cijeli profil. Ovaj postupak je kompleksan i nije najprecizniji, a može biti i opasan u slučaju velikih dubina korita vodotoka, velikih brzina tečenja, naglih dotoka i sl., no najbolji je od nekontinuiranih postupaka što se može izvesti na velikim koritima i bez izgradnje dodatne infrastrukture koja bi mogla utjecati na korito i protok [24].

Postupak mjerenja hidrometrijskim krilom pogodan je za mjerenje na većim koritima i protocima, poput velikih rijeka, dok je postupak mjerenja elektromagnetskim uređajima pogodan za vodotoke manjih i srednjih dubina, širina i protoka. Da bi se mjerenje moglo provesti, potrebno je poznavati geometriju korita što je ponekad problematično ako je korito izrazito promjenljivo, a nema kontrolnih profila ili drugih načina uređenja.

Ultrazvučni postupak mjerenja protoka jedini je kontinuirani postupak koji ne iziskuje dodatnu infrastrukturu, a njegova brzina i lakoća primjene dovele su do toga da polako zamijenjuje sve ostale načine mjerenja protoka. Pogodan je za gotovo sve oblike korita i brzine protoka. Problem kod mjerenja ovom vrstom uređaja mogu prouzročiti prijenos sedimenata s dna korita ili suspendirane čestice koje mogu uzrokovati prerano vrćanje signala na prijammnik no takva greška se lako ukloni zbog većeg broja zvučnih signala koji pokriju isto mjesto mjerenja.

Postupak mješavina bitan je kod određivanja prijenosa tvari kroz vodotok. Ubacivanjem trasera dobiju se podaci o brzini koji se koriste za dobivanje protoka. Postupak mješavina jednostavniji je od postupka površina-brzina, no priprema i dobivanje rezultata je u nekim slučajevima veoma komplicirana. Osim što je potrebno odrediti mjesto ubacivanja trasera i mjesto opažanja, važno je paziti i na vrstu trasera i vrstu fluida da ne bi došlo do reakcije između njih ili do utjecaja na živi svijet. Ova metoda je pogodna kod manjih korita, turbulentnih tokova, ponornica ili za određivanje slivova.

Postupak korištenjem mjernih objekata jedini je postupak kod kojeg postoji direktna veza između razine vode i protoka. Mjerni objekti u hidrometriji su oštroidni preljevi, mjerni kanali i kontrolni profili. Svaki mjerni objekt utječe na prirodni izgled korita i živi svijet u koritu koji može biti nepovratno izgubljen što ga čini invazivnom metodom mjernja. Oštroidni preljevi mogu biti trokutasti, trapezni, pravokutni i pravokutni s bočnim suženjem.

Za veće protoke koriste se pravokutni preljevi, a za manje trokutasti. Pravokutni preljevi se koriste kod sustava navodnjavanja, otpadnih voda i kanalizacija, a trapezni većinom kod sustava navodnjavanja. Iako su proračuni na oštroidnim preljevima jednostavni, izrada preljeva je komplicirana i utječe na prirodne vodotoke. Veliki problem su i nanosi; ako se preljev ne održava redovno dolazi do promjene rezultata mjerenja zbog manjeg protoka.

Kod manjih protoka ugrađuju se mjerni kanali sa suženjem. Prednost mjernih kanala je sprječavanje akumulacije nanosa što umanjuje troškove održavanja, no nisu pogodni kod većih korita odnosno protoka.

Kod većih korita ugrađuju se kontrolni profili. Osim što izravno utječu na izgled korita, njihova izvedba je skupa i teška zbog dinamike prirodnih tokova no kontrolni profili omogućuju lakša mjerenja vodostaja, a zbog promjene izgleda profila korita olakšavaju izračune protoka jer se vodostaj može dovesti u direktnu vezu sa protokom.



Ovisno o projektu i željenim rezultatima svaku od metoda treba pomno proučiti i izabrati onu koja će pružiti najbolje podatke za promatrani vodotok. Neposredne metode većinom se ne koriste zbog ograničenja vezanih uz protok. Metoda površina-brzina je idealna kod mjerenja na prirodnim koritima velikog protoka. Metoda mješavina također se koristi kod prirodnih korita i jedina je od metoda koje se mogu primijeniti na teško dostupnim djelovima korita bez većih intervencija. Metoda mjerenja korištenjem mjernih objekata idealna je kod manjih korita kod kojih izvedba mjernog objekta ne utječe bitno na tok te kod sustava za navodnjavanje i kanalizacijskih sustava. Metoda mjerenja ultrazvučnim uređajima ima širok spektar djelovanja i visoku preciznost podataka pa se može koristiti kod gotovo svakog mjerenja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Otjecanje je sastavni dio proračuna vezanih uz hidrološki ciklus, stoga podaci dobiveni mjerenjem moraju biti iznimno točni. Osim što je sastavni dio hidrološkog ciklusa, otjecanje uvelike utječe na projektiranje i izgradnju, kao i nadzor rada i funkcioniranja hidrotehničkih građevina.

Metode određivanja otjecanja omogućuju dobivanje preciznih podataka kod mjerenja u otvorenim tokovima. Neposredne metode mjerenja gotovo se i ne koriste zbog karakteristika i ograničenja samih uređaja za mjerenja protoka. Od posrednih metoda, najmanje invazivna i najčešće korištena metoda je površina-brzina u obliku mjerenja hidrometrijskim krilom, elektromagnetskim uređajem ili kao ultrazvučna metoda, koja omogućuje visoku preciznost podataka na različitim oblicima korita. Postupak mješavina nije pogodan kod svih tokova zbog utjecaja obilježivača na živi svijet unutar korita, postupak mjernih objekata iziskuje promjene oblika korita što utječe na prirodni tok, a elektromagnetska metoda ponekad upotrebljava takve objekte da bi se omogućilo lakše mjerenje pa se i ona može, na neki način, uvrstiti među metode koje utječu na prirodni tok.

Odabir metode također ovisi o zahtjevima projekatata te o željama investitora pa se često zbog niže cijene izvođenja koriste metode koji ne daju najpreciznije podatke, no uvijek se mora zadovoljiti minimalna točnost podataka koja je određena samim projektom. Hidrometrija je znanost koja se konstantno razvija pa se i metode i uređaji razvijaju u skladu s potrebama za preciznijim podacima mjerenja koji se koriste u kompleksnim analizama ponašanja vode u prirodi.

## POPIS LITERATURE

1. Đurin B. *Predavanja iz hidrologije*. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. 2016.
2. Draganić A. *Mjerenje razina vode*. Završni rad. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Građevinski fakultet. 2015.
3. Meteo planeta. *Osnovni hidrološki pojmovi*. „Dostupno na”: <https://meteoplaneta.rs/hidroloski-pojmovi/> „Datum pristupa”: 05.03.2017.
4. Državni hidrometeorološki zavod, sektor za hidrologiju. *Hidrološki pojmovi*. „Dostupno na”: <http://hidro.dhz.hr/>. „Datum pristupa”: 05.03.2017.
5. NPK Europe. *Limnigraf*. „Dostupno na”: <http://www.npke.cz/hladinometry-limnigraf-lu503g.php> „Datum pristupa”: 05.03.2017.
6. Amusing Planet. *Nilometer: Ancient Structures Used to Measure the Level of River Nile*. „Dostupno na”: <http://www.amusingplanet.com/2015/05/nilometer-ancient-structures-used-to.html> „Datum pristupa”: 05.03.2017.
7. Kuharić I. *Mjerenje otjecanja sa malih slivova*. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. 2012.
8. Bešenji M. *Mjerenja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda*. Završni rad. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Građevinski fakultet. 2016.
9. Environmental Protection Agency. *Environmental Protection Agency: Water*. „Dostupno na”: <http://www.epa.ie/water/wm/hydrometrics/>. „Datum pristupa”: 05.03.2017.
10. Hidroing. *Hidroing: Oprema*. „Dostupno na”: [http://www.hidroing.biz/oprema\\_za\\_izvodjenje\\_hidroloskih\\_radova.html](http://www.hidroing.biz/oprema_za_izvodjenje_hidroloskih_radova.html) „Datum pristupa”: 17.03.2017.
11. Kardum S. *Mjerenje masenog protoka fluida*. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. 2009.
12. Jenkyns R. *Bottom Pressure Recorders (BPR)*. „Dostupno na”: <https://wiki.oceannetworks.ca/pages/viewpage.action?pageId=13598790>. „Datum pristupa”: 15.08.2017.
13. Mlinarić M. *Projektiranje trasiranja podzemnih tokova*. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. 2012.

14. Open Channel Flow. *Methods of Measuring Flows in Open Channels*. „Dostupno na”: <https://www.openchannelflow.com/blog/an-overview-of-tracer-dilution-for-flow-rate-determination-in-natural-strea> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
15. Jones W. K. *Water Tracing*. „Dostupno na”: <http://karsthydrology.com/water-tracing.html> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
16. Department for Environmental Protection Kentucky. *Division of Water: Images*. „Dostupno na”: <http://water.ky.gov/PublishingImages/Forms/AllItems.aspx> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
17. Cottrell M. *Fluid Flow Instrumentation*. „Dostupno na”: [http://web.mst.edu/~cottrell/ME240/Resources/Fluid\\_Flow/Fluid\\_flow.pdf](http://web.mst.edu/~cottrell/ME240/Resources/Fluid_Flow/Fluid_flow.pdf) „Datum pristupa”: 05.03.2017.
18. International Commission on Irrigation and Drainage. *Diversion Weirs*. „Dostupno na”: [http://www.icid.org/res\\_irri\\_weirs.html](http://www.icid.org/res_irri_weirs.html) „Datum pristupa”: 17.03.2017.
19. LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. *Open Channel Flow Measurement Software Calculations Section*. „Dostupno na”: <https://www.lmnoeng.com/Weirs/> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
20. Reclamation, Managing Water in the West. *Weirs*. „Dostupno na”: [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap07\\_13.html](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap07_13.html) „Datum pristupa”: 17.03.2017.
21. Bengtson H. *Open Channel Flow Measurement 5: the Rectangular Weir*. „Dostupno na”: <http://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/65880-open-channel-flow-measurement-5-the-rectangular-weir/> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
22. Ni – Plast India. *Parshall flumes*. „Dostupno na”: <http://www.niplastindia.com/niplastindia/parshall-flume-gallery.aspx> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
23. Galgali A. *Maharashtra: Repair, Maintain Small Dams, Widen Irrigation Base*. „Dostupno na”: <https://www.sabrangindia.in/article/maharashtra-repair-maintain-small-dams-widen-irrigation-base> „Datum pristupa”: 17.03.2017.
24. Terek, B. Određivanje protoka metodom referentne brzine. *Hrvatska vodoprivreda* 16. 2007. dvobroj 177-178, pp. 43-49.

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Vodomjerna letva

Slika 2. Stepenasti vodomjer

Slika 3. Kosa vodomjerna letva

Slika 4. Limnigraf

Slika 5. Nilometar

Slika 6. Hidrometrijsko krilo

Slika 7. Shema principa rada elektromagnetskog mjerača.

Slika 8. Elektromagnetski mjerač protoka

Slika 9. Ultrazvučni uređaj za mjerenje brzine

Slika 10. Milneova posuda

Slika 11. Shema danaide

Slika 12. Izgled poprečnog profila sa rasporedom brzina tečenja

Slika 13. Ubacivanje trasera

Slika 14. Obojenje traserom

Slika 15. Opažanje nadolaska trasera

Slika 16. Trokutasti preljev

Slika 17. Cipolettijev preljev

Slika 18. a) Pravokutni preljev

Slika 18. b) Pravokutni preljev s bočnim suženjem

Slika 19. Mjerni kanal sa suženjem

Slika 20. Kontrolni profil