

HIDROMETRIJA

- Riječ ***hidrometrija*** ima korijen od dvije grčke riječi---voda, mjerenje
- To je znanost o metodama i tehnicima mjerenja različitih karakteristika vezanih uz vodu, u svim njenim vidovima pojavljivanja

Osnovni zadaci hidrometrije:

- **razrada metoda i pribora** za kvantitativno određivanje i proučavanje raznih elemenata režima vode
- **obrada podataka** dobivenih mjerenjem na temelju raznih metoda i pribora mjerenja
- **organizacija mreže postaja** u vremenu i prostoru

Hidrometrija se dijeli na:

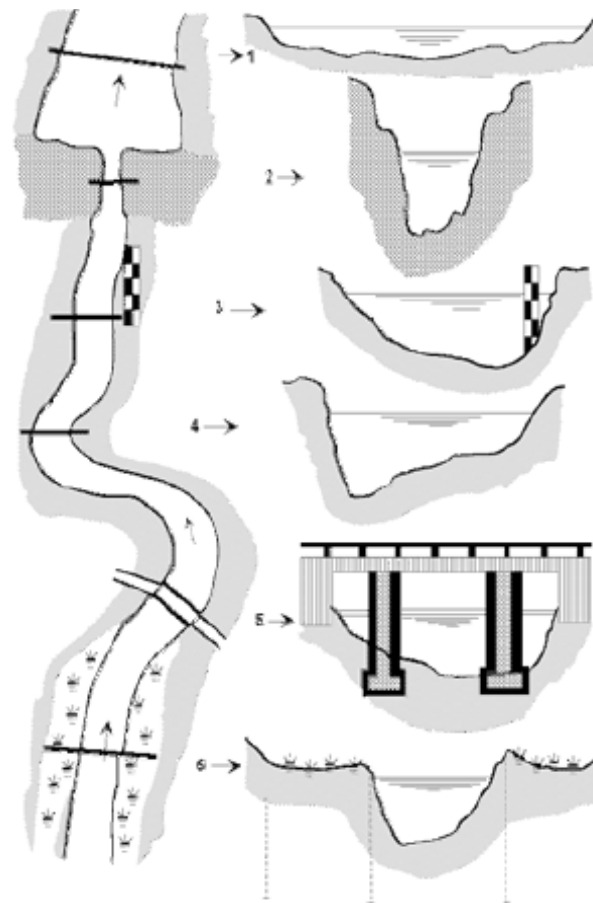
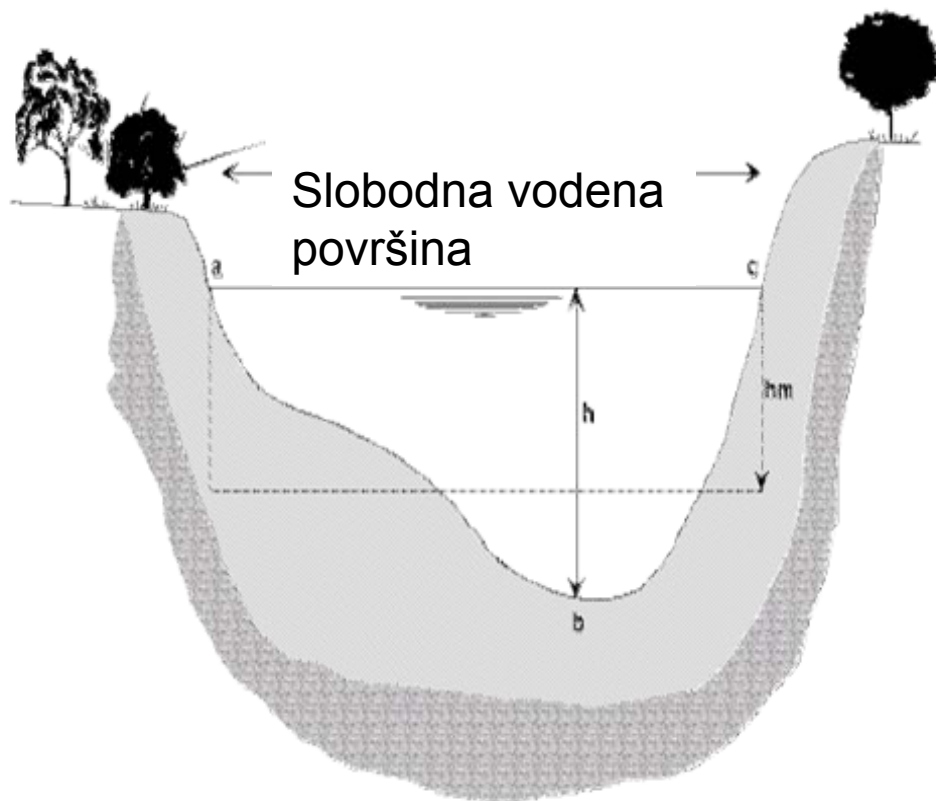
- hidrometriju mora
- atmosferskih voda
- površinskih i podzemnih voda.

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
- mjerenje i proučavanje mehaničkog sastava nanosa u pokretu s dna

- ***Hidrometrijska postaja*** - profil na vodotoku u kojem se vrše (najčešće) mjerenja razine vode i protoka.
- ***Razina vode*** (*m ili cm*) mjeri se kontinuirano.
- ***Protoci*** (*m³/s ili l/s*) mjere se povremeno (vodomjerenje) radi uspostavljanja jednoznačne veze $Q=f(h)$.
- Mjerenja protoka nisu jednostavno izvediva, a ograničena su i cijenom mjerenja.

Geometrija riječnog korita-presjek



Opće karakteristike:

Površina profila A

Omočeni opseg O

Hidraulički radijus $R=A/O$

1. PRIRODNA KORITA

HRAPAVOST KORITA

STANJE KORITA	n	$K = \frac{1}{n}$
Glatka korita	0.002	50
Hrapava korita	0.03	33
Prirodna korita s vegetacijom	0.05 do 0.1	20 do 10

n - koeficijent Manninga

$$K = 1/n$$

MANNINGOVA FORMULA

$$Q = A * V = A * (R^{2/3} * S^{1/2} * 1/n)$$

A- površina vode

R- hidraulički radijus

S- nagib vodnog lica (jednak nagibu dna)

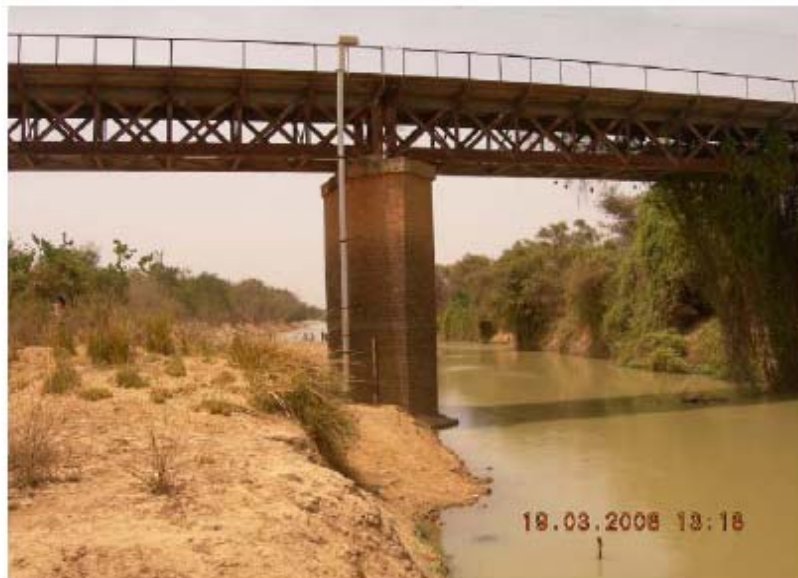
HRAPAVOST KORITA-Manningov koeficijent



Raffensperger, 1988



Hidrometrijska postaja



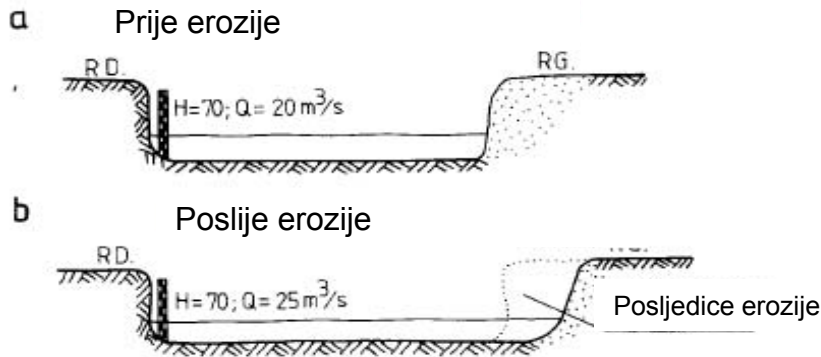
KRITERIJI ZA ODABIR LOKACIJE HIDROMETRIJSKE POSTAJE

- pristupačnost mjernog mjesta
- stabilnost korita
- dovoljno velika osjetljivost na promjene
- raspodjela brzina približno jednolika
- mogućnost postavljanja glavnog i kontrolnog repera

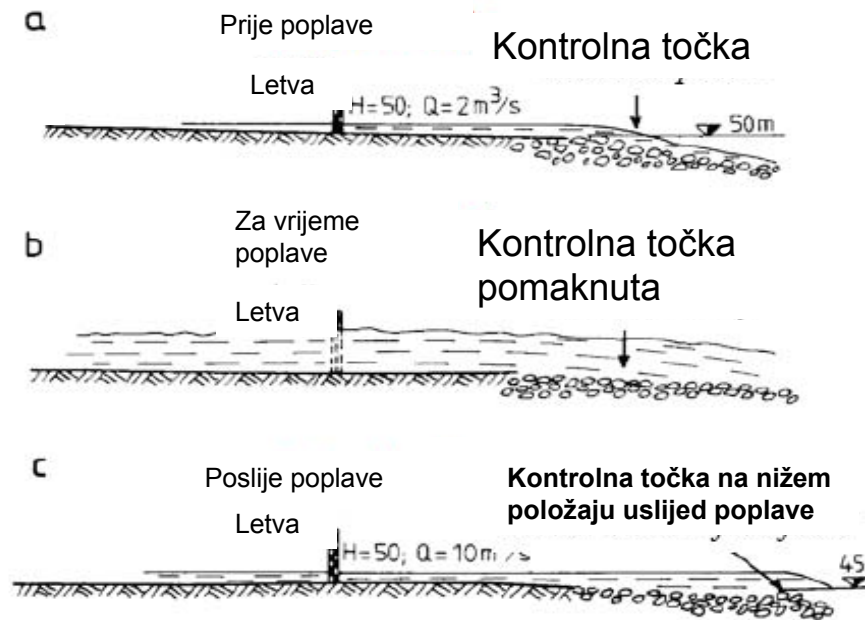
Hidrometrijska postaja

Stabilnost postaje

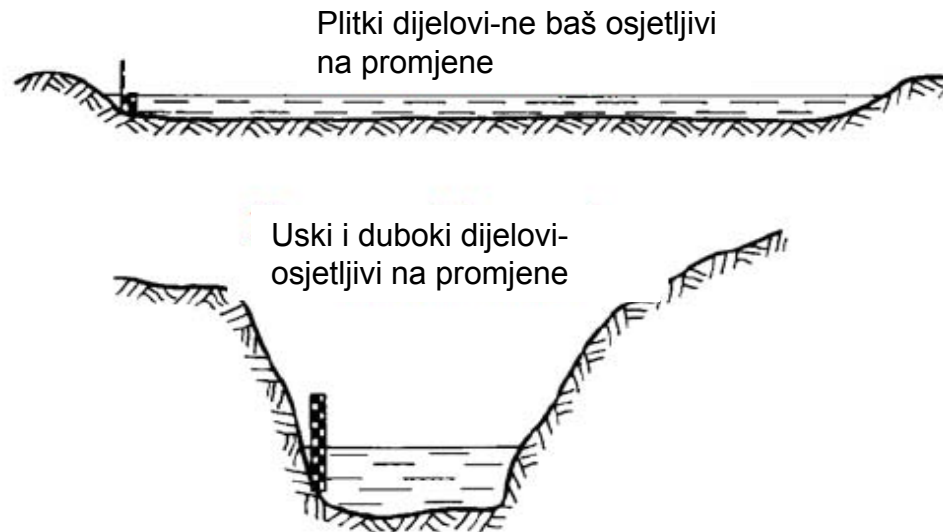
- Stabilno korito



- Kontrola stabilnosti



Osjetljivost mjernog mjesta



Osjetljivost postaje je izraženija (bolja) ukoliko velike promjene u razini vode rezultiraju malim promjenama u veličini protoka:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta h}$$

PODACI O HIDROMETRIJSKOJ POSTAJI

Opis postaje (ime, šifra, koordinate...)

Cilj postaje

Uređaji postavljeni na postaju

Topografski podaci:

- uzdužni profil
- poprečni presjek
- reperne točke

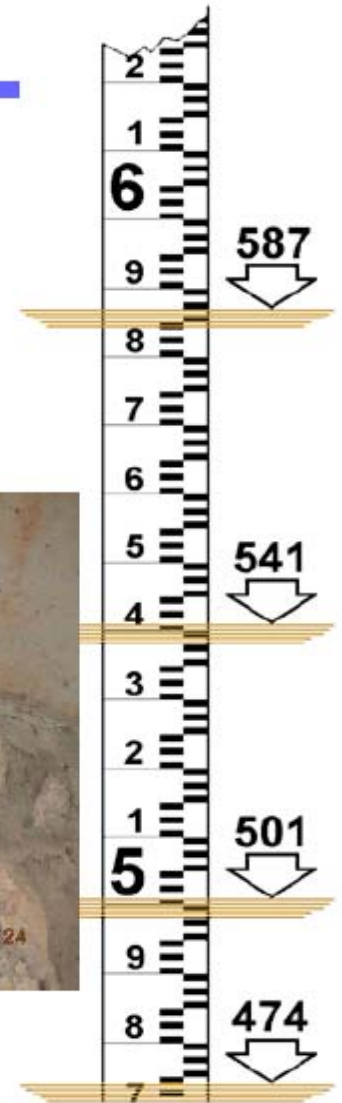
Upravljanje postajom

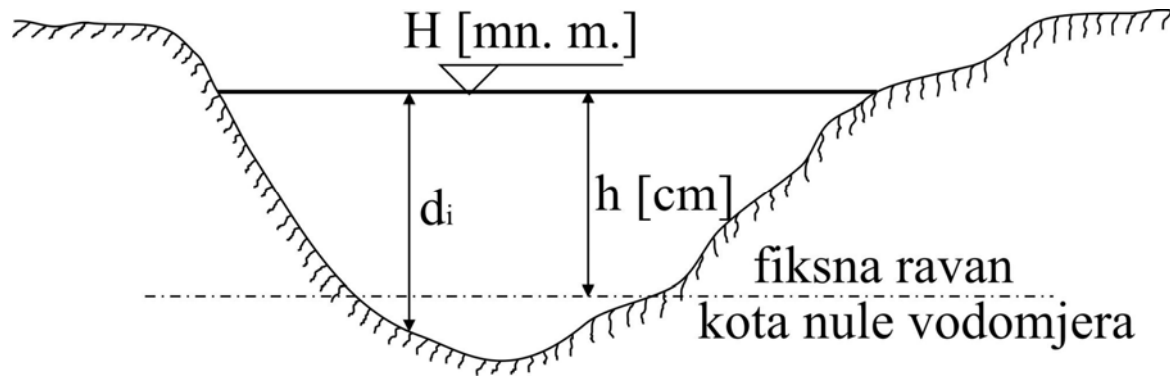
- izvješće o kontroli rada postaje
- popravci
- promjene u očitavanju

MJERENJE VODOSTAJA

VODOMJERNE LETVE

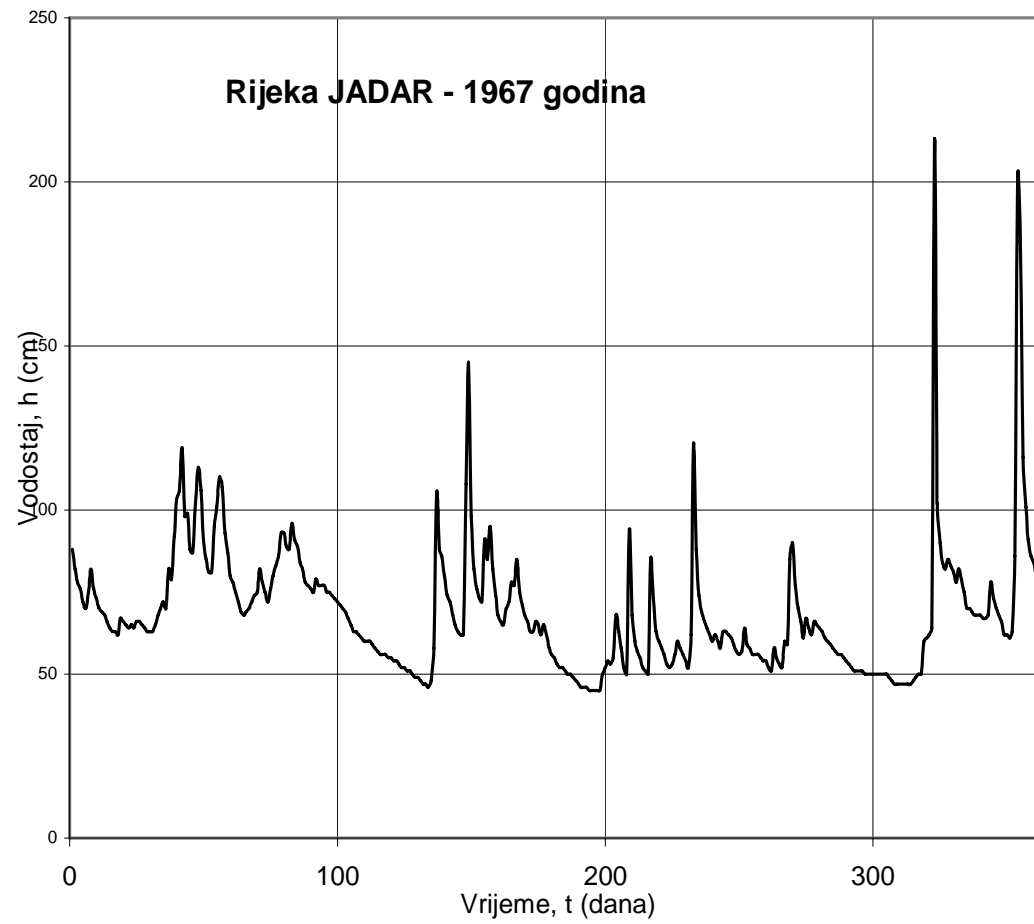
- postavljene su duž rijeke
- jedna počinje gdje druga završava
- sve mjere u odnosu na referentnu točku

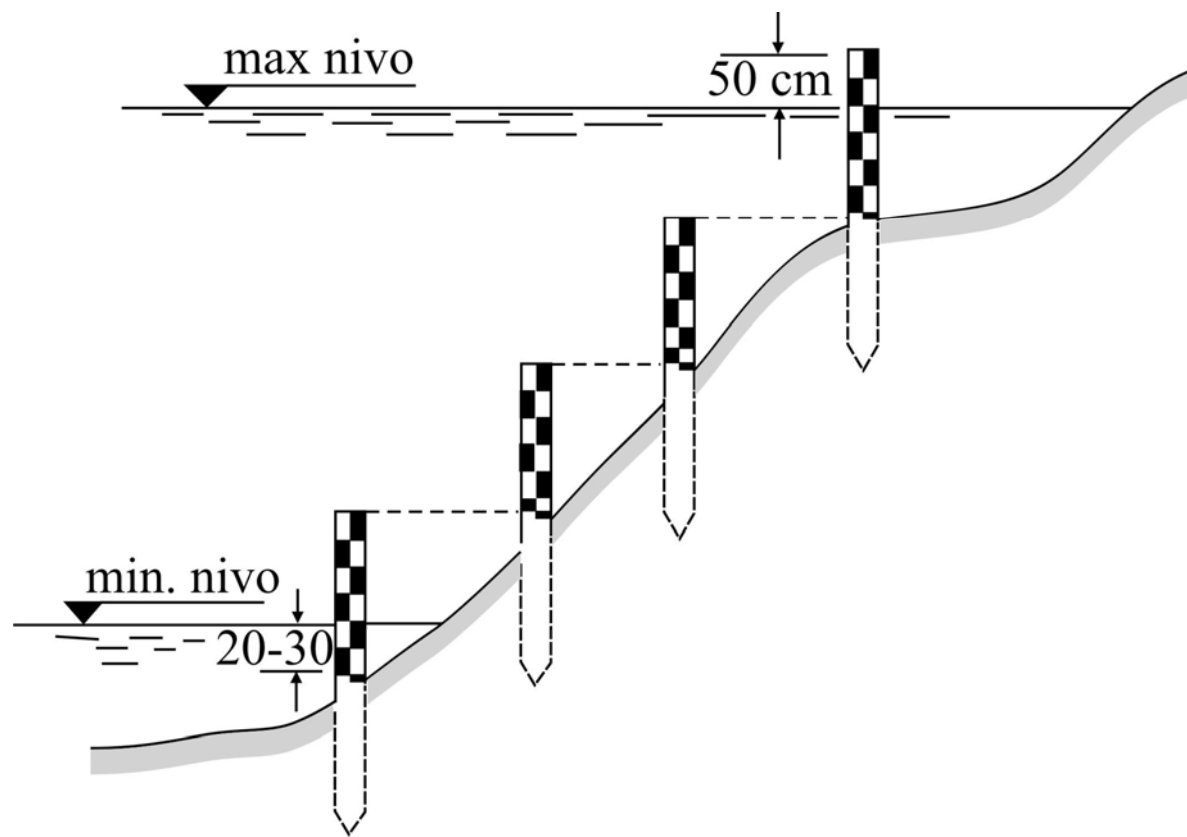




Pokazatelj nivoa vode je **vodostaj**, koji zapravo predstavlja vertikalno odstojanje od neke fiksne ravni do nivoa vode.

$$H = \text{"kota nule"} + h \quad (\text{mn.m.})$$





Izgled stepenastog vodomjera

NILOMETAR



NILOMETAR



AUTOMATSKO BILJEŽENJE VODOSTAJA

- na principu plovaka
- na principu mjerenja tlaka
- ultrazvučni senzori
- radarski senzori

UREĐAJI ZA MJERENJE RAZINE VODE

na principu plovka

Princip rada: varijacije razine vode mijenjaju položaj plovka

Preciznost: u mm

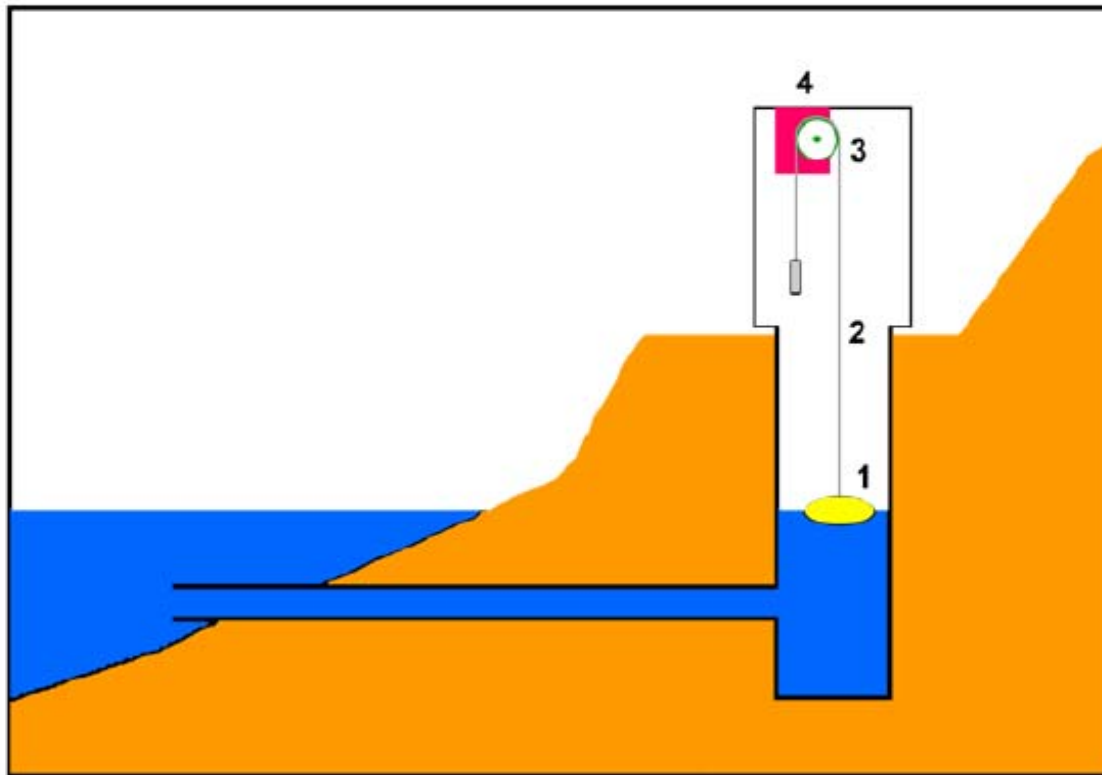
Prednosti: jednostavnost

Mane: zahtijeva znatne inženjerske radove (bunari)



LIMNIGRAF

UREĐAJI S PLOVKOM



Uređaji za mjerenje razine vode



Daboya Station (White Volta, Ghana)

UREĐAJI ZA MJERENJE RAZINE VODE

na principu tlaka

- promjena hidrostatskog tlaka izaziva deformaciju membrane koja se transformira u električni signal
- preciznost od 0.5 mm do 1 cm

SENZORI ZA RAZINU VODE

Senzori na principu hidrostatskog tlaka

Prednosti

- jednostavna instalacija
- preciznost

Mane:

- potrebna je povremena recalibracija
- osjetljivost membrane



SENZORI ZA RAZINU VODE

Ultrazvučni senzori

- mjere vrijeme putovanja signala koji se emitira putem senzora do dna kao i vrijeme reflektiranog signala do senzora
- razina vode se dobije na temelju prijeđenog puta signala
- mogu se primijeniti kod tokova s visokom koncentracijom sedimenata
- teško se mogu razlučiti utjecaji temperature, saliniteta, vjetra na dobivene rezultate

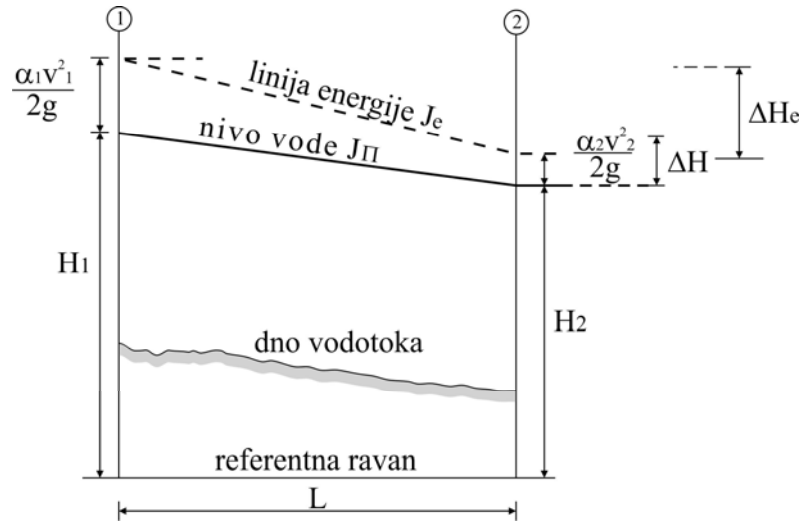
Hidrometrijski uređaji

Uređaji	Preciznost	Utjecaj zamora uređaja	Instalacija	Cijena
Na principu plovaka	Nekoliko mm	ne	Inženjerski radovi potrebni	600 €
Na principu tlaka	Nekoliko mm	da	Jednostavna	500-4000 €
Princip rada s mjehurićima	Nekoliko mm	da	Jednostavna	1000 €
Ultrazvučni senzori	Nekoliko mm	ne	Jednostavna	10000 €
Radarski senzori	Nekoliko mm	ne		1500 €

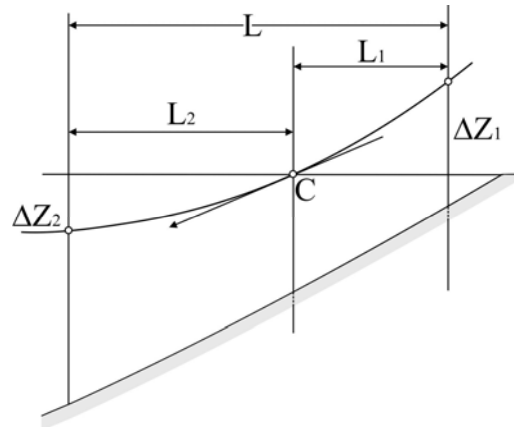
MJERENJE PADA VODNOG LICA

$$\frac{\Delta H}{L}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2$$



$$J_{II} = \Delta Z_1 \frac{L_2}{L_1 L} + \Delta Z_2 \frac{L_1}{L_2 L}$$



Metode **određivanja** protoka

- **Protok vode, općenito, predstavlja *količinu vode koja proteče kroz poprečni presjek vodotoka u jedinici vremena.***
- Predstavlja jedan od najvažnijih hidroloških i hidrauličkih elemenata vodnog toka te kao takav je najznačajnija informacija za sve projektantske i izvedbene radove u vezi s vodotokom.
- Metode za mjerenje protoka vode mogu se općenito podijeliti na **posredne i neposredne.**
- **Neposredne** metode se zasnivaju na volumenskim metodama zasnovanim na mjerenjima putem mjernih uređaja što je u principu primjenjivo samo za male vodotoke i izvore. Danas postoje sofisticirani uređaji za mjerenje protoka čija je primjena još uvijek ograničena cijenom i obučenošću.
- **Posredne** metode mjerenja protoka se zasnivaju na definiranju na temelju mjerenja nekog drugog elementa vodotoka.
- Najčešći način određivanja protoka vode u srednjim i velikim vodotocima vrši se indirektnim načinom preko mjerenja brzina hidrometrijskim krilom u nizu točaka poprečnog presjeka nekog vodotoka.

MJERENJE PROTOKA

- Određivanje protoka primjenom hidrometrijskog krila



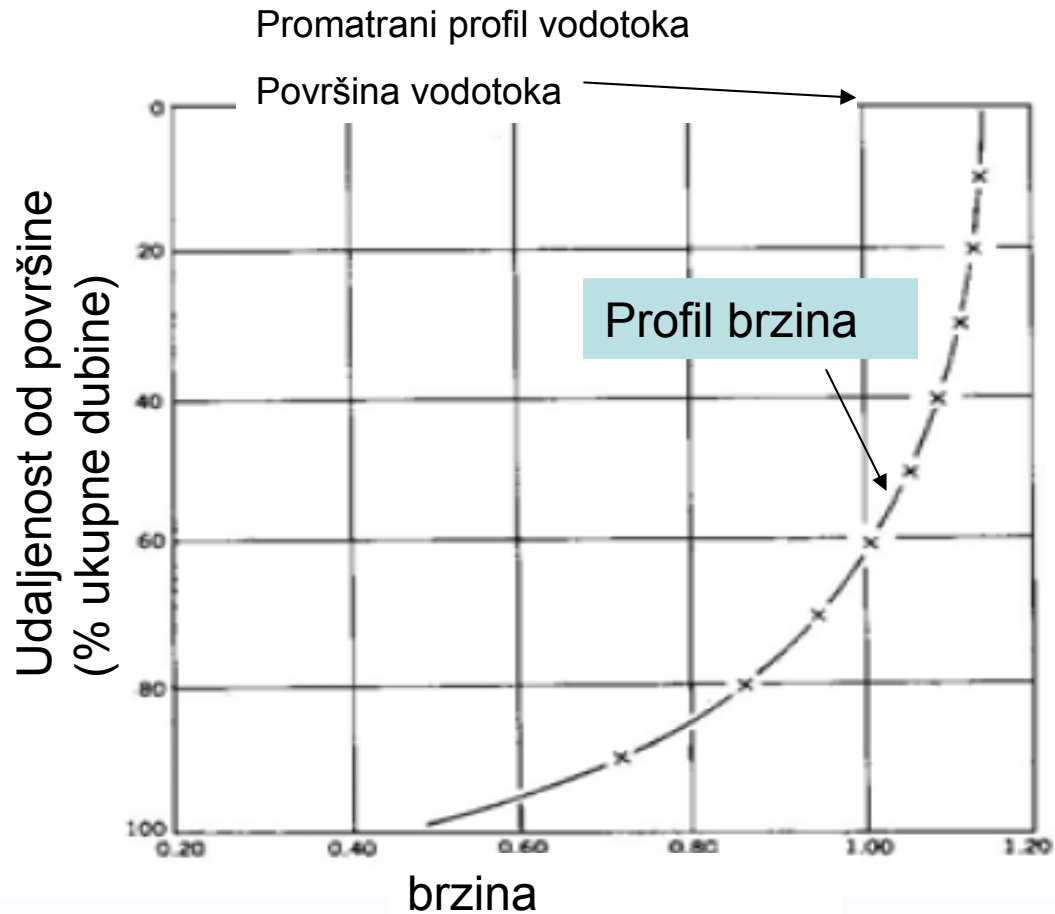
HIDROMETRIJSKO KRILO



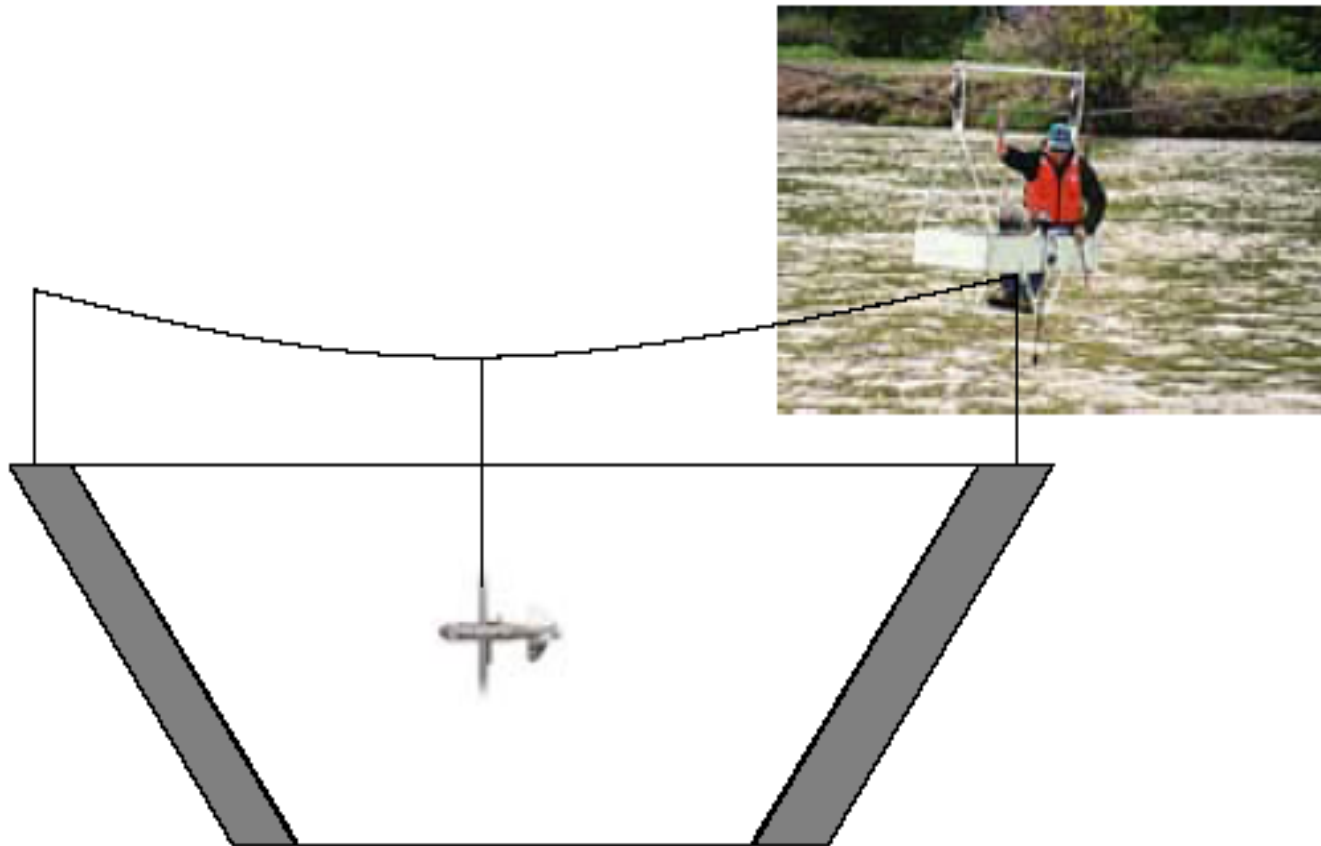
Ott meter

www.ott-hydrometry.de/.../pa_c31_examples_e.html

Profil brzina



Mjerenje hidrometrijskim krilom



Mjerenje hidrometrijskim krilom s mosta



Određivanje srednje brzine na brzinskoj vertikali

- Radi određivanja profila brzina, brzine se mjere u konačnom broju točaka na svakoj pojedinoj brzinskoj vertikali.
- Broj mjerenih točaka je ovisan o dubini na određenom položaju vertikale.

Dubina vode	Broj točaka u kojima se mjere brzine
$d < 0.25$ m	1
$0.25 < d < 0.5$	2
$d > 0.5$	3 ili više

Određivanje srednje brzine na vertikalama na temelju mjerenja u:

- **jednoj točki:**

- $V_{sr} = V_{0.6}$

- **dvije točke**

- $v_{sr} = 0.5(v_{0.2} + v_{0.8})$

- **tri točke**

- $v_{sr} = 0.25v_{0.2} + 0.5v_{0.6} + 0.25v_{0.8}$

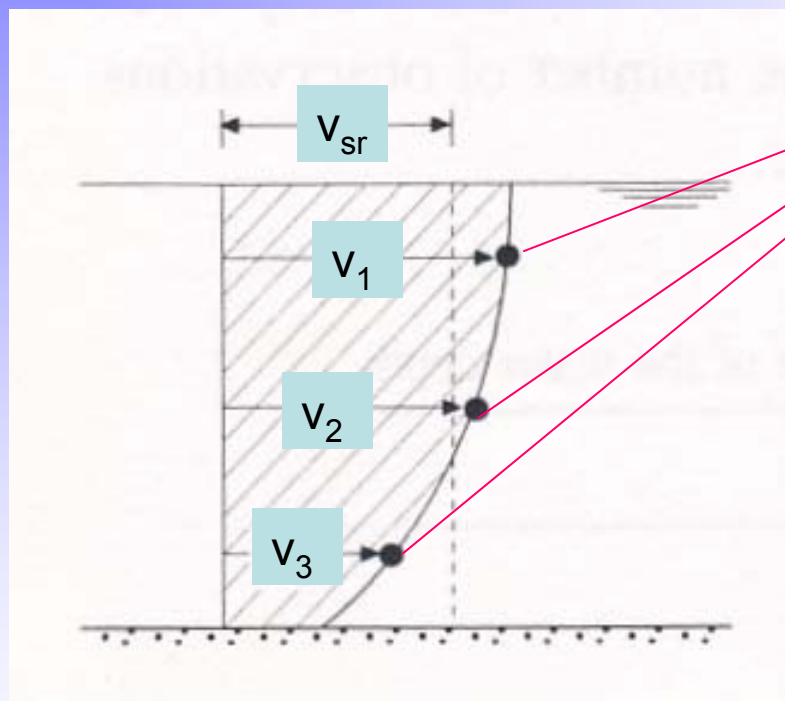
- **pet točaka**

- $v_{sr} = 0.1(v_s + 3v_{0.2} + 2v_{0.6} + 3v_{0.8} + v_b)$

- v_s - brzina na površini

- v_b - brzina na dnu vodotoka

Grafička metoda određivanja srednje brzine na vertikalama:



Mjerene
brzine na
vertikali

v_{sr} = šrafirana površina/dubina vertikale

ADCP (acoustic Doppler current profiler)



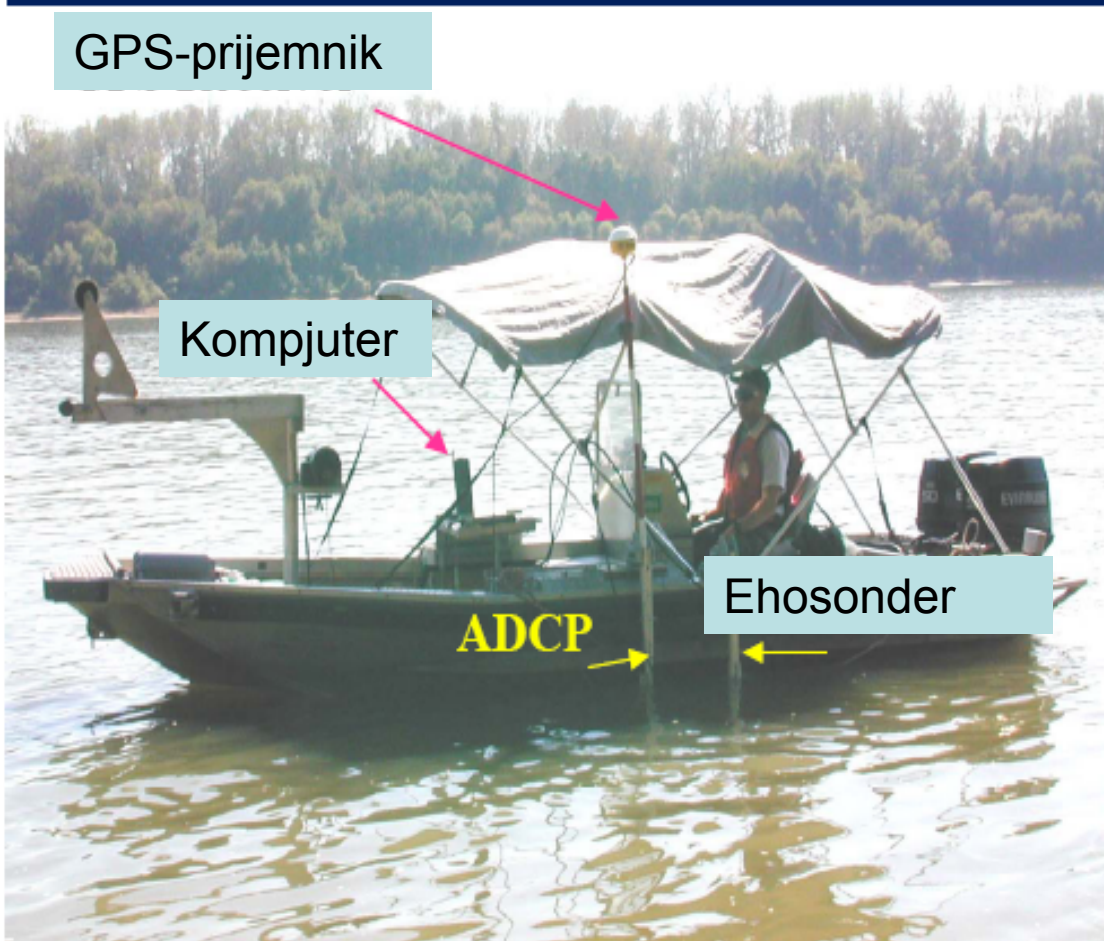
ADCP

GPS-prijemnik

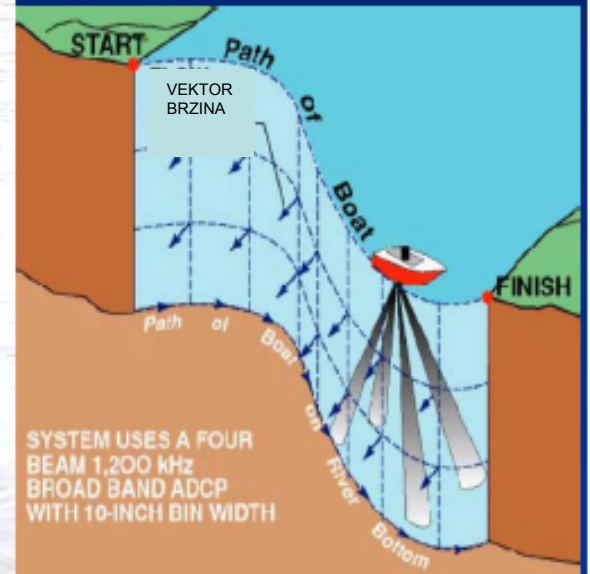
Kompjuter

Ehosonder

ADCP



3-D vektor brzina radi kalibracije modela



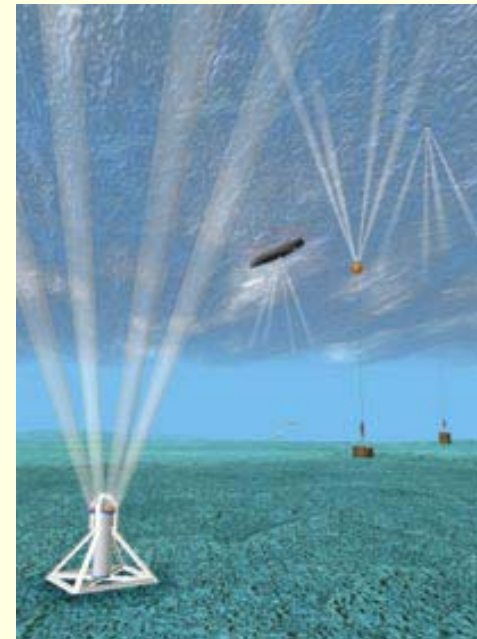
AKUSTIČKI STRUJOMJERI TIPA ADCP

Acoustic Doppler Current Profiler

ADCP strujomjeri odašilju kratke zvučne signale u stupac morske vode. Suspendirane čestice koje se gibaju morskim strujama reflektiraju zvučne signale (echo). Primopredajnik ADCP-a prima reflektirane signale. Čestice koje se gibaju prema instrumentu proizvode signale (zvučne zrake) različite frekvencije od onih čestica koje se gibaju od instrumenta.

To je poznati “**Dopplerov pomak**” frekvencija koji omogućava precizno mjerenje smjera i brzine morske struje uzduž cijelog vertikalnog profila.

Tvrtka Teledyne RD Instruments proizvela je prvi ADCP strujomjer 1982. godine. Njihov primopredajnik (sonar) emitira 4 zvučne zrake.



Metoda mjerenja ADCP strujomjerom.



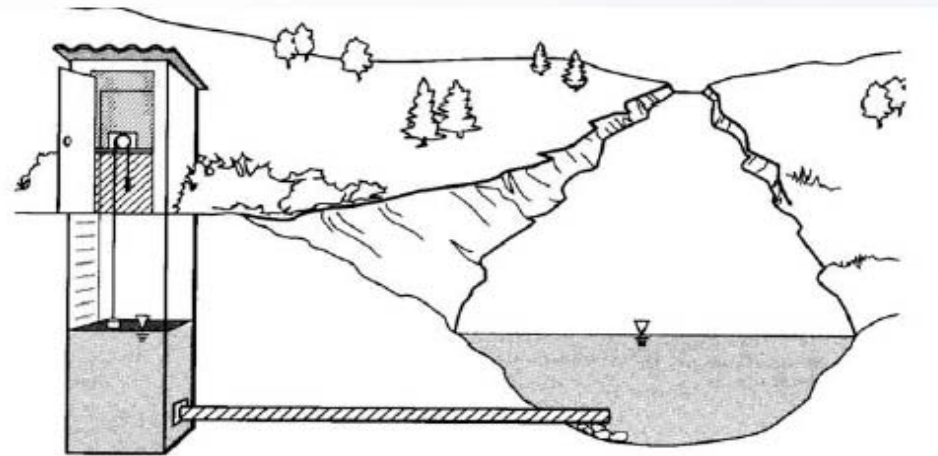
ADCP tvrtke Teledyne RDI

Određivanje protoka posrednim putem preko automatskog očitavanja vodostaja

Vodomjerna postaja



Shematski prikaz



Uređaji za mjerenje protoka (poznata geometrija)



Parshal



Parshallov kanal



Preljevi raznih oblika i dimenzija



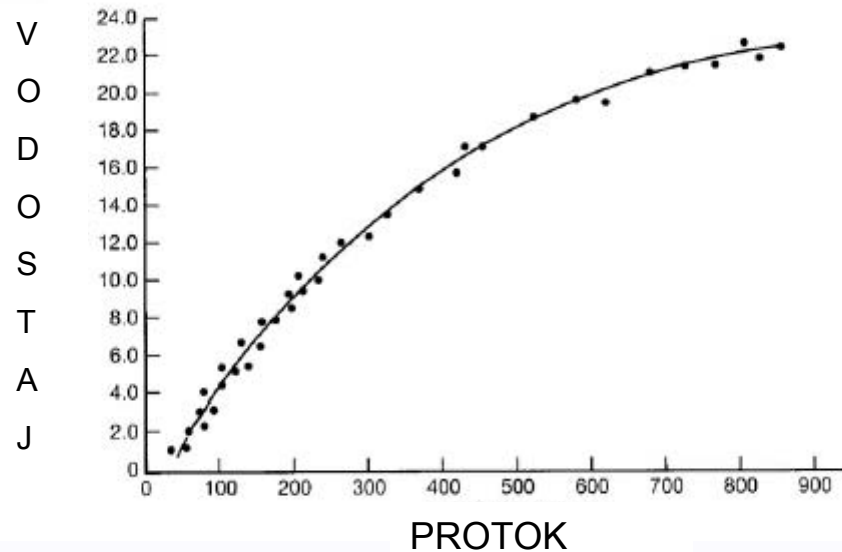


Određivanje protoka putem krivulje protoka

KRIVULJA PROTOKA

prikaz odnosa vodostaja (cm) i protoka (m^3/s)

KRIVULJA PROTOKA



Određivanje protoka putem metoda razrjeđenja

- za prirodne vodotoke s velikim profilskim brzinama
- bujične vodotoke s kaskadama
- nagle promjene smjera tečenja, nagle promjene oblika korita
- Metoda se zasniva na postupnom ili trenutnom ubacivanju određene količine i koncentracije trase (obilježivača) na uzvodnom profilu. Na nizvodnom profilu se u određenim vremenskim intervalima uzimaju uzorci.
- Protok se određuje na temelju koncentracije ubačenog trase te izmjerene koncentracije na pojedinim uzorcima.

Metoda postepenog upuštanja trasea u vodotok

- Proračun protoka se zasniva na činjenici da je težinski protok trasea Q_0 koncentracije C_0 koji se upušta u vodotok jednak težinskom protoku na nizvodnom profilu Q određene koncentracije C .
 - $Q:Q_0=C_0:C$
 - $Q*C=Q_0*C_0$

Metoda trenutnog upuštanja trasea u vodotok

- Ne zahtijeva specijalne uređaje za doziranje
- U vodotok se ubaci odjednom cijeli volumen s otopljenim traserom
- Položaj nizvodnog profila je položaj potpunog i homogenog miješanja trasea na cijelom poprečnom presjeku.

$$Q \int_{t_o}^{t_k} C(t) dt = C_o V_o$$

$$Q \cdot \int_{t_0}^{t_k} C(t) \cdot dt = C_0 \cdot V_0$$

V_0 – volumen tečnosti (obično vode) u kojoj je otopljen obilježivač koji se trenutno ubaci u vodotok.

$$Q = \frac{C_0 \cdot V_0}{\int_{t_0}^{t_k} C(t) \cdot dt} \cong \frac{C_0 \cdot V_0}{\sum_{i=i(t_0)}^{i(t_k)} C_i \cdot \Delta T}$$

Analitička metoda određivanja protoka

- Općenito, protok vode se definira kao integral brzine po profilu:

$$Q = \int_A v dA$$

- Gore navedenim izrazom je definirana **analitička metoda određivanja protoka**.
- Prilikom proračuna koriste se srednje vrijednosti brzina između dvije brzinske vertikalne.
- Srednje vrijednosti brzina na brzinskim vertikalama se određuju na temelju podataka dobivenih putem mjerenja u određenim točkama samih vertikalna.
- Umnošci srednjih vrijednosti brzina s pripadnim dijelovima poprečnog presjeka između navedenih vertikalna određuju elementarni protok. Sumiranjem elementarnih protoka određen je ukupni protok vode kroz poprečni presjek.

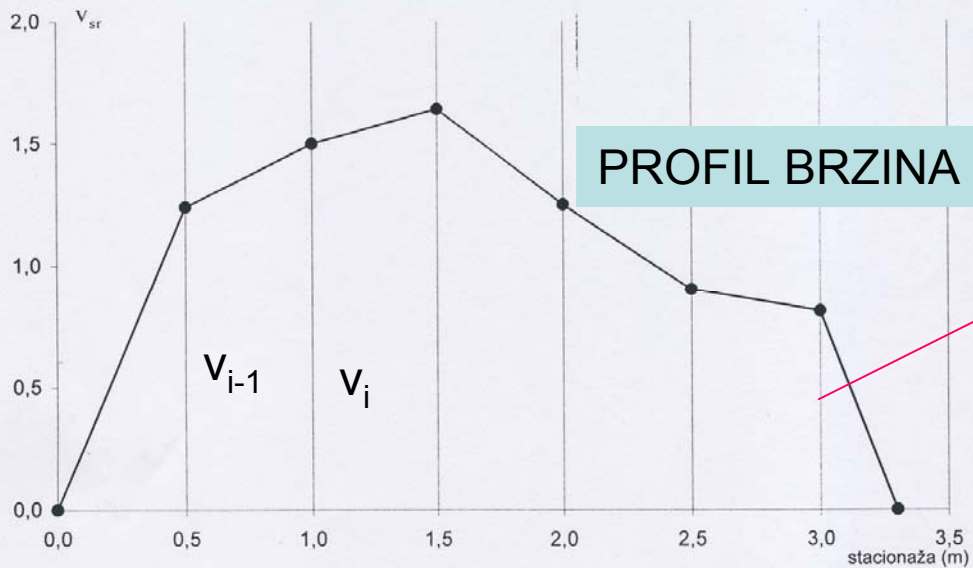
- **Srednja brzina između dvije vertikale određena je izrazom:**

$$v_i = \frac{1}{2}(v_{i-1} + v_i)$$

$$Q_i = A_i \cdot v_i$$

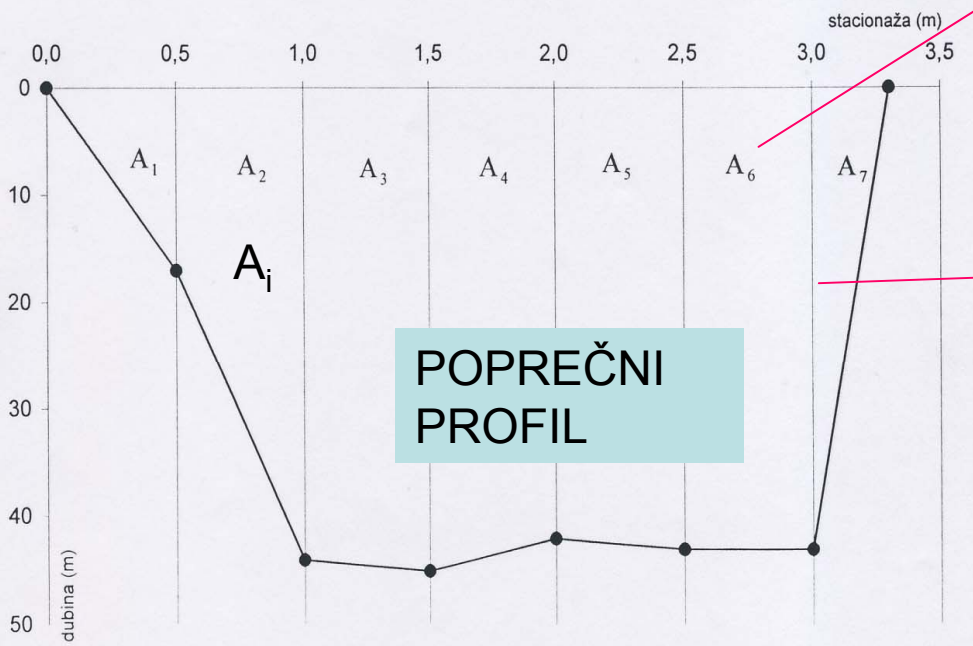
- **Ukupni protok** se proračunava sumiranjem svih parcijalnih protoka:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i$$



srednja brzina na vertikali

dio površine poprečnog presjeka između dvije brzinske vertikale



brzinske vertikale

Grafoanalitička metoda

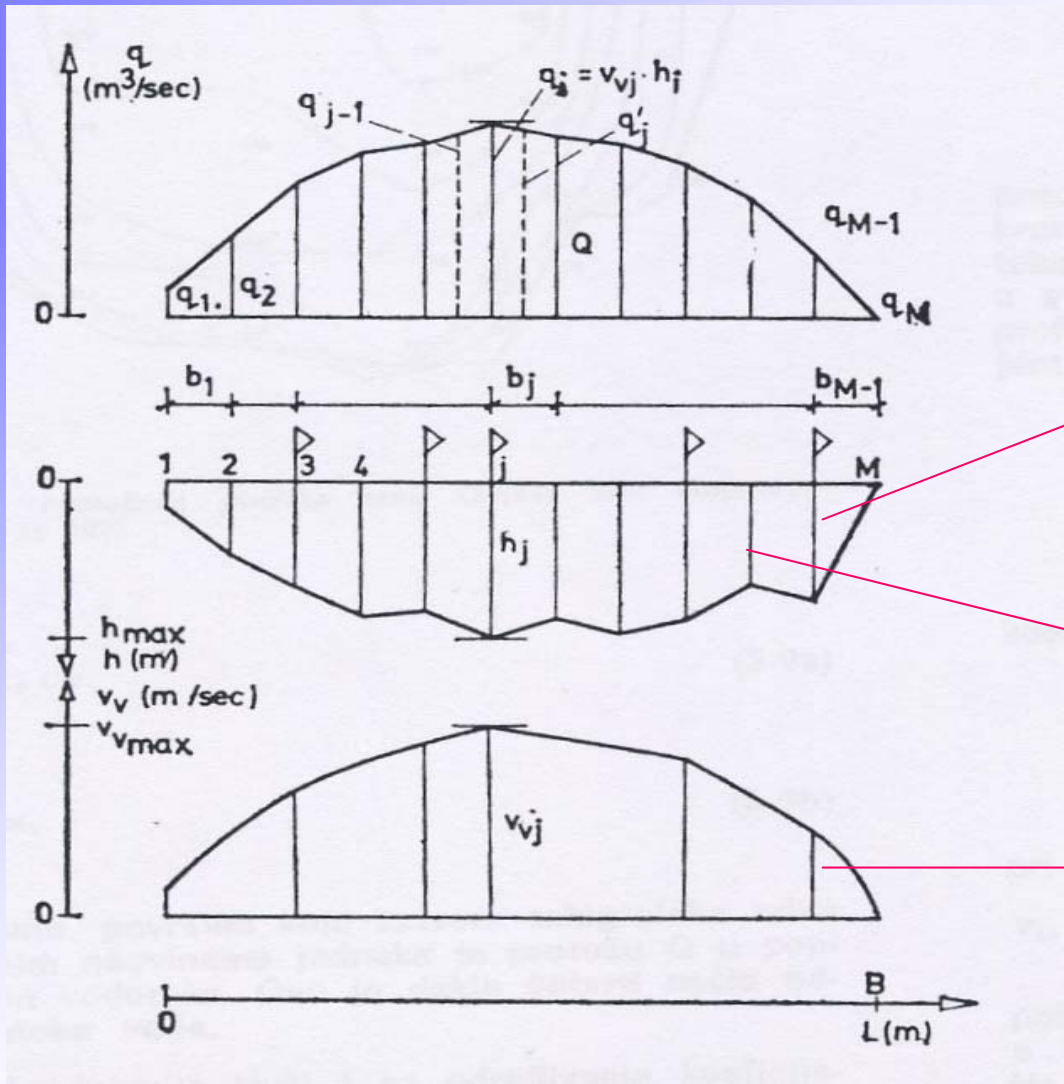
- Drugi način određivanja protoka je primjena grafoanalitičke metode.
- Pri primjeni grafoanalitičke metode potrebno je izračunati **elementarne protok q na svakoj vertikali na kojoj je mjerena dubina.**
- Dio srednjih brzina na vertikalama je određen mjerenjima, a dio je određen na temelju interpolacije funkcije brzine $v=v(\text{stacionaža})$.
- Elementarni protok se određuje putem slijedećeg izraza:

- Elementarni protok

$$q_j = h_j \cdot v_j$$

- Ukupni protok predstavlja zbroj elementarnih protoka duž profila:

$$Q = \sum_{j=1}^{M-1} \frac{1}{2} (q_j + q_{j-1}) \cdot \Delta b_j$$



Brzinska vertikala

Sondažna vertikala

Srednja brzina na pojedinoj brzinskoj vertikali

METODA IZOTAHA

- Treća metoda se zasniva na primjeni izotaha. Izotahe su linije jednakih brzina, a prikazuju se po površini poprečnog presjeka.
- Na vertikalama u čijim su točkama izmjerene brzine upisuju se vrijednosti izmjerenih brzina. Do veličine protoka se dolazi računanjem volumena tijela vode.
- Ukupni protok po metodi izotaha se izračunava po slijedećem izrazu:

$$Q = \int_0^{v_{\max}} A_v dv$$

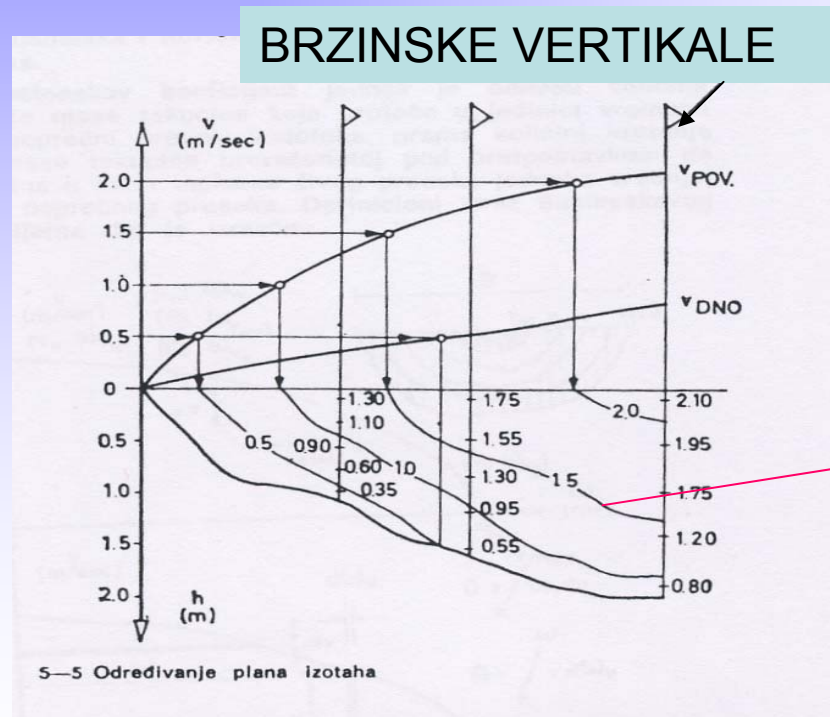
- pri čemu je A_v površina profila ograničena izotahom brzine v .
- Integral se zamjenjuje sumiranjem konačnog broja mjerenjem dobivenih elemenata.
- Elementarni protok dobiven putem metode izotaha se izražava putem:

$$Q_i = \frac{1}{2} (A_{v_i} + A_{v_{i+1}}) \cdot (v_{i+1} - v_i)$$

$$Q_k = \frac{2}{3} A_{v_k} (v_{\max} - v_k)$$

$$Q = \sum_{i=1}^k Q_i$$

- Ovisno o površini profila i točnosti rasporeda brzina u njemu, dovoljan broj izotaha za postizanje dovoljne točnosti je 6-10.

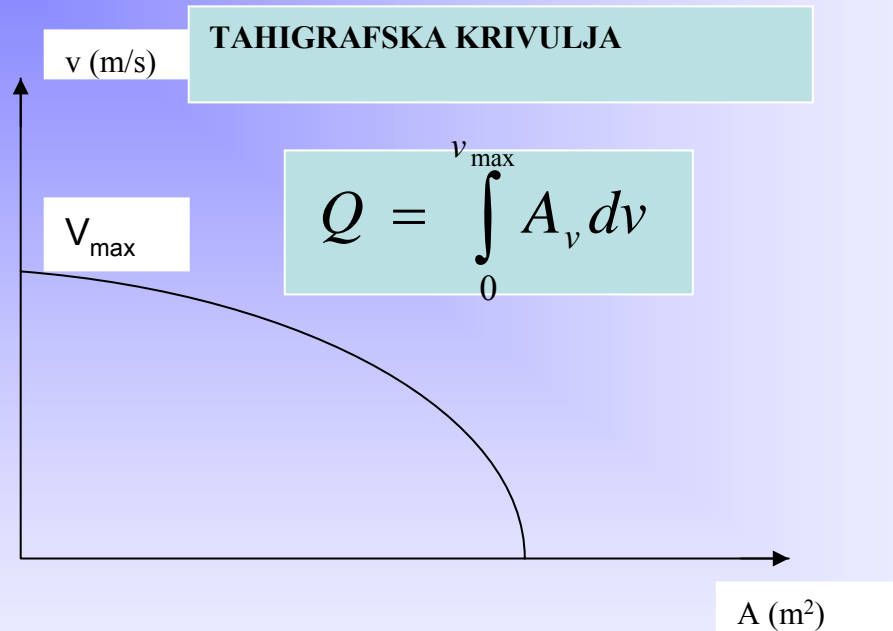


IZOTAHA
 $v=1.5 \text{ m/s}$

TAHIGRAFSKA KRIVULJA

- Na temelju konstruiranog plana izotaha se definira **tahigrafska krivulja** koja može poslužiti za proračun važnih hidrauličkih parametara.
- Tahigrafska krivulja se crta u koordinatnom sustavu u kojem je **apscisa površina koja pripada izotahi, a ordinate brzina na izotahi.** Svaka izotaha definira jednu točku tahigrafske krivulje.
- **Integral takve tahigrafske krivulje je protok.** To je zapravo četvrti način određivanja protoka.

Određivanje protoka putem tahigrafske krivulje



- Tahigrafska krivulja može se primijeniti pri određivanju koeficijenata **Boussinesqua i Coriolisa**.
- Oba koeficijenta su bezdimenzionalne veličine.
- **Boussinesquov koeficijent** je jednak odnosu količine gibanja mase tekućine koja proteče u jedinici vremena kroz poprečni presjek vodotoka prema količini gibanja mase tekućine pod pretpostavkom da je brzina u svim točkama poprečnog presjeka jednaka srednjoj profilskoj brzini.

- Određivanje Boussinesquovog koeficijenta na temelju mjerenjima dobivenih vrijednosti se vrši putem slijedećeg izraza:

$$\alpha' = \frac{1}{v_A^2 A} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} (v_{i-1}^2 + v_i^2) A_{i-1}$$

- **Coriolisov koeficijent** jednak je odnosu kinetičke energije mase tekućine koja proteče u jedinici vremena kroz poprečni presjek prema kinetičkoj energiji iste mase tekućine izračunate pod pretpostavkom da je brzina u svim točkama poprečnog presjeka jednaka srednjoj profilskoj brzini.

- Određivanje Coriolisovog koeficijenta na temelju mjerenjima dobivenih vrijednosti se vrši putem slijedećeg izraza:

$$\alpha = \frac{1}{v_A^3 A} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} (v_{i-1}^3 + v_i^3) A_{i-1}$$

- Veličine v_i predstavljaju srednje brzine na vertikali, a v_A srednju profilsku brzinu definiranu na temelju protoka Q .

- Oba izraza, tj. računanje i jednog i drugog koeficijenta podrazumijeva poznavanje srednjih brzina na vertikali.
- Njihovo određivanje je moguće izvršiti i primjenom tahigrafske krivulje.