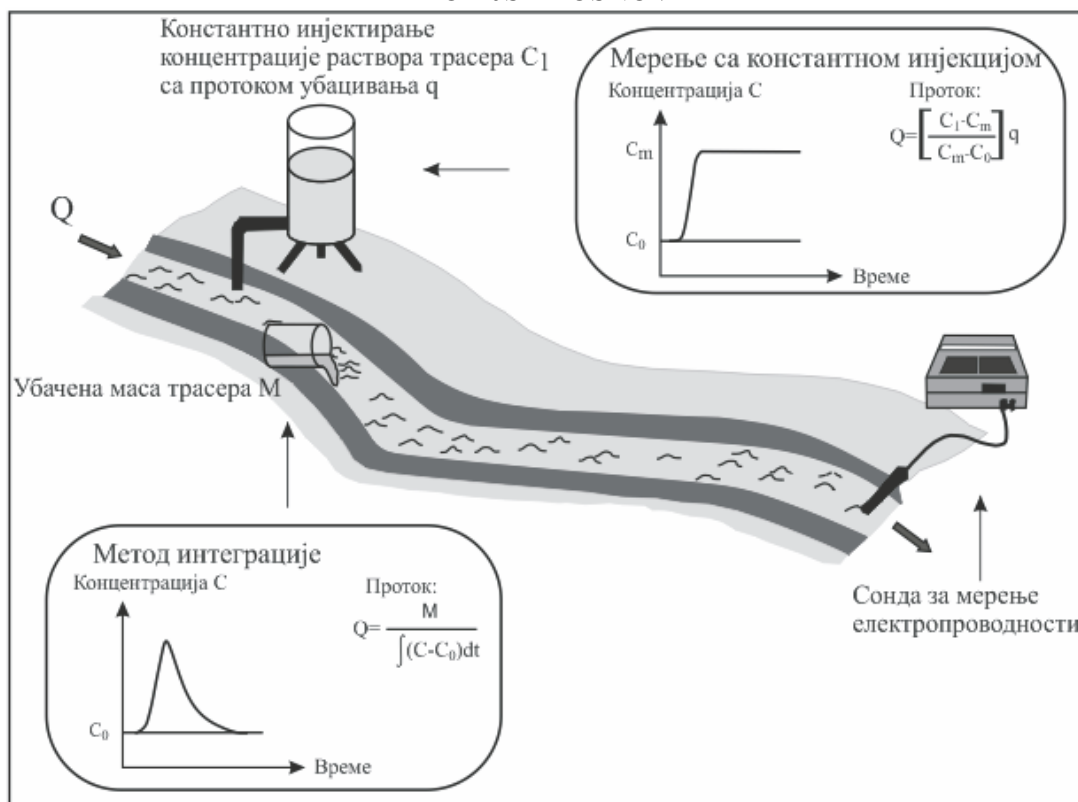


VEŽBA 7

Naziv vežbe	MERENJE PROTOKA U KANALU TRASERSKOM METODOM BAZIRANOM NA MERENJU PROVODNOSTI
Trajanje vežbe	30'
Potrebno predznanje	Osnovna znanja iz matematičke analize
Broj studenata	3
Cilj vežbe	U ovoj vežbi studenti se upoznaju sa metodom merenja protoka u otvorenim tokovima koja je bazirana na dinamičkom merenju provodnosti i računanju koncentracije i brzine pronosa jona natrijuma i hlora koji potiču od ubačene kuhinjske soli.

TEORIJSKE OSNOVE



Određivanje protoka u otvorenim kanalima predstavlja izuzetno čest hidrotehnički zadatak. Postoji veliki broj metoda i postupaka kojim se može odrediti protok u otvorenim kanalima, ali ne postoji ni jedna metoda koja bi mogla biti univerzalana i koja bi odgovorila na sve postavljene zahteve (tačnost, ekonomičnost, jednostavnost, itd.). Jedna od metoda koja je prilagođena merenju kod otvorenih tokova, kod kojih je izražena turbulentna aktivnost vode, je i traserska metoda bazirana na merenju elektroprovodnosti. Ukoliko se u vodotok ubaci određena količina traseru čiji se rastvoreni

joni mogu registrovati sondom za merenje elektroprovodnosti (jedan od primera je kuhinjska so - NaCl) moguće je izračunati protok iz zapisa registrovanog talasa povećane elektroprovodnosti. Metoda se sastoji iz dva koraka:

1. Kalibracija sonde za merenje elektroprovodnosti
2. Merenje elektroprovodnosti u kanalu pri prolasku rastvorenog trasera

### Kalibracija sonde za merenje elektroprovodnosti

Kalibraciona kriva (prava) ima oblik:

$$C = k \cdot EC + n$$

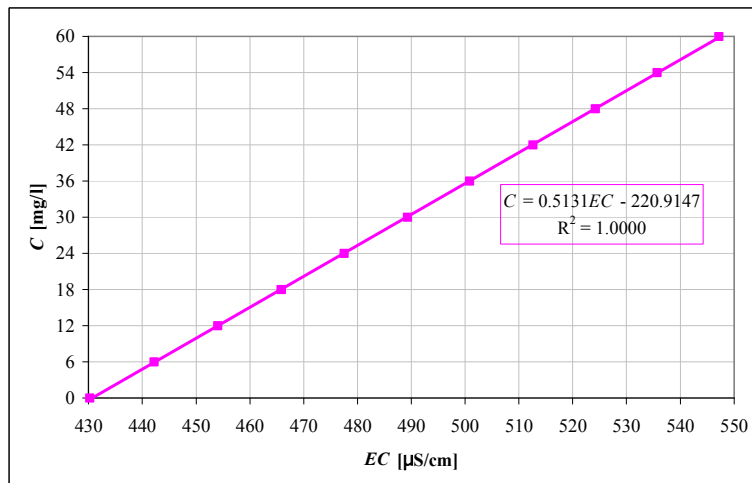
gde su:

$C$  – koncentracija soli u rastvoru [mg/l],  $EC$  – elektroprovodnost rastvora [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ],  $k$  – nagib kalibracione krive,  $n$  – odsečak na  $y$  osi za  $x=0$ . U procesu kalibracije je potrebno odrediti kalibracioni faktor  $k$  i odsečak na  $y$  osi  $n$ . Koncentracija se dalje može odrediti pomoću formule:

$$C(t) = k \cdot (EC(t) - EC_b)$$

gde je  $EC_b$  bazna elektroprovodnost (elektroprovodnost vode kojoj se određuje protok) dok je  $EC$  izmerena elektroprovodnost u postupku merenja (prolaska talasa povećane elektroprovodnosti). Dalje se protok izražen preko koncentracije može izraziti preko formule:

$$Q = \frac{M}{T} \int_0^T C(t) dt \quad \rightarrow \quad Q = \frac{M}{k \cdot \int_0^T (EC(t) - EC_b) dt}$$



Primer kalibracione krive (prave)

### Teorijske osnove određivanja protoka na osnovu merenja provodnosti

Protok vode kroz neki poprečni presek se definiše kao protekla zapremina u jedinici vremena kao što je to naznačeno u jednačini (1).

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad \rightarrow \quad dV = Q \cdot dt$$

$Q$  – protok,  $dV$  – protekla zapremina i  $dt$  – proteklo vreme.

Ukoliko se zapremina vode izrazi preko koncentracije neke supstance koja se računa po formuli:

$$C(t) = \frac{dm}{dV} \rightarrow dm = C(t) \cdot dV$$

gde su u jednačini:

$C(t)$  – koncentracija rastvorene supstance u određenom vremenskom trenutku,  $dm$  – delić mase rastvorene supstance,  $dV$  – delić zapremine fluida. Dobija se sledeća jednačina:

$$dm = Q \cdot C(t) dt.$$

Integracijom ove jednačine dobija se relacija:

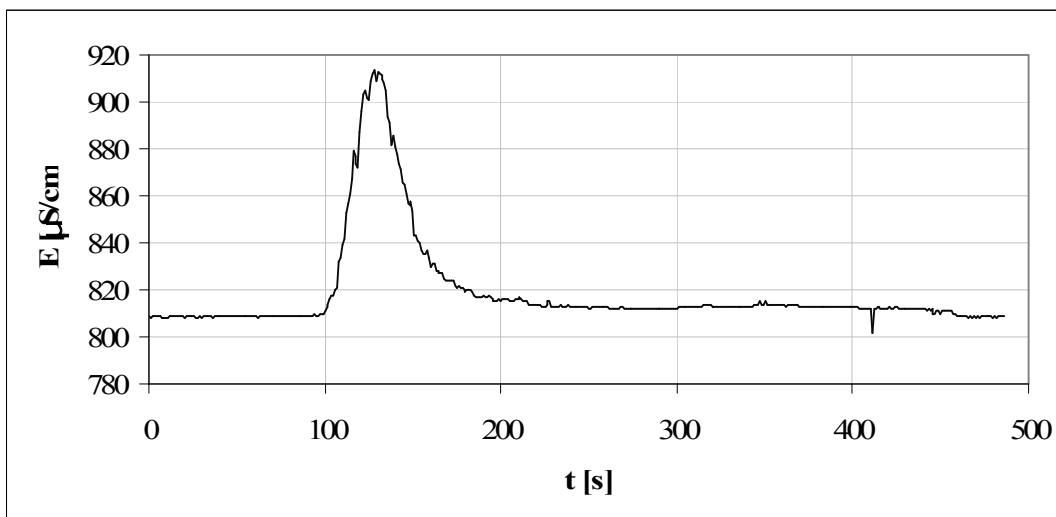
$$\int_0^M dm = \int_0^T Q \cdot C(t) dt,$$

gde je  $Q$  protok kroz poprečni profil, a  $C(t)$  prosečna koncentracija u poprečnom preseku profila. Rešavanjem ove jednačine, uz pretpostavku da je tečenje ustaljeno, tj. protok je konstantan dobija se:

$$M = Q \cdot \int_0^T C(t) dt$$

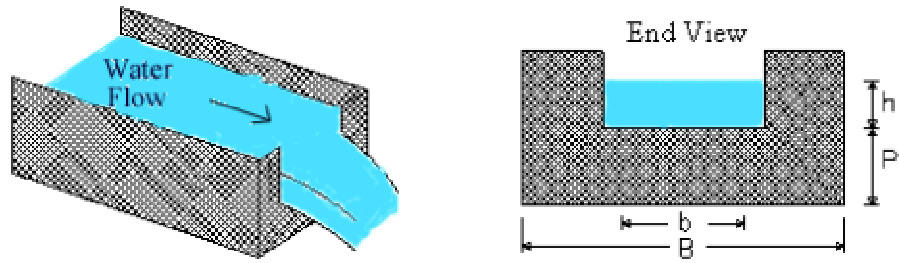
$$Q = \frac{M}{\int_0^T C(t) dt}$$

Ova relacija govori da je za poznatu masu traseru (supstance koja se rastvara u vodi) dovoljno odrediti površinu ispod krive dinamički izmerenih koncentracija (bez bazne koncentracije).



Primer dinamički merenih koncentracija

## PROVERA REZULTATA - PRAVOUGAONI PRELIV

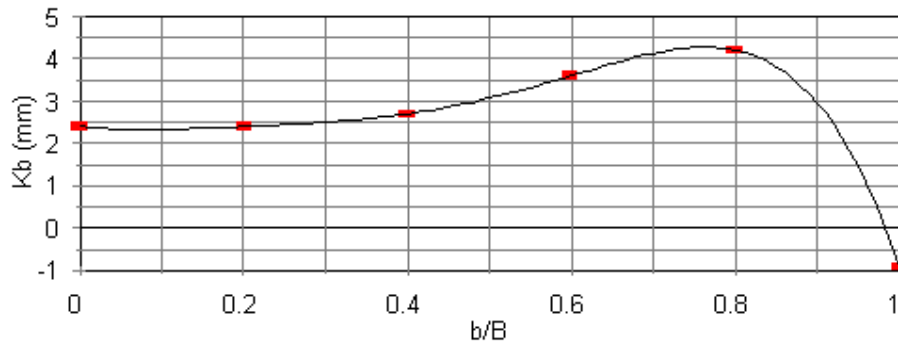
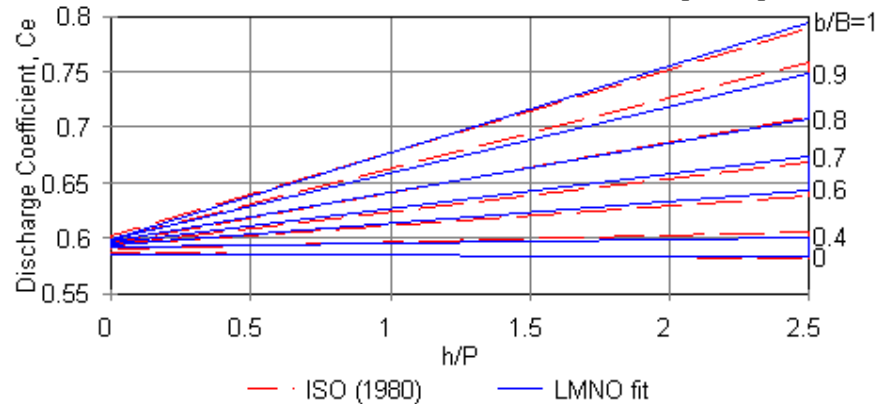


Protok preko pravougaonog preliva se može izračunati preko formule:

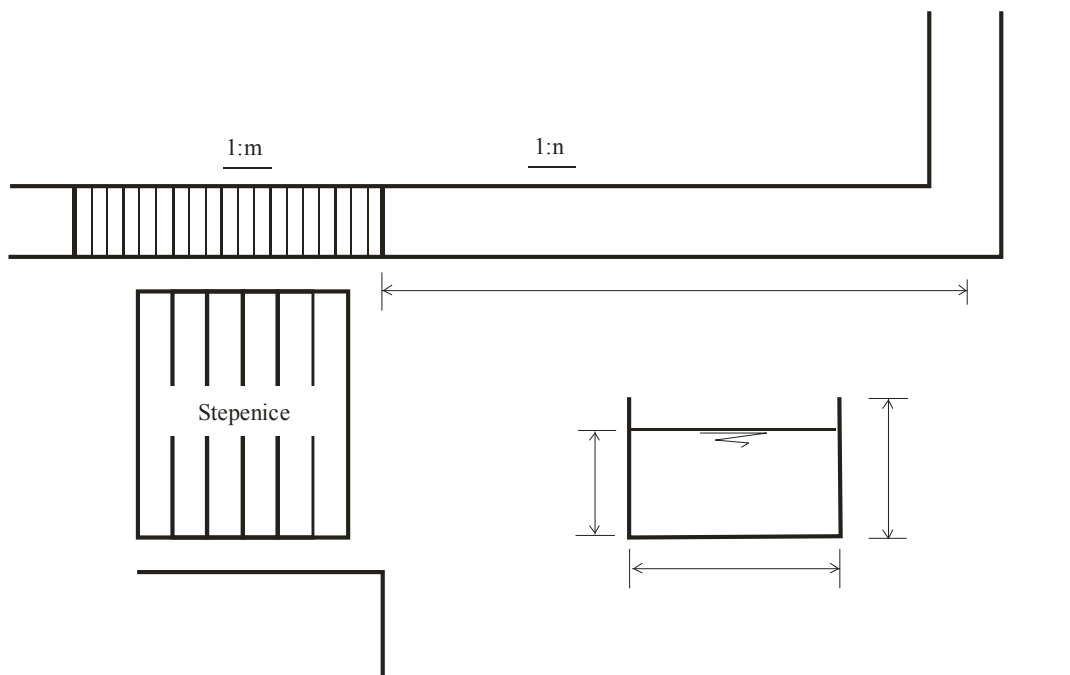
$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + K_b) (h + K_h)^{3/2}$$

gde su: **Q** - protok, **C<sub>e</sub>** - koeficijent protoka, **g** – ubrzanje zemljine teže, **b** – širina preliva, **h** – visina prelivnog mlaza, **K<sub>h</sub>=0.001m** – efekat površinskog napona i **K<sub>b</sub>** – efekat viskoznosti.

Koeficijent protoka **C<sub>e</sub>** i efekat usled viskoznosti **K<sub>b</sub>** se može odrediti preko priloženih tabela:



## OPIS VEŽBE



Vežba se izvodi na kanalu koji se nalazi ispred zgrade Instituta za hidrotehniku i služi za odvodnjavanje travnate površine dvorišta koje se nalazi prema Ruzveltovoj ulici. Voda se dovodi iz sistema hidrauličke laboratorije vatrogasnim crevom i potrebno je uspostaviti ustaljeni tok dubine ~10-12cm. Deonica koja je pogodna za merenje je označena na slici. Cilj vežbe je odrediti protok u kanalu metodom merenja elektroprovodnosti i uporediti ga sa izmerenim protokom dobijenim preko pravougaonog preliva.

## TOK VEŽBE

Vežba se izvodi u dva koraka:

1. Kalibracija sonde za merenje elektroprovodnosti prema vodi iz vodotoka
2. Bacanje trasera i merenje talasa povećane elektroprovodnosti

Kalibraciju sonde obaviti na sledeći način:

1. Pripremiti rastvor od 3gr/L kuhinjske soli u destilovanoj vodi
2. Uzeti iz vodotoka tačno 500 ml i sipati u posudu od 1 L
3. Izmeriti elektroprovodnost vode iz vodotoka (to je bazna elektroprovodnost  $EC_b$ )
4. Dodati 1 ml pripremljenog rastvora u posudu sa vodom iz vodotoka i dobro izmešati
5. Izmeriti elektroprovodnost i zabeležiti vrednost jedne kalibracione tačke (iz masene proporcije izračunati koncentraciju dodate soli u vodu iz vodotoka)
6. Korake 4 i 5 ponoviti 10 puta i zabeležiti vrednosti provodnosti i koncentracije 10 kalibracionih tačaka
7. Izračunati kalibracioni faktor  $k$  i odsečak na  $y$  osi kalibracione krive

Nakon kalibracije sonde prema vodi iz vodotoka potrebno je sprovesti merenje talasa povećane elektroprovodnosti usled ubačenog trasera:

1. Proceniti protok koji meri i proceniti količinu traseru (kuhinjske soli) koju treba ubaciti u vodotok (**1-2.5 kg soli na 1m<sup>3</sup>/s**)
2. Izmeriti procenjenu količinu soli **M** i rastvoriti je u zahvaćenoj vodi iz vodotoka
3. Uzvodno od mernog mesta, koje je postavljeno tako da se sva so izmeša, sipati rastvoreni traser u vodotok
4. Izmeriti talas povećane elektroprovodnosti

*Napomena:* U procesu merenja elektroprovodnosti u kanalu pri prolasku rastvorenog traseru potrebno je obezbediti poznatu količinu traseru (kuhinjske soli) **M**, i vrednosti koncentracije rastvorenog traseru tokom vremena **C(t)**. Merenje mase traseru obavlja se pomoću precizne elektronske vage, dok se merenje promene koncentracije obavlja merenjem elektroprovodnosti vode.

### OBRADA REZULTATA

Kalibracija merne sonde:

	C	EC
	[mg/L]	[ $\mu$ S/cm]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Karakteristike tečenja:

Dubina vode  $h_n =$  \_\_\_\_\_

Pad kanala  $I_d =$  \_\_\_\_\_

Karakteristike pravougaonog preliva:

Širina konstrukcije  $B =$  \_\_\_\_\_

Širina prelivne ivice  $b =$  \_\_\_\_\_

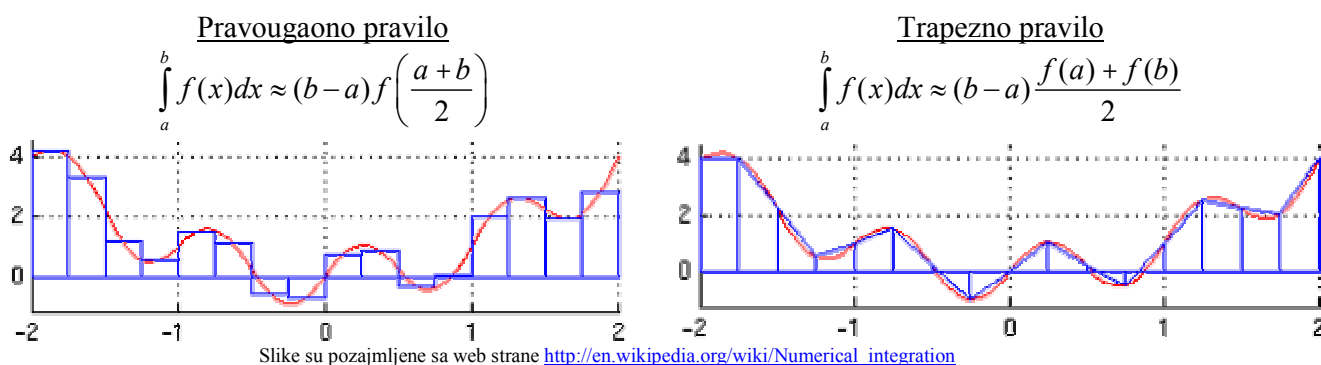
Kota prelivne ivice  $P =$  \_\_\_\_\_

Visina prelivnog mlaza  $h =$  \_\_\_\_\_

Protok  $Q =$  \_\_\_\_\_

Bacanje soli	Masa [gr]	Način bacanja soli	EC <sub>b</sub> [μS/cm]	Q [L/s]
1	30	Rastvorena/ <b>nerastvorena</b>		
2	30	<b>Rastvorena</b> /nerastvorena		
3	50	Rastvorena/ <b>nerastvorena</b>		
4	50	<b>Rastvorena</b> /nerastvorena		
5	70	Rastvorena/ <b>nerastvorena</b>		
6	70	<b>Rastvorena</b> /nerastvorena		

Cilj vežbe je određivanje protoka u vodotoku traserskom metodom. Obrada rezultata je koncentrisana na računanje integrala izmerene krive talasa povećane elektroprovodnosti nakon ubačenog trasera u obliku rastvorene kuhinjske soli. Integral izmerene vremenske serije je potrebno odredit na dva načina: pravougaonim pravilom i trapeznim pravilom.



Potrebno je uraditi sledeće:

1. Učitati file sa rezultatima u MsExcel ili MatLab programski paket (format filea: **EC<sub>osrednjena</sub> [S] | Temperatura [C] | EC<sub>neosrednjena</sub> [S] | Vreme**)
2. Grafički prikazati rezultate merenja
3. Izračunati protoke pravougaonim i trapeznim pravilom
4. Uporediti dobijene rezultate
5. Filtrirati podatke linearnim **Moving Average** filtrom (*MsExcel* ili *MatLab*)
6. Ponoviti zahteve 2, 3 i 4 sa filtriranim vremenskim serijama

*Napomena: Moving Average* filter osrednjava vrednosti niza u odnosu na okolinu posmatrane vrednosti čuvajući umesto same vrednosti srednju vrednost okoline posmatrane vrednosti. Za vrednost  $x_t$  na poziciji  $t$  **Moving Average** filter sa prozorom dužine 3 se primenjuje a sledeći način:

$$x_t^{F_3} = \frac{1}{3}(x_{t-1} + x_t + x_{t+1})$$

, gde je  $x_t^F$  filtrirana vrednost na mestu  $t$ . Isti filter sa korakom 5 ima obrazac:

$$x_t^{F_5} = \frac{1}{5}(x_{t-2} + x_{t-1} + x_t + x_{t+1} + x_{t+2})$$

Uporediti rezultate metode sa rezultatima dobijenim merenjem pomoću pravougaonog preliva.