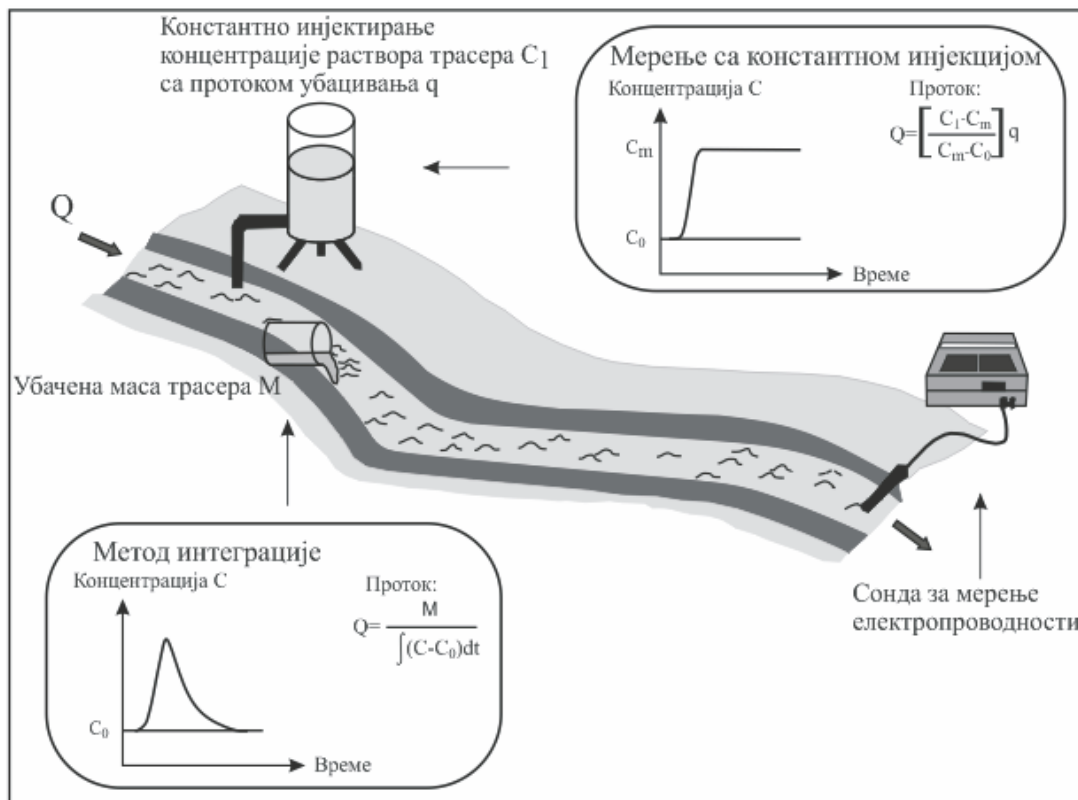


VEŽBA 7.1

Naziv vežbe	MERENJE PROTOKA U KANALU 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 naprednim metodom merenja protoka u otvorenim tokovima koja je bazirana na dinamičkom merenju provodnosti i računanju koncentracije i brzine pronosa jona natrijuma i hlora koja se kontrolisano unosi u tok.

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 na otvorenim tokovima kod kojih je izražena turbulentna aktivnost vode je i traserska metoda bazirana na merenju elektroprovodnosti. Ukoliko se u vodotok ubaci određena količina trasera 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 ima oblik:

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

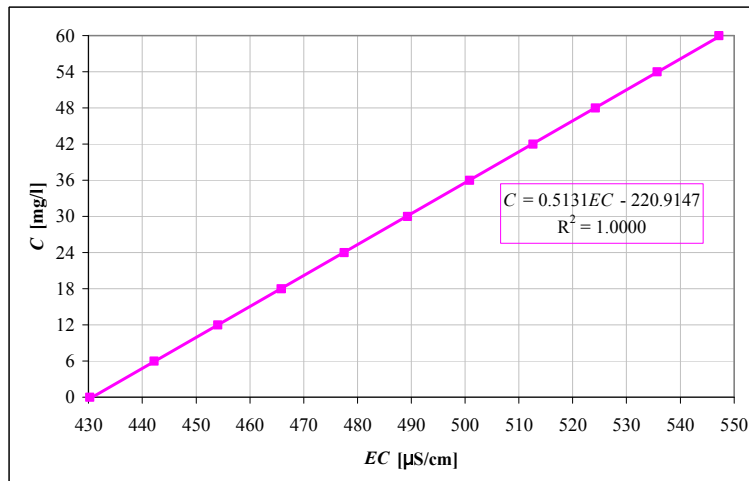
gde su:

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 se može izraziti preko formule:

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



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).

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad \rightarrow \quad dV = Q \cdot dt \quad \dots\dots (1)$$

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

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

$$C(t) = \frac{dm}{dV} \rightarrow dm = C(t) \cdot dV \quad \dots (2),$$

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:

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

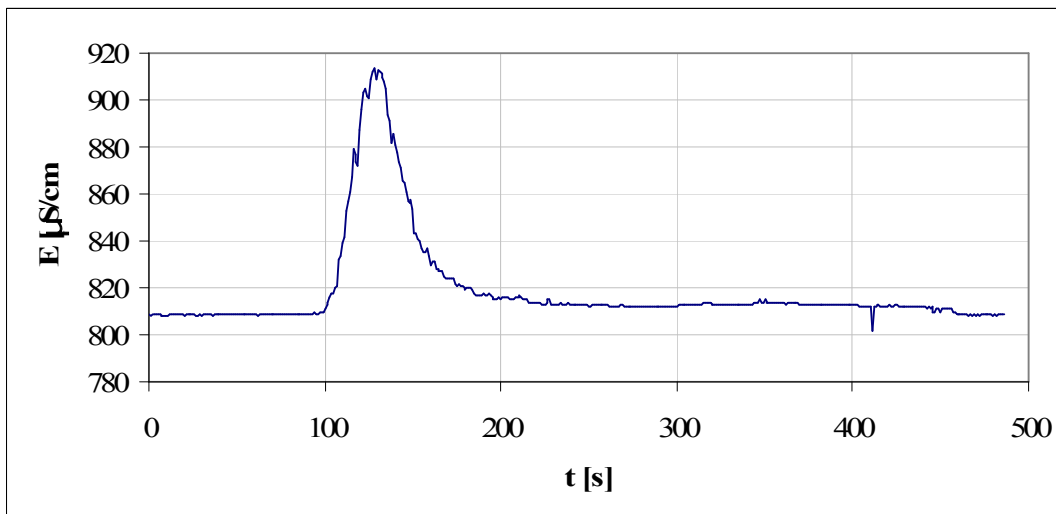
gde je Q protok kroz poprečni profil, a $C(t)$ prosečna koncentracija u poprečnom preseku profila.

Rešavanjem ove jednačine, uz pretpostavku da je tečenje ustaljeno, tj. protok je konstantan dobija se:

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

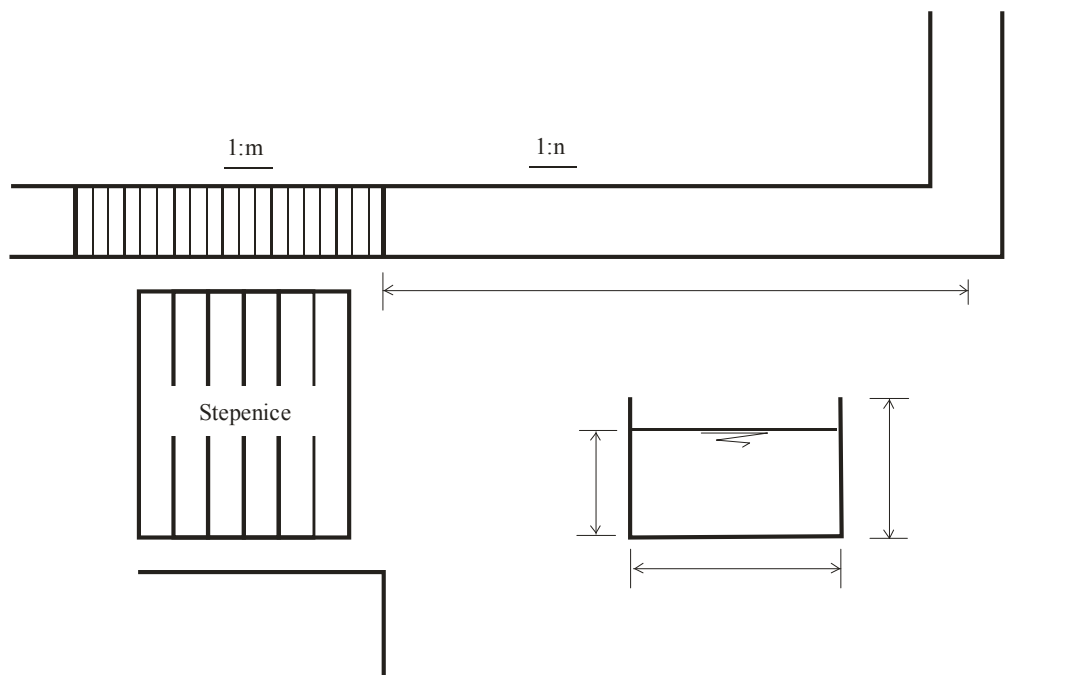
$$Q = \frac{M}{\int_0^T C(t) dt}.$$

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



Primer dinamički merenih koncentracija

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 provodnosti i uporediti ga sa izmerenim protokom na referentnom elektromagnetnom meraču protoka koji se nalazi u podrumu hidrauličke laboratorije.

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 broj 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 trasera (kuhinjske soli) koju treba ubaciti u vodotok (**1-2.5 kg soli na 1m³/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 trasera potrebno je obezbediti poznatu količinu trasera (kuhinjske soli) **M**, i vrednosti koncentracije rastvorenog trasera tokom vremena **C(t)**. Merenje mase trasera obavlja se pomoću precizne elektronske vage, dok se merenje promene koncentracije obavlja merenjem elektroprovodnosti vode.

OBRADA REZULTATA

Rezultati merenja:

Dubina vode h= _____

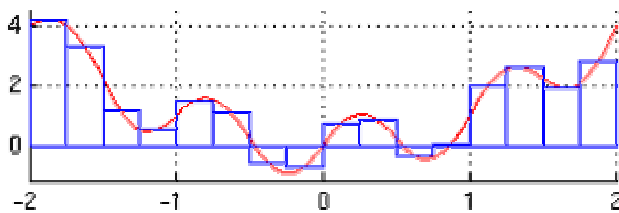
Pad kanala I_d= _____

Dimenzije kanala u pisati na slici.

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.

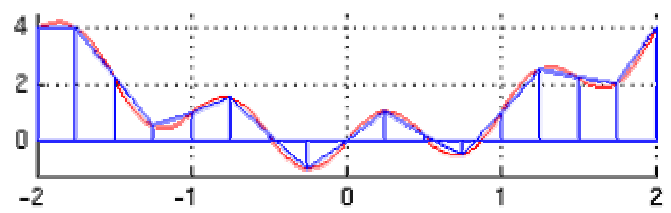
Pravougaono pravilo

$$\int_a^b f(x)dx \approx (b-a)f\left(\frac{a+b}{2}\right)$$



Trapezno pravilo

$$\int_a^b f(x)dx \approx (b-a)\frac{f(a)+f(b)}{2}$$



Slike su pozajmljene sa web strane http://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_integration

Potrebno je uraditi sledeće:

1. Izračunati protoke pravougaonim i trapeznim pravilom
2. Uporediti dobijene rezultate
3. Nacrtati dijagram grešaka za svaku izmerenu tačku
4. Filtrirati podatke linearnim **Moving Average** filtrom (*MsExcel* ili *MatLab*)
5. Ponoviti zahteve 1, 2 i 3 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:

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