

VEŽBA 5

Naziv vežbe	ANALIZA MERENJA PROTOKA U KANALIZACIONOM KOLEKTORU
Trajanje vežbe	45'
Potrebno predznanje	Osnovna znanja iz analize merne nesigurnosti i hidraulike otvorenih tokova
Broj studenata	1
Cilj vežbe	U ovoj vežbi je potrebno analizirati izmerene podatke o protoku pomoću dve sonde, elektromagnetne i ultrazvučne, u kišnom kolektoru za vreme intezivne kišne epizode. Protok je izmeren/određen primenom metode brzina – proticajni presek ($V - A$). Koristeći prethodna laboratorijska ispitivanja merne nesigurnosti kod korišćenih uređaja, potrebno je sprovesti analizu merne nesigurnosti nad podacima dobijenim na terenu. Konačno potrebno je definisati merodavnu metodu/e i rekonstruisati izmereni protok.

TEORIJSKE OSNOVE

Merenje protoka, u tokovima gde se javlja tečenje sa slobodnom površinom, se karakteriše kao složen i osetljiv problem. Pri određivanju optimalne merne metode za merenje ili određivanje protoka, imajući u vidu specifičnosti tečenja u hidrotehničkim sistemima, neophodno je razmotriti zahteve i operativna ograničenja u svakom pojedinom slučaju. Zadatak odabira adekvatne merne metode ispunjava se u skladu sa hidrauličkim uslovima, karakteristikama fluida, fizičkim karakteristikama provodnika i zdravstvenim uslovima (posebno značajno u kanalizacionim sistemima).

Uglavnom, merenja protoka se obavlja koristeći jedan od navedenih pristupa:

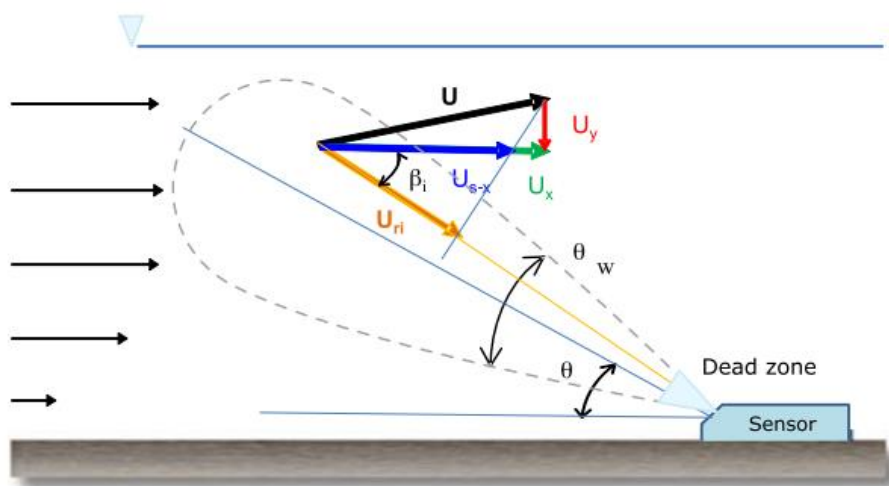
1. Merenjem dubina u uslovima gde postoji jasna i jednoznačna veza između protoka i dubine – upotreba $Q - h$ krive (npr Merno suženje, Merni preliv)
2. Merenjem srednje profilske brzine i dubine odnosno primenom grupe metoda Brzina – Proticajni presek $V - A$ (naš slučaj).

Dosadašnja istraživanja su pokazala da se u slučajevima, gde je merno mesto projektovano u skladu sa svim karakterističnim pravilima i ograničenjima, može postići merna nesigurnost u merenju protoka od 2 - 5%, za slučaj primene pristupa 1. dok je ta vrednost nešto veća za slučaj primene pristupa 2. i iznosi 5 - 10%. Međutim, u praksi je češće neophodno primeniti drugi pristup ($V - A$), prvenstveno zbog činjenice da na željenom mernom mestu nije moguće uspostaviti jednoznačnu vezu između Q i h . Dominantan izvor merne nesigurnosti u primeni drugog pristupa je ustvari u proceni srednje profilske brzine V , budući da su sami senzori brzine kalibrisani na rad u idealnim uslovima – kakvi se retko sreću u praksi. Čak, u određenim okolnostima se mogu javiti situacija gde realna merna nesigurnost izmerene brzine V dostiže vrednosti do 100% i više.

U okviru ove vežbe, zadatak je analizirati izmerene podatke o protoku Q , u kišnom kolektoru u Beogradu, korišćenjem pristupa $V - A$. Korišćena su dva papučasta uređaja, sa različitim metodama merenja brzine, elektromagnetni (EM) i ultrazvučni (Dopler) senzor. Merenje dubine je integrisano u sonde, preko pijezezistivnih senzora pritiska. Izmereni podaci o brzini i dubini pokazuju nestandardne vrednosti i značajno odstupanje između dva uređaja. Potrebno je sprovesti analizu merne nesigurnosti, i konačno odabrati odgovarajuću metodologiju, vremenske serije i rekonstruisati protok za vreme jedne intenzivne kišne epizode. Takođe neophodno je analizirati potencijalne nedostatke u pristupima, odnosno uređajima.

TEORIJA ULTRAZVUČNIH I ELEKTROMAGNEGNIH SENZORA

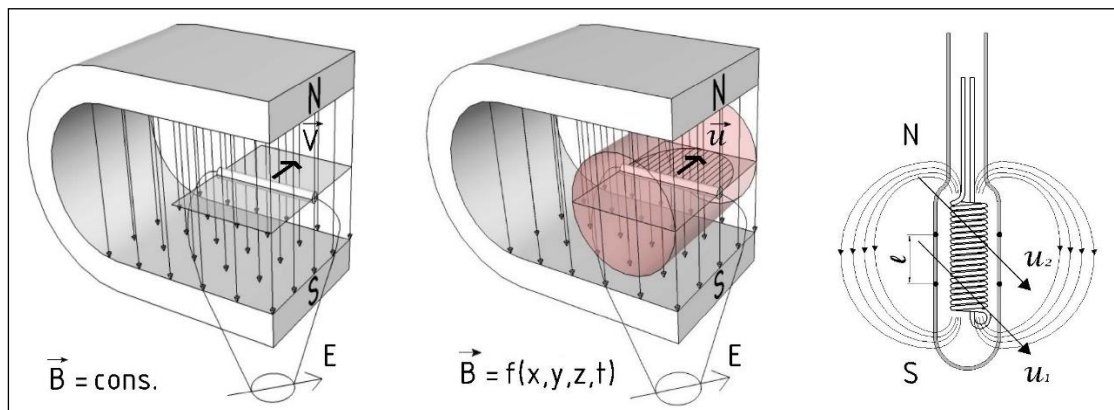
Ultrazvučni senzori protoka, mere brzinu strujanja vode u kontrolnoj zapremini koničnog oblika. Princip rada se zasniva na pojavi Doplerovog pomaka, odnosno činjenici da se emitovani zvučni talas, reflektuje od čestica u vodi za koje se pretpostavlja da se kreću istom brzinom kao i fluidni delići, sa promenjenom frekvencijom. Jedna od glavnih mana ove tehnologije je upravo činjenica da merni princip zahteva rad u „prljavoj“ vodi, odnosno prisustvo suspendovanih čestica od kojih se talas može odbiti.



Slika 1. Princip rada ultrazvučnih (Dopler) senzora protoka (Larrarte i sar., 2016)

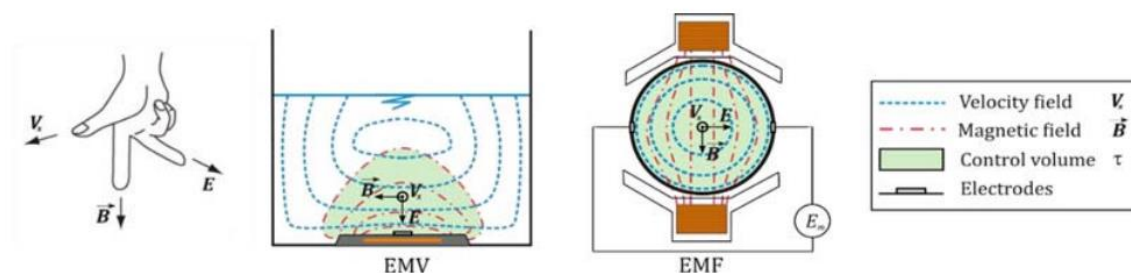
Elektromagnetnim sondama se meri brzina provodnih tečnosti koristeći princip elektromagnetne indukcije. Princip se zasniva na Faradejevom zakonu, po kome se na krajevima krutog provodnika dužine L indukuje elektromotorna sila E , ukoliko se taj provodnik kreće u magnetnom polju \vec{B} brzinom \vec{V} (slika 1, levo). Za realno nehomogeno magnetno polje i za promenljivu brzinu kretanja, indukovana elektromotorna sila će biti:

$$E = \int_D \vec{B} \times \vec{V} \cdot dL$$



Slika 2. Princip elektromagnetne indukcije (levo), merenje protoka provodne tečnosti koristeći princip elektromagnetne indukcije (sredina), merenje brzine provodne tečnosti »u tački« (desno)

Kod upotrebe EM pretvarača za merenje brzine tečnosti, umesto provodnika, kroz magnetno polje se kreće elektroprovodan fluid. Ravne EM sonde su u mogućnosti da mere jednu komponentu brzine za koju proizvođač tvrdi, ukoliko je uređaj postavljen prema njegovim preporukama, da je srednja profilska brzina. Ukoliko se srednja profilska brzina pomnoži sa površinom proticajnog preseka, koja se dobija pomoću merenja dubine, trebalo bi da se dobije podatak o protoku.



Slika 3. Razlike u radu papučastih i konvencionalnih (cevnih) EM senzora protoka

PRIMENA PRISTUPA V – A

Za razliku od rečnih tokova, u kanalizacionim sistemima se merenja protoka Q jednostavnije sprovode. Meri se jedna brzina V , za koju se pretpostavlja da je srednja profilska brzina, kao i jedna dubina h , na osnovu koje se računa površina proticajnog preseka $A(h)$:

$$Q = A(h) * V = R^2 * \left[\arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right) - \left(1 - \frac{h}{R} \right) * \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right) \right) \right] * V$$

Gde je R poluprečnik kružnog betonskog kolektora. U ovoj vežbi, analiziraju se merenja u kružnom kolektoru prečnika $D = 1200$ mm, odnosno $R = 600$ mm.

ANALIZA MERNE NESIGURNOSTI ZA KRUŽNI KOLEKTOR

Određivanje protoka u kružnom kolektoru se vrši posredno preko merenja srednje profilske brzine V i dubine h (i prečnika kolektora R), čije se merne nesigurnosti zapravo propagiraju kako bi se definisala merna nesigurnost protoka Q . Merna nesigurnost protoka $u(Q)$ se tako može predstaviti na sledeći način:

$$u(Q) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)^2 * u(R)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V}\right)^2 * u(V)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial h}\right)^2 * u(h)^2}$$

Gde su $\frac{\partial Q}{\partial R}$, $\frac{\partial Q}{\partial V}$ I $\frac{\partial Q}{\partial h}$ parcijalni izvodi protoka po odgovarajućim veličinama (odrediti kao izvod složene funkcije), a $u(R)$, $u(V)$ I $u(h)$ merne nesigurnosti odgovarajućih veličina. Vrednost $u(R)$ je zapravo nesavršenost u izradi I može se grubo proceniti kao $u(R) = 0,02$ m. Zahvaljujući prethodnim laboratorijskim ispitivanjima, koje su sprovele vaše kolege I kolegice, mernu nesigurnost brzine I dubine možemo sračunati, za svaki vremenski korak, preko obrazca za kombinovanu mernu nesigurnost $u(X)_c$ (X može biti V ili h):

$$u(X)_c = \sqrt{u(X)_{et}^2 + u(X)_{stat}^2 + u(X)_{sist}^2}$$

Gde su $u(X)_{et}$, $u(X)_{stat}$ I $u(X)_{sist}$ etalonska, statistička I sistematska nesigurnost brzine ili dubine. Rezultati laboratorijskih ispitivanja merne nesigurnosti elektromagnetnih I ultrazvučnih senzora, koje treba koristiti u analizi, su prikazani u tabelama 1 I 2.

Tabela 1. Etalonirana merna nesigurnost brzine I dubine izmerene pomoću EM senzora

	$X = V$ [m/s]	$X = h$ [m]
$u(X)_{stat}$	$0,036 * V + 0,003$	0,009
$u(X)_{sist}$	0,0594	0,005
$u(X)_{et}$	0,015	0,001

Tabela 2. Etalonirana merna nesigurnost brzine I dubine izmerene pomoću Dopler senzora

	$X = V$ [m/s]	$X = h$ [m]
$u(X)_{stat}$	$0,0049 * V + 0,0021$	0,003
$u(X)_{sist}$	0,03 (0,176)	0,006
$u(X)_{et}$	0,015	0,001

Ukupna merna nesigurnost protoka, pretpostavljajući normalnu raspodelu mernih grešaka, se konačno dobija kao:

$$u(Q)_{tot} = 2 * u(Q)$$

Odnosno, pomoću nje, definiše se interval poverenja od 95% za rekonstruisani niz podataka:

$$Q(t) \pm u(Q)_{tot}$$

KORACI PRI IZRADI VEŽBE

1. Sprovesti kontrolu izmerenih serija podataka,
2. Prebaciti obe vremenske serije na vremenski korak od $dt = 2 \text{ min}$
3. Korišćenjem rezultata laboratorijskih ispitivanja (Tabele 1 i 2) sračunati vremenske serije merne nesigurnosti dubine i brzine, izmerenih pomoću EM i UZV senzora
4. **Formirati mini - izveštaj na osnovu narednih koraka:**
5. Prikazati merno mesto (pin) i širu lokaciju iz Google Earth-a
6. Nacrtati dijagrame poređenja vremenskih serija dubine, brzine i sračunatog (V-A) protoka, sa odgovarajućim intervalom poverenja od 95%, između EM i UZV senzora
7. Nacrtati usvojene konačne vremenske serija dubine, brzine i sračunatog (V-A) protoka, sa odgovarajućim intervalom poverenja od 95%
8. Obrazložiti odabir odgovarajućih izmerenih veličina i proračun izmerenog protoka,
9. Navesti potencijalne uzroke odstupanja, odnosno nedostatke u pristupu/uređajima