

Ispitivanje pouzdanosti merila protoka predviđenih za rad u kanalizacionim sistemima

Dušan Prodanović¹

Nemanja Branisavljević²

Josip Rukavina³

Ana Đačić⁴

APSTRAKT: Za merenje protoka otpadne vode u kanalizacionim sistemima najčešće se koriste ultrazvučni dopler merači protoka. Ti uređaji su, pored niza dobrih osobina, osetljivi na male brzine, talog i nanos koji se česti u kanalizaciji. Pored ultrazvučnih senzora, za merenje protoka je moguće koristiti i elektromagnetne senzore koji u segmentu prljavih, upotrebljenih voda imaju određene prednosti u odnosu na ultrazvučne senzore. U ovom radu je prikazan deo rezultata laboratorijskog testiranja više mobilnih ultrazvučnih dopler mernih uređaja i jednog elektromagnetnog. Uređaji su testirani u različitim radnim uslovima koji se mogu sresti u kanalizaciji. Ispitivanja su pokazala da su elektromagnetne sonde otpornije na nanos i stepen zaprljanosti vode, kao i da mogu meriti male brzine.

Ključne reči: Ultrazvučno merenje protoka, elektromagnetne sonde, kanalizacioni sistemi

Uncertainty test of ultrasound and electromagnetic flow measurements devices for sewer systems

ABSTRACT: Today the Doppler ultrasound devices are the most common flow measurement devices in sewer and used water systems. They are applicable for medium to high velocity flows of not so clean water. The main cause of false readings is deposit that may cover the ultrasound transmitter/receiver. Apart from ultrasound devices, the electromagnetic probes are emerging due to developments in their construction. Electromagnetic sensors are more robust in sewer water applications than the ultrasound devices. Results obtained during laboratory test of several ultrasound and one electromagnetic sensor are presented in this paper. Flow measuring devices were tested in real working conditions. It turns out that electromagnetic sensor is more robust to deposits and turbidity of water, with the possibility to measure small velocities.

Keywords: Ultrasound flow measurement, electromagnetic probe, sewer systems

¹Prof. dr Dušan Prodanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73

²asis. dr Nemanja Branisavljević, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73

³Josip Rukavina, KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka, Hrvatska

⁴Ana Đačić, student master studija, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet

1 Uvod

Sa porastom svesti o uticaju otpadnih voda na zagađenje čovekove sredine, merenje protoka u kanalizacionim sistemima počinje sve više da dobija na važnosti. Merenjem protoka kroz duže vremenske periode postiže se bolja kontrola rada sistema, dobijaju se podaci na osnovu kojih je moguća naplata otpadnih voda pravnim licima i korisnicima, a službe za održavanje mreže dobijaju kvalitetniji uvid u realno stanje mreže (Pilko i ostali, 2010). Dobijeni rezultati se osim za potrebe naplate, koriste i pri izradi raznih studija, planova, projekata za rekonstruisanje mreže i/ili izgradnju nove, dimenzionisanje uređaja za prečišćavanje, kao i u naučne svrhe prilikom raznih istraživanja i eksperimenata (Jauković i ostali, 2010).

Danas na tržištu postoji velika ponuda merača protoka za otvorene tokove, različitih proizvođača i specifikacija koji koriste različite načine merenja. Zajedničko za sve uređaje je merenje brzine i dubine, kao i računski model preslikavanja te dve merene veličine u protok. U kanalizaciji su radni uslovi za merne uređaje teški, te je neophodno analizirati kako i kada primeniti koji način merenja, kako će se obavljati kalibrisanje i održavanje uređaja, kao i kako utvrditi verodostojnost dobijenih rezultata (Branisavljević i ostali, 2010).

Danas se u kanalizaciji najčešće koriste ultrazvučni dopler merači protoka (Prodanović, 2007). Ovi merači protoka su zbog načina funkcionisanja najprimenljiviji u tokovima srednje ili veće brzine i u mutnim vodama (Drenthen, 1987). Problem predstavljaju talog i nanos, koji se često javljaju u kanalizaciji, kao i veći plutajući objekti, razni otpaci i sl. Takođe, na tačnost merenja znatno utiče često neravnomerno i asimetrično strujanje po širini preseka. U tim situacijama dobijaju se pogrešni rezultati bez obzira na specificiranu osnovnu klasu tačnosti instrumenta.

Pored ultrazvučnih senzora, sve više se koriste i elektromagnetni senzori za merenje brzine. Elektromagnetni uređaji se češće koriste u čistoj vodi, ali se razvojem savremenih rešenja u konstrukciji, njihov opseg rada proširio i na segment prljavih, upotrebljenih voda, gde imaju određene prednosti u odnosu na ultrazvučne senzore.

Cilj ovog rada je analizirati osetljivosti ultrazvučnih dopler i elektromagnetnih uređaja za merenje protoka u otvorenim tokovima na uslove rada, raspon protoka, uticaj mutnoće vode, taloga i kao i na načina ugradnje sonde. Obavljena merenja predstavljaju nastavak prethodnih ispitivanja, koja su prikazana u radu Rukavina i ostali, 2011 i u kojima su detaljno analizirani ultrazvučni uređaji postavljeni u čistoj vodi.

U laboratorijskom eksperimentu, na hidraulički poznatim profilima i pri kontrolisanim mutnoćama vode, pri poznatim protocima i sa kontrolisanim usporima, ispitivani su sledeći uređaji:

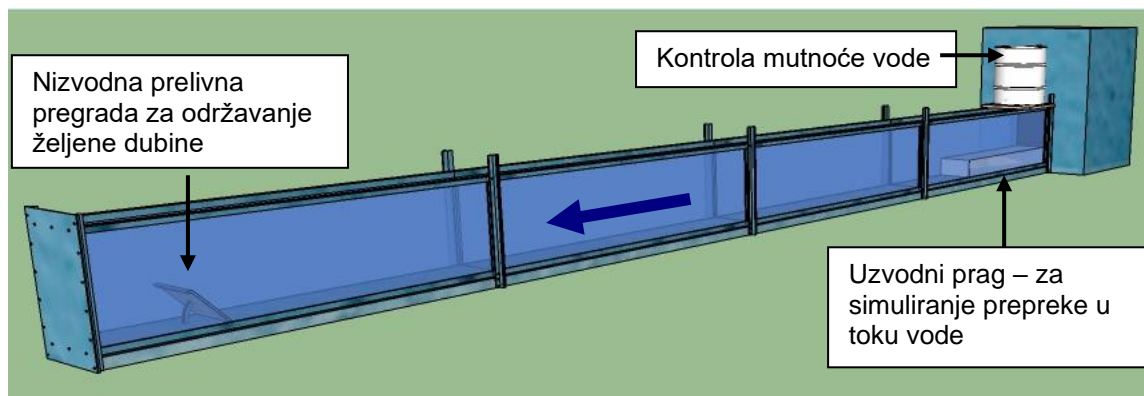
1. NIVUS x 2 (GRF i Institut IGH d.d. Zagreb)
2. MAINSTREAM (BVK)
3. HYDROVISION x2 (Vodovod Rijeka)
4. EM flat sonda (Svet Instrumenata)

U radu se daje prvo prikaz korišćene eksperimentalne instalacije i kratak opis ispitivane opreme. Nakon toga, daju se neki od dobijenih rezultata, iz kojih se potvrđuje da je ultrazvučna dopler metoda osetljiva na radne uslove i da je neophodno povesti računa prilikom ugradnje ovih uređaja kako bi se održala fabrička tačnost merenja protoka, dok je elektromagnetna sonda pokazala svoju superiornost u pogledu merenja velikog raspona brzina, niske osetljivosti na zaprljanost kao i u otpornosti na mehanička oštećenja.

2 Laboratorijska instalacija za ispitivanje

Prva faza eksperimenta je bila ispitivanje sonde u čistoj vodi, u uslovima malih brzina. U kanalu pravougaonog oblika, širine 0,23 m i dužine 1,97 m, održavan je konstantan protok pri kome su sonde bile naizmenično ispitivane. Dubine su kontrolisane ustavama na krajevima kanala. Kako bi uslovi ostali nepromenjeni, sve sonde su postavljane na istim udaljenostima od ivica kanala.

Druga faza eksperimenta je bila sa vodom različite mutnoće i pri različitim uslovima tečenja. Merenja su obavljena u laboratorijskom kanalu (slika 1) dužine 8,0 m i širine 0,25 m. Protok je kontrolisan uzvodnim ventilom, a različiti hidraulički uslovi su uspostavljeni korišćenjem ustave koja se nalazila na samom kraju kanala.



Slika 1: Laboratorijski kanal dužine 8m i širine 0,25m

Voda je u kanal dovodena pomoću pumpe iz velikog rezervoara (nije prikazano na slici 1). Kao etalonsko merilo protoka služio je KROHNE elektromagnetni uređaj klase 0.2%, koji je postavljen na dovodnoj cevi. Pre obavljenih merenja, KROHNE merilo je proveren volumetrijski. Za etalonsko merenje nivoa vode u kanalu korišćena je mehanička merna igla.

Osim različitih režima tečenja, sonde su ispitivane i na različite stepene mutnoće vode. Kao materijal za kontrolu mutnoće vode u kanalu korišćen je prašak za ručno pranje iz koga je uklonjen deterdžent. Prethodnim ispitivanjem je utvrđeno da je za potpuno rastvaranje korišćenih suspendovanih čestica bila dovoljna koncentracija od 5g/L, tako da je u opsegu od 0 do 5 g/L bilo moguće izazvati dovoljan broj različitih mutnoća vode. Instalacija za dovod suspendovanih čestica se sastojala od bureta zapremine 65 litara na čijem dnu se nalazilo zatvarač. U buretu se nalazila mešalica koja je održavala suspenziju. Bure je bilo postavljeno na samom početku kanala (desni deo na slici 1). Na taj način se u vodu iz rezervoara dodavao rastvor čestica, koji je kroz kanal proticao zajedno sa njom i do mesta gde su bile postavljane sonde stvarao mutnoću u vodi. Nakon svakog dodavanja rastvora uziman je uzorak koji je nošen u laboratoriju za kvalitet vode gde je bila utvrđivana tačna mutnoća (NTU).

U prvim merenjima je vršena korekcija dotoka na kanal sa dotokom iz bureta. S obzirom da je KROHNE merač protoka postavljen na dovodnoj cevi iz rezervoara, pre svakog očitavanja podataka sa sonde, uz zapisivanje vremenskih intervala i poznavanje geometrije bureta (površina A), merene su promene nivoa (H) i računat je doticaj u kanal iz bureta. Nakon proračuna, utvrđeno je da je protok bio reda veličine greški koje su sonde pravile, te je stoga njegov uticaj na protok u kanalu bio zanemaren.

3 Ispitivana merna oprema

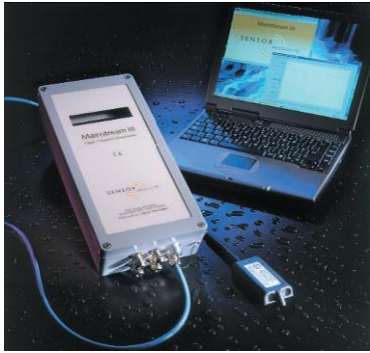
U toku ispitivanja korišćene su dve NIVUS ultrazvučne sonde (slika 2). Jedna pripada Institutu IGH d.d. Zagreb, a druga Građevinskom fakultetu u Beogradu. Brzina se meri kombinacijom doplerove metode i korelacijom dva uzastopna merenja. Na taj način uređaj obradom reflektovanog signala određuje brzine u više preseka po dubini – snima profil brzine iznad same sonde (desni deo slike 2). Površina poprečnog proticajnog preseka (A) zavisi od odabranog profila kanala, kao i od dubine (h) koja se meri na dva načina: senzorom za pritisak i ultrazvučnim senzorom kroz vodu. S obzirom na profil preseka, protok se računa i prikazuje direktno na displeju uređaja. Osim protoka na displeju se prikazuju srednja vrednost brzine i dubina. Pored toga, uređaj meri brzine u više preseka po dubini, pa je omogućen i prikaz rasporeda brzina po dubini (slika 2).



Slika 2: NIVUS korelaciona sonda i izmereni raspored brzina

MAINSTREAM sonde (slika 3) za merenje protoka rade na klasičnom principu doplerovog efekta, ali ne snimaju raspored brzina po dubini već mere jednu, osrednjenu brzinu. Uređaj radi u kontinualnom režimu: jedna ultrazvučna glava kontinualno emituje ultrazvuk a druga stalno prima reflektovani ultrazvuk koji je frekventno pomeren u zavisnosti od brzine čestica u vodi. Sonde mere i evidentiraju protoke za otvorene kanale (od 150 mm do 3 m) i polu-ispunjene cevi, od čiste vode do neprečišćene otpadne vode. Mainstream sonde su povezane sa Winfluid softverom. Obradeni podaci mogu da se prikažu u vidu histograma brzina, gde histogram pokazuje samo distribuciju brzina (pozitivne i negativne) iznad sonde ali ne i stvarni raspored brzina po dubini vode. Protok softver obračunava na osnovu svih ovih vrednosti pri čemu je omogućeno uzimanje u obzir i nizvodnih efekata.

HYDROVISIOIN sonde (slika 4) kao i MAINSTREAM rade na doplerovom principu obrade reflektovanog ultrazvuka, bez mogućnosti snimanja profila brzina po dubini. Sonde su zgodne za terenski rad jer mogu neprestano da rade čak i do 90 dana sa mernim intervalima od po 5 minuta. Pored nivoa i protoka, loger može da beleži i kvalitet mernog signala i napon baterije. Osim što se merenje vrši pomoću UZV zraka, unutar sonde se nalazi i senzor pritiska kojim se meri nivo vode, mernog opsega do 3,5m. Merenje nivoa se takođe vrši i UZV senzorom koji je ukombinovan sa senzorom za brzinu. Zbog malog kućišta elektronike i njegovog valjkastog oblika, lako se montira na svakoj lokaciji. Kućište elektronike je posebno prilagođeno za montažu na penjalice u oknu (šahtu). Postoji više vrsta GSM antena za eksternu konekciju koje se koriste zavisno od potreba. Valjkasta GSM antena koja se ubuši u šaht posebno je primenjiva za kanalizacione uslove.

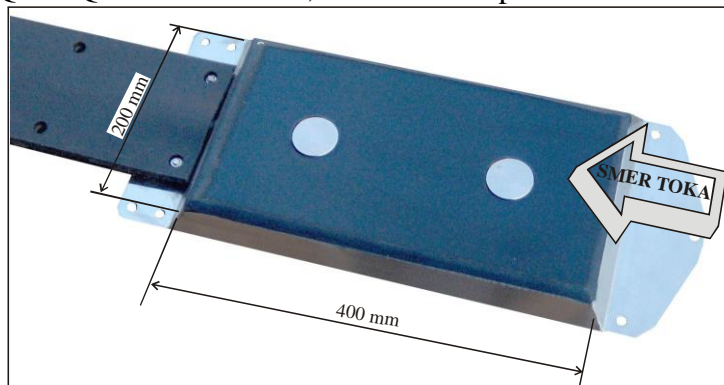


Slika 3: Mainstream sonda



Slika 4: Hydro Vision sonda sa pratećom opremom

Poslednja ispitvana sonda ne koristi ultrazvučni dopler princip za merenje brzine već elektromagnetni: EM sonda DC2-FLAT proizvođača Svet Instrumenta, Beograd (slika 5). Princip merenja brzine je baziran na Faradejevom zakonu indukcije: u senzoru se nalazi elektromagnet koji pravi magnetno polje oko sonde, a elektrode na sondi mere indukovane električne napone u pokretnoj provodnoj tečnosti. Prema Faradejevom zakonu taj napon je linearna funkcija brzine tečnosti u mernoj zoni. Merna zona je određena dubinom prodiranja magnetnog polja i dostiže do 150 mm. Sonda se koristi za merenje protoka u cevovodima i otvorenim tokovima. Ima širok opseg merenja $Q_{min}:Q_{max}$ i do 1:1000, meri brzine ispod 1 cm/s i može da meri protoke u oba smeru.



Slika 5: Elektromagnetna FLAT sonda firme SI

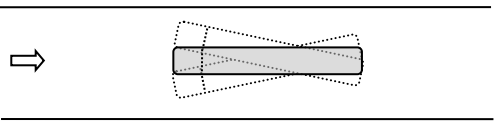
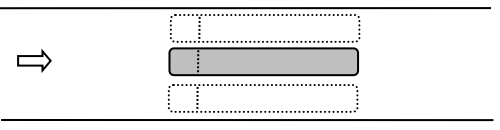
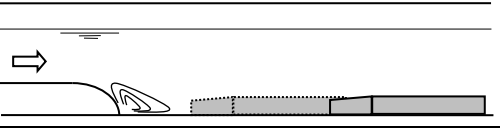
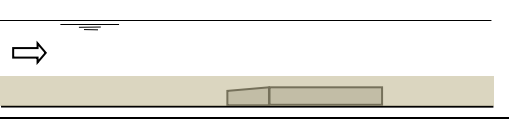
Za merenje dubine DC2-FLAT koristi nezavisni ultrazvučni senzor za merenja kroz vazduh. Protok se računa kao proizvod srednje brzine i površine toka. Za male dubine vode, ispod merne zone brzinomera, proračun protoka se bazira samo na merenju dubine. Kada nivo poraste računski jedinica koristi informacije o dubini i brzini sa elektromagnetnog senzora uz istovremenu autokalibraciju računске (nivometrijske) metode koja se koristi u slučaju malih dubina (Cvitkovac i ostali, 2010). U slučaju kada je sistem potpuno ispunjen vodom računski jedinica koristi samo signal davača brzine. Merene veličine se mogu čuvati u ugrađenom logeru ili slati putem GSM/GPRS modema na SCADA-u.

4 Program ispitivanja

Program provere merača protoka za potrebe merenja u kanalizacionom sistemu je podeljen u četiri faze:

- a) Provera rada sonde u čistoj vodi, pri malim brzinama. U posebnom kanalu, korišćena je vodovodska čista voda. Uspostavljene su brzine od 0,025 m/s, koje su na samoj granici rada ultrazvučnih senzora.
- b) Provera merača u pogledu uticaja mutnoće vode: provereno je 6 sonde. Eksperiment se za svaku mutnoću sprovodio za dva slučaja: u mirnom režimu i u burnom režimu tečenja. Cilj je bio da se utvrdi donji prag mutnoće za koji sonde daju kvalitetne rezultate.
- c) Provera merača u pogledu uticaja režima tečenja i profila brzina. Cilj je bio da se proverí rad merača protoka u različitim hidrauličkim uslovima. Da bi se izolovali samo hidraulički uslovi obezbeđeno je merenje pri adekvatnoj mutnoći vode.
- d) Provera merača u pogledu uticaja uslova ugradnje sonde i nanosa na rad sonde. Cilj eksperimenta je provera rada mernih uređaja u neregularnim uslovima. Ovaj eksperiment je bilo potrebno izvesti u mirnom režimu ($V_{sr} > 0,5$ m/s) pri optimalnoj mutnoći vode. Neregularni uslovi koji su proveravani (prikazano u tabeli 1) su:
 1. Rotacija sonde (simulacija pogrešnog ugla montaže)
 2. Uticaj zida kanala (nesimetrično postavljena sonda)
 3. Neuniforman raspored brzina (sonda postavljena blizu prepreke)
 4. Uticaj nanosa na rad sonde

Tabela 1: Uticaj ugradnje sonde i uticaj nanosa

1. Rotacija sonde	
2. Uticaj zida kanala	
3. Neuniforman raspored brzina	
4. Uticaj nanosa	

5 Rezultati merenja i diskusija

5.1 Male brzine i čista voda

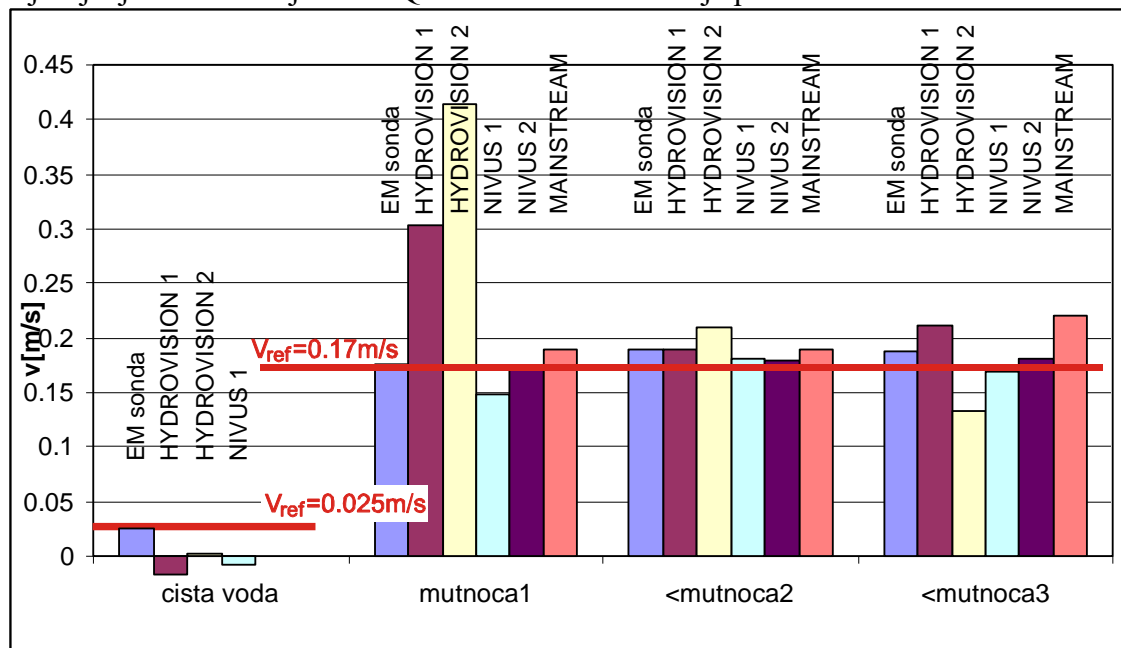
Prva serija merenja je bila u kanalu sa čistom vodom iz vodovoda. Sonde su većinom pokazivale tačne ili približno tačne vrednosti nivoa, zato što su nivo merile na osnovu hidrostatičkog pritiska. Na osnovu podataka koje su prikazivale za brzinu i protok, utvrđeno je da su sve ultrazvučne sonde ponašaju kao da se nalaze u vodi koja se ne kreće, brzine su bile jednake nuli a protoci čak i negativni. Jedino je EM sonda radila

normalno, mereći brzine i manje od 0,1 m/s. Rezultati su prikazani na slici 6, na levoj strani dijagrama.

Dobijeni rezultati su donekle i bili očekivani s obzirom na princip rada ultrazvučnih doplerovih sonde, tj. u čistoj vodi ne postoje čestice koje zraci mogu da se odbiju. Takođe, ultrazvučne sonde teško mogu da mere male brzine i u takvim slučajevima ili pokazuju nulti protok ili daju na posebnom mernom kanalu signal greške.

Posmatrajući profil brzina koji NIVUS sonda povremeno uspe da izmeri i pri nešto većim brzinama od minimalnih, može se uočiti da dominira slučajna greška izmerene brzine u određenom prozoru (na određenoj dubini). Ovakav profil bi se morao korigovati prema teorijskom profilu u toku obrade rezultata što znači da izračunavanje protoka uz pomoć ultrazvučnog uređaja u čistoj vodi nije pouzdano.

Kod NIVUS sonde je primećena još jedna situacija kada se prikazuju pogrešni rezultati. Naime, kada je sonda bila stavljena u vodu koja je stvarno mirovala, na displeju se pokazivo neki protok. To se desilo zato što su prethodno bili upisani parametri kanala u kome se merilo, a kada je sonda izvađena iz kanala i stavljena u kofu sa vodom, na osnovu izmerenog nivoa pomoću ultrazvuka, sonda je prema programiranoj teoretskoj Q-H krivoj, koja se aktivira kada brzine padnu ispod unapred definisanih, proračunala neku odgovarajuću vrednost protoka, iako je stvarna i prikazana brzina bila jednaka nuli. Osnovni problem je u tome što je protok, izračunat preko Q-H krive, bez ikakvog upozorenja prikazan na displeju uređaja. Pored nedostatka upozorenja na displeju, ni u uputstvu koje je isporučeno uz uređaj ne postoji objašnjenje kada uređaj koristi Q-H krivu za određivanje protoka.



Slika 6: Dijagram poređenja dobijenih rezultata 6 ispitivanih sonde u mirnom režimu

5.2 Uticaj mutnoće u mirnom i burnom toku

U slučaju mirnog toka, pri brzinama koje su malo manje od 0,2 m/s, sve sonde su radile stabilno, ali samo u relativno mutnoj vodi. Na slici 6, desni deo dijagrama, su date merene brzine pomoću različitih sonde, pri postepenom povećanju mutnoće.

U mirnom režimu i pri maloj mutnoći vode profili brzina koje pokazuje NIVUS sonda na displeju pokazuju značajna kolebanja brzina. Može se primetiti da se za veće brzine i za zamućenu vodu izmereni profili brzina približavaju teoretskim. Što se tiče burnog režima, rezultati su uglavnom slični za različite mutnoće. Razlog tome može se naći u adekvatnoj brzini koju ultrazvuk može lepo da meri.

U burnom režimu se pojavio problem što je voda pomerila sondu. Zbog toga je bilo neophodno da se sonde fiksiraju nosačima predviđenim za to. Međutim i sami nosači su izazivali značajan uticaj na tok vode. Nosač za Mainstream sondu je čak zbog svojih dimenzija, pri određenom protoku, sam pravio hidraulički skok, pa su greške merenja bile velike, a samo očitavanje i nastavak merenja u burnom režimu pomoću ove sonde je bio bespredmetan.


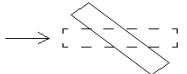

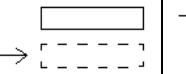
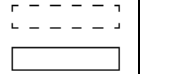
5.3 Uticaj montaže sonde

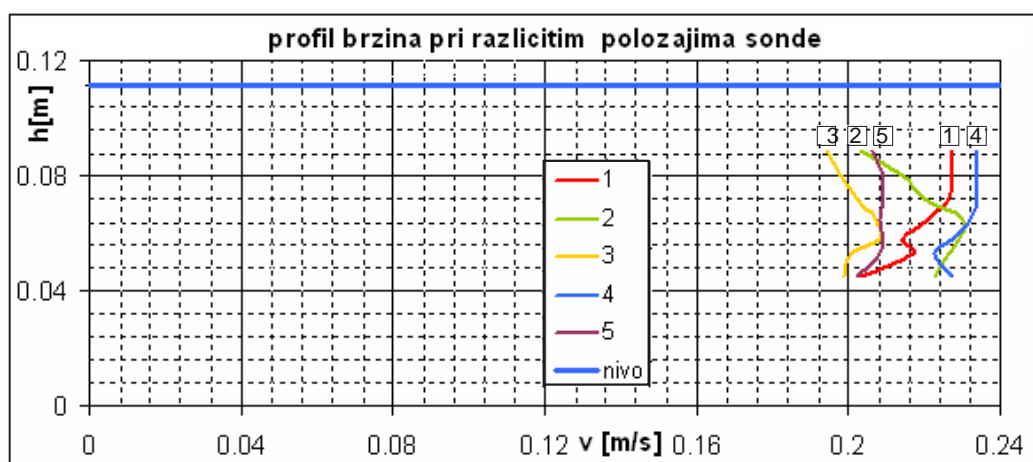
U tabeli 2 su prikazani ispitivani položaji sonde u laboratorijskom kanalu. Razlike u brzinama (slika 7) su znatne i za translaciju sonde uz zidove kanala i za rotaciju sonde. Na slici su prikazani samo rezultati NIVUS sonde, jer se lepo vidi uticaj ugla i blizine zida kanala na „snimljeni“ profil brzina po dubini.

Kod elektromagnetne sonde uticaj ugla dolazne fluidne struje je „kosinusni“: izlazni signal je pomnožen sa kosinusom ugla.

Iz dobijenih rezultata se može zaključiti da način kako je postavljena sonda znatno utiče na izmereni raspored brzina čime se lako kompromituje rezultat izračunatog protoka.

Tabela 2: Ipitivani položaji sonde

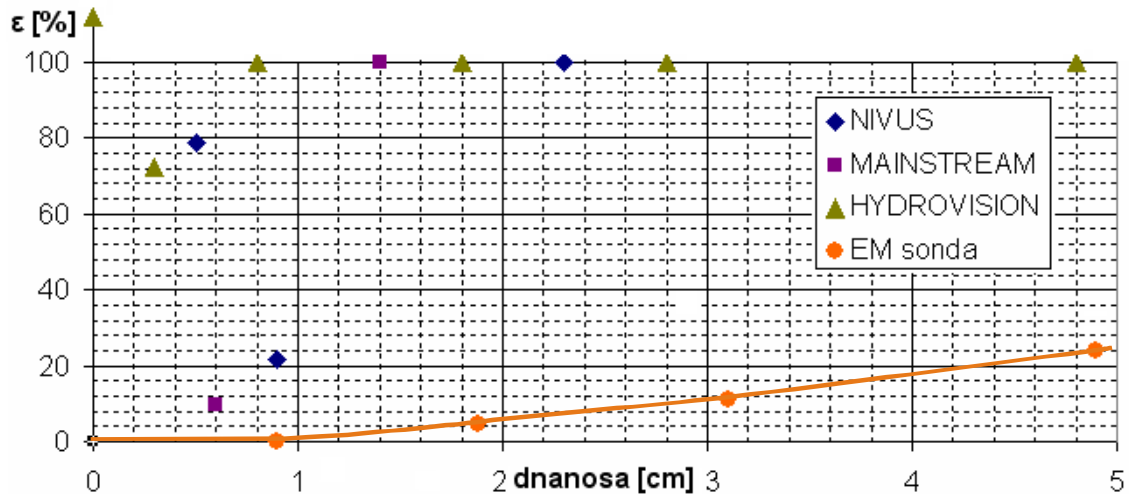
Položaj 1	Položaj 2	Položaj 3	Položaj 4	Položaj 5
				



Slika 7: Profili brzina pri različitim položajima Nivus sonde (redni broj linije odgovara rednom broju položaja sonde prema tabeli 2)

5.4 Uticaj debljine naslaga na sondi

U kanalizaciji se često događa da su brzine u određenom periodu male pa dolazi do istaložavanja raznih materija. Takođe, najlon kese, vata i drugi „artikli“ se redovno nalaze u otpadnoj vodi (slika 9). U laboratorijskim ispitivanjima je simulirano relativno „čisto“ zagađenje postepenim nasipanjem sitnog peska. Na taj način je pokušana simulacija nanosa. Na slici 8 je prikazan dobijen rezultat, u vidu relativne greške u merenju protoka.



Slika 8: Uticaj debljine nanosa na relativnu grešku rezultata merenja protoka

Praktično sve ultrazvučne sonde su prestale sa radom (greška 100%) pri nanosu debljine 1cm (slika 8). To je i logično: ultrazvučni senzori nemaju dovoljno snage da naprave dovoljno jak impuls koji će se „probiti“ kroz nanos.



Slika 9: Realni radni uslovi UZV sonde NIVUS – nanos i kese blokiraju rad senzora

Sa druge strane, elektromagnetna sonda radi nesmetano i u uslovima nanosa. Jedino se postepeno smanjuje tačnost, jer se smanjuje aktivna dubina u kojoj sonda „integrali“ brzinu vode. Dobijeni rezultati pokazuju da i kad je sonda pokrivena nanosom debljine 2,5 puta većim nego što je debljina same sonde, ona i dalje radi sa greškom oko 25%. Pri tome korisnik u signalu impedanse, koji se meri paralelno sa korisnim signalom brzine, može da vidi da se „nešto čudno događa“.



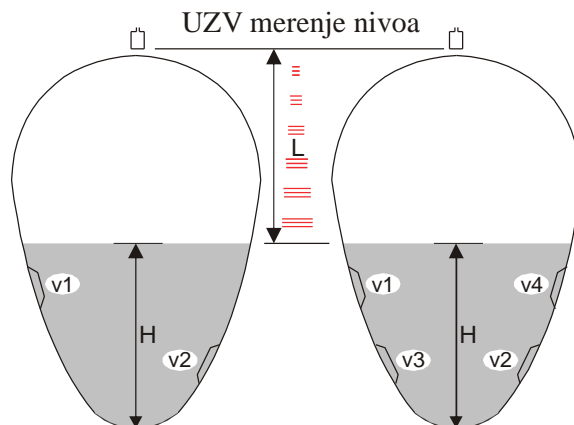
Slika 10: Realni radni uslovi sonde za merenje protoka u kanalizaciji: ispust visine 4 m potpuno potopljen visokom kotom Dunava sa brzinama u toku dana manjim od par centimetara u sekundi i velikim nanosom preko sonde

6 Zaključak

U ovom radu je prikazan deo rezultata laboratorijskog testiranja više mobilnih ultrazvučnih mernih uređaja i jedne elektromagnetne sonde na neke nepovoljne okolnosti koje se mogu javiti u kanizacionom sistemu. Uređaji su testirani na merenje u čistoj vodi, merenje pri malim dubinama i brzinama, merenje pri različitim režimima tečenja, merenje pri promeni režima tečenja, merenje kada su uređaji opterećeni nanosom i slično.

Rezultati istraživanja nedvosmisleno ukazuju da je, iako se upotreba mobilnih ultrazvučnih mernih uređaja čini elegantnijom od ostalih adekvatnih mernih metoda, neophodno voditi računa o uslovima u kojima se merenje obavlja da bi se dobili pouzdani rezultati.

Sa druge strane, elektromagnetna sonda se pokazala znatno otpornijom i na male brzine i na nanos. U toku eksperimenata je EM sonda čak pokrivena najlon kesom, ali je ona i dalje korektno radila. Jedini nedostatak elektromagnetne metode je što ne može da meri profil brzina po dubini, već je njena merna zona direktno povezana sa veličinom sonde i jačinom magnetnog polja. Zbog toga se preporučuje u većim kolektorima postavljanje većeg broja EM sonde (slika 11). To ne podiže značajno cenu uređaja, jer jedna elektronika može da obrađuje signal sa više EM sonde.



Slika 11: Kod većih kolektora preporučljivo je korišćenje više EM sonde

Važan zaključak obavljenih ispitivanja je da je prilikom postavljanja merača na odabranu lokaciju neophodno sprovesti kalibraciju merne lokacije neovisno o tipu/modelu sonde. Ovu kalibraciju je potrebno sprovesti u minimalno 3 tačke protoka, koristeći sonde za merenje brzine u tački (mikrokrila, ultrazvučne ADV sonde i slično) (Jovanović i ostali, 1977). U slučaju da se ovakva kalibracija ne uradi i da se ne izrazi merna nesigurnost, tačnost merenja može biti znatno niža od očekivanih $\pm 5\%$, koliko je zahtevano po ISO/TR 8363 Measurement of liquid flow in open channels - General guidelines for selection of method (Pilko i ostali, 2011).

Zahvalnost

Rezultati istraživanja prezentovani u ovom radu su finansirani u okviru naučnog projekta Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije broj TR 37010 "Sistemi za odvođenje kišnih voda kao deo urbane i saobraćajne infrastrukture". Zahvaljujemo se kolegama iz KD Vodovod i kanalizacija d.o.o. Rijeka i Beogradskog vodovoda i kanalizacije, na trudu da donesu opremu u Laboratoriju i obave niz merenja.

Literatura

1. Branislavljević N., D. Prodanović, D. Pavlović (2010): Automatic, semi-automatic and manual validation of urban drainage data. *Water Science and Technology*, Vol. 62, No. 5, Pages: 1013-1021.
2. Cvitkovic M., D. Prodanović, V. Vučurević (2010): Elektromagnetne sonde za merenje protoka otpadnih voda - primer Beogradske Kanalizacije. 10-ta međunarodna konferencija: Vodovodni i kanizacioni sistemi, Jahorina, Pale, Republika Srpska, strane: 231-239.
3. Drenthen, J.G. (1987). *Accoustic Discharge Measuring Devices. Discharge and Velocity Measurement. Short course by IAHR Section on Hydraulics Instrumentation.* Editor: A. Müller.
4. Đaćić A., N. Branislavljević, J. Rukavina, D. Prodanović, A. Jauković (2012): Izazovi pri merenju protoka u kanalizaciji mobilnim ultrazvučnim uređajima. 12-ta

- međunarodna konferencija: Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, Pale, Republika Srpska, strane 236-243.
5. Đačić A. (2012): Usporedna analiza sonde za mjerenje protoka. Diplomski rad. Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet.
 6. Hydreka: Mainstream TM - Portable flowmeter for Open Channels and Part-filled Pipes
 7. Hydrovision: Acoustic flow measurements and their applications, Manual
 8. Jauković A., M. Mihajlović, D. Prodanović, J. Vukić, D. Bićanić (2010): Measurement of waste water quantity and quality at Belgrade sewerage and stormwater system. Regional Expert Meeting: Regional Rainfall 2010, Beograd. Edited by J. Despotović.
 9. Jovanović S., O. Bonacci i M. Andjelić. (1977). Hidrometrija. Građevinski fakultet Beograd.
 10. Nivus GmbH: Instruction manual for PCM Pro Measurement device
 11. Pilko J., J. Rukavina, D. Grbelja, E. Zaimović (2010): Praćenje oborinskog otjecaja u fekalnoj kanalizaciji industrijske zone Kukuljanovo – „best practice“, Stručno-poslovni skup s međunarodnim sudelovanjem - Aktualna Problematika u Vodoopskrbi i Odvodnji, Pula.
 12. Pilko J., J. Rukavina, E. Zaimović (2011): Problematika praktičnih hidrometrijskih merenja u kanalizaciji – novi zahtjevi Zakona o Vodama, XI Međunarodna konferencija ViK, Jahorina.
 13. Prodanović D. (2007): Selecting monitoring equipment. Data Requirements for Integrated Urban Water Management. Edited by: Tim Fletcher and Ana Deletić. Taylor & Francis, ISBN 978-0-415-45344-8. Pages: 91-102.
 14. Rukavina J., E. Zaimović, J. Pilko, A. Jauković (2011): Usporedba merenja protoke u kanalizacijskim uvetima ultrazvučnim brzinskim meračima različitih proizvođača, Stručno-poslovni skup s međunarodnim sudelovanjem - Aktualna Problematika u Vodoopskrbi i Odvodnji, Vodice.
 15. Svet Instrumentata, Krajinska 1, 11351 Vinča, cvitkovac@yahoo.com