

Primena inovativnih rešenja za merenja protoka u kanalizacionim mrežama: Iskustva stečena u Indiji, Staroj Pazovi i Novim Banovcima

Damjan Ivetić, mast.građ.inž.

Robert Ljubičić, mast.građ.inž.

Miloš Milašinović, mast.građ.inž.

Dragutin Pavlović, dipl.građ.inž.

Dušan Prodanović, dipl.građ.inž.

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

divetic@grf.bg.ac.rs

Rezime

Upravljanje i strateško planiranje razvoja kanalizacionih sistema se zasniva na pouzdanom poznavanju rada mreže. Mereni podaci o radu mreže, prvenstveno dinamika promene protoka i nivoa u suvom i kišnom periodu, uglavnom su skromnog obima. Usled ograničenih budžeta, komunalna preduzeća retko investiraju u formiranje stalnih mernih mesta. Samim tim, prilikom planiranja kapitalnih investicija, npr. postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, nedostajući podaci se obezbeđuju kratkoročnim mernim kampanjama na privremenim mernim mestima. Ključni izazovi pri sprovođenju mernih kampanja su povezani sa lokacijski i hidraulički nepovoljnim mernim lokacijama. Izvođači merenja zato kombinuju merne metode i tehnologije, ili primenjuju inovativna rešenja da bi obezbedili zadovoljavajući kvalitet podataka. U ovom radu su prikazana upravo dva inovativna rešenja osmišljena na Institutu za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu na kampanji merenja u kanalizacionim sistemima Indije, Stare Pazove i Novih Banovaca.

Ključne reči: kanalizacioni sistemi, merenje protoka, elektromagnetni senzori, kamere, pad pijezometarske linije.

Application of innovative flow measurement solutions in sewer networks: Experience acquired in Indija, Stara Pazova and Novi Banovci

Abstract

Sewer system management and development planning relies on the knowledge of the network operation. Reliable network hydraulic data, mainly the dynamics of the flow and level variations in dry and wet periods, are mostly scarce. Constrained by limited budget, water utilities seldomly invest in permanent monitoring stations. When capital investments as wastewater treatment plant (WWTP) are planned, hydraulic data are acquired through short measurement campaigns. Challenges in the execution of the measurement campaigns are mostly correlated to hydraulically and organizationally unfavorable measurement locations. Responsible engineers combine different sensor technologies or innovative solutions to ensure data quality. This paper presents results the innovative flow measurement solutions developed at the Institute for Hydraulic and Environmental Engineering of Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, in Indjija, Stara Pazova and Novi Banovci sewers.

Keywords: sewer systems, flow measurement, electromagnetic sensors, cameras, hydraulic gradient

1. UVOD

Upotrebljena voda, u skladu sa navikama stanovništva i industrije, završava u kanalizacionoj mreži, pomoću koje se, u nepovoljnim slučajevima, ispušta u lokalno vodno telo ili, u povoljnijim okolnostima, sprovodi do postrojenja za prečišćavanje otpadne vode (PPOV) gde se nakon tretmana opet ispušta. Nažalost, stepen pokrivenosti opština (ili jedinica lokalne samouprave) u Srbiji, sa odgovarajućim PPOV je i dalje relativno nizak (oko 20%) [1]. U poslednjoj deceniji, intezivirane su aktivnosti na projektovanju i izgradnji PPOV na teritoriji Republike Srbije.

Dimenzionisanje PPOV, uz odabir odgovarajućih tehnoloških procesa prečišćavanja, vrši se na osnovu podataka o količini vode i količini i vrsti polutanata [2]. Kako su se usled ograničenih budžeta, kao i specifičnih istorijskih socioloških procesa, nadležna komunalna preduzeća retko odlučivala za investicije u formiranje kontinualnih mernih mesta u kanalizacionim sistemima – evidentan je značajan nedostatak realnih podataka o radu kanalizacionih mreža (protoci, nivoi i polutanti) potrebnih za dimenzionisanje PPOV. Posledično, praksa je da se u projektnoj fazi izgradnje PPOV organizuju merne kampanje sa ciljem da, koliko je moguće, nadoknadi navedeni manjak podataka. Konceptualno, zadatak mernih kampanja je da se formiranjem dovoljnog broja privremenih mernih mesta, na ključnim lokalitetima unutar kanalizacione mreže, u relativno kratkom vremenskom periodu (od 2 nedelje do

2 ili 3 meseca) prikupe relevantni podaci o dinamici protoka, nivoa i koncentracija polutanata, kako u suvom tako i u kišnom periodu. Odabir lokacija mernih mesta diktira topologija kanalizacione mreže kao i prostorni raspored i tip objekata priključenih na mrežu. Najveći problem u organizaciji, iz prizme pouzdanosti merenja, je činjenica da se privremena merna mesta često formiraju na lokacijski i hidraulički nepovoljnim delovima kanalizacione mreže za primenu konvencionalnih metoda (npr ultrazvučnih dopler protokomera, [3]) za merenja protoka i nivoa. Pored toga, postoji realan rizik da u ugovorenom periodu merenja ne bude odgovarajućih padavina koje bi proizvele reprezentativan uticaj u kanalizacionu mrežu.

Budući da ne postoji univerzalna merna metoda ni merni instrument, koji se u svim uslovima može jednako pouzdano koristiti, potrebno je odabrati optimalno rešenje za svako pojedinačno merno mesto. Ključni uticaj imaju [4] hidraulički uslovi na mernom mestu, fizičke karakteristike vode, geometrijske karakteristike cevi/kolektora, uslovi sredine, odnosno uslovi za montažu i obilazak opreme, potrebna dužina merenja, kao i ekonomska cena primene određenog rešenja. Prethodno navedeni lokacijski i hidraulički nepovoljni delovi mreže, u kojima je planirano formiranje privremenih mernih mesta, su specifični po tome što u većini slučajeva ne postoji jedna merna metoda koja se može natom mestu pouzdano iskoristiti. Najčešće je neophodno kombinovati više metoda, gde se sa jednom pokriva samo deo spektra mogućih hidrauličkih uslova (protoka), ili čak primenjivati određena inovativna rešenja, kako bi se obezbedio dovoljan kvalitet izmerenih podataka. Sa druge strane, kod primene inovativnih rešenja postoji puno nepoznanica kao i nepredvidivih izazova sa kojima se treba suočiti, i ako je potrebno razrešiti ih „u hodu“.

U ovom radu fokus je stavljen na uslove i rezultate primene nekih inovativnih rešenja, razvijenih na Institutu za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo Građevinskog fakulteta u Beogradu, za merenje protoka i nivoa vode na nepovoljnim privremenim mernim mestima. Analizirana su dva inovativna rešenja primenjena u okviru iste merne kampanje. Kampanja je organizovana radi prikupljanja relevantnih podataka za dimenzionisanje PPOV za naselja Indija (sa Beškom), Stara i Nova Pazova i Novi Banovci.

Prvo rešenje je primenjeno u šahtu sa kaskadom na ispustu u Novim Banovcima, gde je postavljena baterijski napajana kamera osetljiva na blisko-infracrveni deo spektra svetlosti (Near InfraRed - NIR, za rad u noćnim uslovima) sa internim logerom. Naknadnom fotogrametrijskom analizom

prikupljenih snimaka rekonstruisani su nivoi i protoci. Prikupljeni rezultati su pokazali odlično slaganje sa protocima izmerenim pomoću kalibrisane Q-H krive. Drugo rešenje je primenjeno u Kamenjarevoj ulici u Staroj Pazovi, gde je pomoću tri merila nivoa meren pad pijezometarske/energetske linije, a posredno i protok, u uslovima gde je cela deonica cevovoda pod pritiskom, sa dubinama vode u šahtovima od preko 5 metara. Na obe lokacije je primenjena kombinacija kontinualnih merenja (ugrađena oprema koja više dana kontinualno meri nivo i protok) i trenutna merenja (ad-hoc merenje trenutnog protoka) za proveru rada kontinualnih merača.

Rad je strukturiran tako da su u drugom poglavlju opisane specifičnosti analiziranih mernih mesta u Staroj Pazovi i Novim Banovcima. Zatim su ukratko dati detalji razvijenih i primenjenih inovativnih rešenja za merenja protoka, sa osvrtom na probleme u primeni ovih i konvencionalnih rešenja. Konačno, prikazani su i analizirani prikupljeni rezultati, na osnovu čega su izvedeni preliminarni zaključci o potencijalu, prednostima i manama primenjenih rešenja i dati predlozi daljeg razvoja i istraživanja.

2. ANALIZIRANA MERNA MESTA

Merna kampanja na teritoriji naselja Inđija, Stara Pazova, Nova Pazova i Novi Banovci je organizovana i sprovedena krajem 2022. i početkom 2023. godine. Ukupno je opremljeno pet privremenih mernih mesta na ključnim lokalitetima navedenih naselja, kao što su ispusti i odvodni kolektori bilo u stambenim ili u industrijskim zonama. Odgovorni za sprovođenje merne kampanje je bio Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, a kooperant je bilo domaće preduzeće koja se bavi proizvodnjom merne opreme i metrološkim uslugama, Svet instrumenata d.o.o. [7].

Uobičajeno, pri formiranju svakog od privremenih mernih mesta javljali su se određeni problemi i izazovi, kao što su npr. previsoki nivoi vode u šahtovima, konstrukcijska oštećenja zidova, poklopaca i penjalica šahta, itd. Blagovremenim pripremnim radnjama i efikasnom koordinacijom aktivnosti sa nadležnim javnim komunalnim preduzećima, većina je uklonjena i sanirana. Međutim, na dve lokacije, uprkos veoma konstruktivnom pristupu svih angažovanih strana, problemi nisu mogli biti sanirani u dogledno vreme. Takođe, imajući u vidu topološke specifičnosti kanizacionih mreža, kao i ograničen broj komada merne opreme, nije bilo moguće promeniti lokacije mernih mesta, a da se ne ugrozi značajno reprezentativnost izmerenih

podataka. U nastavku je dat kraći opis specifičnosti dva problematična merna mesta u Staroj Pazovi i Novim Banovcima.

Stara Pazova

Kanalizacija za upotrebljene vode u Staroj Pazovi prikuplja uglavnom komunalne upotrebljene vode i sprovodi do magistralnog kolektora. Postoje dva značajna priključka na magistralni kolektor, od kojih jednim ide približno 5 – 10% upotrebljenih voda iz naselja i koji nije obuhvaćen ovom mernom kampanjom i drugi, ovde analiziran, ka kome gravitira oko 90% upotrebljenih voda. Na slici 1., je dat ortofoto snimak sa „GoogleEarth“ servisa, lokacije odvodnog kolektora koji se priključuje na magistralni cevovod sa pozicijama šahtova od interesa za mernu kampanju (Š_{SP1}, Š_{SP2}, Š_{SP3} i Š_{SP4}).



Slika 1. Ortofoto snimak lokacije obuhvaćene mernom kampanjom u Staroj Pazovi – cevi (isprekidane linije) i šahtovi (krugovi)

Figure 1. The Stara Pazova orthophoto of the campaign network reach – pipes (dotted lines) and manholes (circles)

Duž celog poteza, označenog žutom isprekidanom linijom, pruža se kolektor koji je po projektnoj dokumentaciji prečnika $\Phi 600$ mm. Dubina šahtova varira (od kote površine do dna šahta) između 6 i 7.5 m. Pri prvom obilasku terena uočeno je da je ceo kolektor pod pritiskom, sa nivoom vode na rastojanju od 1.5 do 2 m od površine terena, odnosno u svim šahtovima dubina vode je bila preko 5 m! Dodatno, u svim šahtovima je na površini vode formiran tzv.

„kolač“ od otpada procenjene debljine čak do oko 0,5 m (Slika 2.). Uprkos nekoliko uzastopnih aktivnosti na razbijanju „kolača“ i čišćenju šahtova i

kolektora, kako bi se otpuštavanjem pokušao oboriti nivo vode, nije dobijen zadovoljavajuć rezultat. Nivoi vode se ostali visoki, a „kolač“ bi se ponovo formirao za dan ili dva. Montaža konvencionalne opreme, koja meri protok principom Brzina-Proticajni presek nije bila moguća u suvom zbog nivoa vode, dok angažman ronilaca za montažu nije bio moguć zbog bezbednosnih rizika povezanih sa prevelikim količinama otpada. Zbog toga je primenjeno rešenje sa merenjem pada pijezometarske linije koje omogućava montažu praktično sa površine terena, i na koje navedeni otpad ne može značajno uticati.



Slika 1. Stanje u Š_{SP2} i Š_{SP3}, tokom montaže opreme
Figure 2. Manholes Š_{SP2} and Š_{SP3} state in regular operation

Novi Banovci

Naselje Novi Banovci ima relativno nizak stepen priključenosti na kanalizaciju za upotrebljene vode i sve prikupljene vode se prikupljaju i ispuštaju kroz jedan ispus u Dunav. Na sabirnom kolektoru prečnika $\Phi 600$ koji vodi ka ispusnoj građevini, nalaze se samo dva šahta koja se mogu iskoristiti za pristup kolektoru i postavljanje merne opreme (Slika 3.). Uzvodni šaht Š_{NB1} je dubine 7,2 m i nalazi se na kolovozu sa umerenim intezitetom saobraćaja. Nizvodni šaht Š_{NB2}, dubine oko 5,0 m, je u neposrednoj blizini ispusne građevine i u njemu se nalazi kaskada kojom se savlađuje denivelacija od 2,7 m. Osovina dovodne cevi se nalazi na 2,5 m od površine terena. Inicijalno, kao optimalno rešenje, usvojeno je da se u uzvodnom šahtu montira elektromagnetni senzor brzine FLAT 400 (Slika 4.), proizvođača „Svet instrumenata“ sa eksternim nivomerom [5,6,7]. Međutim, nakon ugradnje i upoređivanjem sa trenutnim merenjima pomoću ultrazvučnog kros-korelacionog merila protoka ustanovljeno je da elektromagnetni senzor brzine beleži brzine dva do tri puta manje

vrednosti. Kako je eksterni nivomer adekvatno radio, trenutna merenja protoka su iskorišćena za definisanje kalibracionog koeficijenta Q-H krive, odnosno za obezbeđivanje posrednog kontinualnog merenja protoka. Radi dodatne pouzdanosti odlučeno je da se u nizvodnom šahtu Š_{NB}2 postavi NIR Kamera za merenja protoka.



Slika 2. Ortophoto snimak lokacije obuhvaćene mernom kampanjom u Novim Banovcima

Figure 3. The Novi Banovci orthophoto of the campaign network reach – pipes (dotted lines) and manholes (circles)

3. PRIMENJENA METODOLOGIJA MERENJA PROTOKA

Osnova za poređenje i validaciju podataka zabeleženih primenom inovativnih metoda, moraju predstavljati rezultati dobijeni konvencionalnim metodama merenja protoka. Pored kraćeg opisa predloženih metoda, u ovom poglavlju su razmotrene i poteškoće u primeni konvencionalnih pristupa i kako su dobijeni referentni podaci za validaciju.

Stara Pazova

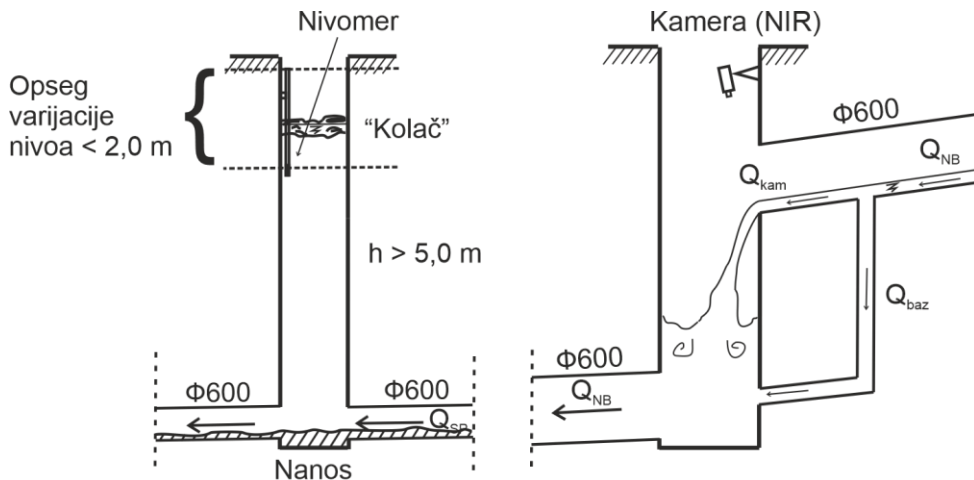
Montaža pod vodom konvencionalnih protokomera (Dopler, ultrazvučni ili elektromagnetni) nije bila moguća ni u jednom od šahtova, zbog visokog nivoa vode i bezbedonosnih rizika. Standardno, u sličnim situacijama se koriste teleskopski štapovi, na čijem kraju se postavi odgovarajući senzor (u ovom slučaju ultrazvučni). Na ovaj način omogućava se da korisnik sa površine terena potopi protokomer u cev i obavi trenutna merenja protoka (fiksiranje i ostavljanje teleskopske palice za kontinualna merenja je veoma loša praksa i dovodi do brojnih problema).

Problem u ovom slučaju je predstavljala činjenica da je dužina teleskopskih štapova (proizvođača NIVUS) do 4,0 m, dok je dubina vode u šahtu bila preko 5,0 m (Slika 4. levo). U radionici Instituta za hidrotehniku izrađen je nastavak od polipropilenskih cevi čime je produžen domet na preko 6,5 m uz smanjenje krutosti nosećeg štapa. Jedini šaht u kome je bilo mogućepouzdana zabeležiti trenutna merenja protoka je Š_{SP1}, u ostalim su nanosne formacije toliko bile visoke, da bi protokomer brzo potonuo u njih i izgubio signal(ili bi se vitoperio bez oslonca).

Trenutna merenja protoka su iskorišćena za kalibraciju primenjene metode merenja protoka preko pada energetske/pijezometarske linije. Osnova primenjene metodologije je činjenica da je u cevima pod pritiskom, protok proporcionalan korenu pada energetske linije ΔE . Brzine strujanje u šahtovima su relativno male, pa zanemarenjem brzinske visine, energetska kota postaje jednaka pijeziometarskoj koti $E = \Pi$ (odnosno $\Delta E = \Delta \Pi$). Odabrano je da se vrši merenje pada pijeziometarske linije između tri šahta Š_{SP1}, Š_{SP2} i Š_{SP3}. Naime, uz pomoć tri tzv. „dajvera“ firme Eijkelkamp (www.royaleijkelkamp.com), montiranih unutar perforiranih polipropilenskih cevi, dužine 2,2 m, beleženi su podaci o visini vodenog stuba iznad senzora (i temperaturi vode), dok je apsolutna kota nivoa vode dobijena uz pomoć geodetskog snimanja kote poklopca šahta i merenjem odstojanja laserskim daljinomerom od kote poklopca do referentne ravni na polipropilenskim cevima (pocinkovani limovi vidljiviji na Slici 2.). Dužina cevi između dva šahta je određena takođe na osnovu geodetskih snimanja. Vrednost protoka je računata upotrebom sledećeg obrazca:

$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta \Pi} \quad (1.)$$

Vrednost koeficijenta k , koji prema Bernulijevoj jednačini zavisi od prečnika cevi D i koeficijenta trenja λ , je određena kalibracijom budući da je direktno određivanje bilo praktično nemoguće. Poseban problem je predstavljalo prisustvo relativno visokih nasloga nanosa na dnu šahta/cevi (Slika 4. levo). Takođe, duž kolektora postoje i bočni doticaji iz dve fabrike, čiji uticaj treba kompenzovati na odgovarajuć način. Konačno, iskustva zaposlenih iz nadležnog JKP su ukazala da se povremeno šaht Š_{SP4} koristi za ilegalno pražnjenje septičkog otpada iz cisterni čime se remeti hidraulička slika u kolektoru.



*Slika 3. Levo) Skica montaže nivomera u potopljenom šahtu u Staroj Pazovi; Desno) skica montaže NIR Kamere u šahtu sa kaskadom u Novim Banovcima
Figure 4. The Novi Banovci settlement manholes in surcharged sewerage flow reach - Left: Scheme of water stage equipment installation. Right: Scheme of NIR camera installation in cascade manhole*

Novi Banovci

Prvo rešenje sa elektromagnetnim senzorom brzine FLAT400 nije dalo zadovoljavajuće rezultate nakon poređenja sa ultrazvučnim protokomerom montiranim na produžen teleskopski štap. Inicijalno, sumnjalo se da u šahtu Š_{NB1}, doticaj od jedne od dovodnih cevi, usmeren suprotno od smera glavnog toka, remeti strujnu sliku iznad EM senzora. Navedena dovodna cev je ugrađena naknadno, nalazi se otprilike 2,0 m iznad dna šahta i dovodi otpadne vode iz obližnjih novoizgrađenih stambenih objekata. Međutim, nakon demontaže ustanovljeno je da je i na dnu kolektora primetno prisustvo mazuta, koji je prekrrio elektrode senzora, uzrokujući oslabljen signal (Slika 5. gore). Sa druge strane, merenja nivoa su se verodostojno podudarala sa merenjima pomoću ultrazvučnog protokomera. Na osnovu trenutnih merenja protoka u različitim hidrauličkim uslovima, i poređenjem sa kontinualnim čitanjem nivoa sa eksternim nivomerom, formirana je Q-H kriva.



*Slika 4. Gore) Elektromagnetni sensor na nosećem limu nakon demontaže; Levo) Kamera pre montaže; Desno) Montirana kamera na mernom mestu
 Figure 5 Above: Electromagnetic flat sensor on metal sheet support after deinstallation. Bottom left: NIR camera before installation, Bottom right: NIR camera in installed position*

Kako bi se obezbedila dodatna sigurnost, u nizvodnom šahtu je montirana eksperimentalna NIR kamera konstruisana na Institutu za hidrotehniku, Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (Slika 5. Desno) [8]. Kamera je postavljena iznad same kaskade, i usmerena je tako da snima kraj dovodne cevi i mlaz koji ističe iz nje. Treba imati na umu da ovaj mlaz predstavlja samo deo protoka kroz kolektor (nazvan Q_{kam}), budući da se deo protoka sprovodi kroz odušak kaskade (Q_{baz}). Na svakih 10 minuta kamera bi se upalila i lokalno memorisala video snimak od 5 s. Naknadno se fotogrametrijskom obradom [9,10,11] video snimaka dobija raspored površinskih brzina, dubina vode i širina

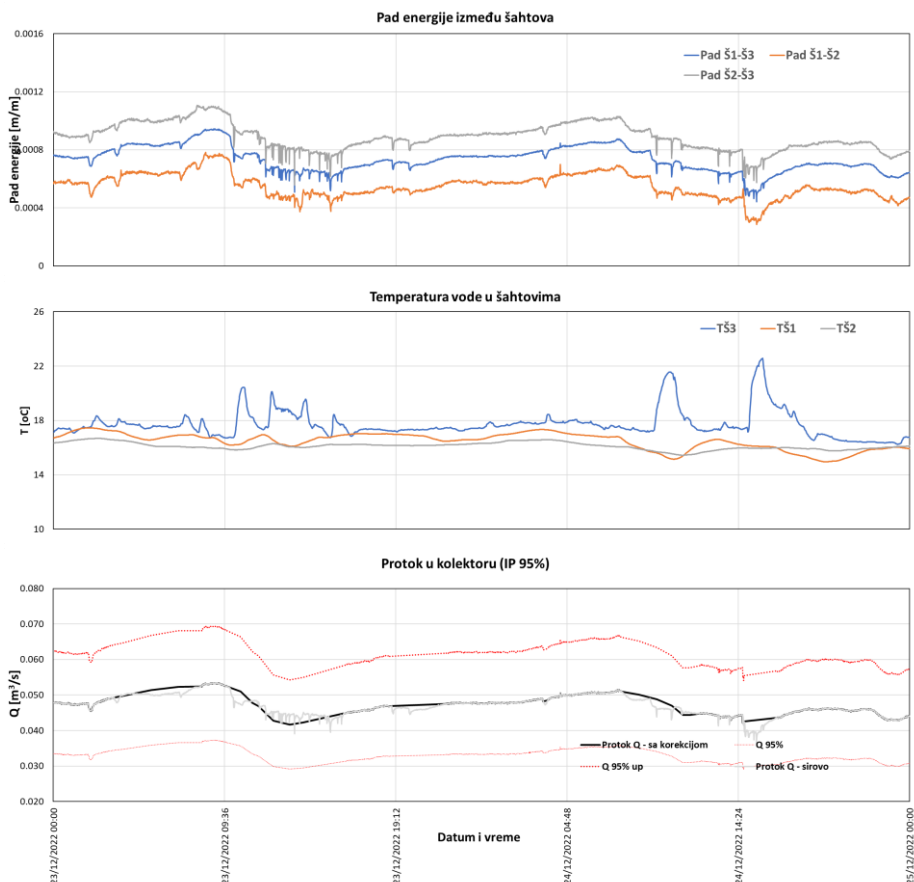
vodenog ogledala. Problem sa optičkim metodama u kanalizacionim sistemima, predstavlja kondenzacija vlage na objektivu kamere što dovodi do beleženja neupotrebljivih snimaka. Uobičajeno se ovaj problem rešava dodatnim grejačem oko objektiva, međutim kako su grejači veliki potrošači struje ovde to rešenje nije primenjeno.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Kontinualno merenje promena nivoa vode i temperatura vode u prethodno spomenuta tri šahta (1, 2 i 3) u Staroj Pazovi je trajao dve nedelje. Sračunati padovi pijezometarske linije u sve tri kombinacije, izmerene temperature u sva tri šahta i sračunat protok kroz kolektor za izdvojena dva dana merne kampanje su prikazani na Slici 6. Iz padova Pi linije može se zaključiti da je veći pad, odnosno veći protok između Š_{SP2} i Š_{SP3}, u odnosu na Š_{SP1} i Š_{SP2}. Ovo je i očekivano budući da je se u nizvodnu deonicu ulivaju otpadne vode iz obližnjih fabrika. Takođe, vide se i nepravilnosti u padovima Pi linije koje su prouzrokovane istakanjem septičkog otpada u Š_{SP4}, što se može registrovati na osnovu porasta temperature vode u najbližnjem šahtu Š_{SP3}. Hidraulički, porast nivoa u Š_{SP4}, dovodi do smanjenja nagiba linije energije pa samim tim i „zagušenja“ protoka. Promena nagiba linije energije ne prati istovetnu dinamiku promena protoka zbog čega su u konačnim rezultatima ove nagle promene korigovane i ublažene. Konačno, može se isto zaključiti da je glavni doticaj u kolektor zapravo posledica infiltracije podzemnih voda, zbog čega dnevne promene protoka nisu značajno izražene.

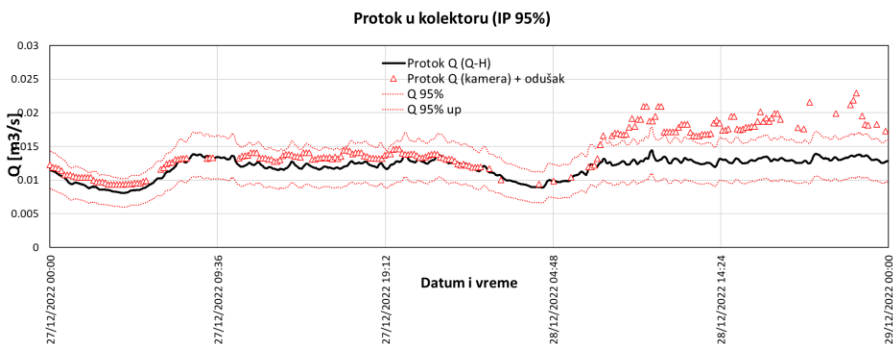
U Novim Banovcima, EM senzor FLAT400 sa eksternim nivomerom je takođe prikupljao podatke u trajanju od dve nedelje, dok su NIR kamerom podaci beleženi samo nedelju dana. Na slici 7. prikazano je poređenje izmerenih protoka dobijenih preko kalibrisane Q-H krive sa intervalom poverenja od 95% i protoka dobijenim primenom NIR kamere, za dva karakteristična dana merenja. Prvog dana, vidi se odlično poklapanje rezultata dok su se drugog dana javila značajna odstupanja. Razlog leži u činjenici da se tokom noći zakačila krpa na čeličnu armaturu zavarenu u dnu kolektora neposredno uzvodno od kaskade, koja je promenila proticajni presek i podigla nivo. Nakon uklanjanja krpe, podaci su ponovo pokazivali veoma dobro slaganje. Bitno je konstatovati da su snimci zabeleženi tokom noćnog perioda uglavnom bili lošijeg kvaliteta i vrednost protoka nije mogla biti procenjena iz njih. Pretpostavlja se da noću sa padom temperature, dolazi do porasta

temperaturnog gradijenta između unutrašnjosti šahta i spoljašnjosti što dovodi do pojačane kondenzacije na objektivu kamere.



Slika 5. Stara Pazova: Gore) Promena pada energije između šahtova; Sredina) Promena temperature vode u šahtovima; Dole) Promena protoka u kolektoru sa intervalom poverenja od 95%

Figure 6. Above: Energy grade vs. Time between manholes. Middle: Temperature vs. Time in manholes, Bottom: 95% confidence intervals Discharge vs. Time record



*Slika 6. Novi Banovci: Promene protoka u kolektoru snimljenih preko kalibrisane Q-H krive sa intervalom poverenja od 95% i preko NIR kamere
Figure 7. Novi Banovci: 95% Confidence Interval Sewerage flow Hydrograph derived from calibrated Stage-Discharge Curve; Stage data was obtained by NIR camera records*

5. ZAKLJUČCI

Projektovanje PPOV se direktno oslanja na postojeće podatke o radu pripadajuće kanalizacione mreže, prvenstveno o dinamici protoka, nivoa i koncentracija polutanata. Često, ovi podaci nisu ažurno prikupljeni zbog čega se u projektnoj fazi organizuju merne kampanje relativno kratkog trajanja koje trebaju da ovaj nedostatak nadoknade. Treba imati na umu da kratko trajanje mernih kampanja ima negativne posledice na reprezentativnost rezultata, budući da se ne vidi sezonska dinamika (leto-zima) a i zabeleženi kišni periodinertko nisu značajni. Ovi nedostaci se jedino mogu nadomestiti formiranjem stalnih mernih mesta, koja bi za potrebe određenih aktivnosti mogla bitodopunjena privremenim lokacijama formiranim tokom mernih kampanja.

Lokacije privremenih mernih mesta se primarno biraju prema topologiji mreže, što neretko dovodi do situacija da se formiraju na pozicijama nepovoljnim za montažu konvencionalne merne opreme. Kako bi se obezbedio zadovoljavajući kvalitet i reprezentativnost izmerenih podataka, mogu se koristiti i neka inovativna rešenja. U ovom radu su prikazana i analizirana dva rešenja razvijena na Građevinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu: merenje protoka preko promene nagiba linije energije i upotrebom NIR kamere. Oba rešenja su dala zadovoljavajuće i smislene rezultate. Dalja istraživanja i primene u drugim situacijama su potrebna za unapređenje metodologija kao i bolji pregled nedostataka predloženih pristupa.

LITERATURA

1. UTVSI (2020). Izvodi iz studije: „Mapiranje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Srbiji“. Pristupljeno 06.04.2023 <https://utvsi.com/mapiranje-postrojenja-za-preciscavanje-otpadnih-voda-u-srbiji/>
2. Qasim, S.R. (1999). Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation, Second Edition (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203734209>
3. Larrarte, F., Bardiaux, J. B., Battaglia, P., & Joannis, C. (2008). Acoustic Doppler flow-meters: a proposal to characterize their technical parameters. *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(5), 261-267.
4. Godley, A. (2002). Flow measurement in partially filled closed conduits. *Flow Measurement and Instrumentation*, 13(5-6), 197-201.
5. Ivetić, D., Prodanović, D., & Stojadinović, L. (2018). Bed-mounted Electro Magnetic meters: Implications for robust velocity measurement in Urban Drainage Systems. *Journal of Hydrology*, 566, 455-469.
6. Ivetić, D., Prodanović, D., Stojadinović, L., & Pavlović, D. (2019). Bed-mounted electro magnetic meters: Assessment of the (missing) technical parameters. *Flow Measurement and Instrumentation*, 68, 101588.
7. Svet Instrumenata d.o.o. <http://www.si.co.rs/>
8. Ljubičić, R., Ivetić, D., Milašinović, M. & Pavlović, D. (2023). Primena kamera i tehnika obrade video zapisa za procenu protoka u kanalizacionim sistemima – iskustva merne kampanje Novi Banovci. *Konferencija „Vodovodni i kanalizacioni sistemi 2023“*. Banja Koviljača 24.5.-26.5.2023.
9. Unmanned Aerial Systems for Monitoring Soil, Vegetation, and Riverine Environments. (2023). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2020-0-02177-8>
10. Ljubičić, R. (2022) „SSIMS-Flow: UAV image velocimetry workbench“. <https://github.com/ljubicrobert/SSIMS-Flow>.
11. Ljubičić, R., Zindović, B., Rosić, N., & Pavlović, D. (2022). SSIMS-FLOW: Alat za procenu protoka u otvorenim tokovima na osnovu polja površinskih brzina iz video zapisa sa lakih bespilotnih letilica. *Vodoprivreda*, 54(317-318), 123-139.