

## Mogućnosti za proračun protoka na kišnoj kanalizacionoj crpnoj stanici – primer KCS Nova 1, Novi Beograd

MILAN PETROVIĆ, Beoinženjering 2000, Beograd

Stručni rad

DUŠAN PRODANOVIĆ, Građevinski fakultet, Beograd UDC: 628.211(1-21)(497.11-20)=861

MILOŠ STANIĆ, Građevinski fakultet, Beograd

NEMANJA BRANISAVLJEVIĆ, Građevinski fakultet, Beograd

*Prilikom izrade matematičkih modela, često se susrećemo sa problemom nedostatka podataka koji se mogu iskoristiti za kalibraciju i verifikaciju modela. U tom slučaju je potrebno na neki način iskoristiti podatke koji se nalaze na raspolaganju i uz pomoć njih izračunati nedostajuće podatke. U ovom radu je objašnjeno kako je moguće dobiti hidrograme oticaja sa sliva kišne kanalizacije, preko izmerenih nivoa vode u bazenu crpilišta, kao i na šta je potrebno obratiti pažnju kako bi se dobili rezultati sa prihvatljivom greškom.*

**Ključne reči:** matematičko modeliranje, proračun protoka, hidrogram oticaja, analiza rezultata

### 1. UVOD

Matematički modeli koji simuliraju određene fizičke sisteme su sve češće u upotrebi. Da bi se formirao korektan matematički model koji verno simulira fizički sistem, potrebno je imati na raspolaganju veran opis samog sistema kao i dovoljno veliki skup podataka koji opisuju ulazne veličine u sistem i izlazne veličine (Ivetić, 1996).

Ukoliko se pravi matematički model kanalizacione mreže, potrebno je obezbediti tačne podatke o položaju cevi (koje su pod zemljom), njihovim prečnicima i nagibima, kao i o povezanosti sa okolnim objektima. Do tih podataka se može doći korišćenjem postojeće tehničke dokumentacije. Međutim, komplikovanije je doći do kvalitetnih podataka o ulazima i izlazima iz sistema. U većini slučajeva ne postoji dovoljno izmerenih podataka, ili izmereni podaci nisu u obliku koji je potreban, ili ne opisuju direktno veličine koje su potrebne za postavljanje graničnih uslova, kalibraciju i verifikaciju modela.

Prilikom izrade modela kanalizacione mreže, izlazni hidrogram (promena izlaznog protoka kroz vreme,  $Q(t)$ ) je osnovni parametar za kalibraciju i verifikaciju modela (Ivetić, 2000). Protok u kanalizaciji se može meriti direktno, ali je merna oprema relativno skupa i zahteva stalno održavanje zbog izuzetno teških radnih

uslova. U ovom radu se daje primer posrednog određivanja izlaznog hidrograma sa jednog dela kišne kanalizacije Novobeogradskog sliva, koji gravitira ka kanalizacionoj crpnoj stanici Nova 1 (Petrović, 2012). Postavljanjem merne opreme koja kontinualno beleži nivoa vode u crpnoj stanici, došlo se do podataka iz kojih je posredno moguće odrediti izlazni hidrogram u kišnoj kanalizacionoj mreži. U radu se daju mogući načini obrade podataka sa procenama dobijene tačnosti. Na kraju se daju i hidrogrami zabeleženi pri „suvom“ oticaju (u periodu kada nema kiše, pa bi oticaj u kišnoj kanalizaciji trebalo da bude nula) kao i pri jednoj kišnoj epizodi.

### 2. OSNOVNO O MODELIRANJU KIŠNE KANALIZACIJE

Modeliranje kišne kanalizacije obuhvata nekoliko osnovnih koraka (Radojković i ostali, 1989):

- izrada modela kišne kanalizacione mreže sa svim bitnim elementima,
- prikupljanje i obrada podataka koji će se koristiti za kalibraciju (i verifikaciju) matematičkog modela,
- kalibracija modela podešavanjem različitih parametara,
- verifikacija modela.

Prilikom izrade modela potrebno je fizički sistem opisati na onoliko detaljnom nivou koliko je zaista potrebno za zahtevani stepen projektovanja (tj. Mo-

Adresa autora: Milan Petrović, Beoinženjering 2000, Beograd, Čučuk Stanina 2

Rad primljen: 13.09.2012.

deliranja). Podaci o kanalizacionim cevima, šahtovima, crpnim stanicama, ispustima i prekidnim komorama (bi trebalo da) postoje i do njih je moguće doći. Takođe, ako je dokumentacija bila ažurna, navedeni podaci imaju zadovoljavajući stepen pouzdanosti i veoma malo doprinose neodređenosti rezultata simulacije.

Za kalibraciju napravljenog modela je potrebno imati podatke o graničnim uslovima, ulazima i izlazima iz sistema. Granični uslov može biti, na primer, izmereni nivo reke na potopljenom ispustu, ili nešto drugo, karakteristično za sliv koji se obrađuje.

Ulazni podaci su podaci o kišama (hijetogram, izmerene količine padavina), podaci o zemljištu (vrsta zemljišta, prethodna zasićenost zemljišta vodom, koeficijent poroznosti...), količini vode koja dotiče sa drugih slivova, infiltracija podzemnih voda i slično. Izlazi iz modela su oni podaci koji se dobijaju kao rezultat simulacije i to su zapremine otekne vode sa sliva, hidrogram oticaja, dubine u pojedinim delovima mreže, brzine ili neka druga vrednost koju je potrebno odrediti simulacijom.

Za verifikaciju modela je potrebno imati podatke pomoću kojih je moguće, za poznate ulaze u model koji se zadaju, proveriti rezultate simulacije i uporediti ih sa izmerenim izlaznim podacima. Na žalost, najčešće nam stvarni izlazi iz sistema nisu na raspolaganju.

### 3. ZAŠTO NEKI PODACI NEDOSTAJU?

Ukoliko je potrebno napraviti i kalibrisati model za kratko vreme, onda nije moguće postaviti opremu za merenje i na taj način prikupiti potrebne podatke o protocima i zapreminama vode koji se javljaju u sistemu. Takođe, ako se razmatra sliv na nekom području gde komunalno preduzeće ima problema sa finansijama, moguće je da ne postoje ranije napravljena merenja na terenu, ili preduzeće nema opremu kojom je moguće izvršiti potrebna merenja. U tom slučaju, potrebno je iskoristiti ona merenja koja već postoje ili jeftinom opremom izvesti nova merenja.

Podatke o padavinama je moguće dobiti od Republičkog hidrometeorološkog zavoda za veći deo Srbije, makar za slivove koji se nalaze u urbanijim delovima zemlje, dok se u ruralnijim oblastima broj kišomernih stanica smanjuje, ali je opet moguće doći do podataka o padavinama u nekom malo udaljenijem slivu i iskoristiti ih u modeliranju.

Podaci o zemljištu se mogu usvojiti ili pretpostaviti na osnovu literature, a zatim u procesu kalibracije preciznije podesiti njihove vrednosti. Takođe, za mnoga urbana mesta postoje ortofoto snimci, sa kojih je moguće prepoznati vrste zemljišta, kao i položaje većih šahtova.

Problem se javlja kod zapremina i brzina vode koje se javljaju u sistemu i na izlazu iz sistema. Nije lako obaviti merenja u kanalizacionoj mreži, jer su to sistemi u kojima se pojavljuju plivajući predmeti, prilikom jačih padavina se mogu javiti tečenja pod pritiskom vode koja u sebi sadrži pesak, kamenje i druge čestice koje mogu dovesti do oštećenja opreme (Prodanović i ostali, 2009). Oprema mora biti u stanju da izmeri veliki opseg vrednosti, jer se u sušnom periodu u sistemu javljaju izuzetno male dubine i brzine vode, dok za vreme kišnih epizoda one mogu dostići veoma velike vrednosti (Prodanović i ostali, 2012). Dodatni problem je što oprema mora da stoji postavljena duži vremenski period u kanalizacionim šahtovima, pa verovatnoća da oprema bude ukradena raste ukoliko se ona ne postavi na mesto koje je pod stalnim nadzorom.

### 4. ŠTA RADITI U TAKVOJ SITUACIJI?

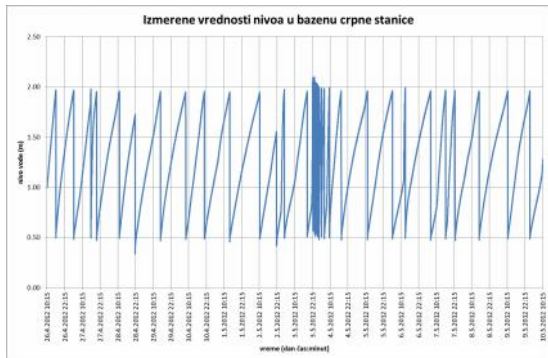
Kanalizacioni sistemi često u sastavu mreže sadrže crpne stanice kojima se voda u kanalizaciji prepumpava sa jednog dela mreže na drugi, u retenzione bazene, na postrojenje za prečišćavanje, ili u reku (Prodanović, 2007). U crpnim stanicama postoje pumpe koje ne rade konstantno. Voda iz sistema dotiče u crpni bazen, po dostizanju određenog nivoa pumpe se pale, a prestaju sa radom kada se nivo u bazenu spusti ispod određene kote.

Sve crpne stanice su opremljene uređajem za merenje ukupnog vremena rada pumpi. Posada taj podatak redovno zapisuje u svoj dnevnik rada, obično kao jedan podatak u toku radne smene posade. Često se u dnevniku rada može naći i podatak o prepumpanoj zapremini vode, koji se računa na osnovu vremena rada pumpi i njihovih karakteristika. Na žalost, podatak o prepumpanoj zapremini nije moguće koristiti za određivanje izlaznih hidrograma, jer kiše koje su interesantne za kalibraciju i verifikaciju matematičkih modela su trajanja do jedan ili dva sata, što je po pravilu znatno kraće nego što je vremenska rezolucija zapisanih podataka (obično 8 ili 12 sati).

Ukoliko se u crpni bazen postavi dodatni uređaj, loger nivoa koji beleži nivo relativno često (na par sekundi) moguće je obezbediti znatno kvalitetniji podatak o izlaznim hidrogramima. Ovakva oprema za merenje nivoa vode (sistem na plovak, merenje pritiska, ultrazvučno.. zajedno sa logerom) nije skupa, radni uslovi su znatno povoljniji nego u samoj kanalizaciji a i oprema je u okviru crpne stanice zaštićena od krađe (Maksimović, 1993).

Da bi se obezbedio podatak o oticaju sa Novobogradskog sliva koji gravitira ka kanalizacionoj crpnoj stanici Nova 1, postavljena je sonda za merenje nivoa vode na bazi pritiska firme MERA, maksimalnog mernog opsega 5m i loger DCdpm proizvođača Svet Instrumenata. Vreme uzorkovanja je podešeno na 30 sekundi. Na slici 1 je prikazana promena nivoa

u crpnom bazenu, u periodu od 26. aprila do 10. maja 2012. Sa slike se vidi kako se crpni bazen puni relativno sporo u periodu bez kiše (do 3. maja) i da se u tom periodu pumpa pali jednom do dva puta dnevno. Kada padne kiša, dotok se naglo poveća i pumpa počinje često da se pali i gasi (3. na 4. maj).

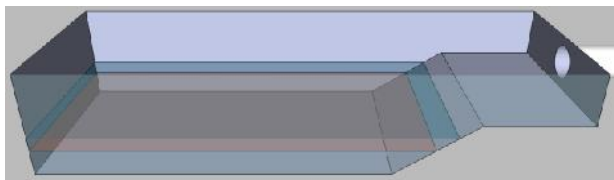


Slika 1 – Izmerene vrednosti nivoa u bazenu kanalizacione crpne stanice Nova 1

## 5. OBRADA PODATAKA

Za proračun protoka na osnovu merenih nivoa u crpnom bazenu, neophodno je raspolagati sa njegovim tačnim dimenzijama. Dimenzije crpnog bazena su preuzete iz projektne dokumentacije. Naravno, dobro bi bilo obaviti i merenje dimenzija na licu mesta, ukoliko je to izvodljivo.

Geometrija crpnog bazena je poznata i moguće je odrediti zapreminu vode u bazenu, u zavisnosti od nivoa vode ( $V=f(h)$ ), za svaki vremenski trenutak. Primer izgleda crpnog bazena je dat na slici 2.

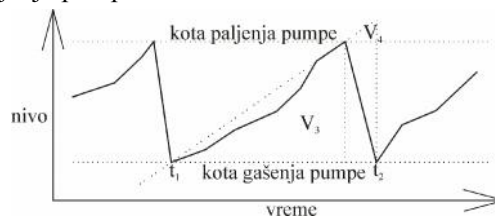


Slika 2 – Skica bazena crpilišta

Delovi linija, na dijagramu promene nivoa vode u bazenu, koji imaju uzlazne putanje opisuju period u kome je nivo vode u bazenu rastao, između gašenja (u trenutku  $t_1$ ) i paljenja pumpe (u trenutku  $t_2$ ). U tom periodu, zapremina vode koja je dotekla u bazen ( $V_3$ ) se može odrediti preko formule  $V_3 = V_2 - V_1$  [ $m^3$ ], gde su  $V_1$  zapremina vode u bazenu neposredno posle gašenja pumpe (u trenutku  $t_1$ ) i  $V_2$  zapremina vode u bazenu neposredno pre paljenja pumpe (u trenutku  $t_2$ ). Prosečan protok kojim je voda doticala u bazen ( $Q$ ) je jednak  $Q = V_3/(t_2-t_1)$ . Na slici 3 se može videti šematski prikazan jedan deo serije merenja, sa označenim članovima prethodnih jednačina.

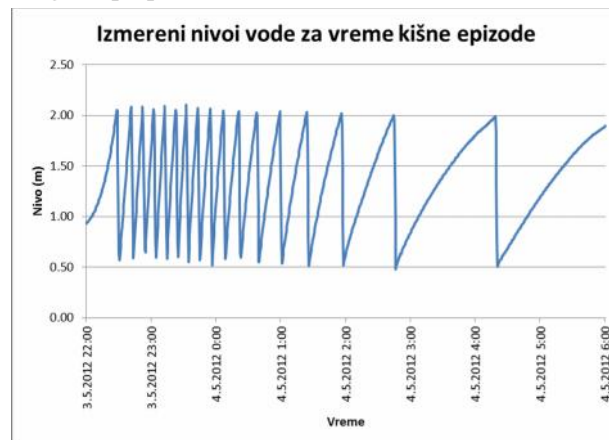
Po dostizanju određenog nivoa, pumpa u crpnoj stanici se uključuje i za kratak vremenski period prikupljene vode se izbacuju iz bazena dalje u sistem. Za vreme rada pumpe, dotok vode u bazen se nastavlja

približno istim intenzitetom kao i pre uključivanja pumpe. To znači da je moguće izračunati količinu vode koja je dotekla u bazen za vreme rada pumpe  $V_4 = Q \cdot t_p$ , gde je  $t_p$  vreme rada pumpe. Veličina  $V_4$  se može tačnije odrediti ukoliko se za  $Q$  uzme srednja vrednost protoka u vremenskom koraku pre i posle paljenja pumpe.



Slika 3 – Šematski prikaz dela serije merenja sa oznakama

Ukoliko se gore navedena metodologija primeni na sve periode od trenutka gašenja pumpe, do ponovnog paljenja i izračunaju se zapremine dotekle vode, a u trenucima kada je pumpa upaljena zapremine se odrede množenjem osrednjenog dotoka i vremena rada pumpe, dobija se niz zapremine koje su kroz sistem došle do crpne stanice. Ako se te zapremine saberu, dobijaju se sumarne zapremine dotekle vode. One se mogu raditi na satnom nivou, dnevnom ili nedeljnom, za period jedne kišne epizode, ili nekom drugom, po potrebi.

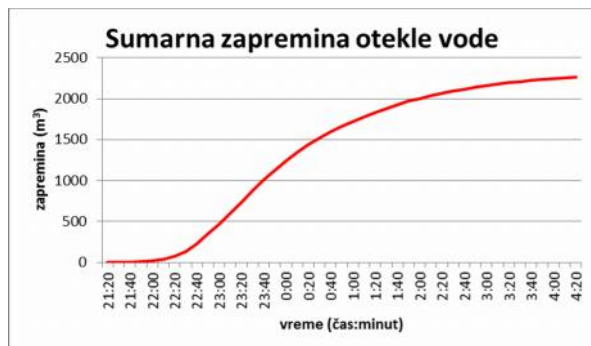


Slika 4 – Izmereni nivoi vode u KCS Nova 1 za vreme kišne epizode

Na slici 4 je prikazan dijagram izmerenih nivoa vode u crpnom bazenu, za jednu kišnu epizodu koja se dogodila između 3. i 4. maja 2012. Sa dijagrama se lepo vidi da je oko 22:00 počeo povećani dotok usled padavina i da je taj povećani oticaj trajao do 5:00 sledećeg dana.

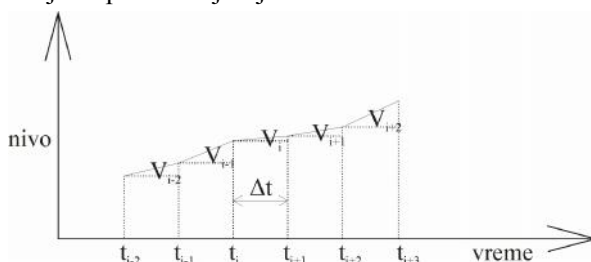
Primenom izložene metodologije, određena je sumarna zapremina dotekle vode u crpnu stanicu (koja je ujedno i sumarna zapremina otekle vode sa sliva), slika 5. Sumarni dijagram dotoka se može iskoristiti u kalibraciji matematičkog modela kanalizacione mreže, ali je hidrogram (promena protoka kroz vreme) zgodniji za taj proces jer se na njemu lakše uočavaju

koje je promene potrebno napraviti u modelu da bi došlo do slaganja rezultata simulacije sa izmerenim vrednostima. Kada se hidrogrami približno poklope, onda i dijagrami sumarnih zapremina imaju slične oblike i vrednosti.



Slika 5 – Sumarna zapremina otekle vode sa sliva KCS Nova 1 za kišnu epizodu

Ukoliko se, za svaki vremenski korak, razlika zapremine između trenutnog i sledećeg vremenskog koraka (slika 6) podeli sa veličinom vremenskog koraka, dobija se protok kojim je voda doticala u bazen.



Slika 6 – Šematski prikaz metodologije i oznaka

Kada se vrednosti za sve vremenske korake nanesu na dijagram, dobija se hidrogram. Za kišnu epizodu sa ranije prikazanom sumarnom zapreminom, dobijen je hidrogram prikazan na slici 7.

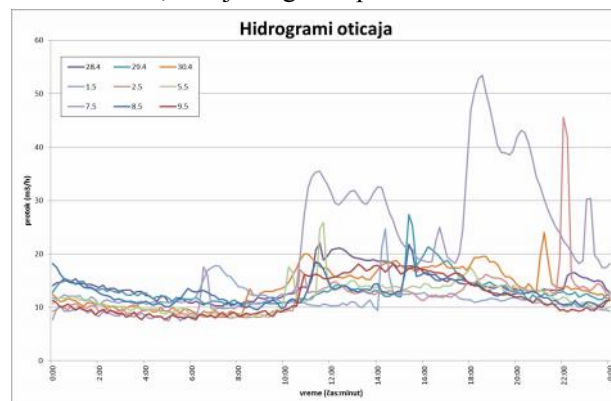


Slika 7 – Hidrogram oticaja vode sa sliva KCS Nova 1 za kišnu epizodu 3.-4. maj 2012.

Dobijeni hidrogram prikazan na slici 7 se može iskoristiti u procesu kalibracije modela kanalizacije. Crpna stanica se nalazi na kraju sliva, što znači da ovaj hidrogram predstavlja hidrogram oticaja sa sliva. Poređenjem hidrograma oticaja (i sumarne zapremine otekle vode) dobijenih na opisani način i simulacijom

modela, proveravaju se i podešavaju koeficijenti kojima se utiče na vreme koncentracije, tj. na vreme pojave maksimalne vrednosti protoka, kao i na oblik hidrograma: koeficijent trenja (za urbanizovane površine i cevi), odnos propusnih i nepropusnih površina, procenat direktno priključenih nepropusnih površina i slično.

Sem za izradu hidrograma jedne kišne epizode, navedena metodologija može biti korisna i za neke druge primene. Kada se ona primeni na duži vremenski period merenja nivoa i dobijeni hidrogrami podele na dnevne nivoe, dobija se grafik prikazan na slici 8.



Slika 8 – Hidrogrami oticaja ovde na KCS Nova 1

Posmatrajući ovaj grafik mogu se izvući određeni zaključci o kanalizacionoj mreži. Pre svega, pošto se radi o kišnoj kanalizacionoj mreži, oticaj tokom suvog perioda (perioda bez padavina) bi trebalo da bude nula. Na dijagramu se lepo vidi da postoji stalni oticaj koji je oko 15 m<sup>3</sup>/h, noću manji a danju veći. To znači da postoje ilegalni priključci upotrebljenih voda (otpadnih, fekalnih) na sistem kišne kanalizacije. Takođe, mogu se ustanoviti navike ljudi koji se nalaze u tom slivu, da spavaju do 8:00 ujutro i da se ujutro slabo tuširaju (protok počinje da raste tek oko 10:00 sati), da nedeljom duže spavaju i slično. Takođe, vidi se da su gubici vodovodske vode (ili infiltracija podzemne vode) relativno veliki, jer noću postoji konstantan protok od 8 m<sup>3</sup>/h (kada većina ljudi treba da spava). Ovi podaci (kada se javljaju minimalni i maksimalni protoci i u kojim su odnosima) su potrebni u modeliranju i kanalizacionih ali i vodovodnih sistema, jer daju diagrame neravnomernosti u toku dana.

Treba obratiti pažnju na to da ovakvi hidrogrami nisu zaista izmereni u mreži, već oni predstavljaju računski dobijene hidrograme koji od stvarnih hidrograma odstupaju za određenu vrednost. Mogu se izdvojiti tri najvažnija izvora grešaka: nedovoljno brzo merenje nivoa u crpnom bazenu, greške u merenju nivoa u bazenu i greške u dimenziji samog crpnog bazena.

Veličina vremenskog koraka u merenju nivoa utiče tako što veći broj merenja omogućava preciznije određivanje tačnijeg vremena rada pumpe. Vreme između dva merenja mora se postaviti tako da može da

isprati nagle promene nivoa u bazenu koje se javljaju prilikom pljuskova i uključivanja pumpi. Ukoliko je vreme između merenja predugačko, može se desiti da se pumpa uključi i isključi između dva uzastopna merenja, a u toj situaciji bi ostali bez informacije o vremenu rada pumpe. Tačnost merenja nivoa je važna, a bitno je da su merenja obavljena u delu bazena koji je malo zaklonjen, tako da su oscilacije nivoa delimično prigušene. Veza između zapremine vode u bazenu i trenutnog nivoa mora biti veoma precizno određena jer ona ima najveći uticaj na preciznost ovakvog proračuna.

## 6. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA I NEŠTO DRUGAČIJI PRISTUP

Postavlja se pitanje koliko su podaci dobijeni na ovaj način pouzdani i koliko su dobro izračunati? Na crpnoj stanici na kojoj su izvršena merenja nivoa nije postavljena oprema za merenje protoka, pa nije moguće rezultate direktno uporediti i izračunati odstupanje izmerenih i izračunatih vrednosti.

Sa druge strane, analiziranjem rezultata možemo steći uvid u njihovu prouzdanost.

Pretpostavlja se da su podaci o dimenzijama crpnog bazena u projektu izvedenog stanja crpne stanice tačni, tj. da nema većih odstupanja između stvarne veličine bazena i dimenzija navedenih u projektu. Takođe se pretpostavlja da je merna oprema postavljena na mesto na kome nema nema lokalnih poremećaja nivoa, već da nivo u okolini sonde odgovara prosečnom nivou u bazenu. Kada se uvedu navedene pretpostavke (i zaista ispune na terenu), obezbeđuje se precizno određivanje zavisnosti nivoa i zapremine vode u bazenu.

Vremenski razmak između dva merenja treba odrediti tako da ispuni dva kontradiktorna uslova:

- mora biti dovoljno dugačak kako bi u vreme malog dotoka mogao da isfiltrira talasanja vode u bazenu i
- mora biti dovoljno kratak kako bi mogao da zabeleži nekoliko vremenskih koraka u periodu kada se pumpa uključi.

Na crpnoj stanici Nova 1 je, u periodu bez atmosferskih padavina, vreme između dva paljenja pumpe iznosilo 10-20 sati. Vreme koje su pumpe bile upaljene je iznosilo 90 (u sušnom periodu, sa minimalnim dotokom) do 180 sekundi (u kišnom periodu). U kišnom periodu je vreme između dva paljenja pumpi bilo znatno kraće, manje od 10 minuta.

Ukoliko je vremenski korak previše kratak, u sušnom periodu će izgledati kao da nivo u bazenu najzamenično raste i opada, usled malih oscilacija, koje su posledica talasanja vode u bazenu.

Ako se odabere predugačak vremenski korak, onda se može desiti da ne postoji dovoljno mernih tača-

ka u periodu kada se pumpe uključe, ili da se taj period potpuno promaši i da postoje samo merenja pre i posle paljenja pumpi. U tom slučaju ne bi bilo moguće primeniti navedenu metodologiju.

U konkretnom slučaju, vremenski korak je podešen na pola minute, a problemi sa oscilacijama nivoa u sušnom periodu su rešeni tako što nije posmatran svaki vremenski korak, već su merenja u tom periodu osrednjavana, uglavnom na 10 minuta.

Ukoliko se obrati pažnja na sve navedene faktore, zapremina dotekle voda se može izračunati u vreme kada pumpe nisu uključene. Ostaje samo još pitanje vrednosti doteklih zapremina u periodu kada su pumpe uključene.

U sušnom periodu, za 10-20 sati u bazen dotekne 100-150 m<sup>3</sup> vode, koje pumpa prepumpa za 90-120 sekundi. Za vreme dok je pumpa uključena, primenom gore navedene metode može se izračunati da u bazen dotekne 0,15-0,6 m<sup>3</sup>. Ova količina vode predstavlja zanemarljivu zapreminu, u odnosu na ukupnu zapreminu vode u bazenu. Čak i ukoliko je napravljena greška u proračunu za ceo red veličine, zapremina koja dotekne u sušnom periodu je ponovo toliko mala da ne može bitno uticati na tačnost celokupnog proračuna.

U kišnom periodu je situacija potpuno drugačija. Za ovaj rad je odabrana kišna epizoda koja se dogodila 3-4 maja 2012. U pitanju je kiša sa zabeleženim padavinama od 5,6 mm, trajanja od oko 130 minuta. U ovom periodu punjenja bazena crpne stanice traju znatno kraće, oko 7-8 minuta, a pumpe rade oko 120-150 sekundi u jednom ciklusu. U ovom slučaju je vreme rada pumpi uporedivo i slično sa periodom u kome nivo u bazenu raste, tako da se mora proveriti način na koji se pretpostavlja vrednost dotoka u bazen za vreme rada pumpi.

U prethodnom poglavlju je rečeno da je dotok u bazen tokom rada pumpe sličan kao u periodu pre paljenja pumpi i objašnjeno je kako da se izračuna zapremina dotekle vode u tom slučaju. Međutim, moguće je da se dotok menja i da je potrebno primeniti drugačiji pristup, da je potrebno uzeti u obzir i promenljivost dotoka tokom rada pumpe.

Ispitano je nekoliko različitih pristupa u računanju doticaja u periodu prepumpavanja, korišćenjem:

- prosečnog doticaja pre paljenja pumpi,
- srednje vrednosti dotoka pre i posle paljenja pumpe,
- srednje vrednosti 2 zabeležena dotoka pre i 2 posle paljenja pumpe,
- linearne promene dotoka,
- promene dotoka interpolovane pomoću spline-a i
- promene dotoka interpolovane pomoću modifikovanog spline-a.



Metoda 1 je već ranije objašnjena. U njoj se u svim vremenskim koracima (kada pumpa radi) za vrednost doticaja uzima ista vrednost, vrednost prosečnog doticaja u periodu pre paljenja pumpe.

Metoda 2 takođe ima konstantnu vrednost doticaja, ali se ona dobija kao aritmetička sredina vrednosti dotoka u koraku pre i posle paljenja pumpe.

Metoda 3 se od prethodne metode razlikuje samo po tome što se uzima srednja vrednost 4 merenja, 2 pre i 2 posle paljenja pumpe.

U metodi 4 se doticaj menja iz koraka u korak. Pretpostavlja se da se vrednosti doticaja menja linearno, od vrednosti pre paljenja pumpe, do vrednosti koja je izračunata u prvom koraku posle paljenja pumpe. Ovom metodom se dobijaju iste vrednosti kao i metodom 2.

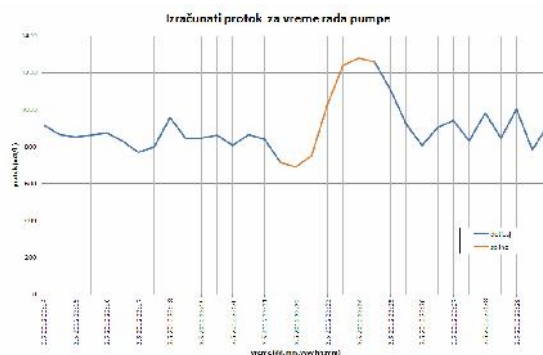
Sa metodom 5 se dobijaju promenljive veličine doticaja, korišćenjem spline-a. Spline je matematička metoda kojom se preko glatke polinomske funkcije vrši interpolacija tačaka na mestima prekida funkcija. Spline funkcija vodi računa o kontinuitetu prvog izvoda (tj. tangenti funkcije) na mestima prekida funkcije. U ovom slučaju, to znači da je na grafiku doticaja vode u bazen, koji ima prekid u periodu kada se uključe pumpe, izvršeno povezivanje linija glatkom funkcijom, a zatim su izračunate vrednosti dotoka u potrebnim računskim koracima.

U ovom koraku je primećeno da vrednosti doticaja neposredno pre i posle uključivanja pumpi odstupaju od trenda koji se može primetiti u ostalim merenjima, kao što se može videti na slici 9. Do te pojave dolazi jer se pumpa nikada ne uključuje (ni isključuje) tačno u trenucima kada su zabeležene vrednosti nivoa, već uvek zahvata ili deo prethodnog vremenskog koraka, ili ne obuhvata ceo vremenski korak u kome je primećeno sniženje nivoa. Zbog toga se na graničnim merenjima (pre paljenja i posle gašenja) dobijaju vrednosti koje su приметно drugačije od ostatka niza merenja. Drugi problem je što po prestanku rada pumpe, nivo vode u bazenu ima velike oscilacije, jer sa jedne strane voda koja je krenula ka pumpi (koja je naglo prestala da radi) se odbija o ivice bazena i pravi talase, a ne uspeva brzo da se umiri jer se sudara sa vodom koja dotiče iz ka-

Tabela 1. Uporedni prikaz rezultata

Period	Trajanje	Trajanje prepumpavanja	Dotekla zapremina pre paljenja pumpe	Metoda					
				1	2	3	4	5	6
				Zapremina					
/	min	min	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	8	2,5	112,57	35,18	41,07	40,81	41,07	41,58	39,21
2	7,5	2	115,01	30,67	32,32	30,99	32,32	36,27	30,75
3	8,5	2	116,18	27,34	19,32	23,33	19,32	14,67	23,92

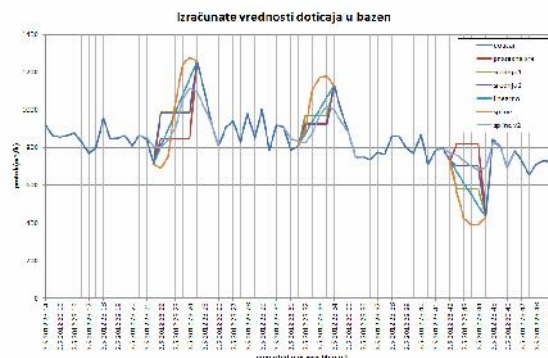
nalizacione mreže i pravi dodatne talase. Zbog toga se u prva 3 koraka dobijaju znatno drugačije vrednosti nego u drugim koracima.



Slika 9 – Protok za vreme rada pumpe

U metodi 6 je primenjena metoda spline-a, ali ne u trenucima kada se pumpa upalila/ugasila, već su korišćeni nivoi u četiri vremenska koraka pre i posle paljenja pumpe, sa klizajućim osrednjavanjem. U poslednjem vremenskom koraku pre paljenja pumpe je uzeta srednja vrednost iz tog i prethodna dva koraka. U vremenskom koraku pre njega je uzeta srednja vrednost tog koraka i onog koji mu je prethodio, a u preostala dva koraka pre paljenja pumpe su uzete vrednosti tih koraka bez osrednjavanja. U periodu posle paljenja pumpe je primenjen isti metod.

Na slici 10 je dat grafik izdvojenog dela izračunatog dotoka, sa rezultatima dobijenim korišćenjem različitih metoda proračuna dotoka.



Slika 10 – Izračunate vrednosti doticaja

U tabeli 1 je dat uporedni prikaz rezultata dobijenih korišćenjem navedenih metoda, za tri uzastopna paljenja pumpe.

Razlike između zapremina izračunatih različitim metodama iznose i do 13 m<sup>3</sup>, tj do 48%, mada su uglavnom manje, oko 10%. Zapremine koje dotiču za vreme rada pumpe iznose oko 20-30% zapremine koja dotiče pre početka rada pumpe.

U ovom slučaju, pretpostavlja se da metoda 6 daje rezultate koji najbolje odgovaraju onome što je zaista doteklo u bazen u razmatranom delu kišne epizode, ali nisu postojala merenja protoka pomoću kojih bi se vrednovali dobijeni rezultati.

Ova kratka analiza pokazuje da je u kišnom periodu potrebno odabrati metodu koja najbolje odgovara izvršenim merenjima, jer količine vode koje dotiču za vreme pumpanja imaju značajan udeo u ukupnim količinama doteklih voda.

## 7. ZAKLJUČAK

Korišćenjem raspoloživih podataka i njihovim kombinovanjem, moguće je doći do novih oblika podataka koji su pogodniji za upotrebu, u bilo kom smislu.

Objašnjenom metodologijom se na lak način mogu iskombinovati podaci o izmerenim nivoima i dimenzijama crpilišta, koji su obično lako dostupni ili ih je lako izmeriti, i dobiti hidrograme i sumarne zapremine (ili promenu zapremine) koji se ređe mere ili ih je teže izmeriti. Takođe, oprema za merenje nivoa je nekoliko puta jeftinija od opreme za merenje brzina ili zapremine protekle vode, a koje upravo zbog svoje složenosti i sofisticiranosti često unose u svoja merenja značajnu sistemsku grešku ukoliko se ne postave pažljivo ili ukoliko se nađu u neodgovarajućim uslovima (Prodanović i ostali, 2012). Ukoliko se obrati pažnja na navedene faktore koji utiču na preciznost, može se na jeftiniji (i nekada lakši) način doći do hidrograma i zapremina, nego klasičnim pristupom.

Prikazani su rezultati koji su dobijeni obradom podataka sa KCS Nova 1, ali se primenjena metodologija može primeniti i na drugim mestima. Na ovoj crpnoj stanici pumpe rade povremeno, sa značajno većim protocima od onih kojima voda dotiče u crpnu stanicu, pa je to uslov da se ova tehnika obrade podataka koristi na nekoj drugoj crpnoj stanici. Broj pumpi koje se koriste u toku prepumpavanja nije bitan, jer se on nije pojavljivao u formulama, tako da se ove metode mogu primeniti i na crpnim stanicama sa

jednom i sa više pumpi. Međutim, uslov je da se sve pumpe uvek pale i gase na istoj koti vode u crpnom bazenu.

## 8. ZAHVALNOST

Ovaj rad je deo projekta TR37010 "Urbani sistemi za odvodnjavanje kao ključni elemenat infrastrukture u naseljima i gradovima" koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, u periodu 2011-2014.

## LITERATURA

- [1] Ivetić, M. (1996), Računska hidraulika – Tečenje u cevima, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [2] Ivetić, M. (2000), Računska hidraulika – Otvoreni tokovi, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [3] Maksimović, Č. (1993), Merenja u hidrotehnici, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [4] MERA, Juhorska 1, 11000 Beograd
- [5] Petrović, M. (2012), Master rad - Izrada i kalibracija modela kišne kanalizacije na delu sliva Novog Beograda, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [6] Prodanović, D. (2007), Mehanika fluida, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [7] Prodanović, D., Vojt, P., Despotović, Ž., Vučurević, V. (2009), Merenja na beogradskom kanalizacionom sistemu, Voda i sanitarna tehnika, godina XXXIX, broj: 4, jul-avgust, strane: 69-80.
- [8] Prodanović, D., Đaćić, A., Branislavljević, N., Rukavina, J. (2012), Laboratorijsko poređenje ultrazvučnih i elektromagnetnih sonde za merenje protoka u kanalizaciji, Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Bol, Otok Brač, Croatia.
- [9] Radojković, M., Obradović, D., Maksimović, Č. (1989), Računari u komunalnoj hidrotehnici, IRO „Građevinska knjiga“, Beograd
- [10] Svet Instrumenata, Krajinska 1, 11351 Vinča, cvitkovac@yahoo.com

## SUMMARY

### DIFFERENT APPROACH FOR CALCULATION OF INFLOW ON STORM WATER SEWER PUMPING STATION – CASE STUDY KCS NOVA 1 ON NEW BELGRADE

*In the process of making mathematical models, a common problem is lack or missing data that could be used for calibration and verification of the model. In that case, we have to somehow use available data to calculate the missing data. This article presents how it is possible to calculate runoff hydrographs from catchment of storm water sewer, by using measured water levels in basin of pumping station. Also, it is described on what you should bring your attention if you want to have results with small errors.*

**Key words:** *mathematical modelling, calculation of inflow, runoff hydrograph, results analysis*

## ACKNOWLEDGEMENT

*This paper was realized as a part of the project "Urban Drainage Systems as Key Infrastructure in Cities and Towns" (37010) financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia within the framework of integrated and interdisciplinary research for the period 2011-2014.*