

SIMULACIJA RADA VODOVODNIH DISTRIBUTIVNIH SISTEMA PRIMENOM PROGRAMSKOG PAKETA MATLAB

Željko Kanović, Aleksandar Erdeljan, Darko Čapko, Velimir Čongradac, *Fakultet tehničkih nauka Novi Sad*

Sadržaj – U radu je predstavljen softver za simulaciju rada vodovodnih distributivnih sistema baziran na programskom paketu Matlab. Opisane su osnove primenjenog postupka modeliranja a upotreba softvera demonstrirana je na modelu dela vodovodne mreže grada Novog Sada i prikazani su dobijeni rezultati.

1. UVOD

Pri projektovanju novih ili već postojećih hidrotehničkih objekata i sistema, primenjena rešenja ne mogu se davati proizvoljno i moraju imati određeni stepen pouzdanosti. Zbog toga je u postupku projektovanja neophodno kao etapu uvesti proveru dobijenih rezultata putem simulacije.

Na današnjem stepenu razvoja računarske tehnike moguće je veoma tačno i pouzdano sprovesti simulaciju velikog broja tehničkih sistema u koje spadaju i hidrotehnički sistemi. Imajući u vidu prethodno navedeno, autori su upotrebom programskog paketa Matlab sačinili softver za simulaciju rada vodovodnih sistema, razmatrajući pritom rešenja primenjena u više komercijalnih softverskih paketa za simulaciju vodovodnih mreža [1,2]. U načinu rada ovih paketa nema bitnijih razlika. Svi se baziraju na simulaciji vodovodnih sistema rešavanjem sistema jednačina koje opisuju kvazistacionarno strujanje vode u sistemu. Mana ovih gotovih softverskih paketa je u tome što su zatvoreni u smislu proširivanja i nadogradnje simulacionog dela softvera koji je ujedno i njihov najznačajniji deo. Izuzetak je paket EPANET čiji je programski kod dostupan, ali intervencije na njemu zahtevaju dobro poznavanje programskog jezika C. To je bio jedan od glavnih razloga što se pristupilo izradi novog softvera za simulaciju rada vodovodnih sistema čime su u izvesnoj meri otklonjeni uočeni nedostaci. Softver je pisan u Matlabu koji je jednostavniji za upotrebu i prilagođen inženjerskoj praksi, što olakšava dalje proširivanje i prilagođavanje.

Rad je organizovan na sledeći način: u poglavlju 2 date su osnovne karakteristike i način rada simulacionog softvera, poglavlje 3 sadrži opis sistema, poglavlje 4 opisuje način upravljanja sistemom dok su u poglavlju 5 predstavljeni rezultati simulacije. Zaključna razmatranja iznesena su u poglavlju 6.

2. MODELIRANJE SISTEMA

Ovaj softver se sa aspekta interfejsa i izrade modela vodovodnih sistema oslanja na postojeće softverske pakete, pre svega na EPANET, čiji je simulacioni alat poslužio kao osnova za veliku većinu simulacionih paketa koji se danas nude na tržištu. Na ovaj način iskorišćene su pozitivne karakteristike postojećih softvera a obezbeđena je mogućnost proširenja

simulacionog postupka posebnim zahtevima korisnika u smislu upravljanja i uvođenja novih elemenata sistema.

Model sistema se preuzima iz EPANET-a, čime je iskorišćen već postojeći interfejs koji je po mišljenju autora veoma funkcionalan i pristupačan za korisnika. Podaci o objektima se u Matlab učitavaju iz tekstualne datoteke koja se automatski generiše u EPANET-u. Na osnovu unesenih podataka softver formira kvazistacionarni model strujanja u vodovodnom sistemu, odnosno vrši statički proračun parametara sistema u zadatim vremenskim intervalima. Ovo je uobičajeni postupak za modeliranje vodovodnih mreža koji se primenjuje i u većini komercijalnih softverskih paketa. Autori su od više poznatih metoda modeliranja izabrali metodu čvorova zbog pogodnosti koje je karakterišu.

Jednačine na kojima je bazirana ova metoda predstavljaju skup energetskih (Bernulijevih) jednačina za cevi izraženih u funkciji od pritisaka, odnosno pjezometarskih kota čvorova koje te cevi spajaju, sledećeg oblika:

$$Q_{ij} = \text{sgn}(\Pi_i - \Pi_j) \sqrt{\frac{|\Pi_i - \Pi_j|}{C_{ij}}} \quad (1)$$

gde je Q_{ij} protok kroz cev, Π_i i Π_j su pjezometarske kote početnog odnosno krajnjeg čvora a C_{ij} objedinjeni koeficijent strujnih gubitaka [3]. Broj jednačina koje se razmatraju jednak je broju čvorova u mreži. Za svaki čvor važi da je suma njegove čvorne potrošnje i protoka kroz cevi koje ga spajaju sa susednim čvorovima jednaka nuli.

Kod cevi na kojima se nalaze pumpe jednačine imaju nešto drugačiji oblik:

$$Q_{ij} = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4(A - C_{ij})(H_0 - \Pi_i + \Pi_j)}}{2(A - C_{ij})} \quad (2)$$

gde su H_0 , A i B koeficijenti polinoma kojim se opisuje radna karakteristika pumpe:

$$H_p = H_0 + A Q_p^2 + B Q_p \quad (3)$$

pri čemu je H_p napor pumpe [3]. Za proračun je neophodno poznavati radnu karakteristiku pumpe koju daje proizvođač i to za jedan, najčešće nominalni broj obrtaja radnog kola.

Pisanjem sistema algebarskih energetskih jednačina za sve čvorove u sistemu dobija se matematički model sistema za dati trenutak. Ponavljanjem proračuna u zadatim vremenskim intervalima dobija se kvazistacionarni model sistema koji se najčešće primenjuje u praksi.

Sistem jednačina rešava se nekom od numeričkih metoda, pri čemu je potrebno pre prvog koraka zadati početne vrednosti protoka. One se zadaju proizvoljno i njihove vrednosti ne moraju biti bliske tačnom rešenju jer nemaju uticaj na brzinu konvergencije. Sistem ima jedinstveno rešenje, pa je pri

rešavanju upitna samo brzina konvergencije koja zavisi od odabrane numeričke metode [3]. Autori su za rešavanje ovog sistema jednačina koristili Newton-Raphson-ovu metodu [4].

Opisani softver podržava više vrsta elemenata vodovodnih sistema. Pored najjednostavnijih, kao što su pumpe, rezervoari, cevi i čvorovi, moguće je u sistem uvesti armaturne elemente - ventile i cevne zatvarače, kao i rezervoare sa konstantnim nivoom, koji se koriste za modelovanje elemenata kao što su jezera, reke, podzemni izvori ili spojevi sa drugim sistemima. Pored toga, moguće je proširiti softver i dodati nove elemente uz uslov da se poznaje njihova matematička interpretacija.

Kao glavni nedostatak postojećih simulacionih paketa autori su uočili nemogućnost simulacije upravljanja modelom sistema u zatvorenoj povratnoj sprezi. Naime, EPANET podržava samo upravljanje putem unapred zadatih pravila, koja podrazumevaju da se u zavisnosti od pojedinih događaja u sistemu izvrše određene akcije u smislu zatvaranja/otvaranja, odnosno uključivanja/isključivanja pojedinih elemenata. U cilju otklanjanja ovih nedostataka, predviđena je mogućnost simulacije upravljanja modelom sistema u zatvorenoj povratnoj sprezi. Ovakvo upravljanje najčešće se ostvaruje promenom broja obrtaja radnog kola pumpe, čime se menja i protok vode kroz pumpu. Moguće je implementirati različite algoritme upravljanja, a ovde će biti prikazano upravljanje PI regulatorom, što je najčešće korišćeno rešenje u vodovodnim sistemima. Razmatraćemo slučaj servoregulacije (praćenje zadate trajektorije nivoa tokom određenog vremenskog perioda).

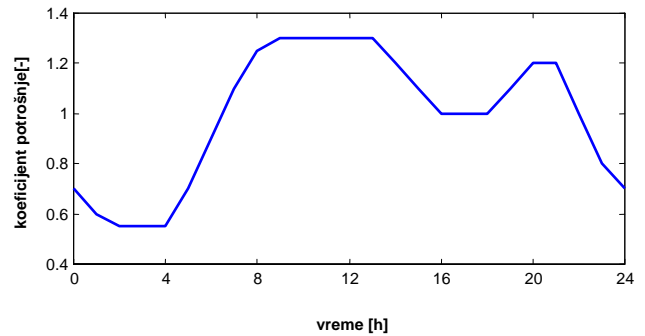
Verifikacija rezultata dobijenih simulacijom vodovodnih sistema upotrebom programskog paketa Matlab izvršena je poređenjem sa rezultatima simulacije identičnih sistema upotrebom simulacionog paketa EPANET. Dobijeni rezultati su se u potpunosti poklapali čime je potvrđena validnost opisanog softvera i opravdanost njegove primene u praksi.

3. OPIS SISTEMA

Za formiranje modela poslužio je deo distributivnog sistema grada Novog Sada, konkretno naselje Sremski Karlovci. Podaci o nadmorskim visinama čvorova, prečnicima i materijalu cevi, karakteristikama pumpi i parametrima rezervoara u sistemu preuzeti su iz literature [5, 6]. Podaci o čvornoj potrošnji aproksimirani su uz pomoć podatka da je prosečna dnevna potrošnja vode po stanovniku 120 litara, uzimajući u obzir broj stanovnika koji se snabdevaju vodom iz pojedinih čvorova. U model je unesena i zavisnost potrošnje od doba dana, koja je preuzeta iz literature [6] a prikazana je na slici 1. Radne karakteristike pumpnih agregata prikazane su na slici 2.

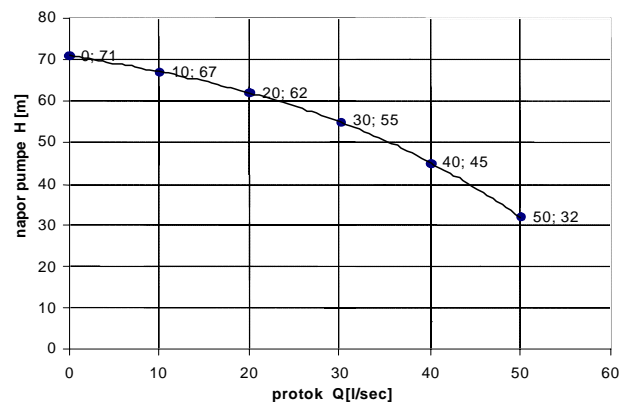
Naselje Sremski Karlovci je brdsko naselje koje se prostire od kote 77 m.n.m. kraj Dunava do kote 165 m.n.m. koja je na brdu Dudara. Distributivna mreža je podeljena u dve zone koje su i fizički razdvojene kako bi se omogućilo da pritisak u mreži ne prelazi planiranih 6,5 bara. Mreža je izgrađena od čeličnih cevi prečnika 80, 100, 150, 200 i 250 milimetara.

Dovodnik "Trandžament-Sremski Karlovci" sprovodi vodu do rezervoara "Doka" koji se nalazi na koti 150 m.n.m. Iz dovodnika se snabdevaju i usputni potrošači smešteni između rezervoara "Trandžament" i "Doka".



Slika 1. Zavisnost potrošnje od doba dana

Šema sistema prikazana je na slici 3. Uz oznake čvorova prikazane su i vrednosti pritiska u metrima vodenog stuba izračunate u EPANET-u i Matlabu (u zagradi) za jedan vremenski trenutak. Polazna tačka za snabdevanje Sremskih Karlovaca vodom je rezervoar "Trandžament" smešten na istoimenom lokalitetu na koti 132 m.n.m. Ovaj rezervoar je povezan sa ostatkom vodovodnog sistema, pa je modelovan kao rezervoar sa konstantnim nivoom. Uz njega se nalazi pumpna stanica "Karlovci" koja zahvata vodu iz rezervoara "Trandžament" i šalje je u dovodnik "Trandžament-Sremski Karlovci". U objektu pumpne stanice se nalaze dve paralelno vezane pumpe svaka snage $P=45$ kW.



Slika 2. Radna karakteristika pumpi u pumpnoj stanici "Karlovci"

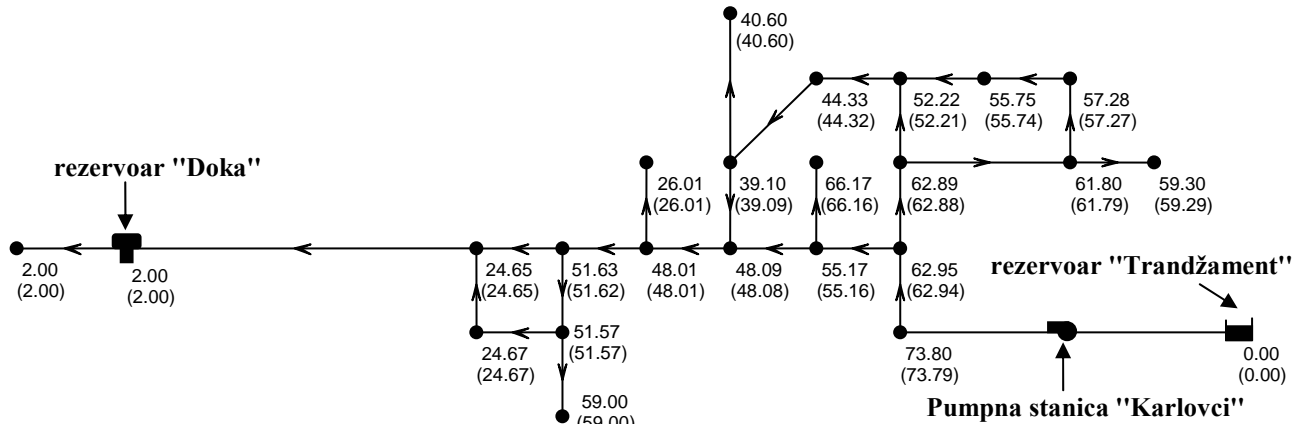
U modelu je izvršena skeletonizacija, odnosno grupisanje manjih potrošača u zajedničke čvorove. Osim toga, svi potrošači koji se vodom snabdevaju iz rezervoara "Doka" grupisani su u jedan čvor tako što mu je dodeljena potrošnja jednaka zbiru svih potrošnji manjih potrošača, što utiče na pojednostavljenje modela a pritom ne umanjuje kvalitet rezultata simulacije.

4. NAČIN UPRAVLJANJA SISTEMOM

Cilj upravljanja sistemom je vođenje nivoa vode u rezervoaru "Doka" po zadatoj trajektoriji, uz ograničenje koje je zadato u obliku zadovoljenja potrošnje konzuma između Doka i Trandžamenta.

Zahteva se da se rezervoar jednom u toku dana napuni i potpuno isprazni, kako bi u rezervoaru stalno bila sveža voda, čime bi se sprečio razvoj bakterija koje prouzrokuju biološku neispravnost vode.

U pumpnoj stanici "Karlovci" smeštena su dva velika pumpna agregata za koje se predlaže upravljanje promenom broja obrtaja radnog kola što se u praksi izvodi pomoću frekventnih regulatora.



Slika 3. Šematski prikaz sistema

Pri upravljanju se moraju ispoštovati i određena ograničenja koja diktira sistem. Nivo u rezervoarima ne sme da bude manji od minimalne vrednosti (nula) i veći od maksimalne vrednosti (3,5 metra za rezervoar "Doka"). Izlazni pritisak iz pumpne stanice "Karlovci" ne bi smeo da prelazi 7,5 bara kako ne bi došlo do oštećenja cevovoda.

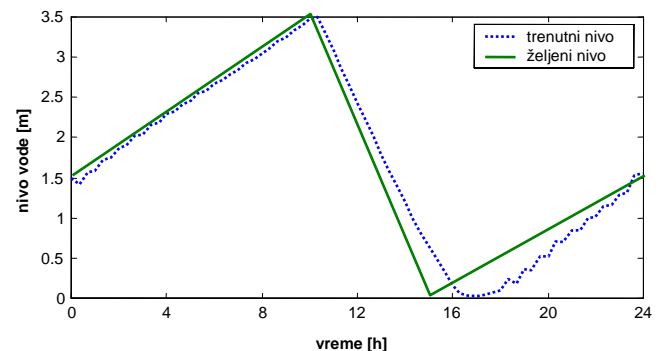
adekvatan i da ispunjava predočene zahteve. Zadata trajektorija kretanja nivoa vode u rezervoaru "Doka" je postignuta sa zadovoljavajućom tačnošću.

5. REZULTATI SIMULACIJE

Simulacija je sprovedena u periodu od 24 časa sa intervalom izračunavanja od 20 minuta.

Na slici 4 prikazano je kretanje nivoa vode u rezervoaru "Doka". Trajektorija željenog nivoa dobijena je analizom potrošnje vode tokom dana, tako da se u periodima najveće potrošnje (od 10 do 15 časova) obezbeđuje dovoljna količina vode pražnjenjem rezervoara. Može se uočiti dobro poklapanje krivih željenog i postignutog nivoa vode što govori u prilog usvojenom načinu upravljanja. Nešto veće odstupanje uočava se pri pražnjenju rezervoara što se objašnjava činjenicom da tada promenu nivoa vode u rezervoaru određuje potrošnja vode a ne upravljanje sistemom. Upravo u ovoj oblasti javljaju se i najveći problemi u praksi, pošto se pumpe u pumpnoj stanici "Karlovci" ne smeju ni u jednom trenutku isključiti, jer bi to uzrokovalo prekid snabdevanja za potrošače koji su udaljeni od rezervoara "Doka".

Prikazani rezultati simulacije u praksi bi bili prihvatljivi i u zadovoljavajućoj meri bi ispunjavali postavljene zahteve.



Slika 4. Dijagram promene nivoa u rezervoaru Doka

6. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen softver za simulaciju rada vodovodnih distributivnih sistema i njegova primena u modelovanju dela vodovodnog sistema Novog Sada. Predložen je način upravljanja sistemom i sprovedena je simulacija tako dobijenog modela.

Na osnovu rezultata dobijenih simulacijom, može se zaključiti da je primenjeni princip upravljanja sistemom

U softveru predstavljenom u radu otklonjeni su neki uočeni nedostaci komercijalnih simulacionih paketa, kao što je nemogućnost zatvaranja povratne sprege i razmatranje različitih algoritama upravljanja sistemom. Kako je softver rađen u programskom paketu Matlab, omogućeno je relativno jednostavno dalje proširivanje i prilagođavanje potrebama korisnika u smislu uvođenja novih tipova elemenata sistema, kao i u delu interpretacije dobijenih rezultata (grafika, tabele i dr.) pri čemu su mogućnosti praktično izjednačene sa mogućnostima Matlaba.

Dalja poboljšanja softvera moguća su i u pravcu kalibracije modela vodovodnih distributivnih sistema čime bi se povećale mogućnosti praktične primene.

LITERATURA

- [1] EPANET – User's Guide
- [2] www.dhissoftware.com/mikenet

- [3] Ivetić, M. *Računska hidraulika. Tečenje u cevima*, Građevinski fakultet Beograd, Beograd, 1996
- [4] Grozdanić, D., *Numeričke metode*, Akademska misao, Beograd, 2000
- [5] Zavod za izgradnju grada Novi Sad, *Glavni projekat dovođenja vode u Sremske Karlovce*, Institut za građevinarstvo i saobraćaj, Novi Sad, 1972
- [6] Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, *Generalni projekat sistema za prikupljanje podataka, nadzor i upravljanje distribucijom vode u vodovodnom sistemu Novog Sada*, Novi Sad, 2000

Ovaj rad je realizovan u okviru delatnosti na nacionalnom projektu "Informaciono-upravljački sistem vodovodnih sistema većih naselja", ugovor broj NP19B finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

Abstract – In this paper a software for water distribution system simulation has been presented. This software is based on Matlab. Software capabilities were demonstrated on modeling of one part of water distribution system of Novi Sad.

WATER DISTRIBUTION SYSTEM SIMULATION USING MATLAB SOFTWARE PACKAGE

Željko Kanović, Aleksandar Erdeljan, Darko Čapko,
Velimir Čongradac