



# AUTOMATIZACIJA PUMPNOG POSTROJENJA GRADSKOG VODOVODA

Ilija Radaković\*

\* Univerzitet Novi Sad, FTN, Novi Sad, Srbija i Crna Gora; e-mail: jasi@yunord.net

**Sadržaj:** Za opis rada pumpne stanice, kao i predlaganje rešenja za poboljšanje načina upravljanja i nadzora, korišćen je realni tehnički sistem subotičkog vodovoda (vodozahvat I). U cilju pisanja aplikativnog programa za upravljanje pumpnom stanicom korišćen je jedan od pet programskih jezika iz standarda IEC 1131-3 (programski jezik ST). Za nadzor rada pumpne stanice realizovan je grafički prikaz kao SCADA aplikacija u programskom paketu OMRON CX-Supervisor.

**Ključne reči:** pumpna stanica, programski jezik ST, SCADA / OMRON CX-Supervisor

## 1. UVOD

Tehnološka revolucija je zahvatila vodovode širom sveta. Vodovodi ubrzano menjaju lik: od tradicionalnih transformišu se u preduzeća visoke tehnologije i informatike, koja su pri tom i veoma profitabilna.

Globalni procesi brze urbanizacije i porasta stanovništva u prvi plan su istakli problem snabdevanja vodom, pogotovo što su mnogi izvori čiste vode ugroženi ili neupotrebljivi zbog progresivnog zagađenja.

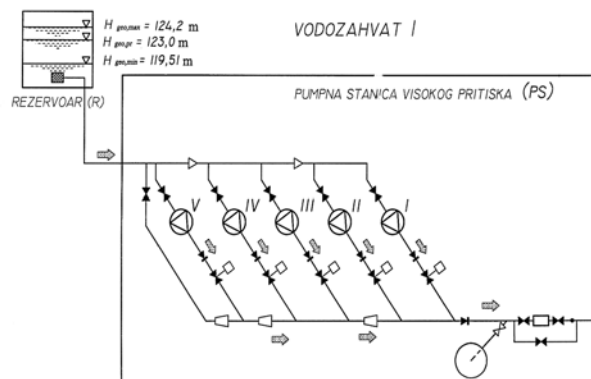
Veliki savremeni vodovodi su dosegli rekordne kapacitete, imaju na stotine objekata (postrojenja za prečišćavanje vode, pumpnih stanica, rezervoara, vodotornjeva), snabdevaju milionsko stanovništvo na velikim prostranstvima [1].

Pre nego što se donese odluka o uređaju za snabdevanje vodom mora se doneti odluka o tome gde će se podići neko industrijsko postrojenje i mora se utvrditi da li je na toj lokaciji moguće te količine trajno obezbediti. Potrošnja vode zavisi od niza faktora kao što su: gustina populacije, razvijenost industrije, mogućnost ponovnog korišćenja vode, klimatski uslovi, itd.

U velikom broju slučajeva se voda iz prirodne sredine ne može neposredno primeniti za željene svrhe, jer po svom hemijskom sastavu ili po nekom od fizičkih parametara ne zadovoljava potrebne zahteve: ili je mutna ili sadrži znatne količine nepoželjnih rastvorenih sastojaka ili je zagađena mikroorganizmima, ili je suviše topla, itd. Neki od ovih sastojaka su poreklom iz same prirode, dok su drugi posledica zagađivanja prirode usled aktivnosti samog čoveka.

## 2. PUMPNO POSTROJENJE ZA POTISKIVANJE VODE U VODOVODNU MREŽU

U pumpnom postrojenju subotičkog vodovoda nalazi se: pet pumpnih agregata za potiskivanje vode u vodovodnu mrežu, merač protoka, merač pritiska, pumpni ventili na usisu (ručni ventili), pumpni ventili na potisu (elektromotorni ventili), nepovratni ventili na potisu i vodostan pod pritiskom (hidroforski kotao), sl 1.



Sl 1. Šema postrojenja za potiskivanje vode u vodovodnu mrežu

## 3. OPIS TEHNOLOGIJE RADA PUMPNOG POSTROJENJA

Tehnologija rada pumpnog postrojenja se sastoji u pripremi pumpne stanice za rad i nadzoru njenog rada. Pod pripremom pumpne stanice se podrazumeva priprema pumpnih agregata i ostale opreme za rad. Pumpa i cevovodi pre starta pumpe moraju biti pravilno od vazdušeni i ispunjeni radnim fluidom (vodom). Pre početka rada pumpnih agregata, potrebno je izvršiti punjenje usisnih cevovoda i pumpi vodom. To se postiže otvaranjem ventila koji se nalaze na zajedničkom usisnom cevovodu, kao i ventila na lokalnim usisnim cevovodima agregata koji se pripremaju za uključenje.

Upravljanje pumpnom stanicom visokog pritiska „Vodozahvat I” se može odvijati na sledeće načine:

- **ručni režim rada**, uz računarsku akviziciju stanja i grafički prikaz događaja (SCADA),
- **poluautomatski režim rada**, tj. režim upravljanja sistemom pomoću računara u skladu sa odlukama operatera (upravljanje pomoću SCADA sistema),

- **potpuno automatski režim rada** uz grafički prikaz događaja – SCADA.

#### 4. PROGRAMSKO REŠENJE ZA AUTOMATSKI REŽIM RADA

Za utvrđivanje kriterijuma optimiranja po stepenu korisnog dejstva, kao jednog od neophodnih u izradi aplikativnog programa, izvedena je analiza rada u slučaju potrebe korišćenja tri pumpna agregata za tri različite raspodele protoka.

U poglavljima 4.2. i 4.3. su navedeni osnovni podaci o korišćenom programskom jeziku, a za vizualizaciju je korišćen programski paket OMRON CX-Supervisor.

##### 4.1. Kriterijum za paralelan rad pumpnih agregata

U okviru ovog naslova biće poređenje tri međusobno različita radna stanja sa po tri agregata u paralelnom radu iz aspekta ukupnog stepena korisnog dejstva [2],[3]. U prvom slučaju će biti prikazan rezultat dobijene vrednosti stepena korisnog dejstva za rad dva agregata sa nazivnim vrednostima protoka, a treći agregat sa vrednošću protoka 40% od nazivne. U drugom slučaju će biti prikazan rezultat dobijene vrednosti stepena korisnog dejstva za rad jednog agregata sa nazivnom vrednošću protoka i dva agregata sa vrednošću protoka 70% od nazivne. U trećem slučaju će biti prikazan rezultat dobijene vrednosti stepena korisnog dejstva za rad sva tri agregata sa vrednošću protoka 80% od nazivne. Prema tome u sva tri slučaja sumarna vrednost protoka je  $2,4Q_n$ , a u paralelnom radu agregata izlazni pritisak je konstantan i jednak nazivnoj vrednosti.

Osnovni podaci za pumpni agregat br.2 u PS Vodozahvata I su:

- pumpa: tip DH 52-25/A; proizvođač: JUGOTURBINA;  $Q=0,167/0,280 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $H=75/50 \text{ m}$ ;  $n=1490 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta = 82\%$ ,
- motor: tip 2.ZKI 355Mk-4; proizvođač: SEVER;  $P_n=250 \text{ kW}$ ;  $n=1490 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta = 95,7\%$

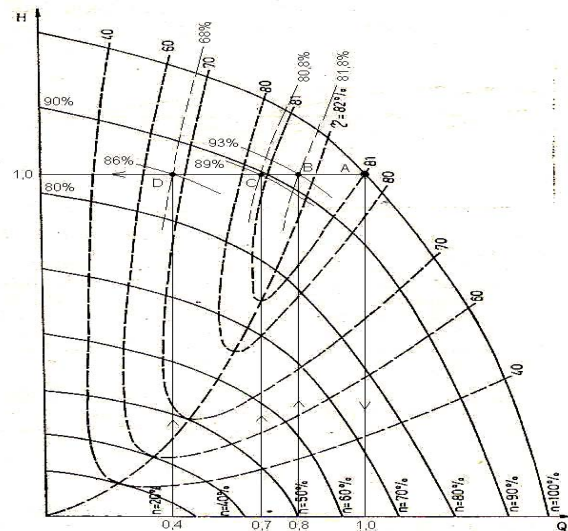
Na slici 2 su naznačene četiri karakteristične tačke označene slovima A, B, C, D kao moguća radna stanja pumpnog agregata za isti izlazni pritisak (50 m) sa različitim vrednostima protoka, brzine obrtanja i stepena korisnog dejstva pumpe. Za napred navedeni pumpni agregat niže su prikazane te vrednosti.

- tačka A:  $Q_n=0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $n_n=1490 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta_n = 0,82$   
 tačka B:  $Q=0,224 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $n = 1386 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta = 0,818$   
 tačka C:  $Q=0,196 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $n = 1326 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta = 0,808$   
 tačka D:  $Q=0,112 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $n = 1281 \text{ min}^{-1}$ ;  $\eta = 0,68$

Iz literature za električne mašine sledi da su vrednosti stepena korisnog dejstva za izabrani elektromotor u zavisnosti od izlazne snage motora (ulazne snage pumpe) za navedene tačke sledeće [4]:

$$\eta_A = 0,957; \eta_B = 0,93; \eta_C = 0,89; \eta_D = 0,65.$$

Dobijeni rezultati za napred navedena tri radna stanja su prikazani u tabeli 1.



Sl. 2. Familije hidrauličnih karakteristika i karakteristika stepena korisnog dejstva pumpe

Tabela 1. Analiza rada tri agregata

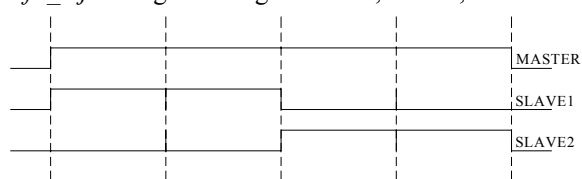
	tačke A;D	tačke A;C	tačka B
$Q_{izl} \text{ [m}^3\text{]}$	0,672	0,672	0,672
$H_{izl} \text{ [m]}$	50	50	50
$P_{izl} \text{ [kW]}$	263,5	263,5	263,5
izlazna snaga i brzina obrtanja pumpi $P[\text{kW}]/n[\text{min}^{-1}]$			
br. 1	109,8/1490	109,8/1490	87,8/1386
br. 2	109,8/1490	76,9/1326	87,8/1386
br. 3	43,9/1281	76,9/1326	87,8/1386
stepen korisnog dejstva i ulazna snaga pumpi $\eta/P_{ul} \text{ [kW]}$			
br. 1	0,957/139,6	0,957/139,6	0,93/115,4
br. 2	0,957/139,6	0,890/106,9	0,93/115,4
br. 3	0,650/ 99,4	0,890/106,9	0,93/115,4
stepen korisnog dejstva i ulazna snaga motora $\eta/P_m \text{ [kW]}$			
$P_{ul} \text{ [kW]}$	378,6	353,4	346,2
$\eta = P_{iy}/P_{ul}$	0,695	0,745	0,761
gubici [kW]	115,1	89,9	82,7

##### 4.2. Opis strukture aplikativnog programa

U cilju pisanja aplikativnog programa za upravljanje pumpnom stanicom korišćen je jedan od pet programskih jezika iz standarda IEC 1131-3 (programski jezik ST) [7]

Program je strukturiran od glavnog programa i četiri potprograma. Glavni program na osnovu merenog nivoa vode u rezervoaru, merenog protoka i merenog pritiska na glavnom potisnom vodu upravlja radom svih pet pumpnih agregata. Potprogrami svojim nazivima ukazuju na ulogu koju obavljaju:

- $fb\_tajmeri$ : genriše signal oblika, slika 3,



Sl. 3. Generisan signal

- *fb\_sat*: na snovu signala koji generiše potprogram *fb\_tajmeri* jednoznačno određuje koja pumpa će biti master, a koja od dve preostale pumpe će biti slave (od ulaznog protoka zavisi broj aktivnih pumpi),
- *fb\_pritisak*: ovaj potprogram predstavlja PID regulator pritiska vode (podešavanjem opcije manual na vrednost true prelazi se na poluautomatki režim rada),
- *fb\_ventili*: upravljanje elektromotornim zasunima, instalisanim na potisnim vodovima pumpnih agregata je u nadležnosti ovog potprograma.

### 4.3. Opis nadzora pumpnog postrojenja

Za izradu SCADA sistema korišćen je iz OMRON-ov programski paket CX-Supervisor [8].

Interfejs prema korisniku je urađen tako da sadrži prikaz svih delova pumpne stanice i pruža mogućnost praćenja izabраних fizičkih veličina. U zavisnosti od odabranog režima rada korisniku se pruža mogućnost izvršavanja željenih komandnih akcija. Takođe se prikazuju sva alarmna stanja, pa operater može relativno brzo i lako da ih zapazi i reaguje na njih.

Slika 4 predstavlja pumpnu stanicu „Vodozahvat I”. Aplikacija se startuje pomoću tastera START/STOP i pojavljuju se još dva tastera: RUČNO i AUTOMATSKI, kojima se bira režim za upravljanje sistemom. Prelazak sa jednog režima upravljanja na drugi, omogućen je ponovnim pritiskom na taster START/STOP. Pritiskom na odgovarajuću poziciju pumpe (pumpa 1, pumpa 2, i pumpa 3) dobija se ista i na njoj su prikazani bitni podaci.



Sl. 4. Osnovna slika – prikaz šeme pumpne stanice

## 5. ZAKLJUČAK

Kao rezultat analize u ovom radu koji se odnosi na primenu savremenog upravljanja pumpnom stanicom gradskog vodovoda, zaključci su sledeći:

- svi motori pumpnih agregata bi trebali biti opremljeni svojim frekventnim pretvaračima [5],
- kada je potreban paralelan rad dve ili više pumpi, pokazuje se da je opravdano iz razloga energetske efikasnosti (optimalna potrošnja električne energije za zahtevane uslove rada) podešavanje tog paralelnog rada po kriterijumu da pumpe imaju jednake protoke,

- za realizaciju regulacione petlje po pritisku neophodno je imati u vidu uzajamnu povezanost lokacije mernog davača pritiska i zahteva za formiranje signala zadate vrednosti pritiska:

- lokacija davača pritiska je u pumpnoj stanici na početku potisnog voda, a signal zadate vrednosti pritiska mora biti formiran prema relaciji  $p_z = a + bQ^2$ ,
- lokacija davača pritiska je u „uslovnom centru” distributivne mreže, a signal zadate vrednosti pritiska mora biti formiran prema relaciji  $p_z = a$  (konstantan),

- lokacije većeg broja davača pritiska su raspoređene u distributivnoj mreži, a signal zadate vrednosti pritiska mora biti konstantan, kao u prethodnom slučaju, međutim, signal stvarne vrednosti pritiska bi se uvodio u regulacionu petlju za pritisak od onog davača čija bi vrednost u odnosu na ostale bila na najnižem nivou,

- aplikativnim programom su obrađena tri pumpna agregata i obuhvaćeni sledeći elementi procesa:

- ulazi: signal protoka, signal pritiska, signal nivoa vode u rezervoaru, krajnji prekidači položaja elektromotornih zasuna,
- izlazi: signali zadate vrednosti pritiska za vezu sa frekventnim pretvaračima, izlazi za uključenje/isključenje elektromotornih zasuna,
- napomena: ima i drugih veličina koje se ne vode u PLC nego u SCADA-u (prisustvo napona, požar, potopljena prostorija, temperature motora, temperature motora elektromotornih zasuna, stanja elektromotornih zasuna i stanja ručnih ventila),

- nadređena regulaciona petlja po pritisku je realizovana sa definisanom strukturom regulatora tipa PID,

- izlazni signal iz regulatora pritiska predstavlja signal zadate vrednosti brzine obrtanja i predviđeno je da se isti vodi na sva tri frekventna pretvarača vezom RS232, pri čemu se jedan pogon (motor) definiše kao vodeći, a preostala dva kao vođeni pogoni [6],

- za poboljšanje komunikacije „čovek-sistem” realizovana je izvedba akvizicije podataka i upravljanje sistemom (SCADA) čije je prikazivanje predviđeno na jednom od panela,

- optimalan način rada postrojenja pumpne stanice potražuje dobru koordinaciju sa radom bunarskih pumpi i postrojenjem za biološko-hemijsko prečišćavanje vode, a to bi se ogledalo u održavanju nivoa vode rezervoara u relativno uskim granicama,

- pošto u strukturi potrošača pitke vode postoje i objekti sa većim brojem spratova (višespratnice), za potrebe dobijanja kvalitetnog pritiska na višim spratovima takvih objekata, neophodno je da se u njima ugrade pumpna postrojenja za povišenje pritiska.

## 6. LITERATURA

- [1] D.Obradović, „Savremeni vodovodi – informatika i operativno upravljanje”, Udruženje za tehnologiju i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 1999.
- [2] V.Vučković, „Električni pogoni”, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1997.
- [3] P.Klaus Budig, „Drehzahlvariable drehstromantriebe mit asynchronmotoren”, Verlag technig, Berlin, '88.
- [4] prospekti i katalozi za električne mašine, proizvodnje SEVER,
- [5] uputstvo za korišćenje frekventnih pretvarača, proizvodnje CONTROL TECHNIQUES,
- [6] standard za regulisane elektromotorne pogone IEC 61800-2,
- [7] standard za programabilne logičke kontrolere IEC 1131-3,
- [8] uputstvo za SCADA: CXsupervisor\_Manual.pdf

## AUTOMATION OF THE PUMPING PLANT IN CITY SUPPLYING SYSTEM

**Abstract:** *for description of working pumping plant and proposal solution for improvement manner control and supervision, used real technical system supplying water system in town Subotica (watergrip I). In target of writing application program for control pumpnig plant is used one of five program languages from standard IEC 1131-3 (program language ST). For supervision pumpnig plant is realized graphic prezent as SCADA application in software package OMRON CX-Supervisor.*

**Key words:** *pumping plant, programable language ST, SCADA / OMRON CX-Supervisor*