

SISTEM NADZORA I UPRAVLJANJA POSTROJENJEM ZA PREČIŠĆAVANJE VODE

Stanko STANKOV

Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, Srbija

REZIME

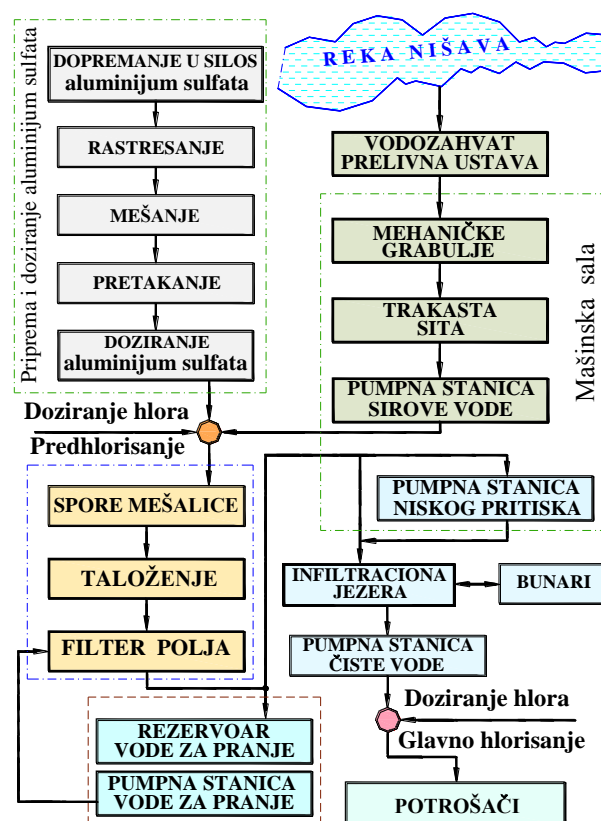
U radu je opisan upravljačko-nadzorni sistem postrojenja za prečišćavanje vode (PPV) zasnovan na PLC (programabilnim logičkim kontrolerima) i SCADA konfiguraciji. U sastavu PPV, koje je u sklopu JKP „Naissus“ Niš, postoji veći broj tehničkih celina: vodozahvat sa ustavom; oprema za prečišćavanje (mehaničke grabulje, sita, fine rešetke, spore mešalice, taložnice, filter polja); hemijska priprema vode; uređaji za predhlorisanje i glavno hlorisanje; pumpne stanice sirove vode i niskog pritiska; pumpe za pranje filtera i pumpna stanica čiste vode. Sistem vrši merenje i dinamičko prikazivanje vrednosti parametara i procesnih veličina (stepena mutnoće, nivoa vode na vodozahvatu, u filter poljima, rezervoarima, nivoa aluminijum sulfata u silosima, protoka sulfata i vode, pH, pritiska i temperature vode). Prate se i statusi uređaja i opreme. Kod određenog broja elektromotornih pogona pumpnih postrojenja primenjena je frekvencijska regulacija, čime je povećana efikasnost pogona i omogućen optimalan rad i ušteda energije. Zadavanje i pregled tehnoloških veličina i parametara vrši se na operatorskim panelima koji su spregnuti s lokalnim upravljačkim jedinicama. Ove jedinice su protokolima komunikacije povezane s centralnim sistemom nadzora i upravljanja. Posle odgovarajuće obrade informacije se prezentuju operateru u vidu procesnih promenljivih koje su funkcije vremena (trendovi), ili u obliku tabela određene strukture.

Ključne reči: postrojenje za prečišćavanje vode, upravljanje, SCADA, vodozahvat, pumpne stanice, procesne veličine

1. UVOD

Vodovodni sistem grada Niša sastoji se iz karsnih izvorišta (Studena, Krupac, Divljana, Mokra i Ljuberađa) i izvorišta podzemnih voda, koje se nalazi u istočnom delu grada, na levoj obali reke Nišave

(lokalitet "Mediana"). Ovo izvorište radi punim kapacitetom uz sistem za veštačko prihranjivanje i snabdeva grad s 400 do 550 L/s pijaće vode. Eksploatacija izvorišta je od značaja tokom leta i jeseni, kada je smanjena izdašnost pomenutih karsnih izvorišta [1, 2]. Sistem je kompleksan i sastoji se od mnogobrojnih objekata. Osim devet infiltracionih basena (jezera) s bunarima raspoređenim oko jezera, veštačko prihranjivanje izvorišta se vrši i sa vodozahvata na reci Nišavi. Blok šema vodovodnog sistema Mediana 2 je prikazan na slici 1 [2].

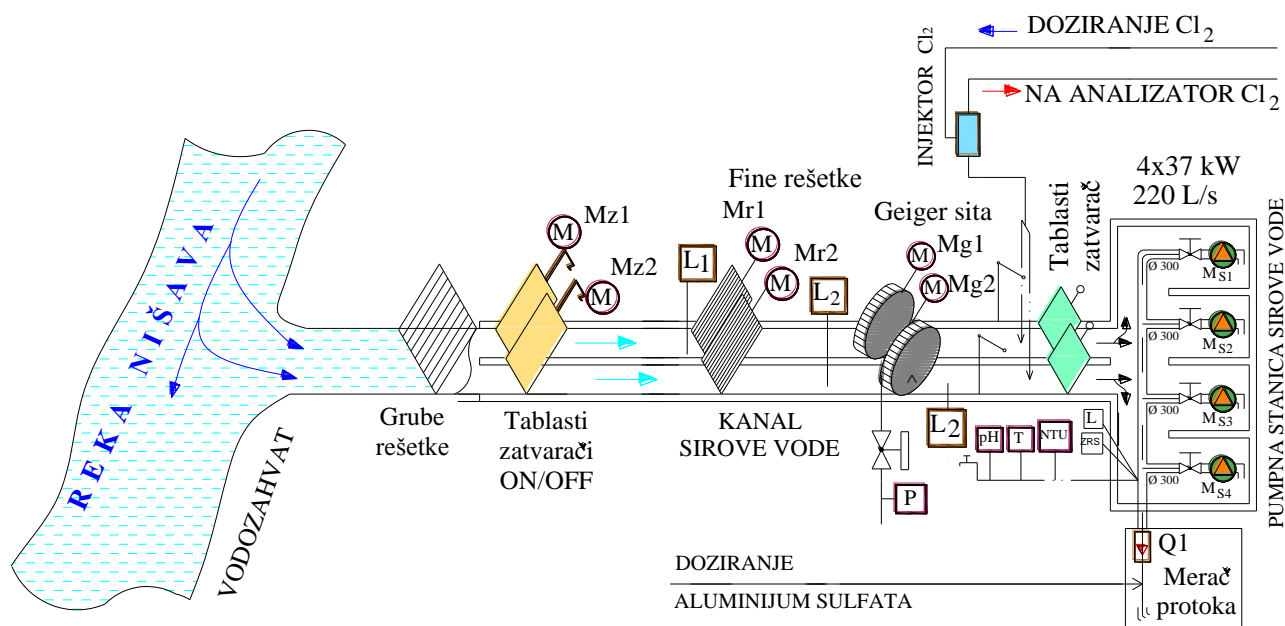


Slika 1. Blok šema vodovodnog sistema Mediana 2

U okviru ovog sistema nalazi se pumpna stanica sirove vode, postrojenje u kome se vrši pripremu rečne vode za prihranjivanje, pumpna stanica niskog pritiska, kao i cevovodi za transport vode do infiltracionih jezera. Izgrađen je i sistem natega za prikupljanje i transport zahvaćene vode do sabirnih međusobno povezanih bunara [2, 3].

Zahvatanje vode iz reke Nišave vrši se u dva nivoa puštanjem i podizanjem tablastih prelivnih ustava koje

obebeđuju adekvatnu visinu zahvatnog praga, čime se smanjuje unošenje rečnih nanosa u vodozahvat, posebno u slučaju velikih voda (šema vodozahvata sa elektromotornim pogonima prelivnih ustava, grubim rešetkama, tablastim zatvaračima, finim rešetkama i sitima prikazana je na slici 2) [2]. Uvlačenja krupnijih nanosa sprečava gruba rešetka na ulaznim otvorima. Tablaste prelivne ustave su s motornim pogonima, a u slučaju nestanka električne energije ili kvara mogu se pokretati ručno.



Slika 2. Skica vodozahvata i sistema za mehaničko prečišćavanje vode

U sklopu tablastog zatvarača s mehanizmom za podizanje i spuštanje su: elektromotori M_{z1} , M_{z2} , reduktor, dva pužna prenosnika, pokazivač položaja zatvarača i ormar za lokalno i daljinsko upravljanje s PLC-om i operatorskim panelom. U ormaru se četvoropoložajnim prekidačem bira režim rada: 1 – Ručno, 0 – Blokada, 2 – Automatski/Lokalno, 3 – Automatski/Daljinski. U ručnom režimu rada ustavom se upravlja preko tastera i graničnih prekidača. Kretanje ustave na gore odnosno na dole zaustavlja se graničnim prekidačima u kućištu reduktora, a može se prekinuti i u bilo kom trenutku pritiskom na taster stop. Informacije o položaju ustave gore/otvoreno i dole/zatvoreno dobijaju se na osnovu signala sa pomenutih graničnih prekidača. Upravljanje radom prelivne ustave je moguće i daljinski (izborni prekidač je u položaju 3) kada se otvaranje ustava vrši na osnovu komande sa SCADA

sistema PPV, gde su u zavisnosti od tehnologije realizovane automatizovane procedure zatvaranja / otvaranja (npr. u slučaju iznenadno velikih mutnoća Nišave, hemijskog zagađenja i sl.).

Zaštita motora od preopterećenja i mehaničke blokade kretanja ustave obebeđena je upotrebom relea koja štite pogonske motore od rada u režimu kratkog spoja i u slučaju predugog starta. Signali sa ovih relea uvedeni su u PLC zbog dodatnih zaštitnih uslova kao npr. zaštita od višestrukog starta u slučaju blokade ili preopterećenja motora. Alarmni sistem je realizovan pomoću PLC-a, s prikazom alarma i atributima nastanka na touch panelu. Bežični sistem za prenos podataka obebeđuje stalnu komunikaciju između vodozahvata i dispečerskog centra (DC) u upravnoj zgradi. Fotografije vodozahvata i sistema za mehaničko prečišćavanje date su na slici 3.



3a) vodozahvat s prelivnim ustavama



3b) automatske fine rešetke



3c) mehanička sita

Slika 3. Fotografije vodozahvata i sistema za mehaničko prečišćavanje

U sistemu prečišćavanja postoje dve automatske fine rešetke (grabulje) koje se pokreću pomoću elektromotora Mr1 i Mr2 (slika 2). Moguće je odabrati automatski način rada s lokalnim komandama (izborni prekidač u položaju Automatski/Lokalno) ili putem daljinskog upravljanja (Automatski/Daljinski) - u režimu rada po razlici nivoa ili u nekom drugom režimu koji je programirani u PLC-u. Osim toga, može se u slučaju havarije ili nekog kvara blokirati rad bilo koje fine rešetke postavljanjem izbornog prekidača u položaj Blokada. Mehaničko preopterećenje pogona onemogućeno je elastičnim povezivanjem pogonskog mehanizma preko tanjirastih opruga za glavno postolje. Sabijanjem opruge i aktiviranjem graničnog prekidača, kada ugib poraste za više od 12mm, isključuje se pogon elektromotora. Dodatno je zaštita od preopterećenja motora i mehaničke blokade kretanja (npr. zbog neželjenog ispadanja lanca, blokade kretanja lanca ili zaglavljivanja) realizovana korišćenjem relea koja štite pogonske motore od rada u režimu kratkog spoja i u slučaju predugog starta (slično kao kod pogona ustava). PLC i ovde vrši akviziciju digitalnih i analognih veličina uz mogućnost *modbus* komunikacije s kompaktnim prekidačima i uspostavljanje *ethernet* protokola s nadređenim SCADA sistemom. Lokalno se meri nivo vode (L_1) u kanalu, pre mehaničkih grabulja, dok se informacija o nivou posle ovih grabulja dobija sa ultrazvučnog merača (L_2) koji je postavljen ispred sita. Informacije o nivoima se vode u lokalni PLC, kao i u nadređeni SCADA sistem. Postoje dva mehanička

sita (slika 2) neposredno iza mehaničkih rešetki (grabulja) i namenjena su za mehaničko zadržavanje i uklanjanje plivajućih čestica iz sirove vode čije su dimenzije veće od 1,4 mm. U sastavu sita su: sitaste trake, elektromotorni pogoni M_{g1} , M_{g2} , elektromagnetni ventili za pranje sita, zaštitne haube sabirnog levka kojima upravlja pomenuti PLC [2]. Čestice nečistoća se uklanjaju zadržavanjem na sitastoj traci kroz koju se zbog zaprljanja redukuje protok sirove vode, pa je potrebno čestice ukloniti u odvodni sabirni levak. Uklanjanje nečistoća se vrši pomoću prskalica vode koje se uključuju aktiviranjem elektromagnetnih ventila na dovodu čiste vode. Upravljanje sitima je ručno i automatski. U ručnom režimu mehaničko sito radi neprekidno sa stalno uključenim prskalicama za pranje. Automatski rad sita se odvija na osnovu informacije o razlici nivoa vode (diferencijalni nivo) ispred i iza sitaste trake. Diferencijalni nivo sirove vode meri se pomoću davača diferencijalne razlike nivoa koji imaju podešene razlike nivoa 12cm i 24cm. U idealnom slučaju, kada se na situ ne zadržavaju nečistoće razlika nivoa ispred i iza sita je jednaka nuli, tako da nema potrebe za radom sita. Ako se pojave nečistoće koje se talože na površini sita dolazi do povećanja nivoa vode ispred sita u odnosu na nivo iza sita. Kada razlika diferencijalnog nivoa postane 12cm uključuje se manja brzina pogona, a nakon 24cm uključuje se veća brzina. Kretanje sita uz njegovo istovremeno ispiranje dovodi do uklanjanja nečistoća, pri čemu se smanjuje razlika nivoa i sita se isključuju ako je razlika nivoa ispod 12cm. Ukoliko razlika pređe vrednost 30cm otvara se sigurnosna klapna na poleđini sita koja sprečava mehaničko oštećenje sitaste trake, ali vodu propušta direktno, bez uklanjanja nečistoća. Ovaj havarijski režim rada se signalizira svetlosnim i zvučnim alarmom. Osim programskog rada na osnovu razlike nivoa predviđen je i rad definisan vremenskim intervalom uključivanja. Automatski režim rada je optimalan sa aspekta habanja mehaničkih delova sita.

Izborni prekidači omogućavaju za svako sito posebno:

- **ručni režim rada** - sito radi neprekidno, prskalice za pranje sita takođe rade kontinualno. Ovaj način rada nije uobičajen i može se izabrati u slučaju kada je npr. neki od senzora za merenje nivoa u kvaru.
- **blokada rada** – ako dođe do kvara u pogonu sita, ista se isključuju uz signalizaciju na SCADA sistemu.
- **automatski/lokalno**: režim rada kada se upravljanje radom sita realizuje komandama sa lokalnog operatorskog panela, izborom odgovarajućeg programa rada.
- **automatski/daljinski**: slično kao i u prethodnom slučaju, samo što se izbor programa (algoritma) rada realizuje preko SCADA sistema u DC. PLC sistem

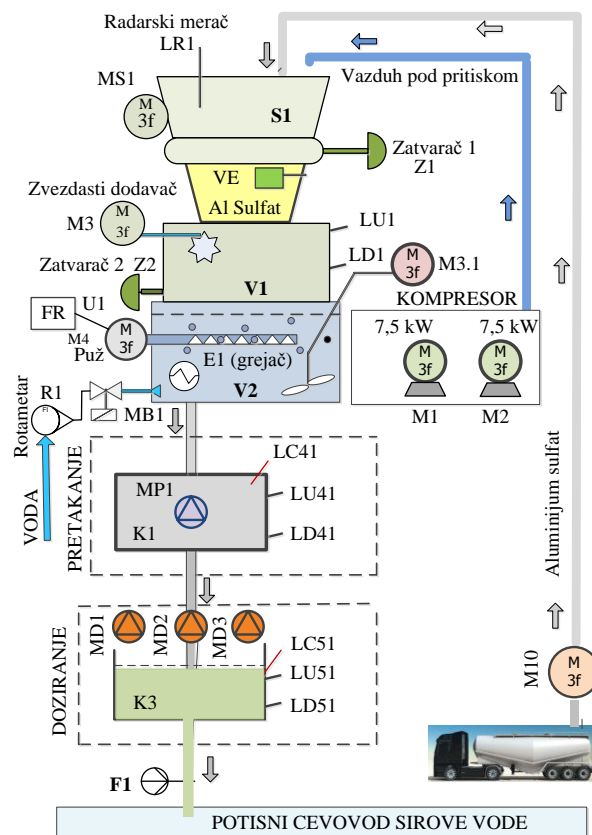
omogućava veliku fleksibilnost u odabiru režima rada. Moguće je realizovati algoritam sa uključenjem sita saglasno razlici nivoa ili npr. režime kada se uključenje sita i prskalice sprovodi na osnovu definisanih vremenskih intervala. Ručni režim rada je predviđen za slučaj otkaza neke od komponenti upravljačkog sistema, a kada se zbog zahteva proizvodnje vode mora održati kontinuitet prerade vode.

Alarmni sistem je realizovan uz pomoć PLC-a s prikazom alarmnog stanja i uzrocima nastanka na touch panelu, na kome se vrši i potvrda alarma. Kod aktiviranja graničnog prekidača za indikaciju otvorenosti sigurnosne klapne uključuje se i zvučna signalizacija.

2. HEMIJSKA PRIPREMA VODE

Prilikom obrade sirove vode i otpadnih voda dodaju se hemijska sredstva koja u vodi stvaraju pahuljice i u mogućnosti su da izazovu ubrzano taloženje. Kao flokulant često se upotrebljava aluminijum sulfat, efikasna i relativno jeftina hemikalija, koja deluje kao koagulant, flokulant, precipitant i razbijač emulzije, pri čemu uspešno otklanja nečistoće poput mutnoće, bakterija, algi, boja, organskih jedinjenja, oksidisanog gvožđa i mangana, kalcijum karbonata i čestica gline. Skica postrojenja za hemijsku pripremu vode je prikazana na slici 4 [5].

Merenje nivoa aluminijum sulfata u silosu vrši se pomoću radarskog merača LR1 koji je pogodan za merenja u sredinama gde su prisutna isparenja, prašina, pena, temperaturne varijacije, promene pritiska i stvaranje naslaga. Na ovom silosu je ugrađen i asinhroni motor MS1 snage 0,25 kW koji služi za otresanje vreća u silosu. Ispod silosa S1 nalazi se posuda V1 u koju se iz silosa presipa Al sulfat. Silos i posuda V1 su povezani preko tzv. pljosnatog ručnog zatvarača Z1, (otvaranje/zatvaranje ručno). Pomoću tzv. zvezdastog dodavača (pokreće se asinhronim elektromotorom M3) zahvata se aluminijum sulfat i dozira u V1. U posudi V1 meri se nivo sulfata (donji nivo LD1 i gornji nivo LU1). Na posudi je ugrađen vibracioni element VE, koji se uključuje prema zadatim vremenskim intervalima, pri čemu rastresa masu aluminijum sulfata u posudi. Uslov za rad VE je prisustvo mase sulfata u ovoj posudi. Prilikom dostizanja nivoa LD1 uključuje se motor M3, a isključuje se kada je dosegnut nivo LU1. U produžetku V1 posude je posuda V2. Međusobno su povezane preko tzv. pljosnatog zatvarača Z2. U ovu posudu se sada dozira čista voda pomoću rotametra R1 i elektromagnetnog ventila MB1. Osim vode u V2 se



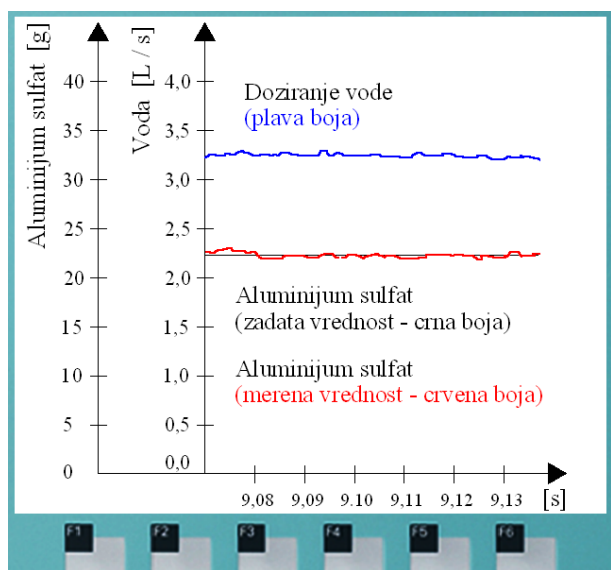
Slika 4. Skica postrojenja za pripremu i doziranje Al sulfata

dozira i aluminijum sulfat iz V1 posude pomoću pužnog prenosa pokretanog elektromotorom M4, čiju regulaciju broja obrtaja vrši frekvencijski regulator U1. Na osnovu signala o mutnoći vode (ovaj signal dolazi sa turbidimetra i izražava se u jedinicama NTU - nephelometric turbidity units) u postrojenju za preradu sirove vode formira se mešavina vode i aluminijum sulfata. Posuda V2 poseduje mešalicu koju pokreće elektromotor M3.1. Ovde se vrši mešanje aluminijum sulfata i vode. U V2 su instalirane dve sonde za diskretno merenje nivoa smeše (donji nivo LD2 i gornji nivo LU2). Za grejanje puža služi grejač E1 u čijem su kolu regulacioni (TH1) i sigurnosni termostat (TH2). U sklopu silosa postoji određen broj dizni preko kojih se uduvava vazduh pod pritiskom radi raspršivanja mase aluminijum sulfata. Ovaj vazduh dolazi iz kompresorskog postrojenja koje ima dva elektromotora (M1, M2).

Postrojenju za pripremu i doziranje aluminijum sulfata su pridružene pumpe za pretakanje MP1 i MP2 i dozirne pumpe MD1, MD2, MD3. Postrojenje je u vezi s

kadama K1 i K3 u kojima se vrši merenje nivoa smeše (donji nivo LD41, gornji nivo LU41 i trenutna vrednost nivoa LC41 – kada K1) i (donji nivo LD52, gornji nivo LU52 i trenutna vrednost nivoa LC51 – kada K3).

Na slici 5 prikazan je operatorski panel sa zadatim i merenim vrednostima čiste vode i aluminijum sulfata. Pripremljena smeša aluminijum sulfata i vode slobodnim padom odlazi do kade K1. Ovde je instalirana pumpa za pretakanje MP1, koja potiskuje smešu u kadu K3. U K1 kadi vrši se merenje koncentracije aluminijum sulfata.



Slika 5. Prikaz na operatorskom panelu zadatih i merenih vrednosti čiste vode i aluminijum sulfata

Pumpa MP1 se uključuje kada je dostignut nivo LU41, a isključuje pri dostizanju nivoa LD41. Uslov za rad ove pumpe je i da je nivo smeše u sudu V2 iznad LD2 nivoa. Iz kade K3 smeša se usmerava u potisni cevovod sirove vode pomoću dozirnih pumpi MD1, MD2, MD3. Ove pumpe kao i pumpa za pretakanje MP1 i MP2 mogu da rade u ručnom i automatskom režimu. Režimi rada pumpi za pretakanje i doziranje su:

- ručni režim (uključivanje se vrši pomoću Stop/Start tastera),
- blokada (blokiranje rada određene pumpe u slučaju kvara, servisiranja i sl.),
- automatski lokalni rad,
- automatski daljinski rad.

Ekonomičan rad i optimalni rezultati flokulacije i koagulacije zavise isključivo od pH vrednosti vode.

Kao flokulaciono sredstvo Al-sulfat najefikasnije deluje ukoliko je pH vode spremne za flokulaciju, nešto manja od 7 (eksperimenti pokazuju optimalno odvijanje procesa u granicama pH 5-7). Pri visokim pH vrednostima (pH>9), dolazi do rastvaranja flokulanta što može povisiti koncentraciju sulfata iznad dozvoljene vrednosti (0.2 mg/L Al sulfata).

3. PUMPNE STANICE

Pumpe stanice (pomenute u blok šemi na slici 1) se napajaju iz sopstvenih frekvencijskih regulatora ili soft startera, čime se obezbeđuje efikasna i ekonomična regulacija broja obrtaja, brojne zaštitne funkcije i optimalna potrošnja električne energije. Komandi napon frekvencijskih pretvarača je spoljnji, dakle iz posebnog izvora čime se na jednostavan način omogućava da energetsko kolo pretvarača bude uključeno kada postoji komanda za start pumpe. Na taj način se dodatno štedi energija, odnosno ne proizvode gubici kada je to nepotrebno. Ručni režimi rada se mogu ostvariti i u slučajevima potpune nefunkcionalnosti PLC-a i SCADA sistema, dok se automatski rad može realizovati ako je ispravan lokalni PLC (lokalni režim), odnosno PLC i SCADA sistem (daljinski režim). Na vratima ormara postavljeni su za svaku pumpu izborni prekidači kojima se mogu selektovati režimi rada: 1 – Blokada, 2 – Ručno, 3 – Automatski. Automatski režim rada je uobičajen, dok je ručni mod havarijski, bez regulacije protoka u potisnim cevovodima, ali sa implementiranim odgovarajućim zaštitama pumpi i sistema.

Ručni režim rada se aktivira u slučaju kada se želi proba pojedinih pumpnih agregata, npr. prilikom prvog puštanja u rad, servisiranja, održavanja i sl. Na lokalnim operatorskim panelima mogu se pratiti stanja svih pumpnih agregata, izvršiti dijagnostika eventualnih upozorenja i alarmnih stanja i po potrebi kviritirati pojedine greške i alarmi. Dodatno se parametri pojedinih agregata mogu pratiti na lokalnim operatorskim panelima frekvencijskih pretvarača.

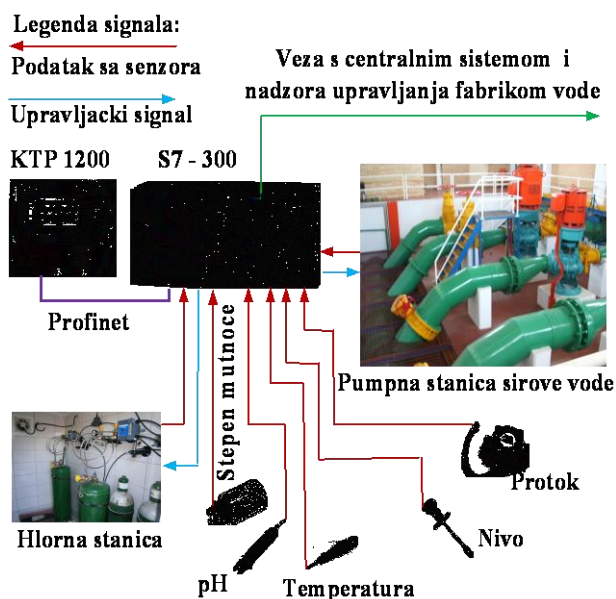
Automatski/Lokalni režim rada podrazumeva zadavanje referentnih vrednosti protoka i upravljanje radom određene PS na lokalnom operatorskom panelu.

U automatskom/daljinskom režimu upravljanje PS, odnosno pojedinim agregatima se odvija preko SCADA sistema iz DC odakle se zadaju režimi rada i potrebni protoci. Prednosti savremenog upravljanja pumpnim stanicama su:

- održavanje konstantnog, unapred zadatog pritiska prema mreži,
- meki start pumpi, što elimiše strujne udare u električnoj mreži, pruža zaštitu konstrukcije motora u električnom i mehaničkom smislu,
- eliminisanje hidrauličkih udara,
- ušteda energije,
- veliki broj zaštitnih funkcija elektromotora (ispad faze, prekostrujno opterećenje, podnapon, prenapon, kratak spoj, temperaturna zaštita, zaštita od zemljospoja, prodora vlage, kompenzacija kratkotrajnog prekida napajanja).

3.1. PUMPNA STSNICA SIROVE VODE

Ova PS doprema s vodozahvata sirovu vodu kojoj se prethodno dodaje hlor (predhlorisanje), preko postrojenja sa sporim mešalicama i taložnicama do filtarskih polja. Ovdje se vrši obrada vode, taloženje uz dodavanje koagulanata (Al sulfata) i filtriranje kroz višeslojne peščane filtre. Blok šema upravljačko-nadzornog sistema pumpne stanice sirove vode je prikazana na slici 6.



Slika 6. Blok šema upravljačko-nadzornog sistema pumpne stanice sirove vode

PS ima tri radne pumpe i jednu koja je funkcionalna rezerva (snage pumpi su po 37 kW). Na ovaj način dobijen je nominalni kapacitet 660 L/s, pri čemu svaka od pumpi može da u maksimalnom režimu rada dovede po 220 do 280 L/s do filtarskih polja [2, 7]. Na potisnom

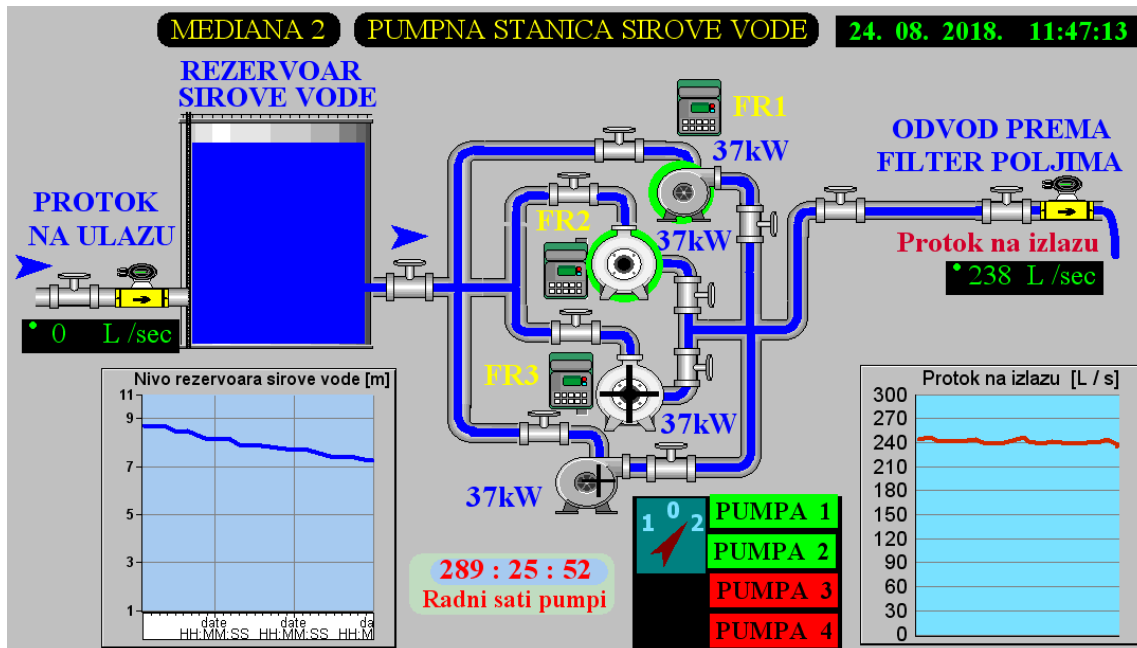
cevovodu meri se protok sirove vode na osnovu čega se obavlja doziranje rastvora aluminijum sulfata u potisni cevovod i sirova voda ide do – sporih mešalica i dalje se prelivanjem transportuje do taložnica i filtarskih polja gde se nečistoće talože na dnu komora (slika 8). Prečišćena voda, nakon prolaska kroz filtre, odlazi slobodnim padom do pumpne stanice niskog pritiska odakle se transportuje do infiltracionih jezera.

Željeni protok sirove vode ka filterskom postrojenju podešava se zatvaranjem/otvaranjem regulacionih elektromotornih ventila, koji su na potisnom cevovodu svake pumpe. Osim toga, u automatskom režimu rada PS sirove vode omogućeno je zadavanje vrednosti protoka iz nadzornog SCADA sistema, uz istovremeni nadzor različitih parametara kao što su: pritisci, temperature, pH vrednost, stepen mutnoće, protok.

Na potisnom cevovodu je instaliran merač protoka koji obezbeđuje kontinualno merenje. SCADA ekran PS sirove vode dat je na slici 7. Pumpni agregati preko regulacionih elektromotornih ventila obezbeđuju zadatu vrednost protoka u potisnom cevovodu prema filtarskim poljima [7]. Informacija o protoku (signal 4-20 mA) se uvodi u PLC odakle se, saglasno broju aktivnih pumpi i odabranom režimu rada, vrednosti referentnih protoka za svaki od agregata prosleđuju kao analogne veličine na ulaze frekvencijskih pretvarača. U rezervoaru sirove vode PS je hidrostatička sonda za kontinualno merenje nivoa sa signalom 4-20 mA, koji se prosleđuje PLC-u. Ovaj signal se koristi za zaštitu od rada na suvo.

Dodatna zaštita od rada na suvo obezbeđena je ugradnjom diskretnog detektora nivoa. Svaki pumpni agregat – utopna pumpa poseduje ugrađene zaštite: od prodora vode, od dostizanja prekomerne temperature ležajeva i prekomerne temperature namotaja. Signali sa davača temperature uvedeni su u frekvencijske pretvarače i na taj način je obezbeđena zaštita pumpnih agregata od pregrevanja. Signal zaštite od prodora vode je preko relea uveden u zaštitno kolo svakog agregata pojedinačno, a dodatno i u digitalni ulaz PLC-a. Informacija o protoku sirove vode - analogni signal 4-20 mA, šalje se hlornoj podstanici u cilju obezbeđenja pravilnog predhlorisanja sirove vode. Osim toga, na displejima transmitera mogu se direktno očitavati merene vrednosti. Na ovaj način obezbeđeno je kontinualno praćenje pomenutih veličina, za potrebe nadzornog SCADA sistema [7, 9].

Hlornoj podstanici se prosleđuje i enable signal o stanju režimu rada PS sirove vode: NC stanje kad je PS u radu, NO stanje kada je PS isključena ili u zastoju. Uključenje



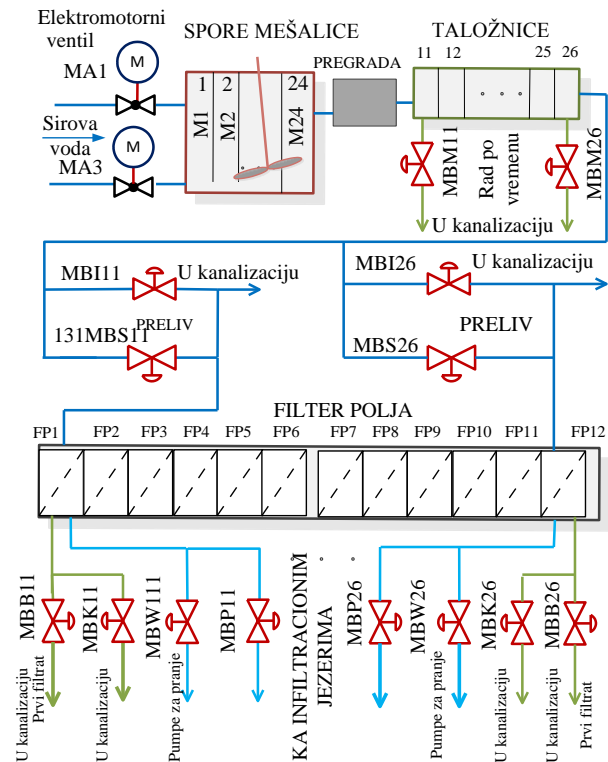
Slika 7. SCADA u DC pumpne stanice sirove vode

/isključenje linije za predhlorisanje – injektora, realizovano je preko elektromagnetnog ventila kojim se upravlja iz hlorne podstanice.

Na grani za uzorkovanje sirove vode nalaze se senzori mutnoće, pH vrednosti vode i sensor temperature sa čijih se transmitera signali (4 – 20 mA) uvode u analogne ulaze PLC-a.

Filter polja se mogu naći u jednom od tri režima rada:

- filtracija - vrši se prečišćavanje vode prolazom kroz različite filterske slojeve; faza traje do isteka maksimalnog vremena određenog za filtraciju ili dok se filterski deo toliko ne zaprlja tako da održavanje konstantnog nivoa vode u filterskom bazenu postane neizvodljivo čak i pri maksimalno otvorenom regulacionom ventilu;
- mirovanje - standardna među-faza pri prelasku iz dva radna režima;
- pranje - zatvara se ulazni dotok vode pri maksimalno otvorenom izlaznom ventilu; sačeka se da nivo vode u filterskom bazenu opadne i zatim se ubacivanjem vazduha iz kompresora diže prljav sloj koji se, konačno, upumpavanjem čiste vode isteruje u kompenzacioni bazen.



Slika 8. Šema sporih mešalica, taložnica i filter polja

3.2. PUMPNA STANICA ZA PRANJE FILTARA

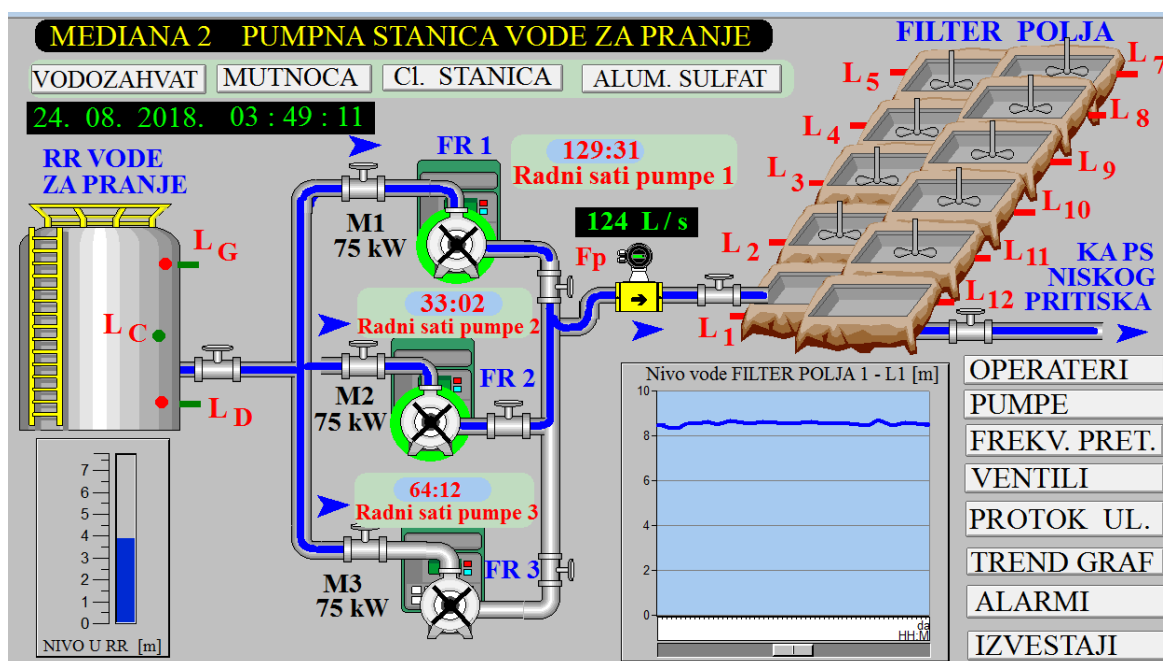
U sklopu ove PS postoje 3 pumpna agregata čije su snage po 75kW – dve radne pumpe i jedna rezervna koja po potrebi radi u alternaciji sa osnovnom pumpom. Jedan SCADA ekran PS prikazan je na slici 9.

Pumpe se napajaju preko frekvencijskih regulatora. Svaki regulator na ulazu ima poluprovodničke osigurače i kompaktne prekidače s mogućnošću daljinskog isključenja u slučaju havarije ili blokade određene pumpe. Upravljanje radom PS za pranje filtera je iz PLC – a, koji na osnovu dobijene sekvence i stanja otvorenosti/zatvorenosti pojedinih ventila u filteraskim poljima uključuje i daje dozvolu za uključenje pogona određene pumpe. Pumpni agregati obezbeđuju zadatu

vrednost protoka u potisnom cevovodu prema filteraskim poljima. Na potisnom cevovodu ugrađen je merač protoka (Fp). Zadati maksimalni protok je 125 L/s. Informacija o protoku (signal 4-20mA) se uvodi u analogni ulaz PLC-a odakle se, saglasno broju aktivnih pumpi i odabranom režimu rada, vrednosti referentnih protoka za svaki od pumpnih agregata prosleđuju kao analogne veličine na ulaze frekvencijskih pretvarača.

Zaštita od rada na suvo pumpnih agregata PS je preko ugrađenih hidrostatickih sondi za kontinualno merenje nivoa.

Upravljanje radom PS za pranje filtera i regulacija protoka vode za pranje u potisnom cevovodu realizovano je korišćenjem PLC-a Siemens S7-1200.



Slika 9. SCADA u DC pumpne stanice vode za pranje filtera

U okviru PS za pranje filtera, kao ispomoć za siguran start pumpi za pranje filtera nalazi se vakuum postrojenje kojim se obezbeđuje nalivanje vodom horizontalnih centrifugalnih pumpi i njihov rad bez kavitacije. Vakuum pumpe sa pripadajućim elektro-ormarom za napajanje i upravljanje smeštene su u mašinskoj sali, u neposrednoj blizini pumpi za pranje. Do najviše kote usisnog cevovoda pumpi za pranje povezani su vakuum vodovi preko kojih se u usisnom cevovodu i radnim kolima vakuum pumpi stvara podpritisk. Pod dejstvom podpritiska naliva se voda iz rezervoara pijaće vode u radno kolo pumpnih

agregata kako bi se postigao start pumpi bez kavitacije i vazdušnih mehurića u instalaciji. Vakuum postrojenje se sastoji iz dve vakuum pumpe s vodenim zaptivanjem, koje imaju pomoćne rezervoare vode.

Elektromotori pumpi (snage po 15 kW), se uključuju soft starterima kojima se obezbeđuje rad po programiranoj rampi polaska i zaustavljanja, s podesivom polaznom strujom. Nakon zaleta motora uključuje se tzv. bypass kontaktor kojim se motor direktno priključuje na mrežu (nema nepotrebnih gubitaka na poluprovodničkim

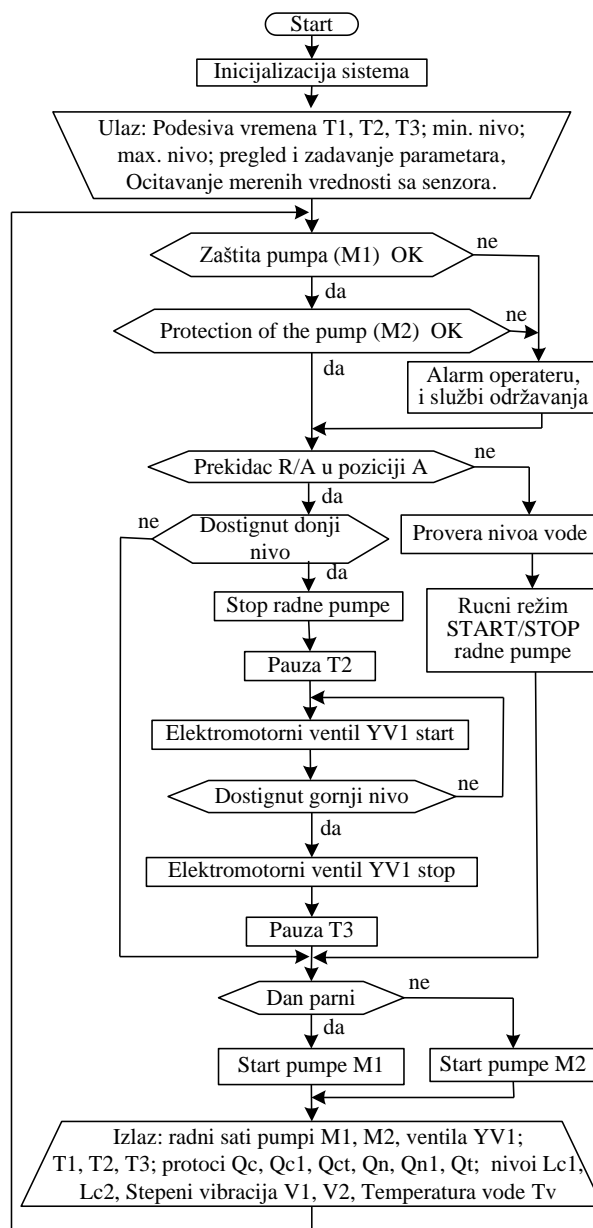
prekidačima), pri čemu su zaštitne funkcije soft startera i dalje u funkciji, jer se strujno kolo motora i dalje zatvara preko dela pretvarača u kome se obavlja merenje. Rad vakuum postrojenja se prati preko signalnih sijalica i operatorskog panela, ili preko SCADA sistema u DC. U režimu blokade rada (izborni prekidač u položaju 0) isključuje se dozvola za uključenje izabranog soft startera, odnosno onemogućava rad vakuum pumpe. Osim toga na vratima ormara nalazi se i "pečurka" taster za nužno isključenje postrojenja.

4. UPRAVLJANJE I NADZOR BUNARSKIH POSTROJENJA

Sastavni elementi bunarskog postrojenja su: pumpna stanica, regulacioni elektromotorni ventil, senzori diskretnog i kontinualnog nivoa, merači protoka [2, 3]. Pumpna stanica može raditi u ručnom ili automatskom režimu. Ručni rad je bez regulacije nivoa vode u bunaru, ali sa odgovarajućim zaštitama (zaštita pumpe od rada na suvo i asimetrije i nestanka faze). Ovaj način upravljanja se koristi u probnom radu pumpne stanice, prilikom održavanja, remonta i periodične provere ispravnosti pumpnih agregata. U ručnom režimu PLC ima samo nadzornu ulogu ali ne i upravljačku. I u ovom slučaju moguće je pratiti parametre na touch panelu PLC-a. Rad svih podsistema kompleksa „Mediana 2“ odvija se prema određenim algoritmima. Uprošćena šema jednog takvog algoritma (konkretno za bunarska postrojenja) data je na slici 10.

Automatski režim rada je kontrolisan od strane PLC-a. Uvedena je blokada rada motora radne pumpe (M1 ili M2) kada je otvoren elektromotorni ventil (YV1) za nalivanje bunara. Takođe, blokira se otvaranje ventila kada motor pumpe radi. U bunaru je instalirana hidrostatička sonda za kontinualno merenje nivoa vode, a pored bunara identična sonda za praćenje izdašnosti bunara (signali 4 - 20 mA), koji se preko analognih ulaza dovode u PLC. U PLC se dovode i analogni signali sa merača protoka na cevovodu za crpljenje vode iz bunara i merača protoka na dovodnom cevovodu za punjenje bunara vodom, kao i analogni signal položaja otvorenosti elektromotornog ventila. Analognim izlaznim signalom 4 - 20 mA se reguliše otvorenost ventila. Merači protoka preko RS485 porta dostavljaju podatke PLC-u o trenutnim i kumulativnim vrednostima protoka. Formirane su dve upravljačke konture:

1. Upravljanje radom pumpe za crpljenje vode iz bunara, gde pumpa neprekidno crpe vodu (podesivo vreme – T1, koje u konkretnom slučaju iznosi oko 70 sati). Hidrostatička sonda prati nivo vode u bunaru i



Slika 10. Algoritam rada bunarskog postrojenja

ukoliko nivo padne na određenu vrednost pumpa se isključuje i pre isteka ovog perioda, kako bi se zaštitila od rada na suvo.

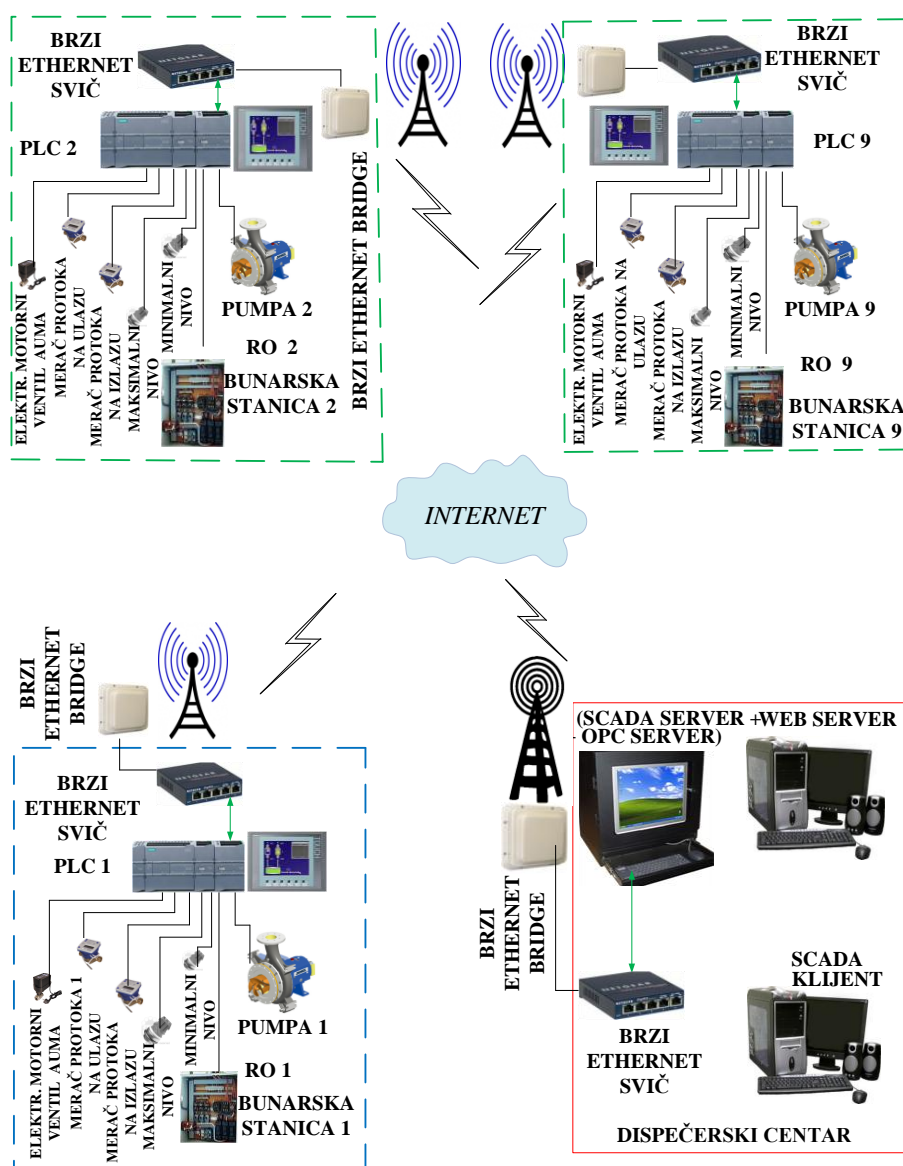
2. Upravljanje radom regulatora protoka sa elektromotornim ventilom za nalivanje bunara vodom obogaćenom kiseonikom.

Proces nalivanja bunara ovom vodom koja se dovodi gravitaciono traje oko 10 sati, tj. do dostizanja gornjeg nivoa bunara. Preko hidrostatičke sonde prati se nivo

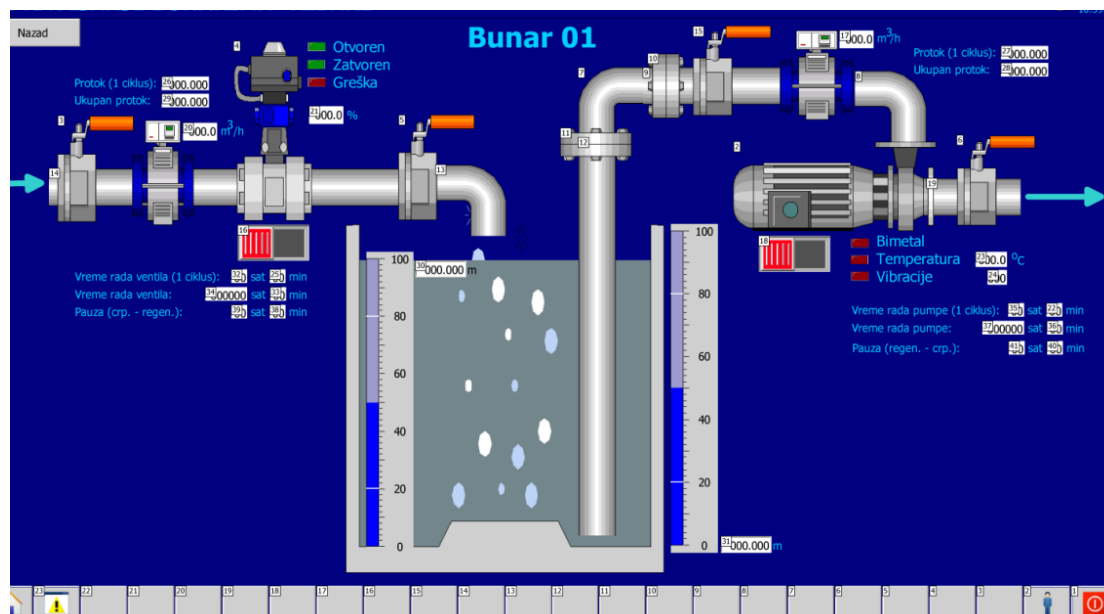
vode u bunaru, i ukoliko nivo poraste do određene vrednosti izdaje se komanda za zatvaranje elektromotornog ventila i pre isteka ovog perioda, kako ne bi došlo do preliivanja. Dodatna zaštita od preliiva je signal nivostata sa konduktivnim nivo sondama. Dostizanjem gornjeg nivoa aktivira se signalizaciju MAX nivo i zatvaranje regulatora protoka s motornim pogonom i leptirastim zatvaračem. Informacija o stepenu otvorenosti/zatvorenosti se dovodi na analogni ulaz, a podatak sa graničnih pozicija ventila se dovodi na digitalne ulaze PLC-a.

4.1. PRENOS PODATAKA

U ormarima devet bunarskih postrojenja instalirani su upravljivi Fast Ethernet svičevi za povezivanje opreme, koji poseduju Ethernet port brzine 10/100MB/s. Svičevi u ormarima bunara povezani su sa Ethernet svičem u DC putem bežičnog linka. Veza između bežičnog bridža i POE (power over ethernet) elementa u ormarima se ostvaruje STP kablom (schirm twisted pair – upredeni par provodnika s širmom). Bežični bridž je povezan antenskim kablom sa integrisanom panel antenom (slika 11) [2, 6, 7]. Preko hidrostaticke sonde prati se nivo



Slika 11. Blok šema upravljanja i nadzora bunarskih stanica i veza s dispečerskim centrom



Slika 12. SCADA ekran bunarskog postrojenja na klijent računaru u dispečerskom centru

vode u bunaru i ukoliko poraste do određene vrednosti vrši se zatvaranje elektromotornog ventila kako ne bi došlo do preliivanja. Informacija o stepenu otvorenosti / zatvorenosti ventila se dovodi na analogni ulaz, a podatak sa graničnih pozicija ventila se dovodi na digitalne ulaze PLC-a.

Proces nalivanja bunara ovom vodom koja se dovodi gravitaciono traje oko 10 sati, tj. do dostizanja gornjeg nivoa bunara.

Kreiran je određen broj SCADA ekrana (klijent računari u DC – jedan ekran je prikazan na slici 12) [2, 4, 8], na kojima su predstavljeni određeni elementi bunarskog postrojenja s karakterističnim veličinama i parametrima.

5. KONFIGURACIJA UPRAVLJAČKO – NADZORNOG SISTEMA

Sistem automatskog upravljanja PPV zasnovan je na programibilnim logičkim kontrolerima i operatorskim panelima, koji su interfejsi između operatera i postrojenja. Sistem upravljanja je povezan i sa SCADA računarom u DC. Normalni režim rada postrojenja je automatski. Za posebne namene pojedine tehničke celine se mogu prebaciti na ručni mod upravljanja, koji je pogodan za ispitivanje opreme pri remontima i održavanju. Blok šema upravljanja PPV prikazana je na slici 13 [2]. U osnovi upravljanja vodovodnim sistemom Mediana 2 je centralni nadzorno-upravljački sistem instaliran u DC. Arhitektura sistema je zasnovana na

master-slave konfiguraciji koju čine PLC kontroleri: master PLC je Simatic S7-400 (redundantni par); S7-300 (postrojenje za pripremu i doziranje Al sulfata, PS sirove vode, taložnice i filter polja, PS za pranje filterarskog postrojenja, pumpna stanica čiste vode); S7 1200 (transformatorska stanica, dizel agregat, ustava, sistem za mehaničko prečišćavanje vode-mehaničke grabulje i sita; kompresorska stanica, hlorna stanica). Svaki lokalni kontroler je povezan sa operatorskim panelom KTP protokolom komunikacije PROFINET.

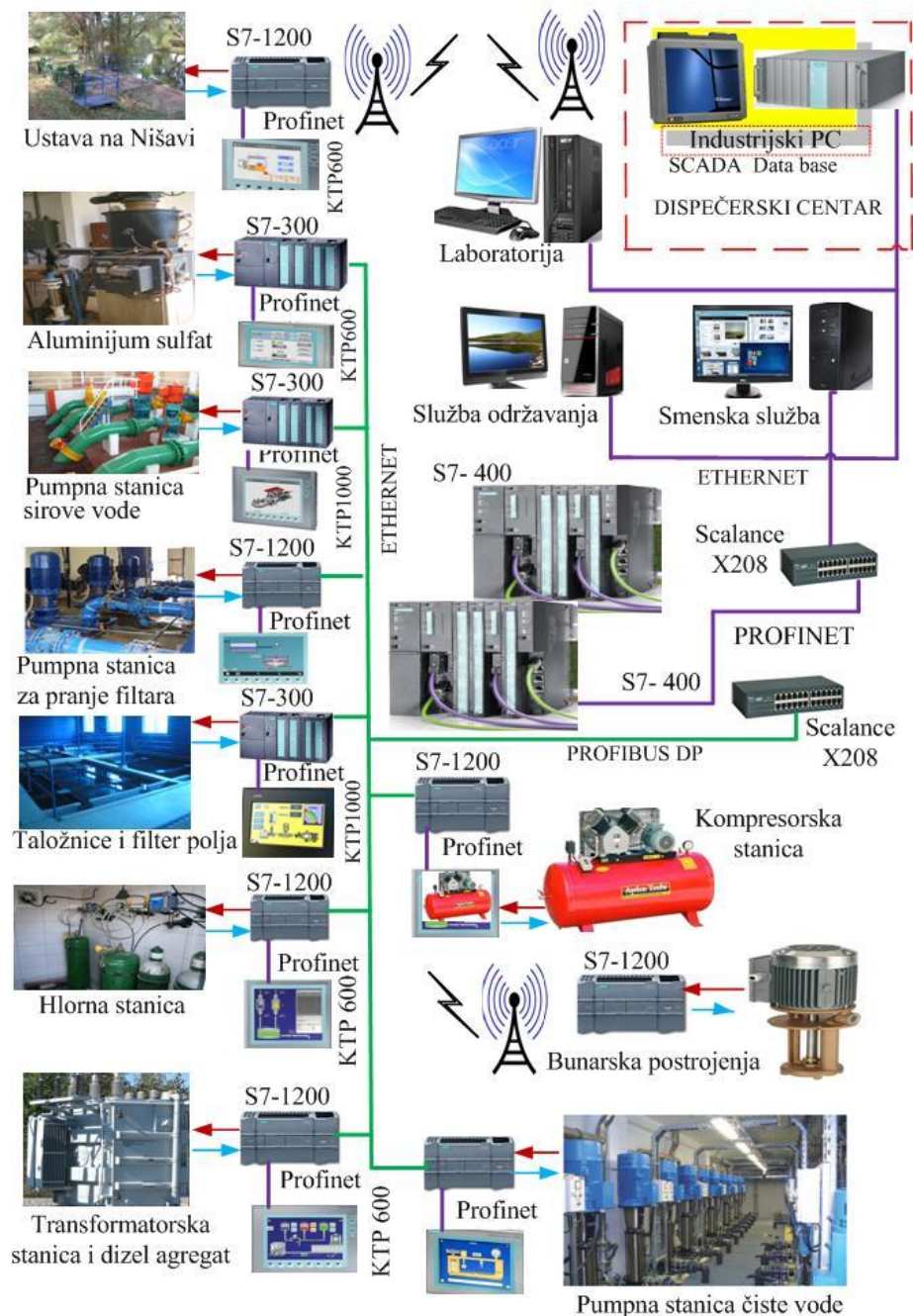
Povezivanje master kontrolera sa slave kontrolerima i serverima je izvršeno preko ETHERNET mreže. U DC je instaliran server real-time baze podataka koji distribuira podatke radnim stanicama - klijentima (DC, služba održavanja, hemijska laboratorija, menadžment) [2, 9-12]. SCADA se organizuje u vidu menija i podmenija, pri čemu se prikazuje funkcionalnost sistema uz određene animacije (npr. rad pumpi, elektromotornih ventila), daje se prikaz promene neke veličine u realnom vremenu u vidu trend grafa ili u digitalnom obliku (vrednosti nivoa, protoka, mutnoće, rezidualnog hlora itd.), dostizanje graničnih vrednosti se signalizira kao alarmna poruka uz zvučnu i svetlosnu signalizaciju.

Glavni zadatci postavljeni pred SCADA sistem su:

- prikupljanje real-time digitalnih i analognih podataka sa svih objekata povezanih u sistem (veliki broj tagova);
- arhiviranje relevantnih informacija dobijenih na osnovu prikupljenih podataka u relacionoj bazu podataka;

- prezentacija real-time i arhiviranih podataka putem sinoptičkih ekrana, trendova, grafikona i tabela;
- real-time upravljanje i monitoring vodozahvata, mehaničkog prečišćavanja vode, hemijske pripreme, bunarskih postrojenja, pumpnih stanica.

Master redundantni tandem sistem PLC-ova S7-400 u sprezi sa SCADA računarom u DC diktira komunikaciju sa svim udaljenim stanicama, šalje upite, komande i prihvata i arhivira sve poruke koje pristižu od upravljanih objekata.



Slika 13. Blok šema upravljanja i nadzora vodovodnog sistema Mediana 2

Akvizicija, prezentacija i skladištenje informacija sa svih objekata povezanih u sistem vrši se u DC u kome su instalirani serveri i radne stanice:

- master SCADA server - glavni server u sistemu, u kome se nalaze real-time podaci prikupljeni sa svih objekata. Pored prezentacije real-time podataka za radne stanice (veliki broj ekrana) ovaj server generiše sve vrste grafičkih i tabelarnih izveštaja na osnovu arhiviranih podataka;
- master SQL server koji vrši skladištenje svih tipova informacija prikupljenih u glavnom SCADA serveru, u relacjonu bazu podataka kako bi se te informacije kasnije prezentovale i analizirale;
- backup SQL server je redundantni server u sistemu, koji podatke "replikacijom" dobija od master SQL servera;
- domain control server obezbeđuje ispravan domenski rad celog SCADA sistema sa svim servisima koje zahteva ovakav kompleks;
- Web server omogućava autorizovanim korisnicima distribuciju i prezentovanje podataka arhiviranih u SCADA i SQL serverima preko interneta.

Pomenuti serverski sistemi su sa adekvatnim platformama (snažni procesori, RAM i hard diskovi odgovarajućih kapaciteta, ethernet kartice, monitori).

Svi objekti povezani su u jedinstveni telekomunikacioni sistem baziran na Ethernet-u. Na vodozahvatu i bunarskim postrojenjima razmena podataka s nadređenim DC realizovana je putem Internet-a uz pomoć brzih internet bridževa. Pri koncipiranju kapaciteta SCADA sistema osnova su ulazne i izlazne veličine i parametri upravljanog postrojenja. Na osnovu toga vrši se projektovanje hardverske konfiguracije upravljačkog sistema i određivanje broja ulaznih i izlaznih signala (digitalnih i analognih) i planira se broj tagova SCADA [2, 9].

6. ZAKLJUČAK

Opisan je upravljačko – nadzorni sistem zasnovan na PLC i SCADA konfiguraciji s decentralizovanim distribuiranim upravljanjem tehnološkim celinama, koje su sastavni delovi PPV. Upravljačke jedinice vrše programsko upravljanje postrojenjima i regulaciju tehnoloških veličina i parametara poput nivoa, protoka, brzine, pritiska, pH vrednosti, mutnoće, doziranja aluminijum sulfata, hlora, i dr. Sagledavaju se razne situacije u radu instaliranih mašina i uređaja i štite se od tehnoloških i električnih havarija. Grafički prikaz sastavnih celina pomoću dinamičkih ekrana omogućava operateru praćenje procesa. Kontrolišu se transformatorska stanica i dizel agregat, ustava, proces

mehaničkog prečišćavanja vode, priprema i doziranje aluminijum sulfata, doziranje hlora, procesi u filter poljima, taložnicama, pumpnim stanicama sirove vode, vode za pranje filtera i čiste vode. Upravljački sistem vrši identifikaciju promene stanja procesa, dijagnozu i procenu grešaka, omogućava predviđanje ponašanja objekata upravljanja u uslovima promene ulaznih promenljivih i generiše optimalne vrednosti upravljačkih signalu kako bi se postigao propisani kvalitet vode. Osim toga sistem obavlja akviziciju, obradu i arhiviranje podataka koji su vezani za vrednosti procesnih veličina i stanje instalirane opreme. Omogućeno je kreiranje i štampanje smenskih i periodičnih izveštaja o funkcionalnosti i raspoloživosti pojedinačnih tehnoloških celina i toku proizvodnje, na osnovu čega se rade analize i potrebne korekcije u cilju povećanja efikasnosti. Prate se i alarmna stanja koja nastaju u slučaju kvarova ili prekoračenja zadatih vrednosti određenih veličina.

Predloženi upravljačko - nadzorni sistem omogućava:

- periodično očitavanje karakterističnih veličina i radnih sati uređaja i opreme,
- arhiviranje promena na svim digitalnim i analognim ulazima i izlazima upravljačkih jedinica,
- dugoročno arhiviranje svih akcija operatera,
- zadavanje fleksibilnih radnih grafika.

Vizuelizacija objekata upravljanja s grafičkim i tabelarnim prikazom relevantnih veličina i parametara, od velikog je značaja i za sektor održavanja. Na ekranu SCADA sistema, kroz desetine intuitivnih ekrana ima se uvid u funkcionalnost PPV, a pojava alarmnih signala omogućava bržu lokalizaciju kvarova, čime se znatno povećava efikasnost održavanja. Omogućena je svetlosna i zvučna signalizacija dostizanja kritičnih vrednosti (alarma), pri čemu se odvijaju odgovarajuće aktivnosti upravljačke logike.

LITERATURA

- [1] Elaborat o funkcionalnom stanju i izvedenim objektima na infiltracionom izvoru "Mediana", Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 2000.
- [2] S. Stankov, M. Petronijević: Glavni projekat rekonstrukcije elektroenergetskog napajanja i upravljanja Fabrikom vode „Mediana 2“, Istraživačko razvojni centar Alfatec, Niš, 2013.
- [3] S. Stankov: Upravljanje i nadzor vodovodnog sistema, 38. Međunarodni stručno - naučni skup

- Vodovod i kanalizacija 2017, Zbornik radova, (str. 63 - 72), Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, Kragujevac, 10 - 13. oktobar 2017.
- [4] D. Barley, D., Edwin, W.: Practical SCADA for Industry, Elseiver, 2003.
- [5] S. Stankov, S. Arsić, M. Milovanović, M., Radić, Z. Ičić: Work Regulation of Plant for Preparation and Dosing Aluminum Sulphate in Water System, XI International Conference on Systems, Automatic Control and Measurements SAUM 2012, pp 40 - 43, Niš, Serbia, nov. 14th - 16th 2012.
- [6] S. Stankov, Z. Stajić, S. Perić: Bežični prenos podataka u sistemima za upravljanje, 31. Stručno - naučni skup s međunarodnim učešćem, Vodovod i kanalizacija 2010, Zbornik radova, (str. 121 - 128), Izdavač: Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo Beograd, Divčibare, 5-8. okt. 2010.
- [7] S. Stankov: Automatizacija filter polja u vodovodnom sistemu, 38. Međunarodni stručno - naučni skup Vodovod i kanalizacija 17, Zbornik radova, (str. 304 - 310), Izdavač: Savez inženjera i tehničara Srbije, Kragujevac, 10-13. oktobar 2017.
- [8] S. Stankov, D. Antić, N. Danković, Z. Ičić, D. Mitić, S. Arsić: Control of water wells, VII International conference Industrial engineering and environmental protection (IIZS 2017), Proceedings (pp. 105–112), Publisher: Technical faculty “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, Serbia, 12–13. october 2017.
- [9] H. Berger: Automating with STEP 7 in LAD and FBD, Simatic S7-300/400, Programmable Controllers, 5th revised and enlarged edition, Erlangen, Editor: Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich 2012.
- [10] H. Berger: Automating with SIMATIC S7-1200 Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Basic Visualization with HMI Basic, 2nd enlarged and revised edition, 2013.
- [11] Weigmann, J., Kilian, G.: Decentralization with profibus DP/DPV1, 2nd revised and enlarged edition, 2003.
- [12] Siemens Simatic HMI “WinCC flexible 2008 Compact/Standard/Advanced, User’s Manual“, Edition 07/2008.

CONTROL AND SUPERVISION OF WATER PURIFICATION PLANT

by

Stanko STANKOV

University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, A. Medvedeva 14, Niš, Serbia

Summary

This paper describes a system of monitoring and control of the water purification plant (WPP), based on PLC and SCADA configuration. Within the WPP, which is part of JKP "Naissus" Niš, there are a number of technical units: water catchment with the dam, purification plants (mechanical grapples, sieves, fine gratings, slow mixers, precipitations, filter fields); chemical preparation of water, system for pre-chlorination and main chlorination; raw water pumps and low pressure pumps, filters for washing and pumping station of clean water. The system measures and shows dynamic display of parameters and process values (degree of blur, water levels on water intake and in filter fields, levels of aluminum sulfate in silos, sulfate and water flow, pH value, pressure and water temperature). The status of devices and equipment is

also monitored. For a certain number of electromotor pumps, a frequency control was applied, which increased the efficiency of the drive and enabled optimal operation and energy savings. Setting and reviewing technological sizes and parameters is done on operator panels that are coupled with local control units. These units are linked by communication protocols to the central control and management system. After proper processing, information is presented to the operator in the form of process variables (tags) which are time functions (trends), or in the form of a table of a certain structure.

Key words: water purification plant, control, SCADA, water catchment, pumping stations, process variables

Redigovano 6.11.2018.