

**IMPLEMENTACIJA FAZI LOGIKE U UPRAVLJANJU SISTEMOM PRERADE VODE  
METODOM REVERZNE OSMOZE****IMPLEMENTING A FUZZY LOGIC CONTROLLER IN A REVERSE OSMOSIS WATER  
TREATMENT PLANT CONTROL**Nikola Pavković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO****Kratak sadržaj** – Tema ovog rada jeste implementacija fazi regulatora u upravljanju procesom prerade vode.**Ključne reči:** *Reverzna osmoza, fazi regulator, sistemi automatskog upravljanja.***Abstract** – *The topic of this paper is implementation of fuzzy logic algorithm for water treatment plant process control.***Keywords:** *Reverse osmosis, fuzzy controller, automatic control systems.***1. UVOD**

Voda je osnovni preduslov za život sveg živog sveta na Zemlji. Zbog izuzetnih osobina voda je bila, i biće, predmet izučavanja mnogih nauka. Poslednjih godina Zemlja – 'Plava planeta' se nažalost suočava sa problemom ograničenosti resursa pijaćih voda, te će takvi resursi imati odlučujući uticaj u budućem razvoju ljudskog društva. U savremenoj industriji gotovo da nema procesa u kom se ne koristi voda [1].

Da bi se izbegla kriza nedostatka vode u budućnosti, potrebno je racionalnije i efikasnije iskorišćavanje iste, kao i ulaganje u razvoj novih metoda za preradu i prečišćavanje vode. Rešenje za ovakav problem jeste filtracija, kako pijaćih voda tako i otpadnih voda koje se vraćaju u prirodu.

U ovom radu biće opisana tehnologija i načini upravljanja automatskim sistemima fabrike za preradu vode koja radi po jednom od najnaprednijih principa filtriranja – reverzne osmoze, proizvodeći vodu za potrebe hlađenja termoelektrane.

**2. PROCES REVERZNE OSMOZE**

Reverzna osmoza je jedan od najefikasnijih i najboljih načina za prečišćavanje vode. Reverzna osmoza je proces prerade vode koristeći polupropusne membrane pomoću kojih se iz vode odstranjuju neorganske materije, minerali, soli i ostale nečistoće u cilju poboljšanja izgleda, ukusa i ostalih svojstava vode. Na taj način se dobija kvalitetna voda za piće koja ispunjava sve standarde. Sam postupak osmoze pominje se prvi put još 1748. godine, a

opisao ga je Jean-Antoine Nollet. Narednih 200 godina ovaj postupak se radio samo u laboratorijama, da bi 1949. godine krenula istraživanja na polju filtracije vode. U početku ovakvi sistemi su bili dosta neefikasni. Najveća ograničenja dolazila su iz pravca materijala i načina proizvodnje samih membrana, da bi kasnije njihovim razvojem ovi sistemi ispunili svoj pun potencijal. Početkom 90-ih ova tehnologija nalazi svoju primenu i prave se mnoga postrojenja za preradu vode bazirana na reverznoj osmozi [2].

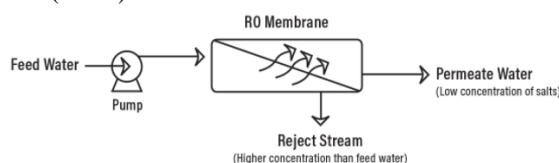
Osmoza je prirodni proces i predstavlja difuziju molekula rastvarača kroz polupropusnu membranu koja propušta molekule rastvarača, ali ne propušta molekule rastvorene supstance. Osmoza se javlja kada su koncentracije rastvora sa dve strane membrane različite.

Pošto polupropusna membrana propušta samo molekule rastvarača, ali ne i rastvorene supstance, dolazi do difuzije rastvarača kroz membranu tj. molekuli rastvarača prolaze kroz membranu kako bi se izjednačile koncentracije sa obe strane membrane. Molekuli rastvarača se kreću iz sredine sa manjom koncentracijom u sredinu sa većom koncentracijom rastvorenih supstanci.

Pri difuziji molekula rastvarača kroz membranu dolazi do porasta nivoa tečnosti na jednoj strani membrane, onoj u kojoj je veća koncentracija rastvorenih supstanci i smanjenja nivoa tečnosti na drugoj strani. Porast nivoa tečnosti na jednoj strani stvara hidrostatički pritisak koji se suprotstavlja osmozi.

Kada se ova dva pritiska izjednače proces difuzije se zaustavlja tj. neće doći do podizanja nivoa tečnosti. Pritisak pri kome se uspostavlja ova ravnoteža naziva se osmozni pritisak [3].

Postupak filtriranja vode reverznom osmozom funkcioniše na sličan način ali sa kretanjem vode u suprotnom smeru. Neprečišćenu vodu treba propustiti kroz osmozne polupropusne membrane pod velikim pritiskom, kako bi se savladao osmozni pritisak. Prljavština, soli, bakterije i virusi u tom postupku ostaju (koncentrat) i zadržavaju se na membranama dok molekuli čiste vode prolaze i na izlazu dobijamo čistu vodu (filtrat) - Slika 1.



Slika 1. Princip reverzne osmoze

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Velimir Čongradac, red.prof.

## 2. DELOVI UPRAVLJAČKOG SISTEMA

Više ne postoji ni jedna grana industrije koja nije automatizovana. Kao primarni cilj, industrijski sistemi automatskog upravljanja stvaraju mogućnost povećanja obima proizvodnje uz smanjenje troškova i poboljšanje kvaliteta proizvoda i mogućnost povećanja efikasnosti proizvodnje.

### 2.1. PLC – Programabilni logički kontroler

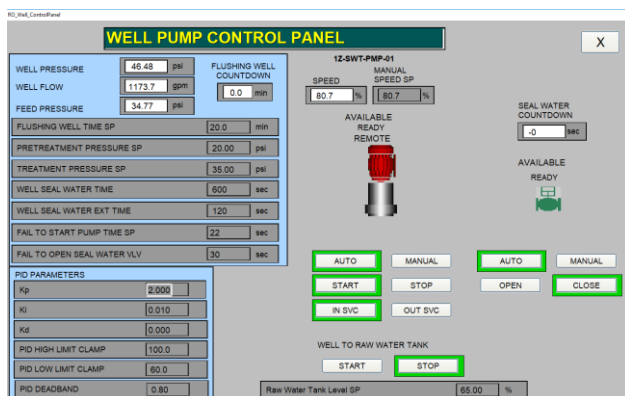
U srcu svakog automatski upravljanog procesa nalazi se PLC kontroler (programabilni logički kontroler). On predstavlja centralni deo upravljačkih automatskih sistema u industriji. PLC je digitalni računar. Njegov program se izvršava ciklično i sastoji se od 3 faze: Čitanje ulaznih promenljivih (čitanje stanja i vrednosti sa senzora), izvršavanje programskog koda i određivanje stanja na izlazu (slanje komandi uređajima poput kontrolera pumpe, ventila, itd.).

### 2.2. SCADA sistem

SCADA (engl. Supervisory Control And Data Acquisition) predstavlja sistem za praćenje i kontrolu industrijskih sistema. Koristi se za prikupljanje podataka sa senzora i instrumenata lociranih na udaljenim stanicama i za prenos i prikazivanje tih podataka u centralnoj stanici u svrhu nadzora ili upravljanja. Prikupljeni podaci se obično posmatraju na jednom ili više SCADA računara u centralnoj stanici. SCADA sistem u realnosti može da prati i upravlja i do stotinama hiljada ulazno-izlaznih vrednosti.

Uobičajeni analogni signali koje SCADA sistem nadzire jesu nivoi, temperature, pritisci, brzine protoka, brzine motora i slično. Uobičajeni digitalni signali koje SCADA sistem nadzire jesu prekidači nivoa, prekidači pritiska, stanja releja, signali sa motora tj. motornog upravljačkog uređaja, bio to starter ili varijabilni frekventni regulator. SCADA nema potpunu kontrolu nad sistemom, već PLC. Uloga SCADA sistema jeste nadgledanje i nadziranje i predstavlja sponu između PLC-a i operatera koji nadgleda rad fabrike. SCADA sistem obično prezentuje informacije operateru u obliku mimičkih dijagrama.

To znači da operater može da vidi šematsko predstavljanje fabrike ili nekog dela sistema koji kontroliše – slika 2.



Slika 2. SCADA ekran za upravljanje pumpom bunara

## 3. ALGORITMI UPRAVLJANJA

Postoje razni kriterijumi za klasifikaciju algoritama upravljanja. Ovde ćemo posmatrati klasifikaciju u odnosu na prirodu obrade raznih signala sa ciljem da se dobije upravljački signal.

### 3.1. PID regulator

Linearni zakoni upravljanja predstavljaju jednu od najstarijih i najrasprostranjenijih upravljačkih strategija. Razlog tome jeste što se pomoću njih može rešiti bar 90% svih upravljačkih zadataka. Tehnike podešavanja parametara ovih zakona upravljanja su razrađene i veoma jednostavne za praktičnu primenu [4].

Linearnim zakonima upravljanja ostvaruju se tri dejstva: proporcionalno (P), integralno (I) i diferencijalno (D), pa se zbog toga i sam regulator naziva PID regulator. Zakon upravljanja PID regulatora se može predstaviti jednačinom (1).

$$U(t) = K_p + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (1)$$

PID regulator ima tri podesiva parametra: pojačanje **K<sub>p</sub>**, integralnu vremensku konstantu **T<sub>i</sub>**, i konstantu diferenciranja **T<sub>d</sub>**. Prisustvo proporcionalnog, integralnog i diferencijalnog dejstva u ovom regulatoru omogućuje dobijanje željenih performansi kao što su: stabilnost, brzina reagovanja, tačnost rada i vreme trajanja prelaznog procesa. Na taj način PID regulator sjedinjuje sva dobra svojstva osnovnih regulatora:

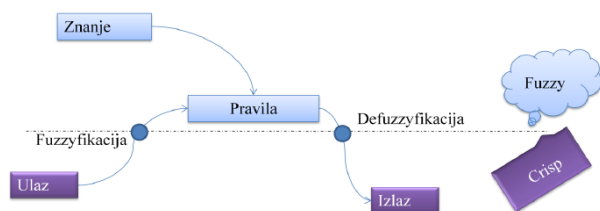
- D – delovanje obezbeđuje brzo reagovanje
- P – delovanje obezbeđuje konstantno dovoljno jako pojačanje
- I – delovanje obezbeđuje tačnost i potpuno otklanja grešku

### 3.2. Fazi regulator

Fazi algoritam upravljanja je jedan od savremenih metoda upravljanja blizak čovekovom pristupu regulaciji. Fazi upravljanje obezbeđuje formalnu metodologiju za predstavljanje, manipulaciju i implementaciju ljudskog heurističkog predznanja o tome kako kontrolisati jedan, određeni sistem. Ovo ne isključuje razvoj modela procesa jer nam je ovaj model u svakom slučaju potreban za detaljnu simulaciju ponašanja kontrolera u cilju ispitivanja zadovoljenja performansi, stabilnosti sistema kao i za ispitivanje krajnjih ograničenja samog dizajna.

U našem konkretnom slučaju model sistema za razvijanje kontrolera nije potreban, zahvaljujući već postojanju samog sistema, te je regulator pravljen i testiran na realnom sistemu.

Cilj fazi pristupa jeste da, umesto da jezikom matematike pokuša da što bolje reši problem upravljanja sistemom, omogući implementaciju inženjerskog iskustva o procesu u sam algoritam kontrolera. Kako bi izgledala najprostije objašnjeno struktura fazi sistem – slika 3.



Slika 3. *Struktura fazi sistema* [5]

**Fazifikacija** modifikuje signale ulaza tako da mogu biti pravilno protumačeni i upoređeni sa pravilima u bazi pravila. Krisp (Crisp) signal pretvaramo u adekvatan fazi oblik.

**Zaključivanje** na osnovu pravila je mehanizam za procenjivanje koja kontrolna pravila su relevantna za trenutno stanje sistema i odlučuje logičkim sklopom kakav će biti upravljački signal, tj. ulaz u proces.

**Defazifikacija** transformiše fazi oblik u crisp oblik signala, koji je razumljiv procesu.

#### 4. PRIMENA FAZI LOGIKE U UPRAVLJANJU SISTEMOM ZA PRERADU VODE METODOM REVERZNE OSMOZE

Za ovaj konkretan primer, algoritam upravljanja nastao je po želji klijenta da fabrika vode bude apsolutno automatizovana, tačnije da ljudski faktor bude skroz isključen iz procesa upravljanja i donošenja odluka. Naravno ljudski faktor uvek mora da postoji, jer i za potpuno automatizovan proces, u slučaju nepredviđene okolnosti kao što je kvar na sistemu, kontrolu mora da preuzme operater. Praksa je da se od operatera koji nadgleda i upravlja fabrikom očekuje, da zavisno od potrebe za vodom, bira koliko će filtera biti aktivno. Fabrika u ovom primeru sastoji se od tri filtera. Ideja je da se napravi regulator koji će umesto operatera odlučivati, na osnovu nekoliko različitih veličina, kolika je potrebna proizvodnja vode u datom momentu i na osnovu toga koliko filtera je potrebno da bude aktivno.

Dobijena filtrirana voda naravno mora negde da se skladišti. U našem primeru sva dobijena filtrirana voda se šalje u rezervoar čiste vode, čije nam dimenzije nisu poznate, te tako ni zapremina samog rezervoara. Od podataka koje dobijamo jeste stalno merenje nivoa vode u rezervoaru. Iz rezervoara se voda cevima šalje u rashladni toranj elektrane i na taj način se vrši hlađenje tornja. Veličina koja se zadaje i koja se održava jeste nivo vode u rashladnom tornju. Ukoliko elektrana radi većim kapacitetom, nivo vode u rashladnom tornju mora da bude veći, dok ukoliko radi smanjenim kapacitetom nivo vode u tornju treba da bude nešto niži. Sam zahtevani nivo zadaje PLC koji pripada upravljanoj elektrani i on pripada potpuno odvojenom sistemu, nad kojim mi nemamo kontrolu. Na osnovu zadatog nivoa vode u rashladnom tornju, voda se pušta iz rezervoara filtrirane vode kroz modulišući ventil ka tornju i na taj način se održava nivo rashladne vode. Kompletna kontrola održavanja nivoa rashladne vode se obavlja pomoću tog modulišućeg ventila između rezervoara filtrirane vode i rashladnog tornja. Kako u ovom slučaju govorimo u ogromnim

površinama koje se hlade vodom i u kojim se nalazi voda, čak i spoljašnji vremenski uslovi imaju velik uticaj. Leti je potrebno mnogo više vode kako bi se nivo u rashladnom tornju održao. Voda iz rezervoara filtrirane vode ne koristi samo za rashladni toranj, nego se po potrebi koristi i u protiv požarnom sistemu.

Zadatak našeg upravljanja jeste da zavisno o potrebi za filtriranom vodom, odluči koliko je filtera potrebno aktivirati kako bi se zahtev za vodom ispunio i nivo u rezervoaru filtrirane vode održao.

#### 4.1. Definisane fazi regulatora

Osnovni koraci pri definisanju novog fazi regulatora jesu definisanje ulaza i izlaza, fazifikacija ulaza tj. prevođenje ulaza tako da ih regulator razume, defazifikacija izlaza tj. prevođenje izlaza tako da ih sistem upravljanja razume i kreiranje same tabele pravila po kojoj će regulator raditi tj. donositi odluke.

Tabela pravila pomoću koje ćemo probati da objasnimo arhitekturu našeg regulatora – Tabela 1.

Tabela 1. *Baza fazi pravila*

| Nivo rezervoara | Brzina potrošnje   | Stepen aktivnih filtera |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| Skoro maksimum  | Normalna           | Stage 0                 |
| Visok           | Normalna           | Stage 1                 |
| Srednji         | Normalna           | Stage 2                 |
| Nizak           | Normalna           | Stage 3                 |
| Skoro maksimum  | Velika (ekstremna) | Stage 3                 |
| Visok           | Velika (ekstremna) | Stage 3                 |
| Srednji         | Velika (ekstremna) | Stage 3                 |
| Nizak           | Velika (ekstremna) | Stage 3                 |

„Stage“ jeste veličina koja obeležava koliko će aktivnih filtera biti i može da bude u vrednostima 0, 1, 2 ili 3. Stage 0 odgovara slučaju kada ni jedan filter nije aktivan, odnosno nema potrebe za proizvodnjom nove vode. Stage 1 odgovara slučaju kada je potrebno da jedan filter bude aktiviran tj. potrebna količina nove vode može da se postigne koristeći samo jedan filter. Stage 2 ukoliko je potrebno aktivirati dva filtera i stage 3 ukoliko je potrebno aktivirati 3 filtera da bi se postigla dovoljna količina proizvodnje nove vode. Sledeći korak pri kreiranju fazi regulatora jeste definisanje ulaza i izlaza i njihovo prevođenje (fazifikacija) u oblik koji će regulator razumeti.

Ulazni parametri našeg regulatora jesu:

- trenutni nivo rezervoara filtrirane vode – merenje koje dobijamo sa ultrazvučnog mernog instrumenta nivoa,
- granični nivoi vode u rezervoaru – definisanje visine vode u rezervoaru za koje odgovaraju veličine sa kojima radi fazi regulator (maksimu, visok, srednji, nizak),
- brzina rasta ili opadanja nivoa filtrirane vode – u slučaju naglih poremećaja, primera radi požara, dešava se naglo opadanje nivoa vode u rezervoaru i zbog toga algoritam mora da

prepozna ovakav momenat i aktivira sva tri filtera tj. maksimalnu proizvodnju vode,

- vreme dodavanja filtera (stage up time) i vreme oduzimanja filtera (stage down time) – objašnjenje u nastavku teksta.

Kao izlazni parametar našeg regulatora jeste:

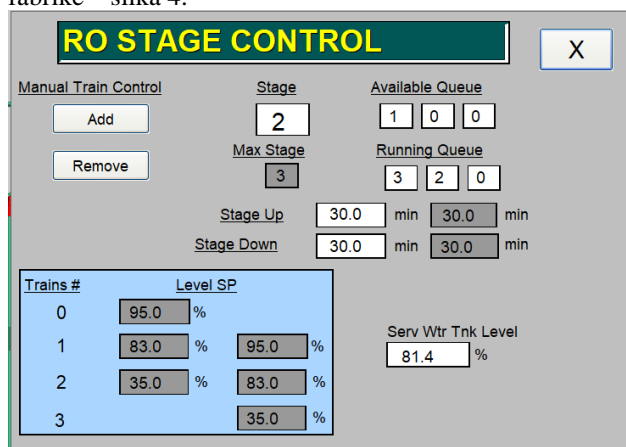
- Odluka koliko će aktivnih filtera da bude, da li ni jedan, da li samo jedan, da li dva ili tri filtera (stage 0, stage 1, stage 2, stage 3)

Pri pokretanju filtera postoji određeno vreme koje je potrebno da se filter pripremi za rad (kvašenje filtera), te vreme za koje će filter početi da proizvodi vodu u svom punom kapacitetu.

Takođe i nakon gašenja filtera potrebno je određeno vreme (ispiranje filtera), te određeno vreme za koje će se filter moći opet startovati. Ovde vidimo da je i sam sistem filtera zapravo izuzetno inertan sistem i našem regulatoru je potrebno da zna ovo. Ukoliko ova inertnost filtera ne bi bila uračunata, desilo bi se da regulator zatraži dodavanje još jednog filtera (stage up), to se ne desi istog trenutka, i zbog toga on zatraži dodavanje još jednog, pa još jednog, a isto tako i za oduzimanje filtera (stage down) i na taj način bi dobili upravljanje koje osciluje i aktivira ili ni jedan ili sva tri filtera.

Jedino se u slučaju naglog opadanja nivoa vode, usled neke vanredne situacije, aktiviraju sva tri filtera istog momenta, kako bi se obezbedila potrebna količina vode. U samom algoritmu fazi kontrolera postoji deo logike koji prati razliku izmerenog nivoa vode kroz vreme i na taj način prepoznaje atipičan slučaj, vanredne situacije potrošnje veće količine vode nego uobičajeno.

Kontrola fazi regulatora i unošenje parametara potrebnih za njegov rad realizovana je pomoću SCADA sistema za upravljanje fabrikom kao odvojen prozor koji se poziva iz glavnog prozora sa parametrima za pokretanje cele fabrike – slika 4.



Slika 4. SCADA prozor za kontrolu fazi regulatora

„Available queue“ predstavlja red dostupnih filtera za naredno aktiviranje kada se stepen uveća. Da bi filter bio dostupan potrebno je da svaki deo njegovog sistema (ventili, pumpa visokog pritiska, itd.) budu u automatskom režimu, da nema signala grešaka i da je sekvenca ispiranja filtera posle rada završena.

„Running queue“ predstavlja red aktivnih filtera, odnosno onih koji se trenutno koriste. Kada se stepen filtera smanji

onaj koji je prvi u redu aktivnih filtera, odnosno onaj koji je najduže aktivan će se ugastiti. U slučaju da se pojavi bilo kakva greška na sistemu filtera ili se neki deo sistema prebaci u ručni režim kontrole, a ne automatski, to će rezultirati da taj filter ne bude više dostupan logici za kontrolu, a samim tim će se i izbaci iz reda aktivnih filtera i njega će zameniti prvi sledeći dostupan filter, ukoliko je to potrebno i red će biti presložen.

Na ovaj način pomoću sortiranja reda dostupnih i aktivnih filtera omogućeno je da se sekvenca nastavi i ukoliko se desi problem na nekom od tri sistema filtera. Takođe još vrlo bitna stvar jeste da se na ovaj način filteri rotiraju, tačnije postiže se podjednako korišćenje sva tri filtera, što je izuzetno važno kako bi se osmozne membrane podjednako trošile na sva tri sistema filtera. Sortiranje se radi pomoću algoritma „bubble sort“.

Računanje brzine gubitka vode, koje se prosleđuje kao ulazni podatak u regulator i posmatra da ukoliko se poveća iznad određene granice regulator prepozna kao ekstremni slučaj potrošnje vode, nije moguće dodatno podešavati kao parametar preko SCADA sistema zbog sigurnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Složeni sistemi se ponašaju različito u vremenu i zbog toga je često potrebno koristi više od tradicionalnih načina upravljanja. Fazi upravljanje iako na prvi pogled deluje dosta jednostavno, daje odlične rezultate, pogotovo u upravljanju nelinearnim sistemima. Posebno dobra osobina fazi regulatora jeste što se zapravo ljudska iskustva i razumevanja, u našem slučaju operatera i inženjera o nekom sistemu, mogu preneti u oblik svojstven razmevanju algoritma, pomoću kojih će on upravljati zadatim sistemom.

## 7. LITERATURA

- [1] “Voda kao resurs budućnosti” – Milica Pajčin, *Fakultet tehničkih nauka Čačak*
- [2] “The early history of reverse osmosis membrane development” – Julius Glater, *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California.*
- [3] “Osmosis” - <https://en.wikipedia.org/wiki/Osmosis>
- [4] “Sistemi automatskog upravljanja” – Prof. dr Dušan Petrovački
- [5] “Fazi sistemi kao podrška odlučivanju” – FON, BG

### Kratka biografija:



**Nikola Pavković** rođen je 27.05.1994. godine u Sremskoj Mitrovici. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti elektrotehnika i računarstvo odbranio je 2021. godine.

Kontakt:

nikolapavkovic@rocketmail.com