

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Hrvoje Puljko

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Mihael Cipek, dipl. ing.

Student:

Hrvoje Puljko

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Mihaelu Cipeku na pruženoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog rada.

Hrvoje Puljko



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Hrvoje Puljko** JMBAG: **0035231080**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Modeliranje sustava vođenja za održavanje količine vode u kupaćem bazenu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Modelling of the control system for maintaining amount of water in the swimming pool**

Opis zadatka:

Količina vode u sustavu bazena za kupanje kontinuirano se smanjuje isparavanjem ili prskanjem prilikom korištenja što ima negativan utjecaj na nivo vode i cirkulaciju kroz sustav filtracije, a u nekim slučajevima može dovesti i do potpunog prekida rada takvog sustava. Stoga je potrebno redovito nadomjestiti izgublenu količinu dodavanjem svježe vode u bazen. Ovaj rad se bavi modeliranjem automatskog sustava za održavanje količine vode u bazenu. U zadatku je potrebno:

- opisati problem i načine održavanja količine vode u različitim sustavima bazena za kupanje
- izraditi računalni model jednog odabranog primjera bazena s tržišta
- predložiti sustav za automatsko održavanje količine vode u bazenu
- provesti računalne simulacije rada sustava
- na temelju rezultata dati zaključak i eventualne smjernice za poboljšanja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Mihael Cipek

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MODEL BAZENA.....	3
2.1. Gubitci.....	3
2.1.1. Gubitci zbog isparavanja.....	3
2.1.2. Ostali gubitci.....	5
2.2. Računalni model bazena.....	6
2.3. Cjelokupni sustav.....	7
2.3.1. Odabir pumpi.....	9
2.4. Računalni model sustava.....	10
3. SIMULACIJE.....	11
3.1. Simulacija modela bazena.....	11
3.2. Simulacija gubitaka.....	12
3.3. Simulacija modela cjelokupnog sustava.....	14
4.3. Analiza simulacija.....	18
4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA.....	19
5.1. Konfiguracija PLC-a.....	20
5.2. Tablica adresa.....	21
5.3. Ladder dijagrami i simulacija.....	22
5. ZAKLJUČAK.....	26
6. LITERATURA.....	27
7. PRILOZI.....	28

POPIS SLIKA

Slika 1. Olimpijski bazen Mladost u Zagrebu [2]	1
Slika 2. Računalni model bazena	6
Slika 3. Shematski prikaz predloženog sustava [10]	7
Slika 4. Grundfos NBE Series 2000 [11]	9
Slika 5. Računalni model sustava	10
Slika 6. Simulacija računalnog modela bazena	11
Slika 7. Utjecaj gubitaka u praznom bazenu	12
Slika 8. Utjecaj gubitaka u okupiranom bazenu	13
Slika 11. Slučaj a) (30 dana)	14
Slika 12. Slučaj b) (30 dana)	15
Slika 13. Slučaj c) (30 dana)	16
Slika 14. Slučaj d) (10 dana)	17
Slika 15. Siemens SIMATIC S7-1500 [13]	19
Slika 16. TIA Portal [12]	19
Slika 17. Konfiguracija kontrolera	20
Slika 18. Tablica adresa	21
Slika 19. Start/Stop	22
Slika 20. Senzor tlaka ispred filtra	22
Slika 21. Pumpa P3	23
Slika 22. Pumpa P4	23
Slika 23. Pumpe P1/P2 (radi par 1)	24
Slika 24. Odabir načina rada	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Parametri isparavanja za $t_{r,1}$4
Tablica 2. Parametri isparavanja za $t_{r,2}$4
Tablica 3. Parametri računalnog modela sustava.....10

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
E	kg/m ² h	brzina isparavanja
E_0	kg/m ² h	brzina isparavanja u praznom bazenu
E_{occ}	kg/m ² h	brzina isparavanja u okupiranom bazenu
t_w	°C	temperatura površine vode
t_r	°C	temperatura okolnog zraka
ρ_w	kg/m ³	gustoća zraka pri t_w
ρ_r	kg/m ³	gustoća zraka pri t_r
p_w	Pa	parcijalni tlak vodene pare u zraku pri t_w
p_r	Pa	parcijalni tlak vodene pare u zraku pri t_r
W_w	kg/kg	specifična vlažnost zraka pri t_w
W_r	kg/kg	specifična vlažnost zraka t_r
N	kol.	broj istovremenih korisnika bazena
$Q_{m,0}$	kg/h	maseni gubitak vode koja isparava u praznom bazenu
$Q_{v,0}$	m ³ /h	volumni gubitak vode koja isparava u praznom bazenu
$Q_{m,occ}$	kg/h	maseni gubitak vode koja isparava u okupiranom bazenu
$Q_{v,occ}$	m ³ /h	volumni gubitak vode koja isparava u okupiranom bazenu
$Q_{g,o}$	m ³ /h	ostali gubitci
A_b	m ²	površina bazena
A_{gs}	m ²	površina glavnog spremnika
A_b	m ²	površina kompenzacijskog spremnika
Q_1	m ³ /h	volumni protok pumpi P1.1, P1.2, P2.1, P2.2
Q_3	m ³ /h	volumni protok pumpe P3
Q_4	m ³ /h	volumni protok pumpi P4.1, P4.2
$N1...N6$	m	razine senzora

SAŽETAK

Olimpijski bazen služi za sportske i natjecateljske aktivnosti. Sve bitnije karakteristike i obilježja regulirani su od strane FINA-e, svjetske organizacije vodenih sportova. Bazen se opskrbljuje vodom iz vodovodne opskrbe koja cirkulira sustavom. Učestalim korištenjem bazena od strane korisnika uvelike se utječe na kvalitetu i samu količinu vode u sustavu. Bitno je osigurati nesmetano cirkuliranje vode kako bi se redovito filtrirala. Također je važno redovito nadopunjavati sustav novom vodom kako bi se kompenzirao manjak vode nastao isparavanjem ili prskanjem. Pravilnim odabirom pumpi osigurava se potreban protok. Da bi sustav ispravno i pravovremeno funkcionirao, potrebno ga je automatizirati. U ovom radu predložen je adekvatan sustav izmjene vode. Simulacija rada sustava provedena je pomoću programskog paketa Matlab, a prijedlog implementacije upravljačkog programa PLC-a dan je u programskom paketu TIA Portal.

Ključne riječi: olimpijski bazen, filtracija, isparavanje, automatizacija, kompenzacijski spremnik

SUMMARY

Olympic pool is used for sport and competitive activities. All important characteristics and criteria are regulated by the FINA, World Aquatics organization. The pool is supplied with water from water supply network which circulates through the system. Frequent usage of the pool greatly affects the quality and quantity of water in the system. It is essential to ensure the unhindered circulation of the water in order to filter it regularly. It is also important to regularly replenish the system with new water in order to compensate for the water loss caused by evaporation or splashing. Proper selection of the water pump ensures the required flow. In order for the system to function correctly and in a timely manner, it is necessary to automate it. In this thesis, there is given an example of an adequate water exchange system. The simulation of the system operation was carried out using the Matlab program package and the proposal for the implementation of the PLC control program is given in the TIA Portal program package.

Key words: olympic pool, filtration, evaporation, automation, compensation tank

1. UVOD

Bazen je objekt koji služi za kupanje, plivanje, sport, rekreaciju i razne druge aktivnosti. Ovaj rad bavi se olimpijskim bazenom koji prvenstveno služi za sportske i natjecateljske svrhe, a tek nešto rjeđe se koristi kao javni bazen za građanstvo. Za razliku od ostalih tipova bazena, njegove dimenzije, kao i brojne druge karakteristike, strogo su definirane pravilnikom FINA-e te iznose 50,0 m x 25,0 m (dužina, širina), a dubina takvih bazena mora iznositi minimalno 2 m [1].

Zbog velikog broja korisnika, što istovremeno, što i na dnevnoj razini, javljaju se mnogi problemi i izazovi. Tu se među glavne svakako ubrajaju onečišćenje vode te gubitak, odnosno smanjenje količine vode u sustavu, bilo isparavanjem, prskanjem, izlaskom korisnika iz bazena ili na neki drugi način. Projektiranjem sustava traže se i implementiraju rješenja koja odjednom eliminiraju što je moguće više problema.



Slika 1. Olimpijski bazen Mladost u Zagrebu [2]

Olimpijski bazeni imaju sustav preljevnih kanala koji obnašaju dvostruku ulogu. Sakupljanjem vode koja se prelijeva omogućuju održavanje maksimalne razine u bazenu, što je iznimno važno iz aspekta propisa i regulativa, te isto tako odnose sve nečistoće koje se uglavnom nakupljaju na površini u sustav za filtraciju. Sustav je potrebno pravovremeno nadopunjavati vodom, a obzirom da ona obično dolazi iz javne vodovodne opskrbe, potrebno ju je dodatno i redovno tretirati raznim kemijskim dodacima [3].

Da bi se sve to omogućilo, cijelo postrojenje bazena treba biti visoko automatizirano, što današnji bazeni i jesu. Takvi automatizirani sustavi nude mnoge prednosti, a osim smanjenja potrebe za ljudskim radom, preciznijim nadzorom i smanjenjem troškova u dugoročnom pogledu, pružaju mogućnost dodatne nadogradnje u svakome trenutku. Kontinuiranim sakupljanjem i obradom podataka, sustav je moguće optimirati.

U radu je dan model koji opisuje problem gubitaka vode u cirkulacijskom sustavu. Prema dobivenim rezultatima simulacije predložen je sustav automatskog vođenja sustava pomoću PLC-a.

2. MODEL BAZENA

S obzirom da olimpijski bazen ima veliku površinu, veliki su i gubitci uslijed isparavanja. Ostali gubitci ovise o broju korisnika bazena. Izračun ukupnih gubitaka omogućuje izradu računalnog modela bazena. Za dubinu bazena uzeto je 2,2 m.

2.1. Gubitci

Gubitci su sastavni dio svakog sustava, pa tako i bazenskog te ih je nemoguće izbjeći. Može ih se pokušati smanjiti, ali s obzirom da su u ovom slučaju oni obično vezani uz vremenske prilike i same korisnike, malo se može utjecati na njih, stoga sustav treba projektirati tako da ima kapacitet savladavanja gubitaka. U radu se razmatraju dva najznačajnija uzročnika gubitaka vode, a to su isparavanje te utjecaj korisnika bazena. Dodatno povećano curenje vode iz bazena ne smatra se gubitkom već kvarom kojeg je potrebno sanirati u što kraćem vremenu.

2.1.1. Gubitci zbog isparavanja

Isparavanjem se gubi najviše vode u sustavu te je ono neizbježno. Ono jako ovisi o vremenskim prilikama, posebice o temperaturi zraka. S obzirom da se radi o unutrašnjem bazenu, vjetar i ostali vanjski utjecaji se izostavljaju. Pokazalo se da isparavanje također ovisi i o broju korisnika koji su istovremeno u bazenu. Ono raste povećanjem dodirne površine između zraka i vode uslijed valova, prskanja i zadržavanja vode na tijelima korisnika [4].

Izrazi za brzinu isparavanja praznog bazena (uzima se veća vrijednost):

$$E_0 = C\rho_w(\rho_r - \rho_w)^{1/3}(W_w - W_r) \quad (1)$$

$$E_0 = b(p_w - p_r) \quad (2)$$

Izraz za brzinu isparavanja okupiranog bazena (za $N \geq 0,05$):

$$E_{occ}/E_0 = 1,9 - 21(\rho_r - \rho_w) + 5,3N \quad (3)$$

Za $N < 0,05$ provodi se linearna interpolacija između $E_{occ}/E_0 = 1$ za $N = 0$ i vrijednosti E_{occ}/E_0 za $N = 0,05$. U ovom slučaju uzeto je $N = 0,016$ što odgovara u prosjeku 20 istovremenih korisnika bazena [4].

S obzirom da brzina isparavanja uvelike ovisi o temperaturi okolnog zraka, provodi se izračun za dvije različite temperature: $t_{r,1} = 18^\circ\text{C}$ i $t_{r,2} = 24^\circ\text{C}$. Temperatura vode iznosi 27°C . Konstanta C iznosi 35, dok konstanta b iznosi 0,00005 [4].

Tablica 1. Parametri isparavanja za $t_{r,1}$ [5,6,7]:

Veličina	Iznos
$t_{r,1}$	18 °C
t_w	27 °C
$\rho_{r,1}$	1,212 kg/m ³
ρ_w	1,176 kg/m ³
$p_{r,1}$	0,021 bar
p_w	0,035 bar
$W_{r,1}$	0,013043 kg/kg
W_w	0,022746 kg/kg

Izrazima (1) i (2) izračunate su vrijednosti brzine isparavanja te je uzeta veća vrijednost koja iznosi $E_{0,1} = 0,131871 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

Tablica 2. Parametri isparavanja za $t_{r,2}$ [5,6,7]:

Veličina	Iznos
$t_{r,2}$	24 °C
t_w	27 °C
$\rho_{r,2}$	1,188 kg/m ³
ρ_w	1,176 kg/m ³
$p_{r,2}$	0,0296 bar
p_w	0,035 bar
$W_{r,2}$	0,018793 kg/kg
W_w	0,022746 kg/kg

Kao i u prethodnom primjeru uzima se veća vrijednost između onih dobivenih izrazima (1) i (2) koja iznosi $E_{0,2} = 0,03725 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

S obzirom da je $E_{0,1}$ veći, proračun se provodi za tu vrijednosti.

Ukupna količina vode koja isparava po satu računa se izrazima:

$$Q_m = E \cdot A_b \quad (4)$$

$$Q_v = \frac{q_m}{\rho_v} \quad (5)$$

Izrazima (4) i (5) za parametre $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$ i $A_b = 1250 \text{ m}^2$ dobiva se $Q_{m,0} = 164,84 \text{ kg/h}$, odnosno $Q_{v,0} = 0,165 \text{ m}^3/\text{h}$.

Izračun brzine isparavanja u okupiranom bazenu provodi se linearnom interpolacijom te se za $N = 0,016$ dobiva vrijednost $E_{occ} = 0,249774 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

Izrazima (4) i (5) dobiva se $Q_{m,occ} = 312,22 \text{ kg/h}$, odnosno $Q_{v,occ} = 0,312 \text{ m}^3/\text{h}$.

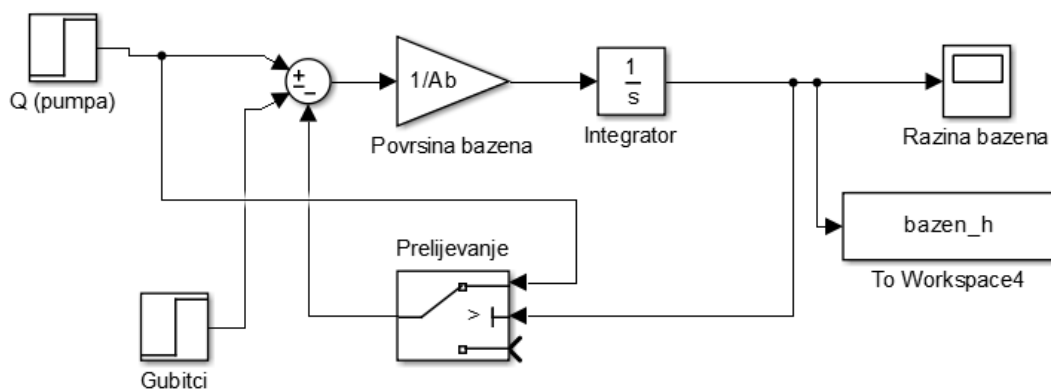
2.1.2. Ostali gubitci

U ostale gubitke spadaju svi gubitci nastali izravnim korištenjem bazena od strane korisnika. To mogu biti raznorazna prskanja nastala tijekom plivanja, skakanja, sportskih ili nekih drugih aktivnosti ili pak samo izlaženje korisnika iz bazena pri čemu određena količina vode ostaje i na korisniku i na samoj odjeći predviđenoj za bazen. Te gubitke je teško procijeniti jer aktivnosti u bazenu variraju kao što varira i njihov broj. Za potrebe ovog rada uzeto je da oni iznose 100 l/h , odnosno $Q_{g,o} = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ [8].

2.2. Računalni model bazena

Da bi se mogle provesti simulacije i analizirati ponašanje razine vode u bazenu i utjecaj gubitaka, potrebno je izraditi računalni model. Za to je korišten programski paket Matlab/Simulink.

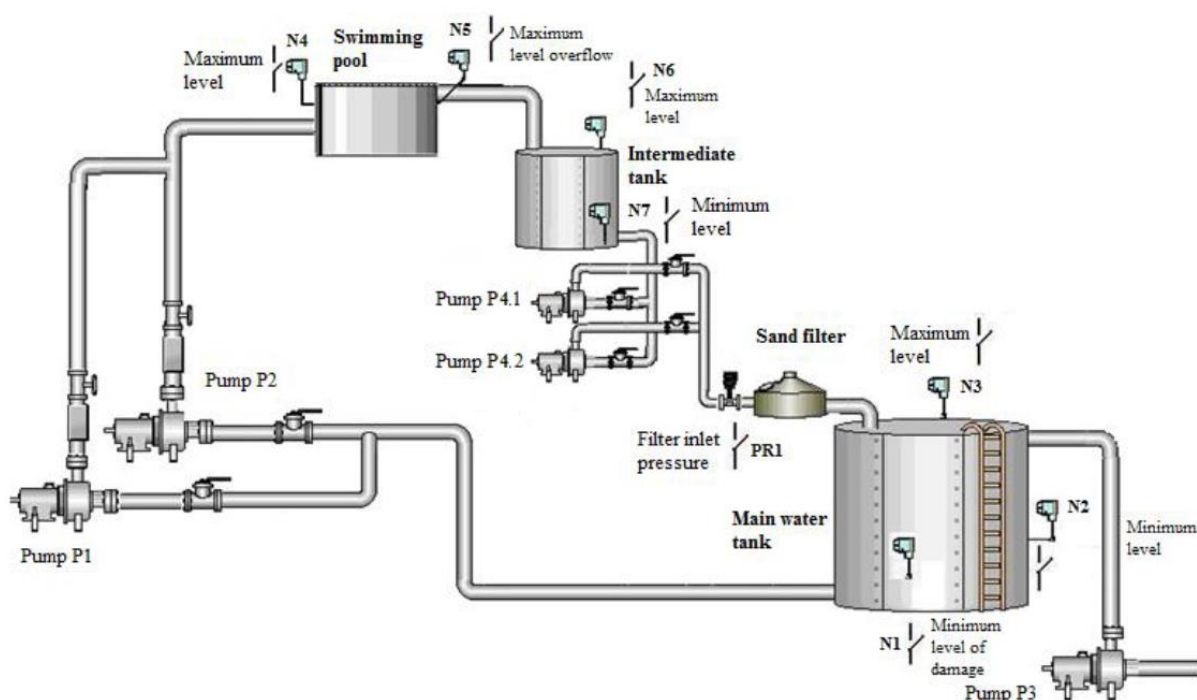
Matlab je matematički program koji kroz svoju programsku i numeričku platformu nudi stvaranje modela, analizu podataka te razvoj algoritama [9]. Čest je odabir od strane brojnih inženjera diljem svijeta, kako u razvojnom inženjerstvu, tako i u praksi u industriji. Dodavanjem paketa Simulink, dobiva se mogućnost simulacija kontinuiranih i diskretnih sustava korištenjem dijagrama stanja te funkcijskih blok dijagrama [9].



Slika 2. Računalni model bazena

2.3. Cjelokupni sustav

Potrebno je projektirati sustav koji će opskrbljivati bazen vodom i kompenzirati već navedene gubitke. Osim toga, funkcija sustava je da se voda koja se doprema u bazen filtrira i kemijski tretira kako bi se zadovoljili potrebni higijenski kriteriji. Održavanje konstantne temperature se ne razrađuje u ovom radu, baš kao ni podvodna rasvjeta, specijalni mlazovi i prskalice, valovi i ostale atrakcije koje se obično nalaze u sklopu ovakvih bazena.



Slika 3. Shematski prikaz predloženog sustava [10]

Punjenje započinje tako da se glavni spremnik puni preko pumpe P3. Ona započinje pumpanje kada je razina tekućine u glavnom spremniku niža od razine N2 te se ne isključuje sve dok razina ne poraste do N3. Kada se razina vode spusti ispod N2, pumpa P3 opet počinje s radom i tako u krug. P3 ima ulogu nadopunjavanja sustava čime se kompenziraju gubitci.

Pumpe P1 i P2 konstantno cirkuliraju vodu iz glavnog spremnika u bazen. To je nužno kako bi se osigurala maksimalna razina vode u bazenu i kako bi se postigla kontinuirana cirkulacija vode kroz sustav, odnosno još važnije, kroz filter. Uvjet rada je dosegnuta razina N1 u glavnom spremniku.

Prelievanjem vode preko ruba bazena, ona kanalima odlazi u kompenzacijski spremnik. U idealnom slučaju, protok vode koja dolazi u bazen jednak je protoku vode koja puni kompenzacijski spremnik. No, zbog gubitaka, taj protok je nešto manji te je punjenje spremnika usporeno proporcionalno s gubitcima. Kada voda dosegne razinu N6, pumpa P4 počinje prazniti spremnik te prepumpava vodu kroz filter u glavni spremnik. P4 radi sve dok razina u kompenzacijskom spremniku ne padne ispod N7 ili dok voda u glavnom spremniku ne dosegne razinu N3. Treba napomenuti da se može uvjetovati rad pumpe P3 tako da ona ne može raditi ako istovremeno radi i pumpa P4, odnosno glavni spremnik se ne može istovremeno puniti preko te dvije pumpe. Ova mogućnost se kasnije razmatra i analizira.

Neposredno ispred pješčanog filtra nalazi se senzora tlaka. Ukoliko je tlak previsok, to ukazuje na začepljenje filtra te se sustav momentalno gasi i javlja kvar preko signalne rasvjete [10].

Predviđeno je da pumpa P1 radi stalno te da P2 služi tek kao rezerva u slučaju kvara. Umjesto ove dvije pumpe postavljeno je njih četiri (P1.1, P1.2, P2.1, P2.2) koje rade u paru po dvije. Postoji mogućnost odabira više načina rada: naizmjenični rad parova preko timera ili rad samo jednog para. Stavljanjem po dvije pumpe u istovremeni rad omogućuje se neprekinutost rada kod eventualnog održavanja i zamjena pumpi. Ispred i iza svake pumpe postavljeni su elektromagnetski ventili koji služe kao preventivna zaštita pumpi i kao alat za izmjenu pumpi u toku rada. Maknut je senzor N5 te stoga senzor N6 postaje N5, a senzor N7 postaje N6. Senzor N4 postavljen je na razinu od 2 metra koliko je minimalno propisana pravilima te signalizira nisku razinu vode ukoliko je razina manja od navedene.

2.3.1. Odabir pumpi

Pumpe se odabiru prema kriteriju potrebnog protoka. Kako bi se održao nivo vode, sačuvala prozirnost vode i zadovoljili higijenski i zdravstveni kriteriji, ulazni i izlazni protok vode u 50-metarskim bazenima treba biti između 220 i 250 m³/h. [1]

Odabrane pumpe [11]:

- P₁ - Grundfos NBE 100-160/160-140 BSAF2AESBQQEIWA ($Q = 114 \text{ m}^3/\text{h}$)
- P₃ - Grundfos NBE 150-200/210-158 ASAF1AESBQQEMWA ($Q = 379,3 \text{ m}^3/\text{h}$)
- P₄ - Grundfos NBE 125-200/196-180 BSAF2AESBQQEMWA ($Q = 248 \text{ m}^3/\text{h}$)

P₁ vrijedi za pumpe P_{1.1}, P_{1.2}, P_{2.1} i P_{2.2}. Kombinacijom dviju pumpi postiže se protok od 228 m³/h.



Slika 4. Grundfos NBE Series 2000 [11]

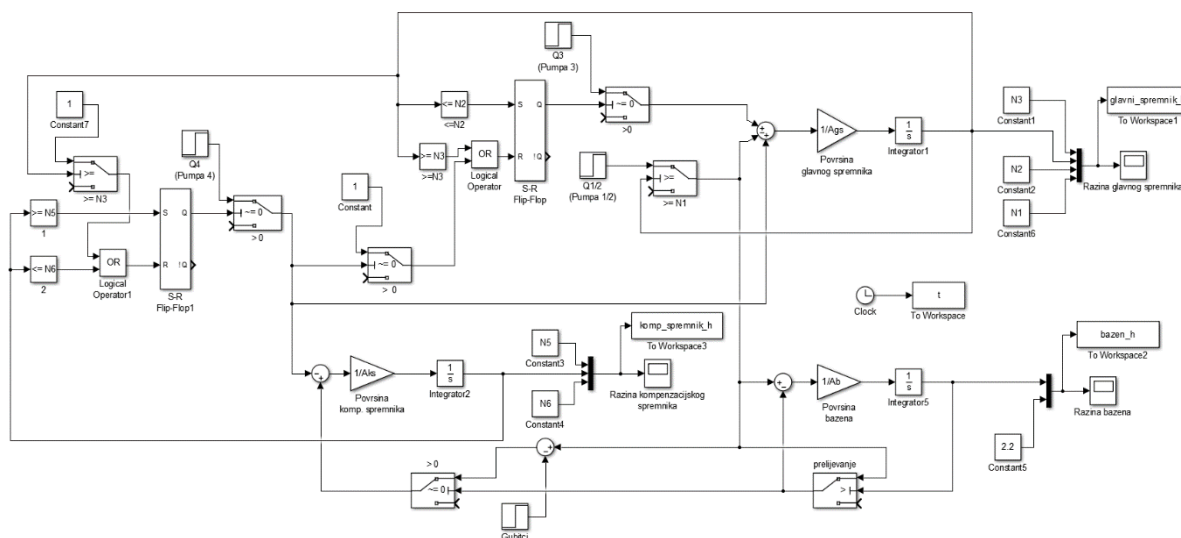
Projektiranje veličina kompenzacijskog i glavnog spremnika se ovdje ne provodi s obzirom da to spada pod konstrukcijska rješenja te ne utječe bitno na automatizaciju sustava. Stoga se za volumen kompenzacijskog spremnika uzima okvirnih 5% volumena bazena, odnosno 140 m³, dok je volumen glavnog spremnika nešto veći u iznosu od 200 m³ [12]. Visine oba spremnika su 3,5 m.

2.4. Računalni model sustava

Računalni model sustava napravljen je u Simulinku. Služi za simulaciju razina vode u glavnom spremniku, kompenzacijskom spremniku te bazenu. Model zapravo oponaša cirkuliranje vode kroz sustav na način opisan u prethodnom poglavlju.

Tablica 3. Parametri računalnog modela sustava

Veličina	Iznos
$N1$	0,3 m
$N2$	0,4 m
$N3$	3,3 m
$N4$	2 m
$N5$	3,3 m
$N6$	0,3 m
A_b	1250 m ²
A_{gs}	57,1429 m ²
A_{ks}	40 m ²



Slika 5. Računalni model sustava

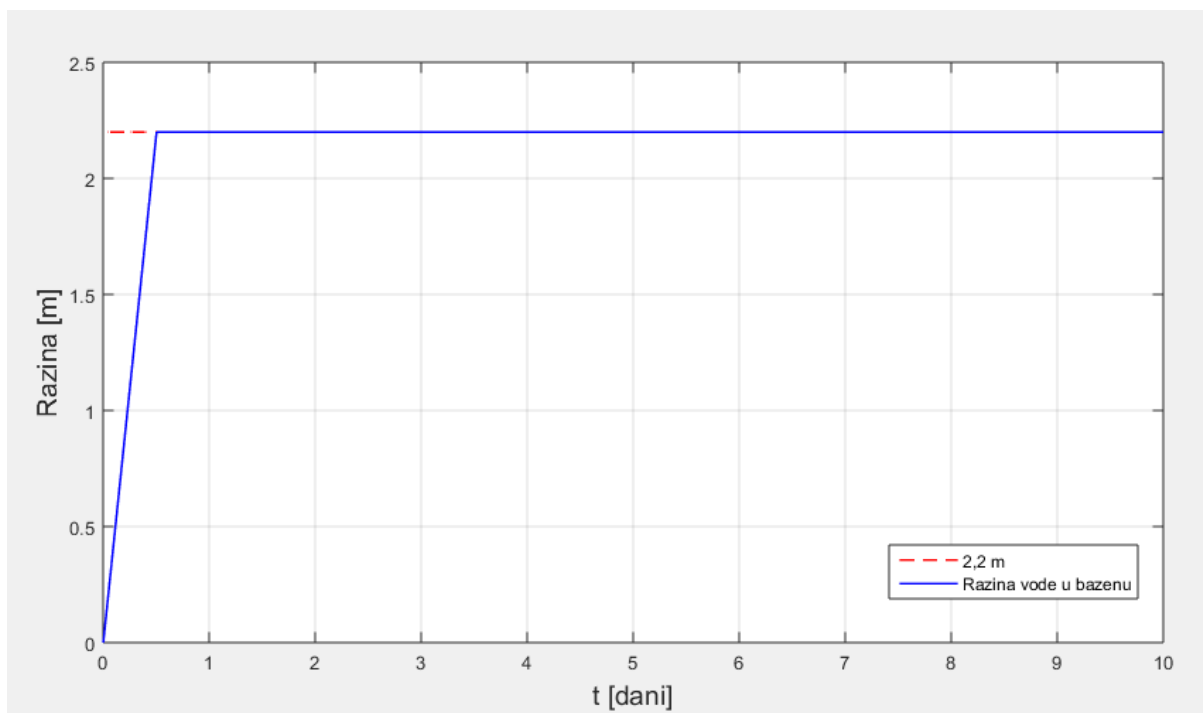
Uvećani model sustava dan je u prilogu.

3. SIMULACIJE

Nakon detaljnije razrade sustava i izrade računalnih modela, potrebno ih je simulirati. Simulacijom se dobivaju rezultati ponašanja sustava prema zadanim parametrima. Moguće je uspoređivati rezultate za različite parametre te je isto tako moguće raditi dodatne korekcije ukoliko sustav ne reagira kako bi trebao. Zanemareni su svi otpori jer se kod ovakvih sustava ne zahtjeva se posebna brzina i točnost pa stoga ove simulacije mogu dovoljno dobro prikazati ponašanje stvarnog sustava.

3.1. Simulacija modela bazena

Simulacijom ovog sustava dobiva se promjena razine vode u bazenu kroz vrijeme (u ovom slučaju 2 dana).



Slika 6. Simulacija računalnog modela bazena

Nakon što se bazen napuni do kraja, on održava maksimalnu razinu tako što pumpe konstantno dobavljaju vodu u bazen, a višak se prelijeva u kanale. Ova simulacija ne može dati potreban uvid u probleme vezane uz gubitke. S obzirom da je ulazni protok u bazen mnogo veći od svih gubitaka zbrojeno, oni se ne odražavaju na promjenu razine vode, već samo usporavaju

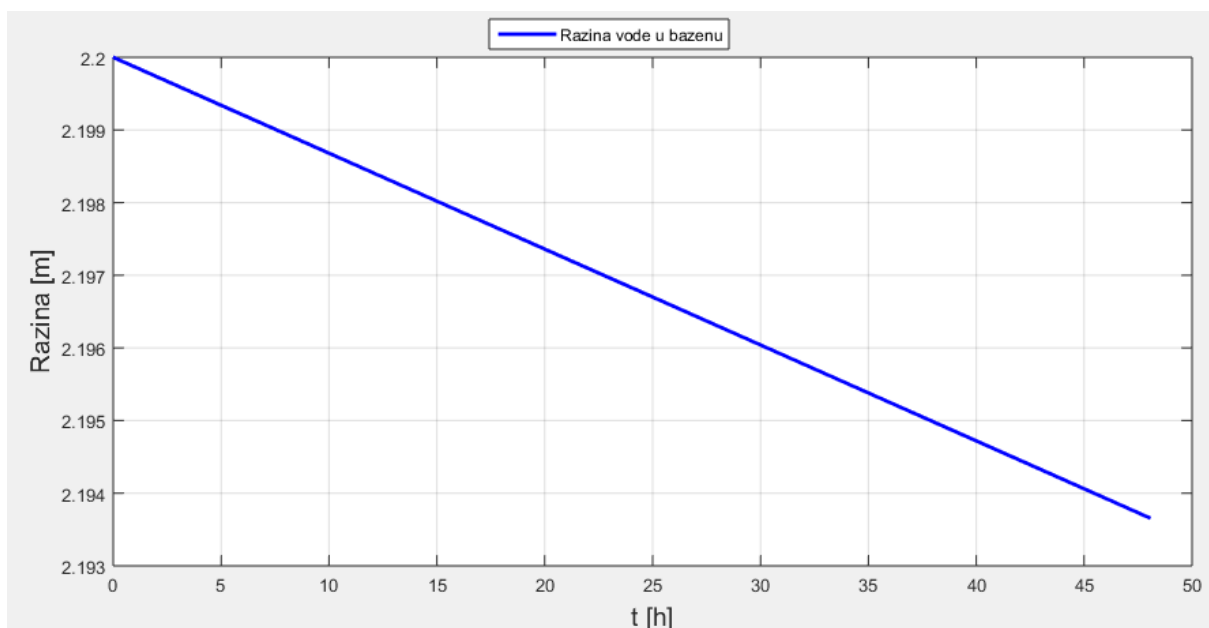
punjenje kompenzacijskog bazena. O ovome se diskutira kasnije u radu. Za bolju simulaciju gubitaka, u sljedećem poglavlju napravljen je sustav bez ulaznog protoka u bazen kojim se pokazuje koliko gubici zapravo utječu na promjenu razine vode, odnosno smanjenje količine vode u sustavu, a samim time i na važnost konstantnog dotoka vode u bazen te redovnog nadopunjavanja sustava.

3.2. Simulacija gubitaka

U ovoj simulaciji prikazano je koliko isparavanje i ostali gubici utječu na razinu vode u bazenu kada nema kontinuiranog pritoka. Uzete su vrijednosti za $t_{r,1} = 18^\circ\text{C}$ i $t_w = 27^\circ\text{C}$ te su prikazani slučajevi i za prazan i za okupirani bazen. Simulacije se provode za period od dva dana.

Ukupni gubici za prazni bazen:

$$Q_{0,uk} = Q_{v,0} = 0,165 \text{ m}^3/\text{h}$$

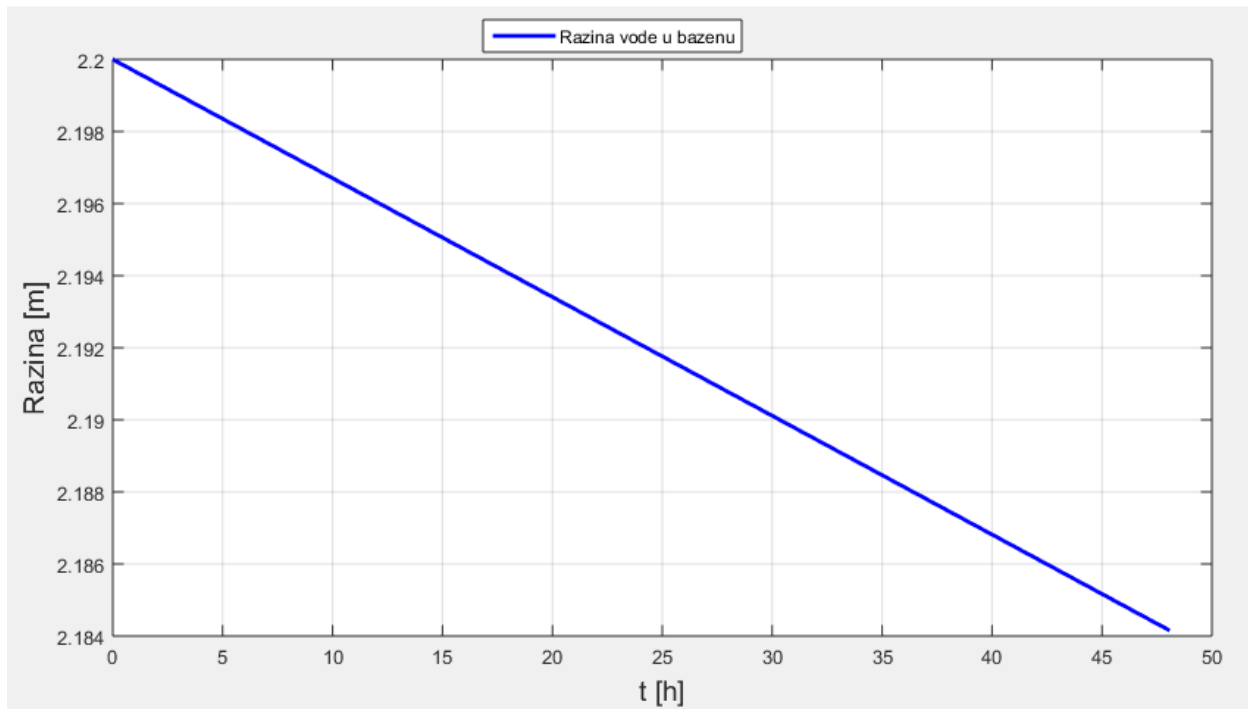


Slika 7. Utjecaj gubitaka u praznom bazenu

Pad razine vode u praznome bazenu iznosi nešto više od 6 cm u dva dana, odnosno nešto više od 3 cm po danu.

Ukupni gubitci za puni bazen:

$$Q_{occ,uk} = Q_{v,occ} + Q_{g,o} = 0,412 \text{ m}^3/\text{h}$$



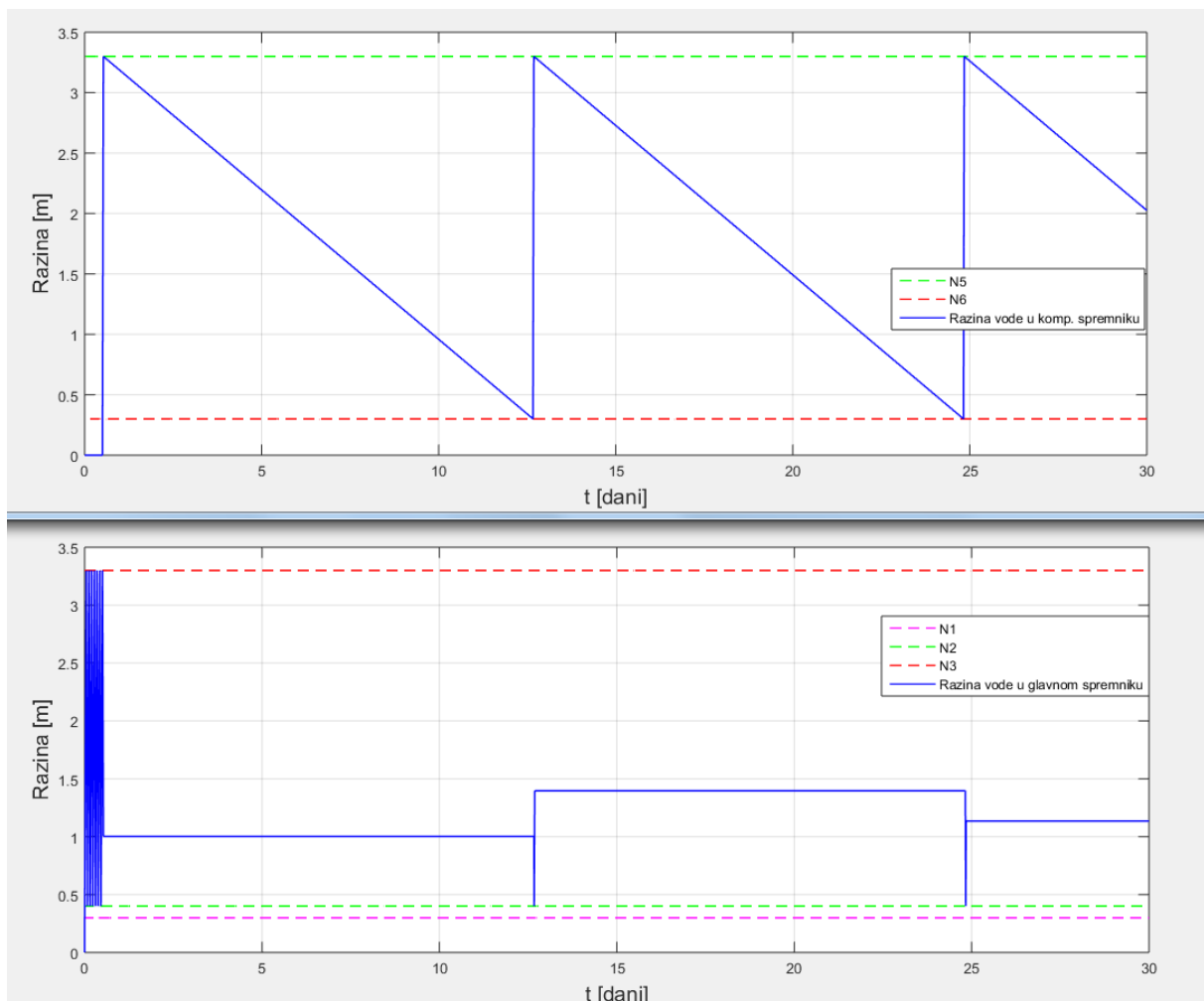
Slika 8. Utjecaj gubitaka u okupiranom bazenu

Vidi se da je pad razine vode u okupiranom bazenu dosta veći nego u praznome i iznosi oko 16 cm u periodu od dva dana, odnosno oko 8 cm po danu.

3.3. Simulacija modela cjelokupnog sustava

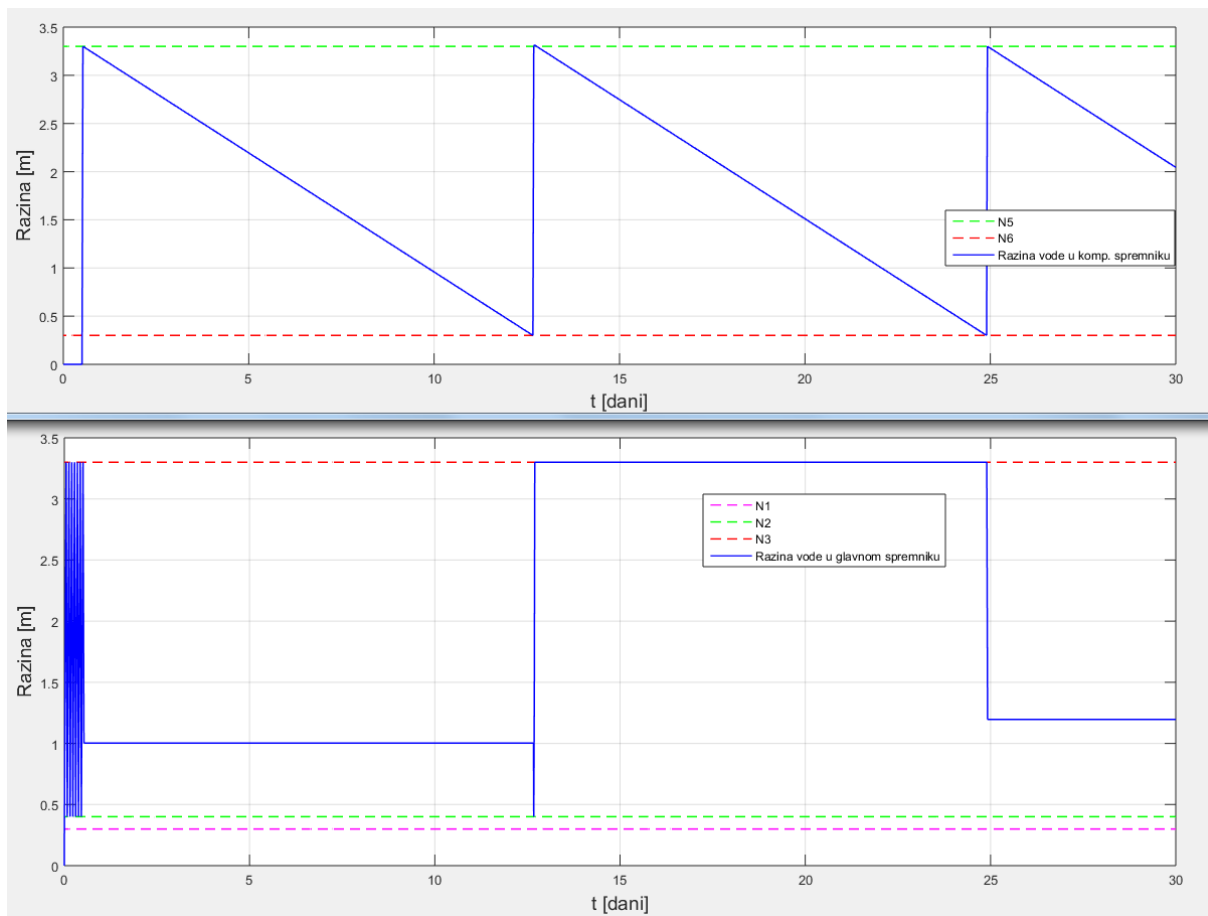
Postoji više mogućnosti u izvedbi sustava koje se trebaju razmotriti. Što se tiče pumpe P4, moguće je staviti onu koja je već prethodno navedena ($Q_4 = 248 \text{ m}^3/\text{h}$), no također postoji opcija da se stavi ista pumpa kao i P1 ($Q_4 = 2 \times 114 = 228 \text{ m}^3/\text{h}$). Isto tako, kao što je prije napometnuto, razmatra se uvjetovanje istovremenog rada pumpi P3 i P4. Sve 4 kombinacije se simuliraju i analiziraju.

a) $Q_4 = 228 \text{ m}^3/\text{h}$, P3 i P4 ne rade paralelno



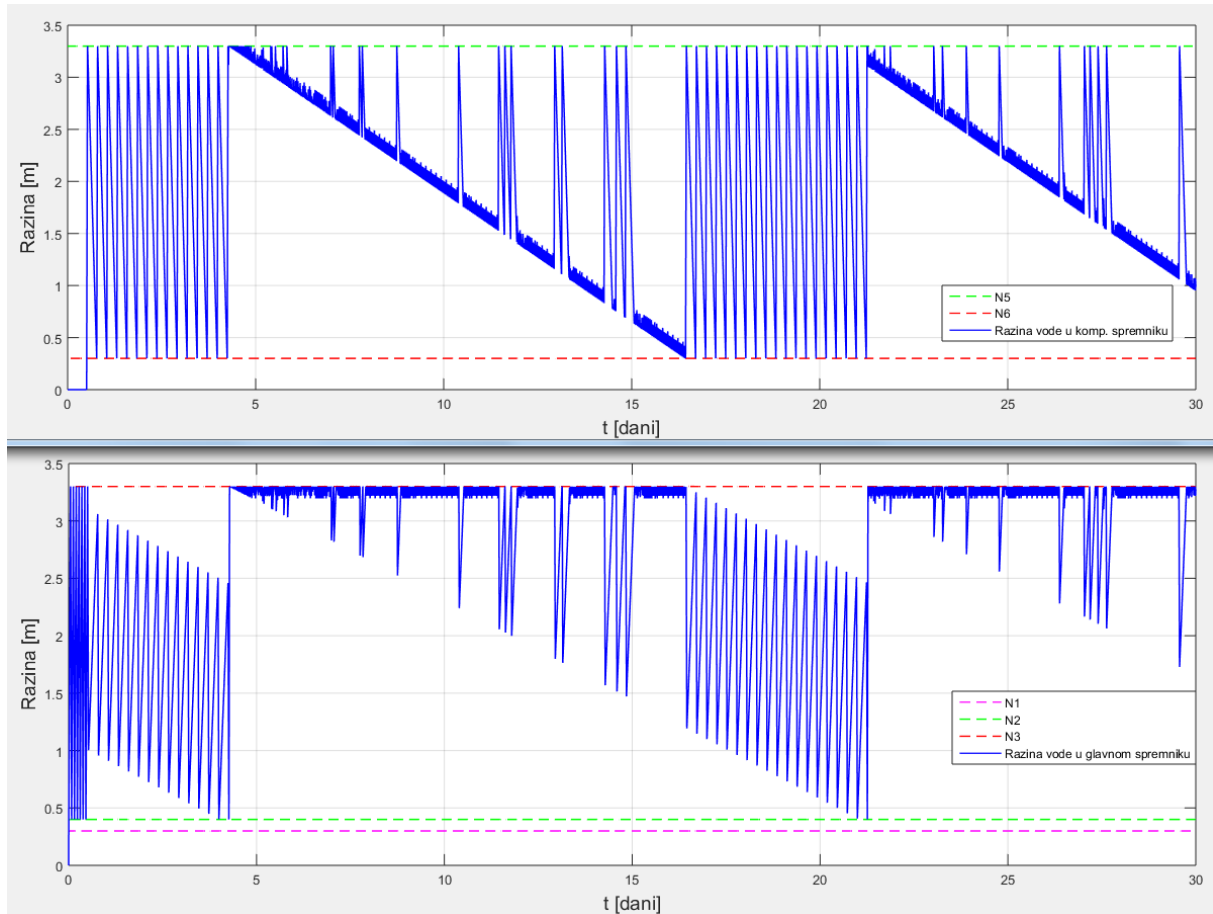
Slika 9. Slučaj a) (30 dana)

b) $Q_4 = 228 \text{ m}^3/\text{h}$, P3 i P4 rade paralelno



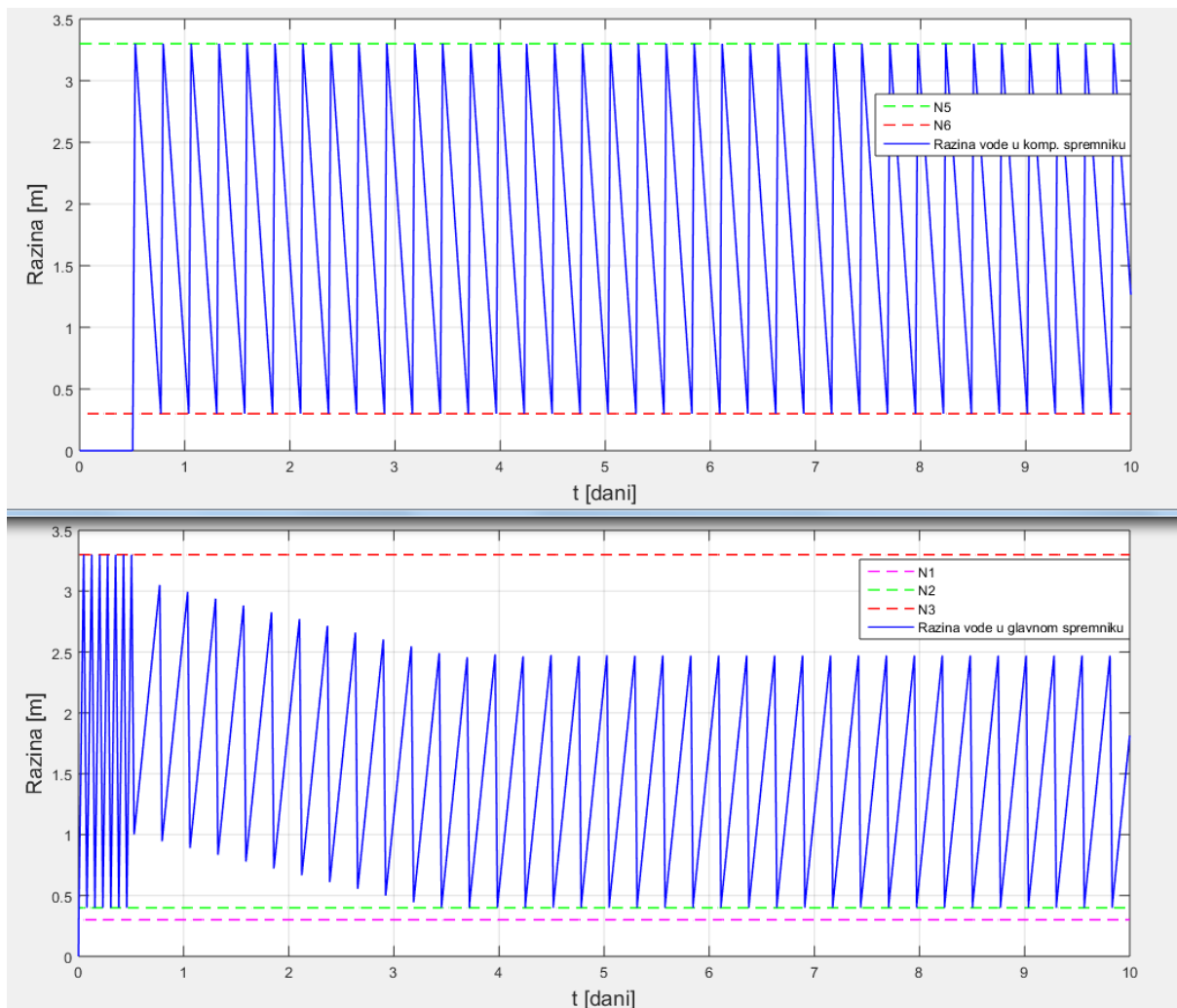
Slika 10. Slučaj b) (30 dana)

c) $Q_4 = 248 \text{ m}^3/\text{h}$, P3 i P4 rade paralelno



Slika 11. Slučaj c) (30 dana)

d) $Q_4 = 248 \text{ m}^3/\text{h}$, P3 i P4 ne rade paralelno



Slika 12. Slučaj d) (10 dana)

4.3. Analiza simulacija

U slučajevima a) i b) potrebno je oko 12 dana, odnosno skoro 300 h da bi se ispraznio kompenzacijski spremnik. To znači da pumpa P4 cijeli taj period radi kontinuirano dok se spremnik ne isprazni te nakon što se spremnik ponovno napuni, radi ponovno kontinuirano. Takav način rada mogao bi utjecati na smanjenje životnog vijeka pumpe, stoga je potrebno razmotriti i druge načine rada.

U slučaju c) pojavljuju se „zubci“ na grafu. Glavni spremnik se napuni do kraja, a kompenzacijski spremnik je započeo fazu pražnjenja. Budući da je $Q_4 > Q_1$, glavni spremnik se opet brzo napuni što prekine pražnjenje kompenzacijskog spremnika (jer je dosegnuta razina N3) sve dok razina opet ne dosegne N5 i tako dok se kompenzacijski spremnik ne isprazni. Te oscilacije su reda par minuta pa nije idealno da se pumpa toliko često uključuje i isključuje. Eventualno bi se u upravljačku logiku mogla dodati histereza te time smanjiti učestalost uključivanja.

U slučaju d) dodan je uvjet da P3 i P4 ne mogu raditi istovremeno, odnosno ako se glavni spremnik puni preko P4, P3 se gasi. Time se postiže da nakon početnih punjenja razina u glavnom spremniku nikad više ne dosegne maksimalnu razinu N3. Punjenje se odvija tako da na početku kratko vrijeme radi pumpa P3 koja se zatim isključuje, a glavni spremnik se nastavlja puniti preko P4 sve dok se kompenzacijski spremnik ne isprazni. Ovdje se vidi kako pumpa P3 kompenzira u sustavu. P4 radi oko 6 sati u komadu što je uredu. Ovo se može pretpostaviti kao najbolje rješenje jer pumpa jedan period vremena radi kontinuirano, a jedan duži period miruje.

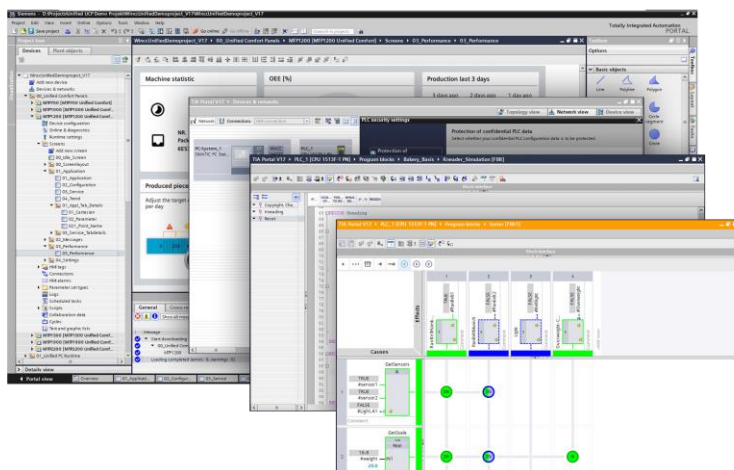
4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA

Sustav se implementira pomoću PLC-a. Predviđeno je korištenje Siemens SIMATIC S7-1500. Taj kontroler ima modularni dizajn te je skalabilna u svojoj funkcionalnosti. Posjeduje veliki izbor singlanih modula za ulaz i izlaz kao i tehnoloških modula za posebne tehnološke funkcije. SIMATIC S7-1500 je odobren za IP20 stupanj zaštite i namijenjen je za ugradnju u upravljački ormar [13].



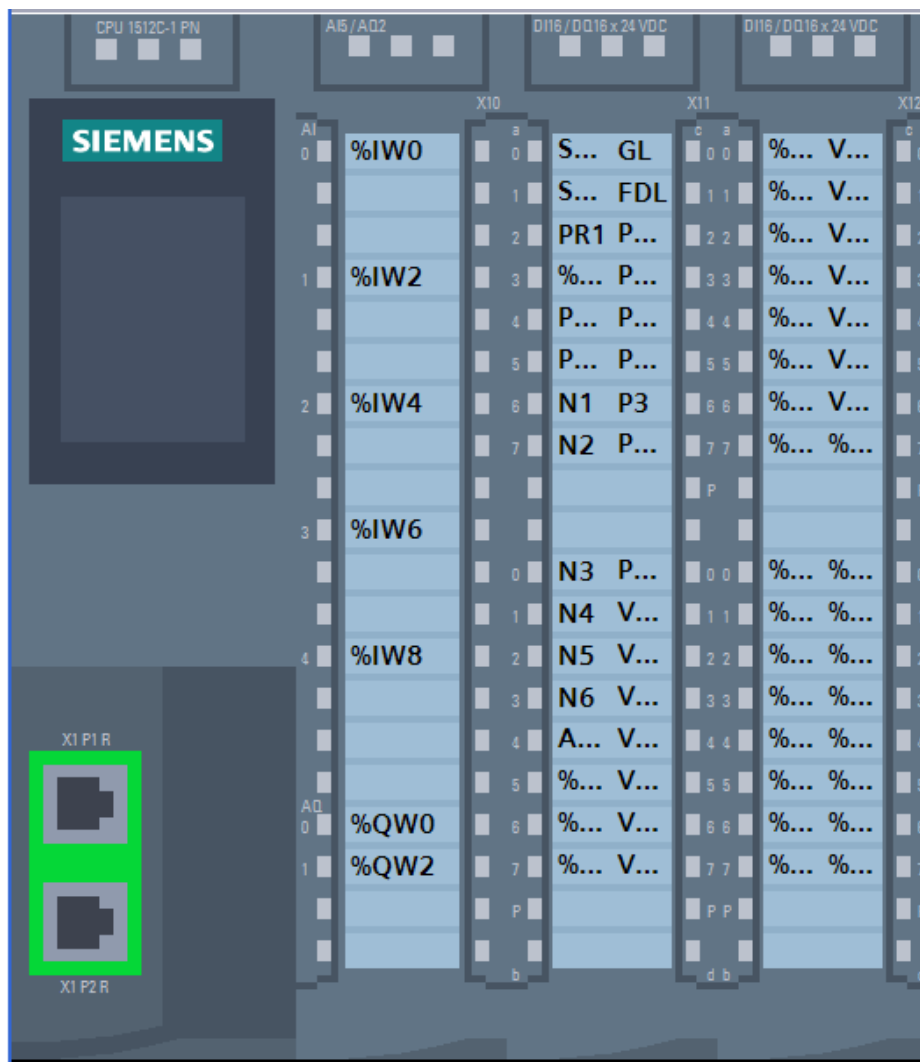
Slika 13. Siemens SIMATIC S7-1500 [13]

Programiranje PLC-a i simulacije izvode se programskim paketom TIA Portal. On omogućuje neograničen pristup cjelokupnom rasponu usluga digitalizirane automatizacije, od digitalnog planiranja do integriranog inženjeringa i transparentnog rada [13].



Slika 14. TIA Portal [12]

5.1. Konfiguracija PLC-a



Slika 15. Konfiguracija kontrolera

Korišteno je:

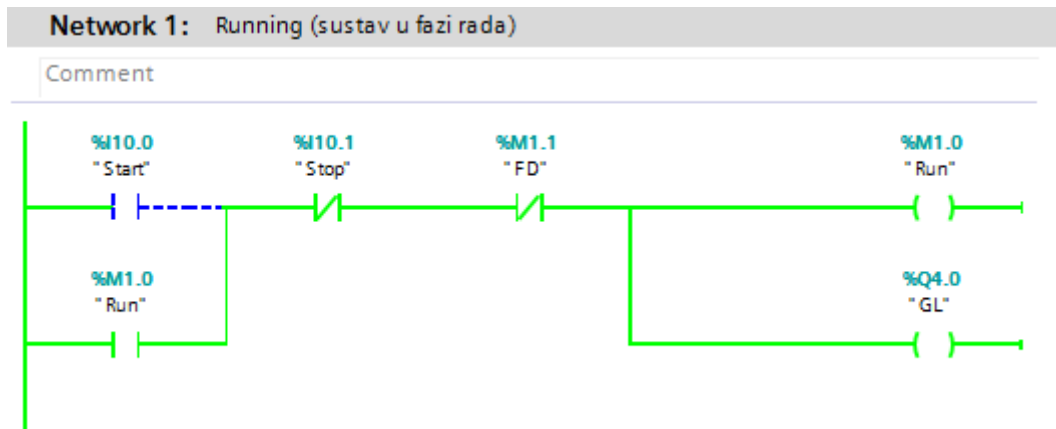
- 12 digitalnih ulaza (adrese od I10.0 do I11.3)
- 23 digitalnih izlaza (adrese od Q4.0 do Q6.6)
- 8 memorijskih bitova (adrese od M1.0 do M1.7)

5.2. Tablica adresa

Inputs/Outputs/Memory									
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervis...	Comment
1	Start	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pokretanje sustava (tipkalo)
2	Stop	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Zaustavljanje sustava (tipkalo)
3	Run	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Running (sustav u fazi rada)
4	GL	Bool	%Q4.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Zelena lampica (sustav radi)
5	PR1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor tlaka na filtru
6	FD	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Previsok tlak na filtru
7	FDL	Bool	%Q4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Filter damage light
8	P1.1	Bool	%Q4.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 1.1
9	P1.2	Bool	%Q4.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 1.2
10	P2.1	Bool	%Q4.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 2.1
11	P2.2	Bool	%Q4.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 2.2
12	P3	Bool	%Q4.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 3
13	P4.1	Bool	%Q4.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 4.1
14	P4.2	Bool	%Q5.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpa 4.2 (rezervna)
15	V1.11	Bool	%Q5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P1.1
16	V1.12	Bool	%Q5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P1.1
17	V1.21	Bool	%Q5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P1.2
18	V1.22	Bool	%Q5.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P1.2
19	V2.11	Bool	%Q5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P2.1
20	V2.12	Bool	%Q5.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P2.1
21	V2.21	Bool	%Q5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P2.2
22	V2.22	Bool	%Q6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P2.2
23	V3.1	Bool	%Q6.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P3
24	V3.2	Bool	%Q6.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P3
25	V4.11	Bool	%Q6.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P4.1
26	V4.12	Bool	%Q6.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P4.1
27	V4.21	Bool	%Q6.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil ispred P4.2
28	V4.22	Bool	%Q6.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		EM ventil iza P4.2
29	PON	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pumpe 1 i/ili 2 rade
30	P1ON	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Radi samo 1. par pumpi (tipkalo)
31	P2ON	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Radi samo 2. par pumpi (tipkalo)
32	N1	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor min. razine tekucine u G.S.
33	N2	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor niske razine tekucine u G.S.
34	N3	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor visoke razine tekucine u G.S.
35	N4	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor niske razine tekucine u bazenu
36	N5	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor visoke razine tekucine u K.S.
37	N6	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Senzor niske razine tekucine u K.S.
38	P.R	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		P1/P2 reset timer za AON
39	Alt mode	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Naizmjenicni nacin rada
40	Alt hold	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Drzi par 1
41	Par 1 mode	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Radi samo 1. par
42	Par 2 mode	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Radi samo 2. par
43	AON	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Naizmjenični rad 1. i 2. para pumpi (tipkalo)

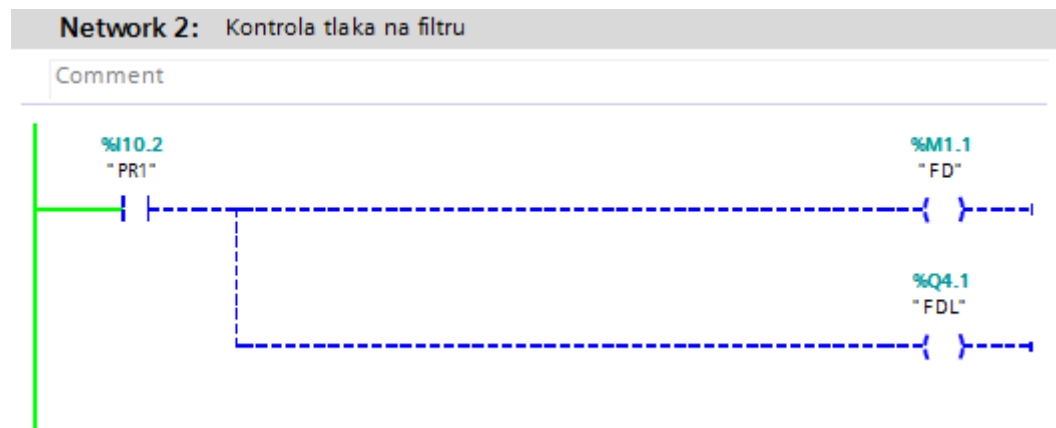
Slika 16. Tablica adresa

5.3. Ladder dijagrami i simulacija

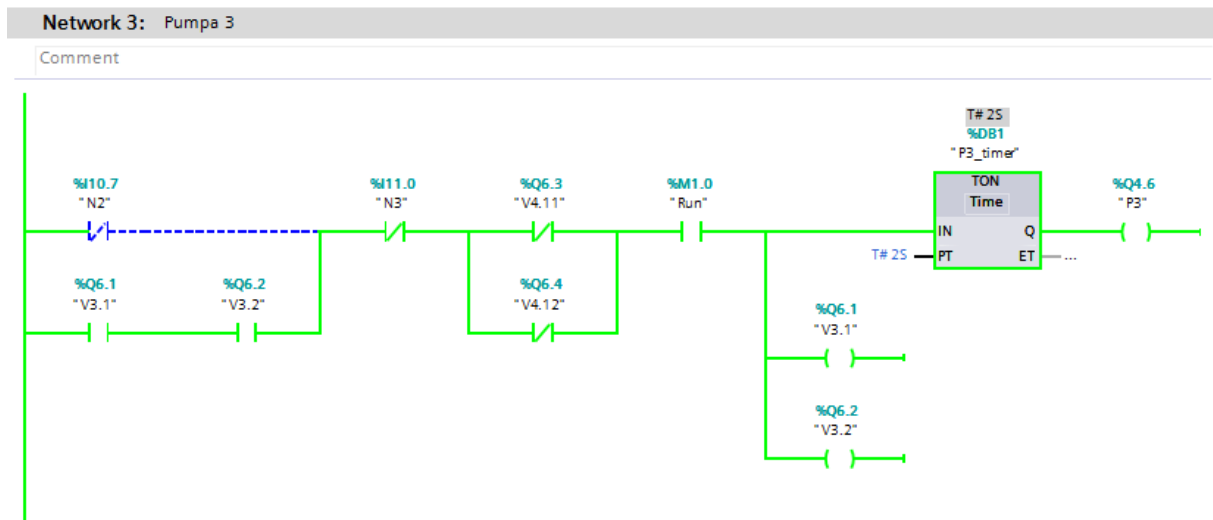


Slika 17. Start/Stop

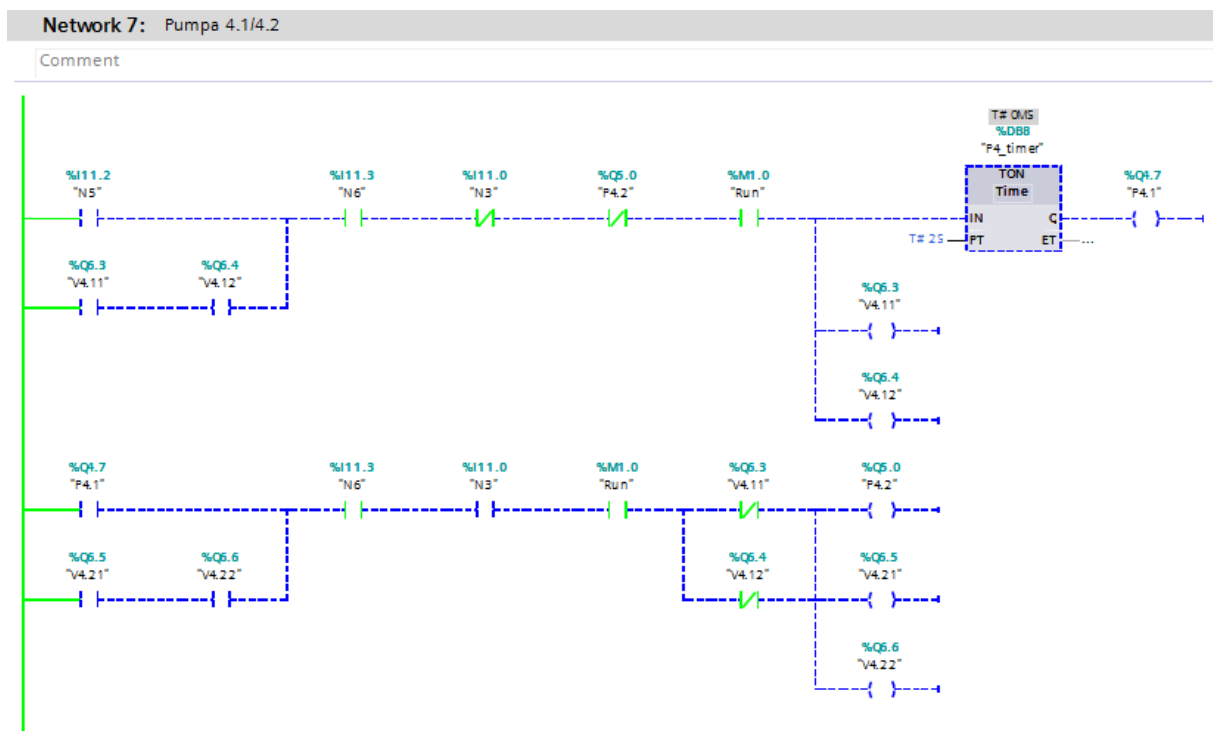
Sustav se pokreće pritiskom na tipkalo Start. Zaustavlja se tipkalom Stop ili aktivacijom senzora visokog tlaka ispred filtra.



Slika 18. Senzor tlaka ispred filtra

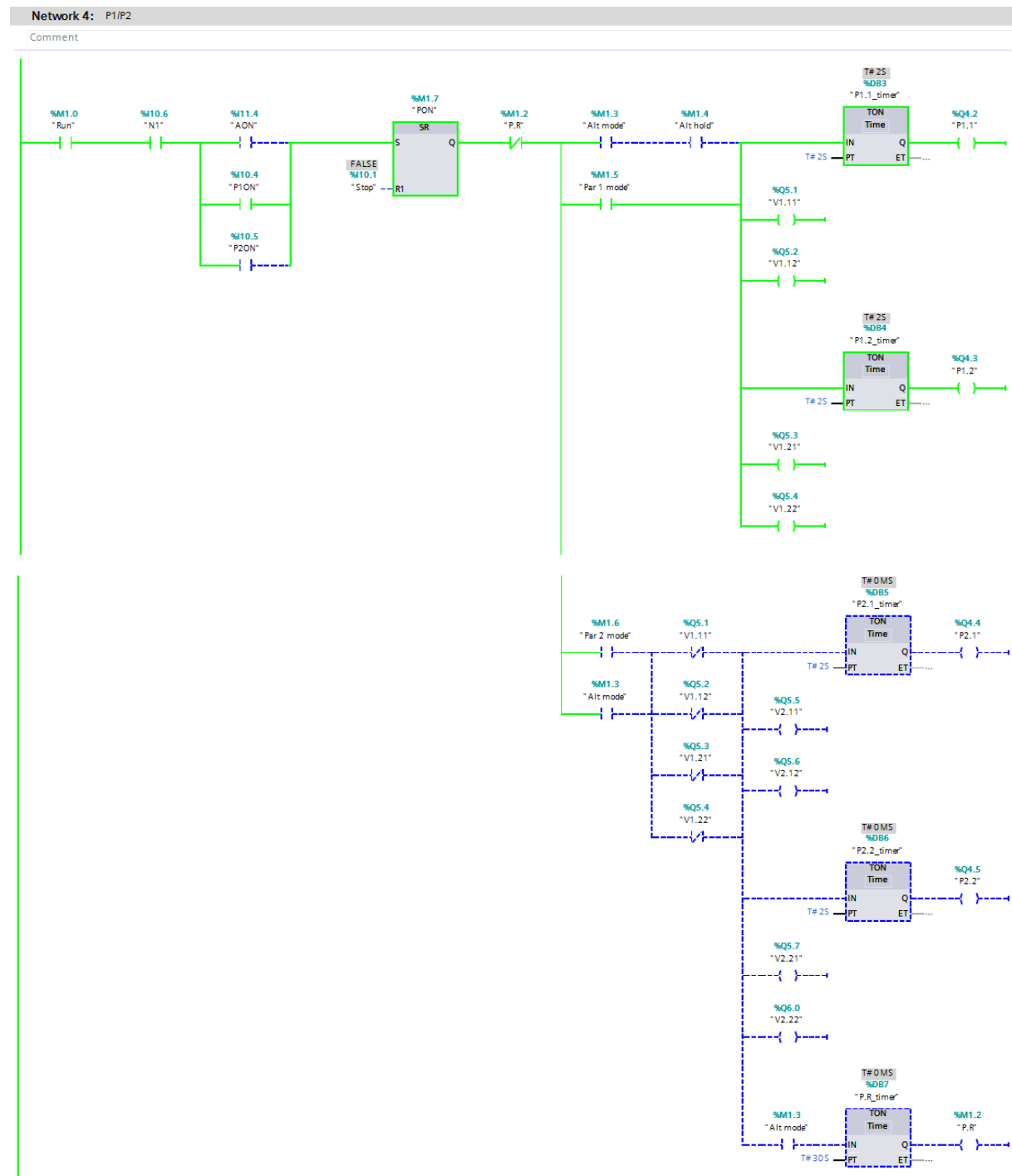


Slika 19. Pumpa P3

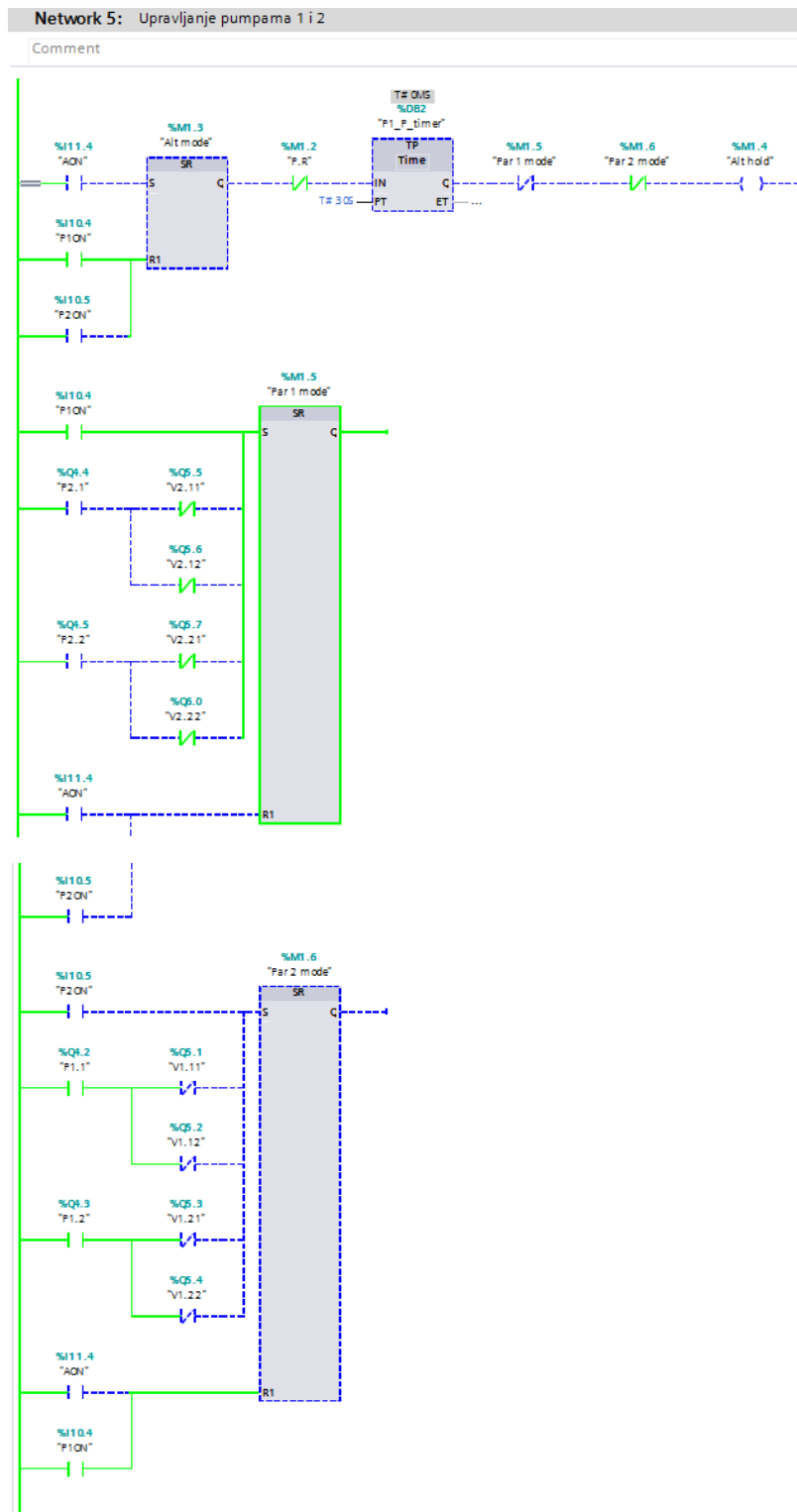


Slika 20. Pumpa P4

Dodana je rezervna pumpa P4.2 koja se uključuje samo ukoliko dođe do kvara na pumpi P4.1 ili njezinim ventilima.



Slika 21. Pumpe P1/P2 (radi par 1)



Slika 22. Odabir načina rada

Način rada se odabire pritiskom na tipkalo AON (naizmjenični način rada), P1ON (radi samo par 1) ili P2ON (radi samo par 2).

5. ZAKLJUČAK

Olimpijski bazen prvenstveno služi za sportske i natjecateljske aktivnosti poput vaterpola ili plivanja za razliku od ostalih javnih bazena koji su namjenjeni građanstvu u svrhu kupanja i opuštanja. Stoga su propisane strože sanitarne i higijenske regulative. Osim toga, obzirom na svoje dimenzije, ima znatno veću zapremninu vode od ostalih bazena. Uzimajući u obzir sve te zahtjeve i karakteristike, dolazi se do zaključka da je projektiranje i automatizacija olimpijskog bazena jedan izazovan i kompleksan zadatak. Postoji prostor za neke kombinacije i varijacije rješenja, ali rezultat na kraju mora biti zadovoljavajuć i unutar zadanih okvira. U praksi se uglavnom pojavljuju rješenja sustava samo s jednim (kompenzacijskim) spremnikom. Takve sustave je jednostavnije implementirati i definitivno zauzimaju manje prostora pa su stoga i konstrukcijska rješenja manje kompleksna. Analizom simulacije rada, predloženi sustav može vršiti funkciju kompenzacije količine vode u bazenu. Također zbog redundantnosti pumpi omogućuje više načina rada od kojih bi neki mogli povoljno utjecati na vijek trajanja pumpi.

6. LITERATURA

- [1] FINA Facilities rules, 2021.-2025.
- [2] Sportski park Mladost, <<https://www.sportskiobjekti.hr/default.aspx?id=8783>>, 9.2.2024.
- [3] López E. N.: Maintenance of a Swimming Pool Water Circuit, 2013.
- [4] Shah M. M.: Improved method for calculating evaporation from indoor water pools, Energy and Buildings, 2012.
- [5] Moist Air - Saturation Vapor Pressure, < https://www.engineeringtoolbox.com/relative-humidity-air-d_687.html>, 11.2.2024.
- [6] Air - Density, <https://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html>, 11.2.2024.
- [7] Air - Humidity Ratio, <https://www.engineeringtoolbox.com/humidity-ratio-air-d_686.html>, 11.2.2024.
- [8] Water Losses - SPATA, < <https://www.spata.co.uk/swimming-pools/factsheets/water-losses>>, 11.2.2024.
- [9] MathWorks, Matlab, <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>, 12.2.2024.
- [10] C. M. Diniş, IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng. 294 012052, 2018.
- [11] Katalog tvrtke Grundfos, < <https://product-selection.grundfos.com/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nbe-series-2000?tab=models>>, 12.2.2024.
- [12] EUSA, Domestic Swimming Pool Circulation Systems, 2010.
- [13] Siemens, < <https://www.siemens.com>> 14.2.2024.

7. PRILOZI

- I. Matlab kod
- II. Računalni model sustava

```
clc
clear all
close all

Ab = 1250;
Ags = 57.1429;
Aks = 40;

N1 = 0.3;
N2 = 0.4;
N3 = 3.3;
N4 = 2;
N5 = 3.3;
N6 = 0.3;

sim('zavrsni');

figure(1)
plot(t, bazen_h_1, 'b', 'linewidth', 2);
grid on
ylabel('Razina [m]', 'FontSize', 14);
xlabel('t [h]', 'FontSize', 14);
legend('Razina vode u bazenu');
ax = findall(1, 'type', 'axes');
ls = findall(1, 'type', 'line');
for i = 1:numel(ls)
    ls(i).XData = ls(i).XData/3600;
end
ax.XLimMode = 'auto';

figure(2)
plot(t, bazen_h_gubitci1, 'b', 'linewidth', 2);
grid on
ylabel('Razina [m]', 'FontSize', 14);
xlabel('t [h]', 'FontSize', 14);
legend('Razina vode u bazenu');
ax = findall(2, 'type', 'axes');
ls = findall(2, 'type', 'line');
for i = 1:numel(ls)
    ls(i).XData = ls(i).XData/3600;
end
ax.XLimMode = 'auto';
```

```
figure(3)
plot(t, 2.2+t*0, '--r', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, bazen_h, 'b', 'linewidth', 1);
grid on
ylabel('Razina [m]', 'FontSize', 14);
xlabel('t [dani]', 'FontSize', 14);
legend('2,2 m', 'Razina vode u bazenu');
ax = findall(3, 'type', 'axes');
ls = findall(3, 'type', 'line');
for i = 1:numel(ls)
    ls(i).XData = ls(i).XData/86400;
end
ax.XLimMode = 'auto';

figure(4)
plot(t, N5+t*0, '--g', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, N6+t*0, '--r', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, komp_spremnik_h, 'b', 'linewidth', 1);
grid on
ylabel('Razina [m]', 'FontSize', 14);
xlabel('t [dani]', 'FontSize', 14);
legend('N5', 'N6', 'Razina vode u komp. spremniku');
ax = findall(4, 'type', 'axes');
ls = findall(4, 'type', 'line');
for i = 1:numel(ls)
    ls(i).XData = ls(i).XData/86400;
end
ax.XLimMode = 'auto';

figure(5)
plot(t, N1+t*0, '--m', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, N2+t*0, '--g', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, N3+t*0, '--r', 'linewidth', 1);
hold on
plot(t, glavni_spremnik_h, 'b', 'linewidth', 1);
grid on
ylabel('Razina [m]', 'FontSize', 14);
xlabel('t [dani]', 'FontSize', 14);
legend('N1', 'N2', 'N3', 'Razina vode u glavnom spremniku');
ax = findall(5, 'type', 'axes');
ls = findall(5, 'type', 'line');
for i = 1:numel(ls)
    ls(i).XData = ls(i).XData/86400;
end
ax.XLimMode = 'auto';
```