

Model automatizacije postrojenja za pripremu fluida temeljen na principima industrije 4.0

Čereg, Marin

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:747662>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-05**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH
TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**MODEL AUTOMATIZACIJE POSTROJENJA ZA
PRIPREMU FLUIDA TEMELJEN NA PRINCIPIMA
INDUSTRIJE 4.0**

Diplomski rad

Marin Čereg

Osijek, 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. AUTOMATIZACIJA PROCESA MAKETE.....	3
2.1. Osnovni pojmovi	3
2.2. Idejno rješenje makete	4
2.2.1 Fizikalno pojašnjenje rada makete.....	6
2.2.2 Makete sa sličnim principima rada	9
2.3. Regulatori u industriji.....	10
2.3.1. P regulator	13
2.3.2. I regulator	13
2.3.3. D regulator	13
2.3.4. PID upravljač (PIDC)	14
2.3.5. Sinteza regulatora	15
2.4. Procesno računalo.....	18
2.4.1. Arhitektura PLC-a	21
2.4.2. Programska podrška	22
2.4.3. Moduli procesnog računala	26
2.4.4. Komunikacija u industriji	28
2.5. Senzori i aktuatori	31
2.6. HMI.....	37
2.7. SCADA	38
2.8. Prikupljanje i obrada podataka	38
2.9. Industrija 4.0.....	39
3. IZVEDBA MAKETE, UPRAVLJAČKOG PANELA I HMI-A	40
3.1. Planiranje izrade makete	40
3.2. Maketa spremnika	41
3.2.1. Komponente unutar makete.....	42
3.3. Upravljački panel makete	44
3.4. Povezivanje upravljački panela i makete	46
3.5. Izrada programske podrške i vizualnog sučelja	47
3.5.1. Hardverska podrška	47
3.5.2. Programska podrška.....	47
3.5.3. Sučelje čovjek-stroj	48
3.6. Manualno upravljanje makete	48

3.6.1. Testiranje komponenti	49
3.7. Automatiziran način rada	49
3.7.1. Automatizirani načini upravljanja maketom	49
3.7.2. Simulacija automatiziranog načina rada	51
3.8. Upute korištenja makete	51
3.9. Udaljeni način rada	56
3.10. Nadzor i prikupljanje podataka sa makete	59
3.11. Sigurnost unutar rada makete	60
4. TESTIRANJE RADA MAKETE	62
4.1. Testiranje sustava upravljanja razine fluida	64
4.2. Testiranje sustava upravljanja temperature fluida	66
4.3. Testiranje sigurnosnog sustava	66
5. ZAKLJUČAK	67
LITERATURA	68
POPIS KRATICA	70
SAŽETAK	71
ABSTRACT	72
ŽIVOTOPIS	73
PRILOZI	74

1. UVOD

Industrija ima veliku ulogu u današnjem svijetu. Industrijski sektor opskrbljuje svijet sa svakojakim proizvodima i uslugama koje poboljšavaju ljudski život i njihove standarde. Osnovna zadaća industrije je proizvod koji se konstantno unaprjeđuje, razvija te se istražuje tržište kako bi se taj proizvod prilagodio određenim skupinama korisnika.

Kroz povijest industrija je uz vojsku stalno razvijala nove tehnologije koje su unapređivale standard ljudskog života i samog proizvoda. Tijekom godina može se reći kako su se dogodile tri velike industrijske revolucije u kojima se uvođenjem nove tehnologije dogodio veliki razvoj društva. Negdje početkom 21. stoljeća počela je četvrta industrijska revolucija koja će promijeniti svijet kakvog ga znamo.

Prva industrijska revolucija dogodila se izumom parnog stroja kojeg je usavršio škotski znanstvenik James Watt krajem 18.-og stoljeća. Ovaj izum koristi vodenu paru te se počeo koristiti u svakodnevnom svijetu u smislu transporta, proizvodnje i obrade materijala. Engleski znanstvenik sir Henry Bessemer miješanjem legura željeza i ugljika dobio materijal koji se danas naziva čelik (engl. *Steel*) koji je isto tako donio revoluciju u svijetu.

Nakon prve industrijske revolucije proizvodnja željeza a, kasnije tekstila, ostalih sirovina i proizvoda naglo je porasla. Jako puno ljudi je sudjelovalo u procesu izrade kako bi se zadovoljilo potrošačko društvo te potrebe industrije za razvijanjem. Tako je drugom polovicom 19. stoljeća došla druga industrijska revolucija kojom se počinje koristiti električna energija. Druga industrijska revolucija predvođena izumima poput višefaznih struja i motora na izmjeničnu struju hrvatskog znanstvenika Nikole Tesle koja je počela mijenjati svijet. Ovim izumima motori na izmjeničnu struju zamjenjuju teški fizički rad čovjeka, uvodi se manufaktura te poboljšava sama tehnologija izrade nekog proizvoda i obrade materijala. Razvoj industrije u ovoj revoluciji donosi i nove izume kao što je prvi patent automobila njemačkog znanstvenika Karla Benz-a, prvi početci telekomunikacije tj. prvi telegram engleskih znanstvenika te mnogih drugih izuma. Nakon druge industrijske revolucije događa se i veliki ekonomski i društveni razvoj. Amerika, Njemačka i Velika Britanija postaju industrijske velesile koje prednjače razvojem novih tehnologija i proizvoda.

Treća industrijska revolucija temelji se na automatizaciji procesa. Napravljeni su prvi sustavi koji upravljaju proces pomoću releja. Razvojem tehnologije nastali su prvi poluvodički elementi koji su doveli do razvoja procesnih računala (engl. *programmable logic controller*, skraćeno PLC

) te zamjenjuju releje u industriji. Otvaraju se nove industrije i novi poslovi koji se bave informacijskim tehnologijama i računarstvom. Razvojem industrije povlači razvoj PLC-a i opreme za PLC te su tvrtke njemački Siemens, švicarsko-švedski ABB, te američki Rockwell doprinijeli velikom razvoju industrije kakva je danas.

Početak 21. stoljeća počinje četvrta industrijska revolucija. Daljnjim razvojem tehnologije industrija se počinje bazirati na nadzoru, interakciji s procesom i povezivanje industrijskih uređaja na internet te je to unaprijeđeno pomoću sustava sučelja čovjek-stroj (engl. *Human machine interface*, skraćeno HMI). HMI je zamišljen da prikazuje procesne veličine i dopušta utjecaj na njih te prikuplja podatke iz procesa. Razvoj tehnike unaprjeđuje procesorsku moć računala koja otvara mogućnost provođenja nekih složenih algoritama za strojno učenje poput neuronske mreže koja obrađuje prikupljene podatke. Četvrta industrijska revolucija otvara nove znanstvene grane poput kibernetike, umjetne inteligencije, robotike i mnogih drugih znanosti. Nove znanstvene grane poboljšavaju životni standard te sve više smanjuju ljudski utjecaj na industriju ali i na ekonomiju te društvo.

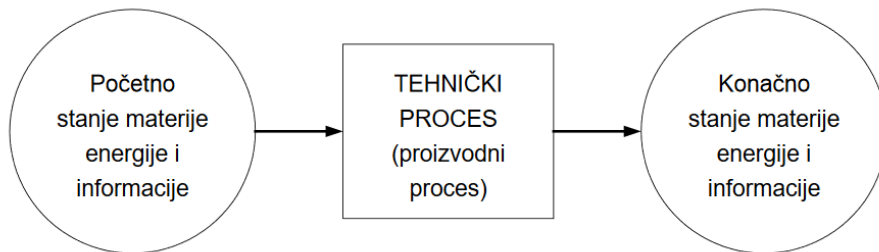
Ovaj diplomski rad opisuje izradu i rad jedne makete za pripremu fluida koja ima zadaću održavati razinu vode u spremniku koja je zadana s HMI-a te zagrijavanje fluida na željenu temperaturu u spremniku. Zadaća se izvodi pomoću pumpe, ventila te grijača kao aktuatori te osjetnika temperature, mjerača protoka te osjetnika tlaka kao senzora. U drugom poglavlju je opisana teorijska pozadina diplomskog rada, te su definirani pojmovi nužni za daljnje razumijevanje. Zatim su opisane komponente koje će se koristiti prilikom izrade makete pripreme fluida te na kraju drugog poglavlja se opisuje sučelje za upravljanje s industrijom 4.0. Treće poglavlje opisuje izradu makete, upravljačkog panela i programa za vizualno sučelje u kojemu su opisane neke od mogućnosti koje se mogu koristiti unutar izrađene aplikacije. Opisani su načini upravljanja maketom te sigurnosne funkcije. Na kraju je prikazan konačni izgled makete te rezultati testiranja na kojima je prikazana ovisnost mijenjanja temperature fluida i napunjenost spremnika u vremenu.

2. AUTOMATIZACIJA PROCESA MAKETE

U drugom poglavlju objašnjeni su osnovni pojmovi koji će se koristiti u ostalim poglavljima te opis rada makete sa poveznicama gdje se ona koristi

2.1.Osnovni pojmovi

Proces je jedno ili više djelovanja na materiju, energiju ili informaciju kako bi se postigao željeni rezultat koji može biti jednostavan poput pomicanja materije od mjesta A do mjesta B ili nešto složenije kao određivanje inverzne kinematike robota. Kako bi se željeni rezultat ostvario potrebno nam je početno stanje materije, energije i informacija na koje ćemo djelovati i dobiti rezultat kako je prikazano slikom 1.1.



Slika 2.1. Tehnički proces [1]

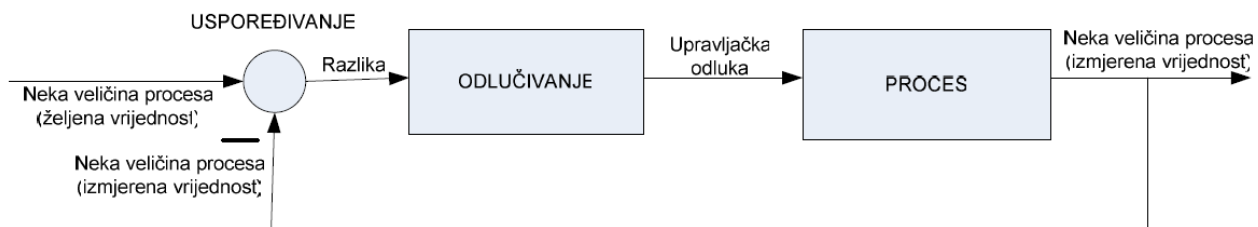
Pod pojmom automatizacija često se povezuje smanjivanje ljudskog faktora u djelovanju na sustav no uz to automatizacija je zadužena za povećavanje ukupne efikasnosti sustava, sigurnost prilikom rada, brzinu rada sustava te konačnu kvalitetu rezultata sustava.

Automatizacija procesa je korištenje pomagala kako bi se povezali procesi u jednu cjelinu zvanu sustav ili podsustav ovisno o kakvoj cjelini je riječ. Ovisno o vrsti sustava te njegovom stupnju automatizacije postoje:

- off-line sustavi sa malim stupnjem automatizacije
- on-line sustavi sa srednjim stupnjem automatizacije
- on line sustavi sa velikim stupnjem automatizacije

Kako bi sustav imao veći stupanj automatizacije potrebno je imati vezu s veličinama koje direktno ili indirektno utječu na proces. Vrijednost koja se dobije na izlazu mjeri se senzorom te se uspoređuje s referentom vrijednošću. U tehničkom svijetu ova ideja naziva se povratna veza ili zatvorena petlja te je elementarna stvar regulacije. Pojam regulacija znači neprestano motrenje nekakve vrijednosti te utjecaj na proces po potrebi kako bi ta vrijednost ostala u željenoj ravnoteži.

Uvođenjem automatizacije na ovu ideju dobiva se automatska regulacija koja povratnom vezom dobiva informaciju o vrijednosti na izlazu te računa odstupanje izlazne veličine od referentne veličine. To odstupanje se koristi pri odluci hoće li se djelovati na proces i koliko, kako bi se uspješno postići odstupanje jednako nuli.



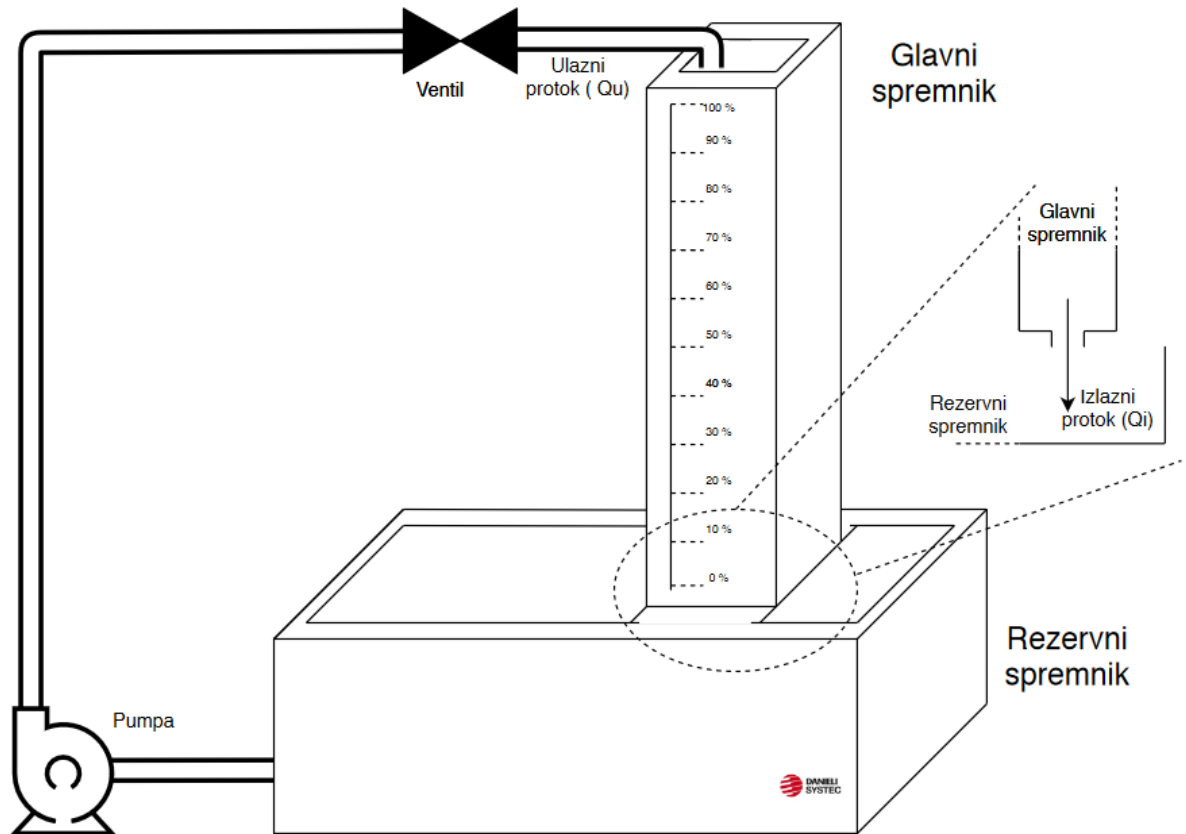
Slika 2.2. Automatska regulacija procesa [2]

Uz pojam automatska regulacija potrebno je spomenuti upravljanje procesa te vođenje procesa. Upravljanje procesa je djelovanje na ulazne veličine procesa bez informacije o vrijednosti na izlazu. Vođenje procesa je kombinacija upravljanja i regulacije sustava. Koriste se procesna računala ili PLC u kojima se obrađuju razni signali te računalo donosi odluke kako i kada djelovati na sustav.

2.2. Idejno rješenje makete

Prilikom učenja o automatskoj regulaciji gotovo sigurno će se pojaviti problem održavanja razine vode u spremniku koji ima otvoreno dno. Taj problem će se ovdje obraditi i realizirati rješenje koristeći spremnike, pumpe za vodu i ventile. Kako bi taj primjer održavanja razine vode se povezo s industrijom dodan je još jedan faktor a, to je dovođenje topline u spremnik. Maketa tako predstavlja model pripreme fluida u automatizaciji.

Maketa ima zadatak održavati razinu fluida unutar spremnika otvarajući i zatvarajući ventil koji utječe na ulazni dotok fluida u spremnik. Kada bi bio samo spremnik bez otvora na dnu fluid bi se punio u spremniku i kada bi se željena vrijednost razine fluida u spremniku približavala stvarnoj ventil bi se zatvarao. No, tu postoji problem koji stvara otvor na dnu koji će se pojasniti u sljedećem potpoglavlju gdje će se pojasniti matematički modeli ove makete kao i fizikalni i hidraulički zakoni koji se koriste u ovoj maketi. Još je važno spomenuti kako bitnu ulogu ovdje ima i procesno računalo koje dobiva podatke od senzora te na temelju tih podataka odlučuje koliko će ventil biti otvoren te hoće li grijač raditi ili neće. Isto tako brine o sigurnosti svojih dijelova gdje kao primjer se može uzeti čuvanje pumpe koju će procesno računalo isključiti ako nema vode u rezervnom spremniku ili ako se pojavio alarm.



Slika 2.3. Shematski prikaz zamišljenog izgleda makete

Tehnički opis rada makete je sljedeći. Maketa ima dva spremnika koji se mogu nazvati glavni spremnik i rezervni spremnik kako je prikazano slikom 2.3. U glavnom spremniku se nalazi problematika ranije spomenuta koja se sastoji od održavanja razine fluida te održavanja temperature fluida unutar rezervnog spremnika. Glavni spremnik ima ulazni i izlazni protok koji kompliciraju održavanje razine fluida i temperature fluida unutar spremnika. Izlazni protok nastaje zbog otvora koji se nalazi na dnu glavnog spremnika te se mijenja ovisno o napunjenosti spremnika. Zbog izlaznog protoka iz glavnog spremnika stalno istječe fluid te ga je potrebno nadomjestiti sa ulaznim protokom. Isto tako izlazni protok iz glavnog spremnika otežava reguliranje temperature u rezervnom spremniku zbog dovođenja fluida nepoznate temperature u rezervni spremnik. Kako je glavni spremnik iznad rezervnog, izlazni protok će ulaziti u rezervni spremnik koji služi za akumulaciju fluida unutar ove makete. Pumpa usisava fluid iz rezervnog spremnika te ga transportira prema ventilu koji ovisno o svojoj otvorenosti propušta određen ulazni protok u glavnog spremnika. Željeni zadatak makete je prikazati jednu jedinicu za pripremu fluida unutar industrijskog pogona sa funkcionalnostima održavanja razine fluida, održavanja

temperature unutar glavnog spremnika, prikupljanja i prikaza podataka te interakciju korisnika sa procesom putem HMI-a. Uz sve već navedeno zamišljeno je ugraditi u zaštitne mehanizme koji će zaštititi komponente od mogućeg kvara sustava. Primjer tome je ugradnja senzora koji će se aktivirati ako razina fluida u rezervnom spremniku padne ispod minimalne dopuštene razine te će se tako zaustaviti rad pumpe jer fluida unutar rezervnog spremnika nema.

Sljedećim poglavljem fizikalno će se pojasniti problematika izlaznog protoka te njegov utjecaj na održavanje razine fluida unutar spremnika.

2.2.1 Fizikalno pojašnjenje rada makete

Kako bi se lakše shvatio rad makete potrebno je poznavati matematičku i fizikalnu pozadinu. Za početak će se objasniti reguliranje razine pa onda reguliranje topline u spremniku. Problem u reguliranju razine fluida u spremniku jest volumen napunjenosti glavnog spremnika. Volumen ili obujam je definirana jedinica prostora kojega popunjava neko tijelo [3]. U fizici volumen se označava sa velikim slovom V te se izražava u metrima kubnim (m^3). Vrijednost volumena računa se kao površina spremnika u metrima kvadratnim (m^2) pomnožena sa razinom napunjenosti fluida izražena u metrima. Kako se napunjenost fluida stalno mijenja u vremenu formula za volumena u spremniku izgleda ovako:

$$V = A * \frac{dh}{dt} \quad (2-1)$$

gdje je:

- V – volumen [m^3]
- A – površina spremnika [m^2]
- $\frac{dh}{dt}$ – promjena razine fluida u vremenu [m]

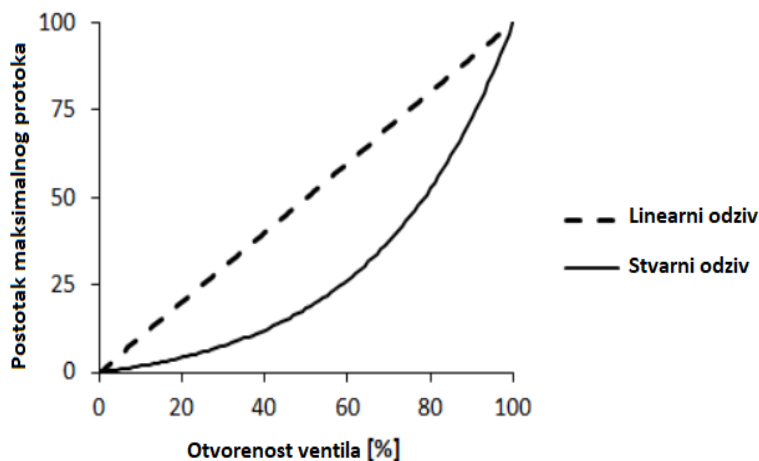
Promjena razine fluida u vremenu može se opisati pomoću razlike ulaznog protoka u glavni spremnik i izlaznog protoka koji istječe iz glavnog spremnika. Protok fluida se izražava u litrama po sekundi ili metru kubnom po sekundi (m^3/s) te se označava sa velikim slovom Q . Ako je ulazni protok veći od izlaznog protoka spremnik će se puniti a, suprotno će se prazniti. Ta zakonitost se može zapisati na sljedeći način koji se naziva jednačba ravnoteže:

$$A * \frac{dh}{dt} = Q_u - Q_i \quad (2-2)$$

gdje su:

- Q_u - ulazni protok u glavnom spremniku [m^3/s]
- Q_i - izlazni protok u glavnom spremniku [m^3/s]

Ulazni protok unutar rada makete ovisi samo o otvorenosti ventila koji se označava drugačije u raznim literaturama te će se ovdje uzeti oznaka X_v a, izražavati će se u postocima. Kad je otvorenost 0% može se reći kako je ventil zatvoren a, 100% ventil otvoren. U teoriji ulazni protok bi se mogao

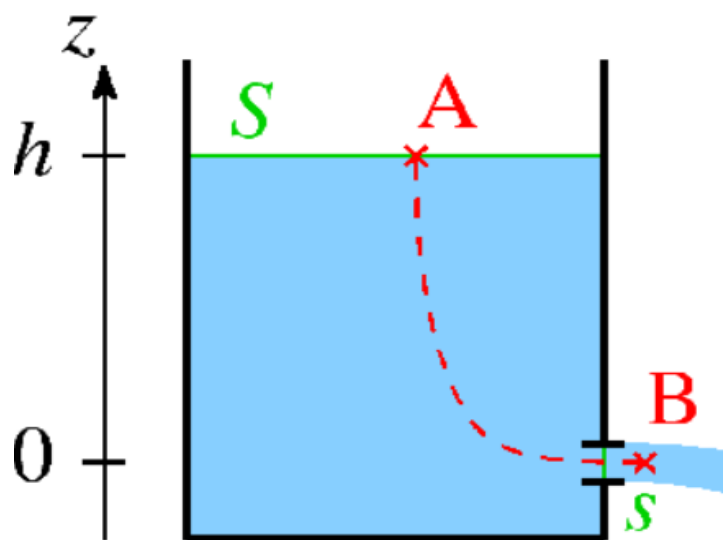


Slika 2.4. Ovisnost otvorenosti ventila o postotku protoka

linearno mijenjati što bi značilo da sa otvaranjem ventila bi se dobivalo linearno povećavanje protoka, no u praksi to nije točno. Zbog smetnji poput viskoznosti fluida i strujanju fluida, a naročito mehanike ventila ovisnost protoka o otvorenosti ventila je nelinearna. To znači kako se mora provesti linearizacija ventila kako bi se znala vrijednost protoka s obzirom na otvorenost ventila.

Izlazni protok iz glavnog spremnika ima isto tako nelinearan odziv te ovisi o napunjenosti spremnika.

Koristeći zakonitosti švicarskog znanstvenika Daniela Bernoullia o gibanju fluida može se dobiti vrijednost izlaznog protoka iz glavnog spremnika. Bernoulli je izveo osnovnu jednadžbu kretanja fluida koja se tako i naziva Bernoullijeva jednadžba koja proizlazi iz zakona o očuvanju energije i strujanju fluida. Sa slike 2.5 vidi se prikaz jednog zamišljenog spremnika sa razinom fluida h . Točka A i točka B su mjesta u kojem će se proučavati odnos veličina. Kako se spremnik prazni točka A se pomiče prema dolje dok ne dođe na razinu od 0 m. Bernoullijeva jednadžba tada izgleda ovako:



Slika 2.5. Shematski prikaz istjecanja fluida iz spremnika

$$P_A + \rho * g * h_A + \frac{1}{2} * \rho * v_A^2 = P_B + \rho * g * h_B + \frac{1}{2} * \rho * v_B^2 \quad (2-3)$$

Gdje su:

- P_A - tlak u točki A [N/m^2]
- P_B - tlak u točki B [N/m^2]
- v_A^2 - kvadratna brzina istjecanja u točki A [m^2/s^2]
- v_B^2 - kvadratna brzina istjecanja u točki B [m^2/s^2]
- h_A - Razina fluida u točki A [m]
- h_B - Razina fluida u točki B [m]
- ρ - gustoća fluida [m^3/kg]
- g - konstanta gravitacijskog ubrzanja [$9,81 \text{ m/s}^2$]

Ova jednadžba se može pojednostaviti. Kao što se vidi sa slike 2.5 razina fluida u točki B je 0 m te se tako može zanemariti dio koji se množi sa h_B . P_A i P_B imaju istu vrijednost atmosferskog tlaka te se mogu zanemariti. U točki A brzina istjecanja fluida je 0 m/s te se može zanemariti i dio koji se množi sa kvadratnom brzinom istjecanja v_A^2 . Kada se sve uvrsti dobiva se pojednostavljeni izvod iz Bernullijeve jednadžbe koji izgleda ovako :

$$\rho * g * h_A = \frac{1}{2} * \rho * v_B^2 \quad (2-4)$$

Daljnijim pojednostavljenjem dobiva se sljedeće:

$$g * h_A = \frac{1}{2} * v_B^2$$

$$v_B^2 = 2 * g * h_A$$

Te se na kraju dobiva sljedeći izraz koji predstavlja Torricellijev zakon istjecanja fluida :

$$v_B = \sqrt{2 * g * h_A} \quad (2-5)$$

Kada se pomnoži brzina istjecanja fluida sa presjekom otvora S_B u spremniku dobiva se izlazni protok iz glavnog spremnika. Pa će tako konačna jednadžba ravnoteže za razinu fluida u spremniku izgledati ovako:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_u}{A} - \frac{S_B \sqrt{2 * g * h_A}}{A} \quad (2-6)$$

Temperatura je jedna od osnovnih jedinica SI sustava koja opisuje toplinsko stanje i sposobnost tijela ili tvari da izmjenjuju toplinu s okolinom [4]. Termodinamička temperatura je mjera zagrijanosti tijela koja predstavlja gibanje čestica unutar nekog tijela. Što je termodinamička temperatura veća, čestice se više gibaju ili drugačije rečeno titraju. Termodinamička temperatura

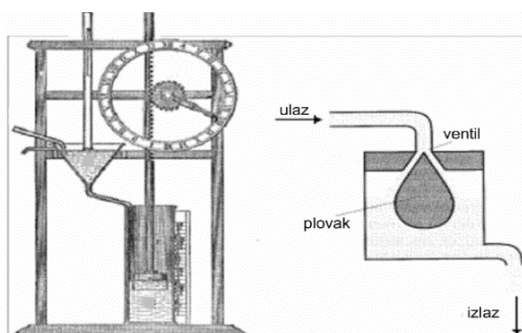
zapisuje se sa velikim slovom T te se izražava u mjernoj jedinici kelvin (K). U Europi je poznatija jedinica za temperaturu Celzijev stupanj °C koji ima odnos :

$$t = (T - 273,15 \text{ K}) \quad (2-7)$$

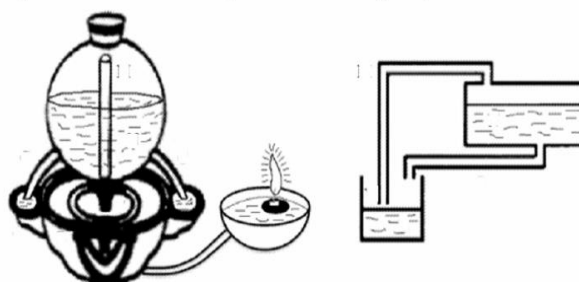
Fluid se zagrijava pomoću grijača u spremniku koji ima dva stanja a, to su radi ili ne radi odnosno grije ili ne grije. Samim time pojednostavljeno je dovođenje topline u spremnik te se može shvatiti kao zasebni proces u odnosu na održavanje razine fluida u spremniku. Uz to što je problem jednostavan on i dalje postoji pa je tako potrebno zagrijati fluid na određenu temperaturu iznad zadane i isključiti grijač. Ponovno uključivanje grijača i zagrijavanje fluida u spremniku dogoditi će se kada temperatura padne ispod neke granice tolerancije (engl. *threshold*).

2.2.2 Makete sa sličnim principima rada

Kroz povijest pojavljivali su se izumi koji su koristili slične principe rada kao što ima maketa tj. koristila se regulacija razine fluida u spremniku. Jedan od prvih izuma koji je koristio regulaciju razine vode bio je vodeni sat ili klepsidra. Ovaj izum je napravio grčki matematičar i fizičar Ktesibije Aleksandrijski koji je ujedno napravio i prve pumpe. Njegov izum klepsidr je začetnik regulacije. Kako bi sat precizno mjerio vrijeme ključna je bila regulacija vode koja je dotjecala u spremnik. Regulator protoka vode imao je plovak koji je bio osjetnik (senzor) razine fluida, te ujedno i ventil koji je zatvarao cijev kada se spremnik napunio. Izgled vodenog sata prikazan je slikom 2.6. Drugi sličan izum jest Philnova lampa koja je regulirala razinu vode unutar posude gdje je gorio fitilj. Spremnik ulja bi nadomjestio potrošeno ulje iz posude. Ovim izumom postojala je lampa koja se nije morala često nadopunjavati već je imala svoju rezervu koja je nadopunjavala posudu gdje je lampa. Kako bi ovaj sustav funkcionirao trebalo je dobro odabrati profil i dimenzije cijevi.



Slika 2.6. Vodeni sat ili Klepsidra [2]

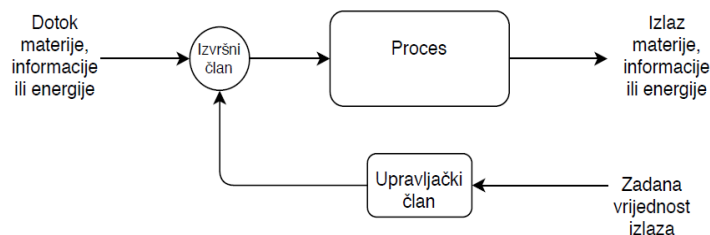


Slika 2.7. Philnova lampa [2]

Razvojem ostalih grana industrije i srodnih sektora ovaj princip rada je pronašao svoju svrhu u većini od njih. Kao što se može vidjeti sa prijašnjih izuma, ovaj princip se može koristiti kod nekog dodatnog spremnika koji će nadopunjavati nekakvu posudu. U gospodarstvu se ovaj izum koristi kod silosa ili kod hranilica za životinje, unutar proizvodnog pogona za proizvodnju piva gdje se isto tako koriste slični principi za održavanje razine i temperature fluida uz sustave za miješanje i dodavanje smjese. U industriji postoje kontinuirani sustavi koji stalno troše fluide poput ulja ili emulzije te se nadopunjavaju u tijeku rada a, takav sustav mora regulirati temperaturu i razinu fluida u tom spremniku. Takav jedan sustav u metalnoj industriji je hidraulička jedinica. Hidraulička jedinica opskrbljuje strojeve uljem i vodom pod određenim tlakom. Primjer hidrauličke jedinice jest sustav za opskrbu ulja strojevima za obradu metala. Taj sustav ima više strojeva koji zahtijevaju opskrbu uljem gdje se to ulje i troši tj. gubi. Sustav koji se sastoji od spremnika, grijača, pumpe, filtera, ventila i senzora održava razinu ulja u spremniku te drži ulje na određenoj temperaturi. Kako spremnik ima stalnu distribuciju ulja prema strojevima isto tako ima i stalni dotok novog ulja kojeg je potrebno pripremiti prije distribucije. Sustavi kao takvi imaju složeniji način dovođenja topline jer reguliraju i snagu grijača ili količinu dovedene topline u spremnik.

2.3.Regulatori u industriji

Slikom 2.8 prikazan je načelni sustav upravljanja procesa. Sustav se sastoji od upravljačkog člana, izvršnog člana i procesa. Ovakav način upravljanja naziva se predupravljanje (engl. *feedforward control*, njem *Steuerung*). Upravljački član dobiva

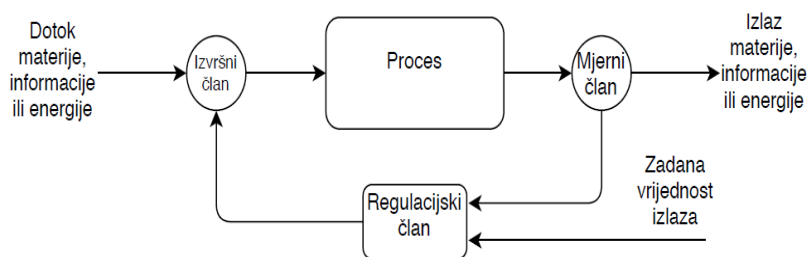


Slika 2.8 Prikaz upravljanja bez povratne veze ili predupravljanje

informaciju o referentnoj vrijednosti te šalje signal upravljačkom članu koji utječe na ulaznu vrijednost u proces. Kada bi se ovaj način povezao sa stvarnim elementima u ovoj maketi, Upravljački član je procesno računalo, izvršni član je ventil i grijač dok je proces spremnik. Vladanje upravljačkog člana određuje se identifikacijom procesa. Ovisno koliko je kvalitetno napravljena identifikacija predupravljanje će imati bolje rezultate i manje odstupanje zadane vrijednosti od izlazne. U industriji predupravljanje se koristi jer je efektivan način grubog približavanja izlazne vrijednosti zadanoj te se na ovaj način može približiti izlazna vrijednost i do

80 % zadanoj dok će ostalih 20 % ispraviti glavni regulator. Isto tako predupravljanje rješava problem koji nestabilnog vladanja čiji se problem javlja unutar upravljanja sa povratnom vezom. U praksi se predupravljanje koristi kako bi se moglo vidjeti i moguće mijenjanje vladanja procesa kroz neki vremenski period. To se radi na način da se postavi vladanje kojim se upravlja proces te ako se tokom vremena to vladanje promijeni i upravljački član više ne uspije samostalno smanjiti grešku za 80 % već to bude primjerice 40 %, jasan je pokazatelj kako je unutar procesa došlo do nekog umora materijala ili kvara te je potrebno servisirati pogon i popraviti ga. Nedostatak ovakvom načinu upravljanja jest da nema nikakvu povratnu informaciju o procesu te je osjetljiv na smetnje.

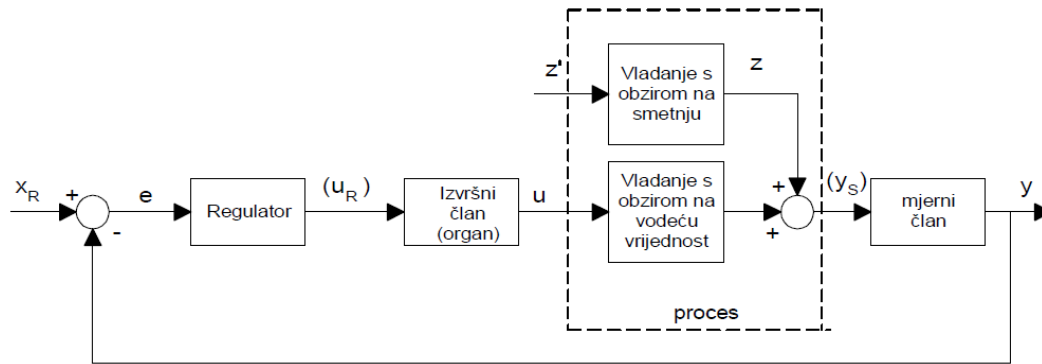
Kako bi se napravila regulacija procesa od prije navedenog primjera predupravljanja potrebno je očitavati vrijednost na izlazu iz procesa te tu vrijednost



Slika 2.9. Prikaz upravljanja s povratnom vezom

usporediti s referentnom vrijednošću tj. zadanom vrijednošću. U ovom slučaju mjerni član je zadužen za prikupljanje vrijednosti na izlazu te prosljeđuje informaciju u regulacijski član koji uspoređuje vrijednosti i na temelju razlike generira signal ili nalog koji se šalje izvršnom članu. Izvršni član utječe na ulaznu veličinu u proces po dobivenom nalogu. Ovakav način naziva se upravljanje s povratnom vezom (engl. *feedback control*, njem. *Regelung*) te predstavlja klasičnu regulaciju procesa. Upravljanje s povratnom vezom koristi se u regulaciji pripremanja fluida gdje su osjetnik temperature i mjerač protoka mjerni članovi, procesno računalo regulacijski član te grijač i ventil izvršni članovi

U matematičkom pogledu na regulaciju prikazana je blokovska shema slikom 2.10 koja prikazuje jedan regulacijski sustav. Sa slike se vidi kako se izlazna veličina y dovodi do sumatora koji oduzima izlaznu vrijednost od referentne vrijednosti te kao svoj rezultat daje razliku ili grešku koja se označava sa malim slovom e . Regulator uzima tu razliku te daje nalog ili upravljački signal prema izvršnom članu koji utječe na proces i procesno izlaznu veličinu. U većini procesa tako i u ovome postoji nekakva smetnja z koja utječe na izlaznu veličinu.

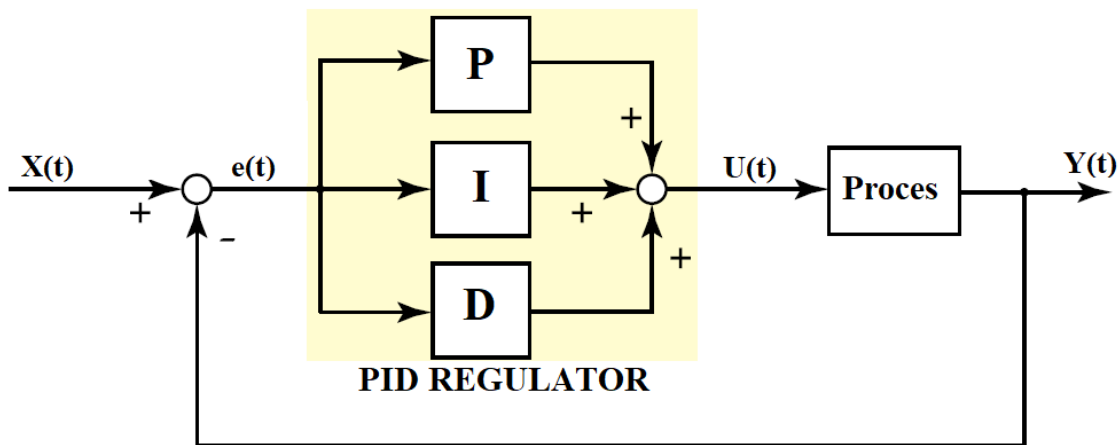


Slika 2.10. Blokvska shema regulacijskog sustava [9]

Problematika koja se sada postavlja je kako napraviti regulator koji će uspjeti regulirati i održavati vrijednost koja mu se daje. Sinteza regulatora je velika disciplina koja će se blago spomenuti u daljnjem dijelu ovog diplomskog rada. Unutar makete pripreme fluida koristit će se regulacija PID koja je najviše korištena regulacija u industriji. PID regulator se sastoji od tri dijela a to su :

- Proporcionalni dio
- Integralni dio
- Derivacijski dio

PID regulator može se shvatiti kao djelovanje s obzirom na trenutnu grešku (proporcionalni dio), djelovanje s obzirom na prijašnje greške (integralni dio) te djelovanje s obzirom na trend koji se pojavljuje tj na moguće buduće greške (derivacijski dio). Na slici 2.11 prikazan je blokovski prikaz jedne regulacije PID regulatorom.



Slika 2.10. Blokovski prikaz PID regulatora [8]

2.3.1. P regulator

Svrha proporcionalnog dijela PID regulatora je računanje vrijednosti proporcionalnog pojačanja s obzirom na trenutnu vrijednost greške. Izraz za računanje proporcionalnog pojačanja prikazan je sljedećim izrazom:

$$P = Kp * e(t) \quad (2-8)$$

gdje su:

- P - Proporcionalno pojačanje
- Kp - Konstanta za proporcionalno pojačanje
- $e(t)$ - Greška ili odstupanje referentne vrijednosti od izlazne

Ako je vrijednost parametra Kp velika s obzirom na ostale vrijednosti u sustavu takav će sustav imati nestabilno vladanje. S druge strane ako je vrijednost parametra Kp previše mala odziv regulatora će biti spor. U praksi se vrijednost proporcionalnog pojačanja stavlja između 5 % do 10 % maksimalnog postotka očekivane izlazne vrijednosti. Nedostatak ovog regulacijskog dijela je ta da u većini slučajeva ne može dovesti izlaznu vrijednost u referentnu osim ako je pojačanje jako slabo te je i odziv jako spor (engl. *steady-state error*).

2.3.2. I regulator

Integralni dio PID regulatora rješava problem P regulacijskog dijela i računa vrijednost integralnog pojačanja s obzirom na kumulativni zbroj grešaka kroz vrijeme koje je prošlo. Integralni dio PID regulatora je namijenjen za fino dovođenje izlazne vrijednosti na iznos referentne vrijednosti. Ipak, integralni dio regulacijskog člana ima svoj nedostatak a to je da usporava vrijeme odziva te daje nadvišenje izlaznom odzivu regulatora. Izraz integralnog dijela izgleda ovako:

$$I = K_I * \int_0^t e(t) dt \quad (2-9)$$

gdje je:

- I - Integralno pojačanje
- K_I - Konstanta za integralno pojačanje

Vrijednost K_I u praksi poprima iznos ispod 5 % maksimalnog postotka vrijednosti procesa.

2.3.3. D regulator

Kako se proporcionalni dio odnosi na sadašnjost a, integralni na prošlost tako se derivacijski dio odnosi na budućnost. Derivacijski dio ili D član PID regulatora računa derivacijsko pojačanje

s obzirom na nakošenost krivulje pada greške. Svrha ovog člana je popraviti stabilnost i smanjiti nadvišenje odziva regulatora. Izraz za derivacijski dio PID regulatora je sljedeći:

$$D = K_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (2-10)$$

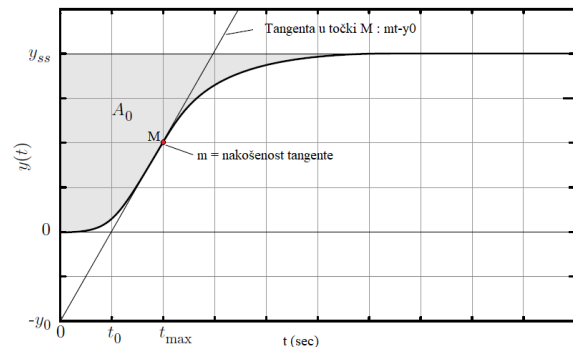
gdje je:

- D - Derivacijsko pojačanje
 K_d - Konstanta za derivacijsko pojačanje

Kombinacija P i I regulacijskog člana je u većini slučajeva dovoljna te se ona i koristi dok se pojačanju K_d stavlja vrijednost nula. Drugi razlog zašto se slabo koristi D član jest ta da prilikom smetnji D regulacijski član može krivo predvidjeti trend te dovesti neželjeno pojačanje u sustav.

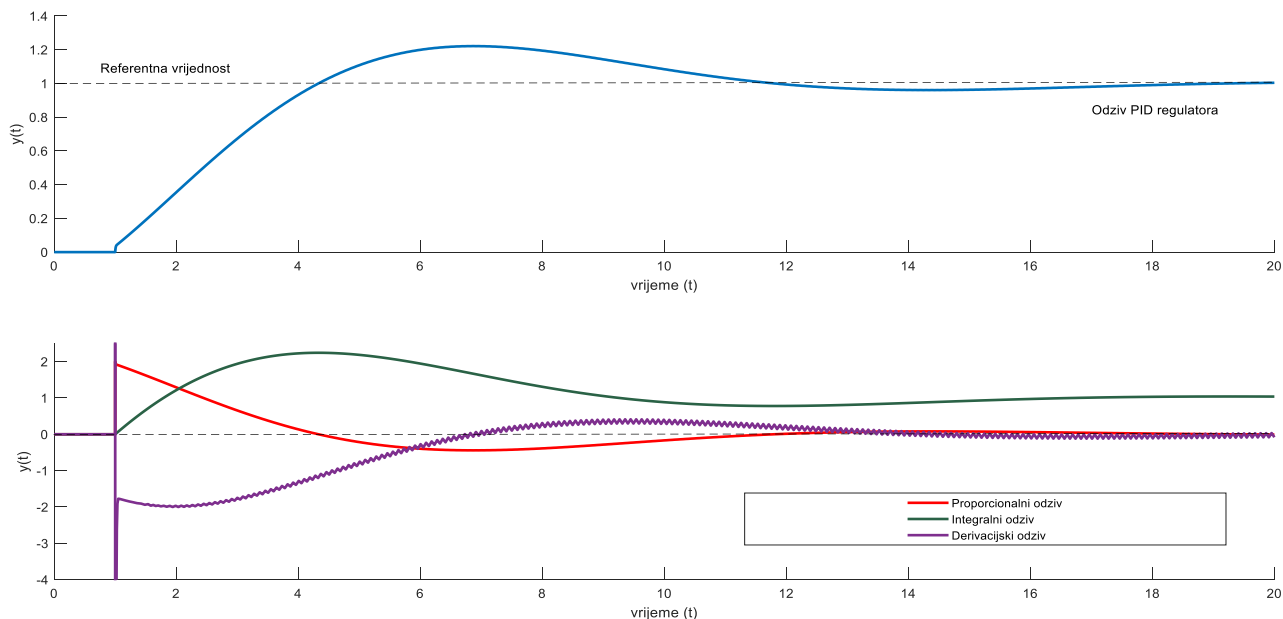
2.3.4. PID upravljač (PIDC)

Kombinacijom P, I i D regulacijskog člana dobiva se PID regulator ili PID upravljač. Na slici 2.11. prikazan je tipičan odziv PID regulatora na skokovitu pobudu. Na slici se može vidjeti kako odziv ima povišenje do točke prijeloma ili kako je označeno u slici točke M te od te vrijednosti lagano se snižava prema zadanoj vrijednosti koja je označena sa Y_{ss} . A_0 predstavlja površinu koja se mijenja kroz vrijeme dok regulator pokušava dovesti izlaznu vrijednost procesa na referentnu.



Slika 2.11. Tipičan odziv PID regulatora [7]

Kroz vrijeme odziva PID regulatora njegova 3 člana se mijenjaju po utjecaju na proces. Na početku odziva sva greška utječe na rad proporcionalnog i derivacijskog člana dok je vrijednosti izlaza integralnog člana jednak nuli. Derivacijski član ima impulsnu anomaliju na početku te mu vrijednost kreće negativno rasti s obzirom na brzinu opadanja vrijednosti greške. Odziv regulacijskog člana se približava nuli kako je greška manja. Kada je odziv PID regulatora došao do točke infleksije ili točke prijeloma integralni odziv preuzima najveći udio odziva PID regulatora. Kako postoji malo nadvišenje integralni dio se smanjuje dok derivacijski dio prelazi u pozitivnu vrijednost a proporcionalni u negativnu kako bi se odziv vratio na referentnu vrijednost. Od maksimalnog nadvišenja pa do same stabilizacije na referentnu vrijednost skoro sav odziv PID regulatora je u integralnom odzivu dok proporcionalni dio i derivacijski dio imaju jako mali utjecaj na konačan odziv do trenutka kada se stabilizirao odziv PID regulatora gdje je sav odziv upravo na integralnom članu regulatora.



Slika 2.12 Usporedba odziva PID regulatora s obzirom na njegove komponente

Osim ovakvog odziva PID regulator može imati i drugačiji odziv na skokovitu pobudu ovisno o vrijednostima parametara u P, I i D komponenti. Za željenu sposobnost regulatora poput brzine odziva može se dobiti nekakav neželjeni efekt poput nadvišenja, propadanja, stalnog osciliranja ili čak nestabilnog stanja. Kako bi se izradio regulator koji ima željeno vladanje potrebno je uzeti u obzir i tolerancije koje taj odziv smije imati te će se za određeno nadvišenje te određen broj oscilacija oko referentne vrijednosti brzina odziva višestruko povećati.

2.3.5. Sinteza regulatora

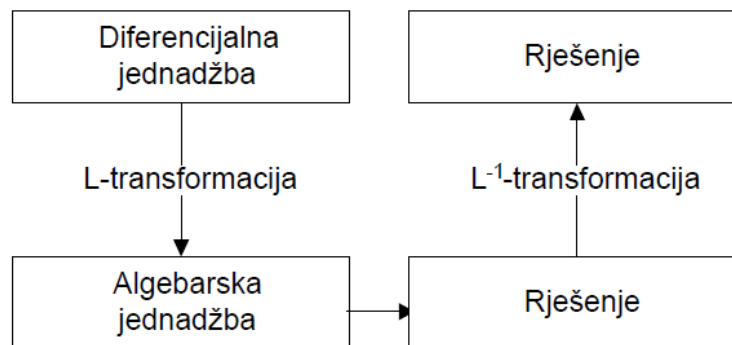
Sinteza regulatora je disciplina projektiranja regulatora. Raznim vještinama pokušava se napraviti idealan odziv regulatora te robusnost regulatora na smetnje i nagle promjene. Parametri regulatora mogu se napraviti na analitički način se odrede optimalni parametri nekom od analitičkih metoda ili se koristi iskustvena metoda gdje se zadaju neke vrijednosti koje se zadaju na načine spomenute u prijašnjim poglavljima o PID regulatoru. Kada su se zadali parametri regulatora s minimalnim vrijednostima koje bi trebale biti dovesti sustav u stabilno stanje nakon pobude ali uz spori odziv takovi parametri se lagano mijenjaju, te se snima karakteristika odziva na pobudu. S obzirom na željeno vladanje ovim postupkom se može uspješno dobiti parametar PID regulatora koji će zadovoljavati zadane uvjete. Kada bi trebalo odrediti optimalne uvjete, te je proces koji se regulira složen potrebno je koristiti analitičku metodu, no problem je što je nužno poznavati matematički model procesa koji se može dobiti iz teorijske ili eksperimentalne analize sustava.

Većina analitičkih metoda sinteze regulatora provodi se u frekvencijskoj domeni. Unutar frekvencijske domene mogu se računati fazna pojačanja sustava i stabilnost sustava s obzirom na pojačanje. Prijelaz iz vremenske domene u frekvencijsku radi se pomoću matematičkog alata koji se zove Laplaceova transformacija koja ima sljedeći izraz:

$$F(S) = \int_0^{\infty} f(t) * e^{-s*t} dt \quad (2-11)$$

gdje je :

- f(t) - Originalna funkcija
- F(S) - Slika originalne funkcije u frekvencijskoj domeni
- S - Kompleksna varijabla $S = \sigma + j\omega$



Slika 2.13. Rješavanje diferencijalnih jednačbi pomoću frekvencijske domene[9]

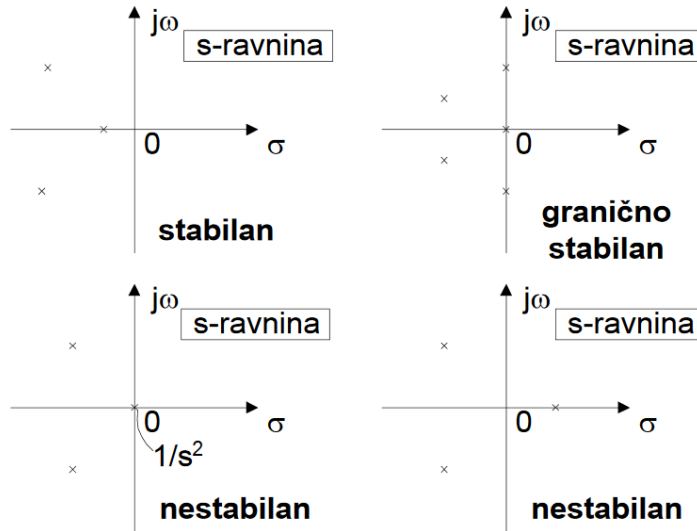
Analitičkom metodom može se dobiti i stabilnost sustava rješavanjem sustava jednačba gdje se dobivaju polovi sustava i nule iz kojih je moguće vidjeti stabilnost sustava.

$$G(S) = \frac{Z(S)}{N(S)} = k_0 \frac{(S-S_{n1})(S-S_{n2})...(S-S_{nm})}{(S-S_{p1})(S-S_{p2})...(S-S_{pm})} \quad (2-12)$$

Gdje su:

- S_{nm} - Nule prijenosne funkcije
- S_{pm} - Polovi prijenosne funkcije

Rješavanjem ovih jednačbi dobivaju se iznosi polova i nula prijenosne funkcije koja mogu biti realne vrijednosti ili kompleksno konjugirane vrijednosti. Ovisno o dobivenom položaju polova na S-ravnini može se vidjeti stabilnost sustava. Ukoliko se polovi nalaze na lijevoj strani S-ravnine sustav je stabilan. Sustav koji ima polove na y osi je granično stabilan što znači kako će imati stalne oscilacije dok sustav koji ima barem jedan pol na središtu koordinatnog sustava ili u desnoj strani S-ravnine, biti će nestabilan.



Slika 2.14. Stabilnost sustava u S-ravnini [9]

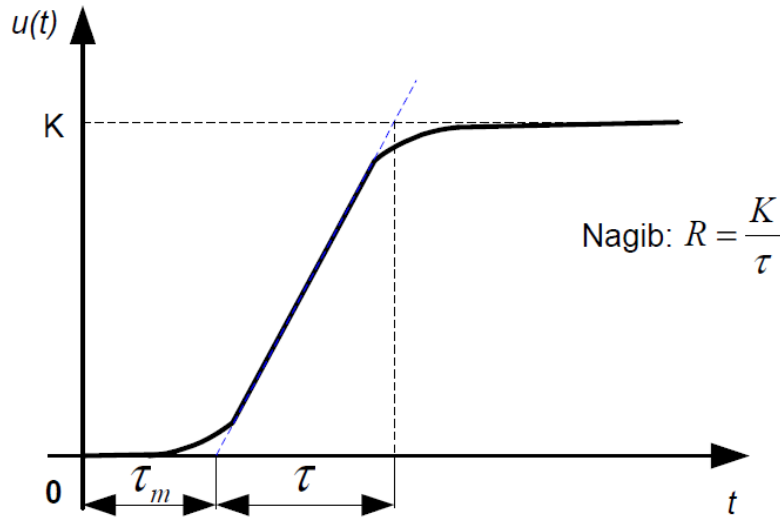
Kada se PID regulator provede kroz Laplaceovu transformaciju dobije se sljedeći izraz prijenosne funkcije:

$$G_R(S) = \frac{U(S)}{E(S)} = k_p + \frac{k_I}{S} + k_d S = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (2-13)$$

gdje su:

- U(S) - Izlazna komponenta PID regulatora
- E(S) - Ulazna komponenta PID regulatora
- K_p, K_i, K_d - Proporcionalno, integralno i derivacijsko pojačanje
- K_R - Proporcionalno pojačanje $K_R = K_p$
- T_i - Integralna vremenska konstanta $T_i = \frac{K_p}{K_i}$
- T_d - Derivacijska vremenska konstanta $T_d = \frac{K_p}{K_d}$

Analitičkih načina za dobivanje parametara regulatora postoji mnogo ovisno o danim podacima te računanju parametara s obzirom na glavnu sposobnost sustava koja se želi postići. Najpoznatija metoda je pojednostavljena Ziegler-Nichols metoda koja se bazira na nakošenju odziva.



Slika 2.15. Određivanje parametara pojednostavljenom Ziegler-Nichols metodom [2]

Sa slike 2.16. može se vidjeti odziv sustava višeg reda sa kojeg se mogu dobiti podatci poput nagiba, vremena trajanja tangente te vremenu do početka točke infleksije. Iz tih podataka može se koristeći sljedeću tablicu dobiti sljedeći parametri potrebni za dobivanje konačnih pojačanja.

Regulator	K_P	T_i	T_d
P	$K_P = 1 / (R \tau_m)$		
PI	$K_P = 0.9 / (R \tau_m)$	$T_i = \tau_m / 0.3$	
PID	$K_P = 1.2 / (R \tau_m)$	$T_i = 2 \tau_m$	$T_d = 0.5 \tau_m$

Tablica 2.1. Određivanje parametara pojednostavljenom Ziegler-Nichols metodom

Postoji više verzija Ziegler-Nichols metoda te je ovo bila jednostavna metoda koja dovoljno dobro može aproksimirati vrijednosti parametara PID regulatora. Za regulator kojem su potrebni precizniji parametri kako bi odziv regulatora bio bolji prema zahtjevima koristi se druga Ziegler-Nichols metoda koja zahtjeva dovesti sustav na rub stabilnosti iz kojeg se uzimaju podatci kao što su vrijeme perioda oscilacije preko kojih se dobivaju parametri PID regulatora.

2.4. Procesno računalo

Kako je opisano u uvodu, relejne sklopke u upravljačkim jedinicama se zamjenjuju procesnim računalima. Procesno računalo predstavlja računalni sustav sa svojim procesorom, memorijom te ulazno-izlaznom periferijom koja je robustan te odgovara na industrijske standarde.

Programabilni logički upravljač ili skraćeno PLC (engl. *programmibile logic controller*) se sastoji od procesorske jedinice ili CPU (engl. *central processing unit*), te modula kao što su izlazno-ulazni moduli, komunikacijski moduli i drugi. Neki PLC-i u sebi posjeduju integrirane

module ali je u većini slučajeva svaka komponenta PLC-a. Ovakvi sustavi nalaze svoju upotrebu ne samo u industriji već i u prometu gdje upravljaju radom semafora ali njihova primjena raste, pa se tako mogu naći inačice PLC-a koje se mogu koristiti u kućnoj upotrebi za regulaciju topline u domovima, paljenju i gašenju svjetla te drugih funkcija.

Vodeća marka PLC-a jest njemački Siemens čija je uporaba raširena diljem svijeta zbog svojih performansi, dodatnih funkcija te tehnologija koja je ova tvrtka razvila. Nakon Siemensa tu je američka tvrtka Rockwell sa svojim PLC-ima nazvanim Allen-Bradley koja



Slika 2.16. Proizvođači PLC-a i opreme za PLC

se uvelike koristi na američkom kontinentu te tvrtka švicarsko-švedska firma ABB koja je korištena diljem svijeta. Svaka od spomenutih tvrtki ima prednosti koje nudim svojim proizvodima. Zajednička točka ove tri tvrtke je da nude više verzija svojih PLC-ova te je svaki od njih modularan te se može nadograditi s čak 32 dodatna modula. Maketom upravlja Siemens Simatic S7 1500 s dodatnim modulima te će se ta komponenta opisati u nastavku.

Siemensova procesna računala nazvana su Simatic što predstavlja skraćenicu Siemens Automatic. Trenutno najnovija obitelj logičkih upravljača jest Simatic S7 čiji je prethodnik Simatic S5. Unutar Simatic S7 serije PLC-ova nalaze se verzije Simatic S7 200, Simatic S7 300, Simatic S7 400, Simatic S7 1200 te Simatic S7 1500.

Verzija sa najskromnijim performansama jest ona Simatic S7 200 koja je ujedno i najstarija verzija koja je izašla u ovoj seriji upravljača. Namijenjena je za jednostavne procese. Arhitektura ovakvog upravljača temelji se na mikroupravljačima te podržava analogne i digitalne module. Isto tako podržava i komunikacijske module te je moguće imati ethernet, Profibus i MPI komunikaciju. Isto tako podržava i komunikacijske module koji pomoću raznih industrijskih mrežnih protokola vrše komunikaciju sa udaljenim stanicama u polju. Neki od protokola su: Profinet, Profibus, EtherCat, itd. Unutar Simatic S7 200 Serije postoji četiri vrste procesorskih modula: CPU-221 za kompaktna jednostavna upravljačka rješenja, CPU-222 za



Slika 2.17. Siemens Simatic S7 200 [10]

složenije upravljanje malih dimenzija, CPU-224 za kompaktna rješenja visokih performansi te CPU-226 za visoke performanse i složene zadatke upravljanja. Simatic S7 200 je zamijenila verzija S7-1200 koja nudi bolje performanse i veću podršku.

Sljedeća verzija je Simatic S7 300 koja je skuplja od Simatic S7 200 ali ima veću procesorsku moć te proširenu funkcionalnost. Ovakva verzija PLC-a namijenjena je zahtjevnim procesima gdje obrada podataka mora biti brza i pouzdana te se tako ovaj PLC može koristiti u normalnoj uporabi sa mogućim dodavanjem do 32 modula, kompaktnoj uporabi gdje se koriste integrirani ili dodani moduli te sigurnosnoj uporabi (engl. *Fali safe or safety*). Nedostatci ove verzije ispravljani su na verziji koja zamjenjuje ovu verziju a to je Simatic s7 1500.



Slika 2.18. Siemens Simatic s7 300 [10]



Slika 2.19. Siemens Simatic S7 400 [21]

Verzija Simatic S7 400 predstavlja logičke upravljače koji su namijenjeni iznimnoj složenosti. Posjeduje jaču računalnu arhitekturu nego prijašnje dvije verzije te je namijenjen za složeno vođenje procesa. Isto kao i Simatic S7 300 može raditi u sigurnosnom sustavu gdje je potrebna velika dostupnost PLC-a. Ciklički rad ove verzije je znatno brži nad prijašnjim Simatic S7 serijama. Promijenjen je i dizajn samog PLC-a koji je tanji od prijašnjih verzija te je specifično što ova verzija ne posjeduje ventilatore za hlađenje te je Simatic S7 400 pogodan za mjesta gdje je onečišćenje zraka značajno.

Simatic S7 1200 je novija verzija Simatic S7 200 kojom su otklonjeni nedostaci te je razvojem tehnologije tvrtka Siemens ugradila najnovije komponente. Za ovu verziju Siemens je napravio posebnu programsku podršku gdje nudi tehnološka rješenja regulacije, upravljanja, komunikacije i mnoge druge prednosti koje prijašnje verzije nisu imale. Dizajn PLC-a je promijenjen te je brzina znatno povećana i to do ispod 1 ms što je veliki napredak u odnosu na prijašnje verzije. Ova verzija PLC-a ima razne podverzije te se ona odabire s obzirom namjene rada logičkog upravljača.



Slika 2.19. Siemens Simatic s7 1200 [11]

Trenutno najnovija verzija Simatic S7 obitelji jest Simatic S7 1500 koja je nasljednik Simatic S7 300 verzije. Simatic S7 1500 je uglavnom prepoznata po tome što na sebi posjeduje mali ekran na kojemu se nalazi aplikacija koju je izradio Siemens. Putem aplikacije može se vidjeti stanje PLC-a, povijest alarma i upozorenja te mnoge druge funkcije. Ova verzija u sebi sadrži najsnažniju računalnu arhitekturu u odnosu na prijašnje verzije, te zato ovu verziju PLC-a odlikuje brzina, preciznost i raspoloživost, te se može primijeniti

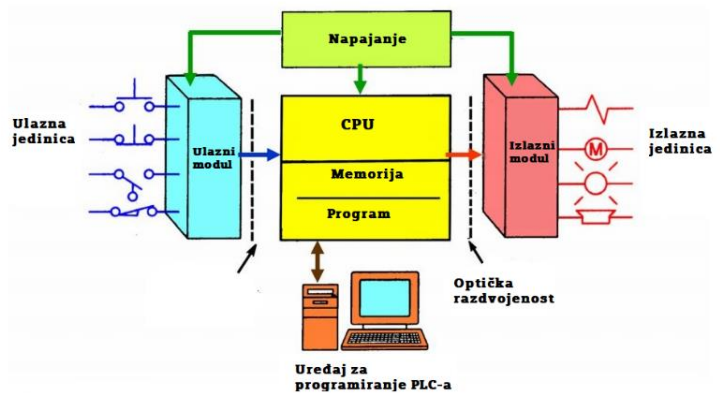


Slika 2.20. Siemens Simatic s7 1500 [11]

gdje god su to mogle i prijašnje verzije uz nekakve nove poslove. Isto kao i Simatic S7 1200 Siemens je dodao posebne funkcije koje se odnose na ove verzije procesora kao što su integrirani PID regulatori.

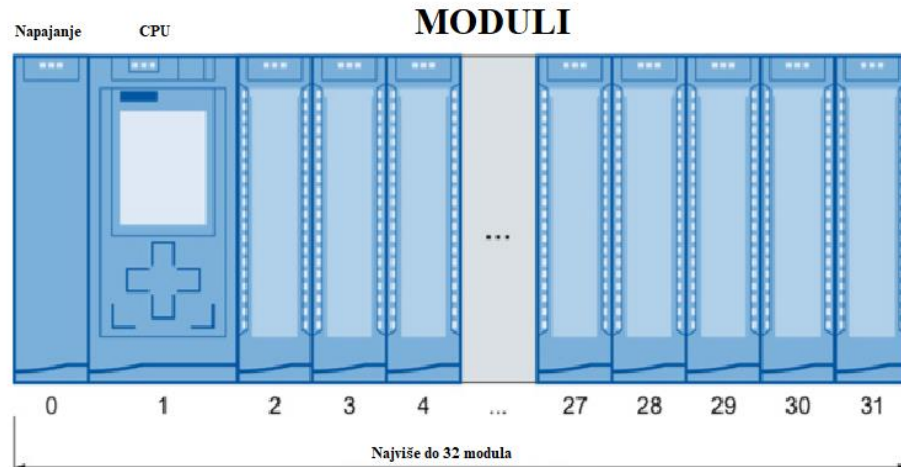
2.4.1. Arhitektura PLC-a

Načelna arhitektura svih verzija PLC-a je ista, a ona je sastavljena od ulaznog dijela, izlaznog dijela, napajanja, te dijela koji se može nazvati glavni ili centralni dio u kojem se nalazi CPU i memorija. Logički upravljači se programiraju pomoću računala, te se napisani program može učitati putem programatora ili komunikacijskog protokola poput ethernet-a.



Slika 2.21. Arhitektura PLC-a sa modulima

Simatic S7-1500 posjeduje razne izvedbe od koje neke u sebi sadrže integriranu PROFINET, PROFIBUS i ethernet komunikaciju, te integrirane tehnološke funkcije i sigurnosne funkcije. Uz sve već navedeno ova verzija posjeduje i integrirani internetski poslužitelj (engl. *web server*). Kako je već spomenuto svaki PLC ima glavnu sposobnost, a to je proširivost. Na slici 2.22. prikazan je način spajanja modula na stalak (engl. *rack*).



Slika 2.22. Konfiguracija sustava za automatizaciju

Napajanje za PLC je napona 24 V pa sve do 230 V ,te dolazi u varijantama gdje se mijenja snaga od 24 W pa sve do 60 W. Prilikom odabira napajanja potrebno je zapisati kataloški broj koji će koristiti prilikom kupnje modula ili prilikom izrade hardverske konfiguracije (engl. *Hardware configuration*). Kataloški broj se nalazi na svakom modulu sa prednje strane uređaja. Nekad je prekriven vratima modula, te je potrebno otvoriti ih kako bi se očitao taj broj.

Između modula PLC-a potrebno je staviti napajanje za module (engl. *Power supply* skraćeno PS) ukoliko je to potrebno. Digitalni i analogni outputi ali i neki tehnološki modeli zahtijevaju određenu količinu električne energije, te je potrebno voditi obzira o iznosu snage PS-a. Ukoliko modul šalje signal prema uređaju tom modulu je potrebno spojiti dodatno vanjsko napajanje s kojim će primjerice napajati promjenjivi otpornik i očitavati pad napona na istom.

2.4.2. Programska podrška

Prva programska podrška za PLC-e tvrtke Siemens dolazi sa verzijom PLC-a S5 gdje je i aplikacija u kojoj se izrađuju programi za PLC dobila ime STEP 5. Verzija je izašla 1979. godine zajedno sa aplikacijom koja je radila CP/M operativnom sistemu a, kasnije na MS-DOS operativnom sistemu. Putem ove aplikacije mogao se izraditi, testirati i dokumentirati PLC program. Programski jezici u okruženju STEP-a 5 su:

- ljestvičasti dijagrami (engl. *Ladder diagram* - LAD)
- strukturirana lista (engl. *Statement list* - STL)
- funkcijski blok diagram (engl. *Function bloc diagram* - FBD)

Nasljednik STEP-a 5 jest STEP 7 koji dolazi sa verzijom PLC-ova Simatic S7. Aplikacija u kojoj se programira je prikladnija za programiranje te nudi mnoge prednosti u odnosu na STEP 5. Kao primjer prednosti STEP 7 posjeduje integrirane funkcije kao detektiranje rastućeg i padajućeg brida koje STEP 5 nije imao. Uz to sučelje je preglednije te je program napisan kompaktniji u odnosu na STEP 5. STEP 7 uz već spomenute programske jezike nudi i četiri nova programska jezika a, to su:



Slika 2.23. Ikona aplikacije STEP 7

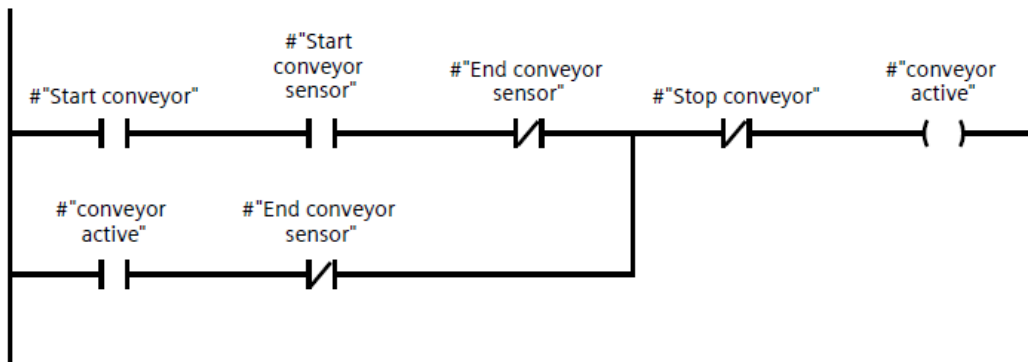
- strukturirani kontrolni jezik (engl. *Structured Control Language* – SCL)
- grafičko programiranje (GRAPH)
- sekvencijalni grafovi funkcija (engl. *Sequential function charts* – SFC)
- kontinuirani grafovi funkcija (engl. *Continuous function chart* – CFC)

Trenutno najnoviji program tvrtke Siemens jest TIA PORTAL čija skraćenica znači potpuno integrirana automatizacija (engl. *Totally integrated automation*). Aplikacija je zamišljena kao razvojno sučelje koje objedinjuje cijeli razvoj automatizacije procesa u pogledu izrade hardverske konfiguracije, PLC programa, izrade upravljačkih programa za motore, parametriziranje motora, izrade sučelja čovjek stroj, te mnoge druge mogućnosti koje su potrebne za izradu jednog automatiziranog procesa. TIA PORTAL koristi sve već spomenute načine programiranja koji će se u nastavku detaljnije opisati.



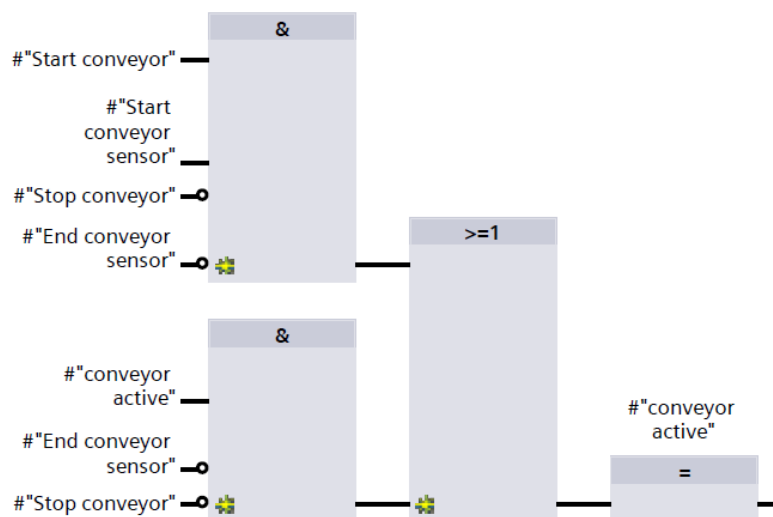
Slika 2.24. Ikona aplikacije TIA PORTAL

Ljestvičasti dijagram ili skraćeno LAD je trenutno najkorišteniji način programiranja PLC-a. Jednostavnost ovakvog programa mogu razumjeti mnogi tehničari, te je to jedan od razloga njegove popularnosti. Ime ovog programskog jezika nastao je zbog njegovog izgleda koji je sličan ljestvama. Ovaj programski jezik može se shvatiti tako da je s lijeve strane napajanje dok je s desne strane uzemljenje. Mogućim dolaskom napona do elementa taj element se aktivira. Svaka mreža se sastoji od ovakve logike aktiviranja elementa te takav PLC program sadrži jako puno mreža. PLC-radi na ciklički način što znači da prolazi kroz sve mreže redosljedno kako su mu poredane te kada odradi i zadnju mrežu ponovno počinje odrađivati prvu.



Slika 2.25. Prikaz izgleda ljestvičastog programskog jezika

Funkcijski blok dijagram je programski jezik sličan Matlab-ovom dodatku simulink te ovaj način programiranja PLC-a koriste matematičari i oni kojima su bliži funkcijski blokovi. FBD programski jezik ima svoje prednosti. Jedna od prednosti je ta da se nekoliko razina logike u LAD dijagramu može zamijeniti samo s jednim blokom. Blokovi su obično funkcije kojima se dodjeljuju signali na ulaz te na temelju tih signala taj blok generira izlaz. Isto kao i kod LAD programskog jezika signali putuju s lijeva na desno, te je isto tako jednostavan za razumijevanje. Nedostatak mu je taj da je ograničen na nekoliko razina logike te je kompliciran prilikom rješavanja problema (engl. *troubleshoot*) unutar neke složenije logike upravljanja procesa. Ovakav način programiranja koristi se na mjestima gdje se postavlja puno uvjeta kako bi se aktivirala funkcija, te nudi moguću vizualnu minimalizaciju nekih od uvjeta. Isto tako kako je bliži programski jezik matlab-ovom simulinku lakše je napraviti nekakvo vođenje po uzoru na simulink model.



Slika 2.26 Prikaz FBD programskog jezika

Treći najkorišteniji programski jezik je strukturirani tekst ili STL. Ovaj programski jezik je niska razina programskih jezika koja je veoma slična assembleru gdje se daju osnove naredbe što treba učiniti. Ipak ovaj programski jezik je veoma pogodan za prikupljanje i slanje podataka te obradu i pravljenje izračuna nad podacima. Nedostatak ovakvog načina da je nepregledan, te je otklanjanje pogreške veoma kompliciran u ovakvom načinu. Isto tako upravljanje nekog procesa putem uvjeta je veoma komplicirana, te se ovaj programski jezik slabo koristi za slučajeve gdje ima nedostatke.

```

0001      A      #"Start conveyor"
0002      A      #"Start conveyor sensor"
0003      AN     #"End conveyor sensor"
0004      AN     #"Stop conveyor"
0005      =      #"conveyor active"
0006
0007

```

Network 2:

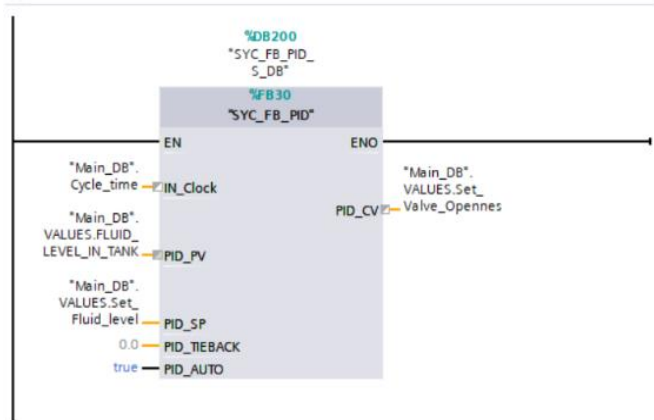
```

0001      A      #"conveyor active"
0002      AN     #"End conveyor sensor"
0003      AN     #"Stop conveyor"
0004      =      #"conveyor active"
0005
0006

```

Slika 2.27. Prikaz STL programskog jezika

Siemensove aplikacije TIA i STEP 7 dopuštaju da svaka mreža bude izrađena u svom programskom jeziku za većinu verzija PLC-a, te tako dopušta da se iskoristi ono za što takovi programski jezici imaju prednosti. Ipak, programerima pa tako i tehničarima i onima koji rade s napisanim programom nije baš poželjno mijenjati programske jezike od mreže do mreže. U većini slučajeva koristi se LAD dijagram za upravljanje tijekom procesa dok se STL programski jezik koristi za pisanje funkcija koje će raditi nekakve proračune, prikupljanje, slanje ili obradu podataka. Funkcije napisane u STL-u će se pozivati kao blok unutar ljestvičastog dijagrama. Primjer tome prikazan je slikom 2.28 gdje je PID regulacija napisana u STL-u dok je upravljanje tijekom procesa napravljena u LAD-u.



Slika 2.28 Funkcija PID regulatora napravljena u STL programskom jeziku

2.4.3. Moduli procesnog računala

Moduli zajedno sa logičkim upravljačem zajedno čine upravljački sustav u automatizaciji postrojenja. Zbog tehnologije modula danas postoje dvije vrste takvih upravljačkih sustava, a to su:

- Centralizirani upravljački sustav
- Decentralizirani upravljački sustav

Centralizirani upravljački sustav se sastoji od PLC-a i njegovih dodatnih modula, te je inače smješten zajedno sa napajanjem unutar jednog upravljačkog ormara. Prednost tome je da se sve komponente upravljanja automatizacije postrojenja nalaze na jednom mjestu, no ovakav način je pogodan za jednostavne procese i mala postrojenja. Za složene procese i velika postrojenja bi to značilo da svaki stroj ili svaki dio postrojenja mora imati svoj upravljački ormar sa svojim PLC-om i potrebnim modulima.

Ovaj problem otklanja decentralizirani upravljački sustav u kojem se na jednom mjestu nalazi PLC s potrebnim modulima i komunikacijskim modulom koji omogućava prijenos podataka između dva mjesta koja su udaljena. Pa tako pomoću komunikacijskog modula može se imati upravljačka stanica koja uzima podatke od mjernih članova s dijela postrojenja, te ih putem komunikacijskog modula zajedno sa ostalim stanicama u cijelom postrojenju šalje prema glavnom komunikacijskom modulu koji je spojen na PLC. Kada se na strani gdje je PLC očitaju i obrade svi dostavljeni podatci PLC putem komunikacijskog modula vraća upravljačke signale ili naloge. Nakon što je poslao upravljačke signale čeka povratnu informaciju mjernih članova.

Kako složenost postrojenja raste, vrijeme za obradu svih podataka uz primanje i slanje nije moguće ostvariti pomoću jednog PLC-a. U tu svrhu ali i zbog preglednosti koristi se više PLC-a koji međusobno komuniciraju te je svaki PLC zadužen za svoj dio procesa. Za primjer toga može se usporediti takav sustav unutar ove makete gdje bi jedan PLC mogao služiti za izmjenu topline zajedno sa svojim sensorima i aktuatorima te jedan PLC za regulaciju razine fluida u spremniku. Kako je maketa jednostavnog procesa s nekoliko senzora i dva aktuatora ovakav način nepotrebno komplicira maketu.

Modul PLC-a ili u nekim mjestima nazvan i ekspanzija PLC-a služi kako bi proširili ili dodali mogućnosti PLC-a. Po uzoru na ljudsko tijelo moduli bi imali ulogu živčanog sustava gdje bi prenosili informacije između mozga koji je CPU, osjetila koji su mjerni osjetnici te mišića koji su aktuatori. Osim što prenose informacije često se na modulima radi i mjerna pretvorba signala

tako da se taj signal pojača ili smanji. Još jedna mogućnost modula jest sigurnost PLC-a gdje će u slučajevima kada signal može naštetiti PLC-u, modul to spriječiti. Siemens nudi veliki broj modula ovisno o potrebi no oni se mogu podijeliti na sljedeće :

- Digitalni
 - Ulazni
 - Izlazni
- Analogni
 - Ulazni
 - Izlazni
- Tehnološki
- Komunikacijski
- Napajanje

Digitalni ulazni (engl. *digital input*) moduli imaju zadatak pretvoriti razinu signala na ulazu u logičku jedinicu ili nulu. tj. detektirati ima li kakav ulazni signal ili nema. Ovisno o naponskim ili strujnim razinama potrebno je odabrati pravi modul koji će to i detektirati

Digitalni izlazni (engl. *digital output*) moduli rade suprotno, umjesto da čitaju vrijednost na ulazu oni ga pišu tj. šalju vrijednost na izlaz iz sustava. Kao i kod digitalnih ulaznih modula odabir se vrši na temelju potrebne naponske ili strujne razine.

Analogni ulazni (engl. *analog input*) modul se može shvatiti kao proširena verzija digitalnog ulaznog modula gdje detektira više razina ovisno o rezoluciji samog modula. Kao primjer tome može se uzeti modul sa 16-bit rezolucijom koji očitava razinu između 0 V do 24 V. Sa 16 bit rezolucijom uređaj će detektirati svaku promjenu koja je veća od 0.0003662109375 V.

Analogni izlazni (engl. *analog output*) modul kvantizira vrijednost koja mu je zadana na nekakvu razinu ovisno o rezoluciji modula, te je prosljeđuje na izlaz iz modula. Navedeni moduli se ujedno nazivaju u ulazno-izlazni moduli ili IO moduli (engl. input output modules)

Tehnološki moduli (engl. *technology module*) su moduli posebne namjene. Komunikacijski moduli su moduli koji služe za prijenos podataka putem određenog protokola o kojima će se govoriti više u sljedećem poglavlju. Tehnološki moduli su moduli posebne namjene.

Komunikacijski moduli su moduli koji služe za prijenos podataka putem određenog protokola o kojima će se govoriti više u sljedećem poglavlju.

Svaki Siemensov ulazno-izlazni modul (engl. *Siemens IO module*) posjeduje arhitekturu u kojoj se senzor ili aktuator može spojiti i dobiti napajanje od modula ako je to potrebno. Ova potreba je većinom kod senzora koji zahtijevaju dodatno napajanje, te slanje signala izvršnim uređajima kao što su ventili ili releji. Prilikom postavljanja senzora na modul treba voditi brigu o njegovom mjernom tipu (engl. *measuring type*) koja može biti napon ili struja te načinu slanja koja može biti u obliku: dvije žice (engl. *two-wire*), tri žice (engl. *three-wire*), četiri žice (engl. *four-wire*). Način spajanja uređaja na module za svaki IO modul opisan je u uputstvima koje je predao proizvođač modula.

2.4.4. Komunikacija u industriji

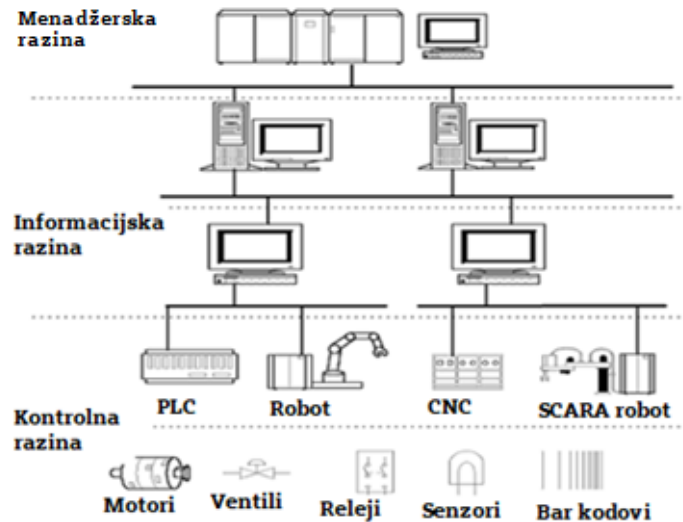
Komunikacija je razmjena podataka između dva ili više korisnika. Kako bi komunikacija bila uspješna ti korisnici moraju koristiti iste vještine komuniciranja. U tehnici je komunikacija između dva uređaja veoma zahtjevan posao jer je potrebno poznavati protokol komuniciranja te prilagoditi dva uređaja da razmjenjuju informacije na isti način. Komunikacijska mreža (engl. *communication network*) je skup svih uređaja koji razmjenjuju informacije putem istog komunikacijskog protokola.

U industriji komunikacijske mreže moraju zadovoljavati određene standarde u odnosu na obične mreže a ti standardi su [15]:

- Otpornost na zahtjevnu industrijsku okolinu
- Stabilnost
- Fleksibilnost
- Brzina

Unutar industrijskog postrojenja mogu se kvalificirati tri vrste grupe komunikacija koji koriste nekakve protokole. Jedan od ciljeva industrije 4.0 je svesti sve te protokole na jedan, te bi se time moglo pristupati senzorima i aktuatorima i prikupljati podatci o njihovom radu radi mogućeg povećanja efikasnosti, pregleda produktivnosti i drugih mogućnosti.

Hijerarhija industrijske mreže može se vidjeti sa slike 2.29 gdje su prikazane i grupe u kojima je ta mreža razdvojena te će se u nastavku opisati značenje tih grupa.



Slika 2.29. Hijerarhija komunikacijske mreže u industriji [15]

Kontrolna razina (L1) ujedno poznata kao i komunikacija na razini polja (engl. Field level communication) nalazi se na samome dnu te je najniža razina industrijske mreže čija je osnovna komponenta PLC. Cilj ove razine je razmjena informacija između senzora, aktuatora, PLC-a te drugih uređaja na toj razini. Isto tako se na ovoj razini odvija i prikaz statusa strojeva na HMI i SCADA sustavima.

Informacijska razina (L2) je bazirana na pohrani podataka o stanju u proizvodnji, vremenu proizvodnje i kvaliteti proizvoda. Unutar ove grupe koristi se TCP/IP protokol za razmjenu podataka između računala unutar ove mreže te je taj protokol i poveznica sa L1 te L3

Najviša razina je menadžerska razina (L3) u kojoj se odvija planiranje, prodaja i druge aktivnosti.

Komunikacija na razini polja odvija se putem porodica mrežnih protokola fieldbus. Fieldbus je protokol za prijenos informacija u standardnom vremenu te je standardiziran kao IEC 61158. Ovakav način komunikacije povezuje se sa sabirnicom PLC-a te omogućuje brz i efikasan prijenos. Tvrtke koje proizvode PLC napravile su svoje verzije ovoga protokola te su neki od njih:

- Siemens – PROFIBUS, PROFINTET
- Allen Bradley – ControlNet
- Mitsubishi – MelsecNet
- Schneider electric – Modbus

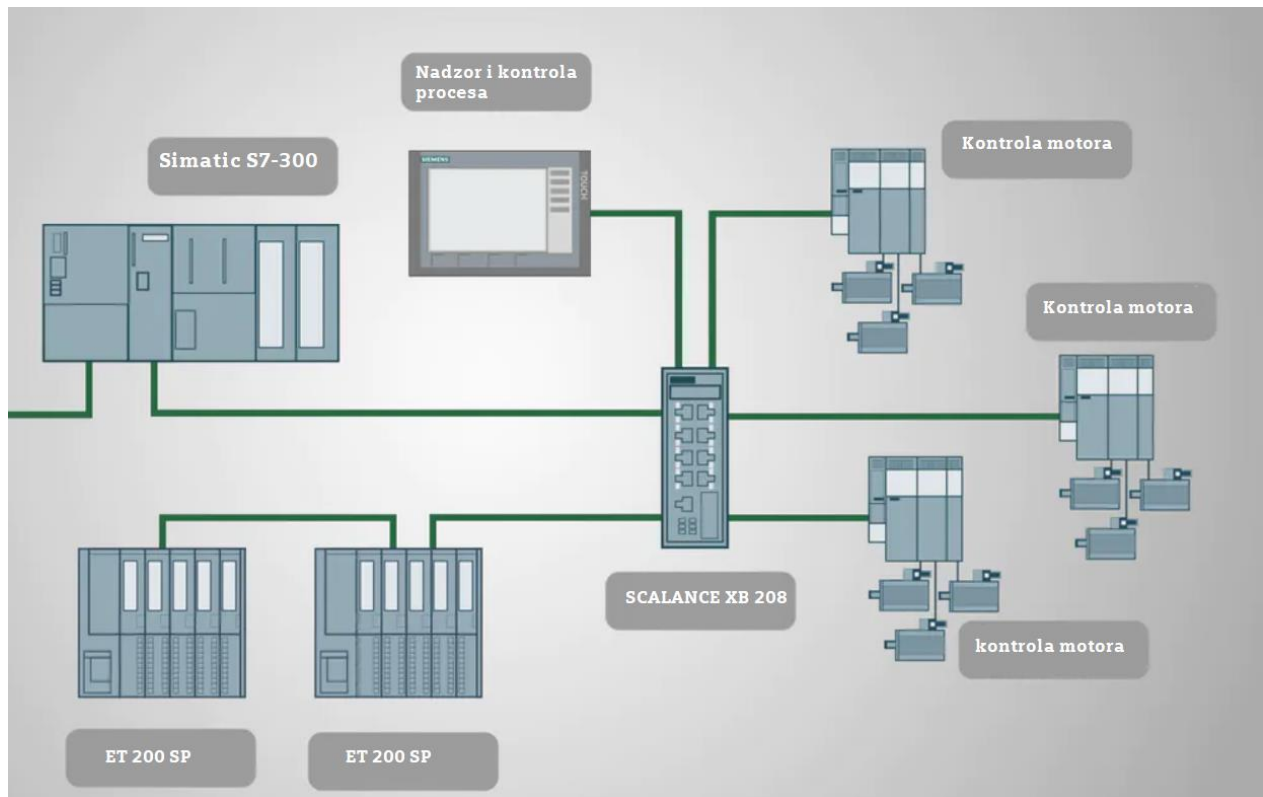
Profibus je standard koji pripada fieldbus porodici mreža te je prvi put predstavljen 1989. godine od Njemačkog instituta za obrazovanje i tehnologiju. Postoje tri verzije profibus mreža, a one su:

- Profibus FMS – Prvi protokol koji radi na način Master-Slave
- Profibus DP – Najrašireniji protokol koji služi za komunikaciju između senzora, aktuatora i upravljača te ga karakterizira brzina do 12 Mbit/s
- Profibus PA – Namijenjen za komunikaciju u opasnim sredinama zbog svoje otpornosti i stabilnosti. Brzina prijenosa podataka profibus PA iznosi 31.25 Kbit/s



Slika 2.30. Gornja slika izgled PROFIBUS kabla, donja lijeva konektorza PROFIBUS , srednja i desna slika prikazuju module za PROFIBUS [15]

Profinet je standard za industrijski ethernet protokol koji je realiziran najkvalitetnijim konektorima i komponentama kako bi mogao raditi u zahtjevnim industrijskim okruženjima. Profinet ethernet kabel je zelene boje te mu je konektor nalik običnom ethernet kablu dok je profibus ljubičaste boje te se njegov izgled može vidjeti sa slike 2.30.



Slika 2.31. PROFINET komunikacija [15]

Danas razvojem industrije sve više uređaja teži prema novom Hart (engl. *Highway Addressable Remote Transducer*) protokolu koji je dvosmjerna komunikacija između uređaja i PLC-a koja koristi strujne razine od 4 do 20 mA. Koristeći jednu vezu može se priključiti više uređaja koji putem mreže dobivaju naloge od PLC-a ali i šalju svoje statuse. Mana ovoga protokola je cijena, te je potreba posebna oprema kako bi se ovakva komunikacija uspostavila.

2.5.Senzori i aktuatori

Senzori ili mjerni osjetnici su uređaji koji neku fizikalnu vrijednost pretvaraju u električni signal. Nadogradnja tome jest mjerni član koji je sustav koji čini senzor, mjerni pretvornik, te pojačalo signala. Kada se govori o mjernom pretvorniku oni mogu biti digitalni i analogni ovisno o njihovom izlaznom signalu.

Digitalni mjerni član prima vrijednosti po Booleovoj algebri što predstavlja istinu ili laž tj. logičku jedinicu ili logičku nulu. . Za ovakav tip mjernog člana postoje dvije izvedbe koji su:

- Normalno zatvoreni kontakti – NC (engl. *Normally closed* skraćeno NC)
- Normalno otvoreni kontakti – NO (engl. *Normally open* skraćeno NO)

Digitalni mjerni član u većini slučajeva se koristi kao sigurnost u sustavu te je potrebno izabrati dobru izvedbu. Sa slike 2.35 dan je stvarni primjer mjerenja razine ulja u spremniku tvrtke Danieli. Sa slike se vidi mjerac te se mogu vidjeti i tri digitalna senzora a, to su: min,min_min te max. Način spajanja ovih senzora je ključan za sigurnosti ljudi i samoga rada u pripremi fluida. Senzor za detekciju minimalne razine ulja ima normalno otvoren kontakt te kada spremnik sadrži razinu ulja preko minimalne taj senzor daje logičku jedinicu. Ako je razina ulja pala ispod zadane okoline senzora tada senzor daje logičku nulu. No stvarni razlog zašto je izabran ovakva izvedba je ta ako postoji greška takva da senzor ne radi ili je konekcija između senzora i procesnog računala u kvaru tada procesnog računalo dobiva jednak signal kao da je razina ulja ispod dopuštene te je potrebno ugasiti sustav. Kako bi se izbjeglo gašenje sustava dodaje se još jedan senzor koji isto tako radi no umjesto da ugasi sustav daje alarm koji neće ugasiti sustav nego dati operateru ili upravljačkoj jedinici do znanja kako je potrebno dovesti ulje u spremnik. Za senzor koji očitava maksimalnu vrijednost razine koristi se suprotna izvedba.



Slika 2.32. Mjerac razine ulja u industriji

Kao i kod primjera maketa posjeduje dva takva mjerna osjetnika koji pomoću plovka detektiraju prekoračenje određene razine te ovisno o izvedbi šalju ili prestaju slati signal. Ovi mjernim osjetnicima nisu potrebni mjerni pretvarači ili pojačala jer imaju jednostavan način rada koji je ponašanje sklopke. Postoje dvije izvedbe ovakvog mjernog osjetnika a to je kontaktni prikazan slikom 2.33 te beskontaktni .



Slika 2.33 Prekidač sa plovkom

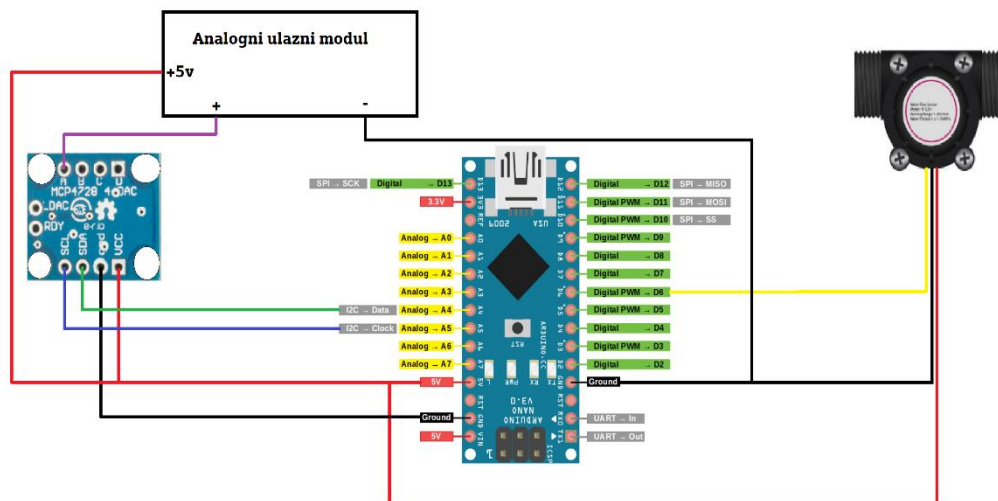
Kod analognih osjetnika u većini slučajeva je potrebno provesti mjernu pretvorbu kako bi se uskladila komunikacija. Većina industrijskih osjetnika već u sebi ima ugrađene potrebne komponente kako bi izlazni signal bio koristan PLC-u.

Mjerač protoka (engl. flow meter) je uređaj koji mjeri protok u cijevi. Postoje razne izvedbe ovog senzora koje se većinom baziraju na to utječu li na protok ili ne te kojim fizikalnim načelom se mjeri protok. Ovakav mjerač protoka prikazan na slici 2.36 koji je prilagođen malim do srednjim protocima točnije do 30 L/min te je financijski prihvatljiv. Moguće je mjerenje i iznad 30 L/min ali tada preciznost senzora pada. Ulazna i izlazna veličina otvora iznosi $\frac{3}{4}$ palca što



Slika 2.34. Mjerač protoka

je 0.197 cm. Mjerač protoka kao na slici 2.36 radi na način da brzina protoka okreće njegove lopatice te je na jednoj od lopatica ugrađen stalni magnet koji svojim prolaskom pokraj Halovog sensor daje impulsni signal na izlazu. Crvena i crna žica predstavljaju napajanje senzora gdje je potrebno crvenu žicu spojiti na +5 V a, crnu žicu na 0 V. Problem kod ovakvih senzora jest što modul brojača impulsa za PLC je veoma skup, te je potrebno napraviti mjerni pretvornik. Koristeći mikrokontroler brojat će se impulsi sa senzora te će se generirati razina napona između 0 V i 5V. Kako mikrokontroler koji se koristi nema analogni izlaz na mikrokontroler je potrebno spojiti digitalno analogni konverter (engl. *digital to analog converter* skraćeno DAC). Pomoću DAC-a koji je 12-bitne rezolucije generirati će se napon koji će se svakih 100 ms ažurirati izlaznu vrijednost ovisno o broju impulsa koje je mikrokontroler uspio detektirati. Na slici 2.35 vidi se način spajanja mikrokontroler -a arudino s konverterom i sensorom. Osim uzemljenja (engl. *Ground* skraćeno GND) u analogni ulazni modul ulaze još dvije žice koje se spajaju na kanal od modula po načinu spajanja za mjerenje napona.



Slika 2.35. Shematski prikaz spajanja senzora sa mjernim pretvornikom na modul PLC-a

Osjetnik temperature unutar makete radi na principu mjerenja otpora koji se mijenja s obzirom na vanjsku temperaturu oko sonde koja se nalazi u rezervnom spremniku. Mjerno područje ovog senzora kreće se od 0 °C do 200 °C. Kako bi se ovaj senzor ispravno koristio potrebno je imati modul koji ima mogućnost čitanja otpora sa sonde. Takvi moduli moraju imati naznačenu specifikaciju čitanja promjenjivog temperaturnog otpornika koji se naziva RTD (engl. *Resistor temperature detectors* skraćeno RTD). Ovisno o načinu izrade osjetnici temperature imaju dvoje vrste a to su:

- Osjetnik s negativnim temperaturnim koeficijentom ili NTC senzor (engl. *negative temperature coefficient* skraćeno NTC)
 - Zagrijavanjem sonde otpor sonde se smanjuje
- Osjetnik s pozitivnim temperaturnim koeficijentom ili PTC senzor (engl. *positive temperature coefficient* skraćeno PTC)
 - Zagrijavanjem sonde otpor sonde se povećava

Mjerač razine fluida radi na sličnom principu kao i osjetnik temperature. Za razliku od osjetnika temperature koji mijenja otpor s obzirom na temperaturu medija, mjerač razine mijenja svoj unutrašnji otpor s obzirom na tlak u točki koja se nalazi na dnu uređaja. Tip senzora je potopni senzor koji mjeri do 2 m visine fluida. Na ovome senzoru očitava se vrijednost jakosti struje koja prolazi strujnim krugom između modula i mjerača razine fluida. Ovisno o tome kolika je vrijednost otpora može se očitati i vrijednost jakosti struje.

Izvršni članovi isto tako mogu biti analogni i digitalni ovisno o vrsti signala. Analogni izvršni član sastoji se sastoji od vlastitog napajanja, uređaja s kojim se upravlja aktuator te samog aktuatora. Unutar makete nalazi se jedan analogni izvršni član.

Ventili su komponente koje svojim djelovanjem utječu na protok na način da ga zatvore, otvore ili propuštaju ovisno o danom nalogu. Ove komponente mogu biti aktivirane ručno, pneumatski, hidraulički te elektromagnetski. Ventil koji se koristi u maketi aktivira se elektromagnetski, te u sebi ima ugrađene uređaje koji se mogu nazvati i mali upravljači (engl. *mini drivers*). Pomoću malih upravljača na temelju dobivenog naloga okrenuti će se elektromotor za određeni kut te



Slika 2.36. Elektromagnetski ventil

tako prigušiti ili otpustiti ventil. Takvi ventili nazivaju se proporcionalni elektromagnetski ventili (engl. *proportional motorized valve*). Ulazni i izlazni promjer cijevi ventila je izabran po veličini cijevi koje će se koristiti a to je $\frac{1}{2}$ palca ili 1,317 cm. Potrebno je uzeti u obzir kako se grije fluid kojim će ventil regulirati protok te odabrani ventil mora imati dopuštenu temperaturu do 90°C

Digitalni izvršni članovi posjeduju aktuator te mehanizam za paljenje i gašenje aktuatora. Industrijski digitalni izvršni članove nude rješenje gdje se aktuator pali pomoću upravljačkog signala dobivenog od PLC-a. Ukoliko tih mehanizama nema potrebno je ugraditi jedan takav. U maketi su ugrađeni releji koji na temelju upravljačkog signala stavljaju aktuator u aktivno stanje ili stanju mirovanja.

Električna pumpa je aktuator koji usisava fluid iz ulazne cijevi te ga transportira u izlaznu cijev pod određenim tlakom. Proizvođač u opisu pumpe spominje kako ona ima maksimalni protok od $3 \text{ m}^3/\text{h}$ što je oko 50 l/min. Protok pumpe uvelike ovisi o visini cijevi te tlaku koji će se stvoriti u cijevi pa je tako očekivana visina oko 1 m te se tako očekivani maksimalni protok za ovu pumpu spušta na približno $2.3 \text{ m}^3/\text{h}$ te je tako očekivani maksimalni protok iznosa 38.33 l/min. Zbog otpora u sistemu cijevi i elemenata protok će u praksi biti i manji od navedenog.

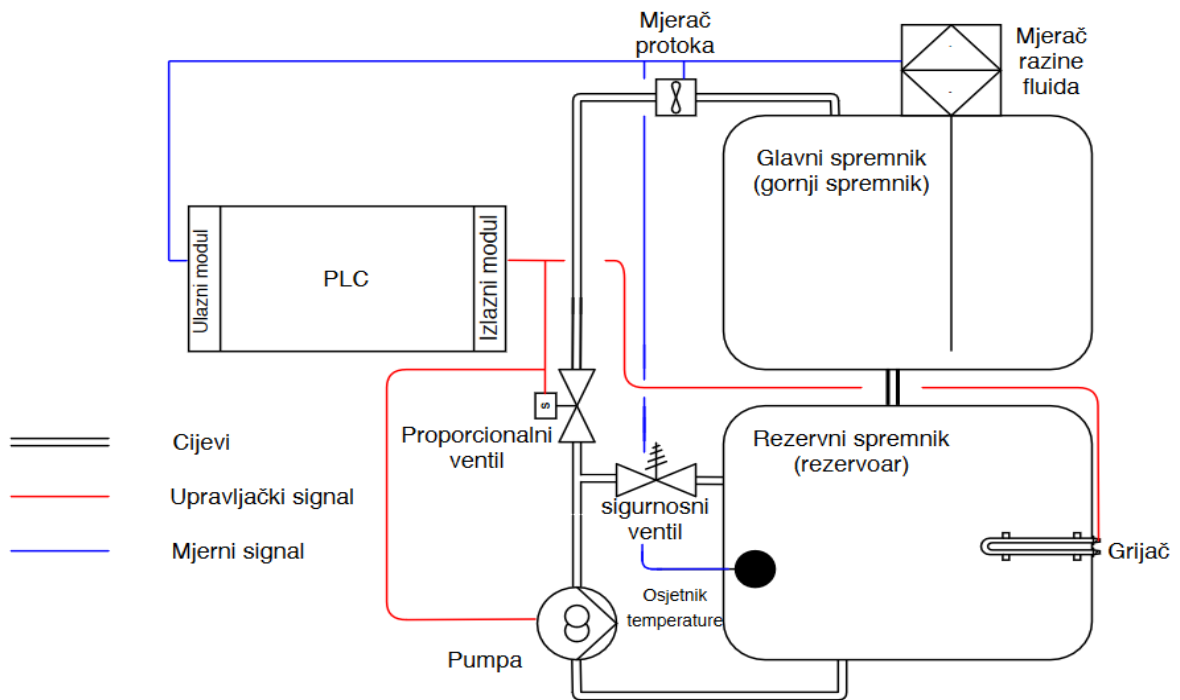


Slika 2.37. Električna pumpa

Električni grijač je uređaj za dovođenje topline u spremnik te pomoću njega se zagrijava fluid unutar rezervnog spremnika. Grijač ima dva stanja, a to je aktivno i stanje mirovanja. Ta dva stanja se prebacuju ovisno o upravljačkom signalu koji upravlja relej pomoću kojega se uključuje i isključuje grijač.

Komponente koje razmjenjuju signale primjerice analogni ulazni modul i mjerni član protoka sa pretvornikom potrebno je spojiti na isto uzemljenje kako bi se izjednačio nulti potencijal napona. U protivnom ako nisu istog potencijala postojati će pogreška u očitavanju vrijednosti između komponenti.

Shematski prikaz makete može se vidjeti sljedećom slikom gdje su objašnjene komponente pozicionirane na mjestima gdje će se ugraditi.



Slika 2.38 Shematski prikaz zamišljenog spajanja makete

Većina analognih senzora potrebno je kalibrirati kako bi se dobila vrijednost što bliža stvarnoj. Jednostavan način kalibriranja senzora je kreiranje matematičke funkcije koja će se zbrajati ili oduzimati sa vrijednošću koja se dobije sa senzora kako bi vrijednost bila što bliže stvarnoj. Način na koji se ovakvo kalibriranje provodi je sljedeći. Mjeri se nekoliko različitih vrijednosti senzora te se paralelno s tim vrijednostima uzimaju i stvarne vrijednosti. Nakon mjerenja potrebno je izraditi matematičku funkciju koja će najbolje opisati dane podatke te se ta funkcija koristi prilikom kalibracije vrijednosti određene mjerne veličine

2.6. HMI

HMI (engl. *Human machine interface*) kako je prije spomenutu predstavlja sučelje između čovjeka i stroja. Koristi se u industriji kako bi se nadzirao i upravljao rad strojeva unutar nekog pogona. Operator je osoba koja nadzire pogon pomoću HMI na kojem su prikazane bitne informacije koji pokazuju podatke koji opisuju rad nekog pogona. Ti podatci mogu biti temperature unutar pogona, tlak u cijevima, trenutni sekvencijalni korak, vrijeme rada i mnogo drugih podataka. Pomoću HMI se inače nadzire i do nekoliko strojeva pa ponekad i cijeli pogon te je jednostavnost i preglednost jedna od ključnih stvari prilikom izrade jednog takvog sučelja.



Slika 2.39. HMI panel [22]

Kako bi se moglo koristiti ovo sučelje potrebno ga je povezati pomoću protokola koji HMI-podržava. HMI je moguće povezati s PLC-om pomoću modbus-a, Profibus-a te ethernet-a.

Još jedna prednost je otklanjanje greške unutar pogona gdje napredni HMI izrađeni unutar TIA-portala imaju mogućnost prikaza logike PLC-a kao i preglednosti koju nudi izrađeno sučelje za operatera. Pomoću te dvije mogućnosti može se otkloniti problem bez spajanja računala i ažuriranja PLC-programa.

HMI ne mora nužno biti poseban uređaj tj. panel koji će prikazivati vrijednosti. Siemens daje mogućnost da se HMI izradi na računalu, te tako postoje PC-HMI stanice. U diplomskom radu prijenosno računalo će se koristiti kao HMI panel.



Slika 2.40. Nadzor pogona od tvrtke Danieli [23]

2.7. SCADA

SCADA (engl. *Supervisory control and data acquisition*) je sustav za praćenje i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu koja se sastoji od hardverske i programske komponente. Za razliku od HMI, SCADA ima prikupljanje i obradu podataka te se mogu vidjeti vrijednosti koje su se mijenjale kroz neko vrijeme. Još jedna prednost u odnosu na HMI jest da se praćenju stroja ali i upravljanju samog stroja može pristupiti s udaljenog računala. To otvara mnoge mogućnosti upravljanja procesa te mogućnost razvijanja sustava za povećavanje produktivnosti stroja ali isto tako stvara prijetnje takvom pogonu. Kako bi se ostvario jedan SCADA sustav potrebno je imati računalo na kojem će se prikupljati i obrađivati podatci.

Prvi SCADA sustavi bili su namijenjeni samo za određenu tvrtku unutar lokalne mreže takozvanog zatvorenog tipa. Kasnije se ta lokalna mreža proširila, te je dopuštala spajanje sustava i PLC-a koji nisu od iste tvrtke. Korištenjem baze podataka i strukturnog programskog jezika visoke razine SQL (engl. *Structured Query Language*) dobila se moderna verzija SCAD-e koja dopušta spajanje više lokalnih mreža, prikupljanje podataka sa svake mreže ili putem jedne te pristup podataka s udaljenih mjesta.



Slika 2.40. Komunikacija uređaja u SCADA sustavu [24]

2.8. Prikupljanje i obrada podataka

Uz SCADA sustave koriste se i alati koji uz veoma malo vremensko kašnjenje nad stvarnim procesom prikazuju podatke o procesu. Takvi alati koriste se za snimanje krivulja koje prikazuju

ovisnost mijenjanja neke vrijednosti kroz vrijeme, te se pomoću tih krivulja mogu detektirati greške u sustavu. Primjer takvog detektiranja je snimanje zaleta elektro-motora i naredbi koji su poslani sa PLC-a ,te se na taj način može vidjeti koja je naredba poslana te koja je reakcija upravljača motora, a i samog motora.

Jedan od alata za prikupljanje i obradu podataka je IBA sa kojim se može snimati više ovisnosti, te obraditi njihovu ovisnost uz kašnjenje od 1 ms od stvarnih.

2.9. Industrija 4.0

Industrija 4.0 je novi pokret kojeg karakterizira spajanje uređaja na internet (engl *internet of things*, skraćeno IOT), komunikacija između dva ili više stroja (engl. *communication machine to machine*) i prikupljanje te obrada podataka (engl. *Big data*).

Povezivanjem stroja na internet otvaraju se mnoge nove mogućnosti. Jedna od prvih ideja bila je prikupljanje podataka istog stroja u raznim pogonima i nakon nekog vremenskog perioda se provodi analiza tih podataka, te se usklađuju parametri u odnosu na najbolji stroj. Isto tako omogućava praćenje proizvoda u proizvodnom procesu što jako zadovoljava današnje potrošačko društvo. Unutar autoindustrije razvija se sustav samoanalize automobila koji bi provjerava stanje svojih komponenti te ukoliko bi došlo do starosti komponente ili kvara taj sustav sam naručio servis i potrebne dijelove a korisniku tj. vozaču bi dao naputak da mu je servis spreman u tom vremenu. Unutar industrijskih pogona ugrađuju se IOT moduli kao što je Siemens IOT 2000 koji služi za prikupljanje i analizu podataka iz industrijskog pogona. Pomoću njega moguće je motriti i obraditi podatke u svrhu povećavanja efektivnosti i otklanjanja mogućih grešaka u sustavu. Jedan od primjera otkrivanja greške jest snimanje procesnih veličina te u trenutku greške moguće je obraditi kako su se procesne veličine mijenjale da se dogodila greška. Nakon obrade sustav će moći upozoriti ostale sustave kako je moguće da se u tom trenutku dogodi greška te je moguće i predviđanje iste uz dovoljan broj podataka.

Industrija 4.0 teži potpunoj automatizaciji gdje bi pogoni radili uz minimalnu ljudsku prisutnost. Važne odluke unutar proizvodnog procesa, izračune i provjeru kvalitete bi odrađivali strojevi.

3. IZVEDBA MAKETE, UPRAVLJAČKOG PANELA I HMI-A

Diplomski rad se sastoji od makete hidrauličkog sustava, upravljačkog panela te sustava za vizualizaciju, prikupljanje i obradu podataka. Prije same izrade potrebno je provesti planiranje izrade, proračunavanje komponenti i njihovog troška te planiranje njihovog položaja u prostoru.

3.1. Planiranje izrade makete

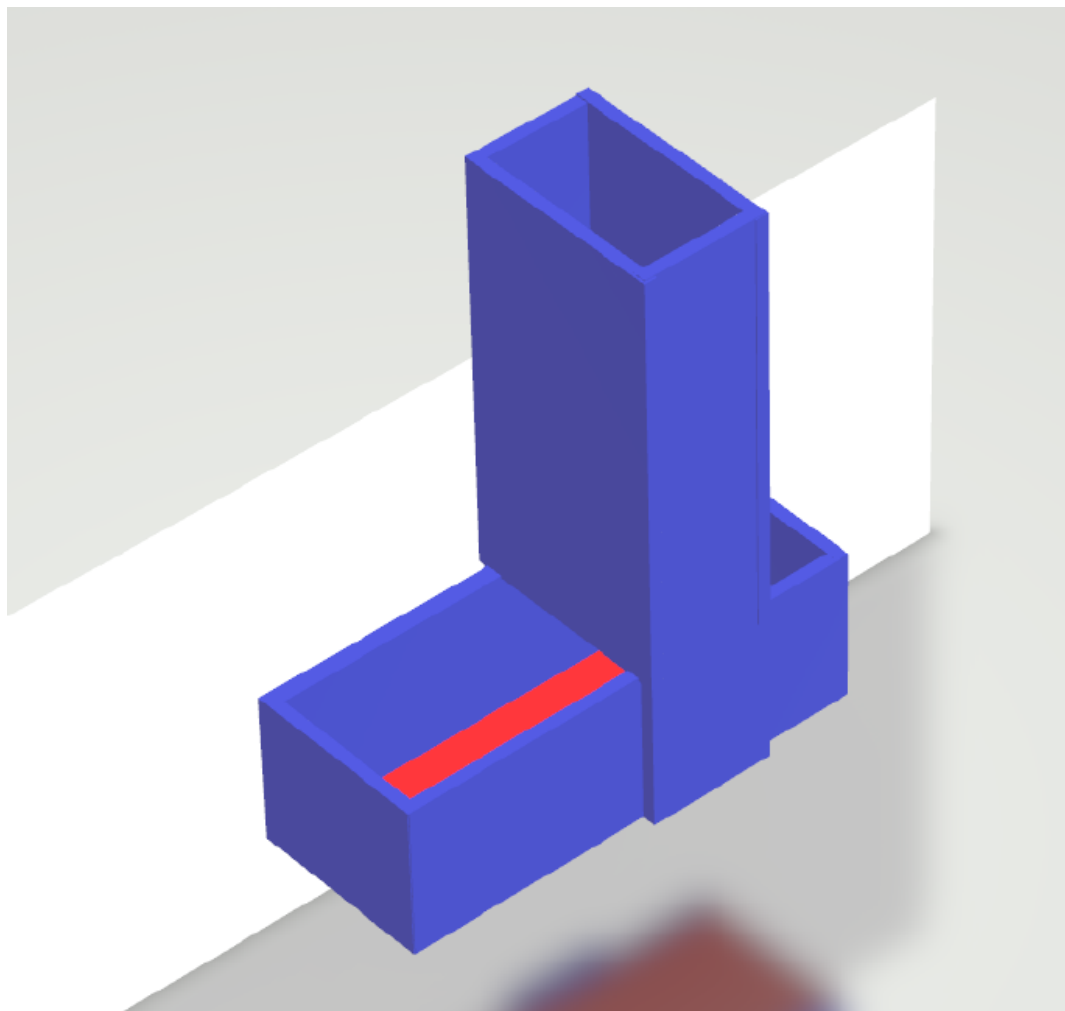
Prije same narudžbe komponenti potrebno je napraviti željene karakteristike sustava te tražiti komponente koje zadovoljavaju te zahtjeve. Početni zahtjev bila je sama maketa tj. spremnici i njihova zapremnina koja iznosi 18 litara i 35 litara. Kako bi se spremnik od 18 litara punio brzinom gdje se može dovoljno dobro vidjeti promjena i održavanje razine postavilo se maksimalni mogući ulazni protok koji je ujedno i protok pumpe iznosa 38.33 l/min ili 0.639 l/sec. Maksimalni mogući izlazni protok dobiven je izrazom (2-5) te uvrštavanjem dimenzija glavnog spremnika i otvora od 0.75 cm dobiva se maksimalni izlazni protok od 42.75 l/min. Kako je maksimalni izlazni protok veći od maksimalnog ulaznog protoka spriječeno je moguće izlijevanje fluida iz glavnog spremnika, te se glavni spremnik može puniti do oko 90% svoga maksimalnog kapaciteta. Smanjivanjem otvora glavnog spremnika moguće je brže punjenje i moguće izlijevanje fluida. Karakteristike potrebnog ventila su upravljiv i proporcionalan s otvorom od $\frac{3}{4}$ palca. Ostale komponente sa makete izabrane su po karakteristikama koji su proizašli iz početnih uvjeta rada makete te njene funkcionalnosti. Cijevi korištene za maketu su PPR cijevi dimenzije $\frac{3}{4}$ palca. Nakon odabira komponenti unutar makete potrebno je izraditi i plan za izradu upravljačkog panela na kojem se nalazi napajanje komponenti makete i panela, upravljački dijelovi te sklopovi za sigurnost i terminali. Nakon definiranja veličina i karakteristika makete radi se projektiranje panela u programu EPLAN i modeliranje mehaničkog dijela makete za komponente i spremnike.

Prema EPLAN projektu pravi se raspored komponenti unutar makete i upravljačkog panela, te načini na koji će se pričvrstiti komponente. Potrebno je isto tako osmisлити način na koji će maketa i panel biti prenosivi tj. rastavljivi, a da se ne gubi sama funkcionalnost.

Nakon provjere kompatibilnosti svih komponenti, te manjih izmjena kako bi se ta kompatibilnost postigla slijedi narudžba komponenti.

3.2. Maketa spremnika

Nakon izrađenog plana makete može se početi izrađivati i sama maketa. Kako je spomenuto maketa se sastoji od dva spremnika kako je prikazano slikom 3.1. gdje se može vidjeti njihov položaj u prostoru.



Slika 3.1. Izgled spremnika

Iz rezervnog spremnika koji se nalazi ispod glavnog prikazan slikom 3.1. postavljaju se cijevi koje vode u pumpu i na ventil za ispuštanje fluida. Izrađeno je postolje za komponente i spremnike te konačan izgled hidrauličkog sustava makete je prikazan slikom 3.2.



Slika 3.2. Izgled makete prilikom sastavljanja

Sa slike se može vidjeti kako na rezervnom spremniku postoji sigurnosni prekidač čiji je rad zamišljen kada je razina fluida ispod dopuštene razine u rezervnom spremniku šalje signal prema PLC-u koji će ugaziti pumpu kako bi spriječilo moguće uvlačenje zraka u pumpu. Na maketi su postavljene kanalice za urednost i preglednost makete.

3.2.1. Komponente unutar makete

Maketa se sastoji od hidrauličkih i elektroničkih elemenata koji svojim djelovanjem upravljaju radom makete. Komponente unutar makete su :

- Glavni spremnik
- Rezervni spremnik
- Mjerač nivoa fluida
- Sigurnosni prekidač
- Ventil proporcionalni
- Mjerač protoka
- Mjerni pretvornik
- Pumpa
- Ventil za ispuštanje fluida
- Grijač
- Senzor temperature

Glavni spremnik sastoji se od ulaznog protoka koji dolazi s gornje strane spremnika, te izlazni protok sa otvora na dnu. Unutar glavnog spremnika nalazi se mjerač razine fluida i senzor temperature. Cilj rada makete je održavati razinu i temperaturu fluida unutar ovog spremnika. Zapremnina glavnog spremnika iznosi 17 litara

Rezervni spremnik nalazi se ispod glavnog spremnika te služi za akumuliranje fluida. Ovaj spremnik je spojen na hidraulički sustav za transport fluida u glavni spremnik. Zapremnina ovog spremnika je duplo veća od glavnog spremnika te iznosi 35 litara

Mjerač nivoa fluida koristi se kako bi se dobila vrijednost trenutne razine u glavnom spremniku. Ovaj mjerač radi na principu promjenjivog otpora čiji se otpor mijenja s obzirom na tlak pri dnu mjerača. Iako mjerač ima nekoliko žica radi na strujnom dvo-žičnom (engl. *two wire*) spajanju te daje vrijednost signala u obliku 4 do 25 mA.

Sigurnosni prekidač služi kako bi detektirao minimalnu razinu fluida u rezervoaru. Kada bi razina fluida u rezervnom spremniku pala ispod minimalne, kontakt sigurnosnog prekidača bi se prekinuo, te bi tako na strani PLC-a se dobila logička nula. Pomoću ovog prekidača se sprečava moguće uvlačenje zraka u pumpu.

Proporcionalni ventil je hidraulički element koji ima mogućnost postotnog zatvaranja, te tako utječe na protok. Postoje razne izvedbe ovakvog ventila ali zbog jednostavnosti makete izabran je proporcionalni motorizirani ventil koji u sebi ima ugrađene male upravljače pomoću kojih se upravlja okretanje motora. Motor otvara i zatvara ventil, te se tako ovaj ventil upravlja pomoću upravljačkog signala vrijednosti 0 do 10V. Ovakav ventil sadrži :

- +24 V
- 0 V
- Zadana vrijednost (0-10 V)
- Izlazna vrijednost u obliku pulsno širinske modulacije impulsa (PWM)

Mjerač protoka koristi se Hallovim senzorom pomoću kojeg mjeri brzinu okretanja lopatica. Brojem okretaja lopatica mjerač protoka na izlaz daje impulsni odziv kada je lopatica napravila puni krug.

Mjerni pretvornik mjerača protoka detektira impulse koji mjerač protoka daje te broji koliko je impulsnih signala bilo unutar jedne sekunde. Kada je istekla jedna sekunda pomoću izračuna se dobiva vrijednost protoka te se pomoću DAC daje izlazni signal vrijednosti od 0 do 5 V. Taj izlazni signal se dovodi na PLC koji tu vrijednost skalira te tako dobiva vrijednost protoka.

Pumpa IMP nmt mini je električna pumpa koja radi u tlačnom modu rada što znači da održava stalnu vrijednost tlaka na izlazu, te tako ako se dogodi začepljenje vrijednost tlaka neće rasti preko one koja je zadana tim načinom rada.

Ventil za ispuštanje fluida služi kako bi se maketa mogla transportirati ili očistiti od prljavštine koja nastane s vremenom.

Električni grijač se nalazi u rezervnom spremniku te zagrijava fluid unutar rezervnog spremnika i snaga ovoga grijača je 330 W.

Senzor temperature radi na principu promjenjivog otpora koji se mijenja s toplinom medija. Ovaj uređaj nalazi se isto tako u rezervnom spremniku te daje informaciju o trenutnoj temperaturi u istom spremniku.

3.3. Upravljački panel makete

Upravljački panel služi za upravljanje rada makete te je tako potrebno stabilno postolje, te dovoljno velika površina na kojoj će se moći pričvrstiti sve potrebne komponente. Za izradu upravljačkog panela izabran je iveral debljine 2 cm te dimenzija 60x60 cm. Izgled praznog panela prikazan je slikom 3.4



Slika 3.3 Postolje panela

Upravljački panel sastoji se od napajanja, relejnih sklopki, upravljačkog dijela tj. PLC-a, te terminala koji prosljeđuju signale na potrebne komponente te isto tako daju mogućnost brzog sastavljanja i povezivanja signala sa modulima. Dio napajanja nalazi se u gornjem lijevom kutu upravljačkog panela, te se sastoji od osigurača, naponskog pretvarača sa 220 V na 24 V te naponskog pretvarača sa 220 V na 5 V. Osigurači ujedno služe kao sklopke za paljenje komponenti. U gornjem desnom kutu nalazi se relejne sklopke zajedno sa svojim osiguračem koji služe za paljenje pumpe i grijača. Središnji dio panela je upravljački dio na kojem se nalazi PLC s modulima dok se ispod upravljačkog dijela nalaze terminali. Ožičavanje panela prikazano je slikom 3.3. dok je slikom 3.4. prikazan stvarni ožičeni panel.



Slika 3.4. Upravljački panel makete

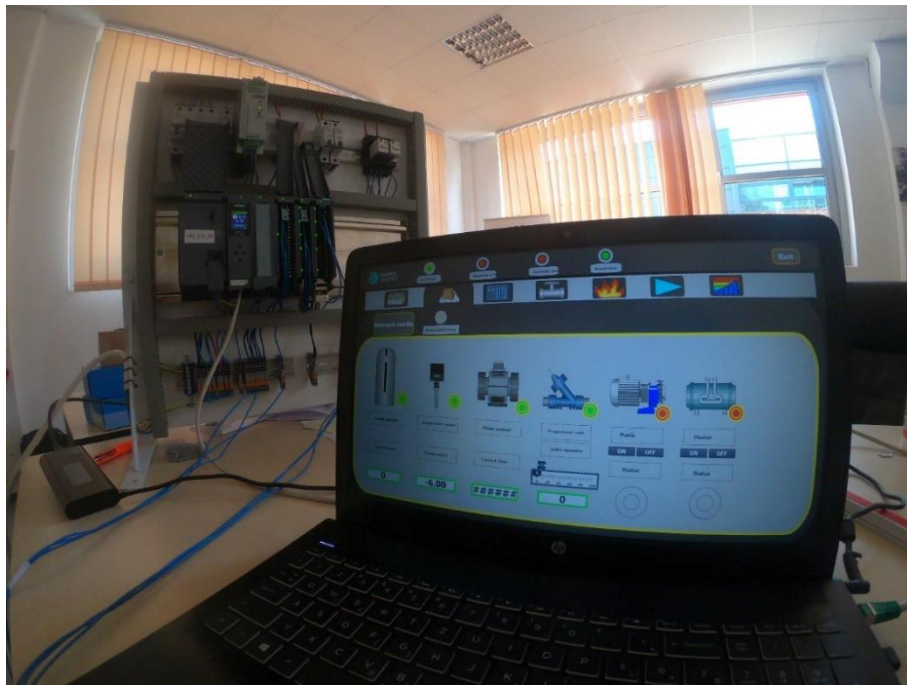
3.4. Povezivanje upravljački panela i makete

Maketa je zamišljena da ima svojstva rastavljivosti što bi značilo da je maketu moguće rastaviti na dijelove, transportirati je te je ponovno sastaviti uz što manje napora. Kako bi se to svojstvo postiglo potrebno je napraviti način da se maketa može odspojiti od upravljačkog panela te su tako ugrađeni konektori na maketi i upravljačkom panelu koji se povezuju putem kabela.

Nisko energetske signale te upravljački i mjerni signali spojeni su putem 15 pinskog VGA konektora i prilagođenog kabla koji povezuje VGA pinove. Konektori sa strane makete i upravljačkog panela su ženski VGA konektori dok je kabel muškog tipa.

Za visokoenergetske signale koji su 220 V koriste se 3 pinski konektori na kojima je spojena gradska mreža sa kojom se upravlja ukapčanje i iskapčanje putem releja. Električna pumpa i električni grijač imaju svoj relej i terminale te konektore. Električna pumpa koristi muške konektore i ručno napravljen kabel koji ima ženske utore kako bi se spojio na konektore koji su na maketi i upravljačkom panelu dok električni grijač ima suprotnu postavu. Kako grijač ima muške konektore a, pumpa ženske nije moguće zamijeniti ili krivo spojiti ta dva uređaja.

Prijenosno računalo koje služi kao HMI povezuje se na PLC putem ethernet kabela. Moguće je ethernetom direktno spojiti stolno računalo i PLC ili PLC spojiti na ruter lokalne mreže te se HMI može povezati bežično s PLC-om.



Slika 3.5 HMI povezan sa upravljačkim panelom

3.5. Izrada programske podrške i vizualnog sučelja

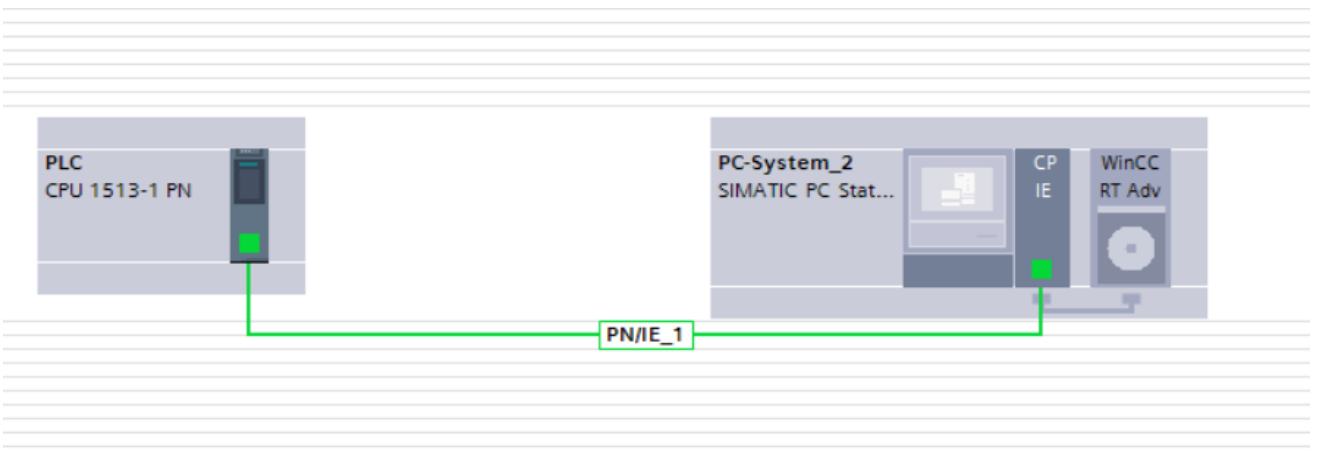
Kako bi upravljanje razine i temperature fluida bila moguća potrebno je izraditi program kojim će procesno računalo uzimati vrijednosti od senzora, obraditi ih, te proslijediti na izlazne module. Isto tako potrebno je napraviti moguće primanje ulaznih podataka kao što su željena razina fluida ali i ispisivanje procesnih vrijednosti unutar makete.

3.5.1. Hardverska podrška

Za početak izrade jednog sustava upravljanja potrebno je imati hardver koji je potrebno sastaviti te postaviti unutar hardverske konfiguracije PLC-a. Hardverska konfiguracija sastavljena je od sjedećih komponenti koji su poredani redosljedno kako su spojeni na stalku (engl. *Rack*):

- Modul za napajanje - 6ES7 507-0RA00-0AB0
- Centralno procesorska jedinica - 6ES7 513-1AL01-0AB0
- Digitalni ulazni modul - 6ES7 521-1BH10-0AA0
- Digitalni izlazni modul - 6ES7 522-1BF00-0AB0
- Analogni ulazni modul - 6ES7 531-7QD00-0AB0
- Analogni izlazni modul - 6ES7 532-5HD00-0AB0

Unutar hardverske konfiguracije potrebno je odrediti način komuniciranja uređaja, te ih povezati kako je prikazano slikom 3.6.



Slika 3.6 Povezivanje HMI-a i upravljačkog panela

3.5.2. Programska podrška

Logika upravljanja maketom izrađena je pomoću programske podrške TIA portal-a. Sama logika organizirana je na način da se prvo iščitavaju svi podatci sa senzora, HMI-a, te ostali ulazni

signali, te se na temelju njih odradi logika o načinu upravljanja i dozvolama za upravljanje i na kraju te se vrijednosti šalju na izlazne module te HMI radi prikaza trenutnog stanja unutar makete.

3.5.3. Sučelje čovjek-stroj

Sučelje čovjek stroj ili HMI je isto tako izrađeno unutar TIA portala koristeći alat WIN CC pomoću kojeg se povezuju varijable s PLC-a koje se mogu čitati, pisati ili oboje. Dizajn sučelja čovjek stroj prikazan je sljedećom slikom na kojoj se može vidjeti dizajn HMI-a te početnu stranicu.



Slika 3.7 HMI početni zaslon

3.6. Manualno upravljanje makete

Osnovna mogućnost upravljanja maketom jest ručno upravljanje maketom što znači da se svaki aktuator može upravljati zasebno uz određene restrikcije. Neke od tih restrikcija je onemogućeno paljenje pumpe ako je razina unutar rezervoara ispod dopuštene ili je ventil potpuno zatvoren. Zbog takvih mogućih pojava koriste se funkcije dozvole (engl. *Permissives*) koje prikupljaju potrebne signale te ukoliko su uvjeti zadovoljeni funkcija na izlaz daje signal koji dopušta upravljanje uređajem. Pomoću manualnog upravljanja testiraju se komponente makete, te se mogu dobiti informacije o brzini odziva, te njihovoj točnosti. Manualno upravljanje je način upravljanja koji je početno zadan način upravljanja te radi na principu provjere osnovnih uvjeta dozvole za rad, te dopušta utjecaj na aktuator.

3.6.1. Testiranje komponenti

U manualnom modu moguće je testirati komponente te dobiti parametre koju su potrebni za izradu automatiziranog načina rada. Vrijednosti koje se prosljeđuju komponentama sa PLC-a moraju biti skalirane u domeni njihovog rada.

Prva komponenta kojoj se provjerava rad jest ventil s kojim se provjerava otvara li se zaista 0% do 100% otvorenosti. Nakon testiranja ventila testira se pumpa, te se provjerava njezin maksimalni protok koji iznosi 14 l/min. Dobivanje vrijednosti maksimalnog protoka pumpe, a ujedno i provjera točnosti rezultata mjerača protoka odradio se na sljedeći način. Zatvorio se otvor u glavnom spremniku. te se on punio 10 sekundi prilikom kojeg se napunio određenu razinu. Mjerenjem vrijednosti koliko se napunio glavni spremnik unutar 10 sekundi dobila se vrijednost protoka koja se usporedila sa vrijednošću protoka koji je mjerač protoka izmjerio. Dobivene vrijednosti su se odvajale te je bilo potrebno odraditi korekciju vrijednosti. Testiran je i mjerač razine koji se zaronio u napunjeni spremnik, te se moglo vidjeti malo odstupanje od stvarne vrijednosti. Zbog malog odstupanja koristi se funkcija koja ispravlja vrijednost koja se dobije sa mjerača razine.

Osjetnik temperature je posebno skaliran u domeni gdje daje pouzdani i ponovljiv rezultat prilikom određene temperature fluida.

3.7. Automatiziran način rada

Nakon testiranja komponenti može se izraditi program koji će motriti trenutnu vrijednost napunjenosti spremnika, te na temelju napunjenosti otvarati i zatvarati ventil. Isto tako program motri vrijednost temperature u rezervoaru, te po potrebi pali grijač. Automatizirani način upravljanja makete predstavlja cilj diplomskog rada gdje se može utjecati na upravljanje, te imati pregled nad svim procesnim veličinama.

3.7.1. Automatizirani načini upravljanja maketom

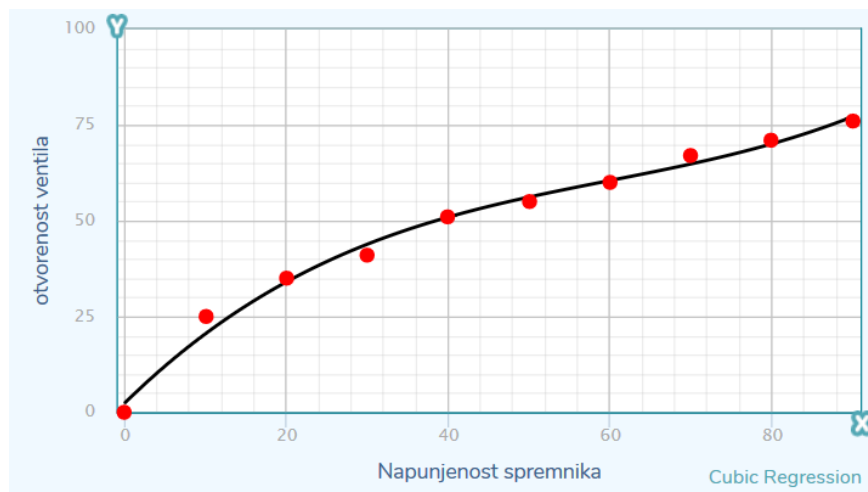
Automatizirani način upravljanja omogućuje odabir metode s kojim se upravlja maketa, a mogući odabir metoda je sljedeći:

- PID regulator
- Model
- PID regulator s modelom
- Upravljanje neizravnom logikom (engl. *Fuzzy logic*)

Osnovno automatizirano upravljanje je pomoću modela regulatora i PID regulatora kojemu su otvorene izmjene koeficijenata parametara za proporcionalni, integralni i derivacijski dio. Iskustvenim metodama optimalan rad PID regulatora je prilikom vrijednosti parametara :

- *Proporcionalno pojačanje* $K_p = 3$
- *Integralno pojačanje* $K_i = 0.35$
- *Derivacijsko pojačanje* $K_d = 0$

Model za automatizirano upravljanje ventilom se izradio koristeći snimanje krivulje ovisnosti otvorenosti ventila o održavanju napunjenosti spremnika. Uzeto je 9 uzoraka koje predstavljaju postotak napunjenosti spremnika od 10 % do 90 % te se koristila best fit metoda kubne regresije za dobivanje krivulje koja predstavlja matematičku ovisnost otvorenosti ventila i regulacije razine fluida u spremniku. Izgled krivulje prikazan je slikom 3.8.



Slika 3.8 Izrada krivulje best fit metodom

Sljedeći način upravljanja je kombinacija PID regulatora i matematičkog modela. Unutar ovog načina unosi se postotak koji će PID regulator imati u ispravljanju vrijednosti matematičkog modela a, taj postotak je između 10 % u 80%.

Zadnji način upravljanja razinom fluida u spremniku jest korištenje neizrazite logike koja se sastoji od :

- Ventil je zatvoren
- Ventil je blago otvoren (25% otvorenosti)
- Ventil je na pola otvoren (50% otvorenosti)
- Ventil je većinom otvoren (75% otvorenosti)
- Ventil je skroz otvoren (100% otvorenosti)

Intervali neizrazite logike mogu se mijenjati parametri koji se odnose na veličinu intervala dijelova neizrazite logike.

3.7.2. Simulacija automatiziranog načina rada

Prije samog rada programa potrebno je testirati napisani program i pronaći moguće neispravnosti rada programa. Kako bi se program testirao, a da se ne koriste stvarni elementi koji se mogu oštetiti prilikom neispravnog rada programa koristi se simulacija. Na ovaj način koriste se funkcije koje simuliraju rad nekakvog procesa, te daju aproksimativnu vrijednost. Na temelju takove vrijednosti može se vidjeti ponašanje programa u određenim slučajevima, te detektirati moguće anomalije u radu.

Unutar programa postoje dva simulatora koja simuliraju razinu fluida u spremniku i temperaturu fluida.

Simulacija razine fluida unutar spremnika izrađena je na principu matematičkog modela promjene visine fluida unutar spremnika dok je simulacija temperature fluida vremensko pojačanje.

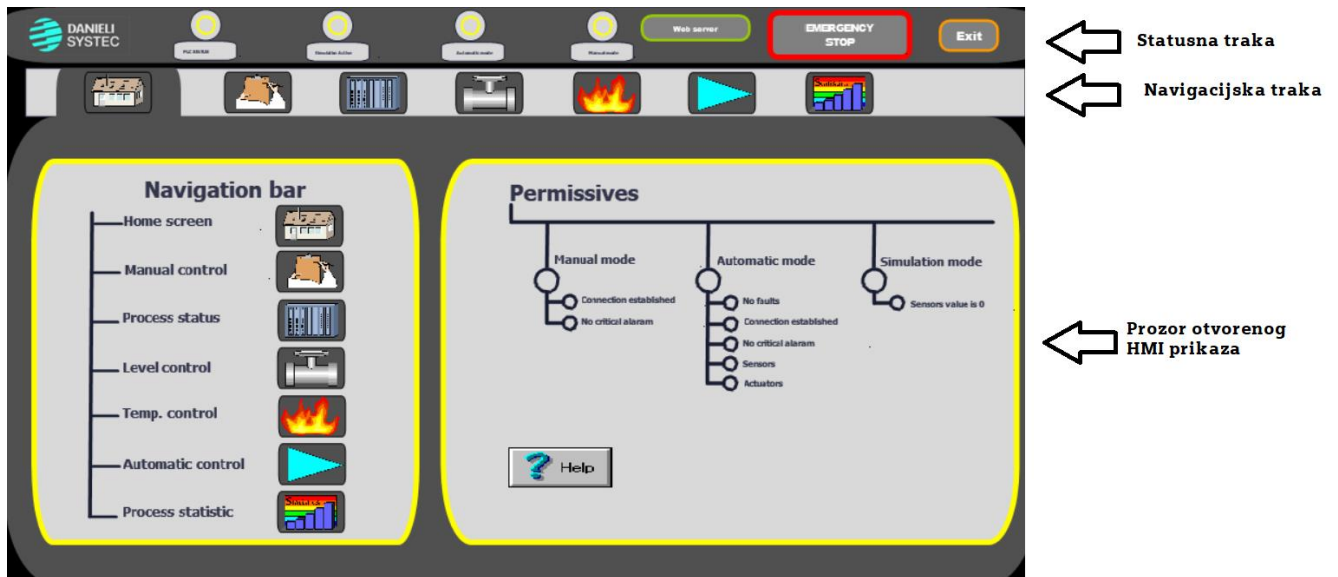
3.8. Upute korištenja makete

Kroz ovo poglavlje prikazat će se HMI te moguće opcije kojima se može nadzirati i upravljati maketom. HMI je izrađen po uzoru na Danieli 3Q HMI koji se koristi u Sisku gdje su neke moguće opcije korištene i u HMI od makete vodenko.

HMI se sastoji od 7 različitih prozora koje nude drugačiji način upravljanja i prikaz vrijednosti pa se tako HMI sastoji od sljedećeg:

- Početni zaslon
- Pregled vrijednosti senzora te stanja aktuatora
- Pregled statusa PLC-a i njegovih modula
- Upravljanje i nadzor razine fluida
- Upravljanje i nadzor temperature fluida
- Potpuno upravljanje
- Pregled vrijednosti kroz vrijeme

Uz spomenute zaslone HMI se sastoji i od skočnih prozora koji predstavljaju upozorenja te pregled dozvola za dopuštenje rada određenog objekta.

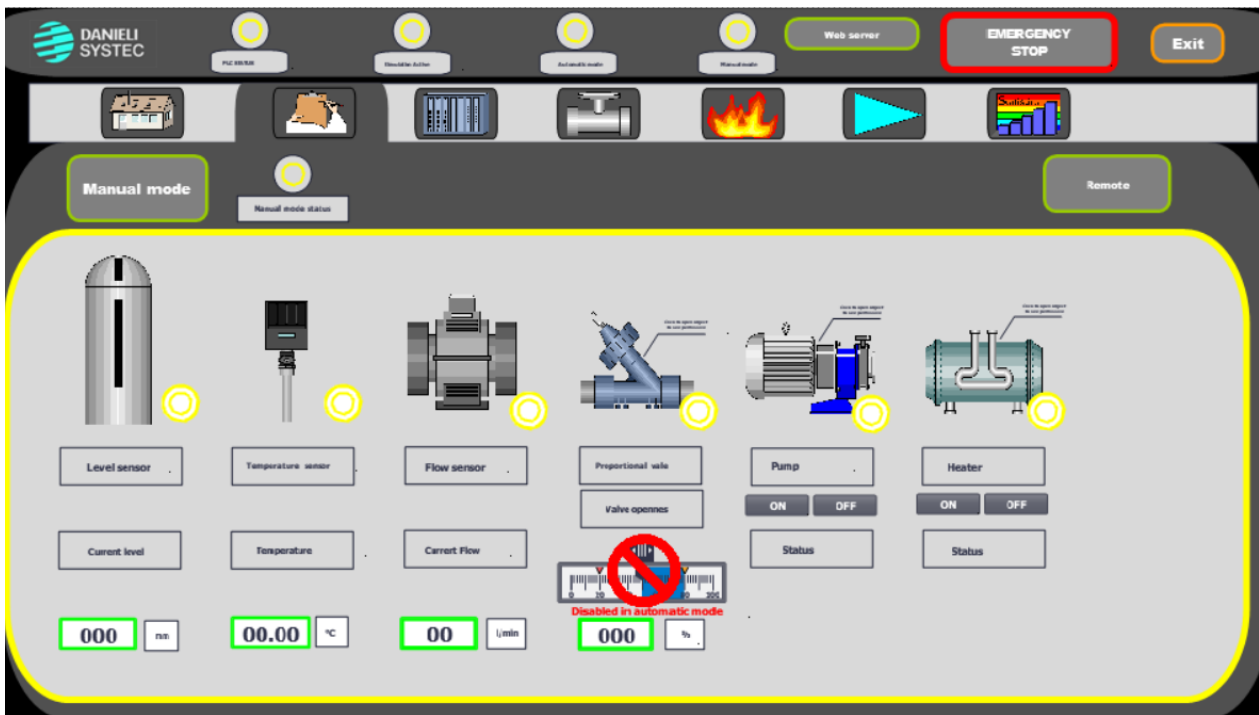


Slika 3.9 Opis dijelova početnog zaslona

Sa slike 3.9 prikazan je početni prikaz HMI-a. Jedan takav prikaz sastoji se od statusne trake, navigacijske trake i prozora otvorenog HMI prikaza. Statusna traka i navigacijska traka su na svakom prikazu isti. Unutar statusne trake nalazi se logo tvrtke Danieli systec, statusi, dugme za mogućnost upravljanja putem web servera, dugme za zaustavljanje makete u nuždi i dugme za zatvaranje HMI-a. Statusi koji se prikazuju unutar statusne trake su:

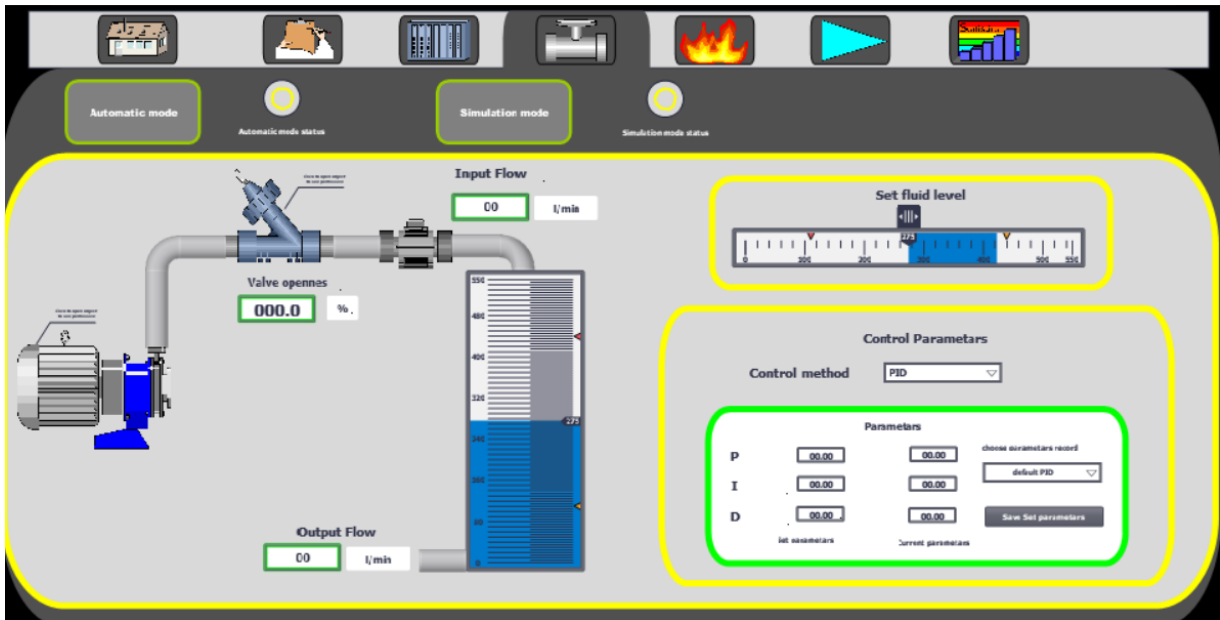
- Status konekcije HMI-a i PLC-a
- Status simulacije
- Status automatskog načina rada
- Status manualnog načina rada

Početni prikaz daje objašnjenje značenja ikona u navigacijskog traci, te se može pristupiti prikazu pritiskom na ikonu. Isto tako prikazane su dozvole koje su potrebne kako bi maketa mogla biti u određenom modu rada.



Slika 3.10 Zaslona za manualno upravljanje

Sljedeći prikaz je pregled vrijednosti senzora i statusi aktuatora koja se može vidjeti sa slike 3.10. Ovaj prikaz namijenjen je za lakše određivanje pregleda konekcije između PLC-a i senzora, te za manualno upravljanje i pregled ispravnosti rada senzora i aktuatora. Unutar prozora može se vidjeti ikona koja predstavlja senzor ili aktuator te vrijednost koju taj senzor daje na izlazu. Može se vidjeti i dugme zelenog okvira koje uključuje Siemensovu SmartClient opciju te dopušta udaljeni pristup HMI-u putem računala ili mobilnog uređaja koji ima instaliranu Smart client aplikaciju. Pomoću udaljenog načina moguće je provjeriti rad senzora ili aktuatora, te provjeriti vrijednosti bez da se otići provjeriti na HMI-u sa stolnog računala. Veoma efikasna opcija koja se može koristiti prilikom provjere ispravnosti rada senzora i aktuatora tako da osoba može cijeli HMI imati sa sobom na mobilnom uređaju. Pritiskom na ikonu ventila, pumpe ili grijača otvara se skočni prozor s trenutnim prikazom dozvola za rad određenog uređaja.



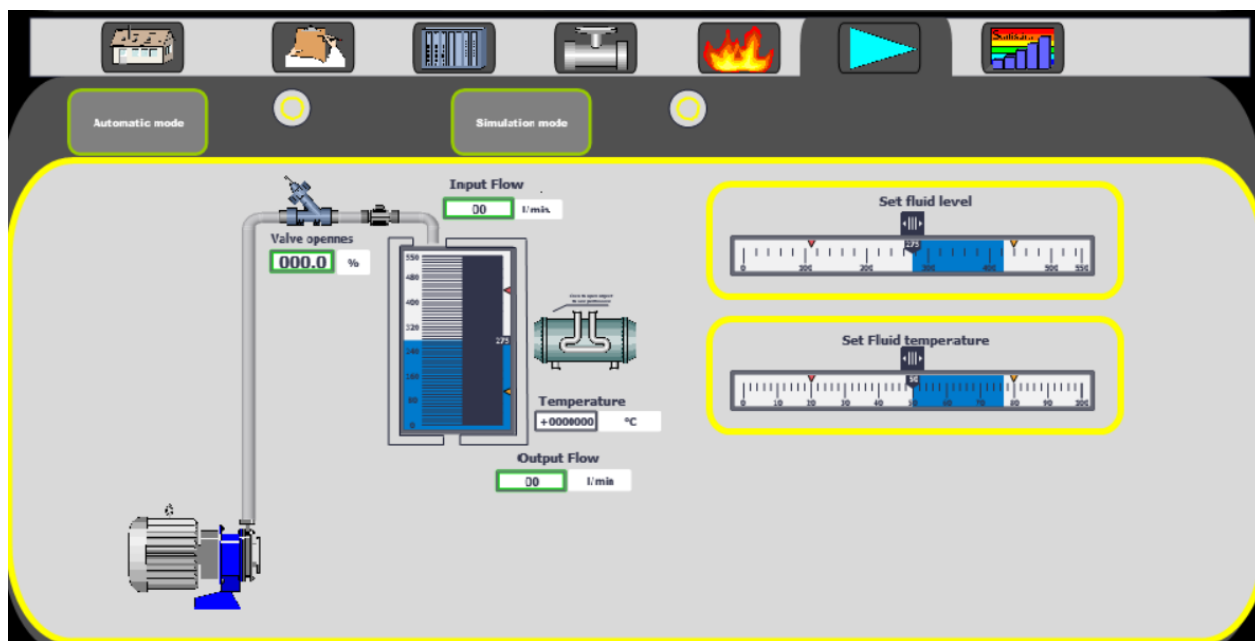
Slika 3.11 Zaslou za upravljanje razinom fluida u spremniku

Razina fluida u spremniku može se upravljati iz dva prozora a to su prozori koji se otvaraju u navigacijskoj traci s ventilom i plavim trokutom koji predstavljaju upravljanje i nadzor fluida te potpuno upravljanje. Sa slike 3.13 prikazan je prozor upravljanja i nadzora fluida gdje se može vidjeti animacija punjenja spremnika s lijeve strane te parametri s desne strane prozora. Unutar animacije punjena mogu se vidjeti i vrijednosti otvorenosti ventila, ulazni protok u spremnik koji se dobije pomoću mjerača protoka te izlazni protok iz spremnika koji se dobiva izračunom na temelju trenutne razine fluida u spremniku. S desne strane nalaze se dva manja prozora. U gornjem prozoru postavlja se željena razina fluida dok se u donjem može mijenjati način upravljanja razinom fluida u spremniku te parametri upravljanja.

Odabirom željenog načina upravljanja razinom fluida mijenja se donji desni prozor u kojemu se nalaze parametri toga načina upravljanja te za određeni način se može promijeniti sljedeće :

- PID regulator - može se podesiti proporcionalni, derivacijski i integralni parametri
- Matematički model - nema nikakva dodatna podešavanja
- PID regulator s matematičkim modelom - moguće je podesiti udio koji PID regulator ispravlja
- Neizrazita logika - podešavanje širine određenog dijela neizrazite logike

Osim upravljanja razinom fluida u spremniku omogućeno je i upravljanje željenom temperaturom fluida. Pritiskom na ikonu vatre u navigacijskoj traci otvara se prozor sličan slici 3.10 za upravljanje temperature fluida. U ovome prozoru nema dodatnih mogućnosti nego samo pregled trenutne vrijednosti temperature fluida, te klizač za postavljanje željene vrijednosti temperature fluida. Upravljanje temperaturom fluida unutar makete je izveden na jednostavan način gdje se motri temperatura dobivena sa senzora, te se ona pokušava održati u nekakvom intervalu koji je za 5 °C manji od zadane temperature do granice koja je za 5 °C veća od zadane temperature.



Slika 3.12 Zaslona potpunog upravljanja maketom

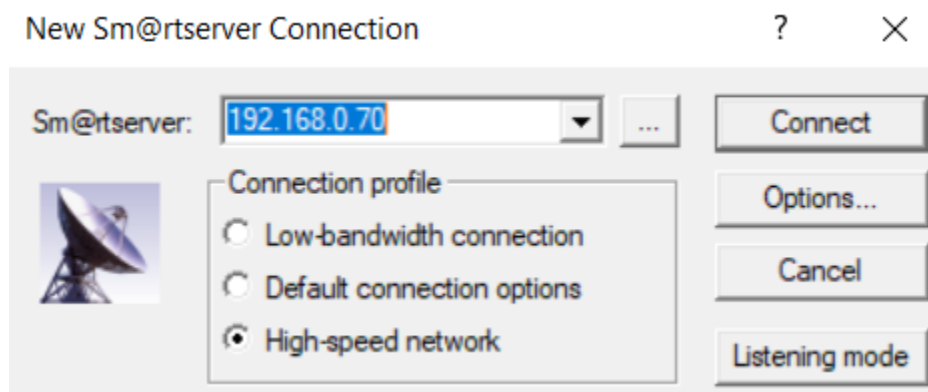
Sa slike 3.12 može se vidjeti zaslon za potpuno upravljanje koje na sebi ima upravljanje razinom fluida i upravljanje temperaturom fluida u spremniku. Unutar ovoga zaslona ostavljene su samo osnovne mogućnosti a to su postavljanje željene razine, te praćenje procesnih vrijednosti kako bi sam zaslon bio jednostavan. Isto kao i kod prethodnih zaslona pritiskom na aktuator može se dobiti informacija o dozvolama za rad.

Zadnji element u navigacijskoj traci predstavlja pregled vrijednosti kroz vrijeme gdje se snimaju vrijednosti i ispisuju na ekran. Pomoću ovoga prikaza može se vidjeti odziv temperature fluida i razine fluida u spremniku na promjenu željene vrijednosti.

3.9. Udaljeni način rada

Kako je spomenuto u prošlom poglavlju unutar makete postoji i udaljeni način rada za prikaz i upravljanje parametrima makete. Uz udaljeni način rada tu je i web server način koji dopušta pregled vrijednosti te uz dopuštenje od operatera na HMI dopušta i promjene u vrijednostima.

Udaljeni način rada koristi funkciju od Siemens-a koja se naziva *SmartClient* koja duplicira HMI na svoj server. Koristeći ovu opciju moguće se na HMI povezati pomoću drugog računala, tableta ili mobitela što ovu mogućnost čini praktičnom. Postavljanje servera mora se omogućiti iz hardverske konfiguracije te HMI mora imati mogućnost *Smartclient*. Kada se u hardverskoj konfiguraciji omogućilo kreiranje servera potrebno je podesiti parametre na način da se otvori Smart server konfiguracija na mjestu gdje je HMI kao što je prikazano slikom 3.13

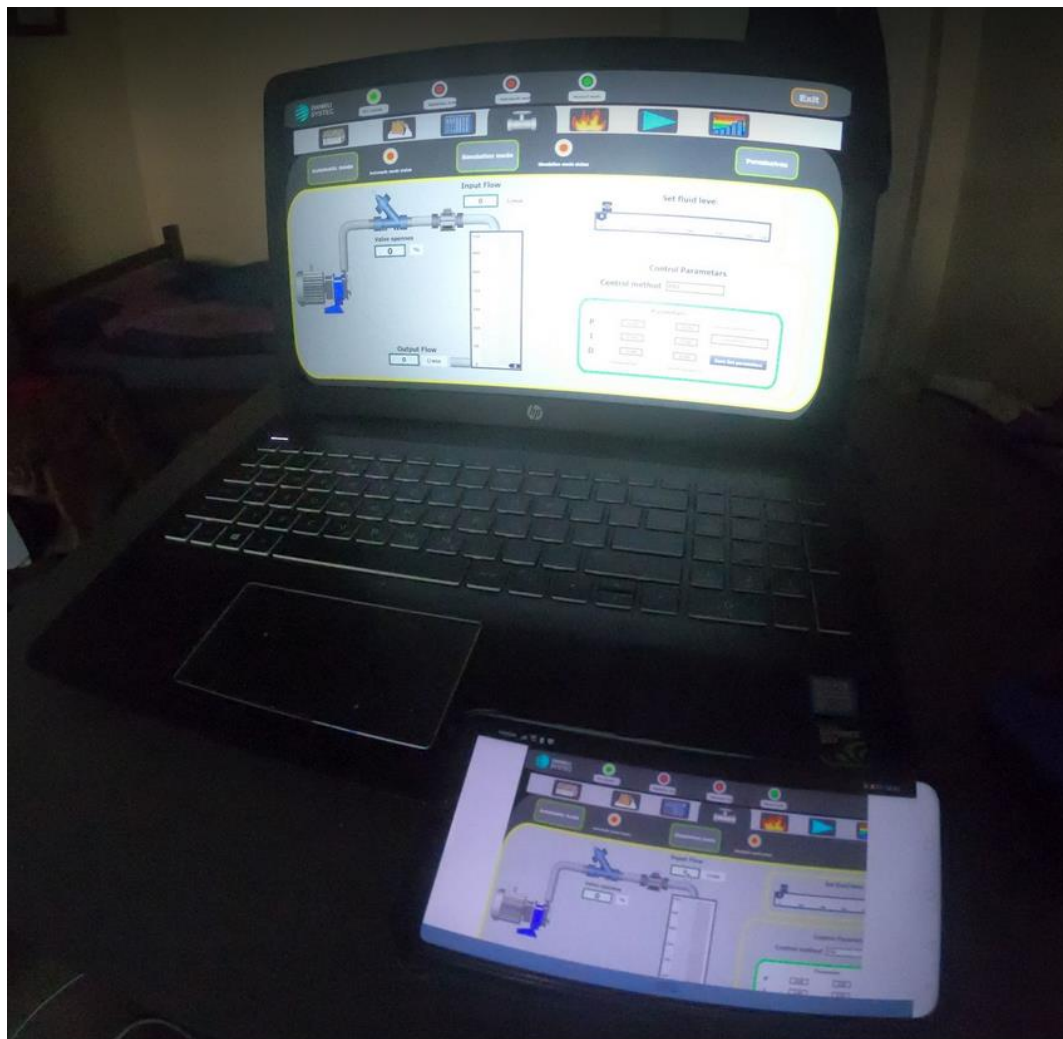


Slika 3.13 Postavljanje Smart servera

Smart server ima svoju IP adresu na koju se spajaju uređaju putem aplikacije *Smartclient* koja je dostupna za tablete i mobilne uređaje ili putem web preglednika na način da se unese IP (engl. *Internet protocol*, Skraćeno IP) adresa u preglednik.

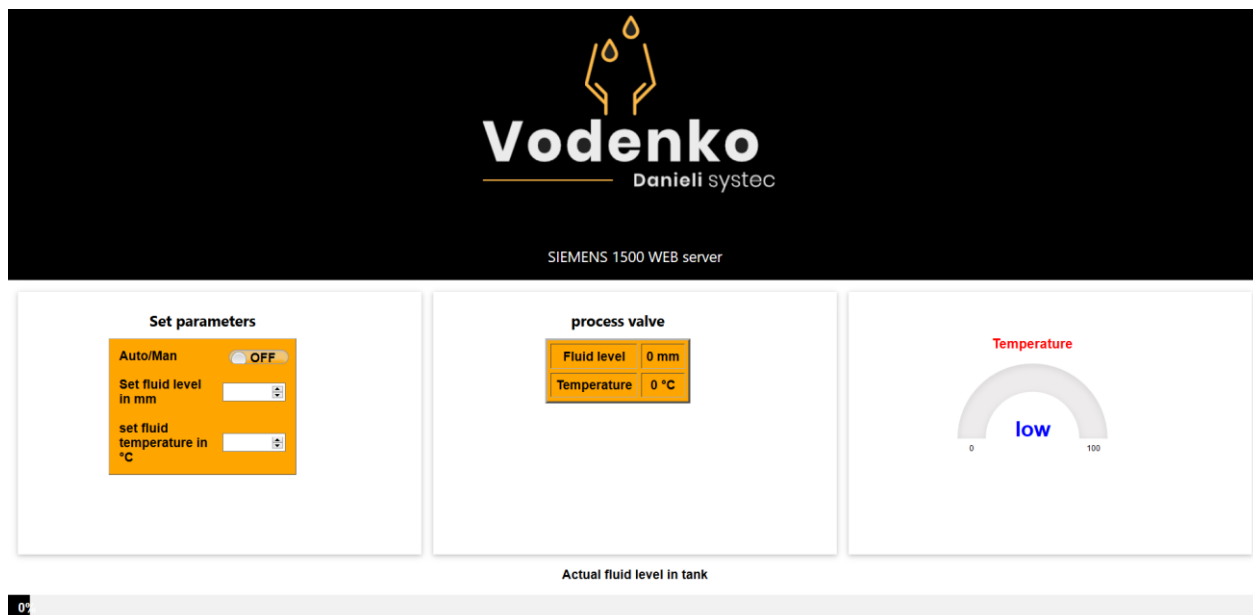
Smart server ima mnogo opcija koje se mogu podesiti. Neke od tih opcija su mogućnosti u slučaju da je spojeno više uređaja na server te načini kojim će se tada koristiti server.

Na slici 3.14 može se vidjeti kako izgleda korištenje *Smartclient* aplikacije i stvarnog HMI-a. Pomicanjem kursora na mobilnom uređaju pomiče se cursor i na HMI-u. Ovaj način upravljanja maketom je nepogodan za kompleksne zadatke, te složenije vođenje procesa ali mu je velika prednost nadzor i upravljanje procesa s više mjesta te se tako može otići do procesa i na uređaju imati pregled vrijednosti koji senzori očitavaju.



Slika 3.14 Udaljen način rada koristeći mobilni uređaj

Drugi udaljeni način upravljanja procesom je pomoću web servera. Neki od verzija Siemens PLC-a mogu imati web stranicu. Unutar te web stranice moguće je vidjeti status procesa, modula PLC-a te alarme koji se događaju ili su se dogodili. Procesne vrijednosti se mogu čitati bez autorizacije, no Siemens radi sigurnosti zahtjeva stavljanje korisnika sa mogućnošću pisanja u bazu podataka te je istom korisniku potrebna lozinka. Ukoliko nema korisnika kojem je dozvoljeno pisanje u bazu podataka, pisanje u bazu podataka nije moguće. Izgled web stranice prikazan je slikom 3.15. na kojoj se vidi logo makete, postavljanje parametara, procesne vrijednosti za temperaturu i razinu fluida unutar spremnika, te animacije promjene temperature u vremenu i postotka napunjenosti spremnika.



Slika 3.15 izgled web stranice za upravljanje maketom

Web stranica napisana je u HTML (engl. *HyperText Markup Language*, skraćeno HTML) jeziku s nekoliko *javascript* funkcija. Za izradu web stranice koristi se CSS biblioteka te funkcije koje čine ovu web stanicu responzivnom, te je na taj način prikladna za mobilne uređaje i tablete.

Ukoliko se žele koristiti podaci zapisani od korisnika s web stranice potrebi je s HMI-a dozvoliti opciju web server koja će tada koristiti podatke s web servera za željenu razinu fluida u spremniku i temperature fluida. Ukoliko se žele koristiti podaci zapisani od korisnika sa web stranice potrebo je sa HMI-a dozvoliti opciju web server koja će tada koristiti podatke sa web servera za željenu razinu fluida u spremniku i temperature fluida.

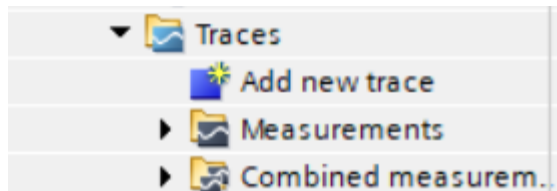
Udaljeni način upravljanja i povezivanje uređaja na internet je jedna od prednosti koje donosi pokret internet stvari (engl. *Internet of things*) od čega je i započeo razvoj industrije 4.0. Ovakav način koristi se za razmjenu podataka, praćenje proizvodnog procesa i praćenje samog proizvoda unutar nekog pogona te se omogućava udaljeni nadzor nad procesom. Udaljeni način otvara mnoge nove mogućnosti koje se pružaju u svrsi povećavanja usluga klijenta, proizvođača, te kupca.

3.10. Nadzor i prikupljanje podataka sa makete

Nadzor i prikupljanje podataka je jedna od bitnih provjera sustava kako bi se ustanovilo radi li ispravno. Najčešći način provjere ispravnosti rada sustava je provjera njegovog konačnog rezultata ali ako taj rezultat nije zadovoljavajući, tada se snimaju odzivi procesnih veličina unutar sustava te se obrađuju podatci. U proizvodnom procesu, a pogotovo u industriji čelika događaju se promjene ispod jedne sekunde koje imaju veliki utjecaj u proizvodnom procesu. Kako bi se mogle vidjeti, te promjene koriste se alati za snimanje podataka.

Jedan od alata koji se koristi u industriji naziva se IBA. Ovaj alat ima mogućnost snimanja odziva, te se koristi kako bi se brzi procesi analizirali. Stručnjaci koriste ovaj alat kako bi detektirali anomalije unutar rada sustava te pomoću ovoga alata pronašli rješenje kako da se stroj podesi kako bi sustav radio zadovoljavajuće. Primjer korištenja ovoga alata je praćenje brzine reakcije sustava na dane promjene.

TIA portal u svojim novijim verzijama nudi besplatni alat za snimanje podataka koji se naziva *Trace*. Korištenje alata slično je IBA alatu te je isto tako moguće snimiti veoma brze odzive. Mana ovoga alata je da je *Trace* alat kompatibilan samo sa



Slika 3.16 Opcija Trace u TIA portalu

novijem verzijama PLC-a a to su Siemens S7 1200 i Siemens S7 1500. Sa slike 3.16 može se vidjeti alat, te opcije koje taj alat nudi. Kako bi se snimala vrijednost potrebno je dodati vrijednosti koje se žele snimati za vrijeme rada na način da se pritisne dodati novi trag (engl. *add new trace*). Nakon toga otvara se prozor u kojem se dodaju vrijednosti koje se žele snimati, te ovisnosti vrijednosti koje se žele prikazati.

Unutar HMI postavljen je sustav za prikaz mijenjanja vrijednosti u vremenu. Alat kojim se to omogućilo naziva se *Trend View* unutar kojeg se prikazuje promjena razine fluida u vremenu, Odnos željene vrijednosti i stvarne vrijednosti razine fluida u spremniku, te odnos željene temperature fluida u odnosu na mjerenu temperaturu fluida. Na ovaj način korisnik HMI može vidjeti kako se vrijednost mijenja u vremenu, te tako podesiti parametre upravljanja ventilom ili grijačem.

Svi navedeni alati imaju opciju ispisivanja mjerenih podataka i grafova koji se mogu analizirati nekim drugim alatima za obradu podatka.

3.11. Sigurnost unutar rada makete

Unutar svakog industrijskog pogona mora biti određena razina sigurnosti kako za čovjeka koji radi u pogonu pa tako i za sam stroj kako bi se izbjeglo nestručno rukovanje i moguće oštećenje stroja. Iz ovoga razloga nastali su sustavi zaštite kojima je glavni cilj detektirati moguću grešku u sustavu te pravovremeno upozoriti operatera. U industriji je veliki gubitak kada proizvodnja stoji, te se iz toga razloga koriste i više vrsta alarma koji imaju sljedeća značenja:

- Upozorenje
- Uzbuna
- Sigurnosna sklopka

Upozorenje se oglašava kada se događaju greške u sustavu ili su neke vrijednosti ispod normalnih ali su i dalje u području gdje se može nastaviti rad sustava. Operateru dolazi alarm koji ga upozorava na problem, te mu prikazuje koji problem je sustav sigurnosti detektirao. Nakon rješavanja problema moguće je ugasiti upozorenje koje je sustav sigurnosti upalio

Uzbuna (engl. *Alarm*) označava kako su vrijednosti sustava pale ispod dozvoljene vrijednosti ili se proizvodni sustav oštetio do granice gdje više nije siguran za rad. Kada se uzbuna oglasi proizvodni sustav prestaje s radom te se sigurnosni sustav može ugasiti tek kada se poprave problemi koje je taj sustav detektirao.

Sigurnosna sklopka (engl. *emergency button*) poznata pod imenom gljiva je dugme kojim se isključuje proizvodni sustav u najkraćem mogućem roku. Ovakva sklopka služi za isključivanje sustava prilikom nesreće.

Unutar makete vodenko postoji razina sigurnosti koja ne dozvoljava aktuatorima na makete rad ako nisu ispunjeni uvjeti za rad. Potrebni uvjeti mogu se prikazati pritiskom na ikonu aktuatora. Ako se dogodi greška maketa prestaje s radom te se čeka otklanjanje problema kako bi se rad makete mogao nastaviti. Program bilježi vrijeme uzbune te grešku koja se dogodila te se ta uzbuna sprema u bazu podataka iz koje se može vidjeti povijest uzbuna. Sigurnosna sklopa je u sklopu HMI-a na statusnoj traci uokviren crvenom bojom kako bi se isticalo u odnosu na druge objekte na prozoru.

Maketa daje upozorenje ukoliko su vrijednosti u blizini maksimalne moguće dok su ostali kvarovi poput gubitka konekcije sa senzorom uzbune koje ne dopuštaju rad određenog dijela makete.

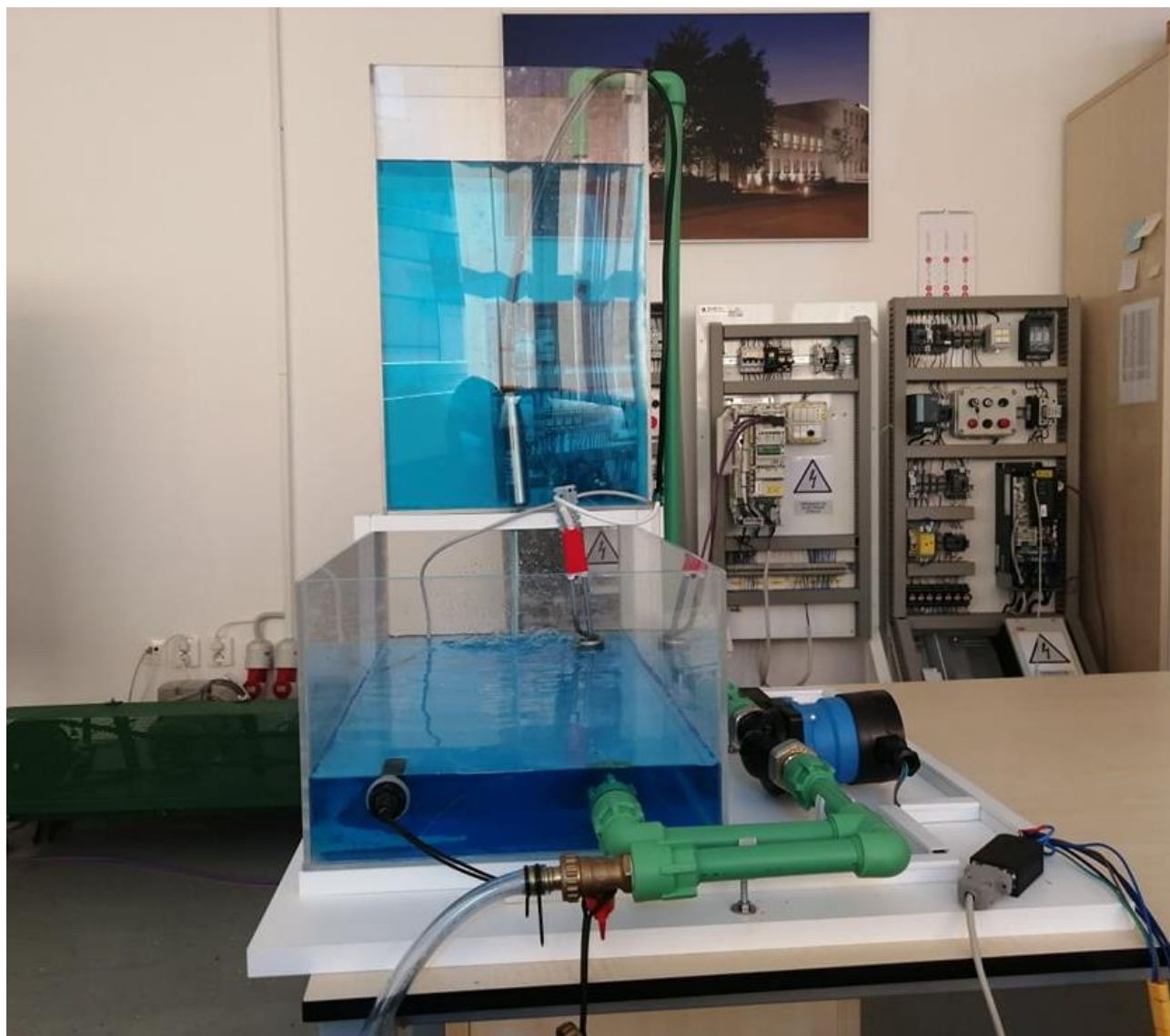
Ukoliko bi se dodatno povećala sigurnost ali i efikasnost makete moguće je dodati mjere kojima bi se to postiglo. Jedan od načina je ugradnja sustava za toleriranje kvarova s kojom bi se omogućio neprekidan rad, bolja sigurnost i efikasnost sustava. Najčešći sustavi toleriranja kvarova jesu topla aktivna i hladna pričuva. Topla pričuva je rad dva ili više uređaja paralelno te ukoliko se jedan uređaj pokvari sustav nastavlja s radom i oslanja se na preostale uređaje. Hladna pričuva predstavlja isto tako više uređaja, no samo jedan uređaj radi, te ako se detektira kvar na tom uređaju on se izbacuje iz rada, te se uključuje u rad uređaj koji je u pričuvi.

Još jedan način zaštite sustava od uzbune pa time i prekida rada jesu programski senzori (engl. *software sensor*). programski senzor je virtualni senzor koji aproksimira vrijednosti senzora, te je veoma pogodna zamjena na određeni vremenski period ako dođe do kvara stvarnog fizičkog senzora. Na ovaj način može se nastaviti proizvodnja, te se operateru oglašava upozorenje i vremenski period koliko se aproksimira dovoljno dobri rezultati soft senzora za taj sustav

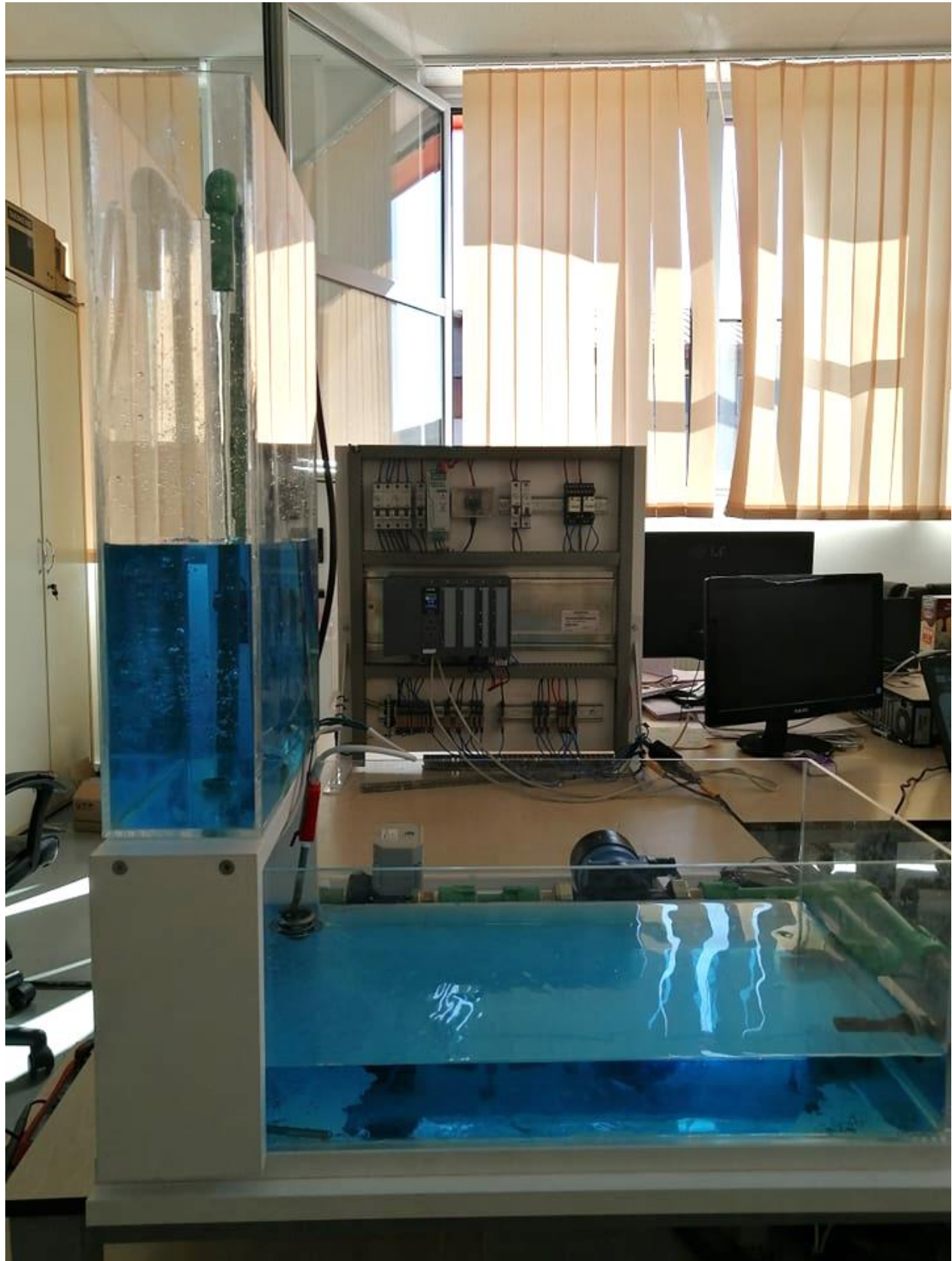
Može se vidjeti kako ima više načina zaštite sustava od ispadanja i kvarova te je svaki specifičan za određenu namjenu. Maketa zbog svoje jednostavnosti ima samo osnovnu zaštitu.

4. TESTIRANJE RADA MAKETE

Testiranje rada makete provodi se na dva dijela, a to je testiranje upravljanja razine fluida i upravljanje temperaturom fluida unutar spremnika. Testiranja se provode u automatskom načinu rada, te se za određenu metodu upravljanja snima odziv koji predstavlja ovisnost napunjenosti spremnika u vremenu te temperature fluida u vremenu. Iz tih ovisnosti može se dobiti određeni podaci iz kojih se može zaključiti zadovoljava li odziv zahtjeve koji su zadani. Sa slike 4.1. može se vidjeti konačni izgled makete za vrijeme testiranja.



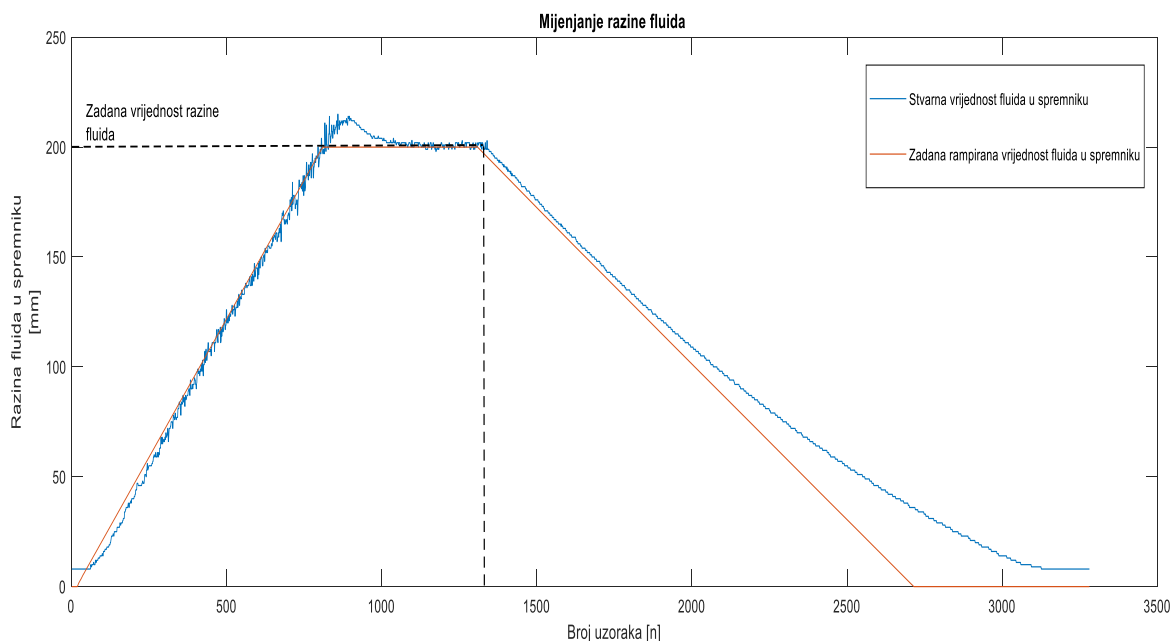
Slika 4.1. Konačni izgled makete



Slika 4.2. Konačni izgled makete sa upravljačkim panelom

4.1. Testiranje sustava upravljanja razine fluida

Kod testiranja upravljanja razine fluida u spremniku koristi se električna pumpa, ventil, mjerac protoka, te mjerac razine fluida. Upravljanje ventilom moguće je sa četiri već spomenuta načina pomoću kojih se dobivaju različiti odzivi. Glavni, a ujedno i način koji dostigne željenu vrijednost u najkraćem roku je PID regulator. Kako bi se povećala točnost PID regulatora vrijednost zadane razine se obrađuje funkcijom rampe te se na taj način smanjuje greška nadvišenja nastala punjenjem integralnog dijela regulatora. U automatici se na ovaj način predviđa odziv sustava te se s PID regulatorom samo nastala pogreška prilikom praćenja predviđanja kretanja.

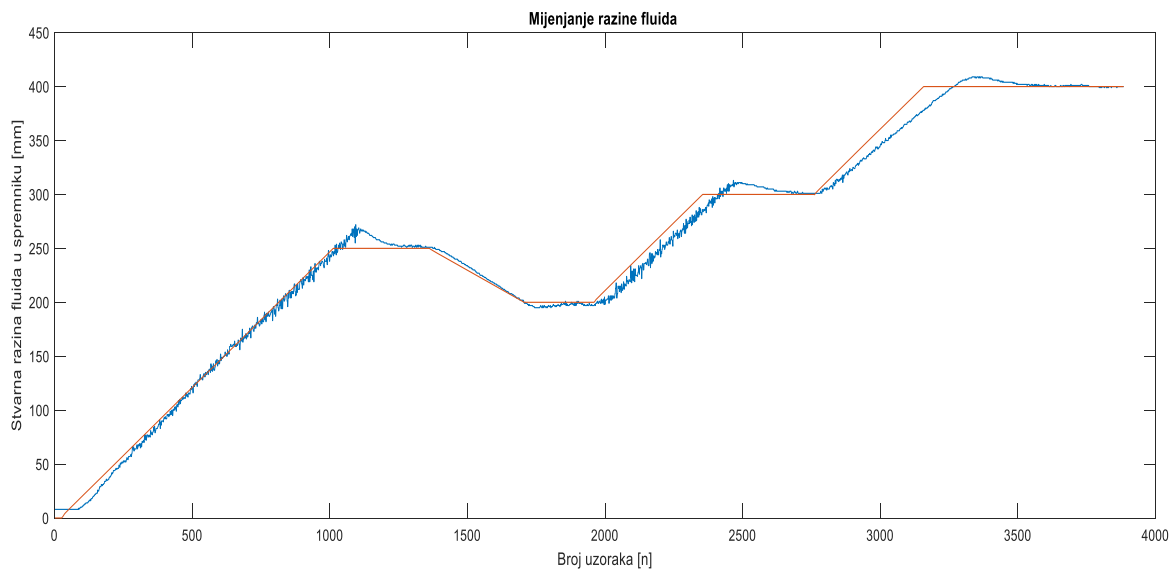


Slika 4.3. Ovisnost promjene razine fluida u vremenu

Mijenjanjem parametara može se dobiti određeno nadvišenje, vrijeme do zadane vrijednosti ili vrijeme dok se vrijednost ne stabilizira. Sa slike 4.3. može se vidjeti odziv optimalnih parametara PID regulatora gdje se postavlja razina fluida na 200 mm te se prilikom stabilizacije vraća na 0 mm. Prilikom punjenja fluida nastaje šum u mjerenju koji je posljedica mlaza ulaznog protoka kojeg pumpa pravi. Dio šuma otklonio se postavljanjem filtera koji usrednjava vrijednosti, ali u stvarnosti bi se morao postaviti bolji filter. Prilikom smanjivanja fluida iz spremnika protok izlaznog protoka iz glavnog spremnika se smanjuje te se tako krivulja zadane i stvarne razine fluida odvajaju. Važno je spomenuti kako je uvijek prisutno malo fluida točnije 7 mm visine fluida. Kod snimanja procesnih vrijednosti TIA portal može spremati određen broj uzoraka te je potrebno voditi brigu o brzini promjene te podesiti koliko često se treba spremati vrijednost. Snimljene procesne

vrijednosti mogu se izvesti u datoteku zarezom odvojene vrijednosti ili CSV (engl. *Comma-separated values*, skraćeno CSV) te se ta datoteka može koristiti za detaljniju obradu.

Parametri koji se podese mogu se spremati na način da se stisne tipka za spremanje te se P,I i D parametri spremaju u recepte za PID regulator koji se mogu koristiti u budućnosti za upravljanje maketom.



Slika 4.4. Ovisnost promjene razine fluida u vremenu za više zadanih vrijednosti

Slika 4.4. prikazuje odziv za više zadanih vrijednosti razine fluida. Prva zadana razina je 250 mm gdje se vidi slična karakteristika kao i s prethodne slike. Sljedeća zadana razina je 200 gdje se dobro aproksimirao pad fluida te je PID regulator morao minimalno ispravljati nastale greške. Zadnja promjena koja je s 300 mm na 400 mm prikazuje loše praćenje zadane vrijednosti gdje je PID regulator morao kompenzirati grešku. Ova pogreška nastala je zbog toga što je se razina fluida smanjivala kako bi se stabilizirala na 300 mm te se u tom vremenu dogodila promjena zadane vrijednosti na 400 mm. Za vrijeme pražnjenja integralnog dijela dogodilo se kašnjenje za zadanom razinom fluida koju je PID regulator pokušavao dostići.

Ostali načini imaju sporije vrijeme postizanja vrijednosti do zadane te neki načini upravljanja imaju određeno stalno odstupanje od zadane razine što za neke precizne procese može predstavljati problem. Načini koji imaju zadano stalno odstupanje su upravljanje neizravnom logikom i upravljanje modelom. Isto tako važno je spomenuti kako jedino dva načina upravljanja mogu kompenzirati smetnje unutar reguliranja razine fluida u spremniku, a ta dva načina su PID regulator te matematički model u kombinaciji s PID regulatorom.

4.2. Testiranje sustava upravljanja temperature fluida

Kako je električni grijač male snage zagrijavanje fluida u ovom slučaju je veoma spor proces. Upravljanje temperaturom unutar makete izvodi se pomoću električnog grijača i senzora temperature. Oko 30 l fluida potrebno je zagrijati pomoću električnog grijača te kako je fluid stalno cirkulira tako se i hladi što otežava zagrijavanju. Između senzora i električnog grijača napravljen je vodeni tok nastao od dotoka vode iz glavnog spremnika te usisavanja električne pumpe te se time postiglo gibanje fluida te senzor dobiva podatak stvarne temperature fluida unutar makete. Ipak, fluid unutar makete nema istu temperaturu na svim mjestima te je u glavnom spremniku fluida fluid nešto hladniji nego u rezervoaru.

Proces grijanja kako je spomenuto je dug proces te je potrebno oko 5 min da se dogodi promjena od svega nekoliko stupnjeva. Ovakav sustav je prikladan za održavanje topline fluida.

4.3. Testiranje sigurnosnog sustava

Pod sigurnosni sustav podrazumijeva se ispravan rad prikaza dozvola za rad, alarma u radu te rad sigurnosne sklopke. Potrebno je bilo odrediti vrijednosti koje će PLC čitati u slučaju kada je senzor odspojen, kada modul nije napojen te ostale anomalije koje se mogu dogoditi. Na taj način može se detektirati smetnja te prijaviti sustavu problem te se u programu postoji logika koja o problemu izvještava korisnika.

Testiranjem je potvrđeno kako rastom fluida preko određene razine u glavnom spremniku se isključuje pumpa, a pregrijavanjem fluida do određene temperature se isključuje grijač. Isto tako ako je senzor koji detektira minimalnu razinu fluida izgubio kontakt jer je razina fluida ispod dozvoljene, isključuju se električna pumpa i električni grijač.

5. ZAKLJUČAK

Za ostvarivanje konačnog cilja ovog diplomskog rada bilo je potrebno izraditi maketu pripreme fluida i sustav za upravljanje, nadzor i prikupljanje podataka. Priprema fluida znači održavanje zadane razine fluida unutar glavnog spremnika te održavanje zadane temperature fluida. Zadane vrijednosti dobivaju se iz udaljenog načina upravlja i nadzora ili putem HMI-a u kojem se nalazi veliki broj mogućnosti za upravljanje maketom. Uz pripremu fluida izrađeni su i sustavi za sigurnost rada koji služe kako bi detektirali i spriječili moguće kvarove i opasnosti koji se mogu dogoditi tijekom pripreme fluida.

Osnovni način rada cjelokupnog sustava pripreme fluida može se opisati na sljedeći način. Unutar jednog ciklusa rada makete, PLC prikuplja sve podatke sa senzora te podatke s HMI u kojem dobiva informaciju o vrijednostima koje operater želi postići. Nakon prikupljenih podataka ti podatci se obrađuju te se obrađene vrijednosti prosljeđuju na aktuatora, a statusi i vrijednosti senzora se prosljeđuju na HMI radi prikaza stanja unutar makete. Nakon poslanih upravljačkih signala aktuatori djeluju na procese u maketi te se događaju određene promjene koje se detektiraju. Ciklus rada makete se ponavlja stalno te kada se postignu zadane vrijednosti tad nastupa održavanje tih vrijednosti gdje se neprestano motre vrijednosti, te se djeluje na aktuatora na način kako bi procesne vrijednosti ostale onima koje su zadane.

Procesne vrijednosti se prikupljaju i spremaju te se korisniku prikazuju krivulje koje prikazuju ovisnost mijenjanja procesnih veličina u vremenu zajedno sa krivuljom koja prikazuje mijenjanje zadane vrijednosti u vremenu. Pomoću ove mogućnosti otvoreni su načini za dodatno unaprjeđivanje pripreme fluida mijenjajući određene parametre.

Ovakav sustav može se dodatno nadograđivati kako bi se dobile nove opcije upravljanja maketom te što bliže prikazali stvarnu složenost sustava koji se koriste u industriji. Dodavanjem više pumpi i grijača moguće je produljivanje životnog vijeka makete, te ubrzavanje trajanja procesa pripreme fluida. Moguće je unaprjeđivanje i s programskog aspekta gdje se može napraviti logika upravljanja za bolje upravljanje, te upravljanje u slučaju kvara. Primjer tome su programski senzori koji su sve češći u industriji, te mogu biti zamjena senzora koji ne postoje ili onih koji su u kvaru.

LITERATURA

- 1) N. Perić, I. Petrović, Procesna automatizacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, veljača 2013
- 2) J. Petrić, Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012
- 3) Obujam ili volumen, "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na: www.enciklopedija.hr, 2016.
- 4) Temperatura, dostupno na : <https://hr.wikipedia.org/wiki/Temperatura>
- 5) Bernoulijeva jednadžba, dostupno na :
https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/Bernoulli.html
- 6) Torricijev zakon, dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Torricelijev_zakon
- 7) R.C. Panda *Introduction to PID Controllers - Theory, Tuning and Application to Frontier Areas*, Central Leather Research Institute, India dostupno na:
<https://www.intechopen.com/books/introduction-to-pid-controllers-theory-tuning-and-application-to-frontier-areas/theory-of-pid-and-fractional-order-pid-fopid-controllers>
- 8) R. Paz, *The Design of the PID Controller*, Klipsch School of Electrical and Computer Engineering, Lipanj 12, 2001, dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/237528809_The_Design_of_the_PID_Controller/link/004635360fa1ebdf63000000
- 9) N. Perić, Automatsko upravljanje, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2005
- 10) *Siemens Simatic S7 manual*, dostupno na: www.Siemenssupply.com
- 11) *Siemens Simatic S7 1500 system manual*, dostupno na:
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/86140384/simatic-s7-1500-et-200mp-manual-collection?dti=0&lc=en-WW>
- 12) D. Filko, T. Keser, D. Slišković, Industrijska automatizacija - Priručnik za laboratorijske vježbe, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2019
- 13) T. Sadmi, *Lecture introduction to PLC*, MME 486. 2016
- 14) *Siemens Simatic S7 1500 analog input module AI 8xU/I/RTD/TC ST (6ES7531-7KF00-0AB0)*, Priručnik za analogni ulazni modul, dostupno na:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/205/59193205/att_112065/v1/s71500_ai_8x_u_i_rtd_tc_st_manual_en-US_en-US.pdf

- 15) Komunikacija u industriji prezentacija od tvrtke Danieli systec
- 16) Hidraulička jedinica, Filip Videković, Travanj 2018.
- 17) I. Belai, P. Drahoš, *The industrial communication system PROFIBUS and PRFInet*, Istraživački rad, *Slovak University of Technology*, Bratislava, 2009
- 18) *Profibus i Profinet*, dostupno na : <https://realpars.com/difference-between-profibus-and-profinet/>
- 19) Profinet komunikacija, dostupno na : <https://learn.realpars.com/products/profinet-quick-start>
- 20) Proizvođači PLC-a, dostupno na: <https://realpars.com/plc-manufacturers/>
- 21) *Siemens S7-400 manual*, Priručnik za Siemens S7-400, dostupno na: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/849/1117849/att_23817/v1/424ish_e.pdf
- 22) HMI, dostupno na: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-template-suite.html>
- 23) Tvrtka Danieli, dostupno na: www.danieli.com
- 24) Komunikacija uređaja u SCADA sustavu, dostupno na: <https://realpars.com>
- 25) S. Jenčić, *Industrijske računalne mreže*, Sveučilišni odjel za Stručne studije, Split 2015
- 26) K. A. Tehrani¹, A. Mpanda, *Pid control theory*, *University of Nancy, Teaching and Research at the University of Picardie, France*, 2012

POPIS KRATICA

PLC	Programabilni logički upravljač (engl. <i>programmable logic controller</i>)
HMI	Sučelje čovjek stroj (engl. <i>Human machine interface</i>)
CPU	Centralno procesorska jedinica (engl. <i>central processing unit</i>)
PS	Napajanje modula (engl. <i>Power supply</i>)
PID	Proporcionalno, integralno i derivacijski (engl. <i>proportional–integral–derivative</i>)
LAD	Ljestvičasti dijagrami (engl. <i>Ladder diagram</i>)
STL	Strukturirana lista (engl. <i>Statement list</i>)
FBD	Funkcijski blok diagram (engl. <i>Function bloc diagram</i>)
SCL	Strukturirani kontrolni jezik (engl. <i>Structured Control Language</i>)
SFC	Sekvencijalni grafovi funkcija (engl. <i>Sequential function charts</i>)
CFC	Kontinuirani grafovi funkcija (engl. <i>Continuous function chart</i>)
TIA	Potpuno integrirana automatizacija (engl. <i>Totally integrated automation</i>)
NC	Normalno zatvoreni kontakti (engl. <i>Normally closed</i>)
NO	Normalno otvoreni kontakti (engl. <i>Normally open</i>)
DAC	Digitalno analogni konverter (engl. <i>Digital to analog converter</i>)
<i>GND</i>	Uzemljenje (engl. <i>Ground</i>)
PWM	pulsno širinske modulacije (engl. <i>Pulse width modulation</i>)
NTC	Negativni temperaturni koeficijent (engl. <i>Negative temperature coefficient</i>)
PTC	Pozitivni temperaturni koeficijent (engl. <i>Positive temperature coefficient</i>)
SCADA	Sustav za praćenje i prikupljanje podataka (engl. <i>Supervisory control and data acquisition</i>)
SQL	Strukturni jezik upita (engl. <i>Structured Query Language</i>)
IOT	Internet stvari (engl <i>internet of things</i>)
IP	Internetski protokol (engl. <i>Internet protocol</i>)
HTML	Prezentacijski jezik za izradu web stranica (engl. <i>HyperText Markup Language</i>)
CSV	Zarezom odvojene vrijednosti (engl. <i>Comma-separated values</i>)

SAŽETAK

Cilj diplomskog rada bio je izraditi maketu jednostavnog sustava za pripremu fluida, upravljački panel na kojem se nalazi procesno računalo s ostalim potrebnim komponentama i sučelje za nadzor i upravljanje procesnim vrijednostima unutar makete. Nadzor i upravljanje maketom moguće je pomoću HMI sučelja koje je ujedno i glavni način nadzora i upravljanja, ali maketom se može upravljati i na dva udaljena načina. Prvi udaljeni način upravljanja nadzora koristi Siemensovu aplikaciju koja se može koristiti na prijenosnim računalima ili mobilnim uređajima dok je drugi udaljeni način upravljanja i nadzora web stranica. Koristeći HMI sučelje izrađena je aplikacija gdje je mogući odabir načina upravljanja, izmjena parametara upravljanja, pregled statusa i dozvola za rad, te mnoge druge opcije koje se koriste u industriji.

Upravljački panel izrađen je na osnovu izgleda industrijskog upravljačkog ormara u kojem se nalaze sve potrebne komponente koje su potrebne za upravljanje i prikupljanje podataka. PLC je dio na upravljačkom panelu zadužen za prikupljanje, obradu i slanje podataka, te je povezan s računalom, maketom i internetskom mrežom. Izrađen je program za PLC koji će uzimati podatke sa sučelja za nadzor i upravljanje, te podatke s makete i na temelju tih ulaznih podataka podesiti svoje izlazne signale koji se šalju prema maketi i sučelju za nadzor i upravljanje. Osnovni način upravljanja je korištenje PID regulatora čiji izlazni signal se koristi za generiranje upravljačkog signala.

Maketa za pripremu fluida se sastoji od dvije grupe, a to su senzori i aktuatori. Aktuatori su električna pumpa, električni grijač i proporcionalni ventil dok su senzori uređaji za mjerenje temperature, razine fluida i protoka. Problematika makete je održavanje fluida u spremniku koji ima otvor na dnu te održavanje temperature fluida uz sustave za sigurnost.

Ključne riječi: PLC, HMI, Siemens, PID regulator, maketa za pripremu fluida

ABSTRACT

Title: Fluid preparation plant automation model based on industry 4.0 principles

The aim of the thesis was to create a model of a simple fluid preparation system, a control panel with a process computer with other necessary components and an interface for monitoring and managing process values within the model. Monitoring and control of the model is possible using the HMI interface, which is also the main way of monitoring and management, but the model can be managed in two remote ways. The first remote monitoring method uses a Siemens application that can be used on laptops or mobile devices while the second is a remote management and monitoring website. Using the HMI interface, an application was created where it is possible to select management modes, change management parameters, view status and operating permits, and many other options used in the industry.

The control panel is made based on the layout of the industrial control cabinet, which contains all the necessary components needed for management and data collection. The PLC is the part of the control panel in charge of collecting, processing and sending data and is connected to the computer, the model and the Internet. A PLC program has been created that will take data from the monitoring and control interface and data from the model, and based on this input data adjust its output signals that are sent to the model and the monitoring and control interface. The basic way of control is to use a PID controller whose output signal is used to generate a control signal.

The model consists of two groups, namely sensors and actuators. Actuators are an electric pump, an electric heater and a proportional valve while the sensors are devices for measuring temperature, fluid level and flow. The problem with the model is the maintenance of fluid in the tank that has an opening in the bottom and the maintenance of fluid temperature with safety systems.

Keywords: PLC, HMI, Siemens, PID controller, model for fluid preparation

ŽIVOTOPIS

Marin Čereg rođen je 9. travnja 1994. godine u Požegi. Živi u Požegi gdje je završio Osnovnu školu "Dobriša Cesarić" te Srednju Tehničku školu, smjer Tehničar za računarstvo. Nakon završetka srednje škole upisuje stručni studij Elektrotehnike smjer Automatika na fakultetu Elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Za vrijeme studiranja sudjeluje u projektu izrade 3D printera i za svoj završni rad na stručnom studiju izrađuje funkcionalnu multitrotorsku vertikalno potisnu letjelicu. Po završetku stručnog studija upisuje razlikovne obveze te se prebacuje na smjer Računarstvo gdje nakon razlikovnih obveza upisuje diplomski sveučilišni studij, izborni blok Procesno računarstvo. Tijekom studiranja na diplomskom studiju počinje raditi u osječkom uredu tvrtke Danieli systec te je bio demonstrator na kolegiju Industrijska informatika.

PRILOZI

- P.1 TIA portal projekt, nalazi se na CD-u
- P.2 Projekt Web stranice za Siemens PLC, nalazi se na CD-u
- P.3 Sheme makete i upravljačkog panela u EPLAN-u, nalazi se na CD-u
- P.4 Popis komponenti makete i upravljačkog panela, nalazi se na CD-u