Regulacija temperature u industrijskoj kotlovnici primjenom Simatic 1500 kompaktnog regulatora

Huis, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:660886

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

REGULACIJA TEMPERATURE U INDUSTRIJSKOJ KOTLOVNICI PRIMJENOM SIMATIC 1500 KOMPAKTNOG REGULATORA

Diplomski rad

Petar Huis

Osijek, 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Zadatak diplomskog rada 2

2. POSTROJENJE ZA ZAGRIJAVANJE VODE 3

2.1. PT 100 sonda 6

2.2. Troputi ventil 8

2.3. Model regulacijskog kruga za regulaciju temperature vode 10

3. OPREMA ZA REALIZACIJU SUSTAVA UPRAVLJANJA I NADZORA 12

3.1. Način rada PLC-a 13

3.2. Simatic S7-1500 15

3.3. Korisnički program TIA Portal 17

3.3.1. PID Compact 21

3.3.2. Metode samopodešenja PID compact regulatora 24

4. POSTUPAK SINTEZE PID REGULATORA 27

4.1. PID regulator 28

4.2. Ziegler-Nichols metoda 31

4.3. Relejni postupak 33

5. REZULTATI SIMULACIJE I MJERENJA 35

5.1. Rezultati simulacija 35

5.1.1. Implementacija ZN metode na simulatoru 36

5.1.2. Simulacija s Pretuningom PID regulatora 39

5.1.3. Simulacija s Fine Tuningom PID regulatora 40

5.2. Rezultati mjerenja 41

5.3. Rasprava 43

6. ZAKLJUČAK 44

LITERATURA 45

SAŽETAK 46

ABSTRACT 47

ŽIVOTOPIS 48

1. UVOD

Tijekom posljednja dva stoljeća, ulaskom u industrijsko doba, industrija je sve više napredovala te je tako od korištenja temeljnih načela mehanike, pneumatike i hidraulike krajem 19. stoljeća došlo do povećane primjene elektrotehnike u mehanizaciji i automatizaciji rada. Tek razvitkom elektrotehnike u 20. stoljeću, za automatiku postaje najvažnija elektronika pomoću koje se uvode tranzistori, integrirani sklopovi pa samim time i programabilni digitalni uređaji koji dovode do modernog računalnog sustava u 21. stoljeću [1]. U današnje vrijeme, gotovo je nemoguće zamisliti postrojenje bez nekog oblika automatizacije. Samim razvojem industrije, u određenim tehnološkim procesima javlja se potreba za toplom vodom koja se dobiva iz kotlovnice. Kotlovnica je sustav u kojem se zagrijava voda energetskim procesom sagorijevanja plina, loživog ulja, ugljena ili pak primjenom električnih grijača, te se u konačnici dobivena topla voda raspoređuje po krugovima grijanja prema potrebi.

U ovom je radu obrađena realizacija sustava upravljanja industrijskom kotlovnicom pomoću Simatic 1500 kompaktnog PID regulatora. Kako bi se dobio model procesa prvo je obrađena strojarska shema kotlovnice te su identificirani mjerni i izvršni članovi te je cijeli proces opisan jednadžbama. Nakon toga određuje se oprema za realizaciju upravljanja, kako hardver tako i softver. Potom su određene metode sinteze regulatora koje su korištene prilikom podešavanja regulatora te su u konačnici provedena mjerenja i simulacije.

U drugom poglavlju analizirana je strojarska shema postrojenja iz koje je vidljivo o kakvom se sustavu radi te su opisani neki bitni elementi sustava. Kroz poglavlje realizacija sustava upravljanja obrađen je programski paket TIA Portal te programabilni logički kontroler (u nastavku PLC) koji je korišten. Četvrto poglavlje daje uvid u postupak sinteze regulatora te objašnjava postupke sinteze korištene u ovom radu. Prikaz rezultata simulacije i mjerenja kao i rasprava što je postignuto ovim radom pokriva peto poglavlje.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Zadatak ovog rada je izraditi upravljanje industrijskom kotlovnicom s fokusom na PID regulaciju temperature u krugu grijanja. Potrebno je opisati i analizirati postrojenje industrijske kotlovnice te pojasniti princip rada pojedinih mjernih i izvršnih elemenata. Treba opisati opremu za realizaciju sustava (PLC Simatic 1500), kao i postupak sinteze regulatora. Iz zahtjeva treba izraditi upravljački program za postrojenje s posebnim fokusom na postupak samo-prilagodbe PID regulatora (auto-tuning). Na kraju, potrebno je opisati puštanje postrojenja u rad, prikazati rezultate mjerenja u postrojenju te prodiskutirati što je postignuto ovim radom.

Budući da kotlovnica ima više identičnih regulacijskih krugova, potrebno je opisati samo jedan.

2. POSTROJENJE ZA ZAGRIJAVANJE VODE

Industrijska kotlovnica obrađena u ovom radu koristi se za višenamjensko grijanje, od prostorija i industrijskog procesa, pa sve do bazenske vode. Fotografija kotlovnice, odnosno krugova grijanja prikazana je na slici 2.1.



Slika 2.1. *Krugovi grijanja u kotlovnici*

Oko svih cijevi i spojeva obavezno dolazi toplinska izolacija kako bi se smanjili gubici topline koja bi se predala okolini, odnosno kotlovnici. Razlika u temperaturi prostorije s i bez izolacije na cijevima je izuzetno velika, preko 10 °C, što govori o količini topline koja se gubi kada nije postavljena izolacija. Na slici su vidljive crpke koje crpe vodu kroz krugove grijanja, PT 100 sonde kao i troputi ventili. Također su vidljivi analogni uređaji koji prikazuju trenutni tlak u pojedinom krugu grijanja.

Na slici 2.2. prikazan je jedan krug grijanja sa svim svojim elementima, crpkom, troputim ventilom i PT 100 sondom, koja je u ovom krugu postavljena na dva mjesta kako bi mjerila temperaturu i polazne i povratne vode.



Slika 2.2. *Jedan krug grijanja*

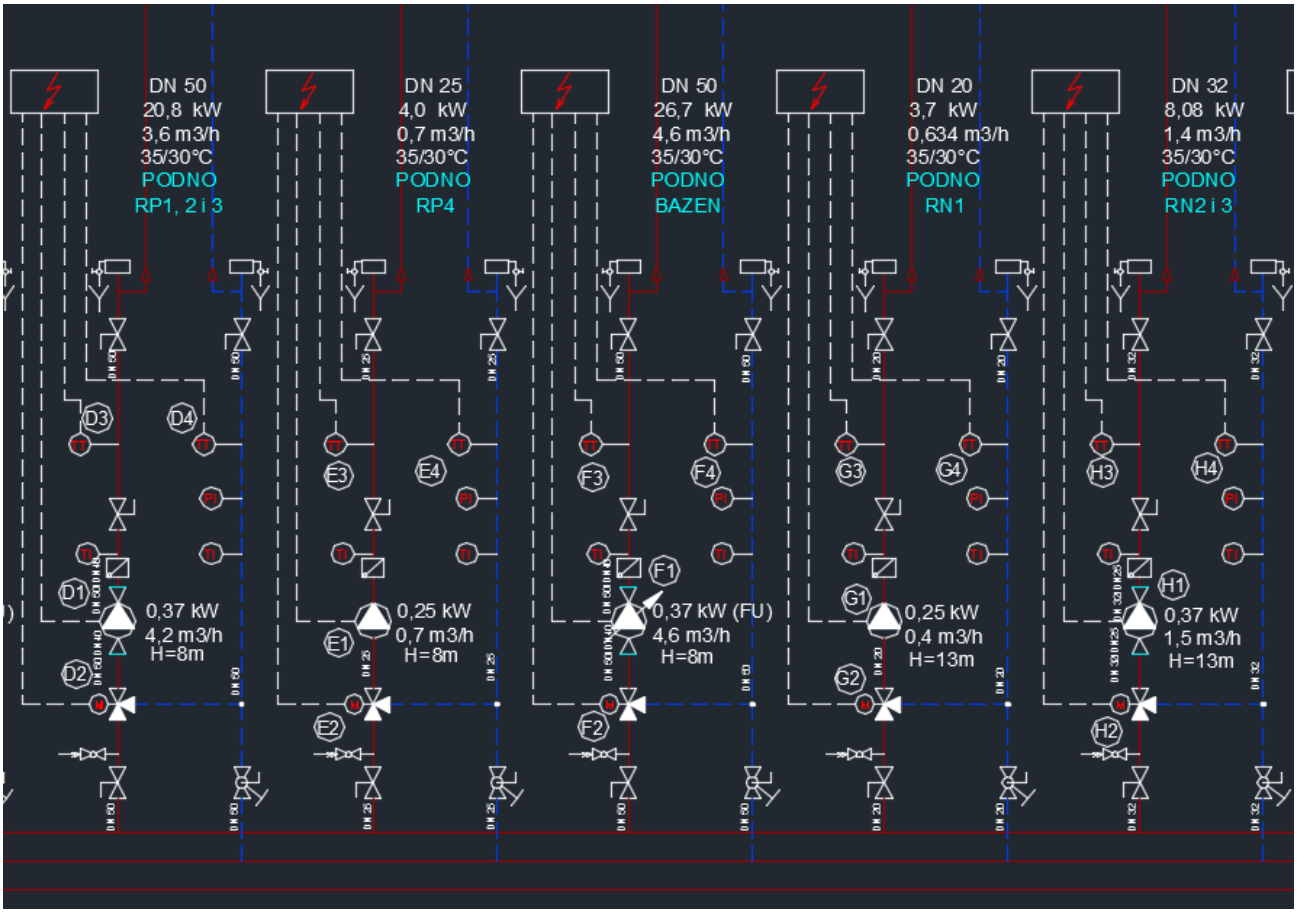


Slika 2.3. *Bojler i ekspanzijska posuda*

Na slici 2.3. prikazani su bojler i ekspanzijska posuda. U kotlovnici su postavljena 2 električna bojlera koji pretežno služe za zagrijavanje sanitarne vode budući da je potreba za toplom vodom velika, a postoji mogućnost ako bioplinsko postrojenje stane zbog kvara ili nekog drugog razloga, tada bojleri preuzimaju ulogu kotla i griju vodu za sve krugove grijanja.

Uloga ekspanzijske posude u ovakvim postrojenjima je velika, jer prilikom zagrijavanja vode dolazi do povećanja volumena za otprilike 5% pri temperaturi od 80 °C. Ta pojava dovodi do povećanja tlaka u sustavu te se tada događa prelijevanje vode iz sustava u ekspanzijsku posudu preko membrane koja se potiskuje i propušta vodu u posudu, i tako se održava izjednačen tlak vode u cijelom sustavu.

Budući da je strojarska shema složena, na slici 2.4. prikazan je samo dio sheme s nekoliko krugova grijanja.



Slika 2.4. *Strojarska shema kotlovnice*

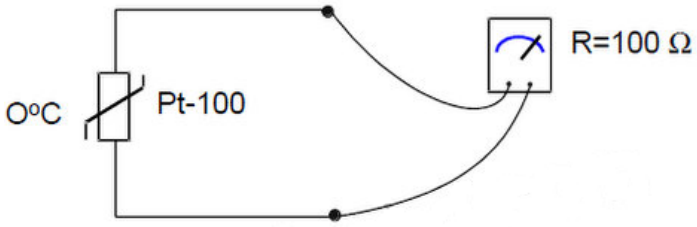
Dolazak tople vode osiguran je iz susjednog bioplinskog postrojenja koje ima višak toplinske energije (2x1,5MW toplinski), a kao rezerva u slučaju kvara te za grijanje sanitarne vode služe dva bojlera volumena 1.000 litara. Maksimalna temperatura dolazne tople vode je 85 °C, te se iste ili manje temperature raspodjeljuje po svim krugovima grijanja.

Bitni dijelovi kotlovnice za ovaj diplomski rad su crpke, troputi ventili te mjerna osjetila za temperaturu, PT 100 sonde. Sva tri dijela opisana su dalje u ovom poglavlju. Regulacija temperature u krugu grijanja postiže se otvaranjem odnosno zatvaranjem troputog ventila. Ako je zadana temperatura veća od mjerene, ventil se otvara i propušta toplu vodu iz kotla u krug grijanja koja u radijatoru predaje toplinu okolini, a nakon toga se vraća kao hladna voda nazad u proces. Kada dođe do situacije da je zadana temperatura manja od mjerene, tada se troputi ventil otvara tako da ne propušta toplu vodu iz kotla u krug grijanja, već propušta povratnu hladnu vodu koja zatim cirkulira u zatvorenom krugu dok se ne ostvari željena temperatura.

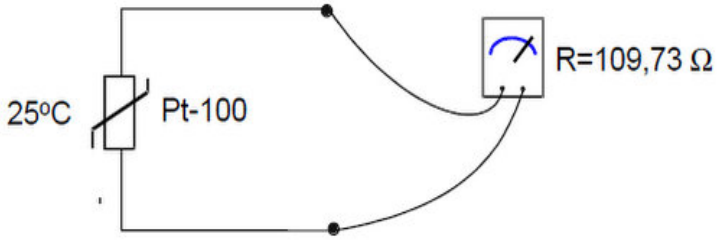
2.1. PT 100 sonda

PT 100 sonde su elementi koji služe za mjerenje temperature u industriji, a moguće je mjeriti temperaturu tekućine kao i temperaturu krutih tijela pa se koriste u kotlovnicama, pećima, za mjerenje temperature ležaja, raznim alatima itd.

Naziv PT 100 je dobiven od više informacija. Materijal korišten za senzor je platina (PT) dok je otpor sonde pri 0 °C točno 100 Ω. Način promjene otpora promjenom temperature prikazan je prikazan na slikama 2.5. i 2.6.

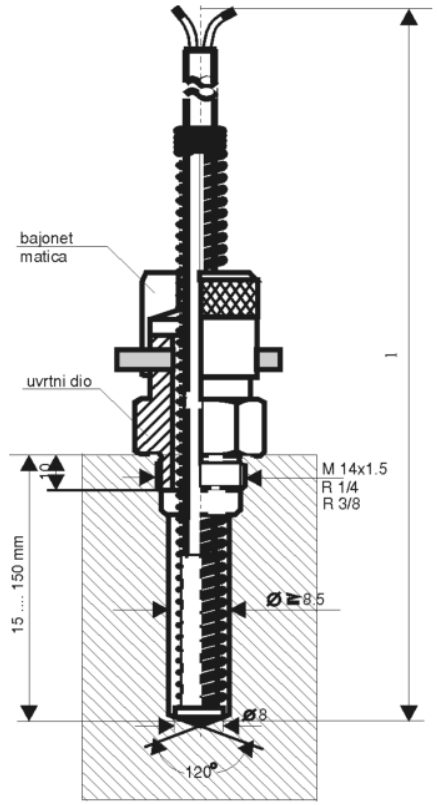


Slika 2.5. *Otpor PT 100 sonde pri temperaturi 0 °C*



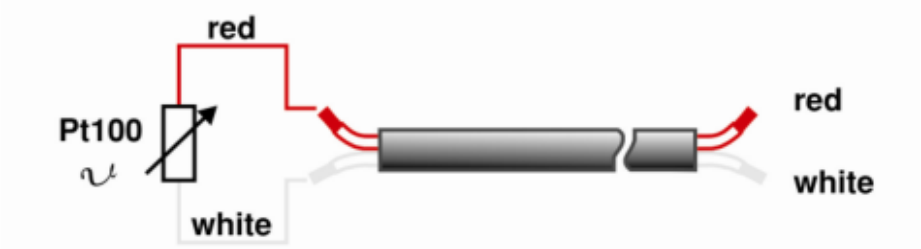
Slika 2.6. *Otpor PT 100 sonde pri temperaturi 25 °C*

Karakteristika PT 100 sonde je linearna, te je promjena otpora proporcionalna promjeni temperature mjerenog medija ili objekta. Slika 2.7. prikazuje presjek PT 100 sonde sa bajonetnim priključkom. Šrafirana površina predstavlja određeni medij ili objekt u koji se sonda uvrće. Bitno je da je ostvaren dobar fizički kontakt radi prijenosa topline kako bi stvarna temperatura medija ili objekta mijenjala otpor i time davala pravu informaciju o temperaturi.



Slika 2.7. *Presjek PT 100 sonde*

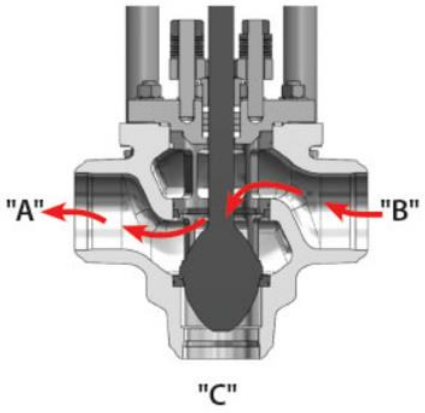
Načelna shema spajanja PT 100 sonde prikazana je na slici 2.8.



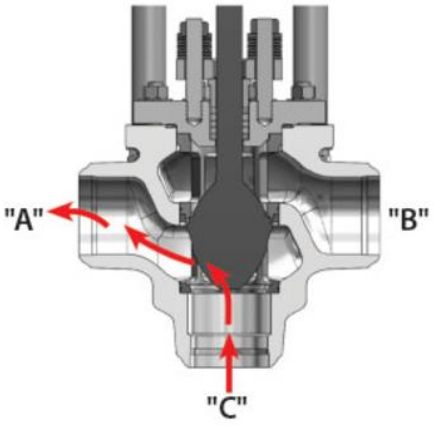
Slika 2.8. *Način spajanja PT 100 sonde*

2.2. Troputi ventil

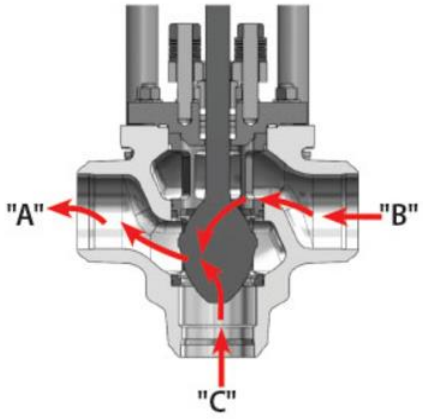
Troputi ventil koristi se većinom u krugovima grijanja gdje se temperatura vode regulira otvaranjem ili zatvaranjem ventila, odnosno dodavanjem povratne hladnije vode ili oduzimanjem iste. Način rada troputog ventila jasno se vidi u koracima na slikama 2.9, 2.10 i 2.11.



Slika 2.9. *Prvi položaj ventila [2]*



Slika 2.10. *Drugi položaj ventila [2]*



Slika 2.11. *Treći položaj ventila [2]*

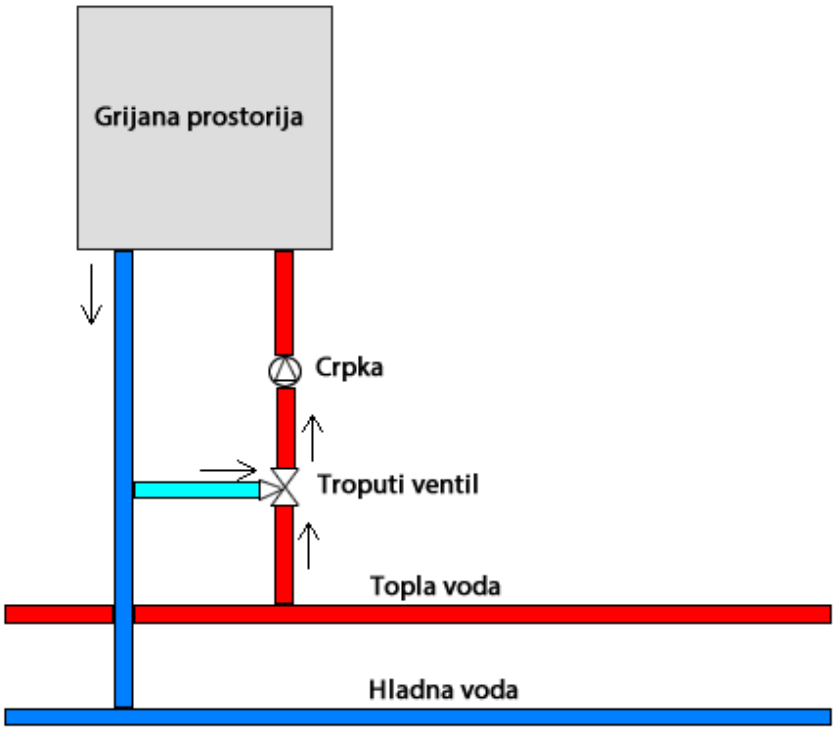
Kako bi bio približen način rada, kraticama A, B i C označeni su odlazni topli medij, dolazni topli medij, povratni hladni medij kako slijedi.

Prvim položajem ventila ostvaruje se nesmetani protok dolaznog toplog medija dalje u krug grijanja. Ako temperatura u krugu postane prevelika, zatvara se dovod toplog medija "B" i ujedno se otvara mogućnost cirkulacije povratnog hladnog medija u krugu grijanja koji tim putem smanjuje temperaturu u krugu grijanja. Treći korak predstavlja miješanje dolaznog toplog medija i povratnog hladnog medija kako bi se ostvarila optimalna temperatura u krugu grijanja uz minimalne troškove, osobito ako ima viška toplog medija [2].

Ventil je obično definiran pomoću vrijednosti [m^3/h] što predstavlja volumen vode koja prođe kroz potpuno otvoreni ventil tijekom jednog sata uz tlak od 1 bar. Mehanizam troputog ventila je obično pogonjen električki ili pneumatski.

2.3. Model regulacijskog kruga za regulaciju temperature vode

Isto kao što je opisan jedan krug grijanja, tako je i modeliran samo jedan krug grijanja jer bi modeliranje cijele kotlovnice izuzetno dugo trajalo i model bi bio složen. Na slici 2.12. predstavljeni su elementi modeliranog kruga.



Slika 2.12. *Načelna shema kruga grijanja*

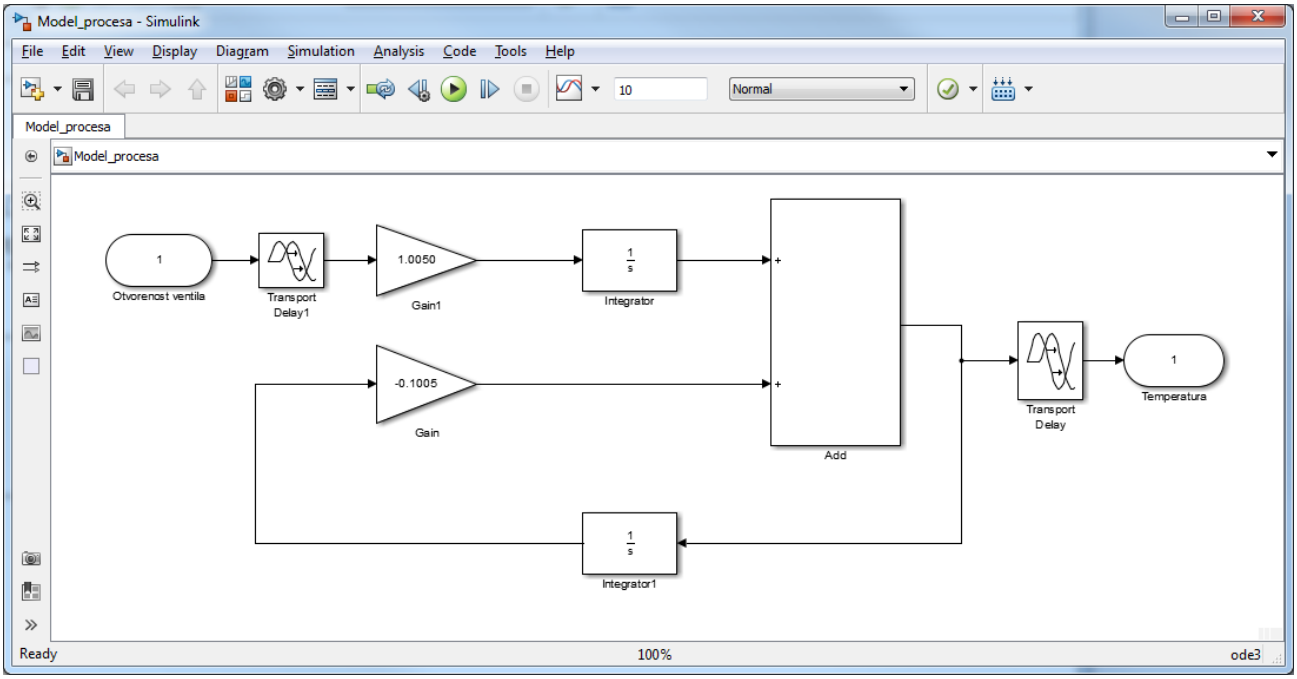
Sustav kruga grijanja modeliran je pomoću varijabli stanja u diskretnom sustavu:

$$T(k+1) = aT(k) + bV(k) \quad (2\text{-}1)$$

$$T(k) = T(k) + 0 \quad (2\text{-}2)$$

Budući da je ovaj proces prirodan, koeficijent a mora biti manji od 1, što znači da kada je ventil V zatvoren i nema protoka vode, temperatura u grijanoj prostoriji opada. Ako se ventil postepeno otvara, tada ovisno o njegovoj otvorenosti i protoku tople vode temperatura u prostoriji raste.

Simulink model procesa prikazan je na slici 2.12.



Slika 2.13. *Simulink model kruga grijanja*

3. OPREMA ZA REALIZACIJU SUSTAVA UPRAVLJANJA I NADZORA

Staru relejnu tehniku u većini automatiziranih postrojenja danas zamjenjuje PLC, budući da je jednostavniji, pouzdaniji, ima veliku brzinu odziva te ga je lako testirati i otkloniti bilo kakve greške. Jedna od najvećih prednosti PLC-a je modularnost i jednostavnost proširenja, uz to što su otporni na dosta visoke temperature, vibracije, udarce, električne smetnje i slično.

Većina Siemens PLC-a je modularna, što znači da se može po potrebi dodavati još I/O (*input/output*) kartica te samo nadograditi softver. Primjer takvih jedinica su S7-300, S7-400, S5-100U te S7-1200 i S7-1500 kao najnoviji modeli. Malo jednostavniji PLC sa svega nekoliko ulaza i izlaza koji služi za upravljanje jednostavnim i nezahtjevnim procesima je "Logo!". Neke izvedbe vidljive su na slici 3.1.



Slika 3.1 *Razne serije Siemens PLC-a [3]*

3.1. Način rada PLC-a

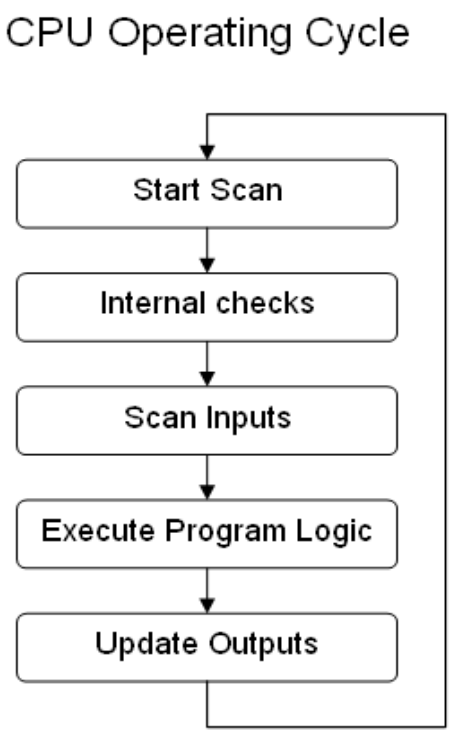
Glavni dio svake konfiguracije zasigurno je CPU (*engl. Central Processing Unit)* odnosno središnja jedinica za obradu. Ta jedinica zadužena je za obradu svih ulaznih podataka, upravljanje izlaznim podacima te sama po sebi vrši kontrolu rada sustava. CPU ima više mogućnosti rada, kao što su *programming mode* u kojem PLC dopušta komunikaciju s računalom kako bi se mogao snimiti program u memoriju, te *run mode* koji izvršava snimljeni program i prema tome postavlja izlaze u predviđena stanja.

Jednu cjelovitu konfiguraciju čini napajanje, CPU, te kartice za ulazima i izlazima. Sve to nalazi se na zajedničkom podnožju ili se spaja pomoću bočnih konektora i postavlja na DIN šinu kako bi konfiguracija bila čvrsta i kompaktna.

Na digitalne ulaze dovode se uređaji čija su moguća stanja 0 ili 1, odnosno otvoreni ili zatvoreni kontakti, npr. tipkala, krajnje sklopke, senzori itd. Najčešće se rado o naponu 24 V DC. Na analogne ulaze dovodimo napon ili struju koju analogna kartica pretvara u strujni signal koji može biti 0-20 mA (najčešće to bude 4-20 mA kako bi se razlikovala "0" signala (4 mA) i prekid komunikacije(0 mA)).

Što se tiče izlaza, oni također mogu biti digitalni i analogni. Digitalna izlazna kartica na svojim izlazima daje 0 ili 1 te se ovisno o tome dalje odvijaju radnje kao što su uklapanje releja, uključivanje svjetla, malih motora, upozorenja itd. Analogni izlaz pretvara digitalne vrijednosti iz PLC-a te ih skalira u vrijednostima 0-10 V ili 4-20 mA koji se nakon toga koriste za razne ventile, regulatore tlaka, određivanje položaja itd.

Na slici 3.2. vidi jedan ciklus koji PLC izvede u vrlo kratkom vremenu. Ciklus započinje startom programa nakon čega slijede provjere stanja unutarnje memorije i bitova u samom programu. Nakon toga se čitaju stanja digitalnih i analognih ulaza te se vrijednosti ulaza povezuju s programom pa se te vrijednosti prenose u program gdje ih je korisnik definirao. Potom se izvršava programska logika koju je korisnik napisao, odnosno što želi da PLC napravi s ulazima koje je pročitao te u konačnici PLC postavlja vrijednosti analognih i digitalnih izlaza u vrijednosti ovisne o programskoj logici.



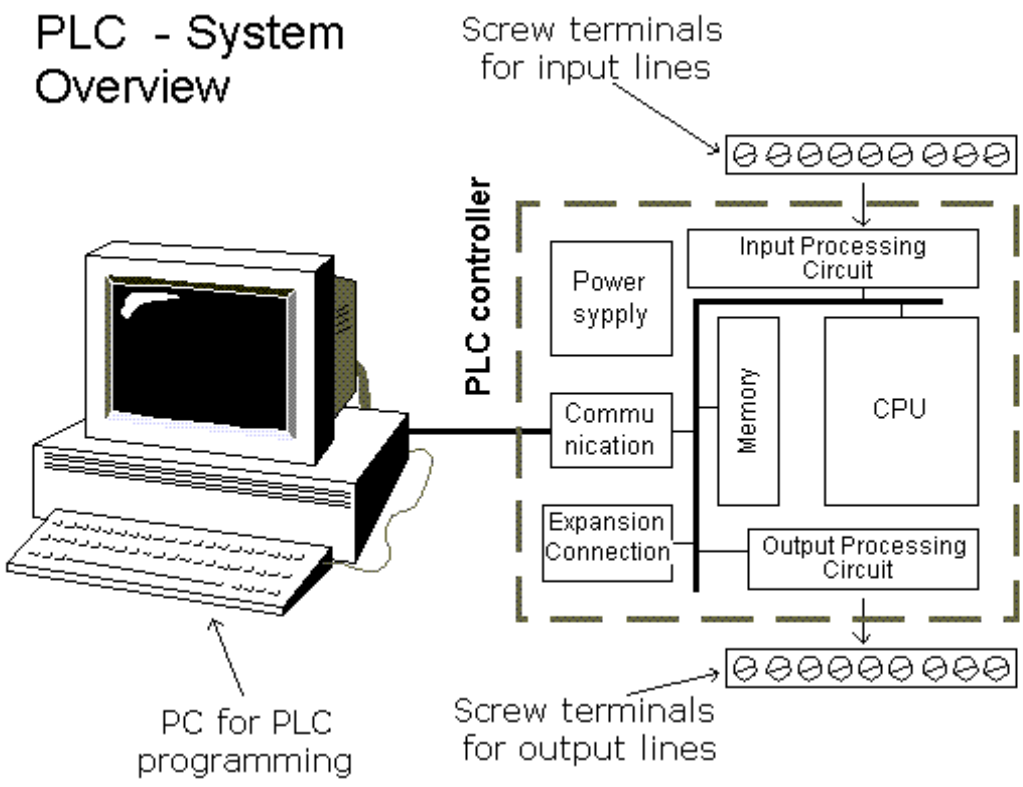
Slika 3.2. *Koraci rada PLC-a [4]*

Slika 3.3. prikazuje od čega se sve PLC u biti sastoji i kako se ostvaruje komunikacija između PLC-a i PC-a ili laptopa. Blok za komunikaciju omogućuje izmjenu podataka između PC-a i PLC-a putem ETHERNET kabela. Takva veza ostvaruje se radi prebacivanja programa ili se može nadzirati program ako ne postoji predviđena SCADA (*Supervisory, Control And Data Acquisition*).

Napajanje *(Power supply*) koristi najčešće 230 V AC koji se zatim ispravlja na 24 V DC koje PLC koristi za rad.

U načelu postoje dvije vrste memorije koje PLC koristi a to su programska i radna memorija. U programskoj memoriji se čuva program koji je korisnik snimio s PC-a dok se radna memorija koristi za izvršavanje programa te spremanje privremenih varijabli tijekom izvođenja programa.

Ulazi i izlazi ukratko su objašnjeni su na početku potpoglavlja 3.1.



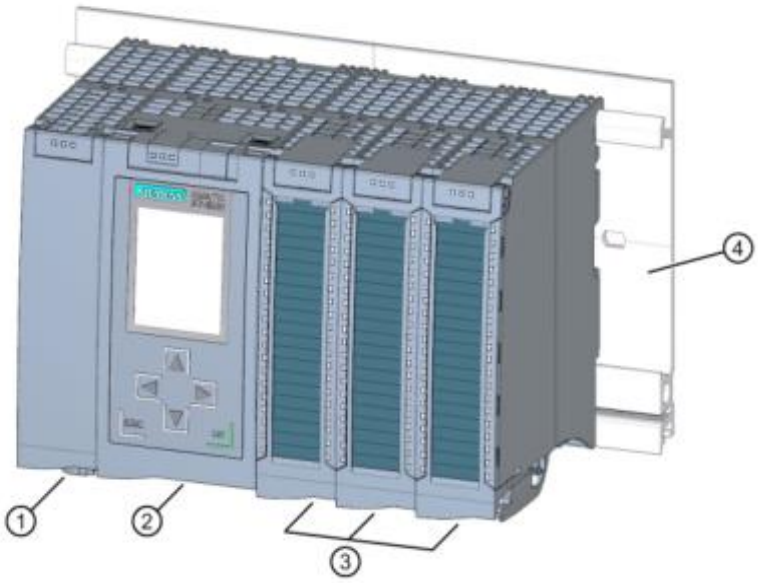
Slika 3.3. *Blokovski prikaz PLC-a [5]*

3.2. Simatic S7-1500

Simatic S7-1500 sustav je nastavak modernizacije i razvijanja njegovih prethodnih modela te pokriva sve nedostatke koje su prethodni modeli imali.

Postoji više vrsta modula, koji se biraju ovisno o potrebi te ih sklapamo u zajedničku konfiguraciju koja služi za upravljanje nekim sustavom. Konfiguracija se može sastojati od sljedećih dijelova: [6]

1) Modul za napajanje – on se odabire ovisno o tome kolika je potrebna snaga za napajanje cijele konfiguracije (broj i vrsta modula)
2) Procesorski modul – ovisi o zahtijevanim procesorskim i memorijskim potrebama
3) Komunikacijski modul – služi za povezivanje preko mreže sa SCADA-om, SMS modulom...
4) Signalni modul – služi kao ulaz ili izlaz PLC-a. Mogući su digitalni i analogni ulazi, a isto tako i izlazi. Broj ovih modula odabire se ovisno o tome koliko imamo signala kojima trebamo upravljati i koje trebamo mjeriti.
5) Povezni modul – najčešće se koriste ako je potrebno proširiti konfiguraciju

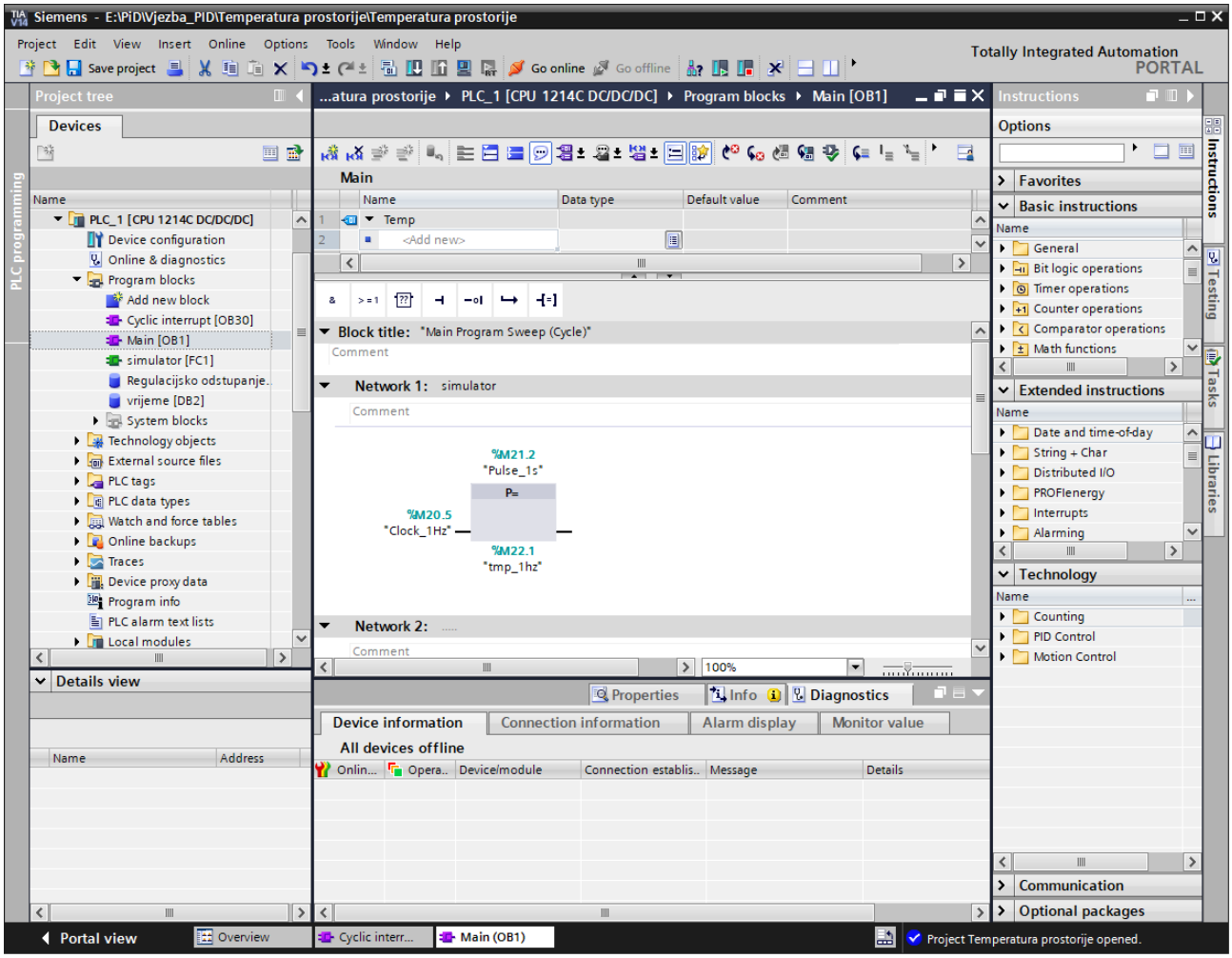


Slika 3.4. *Primjer osnovne konfiguracije [6]*

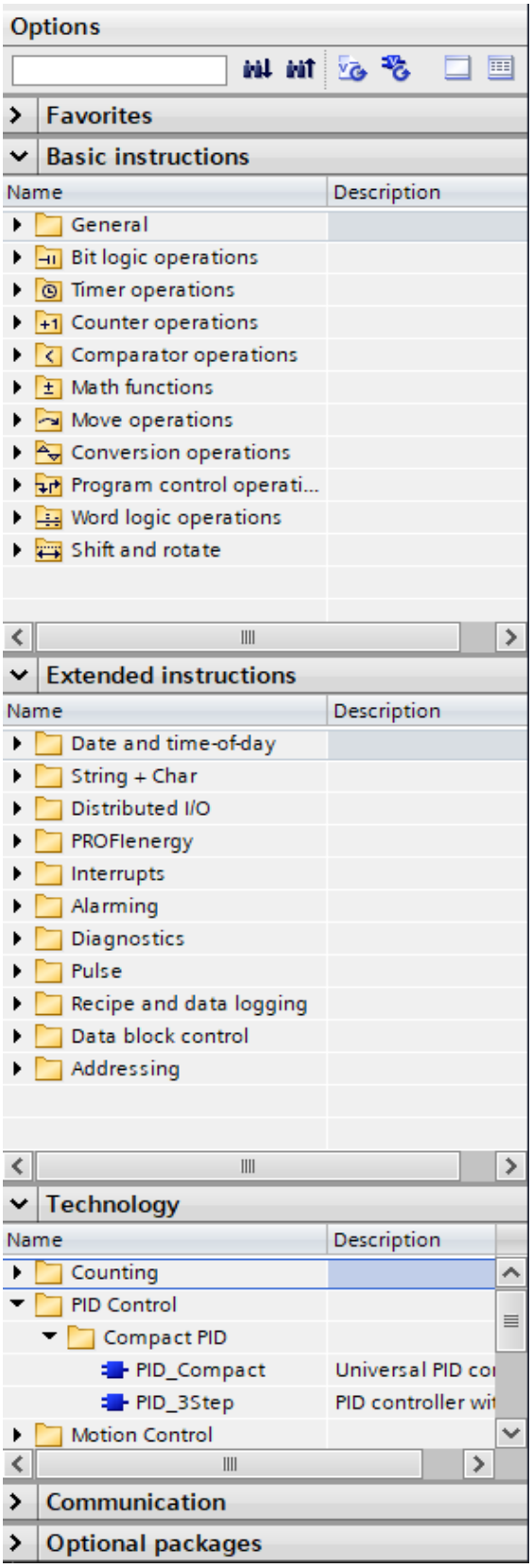
Na slici 3.2. vidi se primjer osnovne konfiguracije S7-1500 gdje je (1) modul za napajanje, (2) CPU, (3) Signalni (I/O) moduli te (4) DIN šina na koju se montira cijela konfiguracija.

3.3. Korisnički program TIA Portal

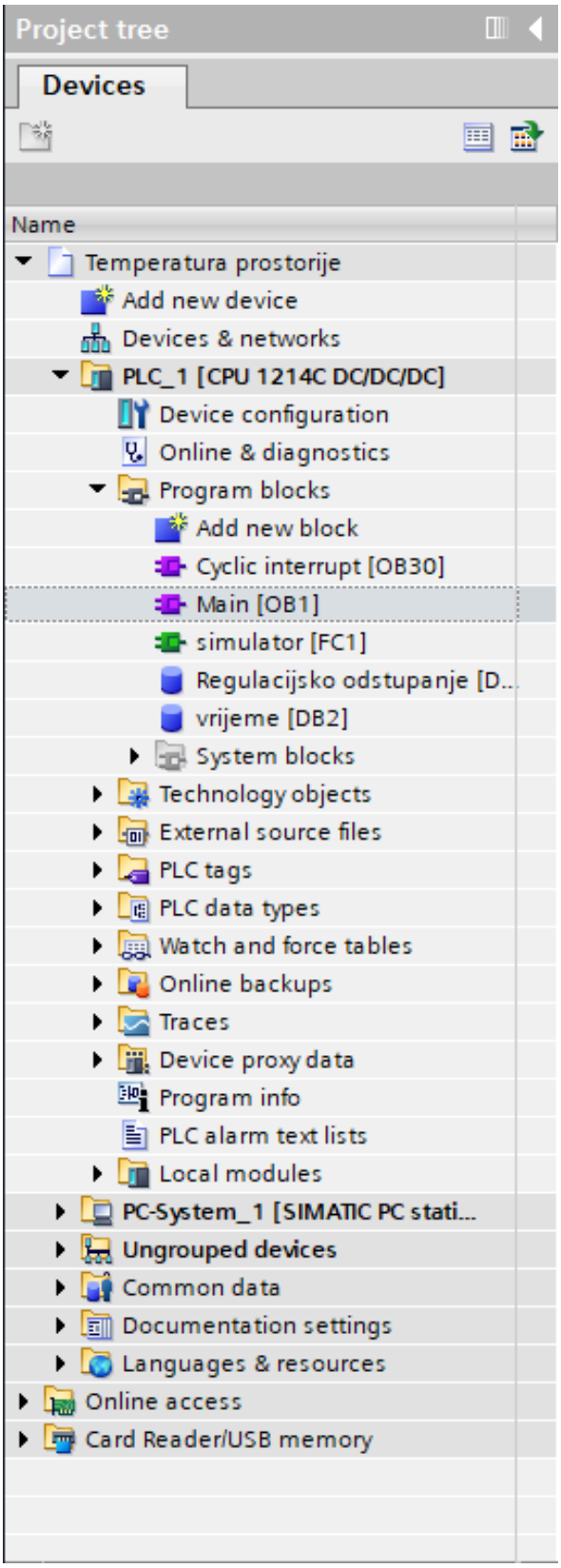
TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal)* Siemens je prvi puta stavio na tržište 2010. godine te je od tada samo napredovao. Program kao takav pruža korisniku jednostavnu i brzu upotrebu kako na terenu tako i u uredu, dok je sučelje dizajnirano da bude prihvatljivo kako početnicima tako i naprednim korisnicima. Na slici 3.5. vidi se sučelje TIA Portala V14.



Slika 3.5. *TIA Portal V14*



Slika 3.6. *Kartica Options*



Slika 3.7. *Kartica Devices*

Slika 3.6. prikazuje karticu s opcijama (*Options)* gdje je ponuđeno više izbornika. *Favorites* izbornik sadrži sve funkcije koje korisnik spremi i često ih koristi kako bi bile lakše i brže dostupne tijekom izrade programa. Izbornik *Basic Instructions* sadrži sve programske blokove koji su dostupni u TIA Portalu za pisanje programa. *Extended instructions* sadržava posebne blokove koji se koriste u određenim slučajevima i skraćuju posao korisniku. U kartici *Technology* imamo već gotove brojače, PID regulatore, kontrolu gibanja itd.

Na slici 3.7. vidi se traka *Project tree* s otvorenom karticom *Devices*. Ta kartica služi nam za glavno kretanje po programu, od konfiguracije mreže odnosno komunikacije između uređaja, preko programskih blokova i tagova sve do PC-System_1 čijim se otvaranjem pokreće prozor za izradu HMI-a. TIA Portal podržava nekoliko načina pisanja programa, odnosno četiri programska jezika, a to su: STL (*Statement List)*, FBD *(Function Block Diagram)*, LAD *(Ladder Diagram)* i SCL (*Structured Control Language*).

STL omogućava korisniku pisanje programa pomoću određenih naredbi te program izgleda kao *assembler*. Nedostatak STL-a je donekle nepreglednost i tek malo napredniji korisnici mogu se dobro snaći u programu koji je napisan STL-om. Na slici 3.8. prikazan je primjer STL koda korišten u simulaciji ovog rada.

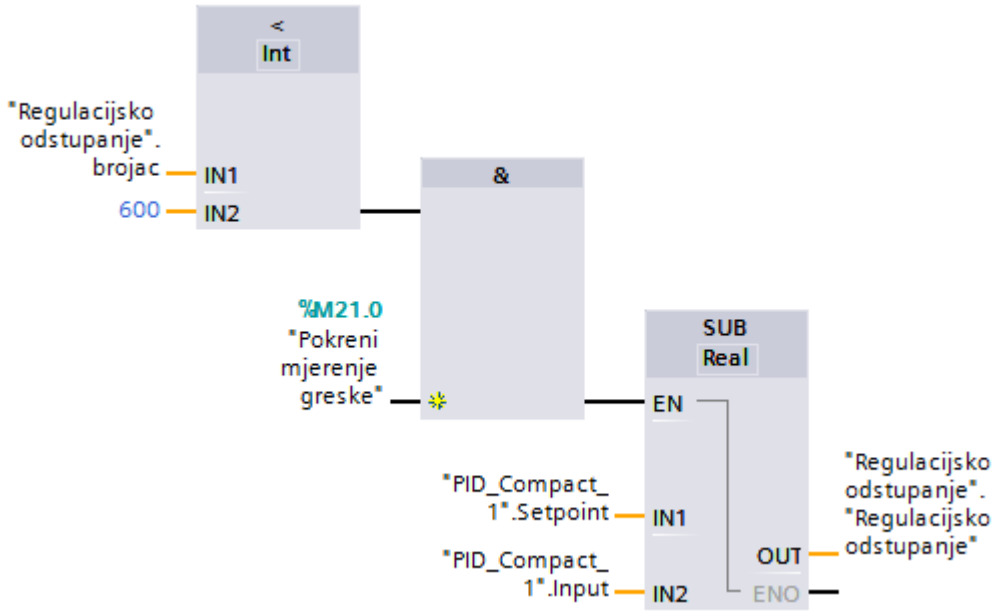
```
//Kad je brojac jedank ili veći od zadankog vremena resetiraj sve na 0
      L     0
      T     #brojac
      CLR
      =     #minut

stani: NOP 0
spavaj : NOP 0
//Broji minutu ako je temperatura unutar 4°C, ako nije resetiraj brojac
      L     #temp_polaz
      L     #temp_povrat
      -I
      L     40
      >I
      AN    #minut
      JCN   povecaj
      L     0
      T     #brojac
povecaj : NOP 0

      A     #minut
      =     #spavanje
```

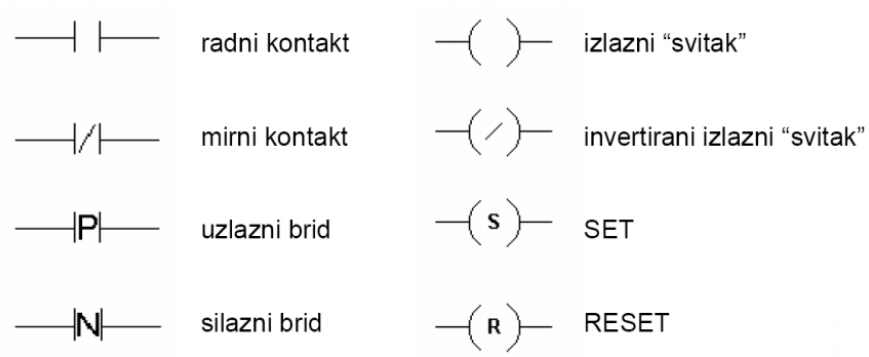
Slika 3.8. *Primjer STL koda*

FBD je način pisanja programa pomoću funkcijskih blokova koji vrše određene radnje ovisno o stanju njihovih ulaza. Prednost je što imamo ponuđen veliki izbor blokova i za svaki od njih u izborniku Help možemo vrlo lako saznati što taj blok radi i kako se ponaša u određenim situacijama. FBD je češći stil izrade programa za korisnike jer je logičan i pregledan te se vrlo lako može odrediti koji dio programa ne funkcionira i zašto. Na slici 3.9. prikazan je primjer FBD koda korišten u simulaciji ovog rada. Programska logika ove mreže govori sljedeće: Ako je "Regulacijsko odstupanje".brojac manje od 600, i ako imamo aktiviranu naredbu "Pokreni mjerenje greske" tada će blok SUB oduzimati vrijednost PID_Compact1.Input od vrijednosti PID_Compact_1.Setpoint što će u konačnici predstavljati razliku zadane veličine i povratne mjerene veličine koju nazivamo regulacijsko odstupanje.



Slika 3.9. *Primjer FBD koda*

LAD programski jezik je u suštini serijsko i paralelno povezivanje osnovnih logičkih operacija kojekasnije čine mrežu. Na slici 3.10. prikazani su osnovni simboli i operacije u LAD programskom jeziku.

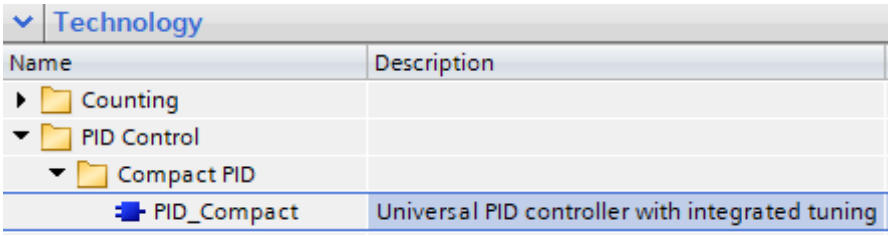


Slika 3.10. *Osnovni simboli i operacije u ljestvičastom dijagramu*

SCL je programski jezik koji je baziran na višim programiskim jeziica (npr. Pascal) te izgleda tipično kod bilo kojeg drugog programa slične namjene (Basic, C, itd.). Pogodan je za pisanje instrukcija za petlje, uvjete i sl. Sastoji se od tipičnih struktura: IF...THEN, FOR...NEXT, DO...WHILE i slično.

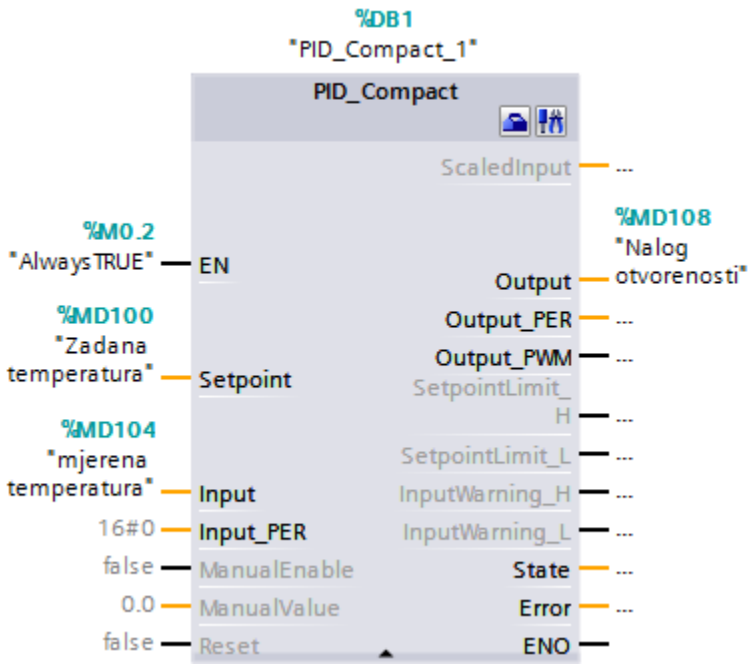
3.3.1. PID Compact

PID compact je programski blok u TIA Portalu koji omogućuje korisniku korištenje PID regulacije u jednom bloku, te je samo potrebno podesiti parametre regulatora te ispravno dovesti zadanu i mjerenu veličinu te izlaznu veličinu koju želimo da regulator upravlja. Ako se želi u program ubaciti PID Compact potrebno je otvoriti karticu *Technology objects* te otvoriti datoteke kako je prikazano na slici 3.11.



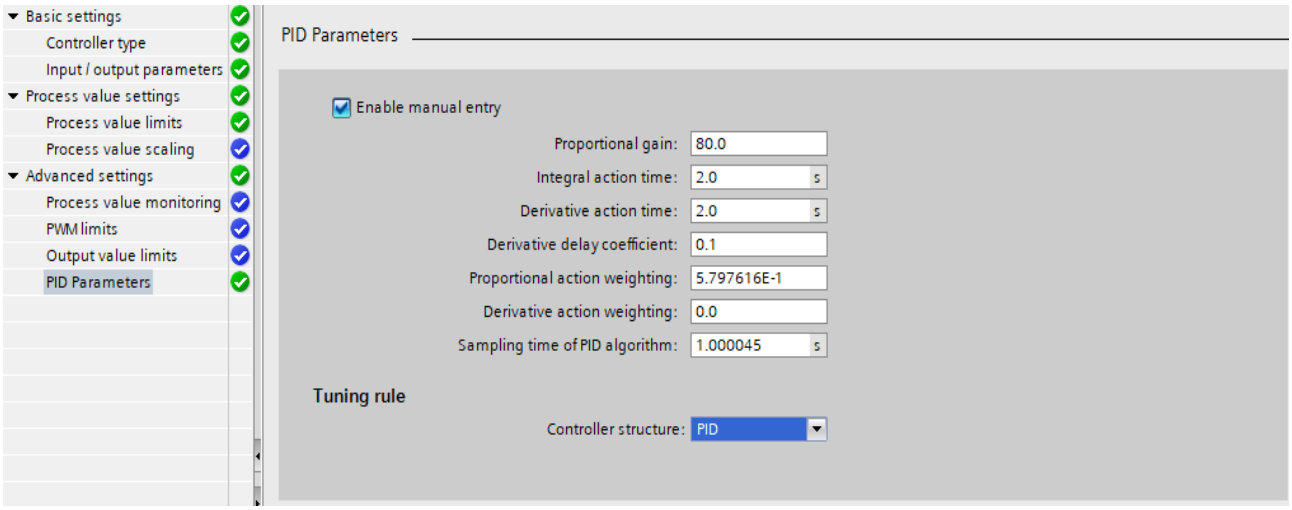
Slika 3.11. *Odabir PID Compacta u TIA Portalu*

Nakon dvoklika na prikazanu ikonu, otvara se prozor u koje se bloku dodjeli posebni DB (*Data Block*) koji on koristi za upravljanje varijablama tijekom svog rada. U konačnici korisniku se prikazuje blok prikazan na slici 3.12. na koji može dovesti zadanu vrijednost (*Setpoint),* ulaznu vrijednost *(Input)* te izlaznu vrijednost *(Output).*



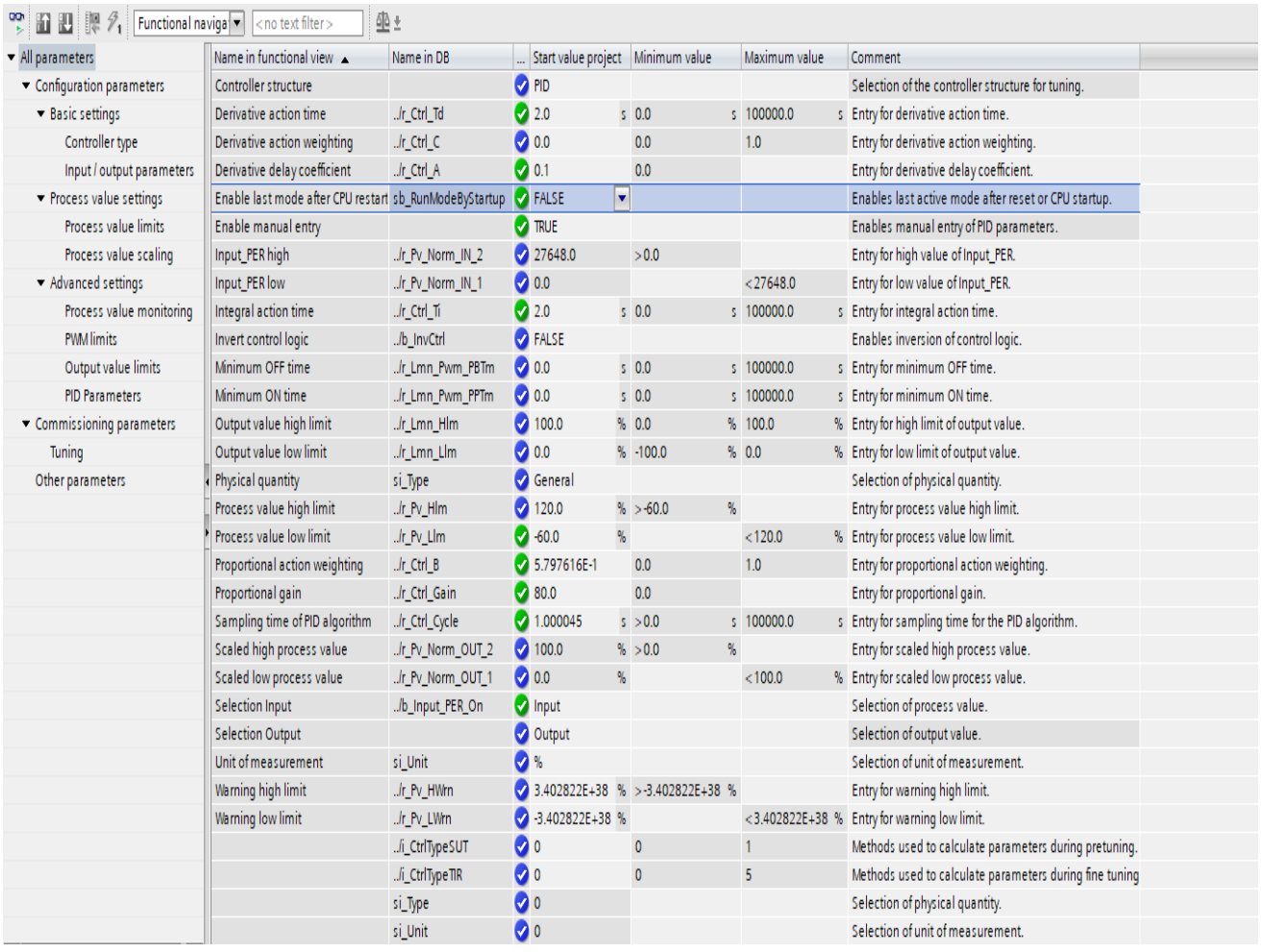
Slika 3.12. *programski blok PID Compact*

Ulaz EN *(Enable)* mora biti u stanju 1 ako želimo da blok bude aktivan i izvršava upravljačku logiku. Nakon pravilno dovedenih ulaza i izlaza potrebno je podesiti PID Compact što se postiže klikom na plavi "kovčeg" u gornjem desnom kutu bloka, odnosno *Configuration*. Tada se otvara nova kartica u kojoj imamo osnovne postavke, postavke veličine kojom upravljamo te napredne postavke među kojima se nalaze P, I i D parametri regulatora koje je potrebno unijeti. U konačnici, moguće je koristiti samo PI ili PID regulator odabirom u padajućem izborniku označenom na slici 3.13.



Slika 3.13. *Kartica Configuration*

Budući da se u simulacijskom programu koristi HMI aplikacija, potrebno je povezati određene gumbe ili polja za unos s parametrima PID regulatora, kako bi program znao što korisnik točno želi. Npr, na slici 3.15. prikazana je HMI aplikacija simulacijskog programa na kojoj je moguće unijeti P, I i D parametre regulatora prema želji korisnika. Kako bi to bilo moguće, potrebno je pronaći *Tag* u parametrima PID Compacta koji je definiran za pojedini parametar i navesti ga kao parametar koji će biti aktiviran prilikom unosa vrijednosti u određeno polje za unos (P, I ili D). Parametri bloka PID Compact koji se često koriste u programu a nisu prikazani u osnovnoj listi parametara prikazani su na slici 3.14.

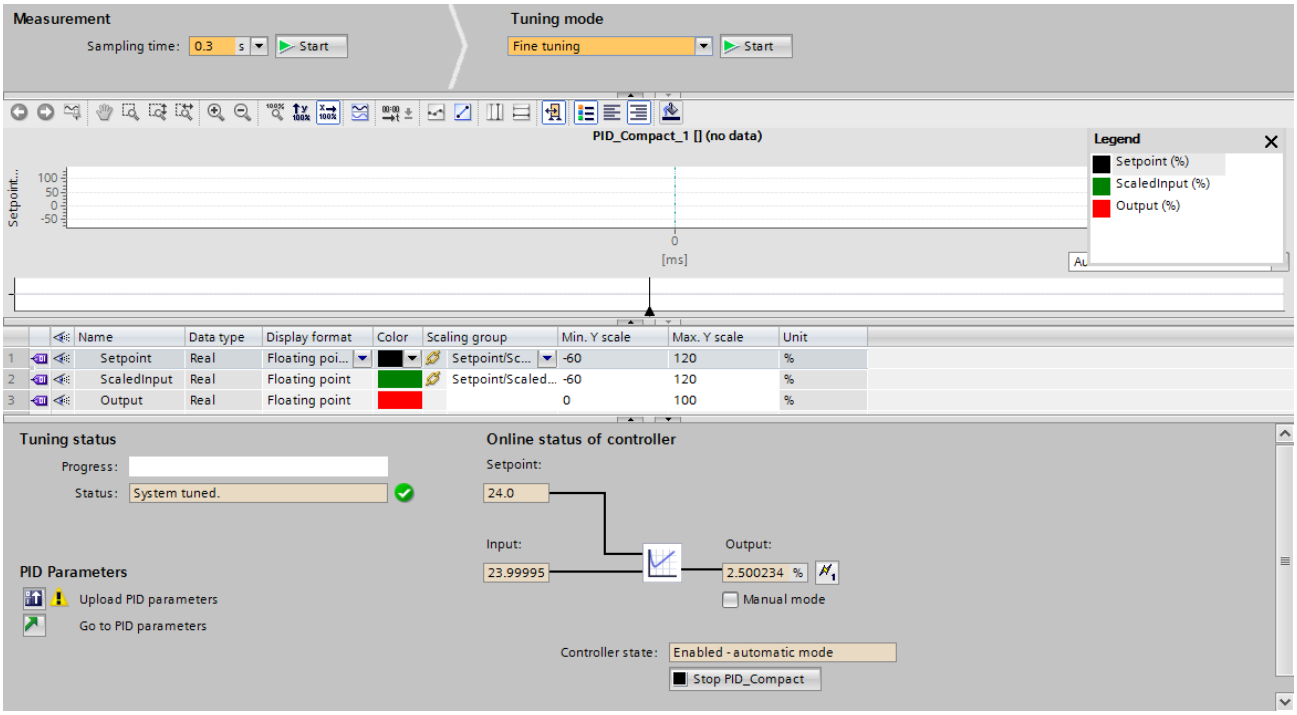


Name in functional view	Name in DB	...	Start value project	Minimum value	Maximum value	Comment
Controller structure			PID			Selection of the controller structure for tuning.
Derivative action time	../r_Ctrl_Td		2.0 s	0.0 s	100000.0 s	Entry for derivative action time.
Derivative action weighting	../r_Ctrl_C		0.0	0.0	1.0	Entry for derivative action weighting.
Derivative delay coefficient	../r_Ctrl_A		0.1	0.0		Entry for derivative delay coefficient.
Enable last mode after CPU restart	sb_RunModeByStartup		FALSE			Enables last active mode after reset or CPU startup.
Enable manual entry			TRUE			Enables manual entry of PID parameters.
Input_PER high	../r_Pv_Norm_IN_2		27648.0	>0.0		Entry for high value of Input_PER.
Input_PER low	../r_Pv_Norm_IN_1		0.0		<27648.0	Entry for low value of Input_PER.
Integral action time	../r_Ctrl_Ti		2.0 s	0.0 s	100000.0 s	Entry for integral action time.
Invert control logic	../b_InvCtrl		FALSE			Enables inversion of control logic.
Minimum OFF time	../r_Lmn_Pwm_PBTm		0.0 s	0.0 s	100000.0 s	Entry for minimum OFF time.
Minimum ON time	../r_Lmn_Pwm_PPTm		0.0 s	0.0 s	100000.0 s	Entry for minimum ON time.
Output value high limit	../r_Lmn_Hlm		100.0 %	0.0 %	100.0 %	Entry for high limit of output value.
Output value low limit	../r_Lmn_Llm		0.0 %	-100.0 %	0.0 %	Entry for low limit of output value.
Physical quantity	si_Type		General			Selection of physical quantity.
Process value high limit	../r_Pv_Hlm		120.0 %	>-60.0 %		Entry for process value high limit.
Process value low limit	../r_Pv_Llm		-60.0 %		<120.0 %	Entry for process value low limit.
Proportional action weighting	../r_Ctrl_B		5.797616E-1	0.0	1.0	Entry for proportional action weighting.
Proportional gain	../r_Ctrl_Gain		80.0	0.0		Entry for proportional gain.
Sampling time of PID algorithm	../r_Ctrl_Cycle		1.000045 s	>0.0 s	100000.0 s	Entry for sampling time for the PID algorithm.
Scaled high process value	../r_Pv_Norm_OUT_2		100.0 %	>0.0 %		Entry for scaled high process value.
Scaled low process value	../r_Pv_Norm_OUT_1		0.0 %		<100.0 %	Entry for scaled low process value.
Selection Input	../b_Input_PER_On		Input			Selection of process value.
Selection Output			Output			Selection of output value.
Unit of measurement	si_Unit		%			Selection of unit of measurement.
Warning high limit	../r_Pv_HWrn		3.402822E+38 %	>-3.402822E+38 %		Entry for warning high limit.
Warning low limit	../r_Pv_LWrn		-3.402822E+38 %		<3.402822E+38 %	Entry for warning low limit.
	../i_CtrlTypeSUT		0	0	1	Methods used to calculate parameters during pretuning.
	../i_CtrlTypeTIR		0	0	5	Methods used to calculate parameters during fine tuning
	si_Type		0			Selection of physical quantity.
	si_Unit		0			Selection of unit of measurement.

Slika 3.14. *Ostali parametri PID regulatora*

3.3.2. Metode samopodešenja PID compact regulatora

Nakon odabira konfiguracije PLC-a Siemens 1500 serije u TIA portalu, odabirom programskog bloka PID compact podrazumijeva se da je regulator isto tako razvijen. Nakon pravilno napisanog programa i povezanog bloka PID compact, slijedi podešavanje regulatora. Na slici 3.15. u gornjem dijelu se vidi padajući izbornik za Tuning mode, gdje se može izabrati *Pretuning* ili *Fine tuning*. Iza te dvije opcije kriju se i dvije različite metode za samopodešavanje PID regulatora.



Slika 3.15. *Izbornik za podešavanje PID regulatora*

Prva ponuđena metoda, odnosno *Pretuning*, temeljena je na Ziegler-Nichols II metodi prijelazne funkcije. Određuje se odziv procesa na skokovitu promjenu izlazne vrijednosti te se traži točka infleksije u kojoj se određuje nagib tangente. Nakon toga algoritam izračunava parametre iz podataka o maksimalnoj stopi porasta i mrtvom vremenu sustava. Šum u procesu se u ovoj metodi samopodešenja može zanemariti samo ako je stopa porasta mjerene veličine znatno veća od šuma. [7]

Kako bi se regulator pravilno podesio, postavljeni su sljedeći uvjeti:

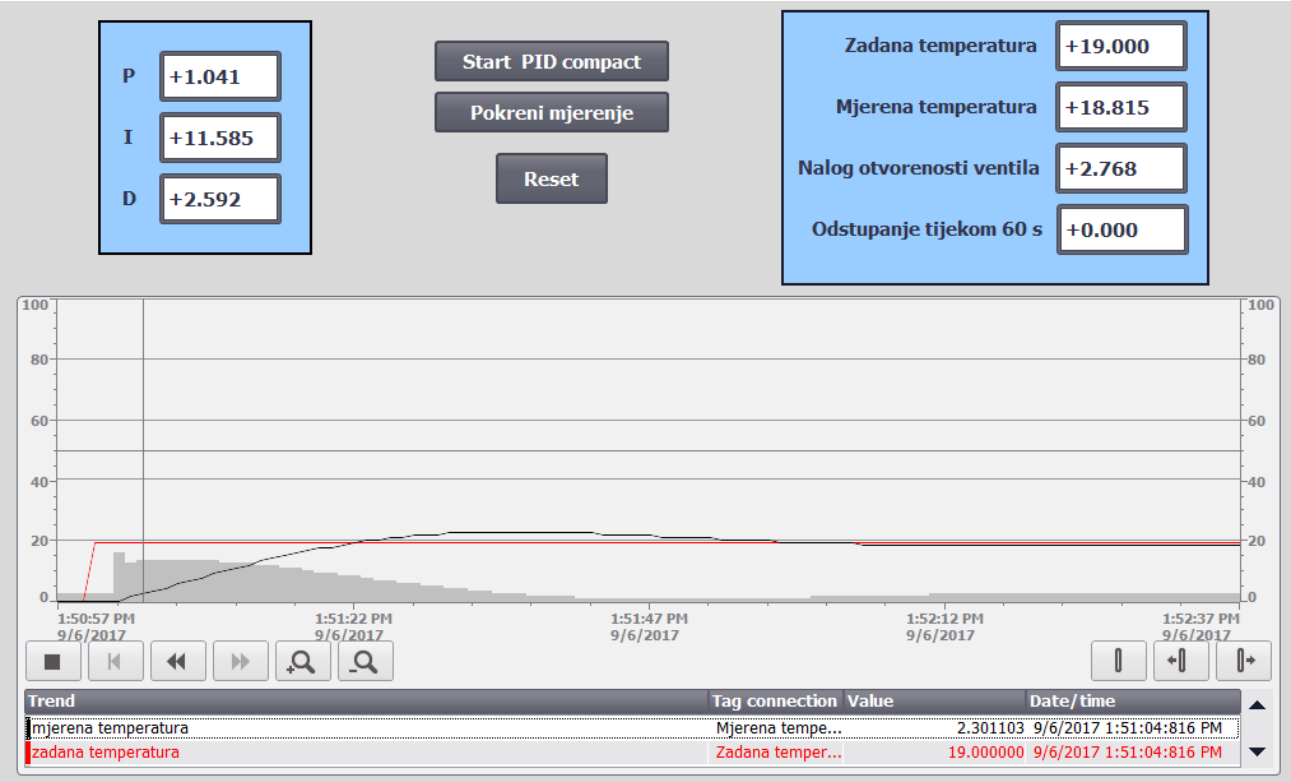
1. PID compact blok mora se pozivati u organizacijskom bloku *Cyclic Interrupt*
2. Ulaz ManualEnable mora biti u stanju *False*
3. Ulaz Reset također mora biti u stanju *False*
4. PID compact blok mora biti u jednom od ponuđenih stanja, *Manual ili Automatic mode*
5. Zadana i mjerena veličina moraju biti unutar zadanih granica podešenih u samom bloku
6. Razlika između zadane i mjerene veličine mora biti veća od 50% zadane veličine.

Druga ponuđena metoda samopodešavanja, *Fine tuning,* temeljena je na relejnom postupku za podešavanje PID regulatora. Generiraju se konstantne, ali ograničene oscilacije mjerene veličine te se parametri određuju za radnu točku iz amplitude i frekvencije proizvedenih oscilacija. Algoritam korišten u programu također pokušava generirati oscilacije veće od šuma. [7]

Za ovu metodu su također postavljeni slični uvjeti:

1. PID compact blok mora se pozivati u organizacijskom bloku *Cyclic Interrupt*
2. Ulaz ManualEnable mora biti u stanju *False*
3. Ulaz Reset također mora biti u stanju *False*
4. Zadana i mjerena veličina moraju biti unutar granica postavljenih u bloku
5. Regulacijski krug mora biti stabilan u radnoj točki koja se postiže kada su zadana i mjerena veličina jednake
6. Nema očekivanih šumova
7. PID compact blok mora biti u jednom od ponuđenih stanja, *Manual ili Automatic mode*

U programskom rješenju uključena je i izrada HMI aplikacije čiji je izgled prikazan na slici 3.16. Nakon pokretanja simulacije, potrebno je pritisnuti gumb Start PID compact kako bi blok dobio signal da krene s izvršavanjem regulacije. Osim toga, ubačen je gumb *Pokreni mjerenje* koji aktivira određenu programsku logiku kojom se postiže zbrajanje regulacijskog odstupanja tijekom jedne minute, a nakon toga se isto prikazuje pored natpisa *Odstupanje tijekom 60 s*. Također prikazuje se *Zadana temperatura*, *Mjerena temperatura* kao krivulje na grafu, te *Otvorenost ventila* kao stupčasti dijagram u pozadini.

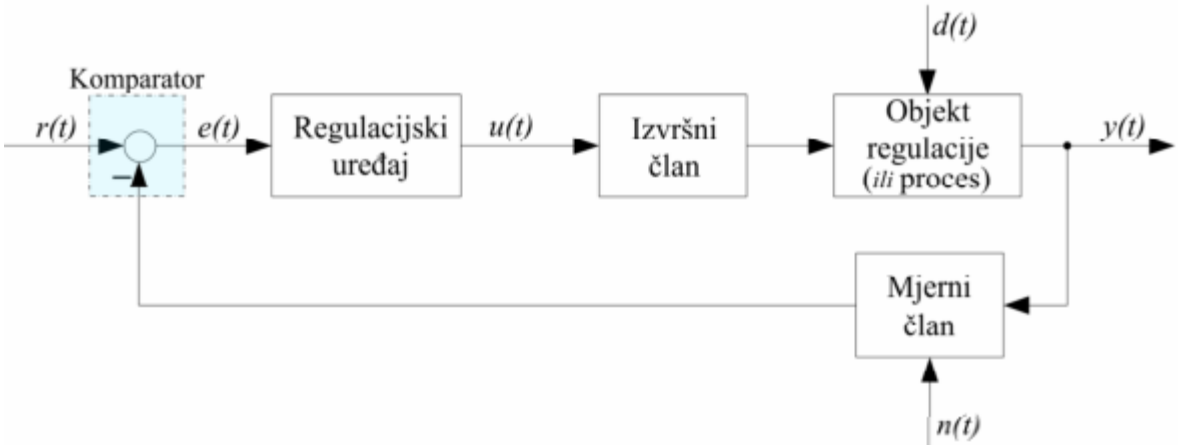


Slika 3.16. *Izgled HMI-a simulacije*

4. POSTUPAK SINTEZE PID REGULATORA

Budući da u postrojenju kotlovnice postoji PLC (regulacijski uređaj), troputi ventil (izvršni član) te PT 100 sondu (mjerni član) kao osnovne elemente kruga grijanja koji su bitni za regulaciju, na slici 4.1 prikazan je blok dijagram kojim se takav krug može objasniti.

Regulacijski uređaj ili regulator je dio sustava koji generira postavnu veličinu i određuje njezino djelovanje na proces.



Slika 4.1. *Poopćeni osnovni blok dijagram automatske regulacije s postavnim i mjrenim članom [8]*

Svaku veličinu prikazanu u blok dijagramu potrebno je odrediti, izračunati ili isprojektirati, odnosno neke veličine su posljedica isprojektiranog regulacijskog uređaja.

***r(t)* – referentna veličina.** To je vanjski signal koji se primjenjuje na sustav automatske regulacije na komparatoru, a predstavlja željeno ponašanje regulirane veličine procesa. U ovom slučaju, referentna veličina bit će željena temperatura prostora koju regulacijski krug mora postići.

***y(t)* – regulirana veličina.** Predstavlja izlaznu veličinu reguliranog procesa, što će biti otvorenost ili zatvorenost troputog ventila.

***e(t)* – regulacijsko odstupanje.** To je razlika između referentne i regulirane veličine koja ulazi u regulacijski uređaj i potiče njegovo djelovanje.

***u(t)* – postavna veličina.** Postavna veličina je signal koji predstavlja izlaz iz regulacijskog uređaja odnosno ulaz u proces preko izvršnog člana.

d(t) – poremećajna veličina. Smetnja ili poremećaj je signal koji neželjeno utječe na reguliranu veličinu. Njezino djelovanje može biti u bilo kojem dijelu regulacijskog kruga, a manifestira se kao pomicanje sustava regulacije iz ravnotežne točke.

Vrlo bitan dio regulacijskog kruga upravo je povratna veza koja se koristi u zatvorenom regulacijskom krugu. Budući da se signal iz povratne veze dovodi na početak procesa i zbraja s referentnom veličinom, uvodi se negativna povratna veza kako se stanje sustava ne bi još više narušilo, već će sustavom upravljati regulacijsko odstupanje koje je zbroj referentne veličine i negativne povratne veze u komparatoru.

Uobičajeni zahtjevi koji se postavljaju na sustave upravljanja su sljedeći:

1. Regulacijski krug mora biti stabilan
2. Poremećajne veličine *d(t)* trebaju čim manje utjecati na reguliranu veličinu *y(t)*
3. Regulirana veličina *y(t)* treba slijediti čim točnije i čim brže vremenski promjenjivu referentnu vrijednost *r(t)*
4. Regulacijski krug treba biti čim manje osjetljiv na promjene parametara procesa

4.1. PID regulator

PID regulator vrlo je prisutan u automatizaciji, jer kombinacija tri regulacijska djelovanja može najčešće dati prihvatljivu kvalitetu odziva sustava, odnosno dati će dovoljno brz i točan odziv, a u isto vrijeme će zadovoljiti maksimalne granice odstupanja.

Regulator s PID djelovanjem moguće je formirati na više načina, kao što su paralelna struktura, serijska struktura, te neke inačice koje se koriste u posebnim slučajevima, kao što su I-PD ili PI-D strukture.

Paralelni PID regulator najjednostavniji je za razmatranje, i on je zbroj proporcionalnog, integralnog i derivacijskog djelovanja: [8]

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_{t_0}^{t} e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{4-1}$$

Djelovanje PID regulatora najlakše se može shvatiti razlaganjem na pojedina regulacijska djelovanja.

P djelovanje predstavljeno je sljedećim izrazom:

$$u_p(t) = K_p e(t) \tag{4-2}$$

K_p predstavlja proporcionalno pojačanje regulatora. P član djeluje proporcionalno s iznosom regulacijskog odstupanja te iz tog razloga trajno regulacijsko odstupanje nije moguće ukloniti čistim P djelovanjem. Povećavanjem pojačanja K_p smanjuje se vrijeme porasta do zadane vrijednosti, ali se povećava prebačaj, odnosno oscilacije sustava.

I djelovanje predstavljeno je sljedećim izrazom:

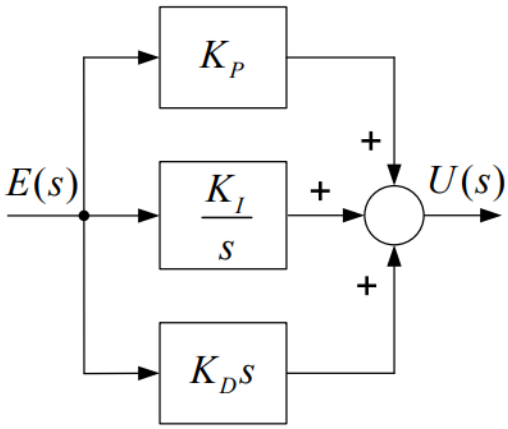
$$u_I(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_{t_0}^{t} e(t)dt \tag{4-3}$$

K_I predstavlja integralno pojačanje regulatora, a dobije se kao omjer $\frac{K_p}{T_i}$. Integralni član ima djelovanje proporcionalno vremenskom integralu regulacijskog odstupanja i njegovoj veličini, čime unosi kašnjenje u sustav jer akumulira prethodna stanja kao i mogućnost da se premaši zadana vrijednost, ali unosi poboljšanje u sustav jer uklanja regulacijsko odstupanje u stacionarnom stanju i smanjuje vrijeme porasta do zadane vrijednosti.

D djelovanje predstavljeno je sljedećim izrazom:

$$u_D(t) = K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{4-4}$$

K_D predstavlja derivacijsko pojačanje regulatora, a dobiveno je kao umnožak $K_p T_d$. Derivacijski član djeluje prediktivno na iznos regulacijskog odstupanja te zbog toga smanjuje vrijeme smirivanja oscilacija i povećava stabilnost sustava.



Slika 4.2. *Idealni PID regulator – paralelna izvedba [9]*

Prijenosna funkcija idealnog PID regulatora prema slici 4.2. glasi:

$$G_r(s) = \frac{U_s}{E_s} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D S = K_R(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S) \tag{4-5}$$

Gdje je:

$K_R = K_P$ – koeficjent pojačanja (*engl. Proportional Gain*)

K_I – koeficjent integracijskog djelovanja (*engl. Integral Gain*)

K_D – koeficjent derivacijskog djelovanja (*engl. Derivative Gain*)

$T_I = \frac{K_P}{K_I}$ – integracijska vremenska konstanta (*engl. Integration Time)*

$T_I = \frac{K_P}{K_I}$ – derivacijska vremenska konstanta (*engl. Derivative Time)*

Sinteza regulatora vrši se prema matematičkom modelu procesa, ili ovisno o metodi moguće je iskustveno odrediti parametre PID regulatora kako bi se ostvarila zadana kakvoća regulacije. U nastavku su opisani neki postupci za određivanje parametara PID regulatora.

4.2. Ziegler-Nichols metoda

Mnogi industrijski procesi mogu se opisati prijelaznom funkcijom s čistim aperiodskim vladanjem, tj njihovo vladanje može se dobro opisati pomoću PT – člana. Često se ovakvi procesi mogu opisati pojednostavljenim matematičkim modelom. Pri tome se prijelazna funkcija $h_s(t)$ karakterizira pomoću triju veličina koje su određene tangentom u točki infleksije W: K_s (koeficijent pojačanja procesa), t_a (vrijeme porasta) i t_z (vrijeme zadržavanja).

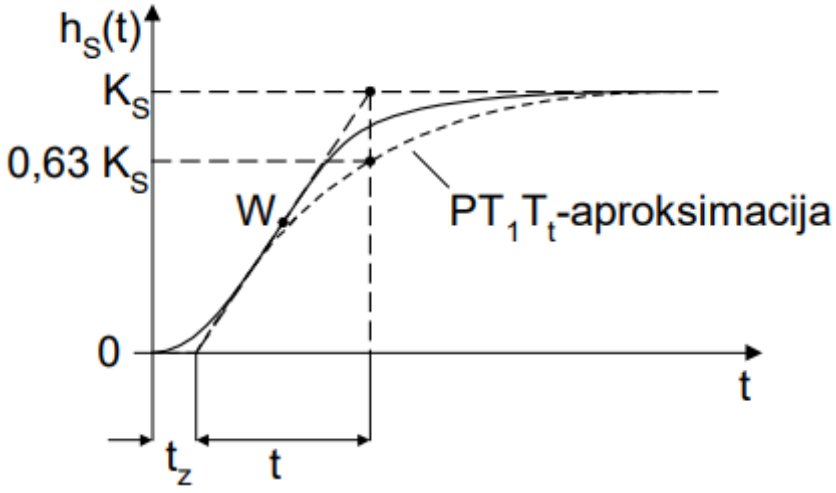
U praksi se koriste brojna pravila za podešavanje parametara standardnih regulatora do kojih se došlo empirijski ili simulacijom na odgovarajućim matematičkim modelima. Veoma često korištena empirijska pravila za podešavanje regulatora definirali su Ziegler i Nichols 1942. godine. Ova su pravila izvedena empirijski na temelju podešavanja regulatora, pri čemu prijelazna funkcija zatvorenog regulacijskog kruga pokazuje smanjenje amplitude po periodi oscilacije za oko 25%. Pri korištenju pravila podešavanja prema Ziegleru i Nicholsu na raspolaganju su dvije mogućnosti:

a) Metoda ruba stabilnosti (I): Ovdje se provode sljedeći koraci :

1. Standardnom regulatoru koji se nalazi u regulacijskom krugu odabere se samo P-djelovanje (isključena I i D djelovanja);
2. Pojačanje K_R P – regulatora tako se dugo povećava dok se u zatvorenom regulacijskom krugu ne proizvedu trajne oscilacije. Pojačanje uz koje se dobiju trajne oscilacije označava se kritičnim pojačanjem regulatora K_{rkr};
3. Mjeri se iznos periode T_{kr} (kritični iznos periode);
4. Na temelju K_{Rkr} i T_{kr} određuju se vrijednosti parametara regulatora (K_r, T_I i T_D) pomoću relacija danih u tablici 1.

b) Metoda prijelazne funkcije (II): Često je nemoguće (štetno) dovoditi regulacijske krugove u postrojenjima i procesima u granično stabilno stanje. Međutim, određivanje (mjerenje) prijelazne funkcije $h_s(t)$ procesa ne predstavlja poteškoću. Stoga je druga varijanta Ziegler – Nicholsovih pravila za podešavanje regulatora u tim slučajevima pogodnija, a temelji se na nagibu tangente u točki infleksije K_s/t_a i na vremenu zadržavanja t_z prijelazne funkcije (Sl.4.3.). Iz vrijednosti t_z i K_s/t_a te izraza danih u tablici 1. jednostavno se odrede vrijednosti parametara regulatora.

Pravila za podešavanje parametara regulatora prema Ziegleru i Nicholsu približna su pravila. Njima se može približno postići zahtijevana mjera kakvoće sustava upravljanja. Stoga se često za postizanje kvalitetnijeg upravljanja u praksi koristi simulacija na računalu pri sintezi sustava upravljanja, gdje vrijednosti parametara regulatora dobivene prema Ziegler – Nicholsovim pravilima mogu poslužiti kao dobri početni parametri za optimiranje sustava [10]



Slika 4.3. *Aproksimacija PT – člana pomoću PT_1T_t člana [10]*

Budući da je na slici 4.3. prikazan odziv na jediničnu pobudu, samo u tom slučaju će K_s biti traženo pojačanje. Ako je pobuda drugačija, tada će pojačanje biti omjer izlazne veličine i pobude, $K_s = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

Tablica 1. *Izrazi za određivanje parametara regulatora prema ZN metodi [10]*

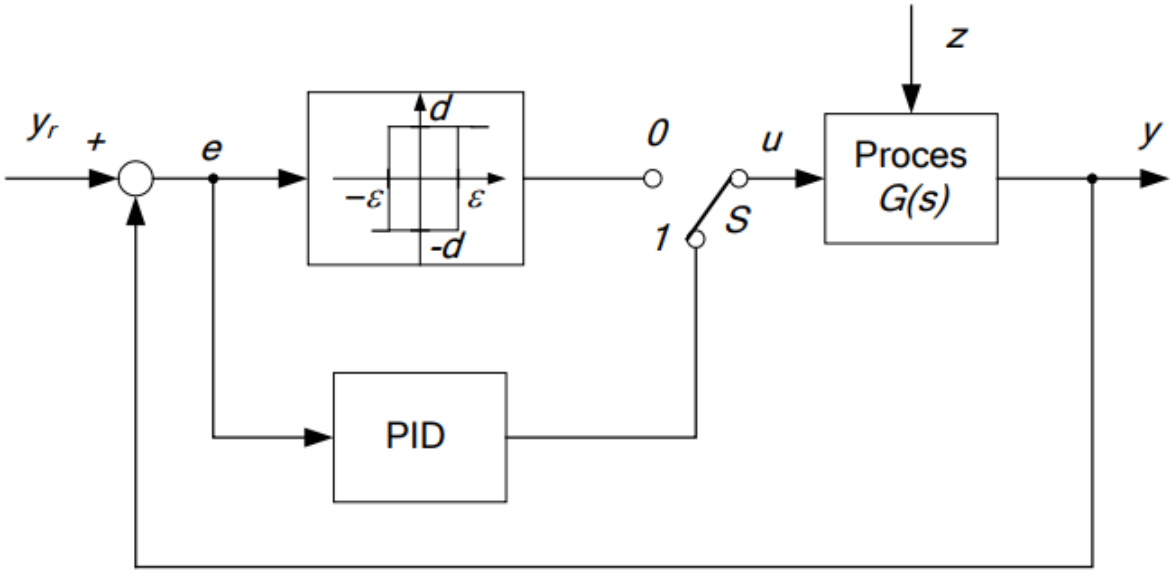
	Tip regulatora	Vrijednosti parametara regulatora		
		K_R	Ti	T_D
Varijanta I	P	0,5 K_{Rkr}	-	-
	PI	0,45 K_{Rkr}	0,85 T_{kr}	-
	PID	0,6 K_{Rkr}	0,5 T_{kr}	0,12 T_{kr}
Varijanta II	P	$1/K_s*t_a/t_z$	-	-
	PI	$0,9/K_s*t_a/t_z$	3,33 t_z	-
	PID	$1,2/K_s*t_a/t_z$	2 t_z	0,5 t_z

4.3. Relejni postupak

Takahashijev (odnosno Ziegler-Nicholsov) postupak podešavanja parametara PID regulatora na temelju odziva zatvorenog regulacijskog kruga na rubu stabilnosti daje u većini slučajeva zadovoljavajuće vladanje sustava upravljanja (nakon korekcije vladanja po referentnom signalu) pa se u praksi često koristi. Međutim, glavni problem kod primjene tog postupka je u načinu dovođenja sustava na rub stabilnosti. Vrlo je teško pogoditi stvarnu granicu stabilnosti i postoji velika opasnost ulaska sustava u nestabilan rad uz pojavu nekontroliranih amplituda oscilacija, što može ugroziti funkcionalnost pojedinih elemenata regulacijskog kruga. Osim toga, pri izračunavanju vrijednosti parametara regulatora u obzir se uzima samo period oscilacija, a ne i njihova amplituda.

Aström i Hägglund su 1984. godine predložili jedan novi postupak dovođenja sustava na rub stabilnosti, koji se zasniva na primjeni nelinearnog elementa s relejnom karakteristikom za upravljanje procesom i koji omogućuje ograničavanje amplitude oscilacija sustava.

Sustav prikazan na blokovskoj shemi može doći u oscilatorno stanje, ako je preklopka S u položaju 0. Oscilatorno stanje nastupa zbog relejne karakteristike u zatvorenom krugu. Pri tome proces treba biti najmanje 2. reda. U tom je slučaju regulacijsko odstupanje oscilatorni periodički signal.



Slika 4.4. *Načelna shema relejnog postupka podešavanja parametara PID regulatora [10]*

Za analizu nelinearnog sustava prikazanog na slici primjenjuje se metoda opisne funkcije. U osnovi, metodom opisne funkcije nelinearnog elementa zanemaruju se viši harmonici izlaznog signala nelinearnog elementa. Nelinearni element pobuđen sinusnim signalom određene frekvencije na izlazu daje signal iste te frekvencije i još dodatno više harmonike (prema razvoju u Fourierov red). Viši se harmonici filtriraju kroz proces koji ima karakteristiku niskog propusta. Opisna funkcija kod nelinearnog sustava odgovara prijenosnoj funkciji kod linearnog sustava [10].

Za provedbu samopodešenja regulatora relejnim postupkom potrebno je imati paralelni spoj relejnog elementa i PID regulatora kako je prikazano na slici 4.4. Isključivanjem PID regulatora iz kruga a uključivanjem relejnog elementa s histerezom postižu se oscilacije ograničene amplitude. Iz dobivenih oscilacija može se očitati amplituda i perioda oscilacija. Parametri koji su bitni za relejni element su histereza ε i amplituda izvršnog člana releja *d*.

U pokusu gdje se koristi relej s histerezom, kritično pojačanje se može izračunati prema sljedećem izrazu:

$$K_{kr} = \frac{4d}{\pi\sqrt{a^2 - \varepsilon^2}} \tag{4-6}$$

Nakon očitavanja dobivenih vrijednosti i izračunatog kritičnog pojačanja, prema tablici 1. za varijantu I mogu se odrediti parametri PID regulatora . Nakon što su parametri regulatora određeni prema danim izrazima, u regulacijski krug se vraća PID regulator a relejni element se isključuje.

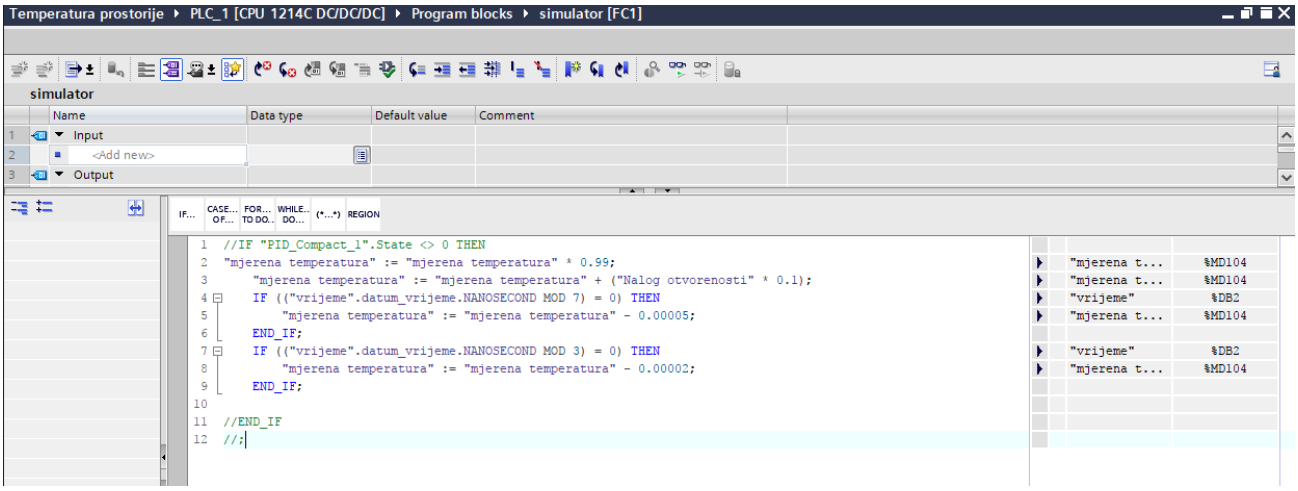
5. REZULTATI SIMULACIJE I MJERENJA

Nakon shvaćanja pozadine procesa i teorije PID regulatora, provedene su simulacije i snimljeni su odzivi procesa na promjenu parametara regulatora određenih prema već navedenim metodama.

5.1. Rezultati simulacija

Ideja je usporediti odzive dobivene različitim načinima podešavanja regulatora sa stvarnim mjerenjima na postrojenju te prikazati rezultate.

Simulacija procesa vrši se u programskom paketu TIA Portal, a model je dobiven pomoću varijabli stanja u diskretnom sustavu. Model procesa koji je objašnjen u poglavlju 2.3. je transformiran u prikaz pomoću varijabli stanja te je on implementiran u SCL programskom jeziku u TIA Portalu. Na slici 5.1. prikazana je implementacija simulacijskog modela procesa koji je korišten za simulacije procesa.

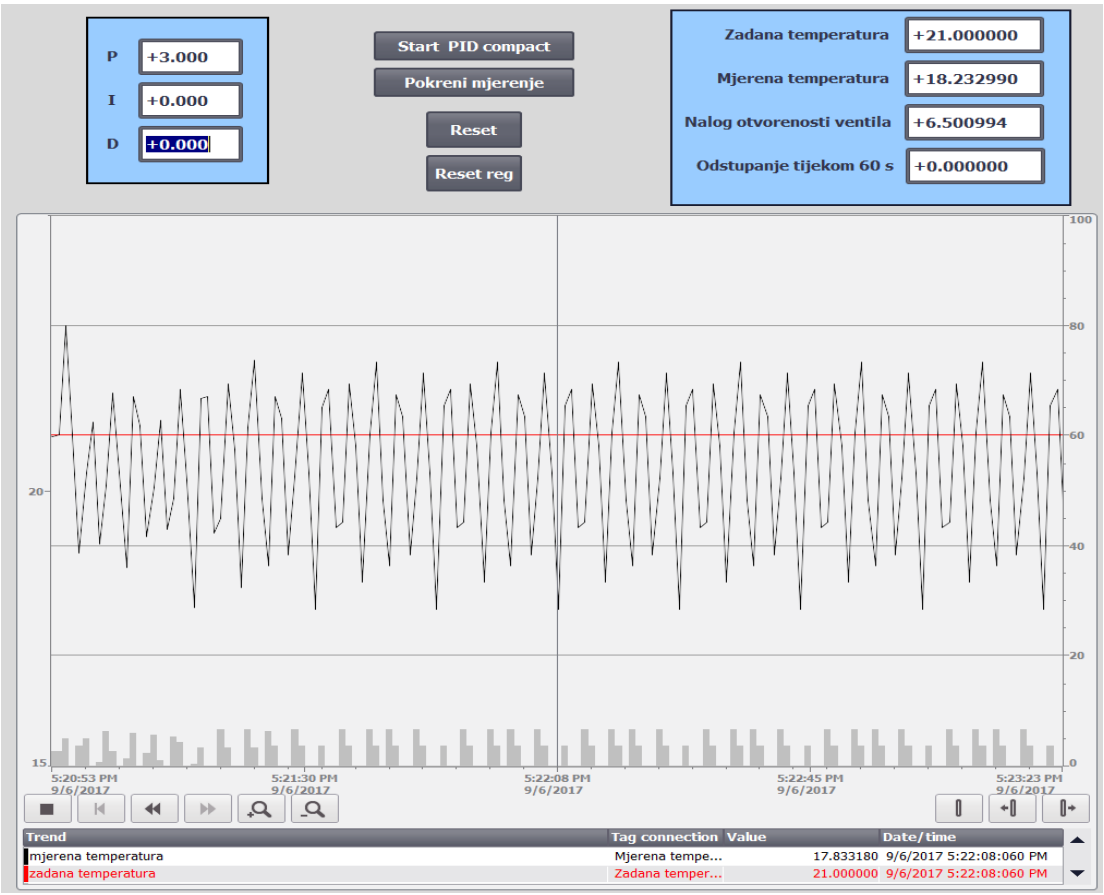


Slika 5.1. *Simulacijski model u TIA Portalu*

Osim prirodnog odziva (odlaz temperature u okoliš) i prisilnog odziva (cirkulacija tople vode u sustavu), u model je ubačena smetnja odnosno šum koja je predstavljena nasumičnim vrijednostima koje se dodaju mjerenoj veličini.

5.1.1. Implementacija ZN metode na simulatoru

Prvi korak koji je potrebno provesti je određivanje kritičnog pojačanja i kritične periode. Kritično pojačanje definirano je kao ono proporcionalno pojačanje koje je potrebno da bi se u sustavu proizvele trajne oscilacije. Također se u simulaciji određuje iznos kritične periode. Određivanje pojačanja i periode prikazano je na slici 5.2.



Slika 5.2. *Simulacija dovođenja sustava na rub stabilnosti*

Na prikazanoj slici također se vidi da samim P regulatorom nije moguće dobiti željenu regulaciju, odnosno da mjerena temperatura bude jednaka zadanoj. Stupčasti dijargam predstavlja izlaz regulatora odnosno nalog otvorenosti ventila pomoću kojeg se regulira temperatura. Iz dijagrama određena je kritična perioda trajnih oscilacija koje su se pojavile pri kritičnom pojačanju.

Iz slike 5.2. slijedi da je $K_{kr} = 3$, a $T_{kr} = 3$ s.

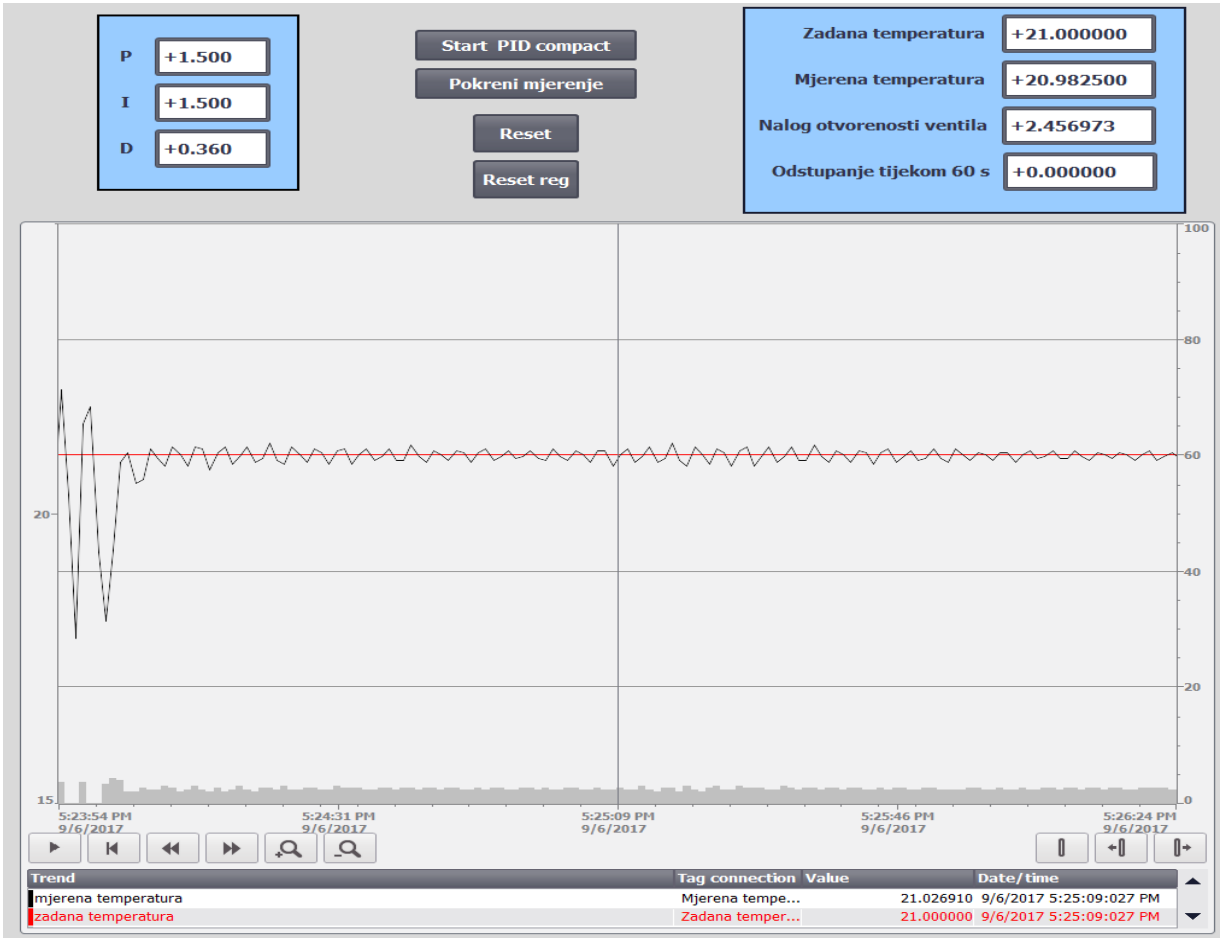
Sada preostaje izračunati parametre regulatora prema tablici 1.

$$P = 0{,}6\,K_{kr} = 1{,}5 \tag{5-1}$$

$$T_i = 0{,}5\,T_{kr} = 1{,}5 \tag{5-2}$$

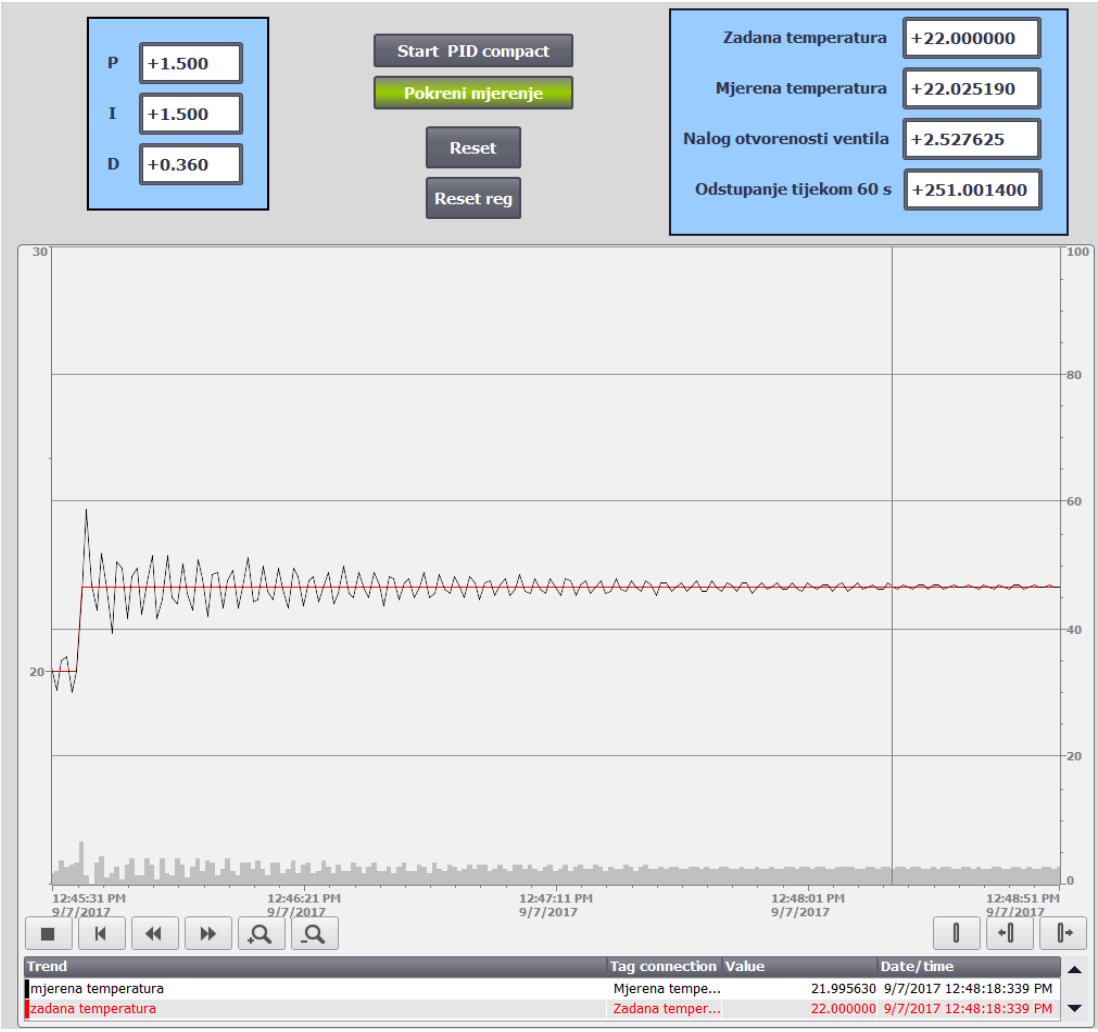
$$T_D = 0{,}12\,T_{kr} = 0{,}36 \tag{5-3}$$

Nakon izračuna parametara, isti su uneđeni u simulaciju te je dobiven odziv prikazan na slikama 5.3. i 5.4.



Slika 5.3. *Odziv simuliranog sustava sa izračunatim parametrima*

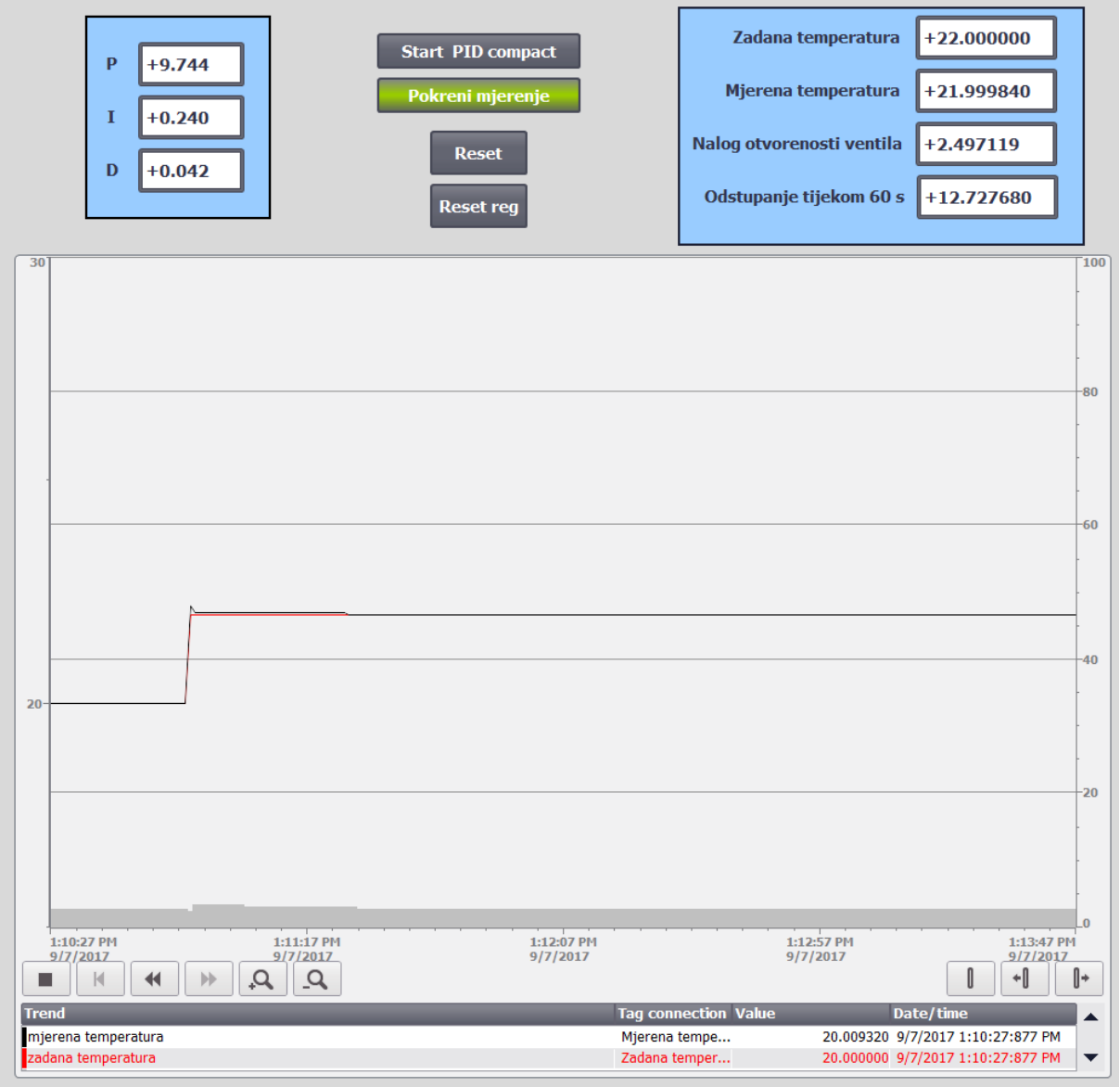
Slika 5.3. predstavlja odziv sustava na promjenu parametara, odnosno kada se dodaju projektirani I i D regulator. Također na slici 5.3. vidljivo je da pomoću samog P regulatora i dovoljnim pojačanjem sustav je doveden na rub stabilnosti, odnosno P regulator skroz slijedi promjenu regulirane veličine te zbog toga dolazi do trajnih oscilacija. Također je provedena simulacija regulacije temperature kada se zadana temperatura poveća za 2 stupnja.



Slika 5.4. *Odziv na promjenu zadane temperature*

Na slici 5.4. vidljive su oscilacije koje su se pojavile nakon promjene zadane temperature. Budući da su parametri dobiveni pokusom, može se reći da su zadovoljavajući jer oscilacije nisu raspirujuće, nemaju veliku amplitudu koja bi mogla biti štetna za proces, te se smiruju nakon 4 minute simulacije. U nastavku se za usporedbu može vidjeti kakve i kolike oscilacije se pojavljuju nakon samopodešenja PID regulatora.

5.1.2. Simulacija s Pretuningom PID regulatora



Slika 5.5. *Odziv na promjenu zadane temperature*

Na slici 5.5. prikazan je odziv simuliranog procesa na promjenu zadane temperature. Parametri regulatora dobiveni su opcijom *Pretuning* te se jasno vidi da mjerena temperatura izuzetno dobro prati promjenu zadane temperature što znači da su parametri dobiveni samopodešenjem u programu dobri. Nadvišenje je gotovo zanemarivo, a oscilacija nema što je gotovo idealan slučaj.

5.1.3. Simulacija s Fine Tuningom PID regulatora

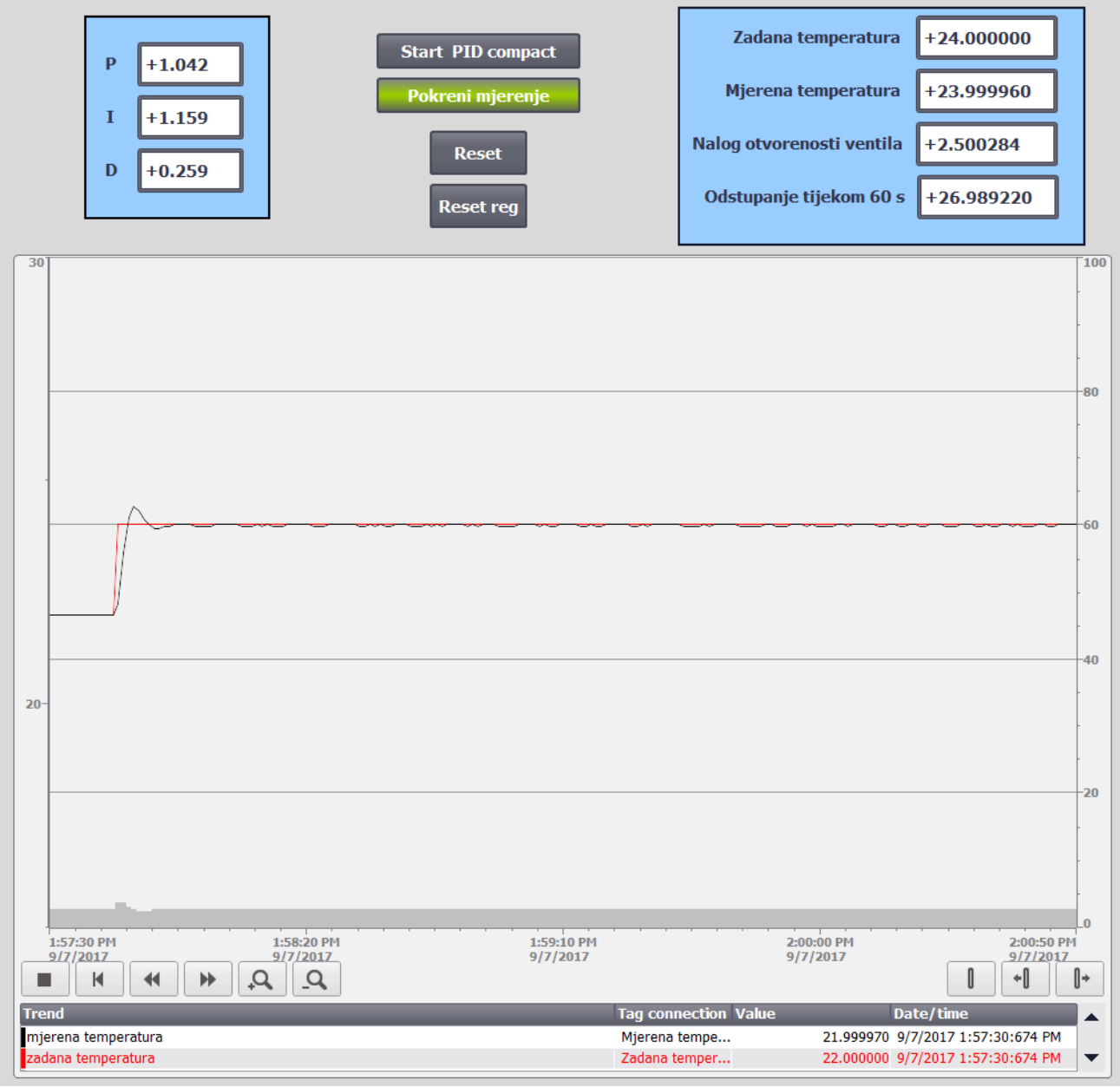
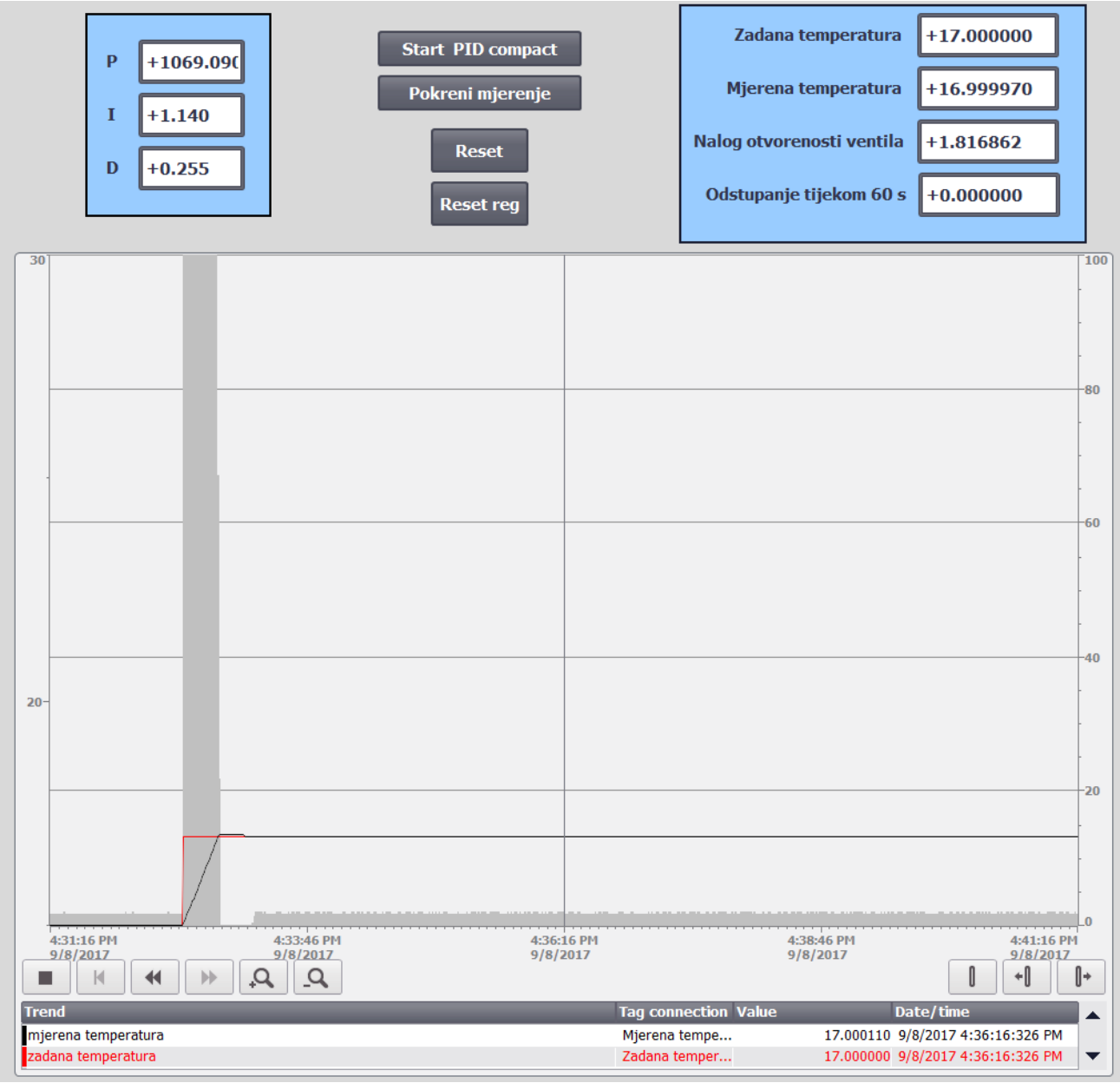


Figure 5.6. *Odziv na promjenu zadane temperature*

Za razliku od prethodnog slučaja, ovdje se jasno vidi kašnjenje, nadvišenje kao i oscilacije koje su se smirile tek nakon 3 minute. Budući da se kod *Pretuninga* i *Fine Tuninga* koriste različiti algoritmi za podešavanje parametara, i za očekivati je različite odzive. Bez obzira na razlike, oba načina podešavanja su učinkovita i zadovoljavajuća jer se nigdje ne pojavljuju velike i štetne oscilacije, a vrijeme odziva je malo.

5.2. Rezultati mjerenja

Nakon dolaska na postrojenje u dogovoru sa voditeljem postrojenja, dobivena je dozvola za mjerenje na sporednom regulacijskom krugu za proces u periodu od 2 sata. Nakon spajanja prijenosnog računala na PLC, u već postojeći program ubačena je nova funkcija s PID compact regulatorom koja je privremeno zamijenila dosadašnju logiku upravljanja.



Slika 5.7. *Odziv sustava na promjenu zadane temperature*

Prva stvar koju je bilo potrebno napraviti nakon uspješnog povezivanja je podešavanje regulatora. S obzirom na ograničeno vrijeme mjerenja, odlučeno je provesti *Fine Tuning* te odrediti odziv sustava s parametrima dobivenim tom metodom. Kako bi se metoda uspješno provela, bilo je potrebno zadovoljiti sve zahtjeve navedene u poglavlju 3.3.2.

Nakon uspješno provedenog *Fine Tuninga* provedeno je mjerenje za promjenu zadane temperature od 2 ºC.

Na slici 5.5. prikazan je odziv sustava na promjenu zadane temperature. Nakon što je došlo do promjene zadane temperature, zbog izrazito velikog pojačanja ventil se odmah otvara na 100% i propušta toplu vodu kako bi se postigla željena temperatura, što je prikazano sivim stupčastim dijagramom u pozadini. Trenutak prije dosegnute željene vrijednosti, ventil smanjuje otvorenost na 50%, a odmah zatim u sljedećem ciklusu se zatvara do kraja kako se ne bi pojavilo veliko nadvišenje temperature. Čim je mjerena temperatura ponovo pala na vrijednost zadane, regulator otvara ventil tek toliko da topla voda koja ulazi u krug grijanja održava zadanu temperaturu konstantnom. Oscilacije se nisu pojavile zbog dobrih parametara regulatora koje je PID compact algoritmom samopodešenja odredio.

Odziv sustava u slučaju promjene zadane temperature na više je poprilično brz jer se radi o relativno niskim temperaturama u industrijskom procesu, dok u slučaju promjene zadane temperature na niže traje znatno duže, 30-45 minuta za 2 stupnja.

5.3. Rasprava

U Tablici 2. prikazani su rezultati simulacije u obliku odstupanja mjerene veličine od zadane tijekom 60 sekundi, nakon promjene zadane veličine. Kao što se može vidjeti, *Pretuning* je dao najbolje rezultate, odnosno u tom slučaju oscilacija nije bilo, tako da se pojavilo samo nadvišenje koje je vrlo brzo nestalo. U preostala dva slučaja došlo je do pojave oscilacija u mjerenoj temperaturi, ali ne u jednakim granicama. Kod eksperimentalne metode oscilacije su znatno veće i puno duže traju, pa je i odstupanje puno veće u usporedbi s druge dvije simulacije.

Tablica 2. *Usporedba odstupanja mjerene veličine*

Vrsta simulacije	Odstupanje tijekom 60 sekundi
Ziegler-Nichols metoda	251,00
Pretuning	12,727
Fine Tuning	26,989

Prema provedenim simulacijama, može se reći da je *Pretuning* temeljen na Z-N II metodi dao najbolje rezultate.

Odstupanje tijekom 60 sekundi dobiveno je tako da se u programu zbraja trenutna razlika između zadane i mjerene temperature svake sekunde, po potrebi se odredi apsolutna vrijednost i zbraja sa prethodnim rezultatom sve dok ne prođe zadano vrijeme koje je u ovom slučaju 60 sekundi a zatim se sprema i prikazuje na HMI aplikaciji.

6. ZAKLJUČAK

Industrijske kotlovnice su postrojenja u kojima se proizvodi topla voda, regulacija temperature u krugovima grijanja kao i priprema i održavanje potrošne tople vode. Važnu ulogu ima kakvoća regulacije temperature, a budući da se radi o relativno sporom procesu, bitno je ne proizvesti velike oscilacije temperature.

U ovom radu objašnjen je rad industrijske kotlovnice te koji su njezini osnovni dijelovi bitni za rad. Budući da se javlja potreba za stalnom promjenom temperature u objektima i industrijskim procesima, potrebno je regulirati krugove grijanja, što se u ovom radu postiglo kompaktnim Simatic 1500 PID regulatorom. Za izradu softvera korišten je programski paket TIA Portal koji izvrsno služi kako početnicima tako i naprednim korisnicima. Napravljen je matematički model procesa zagrijavanja vode kako bi se mogli odrediti parametri PID regulatora, a kakvoća regulacije pomoću tih parametara kasnije je uspoređena sa kakvoćom regulacije za iskustvene postupke, a u konačnici za algoritam samopodešavajućeg regulatora u simulaciji, dok je mjerenje provedeno za parametre dobivene samopodešenjem regulatora.

Zadatak ovog diplomskog rada bio je nekom od metoda sinteze regulatora podesiti PID regulator i implementirati ga u industrijsku kotlovnicu radi regulacije temperature u krugovima grijanja.

LITERATURA

1. V. Ravlić, Automatika, Zagreb, 2001.
2. http://www.cranenuclear.com/index.cfm?objectid=6ACAD7D2-9CF6-8076-65C8922D1F75804E&page=6BE3890C-92CA-6EF4-60210DC7DD8F7A0A. [Pristup 25. 06. 2017].
3. http://automationprimer.com/2014/03/16/siemens-plcs/. [Pristup 25. 06. 2017].
4. http://www.plcdev.com/how_plcs_work. [Pristup 01. 07. 2017].
5. http://www.excelautomationsolutions.com/plc-training. [Pristup 26 6 2017].
6. Siemens, »SIMATIC S7-1500/ ET 200MP Automation system,« siemens.com, 2009, p. 269.
7. Siemens, SIMATIC S7-1200, S7-1500 PID control, 2017.
8. J. Perić, »Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu,« zagreb, Fakultet strojarstva i brodogranje , 2012, p. 172.
9. https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/AU_predavanje19_bez_animacija.pdf. [Pristup 26 8 2017].
10. N. Perić, Automatizacija postrojenja i procesa, Zagreb, 2004.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu obrađena je regulacija temperature u industrijskoj kotlovnici pomoću Simatic 1500 komaktnog PID regulatora. Na samom početku opisana je kotlovnica te izvršni i mjerni članovi te je dan uvid u strojarsku shemu kao i fotografije. U nastavku je proces opisan matematičkim jednadžbama kako bi se dobio model procesa.

Detaljno je opisan rad u TIA Portalu od vrsta programskih jezika pa sve do postavljanja bloka PID Compact pomoću kojeg je regulirana temperatura.

Parametri PID regulatora određeni su na tri načina, prvi je bio pomoću matematičkog modela procesa, drugi je bio neka od iskustvenih metoda dok je treći bio samopodešenje koji je jedna od opcija u TIA Portalu.

U konačnici, provedena je simulacija u programskom paketu, a isto tako je izvršeno mjerenje u kotlovnici te su uspoređeni rezultati.

Ključne riječi: Industrijska kotlovnica, PID regulator, regulacija temperature, samopodešenje, Simatic, TIA Portal

ABSTRACT

This masters thesis looks into temperature control in industrial boiler room by applying Simatic 1500 compact PID controller. In the first part of this thesis both industrial boiler room and executive and measuring members are described and insight is given into mechanical engineering scheme as well as photographs. Furthermore, precess is described by mathematical equations in order to get model of the process.

Working in a program is meticulously described starting with types of programming languages and all up to setting PID Compact block which is used to control temperature.

Parameters of PID controller are determined by three ways. The first one has been by mathematical model of the process, the second one was an empirical method and the third one was autotuning which is one of the options listed in TIA Portal.

Finally, simulation has been made and also measurement inside industrial boiler room has been done and results were then compared.

Key words: Industrial boiler room, PID controller, temperature control, autotuning, Simatic, TIA Portal

ŽIVOTOPIS

Petar Huis rođen je 15. ožujka 1994. godine u Osijeku. U Belišću pohađa Osnovnu školu Ivana Kukuljevića koju završava 2008. godine. Iste te godine upisuje srednju školu u Valpovu, smjer elektrotehničar i završava 2012. godine. Tijekom cijelog srednjoškolskog obrazovanja ostvaruje vrlo dobar uspjeh, te sudjeluje na školskim i županijskim natjecanjima iz predmeta osnove elektrotehnike. Kao najbolji učenik u generaciji dobiva izravan upis na Elektrotehnički fakultet Osijek, sada Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, gdje upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike, a nakon toga diplomski studij elektroenergetike, izborni blok održiva elektroenergetika.

Tijekom srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja aktivno se bavi sportovima kao što su trčanje, biciklizam i kuglanje te ostvaruje zapažene rezultate na razini županije i države.

Na posljednjoj godini diplomskog studija odrađuje praksu u tvrtki TEO - Belišće d.o.o. gdje ostvaruje suradnju u obliku stipendije i izrade diplomskog rada.

Petar Huis