

Izrada PLC upravljačkog sustava za ekstruder

Kušer, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:885883>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Matija Kušer

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Tomislav Staroveški, dipl. ing.

Student:

Matija Kušer

Zagreb, 2019

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

Velika hvala mojem mentoru, Doc. dr. sc. Tomislavu Staroveškom na ukazanom povjerenju, velikom strpljenju i potpori tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Dr. sc. Mihi Klaiću na korisnim savjetima i pomoći oko izrade i sklapanja elektro ormara. Veliko mjesto u mojem srcu ostavili su djelatnici Laboratorija za alatne strojeve i hvala im na podijeljenom iskustvu i savjetima.

Naravno zahvaljujem se svojoj obitelji na pruženoj podršci i strpljenju tijekom studija. Puno hvala mojem ocu Augustu, majci Ani, braći Andreju i Danijelu, djedu Janku, baki Cvjeti i baki Mariji kao i ujaku Milanu, bez kojih moje studiranje ne bi bilo moguće.

Neizmjereno hvala mojem rođaku, Josipu Rukelju, na ukazanoj potpori i vjeri. Hvala na velikoj motivaciji tijekom studija i na iskrenom prijateljstvu.

Matija Kušer



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MATIJA KUŠER**

Mat. br.: 0035196760

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izrada PLC upravljačkog sustava za ekstruder**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of PLC-based thermoplastic extruder control system**

Opis zadatka:

Na Zavodu za tehnologiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje dostupan je zastarjeli ekstruder za polimerne materijale koji nije opremljen odgovarajućim upravljačkim sustavom. Iako je u sklopu prethodnih diplomskih radova projektiran nadomjesni upaljački sustav zasnovan na PLC uređaju, još nije realizirana odgovarajuća programska podrška. Ona treba biti izrađena na način da korisniku omogućava prilagodbu parametara procesa prerade za više različitih materijala.

U radu je potrebno:

1. Izraditi upravljački elektro ormar prema dostupnoj dokumentaciji.
2. Izraditi PLC program za upravljanje ekstruderom.
3. Testirati upravljački sustav na ekstruderu.
4. Dati zaključke rada.

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

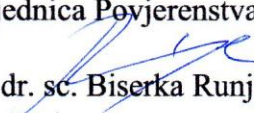
Zadatak zadan:
07. ožujka 2019.

Rok predaje rada:
09. svibnja 2019.

Predviđeni datum obrane:
15. svibnja 2019.
16. svibnja 2019.
17. svibnja 2019.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Tomislav Staroveški

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PROCES ESKTRUDIRANJA	2
2.1. Najčešće izvedbe ekstrudera	4
2.1.1. Izvedbe s jednim pužnim vijkom.....	4
2.1.2. Izvedbe s više pužnih vijaka	5
2.1.3. Klipni ekstruderi	7
2.2. Upravljački sustav ekstrudera	8
2.2.1. Ulazni i izlazni moduli.....	9
2.2.2. Princip rada PLC-a.....	10
3. ZATEČENO STANJE STROJA	11
4. ELEMENTI UPRAVLJAČKOG SUSTAVA STROJA	14
4.1. Elektromotor	14
4.2. Frekventni pretvornik.....	16
4.3. Izvori napajanja.....	17
4.4. PLC s odgovarajućima I/O modulima	20
4.5. Ventilatori	21
4.6. Poluvodički releji za grijače.....	22
4.7. Osigurači i FID sklopka	23
4.8. Kućište elektro ormara	23
4.9. Podsustavi upravljačkog sustava.....	24
4.9.1. Sigurnosni krug.....	24
4.9.2. Krug za detekciju grešaka	26
4.9.3. Podsustav za grijanje i hlađenje	27
4.9.4. Podsustav za regulaciju frekvencije vrtnje motora	28
4.9.5. PLC konfiguracija	29
4.9.6. Krug za napajanje.....	31
5. UPRAVLJAČKI PROGRAM	33
5.1. Ladder dijagram.....	33
5.1.1. Sigurnosni krug i krug za detekciju grešaka	34
5.1.2. Podsustav za grijanje i hlađenje	35
5.2. Sadržaj na korisničkom sučelju.....	37
5.2.1. Početna forma	37
5.2.2. Forma za odabir parametara.....	38
5.2.3. Forma za uređivanje parametara	39
5.2.4. Forma za prikaz grešaka	41

5.3. Tablica parametara	41
6. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44
PRILOZI.....	45

POPIS SLIKA

Slika 1.	Primjer ekstrudera [3].....	2
Slika 2.	Shematski prikaz operacija [2].....	3
Slika 3.	Skica jednopusnog ekstrudera [4]	5
Slika 4.	Dvopusni istosmjerni ekstruder s paralelnim vijcima [4]	5
Slika 5.	Dvopusni protusmjerni ekstruder s koničnim vijcima [4].....	6
Slika 6.	Pužni vijci s tijesnim zahvatom [4]	6
Slika 7.	Pužni vijci s djelomičnim zahvatom [4].....	6
Slika 8.	Nezahvaćeni pužni vijci [4].....	7
Slika 9.	Shematski prikaz klipnog ekstrudera	7
Slika 10.	CPU i I/O moduli [5].....	8
Slika 11.	Primjer HMI korisničkog sučelja [6].....	9
Slika 12.	Primjer PLC-a sa dodatnim modulima [7]	10
Slika 13.	Jedan ciklus rada PLC kontrolera.....	10
Slika 14.	Zatečeno stanje stroja [1]	11
Slika 15.	Unutarnji grijači podijeljeni u tri toplinske zone [1]	12
Slika 16.	Prikaz vanjskog grijača [1]	12
Slika 17.	Senzor temperature PT100 [8]	13
Slika 18.	Prikaz remenskog prijenosa, reduktora i spojke [1].....	13
Slika 19.	Pločica elektromotora Končar ARN 112M-4.....	15
Slika 20.	Frekventni pretvornik Yaskawa A1000 CIMR-AC4A0018 FAA [9].....	16
Slika 21.	Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [11]	18
Slika 22.	Izvor napajanja Mean Well DRT-240-24 [12]	19
Slika 23.	PLC CPU Unitronics Vision V700 [13].....	21
Slika 24.	Poluvodički relej Maxwell SSR MS-1DA4840	22
Slika 25.	Temeljna ploča sa ugrađenim elementima	23
Slika 26.	Schmersal SRB 301LC [15]	24
Slika 27.	Shema sigurnosnog kruga	25
Slika 28.	Shema kruga za detekciju grešaka.....	26
Slika 29.	Shema podsustava za grijanje i zračno hlađenje	27
Slika 30.	Podsustav za vodeno hlađenje	28
Slika 31.	Shema podsustava za regulaciju frekvencije brzine vrtnje	29
Slika 32.	PLC konfiguracija	31
Slika 33.	Podsustav za napajanje	32
Slika 34.	Logički slijed za rutinu PID Z3	33
Slika 35.	Logički slijed za uključenje releja K5	34
Slika 36.	Logički slijed za regulaciju prve toplinske zone	36
Slika 37.	Stablo formi prikaza na korisničkom sučelju	37
Slika 38.	Početna forma sa osnovnim podacima	38
Slika 39.	Forma za odabir parametara	39
Slika 40.	Forma za uređivanje parametara	40
Slika 41.	Forma za prikaz grešaka.....	41
Slika 42.	Izgled tablice parametara.....	42

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Elektromotor Končar ARN 112M-4	15
Tablica 2.	Osnovni podaci frekventnog pretvornika [10]	16
Tablica 3.	Izvori napajanja i potrošači	17
Tablica 4.	Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [1]	18
Tablica 5.	Izvor napajanja Mean Well DRT-240-24 [1]	19
Tablica 6.	Osnovni podaci Unitronics Vision V700-T20BJ PLC-a [1]	20
Tablica 7.	Osnovni podaci ventilatora Sunon SF23092A2092HST [1]	21
Tablica 8.	Poluvodički relej Maxwell SSR MS-1DA4840 [14]	22
Tablica 9.	Popis I/O modula [1]	29

POPIS OZNAKA

OZNAKA	JEDINICA	OPIS
AC	-	izmjenična struja
C	-	oznaka osigurača
CPU	-	procesor
D	[mm]	duljina elementa
DC	-	istosmjerna struja
f	[Hz]	frekvencija napona / vrtnje motora
HMI	-	korisničko sučelje
I	[A]	jakost struje
I/O	-	ulazi i izlazi
i	-	prijenosni omjer
L/D	-	omjer djelotvorne duljine pužnog vijka i njegovog promjera
M	[Nm]	moment
m	[kg]	masa
n	[min ⁻¹]	učestalost vrtnje (broj okretaja)
P	-	broj pužnih vijaka
P	[W]	snaga grijača / elektromotora
PE-UHMW	-	Poli-etilen vrlo visoke molekularne težine
PLC	-	programibilno logički kontroler
PTFE	-	Poli-tetra-fluor-etilen
$\check{S}$	[mm]	širina elementa
t	[s]	vrijeme
U	[V]	napon struje
V	[mm]	visina elementa
κ	-	kompresijski omjer
v	[°C]	temperatura

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu izrađen je upravljački elektro ormar, te je napravljen PLC program za upravljanje ekstruderom. Uvodni dio diplomskog rada opisuje princip rada ekstrudera i prikazuje najčešće izvedbe takvih strojeva. Drugi dio diplomskog rada posvećen je upravljačkom sustavu, gdje je za svaki podsustav stroja dana električna shema i kratak opis. Zatim je opisan i objašnjen PLC program. U prilogu diplomskog rada dana je električna shema i cijeli PLC program.

Ključne riječi: ekstruder za polimere, PLC upravljački program, upravljački sustav

SUMMARY

This thesis describes design of control system for the polymer extrusion machine. Basic components and types of polymer extrusion machines are described in the first part of this work. Second part describes the steps which have been taken in order to retrofit existing polymer extrusion machine. In the scope of this work, a suitable control cabinet has been assembled which is based on the PLC platform. This platform was then used to develop the control software for the machine. Results show that the control system is capable of controlling the desired process parameters.

Key words: polymer extrusion machine, PLC control software, control system

1. UVOD

Današnja industrija kao takva je nezamisliva bez nekog oblika automatizacije i računalnog upravljanja. Postupnim razvojem i primjenom računalne tehnologije, postepeno su se povećale efikasnosti raznih pogonskih postrojenja, te su se lakše optimizirala radna vremena. Smanjene su i greške uzrokovane ljudskim faktorom, gdje se primjenom nekog oblika automatizacije oslobodilo radnike od zamornih i ponovljivih procesa. Kod ovog rada je tako opisan upravljački sustav ekstrudera, koji se temelji na primjeni programibilnog logičkog kontrolera, PLC (engl. Programmable Logic Controller).

U ovom radu je bilo potrebno napraviti upravljački elektro ormar, te izraditi PLC upravljački program za upravljanje ekstruderom. Elektro ormar rađen je prema dostupnoj dokumentaciji [1].

U drugom poglavlju ovog rada opisan je proces ekstrudiranja. Zatim su navedene različite vrste ekstrudera ovisno o konstrukciji cilindra za taljenje, te su navedene i opisane najčešće izvedbe ekstrudera. U sklopu tog dijela spominje se upravljački sustav ekstrudera koji se temelji na primjeni programibilnih logičkih kontrolera. Nakon toga dana je definicija PLC-a, njegov princip rada, te su opisane vrste modula koji se koriste.

Kod trećeg poglavlja dani je kratak opis zatečenog stanja stroja.

U četvrtom poglavlju se opisuje upravljački sustav, kojeg je za ovaj rad bilo potrebno napraviti. Ukratko su navedeni elementi upravljačkog sustava, od kojih su najznačajniji opisani i obrazloženi zašto su odabrani. Radi jednostavnijeg opisivanja, upravljački sustav podijeljen je na par podsustava. Svaki podsustav je opisan, te je uz opis dana i električna shema po kojoj su spajani.

Peto poglavlje ovog rada opisuje upravljački program i njegovu strukturu. Opis programa podijeljen je na dvije cjeline. Jedna od njih obuhvaća logičku strukturu programa, po kojoj kasnije procesor PLC-a izdaje naredbe (PLC kod), druga cjelina obuhvaća prikaz na korisničkom sučelju.

2. PROCES ESKTRUDIRANJA

Ekstrudiranje je postupak prerade polimera, gdje se polimer tali po temperaturnim zonama, te se tako rastaljeni polimer kontinuirano protiskuje kroz alat (mlaznicu). Ekstrudiranje spada u postupak praoblikovanja, gdje se istisnuti polimer očvršćuje u zadani oblik, odnosno u ekstrudat, najčešće hlađenjem, polimerizacijom i/ili umrežavanjem. Nakon učvršćenja slijedi slaganje ili namotavanje dobivenog ekstrudata. Dobiveni ekstrudat je najčešće pravokutnog ili kružnog poprečnog presjeka. U slučaju pravokutnog poprečnog presjeka kontroliraju se dvije dimenzije ekstrudata: širina i debljina. Za slučaj kružnog poprečnog presjeka, kontrolira se jedna dimenzija, odnosno promjer ekstrudata. Ekstrudiraju se gotovo svi polimerni materijali: plastomeri, elastomeri i duromeri. Ti materijali mogu se ekstrudirati u različitim oblicima. Kao što su: cijevi, štapovi, filmovi, folije i ploče, puni i šuplji profili, plaštevci kabela ili oslojene podloge. Osim polimera mogu se ekstrudirati i drugi materijali poput: keramičkih smjesa (opeka), duktilnih metala, prehrambeni proizvodi i sl. [2]

Kod postupka ekstrudiranja najvažniji dijelovi koji se koriste su sustav za dobavu, ekstruder i alat, (slika 1.). Ostali elementi linije upotrebljavaju se po potrebi, odnosno o namjeni pojedine linije za ekstrudiranje. [2]



Slika 1. Primjer ekstrudera [3]

Na slici 2. prikazuje se shematski prikaz operacija i popis najčešće opreme koja je potrebna za svaku od operacija kod linija za ekstrudiranje polimera.



Slika 2. Shematski prikaz operacija [2]

2.1. Najčešće izvedbe ekstrudera

Postoje različite vrste ekstrudera, a međusobno se razlikuju prema konstrukciji cilindra za taljenje, stanju dobave polimera i načinu zagrijavanja polimera. Prema odredbama Europskoga odbora proizvođača strojeva za proizvodnju polimernih tvorevina, EUROMAP, ekstruderi se označuju na sljedeći način: [2]

$$P - D - L/D$$

gdje su:

- P – broj pužnih vijaka
- D – promjer pužnog vijka
- L/D – omjer djelotvorne duljine pužnog vijka i njegovog promjera

Ekstruderi kod kojih se govori o podjeli prema konstrukciji cilindra za taljenje, uglavnom se misli o različitom principu protiskivanja polimerne smjese. Prema tim principima postoje izvedbe s jednim pužnim vijkom, s više pužnih vijaka ili istiskivalice, odnosno klipni ekstruderi. [2]

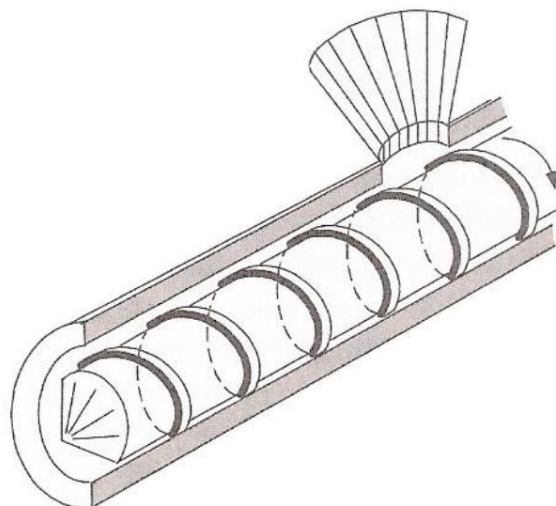
Podjela ekstrudera prema stanju dobave polimera, mogu se podijeliti na dvije vrste: [2]

- Plastificirajući ekstruderi - kod njih se polimeri prevode iz čvrstog stanja (npr. polimerne ganule ili prah) u kapljevito stanje u samom cilindru za taljenje. Takva izvedba je danas najčešća.
- Kapljevinski ekstruderi - kod njih se polimeri dobavljaju u obliku kapljevine dobivene omekšavanjem ili otapanjem.

Kada se govori o ekstruderima koji se razlikuju prema načinu zagrijavanja, dijelimo ih na politropne ekstrudere i adijabatske ekstrudere. Politropskim ekstruderima toplina se dovodi grijačima i pretvaranjem mehaničkog rada trenja u toplinu (disipacijska toplina). Adijabatni ekstruderi potrebnu toplinu za preradu polimera dovode isključivo pretvaranjem mehaničkog rada trenja u toplinu (disipacijska toplina). [2]

2.1.1. Izvedbe s jednim pužnim vijkom

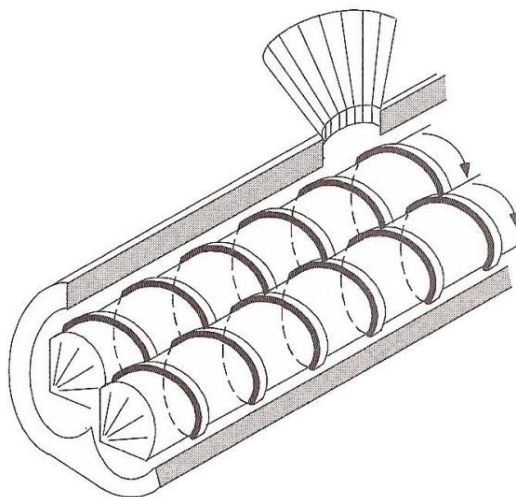
Jednpužni ekstruderi (engl. Single Screw Extruder), protiskuju polimernu taljevinu rotacijom pužnog vijka unutar cilindra za taljenje, (slika 3.). To su najčešće korišteni tipovi (izvedbe) ekstrudera. [4]



Slika 3. Skica jednopusnog ekstrudera [4]

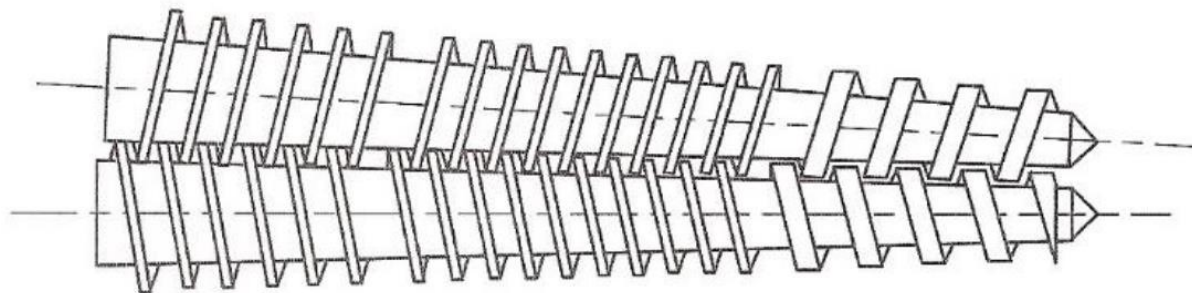
2.1.2. Izvedbe s više pužnih vijaka

Višepužni ekstruder (engl. Multi-Screw Extruder), protiskuje polimernu taljevinu rotacijom više pužnih vijaka unutar cilindra za taljenje. Najčešća izvedba višepužnog ekstrudera je ona s dva pužna vijka (engl. Twin Screw Extruder), koji su smješteni jedan do drugoga. Kod ovakve izvedbe pužni vijci mogu rotirati u istome smjeru (engl. Co-Rotating Twin Screw Extruder) ili suprotnom smjeru (engl. Counter-Rotating Twin Screw Extruder). Na slici 4. prikazana je skica dvopusnog istosmjernog ekstrudera s paralelnim vijcima. [4]



Slika 4. Dvopusni istosmjerni ekstruder s paralelnim vijcima [4]

U praksi se češće koriste protusmjerni ekstruderi zbog boljih karakteristika kod protiskivanja u odnosu na istosmjerne. Pužni vijci mogu biti paralelni ili konični. Na slici 5. prikazana je skica dvopusnog protusmjernog ekstrudera s koničnim vijcima. [4]

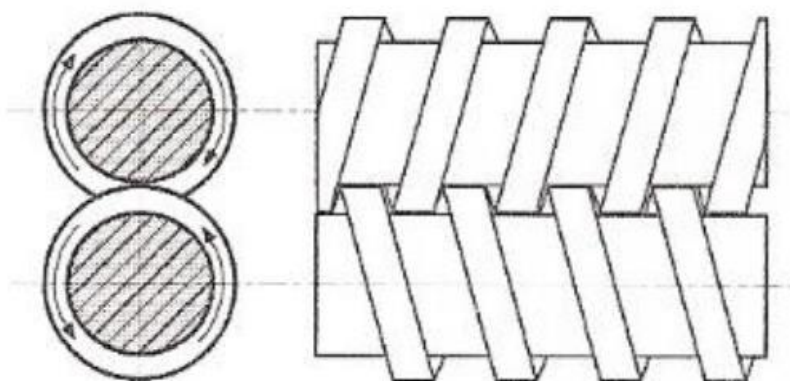


Slika 5. Dvopužni protusmjerni ekstruder s koničnim vijcima [4]

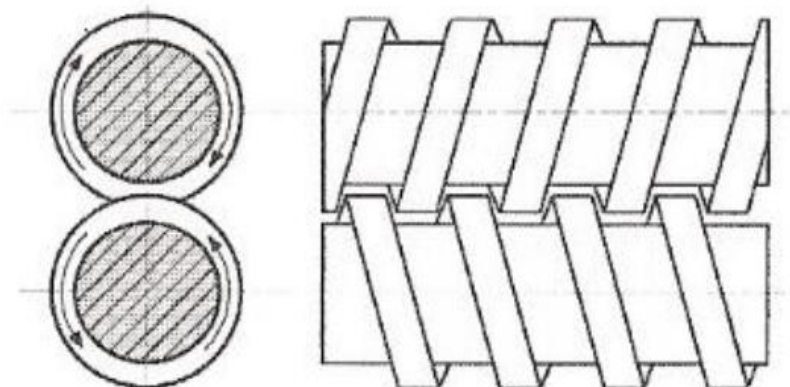
Također je potrebno spomenuti još jedan parametar koji je bitan kod protusmjernih dvopužnih ekstrudera, a to je mjera međusobnog zahvata pužnih vijaka. Razlikuju se pužni vijci s: [4]

- Tijesnim zahvatom, prikazano na (slici 6.).
- Djelomičnim zahvatom, prikazano na (slici 7.).
- Nezahvaćeni pužni vijci, prikazano na (slici 8.).

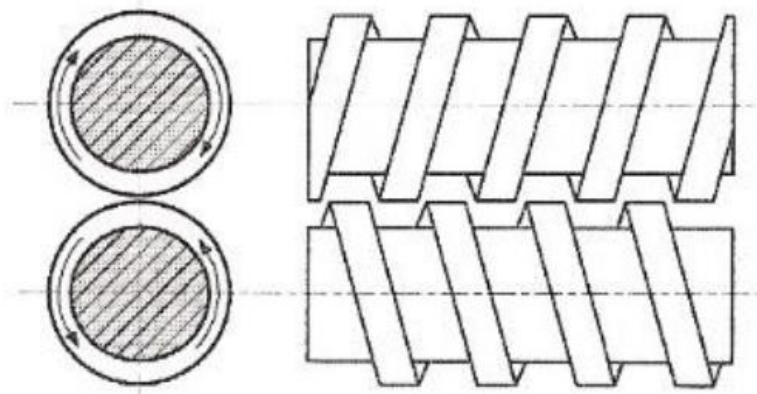
Najčešće se koriste vijci s tijesnim ili djelomičnim zahvatom, zbog boljih karakteristika miješanja polimerne taljevine. [4]



Slika 6. Pužni vijci s tijesnim zahvatom [4]



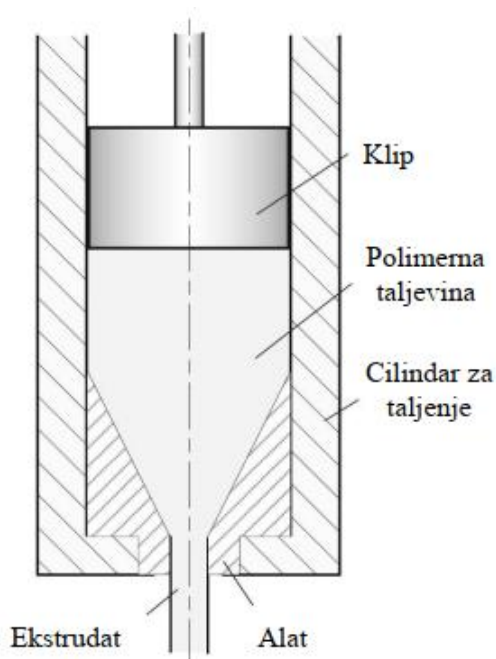
Slika 7. Pužni vijci s djelomičnim zahvatom [4]



Slika 8. Nezahvaćeni pužni vijci [4]

2.1.3. Klipni ekstruderi

Klipni ekstruderi (istiskivalice) protiskuju polimernu taljevinu kroz alat pomoću klipa. Takvi ekstruderi imaju vrlo dobre karakteristike protiskivanja i mogu razviti vrlo velike sile (tlakove), nažalost brzina istiskivanja im je relativno mala, kao i njihov kapacitet taljenja. Iz tog razloga se koriste za posebne polimere, poput Poli-tetra-fluor-etilena (eng. Poly-tetra-fluoro-ethylene, PTFE) i Poli-etilena vrlo velike molekularne težine (engl. Ultra-high-molecular-weight-polyethylene, PE-UHMW). Na slici 9. prikazan je shematski prikaz klipnog ekstrudera. [4]



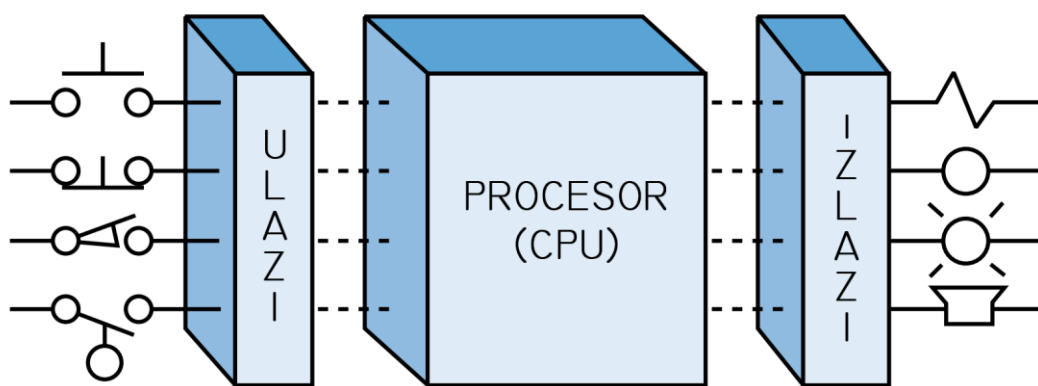
Slika 9. Shematski prikaz klipnog ekstrudera

2.2. Upravljački sustav ekstrudera

Kod novijih ekstrudera upravljački sustavi se najčešće temelje na programibilnim logičkim kontrolerima (PLC). Preko njih se lako mogu zadavati i mijenjati parametri procesa. Osim toga nisu komplicirani što se tiče programiranja. Također njihova robusnost i sposobnost rada u teškim uvjetima čini ih odličnim izborom za implementaciju u upravljački sustav ekstrudera.

PLC je digitalno računalo namijenjeno za procesnu automatizaciju. Prilagođen je za rad u industrijskim uvjetima, te umjesto elektromehaničkih uređaja koristi integrirano sklopovlje pomoću kojeg izdaje upravljačke signale. Također sadrži memoriju u koju se može spremi program, preko kojeg se zadaje niz naredbi u svrhu kontrole pojedinog stroja ili procesa. Uglavnom se primjenjuje kod procesa koji zahtijevaju visoku pouzdanost rada, kao i mogućnost jednostavnog programiranja. PLC se najčešće primjenjuje npr. kod montažnih linija, raznih robota i manipulatora, upravljanja elektromotornih pogona itd. [5]

PLC je najčešće modularne građe, tj. može se podijeliti na CPU (engl. Central Processing Unit) i na ulazno izlazne module (engl. Input/Output module, I/O) module, (slika 10.). Ovisno o broju potrebnih kanala i traženoj aplikaciji, PLC može imati jedan ili više ulazno izlaznih modula. U aplikacijama kod kojih je potrebna korisnička intervencija, najčešće se ugrađuje i dodatni modul korisničkog sučelja (engl. Human Machine Interface, HMI). Osim njih postoje izvedbe PLC-a sa već ugrađenim modulima od strane proizvođača. [5]



Slika 10. CPU i I/O moduli [5]

HMI je korisničko sučelje preko kojeg je omogućena interakcija čovjeka (operatera) sa samim strojem, (slika 11.). Preko HMI sučelja se najčešće prikazuju informacije vezane o procesu. Osim prikaza informacija, preko HMI sučelja se mogu zadavati i pojedini parametri ili uključivati različiti procesi. Interakcija je realizirana pomoću tipaka ili kod naprednijih

verzija pomoću ekrana osjetljivog na dodir (engl. touch screen). Dakako interakcija preko HMI sučelja uvelike ovisi kako je programer zamislio i realizirao svoj upravljački program. Pojedine izvedbe PLC-a proizvode se sa integriranim HMI sučeljem. Međutim, kod većine izvedba PLC sustava HMI se ugrađuje kao zaseban modul i kao takav nije nužna komponenta.



Slika 11. Primjer HMI korisničkog sučelja [6]

2.2.1. Ulazni i izlazni moduli

Preko ulaznih i izlaznih modula ostvaruje se veza između elemenata upravljačkog sustava sa PLC-om, točnije njegovim CPU modulom. Svaki modul posjeduje određeni broj kanala, na koje se spajaju ti elementi. Moduli se dijele na ulazne i izlazne, dok se prema korištenim signalima oni još mogu podijeliti na digitalne ili analogne.

Ulazni modul prima signale sa elemenata upravljačkog sustava, te ih pretvara u logičke informacije koje CPU može prepoznati. Tip ulaznog modula kod PLC-a najčešće ovisi o elementima, tj. odnosno kakvu vrstu signala mogu primiti.

Izlazni modul generira upravljačke signale koji se šalju na ostale elemente upravljačkog sustava. Stanja izlaza definirana su programom koji se izvršava u CPU modulu PLC-a.

Većina današnjih PLC-a su modularni, što znači da korisnik po svojoj potrebi može odabrati i nadograditi PLC sa specifičnim modulima, (slika 12.). Ova sposobnost PLC-a omogućava širu mogućnost primjene od jednostavnih procesa, kod kojih je potrebno nekoliko desetaka I/O kanala, pa do znatno složenijih, gdje se koristi po nekoliko modula sa stotinama

I/O kanala. Bitno je spomenuti prednost nadogradnje, gdje je u slučaju proširenja nekog projekta moguća jednostavna nadogradnja PLC sustava dodatnim modulima, bez potrebe za zamjenom cjelovitog sustava gdje je potrebno ugraditi potpuno novi PLC sa traženim značajkama.



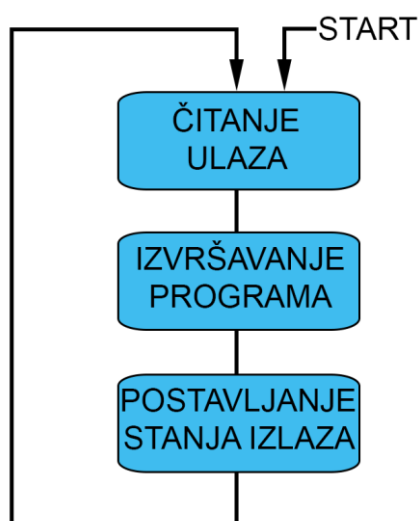
Slika 12. Primjer PLC-a sa dodatnim modulima [7]

2.2.2. Princip rada PLC-a

Jedan PLC ciklus izvršava se u nekoliko koraka, na sljedeći način, (slika 13.): [5]

- Čitanje ulaznih podataka – u ovom koraku se snimaju stanja ulaza, odnosno sa svih kanala ulaznih modula spojenih na PLC.
- Izvršavanje programa
- Postavljanje stanja izlaza, odnosno stanja svih kanala izlaznih modula spojenih na PLC.

Cijeli se proces izvršava ciklički i unutar zadanog vremenskog intervala.



Slika 13. Jedan ciklus rada PLC kontrolera

3. ZATEČENO STANJE STROJA

U ovom poglavlju će biti opisano zatečeno stanje stroja za ekstrudiranje polimera proizvođača Trusioma iz 1985. godine. Oznaka modela je E1-32-20. Prema EUROMAP normi i na temelju oznake modela ekstrudera, može se zaključiti da ekstruder ima 1 pužni vijak promjera 32 mm, a omjer djelotvorne duljine pužnog vijka i njegova promjera iznosi 20, što znači da duljina pužnog vijka L iznosi 640 mm. Na slici 14. je prikazano zatečeno stanje stroja.



Slika 14. Zatečeno stanje stroja [1]

Detaljnije informacije o pužnom vijku poput uspona navoja, širine zavojnice i kompresijskog omjera κ , kao i vrsta uvlačne zone nisu poznate zbog nedostupnosti detaljne tehničke dokumentacije.

To je plastificirajući ekstruder s jednim pužnim vijkom, kod kojeg se polimeri prevode iz čvrstog stanja (npr. polimerne granule ili prah) u kapljevito stanje u samom cilindru za taljenje. Toplinska energija potrebna za taljenje dovodi se u cilindar grijačima i pretvaranjem

mehaničkog rada u toplinu (disipacijska toplina), po tome se zaključuje da se radi o politropnom ekstruderu. Na cilindru za taljenje nalazi se šest prstenastih grijača izoliranih „mica“ materijalom (engl. Mica Insulated Heaters) snage 470 W, nazivnog napajanja 220V AC (engl. Alternating Current). Ti su grijači raspoređeni u tri toplinske zone (jedan par po svakoj), te su poznati kao unutarnji grijači. Prikazani su na (slici 15.). Na samom alatu za ekstrudiranje nalazi se još jedan par vanjskih grijača snage 250 W, nazivnog napajanja 250V AC, (slika 16.).



Slika 15. Unutarnji grijači podijeljeni u tri toplinske zone [1]



Slika 16. Prikaz vanjskog grijača [1]

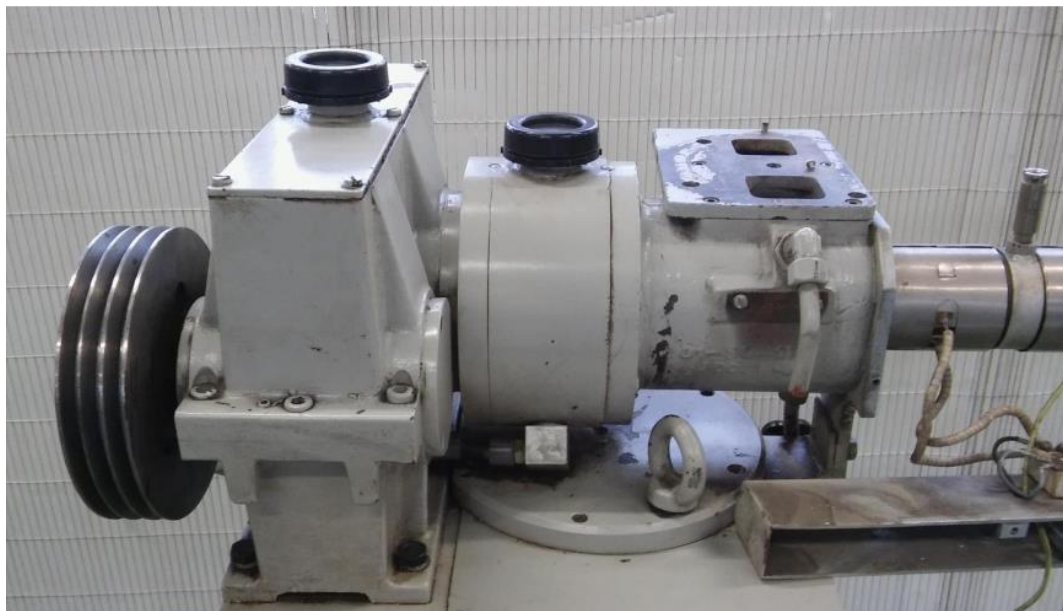
Kod svake toplinske zone i na alatu za ekstrudiranje nalazi se senzor temperature. Senzori koji se koriste su tipa PT100. Postoji više otporničkih senzora kojima se otpor gotovo linearno povećava s povećanjem temperature, (slika 17.).



Slika 17. Senzor temperature PT100 [8]

Bitno je spomenuti da se kod toplinskih zona nalazi i po jedan par prskalica za vodeno hlađenje, za potrebe brzog hlađenja cilindra u slučaju nužde.

Ekstruder je bio pogonjen istosmjernim motorom VEM MFC 112 L2.FD1, nazivne snage 6,13 kW. Dok se ostatak prigona sastoji od remenskog prijenosa (prijenosnog omjera $i = 2,375$), reduktora (nepoznatog prijenosnog omjera) i spojke, (slika 18.).



Slika 18. Prikaz remenskog prijenosa, reduktora i spojke [1]

4. ELEMENTI UPRAVLJAČKOG SUSTAVA STROJA

Upravljački sustav stroja mora omogućiti regulaciju temperature taline po svim zonama ekstrudera. U slučaju da se rast temperature ne može kontrolirati klasičnim paljenjem i gašenjem grijača, upravljački sustav će po potrebi koristiti ventilatore ili vodeno hlađenje. Također mora se omogućiti regulacija frekvencije vrtnje pužnog vijka, odnosno brzina ekstrudiranja.

U ovom poglavlju su navedeni elementi upravljačkog sustava, od kojih su najznačajnije opisane i obrazložene zašto su odabrane. Sam upravljački sustav je temeljen na PLC sustavu sa odgovarajućim I/O modulima. U nastavku je za svaki podsustav je prikazana električna shema, te je uz svaku shemu dan i kratak opis. Odabrani elementi su:

1. Elektromotor,
2. Frekventni pretvornik,
3. Izvor napajanja,
4. PLC CPU s pripadajućim I/O modulima,
5. Ventilatori,
6. Poluvodički releji,
7. Mehanički releji,
8. FID sklopka,
9. Osigurači,
10. Sigurnosni relejni modul,
11. Tipkala i sklopke
12. Kućište elektro ormara,

4.1. Elektromotor

Uvidom u zatečeno stanje uočeno je da je postojeći elektromotor neispravan. Zbog relativno visoke cijene popravka, kao i zbog mogućih većih troškova održavanja u usporedbi sa sinkronim ili asinkronim motorima, odlučeno je da se postojeći elektromotor neće popravljati. Osim toga, ako se i zadrži postojeći motor, to bi podrazumijevalo i nabavku odgovarajućeg regulatora kojeg je u današnje vrijeme teško nabaviti.

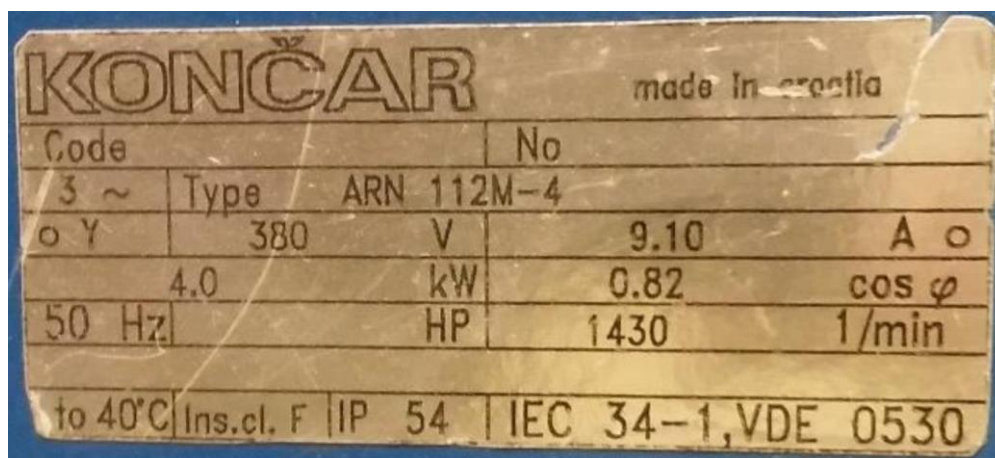
Iz navedenih razloga postojeći je motor zamijenjen drugim dostupnim motorom. Kod odabira novog elektromotora najbitnije je da su pogonske karakteristike slične karakteristikama postojećeg. Idealan izbor bio bi novi sinkroni motor, zbog dobrih pogonskih

karakteristika, međutim uzevši u obzir financijski budžet projekta, iskoristiti će se kavezni asinkroni motor koji je na raspolaganju. Jedan od razloga za odabir tog elektromotora su pogonske karakteristike koje su slične postojećem.

Elektromotor koji se koristi je trofazni asinkroni kavezni motor Končar ARN 112M-4. Osnovni podaci elektromotora prikazani su u (tablici 1.), također prikazana je i pločica elektromotora, (slika 19.). Navedeni elektromotor nema ugrađen enkoder.

Tablica 1. Elektromotor Končar ARN 112M-4

Nazivna snaga [kW]	4,0
Nazivni napon [V]	380
Nazivna jakost struje [A]	9,1
Nazivna frekvencija struje [Hz]	50
Nazivna učestalost vrtnje [1/min]	1430
Broj pari polova	4
Nazivni moment [Nm]	26,71



Slika 19. Pločica elektromotora Končar ARN 112M-4

U slučaju da navedeni elektromotor ne zadovolji tražene uvjete rada, naknadno će se odabrati drugi elektromotor. Iz tog razloga odabrani frekventni pretvornik trebao bi imati mogućnost upravljanja sinkronim i asinkronim motorima, također bi trebao biti dimenzioniran za veće nazivne snage od onih potrebnih za odabrani asinkroni motor.

4.2. Frekventni pretvornik

Frekventni pretvornik koji se koristi je Yaskawa A1000 CIMR-AC4A0018 FAA (slika 20.). Odabran je iz razloga jer se njime mogu upravljati sinkroni i asinkroni motori, također posjeduje podršku za ugradnju enkodera, te više različitih modova u kojima može raditi. Bitno je spomenuti da je odabran frekventni pretvornik veće nazivne struje u odnosu na potrebnu nazivnu struju elektromotora, što u budućnosti omogućuje zamjenu motora bez potrebe za zamjenom samog frekventnog pretvornika. Osnovni podaci frekventnog pretvornika prikazani su u (tablici 2.).



Slika 20. Frekventni pretvornik Yaskawa A1000 CIMR-AC4A0018 FAA [9]

Tablica 2. Osnovni podaci frekventnog pretvornika [10]

Jakost izlazne struje, (engl. Heavy Duty Reating) [A]	14,8
Snaga motora, (engl. Heavy Duty Reating) [kW]	5,5
Nazivna jakost izlazne struje, (engl. Normal Duty Reating) [A]	17,5
Nazivna snaga motora, (engl. Normal Duty Reating) [kW]	7,5

4.3. Izvori napajanja

Cijeli sustav predviđen je za napajanje trofaznim izmjeničnim naponom od 380V. Pošto je potrebno određene komponente stroja napajati različitim naponima, za svaku od njih biti će definiran odgovarajući izvor. Odabrani izvori napajanja kao i njihovi potrošači dani su u (tablici 3.). Odabrani grijači generiraju istosmjerni napon (engl. Direct Current, DC).

Tablica 3. Izvori napajanja i potrošači

IZVOR NAPAJANJA	POTROŠAČ
380 V AC	Frekventni pretvornik, Elektromotor, Ispravljač 1
220 V AC	Unutarnji i vanjski grijači, Ventilator, Ispravljač 2
24 V DC (ispravljač 1)	Ventili za vodu
24 V DC (ispravljač 2)	PLC CPU jedinica, I/O moduli

Izvori istosmjernog napajanja podijeljeni su u dvije međusobno odvojene cjeline. Prvi izvor napajanja (ispravljač 1), namijenjen je za napajanje potrošača, odnosno ventila za vodeno hlađenje. Drugi izvor napajanja (ispravljač 2), namijenjen je isključivo za napajanje logičkih i mjernih krugova, na njih se vežu PLC kontroler i sigurnosno relejni modul. Na taj je način smanjen utjecaj smetnji i osigurana je djelomična funkcionalnost upravljačkog sustava, čak i u slučaju da su ostali podsustavi stroja isključeni ili u kvaru.

Ispravljač 1 je Mean Well EDR-120-24, prikazan na (slici 21.), nazivnih karakteristika danih u (tablici 4.).

Tablica 4. Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [1]

IZLAZ	Nazivni napon [V DC]	24
	Nazivna jakost struje [A]	5
	Nazivni raspon jakosti struje [A]	0 – 5
	Nazivna snaga [W]	120
ULAZ	Nazivni raspon napona [V AC]	90 – 264
	Nazivna jakost struje [A]	1,3 / 230V AC
	Nazivni raspon frekvencije [Hz]	47 – 63
	Efikasnost [%]	87,5
Dimenzije (Š x V x D) [mm]	40 x 125,2 x 113,5	
Masa [kg]	0,6	
Montaža	DIN šina	



Slika 21. Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [11]

Ispravljač 2 je Mean Well DRT-240-24, prikazan na (slici 22.), nazivnih karakteristika danih u (tablici 5.).

Tablica 5. Izvor napajanja Mean Well DRT-240-24 [1]

IZLAZ	Nazivni napon [V DC]	24
	Nazivna jakost struje [A]	10
	Nazivni raspon jakosti struje [A]	0 – 5
	Nazivna snaga [W]	240
ULAZ	Nazivni raspon napona [V AC]	3~ 340 - 550
	Nazivna jakost struje [A]	0,95 / 400V AC
	Nazivni raspon frekvencije [Hz]	47 – 63
	Efikasnost [%]	89
Dimenzije (Š x V x D) [mm]	125,5 x 125,2 x 100	
Masa [kg]	1,3	
Montaža	DIN šina	



Slika 22. Izvor napajanja Mean Well DRT-240-24 [12]

4.4. PLC s odgovarajućima I/O modulima

PLC CPU koji je odabran u ovom radu je Unitronics Vision V700-T20BJ s integriranim korisničkim sučeljem (HMI), (slika 23.). Njegovi osnovni podaci dani su u (tablici 6.).

Tablica 6. Osnovni podaci Unitronics Vision V700-T20BJ PLC-a [1]

Nazivni napon napajanja [V DC]		12 ili 24
Maksimalna jakost struje [mA]		320 / 24 V DC
EKTRAN	Veličina ["]	7
	Rezolucija [pikseli]	800 x 480
	Vrsta ekrana	TFT LCD
	Osvjetljenje ekrana	Bijelo LED
KOMUNIKACIJA (1 port istovremeno*)	RS232*	±20V DC
		Kabel duljine do 25 m
	RS485*	-7 do +12 V DC
		Kabel duljine do 1200 m
	USB*	Mini – B
		USB 2.0
	Etharnet	RJ45
		10/100 Mbps
		CAT 5 STP kabel
I/O	Snap-in I/O moduli	do 62 I/O kanala
	I/O Expansion Local	do 8 I/O Expansion Modula, svaki od njih do 128 dodatnih I/O kanala
	Remote	preko CANbus porta
Radni raspon temperature [°C]		0 do + 50
Masa [kg]		0,64
Dimenzije (Š x V x D) [mm]		210 x 146,4 x 42,3



Slika 23. PLC CPU Unitronics Vision V700 [13]

Da bi nadogradili Unitronics Vision V700 PLC sa dodatnim I/O modulima, potrebno je koristiti modul za proširenje (engl. Expansion module) EX-A2X. Njime se omogućuje spajanje do 8 dodatnih I/O modula. Dodatni moduli koji će se koristiti najviše ovise o broju potrebnih ulaza i izlaza. Odabrani dodatni I/O moduli u sklopu ovog projekta koji se koriste dani su u potpoglavlju 4.9.5. u (tablici 9.).

4.5. Ventilatori

Ventilatori koji će se koristiti moraju biti predviđeni za rad pri povišenim temperaturama, a uz to moraju biti otporni na vlagu i prašinu. Odabrani ventilatori su proizvođača Sunon SF23092A2092HST, te su njihovi osnovni podaci dani su u (tablici 7.).

Tablica 7. Osnovni podaci ventilatora Sunon SF23092A2092HST [1]

Nazivni napon [V AC]	240
Nazivni raspon napona [V AC]	185 – 245
Nazivna frekvencija [Hz]	60
Nazivni raspon učestalosti vrtnje[1/min]	2250 – 2750
Volumni protok zraka [m ³ /h]	49,27 – 61,16
Nazivna snaga [W]	14,5
Radni raspon temperature [°C]	-10 - +70
Masa [kg]	0,28
Dimenzije (Š x V x D) [mm]	92 x 92 x 25

4.6. Poluvodički releji za grijače

Kod napajanja grijača, bitno je odabrati releje koji mogu podnijeti veliki uklapanja i isklapanja. Pošto se mehanički releji troše, odlučeno je da će se odabrati poluvodički releji, zbog pouzdanog i dugotrajnijeg životnog vijeka. Odabrani poluvodički releji su proizvođača Maxwell SSR MS-1DA4840, (slika 24.). Odabrani poluvodički releji predviđeni su za uklapanje jednofaznog izmjeničnog napona do 240V, a upravljaju se istosmjernim naponom do 24V. Njihove karakteristike dane su u (tablica 8.)

Tablica 8. Poluvodički relej Maxwell SSR MS-1DA4840 [14]

Nazivni napon [V AC]	480
Nazivni upravljački napon [V DC]	5 -32
Nazivna jakost struje [A]	40
Nazivna upravljačka struja [mA]	3 – 15
Pad napona u zasićenju [V]	$\leq 1,5$
Vrijeme ukapčanja [ms]	≤ 10
Radni raspon temperature [°C]	- 30 do +75



Slika 24. Poluvodički relej Maxwell SSR MS-1DA4840

4.7. Osigurači i FID sklopka

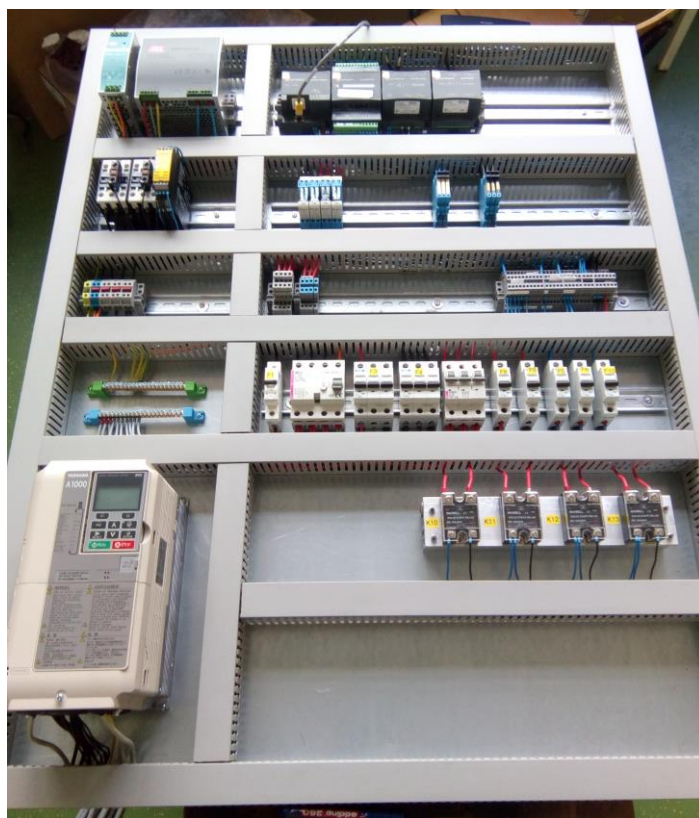
Svi osigurači koji se koriste su automatski osigurači proizvođača EATON, C karakteristike. Broj nakon oznake C označuje koje jakosti struje oni propuštaju.

Svi grijači napajaju se jednofaznim izmjeničnim naponom od 220V, dok se frekventni pretvornik napaja trofaznim izmjeničnim naponom od 380V.

U sustavu je ugrađena FID sklopka, čija je namjena prekinuti napajanje grijačima i ventilatorima u slučaju da se strujni krug dijelom zatvori kroz vod uzemljenja. Takva situacija se može potencijalno očekivati zbog rashladnog sustava hlađenja vodom.

4.8. Kućište elektro ormara

Svi navedeni elementi nalaze se u elektro ormaru, osim elektromotora, ventilatora, grijača senzora temperature i ventila za vodeno hlađenje. Dimenzije elektro ormara uvjetovane su komponentama koje će se nalaziti u njemu. Na slici 25. je prikazana temeljna ploča s ugrađenim elementima upravljačkog sustava.



Slika 25. Temeljna ploča sa ugrađenim elementima

4.9. Podsustavi upravljačkog sustava

Radi lakšeg opisivanja samog upravljačkog sustava, isti je podijeljen u par podsustava, za koje je u narednim poglavljima dana njihova električna shema, kao i njihova funkcija. Ti podsustavi su:

- Sigurnosni krug
- Krug za detekciju grešaka
- Podsustav za grijanje toplinskih zona
- Podsustav za hlađenje
- Podsustav za regulaciju brzine
- PLC konfiguracija
- Podsustav za napajanje

4.9.1. Sigurnosni krug

Sigurnosno relejni modul je glavni element podsustava sigurnosnog kruga. Nakon uključanja stroja, radni kontakti sigurnosnog relejnog modula su u otvorenom stanju.

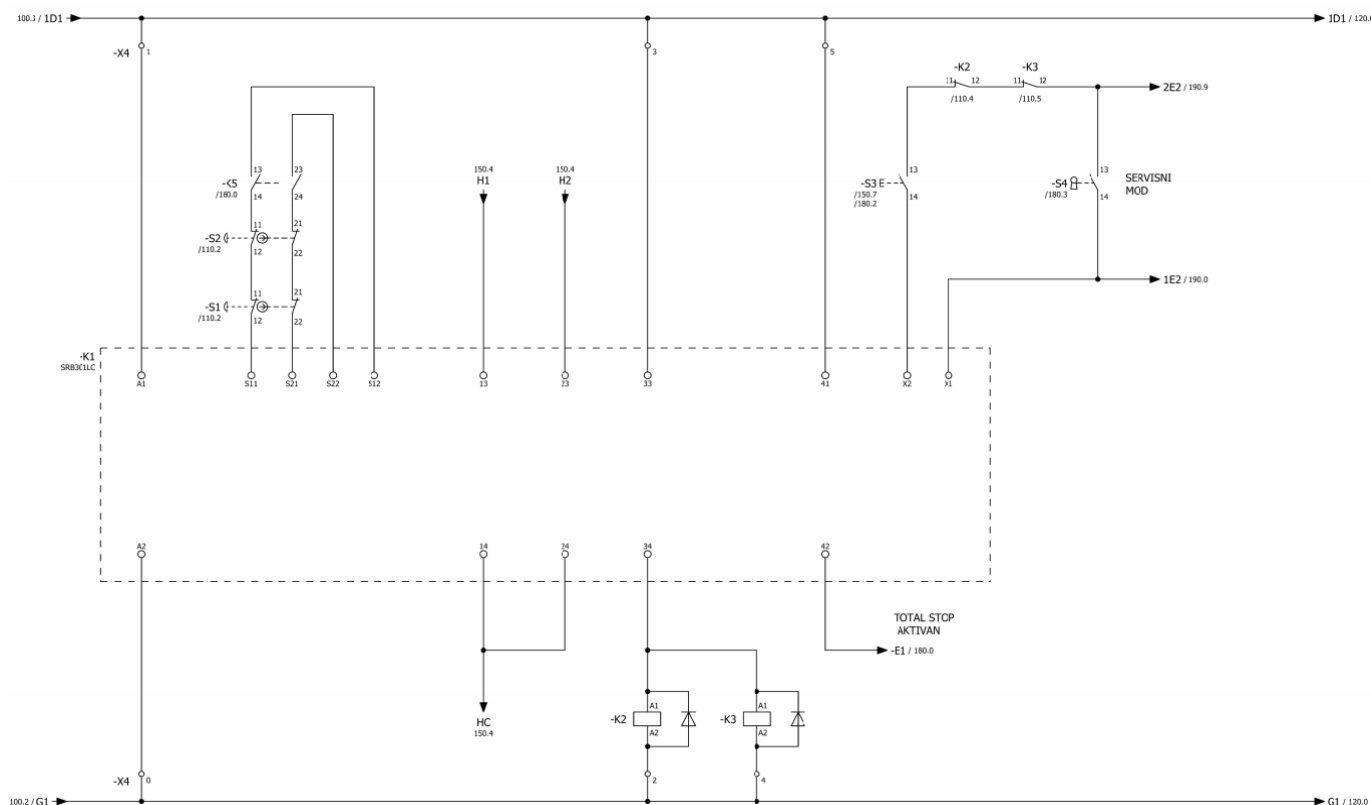
Kada su traženi uvjeti ispunjeni, radni kontakti sigurnosnog relejnog modula se prebacuju u zatvoreno stanje, čime se daje dozvola za napajanje ostalih podsustava. Ako se iz nekog razloga želi prekinuti rad sustava, potrebno je pritisnuti udarno tipkalo ili izdati STOP naredbu pomoću korisničkog PLC-a.

Odabrani sigurnosno relejni modul je Schmersal SRB 301LC 24V AC/DC, prikazan na (slici 26.).



Slika 26. Schmersal SRB 301LC [15]

Zadaća sigurnosnog kruga je dozvoliti ili prekinuti dovod napajanja podsustavima za regulaciju brzine, grijanje i hlađenje. Glavne komponente sigurnosnog kruga su PLC i sigurnosno relejni modul. Oni su napajani zasebnim izvorom koji se ne isključuje djelovanjem sigurnosnog kruga. Na taj način je realizirano da PLC i sigurnosni relejni modul budu pod stalnim napajanjem, naravno nakon uključenja upravljačkog sustava na mrežu. Na slici 27. prikazan je sigurnosni krug sa pratećim elementima.



Slika 27. Shema sigurnosnog kruga

Pod pretpostavkom da su elementi upravljačkog sustava u početnim stanjima, kod uključenja upravljačkog sustava na napajanje, jedino će PLC i sigurnosni relej biti napajani. PLC će očitavati izlaz iz sigurnosnog releja (kanal E1) koji govori da je „TOTAL STOP AKTIVAN“, što znači da ostali podsustavi nisu pod napajanjem. Da bi se sigurnosno relejni modu postavio u uključeno stanje, potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

1. Udar na tipkala (S1 i S2) ne smiju biti aktivna i relej K5 za automatsko isključivanje mora biti uključen (releji K5 uključuje se digitalnim izlazom, a njegovo stanje je kontrolirano PLC programom)
2. Krug za detekciju grešaka ne smije detektirati grešku
3. Releji K2 i K3 moraju biti isključeni

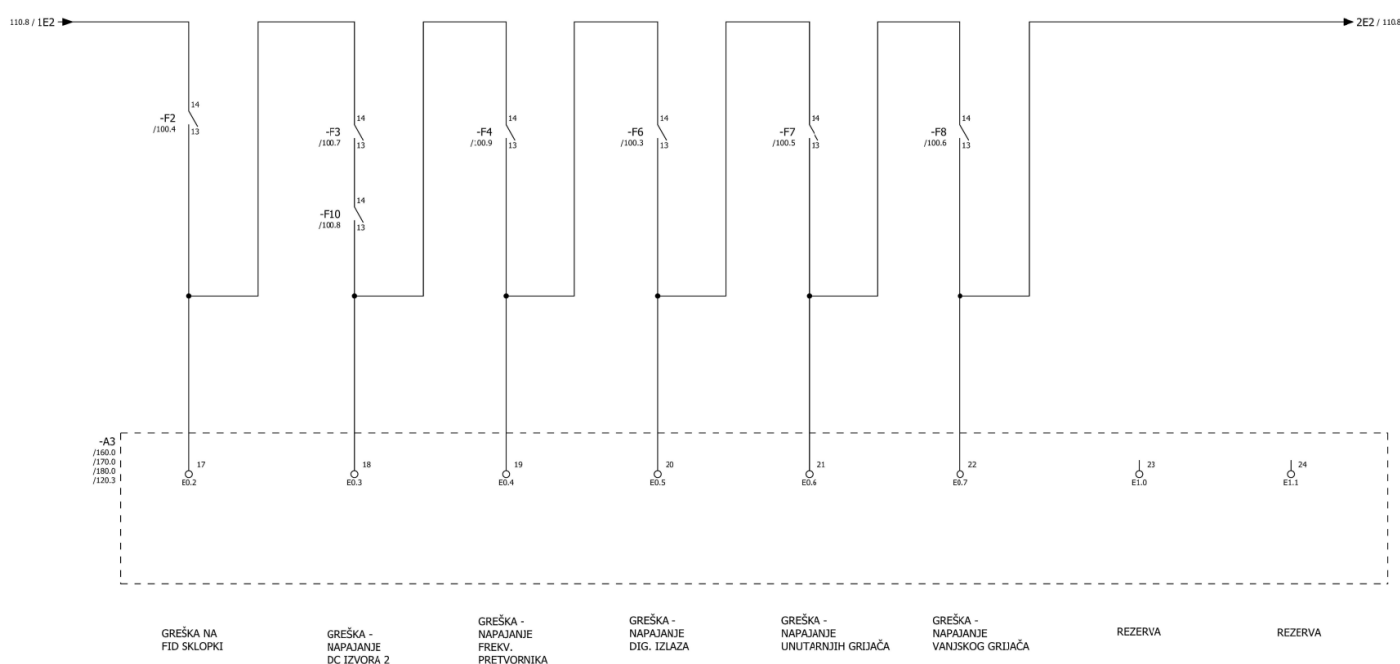
Pritiskom na tipkalo S3 šalje se signal koji postavlja sigurnosni relej u uključeno stanje. U uključenom stanju, sigurnosni relej zatvara interne radne kontakte (13 sa 14, 23 sa 24, 33 sa 34) i otvara mirni kontakt (41 sa 42). Zatvaranjem radnog kontakta (33 sa 34), uključuju se releji K2 i K3, čija je svrha zatvoriti strujni krug se ostalim podsustavima. U tom trenutku stroj je u cijelosti pod napajanjem i spreman je za rad.

U slučaju hitnog zaustavljanja stroja, predviđeno je da se pritisne bilo koje udarno tipkalo, S1 ili S2, što će posljedično izazvati momentalno gašenje svih navedenih podsustava i vraćanja sigurnosnog relejnog modula u početno stanje.

Kada se radi servis stroja, te se žele provjeriti ostale komponente upravljačkog sustava. Uključenjem sklopke S4, radi se kratki spoj između linija 2E2 i 1E2. Na taj način je omogućeno uključivanje sigurnosno relejnog modula bez provjere dali su uključeni svi osigurači.

4.9.2. Krug za detekciju grešaka

PLC kao dio sigurnosnog kruga također može isključiti napajanje ostalim podsustavima. PLC-om se upravlja relej K5, koji ima istu ulogu kao udarna tipkala S1 i S2. U slučaju detekcije greške od strane PLC-a, odmah se isključuje relej K5, te se sigurnosni relej postavlja u početno stanje. PLC-om se provjeravaju elementi koji se nalaze između linija 1E2 i 2E2, (slika 28.). Ti elementi su osigurači, čije se stanje putem pomoćnih kontakata šalje na digitalne ulaze PLC-a.

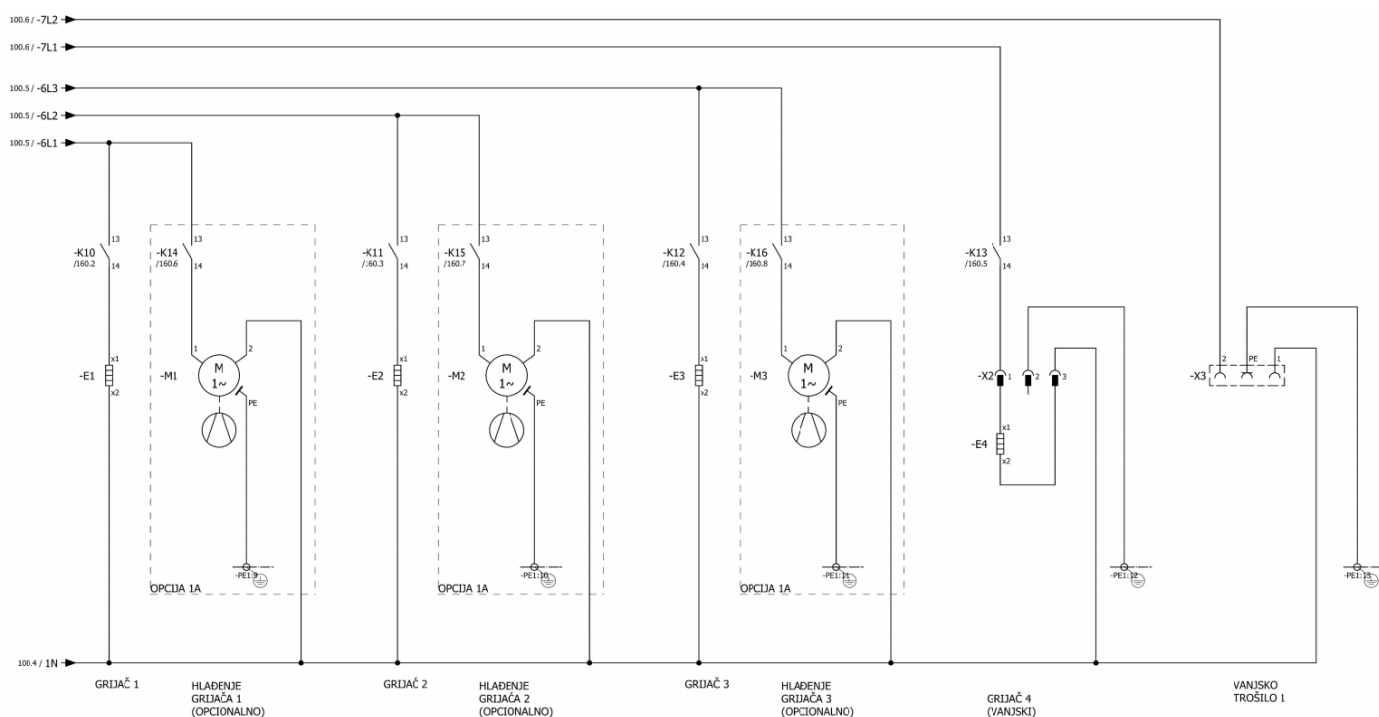


Slika 28. Shema kruga za detekciju grešaka

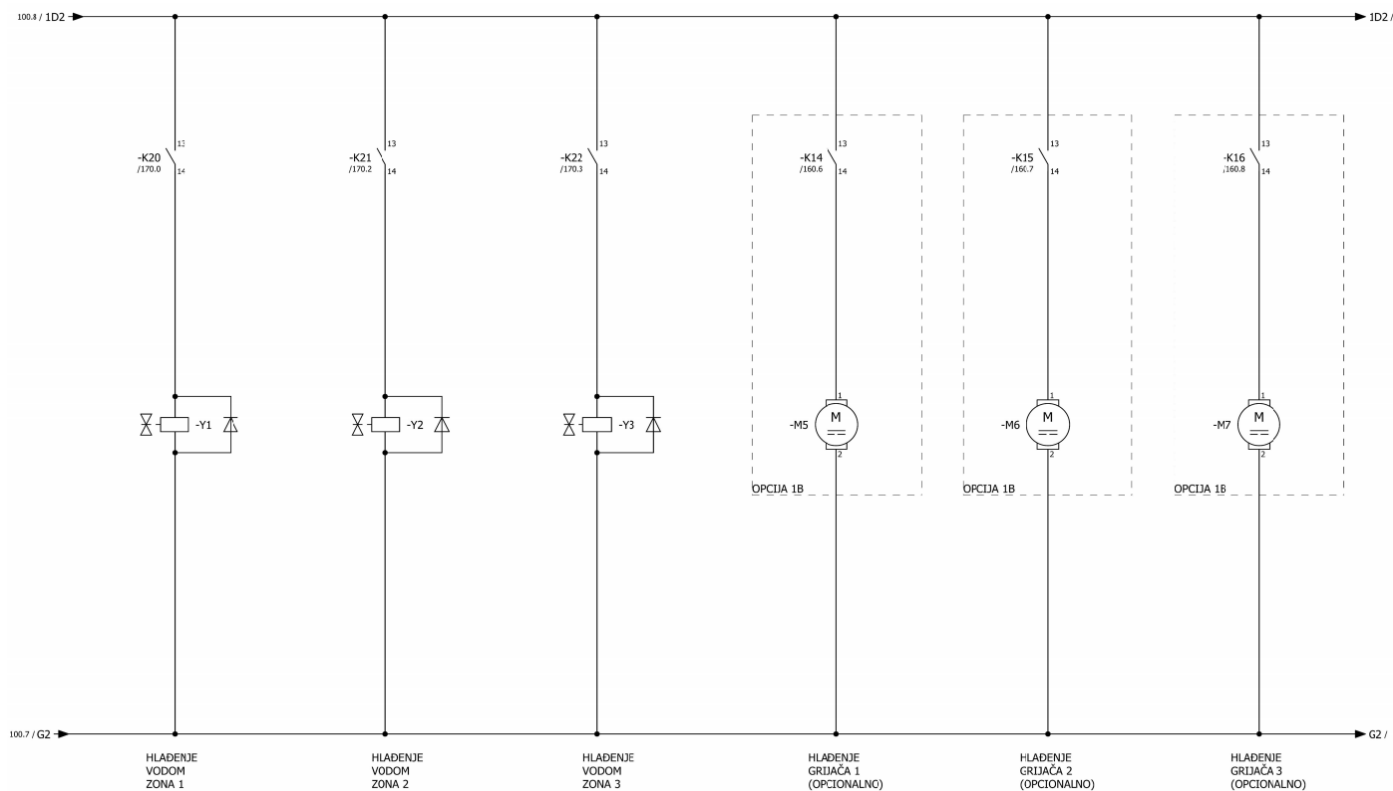
Sustav za detekciju grešaka prikazan je shemom na (slici 28.). Na korisničkom sučelju, pod formom za prikaz grešaka, na desnoj strani će crvenom bojom biti označen koji dio kruga je u kvaru ili prekidu.

4.9.3. *Podsustav za grijanje i hlađenje*

Kod ovog podsustava grijači su označeni oznakama E1, E2, E3, E4. Oni su upravljani poluvodičkim relejima K10, K11, K12, K13, (slika 29. i 30.). Dok su ventili za hlađenje vodom upravljani relejima K20, K21 i K22.



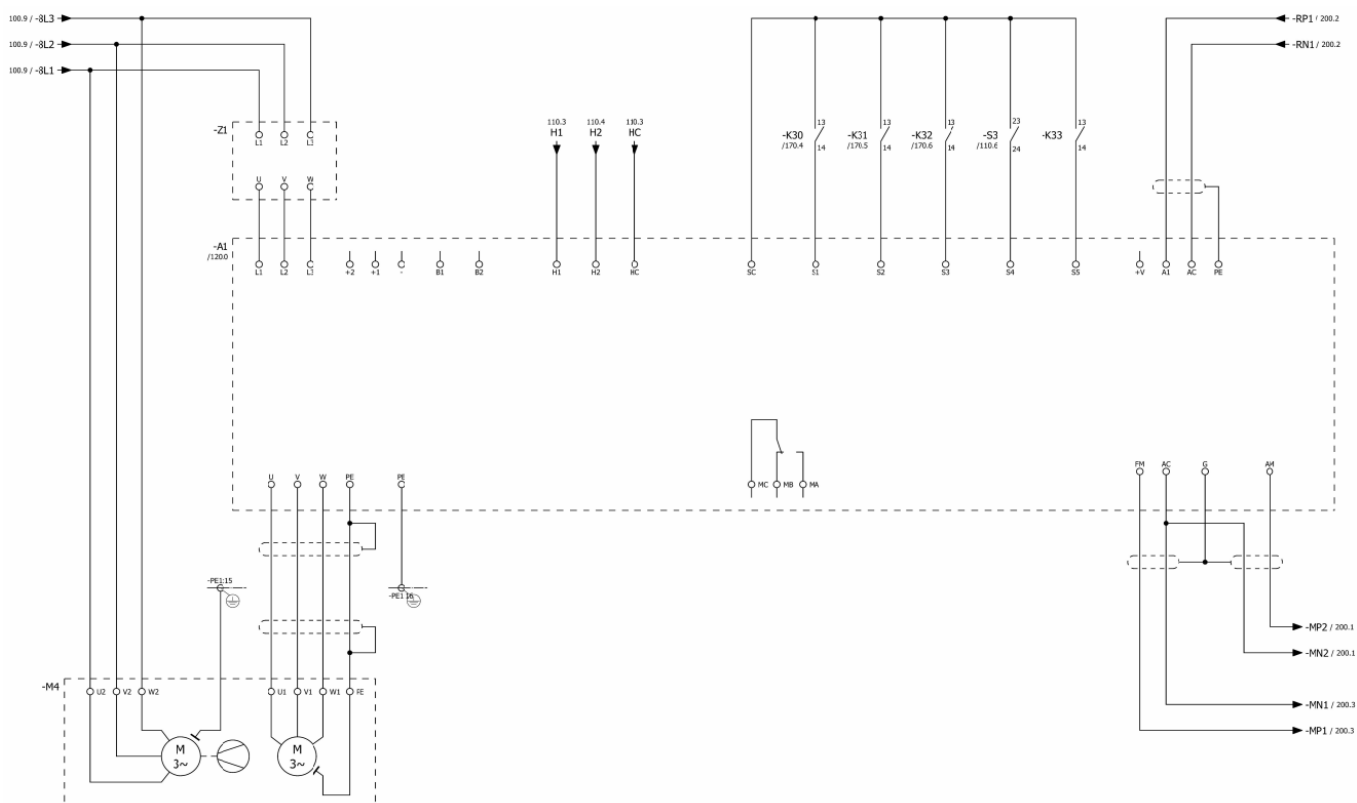
Slika 29. Shema podsustava za grijanje i zračno hlađenje



Slika 30. Podsustav za vođeno hlađenje

4.9.4. Podsustav za regulaciju frekvencije vrtnje motora

Glavni element podsustava za regulaciju brzine je frekventni pretvornik. Na njega je spojen elektromotor, kojemu se promjenom frekvencije mijenja frekvencija vrtnje. PLC-om se izdaje dozvola za start i referenca frekvencije vrtnje. Dozvola za start i za gibanje u smjeru naprijed ili nazad izdaje se digitalnim izlazima, dok se referenca za frekvenciju vrtnje izdaje analognim izlazom u rasponu od 0 – 10V. U cilju galvanske izolacije logičkog kruga PLC-a od logičkog kruga frekventnog pretvornika, korišteni su jednopolni releji (K30, K31 i K32). Svaki digitalni Aktivacijom releja K30 daje se dozvola za naprijed, stanje releja K31 određuje smjer vrtnje, dok se aktivacijom releja K32 zaustavlja motor. Na slici 31. prikazana je shema podsustava za regulaciju brzine.



Slika 31. Shema podsustava za regulaciju frekvencije brzine vrtnje

4.9.5. PLC konfiguracija

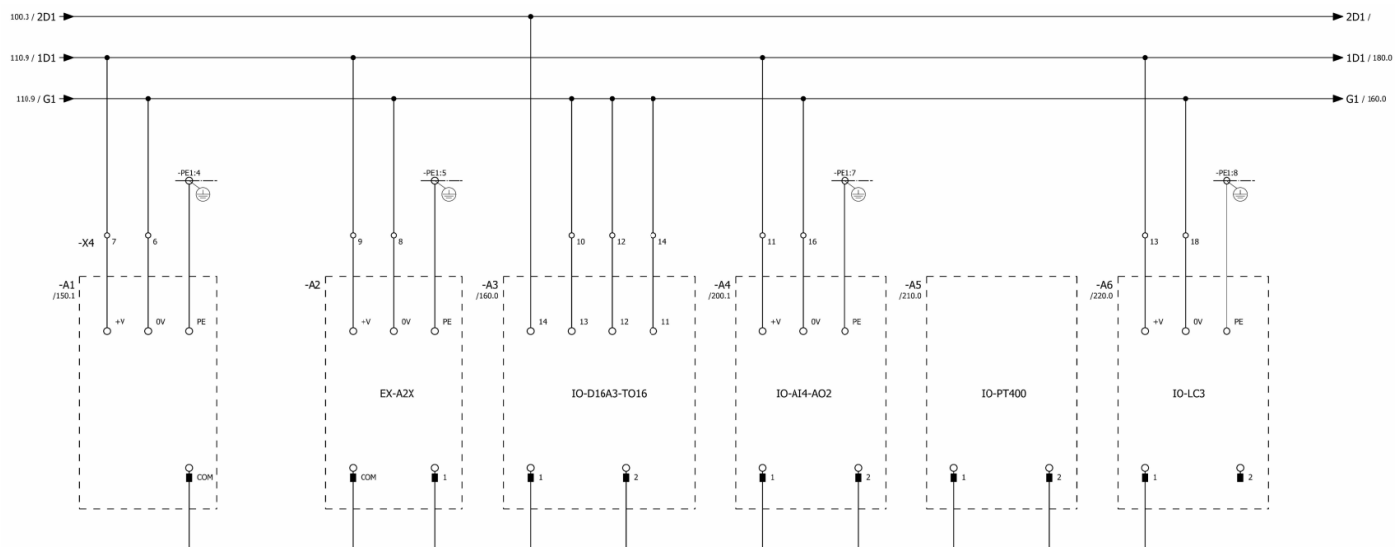
Kao što je spomenuto u (potpoglavlju 4.4.), koristi se PLC CPU Unitronics Vision V700-T20BJ, s integriranim HMI sučeljem. Za nadogradnju V700 PLC CPU jedinice koristi se modul za proširenje EX-A2X, koji omogućuje spajanje do 8 dodatnih I/O modula u seriju. Popis svih I/O modula, njihova funkcija, kao i opis njihovih I/O kanala prikazano je u (tablici 9.).

Tablica 9. Popis I/O modula [1]

NAZIV MODULA		OPIS	BROJ KANALA
IO-D16A3-TO16	DIGITALNI IZLAZI	Grijači (poluvodički releji)	4
		Ventilatori (mehanički releji)	3
		Elektromagnetski ventili za vodu (mehanički releji)	3
		Frekventni pretvornik dozvola gibanja naprijed	1
		Frekventni pretvornik dozvola gibanja nazad	1

NAZIV MODULA		OPIS	BROJ KANALA
IO-D16A3-TO16	DIGITALNI IZLAZI	Frekventni pretvornik TOTAL STOP	1
		TOTAL STOP ON	1
		Rezerva	2
		Ukupno	16
	DIGITALNI ULAZI	TOTAL STOP ON	1
		TOTAL STOP Reset	1
		Dijagnostički mod ON	1
		START	1
		STOP	1
		Greška – FID sklopka	1
		Greška – napajanje DC izvora 2	1
		Greška – napajanje frekventnog pretvornika	1
		Greška – napajanje digitalnih izlaza	1
		Greška – napajanje unutarnjih grijača	1
		Greška – napajanje vanjskih grijača	1
		Rezerva	5
		Ukupno	16
IO-AI4-AO2	ANALOGNI IZLAZI	Referenca brzine vrtnje elektromotora	2
		Rezerva	0
		Ukupno	2
	ANALOGNI ULAZI	Frekvencija vrtnje elektromotora	2
		Moment elektromotora	2
		Rezerva	2
		Ukupno	6
IO-PT400	RTD ULAZI	PT100 senzori temperature	4
		Rezerva	0
		ukupno	4
IO-LC3	ULAZNI MJERNI MOST	Tenzometarski mjerni most	3
		Rezerva	0
		ukupno	3

PLC je dio sigurnosnog kruga, te se pomoću njega mogu dijagnosticirati potencijalne greške. Na slici 32. prikazana je shema PLC konfiguracije.

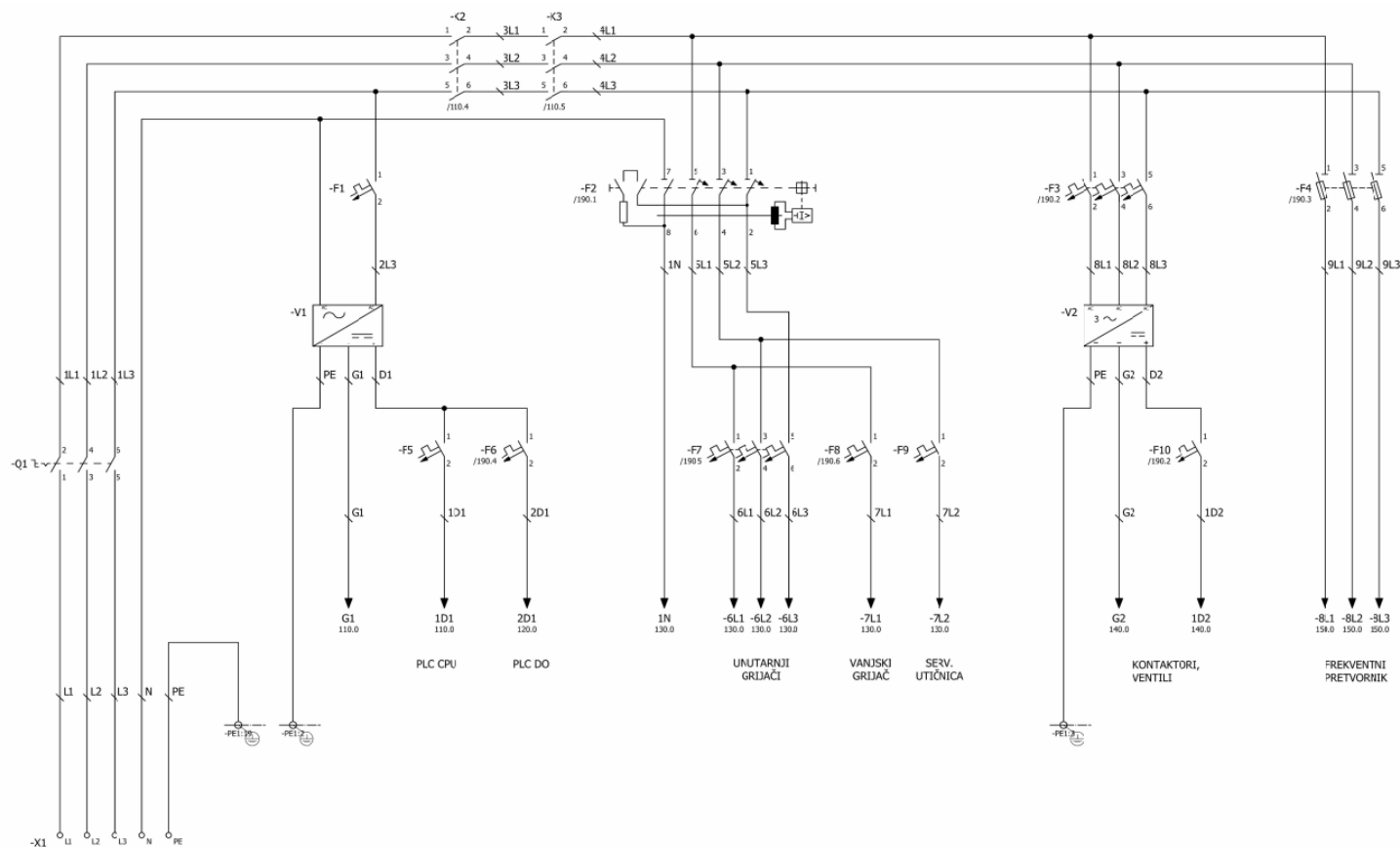


Slika 32. PLC konfiguracija

4.9.6. Krug za napajanje

Ovim krugom se napajaju dosad svi navedeni podsustavi, koji gledano u cjelini tvore upravljački sustav. Na slici 33. prikazana je električna shema kruga za napajanje. Na shemi se jasno vidi trofazni priključak (X1), preko kojeg se upravljački sustav priključuje na električnu mrežu. Od tog priključka, napajanje se dovodi do ostalih podsustava. Kada se govori o napajanju sigurnosnog kruga, na shemi je vidljivo da je njegov izvor napajanja ispred mehaničkih releja K2 i K3. Kao što je spomenuto u (potpoglavlju 4.9.1.), sigurnosnim krugom se preko releja K2 i K3 isključuju ostali podsustavi u slučaju nužde. Razlog zašto se koriste dva mehanička releja, a ne jedan je zbog dodatne sigurnosti. To su mehanički releji, za koje je realno očekivati da će se nakon nekog vremena pokvariti. Kako je mala vjerojatnost da će se istovremeno pokvariti oba releja, može se očekivati da će u slučaju kvara jednog releja sigurnosni krug spriječiti uključivanje ostalih podsustava.

Iako nije specifično naglašeno, FID sklopka također zatvara jedan poseban sigurnosni krug. FID sklopka je osjetljiva na razlike u jakosti ulazne i izlazne struje. U slučaju da se dio kruga zatvori kroz uzemljenje, ona će trenutno reagirati na način da prekine strujni kojim se napajaju grijači i ventilatori.



Slika 33. Podsustav za napajanje

5. UPRAVLJAČKI PROGRAM

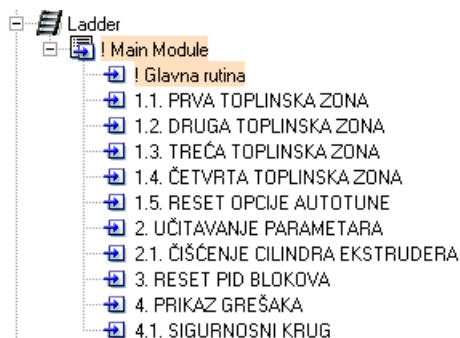
Primjenom razvojnog alata Unitronic VisiLogic OPLC IDE napravljen je upravljački program. Sam razvoji alat u svojoj osnovi podijeljen je na HMI editor (modul za izradu korisničkog sučelja) i sučelje za pisanje programa ljestvičastim dijagramom (*Ladder* dijagram). Iz tog razloga se i upravljački program dijeli na dio vezan uz HMI sučelje i dio vezan uz *Ladder* dijagram.

5.1. *Ladder* dijagram

Ladder dijagram je jedan od grafičkih programskih jezika koji se koristi za programiranje PLC-a. Umjesto tekstualnog koda, tu se koriste grafički blokovi pojedinih elemenata, koji se međusobno povezuju. Za svaku novu logičku operaciju, elementi se postavljaju u novi red. Neki od elemenata su:

- radni i mirni kontakti – u *ladder* dijagramu najčešće predstavljaju ulazne kontakte PLC-a. Osim toga oni predstavljaju i logičke ulaze koji mogu biti uvjetovani stanjima drugih blokova u kodu.
- zavojnice – najčešće predstavljaju izlazne kontakte PLC-a.
- funkcijski blokovi.

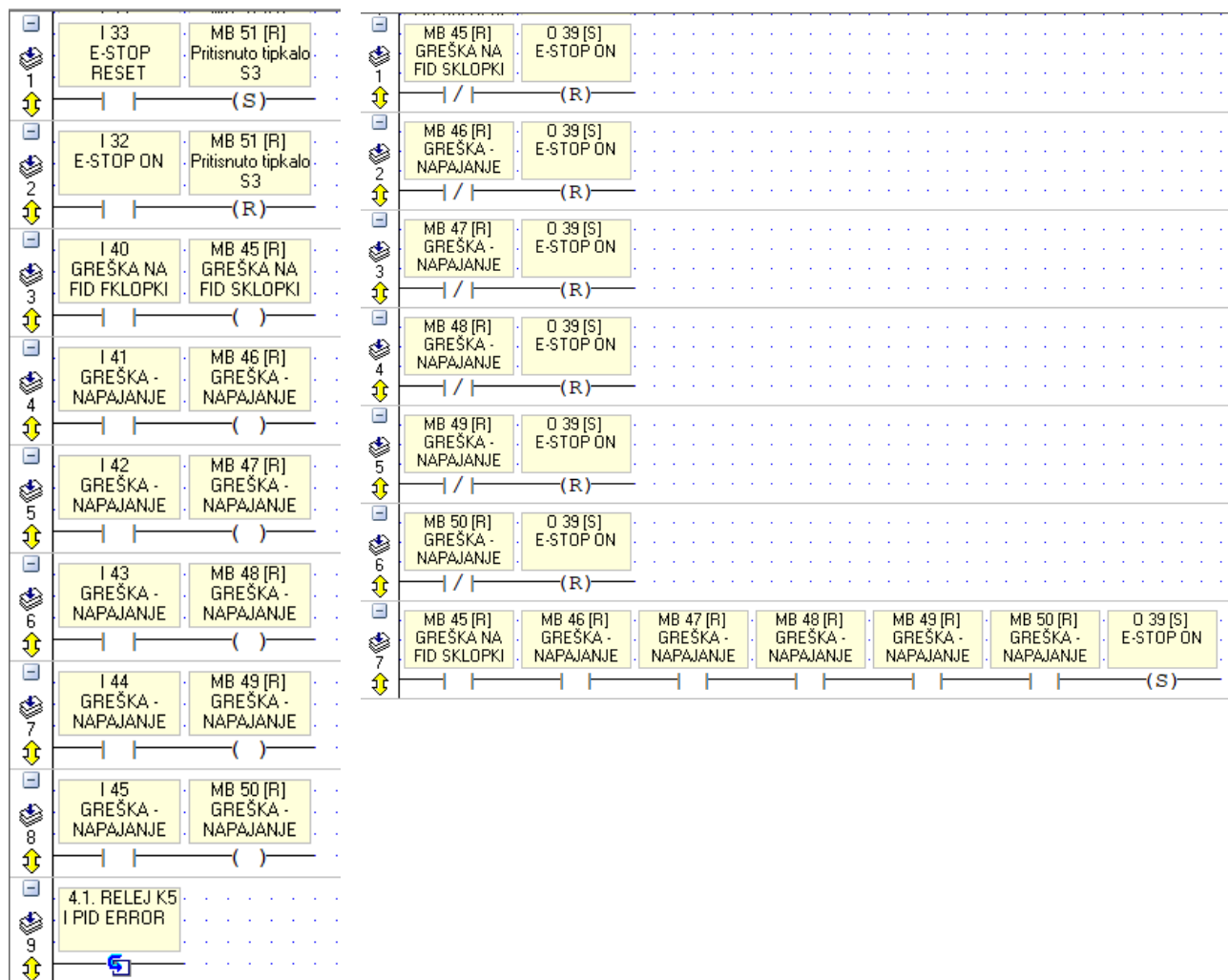
Logički slijed kojeg provjerava procesor se prevodi u strojni kod koji se potom izvršava u obliku izlaznih signala. Logički slijed se sastoji od glavne rutine i jedanaest podrutina. Razlog takvom pristupu je strukturiranje koda na način koji kasnije olakšava otklanjanje možebitnih grešaka. Osim toga, jedna rutina može imati maksimalno devetnaest logičkih redova. Na taj je način napravljena sistematizacija programa, gdje svaka rutina radi jedan dio operacije, dok ih glavana rutina spaja u cjelinu. Na slici 34. prikazano je stablo *ladder* editora. U prilogu je dan cijeli kod upravljačkog programa.



Slika 34. Logički slijed za rutinu PID Z3

5.1.1. Sigurnosni krug i krug za detekciju grešaka

Prema potpoglavlju 4.9.1. i 4.9.2. uloga PLC-a jest da provjerava dali su svi potrebni osigurači uključeni, tj. dali ispravno rade. Ovisno o tome dali su osigurači uključeni ili isključeni, PLC šalje naredbu o uključanju ili isključenju releja K5. Na slici 35. prikazan je jedan dio PLC koda, odnosno logički slijed prema kojem se provjerava dali je zadovoljen uvjet za uključenje releja K5.



Slika 35. Logički slijed za uključenje releja K5

Radi jednostavnijeg prikazivanja PLC kod za detekciju grešaka podijeljen je na dva logička slijeda. Lijevi dio slike prikazuje logički slijed kod kojega se provjeravaju kanali ulaznog modula. Desni dio slike prikazuje logički slijed kod kojega su postavljeni uvjeti za uključenje ili isključenje releja K5. Npr. kada se uključi jedan od osigurača ulazni modul detektira signal (npr. kanal I41) i aktivira internu varijablu PLC-a (MB 46). Neovisno od koliko podrutina se sastoji PLC kod, kanal ili varijabla pod određenom adresom svugdje u

kodu poprima istu vrijednost. Prema tome, da bi na izlazu PLC izdao naredbu za uključenje releja K5, sve varijable tipa MB 45 do 50 moraju biti aktivirane.

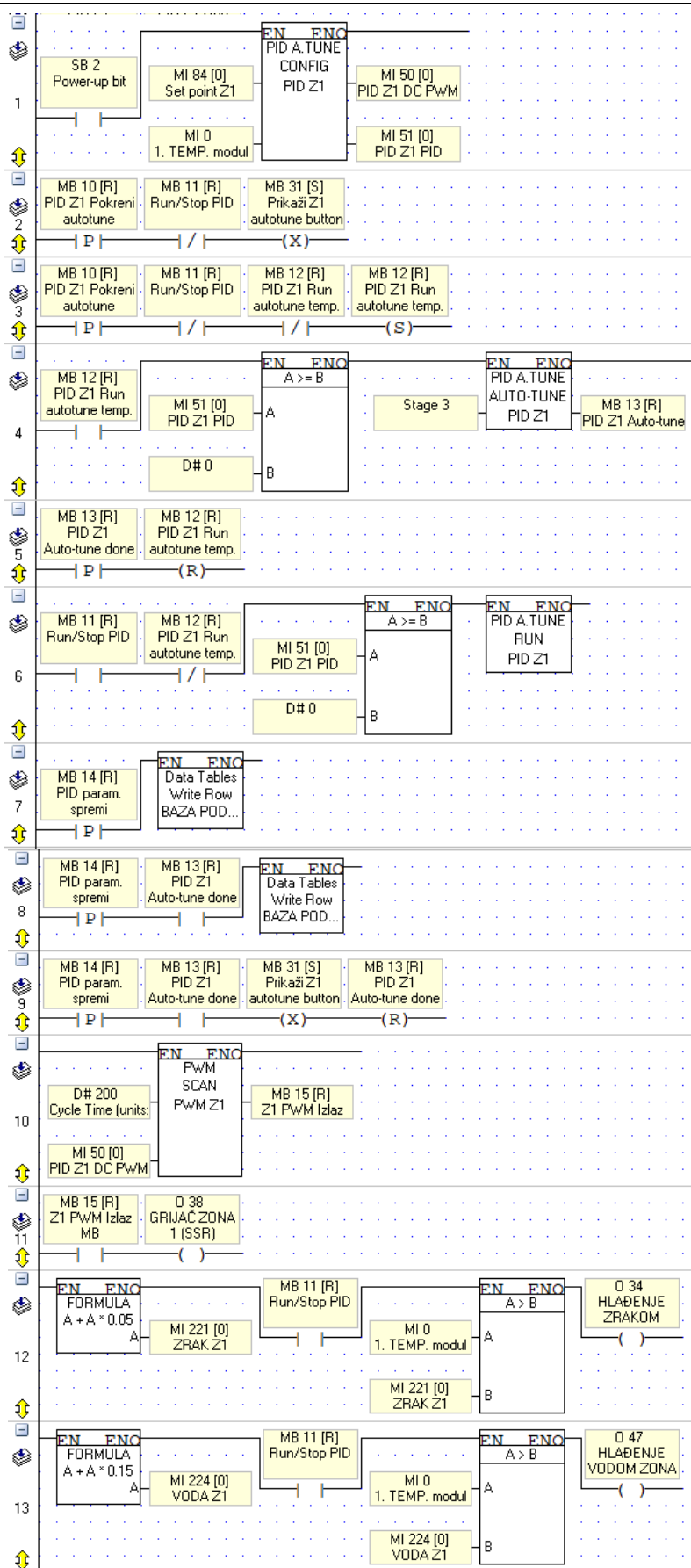
5.1.2. *Podsustav za grijanje i hlađenje*

Regulacija temperature svake zone vrši se pomoću PID regulatora. U ovom slučaju korišten je PID blok s mogućnošću automatskog podešavanja pojačanja (*autotune*). Izlaz PID regulatora na neki način predstavlja snagu koju je potrebno dovesti na grijače. Izlaz iz PID regulatora prosljeđuje se na funkcijski blok koji njegovu vrijednost kodira impulsno širinskom modulacijom (engl. Pulse Width Modulation, PWM). Tako kodiran izlaz povezan je s odgovarajućim digitalnim izlazom na PLC-u. Predmetni su digitalni izlazi potom povezani s odgovarajućim poluvodičkim relejima grijača. PWM, odnosno pulsno širinska modulacija ima dva parametra, faktor popunjenosti (engl. Duty Cycle), u našem slučaju to je izlaz iz PID regulatora i trajanje pojedinog impulsa (engl. Cycle Time), u našem slučaju je konstantnog iznosa i iznosi 0,5 sekundi.

PWM funkcijski blok će u ovisnosti o trajanju pojedinog impulsa i faktora popunjenosti, preko izlaznog modula generirati digitalne signale. Snaga grijača koja se mora predati u pojedinom impulsu je definirana kao nazivna snaga grijača pomnožena s faktorom popunjenosti. Faktor popunjenosti se kreće od 0 do 1, odnosno 0% do 100%. Npr. ako je faktor popunjenosti 0.4, to znači da će u pojedinom impulsu grijač raditi 40% vremena, tj. dati će 40% od svoje nazivne snage.

U trenutku kada izmjerena temperatura u toplinskoj zoni poraste iznad zadane radne temperature, vrijednost popunjenosti signala iznositi će nula posto, tj. grijači će biti ugašeni. U tom trenutku ovisno o odstupanju aktivirati će se ventilatori odnosno ventili za vodeno hlađenje. U ovom slučaju prag za aktivaciju ventilatora definiran je odstupanjem većim od 5% u odnosu na referentnu temperaturu, dok je prag za aktivaciju vodenog hlađenja definiran odstupanjem većim od 15 % u odnosu na referentnu temperaturu.

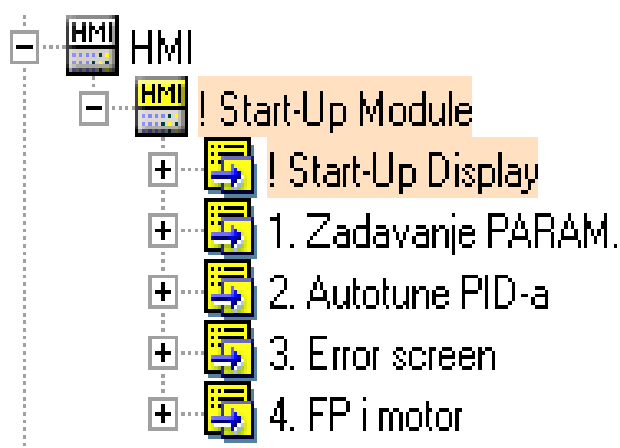
Na slici 36. prikazan je PLC kod za regulaciju prve toplinske zone. Dok je identičan kod napisan i za preostale zone.



Slika 36. Logički sljed za regulaciju prve toplinske zone

5.2. Sadržaj na korisničkom sučelju

Korisničko sučelje ima pet glavnih formi prikaza. Svaka od njih je zadužena za jednu funkcijsku cjelinu. Početna forma će se prikazati prva, odnosno nakon paljenja samog PLC-a. Druga forma je za odabir parametara, dok je treća forma vezana za uređivanje parametara, kod četvrte forme se prikazuju obavijesti vezane za sigurnosni krug, peta forma se koristi za izdavanje naredbi elektromotoru. Na slici 37. prikazano je stablo formi koje se prikazuju na korisničkom sučelju.



Slika 37. Stablo formi prikaza na korisničkom sučelju

5.2.1. Početna forma

Početna forma sadrži osnovne informacije, izmjerene temperature pojedinih zona, naziv odabranog materijala, itd. Korisniku je omogućen jednostavan prijelaz iz ove forme u bilo koju drugu. Na slici 38. označene su razne ikone i tipkala, te su njihova objašnjenja dana po rednim brojevima:

1. **Temperatura** – u prvom redu se nalaze mjerene temperature po svakoj zoni, dok u drugom redu su prikazane zadane referentne temperature.
2. **Naziv materijala** – upravljački sustav je programiran na način da se traži odabir materijala koji je potrebno ekstrudirati, a za svaki odabrani materijal učitavaju se odgovarajući procesni parametri, odnosno referentne vrijednosti frekvencije vrtnje motora, te temperatura po pojedinim zonama.
3. **Status stroja** – obavijest koja prikazuje dali su svi podsustavi aktivni.
4. **Tipkala** – njihova uloga je promjena stanja određenih varijabli, kao i uključivanje ili isključivanje pojedinih funkcija.
5. **Izbornik operacije čišćenja** – izbornik se pojavljuje pritiskom na tipku „clean on“.

Uloga ove funkcije je da se između promjene materijala, očiste sve zone i pužni vijak

od eventualnih ostataka prethodno ekstrudiranog materijala. Pritiskom na vrijeme čišćenja može se odrediti koliko će sama operacija trajati.

The screenshot shows a 'Start-Up Display' interface with the following elements:

- 1.** A row of four temperature displays: Z1: -9999.9 °C, Z2: -9999.9 °C, Z3: -9999.9 °C, and Z4: -9999.9 °C. Below each is another -9999.9 °C display.
- 2.** A label 'MATERIJAL:' followed by a text input field 'Text_To_Di'.
- 3.** A label 'STATUS:' followed by a red 'STOP' button.
- 5.** A section with three displays: 'ČIŠĆENJE U TIJEKU' (green), 'VRIJEME ČIŠĆENJA' (99:99:99.99), and 'ČIŠĆENJE GOTOVO ZA:' (99:99:99.99).
- Buttons at the bottom: 'ODABIR PARAMETARA', 'CLEAN' (green), 'MOTOR', 'POSTAVKE' (red), 'STATUS', and 'START'.
- A 'PLC (Dozvola za izlaze)' label and a '4.' label near the 'START' button.

Slika 38. Početna forma sa osnovnim podacima

5.2.2. Forma za odabir parametara

Kod druge forme napravljena je tablica u kojoj će se prikazivati osnovni parametri procesa. Ovo sučelje je osmišljeno na način da operater u prvom stupcu, za svaki redak unese po jedan redni broj (npr. 1. – 5.). Nakon unesenog broja, ispisati će se parametri predmetnog materijala koji je u memoriji spremljen pod tim rednim brojem. Na taj je način realizirana mogućnost preglednog i brzog unosa parametara procesa koja je istovremeno moguća za pet različitih materijala.

Objašnjenje pojedinog stupca iz slike 39. dano je po rednim brojevima:

1. Stupac za unos rednih brojeva za kombinacije parametara koji su u memoriji spremljeni pod tim brojem.
2. Tekstualni okviri u kojima se ispisuje ime materijala.
3. Referentne vrijednosti temperature po pojedinim zonama i frekvencija vrtnje motora, za pojedini slučaj.
4. Stupac za učitavanje pojedinog retka (odnosno kombinacije parametara obrade) iz memorije (prikaz se aktivira pritiskom na tipku „UCITAJ“).

		Z1 °C	Z2 °C	Z3 °C	Z4 °C	MOTOR n (1/min)	
-99	Text_To_Di	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-99999	UCITAJ
-99	Text_To_Di	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-99999	UCITAJ
-99	Text_To_Di	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-99999	UCITAJ
-99	Text_To_Di	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-99999	UCITAJ
-99	Text_To_Di	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-9999.9	-99999	UCITAJ

Slika 39. Forma za odabir parametara

5.2.3. Forma za uređivanje parametara

Treća forma također sadrži tablicu koja služi za unos, spremanje ili promjenu parametara. Parametri koji se tu odrede spremaju se u memoriju PLC-a. Kod unosa je važno obratiti pozornost na redni broj i ime materijala za koji se unose parametri

Postoje dvije tipke za pohranu parametara. Tipka „promjeni“ se koristi kada operater želi promijeniti neke ili sve postojeće parametre za neki slučaj, dok se tipka „spremi“ koristi kada se žele spremiti parametri dobiveni preko opcije *autotune*. Obe tipke u konačnici imaju istu funkciju, a to je spremanje parametara. Razlog zašto su dva, a ne jedan je u tome što tipka „spremi“ jest ujedno i reset tipka za opciju *autotune*, tako da se opcija *autotune* može koristiti više puta.

Softverski prikaz (slika 40.) daje na uvid dva tipkala, dok će se na HMI sučelju prikazati samo jedno. Zamišljeno je da će tipka „promjeni“ biti vidljiva samo onda kada se ne izvodi neka opcija *autotune*-a. Kada se pokrene opcija *autotune* za neku od zona, tipka „promjeni“ prestaje biti vidljiva, a umjesto njega se prikazuje tipka „spremi“. Osim tipke „spremi“, obavijesti o opciji *autotune* također su sakrivene, te se nakon pokretanja iste prikazu kao indikator da je operacija u tijeku. Nakon što opcija *autotune* završi i pritisne se tipka „spremi“, na HMI ekranu se vraća početna forma.

Slika 40. Forma za uređivanje parametara

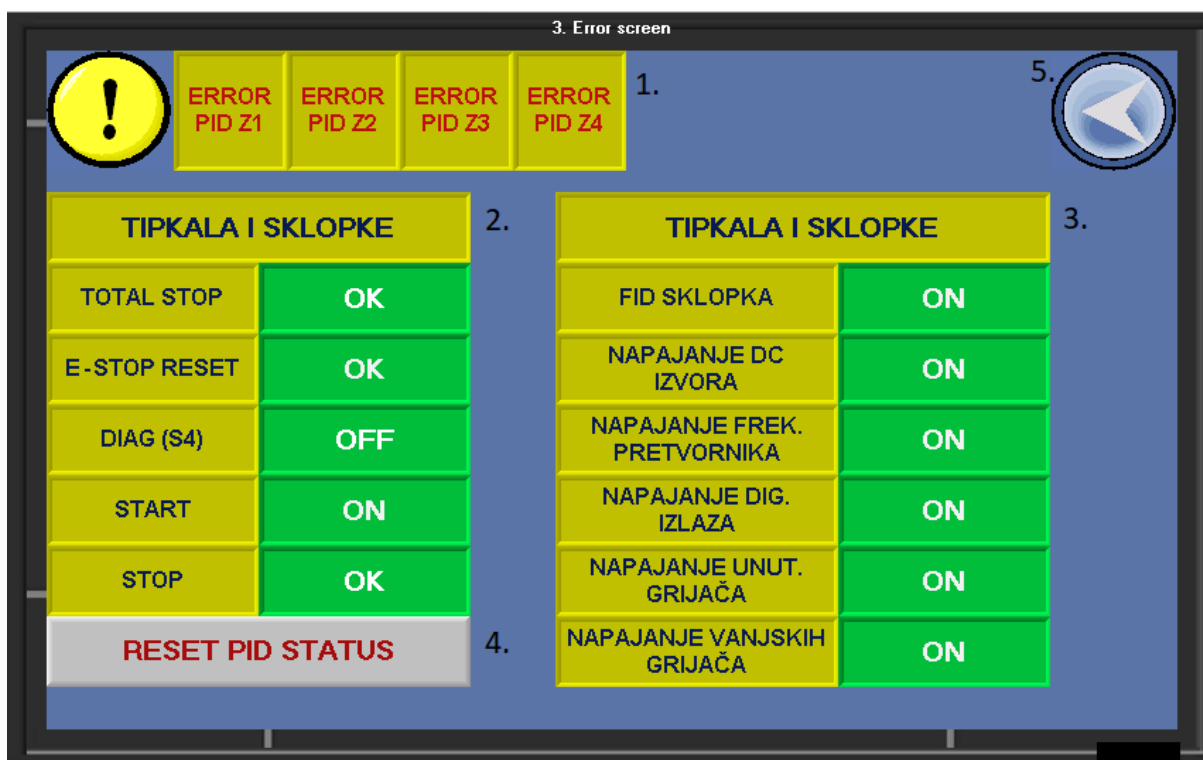
Objašnjenje pojedinih ikona i stupaca iz slike 40. dano je po rednim brojevima:

1. Numeričko tekstualno polje u koji se upisuje redni broj. Taj broj definira redak koji će se zauzeti u bazi podataka, za taj slučaj, odnosno materijal. Također pod tim rednim brojem se učitavaju parametri procesa parametri.
2. Tekstualni polje za unos imena materijala za taj slučaj.
3. Stupac pod kojim se unose referentne temperature za svaku zonu.
4. Numeričko tekstualno polje za unos referentne frekvencije vrtnje motora.
5. Tipke za spremanje podataka.
6. Stupac za pokretanje opcije *autotune*.
7. Obavijest o statusu opcije *autotune*, za svaku od zona. Indikacija može istovremeno biti aktivna za jednu vili više zona, a aktivna je za vrijeme trajanja operacije *autotune*. U tijeku operacije okvir obavijesti je crvene boje. Kada je operacija završena, za tu zonu se prikazu parametri pod stupcima P, I, D, te okvir obavijesti poprima zelenu boju. Tek nakon toga smije se pritisnuti tipka „spremi“.
8. Kada se odabere redni broj pod kojim će se predmetni parametri spremati, pritiskom na tipku u istom retku može se vidjeti ime materijala prethodno spremljenog slučaja.
9. Tipka koja resetira opciju *autotune*
10. Tipka za povratak na početnu formu.

5.2.4. Forma za prikaz grešaka

Kod ove forme na korisničkom sučelju se prikazuju obavijesti vezane uz greške na upravljačkom sustavu, (slika 41.). Ova forma se sastoji od tri grupe za prikaz grešaka i dva tipkala. Objašnjenje pojedinih grupa dano je po rednim brojevima:

1. Prikaz grešaka u povezanih s PID regulatorom. Do ove greške može doći ukoliko se u pojedini PID regulator postave pogrešni parametri pojačanja.
2. Grupa koja pokazuje stanje stroja.
3. Grupa za prikaz grešaka nastalih isključivanjem pojedinih osigurača.
4. Tipkalo preko kojeg se resetiraju PID regulatori, u slučaju da jedan od njih javlja grešku.
5. Tipkalo za povratak na početnu formu.



Slika 41. Forma za prikaz grešaka

5.3. Tablica parametara

Kombinacijom procesnih parametara koje se za pojedini materijal definiraju u korisničkom sučelju, pohranjeni su u PLC memoriju u strukturu tablice. Tablica ima 22 stupaca i 20 redaka, što znači da se mogu pohraniti parametri za najviše dvadeset različitih slučajeva. Bitno je spomenuti da se ta ograničenja odnose specifično na ovaj primjer. Parametri koji se

spremaju u tablicu podijeljeni su po zonama, osim imena, rednog broja i brzine vrtnje. Podaci koji se spremaju po zonama su referentne temperature (engl. set point), referentna frekvencija vrtnje i pojačanja PID regulatora. Na slici 42. je prikazana tablica sa par spremljenih parametara.

Kod potpoglavlja 5.2.2. se ne prikazuju svi parametri, jer nije potrebno. Dovoljno je prikazati ime materijala, referentne temperature po pojedinim zonama i frekvenciju vrtnje motora. Da se na osnovu tih parametara odabere odgovarajući slučaj.

Row	MATERIJAL (String, 10)	SP - Z1 (Integer)	Z1P (Integer)	Z1I (Integer)	MOTOR n (min-1) (Integer)
0	CLEAN	350	34	2	3000
1	PS	290	24	1	0
2	PVC	340	34	2	2200
3		0	0	0	0
4		0	0	0	0
5		0	0	0	0
6		0	0	0	0
7		0	0	0	0
8		0	0	0	0
9		0	0	0	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0
16		0	0	0	0
17		0	0	0	0
18		0	0	0	0
19		0	0	0	0

Slika 42. Izgled tablice parametara

6. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog diplomskog rada izrađen je upravljački sustav za upravljanje ekstruderom. Sustav je realiziran primjenom PLC sustava proizvođača Unitronics. U sklopu upravljačkog sustava izrađen je funkcionalni elektro ormar sa svim potrebnim elementima. Za odabrani tip PLC sustava napravljen je odgovarajući program primjenom razvojnog alata Unitronics VisiLogic OPLC IDE. Program regulira temperaturu svake zone ekstrudera, kao i frekvenciju vrtnje motora. Navedeni procesni parametri strukturirani su u sklopu programske podrške na način da se stroj može brzo prilagoditi za ekstrudiranje više različitih vrsta materijala. Istodobno je omogućeno jednostavno dodavanje novih materijala, kao i jednostavna izmjena postojećih parametara za pojedini materijal. Realizirani upravljački sustav podijeljen je na par osnovnih podsustava, a svaki je detaljnije opisan u prethodnim poglavljima.

Sustav je prije povezivanja sa samim strojem detaljno ispitan, pri čemu su detaljno provjereni svi krugovi u elektro ormaru, kao i PLC kod. U idućem koraku sustav je povezan sa strojem, gdje je ispitan rad grijača i ventilatora. Iako su rezultati ispitivanja pokazali da je sustav u mogućnosti održavati željenu frekvenciju vrtnje motora, u sklopu ovog rada nažalost nije bilo moguće istestirati rad elektromotora na samom stroju, jer odgovarajući prihvati za predmetni motor nije izrađen.

Ovim radom su stvorene sve pretpostavke za izvođenje modernizacije stroja. Gdje će daljnji koraci biti usmjereni na izradu preostalih potrebnih mehaničkih dijelova nužnih za sklapanje stroja u cjelinu.

LITERATURA

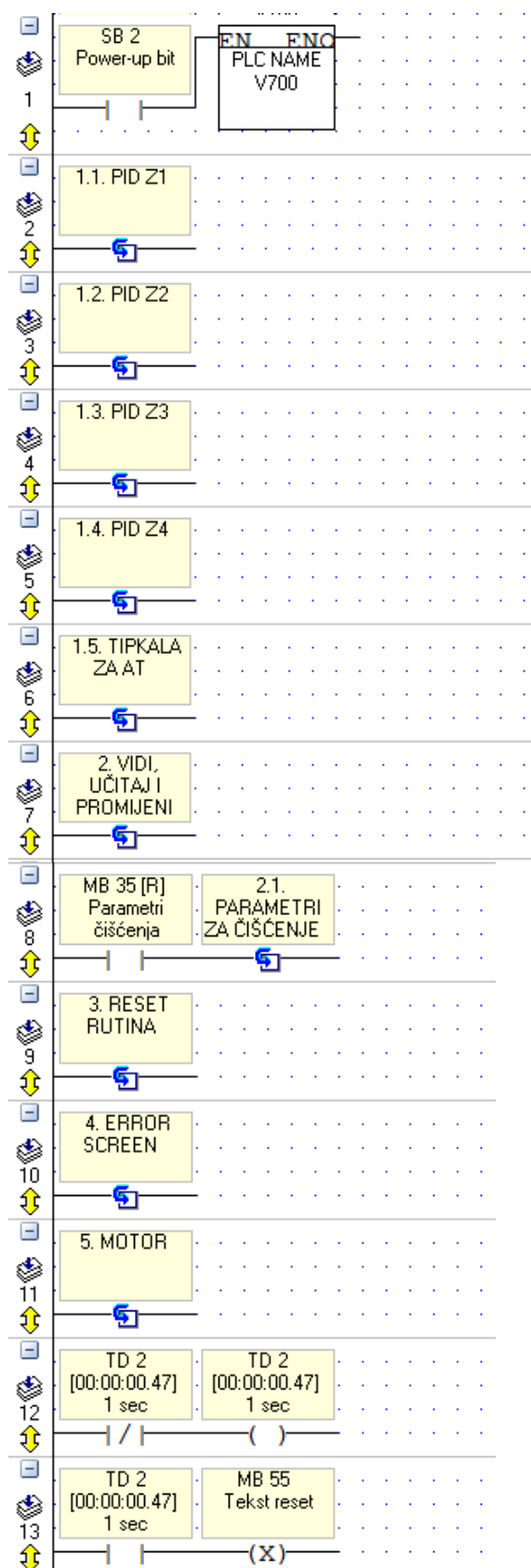
- [1] Šetinc, M.: Diplomski rad, Modernizacija uređaja za ekstrudiranje polimera, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2018.
- [2] Čatić, I.: Proizvodnja polimernih tvorevina, Biblioteka polimerstvo – serija zelena, Zagreb 2006.
- [3] https://www.ide-extrusion.de/assets/Uploads/_resampled/ResizedImage600400-Extruder-ME-60-5NEU.jpg, pristupio 27.04.2019.
- [4] Rauwendaal, C.: Understanding Extrusion, Hanser Publishers, München 1998.
- [5] Bryan, L.A. i Bryan E.A.: Programmable Controllers: Theory and Implementation Second Edition, Industrial Text Company, Atlanta 1997.
- [6] <https://unitronicsplc.com/vision-series-vision1210/>, pristupio 17.04.2019.
- [7] <https://www.quora.com/What-is-a-modular-PLC>, pristupio 17.04.2019.
- [8] https://www.pce-instruments.com/english/slot/2/artimg/large/promesstec-gmbh-wtr-280-temperature-sensor-pt100-296092_573309.jpg, pristupio 28.04.2019.
- [9] https://www.yaskawa.eu.com/fileadmin/Products/Frequenzumrichter/A1000/A1000_Standard/YAS_A1000_Right.jpg, pristupio 20.04.2019.
- [10] <https://www.miel.si/wp-content/VsebinaPDF/SIEP-C71061627C-02-YAS+A1000+UsersManual.pdf>, pristupio 20.04.2019.
- [11] <https://www.ete.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/EDR-120-24-1.jpg>, pristupio 20.04.2019.
- [12] <https://www.ete.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/DRT-240-24-4-600x600.jpg>, pristupio 29.04.2019.
- [13] <https://myzone-kza3sadj.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/08/Programmable-logic-controller-Vision-700-by-Unitronics-front.jpg>, pristupio 30.04.2019.
- [14] <http://thermalcomponents.co.za/wp-content/uploads/2017/03/Maxwell-Catalog-Solid-State-Relay.pdf>, pristupio 01.05.2019.
- [15] https://www.schmersal.net/Bilddata/Si_baust/Srb301lc/Fotos/Katalog/ksrb3f03.jpg, pristupio 01.05.2019.

PRILOZI

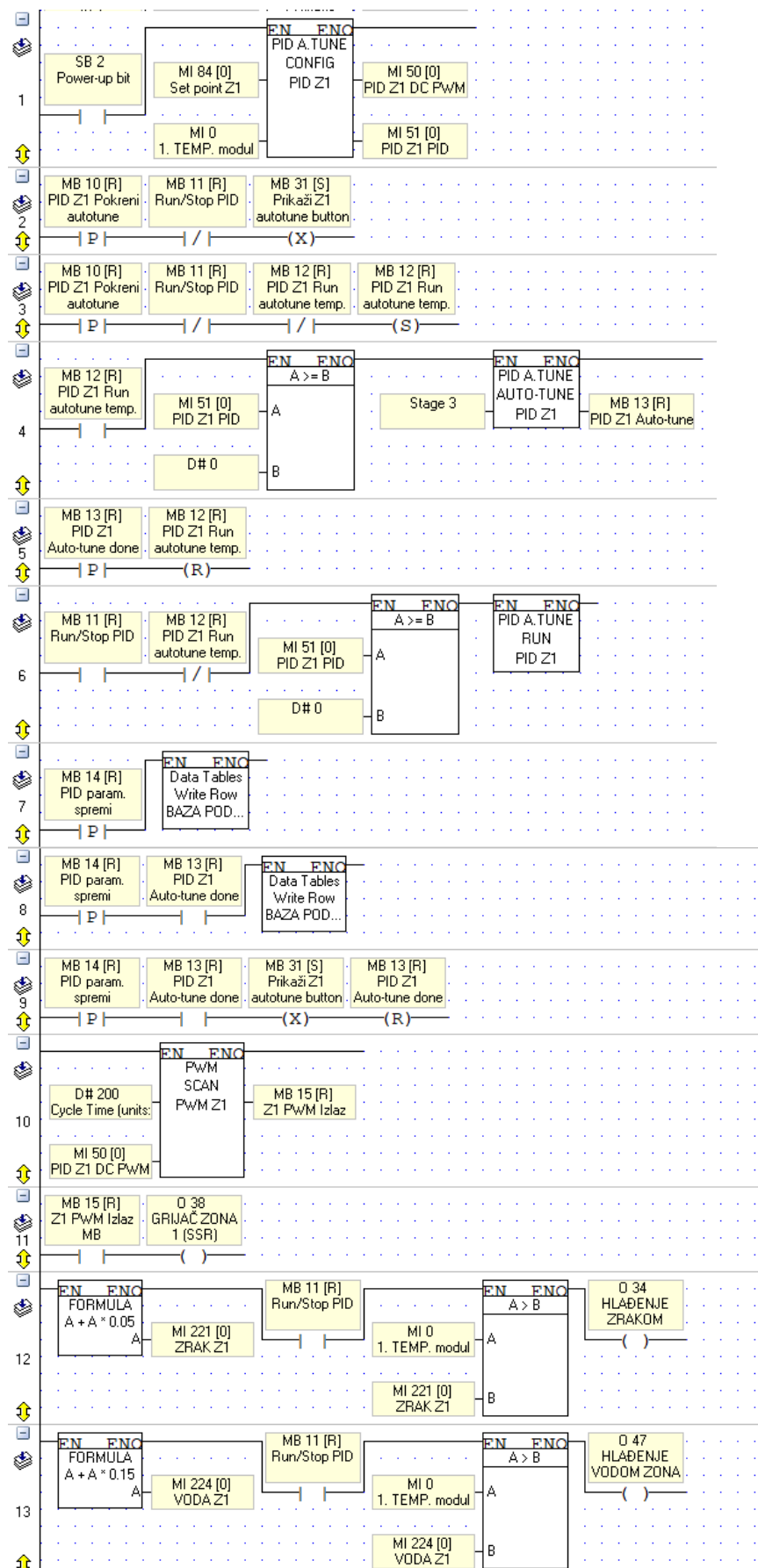
1. Upravljački program
2. Električna shema
3. CD-R disk

UPRAVLJAČKI PROGRAM

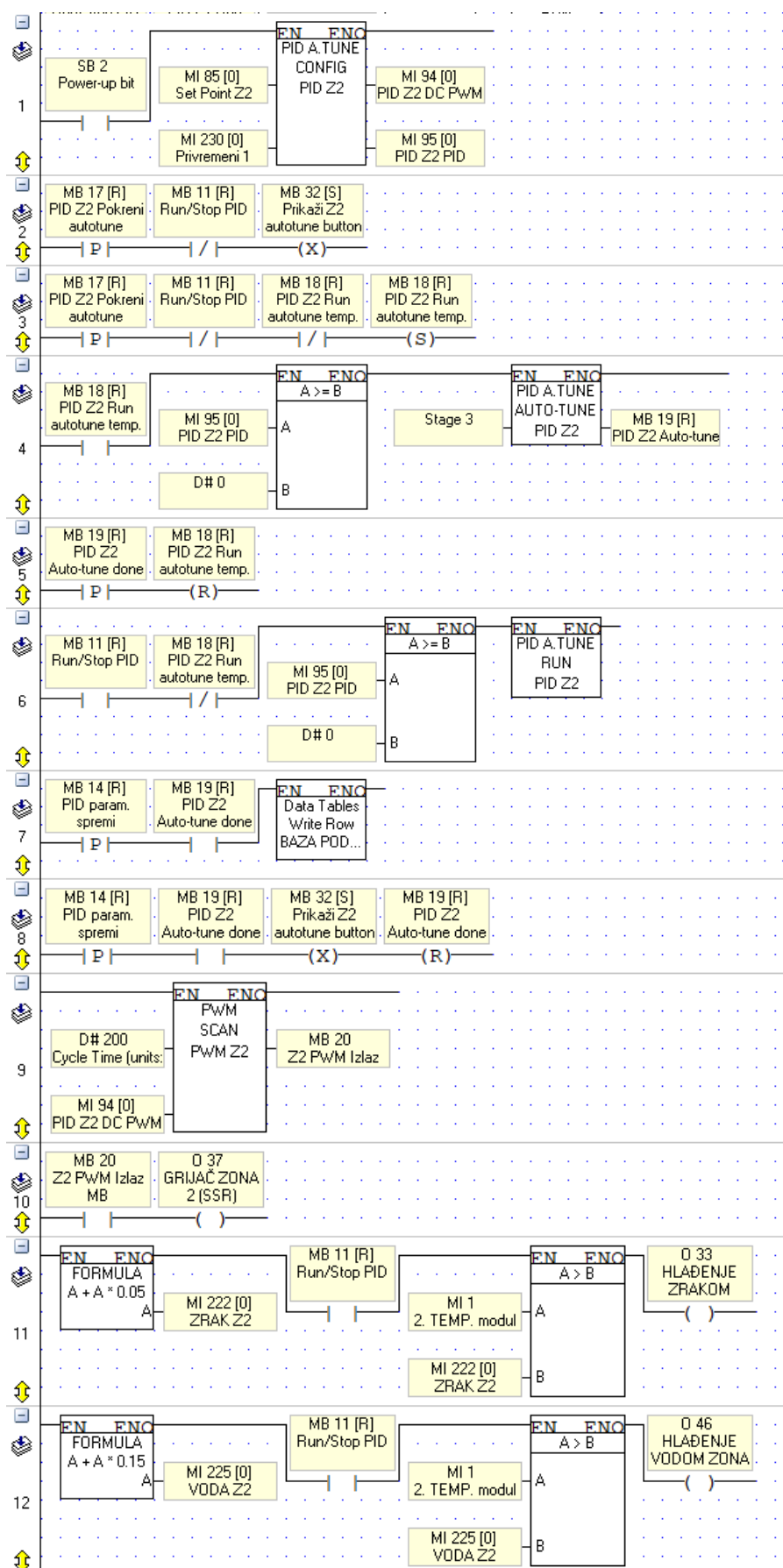
- GLAVNA RUTINA



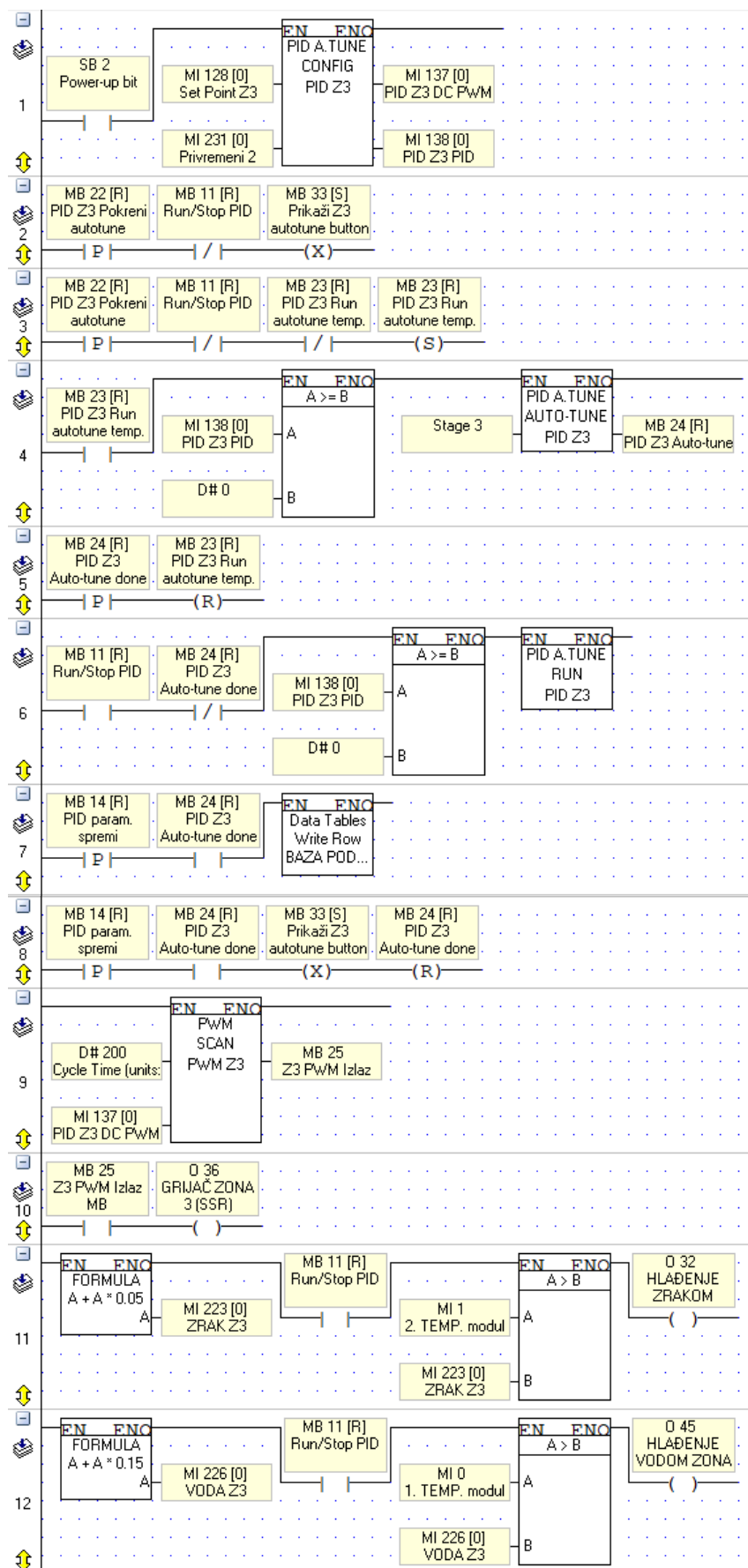
- RUTINA PRVE TOPLINSKE ZONE



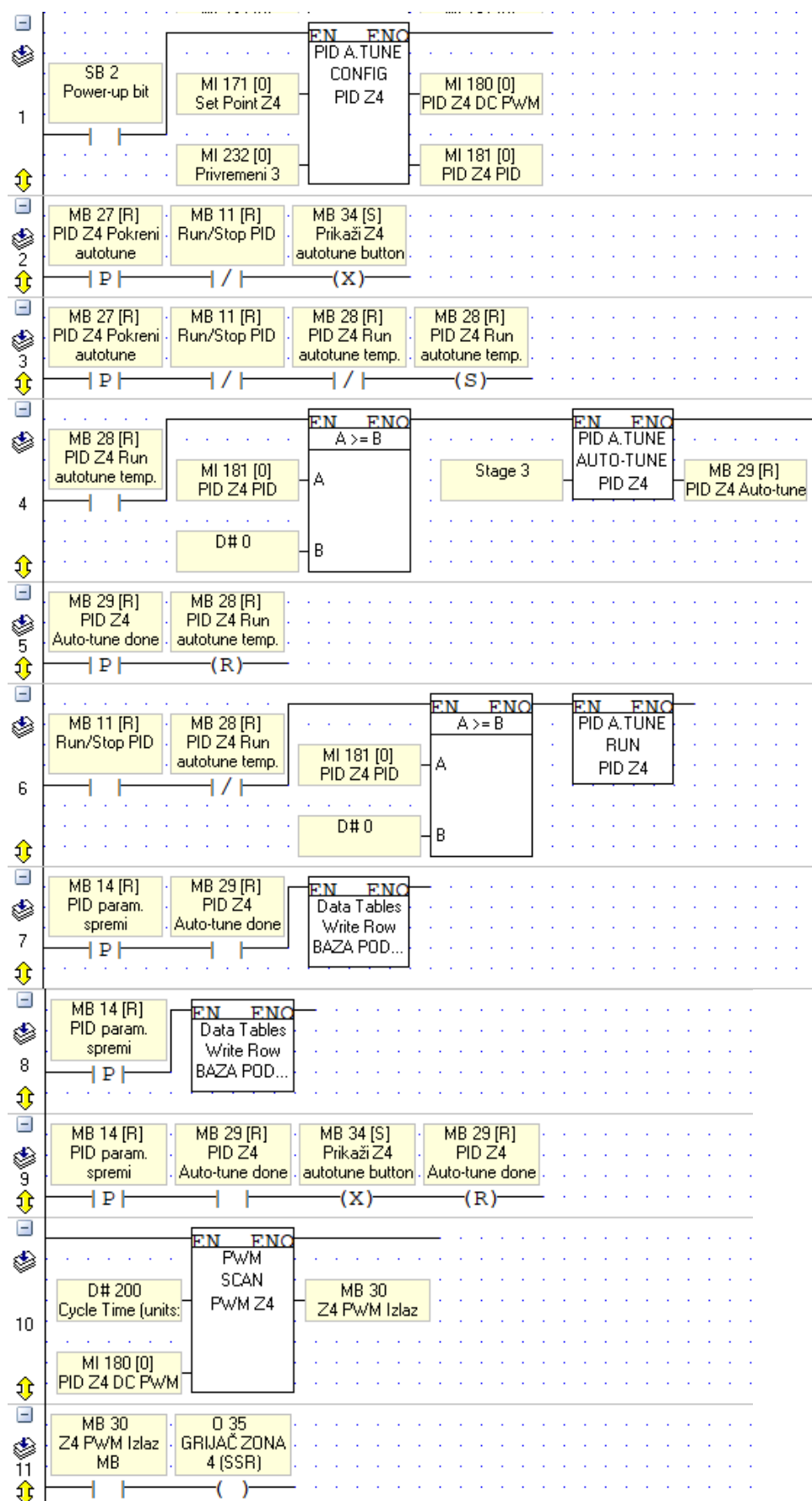
- RUTINA DRUGE TOPLINSKE ZONE



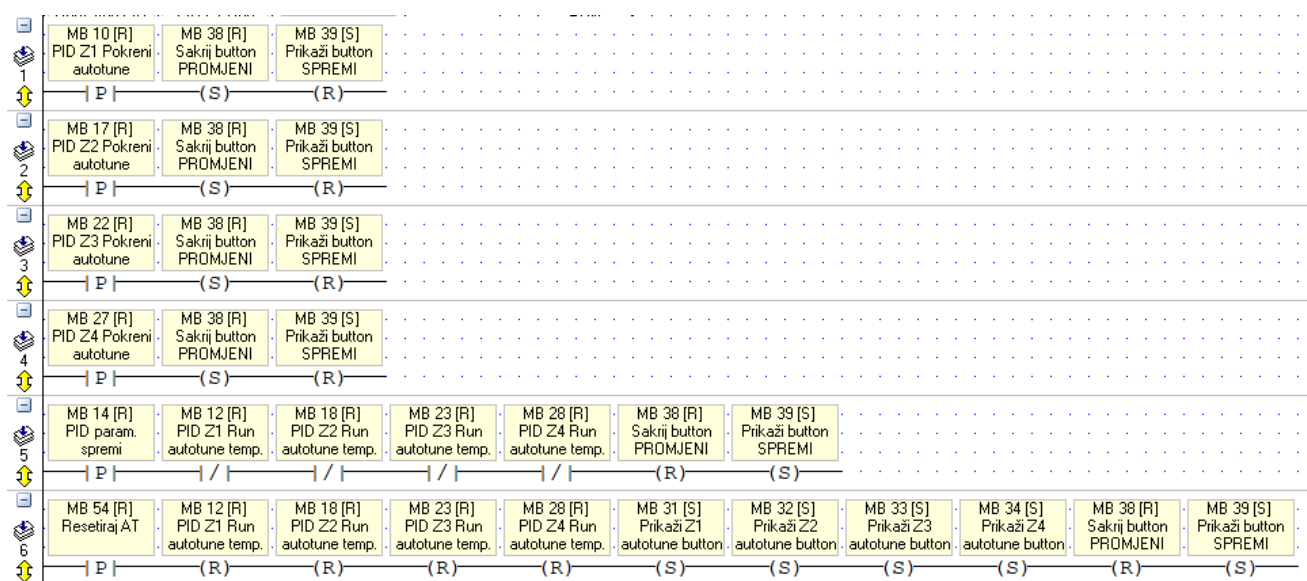
- RUTINA TREĆE TOPLINSKE ZONE



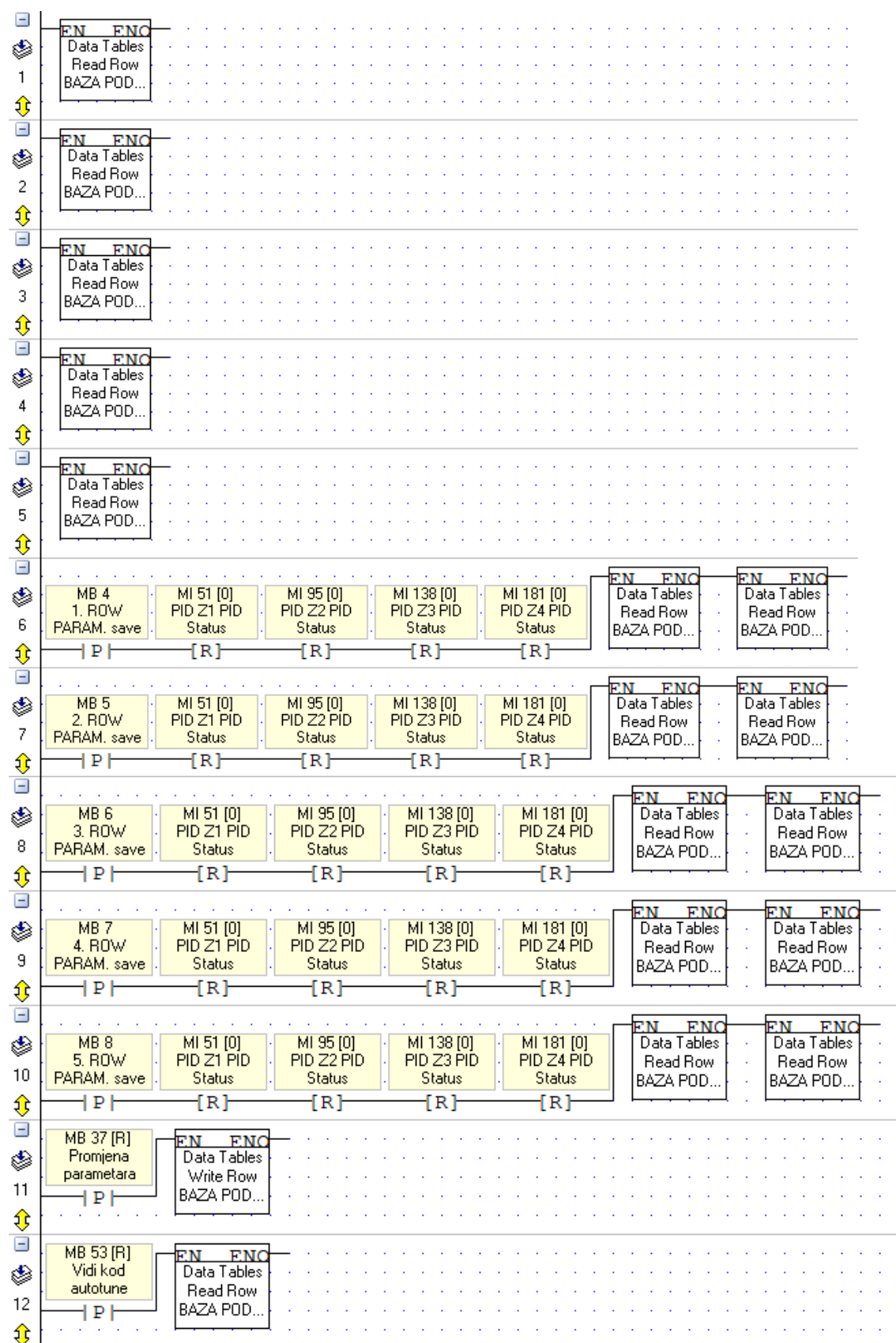
- RUTINA ČETVIRTE TOPLINSKE ZONE



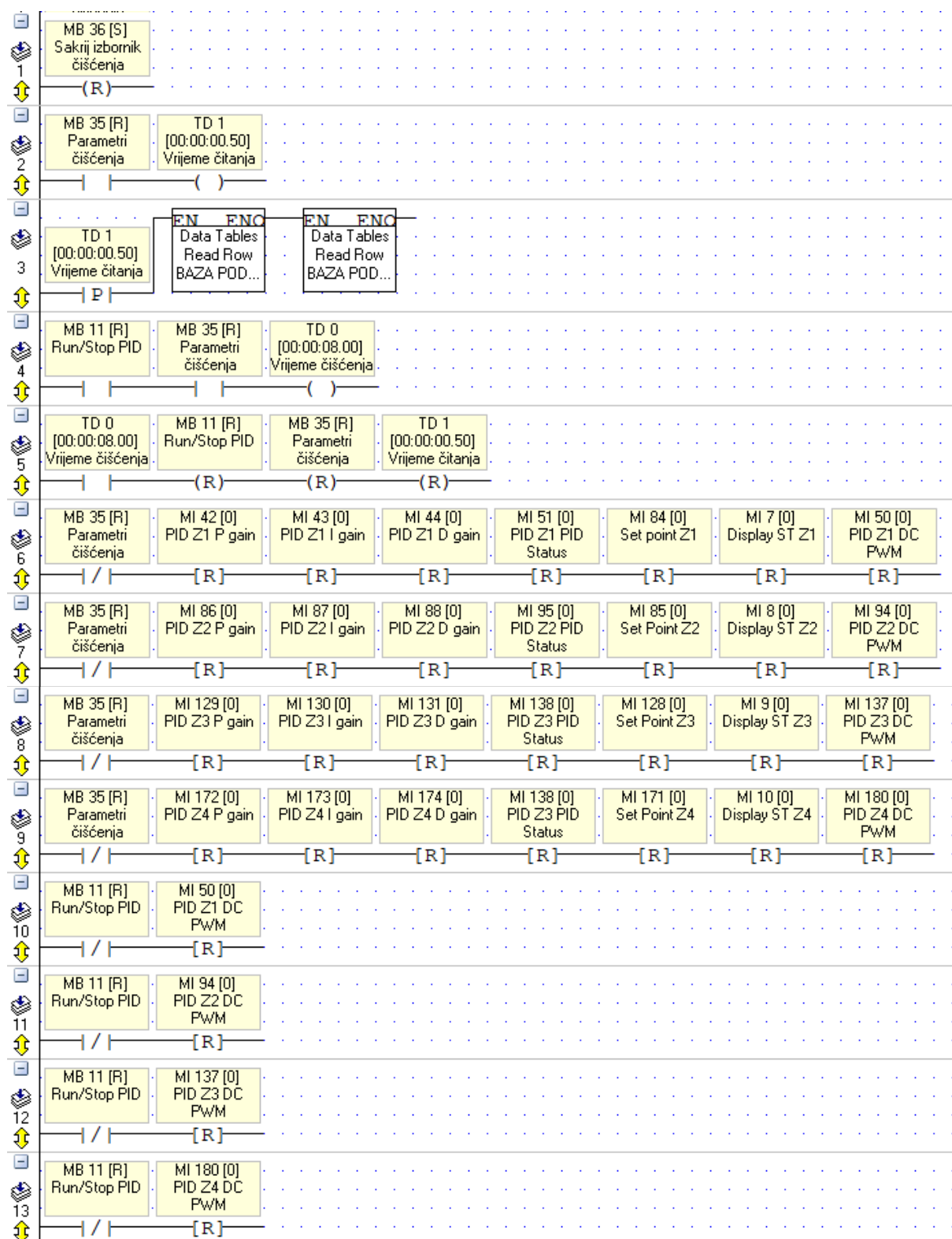
- RUTINA ZA RESET OPCIJE AUTOTUNE



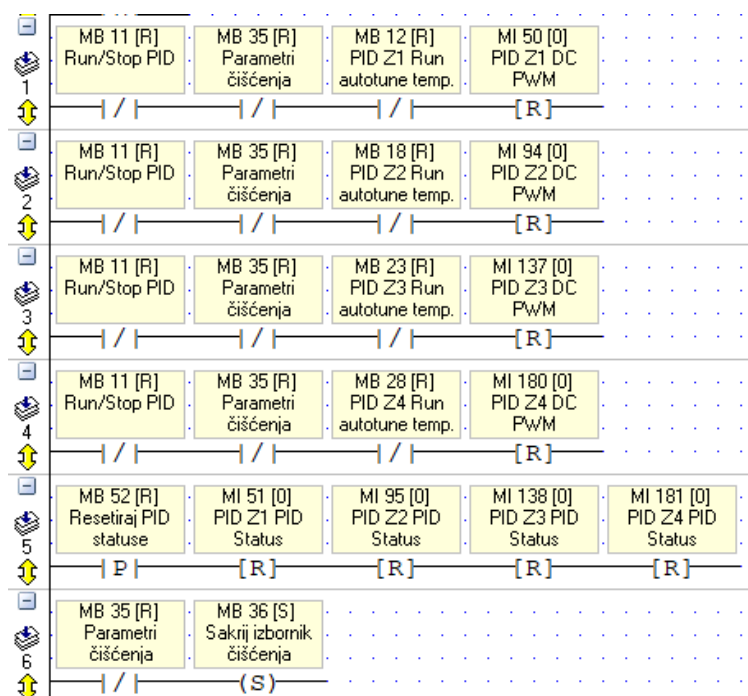
- RUTINA ZA UČITAVANJE PARAMETARA



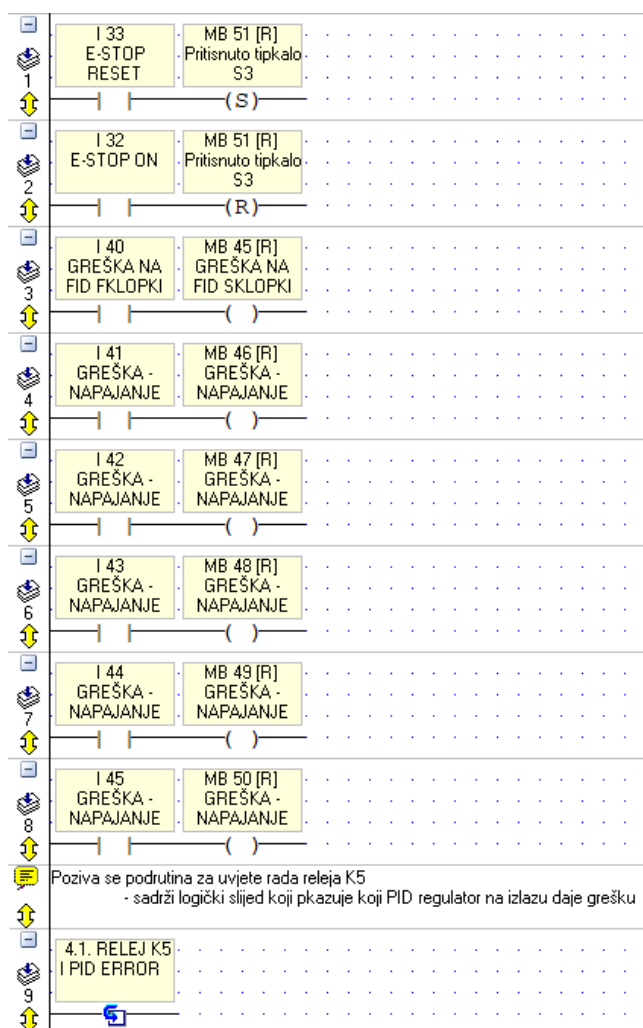
-RUTINA ZA ČIŠĆENJE CILINDRA EKSTRUDERA



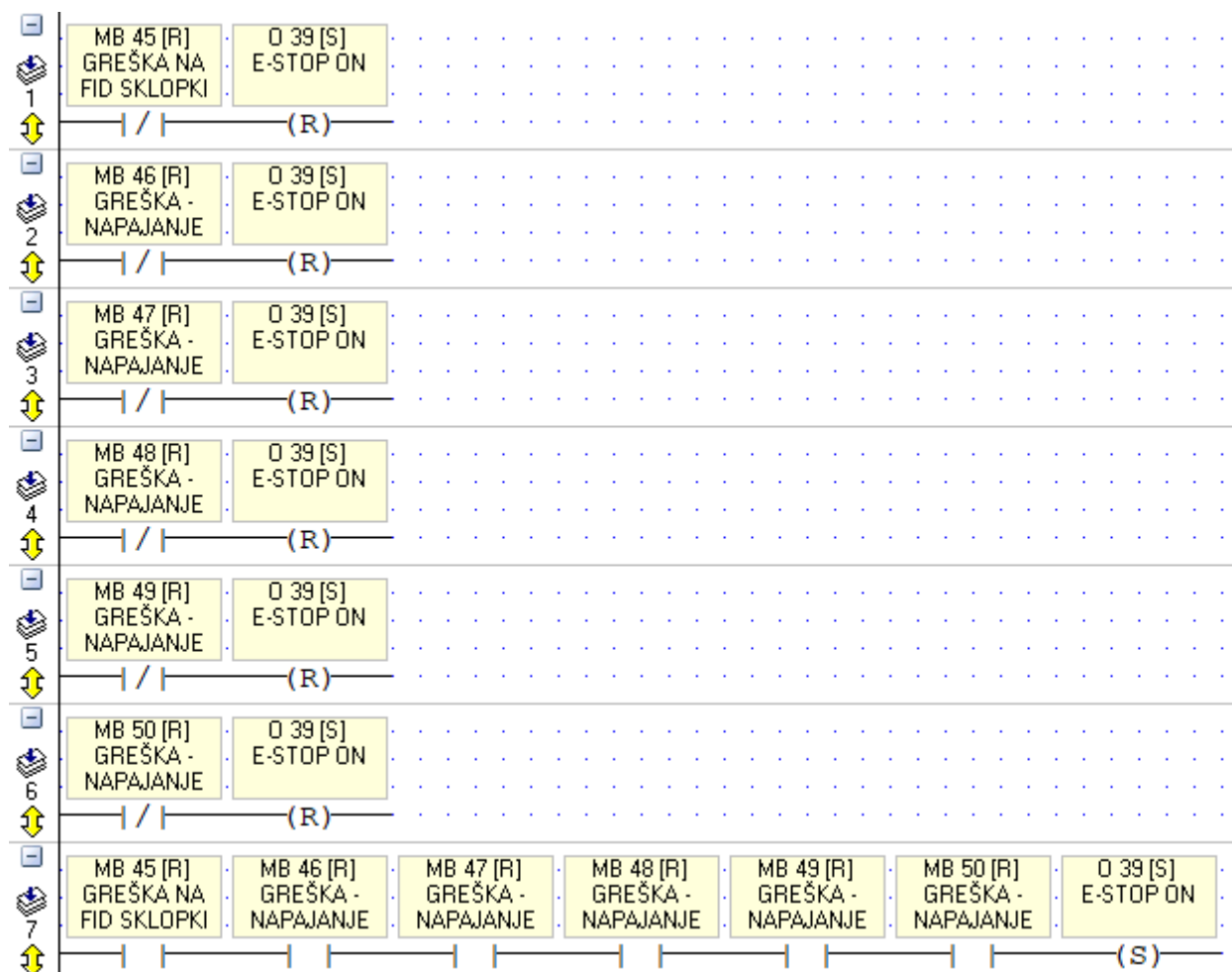
- RUTINA ZA RESET PID BLOKOVA



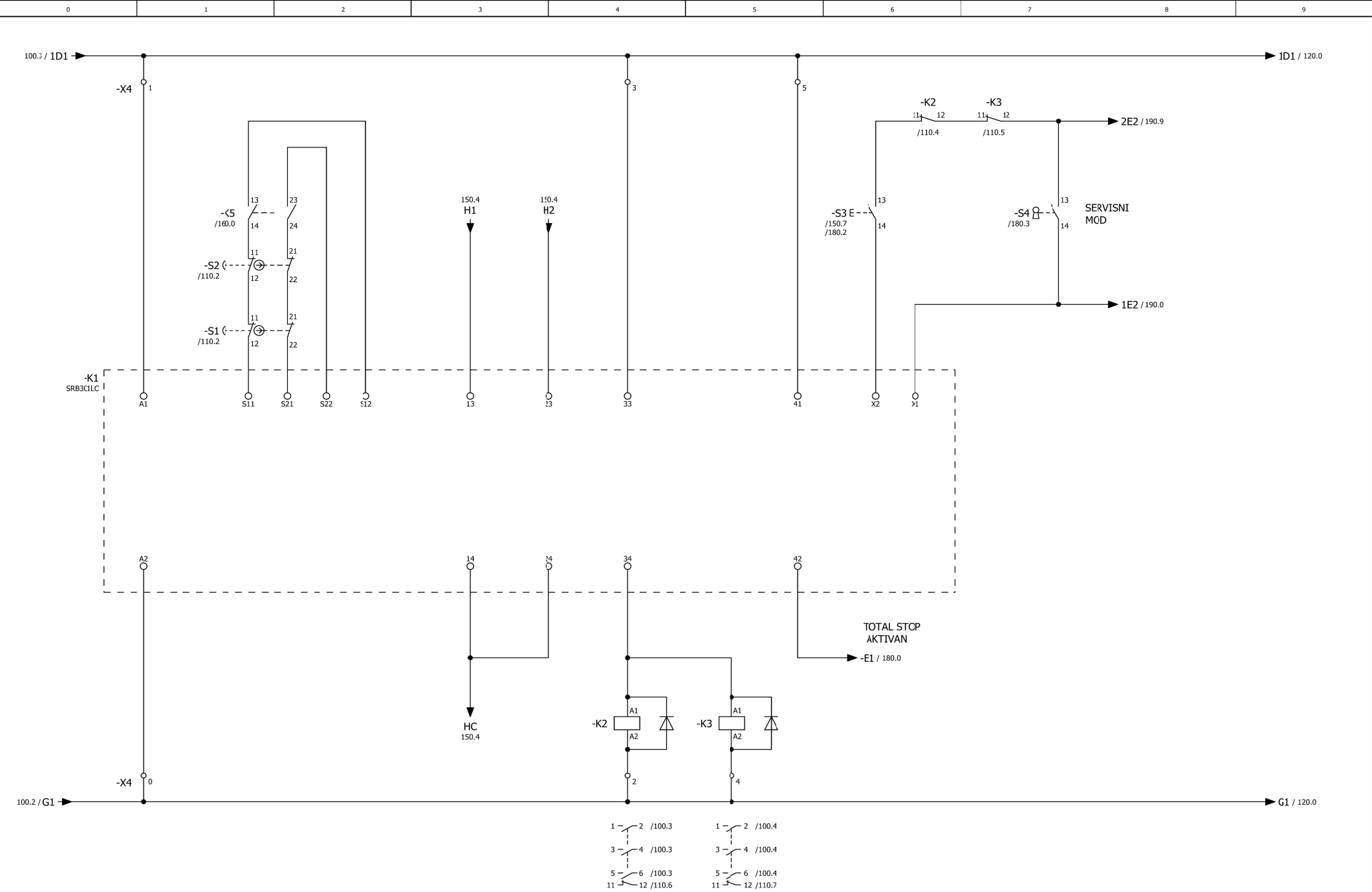
- RUTINA ZA PRIKAZ GREŠAKA

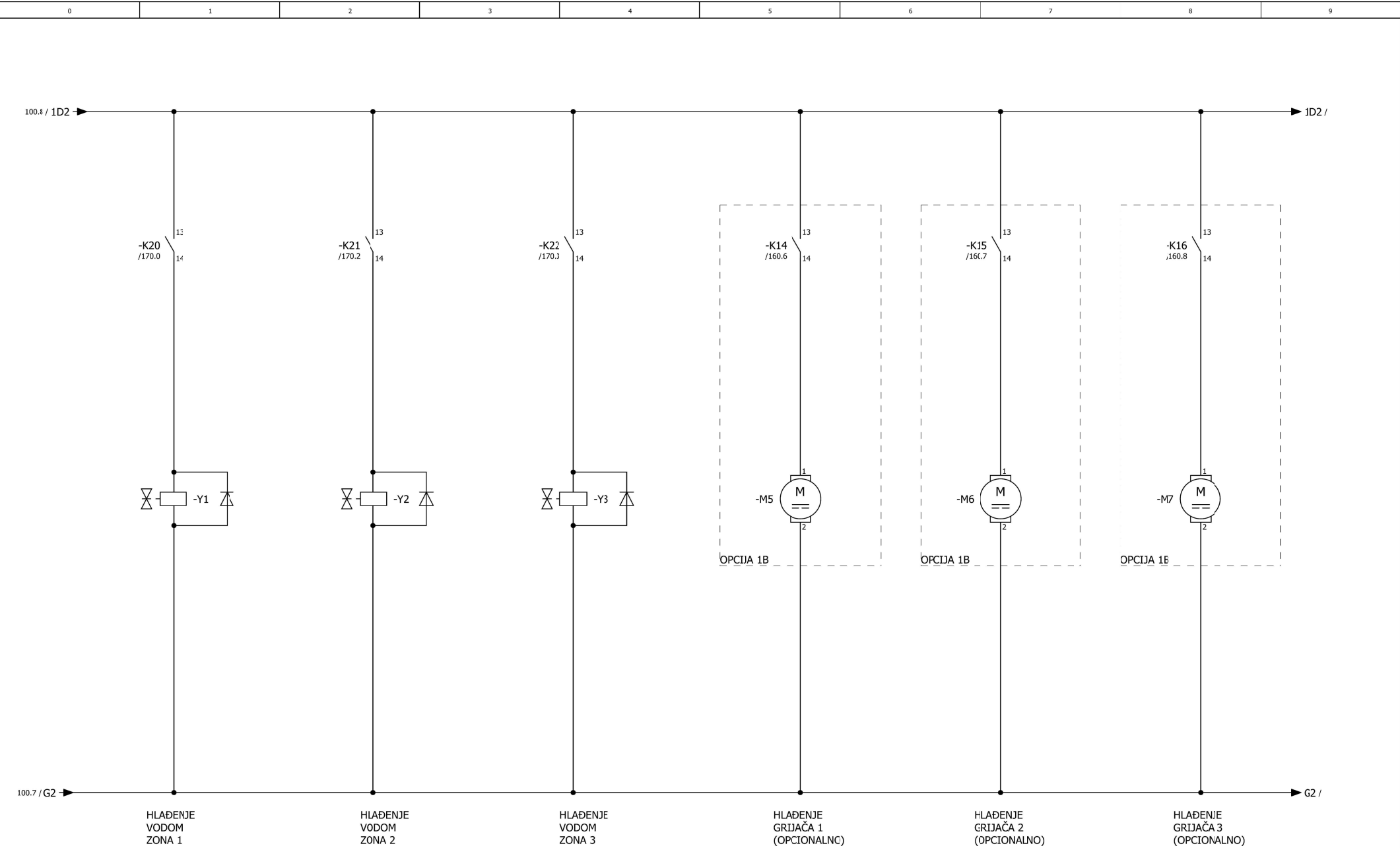


- RUTINA SIGURNOSNOG KRUGA



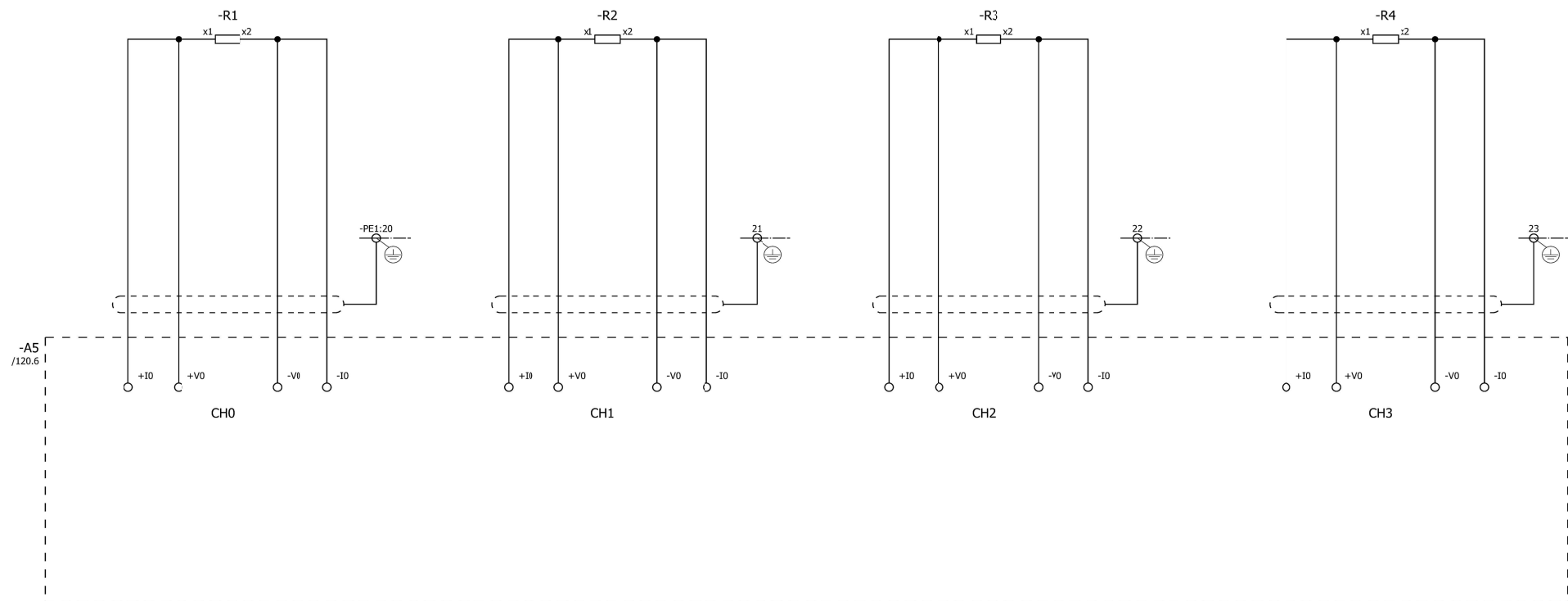






[illegible]

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



			Date	15.5.2018		PLC ANALOGNI (PT100) ULAZI BLOK A5				
			Ed.	Standard						
			Appr							
Modification	Date	Name	Original		Replacement of	Replaced by			Page 21	Page 12 / 13

