

Parametriranje industrijskog ekstrudera za polimerne materijale

Vadlja, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:458403>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Hrvoje Vadjla

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

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

Student:

Hrvoje Vadjla

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Tomislavu Staroveškom na pruženoj stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se dr. sc. Mihi Klaiću na pruženoj pomoći i savjetima prilikom rada na predmetnom ekstruderu.

Posebno se zahvaljujem asistentima s Katedre za alatne strojeve Dori Bagarić i Jošku Ištuku na pomoći prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se roditeljima i sestri na pruženoj podršci i razumijevanju tijekom studiranja.

Hrvoje Vadjla



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: 602-04/21-6/1	
Ur. broj: 15-1703-21	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **HRVOJE VADLJA** Mat. br.: 0035201273

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Parametriranje industrijskog ekstrudera za polimerne materijale**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Commissioning of industrial thermoplastic extruder**

Opis zadatka:

Na Zavodu za tehnologiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u tijeku je projekt revitalizacije ekstrudera za polimerne materijale. U sklopu dosadašnjih aktivnosti, između ostalog, izrađen je odgovarajući upravljački sustav, te su napravljene osnovne rutine upravljačkog koda. Kako bi se predmetni stroj mogao pustiti u pogon, potrebno je testirati i doraditi upravljački kod te parametrirati sustav tako da isti može ekstrudirati nekoliko različitih vrsta polimera.

U radu je stoga potrebno:

1. Testirati postojeće rutine upravljačkog koda na PLC sustavu i identificirati cjeline koje je još potrebno doraditi.
2. Otkloniti sve možebitne nedostatke u postojećem PLC kodu i napraviti sve potrebne dorade istog.
3. Odrediti parametre procesa za najmanje jednu vrstu polimera.
4. Testirati rad stroja na odabranom materijalu.
5. Dati zaključke rada.

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

Zadatak zadan:
30. rujna 2021.

Rok predaje rada:
2. prosinca 2021.

Predviđeni datum obrane:
13. prosinca do 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao: 
doc. dr. sc. Tomislav Staroveški

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O EKSTRUDIRANJU	2
3. ZATEČENO STANJE STROJA	6
3.1 Pužni vijak.....	7
3.2 Grijači.....	7
3.3 Senzori za mjerenje temperature	8
3.4 Elementi upravljačkog sustava	9
3.4.1 Elektromotor.....	9
3.4.2 Frekventni pretvornik.....	9
3.4.3 Izvori napajanja.....	10
3.4.4 PLC i odgovarajući I/O moduli	12
3.4.5 Poluvodički releji za grijače	13
3.5 Testiranje sustava.....	15
3.5.1 Testiranje rada toplinskih zona.....	15
3.5.2 Testiranje pogonskog motora ekstrudera	18
3.5.3 Testiranje sustava za hlađenje	19
3.6 PLC upravljački program.....	21
3.7 Dodatni uočeni nedostaci predmetnog ekstrudera.....	21
4. ZAHVATI NA SUSTAVU	22
4.1 Zahvati potrebni za mehaničko funkcioniranje sustava.....	22
4.1.1 Mjerenje temperature u četvrtoj toplinskoj zoni.....	22
4.1.2 Grijači četvrte zone	26
4.1.3 Smetnje u sustavu	28
4.1.4 Mehaničko stezanje alata.....	31
4.1.5 Izrada poklopca za remenski prijenos pogonskog motora	32
4.2 Zahvati na programskom kodu i grafičkom sučelju PLC uređaja.....	33
4.2.2 Frekvencija vrtnje motora	35
4.2.3 Uvjeti za pokretanje motora	43
5. PARAMETRIRANJE PROCESA I TESTIRANJE REZULTATA ZAHVATA	68
5.1 Parametriranje sustava automatskim podešavanjem	69
5.2 Ručno parametriranje sustava.....	72
5.3 Ekstrudiranje materijala i završno testiranje sustava.....	73
6. ZAKLJUČAK.....	75

LITERATURA..... 76

POPIS SLIKA

Slika 1.	Ekstruder marke Trusioma, tip E1-32-20.....	1
Slika 2.	Moderan ekstruder tvrtke Milacron [2].....	2
Slika 3.	Jednopusni ekstruder [4].....	3
Slika 4.	Dvopusni ekstruder [4].....	4
Slika 5.	Shematski prikaz klipnog ekstrudera [4].....	4
Slika 6.	Pojednostavljeni prikaz predmetnog ekstrudera.....	5
Slika 7.	Stroj za ekstrudiranje polimera Trusioma E1-32-20.....	6
Slika 8.	Prstenasti grijači na cilindru za taljenje.....	7
Slika 9.	Vanjski par grijača na alatu ekstrudera.....	7
Slika 10.	PT 100 senzor temperature [5].....	8
Slika 11.	Izvor napajanja Mean Well DRT - 240 - 24 [7].....	10
Slika 12.	Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [9].....	11
Slika 13.	PLC uređaj Unitronics Vision V700-T20BJ.....	12
Slika 14.	Ekspanzijski moduli PLC uređaja.....	13
Slika 15.	Poluvodički releji proizvođača Maxwell, tip SSR MS - 1DA4840.....	13
Slika 16.	Testiranje pravovremenog pokretanja motora.....	15
Slika 17.	Iznosi pojačanja i referentne temperature prilikom testiranja rada toplinskih zona.....	16
Slika 18.	Graf temperature kod testiranja sustava za regulaciju temperature.....	16
Slika 19.	Iznosi temperature kod testiranja sustava za regulaciju temperature.....	17
Slika 20.	Konfiguracija grafičkog prikaza izmjerene temperature.....	17
Slika 21.	Ljestvičasti dijagram za pokretanje motora.....	18
Slika 22.	Izmjene logičkog kruga za pokretanje motora u svrhu testiranja.....	18
Slika 23.	Šumovi kod pokretanja motora.....	19
Slika 24.	Sanacija mjesta istjecanja rashladnog sredstva.....	20
Slika 25.	Uključivanje vodenog i zračnog hlađenja.....	20
Slika 26.	Remenski prijenos predmetnog ekstrudera.....	21
Slika 27.	Testni položaj PLC uređaja.....	21
Slika 28.	Glava ekstrudera, odnosno četvrta toplinska zona.....	22
Slika 29.	PT 100 sonda montirana u modificirani svornjak.....	23
Slika 30.	PT 100 sonda montirana u alat ekstrudera.....	23
Slika 31.	Ekspanzijski IO PT 400 modul [11].....	24
Slika 32.	Konfiguracija PT 400 modula u VisiLogic programskom paketu.....	24
Slika 33.	Grafički prikaz temperature na zaslonu PLC uređaja.....	25
Slika 34.	Utikač na grijačima.....	26
Slika 35.	Testiranje grijača četvrte zone.....	26
Slika 36.	Glava ekstrudera s jednim ispravnim grijačem.....	27
Slika 37.	Dodatno uzemljavanje sustava.....	28
Slika 38.	Originalni dio PLC koda za hlađenje zona.....	29
Slika 39.	Izmijenjeni dio PLC koda za hlađenje zona.....	29
Slika 40.	Izmijenjeni dio PLC koda za hlađenje zona s vremenskom funkcijom.....	30
Slika 41.	Izbacivanje alata ekstrudera.....	31
Slika 42.	Dodatno stezanje alata.....	31
Slika 43.	Prikaz dijelova potrebnih za izradu poklopca u AutoCAD programskom paketu.....	32
Slika 44.	Poklopac remenskog prijenosa pogonskog motora.....	32

Slika 45.	Originalni početni zaslon PLC uređaja	33
Slika 46.	Izmijenjeni početni zaslon PLC uređaja.....	34
Slika 47.	Dodatna forma prikaza „MENU“	35
Slika 48.	Forma prikaza „ZADAVANJE PARAMETARA“	36
Slika 49.	Zadavanje brzine vrtnje motora	36
Slika 50.	Iskakajuća tipkovnica na zaslonu PLC uređaja	37
Slika 51.	Konfiguracija izlaznog signala ekspanzijskog modula IO-AI4-AO2	37
Slika 52.	Lista specifikacija modula IO-AI4-AO2 [15].....	38
Slika 53.	Linearizacija tekstualno numeričkog polja za zadavanje brzine vrtnje motora.....	39
Slika 54.	Tipkala za regulaciju brzine vrtnje motora.....	40
Slika 55.	Dio programskog koda za regulaciju brzine vrtnje pomoću tipkala	40
Slika 56.	Resetiranje memorijske lokacije MI 6.....	41
Slika 57.	Uvjeti za resetiranje memorijske lokacije MI 6.....	42
Slika 58.	Resetiranje memorijske lokacije MI 6.....	42
Slika 59.	Uvjeti za pokretanje motora originalnog PLC koda	43
Slika 60.	Dozvola za pokretanje motora prve toplinske zone	44
Slika 61.	Dozvola za pokretanje motora druge, treće i četvrte toplinske zone	45
Slika 62.	Uvjeti za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata.....	46
Slika 63.	Uvjeti za pokretanje motora u smjeru suprotnom od kazaljke sata	46
Slika 64.	Promjena slike ovisno o vrijednosti binarne adrese za prvu toplinsku zonu.....	47
Slika 65.	Ljestvičasti dijagram za prikaz boje na ekstruderu	48
Slika 66.	Postavljanje izlaza za promjenu boje na grafici ekstrudera.....	48
Slika 67.	Grafički prikaz uvjeta za pokretanje motora	49
Slika 68.	Dijagram temperature prilikom zagrijavanja zona.....	49
Slika 69.	Tipkala za ručno isključivanje uvjeta zadane temperature	50
Slika 70.	Logika tipkala za ručno isključivanje uvjeta zadane temperature	50
Slika 71.	Logički slijed za ručno isključivanje uvjeta	51
Slika 72.	Premoštenja u logičkom krugu za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata.....	51
Slika 73.	Premoštenja u logičkom krugu za pokretanje motora u smjeru suprotnom od kazaljke sata.....	52
Slika 74.	Premoštenje logičkog signala za prikaz boje na grafičkom sučelju.....	53
Slika 75.	Konfiguracija funkcije promjenjivog teksta u VisiLogic programskom paketu ...	54
Slika 76.	Konfiguracija promjenjive slike u VisiLogic programskom paketu.....	55
Slika 77.	Dodatni uvjet za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata	56
Slika 78.	Dodatni uvjet za pokretanje motora u smjeru suprotnom kazaljke sata.....	56
Slika 79.	Drugi uvjet za paljenje motora.....	57
Slika 80.	Pozadina forme prikaza „Lazni pop-up“ s tekstem.....	58
Slika 81.	Ljestvičasti dijagram za prikaz upozorenja uvjeta minimalne zadane temperature u prvoj zoni	58
Slika 82.	Konfiguracija forme prikaza u <i>Links & Jumps</i> programskoj kartici.....	59
Slika 83.	Tipkala za ručno isključivanje uvjeta u ljestvičastom dijagramu	60
Slika 84.	Forma prikaza 'Lazni pop-up' s nadodanim tipkalima	60
Slika 85.	Tipkala za uvjet minimalne zadane temperature u formi prikaza „postavke motora“	61
Slika 86.	Premoštenja u logičkim krugovima za pojavljivanje iskakajućeg prozora	62
Slika 87.	Konfiguracija promjenjivog teksta, informacija o trenutnom stanju uvjeta.....	63
Slika 88.	Obavijest na iskakajućem prozoru da je uvjet isključen	63
Slika 89.	Logički krug za aktivaciju obavijesti u iskakajućem prozoru	64
Slika 90.	Početni zaslon s ugrađenim dodatnim tekstovima	64
Slika 91.	Povratna informacija o stanju uvjeta za pokretanje motora	65

Slika 92.	Logički krug za prikaz teksta „MOTOR RADI“	65
Slika 93.	Logički krug za prikaz indikacije „MOTOR U PRIPREMI, CEKANJE DA ZONE POSTIGNU TEMPERATURU“	66
Slika 94.	Logički krug za prikaz indikacije „OPREZ! ZASTITA UGASENA“	67
Slika 95.	Lijevo - PE, desno - PS.....	68
Slika 96.	Stage 3 automatsko podešavanje.....	69
Slika 97.	Provođenje procesa automatskog podešavanja.....	70
Slika 98.	Rezultati automatskog podešavanja	70
Slika 99.	Početni zaslon uređaja, prebačaj referentne temperature	71
Slika 100.	Ekstrudiranje PE	73
Slika 101.	Proces ekstrudiranja PS	74

POPIS TABLICA

Tablica 1. Elektromotor Končar ARN 112M-4 bez enkodera.....	9
Tablica 2. Tehničke specifikacije frekventnog pretvornika.....	9
Tablica 3. Tehničke specifikacije izvora napajanja Mean Well DRT-240-24	10
Tablica 4. Tehničke specifikacije izvora napajanja Mean Well EDR-120-24	11
Tablica 5. Tehničke specifikacije PLC uređaja Unitronics Vision V700-T20BJ	12
Tablica 6. Tehničke specifikacije releja proizvođača Maxwell, tip SSR MS - 1DA4840	14
Tablica 7. Vrijednosti pojačanja toplinskih zona.....	72

SAŽETAK

U radu je opisan postupak puštanja u pogon revitaliziranog termoplastičnog ekstrudera marke Trusioma, tip E1-32-20. Proveden je niz aktivnosti u sklopu kojih je izvršen detaljan uvid u postojeće stanje stroja, a zatim su nizom zahvata svi uočeni nedostaci otklonjeni. Stroj je naposljetku testiran ekstrudiranjem dvije različite vrste polimera i rezultati ukazuju da je pogodan za realnu upotrebu.

Ključne riječi: PLC, ekstruder, revitalizacija

SUMMARY

This thesis describes the commissioning of a revitalized thermoplastic Trusioma extruder, type E1-32-20. A series of activities were carried out in order to establish the existing condition of the machine, followed by a series of interventions which eliminated all observed shortcomings. The machine was finally tested by extruding two different types of polymers and the results indicate that it is suitable for everyday use.

Key words: PLC, extruder, commissioning

1. UVOD

U radu su opisane aktivnosti provedene u cilju puštanja u pogon revitaliziranog ekstrudera marke Trusioma, tip E1-32-20 (slika 1.). U prvom dijelu rada (poglavlje 2.) opisani su osnovni principi rada i podjele ekstrudera. Treće poglavlje prikazuje zatečeno stanje ekstrudera pri čemu je u prvom dijelu poglavlja dan prikaz hardvera s pripadajućim tehničkim specifikacijama, a u drugom dijelu, testiranjem je napravljen uvid u mehaničke, upravljačke i softverske komponente sustava, svi uočeni nedostaci detaljno su opisani. U idućem poglavlju detaljno su opisani zahvati na razini sustava u cilju otklanjanja uočenih nedostataka. Nakon otklanjanja uočenih nedostataka, u 6. poglavlju pristupilo se parametriranju i testiranju sustava sa dvije različite vrste polimera, nakon čega su prikazani rezultati testiranja. Naposljetku su navedeni zaključci rada.



Slika 1. Ekstruder marke Trusioma, tip E1-32-20

2. OPĆENITO O EKSTRUDIRANJU

Ekstrudiranje je postupak prerade polimera u kojem se materijal tali po temperaturnim zonama, te se tako rastaljeni polimer protiskuje kroz alat (mlaznicu). Ekstrudiranje spada u postupak praoblikovanja, pri čemu se istisnuti materijal očvršćuje u zadani oblik hlađenjem.

Dobiveni ekstrudat je najčešće pravokutnog ili kružnog poprečnog presjeka. U slučaju pravokutnog poprečnog presjeka kontroliraju se dvije dimenzije ekstrudata; širina i debljina, a ako je riječ o kružnom poprečnom presjeku kontrolira se samo jedna dimenzija, odnosno promjer ekstrudata [1].

Ekstrudiranje je pogodno za sve proizvode konstantnog poprečnog presjeka. Inicijalna primjena procesa ekstrudiranja bila je proizvodnja cijevi od mekih metala. Napretkom industrije počeli su se ekstrudirati proizvodi složenijih oblika i različitih materijala, poput: plastomera i keramike. U današnje vrijeme ekstruderi (slika 2.) su pronašli svoje mjesto i u prehrambenoj, farmaceutskoj, tekstilnoj industriji i sl. [1].



Slika 2. Moderan ekstruder tvrtke Milacron [2]

Vrste ekstrudera

Ekstruderi se razlikuju prema konstrukciji cilindra za taljenje, stanju dobave i načinu zagrijavanja polimera. Prema odredbama Europskog odbora proizvođača strojeva za proizvodnju polimernih tvorevina, EUROMAP (eng. *European Committee of Machinery Manufacturers for the Plastics and Rubber Industries*), ekstruderi se označuju na sljedeći način:

P - D - L/D

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

Kod ekstrudera za preradu plastomera promjer pužnog vijka iznosi od 15 do 300 mm, a njegova duljina može biti od 15 do 40 puta njegovog promjera (15D do 40D). Najčešće izvedbe za plastomere iznose od 25 do 35 puta njegova promjera pužnog vijka [3].

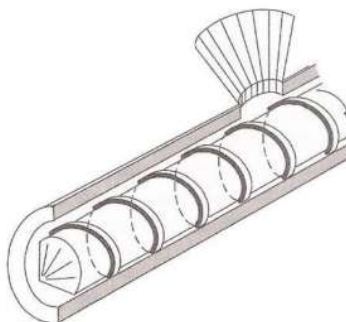
Podjela ekstrudera prema konstrukciji cilindra za taljenje

Prema konstrukciji cilindra za taljenje ekstruderi se mogu podijeliti na:

- jednapužne ekstrudere (engl. *Single-screw extruder*)
- višepužne ekstrudere (engl. *Multi-screw extruder*)
- klipne ekstrudere (istiskivalice)

Jednapužni ekstruder

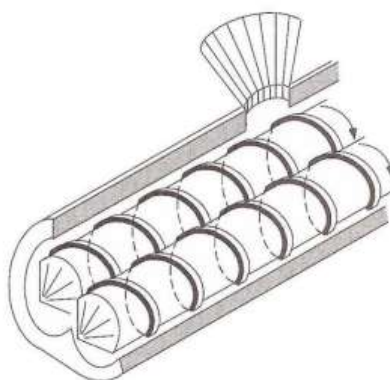
Jednapužni ekstruder (slika 3.) istiskuje taljevinu kroz matricu rotacijom jednog pužnog vijka. Ekstruder ovakvog tipa je predmet ovog rada [4].



Slika 3. Jednapužni ekstruder [4]

Višepužni ekstruder

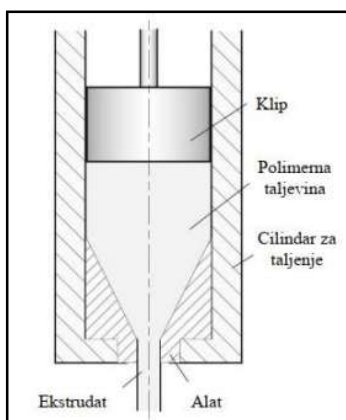
Višepužni ekstruder istiskuje taljevinu kroz matricu rotacijom više pužnih vijaka u cilindru za taljenje. Oni se mogu okretati u istom ili različitim smjerovima, ovisno o izvedbi. Slika 4. prikazuje dvopužni ekstruder. U praksi se češće koriste protusmjerni ekstruderi zbog boljih karakteristika protiskivanja [4].



Slika 4. Dvopužni ekstruder [4]

Klipni ekstruderi

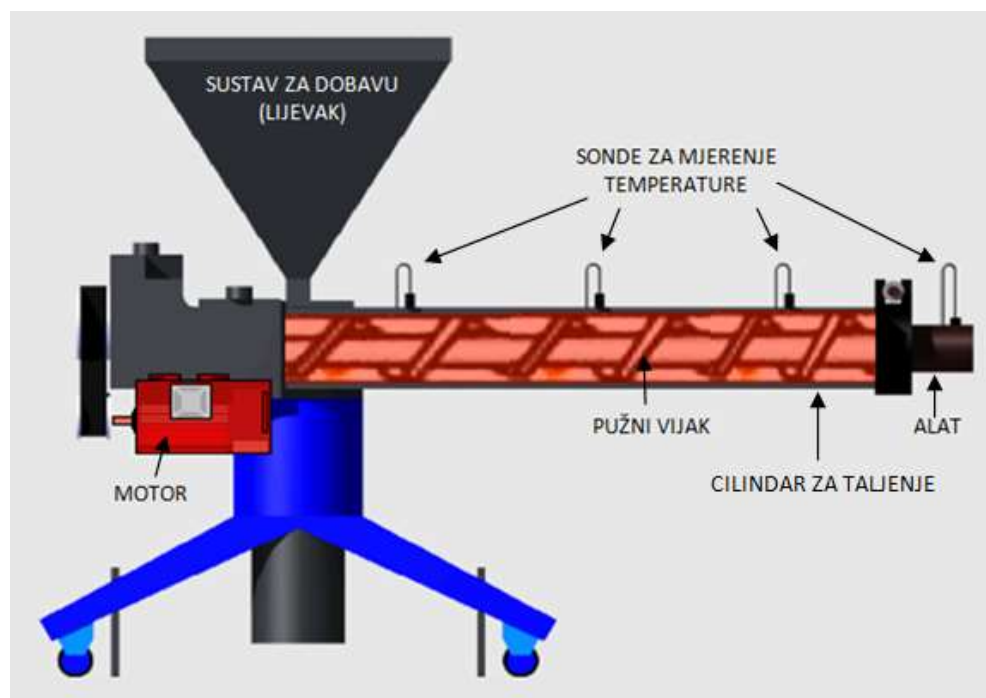
Klipni ekstruderi koriste klip za protiskivanje polimerne taljevine kroz alat stroja. Na takav način postižu se visoki tlakovi u cilindru za taljenje, te iz tog razloga imaju vrlo dobre karakteristike protiskivanja. Njihov glavni nedostatak je relativno mala brzina istiskivanja i iz tog razloga je spektar korištenja smanjen na posebne vrste polimera, poput politetrafluoretilena i polietilena vrlo velike molekularne težine. Slika 5. prikazuje shematski prikaz klipnog ekstrudera [4].



Slika 5. Shematski prikaz klipnog ekstrudera [4]

Princip rada predmetnog ekstrudera

Budući da je tema ovog rada jednopužni ekstruder s četiri toplinske zone, detaljnije je opisan princip njegova rada. Pojednostavljeni prikaz predmetnog ekstrudera prikazan je slikom 6.



Slika 6. Pojednostavljeni prikaz predmetnog ekstrudera

Materijal predviđen za preradu ekstrudiranjem u formi granulata ubacuje se u lijevak. Zatim se pokreće postupak zagrijavanja toplinskih zona. U trenutku kada toplinske zone postignu potrebnu temperaturu pokreće se pogonski motor. Pužni vijak rotacijom protiskuje materijal prema alatu ekstrudera. Materijal u cilindru prolazi kroz proces taljenja te se tako rastaljeni polimer protiskuje kroz alat (mlaznicu ekstrudera).

3. ZATEČENO STANJE STROJA

Procjena stanja stroja izvršena je uvidom u mehaničke, upravljačke i softverske elemente sustava.

U prvom dijelu ovog poglavlja dan je prikaz hardvera s pripadajućim tehničkim specifikacijama, dok je u drugom dijelu provedeno inicijalno testiranje sustava u cilju detekcije nedostataka. Svi uočeni nedostaci detaljno su opisani.

Slika 7. prikazuje predmetni ekstruder za preradu polimera Trusioma E1-32-20.



Slika 7. Stroj za ekstrudiranje polimera Trusioma E1-32-20

3.1 Pužni vijak

Na temelju oznake može se zaključiti da ekstruder ima jedan pužni vijak promjera 32 mm omjera djelotvorne duljine pužnog vijka i njegova promjera 20, odnosno pužni vijak je duljine 640 mm.

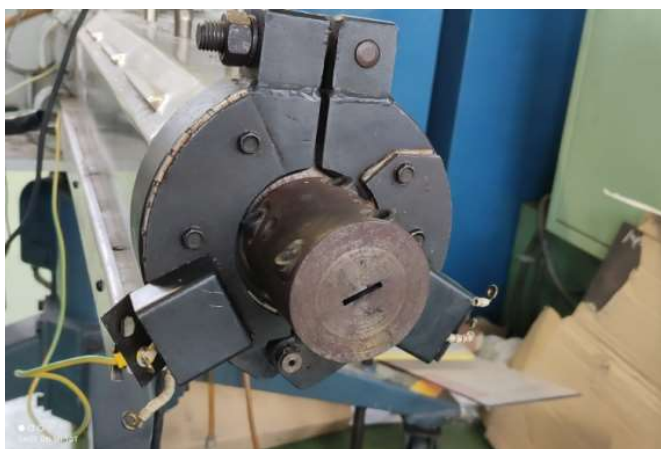
3.2 Grijači

Na samom cilindru za taljenje nalazi se šest prstenastih grijača (slika 8.) izoliranih „mica“ materijalom (eng. *Mica Insulated Heaters*). Grijači su snage 470 W, nazivnog napajanja 220 V izmjenične struje. Grijači su u parovima podijeljeni u tri toplinske zone.



Slika 8. Prstenasti grijači na cilindru za taljenje

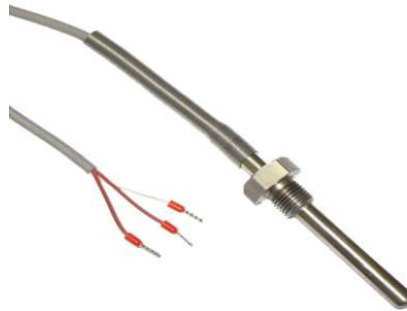
Na alatu ekstrudera ugrađena su dva vanjska grijača snage 250 W, nazivnog napajanja 220 V izmjenične struje (slika 9.) koji čine četvrtu toplinsku zonu.



Slika 9. Vanjski par grijača na alatu ekstrudera

3.3 Senzori za mjerenje temperature

Mjerenje temperature u toplinskim zonama cilindra izvedeno je na način da je po jedan senzor temperature pridružen svakoj zoni. Koriste se PT 100 sonde, oznaka označava materijal i njena svojstva; „PT“ definira da je materijal platina, a broj „100“ znači da je na temperaturi od 0 °C otpor sonde 100 Ω . Na temelju otpora pri određenoj temperaturi posredno se dobije iznos temperature. Na slici 10. prikazan je primjer otporničke sonde PT 100 koje su ugrađene u predmetni ekstruder. Na slici 8. mogu se primjetiti utori za njihovu montažu.



Slika 10. PT 100 senzor temperature [5]

3.4 Elementi upravljačkog sustava

U ovom potpoglavlju dan je prikaz elemenata upravljačkog sustava.

3.4.1 Elektromotor

Koristi se trofazni asinkroni kavezni motor proizvođača Končar, tip ARN 112M-4, bez enkodera. Tehničke specifikacije motora navedene su u tablici 1.

Tablica 1. Elektromotor Končar ARN 112M-4 bez enkodera

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

3.4.2 Frekventni pretvornik

Ugrađen je frekventni pretvornik Yaskawa A1000 CIMR-AC4A0018 FAA. Podržava upravljanje sinkronim i asinkronim motorima, te podržava ugradnju enkodera. Tehničke specifikacije pretvornika prikazane su tablicom 2.

Tablica 2. Tehničke specifikacije frekventnog pretvornika [6]

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

3.4.3 Izvori napajanja

Cijeli sustav se napaja izmjeničnim naponom od 380 V. Budući da je logičke i mjerne krugove te ventile za vodeno hlađenje potrebno napajati istosmjernim naponom od 24 V, u upravljačkom ormaru ugrađena su dva ispravljača, od kojih se prvi koristi za logičke i mjerne krugove, a drugi za ostale potrošače. Izvori napajanja podijeljeni su u dvije cjeline čime se ostvarilo otklanjanje smetnji jer se ventili i sklopnici napajaju zasebnim, galvanski odvojenim krugom i na taj način ne remete rad mjernih uređaja u sustavu. Također, ostvarila se mogućnost da upravljački sustav radi i u slučaju kada je pogon stroja isključen ili djelomično u kvaru.

Ventili za vodeno hlađenje napajaju se stabiliziranim izvorom napajanja Mean WELL DRT-240-24 (slika 11.). Tehničke specifikacije prikazane su tablicom 3.



Slika 11. Izvor napajanja Mean Well DRT - 240 - 24 [7]

Tablica 3. Tehničke specifikacije izvora napajanja Mean Well DRT-240-24 [8]

Izlaz	Nazivni napon, V DC	24
	Nazivna jakost struje, A	10
	Nazivni raspon jakosti struje, A	0 - 10
	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×V×D) [mm]	125,5 × 125,2 × 100	
Masa [kg]	1,3	
Montaža	DIN Šina	

Logički i mjerni krugovi napajaju se izvorom napajanja istog proizvođača, ali manje nazivne snage. Model Mean Well DRT-240-24 (slika 12.). Tehničke specifikacije prikazane su tablicom 4.



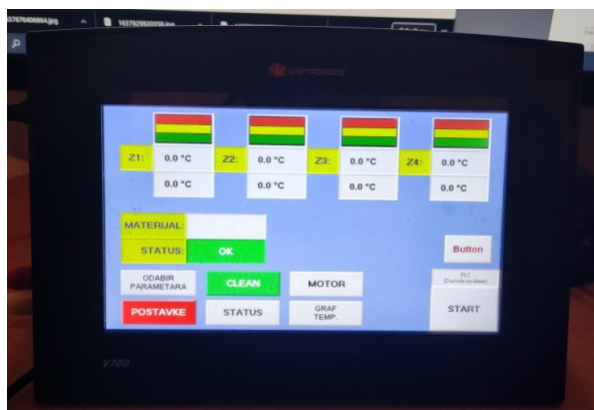
Slika 12. Izvor napajanja Mean Well EDR-120-24 [9]

Tablica 4. Tehničke specifikacije izvora napajanja Mean Well EDR-120-24 [10]

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×V×D) [mm]	40 × 125,2 × 113,5	
Masa [kg]	0,6	
Montaža	DIN Šina	

3.4.4 PLC i odgovarajući I/O moduli

Programabilni logički kontroler (eng. *programmable logic controller*, PLC) je proizvođača Unitronics, model Vision V700-T20BJ s integriranim zaslonom osjetljivim na dodir (slika 13.). Tehničke specifikacije PLC-a prikazane su u tablici 5.



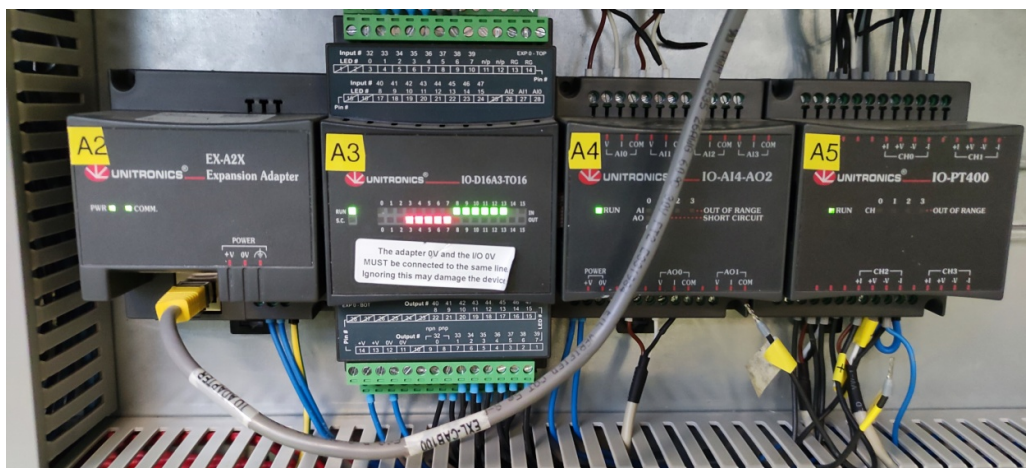
Slika 13. PLC uređaj Unitronics Vision V700-T20BJ

Tablica 5. Tehničke specifikacije PLC uređaja Unitronics Vision V700-T20BJ [11]

Nazivni napon napajanja [V AC]		12 ili 24
Maksimalna jakost struje [mA]		320 / 24 V DC
EKTRAN	Veličina ["]	7
	Rezolucija [pikseli]	800 × 480
	Vrsta ekrana	TFT LDC
	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
Ethernet	USB 2.0	
	RJ45	
	10/100 Mbps	
I/O	Snap-in I/O moduli	do 62 I/O kanala
	I/O Expansion level	do 62 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×V×D), mm		210 × 146,4 × 42,3

Za spajanje PLC uređaja s ostalim I/O modulima koristi se EX-A2X ekspanzijski modul, koji omogućava spajanje do 8 dodatnih I/O modula (slika 14.).

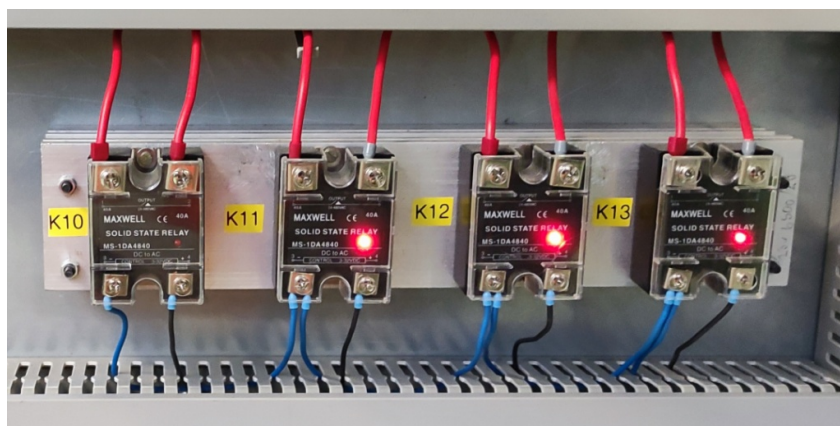
Ekspanzijski modul IO-D16A3-TO16 iskorišten je za spajanje logičkih krugova, modul IO-A14-AO2 koristi se za regulaciju pogonskog motora, a na modul IO PT-400 spojene su PT 100 sonde za mjerenje temperature.



Slika 14. Ekspanzijski moduli PLC uređaja

3.4.5 Poluvodički releji za grijače

Ugrađeni su poluvodički releji za kontrolu paljenja i gašenja grijača. Potrebno je koristiti releje koji podnose veliki broj uklapanja i isklapanja u kratkim vremenskim intervalima, stoga su ovdje korišteni poluvodički releji proizvođača Maxwell, tip SSR MS - 1DA4840 (slika 15.). Tehničke specifikacije releja prikazane su tablicom 6.



Slika 15. Poluvodički releji proizvođača Maxwell, tip SSR MS - 1DA4840

Tablica 6. Tehničke specifikacije releja proizvođača Maxwell, tip SSR MS - 1DA4840 [12]

Nazivni napon, V AC	480
Nazivni upravljački napon, V AC	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

3.5 Testiranje sustava

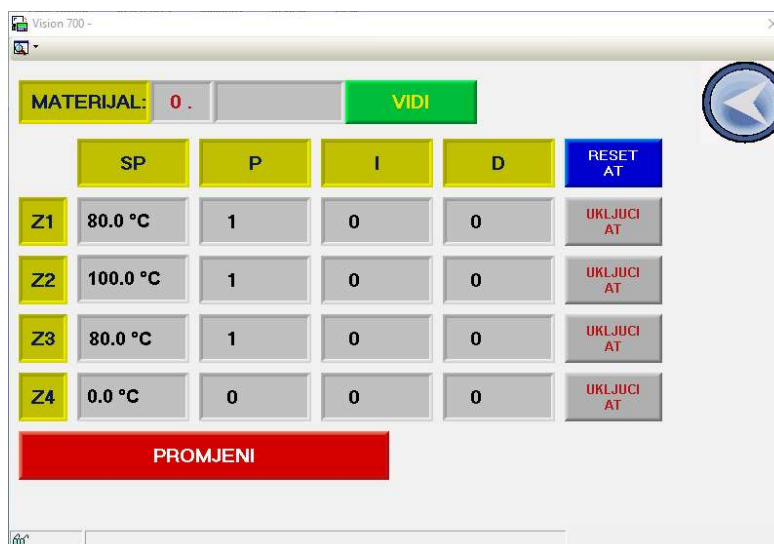
U svrhu testiranja uklonjen je remenski prijenos, na taj način mogao se testirati i pogonski motor, ali bez opasnosti da nenadano pokretanje uzrokuje oštećenja stroja (slika 16.). Motor je u ovom slučaju testiran u praznom hodu. Nakon uvođenja sigurnosnog sustava, u 6. poglavlju provedeno je i testiranje pod opterećenjem pri nekoliko različitih frekvencija vrtnje i to kod ekstrudiranja dvije različite vrste polimera.



Slika 16. Testiranje pravovremenog pokretanja motora

3.5.1 Testiranje rada toplinskih zona

Izvedeno je testiranje sustava za regulaciju temperature u svim zonama. Postupak je proveden na način da je u formi prikaza za ručno zadavanje pojačanja PID regulatora za proporcionalni član postavljeno pojačanje 1, a integralni i derivativni član ostavljeni su 0 (slika 17.). Takav tip regulacije je predvidljiv, pa testiranjem daje mogućnost dobre procjene sustava za regulaciju temperature.

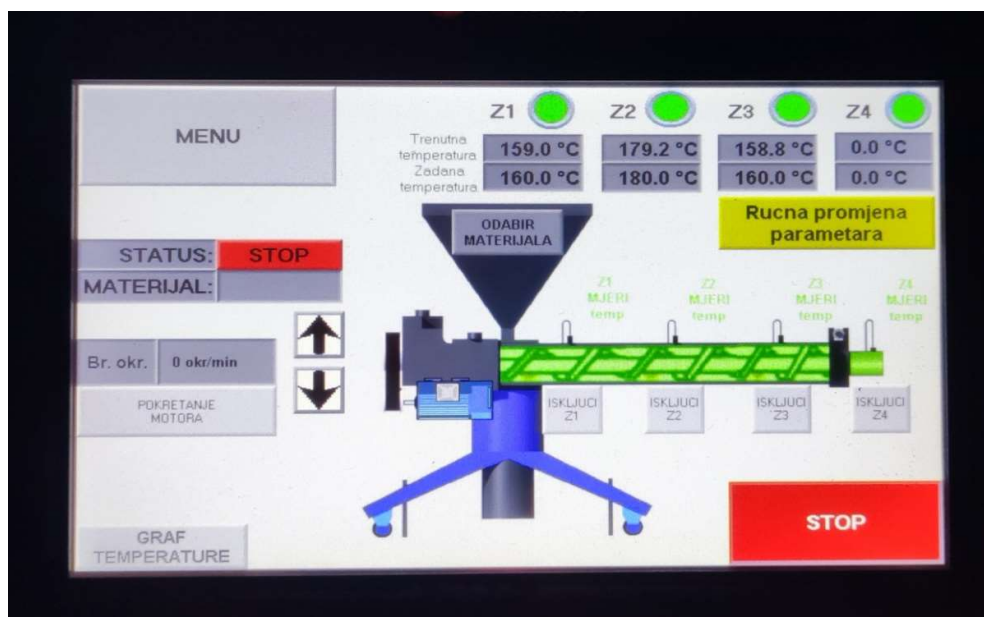


Slika 17. Iznosi pojačanja i referentne temperature prilikom testiranja rada toplinskih zona

Referentna temperatura postavljena je na 80 °C za prvu i treću zonu, a 100 °C za drugu, te je nakon zagrijavanja referentna temperatura podignuta u svim zonama za još 80 °C kako bi se testirao odziv sustava za vrijeme rada. Četvrta toplinska zona nije obuhvaćena testiranjem budući da vanjski grijači nisu bili uopće spojeni na izvor električne energije. Graf temperature prikazan je slikom 18.

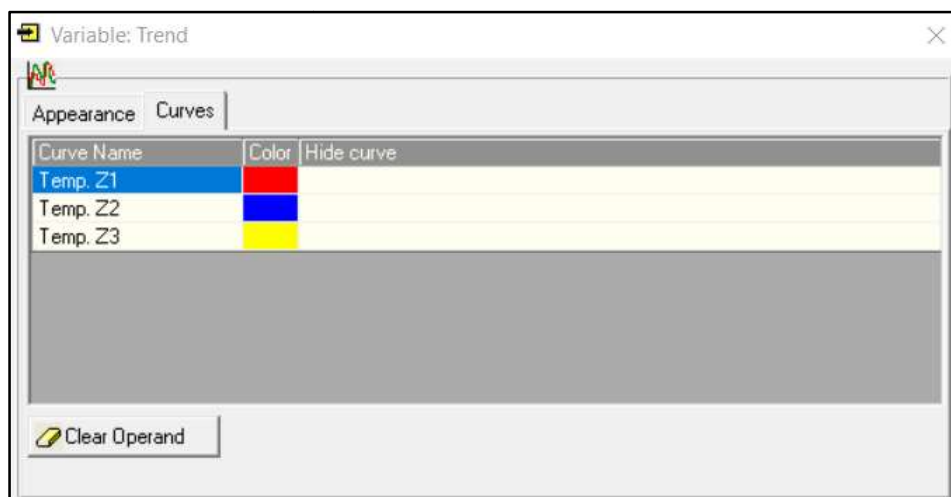


Slika 18. Graf temperature kod testiranja sustava za regulaciju temperature



Slika 19. Iznosi temperature kod testiranja sustava za regulaciju temperature

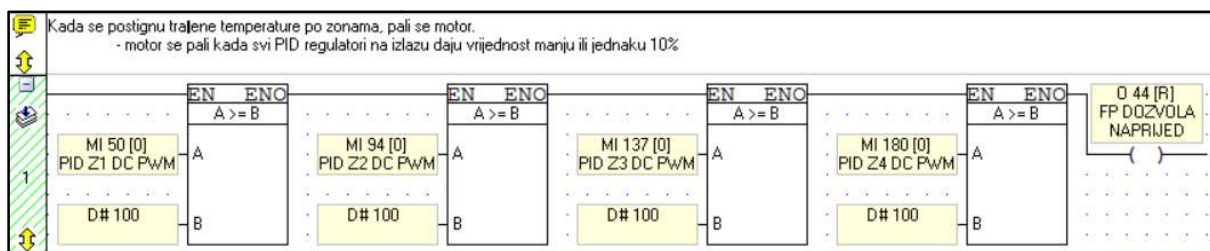
Na slici 18. i 19. se može primijetiti da zagrijavanje i mjerenje temperatura radi dobro, ali da nedostaje krivulja zagrijavanja četvrte zone koja nije u funkciji. Slika 20. prikazuje konfiguraciju grafičkog prikaza u VisiLogic programskom paketu. Crvena boja označava prvu toplinsku zonu, plava boja drugu, a žuta treću.



Slika 20. Konfiguracija grafičkog prikaza izmjerene temperature

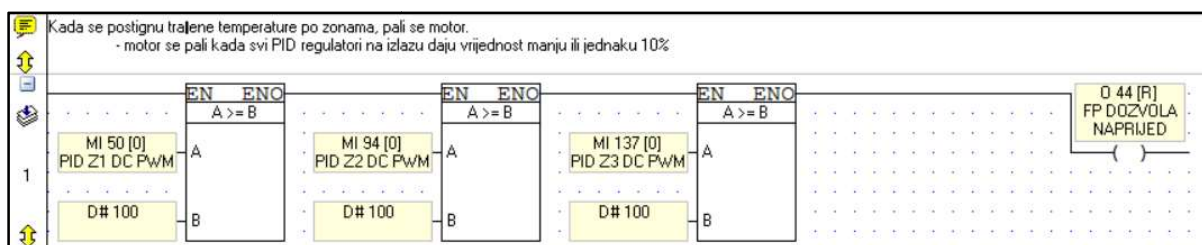
3.5.2 Testiranje pogonskog motora ekstrudera

Frekvencija vrtnje motora kontrolira se referentnim signalom u rasponu od 0 V do 10 V čiju je vrijednost moguće postaviti analognim izlazom iz PLC sustava. PLC kod napisan je na način da je pokretanje motora uvjetovano time da izlazna vrijednost signala PID regulatora mora biti manja od 10 % (slika 21.), pri čemu se frekvencija vrtnje može zadati ručno ili prema određenoj recepturi. Međutim, uočeno je da se pri niskim vrijednostima referentnog signala (1 V) motor nije pokrenuo. Pregledom ljestvičastog dijagrama zapaženo je da je logičkom krugu koji je zadužen za pokretanje pogonskog motora bilo onemogućeno izvršavanje.



Slika 21. Ljestvičasti dijagram za pokretanje motora

Bilo je potrebno aktivirati izvršavanje logičkog kruga i ukloniti blok funkciju uvjeta četvrte zone koja nije u funkciji (slika 22.).



Slika 22. Izmjene logičkog kruga za pokretanje motora u svrhu testiranja

Nakon provedenih izmjena motor se automatski pokrenuo kada se izmjerena temperatura približila zadanoj. Također je primjećeno da ne postoji mogućnost (odgovarajuće tipkalo) za zaustavljanje motora, a bez da se zaustavi i proces grijanja.

Također, primjećene su određene smetnje u sustavu kod pokretanja motora koje su vidljive na slici 23.



Slika 23. Šumovi kod pokretanja motora

3.5.3 Testiranje sustava za hlađenje

Testiranjem sustava vodenog hlađenja utvrđeni su poroziteti koji su uzrokovali istjecanje rashladnog sredstva. Ovaj problem je otklonjen ugradnjom gume za brtvljenje u sklopu testiranja, budući da je bilo potrebno zagrijavati toplinske zone do 280 °C, a bez hlađenja to bi moglo uzrokovati oštećenja na samom ekstruderu. Dodana guma za brtvljene spriječila je daljnje istjecanje rashladnog sredstva iz sustava za hlađenje toplinskih zona. Slika 24. prikazuje mjesto istjecanja rashladnog sredstva zbog uklanjanja nepoznatog natpisa. Ovaj problem je također saniran gumom za brtvljenje. Trenutno je ovaj sustav hlađenja izveden na način da je dovod priključen na izvor hladne vode, a nakon prolaska kroz sustav ona se

ispušta u odvod. Ovakav način hlađenja može funkcionirati, ali zbog uštede resursa može se ugraditi sustav za recirkulaciju rashladnog sredstva.



Slika 24. Sanacija mjesta istjecanja rashladnog sredstva

Uz prethodno opisan sustav vodenog hlađenja, ekstruder ima ugrađenu i pripremu za hlađenje cilindra prskanjem rashladnog sredstva i zračnog hlađenja ventilatorima. Navedeni sustavi su odvojeni od primarnog sustava vodenog hlađenja. U upravljačkom ormaru ugrađeni su releji za uključivanje prskalica za vodeno hlađenje, odnosno paljenje ventilatora. Testiranje je izvedeno naglim smanjivanjem zadane temperature već zagrijanih toplinskih zona. Zaključeno je da releji za uključivanje ventila rade dobro. Slika 25. prikazuje uključenje releja (zeleno signalna boja) za zračno (K14, K15, K16) i vodeno (K20, K21, K22) hlađenje.



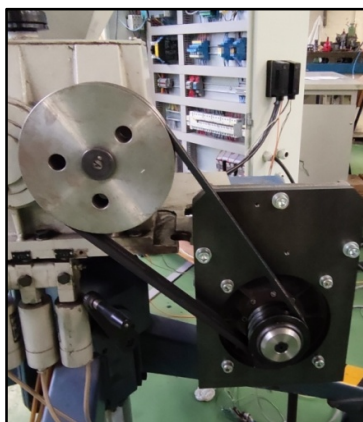
Slika 25. Uključivanje vodenog i zračnog hlađenja

3.6 PLC upravljački program

Postojeći PLC upravljački program bio je funkcionalan. Sadržavao je sve potrebne operacije koje bi u radu mogle biti korisne, ali mu je bio potreban robusniji sigurnosni sustav s dodatnim uvjetima pokretanja pogonskog motora i intuitivnije korisničko sučelje. Poželjno je kreirati sigurnosne uvjete u kojima je sustav otporan čak i na određene pogreške samog operatera.

3.7 Dodatni uočeni nedostaci predmetnog ekstrudera

Bilo je nužno izraditi poklopac remenskog prijenosa motora, budući da je pogonski motor velike snage i zbog velikog prijenosnog omjera može zahtjevati relativno visoku frekvenciju vrtnje motora, što predstavlja opasnost za operatera ili drugu osobu koja se u tom trenutku nalazi u blizini stroja (slika 26.).



Slika 26. Remenski prijenos predmetnog ekstrudera

Bilo je potrebno ugraditi PLC uređaj na vrata upravljačkog ormara (slika 27.).



Slika 27. Testni položaj PLC uređaja

4. ZAHVATI NA SUSTAVU

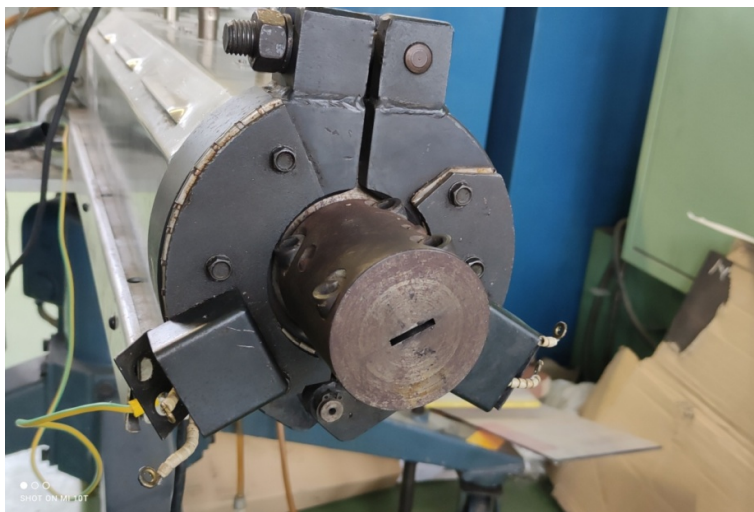
Kolega Matija Kušer odradio je velik dio posla revitalizacije ekstrudera [13]. Međutim, inicijalnim testiranjem opisanim u prethodnom poglavlju uočeni su neki nedostaci koje je potrebno ukloniti kako bi predmetni ekstruder bio spreman i siguran za rad. Također, daljnjim testiranjem uvidjelo se da ima mjesta za neka dodatna poboljšanja koja su pobliže opisana u nastavku. Stoga su ovom poglavlju detaljno prikazani zahvati izvedeni na samom hardveru stroja, kao i na njegovom upravljačkom ormaru i PLC kodu.

4.1 Zahvati potrebni za mehaničko funkcioniranje sustava

U ovom potpoglavlju biti će opisani potrebni zahvati na stroju koji će omogućiti ispravan rad hardvera u procesu ekstrudiranja.

4.1.1 Mjerenje temperature u četvrtoj toplinskoj zoni

Predmetni ekstruder imao je implementirane tri PT 100 sonde za mjerenje temperature u toplinskim zonama. Odnosile su se na prvu, drugu i treću zonu, dok četvrta zona nije imala svoje rješenje za mjerenje temperature. Budući da u četvrtu zonu spada sam alat ekstrudera odlučeno je da će se u nju montirati još jedna PT 100 sonda (slika 28.).



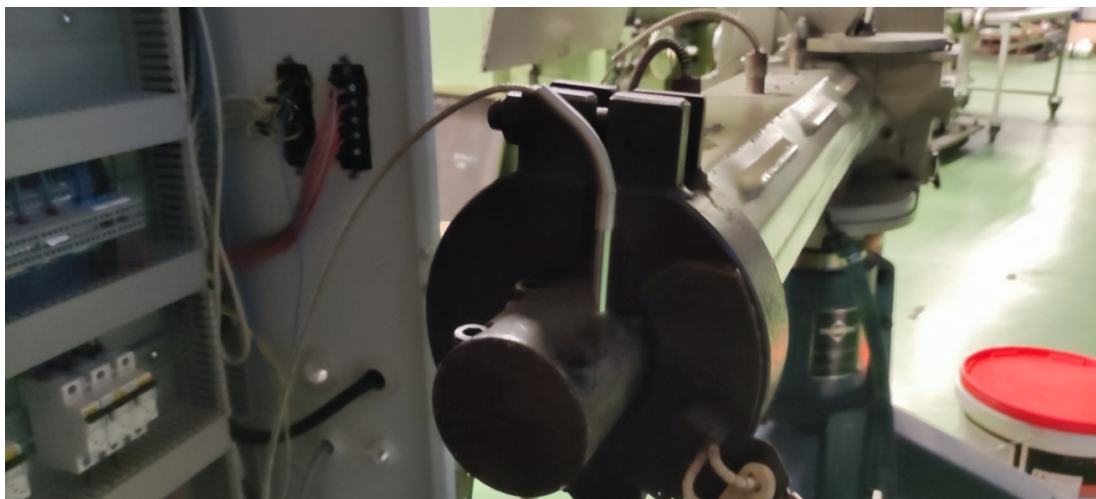
Slika 28. Glava ekstrudera, odnosno četvrta toplinska zona

Glava ekstrudera sastoji se od dva međusobno spojena dijela. Spaja se pomoću četiri vijka i dva dosjedna svornjaka. Jedan svornjak biti će iskorišten za montažu četvrte sonde budući da se na taj način temperatura mjeri relativno blizu mjesta prolaska ekstrudata, te će se na taj način dobiti relevantan podatak temperature u četvrtoj zoni.

Alat je stoga modificiran obradom provrta koji se prenamijenio za ugradnju PT 100 sonde, te je prije umetanja ona premazana termalnom pastom kako bi se osiguralo što bolje provođenje topline, a time točniji rezultati mjerenja (slika 29. i 30.).



Slika 29. PT 100 sonda montirana u modificirani svornjak



Slika 30. PT 100 sonda montirana u alat ekstrudera

Potrebno je bilo spojiti sondu na ekspanzijski modul PLC-a IO-PT400 (slika 31.). Modul služi za pretvaranje izmjerenog otpora sonde u podatak čitljiv PLC uređaju.



Slika 31. Ekspanzijski IO PT 400 modul [11]

Postojeći PLC kod bio je djelomično pripremljen za dodavanje još jedne zone, te se može naslutiti da je taj zahvat bio predviđen, ali se pretpostavlja da u tom trenutku dodatna sonda nije bila dostupna.

Bilo je potrebno kreirati novu memorijsku lokaciju u PLC kodu (MI 3) koja će biti rezervirana za mjerenja četvrte toplinske zone (slika 32.).

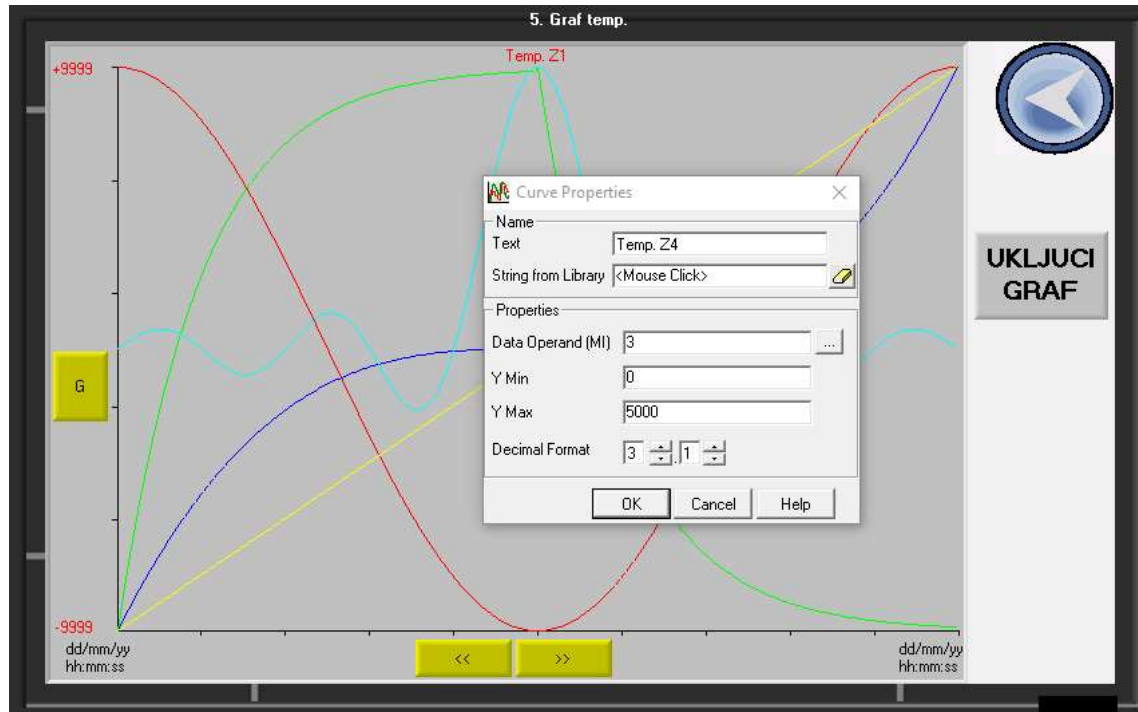
IO-PT4x

Temperature Inputs

No.	Type	Mode	Op	Addr		Description
0	PT 100/1000 (alpha=0.0385)	°C	MI	0		TEMP. Z1 PT 100
1	PT 100/1000 (alpha=0.0385)	°C	MI	1		TEMP. Z2 PT 100
2	PT 100/1000 (alpha=0.0385)	°C	MI	2		TEMP. Z3 PT 100
3	PT 100/1000 (alpha=0.0385)	°C	MI	3		TEMP. Z4 PT 100

Slika 32. Kofiguracija PT 400 modula u VisiLogic programskom paketu

Također, dodana je još jedna krivulja u integriranu funkciju PLC-a koja služi za grafički prikaz promjene temperature (slika 33.).



Slika 33. Grafički prikaz temperature na zaslonu PLC uređaja

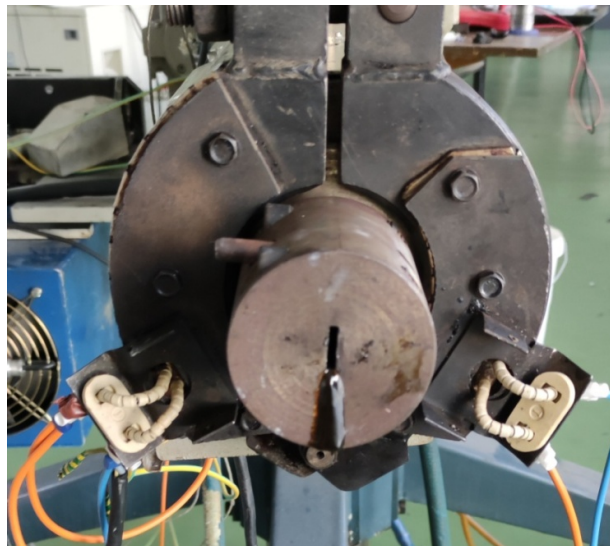
4.1.2 Grijači četvrte zone

Četvrta zona ima dva grijača. Grijače je bilo potrebno spojiti na izvor električne energije. Zbog zastarjelosti utikača zamjenske utičnice nisu bile dostupne (slika 34.).



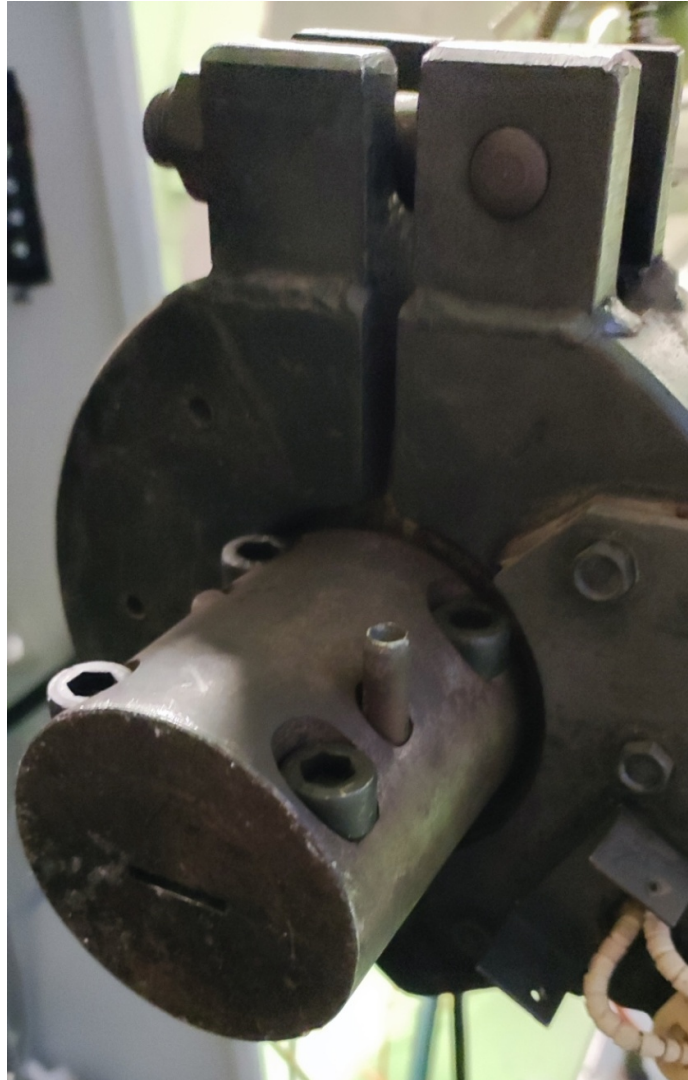
Slika 34. Utikač na grijačima

Iz tog razloga utikači su uklonjeni, te su grijači direktno spojeni na izvor napajanja odgovarajućim stezaljkama (slika 35.).



Slika 35. Testiranje grijača četvrte zone

Iako su grijači inicijalno ispravno radili, tijekom testiranja u jednom od njih došlo je do kratkog spoja. Budući da zamjenski grijač u trenutku izrade ovoga rada nije bio dostupan, a dodatno testiranje je pokazalo da nije ključan za funkcioniranje ekstrudera isti je privremeno uklonjen (slika 36.). Električne instalacije otklonjenog grijača su izolirane, ali nisu uklonjene radi lakše montaže u slučaju da zamjenski grijač u jednom trenutku postane dostupan.

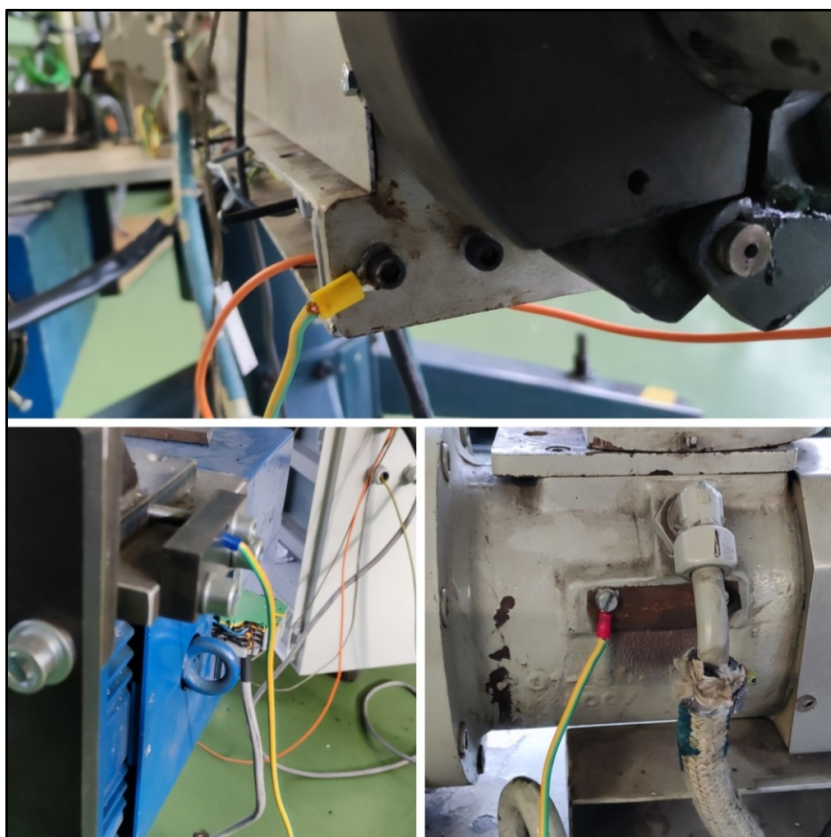


Slika 36. Glava ekstrudera s jednim ispravnim grijačem

4.1.3 Smetnje u sustavu

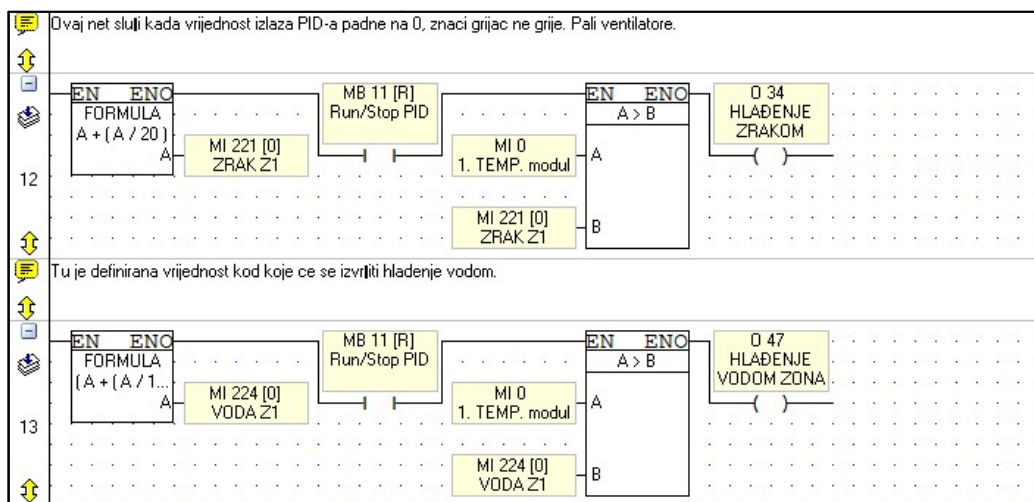
Prilikom paljenja motora uočeno je da se pojavljuju određene smetnje u sustavu, preciznije, da sustav zbog tih šumova ima problema s očitavanjem točne temperature što se očitavalo zastajkivanjem pogonskog motora jer su nagle sporadične oscilacije uzrokovale da sustav u tom trenutku, zbog pogrešno očitane temperature nema dozvolu za pokretanje istog. Također, smetnje su na isti način uzrokovale i naglo paljenje i gašenje releja sustava za hlađenje. Oscilacije temperature iznosile su čak do 10 °C.

Prvi korak u rješavanju ovog problema je dodatno uzemljavanje sustava (slika 37.).



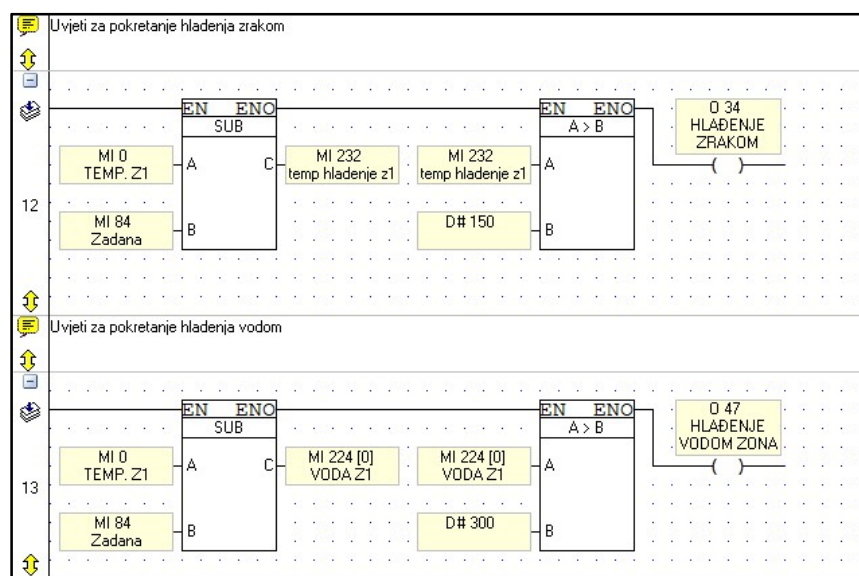
Slika 37. Dodatno uzemljavanje sustava

Dodatno uzemljenje sustava dijelom je prigušilo smetnje, ali nedovoljno da bi uklonilo problem zaustavljanja pogonskog motora i brzog paljenja i gašenja releja sustava za hlađenje. Potrebno je smanjiti utjecaj navedenih smetnji na sustav. Stoga je izmijenjen dio originalnog PLC koda (slika 38.) koji se aktivirao prilikom takvih smetnji.



Slika 38. Originalni dio PLC koda za hlađenje zona

U izmjenjeni dio originalnog PLC koda uvedena je temperaturna histereza (slika 39.). Formula koja je određivala na kojoj temperaturi će se aktivirati releji sustava za hlađenje je kodirana blok funkcijom (slika 39.) koja oduzima izmjerenu vrijednost od zadane vrijednosti. Na taj način dobije se trenutno odstupanje temperature. Zatim druga blok funkcija uspoređuje trenutno odstupanje i aktivira hlađenje zrakom tek ako je odstupanje veće od 15 °C, odnosno 30 °C za hlađenje vodom. Na taj način želi se spriječiti učestalo paljenje i gašenje releja.

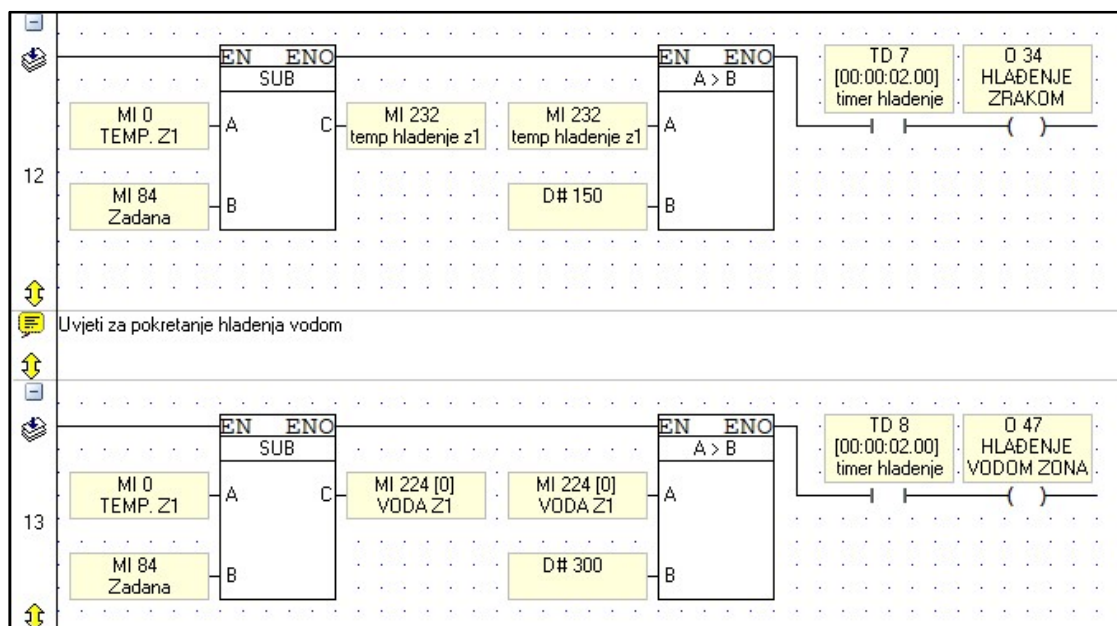


Slika 39. Izmjenjeni dio PLC koda za hlađenje zona

Na isti način je temperaturna histereza uvedena u uvjete za pokretanje motora (detaljno objašnjeno u poglavlju 4.2.3.).

Uvođenjem temperaturene histereze problem nije riješen u cijelosti. Paljenje i gašenje releja je puno rijede nego prije, ali pojedine smetnje su i u tom trenutku previsoke. Jedno od rješenja za ovakav problem je uvođenje niskopropusnog filtera za filtraciju signala temperature, ali budući da u VisiLogic programskom paketu takvi filteri nisu podržani, u ljestvičastom dijagramu ugrađene su vremenske funkcije (eng. *timer*) (slika 40.).

Njihove vrijednosti su postavljene na 2 sekunde, što znači da se pokretanje procesa hlađenja događa s tolikom odgodom, ali sustav neće biti osjetljiv na šumove već će temperaturno odstupanje morati biti cijele dvije sekunde veće od 15 °C, odnosno 30 °C da bi se proces pokrenuo. Odgoda od 2 sekunde neće utjecati na kvalitetu i brzinu procesa jer takva dinamika s obzirom na raspoloživu snagu i toplinski kapacitet cijelog sustava i nije moguća.

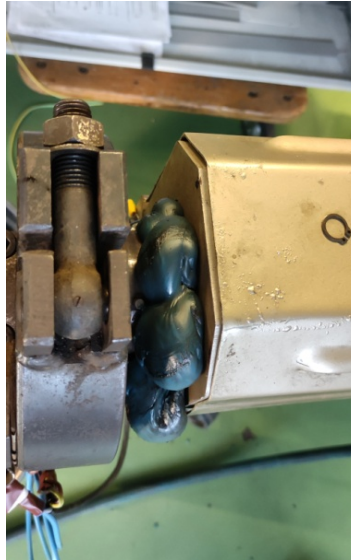


Slika 40. Izmijenjeni dio PLC koda za hlađenje zona s vremenskom funkcijom

Slika 40. prikazuje dva logička kruga koji se odnose na prvu toplinsku zonu, analogno je izvedeno za drugu i za treću. Četvrta zona nema opciju dodatnog hlađenja zrakom i vodom pa stoga nije obuhvaćena ovim zahvatom.

4.1.4 Mehaničko stezanje alata

Alat ekstrudera nije bio propisno mehanički stegnut te je u dva navrata prilikom ekstrudiranja došlo do njegovog odvajanja i izbacivanja (slika 41.).



Slika 41. Izbacivanje alata ekstrudera

Naknadnom inspekcijom i čišćenjem primijećeno je da nedostaju vijci koji služe za dodatno stezanje alata (slika 42.). Prvotno ovaj problem nije uočen zbog nakupine „starog“ ekstrudata na alatu.



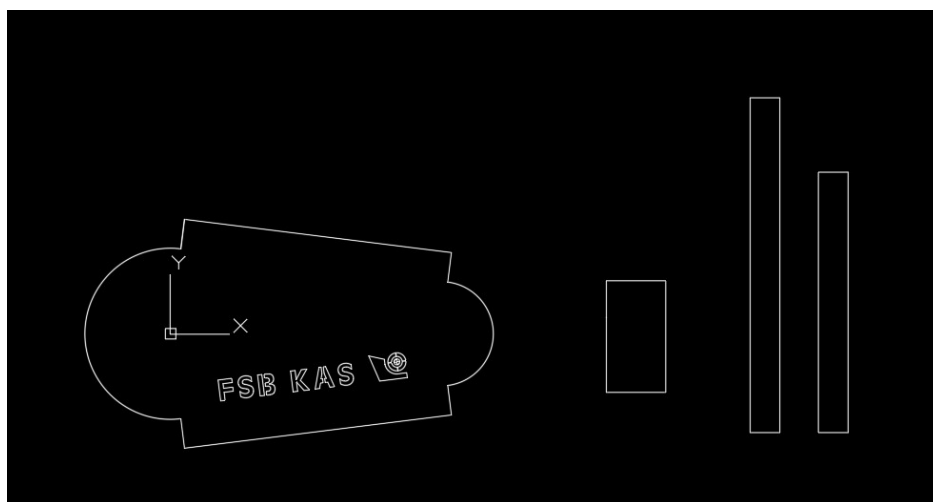
Slika 42. Dodatno stezanje alata

Nakon montiranja vijaka visoki tlakovi prilikom procesa ekstrudiranja više nisu uzrokovali neželjeno propuštanje materijala i izbacivanje alata.

4.1.5 Izrada poklopca za remenski prijenos pogonskog motora

Kao što je opisano u prethodnom poglavlju, uočeno je da na stroju nedostaje poklopac motora remenskog prijenosa što predstavlja opasnost za operatera i druge osobe koje se nalaze u blizini ekstrudera za vrijeme procesa ekstrudiranja.

U programskom paketu AutoCAD generirana je .dxf datoteka potrebna za izradu poklopca na numerički upravljanoj stroju za rezanje laserom (slika 43.).



Slika 43. Prikaz dijelova potrebnih za izradu poklopca u AutoCAD programskom paketu

Ona je zajedno s detaljnim uputama za izradu poslana u tvrtku Euroklima d.o.o. kojoj se ovim putem zahvaljujem što je u veoma kratkom vremenskom roku izradila i dopremila predmetni poklopac (slika 44.).



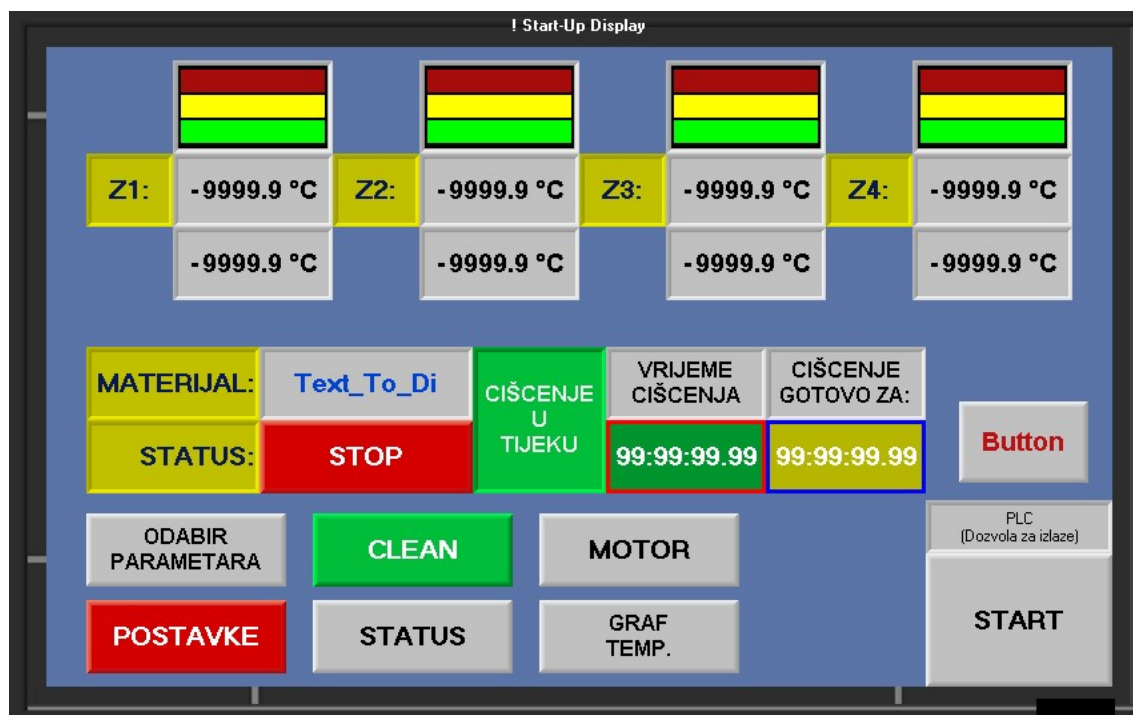
Slika 44. Poklopac remenskog prijenosa pogonskog motora

4.2 Zahvati na programskom kodu i grafičkom sučelju PLC uređaja

U ovom poglavlju opisani su softverski zahvati provedeni na predmetnom ekstruderu. Oni uključuju izmijenjeno grafičko sučelje, a biti će prikazane i objašnjene nadodane sigurnosne komponente. One služe kako bi pružile operateru dodatnu sigurnost pri rukovanju strojem, ali i komponente čija je zadaća zaštititi predmetni ekstruder od mogućeg nenamjernog pogrešnog rukovanja koje bi moglo uzrokovati oštećenja mehaničkih komponenti.

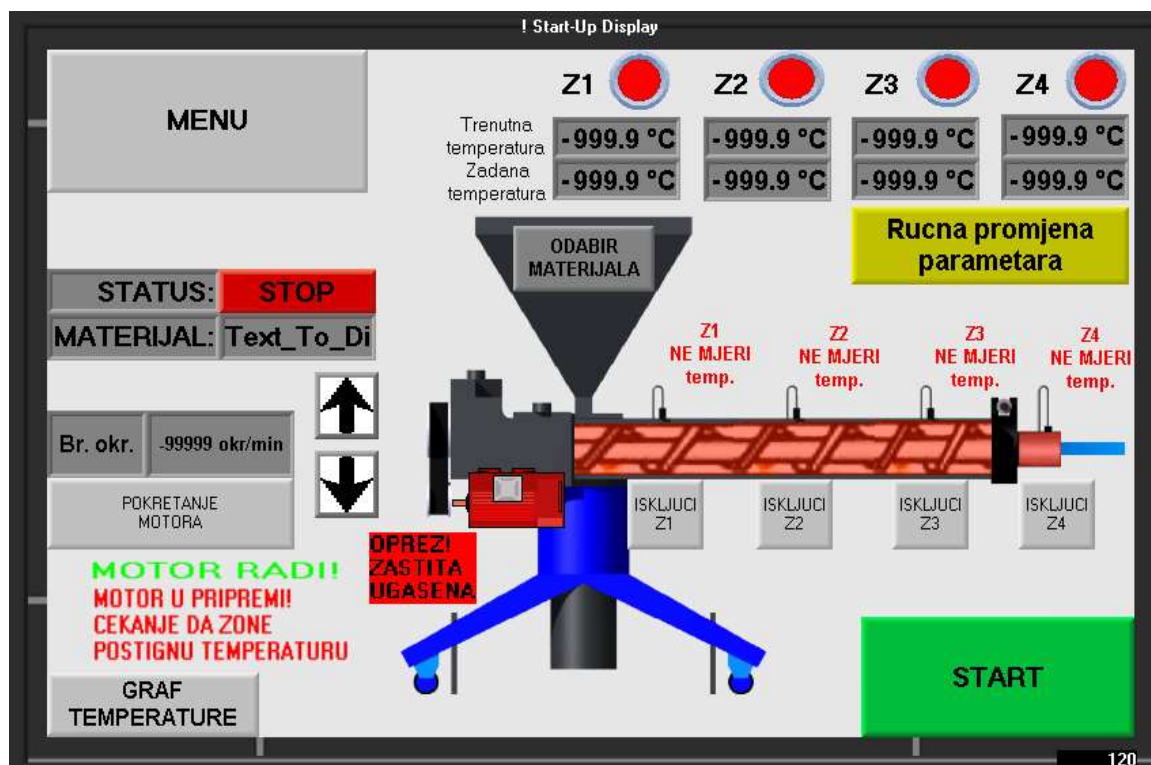
4.2.1 Početni zaslon

Zatečeno grafičko sučelje PLC uređaja (slika 45.) bilo je funkcionalno, ali je zaključeno da ima prostora za poboljšanja kako bi se operateru olakšao rad na stroju.



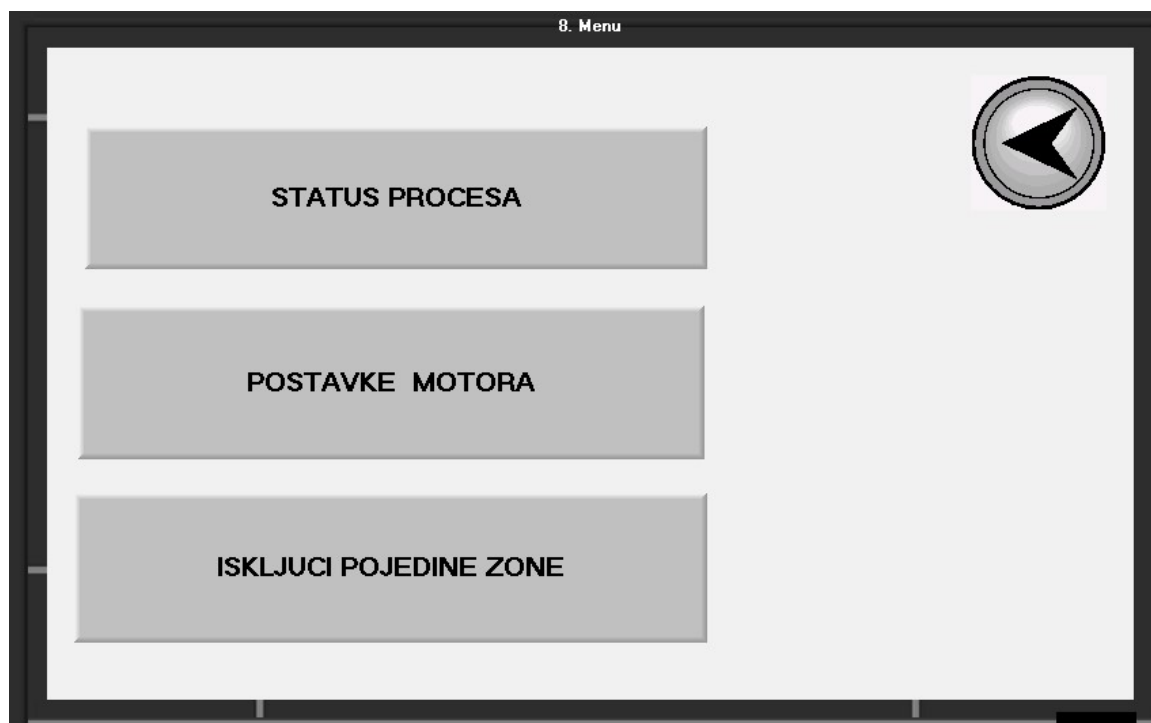
Slika 45. Originalni početni zaslon PLC uređaja

Upotrijebljen je pojednostavljeni model predmetnog ekstrudera (slika 46.) koji će operateru pružiti intuitivniju interpretaciju podataka koji će se pojavljivati na ekranu ovisno o trenutnom stanju procesa.



Slika 46. Izmijenjeni početni zaslon PLC uređaja

Također, razmještena su postojeća tipkala, te je nadodana forma prikaza „MENU“ i pripadajuće tipkalo istog naziva (u gornjem lijevom kutu, slika 46.). Pritiskom tipkala prikazuje se ekran prikazan slikom 47. Na taj način oslobodilo se više mjesta na početnom zaslonu za prikaz povratnih informacija u obliku teksta. U nastavku rada biti će detaljnije objašnjena funkcija svih dodatnih promjena vidljivih na slici 46.



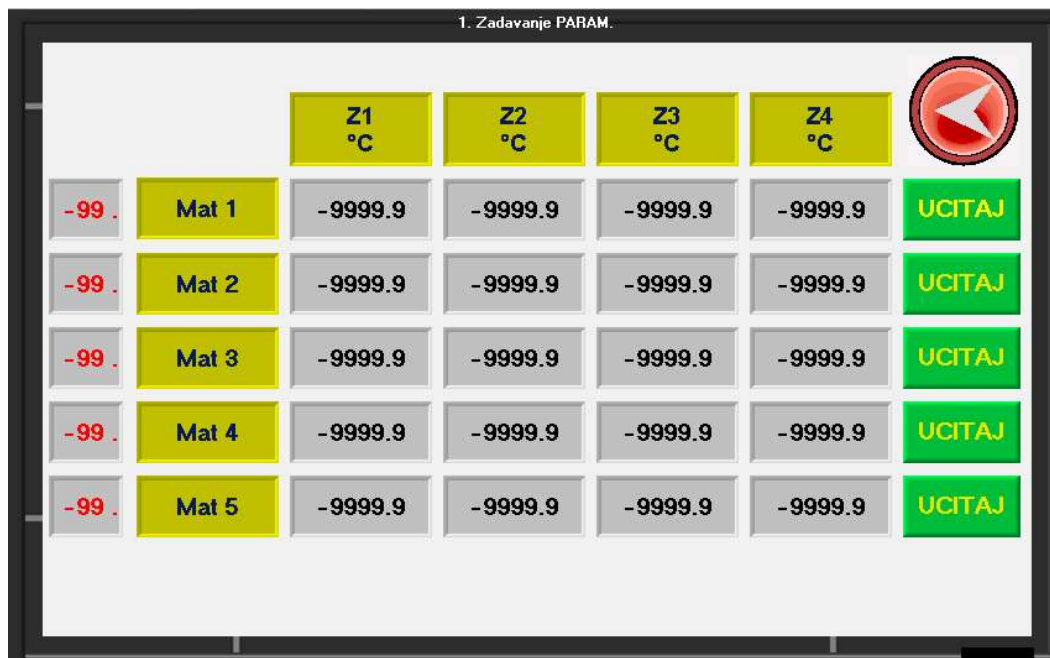
Slika 47. Dodatna forma prikaza „MENU“

4.2.2 Frekvencija vrtnje motora

Originalni programski kod koristio je tipkalo „START“ prikazano na slici 45. za pokretanje procesa grijanja i automatsko pokretanje motora kada bi se postigle zadane temperature u sustavu. Dio originalnog programskog koda za pokretanje motora prikazan je slikom 21.

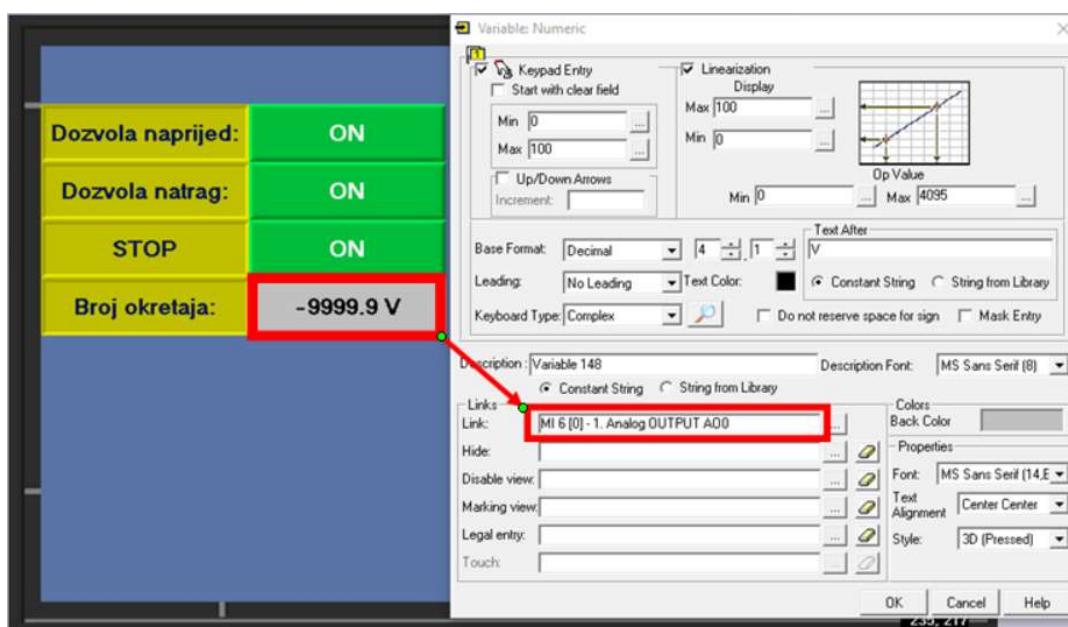
Iz sigurnosnih razloga poput; pogrešno postavljenih vrijednosti temperatura u zonama ili slučajnog pritiska tipkala za pokretanje, kreirano je dodatno tipkalo „POKRETANJE MOTORA“, vidljivo na slici 46. Tipkalo „START“ zadržano je i služi isključivo za pokretanje procesa grijanja toplinskih zona.

Iz tog razloga uklonjen je stupac koji sprema frekvenciju vrtnje motora iz forme prikaza „ZADAVANJE PARAMETARA“ (slika 48.) i iz tablice iz koje se učitavaju podaci za parametre procesa.



Slika 48. Forma prikaza „ZADAVANJE PARAMETARA“

Također, na slici 49. može se vidjeti da je originalni programski kod direktno koristio vrijednost napona kao jedinicu za zadavanje brzine vrtnje motora.



Slika 49. Zadavanje brzine vrtnje motora

Na početni zaslon pokraj tipkala „POKRETANJE MOTORA“ dodano je numeričko tekstualno polje (slika 46.) koje nudi mogućnost upisivanja numeričke vrijednosti pomoću tipkovnice na zaslonu osjetljivom na dodir. Slika 50. prikazuje iskakajuću tipkovnicu koja se pojavljuje pritiskom polja.



Slika 50. Iskakajuća tipkovnica na zaslonu PLC uređaja

Iz originalnog koda zadržana je memorijska lokacija MI 6 koja se nakon upisivanja u polje učitava u ekspanzijski modul IO-AI4-AO2, čija je zadaća generiranje referentnog signala frekvencije vrtnje frekventnom pretvorniku koji zatim regulira vrtnju motora. Konfiguracija izlaznog signala ekspanzijskog modula prikazana je slikom 51.

No.	Type	Dp.	Addr.		Description
0	+/- 10V	MI	6	0	1. Analog OUTPUT A00
1	None				

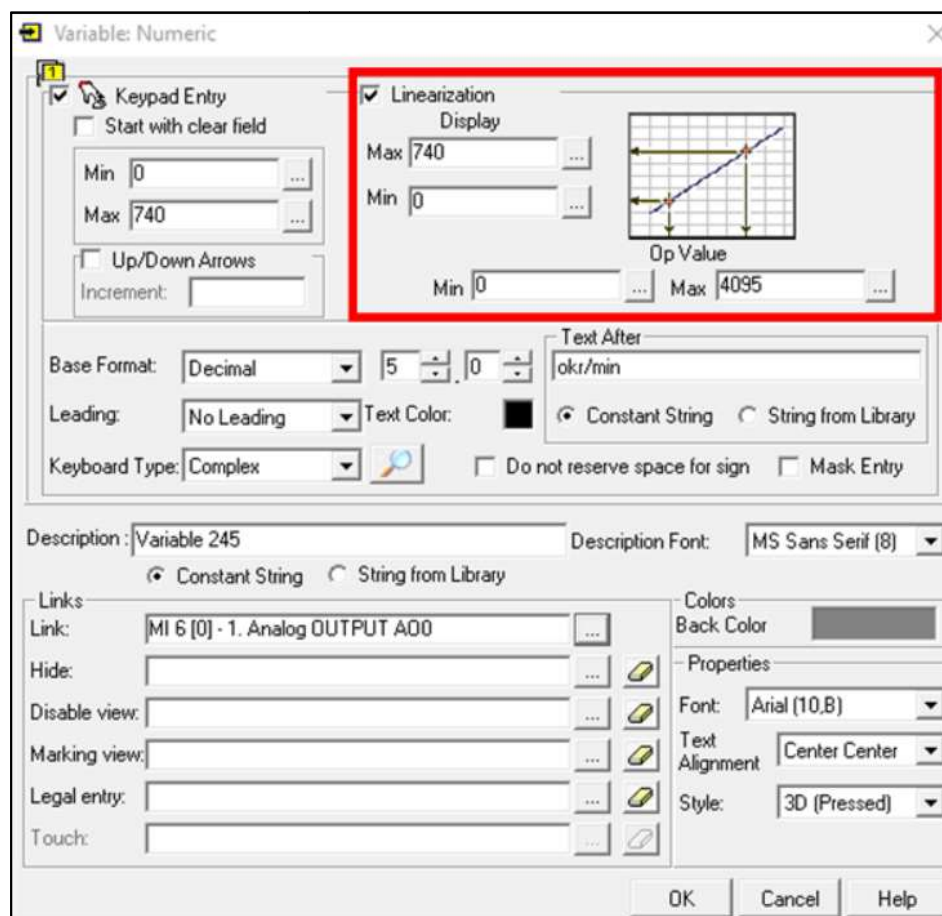
Slika 51. Konfiguracija izlaznog signala ekspanzijskog modula IO-AI4-AO2

Testiranjem je utvrđeno da zadana vrijednost od 10 V rezultira frekvencijom vrtnje motora 740 min^{-1} . Potrebno je provesti proces linearizacije kako bi frekventni pretvarač ispravno regulirao frekvenciju vrtnje motora. Iz liste specifikacija ekspanzijskog modula IO-AI4-AO2 iščitano je [15] podatak da je za analogni ulaz napona od 0 V do 10 V rezolucija 12-bitna (slika 52.).

IO-AI4-AO2 Technical Specifications	
Max. current consumption	30mA maximum from the adapter's 5VDC
Typical power consumption	0.1W @ 5VDC
Status indicator (RUN)	Green LED: —Lit when a communication link is established between module and OPLC. —Blinks when the communication link fails.
Analog Inputs	
Number of inputs	4 (single-ended)
Input range	0-10V, 0-20mA, 4-20mA. See Note 1.
Conversion method	Successive approximation
Resolution (except at 4-20mA)	12-bit (4096 units)
Resolution at 4-20mA	819 to 4095 (3277 units)
Conversion time	20msec
Input impedance	1M Ω —voltage 121.5 Ω —current
Galvanic isolation	None
Absolute maximum rating	$\pm 20\text{V}$ —voltage $\pm 40\text{mA}$ —current
Full-scale error	± 4 LSB (0.1%)
Linearity error	± 1 LSB (0.025%)
Operational error limits	$\pm 0.4\%$
Status indicators (OUT OF RANGE)	Red LEDs—Lit when the corresponding input is receiving current or voltage in excess of the input range. See Note 2.
Analog Outputs	
Number of outputs	2 (single-ended)
Output range	+10V, 0-20mA, 4-20mA. See Note 1.
Resolution (except at 4-20mA)	12-bit (4096 units) + sign
Resolution at 4-20mA	819 to 4095 (3277 units)
Load impedance	1k Ω minimum—voltage 500 Ω maximum—current
Galvanic isolation	None
Conversion time	5msec
Linearity error	$\pm 0.1\%$
Operational error limits	$\pm 0.2\%$
Status Indicators (SHORT CIRCUIT)	Red LED—Lit when an output wired to deliver a positive voltage is short-circuited. See Note 3.

Slika 52. Lista specifikacija modula IO-AI4-AO2 [15]

Slikom 53. prikazana je linearizacija numeričko tekstualnog polja.



Slika 53. Linearizacija tekstualno numeričkog polja za zadavanje brzine vrtnje motora

U gornjem lijevom kutu može se primjetiti da je raspon okretaja motora ograničen na raspon 0 do 740 min^{-1} .

Proces skaliranja provodi se na način da se zadaju dvije referentne točke. U primjeru prikazanom slikom 53. unesena je prva točka frekvencije vrtnje 0 min^{-1} kojoj je pridružena brojčana vrijednost 0 i druga točka brzine vrtnje 740 min^{-1} pridružene vrijednosti 4095 (4095 jer je 12-bitna rezolucija). Program zatim pronalazi koeficijente linearne funkcije potrebne za skaliranje. Ta funkcija u potpunosti definira vrijednost memorijske lokacije MI 6 za bilo koju unesenu vrijednost zadane brzine vrtnje motora. Tako će, primjerice, zadana brzina vrtnje motora od 370 min^{-1} rezultirati brojčanom vrijednosti 2047.

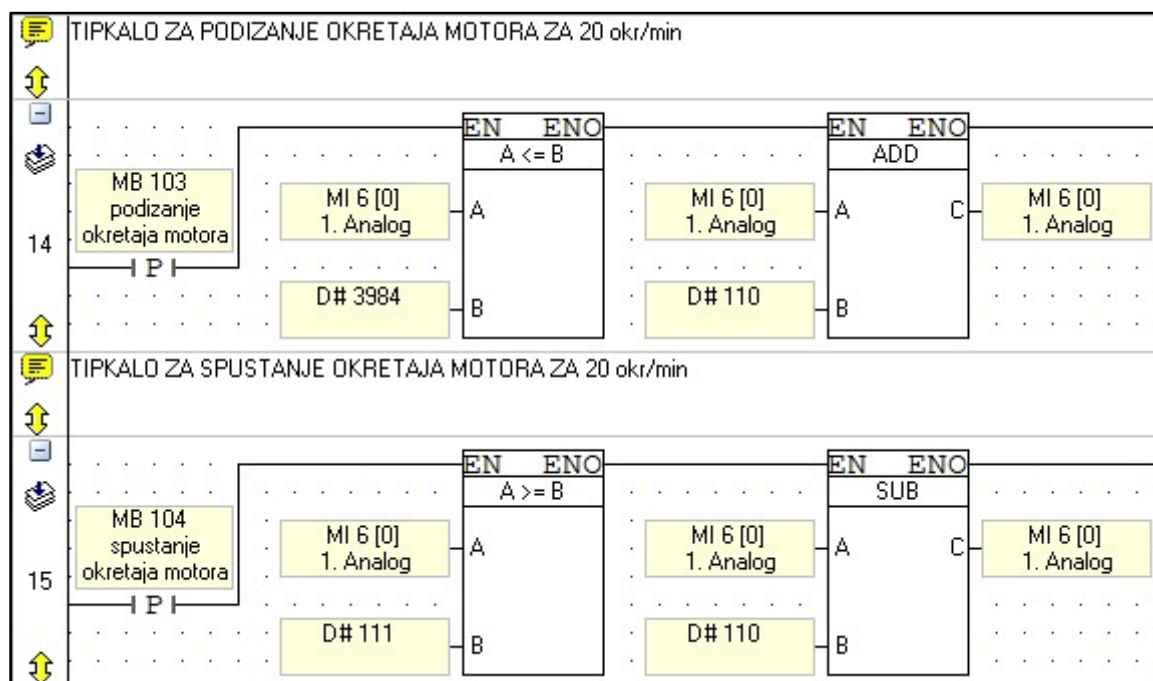
Ekspanzijski modul IO-AI4-AO2 na identičan način pridružuje brojčane vrijednosti od 0 do 4095 u izlazni signal napona od 0 V do 10 V. Također je potrebno podesiti maksimalnu frekvenciju vrtnje motora na frekventnom pretvorniku za slučaj kada IO-AI4-AO2 generira napon od 10 V.

Zbog lakšeg prilagođavanja frekvencije vrtnje motora tijekom rukovanja nadodane su dvije strelice vidljive s desne strane numeričkog tekstualnog polja na slici 46. Uvećani prikaz dijela ekrana nalazi se na slici 54.



Slika 54. Tipkala za regulaciju brzine vrtnje motora

Tipkalu za podizanje brzine vrtnje dodijeljena je binarna adresa MB 103, a drugom tipkalu za spuštanje binarna adresa MB 104. Na slici 55. prikazana su dva logička kruga koji služe za regulaciju brzine vrtnje motora pomoću tipkala.



Slika 55. Dio programskog koda za regulaciju brzine vrtnje pomoću tipkala

Odlučeno je da će se pritiskom tipkala frekvencija vrtnje povećati, odnosno smanjiti za 20 min⁻¹.

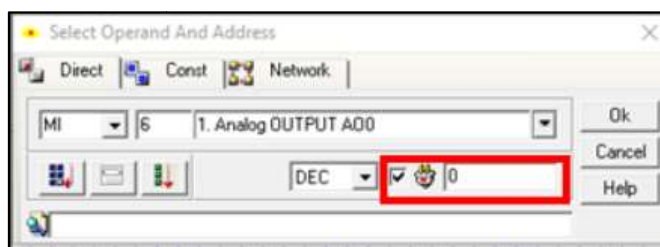
Ručno je izračunato da 20 min⁻¹ mijenja iznos brojčane vrijednosti MI 6 za „110“.

Izračun:

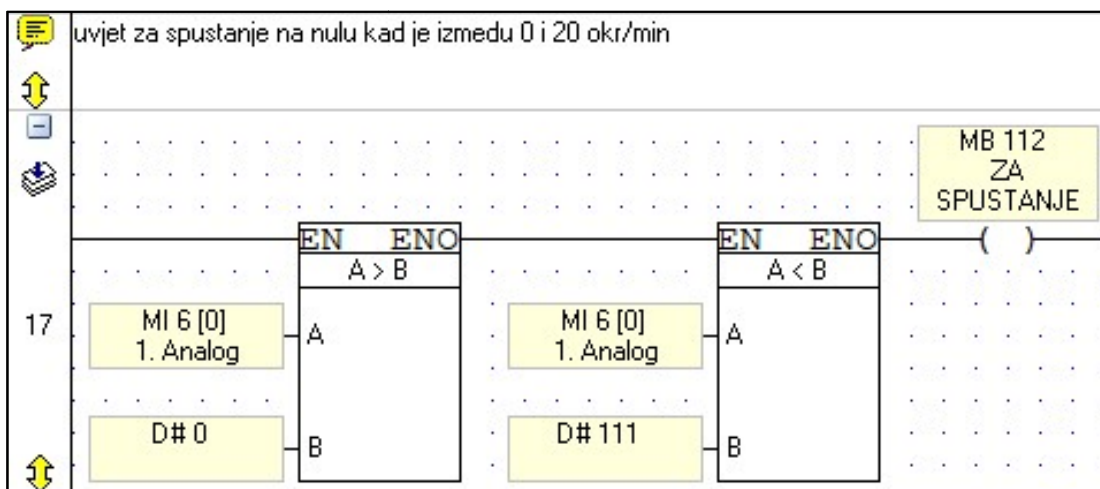
$$\frac{x}{4095} = \frac{20}{740} \longrightarrow x = 110 \quad (1)$$

Budući da je maksimalna dozvoljena frekvencija vrtnje 740 min⁻¹ upotrijebljene su blok funkcije za usporedbu vrijednosti kako bi se operateru onemogućila promjena vrijednosti u slučaju kada bi pritiskom tipkala ona iznosila više od 740 min⁻¹, odnosno manje od 0 min⁻¹.

Blok funkcije za usporedbu vrijednosti prikazane slikom 55. ne propuštaju signal kada je brojčana vrijednost memorijske lokacije MI 6 veća ili jednaka 3984 (720 min⁻¹), odnosno manja ili jednaka 111 (20 min⁻¹). Testiranjem je primjećeno da bi bilo praktično kada se dogodi situacija da je frekvencija vrtnje manja od 20 min⁻¹, a operater i dalje želi spustiti brzinu vrtnje, da taj pritisak tipkala rezultira potpunim zaustavljanjem motora. Iz tog razloga je u programskom paketu VisiLogic definirano da resetiranjem memorijske lokacije MI 6 njena vrijednost pada na „0“ (slika 56.). U ljestvičasti dijagram je implementiran i dio koda koji pomoću blok funkcija za usporedbu vrijednosti propušta signal samo u situaciji kada je brojčana vrijednost memorijske lokacije između „1“ i „110“ te mijenja nanovo definiranu vrijednost binarne adrese MB 112 iz logičke nule u jedinicu (slika 57.).



Slika 56. Resetiranje memorijske lokacije MI 6



Slika 57. Uvjeti za resetiranje memorijske lokacije MI 6

Mirni kontakt u drugom retku zatim dopušta prolaz logičkog signala i aktivira logičku naredbu za resetiranje memorijske lokacije MI 6 (slika 58.) što rezultira potpunim zaustavljanjem pogonskog motora.



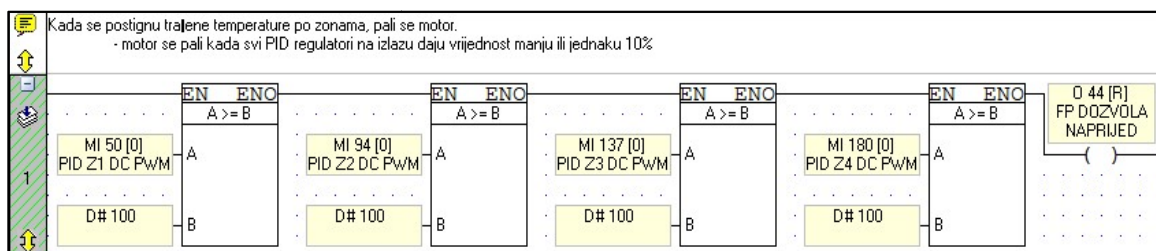
Slika 58. Resetiranje memorijske lokacije MI 6

4.2.3 Uvjeti za pokretanje motora

Jedan od najbitnijih ciljeva ovog rada je osigurati sigurno pokretanje motora predmetnog ekstrudera. Time se poglavito misli na uvjete u kojima se ne može dogoditi pokretanje motora u trenutku kada sustav za to još nije spreman.

Elektromotor je snage 4 kW, a tlakovi koji se javljaju u procesu ekstrudiranja iznimno su visoki. Još uvijek stvrdnuti (od prijašnjeg procesa) ili nedovoljno zagrijani ekstrudat može prouzročiti lom ili ispadanje mehaničkih komponenti, a time sasvim sigurno prouzročiti i ozbiljna oštećenja stroja, ali i ugroziti ljude koji se u tom trenutku nalaze u blizini.

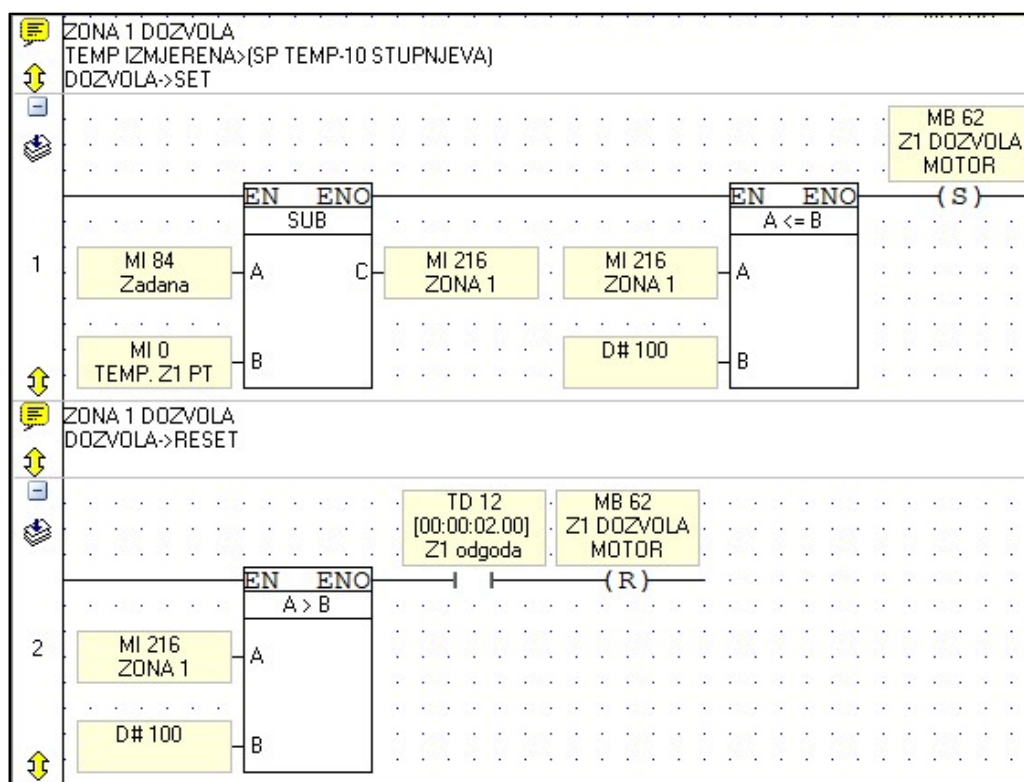
Uvođenje uvjeta postignute zadane temperature



Slika 59. Uvjeti za pokretanje motora originalnog PLC koda

Slikom 59. je prikazan logički krug originalnog PLC koda koji sadrži uvjete pokretanja motora i funkcionira na način da propušta logički slijed do izlaza „FP dozvola naprijed“ kada svi PID regulatori rade na manje od 10 % pune snage, odnosno vremena. U trenutku kada logički signal dođe do te naredbe, izlaz O 44 prelazi iz stanja logičke nule u stanje logičke jedinice.

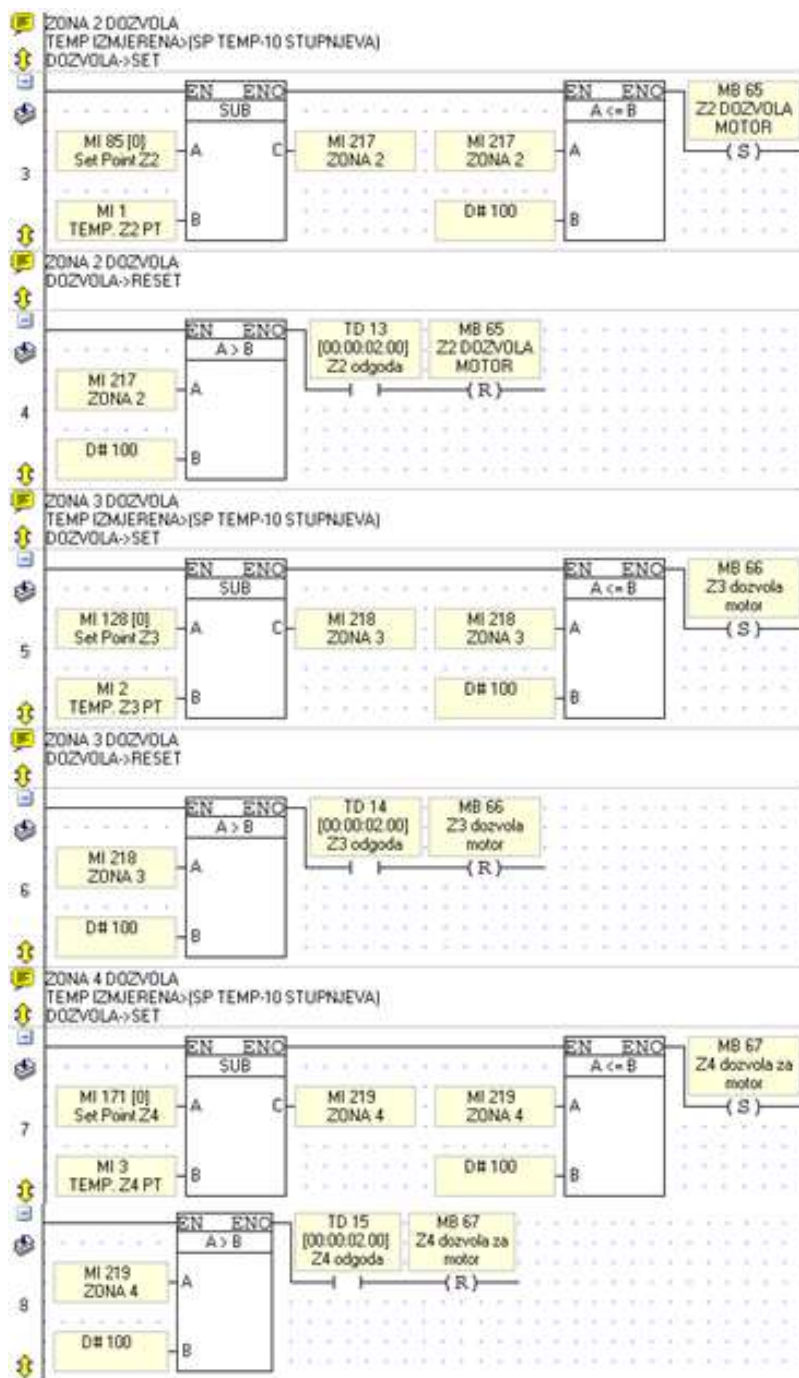
Taj dio koda je izmijenjen, a za svaku toplinsku zonu ubačena su po dva logička kruga (slika 60.).



Slika 60. Dozvola za pokretanje motora prve toplinske zone

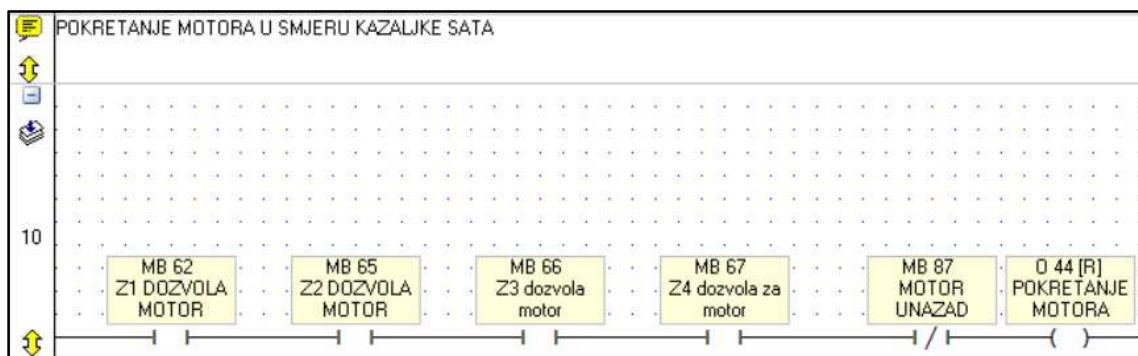
Logički krug pod brojem 1 sadrži blok funkciju koja od zadane vrijednosti temperature prve zone spremljene u memorijsku lokaciju MI 84 oduzima trenutnu izmjerenu temperaturu zone čija se vrijednost nalazi u memorijskoj lokaciji MI 0. Na taj način se dobiva vrijednost trenutnog odstupanja koja se zapisuje na memorijsku lokaciju MI 216. Zatim, blok funkcija za uspoređivanje vrijednosti propušta signal u slučaju kada je vrijednost odstupanja manja ili jednaka broju 100, odnosno 10 °C. Kada su ti uvjeti ispunjeni logički signal dolazi do promjene stanja binarne adrese MB 62 koja odmah prelazi iz logičke nule u logičku jedinicu. Logički krug pod brojem 2, također sadrži blok funkciju za uspoređivanje vrijednosti koja propušta logički kontinuitet u slučaju kada je trenutno temperaturno odstupanje veće od broja 100, odnosno 10 °C te postavlja binarnu adresu MB 62 iz logičke jedinice u logičku nulu. U drugom logičkom krugu nalazi se i vremenska funkcija kako bi se izbjeglo paljenje i gašenje dozvola za rad motora u uvjetima značajnih oscilacija u signalima temperatura opisanih u poglavlju 4.1.3.

Na isti način postavljeni su i uvjeti za drugu, treću i četvrtu toplinsku zonu (slika 61.).



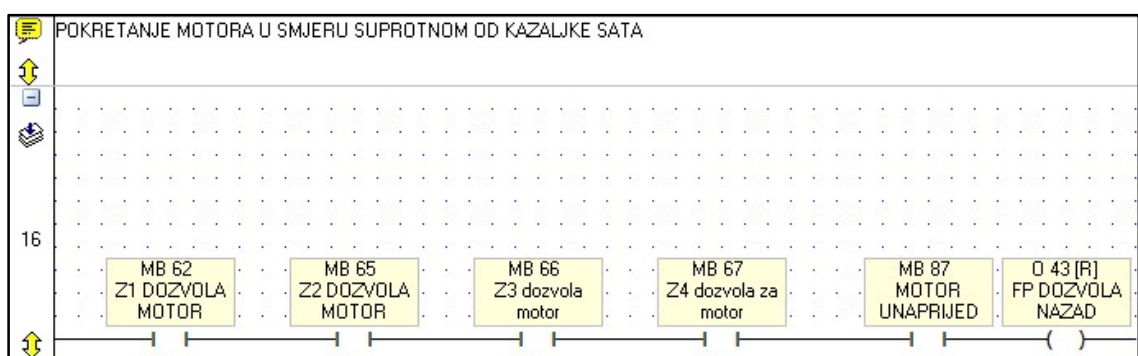
Slika 61. Dozvola za pokretanje motora druge, treće i četvrte toplinske zone

U logički krug serijski su postavljeni radni kontakti binarnih adresa redom: MB 62, MB 65, MB 66 i MB 67 (slika 62.).



Slika 62. Uvjeti za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata

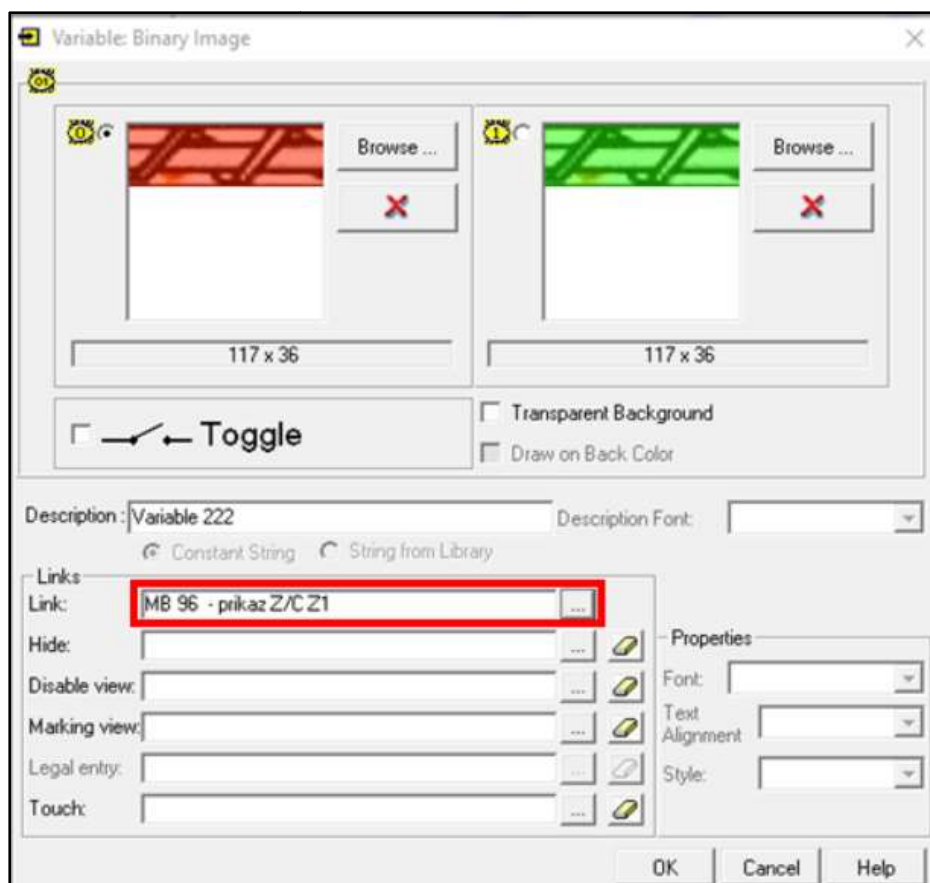
To znači da će, tek kada svi izlazi prikazani slikom 33. budu postavljeni u logičku jedinicu, dozvola za pokretanje motora biti aktivirana. Na slici se može primjetiti da je serijski spojen i jedan mirni kontakt. On služi kao zaštita da se ne bi istovremeno aktivirali izlazi O 43 i O 44. O 43 je izlaz za pokretanje motora u suprotnom smjeru od kazaljke sata, a uvjeti za njegovo pokretanje prikazani slikom 63. Taj logički krug neće biti detaljnije objašnjen budući da je izveden na identičan način onom prikazanom slikom 62.



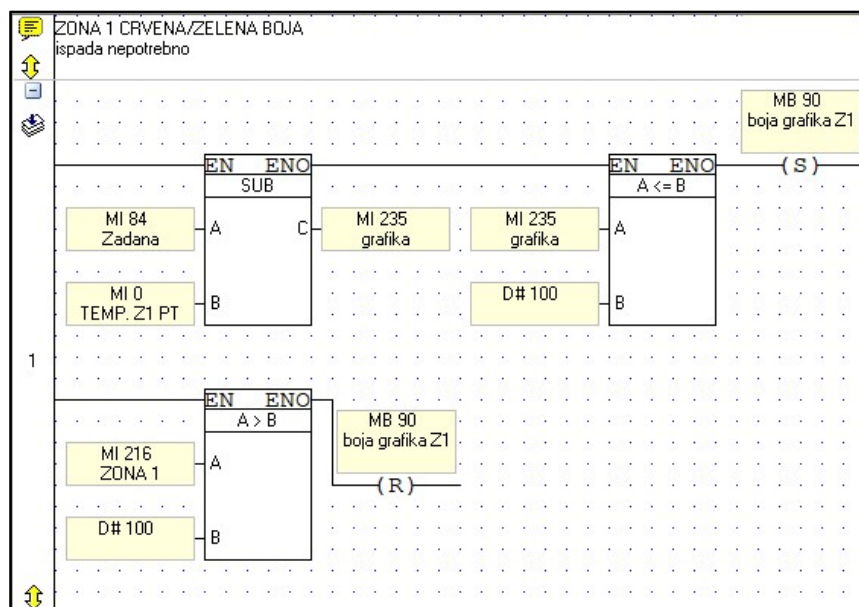
Slika 63. Uvjeti za pokretanje motora u smjeru suprotnom od kazaljke sata

Grafički prikaz uvjeta o postignutoj temperaturi

Kao povratna informacija operateru o tome je li pojedina zona postigla zadanu temperaturu za pokretanje motora ubačene su četiri slike koje se mijenjaju ovisno je li njihova binarna adresa logička nula ili logička jedinica (slika 64.). Crvena boja znači da temperatura u pojedinoj zoni nije postignuta, dok zelena boja znači da je temperatura postignuta. Slikama je bilo moguće pridružiti i binarne adrese za uvjete pokretanja motora, ali su napravljena četiri nova logička kruga zbog dodatnih implementacija opisanih u nastavku rada. Slika 65. prikazuje logički krug za prvu toplinsku zonu, a na isti način izvedeni su za drugu, treću i četvrtu. Logički krug neće biti dodatno objašnjen budući da je identičan opisan u poglavlju 4.2.3.

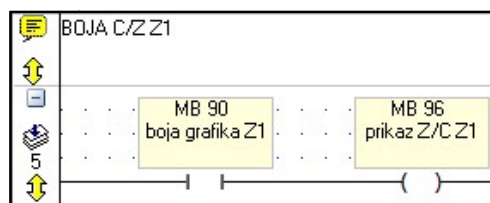


Slika 64. Promjena slike ovisno o vrijednosti binarne adrese za prvu toplinsku zonu



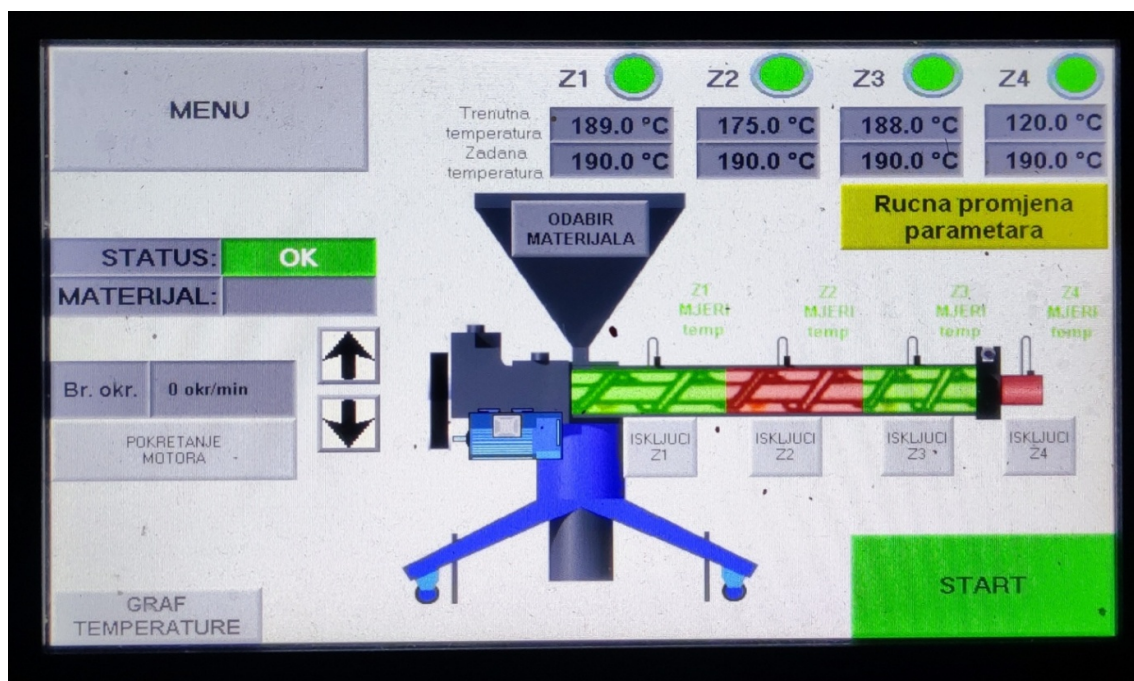
Slika 65. Ljestvičasti dijagram za prikaz boje na ekstruderu

Prvoj zoni dodijeljena je binarna adresa MB 96 (slika 64.), drugoj MB 97, trećoj MB 98, a četvrtoj MB 99. Slikom 66. prikazan je logički krug za prvu toplinsku zonu koji povezuje funkcije za postavljanje stanja binarne adrese MB 90 prikazane slikom 65. i promjenjive slike prikazane slikom 64. Logika je izvedena na taj način kako bi se ostavilo prostora za dodavanje dodatnih uvjeta.



Slika 66. Postavljanje izlaza za promjenu boje na grafici ekstrudera

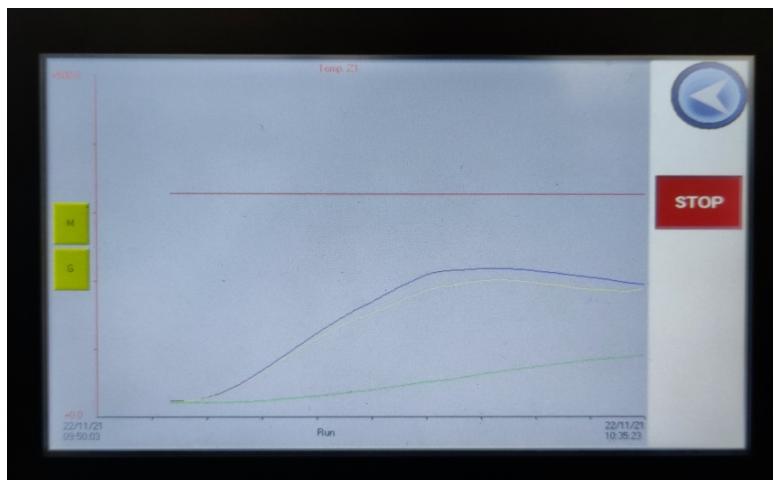
Slika 67. prikazuje način na koji funkcionira grafički prikaz uvjeta za pokretanje motora, slučaj prikazan slikom se odnosi na situaciju u kojoj su uvjeti za pokretanje ispunjeni u prvoj i trećoj zoni, dok u drugoj i četvrtoj nisu.



Slika 67. Grafički prikaz uvjeta za pokretanje motora

Ručno isključivanje uvjeta zadane temperature

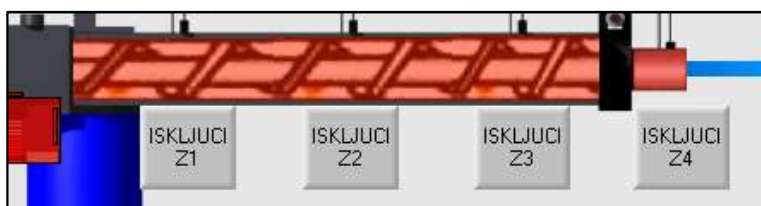
Testiranjem je primjećeno da u četvrtoj zoni postoji problem s postizanjem zadane temperature (slika 68.). U njoj je postizanje temperature otežano iz razloga što je jedan od dva grijača zbog kvara morao biti uklonjen (detaljnije opisano u poglavlju 4.1.2, slika 42.).



Slika 68. Dijagram temperature prilikom zagrijavanja zona

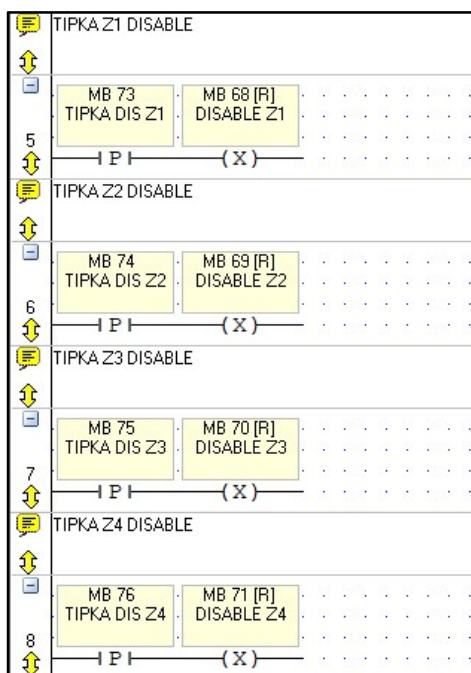
Budući da četvrta zona nije ključna za ispravno funkcioniranje procesa odlučeno je da će operateru biti pružena mogućnost da ručno isključi taj uvjet za pokretanje motora.

Na početnom zaslonu kreirana su četiri tipkala, po jedno tipkalo za svaku od četiri zone. Tipkala su prikazana slikom 69.



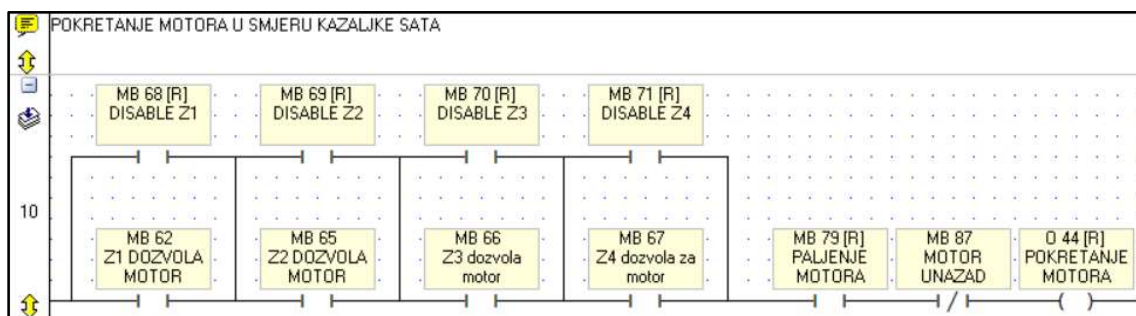
Slika 69. Tipkala za ručno isključivanje uvjeta zadane temperature

Svakom tipkalu pridružena je binarna adresa. Pritiskom tipkala aktivira se izlaz pozitivnog brida, tj. signal prolazi samo u trenutku prelaska binarne adrese iz stanja logičke nule u logičku jedinicu. Serijski su spojeni s funkcijom za inverziju logičke vrijednosti. Ljestvičasti dijagram za ručno isključivanje uvjeta zadane temperature prikazan je slikom 70.



Slika 70. Logika tipkala za ručno isključivanje uvjeta zadane temperature

Binarne adrese izlaza prikazanih slikom 71. biti će iskorištene za radne kontakte koji će propuštati ili ne propuštati signal kroz premoštenja ovisno o logičkom stanju (stanju pripadajućeg tipkala). Nadodani su paralelno u logičke krugove prikazane slikama 62. i 63.

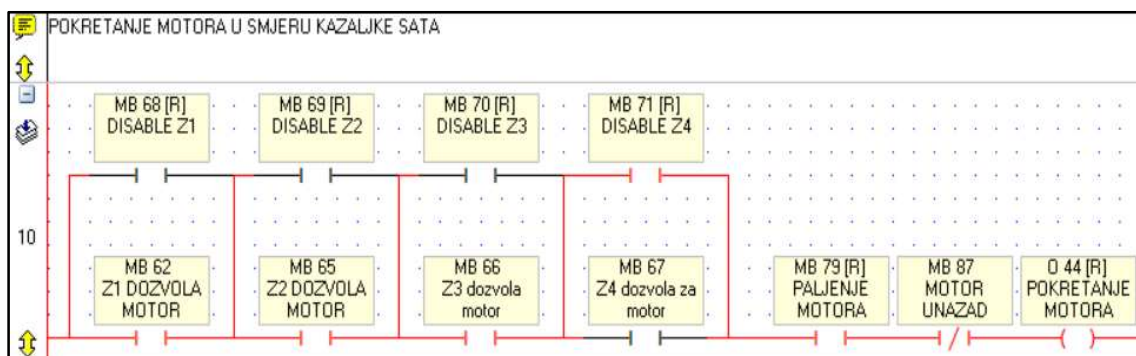


Slika 71. Logički slijed za ručno isključivanje uvjeta

Pritiskom tipkala određene zone njemu pridružena binarna adresa mijenja stanje iz logičke nule u logičku jedinicu i time omogućuje premoštenje signala do dozvole za pokretanje motora (izlaz O 44) koja zatim mijenja stanje iz logičke nule u logičku jedinicu neovisno o iznosu trenutne izmjerene temperature u cilindru za taljenje.

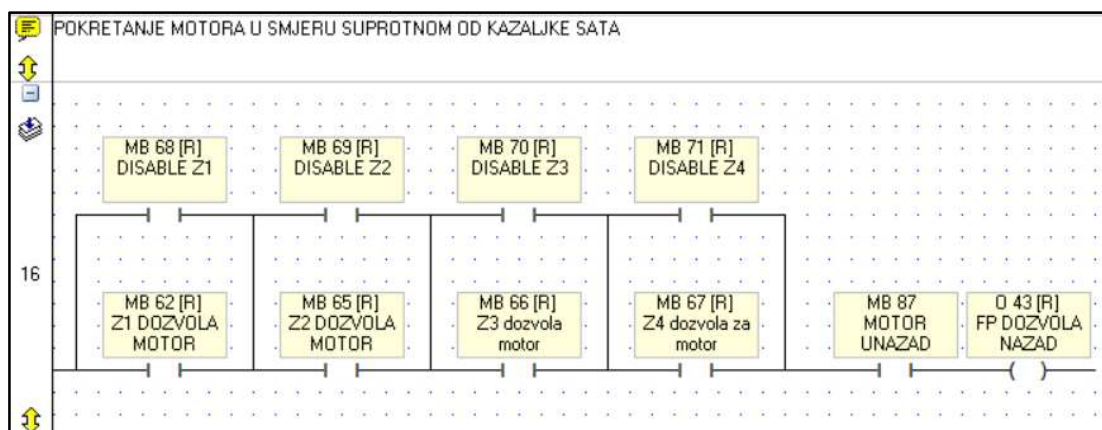
Slika 72. prikazuje prolaz signala u situaciji kada četvrta zona nije postigla dovoljno visoku temperaturu za sigurno pokretanje motora, ali je pritisnuto tipkalo „ISKLJUCI Z4“.

Također u ovom koraku ugrađen je i radni kontakt binarne adrese MB 79 koji mijenja stanje u logičku jedinicu kada se pritisne tipkalo „PALJENJE MOTORA“ (slika 54.).



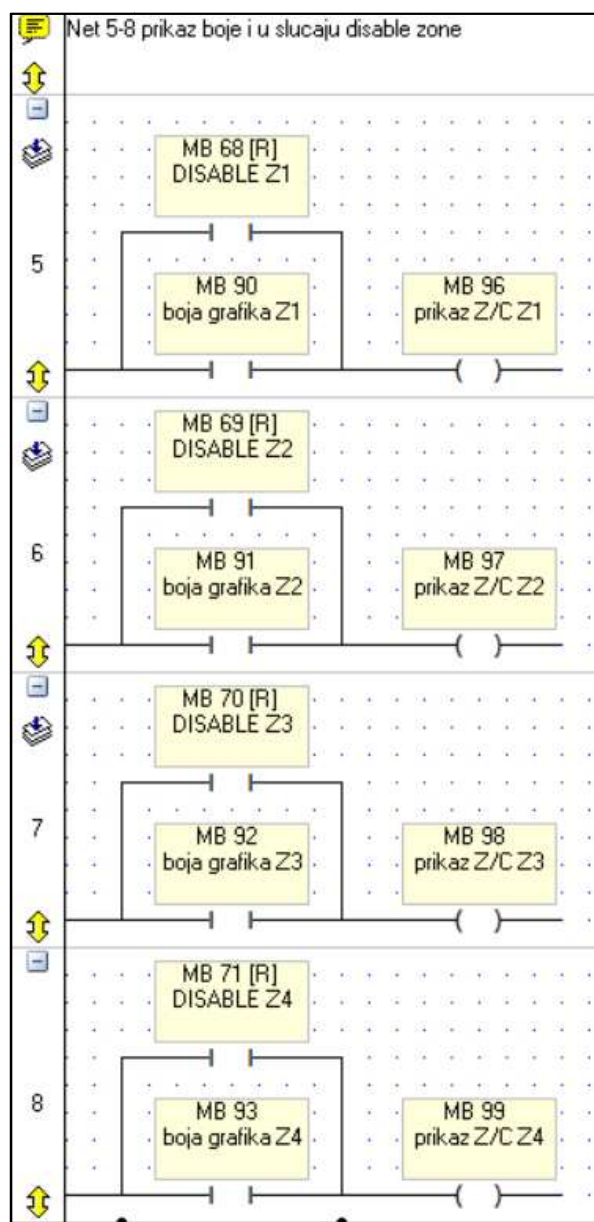
Slika 72. Premoštenja u logičkom krugu za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata

Na jednaki način izvedeno je i premoštenje za pokretanje motora u smjeru suprotnom od kazaljke sata (slika 73.).



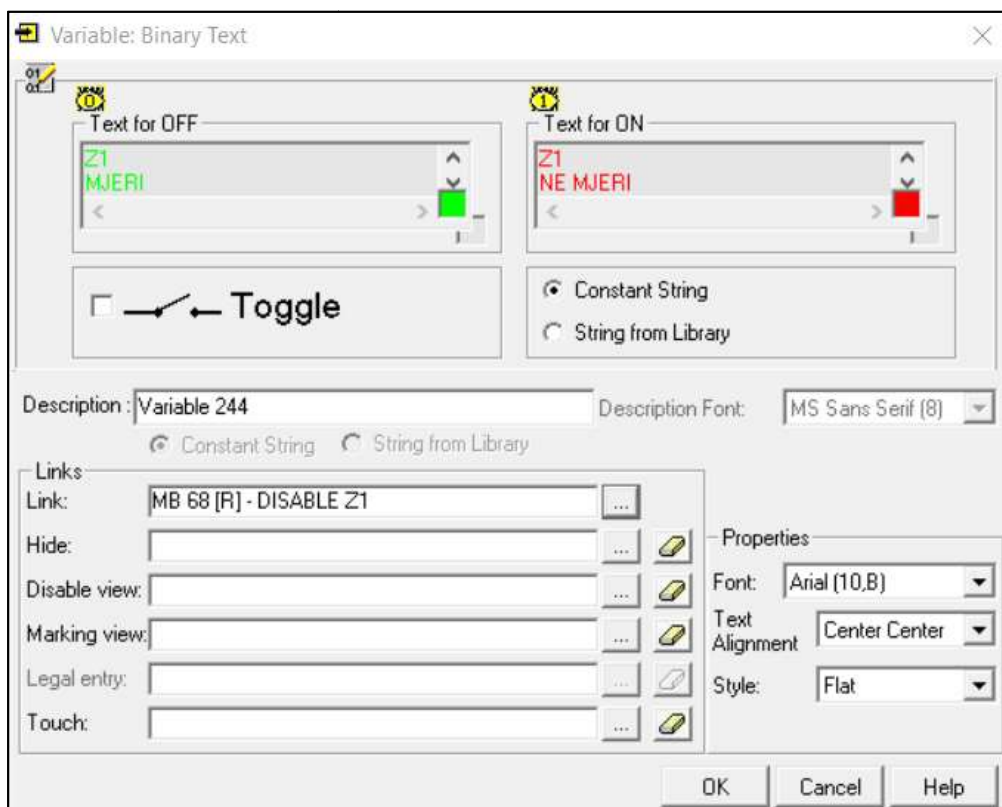
Slika 73. Premoštenja u logičkom krugu za pokretanje motora u smjeru suprotnom od kazaljke sata

Definirano je da promjena boje iz crvene u zelenu (slika 64.) daje informaciju da je predmetna toplinska zona spremna za pokretanje motora, neovisno o tome da li je premoštena ili ne. Iz tog razloga potrebno je nadodati ista premoštenja u logičke krugove prikazane slikom 66., kako bi toplinske zone promijenile boju u zelenu iako nije postignuta zadana temperatura (slika 74.).



Slika 74. Premoštenje logičkog signala za prikaz boje na grafičkom sučelju

Nadodane su i indikacije tekstovima koji operateru pružaju povratnu informaciju o tome koja zona je premoštena. Indikacija je izvedena na način da prikazuje jedan tekst kada je pridružena binarna adresa u stanju logičke nule i drugi tekst ako je u stanju logičke jedinice. Konfiguracija indikacije za prvu toplinsku zonu prikazana je slikom 75. Na isti način izvedena je konfiguracija za ostale toplinske zone.

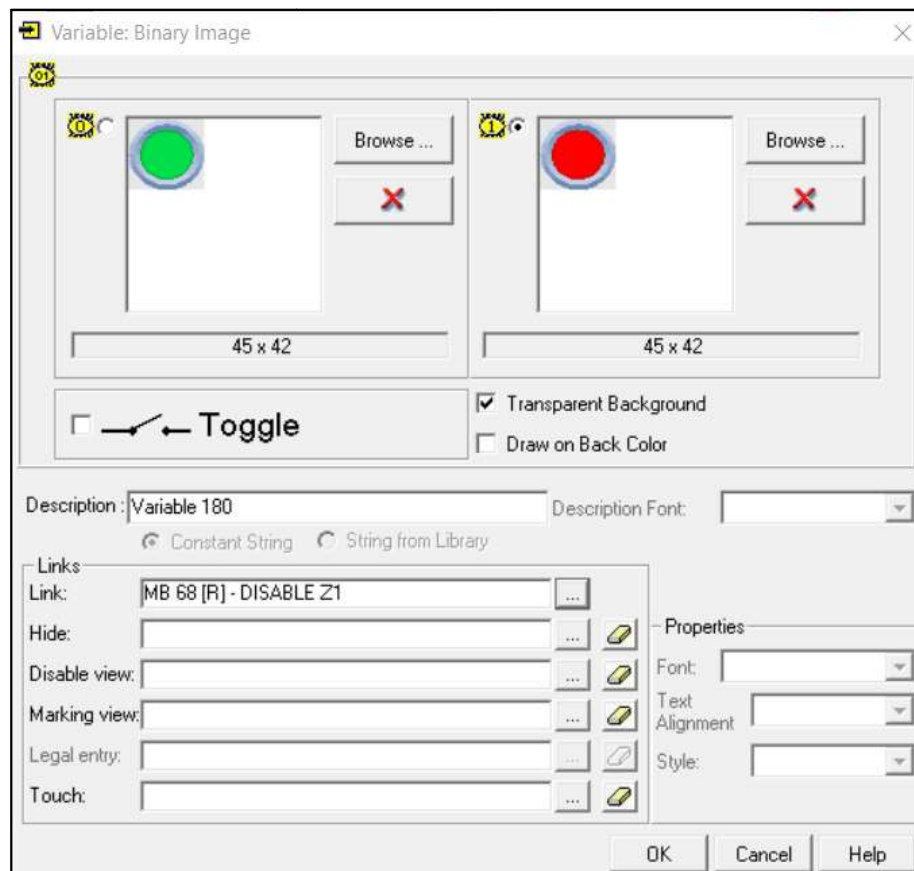


Slika 75. Konfiguracija funkcije promjenjivog teksta u VisiLogic programskom paketu

Tekstovi su postavljeni na početni zaslon iznad svoje referentne toplinske zone na cilindru ekstrudera. Položaj tekstova vidljiv je na slici 38.

Na isti način konfigurirane su i LED lampice pomoću funkcije promjenjive slike koje daju istu povratnu informaciju kao i tekst prikazan slikom 46. Zelena boja znači da je u toplinskoj zoni aktivan uvjet o postignutoj minimalnoj temperaturi za pokretanje motora, a crvena boja znači da je taj uvjet premošten, a LED lampice prikazane su na slici 38. u gornjem desnom dijelu ekrana pored natpisa; „Z1“, „Z2“, „Z3“ i „Z4“.

Konfiguracija LED lampice za prvu zonu prikazan je slikom 76. Na isti način izvedena je konfiguracija za ostale toplinske zone.



Slika 76. Konfiguracija promjenjive slike u VisiLogic programskom paketu

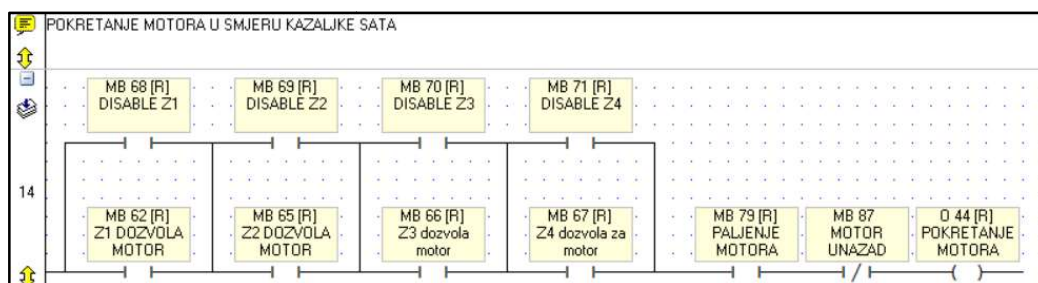
Bitno je napomenuti da je ručno isključivanje uvjeta zadane temperature prvenstveno ugrađeno radi četvrte zone te se ne preporuča isključivanje uvjeta za ostale toplinske zone.

Uvođenje uvjeta minimalne prihvatljive zadane temperature

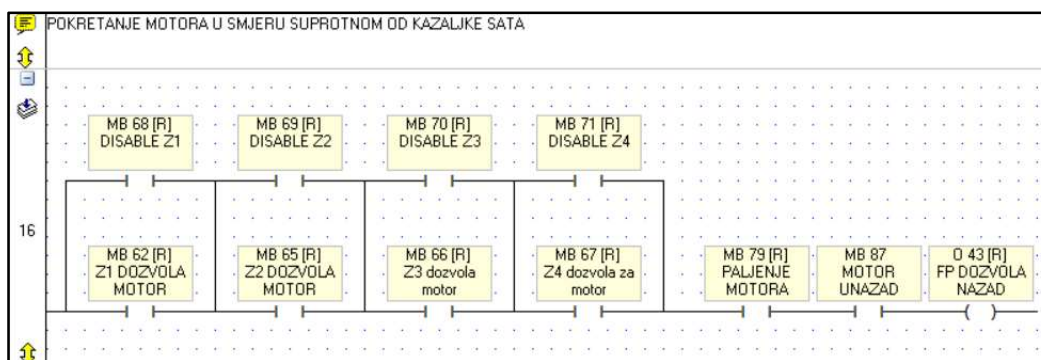
Korištenjem predmetnog ekstrudera kroz malo duži vremenski period primjećeno je da relativno lako može doći do situacije da je zadana temperatura neki mali broj. Primjerice prilikom pogrešnog unosa operatera, kod prvog paljenja stroja zadane temperature također iznose 0 °C i sl. U tom trenutku uvjeti za pokretanje motora su ispunjeni i teoretski motor bi se stvarno mogao pokrenuti. Slučajni pritisak tipkala za pokretanje motora u takvim uvjetima mogao bi prouzročiti mehaničko oštećenje stroja, pa takav sigurnosni nedostatak mora biti otklonjen.

Odlučeno je da će se ugraditi dodatni uvjet koji neće dopustiti pokretanje motora ako je zadana temperatura u bilo kojoj zoni manja od 100 °C, jer postoji velika vjerojatnost da se radi o pogrešci. Ako dođe do slijeda događaja da je zadana temperatura u zoni manja od 100 °C i da je zatim pritisnuto tipkalo za pokretanje motora, na ekranu će se pojaviti iskakajući prozor s upozorenjem i objašnjenjem kako isključiti predmetni uvjet.

U prvom koraku dodan je po jedan radni kontakt binarne adrese MB 79 u logički krug za pokretanje motora. Slikom 77. prikazan je izmjenjeni logički krug za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata, a slikom 78. logički krug za pokretanje motora suprotno od smjera kazaljke sata.



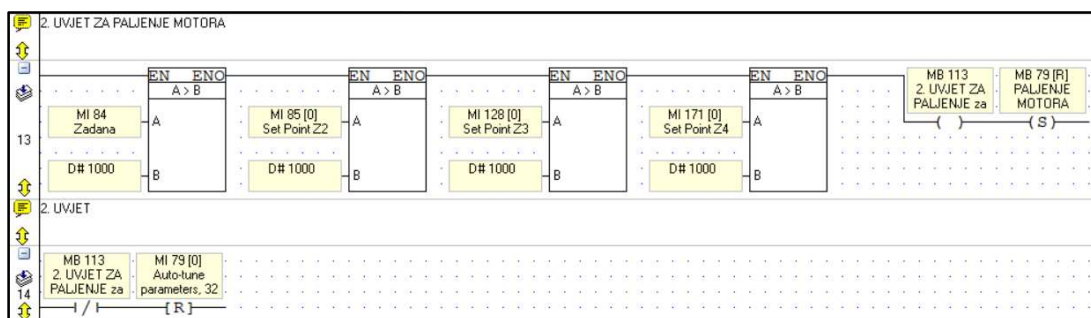
Slika 77. Dodatni uvjet za pokretanje motora u smjeru kazaljke sata



Slika 78. Dodatni uvjet za pokretanje motora u smjeru suprotnom kazaljke sata

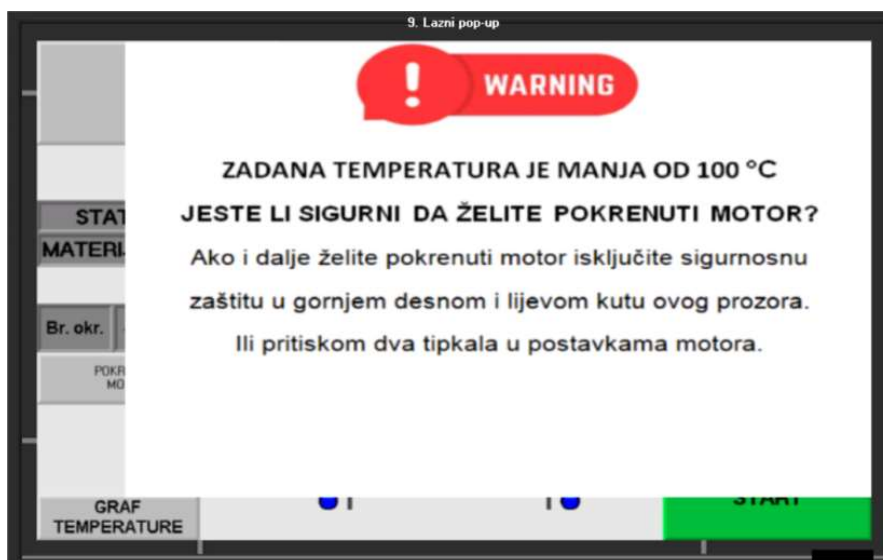
Nadalje, slika 79. prikazuje dva dodana logička kruga. Prvi postavlja binarnu adresu MB 79 u stanje logičke jedinice pomoću naredbe kada su zadane temperature svih toplinskih zona veće od 100 °C. U logičkom krugu serijski je spojen i izlaz binarne adrese MB 113, on služi samo kao povratna informacija o tome je li dopušteni prolaz logičkom signalu kroz sva četiri uvjeta minimalne zadane temperature.

Drugi logički krug resetira binarnu adresu MB 79 u logičku nulu. Mirni kontakt ne dopušta prolaz logičkom signalu u slučaju kad su ispunjena sva četiri uvjeta jer je binarna adresa MB 113 tada u stanju logičke jedinice, zbog izlaza ugrađenog u prvi krug. Kad neki od uvjeta iz prvog kruga nije zadovoljen, istog se trenutka MB 113 vraća u logičku nulu i motor nema dozvolu za rad.



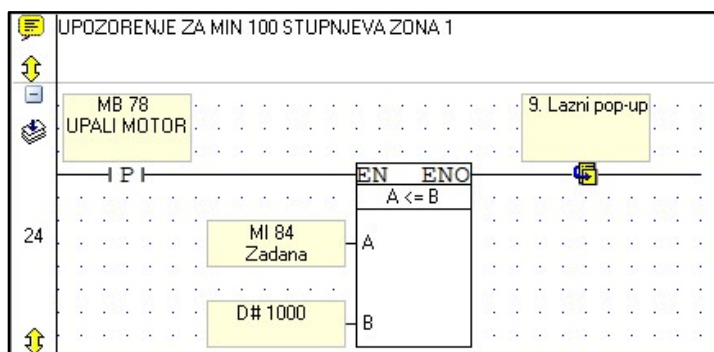
Slika 79. Drugi uvjet za paljenje motora

VisiLogic programski paket ne sadrži opciju konfiguracije iskakajućeg prozora na kojem bi se pojavilo upozorenje da je zadana temperatura manja od 100 °C. Prikaz obavijesti na ekranu će se izvesti na način koji će odati dojam iskakajućeg prozora. Kreirana je nova forma prikaza te je kao slika pozadine postavljena upravo uređena slika početnog zaslona. U VisiLogic programskom paketu na novu formu prikaza ubačeni su slika i tekst upozorenja (slika 80.).



Slika 80. Pozadina forme prikaza „Lazni pop-up“ s tekстом

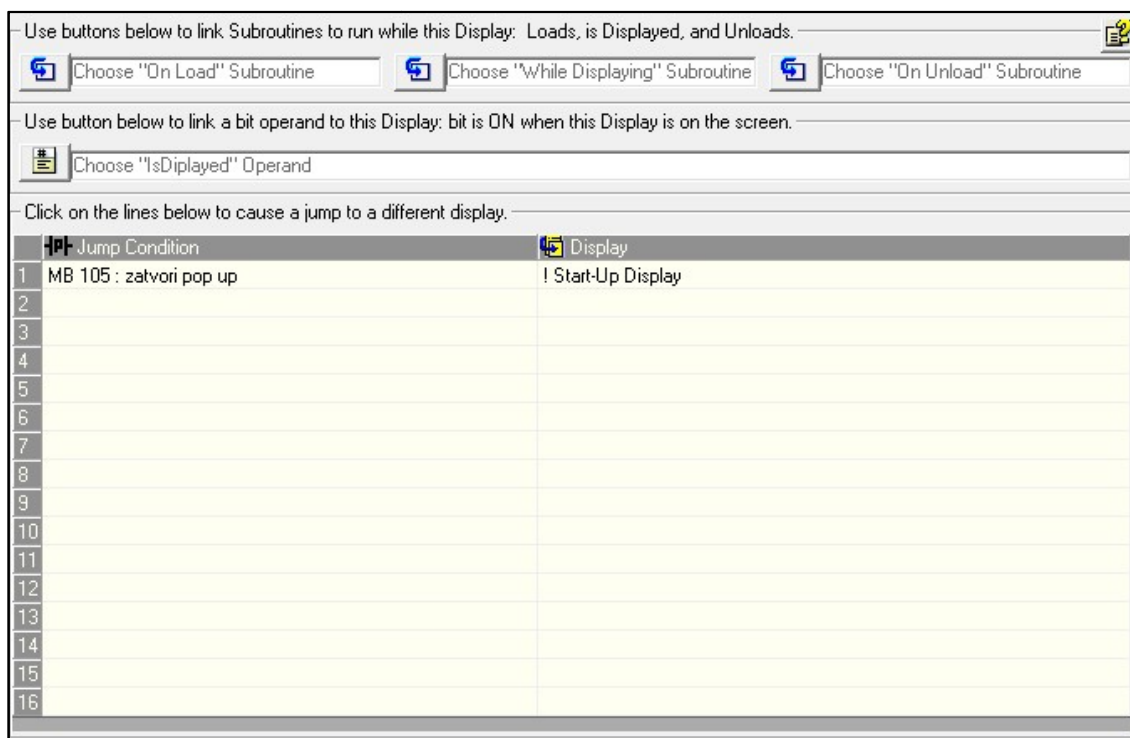
Slika 81. prikazuje ljestvičasti dijagram za prvu toplinsku zonu koji ima implementiranu funkciju za odabir forme prikaza. Aktivira se logičkim slijedom i automatski se prikazuje pridružena forma prikaza.



Slika 81. Ljestvičasti dijagram za prikaz upozorenja uvjeta minimalne zadane temperature u prvoj zoni

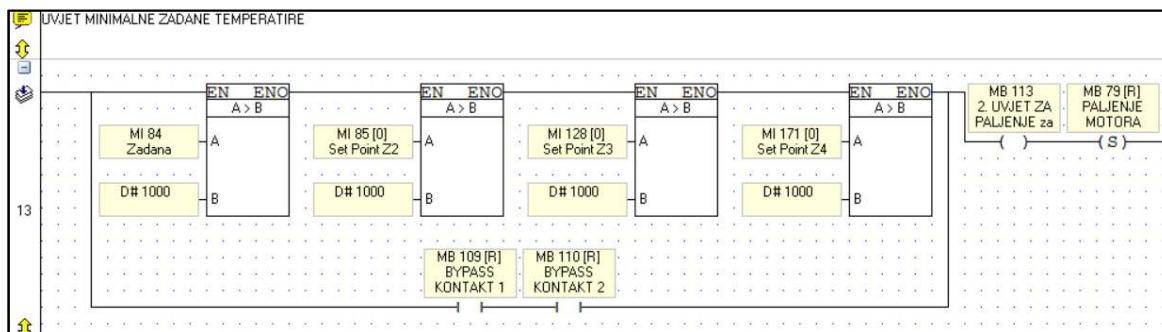
Upotrijebljena je blok funkcija za uspoređivanje vrijednosti, a uspoređuje se brojčana vrijednost zadane temperature za prvu zonu spremljenu na memorijskoj lokaciji MI 84 i brojčanu konstantu vrijednosti 1000, odnosno 100 °C. Ako se pritisne tipkalo

„POKRETANJE MOTORA“ i aktivira izlaz pozitivnog brida (MB 79), u trenutku kada je uvjet blok funkcije istinit, logički signal aktivira funkciju za promjenu forme prikaza. Na takav način dobio se efekt iskakajućeg prozora s ispisanim upozorenjem. Na iskakajući prozor dodano je tipkalo naziva „ZATVORI“ binarne adrese MB 105. To tipkalo je zapravo funkcija za promjenu forme prikaza na početni ekran. Osim u ljestvičastom dijagramu (slika 81.) promjena forme prikaza može se konfigurirati i u programskoj kartici prikazanoj na slici 82.



Slika 82. Konfiguracija forme prikaza u *Links & Jumps* programskoj kartici

Operateru se mora pružiti i opcija isključivanja ovog uvjeta. Stoga je u ljestvičastom dijagramu dodano je premoštenje (slika 83.). Na premoštenju se nalaze dva serijski spojena radna kontakta. Implementirana su dva, isključivo iz sigurnosnih razloga. Svakom radnom kontaktu pridruženo je po jedno tipkalo i oba tipkala moraju biti pritisnuta kako bi se uvjet minimalne zadane temperature isključio.



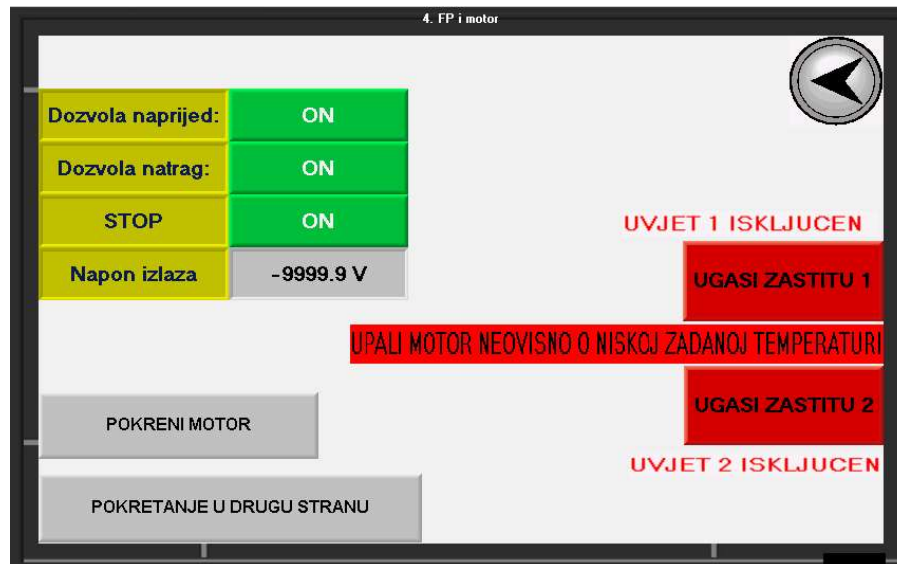
Slika 83. Tipkala za ručno isključivanje uvjeta u ljestvičastom dijagramu

Slikom 84. prikazano je mjesto postavljanja tipkala za gašenje uvjeta na nanovo kreiranoj formi prikaza.



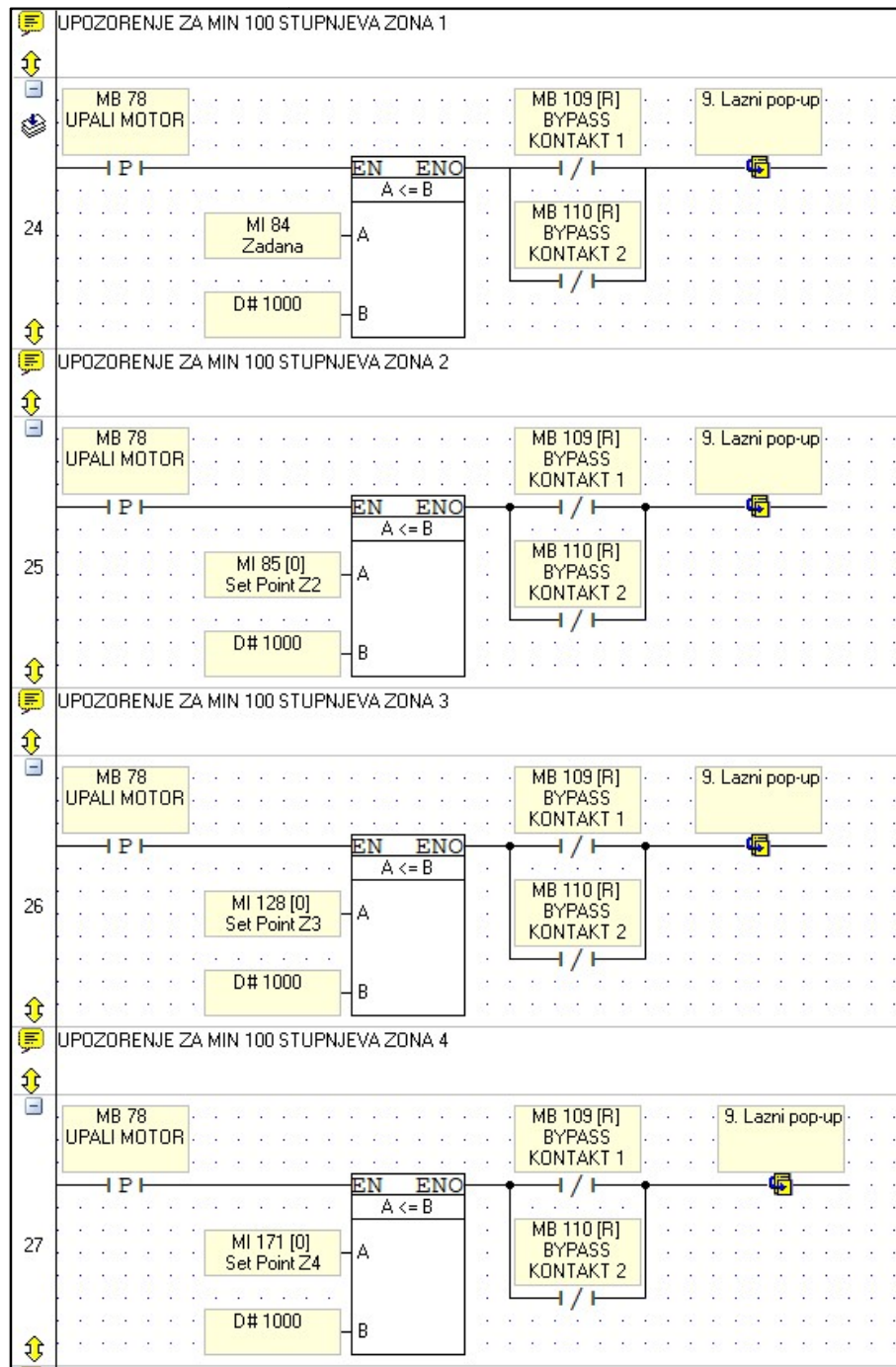
Slika 84. Forma prikaza 'Lazni pop-up' s nadodanim tipkalima

Tipkala iste binarne adrese i funkcije nadodana su i u formu prikaza „postavke motora“ jer u protivnom operater ne bi imao mogućnost ponovno uključiti uvjet, tj. postaviti premoštenja opet u logičku nulu (slika 85.).



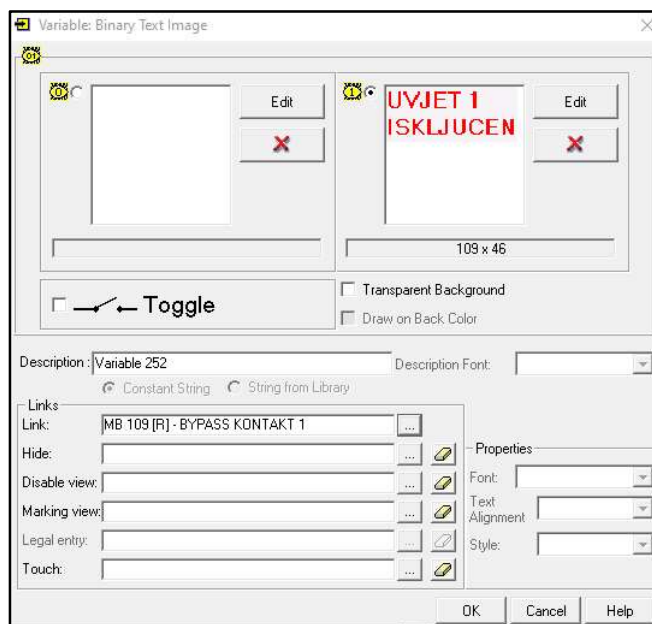
Slika 85. Tipkala za uvjet minimalne zadane temperature u formi prikaza „postavke motora“

Također, potrebno je dodati premoštenja i na ljestvičasti dijagram za promjenu forme prikaza budući da nema smisla da se pojavlje iskakajući prozor u trenutku kada je uvjet isključen (slika 86.).



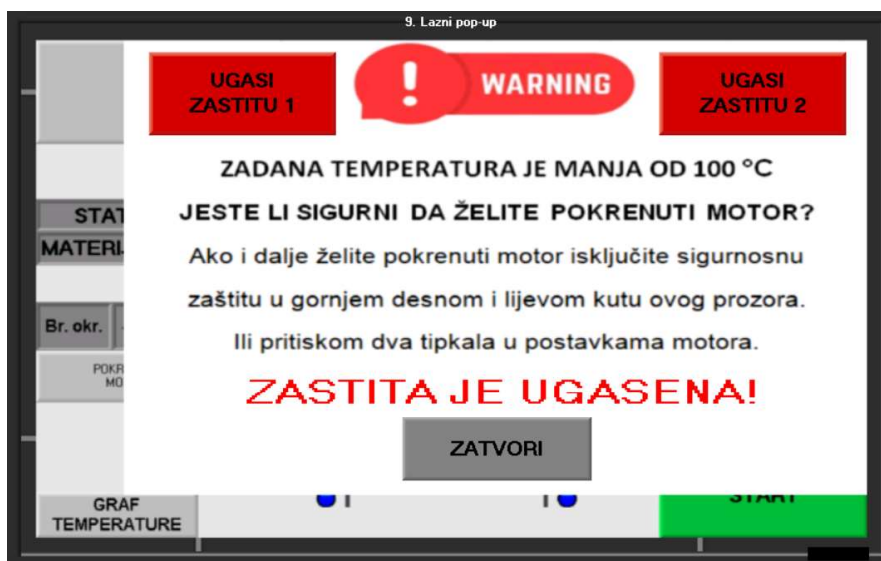
Slika 86. Premoštenja u logičkim krugovima za pojavljivanje iskakajućeg prozora

Postavljeni su tekstovi indikacije pokraj tipkala na formi prikaza „postavke motora“ koji se prikazuju pokraj tipkala kada je pripadajuća binarna adresa u stanju logičke jedinice (slika 54.).



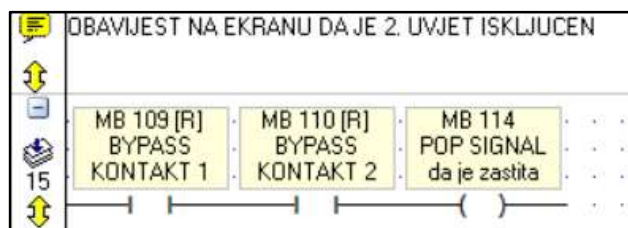
Slika 87. Konfiguracija promjenjivog teksta, informacija o trenutnom stanju uvjeta

I na iskakajućem prozoru dodan je tekst koji se prikazuje kada su binarne adrese oba tipkala u stanju logičke jedinice (slika 88.).



Slika 88. Obavijest na iskakajućem prozoru da je uvjet isključen

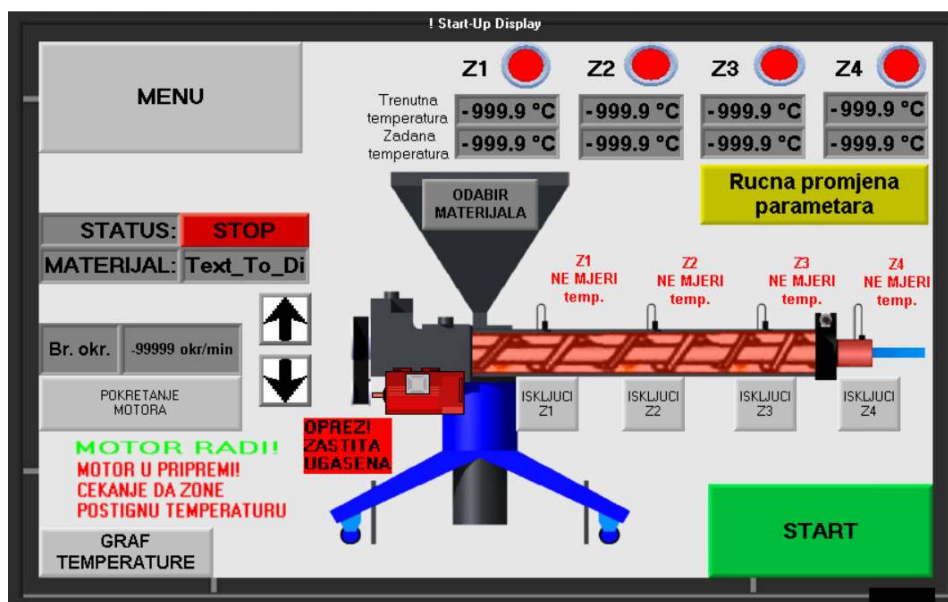
Logički krug za prikaz obavijesti prikazan je slikom 89. On je izveden pomoću dva serijski spojena radna kontakta binarne adrese koja se koristi i za aktivaciju premoštenja. Binarnom tekstu pridružena je nova binarna adresa MB 114 koja je ugrađena u logički krug kao funkcija izlaza.



Slika 89. Logički krug za aktivaciju obavijesti u iskakajućem prozoru

Dodatne obavijesti na početnom zaslonu

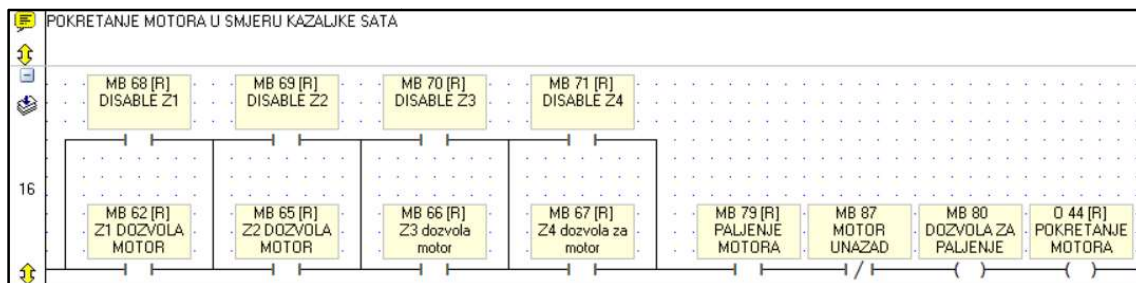
U sklopu ovog rada uvedeno je više uvjeta pokretanja motora. Testiranjem je primjećeno da operateru može biti zbunjujuća situacija u kojem se pritisne tipkalo za pokretanje motora, a on se ne pokreće. Bit će nadodane tekstualne obavijesti koje će mu nedvojbeno dati do znanja koji uvjet nije zadovoljen, odnosno je li motor pokrenut. Slika 90. prikazuje tekstualne informacije u donjem lijevom kutu početnog zaslona, a logički krugovi koji ih aktiviraju biti će prikazani u nastavku.



Slika 90. Početni zaslon s ugrađenim dodatnim tekstovima

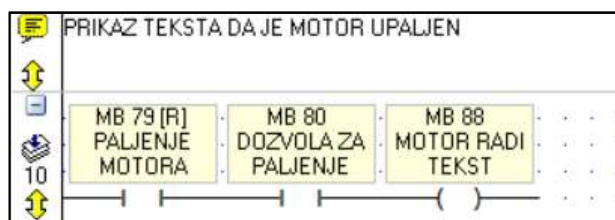
Prikaz indikacije o radu motora

Indikacija o radu motora mora se prikazati kada je dozvola za pokretanje motora aktivirana i pritisnuto je tipkalo za pokretanje motora. Iz tog razloga dodan je još jedan izlaz (MB 80) na samom kraju logičkog kruga s implementiranim uvjetima za pokretanje motora, te je njegova binarna adresa pridružena tekstu (slika 91.).



Slika 91. Povratna informacija o stanju uvjeta za pokretanje motora

Promjenjivom tekstu pridružena je adresa MB 88. Logički krug koji je aktivira prikazan je slikom 92.

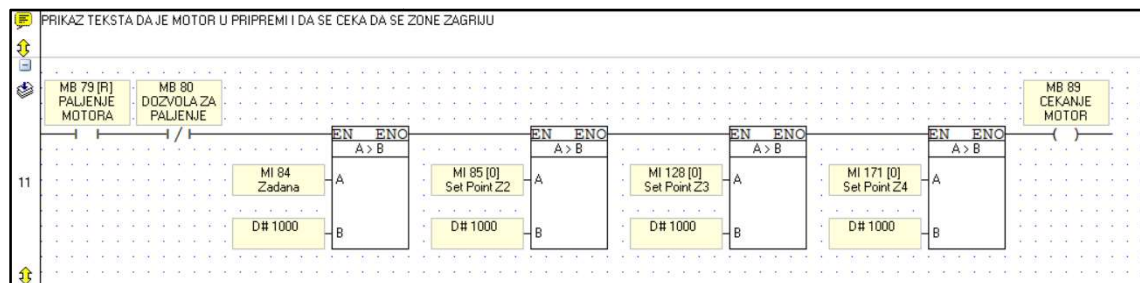


Slika 92. Logički krug za prikaz teksta „MOTOR RADI“

Binarna adresa MB 80 serijski je spojena s binarnom adresom MB 79.

Prikaz indikacije o čekanju na uvjete za pokretanje motora

Tekst se prikazuje kada je zadovoljen uvjet minimalne zadane temperature, pritisnuto je tipkalo za pokretanje motora, ali temperature u zonama još nisu postignute. Serijski je opet spojena binarna adresa MB 79 koja označava da je tipkalo za pokretanje pritisnuto i mirni kontakt binarne adrese MB 80, koji „vodi“ kada nema dozvole (slika 93.).



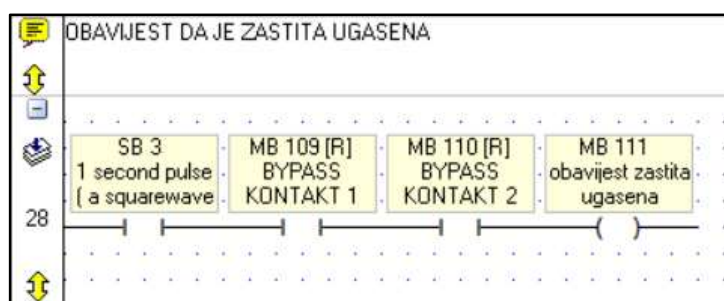
Slika 93. Logički krug za prikaz indikacije „MOTOR U PRIPREMI, CEKANJE DA ZONE POSTIGNU TEMPERATURU“

Bitno je da se izlaz MB 80 u logičkom krugu prikazanim slikom 91. nalazi nakon radnog kontakta MB 79. Prikaz indikacije o čekanju na uvjete za pokretanje motora se ne smije prikazati ako uvjet minimalne zadane temperature nije postignut. U tom slučaju prednost ima iskakajući prozor. Također, kada temperature nisu zadovoljene, mirni kontakt binarne adrese MB 80 „vodi“, pa su serijski spojene i blok funkcije za uspoređivanje vrijednosti. Te blok funkcije uspoređuju vrijednost memorijske lokacije u kojoj je zapisana zadana referentna vrijednost temperatura i konstantnu vrijednost 1000, koja je ekvivalent 100 °C.

Prikaz indikacije o statusu zaštitnih funkcija

Ova indikacija je osobito važna jer obavještava operatera da je ugašen (premošten) uvjet najmanje zadane temperature. Kada je zadana referentna vrijednost temperature manja od 100 °C mora se pretpostaviti da se radi o pogrešci jer se materijali ne ekstrudiraju na tako niskim temperaturama. Ako je uvjet deaktiviran operater mora biti svjestan toga, te će iz tog razloga pozadina teksta biti crvene boje i tekst će se paliti i gasiti svake sekunde (blinkati) kako bi privukao pažnju.

Logički krug za prikaz indikacije tekстом „OPREZ! ZASTITA UGASENA“ na slici 94.



Slika 94. Logički krug za prikaz indikacije „OPREZ! ZASTITA UGASENA“

Dva radna kontakta binarne adrese korištene za premoštenje uvjeta serijski su spojena sa sistemskim bitom (SB 3). SB 3 svake sekunde mijenja svoje stanje iz logičke nule u logičku jedinicu i obrnuto. On će uzrokovati da se indikacija pali i gasi svake sekunde.

5. PARAMETRIRANJE PROCESA I TESTIRANJE REZULTATA ZAHVATA

U ovom poglavlju prikazano je parametriranje procesa zagrijavanja toplinskih zona i završno testiranje sustava kroz ekstrudiranje dviju različitih vrsta materijala.

Ekstrudira se reciklirani polietilen (PE) i polistiren (PS) (slika 95.). Odabrana su ova dva materijala jer je jedan kristalaste (PE), a drugi amorfne (PS) strukture i istovremeno su veoma zastupljeni u industriji.



Slika 95. Lijevo - PE, desno - PS

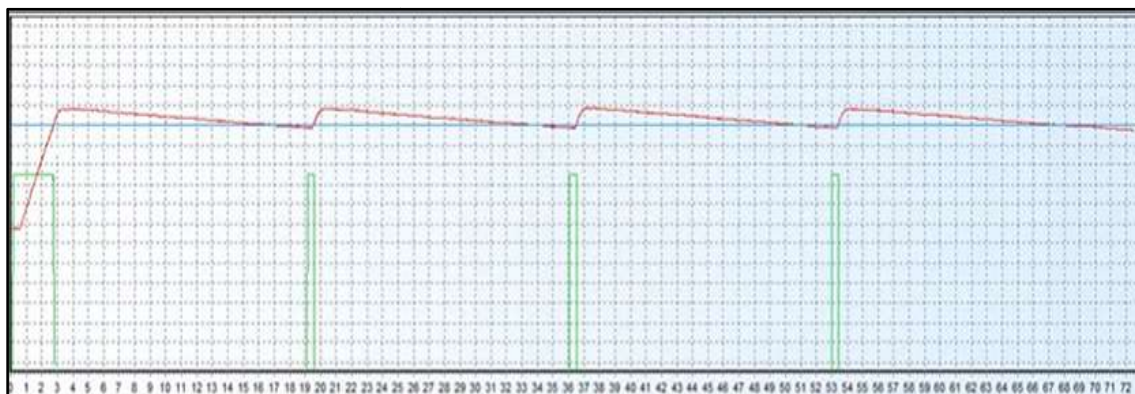
Zagrijavanjem PE njegova struktura prelazi iz kristalaste u amorfnu i taj proces je reverzibilan, dok zagrijavanjem struktura PS ostaje amorfna.

5.1 Parametriranje sustava automatskim podešavanjem

Kao što je prethodno navedeno ekstrudira se PE i PS. Iz literature [14] iščitano je podatak da se ekstrudiranje PE provodi na temperaturi od 200°C, a PS na temperaturi od 210 °C. Na temelju toga su izabrane referentne vrijednosti temperature parametriranja.

Originalni PLC kod sadrži implementiranu funkciju automatskog podešavanja parametara (engl. *Auto-tune*). Automatsko podešavanje funkcionira na način da sustav prilikom zagrijavanja bilježi podatke koje potom obrađuje i sam izračunava optimalne vrijednosti pojačanja za proporcionalni, integralni i derivativni član. Programski paket VisiLogic pruža 3 moguća stupnja provođenja; *Stage 1*, *Stage 2* i *Stage 3*. Jedina razlika između ta tri stupnja je broj zagrijavanja koje se provodi za izračunavanje vrijednosti pojačanja. *Stage 3* provodi tri zagrijavanja toplinskih zona, *Stage 2* dva zagrijavanja, te analogno tome *Stage 1* provodi jedno zagrijavanje. Više zagrijavanja daje bolje rezultate, ali sam proces duže traje.

Provedeno je *Stage 3* podešavanje parametara u cilju dobivanja što točnijih rezultata. Primjer prikazan slikom 96.

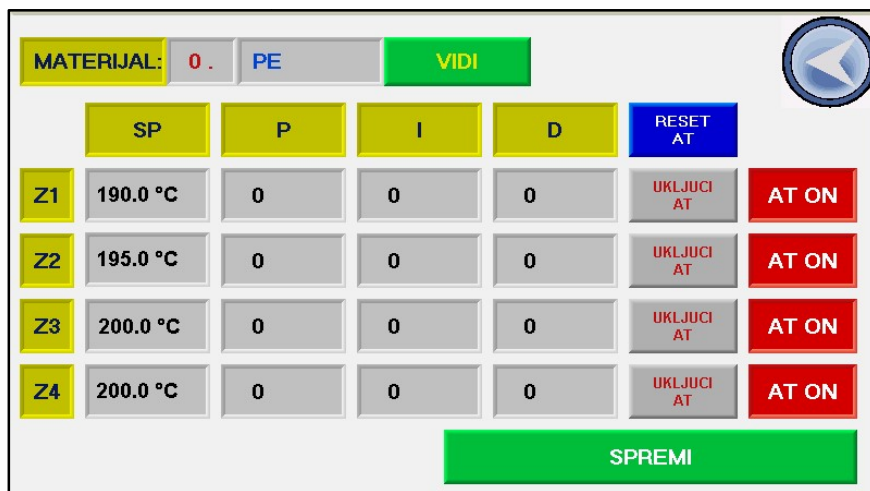


Slika 96. *Stage 3* automatsko podešavanje

Plava linija predstavlja referentnu temperaturu, crvena krivulja izmjerenu temperaturu u sustavu, a zelena linija vrijeme zagrijavanja.

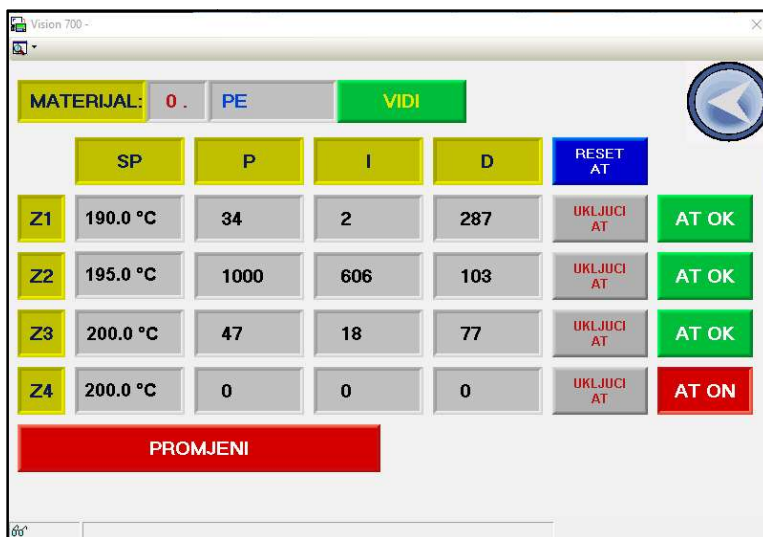
U formi prikaza za ručno mijenjanje parametara nalazi se tipkalo „UKLJUCI AT“ kojim se pokreće proces automatskog podešavanja.

Provedeno je automatsko podešavanje pojačanja za PE. Slika 97. prikazuje zaslon PLC uređaja sa zadanim referentnim temperaturama toplinskih zona za vrijeme trajanja procesa podešavanja.



Slika 97. Provođenje procesa automatskog podešavanja

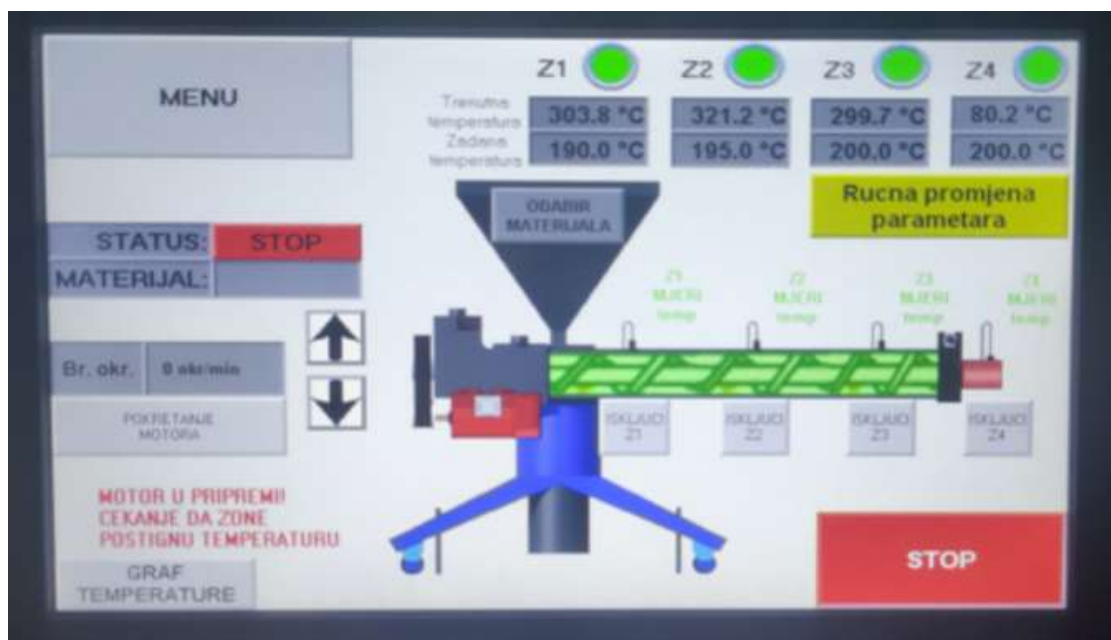
Slika 98. prikazuje rezultate provedenog procesa automatskog podešavanja. Za prvu, drugu i treću toplinsku zonu izračunate su optimalne vrijednosti pojačanja, za četvrtu toplinsku zonu potupak nije proveden zbog kvara na grijaču (detaljnije objašnjeno u 3. poglavlju).



Slika 98. Rezultati automatskog podešavanja

Iznosi pojačanja za prvu, drugu i treću toplinsku zonu su spremljeni. Četvrtoj toplinskoj zoni pridružen je iznos proporcionalnog pojačanja 100. Budući da četvrta zona uopće nije u mogućnosti postići referentnu temperaturu, takvo pojačanje osigurati će rad grijača na punoj snazi kroz cijeli postupak ekstrudiranja.

Postupak zagrijavanja automatski izračunatim pojačanjima rezultiralo je prebačajima temperature u prvoj, drugoj i trećoj toplinskoj zoni. Rezultati su prikazani slikom 99.



Slika 99. Početni zaslon uređaja, prebačaj referentne temperature

Proces automatskog podešavanja je ponovljen nakon hlađenja ekstrudera, ali rezultati su bili jednaki pa je odlučeno da će se parametriranje procesa nastaviti ručno.

5.2 Ručno parametriranje sustava

Ručno parametriranje provedeno je podešavanjem proporcionalnog djelovanja regulatora svake toplinske zone. Prvo su korišteni minimalni iznosi pojačanja, koji su potom postupno povećavani do trenutka pojave prebačaja izmjenjenih vrijednosti temperatura. Pritom je promatrano trajno regulacijsko odstupanje, kao i vrijeme odziva sustava.

Nakon ukupno četiri iteracije utvrđeno je da je isključivo proporcionalnim djelovanjem pojačanja moguće ostvariti zadovoljavajući odziv sustava bez prebačaja i trajnim regulacijskim odstupanjima koja ne premašuju 3 °C. Vrijednosti pojačanja prikazana su tablicom 7.

Tablica 7. Vrijednosti pojačanja toplinskih zona

Toplinska zona	P	I	D
1.	1	0	0
2.	1	0	0
3.	1	0	0
4.	20	0	0

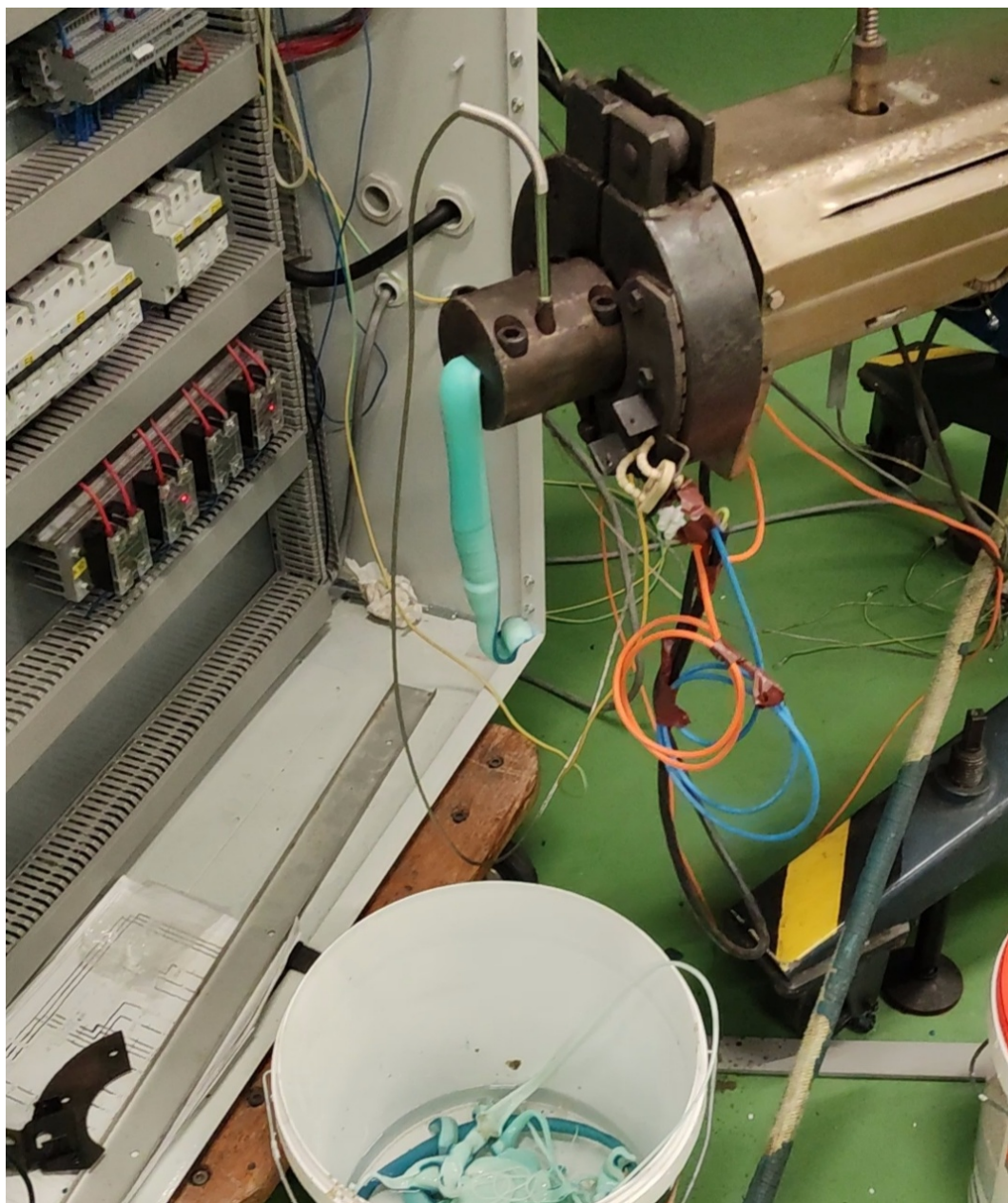
5.3 Ekstrudiranje materijala i završno testiranje sustava

Prema parametrima određenim u prethodnom poglavlju provedeno je ekstrudiranje PE i PS.

U tijeku zagrijavanja toplinskih zona testirani su sigurnosni sustavi koji su pokazali da uspješno ispunjavaju svoju zadaću. Motor se nije pokrenuo prije nego je cilindar za taljenje postigao uvjete za pokretanje motora. Također, sustav nije dopustio pokretanje motora pri zadanoj temperaturi manjoj od 100 °C. Slika 100. Prikazuje proces ekstrudiranja PE, dok slika 101. prikazuje proces ekstrudiranja PS.



Slika 100. Ekstrudiranje PE



Slika 101. Proces ekstrudiranja PS

6. ZAKLJUČAK

U radu je opisan postupak puštanja u pogon revitaliziranog termoplastičnog ekstrudera marke Trusioma, tip E1-32-20.

U sklopu rada je proveden niz aktivnosti kojima je izvršen detaljan uvid u postojeće stanje stroja i navedeni su svi uočeni nedostaci. U radu su opisani svi zahvati provedeni u cilju otklanjanja uočenih nedostataka i puštanja u pogon.

U tom smislu je proveden čitav niz zahvata koji su većim dijelom bili usmjereni modifikaciji upravljačkog koda na PLC sustavu, u cilju izrade intuitivnijeg grafičkog sučelja. Izmjenjeni logički krugovi omogućuju nesmetan rad sustava unatoč smetnjama koje uzrokuje pogonski motor. Uvjeti pokretanja motora su doručeni na način da ne dopuštaju pokretanje motora u slučaju da ono nije potpuno sigurno te je sustav čak otporan i na određene pogreške u rukovanju samog operatera. Uz uvjete pokretanja ugrađene su i pripadajuće grafičke i tekstualne indikacije koje opisuju stanje procesa.

Ostale aktivnosti uključivale su izradu zaštitnih komponenti, ugradnju dodatnog senzora za mjerenje temperature, uzemljenje sustava, dodatno mehaničko stezanje alata i ugradnju gume za brtvljenje na sustavu za vodeno hlađenje. U završnom dijelu rada, ekstrudiranjem dva polimera različite vrste (PE i PS) pokazano je da je ekstruder siguran za rad pri preradi polimera zahtjeva zagrijavanja do 210 °C. Preporučuje se dodatno testiranje ekstrudera kroz postupak prerade različitih polimera na temperaturama do 250 °C.

Uočen je nedostatak hlađenja temperatutnih zona s dodatnim ventilatorima što nije bilo moguće riješiti u okviru ovog rada.

LITERATURA

- [1] Čatić, I.: *Proizvodnja polimernih tvorevina*, Biblioteka polimerstvo - serija zelena Zagreb 2006.
- [2] <https://www.milacron.com/products/extrusion-machines/>, pristupio 12.11.2021.
- [3] Rauwendaal, C: *Understanding Extrusion*, Hanser Publisher, München, 1998.
- [4] Rauwendaal, C: *Polymer Extrusion*, Hanser Publisher, München, 2014.
- [5] <https://peaksensors.co.uk/what-is/pt100-sensor/>, pristupio 13.11.2021.
- [6] http://www.cospa.ru/upload/iblock/6fb/YAS_A100, pristupio 9.11.2021.
- [7] <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-industrial-din-rail-power-supply-output-24v-edr--120--24> pristupio, 13.11.2021
- [8] <https://octopart.com/drp-240-24-mean+well+datasheet> , pristupio 9.11.2021.
- [9] <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-industrial-din-rail-power-supply-output-24v-edr--240--24> pristupio, 13.11.2021
- [10] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/894371/MEANWELL/EDR-120-24.html?>, pristupio 9.11.2021
- [11] https://www.unitronicsplc.com/wp-content/uploads/2015/12/V700-T20BJ_TECH-SPEC_08-15.pdf, pristupio, 15.11.2021.
- [12] https://www.maxwell-fa.com/PRODUCTS/Solid_State_Relay/content/index/11
- [13] Kušer, M. (2019). *Izrada PLC upravljačkog sustava za ekstruder* (Diplomski rad).
Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:885883>
- [14] [http://www.qenos.com/internet/home.nsf/\(LUImages\)/TG2Extrusion/\\$File/TG2Extrusion.pdf](http://www.qenos.com/internet/home.nsf/(LUImages)/TG2Extrusion/$File/TG2Extrusion.pdf), pristupio 17.11.2021.
- [15] <https://www.unitronicsplc.com/wp-content/uploads/2015/12/IO-A14-AO2-5408-0061-2.pdf>, pristupio 28.11.2021.