

Načelno rješenje PLC sustava upravljanja sirovinama za proizvodnju stakla

Drašković, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:235:578838>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-01**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tomislav Drašković

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Izv. prof. dr. sc. Danijel Pavković, dipl. ing.

Student:
Tomislav Drašković

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Danijelu Pavkoviću na smjernicama za izradu rada.

Ovime bi se htio zahvaliti i svojoj obitelji i djevojci na podršci i razumijevanju.

Tomislav Drašković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tomislav Drašković** JMBAG: **0035206264**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Načelno rješenje PLC sustava upravljanja sirovinama za proizvodnju stakla**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Principal solution of raw materials PLC control system in glass manufacturing**

Opis zadatka:

U procesu prerade sirovina za proizvodnju stakla potrebno je provesti više pripremnih radnji kako bi se sirovine pripremile za šaržni (engl. „batch“) postupak taljenja i konačnu proizvodnju gotovog proizvoda (stakla). U vezi s time, u ovom završnom radu potrebno je napraviti sljedeće:

1. Detaljno opisati proces proizvodnje stakla, od pripreme smjese sirovina, preko njihovog taljenja, do konačnog proizvoda
2. Osmisliti i opisati sustav za automatizaciju procesa pripreme i proizvodnje stakla temeljen na standardnom industrijskom hardveru za automatizaciju čija jezgra je programabilni logički kontroler (PLC) opremljen grafičkim sučeljem prema korisniku (engl. Human Machine Interface, HMI)
3. Opisati potrebno računalno okruženje i softver za programiranje komponenata industrijske automatizacije
4. Definirati pojedine faze proizvodnje i osmisliti potrebnu senzoričku i aktuatornu potrebnu za upravljanje tehnološkim procesom proizvodnje stakla
5. Emulirati pojedine podsustave osmišljenog tehnološkog procesa na laboratorijskoj maketi s programabilnim logičkim kontrolerom i grafičkim sučeljem prema korisniku

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
30. 11. 2021.	1. rok: 24. 2. 2022. 2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022. 3. rok: 22. 9. 2022.	1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022. 2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022. 3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.
Zadatak zadao:		Predsjednik Povjerenstva:
Izv. prof. dr. sc. Danijel Pavković		
Dr. sc. Matija Krznar		Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
2. PROIZVODNJA	2
2.1. Procesi proizvodnje	3
2.1.1. Priprema sirovina	4
2.1.2. Termička obrada	7
2.1.3. Oblikovanje stakla	9
2.1.4. Hlađenje i kontrola stakla	11
2.1.5. Skladištenje konačnih proizvoda	11
2.2. Definicija i karakterizacija stakla	12
2.3. Vrste, sastav i svojstva.....	15
2.3.1. Kvarcno staklo	16
2.3.2. Natrijevo staklo	16
2.3.3. Borosilikatno staklo	16
3. OPIS KOMPONENTI PLC SUSTAVA	17
3.1. Mitsubishi (FX5U-32MT/ESS)	17
3.2. Human Machine Interface (GS2107-WTBD)	18
3.3. GX Works3.....	19
3.4. GT Designer	20
4. SENZORIKA, AKTUATORI I MJERNI ČLANOVI	21
4.1. Linearni aktuator proizvođača FESTO	21
4.2. Mikser granulata	21
4.3. Senzori razine granula	22
4.4. Strojevi za vaganje granula.....	23
4.5. Ventil za plin (aktuator za upravljanje peći)	23
4.6. Crpka za vodu	24
4.7. Optički senzor gibanja	24
4.8. Thermocouple tip R (Termoelement)	25

5. RJEŠENJE SUSTAVA UPRAVLJANJA SIROVINA ZA STAKLO	26
5.1. Sustav logičkog upravljanja.....	26
5.1.1. Priprema sirovina za miješanje granulata	28
5.1.2. Regulacija temperatura pojedinih faza termičke obrade smjese	33
5.1.3. Sustav prekidanja staklene niti.....	37
5.2. Grafičko sučelje	38
5.3 Varijable korištene unutar upravljačkog programa	48
6. ZAKLJUČAK	49
7. LITERATURA.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1. Kružni tok staklene ambalaže	2
Slika 2. Kompletni proizvodni proces	3
Slika 3. Shema atricijskog uređaja za oplemenjivanje kvarcnog pijeska s 4 ćelije.....	5
Slika 4. Prikaz atricijskog uređaja za oplemenjivanje kvarcnog pijeska s 2 ćelije	5
Slika 5. Pogon za pripremu smjese za taljenje	6
Slika 6. Prikaz taljenja.....	7
Slika 7. Kadna peć.....	8
Slika 8. Metoda puhanja za oblikovanje stakla	9
Slika 9. Prešanje stakla.....	10
Slika 10. Izvlačenje stakla	10
Slika 11. Paletizacija gotovih proizvoda	11
Slika 12. Dvodimenzionalni prikaz kristala i stakla.....	12
Slika 13. Koeficijent viskoznosti kvarcnog i natrijevog stakla	14
Slika 14. Mitsubishi FX5U-32MT/ESS programabilni logički kontroler	17
Slika 15. HMI uređaj (grafičko sučelje prema korisniku).....	18
Slika 16. GX Works3 programsko sučelje	19
Slika 17. GT Designer razvojno okruženje	20
Slika 18. Linearni aktuator	21
Slika 19. Mikser granulata	21
Slika 20. Vibracijski prekidač i Z-Tron prekidač.....	22
Slika 21. Elektronska vaga	23
Slika 22. Izvršni član kod reguliranja temperature (ventil).....	23
Slika 23. Crpka za vodu	24
Slika 24. Optički senzor gibanja	24
Slika 25. Prikaz termoelementa i njegova shema.....	25
Slika 26. Ovisnost napona i temperature termoelemeanta	25
Slika 27. Pogon za pripremu smjese za taljenje	28
Slika 28. Početak upravljanja i funkcijski blok konverzija mase.....	29
Slika 29. ST kod function block-a „konverzija mase“	29
Slika 30. Ladder dijagram(upravljanje aktuatorima dozera).....	30
Slika 31. Ladder dijagram(upravljanje linearnih aktuatora uređaja za vaganje).....	31
Slika 32. Ladder dijagram(upravljanje aktuatorima spremnika miješalice).....	32
Slika 33. Shema visoke peći za staklo.....	33
Slika 34. Ladder dijagram(regulacija temperature).....	33
Slika 35. ST kod function block-a konverzija temperature taljenja.....	35
Slika 36. ST kod function block-a PI regulator taljenja	36
Slika 37. Ladder dijagram (sustav prekidanja staklene niti)	37
Slika 38. ST kod-iznos timer-a.....	37
Slika 39. Home screen sučelje.....	38
Slika 40. Pogon za pripremu smjese	38
Slika 41. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (punjenje spremnika uređaja za vaganje). ..	39
Slika 42. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (punjenje spremnika miksera).....	40
Slika 43. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (spremnik miksera)	41
Slika 44. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (završetak ciklusa i početak novog).....	42
Slika 45. Izbornik regulacije temperatura	43

Slika 46. Temperatura taljenja-grafičko sučelje.....	44
Slika 47. Temperatura bistrenja-grafičko sučelje.....	45
Slika 48. Radna temperatura-grafičko sučelje.....	46
Slika 49. Grafičko sučelje sustava za prekidanje staklene niti.....	47
Slika 50. Globalne varijable	48
Slika 51. Lokalne varijable funkcijskog bloka (konverzija temperature)	48
Slika 52. Lokalne varijable funkcijskog bloka (PI regulator)	48
Slika 53. Lokalne varijable funkcijskog bloka timer	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Pregled supstanci za bojenje stakla	15
Tablica 2. Pregled sastava raznih vrsta stakla	16
Tablica 3. Prikaz ulaza, izlaza i pomoćnih signala unutar GX Works3 programskog sučelja.	26
Tablica 4. Koeficijenti za konverziju termonapona u temperaturu	34

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
A	$\frac{Ns}{m^2}$	Karakteristična veličina
B	K	Karakteristična veličina
T_0	K	Karakteristična veličina
η	$\frac{Ns}{m^2}$	Koeficijent viskoznosti
T_g	°C	Temperatura staklastog prijelaza
τ	s	Vremenski interval
T_{a1}, T_{a2}	°C	Temperature područja odigravanja
T_{w1}, T_{w2}	°C	Temperature radnog područja
n		Indeks loma

SAŽETAK

Ovaj završni rad opisuje načelno rješenje problema upravljanja materijalnim tokovima sirovina za proizvodnju stakla. Da bi to bilo moguće bitno je upoznati sam proces nastanka stakla od skladištenja materijala pa sve do naposljetku dobivenog homogenog i krhkog stakla. U tom procesu su prije svega bitne smjese sirovina i termička obrada tih sirovina. Pri proizvodnji izlaznih proizvoda teži se identičnosti, a to se najprije ostvaruje automatizacijom svih procesnih radnji. U tu svrhu se primjenjuju hardware programabilnog logičkog kontrolera i njemu pripadajući software čija se implementacija pokazuje na grafičko operatorskom sučelju. Ovaj sustav za svoju realizaciju treba izvršne članove tj. aktuatore i senzore uz pomoć kojih pratimo slijed proizvodnje. U radu je stoga prikazana razrada tehnoloških procesa i njihove automatizacije korištenjem upravljačkog uređaja i programske podrške tvrtke Mitsubishi Electric.

Ključne riječi: Staklo, tehnološki procesi, proizvodnja, automatizacija, programabilni logički kontroler.

SUMMARY

This bachelor thesis outlines the principal solution of the problem of managing raw materials for glass production. For this to be possible, it is important to become familiar with the process of glass manufacturing from the storage of materials all the way to the finally produced homogeneous and brittle glass. In this process, mixtures of raw materials and heat treatment of these raw materials are essential. The output products need to have practically identical physical properties, and this is primarily achieved by automating all process operations. For this purpose, the hardware of the programmable logic controller and the associated software are used. The implementation of this is shown on the operator interface. This technological process needs actuators and sensors with the help of which we monitor the production sequence. Therefore, this thesis presents the analysis of technological processes and their automation using control devices and software from Mitsubishi Electric Company.

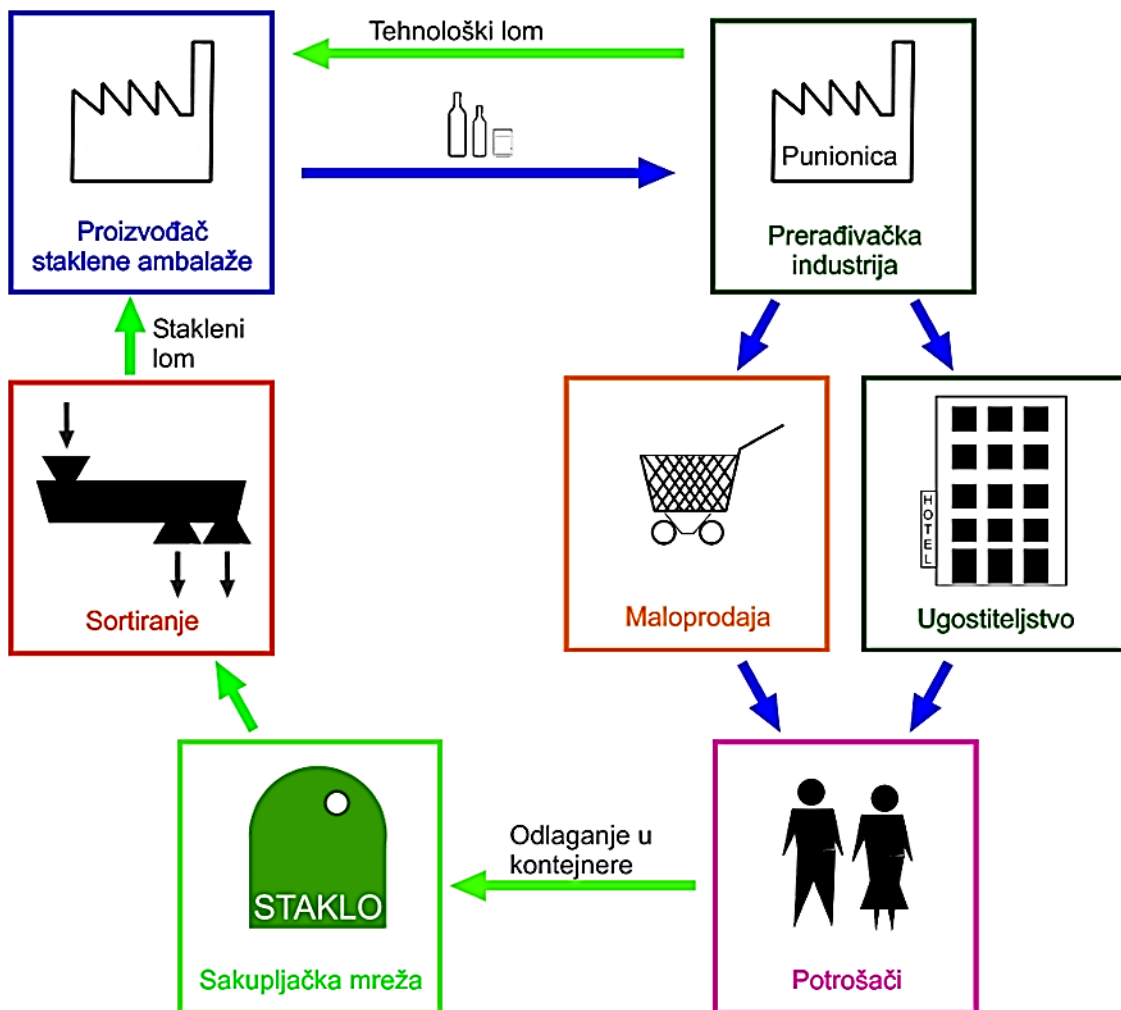
Keywords: Glass, technological processes, manufacturing, automation, programmable logic controller.

1. UVOD

Staklo ima vrlo široku upotrebu u današnjem vremenu što je vidljivo u svakodnevnom životu. Naši prozori, boce, obilje laboratorijskog posuđa, leće, električne žarulje, čaše, termometri i mnogo drugih predmeta koji su dio naše svakodnevice načinjeni su od neke vrste stakla. Staklo je star materijal koji čovjek poznaje od svoje najranije povijesti, od tada pa do danas umijeće dobivanja i obrade stakla razvilo se do pravog savršenstva. Pokazalo se da se u staklenoj formi mogu dobivati najkompliciraniji oblici puhanjem i lijevanjem te da se može rezati, brusiti, polirati i bojiti. Staklo je staro kao i naš planet te može nastati i prirodnim putem udarom groma ili vulkanskom erupcijom. Staklo nastalo prirodnim putem naziva se vulkansko staklo, takvim staklom služili su se ljudi u kamenom dobu te su od njega pravili oružje i nakit. Najstariji zapis o otkriću stakla dolazi iz 23. godine prije naše ere, sodom izgrađeno ognjište na pješčanoj plaži prouzročilo je bistru i prozirnu tekućinu koja se skrutila u čvrstu masu. Jedno od najvažnijih svojstva stakla je njegova mogućnost gotovo potpunog recikliranja. Staro rabljeno staklo se bez poteškoća pretvara u nove staklene proizvode, nadalje smrvljeno rabljeno staklo može se koristiti kao aditiv za razne građevne materijale ili cestovne prevlake. Na kraju preostalo staklo može se baciti na prikladna mjesta te pritom neće izazvati ozbiljnije ekološke probleme jer je ono nepromjenjivo, ne korodira i kemijski se ne raspada. Iako staklo može nastati prirodnim putem njega najčešće ne nalazimo u prirodi već je ono nastaje u tvornicama za proizvodnju stakla[1]. Staklo se definira kao čvrsta amorfnu tvar nastala miješanjem kvarcnom pijeska, sode i vapnenca potom njihovog taljenja te na kraju kontinuiranim hlađenjem tekuće faze. Stakla su homogene mješavine vrlo komplicirana sastava. Postoji ogroman broj različitih vrsta stakla, primjerice samo jedna tvornica raspolaže sa desecima tisuća recepata za proizvodnju. Ipak broj komponenata koje ulaze u sastav nije tako velik, to je svega desetak spojeva mahom metalnih oksida.

2. PROIZVODNJA

Staklo uvijek ostaje u pozitivnom odnosu prema prirodi jer se može bezbroj puta reciklirati i upotrijebiti za proizvodnju novih staklenki. Ili će trgovina svoje proizvode vratiti u opticaj u povratnim pakiranjima, a punionica će ih nakon upotrebe očistiti i ponovo napuniti, ili će se rabljene staklenke preko kontejnera za staklo i postrojenja za recikliranje stakla vratiti u staklanu, gdje će se preraditi i pripremiti za izradu novih staklenki. Energija koja se uštedi recikliranjem jedne staklene boce dovoljna je da žarulja od 100W svijetli 4 sata. Staklo proizvedeno od recikliranog materijala smanjuje onečišćenje zraka u procesu proizvodnje za 20%, a onečišćenje vode za 50%. [5]



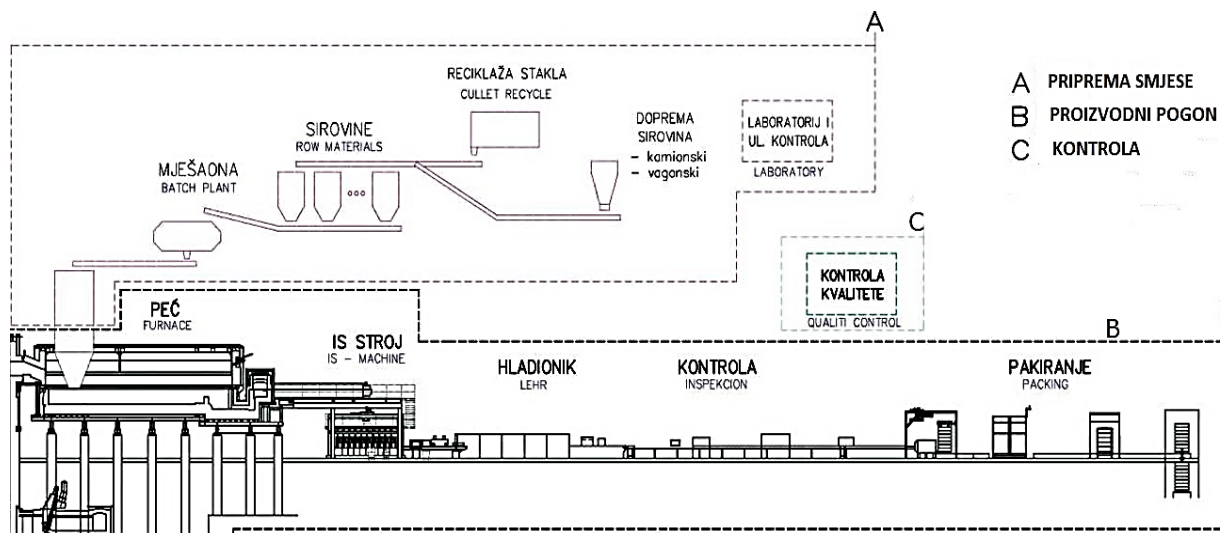
Slika 1. Kružni tok staklene ambalaže

2.1. Procesi proizvodnje

Tehnološki proces proizvodnje stakla sastoji se iz pet osnovnih faza, a to su:

- priprema sirovina
- taljenje
- oblikovanje
- hlađenje i kontrola
- skladištenje proizvoda

U nastavku se detaljno opisuju ključne faze proizvodnje stakla.



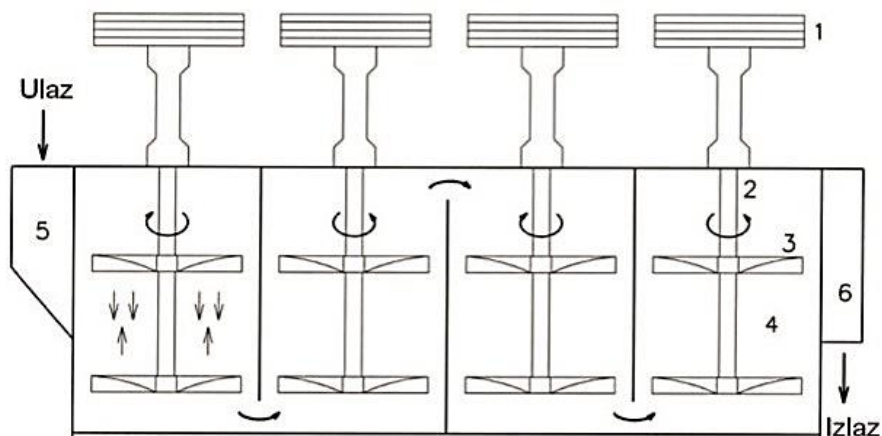
Slika 2. Kompletni proizvodni proces

2.1.1. Priprema sirovina

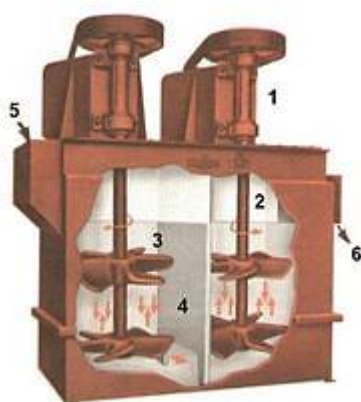
Kao i u svakom drugom proizvodnom procesu za potrebe proizvodnje stakla na početku se mora raspolagati nekom sirovinom ili sirovinama. Sirovine koje se koriste za proizvodnju stakla moraju imati nepromjenjiv kemijski sastav, optimalnu granulaciju, minimalni postotak vlage te minimalni sadržaj štetnih primjesa. Kvaliteta sirovina propisana je tehničkim normama i standardima ovisno o vrsti stakla koje se proizvodi. Osnovne sirovine za proizvodnju stakla su kvarcni pijesak, soda i vapnenac. Kao pomoćne sirovine koriste se dolomit, feldspati, aluminij hidroksid, natrij sulfat, kromit te ugljen što se upotrebljava kao bojilo i bistrilo taljive smjese. Isto tako u velikom udjelu se kao ulazna sirovina koristi reciklirani stakleni krš. Taj krš se nalazi u sortirnici krša dok se kvarcni pijesak, soda i vapnenac nalaze u silosima. Odatle se pokretnim trakama transportiraju do stanica za pripremu sirovina.

Prilikom pripremanja sirovina za tehnološki proces proizvodnje stakla vrši se: oplemenjivanje, mljevenje, sušenje i prosijavanje sirovinskih materijala. Oplemenjivanje se može jednim dijelom vršiti u atricijskom uređaju što se primjenjuje kod osnovne sirovine (kvarcnog pijeska). Atricijsko čišćenje je proces u kojem se nečistoće vezane za površinu zrna skidaju s površine uslijed abrazije prouzročene intenzivnim trenjem tj. međusobnim trljanjem zrna. Takvo intenzivno međudjelovanje zrna postiže se miješanjem guste vodene suspenzije u atricijskoj ćeliji. Miješanje suspenzije ostvaruje se vrtnjom posebno konstruiranog rotora (impelara) pogonjenog motorom.[4]

Metoda oplemenjivanja se i sastoji iz sljedećih operacija: pranja, flotacije, elektromagnetne separacije i kemijskog pročišćavanja.



Slika 3. Shema atricijskog uređaja za oplemenjivanje kvarcnog pijeska s 4 ćelije



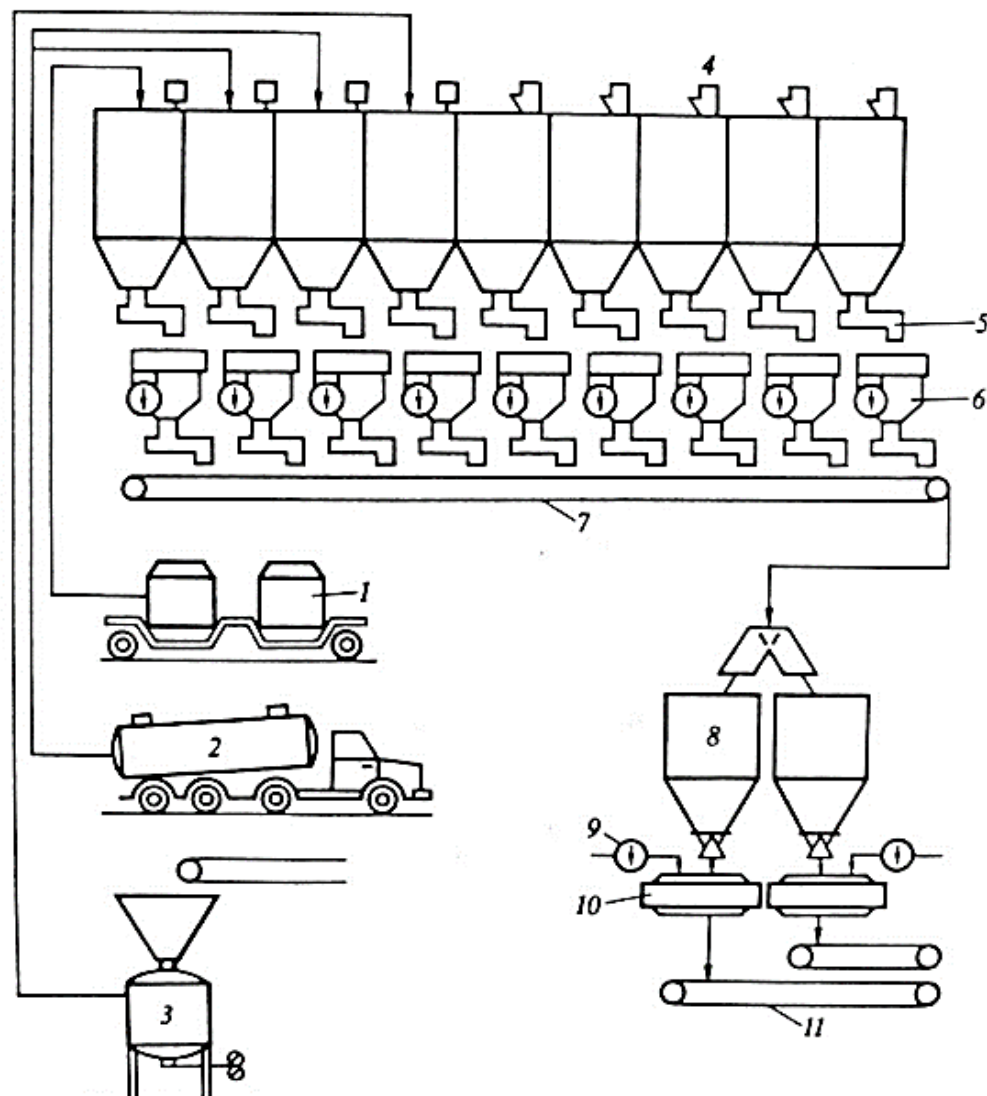
Slika 4. Prikaz atricijskog uređaja za oplemenjivanje kvarcnog pijeska s 2 ćelije

Na slikama 3. i 4. se vide atricijski uređaji za oplemenjivanje kvarcnog pijeska (1-pogonski motor, 2-osovina impelera, 3-lopatica impelera, 4-atricijska ćelija, 5–ulaz vodene suspenzije, 6-izlaz vodene suspenzije)

Pranjem se eliminiraju komponente koje su lakše od kvarcnog pijeska. Nakon pranja pijeska dolazi flotacija, pri kojoj se otklanjaju kombinirani metali koji su prisutni u obliku tanke opne na površini zrna pijeska. Elektromagnetnom separacijom se potpuno otklanjaju metali iz svih prirodnih sirovina. Najviši stupanj čistoće pijeska se postiže kemijskim metodama pročišćavanja.

Drobljenje i mljevenje je sljedeći korak u pripremi sirovina. Drobljenje se izvodi u drobilicama, čiji su produkti zrna veličine 30-50 mm. Nakon drobljenja ova sirovina se šalje na mljevenje gdje se postiže krupnoća zrna prema tehnološkim normama, tj. ne smije biti veća od 0,75 mm.

Sušenje se odvija na različitim temperaturama koje zavise o vrsti sirovine, tako da se pijesak suši na 700-800 °C, a vapnenac i dolomit na 400°C. Dobivanje zadovoljavajućeg granulometrijskog sastava postiže se prosijavanjem.



Slika 5. Pogon za pripremu smjese za taljenje

(1-kvarcni pijesak, 2-soda i vapnenac, 3-pneumatska dostava dolomita, 4-silosu za ostale osnovne i pomoćne sirovine, 5-dozeri, 6-uređaji za vaganje, 7-pokretna traka, 8-spremnik, 9-dodavanje vode, 10-miješalica, 11-otpremnna traka)

Tehnološki postupak pripreme mješavine se sastoji od odmjeravanja i miješanja određenih količina pripremljenih sirovina. Prije uvođenja u peć smjesa se ovlaži sa 4 - 5 % vode, što povoljno utječe na proces taljenja. Što se tiče sastava granula, najveća dozvoljena veličina zrna za kvarcni pijesak, vapnenac i dolomit je 0,75 mm, a za sodu do 0,8 mm.

2.1.2. Termička obrada

Taljenje stakla je složen fizičko kemijski proces koji se odvija pod utjecajem topline u cilju dobivanja viskozne otopine stakla iz staklarske smjese. Ovaj proces se odvija u šamotnim pećima velikih razmjera. Takve peći imaju ugrađene blago ukošene kanale kako bi talina prirodno prolazila proces. Veoma je bitna činjenica da staklo nema jasno definirano talište već ono ovisi o sastavu sirovina i općenitoj namjeni i vrsti stakla. Soda ovdje dolazi do izražaja jer smanjuje temperaturu tališta kvarcnog pijeska kao jedinstvene smjese. Pri temperaturi od 500°C veze pucaju te se smjesa sirovina omekšava.

Proces termičke obrade se sastoji od 3 faze:

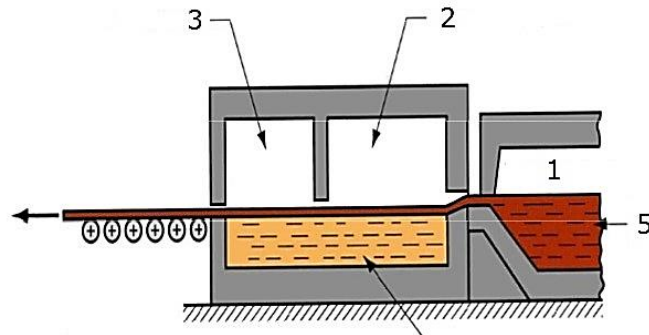
- 1. faza-Taljenje (800-1200 °C)-oslobađa se ugljikov dioksid te staklena smjesa prelazi u taljevinu



Slika 6. Prikaz taljenja

- 2. faza-Bistrenje (1450°C)- dolazi do oslobađanja vidljivih plinskih mjehura iz staklene mase (poboljšavanje kvalitete taljenje mase) uz homogenizaciju (dobiva se staklena masa kojoj su kemijski sastav i fizičko-mehaničke, toplinske i optičke osobine iste u svim dijelovima)

- 3. faza-Odstojavanje (900°C)-homogena staklena masa se postepeno dovodi na temperaturu koja odgovara izabranom načinu oblikovanja.



Slika 7. Kadna peć

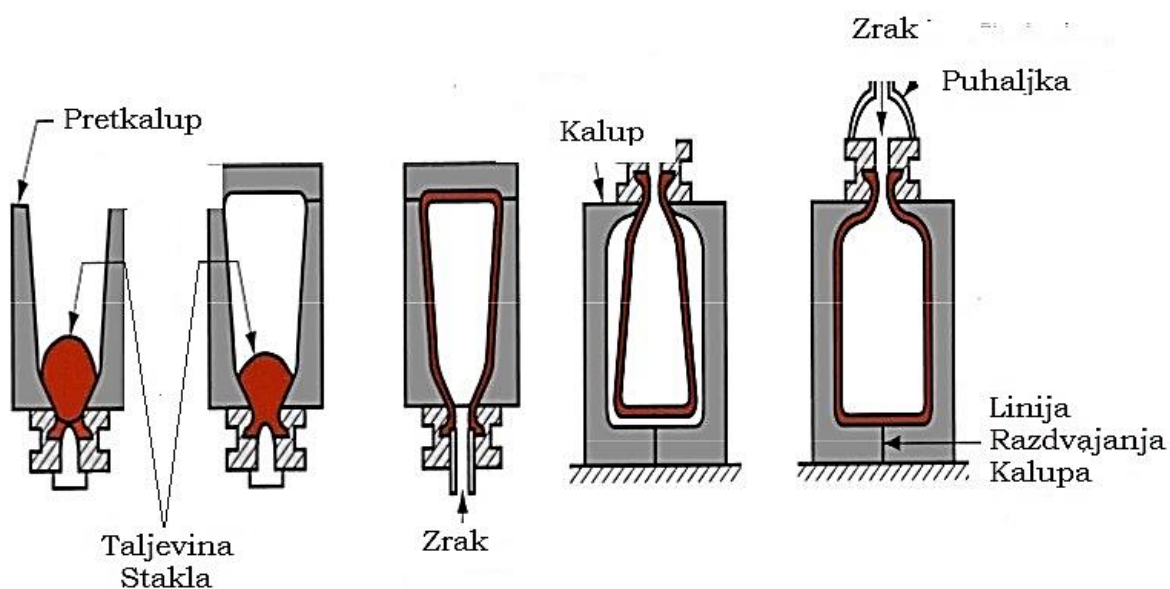
1-Zona taljenja: 1000°C, 2-Zona bistrenja: 1450°C, 3-Radna Zona: 900°C, 4-Kapljevina kositra, 5-Kapljevina stakla

U kadnoj (koritastoj) peći proces taljenja se odvija kontinuirano. U njima se obično tope bezbojna stakla. Pri ulazu u visoku peć vidljiva je homogenizirana mješavina sirovina, dok se na izlazu istopljeno staklo šalje na preradu. Staklena masa se stalno kreće, a u peći se formiraju tri zone: zona taljenja, zona bistrenja i radna zona.[4]

2.1.3. Oblikovanje stakla

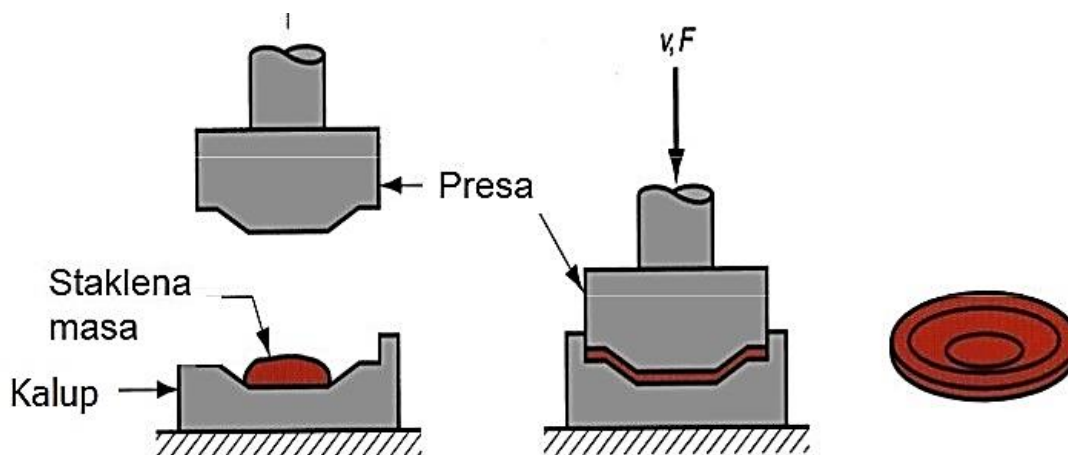
Oblikovanje stakla je proces pri kojem se iz rastopa dobije proizvod određenog oblika. Metode oblikovanja stakla su raznovrsne, ne traže velike utroške mehaničke energije i ne zahtijevaju dug vremenski period. To je zato što staklo iz stanja taline lako dobije zahtijevani oblik. Na osnovu toga tu su različite mogućnosti oblikovanja: kalupljenje, prešanje pod pritiskom, izvlačenje, oblikovanje puhanjem u kalupu ili bez kalupa, istiskivanje u veoma fina vlakna i spajanje dvije različite vrste stakla u višeslojne proizvode ili kombinacija navedenih metoda.[5]

- Puhanje-predmeti kompliciranih oblika izrađuju se puhanjem pomoću specijalne lule dužine 1,5 m. Okretanjem puhačke lule oko svoje ose i puhanjem zraka kroz nju dobiva se kruškasti oblik koji se unosi u kalup gdje se predmetu daje konačan oblik. Mogućnosti ovog načina oblikovanja su široke. Njima se izrađuju složeni oblici koji mogu biti od više vrsta stakla.



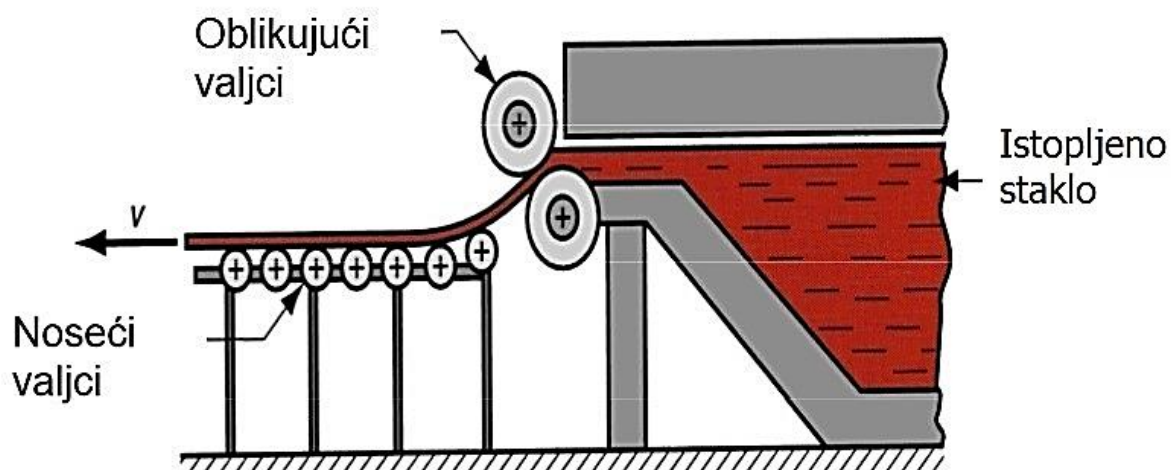
Slika 8. Metoda puhanja za oblikovanje stakla

- Prešanje-stakleni predmeti manjih dimenzija (debele čaše, pepeljare itd.) oblikuju se prešanjem pod pritiskom u kalupima određenih oblika. Određena količina staklene mase ubacuje se u kalup koji je zagrijan, jezgra se polako spušta te kroz prsten ulazi u kalup. Pod pritiskom se staklena masa raspoređuje po kalupu poprimajući njegov oblik. Tako slobodni prostor karakterizira veličinu, izgled i oblik artikla.



Slika 9. Prešanje stakla

- Izvlačenjem između valjaka oblikuju se ravna stakla. Debljina se regulira međusobnim razmakom vatrostalnih valjaka od azbesta.



Slika 10. Izvlačenje stakla

2.1.4. Hlađenje i kontrola stakla

S kalupne strane staklarskog stroja stakleni se proizvodi guraju na transportnu traku, gdje se nakon prve vizualne kontrole upućuju prema hladnjaka. Tamo se postepeno hlade na 130°C (cca. 60 minuta). Stakleni spremnici se moraju hladiti postepeno jer bi u protivnom došlo do prevelikih unutarnjih naprezanja, pa bi oni postali krhki i lako lomljivi, a samim time neupotrebljivi. Potom se oplemenjuju kako bi im se poboljšala otpornost na mehanička oštećenja. Površina stakla prekriva se slojem emulzije.[5]

Zatim se optički, mehanički i elektronski ispituju napukline, uklopine, deformacije i ostale greške na proizvodima, a jedan dio njih se u laboratoriju podvrgava strogim fizikalnim i kemijskim kontrolama.

2.1.5. Skladištenje konačnih proizvoda

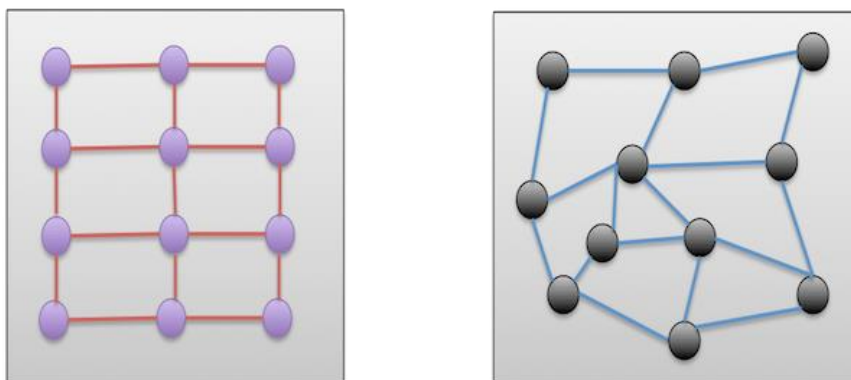
Boce se slažu na označene palete i prekrivaju folijom te se isporučuju punionicama. Konfekcioniranje tih stabilnih i higijenski besprijekornih skladišnih i transportnih jedinica vrši se uglavnom automatski. U velikim skladišnim halama, smještenim u neposrednoj blizini ceste i željeznice, skladište se palete s gotovom robom, tako da se uvijek pravovremeno mogu isporučiti. [5]



Slika 11. Paletizacija gotovih proizvoda

2.2. Definicija i karakterizacija stakla

Staklo se po svojoj unutarnjoj strukturi razlikuje od čvrstih tijela – kristala. To se ustanovi promatranjem plohe prijeloma. Bezobličan prijelom je karakteristika amorfne strukture što je dokaz stakla. Ako je pak prijelom pravilan, a na njemu se nazire zrnata struktura, radi se o kristaličnom materijalu. Dok je kristal pravilna trodimenzionalna građevina tih čestica, tvar s bezobličnim presjekom je nepravilne građe. Međuatomni razmaci i kutovi veza nisu jednaki duž čitavog uzorka, već variraju od mjesta do mjesta i od atoma do atoma. Takve tvari nose zajednički naziv amorfne ili nekristalične strukture. One obuhvaćaju široku porodicu materijala kao što je sumpor, selen, plastične mase, amorfni ugljik i staklo. Kristalne tvari prelaze u tekućine na određenoj temperaturi (talište), a amorfne se povišenjem temperature postupno smekšavaju i tale. Stoga možemo reći kako je staklo pothlađena tekućina.



Slika 12. Dvodomenski prikaz kristala i stakla

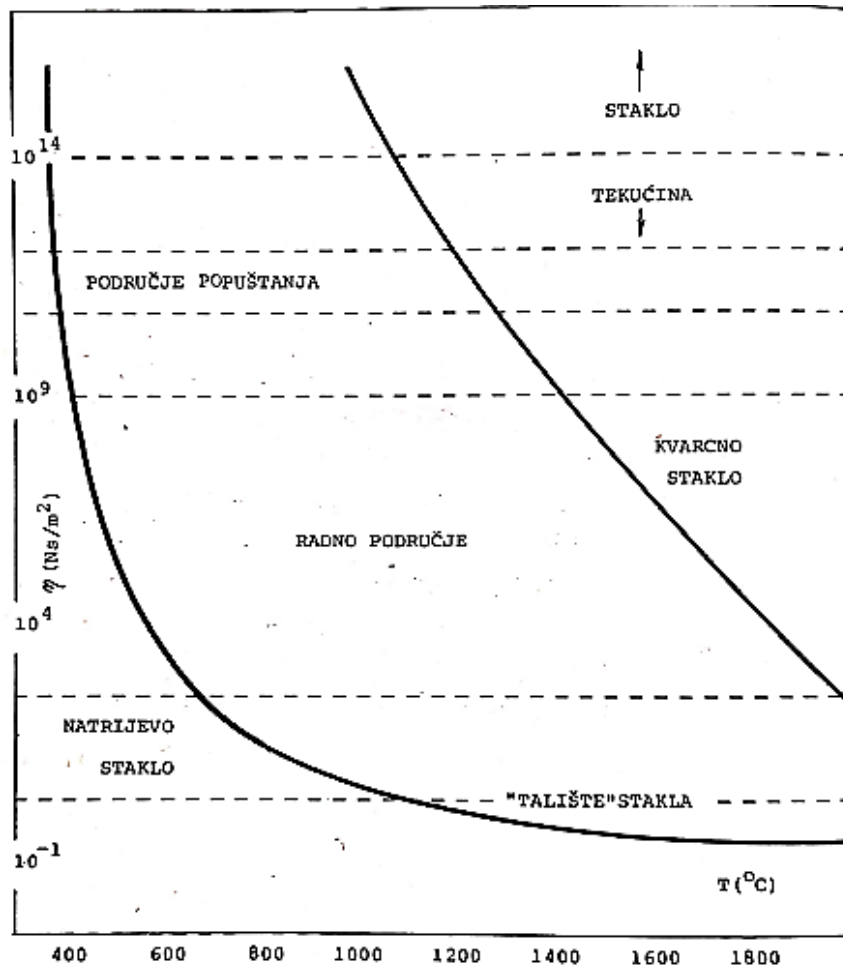
Ono se isključivo dobiva skrućivanjem rastaljene tvari. Među najbitnijim karakteristikama spojeva je njihovo talište. To je temperatura iznad koje prestaje stabilnost krute rešetke, a počinje stabilnost tekuće faze. Obrnuti proces, hlađenje tekućine ispod njena tališta izazvat će kristalizaciju. Skloni je zaključak da je stabilno stanje većine tvari na temperaturama nižim od tališta kristalično stanje. Budući da postoje stakla i drugi amorfni materijali na temperaturama mnogo nižim od tališta dolazi se do zaključka da je stabilno stanje tih tvari amorfno stanje. Pokusi su opovrgnuli taj zaključak i pokazali da produženo grijanje amorfni materijala na temperaturama tek nešto nižim od tališta vodi ipak do kristalizacije. To ujedno znači da bi kristalizacija nastupila i na nižim temperaturama ali kroz znatno dulje vrijeme. Drugim riječima, svaka nekristalična tvar, a to znači i staklo, ne nalazi se u termodinamičkoj ravnoteži s okolinom i ona će s vremenom prijeći u svoje stabilno kristalično stanje. Vrijeme prijelaza ovisno o temperaturi može iznositi od svega par sekundi pa do tisućljeća. [1]

Nestabilnost amorfnih materijala daje nam do znanja da se oni mogu preparirati samo u posebnim uvjetima što podrazumijeva izbjegavanje kristalizacije. Kod silikatnog stakla prijelaz u amorfno (staklasto) stanje zbiva kod relativno sporog ohlađivanja. Pri čemu koeficijent viskoznosti η raste. On se mijenja s promjenom temperature zbog čega vrijedi Fulcherova relacija:

$$\eta = A C^{\frac{B}{T-T_0}} \left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

Kojoj su $A = 1,42 * 10^{-1} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$, $B = 3\,612 \text{ K}$, $T_0 = 543,5 \text{ K}$ konstante karakteristične veličine za natrijevo staklo.

Konvencionalno, iznad $\eta = 10^{14} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ prestaje se supstancu smatrati tekućom pri čemu je T_g temperatura staklastog prijelaza kod natrijevog stakla ($T_g = 380^\circ\text{C}$) [Slika 13]. Koeficijent viskoznosti proporcionalan je s vremenom τ koje je potrebno za preraspodjelu molekula u tekućini. T_{a1} i T_{a2} pri $\eta = 10^{12} \dots 10^{11} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ određuju „područje popuštanja ili odigravanja“ [Slika 13]. Staklo se ne grije i ne hladi nejednoliko jer uslijed toga se javljaju napetosti i unutarnja naprezanja koja mogu izazvati pucanja gotovih proizvoda. Tada se kod izrade kvarcnog stakla gotovi proizvodi ugrijavaju još jednom upravo u zoni popuštanja. Vrijeme τ u tom području je između nekoliko minuta i nekoliko sati. [1]



Slika 13. Koefficient viskoznosti kvarcnog i natrijevog stakla

Za obradu stakla najvažnije je „radno područje“ pri $\eta = 10^9 \dots 10^3 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$. Njega za svaku vrstu stakla određuju karakteristične temperature T_{w1} i T_{w2} . Tada je staklo dosta mekano te podliježe vrlo brznoj deformaciji, ali se mora voditi računa o vremenskom intervalu τ koje iznosi otprilike minutu dvije unutar kojeg se mora konačni oblik formirati. Ovdje vrijedi naći optimum između viskoznosti stakla i vremena τ .

Temperatura T_{w1} pri $\eta = 10 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ se dogovorno naziva „talištem“ što se po terminologiji ne slaže sa slikom [slika 15.] jer su u njoj sva stanja ispod $\eta = 10^{14} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ nazvana tekućinom. Zato je prikladnije područje $\eta = 10^{14} \dots 10 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ nazvati viskozno područjem.

2.3. Vrste, sastav i svojstva

Glavni sastojak svih vrsta stakla je silicij dioksid ili kvarc. Struktura rastaljenog i staklastog kvarca nazivamo nepravilna kontinuirana rešetka. Kvarcno staklo nastaje isključivo od silicij dioksida te je jako dragocjen laboratorijski materijal, no gledajući sa gledišta njegove obrade vrlo je „neugodan“. Sve karakteristične temperature su mu vrlo visoke, što otežava obradu.

Troškovi za druge vrste stakla su znatno manji te im je obrada jednostavnija, upravo zbog nižih karakterističnih temperatura. Tu promjenu u svojstvima izazivaju razne primjese koje se dodaju silicij dioksidu kao osnovnoj strukturi te imaju cilj modificirati čvrstu kemijsku vezu Si-O-Si. Na primjer, dodavanjem Na_2 rešetka oslabi što dovodi do snižavanja temperaturi. U industriji se rijetko koriste komponente čistog kemijskog sastava već metalni oksidi.

Staklo se po želji može i obojati za što se koriste određene supstance.

Tablica 1. Pregled supstanci za bojenje stakla

SUPSTANCE ZA BOJANJE	BOJA
Spojevi kobalta	Plavo
Spojevi magnezija	Ljubičasto
Spojevi zlata ili srebra	Crveno
Spojevi urana ili srebra	Žuto
Spojevi cerija	Smeđe
Spojevi iridija	Crno
Spojevi bakra ili kroma	Zeleno
Fluoridi ili fosfati	Bijelo

Fizička i kemijska svojstva od iznimnog su značaja kod proizvodnje. Najvažnije svojstvo je koeficijent viskoznosti i njegova temperaturna ovisnost. Jednaku važnost ima i koeficijent termičkog širenja. On se definira kao promjena u duljini uzorka jedinične dužine pri promjeni temperature od jednog stupnja. Naime, zbog nejednolikog grijanja ili hlađenja stakla s velikim koeficijentom termičkog širenja, dolazi do znatnih mehaničkih naprezanja. Neizbježna su optička svojstva, u prvom redu indeks loma i prozračnost za svjetlost određene valne duljine. Sastavom stakla indeks loma se mijenja ($n=1,45...1,9$). Prozračnost postaje bitna kada određeno staklo mora biti prozirno za određene valne duljine. [1]

2.3.1. Kvarcno staklo

Velika stabilnost prema većini kiselina i lužina, te sposobnost da izdrži jače termičke šokove daje mu izvanredna svojstva za izradu raznog laboratorijskog posuđa koje može podnijeti i visoke temperature. Također je jedinstven neobični nizak koeficijent termičkog širenja. Mehanička svojstva su također izvanredna te se tanke niti koriste kao elastična pera u mnogim fizičkim instrumentima.

2.3.2. Natrijevo staklo

Ima niske karakteristične temperature te ga možemo svrstati u grupu lako obradivih stakla. Posljedica jednostavne industrijske obrade je široka i masovna uporaba gotovo svih predmeta svakodnevne potrošnje. U slici 13 je korišteno kao usporedba kvarcnom staklu.

2.3.3. Borosilikatno staklo

Nastaje pri pokušajima zadržavanja svojstva kvarcnog stakla uz snižavanje poteškoća njegove obrade. Dodavanjem bortrioksida znatno smanjuje viskoznost bez da mu previše uvećava koeficijent termičkog širenja. Nosi laički naziv „Vatrostalno staklo“.

Osim tih vrsta značajna su još i olovno staklo s velikom gustoćom i izolatorskim svojstvima te optička stakla. [3]

Tablica 2. Pregled sastava raznih vrsta stakla

	SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	PbO	As ₂ O ₃
Pyrex No 7740	80,5	12,9	3,8	0,4	0,6	-	2,2	-	-	-	-
Nonex, staklo-metal sp.	73,0	16,5	-	4,5	-	-	-	-	-	6,0	-
Staklo za žarulje	73,5	-	15,0	1,5	5,4	4,5	-	0,1	-	-	-
Olovno staklo	61,5	-	8,8	5,3	-	-	-	0,8	-	23,6	-
Prozorsko staklo	72,68	-	13,25	-	12,76	0,26	-	-	-	-	-
Staklo za boce	63,0	-	7,6	6,0	0,3	0,2	-	-	0,2	21,0	0,05
Jena supremax	57,3	23,6	1,9	0,5	4,7	8,7	3,0	0,2	-	-	-
Nakit za bor	68,0	-	22,0	-	7,0	-	3,0	-	-	-	-

3. OPIS KOMPONENTI PLC SUSTAVA

PLC (engl. Programmable logic controller) je programabilni logički kontroler koji se sastoji od memorije, procesora te industrijskih ulaza i izlaza. Ulazi su razne sklopke, mjerni instrumenti, tipkala, pretvornici i senzori. Za izlaze se najčešće koriste aktuatori, motori itd. PLC se najviše koristi u industriji kao osnovni dio upravljačkih procesa. Naziva se još „industrijsko računalo“ te je pogodan za brzo rješavanje problema. Program programabilnog logičkog kontrolera se sastoji od 3 dijela . Prvi je čitanje vrijednosti ulaznih varijabli, zatim slijedi izvršavanje zadanog programskog koda s definiranim vrijednostima ulaza te na kraju ispis rezultata logičkih operacija na izlaze PLC-a. Pogodan je za teške uvjete rada, otporan na vibracije, temperaturne promjene i električne smetnje. [6]

3.1. Mitsubishi (FX5U-32MT/ESS)

Ovaj rad je temeljen na PLC-u tvrtke Mitsubishi serije MELSEC iQ-F kojeg odlikuju napredne funkcije, unaprijeđena sigurnost i intuitivno programiranje. Serija Mitsubishi MELSEC-F doživjela je mnoga poboljšanja, stvarajući mjesto za sljedeću generaciju MELSEC iQ-F serije, s poboljšanom sabirnicom velike brzine, proširenim ugrađenim funkcijama i nadograđenim sigurnosnim postavkama. Najveće prednosti su mu podrška za analogne signale(ulazne ili izlazne) i ugrađena komunikacija sa ostalim PLC-ima, sensorima, aktuatorima i uređajima potrebnim za sustav kojim se upravlja. Ima velike prednosti kod upravljanja servo i step motora zbog mogućnosti pozicioniranja u 4 osi. Za učinkovito traženje grešaka koristi se RUN/STOP/RESET sklopka. [8]



Slika 14. Mitsubishi FX5U-32MT/ESS programabilni logički kontroler

3.2. Human Machine Interface (GS2107-WTBD)

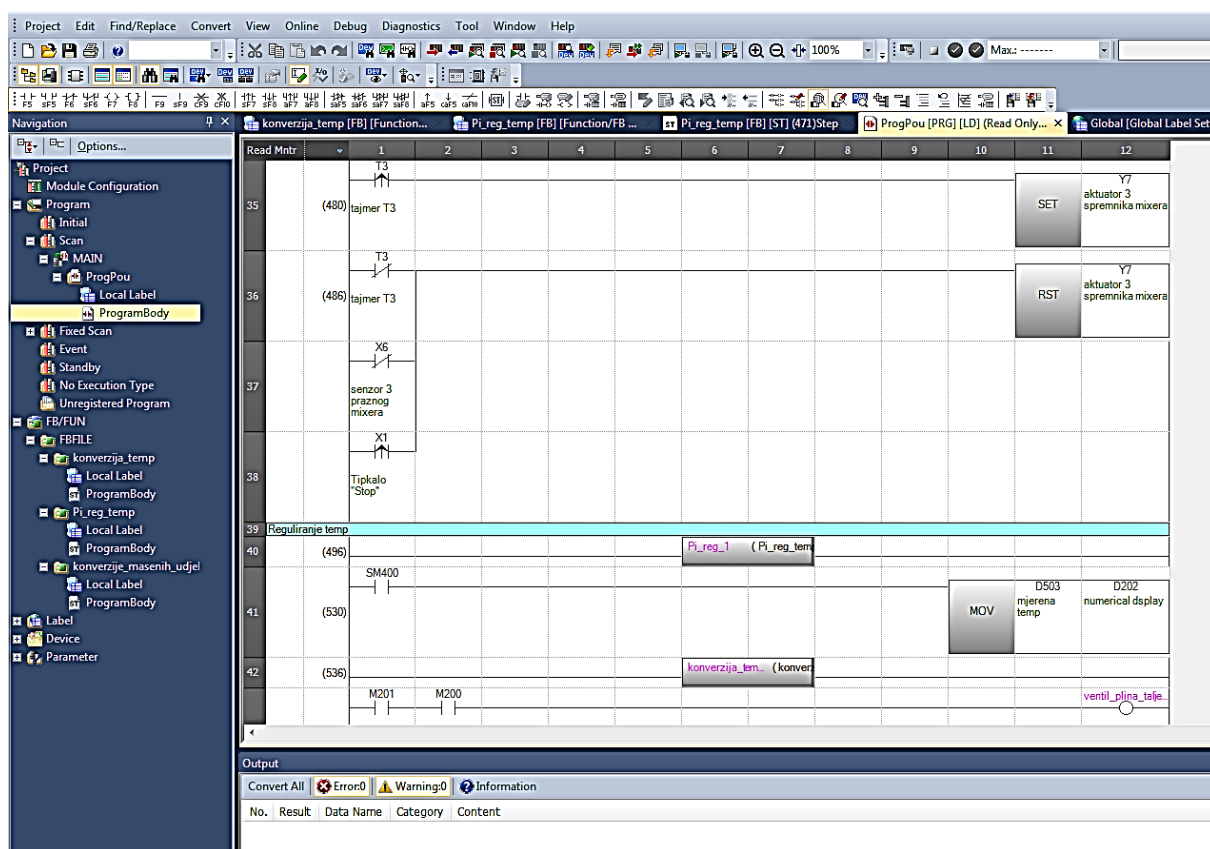
Human Machine Interface, HMI (Korisničko sučelje) povezuje operatera i upravljačku jedinicu. HMI posjeduje komponente za signalizaciju i upravljanje sustava automatike te prevodi podatke industrijskih procesa sustava u jezik koji je razumljiv svakom korisniku. UZ HMI korisnik promatra sustav te ga njime pokreće, upravlja, vrši nadzor uz razne indikatore, grafove i sl. HMI modul povezan je sa PLC-om te je na njemu moguće prikazati virtualne elemente senzora, mjernih uređaja itd. Softver za konfiguriranje HMI-a je GT Designer3. U ovom radu koristi se GS2107-WTBD korisničko sučelje preko kojeg se simuliraju svi ulazni i izvršni elementi, određuju numeričke vrijednosti te prati ponašanje procesa. Komunikacija između PLC-a i HMI-a moguća je pomoću USB kabela sa računalom i Ethernet vezom. [10]



Slika 15. HMI uređaj (grafičko sučelje prema korisniku)

3.3. GX Works3

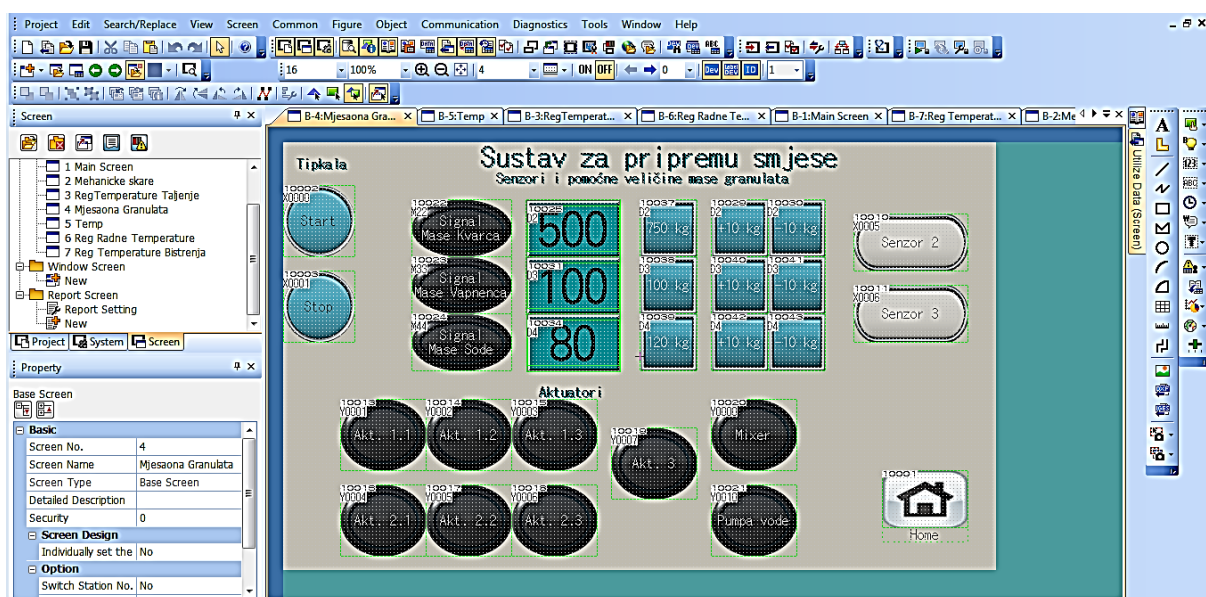
GX Works3 je Mitsubishi-ev softver za programiranje. U njemu su dostupni unaprijed instalirani objekti u knjižnici softvera. Softver uključuje mnoštvo novih značajki i tehnologija koje osiguravaju brzo i efikasno rješenje inženjerskih problema.. Podržava različite programske jezike (ladder, structured text, function block) koji se koriste unutar programa istovremeno. Varijable i uređaji koji se koriste u svakom programu mogu se dijeliti na više platformi s podrškom za prilagodbu funkcionalnih blokova. U ovome radu će se na temelju GX Works-a upravljati sirovinama za proizvodnju stakla. [11]



Slika 16. GX Works3 programsko sučelje

3.4. GT Designer

GT Designer je Mitsubishi-ev softver za dizajniranje grafičkog sučelja. Ima mogućnost stvaranja prozora za unos podataka, tipkala i različitih vrsta signala i skica kroz integriranu knjižnicu. Po završetku dizajna zaslona pokreće se simulacija koja služi kao provjera samog programa unutar GX Works3 te oni zajedno djeluju kao jedna cjelina. Korisničko sučelje je moguće koristiti i za upravljanje PLC-a uz dizajn zaslona s potrebnim tipkalima koji su povezani sa kontaktima PLC-a.



Slika 17. GT Designer razvojno okruženje

4. SENZORIKA, AKTUATORI I MJERNI ČLANOVI

4.1. Linearni aktuator proizvođača FESTO

Linearni aktuatori pretvaraju kružno gibanje električnog motora u pravocrtno ili linearno kretanje. Imaju malu masu, djeluju tiho, trebaju malo održavanja i pouzdano obavljaju svoj zadatak. Omogućuju velike sile i pogodni su za povremene radove.

Odabran je Linearni pogon tvrtke Festo DFPC-125. Najpogodnija karakteristika ovog aktuatora su sile od 7000 N koje može prouzročiti. Aktuator u ovom slučaju služi za zatvaranje odnosno otvaranje pojedinih silosa u šarži. [12]



Slika 18. Linearni aktuator

4.2. Mikser granulata

Potreban je mikser koji je otporan na toplinu i habanje. Također je važno da je u mogućnosti izmiješati sirovine u obliku granula za što je potrebna dobra dinamička izdržljivosti. [13]



Slika 19. Mikser granulata

4.3. Senzori razine granula

Vibracijski prekidač razine ne zahtijeva kalibraciju i dostupan je s relejnim, tranzistorskim ili strujnim izlazima. Kompaktan dizajn čini ovaj prekidač razine idealnim za instalaciju u ograničenom prostoru.



Slika 20. Vibracijski prekidač i Z-Tron prekidač

Z-Tron IV prekidač razine koji za razliku od lopatica, vibrirajućih zubaca ili drugih mehaničkih instrumenata nema komponenti koje bi se zaglavile, lomile ili istrošile. Nema potrebe za rutinskim održavanjem, čišćenjem ili zamjenom istrošenih dijelova. Ovaj prekidač za uključivanje/isključivanje nudi učinkovitu, jeftinu detekciju razine materijala u širokom rasponu primjena. Koristi se kao alternativa elektromehaničkim prekidačima razine. Ova sklopka razine je jednodijelna jedinica i lako se ugrađuje kroz otvor od 3/4 inča. [14]

4.4. Strojevi za vaganje granula

Elektronska vaga čija je greška vaganja najviše 0.5 kg. Dostupna su različita rješenja feedera kako bi se zadovoljili razni zahtjevi sustava.



Slika 21. Elektronska vaga

4.5. Ventil za plin (aktuator za upravljanje peći)

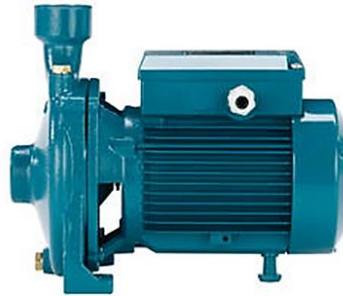
Ventil za plin za peć je sastavni dio sustava goriva visokih peći. Plinski ventil se otvara i zatvara, što omogućuje protok plina do kontrolnog svjetla i plamenika. [17]



Slika 22. Izvršni član kod reguliranja temperature (ventil)

4.6. Crpka za vodu

Prisutnost određene količine tekućine je iznimno bitna za miješanje sirovina u obliku granulata. Zato se koriste crpke za vodu radi dobave tekućine za suspendiranje smjese čime miješanje postaje lakše i brže te kako bi konačna smjesa bila homogena.



Slika 23. Crpka za vodu

4.7. Optički senzor gibanja

Senzor prisutnosti taline u šamotnom koritu.

Ovo su neke od njegovih pogodnih karakteristika:

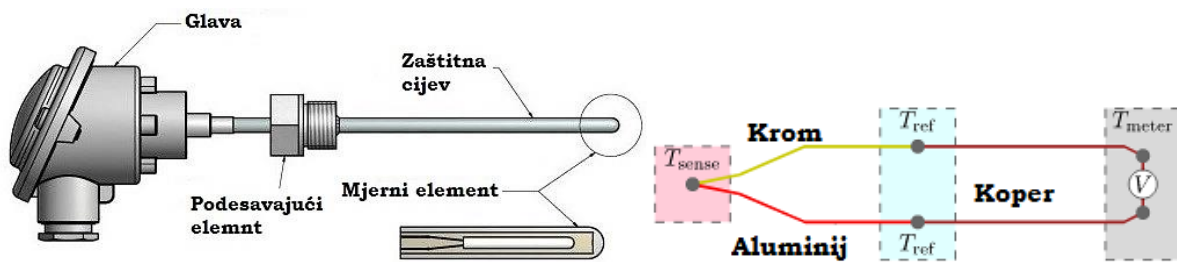
- -Princip rada: Optički
- -Izvor svjetlosnog signala: Laser
- -Vrijeme odziva: 10 ms
- -Materijal kućišta: Aluminiij (crni, anodizirani)
- -Temperatura okoline : 5...60 °C
- -Detekcija metalnih, nemetalnih i sjajnih površina
- -Preciznost pozicioniranja: 0,01 mm
- -Visoka točnost ponavljanja
- -Domet senzora: 2 m



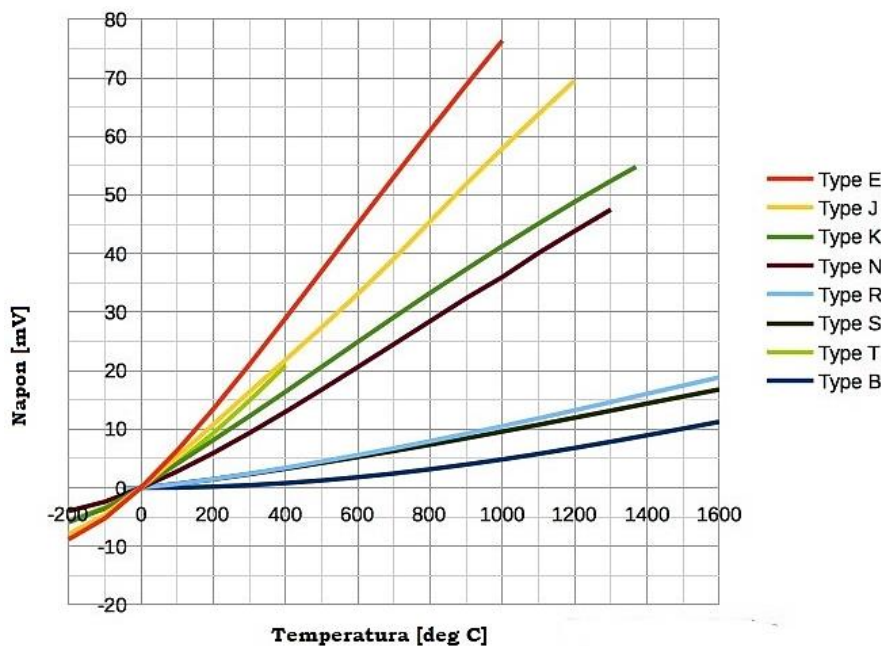
Slika 24. Optički senzor gibanja

4.8. Thermocouple tip R (Termoelement)

Termoelement je vrsta aktivnog senzora temperature namijenjena pretežno mjerenju visokih temperatura (do 1700°C). Princip mjerne pretvorbe počiva na *Seebeckovu efektu*, tj. pojavi da u dva vodiča od različita materijala, kojima su krajevi spojeni, nastaje električni napon, odnosno teče električna struja, ako su spojevi na različitim temperaturama. Nastali termonapon proporcionalan je razlici temperatura između toplijeg i hladnijega spoja vodiča. Ako se hladniji spoj rastavi i slobodni krajevi vodiča priključe na voltmetar, kojemu je za tu svrhu ljestvica baždarena u mjernoj jedinici temperature, može se na njoj izravno očitati temperaturna razlika. Različiti parovi materijala (termoparovi) daju različite napone za istu razliku temperature, pa se najčešće odabiru oni koji u određenom području temperature daju najveće napone. Najpoznatiji su termoparovi krom-aluminij i nikal-krom. Termoparovi se zaštićuju od štetnih kemijskih utjecaja materijala kojima se temperatura mjeri zaštitnom cijevi od metala ili keramike. [18-21]



Slika 25. Prikaz termoelementa i njegova shema



Slika 26. Ovisnost napona i temperature termoelementa

5. RJEŠENJE SUSTAVA UPRAVLJANJA SIROVINA ZA STAKLO

5.1. Sustav logičkog upravljanja

Za potrebe programiranja koristimo već spomenuti programski paket „GX Works3“. Sustav logičkog upravljanja izveden je preko FBD/LD programiranja. FBD/LD je u suštini spoj dva načina programiranja odnosno kombinacija funkcijskih blokova i ladder logike zajedno sa ST programiranjem. Proces programa se može podijeliti na tri zasebne i neovisne faze odnosno dijelove procesa. Prvi dio nazvan „Priprema sirovina za miješanje granulata“ je kružni proces koji se izvodi u željenom vremenskom intervalu s određenim masenim udjelima pojedinih sirovina. Drugi dio je regulacija temperatura pojedinih faza termičke obrade unutar peći. Posljednja faza pripreme sirovina za proizvodnju stakla je periodično prekidanje staklene niti u svrhu identičnog izlaznog proizvoda.

Struktura programa dijeli se na dvije razine. Prva razina je glavni program koji se izvodi s fiksnim korakom uzorkovanja (precizno definirani vremenski intervali). Taj program je u slučaju ovog rada ladder dijagram. Druga razina su funkcijski blokovi u kojima su zapisani manji ST programi, a u glavnom programu se koriste kao zasebni elementi programske rutine definiran lokalnim varijablama. U sljedećim poglavljima zasebno se opisuju dijelovi glavnog programa i funkcijskih blokova za upravljanje navedenih faza procesa upravljanja sirovina. Za detaljnije praćenje procesa dani su kompletni ulazi, izlazi te pomoćni signali korišteni unutar GX Works3 programskog sučelja.

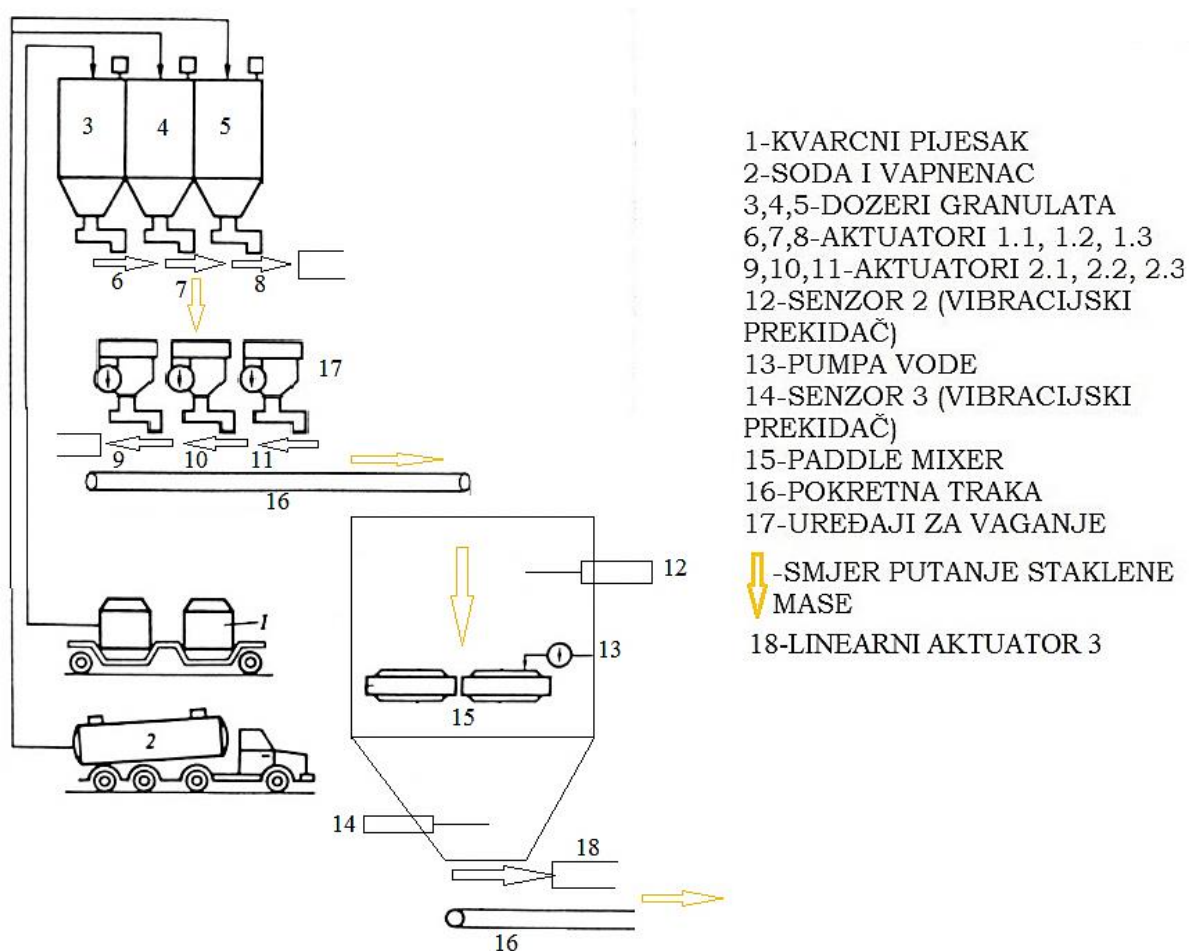
Tablica 3. Prikaz ulaza, izlaza i pomoćnih signala unutar GX Works3 programskog sučelja

Naziv procesnih jedinica	Adresa
Tipkalo Start	X0
Tipkalo Stop	X1
Registar mase kvarcnog pijeska	D2
Registar mase vapnenca	D3
Registar mase sode	D4
Signal propisane težine kvarcnog pijeska	M22
Signal propisane težine vapnenca	M33
Signal propisane težine sode	M44
Vibracijski prekidač na definiranoj visini spremnika miksera (senzor 2)	X5
Vibracijski prekidač na dnu spremnika miksera (senzor 3)	X6
Linearni aktuator spremnika dozera kvarcnog pijeska (1.1)	Y1

Linearni aktuator spremnika dozera vapnenca (1.2)	Y2
Linearni aktuator spremnika dozera sode (1.3)	Y3
Linearni aktuator uređaja za vaganje kvarcnog pijeska (2.1)	Y4
Linearni aktuator uređaja za vaganje vapnenca (2.2)	Y5
Linearni aktuator uređaja za vaganje sode (2.3)	Y6
Timer za otvaranje aktuatora uređaja za vaganje	T2
Timer za otvaranje aktuatora spremnika miješalice	T3
Timer za mikser i vodenu crpku	T4
Motor miksera	Y0
Vodena crpka	Y10
Tipkalo ON/OFF HEAT temperature taljenja	M201
Tipkalo ON/OFF HEAT temperature bistrenja	M301
Tipkalo ON/OFF HEAT radne temperature	M401
Pomoćni signal za otvaranje ventila kod regulacije temperature taljenja	M200
Pomoćni signal za otvaranje ventila kod regulacije temperature bistrenja	M300
Pomoćni signal za otvaranje ventila kod regulacije radne temperature	M400
Ventil plina za taljenje	Y11
Ventil plina za bistrenje	Y12
Ventil plina za radnu fazu	Y13
Numerical input-potrebna temperatura taljenja	D200
Numerical input-potrebna temperatura bistrenja	D300
Numerical input-potrebna radna temperatura	D400
Registar termonapona na termoelementu kod faze taljenja	D201
Registar termonapona na termoelementu kod faze bistrenja	D301
Registar termonapona na termoelementu kod radne faze	D401
Numerical display-trenutna temperatura	D202
Numerical display-trenutna temperatura	D302
Numerical display-trenutna temperatura	D402
Senzor prisutnosti stakljevine u šamotnom koritu	X100
Mehanički nož za prekidanje staklene niti	Y30
Traženi period rezanja [ms]	D1200
Timer 5 (traženi vremenski period umanjen za 0,1 sec)	T5
Timer 6 (0,1 sec)	T6

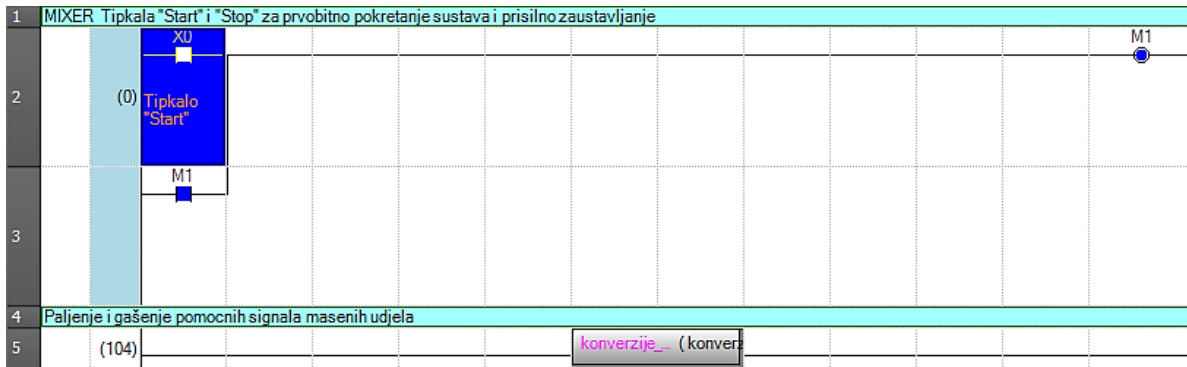
5.1.1. Priprema sirovina za miješanje granulata

Kako bi se učinkovitije popratio proces pripreme sirovina ustupljena je slika 27. na kojoj je popis silosa, aktuatora, uređaja za vaganje, senzora itd. čime je šarža kompletna. Proces miješanja granulata je ujedno prva faza priprema sirovina.



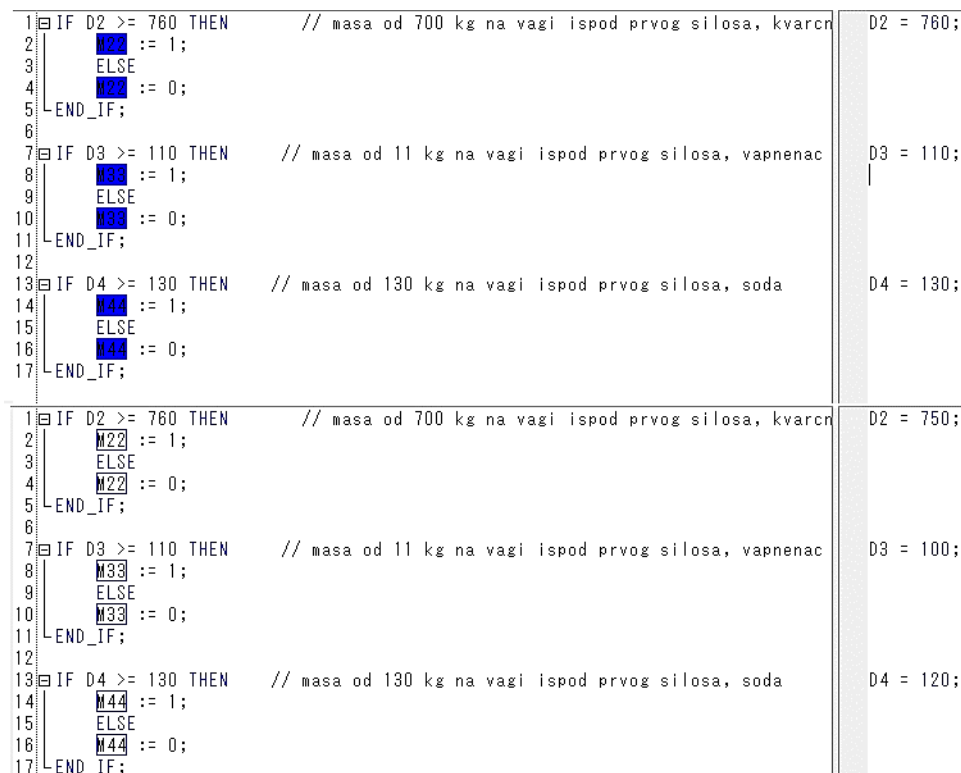
Slika 27. Pogon za pripremu smjese za taljenje

Početak i prekid samog procesa provodi se pomoću tipkala. Samodržanje omogućava da proces traje i nakon što se isključi tipkalo „Start“. Kako smjesa treba biti određenog i propisanog sastava, funkcijski blok radi konverziju stanja odgovarajućih strojeva za vaganje. Nakon što određena sirovina dosegne zadovoljavajuću masu, funkcija i daljnji kod u ladder dijagramu zatvara silose dozera tj. aktuator 1.1, 1.2 i 1.3 prebacuje u reset uključivanjem pomoćnih bitova M22, M33, M44.



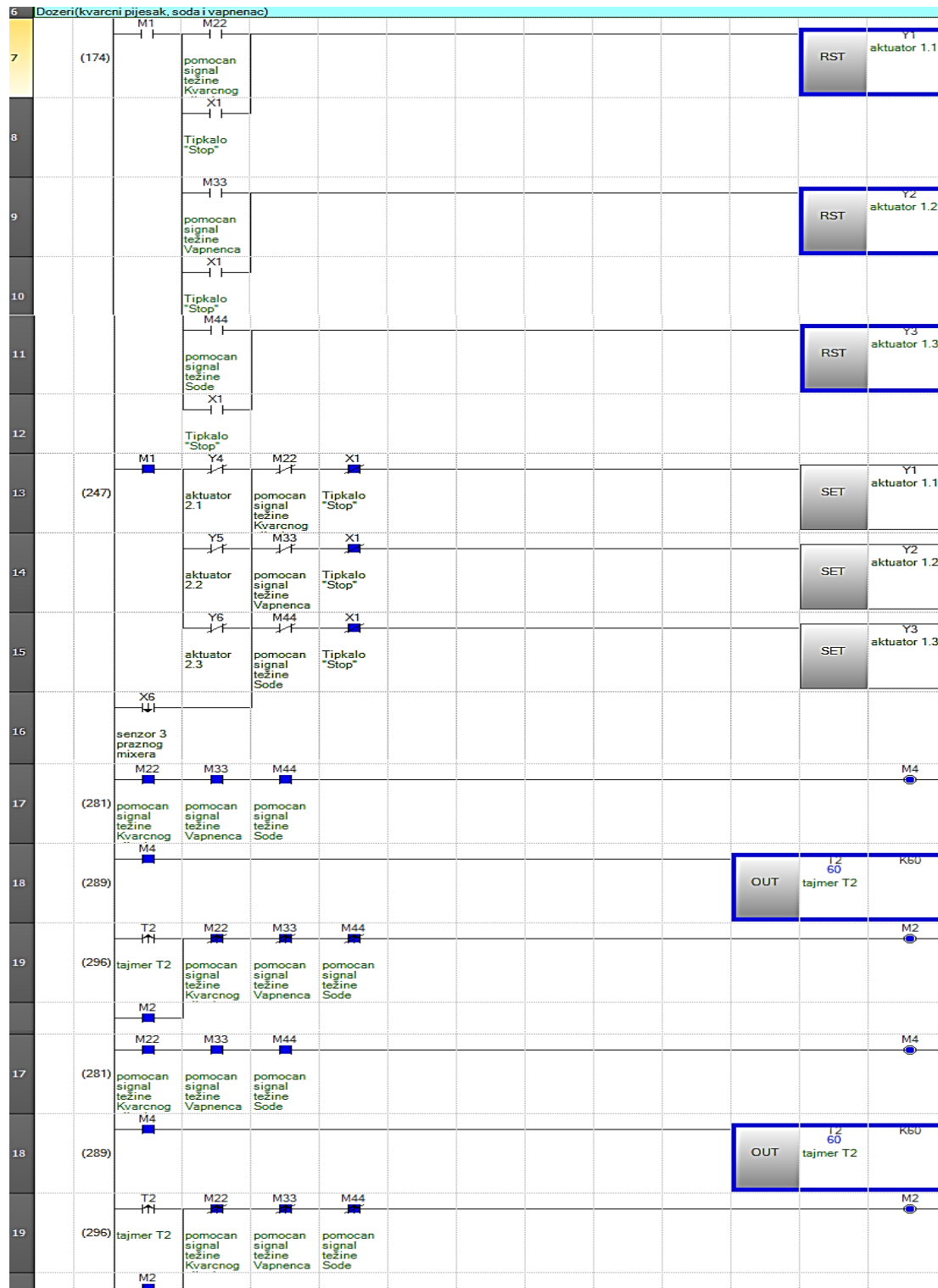
Slika 28. Početak upravljanja i funkcijski blok konverzija mase

Na slici ispod je prikazano izvršenje ST-koda za slučajeve kada je masa pojedine sirovine u budućoj smjesi zadovoljavajućeg i propisanog iznosa te kada ta vrijednost raste do propisane težine.



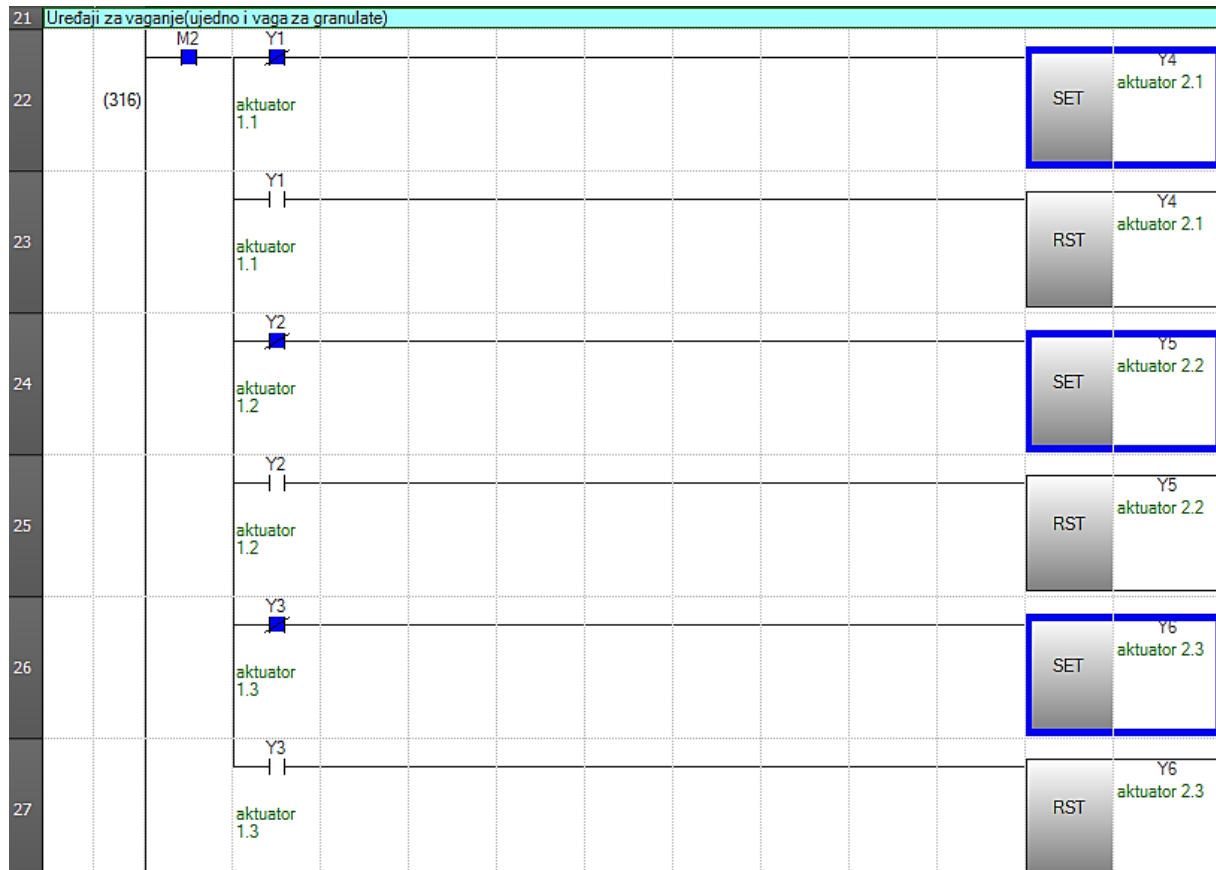
Slika 29. ST kod function block-a „konverzija mase“

Nakon što M1 prijeđe u „1“ otvaraju se dozeri granulata prebacivanjem u aktivno stanje (engl. „set“) čime se pune strojevi za vaganje. Tada se vage napune, linearni aktuatori dozere zatvaraju i otvaraju uređaje za vaganje [slika 30] i preko pokretne trake se granulati šalju do spremnika mješalice. Tipkalo „Stop“ se može ovdje iskoristiti kako bi u datom trenutku zatvorili silose i zaustavili rad bilo kojeg uređaja.



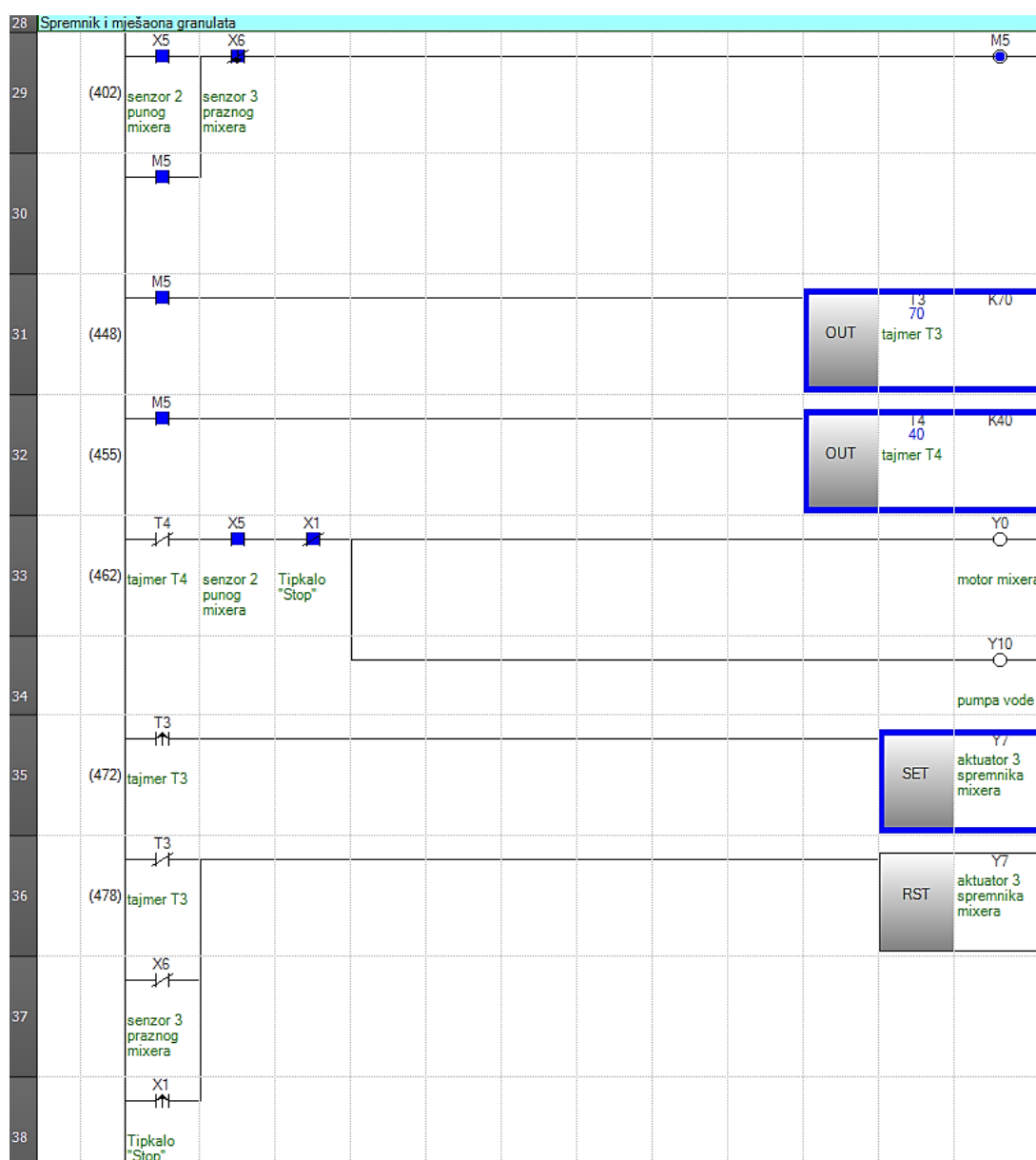
Slika 30. Ladder dijagram (upravljanje aktuatorima dozera)

Otvaranjem uređaja za vaganje pomoćni bitovi M22, M33 i M44 prebacuju se u nisko stanje tj. prazne se strojevi za vaganje. Program je namješten tako da linearni aktuatori dozera i linearni aktuatori uređaja za vaganje uvijek budu u različitoj fazi tj. kada je prvi u „set-u“ drugi je u „reset-u“.



Slika 31. Ladder dijagram (upravljanje linearnih aktuatora uređaja za vaganje)

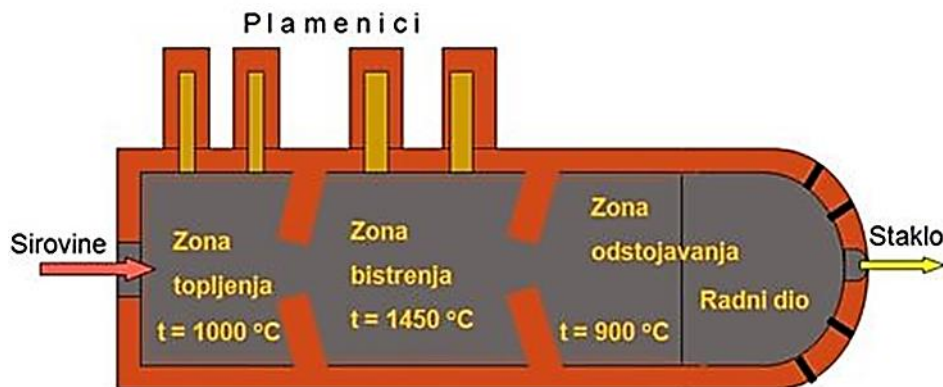
Nakon toga, počinje se puniti spremnik miksera što prebacuje vibracijski senzor na dnu spremnika u visoko stanje, a potom se postavlja u aktivno stanje i istovjetan senzor na vrhu spremnika (koji signalizira puni spremnik). Nadalje se uključe dva vremenska sklopa koji odbrojavaju vremenske zadržke različitih duljina. Za vrijeme koje odbrojava timer s kraćom vremenskom zadržkom radi mikser odgovoran za miješanje sirovina u spremniku i crpka vode koja je potrebna za olakšavanje procesa miješanja, a završetkom drugog vremenskog sklopa aktuator otvara spremnik miješalice čime se smjesa preko pokretne trake šalje do plinske peći. Time se isključuju vibracijski senzori u miješalici što okončava prvi ciklus procesa te ga vraća ponovno na početak ladder dijagrama i resetira sve vremenske sklopove koje program sadrži.



Slika 32. Ladder dijagram (upravljanje aktuatorima spremnika miješalice)

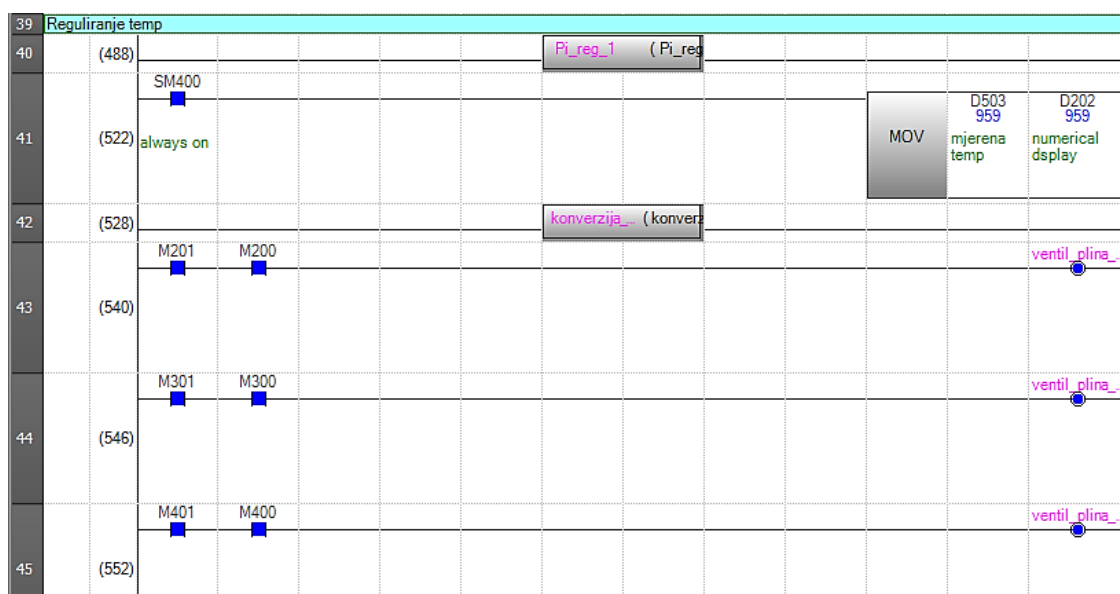
5.1.2. Regulacija temperatura pojedinih faza termičke obrade smjese

Peć (engl. Glass Furnace) kroz tri zone pretvara sirovine u staklo (faza topljenja, bistrenja i odstojanja). U prvoj fazi smjesa sirovine prelaze u tekuće stanje, staklo prolazi kroz peć zbog samog utjecaja gravitacije što se realizira nagibom kanala prema izlazu, nakon čega kanalima podmazanim uljem putuju do stroja za prekidanje staklenih niti.



Slika 33. Shema visoke peći za staklo

Relaj SM je poznat kao „always on“ čemu slijedi pomicanje vrijednosti mjerene temperature u prikazanu numeričku vrijednost lociranu na korisničkom sučelju. Pomoćni bitovi M200, M300, M400 uključuju se unutar funkcijskog bloka (PI regulator) kada je željena temperatura odabrane zone veća od mjerene temperature. Bitovi M201, M301, M401 služe za isključivanje ventila plina koji povećava temperaturu visoke peći.



Slika 34. Ladder dijagram (regulacija temperature)

Termoelementi mjere trenutnu temperaturu pojedinih faza u peći te je na njihovom izlazu termonapon u mV koji odgovara temperaturi u °C. Jednadžba 2 je aproksimacija ovisnosti napona o temperaturi. Ona je veoma točna pri visokim temperaturama (500°C-1600°C) kakve proces zahtjeva, a dovoljno točna pri temperaturama manjim od 500°C.

$$T = T_0 + \frac{(v-v_0)[p_1+(v-v_0)\{p_2+(v-v_0)(p_3+p_4(v-v_0))\}]}{1+(v-v_0)[q_1+(v-v_0)\{q_2+q_3(v-v_0)\}]} \quad (2)$$

Tablica 4. Koeficijenti za konverziju termonapona u temperaturu

Termonapon	7,46...14,28 mV	14,28...21,10 mV
Temperatura	760...1275°C	1275...1770°C
Koeficijenti		
T_0	1038,1	1567,6
v_0	11,0	18,4
p_1	74,67	71,65
p_2	1	-1
p_3	-0,15	-1
p_4	0,00631	-0,767
q_1	0,0569	-0,0197
q_2	-0,002	-0,03
q_3	0	-0,011

U svim ST kodovima ovog dijela regulacijskog algoritma za proračune se koristi FLOAT (32-bitovnim) tipom zapisa realnih numeričkih vrijednosti. Time se postiže razmjerno visoka preciznost zapisa međurezultata u odnosu na slučaj kada bi se koristila aritmetika cijelih brojeva (zapis sa fiksnim decimalnim zarezom). Termoelement za iznimno niske vrijednosti termonapona daje netočne temperaturne podatke zbog čega je uveden kontrolni izraz IF koji u tom slučaju postavlja mjerenu temperaturu na 0°C.

```

1 INT2FLT(TRUE,D201,v_input_taljenje); // racunamo s floatom
2
3 IF v_input_taljenje<4.5 THEN // netocnost pri malim naponima
4   T_celzijt:=0.0;
5
6   ELSIF v_input_taljenje>14.28 THEN // 2 područja određivanja trenutne temperature,
7     diff_2t:=v_input_taljenje-v_const02t;
8     brojnik2t:=diff_2t*(p_const12t+diff_2t*(p_const22t+diff_2t*(p_const32t+p_const42t*diff_2t)));
9     nazivnik2t:=1.0+diff_2t*(q_const12t+diff_2t*(q_const22t+q_const32t*diff_2t)); //podijeljenja
10    T_celzijt:=T_const02t+brojnik2t/nazivnik2t ;
11
12   ELSE
13     diff_1t:=v_input_taljenje-v_const01t;
14     brojnik1t:=diff_1t*(p_const11t+diff_1t*(p_const21t+diff_1t*(p_const31t+p_const41t*diff_1t)));
15
16     nazivnik1t:=1.0+diff_1t*(q_const11t+diff_1t*(q_const21t+q_const31t*diff_1t));
17     T_celzijt := T_const01t+brojnik1t/nazivnik1t ;
18   END_IF;
19   mjerena_temp_taljenje:=T_celzijt;
20
21 FLT2INT(20400,mjerena_temp_taljenje,D503); //numerical display
22 INT2FLT(TRUE,D200,trazena_temp_taljenje); //numerical input

```

```

D201 = 10; v_input_taljenje = 10.000;
v_input_taljenje = 10.000;
T_celzijt = 959.985;
v_input_taljenje = 10.000;
diff_2t = 0.000; v_input_taljenje = 10.000;
brojnik2t = 0.000; diff_2t = 0.000; diff_2t = 0.000; c
nazivnik2t = 0.000; diff_2t = 0.000; diff_2t = 0.000;
T_celzijt = 959.985; brojnik2t = 0.000; nazivnik2t = 0
diff_1t = -1.000; v_input_taljenje = 10.000;
brojnik1t = -73.514; diff_1t = -1.000; diff_1t = -1.00
nazivnik1t = 0.941; diff_1t = -1.000; diff_1t = -1.000
T_celzijt = 959.985; brojnik1t = -73.514; nazivnik1t =
mjerena_temp_taljenje = 959.985; T_celzijt = 959.985;
mjerena_temp_taljenje = 959.985; D503 = 959;
D200 = 1000; trazena_temp_taljenje = 1000.000;

```

Slika 35. ST kod function block-a konverzija temperature taljenja

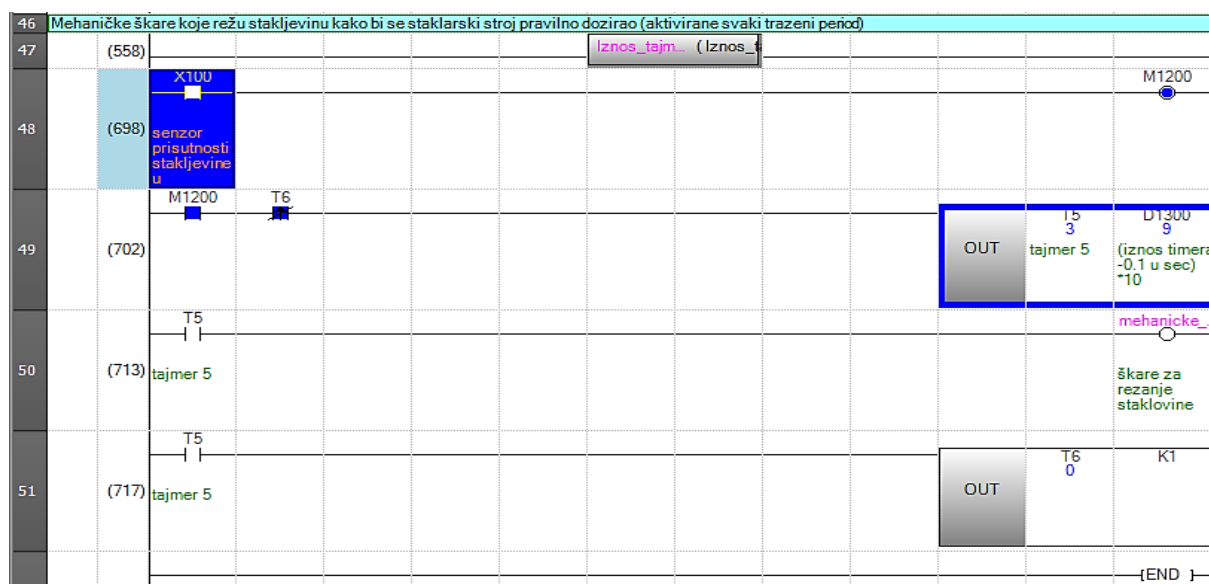
Kako je ovaj rad temeljen na teorijskom problemu, tako su vrijednosti proporcionalnog i integralnog djelovanja PI regulatora aproksimativno postavljene. Ukoliko bi se taj proces realizirao, vrijednosti bi se postavljale do te mjere kada bi oscilatorno ponašanje tijekom tranzijenta bilo minimalno, a brzina odziva najveća. Za ovaj ST kod može se jednostavnije reći: “Ventil za plin se otvara ukoliko je mjerena temperatura manja od željene“.

<pre> 1 //PI regulator 2 Greskat := trazena_temp_taljenje - mjerena_temp_taljenje; // razlika temperatura, t 3 proportionalt := KPt*Greskat; // procjena 4 integralt := KIt*(integralt + Greskat*DeltaTimet); 5 U_PIt := proportionalt+integralt; 6 // ograničenje izlaza 7 IF U_PIt > 80.0 THEN 8 U_PIt := 80.0; //procjena veličina 9 integralt := 80.0 - proportionalt; 10 ELSIF U_PIt <= 0.0 THEN 11 U_PIt := 0.0; 12 integralt := proportionalt; 13 END IF; 14 IF U_PIt>0.01 THEN 15 M200:=1; 16 ELSE 17 M200:=0; //pomocna velicina odgovorna za otvaranje i zatvaranje ventila plina 18 END IF; </pre>	<pre> Greskat = -38.10 proportionalt = integralt = -762 U_PIt = 0.000; U_PIt = 0.000; U_PIt = 0.000; integralt = -762 U_PIt = 0.000; integralt = -762 U_PIt = 0.000; </pre>
<pre> 1 //PI regulator 2 Greskat := trazena_temp_taljenje - mjerena_temp_taljenje; // razlika temperatura, t 3 proportionalt := KPt*Greskat; // procjena 4 integralt := KIt*(integralt + Greskat*DeltaTimet); 5 U_PIt := proportionalt+integralt; 6 // ograničenje izlaza 7 IF U_PIt > 80.0 THEN 8 U_PIt := 80.0; //procjena veličina 9 integralt := 80.0 - proportionalt; 10 ELSIF U_PIt <= 0.0 THEN 11 U_PIt := 80.0; 12 integralt := proportionalt; 13 END IF; 14 IF U_PIt>0.01 THEN 15 M200:=1; 16 ELSE 17 M200:=0; //pomocna velicina odgovorna za otvaranje i zatvaranje ventila plina 18 END IF; </pre>	<pre> Greskat = 40.015 proportionalt = integralt = -720 U_PIt = 80.000; U_PIt = 80.000; U_PIt = 80.000; integralt = -720 U_PIt = 80.000; integralt = -720 U_PIt = 80.000; </pre>

Slika 36. ST kod function block-a PI regulator taljenja

5.1.3. Sustav prekidanja staklene niti

Izvršni element ovog sustava je mehanički nož odgovoran su za veličinu izlaznog proizvoda. On svojim periodičnim djelovanjem odvaja staklenu kap koja dalje nastavlja do staklarskog stroja gdje boca poprima svoj oblik. Ukoliko optički senzor daje informaciju da je taljeno staklo prisutno u kanalima tada nož periodično proradi i time presječe staklenu nit.



Slika 37. Ladder dijagram (sustav prekidanja staklene niti)

Za resetiranje vremenskog sklopa (T5) koristi se drugi vremenski sklop (T6) čije je vrijeme odbrojavanja konstantno i iznosi 0,1 sekundi. Upravo zbog toga vrijeme odbrojavanja timer-a (T5) manje je za desetinu sekunde od traženog perioda rezanja postavljenog preko korisničkog sučelja.

```

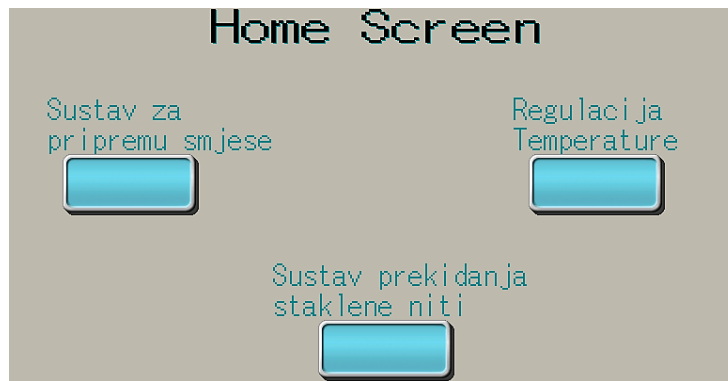
1 INT2FLT(TRUE,D1200,period_ulaz); //ms
2 period_izlaz:=period_ulaz/100.0-1.0; // 1/10 sec , iznos timera
3 FLT2INT(TRUE,period_izlaz,D1300);
4
5
D1200 = 1000; period_ulaz = 1000.000;
period_izlaz = 9.000; period_ulaz = 1000.000;
period_izlaz = 9.000; D1300 = 9;

```

Slika 38. ST kod-iznos timer-a

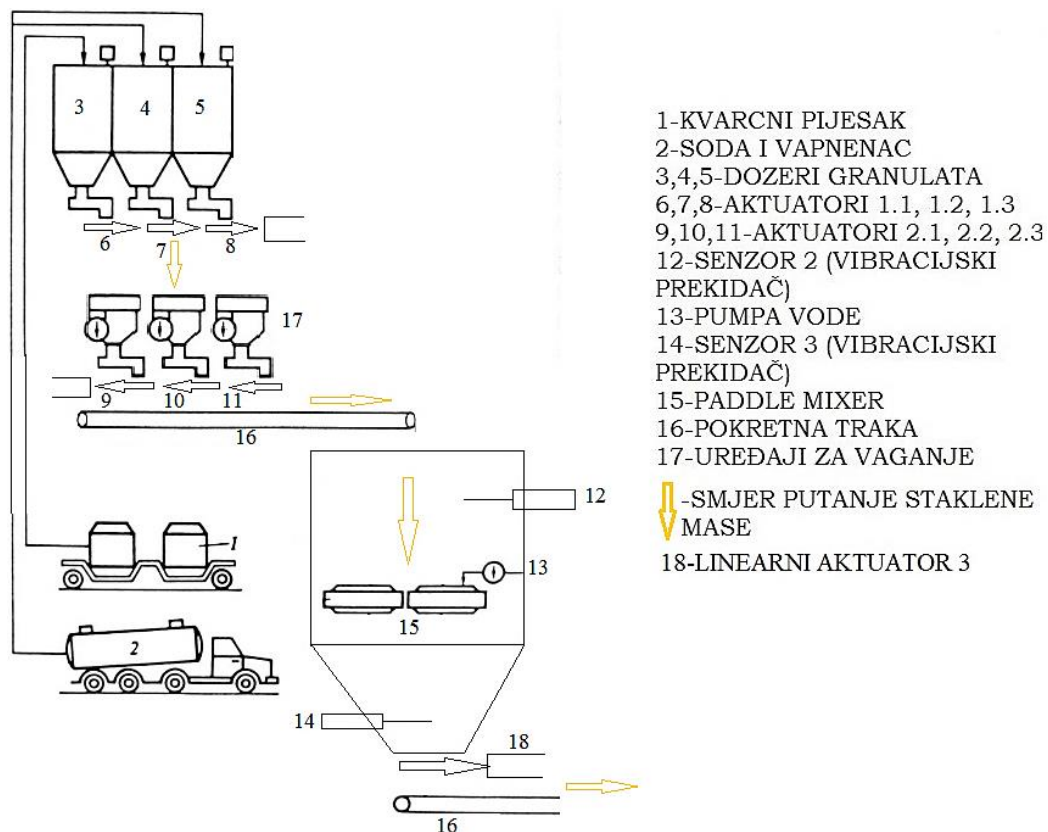
5.2. Grafičko sučelje

Grafičko sučelje je međusobno povezano „Go to screen switch-ovima“. Glavni izbornik prethodi pojedinim fazama tehnološkog procesa priprema sirovina u staklarskoj industriji koji su navedeni na slici ispod.



Slika 39. Home screen sučelje

U sljedećim redovima će se kroz grafičko sučelje pojasniti slijed izvršenja koda redom za sve faze pripreme sirovina u tehnološkom procesu. Počinje se sa sustavom pripreme smjese za saržni postupak taljenja kao što je prikazano na slici ispod.



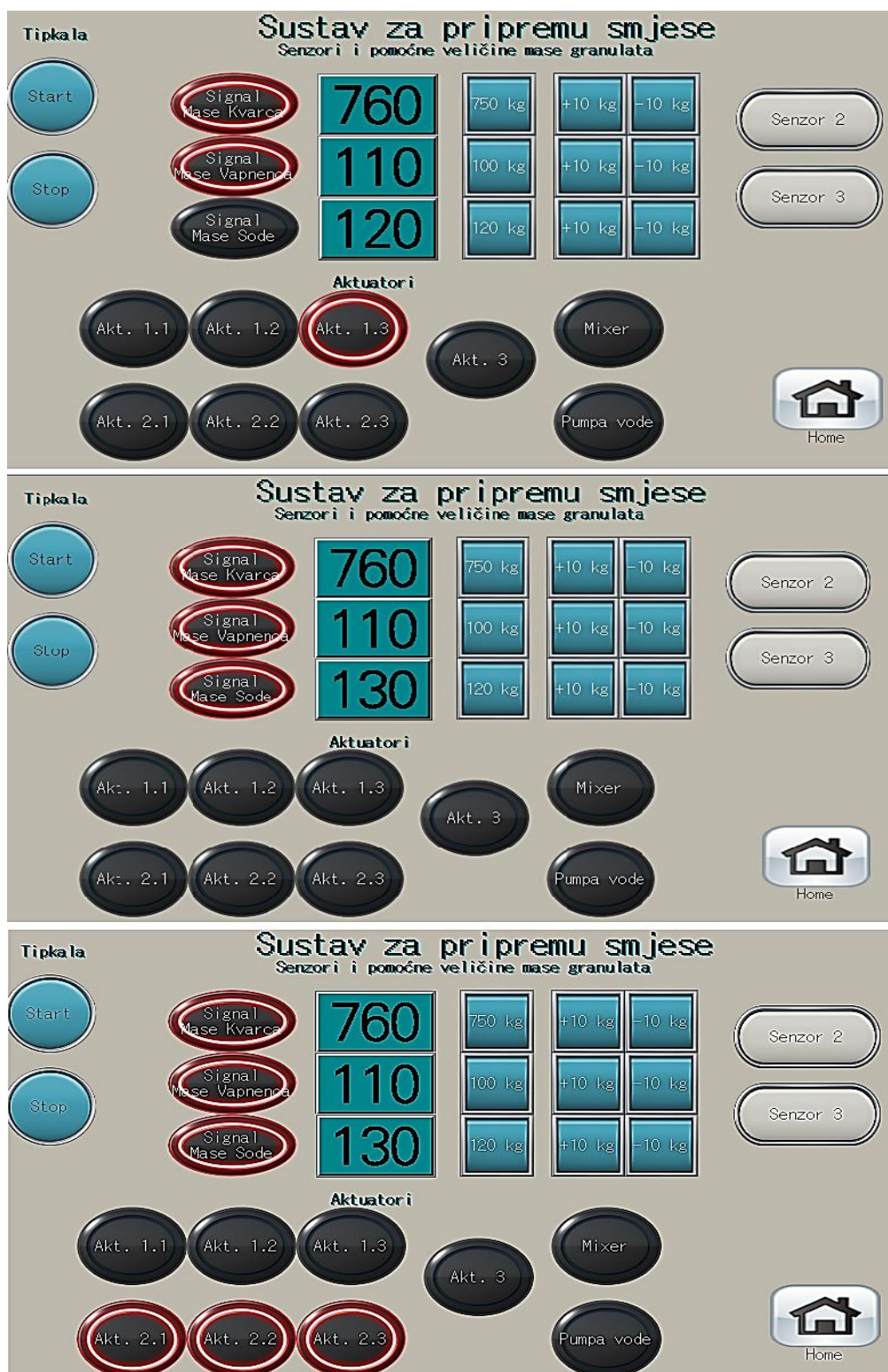
Slika 40. Pogon za pripremu smjese

Proces započinje aktiviranjem tipkala „Start“ koje automatski otvara dozere (linearni aktuatori 1.1, 1.2, 1.3) što puni uređaje za vaganje sirovina. Tipkalom „Stop“ može se prekinut proces tj. zatvaraju se prijspomenuti aktuatori. Mase sirovina kao ulazne varijable koje daju uređaji za vaganje linearno rastu do numeričkih vrijednosti određene ST-kodom.[slika 29]



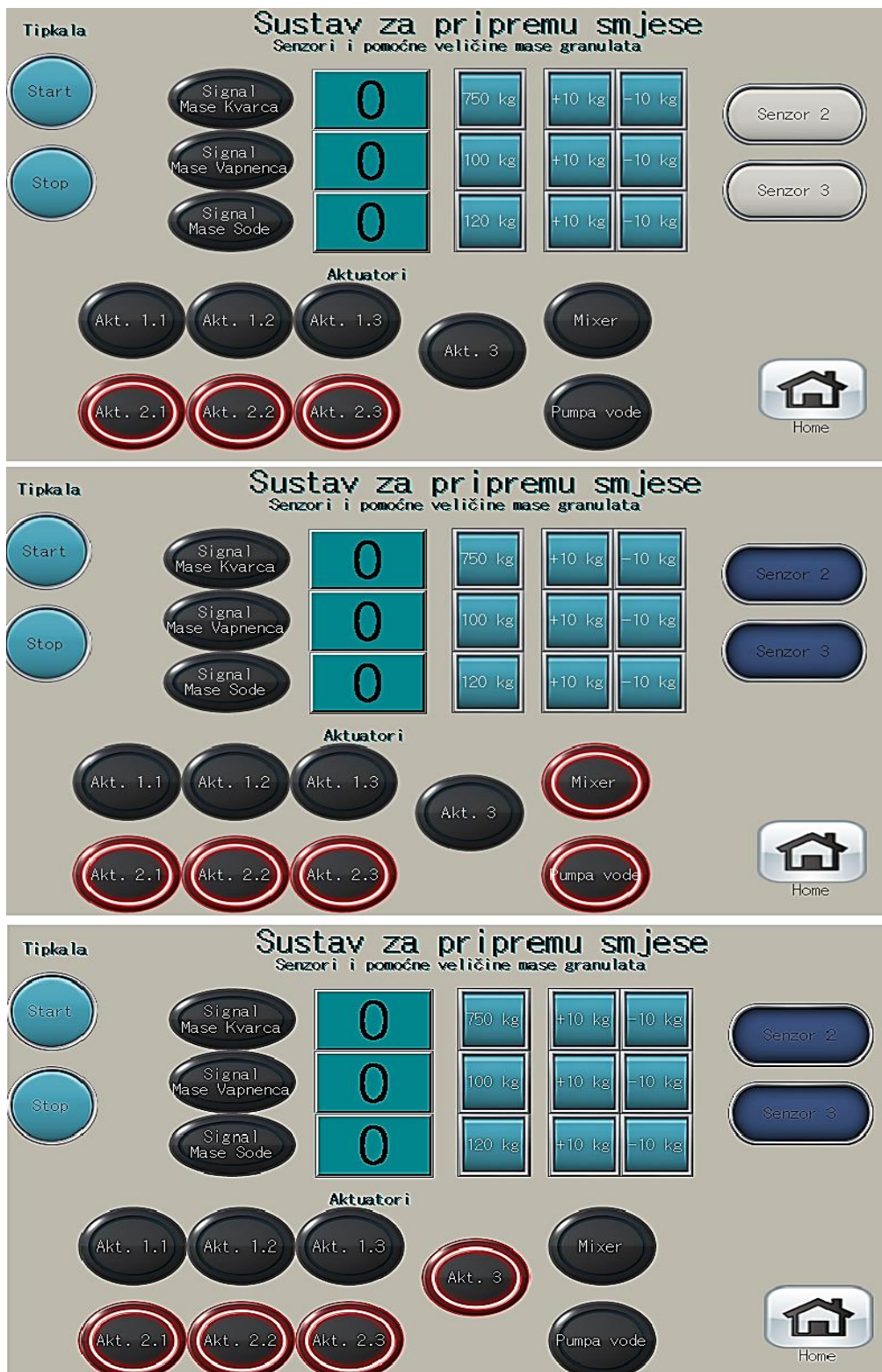
Slika 41. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (punjenje spremnika uređaja za vaganje)

Kada težina granulata dosegne zadovoljavajući iznos zatvore se spremnici za doziranje (linearni aktuatori 1.1, 1.2, 1.3) čime se prestanu puniti uređaji za vaganje. Nakon vremenskog intervala slijedi otvaranje vage (linearni aktuatori 2.1, 2.2, 2.3) pri čemu počinje punjenje spremnika miksera. Uslijed toga varijabilna numerička vrijednost težine granulata u vagi pada na nulu.



Slika 42. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (punjenje spremnika miksera)

Kako se kontinuirano pune spremnici miksera, tako se redom uključuju vibracijski prekidači razine (senzor 3, senzor 2). Nakon čega prorade mikser granulata i crpka za vodu u definiranom vremenskom intervalu. Nakon što radnje miksera i crpke završe, otvara se spremnik miksera aktuatorom 3 čime proces završava te se isključuju senzori 2 i 3.



Slika 43. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (spremnik miksera)

Prebacivanjem senzora 3 u nisko stanje završava prvi ciklus pripreme smjese što automatski otvara spremnike dozera. Time započinje novi ciklus procesa koji se vidi na slici ispod.



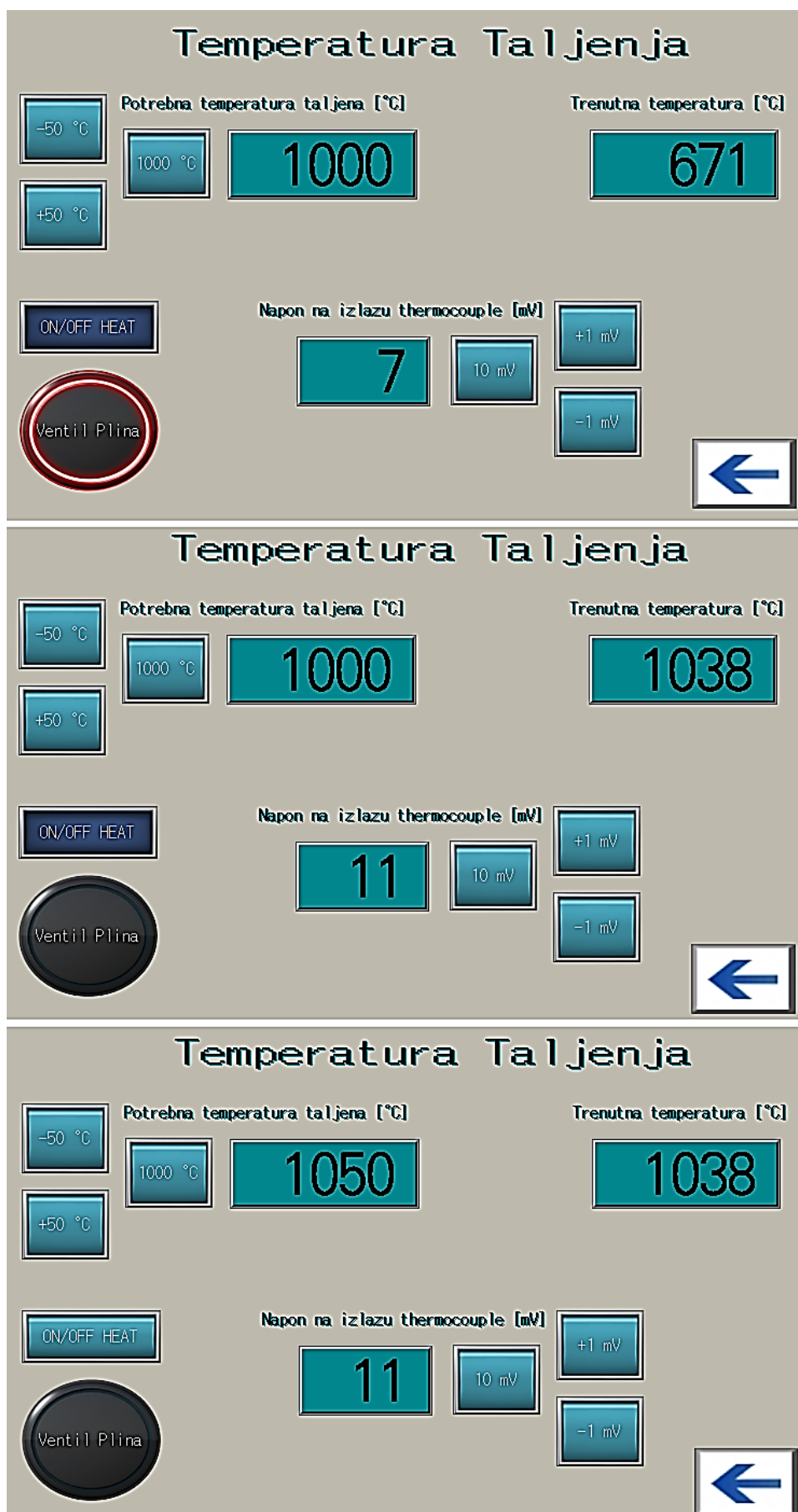
Slika 44. Grafičko sučelje sustava pripreme smjese (završetak ciklusa i početak novog)

Pripremljena smjesa pomoću pokretnih traka dolazi do visokih peći gdje se termički obrađuje. Određene faze obrade detaljnije su opisane u poglavlju 2.1.2.

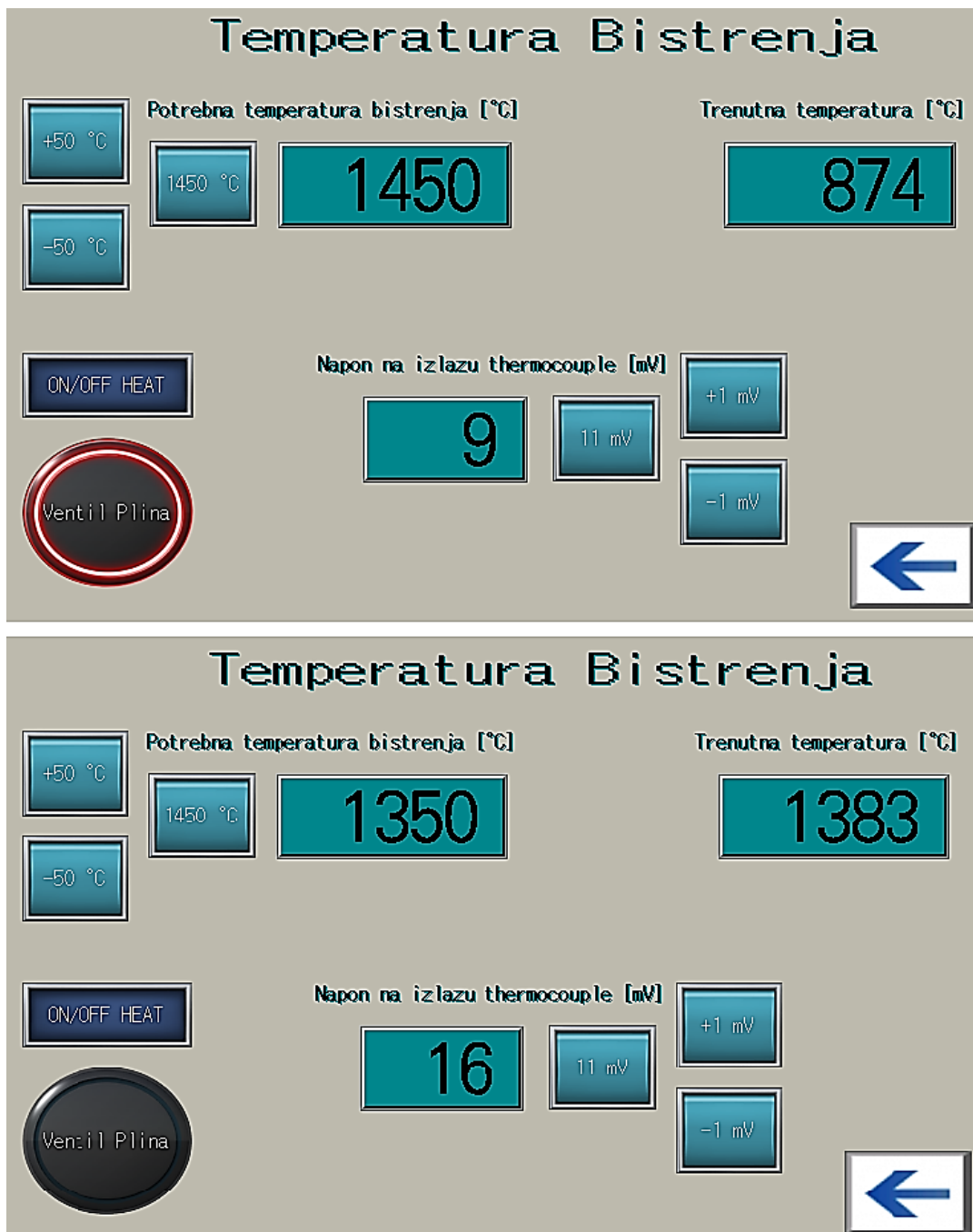


Slika 45. Izbornik regulacije temperatura

Zbog sažetosti objašnjena je isključivo faza taljenja jer je ostatak regulacije temperature visoke peći (faza bistrenja i radna faza) temeljen na istoj upravljačkoj shemi uz drugačije temperature. Prvobitno se unosi potrebna temperatura taljenja koja je pobliže definirana u poglavlju 2.1.1. Nakon toga se unosom simulira iznos napona koji bi nam u realnom procesu dao izlaz na termoelementu (aktivni senzor temperature). Potrebna temperatura nije fiksno definirana te se može mijenjati putem prikazanog grafičkog sučelja. U slučaju da je trenutna temperatura manja od potrebne otvara se ventil za plin čime se zagrijava odjeljak peći za taljenje. Ukoliko trenutna temperatura preraste traženu zatvara se ventil za plin što zbog prirodne naravi rezultira da temperatura u peći opada. Tako se održavaju gotovo konstantne vrijednosti temperature pojedinih procesa termičke obrade. Tipkalom „ON/OFF HEAT“ možemo prisilno zatvoriti ventil.



Slika 46. Temperatura taljenja-grafičko sučelje



Slika 47. Temperatura bistrenja-grafičko sučelje



Slika 48. Radna temperatura-grafičko sučelje

Potom se taljena smjesa (staklovina) preko uljem podmazanih kanala vodi do sustava za prekidanje staklene niti gdje pomoću mehaničkog noža nastaje staklena kap. Kako period rezanja određuje veličinu staklene kapi tako ga je moguće modificirati preko ulazne numeričke vrijednosti koja se zadaje na grafičkom sučelju. Da mehanički nož zbog pripreme sirovina u šarži ne bi radio u praznom hodu uvodi se optički senzor prisutnosti iznad kanala koji vode staklovinu.



Slika 49. Grafičko sučelje sustava za prekidanje staklene niti

5.3 Varijable korištene unutar upravljačkog programa

U izradi upravljačkog programa bitne su oznake čime se predočuju globalne varijable. Uz njih se koriste i lokalne varijable koje služe kao pomoć pri programiranju funkcijskog bloka te se koriste izričito lokalno u samom programu određenog funkcijskog bloka. Sljedeće slike prikazuju tip podataka, adrese, iznose i objašnjenja korištenih varijabli unutar realiziranog upravljačkog programa.

	Label Name	Data Type		Class	Assign	Initial	Con	Comment
1	ventil_plina_taljenje	Bit	...	VAR_GLOBAL	Y11			
2	mjerena_temp_taljenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				trenutna temperatura taljene zone peći
3	trazena_temp_taljenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				željena temperatura taljena
4	v_input_taljenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				napon na izlazu thermocouple
5	ventil_plina_bistrenje	Bit	...	VAR_GLOBAL	Y12			
6	mjerena_temp_bistrenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				trenutna temperatura zone bistrenja peći
7	trazena_temp_bistrenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				željena temperatura bistrenja
8	v_input_bistrenje	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				napon na izlazu thermocouple
9	ventil_plina_radna	Bit	...	VAR_GLOBAL	Y13			
10	mjerena_temp_radna	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				trenutna temperatura radne zone peći
11	trazena_temp_radna	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				željena radna temp
12	v_inout_radna	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_GLOBAL				napon na izlazu thermocouple

Slika 50. Globalne varijable

	Label Name	Data Type		Class	Initial	Constant	Comment
1	T_const01t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		1038.10	Konstanta temperature za napon manji od 14 mV
2	v_const01t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		11.00	
3	p_const11t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		74.670	
4	p_const21t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		1.0	
5	p_const31t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.150	
6	p_const41t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.00631	
7	q_const11t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.0569	
8	q_const21t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.002	
9	q_const31t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.0	
10	T_const02t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		1567.6	Konstanta temperature za napon veci od 14 mV
11	v_const02t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		18.4	
12	p_const12t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		71.65	
13	p_const22t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-1.0	
14	p_const32t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-1.0	
15	p_const42t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.767	
16	q_const12t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.0197	
17	q_const22t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.03	
18	q_const32t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		-0.011	
19	T_celzijt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			temperatura taljenja
20	diff_2t	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			pomoćne float velicine kod racuna

Slika 51. Lokalne varijable funkcijskog bloka (konverzija temperature)

	Label Name	Data Type		Class	Initial Value	Constant	Comment
1	Greskat	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			razlika temperatura
2	integralt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			integralno djelovanje
3	proportionalt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			proporcionalno djelovanje
4	DeltaTimet	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.03	
5	KPt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		20.0	konstanta proporcionalnog
6	KIt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.15	konstanta integralnog
7	U_Plt	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			
8	Greskab	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			razlika temperatura
9	integralb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			integralno djelovanje
10	proportionalb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			proporcionalno djelovanje
11	DeltaTimeb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.04	
12	KPb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		40.0	konstanta proporcionalnog
13	KIb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR_CONSTANT		0.1	konstanta integralnog
14	U_Plb	FLOAT [Single Precision]	...	VAR			

Slika 52. Lokalne varijable funkcijskog bloka (PI regulator)

	Label Name	Data Type		Class	Comment
1	period_ulaz	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	numerical input
2	period_izlaz	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	iznos na tajmeru

Slika 53. Lokalne varijable funkcijskog bloka timer

6. ZAKLJUČAK

U radu je uz pomoć PLC-a realizirano rješenje problema upravljanja materijalnim tokovima sirovina za proizvodnju stakla. Taj proces se može podijeliti na smjesu istih sirovina i upravljanje koja ona zahtjeva te termičku obradu prijespomenute smjese. Ovo iziskuje odgovarajuće postupanje na jednoznačan i ponovljiv način. Sirovine koje su potrebne za staklo krutog su odnosno granulastog tipa zbog čega se mora koristiti prilagođena sensorika. Za razumijevanje i praćenje procesa miješanja granulata korištene su tri najosnovnije sirovine: kvarcni pijesak, soda te vapnenac u procijenjenim masenim udjelima smjese. Također, povoljno je da spremnici granulata budu u dimenzijama visine nekoliko puta veće od dimenzija širine zbog bolje raspodjele materijala u njima i ravnomjernijeg mjerenja same razine sirovina. Kako su za termičku obradu stakla potrebne temperature iznad 1000°C, tako nije ni sam mjerni element uobičajenih karakteristika. Zbog toga se i nekolicina standardnih senzora treba zaštititi od visokih temperatura na odgovarajuće načine. Nadalje, implementacija upravljačkog programa prvobitno je postignuta uz pomoć softvera GX Works i GT Designer. U programskom sučelju GX Works-a izveden je kompletan kod (ladder, structured text) upravljanja tehnološkog procesa proizvodnje stakla, dok je softver GT Designer korišten za realizaciju grafičkog sučelja prema operateru (HMI). Sama simulacija izvršena je s prethodno navedenim programskim okruženjima koristeći grafički terminal (HMI) za simuliranje pojedinih logičkih stanja koja bi sustav upravljanja inače dobio iz samoga procesa. Realizirano upravljanje zauzima određeni kapacitet memorije te bi se u tom smislu moglo pojednostaviti, a to predstavlja budući pravac istraživanja i razvoja.

7. LITERATURA

- [1] OGORELEC, Zvonimir-Staklo / Z. Ogorelec. - Zagreb : Sveučilište u Zagrebu, 1979.,
Pristupljeno: 28. kolovoza 2021.
- [2] PROIZVODNJA stakla. - Zagreb : Zagreb film, [2006?]. - 1 DVD (14 min) : u bojama,
sa zvukom ; 12 cm. - (Obrazovni videoprogram. Kemija), Pristupljeno: 29. kolovoza 2021.
- [3] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Staklo>, Pristupljeno: 29. kolovoza 2021.
- [4] https://www.academia.edu/28528723/Tehnolo%C5%A1ki_proces_proizvodnje_stakla,
Pristupljeno: 29. kolovoza 2021.
- [5] 1860.-2010. : 150 godina proizvodnje stakla u Humu na Sutli, Pristupljeno: 30. kolovoza
2021.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller, Pristupljeno: 3. rujna
2021.
- [7] <https://ie3a.mitsubishielectric.com/fa/en/dl/10994/sh081215.pdf>, Pristupljeno: 5. rujna
2021.
- [8] <https://docs.rs-online.com/4ee4/0900766b813df617.pdf>, Pristupljeno: 6. rujna 2021.
- [9] [https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/got/sh080866eng/
sh080866engao](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/got/sh080866eng/sh080866engao), Pristupljeno: 6. rujna 2021.
- [10] <https://www.inea.hr/produkti/mitsubishi-electric/hmi-paneli/serija-got-simple/>,
Pristupljeno: 6. rujna 2021.
- [11] [https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plceng/smerit/gx_works3/
programming.html](https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plceng/smerit/gx_works3/programming.html), Pristupljeno: 6. kolovoza 2021.
- [12] https://www.festo.com/cat/hr_HR/products_PA_010610, Pristupljeno: 15. prosinca 2021

- [13] <https://www.directindustry.com/prod/ttc-muehendislik/product-222163-2282546.html>,
Pristupljeno: 20.siječna 2022
- [14] <https://www.drexelbrook.com/learningzone/application-notes/additional-opportunities/point-level-measurement-in-granular-storage-silos>, Pristupljeno: 20.siječna 2022
- [15] <https://www.calpeda.com/products/applications/industrial>, Pristupljeno: 21.siječna 2022
- [16] <https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/granulate-weighing-machine-155776.html>, Pristupljeno: 22.siječna 2022
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve, Pristupljeno: 17.prosinca 2021
- [18] <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>, Pristupljeno: 17.prosinca 2021
- [19] <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/temperature-measurement/thermocouple/type-r-calibration-table>, Pristupljeno:
17.prosinca 2021
- [20] <https://www.thermocoupleinfo.com/type-r-thermocouple.htm>, Pristupljeno: 17.prosinca
2021
- [21] <https://www.tc.co.uk/thermocouples/type-r-thermocouple.html>,
Pristupljeno: 17.prosinca 2021