

AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA SUSTAVOM FERMENTACIJSKE KOMORE PUTEM INDUSTRIJSKOG RAČUNALA

Domladovec, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:611018>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ
PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA
PIVARSTVO

MATEA DOMLADOVEC

AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA SUSTAVOM
FERMENTACIJSKE KOMORE PUTEM INDUSTRIJSKOG
RAČUNALA

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2023.

Veleučilište u Karlovcu

Stručni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Pivarstvo

Matea Domladovec

**Automatizacija upravljanja sustavom fermentacijske komore
putem industrijskog računala**

Završni rad

Mentor: dr. sc. Vladimir Tudić, prof. struč. stud.

Broj indeksa studenta: 0314620016

Karlovac, rujan, 2023.

IZJAVA O AUTENTIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA

Ja, **Matea Domladovec**, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom **Automatizacija upravljanja sustavom fermentacijske komore putem industrijskog računala** rezultat vlastitog rada i istraživa te se oslanja se na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio ovoga rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši autorska prava. Sadržaj ovoga rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Karlovac, rujan, 2023.

Matea Domladovec

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Veleučilište u Karlovcu

Završni rad

Odjel prehrambene tehnologije

Stručni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA SUSTAVOM FERMENTACIJSKE KOMORE PUTEM INDUSTRIJSKOG RAČUNALA

Matea Domladovec

Rad je izrađen na Strojarskom odjelu Veleučilišta u Karlovcu

Mentor: Dr. sc. *Vladimir Tudić*, prof. struč. stud.

Sažetak

Pivo je pjenušavo slabo alkoholno piće čija je proizvodnja kompleksan proces. Budući da su fermentacija i odležavanje dijelovi procesa koji su u najvećem dijelu zaslužni za razvoj arome piva, a što ovisi i o kontroli temperature, potrebno je pravilno definirati njihov temperaturni graf i pomno kontrolirati temperaturu procesa ovisno o vrsti piva koje se proizvodi. Cilj ovog rada je istražiti preduvjete za izradu automatiziranog upravljačkog sustava fermentacijske komore te pokušati izraditi rješenje na industrijskom računalu. Prilikom izrade programa u obzir su uzeti mogući problemi tijekom rada i neželjene situacije te adekvatne reakcije.

Broj stranica: 39

Broj slika: 32

Broj tablica: 0

Broj literaturnih navoda: 31

Broj priloga: 36

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: automatizacija, fermentacija, fermentacijska komora, pivo, proces

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. dr. sc. *Vladimir Tudić*, prof. struč. stud.
2. dr. sc. *Bojan Matijević*, prof. struč. stud.
3. dr. sc. *Sandra Zavadlav*, prof. struč. stud.
4. dr. sc. *Jasna Halambek*, v. pred. (zamjena)

Rad je pohranjen u knjižnici Veleučilišta u Karlovcu, Trg J. J. Strossmayera 9, 47000 Karlovac, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Karlovac University of Applied Sciences

Final paper

Department of Food Technology

Professional undergraduate study of Food Technology

Scientific Area: Biotechnical Sciences

Scientific Field: Food Technology

AUTOMATISATION OF FERMENTATION CHAMBER CONTROL SYSTEM WITH INDUSTRIAL COMPUTER

Matea Domladovec

Final paper performed at The Department of Mechanical Engineering of Karlovac Univeristy of Applied Sciences

Supervisor: Ph.D. *Vladimir Tudić*, collage prof.

Abstract

Beer is a sparkling weak alcoholic drink, the production of which is a complex process. Since fermentation and aging are parts of the process that are largely responsible for the development of the beer's aroma, and which also depends on temperature control, it is necessary to properly define their temperature graph and carefully control the temperature of the process depending on the type of beer being produced. The aim of this work is to investigate the prerequisites for creating an automated control system of the fermentation chamber and to try to create a solution on an industrial computer. When creating the program, possible problems during work and unwanted situations and adequate reactions were considered.

Number of pages: 39

Number of figures: 32

Number of tables: 0

Number of references: 31

Original in: Croatian

Key words: automation, beer, fermentation, fermentation chamber, process

Date of the final paper defense:

Reviewers:

1. Ph.D. *Vladimir Tudić*, collage prof.
2. Ph.D. *Bojan Matijević*, collage prof.
3. Ph.D. *Sandra Zavadlav*, collage prof.
4. Ph.D. *Jasna Halambek*, sen. lecturer (substitute)

Final paper deposited in: Library of Karlovac University of Applied Sciences, Trg J. J. Strossmayera 9, 47000 Karlovac, Croatia.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Što je pivo?	2
2.2. Povijest piva.....	2
2.3. Koraci proizvodnje piva.....	3
2.3.1 Proizvodnja slada	4
2.3.2 Usitnjavanje slada	4
2.3.3 Ukomljavanje	4
2.3.4 Cijedenje komine.....	4
2.3.5 Kuhanje sladovine	5
2.3.6 Obrada sladovine.....	5
2.3.7 Inokulacija kvascem	5
2.3.8 Fermentacija i odležavanje.....	5
2.3.9 Filtracija	5
2.3.10 Punjenje piva u ambalažu.....	6
2.4. Fermentacija i odležavanje.....	6
2.4.1 Vođenje procesa fermentacije	8
3. EKSPERIMENTALNI DIO	14
3.1. Odabir teme rada.....	14
3.1.1 Plan izrade praktičnog dijela rada	14
3.2. Dijelovi sustava.....	14
3.3. Način upravljanja sustavom.....	16
3.4. Opis algoritma upravljačko-nadzornog sustava.....	17
3.4.1 Temperaturni graf.....	17
3.4.2 Načini rada hlađenja	18
3.4.3 Ciklusi hlađenja i otapanja	19

3.4.4	Alarmi.....	20
3.5.	Podjela u funkcionalne grupe.....	21
3.5.1	Obrada temperaturnih ulaza	21
3.5.2	Računanje zadane temperature prema temperaturnom grafu	23
3.5.3	Ciklusi komore (hlađenje, otapanje)	25
3.5.4	Obrada alarma	26
3.5.5	Grafičko sučelje i parametri sustava	27
3.6.	Odabir PLC-a	28
3.7.	Izvedbeno rješenje.....	30
4.	ZAKLJUČAK.....	39
5.	LITERATURA	40
Prilozi.....		43

1. UVOD

Pivo je pjenušavo slabo alkoholno piće u kojemu uživaju mnogi ljudi. Proizvodnja piva kompleksan je proces kroz koji se od samog početka proteže problematika upravljanja temperaturom. Fermentacija i dozrijevanje su usko povezani dijelovi procesa, koji uvelike utječu na aromu i karakteristike gotovog piva. Iako se pivo većinom proizvodi u pivovarama u velikim šaržama, postoji mnogo manjih proizvođača te onih koji pivo proizvode u kućnoj radinosti (engl. *homebrewing*). Postojeća rješenja za upravljanje i nadzor tijekom fermentacije manjih šarži nisu uvijek dovoljno fleksibilna ili cjenovno prihvatljiva. Autor ovog rada potaknut osobnim interesom odlučio je istražiti koji su preduvjeti za izradu automatiziranog upravljanja sustavom fermentacijske komore te pokušati izraditi rješenje na industrijskom računalu po nauku struke. Postojeća rješenja korisnik nije uvijek u stanju promijeniti i prilagoditi svojim potrebama pa bi se izradom vlastitog rješenja, odnosno programiranjem industrijskog računala, mogao napraviti zadovoljavajući sustav uz manje troškove nabave.

Teorijski dio ovog rada bavi se svim pojmovima i informacijama bitnim za razumijevanje teme i problematike ovog rada. Objašnjava što je pivo te cijeli proces proizvodnje, kao i moguće načine vođenja fermentacije i odležavanja s naglaskom na rashladne komore.

U eksperimentalnom dijelu ovog rada razrađuje se koncept izrade rješenja što uključuje sve potrebne dijelove sustava, način njegovog korištenja te opis algoritma. Također je prikazano rješenje izrađeno prema konceptu.

2. TEORIJSKI DIO

U teorijskom dijelu rada objašnjen je proces proizvodnje piva s naglaskom na fermentaciju i odležavanje. Objašnjeni su načini vođenja fermentacije s naglaskom na rashladne komore te dijelovi i rad iste.

2.1. Što je pivo?

Pivo je pjenušavo osvježavajuće slabo alkoholno piće karakterističnog okusa po sladu, hmeljne arome te više ili manje izražene gorčine. Nastaje vodenom ekstrakcijom sirovina, njihovim kuhanjem i fermentacijom koju provodi pivski kvasac. U nekim zemljama pivo je definirano zakonima kao što je to slučaj u Njemačkoj. Zakonom o čistoći piva (njem. *Reinheitsgebot*) propisane su jedine dopuštene sirovine za proizvodnju piva u Njemačkoj: voda, slad (osušeni prokljajali ječam), hmelj i kvasac [1], [2].

2.2. Povijest piva

Pivo je jedno od najstarijih pića koje je čovjek proizvodio, a proizvodi se više od 6000 godina. Dok točan podatak o tome kada je prvo pivo proizvedeno ne postoji, prvi dokazi o postojanju piva datiraju oko 4000.g.pr.Kr. – to su glinene pločice s piktogramima na kojima dva čovjeka piju pivu na slamku iz velikog vrča [3].

Postoje brojne legende o pronalasku piva, no danas se pretpostavlja da je do pronalaska piva najvjerojatnije došlo slučajno. Jedna od pretpostavka kako je došlo do otkrića piva upućuje da je prvo pivo moguće nastalo spontanim alkoholnim i mliječno kiselim vrenjem kruha u posudi kojeg je namočila kiša radi čega je kruh opljesnivio. Time je nastala kaša koja je u svom sastavu imala alkohol. Taj neizravan postupak proizvodnje piva se zatim svjesno ponavljao i usavršavao te je od prevrele kaše nastao proizvod sličan današnjem pivu [1].

Tako dobiveno pivo uvelike se razlikovalo od suvremenog piva budući da je bilo mutno, jako podložno kvarenju, bez pjene te se radi plutajućih dijelova zrna žitarica moralo piti koristeći slamku. Kvaliteta piva se s vremenom poboljšavala jednostavnom metodom pokušaja i pogreške [1].

Pivo je imalo višestruku ulogu u društvu, a prvenstveno se koristilo kao društveno piće. Zbog tada nepoznatog postupka fermentacije te opojnog svojstva alkohola pivo se smatralo darom bogova te se koristilo i u vjerskim obredima. Osim toga, pivo se koristilo i u robnoj razmjeni kao sredstvo plaćanja, te zbog svoje visoke hranjive vrijednosti kao zamjena za obrok – standardni obrok u Mezopotamiji i Egiptu bili su pivo i kruh [3].

Proizvodnja piva nastavlja se i u srednjem vijeku kada se većina proizvodnje odvijala u samostanima. Korištenje riječi pivo počinje se koristiti tek između šestog i sedmog stoljeća. Tada započinje i korištenje hmelja radi njegovih tehnoloških prednosti (taloženje proteina, ubrzano bistrenje piva, ugodna gorčina, usporavanje rasta štetnih mikroorganizama), a umjesto „gruta“ – mješavine trava koja se koristila do tada [1].

Tek u 19. stoljeću, s izumom mikroskopa, otkriveni su mikroorganizmi kvasci i njihova uloga u proizvodnji piva. Krajem istog stoljeća, s razvojem tehnologije i znanosti, započinje industrijski razvoj same proizvodnje piva [1].

U 21. stoljeću pivarstvo postaje industrija velikih razmjera. Moderne pivovare koriste automatiziranu opremu od nehrđajućeg čelika, a pivo pune u kebove (metalne bačve), staklene i plastične boce te limenke [2].

2.3. Koraci proizvodnje piva

Proces proizvodnje piva sastoji se od nekoliko koraka odnosno tehnoloških faza koji su detaljnije opisani u referentnoj literaturi [1], [4] i [5]:

- proizvodnje slada,
- usitnjavanja slada,
- ukomljavanja,
- cijedenja sladovine,
- kuhanja sladovine i dodavanja hmelja,
- obrada sladovine (izdvajanje toplog taloga, hlađenje i aeracija)
- inokulacije kvascima,
- fermentacije i odležavanja piva
- filtracije piva, te
- punjenja piva u ambalažu.

U slijedećem dijelu teksta Završnog rada biti će kratko opisan svaki pojedinačni korak odnosno tehnološka faza zbog lakšeg razumijevanja sustava upravljanja i postupka automatizacije.

2.3.1 Proizvodnja slada

Slad je jedna od osnovnih sirovina za proizvodnju piva. To je zapravo proklijali ječma. Dobiva se namakanjem ječma, njegovim klijanjem, sušenjem odnosno prženjem te uklanjanjem klica. Proces sladovanja ječma provodi se kako bi škrobna zrnca ječma postala porozna te time škrob učinio dostupnim enzimima tijekom ukomljavanja. Sladovanjem se također postiže željena boja i arome [4].

2.3.2 Usitnjavanje slada

Kako bi se povećala dodirna površina između enzima i škroba tijekom ukomljavanja i time njegova bolja razgradnja do jednostavnijih šećera, slad je potrebno usitniti. Tim postupkom dobiva se sladna prekrupa. Cilj usitnjavanja je endosperm ječma čim bolje usitniti, a pljevicu potrebnu za cijedenje komine sačuvati [1].

2.3.3 Ukomljavanje

Ukomljavanje je vodena ekstrakcija spojeva iz sladne prekrupe. Sladna prekrupa se miješa s toplom vodom te se zagrijava sa stankama na optimalnim temperaturama pojedinih enzima ovisno o sastavu odnosno kvaliteti slada. Time se dobiva ošćerena komina. Tako prvotno netopivi sastojci sladne prekrupe prelaze u topive [5].

2.3.4 Cijedenje komine

Kako je za daljnju proizvodnju piva potrebna samo sladovina (tekući dio komine s ekstraktom iz slada) pri završetku ukomljavanja potrebno je iz komine izdvojiti sladovinu od tropa – suspendiranih čestica. To se može postići filtracijom ili cijedenjem u cijednjaku. Za cijedenje potrebna je pljevica koja zajedno s ostalim suspendiranim istaloženim česticama tvori filterski kolač kroz koji se dalje nastavlja filtracija [1].

2.3.5 Kuhanje sladovine

Nakon izdvajanja sladovine slijedi kuhanje iste i dodavanje hmelja. Kuhanje traje 1-1,5 h na temperaturi od 100°C. Tijekom kuhanja dolazi do mnogih promjena, a one najvažnije su: otapanje i izomerizacija hmeljnih spojeva, nastajanje proteinsko-taninskih spojeva tj. toplog taloga, otparavanje vode, sterilizacija sladovine i inaktivacija enzima [1].

2.3.6 Obrada sladovine

Pod obradu sladovine spada uklanjanje toplog tj. proteinsko-taninskog taloga, hlađenje sladovine te njena aeracija. Uklanjanjem toplog taloga uklanjaju se gorki tanini te veći dio proteina koji bi u protivnom uzrokovali povećanu zamućenost piva i druge probleme tijekom proizvodnje. Uklanjanje toplog taloga vrši se po principu taloženja. Potom slijedi hlađenje sladovine izmjenjivačem topline na temperaturu naciepljivanja, a nikako na nižu jer su kvasci osjetljivi na smanjenje temperature. Kako bi se kvascima osiguralo dovoljno otopljenog kisika za razmnožavanje, nakon hlađenja sladovinu je potrebno aerirati [1].

2.3.7 Inokulacija kvascem

Ohlađenu i aeriranu sladovinu naciepljuje se kvascem čime započinje fermentacija. Naciepljivanje se najčešće provodi tijekom prebacivanja ohlađene i aerirane sladovine u fermentacijsku posudu, a naciepljuje se čistom kulturom pivskog kvasca [1].

2.3.8 Fermentacija i odležavanje

Naciepljivanjem sladovine započinje fermentacija – egzotermni proces u kojem kvasci pretvaraju šećere u etanol i ugljični dioksid pritom stvarajući potrebnu energiju. Osim toga nastaju i drugi nusprodukte fermentacije koji utječu na aromu piva [5]. Nakon fermentacije slijedi odležavanje piva. Ono služi kako bi se biokemijski uklonili spojevi arome mladog piva, razvili spojevi arome dozrelog piva, zasitilo pivo s ugljičnim dioksidom i istaložili suspendirani sastojci. Odvija se pri +1°C do -1°C, uglavnom jedan do tri tjedna [1], [6]. Više informacija o fermentaciji i odležavanju slijedi u poglavlju 2.4.

2.3.9 Filtracija

Filtracijom se uklanjaju preostale suspendirane čestice i kvasac iz piva tako da pivo pod tlakom prolazi kroz filtracijsko sredstvo na kojem se formira filtracijski kolač [1].

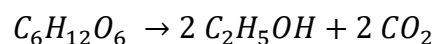
2.3.10 Punjenje piva u ambalažu

Na kraju procesa proizvodnje piva, pivo se puni u ambalažu: staklene boce, PET boce, limenke ili kegove. Pivo se također prije punjenja u ambalažu ili poslije punjenja u staklene boce može pasterizirati čime se postiže biološka stabilnost piva [1].

2.4. Fermentacija i odležavanje

Fermentacija (odnosno primarna fermentacija ili glavno vrenje) je kompleksan biokemijski proces kojeg provode mikroorganizmi, a mikroorganizmi koji se koriste za proizvodnju piva su kvasci. Tijekom fermentacije kvasci pretvaraju šećere u etanol, ugljični dioksid i druge metaboličke produkte koji utječu na sastav i okusu gotovog proizvoda, u ovom slučaju piva. Vrsta kvasca i raznolikost sojeva uvelike utječu na gotov proizvod. Najčešće se provodi kontrolirana fermentacija nacjepljivanjem kvasaca, no može se provoditi i spontana fermentacija. U industrijskoj proizvodnji koristi se gotovo isključivo kontrolirana fermentacija radi svoje pouzdanosti, konzistentne arome i kvalitete. Kako su vrsta i količina metaboličkih produkata kvasaca posljedica njihova sastava tj. čistoće kulture te njihove dinamike vrlo je važno pažljivo voditi proces alkoholne fermentacije [7].

Uz ukomljavanje, kuhanje i odležavanje, fermentacija je najbitniji proces proizvodnje piva. To je proces koji provode kvasci pretvarajući glukozu iz okoline u etanol i ugljični dioksid te tako dobivaju energiju potrebnu za provođenje vlastitih metaboličkih procesa. Ta egzotermna pretvorba se stehiometrijski može prikazati sljedećom jednačinom [1]:



Dakle, kvasac pretvara jednu molekulu glukoze u 2 molekule etanola i 2 molekule ugljičnog dioksida uz stvaranje energije [8].

Bitno je napomenuti kada završava primarna fermentacija, odnosno kada se ona prekida te koji je uvjet za to. Kako bi to bilo moguće odrediti potrebno je odrediti koncentraciju ekstrakta sladovine (e) i mladog piva (n') tijekom primarne fermentacije što se vrši areometrom. Pomoću tih vrijednosti računa se prividan stupanj prevrenja (S'_p) prema formuli:

$$S'_p = \frac{e - n'}{e} \times 100$$

Kada prividan stupanj prevrenja dostigne vrijednost 66-68% za svijetlo, odnosno 60% za tamno pivo, glavno vrenje je gotovo te je potrebno pivo ohladiti na temperaturu odležavanja [1].

Nakon primarne fermentacije slijedi odležavanje (odnosno dozrijevanje, sekundarna fermentacija ili naknadno vrenje) pri kojem se pivo zasićuje s ugljičnim dioksidom, talože suspendirane čestice te se oslobađaju hlapivi sastojci uz pomoć ugljičnog dioksida [1].

Iako je danas poznato koji biokemijski procesi se odvijaju tijekom fermentacije, upravljanje fermentacijom smatra se umjetnošću upravljanja rastom i metabolizmom kvasaca kako bi se dobila željena aroma piva za koju su zaslužni nusprodukti fermentacije. Pritom parametri na koje se mora paziti su soj i čistoća kvasca, vijabilnost – postotak živih stanica, dovoljna količina mikro i makro nutrijenata, pravilno naciepljivanje, optimalna količina kisika te pravilna kontrola temperature [9], [6].

Za fermentaciju u proizvodnji piva koriste se 4 tipa kvasaca: kvasci donjeg vrenja odnosno „lager“ kvasci *Saccharomyces uvarum*, kvasci gornjeg vrenja odnosno „ale“ kvasci *Saccharomyces cerevisiae*, kvasci za proizvodnju afričkog piva *Schizosaccharomyces pombe* te divlji kvasci odnosno neselekcionirani kvasci iz zraka te sa zidova posuda i prostorija. Za kvasce donjeg vrenja karakteristična je optimalna temperatura koja se kreće između 6°C i 10°C te taloženje na dno fermentacijske posude na kraju fermentacije. Kvasci donjeg vrenja odnosno „lager“ kvasci koriste se za proizvodnju lager piva. Optimalna temperatura kvasaca gornjeg vrenja kreće se u rasponu od 10°C do 20°C te se oni na kraju fermentacije ne talože na dno posude već kvasac ispliva na površinu. Kvasci gornjeg vrenja odnosno „ale“ kvasci koriste se za proizvodnju ale piva. Za kvasce za proizvodnju afričkog tipa piva karakteristične su ekstremne temperature od 30°C do 40°C te se za dobivanje ove vrste piva koristi proseni slad. Divlji kvasci se danas vrlo rijetko koriste, uglavnom u tzv. homebrewingu odnosno kućnoj proizvodnji piva [10], [1].

Dva najrasprostranjenija tipa piva su lager i ale s time da lager uvelike prednjači. Njihova razlika u proizvodnji je, između ostalog, i u kontroli temperature fermentacije. Za dobivanje lager piva fermentacija započinje inokulacijom odnosno nacjepljivanjem kvasca pri temperaturi oko 6°C nakon čega se pusti da se temperatura tijekom egzotermnog procesa podigne na oko 8°C. Ta temperatura se održava nekoliko dana te se zatim krene smanjivati 1°C po danu do temperature odležavanja koja iznosi 0°C do -1°C. Postupno smanjenje temperature od samo 1°C po danu je nužno kako bi se izbjegao hladni šok kvasca odnosno nepovratna deaktivacija kvasca uslijed šoka od prebrzog sniženja temperature. Za proizvodnju ale piva inokulacija se vrši pri 10°C - 15°C čime započinje fermentacija, pušta se da se temperatura spontano digne do 20°C - 25°C, a temperatura odležavanja iznosi 18°C - 20°C [10], [1].

Kako su upravo nusprodukti fermentacije najviše zaslužni za aromu piva, a oni su vezani uz kontrolu temperature fermentacije, pravilan nadzor i kontrola temperature prilikom fermentacije su izrazito bitni. Ti spojevi dijele se u 2 skupine: spojeve arome mladog piva i spojeve arome dozrelog piva. Spojevi arome mladog piva nepoželjni su spojevi koji pivu daju nezreo okus i smanjuju kvalitetu piva, a uklanjaju se biokemijski tijekom fermentacije i dozrijevanja. Dva najvažnija predstavnika su diacetil koji pivu daje okus po maslacu te acetaldehid koji je zaslužan za okus po zelenoj jabuci. Diacetil je ujedno i indikator stupnja dozrijevanja piva – ukoliko je koncentracija diacetila u pivu niska, i koncentracije drugih spojeva aroma mladog piva biti će niske. Suprotno tome, najvažniji predstavnici spojeva arome dozrelog piva su esteri i viši alkoholi. Ti spojevi određuju aromu piva, u gotovom pivu moraju biti prisutni u određenim koncentracijama, a na njihovu sintezu utječu uvjeti fermentacije i soj kvasca [10], [6].

2.4.1 Vođenje procesa fermentacije

Postoje 3 tipa vođenja procesa fermentacije: konvencionalni (tradicionalni) odnosno u rashladnim podrumima s otvorenim posudama, moderniji odnosno univerzalan u hlađenim zatvorenim posudama (s ravnim dnom ili cilindrično konusnim dnom – CKF) i vođenje fermentacije u rashladnim komorama, uglavnom u homebrewing-u [1], [11].

U **tradicionalnim** pivovarama fermentacija se odvijala u otvorenim posudama prikazanim na slici 1 ili zatvorenim posudama (fermentorima) smještenima u hlađenim podrumima pod zemljom (5,5-6°C za lager pivo). Temperatura nacjepljivanja tada iznosi 6-7°C. Tijekom fermentacije, koja je egzoterman proces, oslobodi se 586,6 kJ topline po svakom

kilogramu ekstrakta. Oslobođanjem topline podiže se temperatura mladog piva, a kada se postigne željena vrijednost (6-9°C za lager pivo), višak topline potrebno je odvoditi, odnosno potrebno je provoditi hlađenje. Nakon 1-2 dana započinje se sa postepenim hlađenjem do temperature od 4-5°C. Budući da je kvasac jako osjetljiv na smanjenje temperature, hlađenje je potrebno provoditi tempom od 1°C po danu kako bi se izbjegao hladni šok kvasca. Cijeli proces glavnog vrenja odnosno fermentacije u ovom postupku traje 6-8 dana. Nakon glavnog vrenja provodi se naknadno vrenje odnosno odležavanje. Kod ovog postupka, ono se provodi u ležaonim tankovima u hlađenom ležaonom podrumu, a cilj mu je bistrenje piva, uklanjanje spojeva arome mladog piva odnosno stabilizacija okusa piva. Prije su se za odležavanje piva koristile drvene bačve, a danas se koriste metalni tankovi opremljeni sigurnosnim ventilima kako bi se osigurao stalan tlak [1], [6].



Slika 1: Otvorene fermentacijske posude u pivovari Pilsner Urquell u Pilsenu, Republika
Češka

Izvor [12].

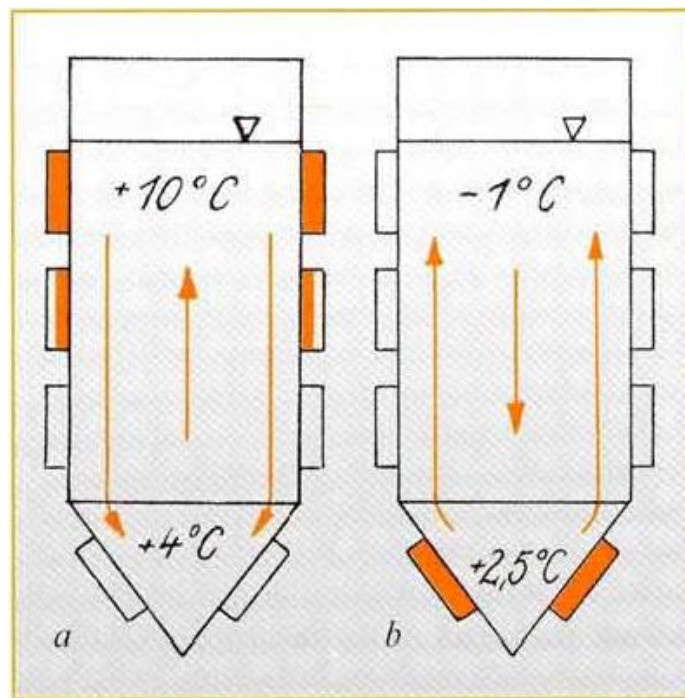
Univerzalan tip vođenja fermentacije i dozrijevanja provodi se u jednoj posudi tj. u cilindrično konusnom fermentoru (skraćeno CKF) prikazanom na slici 2 te je ujedno i najrasprostranjeniji tip vođenja fermentacije [1].



Slika 2: Cilindrično konusni fermentor

Izvor [13].

CKF je tank čiji je gornji dio cilindričan, a donji konusan kuta od 60° do 75° što omogućuje potpuno izbacivanje istaloženog kvasca i drugih čestica. Prosječna površinska hrapavost unutarnjih površina iznosi od 0,4 μm do 0,8 μm, a omjer promjera i visine kreće se od 1:1 do 1:5. CKF nema mehaničko miješalo već do miješanja dolazi uslijed oslobađanja ugljičnog dioksida koji se diže na površinu te kao rezultat hlađenja po zonama CKF-a ovisno o fazi procesa. Tako se tijekom glavnog vrenja hladi gornja zona fermentora, dok se za vrijeme odležavanja hladi zona konusa. Time se osigurava lagano konvekcijsko strujanje piva prikazano na slici 3 [1], [5].



Slika 3: Zone hlađenja u CKF-u te konvekcijsko strujanje piva u: **a.** gornjoj zoni fermentora prilikom glavnog vrenja i **b.** zoni konusa prilikom odležavanja

Izvor [5].

Za vrijeme glavnog vrenja hladi se gornja zona CKF-a na 4-5°C čime gustoća piva raste te ono pada na dno. Kako se fermentacija odvija te se oslobađa toplina, pivo se zagrijava, gustoća mu se smanjuje te se uzdiže ka površini. Pri odležavanju hlađenje se prebacuje na konusnu zonu budući da je u ovom djelu procesa to zona najtoplijeg i najgušćeg piva. Hladi se na -1°C čime se gustoća zbog anomalije vode smanjuje te pivo struji prema površini gdje se zagrijava kao posljedica metabolizma preostalog kvasca čime se gustoća povećava i pivo struji prema dolje. Pri tome treba obratiti pažnju da temperatura piva ne padne ispod -2°C kako ne bi došlo do stvaranja leda što uzrokuje oštećenje fermentora te ima negativan utjecaj na aromu piva [5].

Regulacija temperature fermentacije i odležavanja u CKF-u, za dobivanje lager piva, započinje postizanjem temperature naciepljivanja koja iznosi 6-7°C. Nakon naciepljivanja se temperatura spontano diže do maksimalne temperature glavnog vrenja koja iznosi 8-9°C, a održava se otprilike 2 dana. Zatim se temperatura postupno smanjuje do 3-4°C. Tada bi udio fermentabilnog ekstrakta trebao biti od 0,8% do 1,0%. Kada se postigne ta temperatura, ispušta se sav istaloženi kvasac te se temperatura nastavlja smanjivati do temperature odležavanja od -1°C. Na toj temperaturi preostali suspendirani kvasac nastavlja biokemijski uklanjati spojeve arome mladog piva što se najčešće provodi jedan do tri tjedna. Smanjenje temperature je i u ovom tipu vođenja procesa fermentacije i odležavanja potrebno provoditi postepeno odnosno tempom od 1°C po danu kako bi se izbjegao hladni šok kvasca. On je nepoželjan jer rezultira neadekvatnim naknadnim vrenjem i samim time nedovoljnim uklanjanjem nepoželjnih spojeva aroma mladog piva te stvaranjem neugodne arome po kvascu do koje dolazi uslijed autolize kvasca [1], [6].

Treći tip vođenja procesa fermentacije je vođenje fermentacije u **rashladnim komorama**. Rashladna komora, prikazana na slici 4, je uređaj s regulacijom temperature i vlažnosti u kojem se čuvaju razni proizvodi u kontroliranim, odnosno zadanim uvjetima, a mogu raditi u plus (temperature iznad 0°C) i minus (temperature ispod 0°C) režimu te kombinaciji ta dva režima. Najviše se koriste u prehrambenoj, farmaceutskoj i tekstilnoj industriji. Rashladna komora može biti cijela prostorija ili pak manji uređaj veličine hladnjaka, a izrađene su od termoizolacijskih poliuretanskih panela debljine od 6 cm do 14 cm obloženih s obje strane plastificiranim limom. Temperatura se zadaje putem mikroprocesora te se njena regulacija i održavanje vrši uglavnom automatski [14], [15].

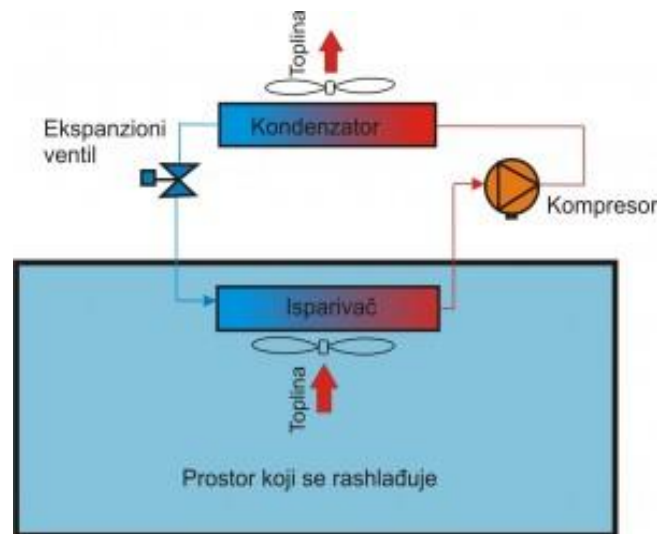


Slika 4: Rashladna komora

Izvor [16].

Princip rada rashladne komore je sličan principu rada hladnjaka – rashladni sustav izvlači suvišnu toplinu iz izolirane kutije tj. komore i izbacuje ju van komore. Rad komore reguliran je elektronskom jedinicom na osnovi očitanih temperatura temperaturnih sondi te se hlađenje uključuje kada je temperatura unutrašnjosti komore viša od zadane, a isključuje se kada se postigne odgovarajuća temperatura [15]. Dakle, do hlađenja posuda, odnosno sadržaja, u komori dolazi preko rashlađenog zraka komore. Takav oblik prijenosa topline i samog vođenja fermentacije je manje efikasan od prethodno navedenih, ali se zbog jednostavnosti sustava koristi u homebrewingu.

Rashladna komora sastoji se od četiri glavna uređaja, a to su: isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. Njihova je shema prikazana na slici 5. Za hlađenje se koriste rashladni mediji, odnosno fluidi, koji se biraju ovisno o željenim temperaturama rashladne komore tako da isti pri manjem podtlaku isparava na nižoj temperaturi od zadane temperature rashladne komore. Cijeli sustav kontrolira elektronička jedinica (industrijsko računalo) na osnovi izmjerenih temperatura temperaturnih sondi koji pokreće i zaustavlja rashladni sustav te tako održava zadanu temperaturu u rashladnoj komori [17].



Slika 5: Pojednostavljena shema rashladne komore i njenih glavnih dijelova

Izvor [17].

Unutrašnjost rashladne komore hladi se zahvaljujući kruženju rashladnog medija kroz rashladni sustav komore. Kruženje započinje u isparivaču gdje fluid isparava, taj fluid u plinovitom stanju usisava kompresor, stlačuje ga povećavajući mu temperaturu te on iz kompresora odlazi u kondenzator pod visokim tlakom i temperaturom. U kondenzatoru se plinovitom fluidu oduzima toplina i on prelazi u tekuću fazu te je još uvijek pod povišenim

tlakom. Za hlađenje komore taj fluid mora ponovno prijeći u plinovitu fazu, što se događa u ekspanzijskom ventilu. U njemu se tekućem fluidu smanjuje tlak te on u rashladnom tijelu isparava na niskoj temperaturi koja odgovara tlaku tekućeg rashladnog medija, oduzimajući toplinu rashladnoj komori čime se temperatura rashladne komore smanjuje [17].

Prvi uređaj u ovom kružnom procesu je kompresor. On stlačuje fluid u plinovitoj fazi te on prelazi u tekuću uz utrošak energije koju mu osigurava elektromotor. Tlak rashladnog fluida raste te time raste i njegova temperatura na temperaturu višu od okoline [18].

Slijedeći uređaj je kondenzator, a on je uređaj u kojem se pare rashladnog fluida, koje dolaze iz kompresora, kondenziraju pomoću zraka, vode ili freona. Do kondenzacije dolazi prelaskom topline rashladnog fluida na najčešće zrak ili pak vodu ili freone. Nakon kondenzacije se fluid dodatno hladi ispod temperature kondenzacije [17], [18].

Treći dio rashladnog sustava rashladne komore je ekspanzijski ventil koji smanjuje tlak rashladnog fluida s tlaka kondenzacije na tlak isparavanja. Može biti automatski, koji se koristi kod manjih rashladnih komora, ili termostatski. Automatski ekspanzijski ventil regulira protok rashladnog fluida na temelju promjene tlaka u isparivaču. S druge strane, termostatski ekspanzijski ventil kontrolira protok rashladnog fluida koji ulazi u isparivač prema količini pregrijanog fluida koji izlazi iz isparivača [17], [18].

Zadnji uređaj u procesu rashlađivanja rashladne komore je isparivač koji je smješten u samu rashladnu komoru. Njegov glavni dio je ventilator koji je odgovoran za kruženje zraka u komori te samim time dobru izmjenu topline s rashladnim fluidom. U isparivaču dolazi do oduzimanja topline iz rashladne komore isparavanjem rashladnog fluida čime se komora hladi. Mogu biti cijevni ili zračni [18].

Prilikom rada isparivača dolazi do zamrzavanja istog zbog vlage u zraku koja se kondenzira na hladnom isparivaču te se zamrzava zbog niske temperature stijenke isparivača [19]. Time efikasnost hlađenja komore pada jer zbog nakupljenog leda nije moguć prilaz topline sa zraka iz komore na rashladni medij u isparivaču. Stoga je potrebno provoditi odmrzavanje isparivača za vrijeme rada rashladne komore.

Ventilatori se u rashladni sustav komore ugrađuju uglavnom na dva mjesta: kod isparivača i kod kondenzatora. Oni osiguravaju prinudno strujanje zraka i time bolju izmjenu topline između zraka komore, odnosno okoline komore u slučaju kondenzatora, i rashladnog medija [20].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom dijelu rada razrađena je tema rada, dijelovi sustava upravljanja i način njegovog provođenja, opis algoritma nadzorno-upravljačkog sustava (monitoring-controlling system), podjela u funkcionalne grupe, odabir industrijskog računala odnosno PLC-a (Programabilnog Logičkog Kontrolera) i izvedbeno rješenje programa upravljanja.

3.1. Odabir teme rada

Tema ovog rada je izrada upravljačko-nadzornog sustava fermentacijske odnosno rashladne komore za proizvodnju piva u manjim količinama. Ideja je proizašla iz osobne potrebe autora rada i slabe ponude na tržištu. Postojeća rješenja većinom nisu u mogućnosti cijeli proces fermentacije odraditi potpuno automatizirano (bez potrebe čestih promjena parametara od strane korisnika), a rješenja koja imaju mogućnost automatizacije upravljanja temperaturom, većinom nisu dovoljno fleksibilna (npr. nemaju mogućnost otapanja isparivača, imaju ograničen broj senzora itd.) [21], [22].

Za realizaciju ovog upravljačko-nadzornog sustava korišteno je znanje stečeno tokom studija s predmeta Osnove upravljanja procesima [23], Proizvodnja slada [4], Sirovine pivarske industrije [8], Tehnologija proizvodnje piva 1 [10], Tehnologija proizvodnje piva 2 [6].

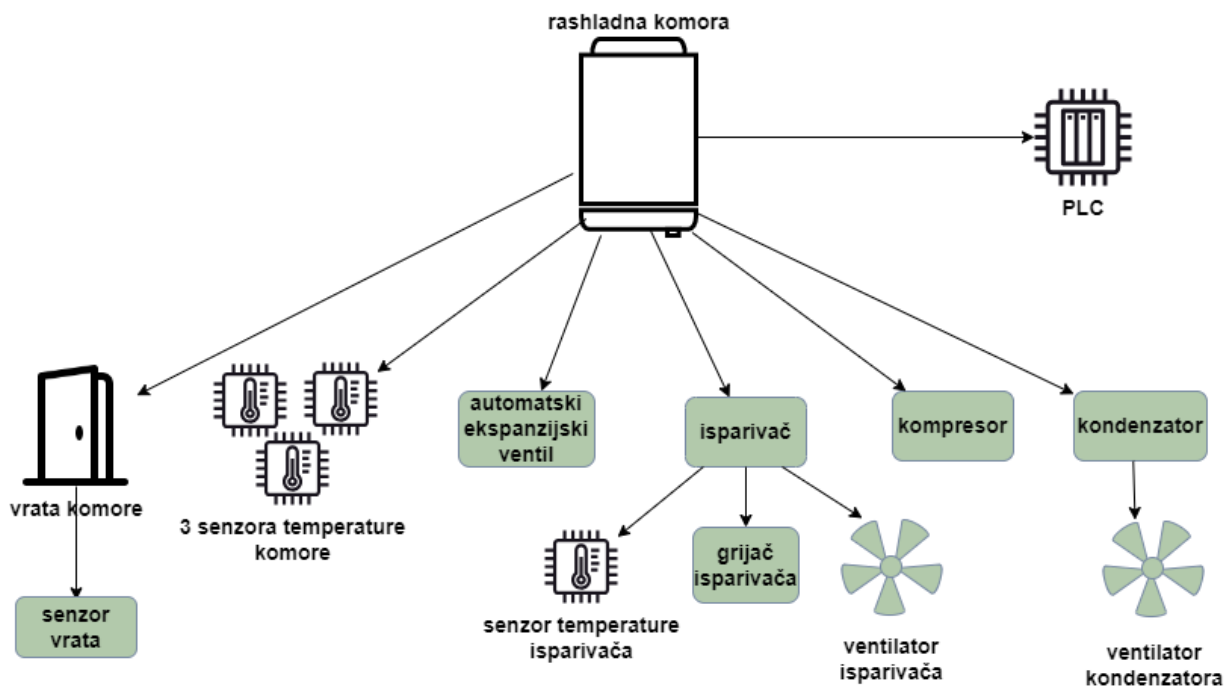
3.1.1 Plan izrade praktičnog dijela rada

Prvi zadatak izrade rješenja za učinkoviti automatizirani upravljačko-nadzorni sustav je definirati dijelove sustava, način njihovog upravljanja te algoritam za nadzor i upravljanje. Tek iza toga moguće je odabrati industrijsko računalo (engl. *Programmable Logic Controller*, skr. PLC) u skladu s potrebama sustava (npr. broj ulaza i izlaza te njihove karakteristike) i napraviti programsko rješenje, koje će omogućiti provođenje fermentacije piva prema željenim parametrima definiranim od strane korisnika.

3.2. Dijelovi sustava

Praktični dio ovog rada sastoji se od koncepta izrade fermentacijske komore te izrade programskog rješenja upravljačko-nadzornog sustava. Izrada cjelokupne fermentacijske komore nije tema ovog rada.

Fizički najveći dio sustava je termički izolirana komora s vratima na prednjoj strani. Ta vrata imaju senzor, koji javlja jesu li vrata otvorena ili ne. Unutar komore nalaze se tri senzora temperature unutrašnjeg prostora. Unatoč tome što bi moglo biti dovoljno imati samo jedan senzor, odabrana su tri zbog pouzdanosti informacije o temperaturi te kako bi u slučaju kvara senzora sustav još uvijek mogao raditi. Ti senzori moraju biti postavljeni na različite dijelove komore (npr. dva nasuprotna ugla i sredina komore). Za upravljanje temperaturom komore potreban je rashladni sustav koji se sastoji od kompresora, isparivača, kondenzatora i automatskog ekspanzijskog ventila (kojim nije potrebno upravljati). Za povećanje efikasnosti izmjene topline potrebna su dva ventilatora, jedan na kondenzatoru i drugi na isparivaču. Zbog pojave leda na isparivaču potreban je grijač isparivača te dodatni senzor temperature isparivača. Odabran je samo jedan senzor, jer prostor isparivača ima relativno mali volumen u odnosu na komoru pa veći broj senzora ne doprinosi kakvoći rada, osim u slučaju kvara senzora. U slučaju učestalih kvarova, slična logika rada kao za komoru bi mogla biti upotrijebljena za rad grijača isparivača uz dodavanje još barem jednog senzora. Na vanjskoj strani komore, nalazi se PLC s grafičkim sučeljem, koji upravlja radom kompresora, ventilatora kondenzatora i isparivača, grijačem isparivača te obavještava korisnika o trenutnom stanju sustava. Za dodatnu sigurnost, odnosno mogućnost gašenja cjelokupnog sustava (npr. u slučaju kvara ekrana PLC-a), potreban je prekidač za isklon (tzv. gljivasto tipkalo).



Slika 6: Shema sustava rashladne komore

Izvorno autor.

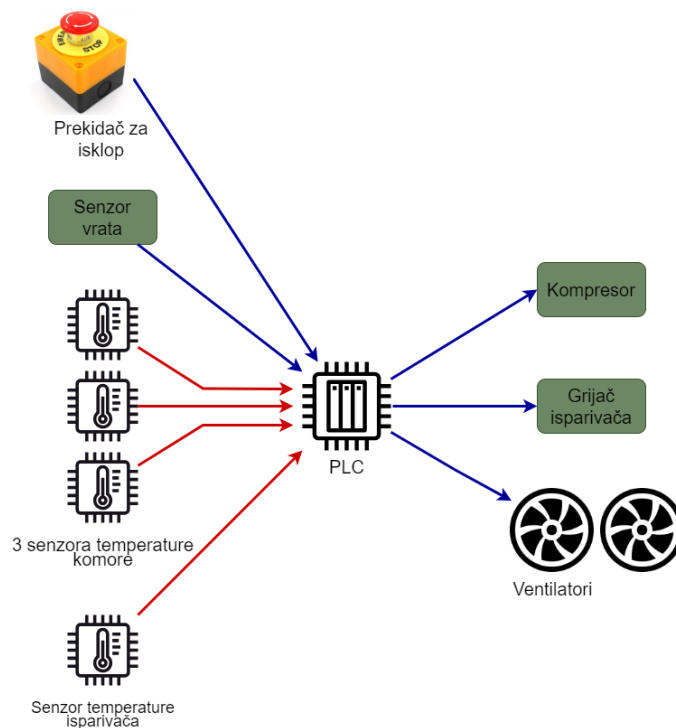
3.3. Način upravljanja sustavom

U ovom radu koncept izrade fermentacijske komore temelji se na upravljačkoj logici, dok cjelokupno električno rješenje sustava nije tema ovog rada.

Cijelim rashladnim sustavom upravlja PLC, koji ima logičke ulaze i izlaze. Ulazi, odnosno ulazne informacije, sastoje se od četiri senzora za temperaturu, senzora vrata komore te prekidača za isklon. Ukupno je potrebno šest ulaza, od toga četiri analogna za senzore te 2 digitalna (uključeno ili isključeno). Analogne vrijednosti senzora su u obliku jakosti struje ili napona, ovisno o vrsti senzora, koje će PLC pretvoriti u iznose temperature prema karakteristikama korištenog senzora [23].

Izlazi PLC-a upravljaju kompresorom, grijačem isparivača te ventilatorima kondenzatora i isparivača. Kompresor i grijač će biti uključivani i isključivani svaki preko jednog digitalnog izlaza, a oba ventilatora će biti upravljana istim digitalnim izlazom. Dakle, ukupno su potrebna tri izlaza. Zbog različitih strujnih krugova PLC-a i ostalih dijelova sustava mogu biti potrebni relejni izlazi, ali detalji strujnih krugova nisu tema ovog rada pa neće biti objašnjeni.

Sučelja PLC-a prikazana su na slici 7.



Slika 7: Ulazna i izlazna sučelja PLC-a, plave strelice označavaju digitalne ulaze i izlaze, crvene strelice označavaju analogne ulaze

Izvorno autor.

3.4. Opis algoritma upravljačko-nadzornog sustava

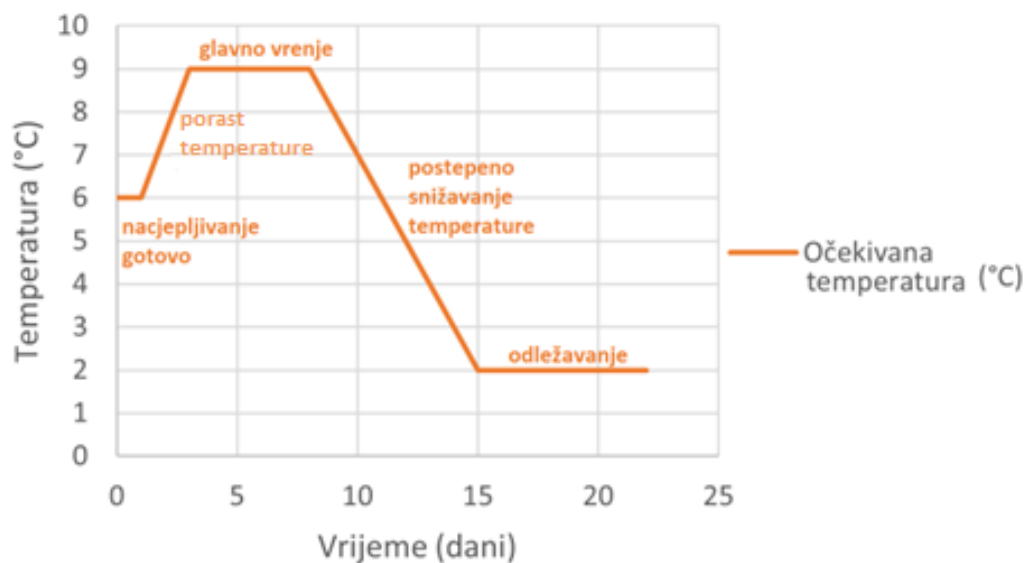
Sustav upravljanja nadzire temperaturu komore pomoću tri temperaturna mjerna osjetila koje u svakodnevnom žargonu operateri nazivaju temperaturne sonde te će se iz tog razloga u Završnom radu tako nazivati. Sonde se nalaze u komori dok je jedna sonda u isparivaču te se na taj način omogućuje upravljanje hlađenjem komore i otapanjem isparivača. Upravljanje temperaturom komore provodi se na temelju temperaturnog plana određenim od strane korisnika tj. tehnologa koji je odgovoran za provođenje tehnološkog procesa. Temperaturni plan sastoji se od slijedećih informacija:

- Temperatura i vrijeme hlađenja prije naciepljivanja
- Temperatura i vrijeme glavnog vrenja
- Temperatura i vrijeme odležavanja

Iz temperaturnog plana možemo izraditi graf očekivane temperature fermentacijske komore u odnosu na vrijeme.

3.4.1 Temperaturni graf

Temperaturni graf (slika 8) započinje na temperaturi naciepljivanja, jer je predviđeno da se sladovina nakon kuhanja prvo ohladi otprilike do sobne temperature (ili npr. dok spremnik na dodir više nije vruć) pa tek onda stavi u fermentacijsku komoru, koja je ohlađena na temperaturu naciepljivanja.



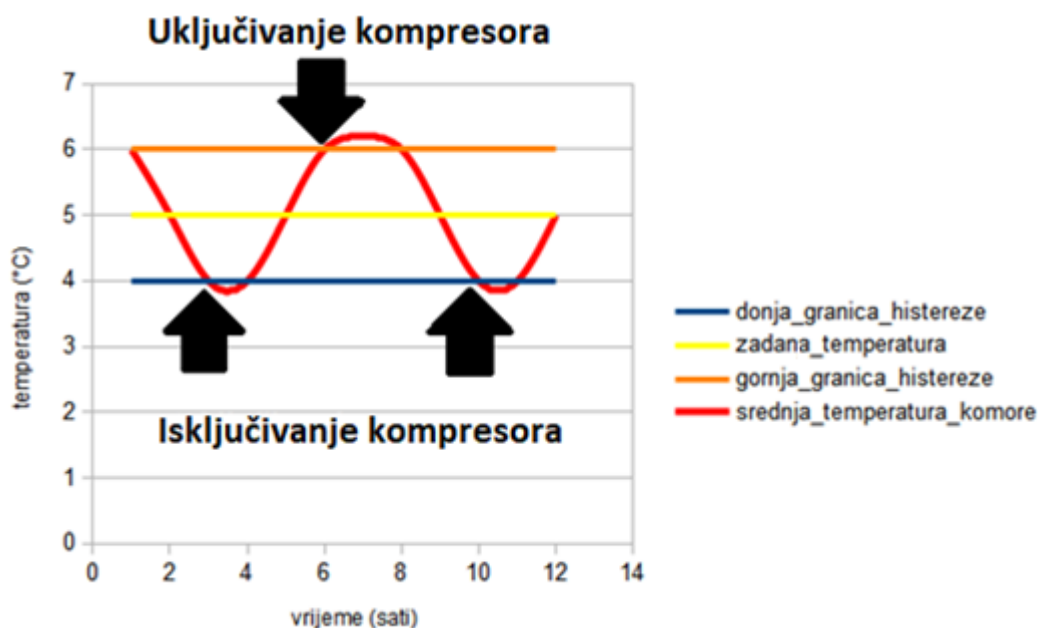
Slika 8: Primjer temperaturnog grafa

Izvorno autor.

Nakon ubacivanja spremnika sa sladovinom u komoru sustav počinje s odbrojavanjem vremena naciepljivanja (npr. 4 sata), koje je parametrizirano. Prilikom isteka tog vremena sustav obavještava korisnika o isteku vremena, odnosno spremnosti za naciepljivanje. Korisnik će zatim spremnik izvaditi iz komore, izmjeriti temperaturu sladovine te će, ako je temperatura odgovarajuća, sladovinu aerirati i naciepiti. U slučaju da željena temperatura sladovine nije postignuta, spremnik će biti vraćen na hlađenje koje se nastavlja dok god korisnik putem grafičkog sučelja ne potvrdi odrađeno dodavanje kvasca. Nakon dodavanja kvasca temperatura sladovine će se povećavati tijekom egzotermnog procesa fermentacije, što će također povećati i temperaturu zraka komore. Tek kada se postigne temperatura glavnog vrenja, ona se održava prema temperaturnom planu. Po isteku tog vremena (npr. 4 dana) potrebno je ohladiti spremnik s mladim pivom do temperature odležavanja, koja je zadana temperaturnim grafom. Snižavanje temperature potrebno je izvoditi postepeno ($1^{\circ}\text{C}/24\text{h}$), kako bi se izbjegao hladni šok kvasca. Nakon postizanja temperature odležavanja, ona se održava željeni broj dana do samog kraja procesa.

3.4.2 Načini rada hlađenja

Upravljanje hlađenjem ima tri načina rada. Osnovni način rada je hlađenje na temelju srednje vrijednosti temperature ($T_{srednja}$) svih triju temperaturnih sonde komore (T_1, T_2, T_3). Ukoliko je jedna od sonde u kvaru, srednja vrijednost računa se na temelju preostalih sonde. Ukoliko su dvije ili tri sonde u kvaru, sustav prestaje s radom. Kvar, odnosno ispad sonde, definira se na principu očitavanja nevaljane temperature, odnosno očitanjem temperature izvan mjernog područja sonde prema specifikacijama proizvođača. Upravljanje se temelji na principu temperaturne histereze između zadane temperature (T_{zadano}) i dozvoljenog odstupanja ($T_{odstupanje}$). Kada je srednja temperatura komore veća od gornje granice histereze ($T_{zadano} + T_{odstupanjeG}$) pali se kompresor, koji se gasi kada se dosegne donja granica histereze ($T_{zadano} - T_{odstupanjeD}$). Primjer upravljanja kompresorom po principu histereze nalazi se na slici 9. Ventilatori se uključuju s vremenskom zadržkom od tri sekunde nakon što je kompresor uključen kako bi se smanjilo nazivno opterećenje strujnog kruga [24], [25]. Ventilatori se gase istovremeno s kompresorom.



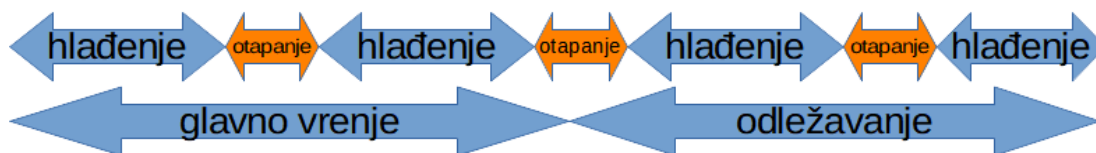
Slika 9: Prikaz upravljanja kompresorom po principu histereze

Izvorno autor.

Drugi način rada je hlađenje na temelju temperature sonde koja je izvan dopuštene temperaturne razlike. Ovim načinom rada osigurava se da nijedan dio komore ne bude na previsokoj temperaturi. Ukoliko ijedna sonda ima očitavanje temperature više od zbroja zadane temperature i dozvoljene razlike (npr. $T_2 > T_{zadano} + T_R$) tada ovaj način rada postaje aktivan. Ta sonda postaje referentna sonda (umjesto srednje temperature) te se vrši hlađenje komore do trenutka ostvarivanja zadane temperature na referentnoj sondi, kada sustav prelazi u osnovni način rada. Hlađenje prestaje uz prijelaz u osnovni način rada i prije ostvarivanja zadane temperature ako ijedna sonda postigne temperaturu donje granice histereze ($T_{zadano} - T_{odstupanjeD}$).

3.4.3 Ciklusi hlađenja i otapanja

Nakon višesatnog hlađenja nastat će led na isparivaču pa je potrebno provoditi otapanje isparivača. Ono se izvodi u ciklusima određenim od strane korisnika (npr. svakih 12 sati). Uključivanjem PLC-a uvijek počinje ciklus hlađenja koji traje vrijeme određeno parametrom ($t_{hlađenje}$), a zatim slijedi ciklus otapanja ($t_{otapanje}$), čije je vrijeme također parametrizirano. Ciklusi otapanja i hlađenja se izmjenjuju do isključenja sustava (od strane korisnika, ili završetkom fermentacije). Ciklusi otapanja privremeno prekidaju hlađenje po temperaturnom planu, a vrijeme otapanja ulazi u vrijeme temperaturnog plana (slika 10).



Slika 10: Prikaz izmjene ciklusa hlađenja i otapanja

Izvorno autor.

Otapanje se vrši uključivanjem grijača isparivača. Otapanje završava kada temperaturna sonda smještena u isparivaču (T_4) dosegne željenu temperaturu isparivača ($T_{isparivač}$) i tada se grijač isključuje. Za vrijeme otapanja kompresor i ventilatori moraju biti isključeni.

3.4.4 Alarmi

Za vrijeme fermentacije, ako su vrata otvorena PLC mora spremiti informaciju o otvaranju vrata u obliku alarma, koji se resetira ručno od strane korisnika, ili prilikom novog pokretanja rada komore.

Korisnika se također mora obavijestiti o previsokoj i preniskoj temperaturi za vrijeme rada komore i kvaru temperaturnih sondi. Alarmi za previsoku i prenisku temperaturu postaju aktivni ako srednja temperatura komore prijeđe granicu definiranu gornjom (T_{alarmG}) i donjom (T_{alarmD}) temperaturnom razlikom. Temperaturna razlika se računa od gornjeg i donjeg odstupanja histereze na slijedeći način:

- alarm za previsoku temperaturu aktivira se kada $T_{srednja} \geq T_{zadano} + T_{odstupanjeG} + T_{alarmG}$
- alarm za prenisku temperaturu aktivira se kada $T_{srednja} \leq T_{zadano} - T_{odstupanjeD} - T_{alarmD}$.

Kod kvara temperaturne sonde sprema se informacija o sondi koja je ispala i vrijeme ispada. Svi alarmi ostaju u memoriji do ručnog reseta, ili do ponovnog pokretanja rada (putem gljivastog tipkala ili preko grafičkog sučelja) kada se automatski resetiraju.

3.5. Podjela u funkcionalne grupe

Upravljačku logiku možemo definirati putem dijagrama kontrolnog toka (engl. *Control-flow diagram*). Zbog jednostavnosti izrade rješenja podijelit ćemo upravljačku logiku na više funkcionalnih grupa:

- Obrada temperaturnih ulaza (provjera kvara temperaturnih sondi, računanje srednje temperature komore)
- Računanje zadane temperature prema temperaturnom grafu
- Ciklusi komore (hlađenje, otapanje)
- Obrada alarma
- Grafičko sučelje i parametri sustava

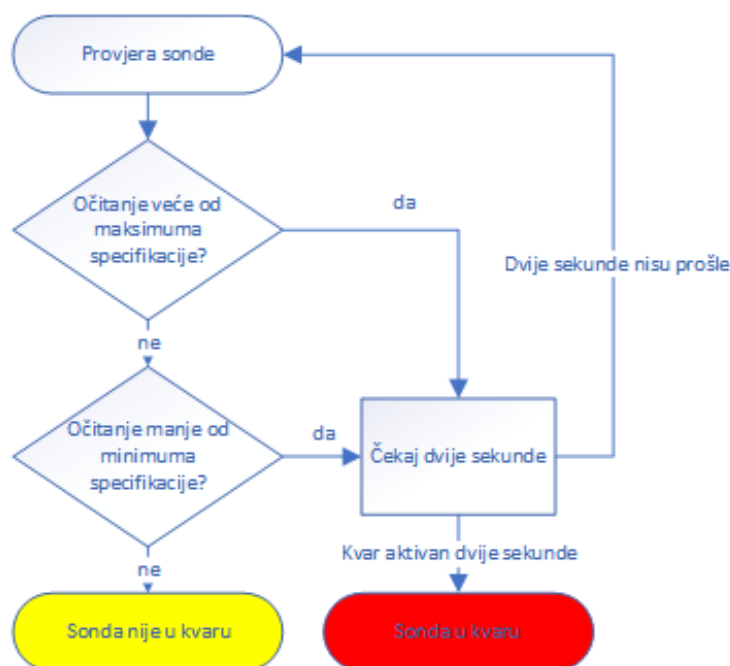
3.5.1 Obrada temperaturnih ulaza

Na početku izvođenja programa potrebno je pročitati vrijednosti senzora temperature te provjeriti jesu li u očekivanim granicama specificiranim od strane proizvođača. Ako nisu, to ukazuje na kvar temperaturne sonde. Potrebno je prekinuti s radom ako je sonda isparivača u kvaru, ili su u kvaru dvije ili tri sonde komore. U suprotnom potrebno je izračunati srednju temperaturu svih sondi komore koje nisu u kvaru. Za lakšu izradu algoritma, moguće je definirati dijagrame tijeka (engl. *flowchart*) [26]. Dijagram tijeka za obradu temperaturnih ulaza nalazi se na slici 11.



Slika 11: Dijagram tijeka provjere temperaturnih sondi
Izvorno autor.

Potrebno je dodatno definirati na koji način se provjerava je li sonda u kvaru. Zbog mogućnosti smetnji prilikom očitavanja vrijednosti temperature poželjno je filtrirati mogući trenutni kvar, što ćemo napraviti vremenskim kašnjenjem od dvije sekunde. Drugim riječima, kvar se registrira samo ako je aktivan dvije sekunde ili duže. Dijagram tijeka načina provjere sonde nalazi se na slici 12.



Slika 12: Dijagram tijeka načina provjere sonde

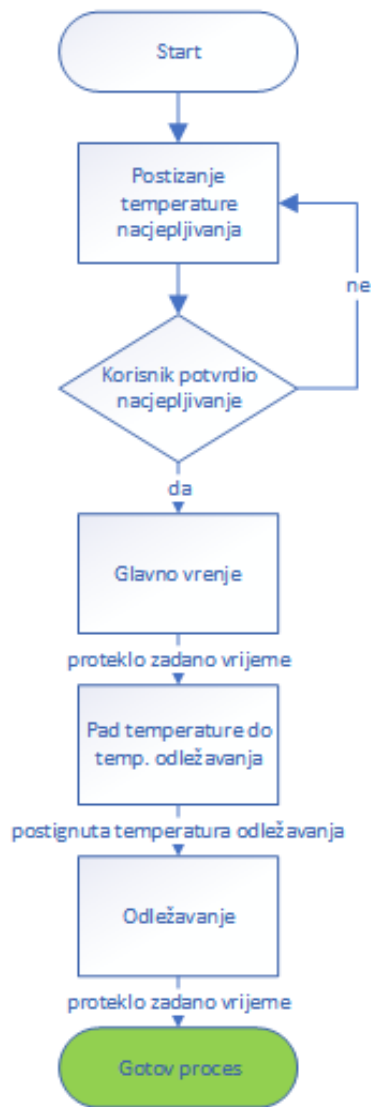
Izvorno autor.

3.5.2 Računanje zadane temperature prema temperaturnom grafu

Nakon uspješnog očitavanja trenutne temperature komore slijedi računanje potrebne temperature komore prema temperaturnom grafu (3.4.1). Temperaturni graf sadrži procese:

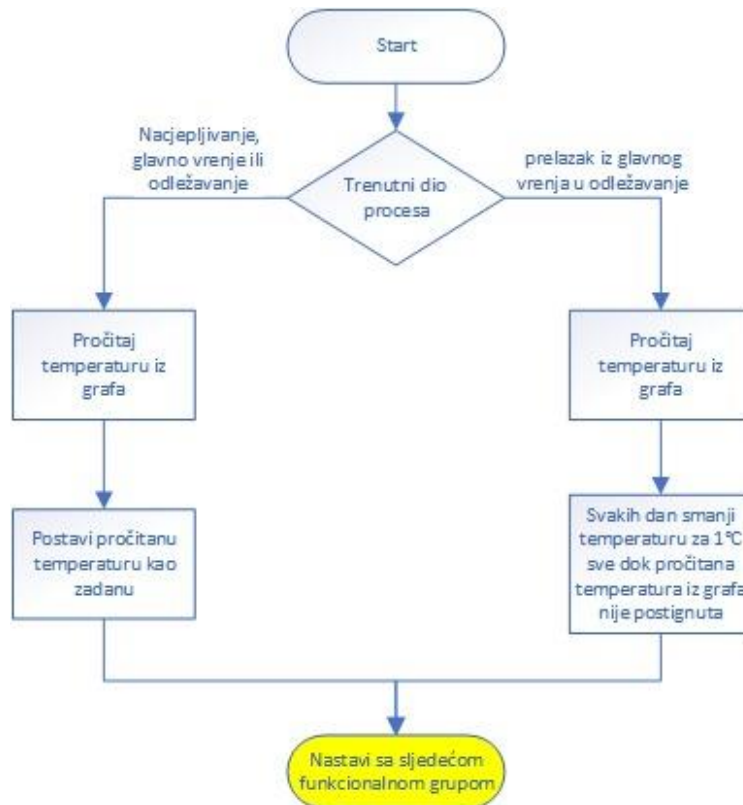
- nacjepljivanja,
- porasta temperature i glavnog vrenja,
- pada temperature, odnosno prijelaza iz glavnog vrenja na odležavanje te
- odležavanja.

Rad sustava uvijek počinje nacjepljivanjem. Program mora znati koji je trenutno aktivan proces (i koliko dugo već traje), jer o njemu ovisi potrebna temperatura. Nacjepljivanje završava potvrdom od strane korisnika. Glavno vrenje počinje postizanjem temperature glavnog vrenja, a završava istekom vremena kada počinje pad temperature koji završava postizanjem temperature odležavanja. Odležavanje zatim traje do isteka vremena, odnosno gašenja sustava. Praćenje aktivnog procesa prikazano je dijagramom tijeka na slici 13.



Slika 13: Dijagram tijeka procesa
Izvorno autor.

Kroz svaki prethodno navedeni proces (osim porasta temperature) potrebno je regulirati temperaturu komore. Za vrijeme nacjepljivanja, glavnog vrenja i odležavanja zadana temperatura se ne mijenja, a za vrijeme pada temperature se ona mijenja postepeno. Dijagram tijeka računanja zadane temperature prikazan je na slici 14.



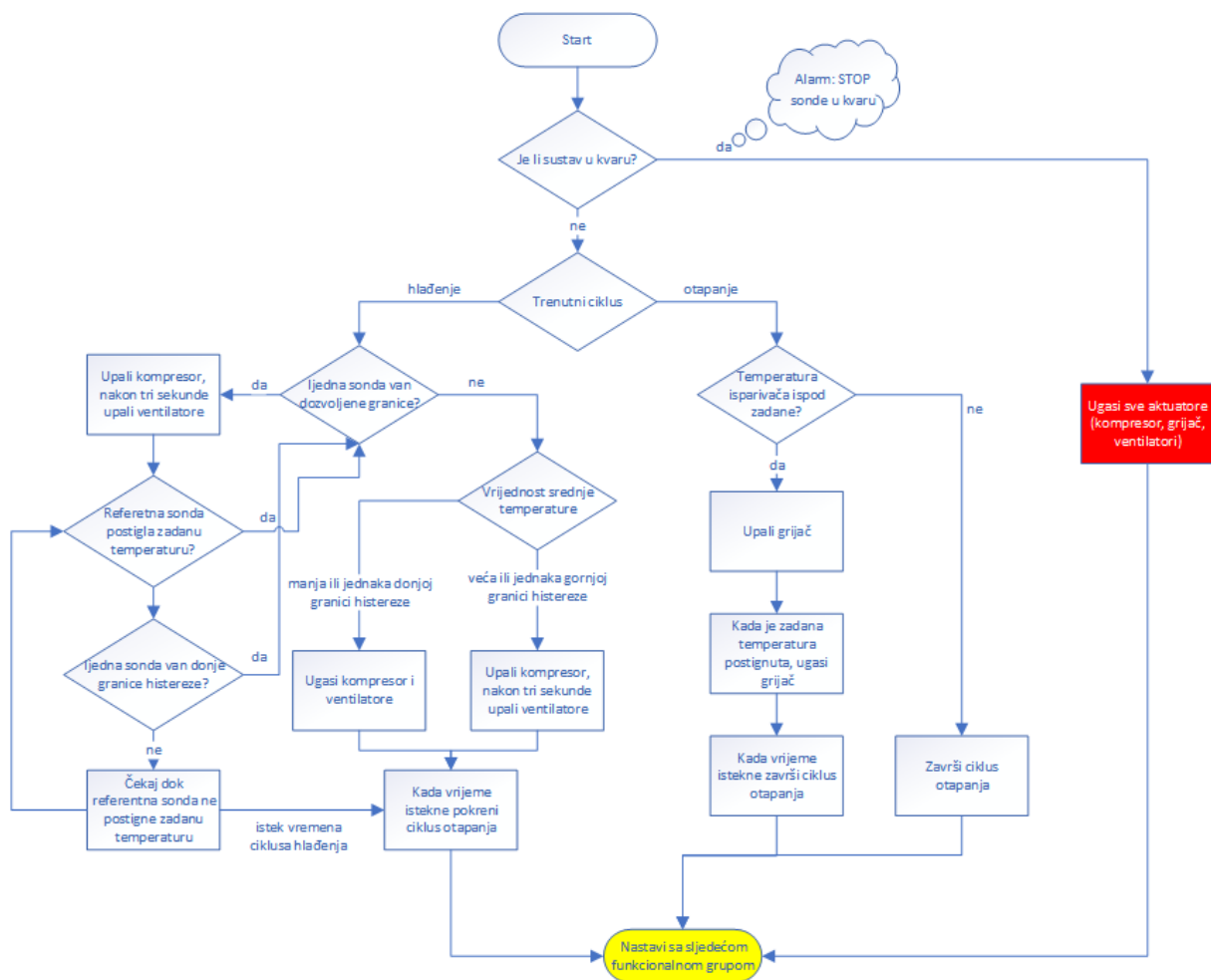
Slika 14: Dijagram tijeka računanja zadane temperature

Izvorno autor.

3.5.3 Ciklusi komore (hlađenje, otapanje)

Nakon što je poznata potrebna temperatura komore, moguća je regulacija temperature. Rad sustava započinje ciklusom hlađenja, nakon kojeg slijedi ciklus otapanja te se oni izmjenjuju ciklički od početka do kraja rada, kao što je navedeno u poglavlju 3.4.3, a hlađenje i otapanje se vrše po principu histereze, kao što je navedeno u 3.4.2.

Dijagram tijeka za upravljanje hlađenjem i otapanjem po kojem je potrebno izraditi algoritam regulacije temperature prikazan je na slici 15.



Slika 15: Dijagram tijeka izmjene i provođenja ciklusa hlađenja i otapanja

Izvorno autor.

3.5.4 Obrada alarma

Kako bi se korisnika obavijestilo o potencijalno neželjenim situacijama za vrijeme odvijanja procesa moguće je koristiti funkciju alarma spomenutu u poglavlju 3.4.4. Kada je alarm jednom aktiviran, on se sprema u memoriju PLC-a te ostaje u memoriji do brisanja alarma putem potvrde ili ponovnog pokretanja rada komore.

Ukoliko su vrata komore tijekom rada bila otvorena duže od 5 minuta uključuje se alarm „otvorena vrata“. On služi za informaciju korisniku o potencijalnom uzroku problema s održavanjem temperature.

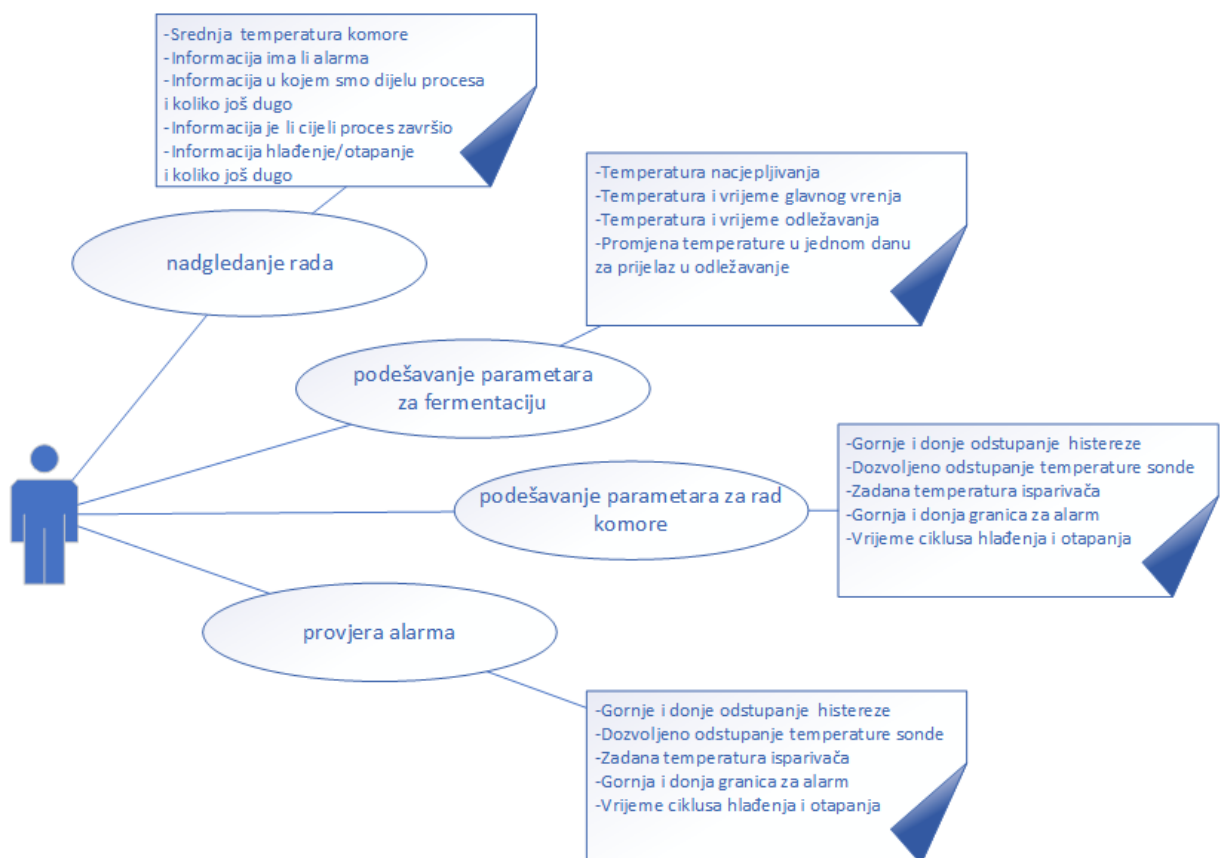
Kada srednja temperatura komore dostigne temperaturu za aktivaciju alarma ili više (definiranu u poglavlju 3.4.4.), alarm „previsoka temperatura“ se uključuje. Po istom principu se aktivira i alarm „preniska temperatura“.

U slučaju ispada bilo koje sonde sprema se informacija o kvaru te sonde u obliku alarma, a ukoliko nije moguće nastaviti rad o tome se obavještava korisnika alarmom „kvar sondi“.

3.5.5 Grafičko sučelje i parametri sustava

Zadnja stvar prije izrade rješenja specifičnog za određeni PLC je definirati kako će korisnik upravljati sustavom i nadgledati njegov rad, odnosno točke interakcije korisnika i sustava. U tu svrhu moguće je koristiti dijagram slučajeva korištenja (engl. *use case diagram*) [27]. Korisnik mora imati mogućnosti za (slika 16):

- nadgledanje rada sustava,
- podešavanje parametara za fermentaciju,
- podešavanje parametara za rad komore te
- provjeru alarma.



Slika 16: Dijagram slučajeva korištenja

Izvorno autor.

3.6. Odabir PLC-a

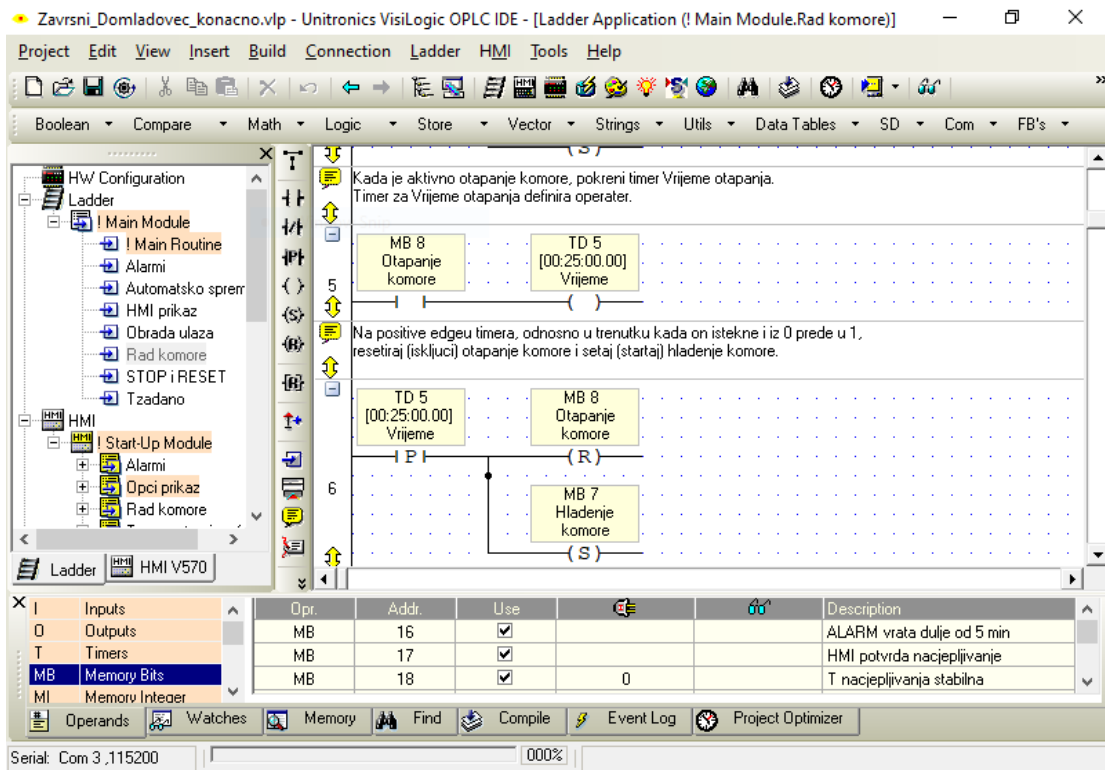
Za potrebe ovog završnog rada odabran je PLC marke „Unitronics”, model „V570” s dodatnim ulazno-izlaznim modulima „IO-PT4x” (modul za očitavanje do 4 vrijednosti temperature sonde tipa „PT100” ili „PT1000”), „IO-DI8-RO8” (modul sa 8 digitalnih ulaza i 8 relejnih izlaza) [28], [29]. Navedeni PLC prikazan na slici 17 je odabran zbog jednostavnosti programiranja potrebne logike, jednostavnosti izrade grafičkog sučelja s ekranom na dodir te mogućnosti simulacije, odnosno testiranja programa, bez cjelokupne laboratorijske opreme.



Slika 17: PLC (desno) i napajanje (lijevo)

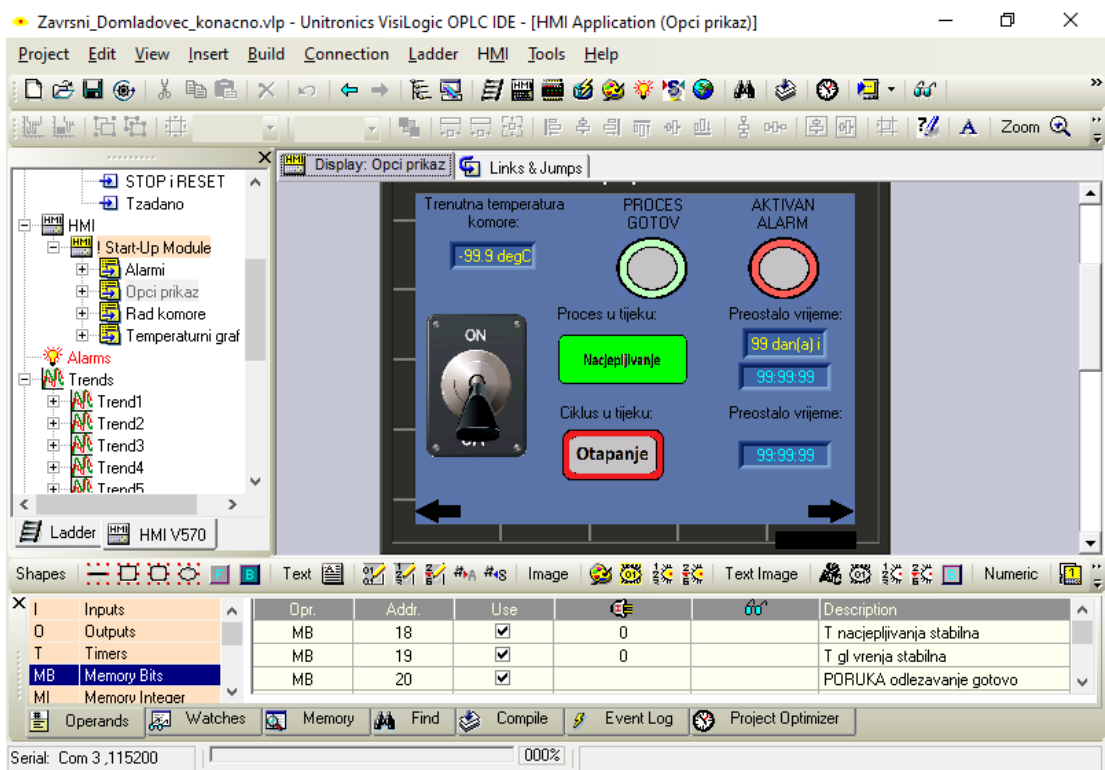
Izvorno autor.

Programska potpora potrebna za programiranje PLC-a zove se „Unitronics VisiLogic OPLC IDE“ i besplatna je za korištenje nakon registracije korisnika. Logika se implementira u obliku dijagrama ljestvica (*engl. „Ladder diagram“*). Dijagrami ljestvica izvorno potječu iz metode dokumentacije i dizajna relejne logike korištene u industrijskoj proizvodnji [23], [30]. Izgled i funkcionalnost ekrana PLC-a se također definira unutar VisiLogic-a. Izgled grafičkog sučelja prikazano je na slikama 18 i 19.



Slika 18: VisiLogic - dijagram ljestvica

Izvorno autor.

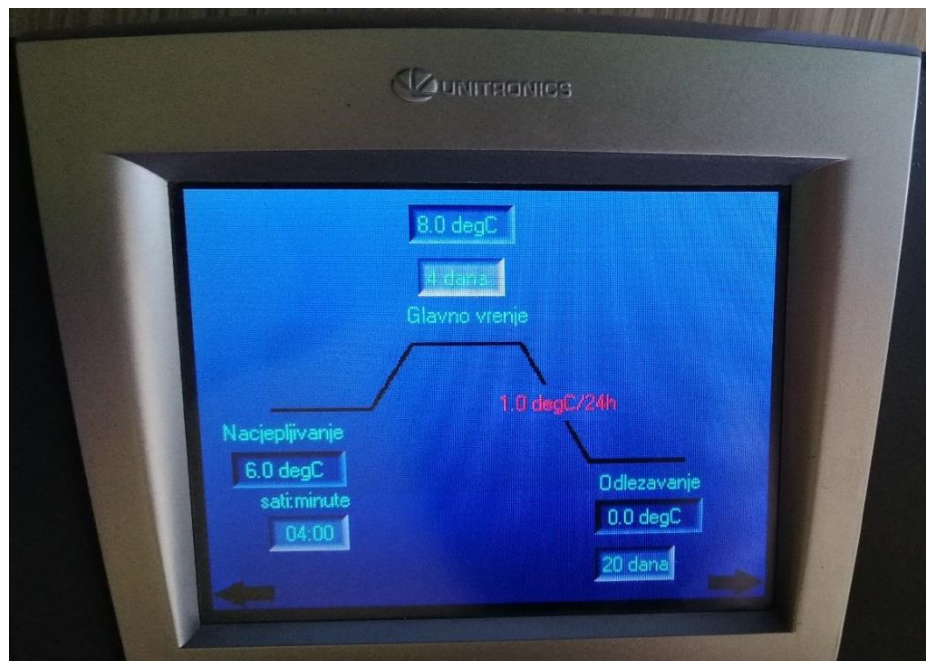


Slika 19: VisiLogic - definiranje izgleda i funkcionalnosti grafičkog sučelja

Izvorno autor.

3.7. Izvedbeno rješenje

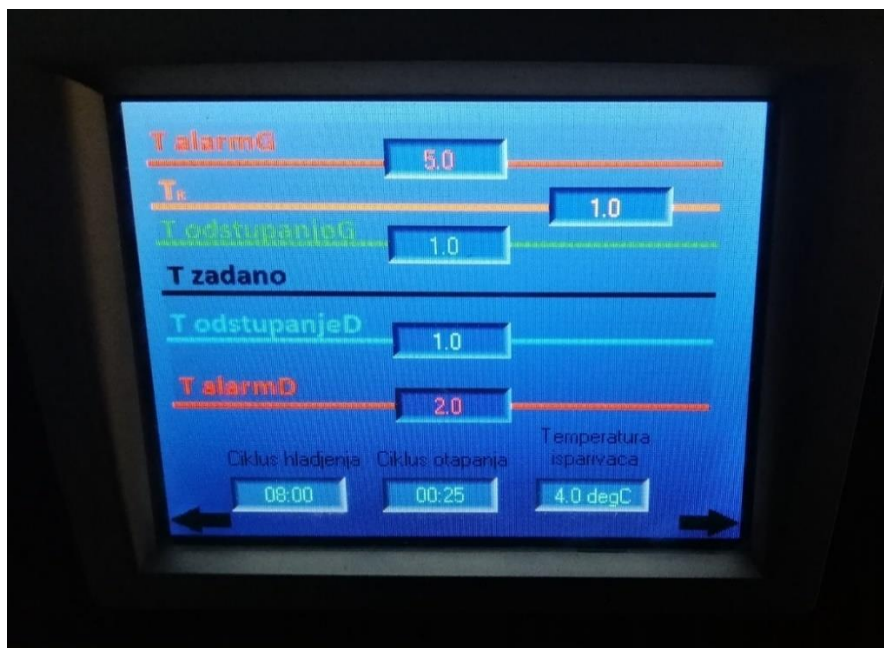
Na početku rada, odnosno prije pokretanja procesa, potrebno je namjestiti parametre fermentacije. Oni se namještaju na ekranu prikazanim na slici 20. Strelicama u dolje lijevom i dolje desnom uglu ekrana mijenja se prikaz, odnosno funkcije na ekranu kao što je spomenuto u poglavlju 3.5.5. Kada je na ekranu osjetljivom na dodir prikazan temperaturni graf moguće je podesiti temperaturu naciepljivanja i vrijeme do obavijesti korisnika, odnosno vrijeme potrebno za hlađenje spremnika sa sladovinom (opisano u poglavlju 3.4.1). Temperaturu i broj dana glavnog vrenja te odležavanja također je moguće podesiti ovisno o vrsti i željenim karakteristikama piva koje se proizvodi.



Slika 20: PLC - temperaturni graf

Izvorno autor.

Nakon definiranja temperaturnog grafa potrebno je namjestiti parametre histereze za regulaciju temperature rashladne komore. Do ekrana prikazanog na slici 21 dolazi se jednim pritiskom strelice na desnom rubu ekrana. Tada se mogu podesiti svi parametri prethodno objašnjeni u poglavljima 3.4.2 i 3.4.4, vremena ciklusa hlađenja i otapanja te temperaturu isparivača prilikom otapanja prema detaljima iz poglavlja 3.4.3.



Slika 21: PLC - rad komore

Izvorno autor.

Svi parametri se također mogu mijenjati i za vrijeme rada sustava. Ukoliko je vrijeme aktivnog ciklusa skraćeno ili produženo, sustav će ovisno o proteklom vremenu nastaviti sa sljedećim ciklusom ili skratiti preostalo vrijeme aktivnog ciklusa, odnosno produžiti vrijeme aktivnog ciklusa.

Za uključivanje i nadgledanje rada potrebno je otvoriti prikaz kao na slici 22.



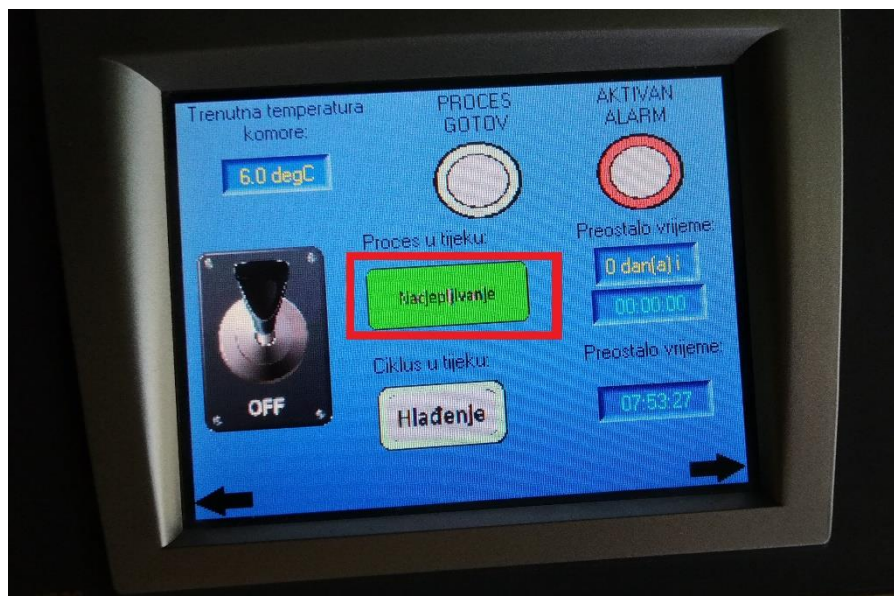
Slika 22: PLC - Opći prikaz, proces isključen

Izvorno autor.

Prateći oznake sa slike 22, korisnik putem prikaza za nadgledanje rada ima mogućnosti:

- 1) za pokretanje i gašenje procesa putem „ON/OFF“ prekidača,
- 2) nadgledanje trenutne srednje temperature komore,
- 3) provjeriti je li proces gotov putem zelene lampice,
- 4) provjeriti ima li aktivnih alarma,
- 5) dobiti informaciju koji je trenutni aktivni proces,
- 6) saznati koje je preostalo vrijeme trenutno aktivnog procesa,
- 7) saznati koji je trenutno aktivni ciklus i
- 8) saznati koje je preostalo vrijeme ciklusa u tijeku.

Nakon što se namjeste svi parametri temperaturnog grafa i rada komore, potrebno je ubaciti spremnik sa sladovinom. Zatim pritiskom na „ON/OFF“ prekidač započinje proces fermentacije i odležavanja piva. Rad komore započinje ciklusom hlađenja te se postiže temperatura nacjepljivanja, koja se održava po temperaturnom planu. Temperatura nacjepljivanja ovisi o vrsti kvasca koji se koristi i o tipu piva koje se proizvodi, npr. 6-7°C za lager [1]. Nakon isteka vremena nacjepljivanja korisnik će o tome biti obaviješten zelenom pozadinom na dijelu ekrana (označenim na slici 23) gdje je prikazan proces u tijeku. Tada je potrebno izvaditi spremnik sa sladovinom i provjeriti temperaturu sladovine. Ukoliko temperatura sladovine nije postigla temperaturu nacjepljivanja, sladovinu je potrebno vratiti u komoru na hlađenje te ju ponovno provjeriti nakon nekog vremena. Tek kada je korisnik zadovoljan s temperaturom sladovine, odnosno kada je sladovina postigla temperaturu nacjepljivanja, korisnik nacjepljuje sladovinu kvascem, vraća posudu u komoru i pritišće dio ekrana sa zelenim prikazom procesa u tijeku. Ako prvotno planirano vrijeme do nacjepljivanja nije bilo točno predviđeno, potrebno ga je prilagoditi kako bi tijekom proizvodnje budućih šarži bila dovoljna samo jedna provjera.

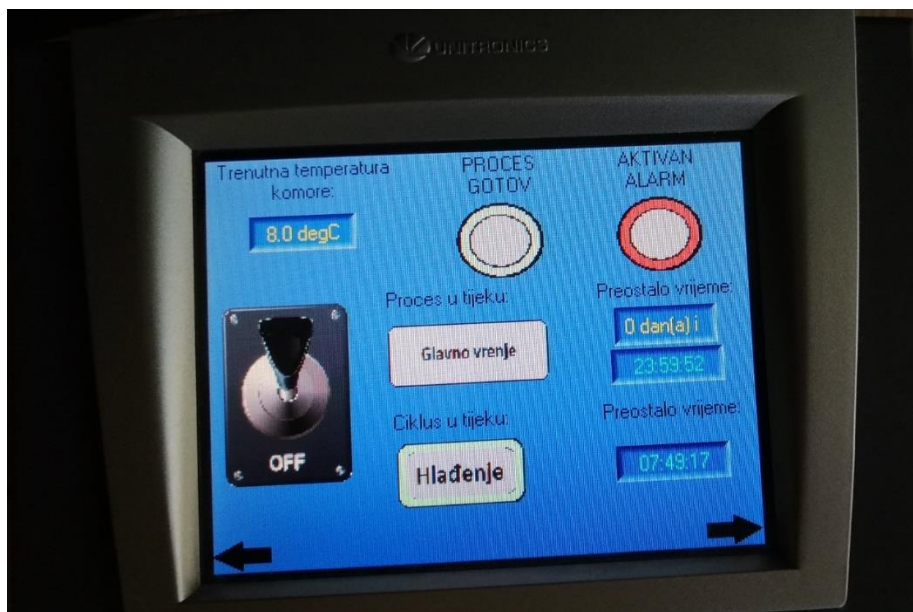


Slika 23: PLC - kraj hlađenja na temperaturu nacjepljivanje i čekanje na potvrdu o završetku nacjepljivanja
Izvorno autor.

Nakon što je sladovina nacijepljena kvascem, u spremniku započinje egzotermni proces fermentacije te se temperatura spremnika podiže. Toplina iz spremnika će prijeći i na zrak u komori pa je nužno na ekranu potvrditi završetak nacjepljivanja kako bi hlađenje komore bilo odgođeno do postizanja temperature glavnog vrenja. Ona najčešće iznosi između 6°C i 20°C ovisno o tipu piva koje se proizvodi [31]. Tek tada PLC počinje sa odbrojavanjem zadanog vremena za glavno vrenje. Primjer izgleda ekrana kada je do kraja glavnog vrenja ostalo manje od jednog dana prikazan je na slici 24.

Prilikom prvog puštanja sustava u pogon poželjno je, ovisno o vrsti piva, češće nadzirati glavno vrenje kako bi se znalo kada ono završava. Za to je potrebno areometrom odrediti koncentraciju ekstrakta ohlađene sladovine prije nacjepljivanja te tijekom glavnog vrenja mjeriti koncentraciju ekstrakta mladog piva. Iz tih vrijednosti izračuna se prividan stupanj prevrenja, a kada on dostigne 66-68% za svjetlo pivo (odnosno 60% za tamno) prekida se glavno vrenje i prelazi se na odležavanje. Prema tim informacijama, potrebno je korigirati vrijeme glavnog vrenja.

Tijekom cijelog rada komore, odnosno svih procesa, izmjenjuju se ciklusi hlađenja i otapanja (po principu iz poglavlja 3.4.3). Ukoliko je otapanje aktivno to će biti vidljivo na prikazu za nadgledanje rada.



Slika 24: PLC - glavno vrenje u tijeku

Izvorno autor.

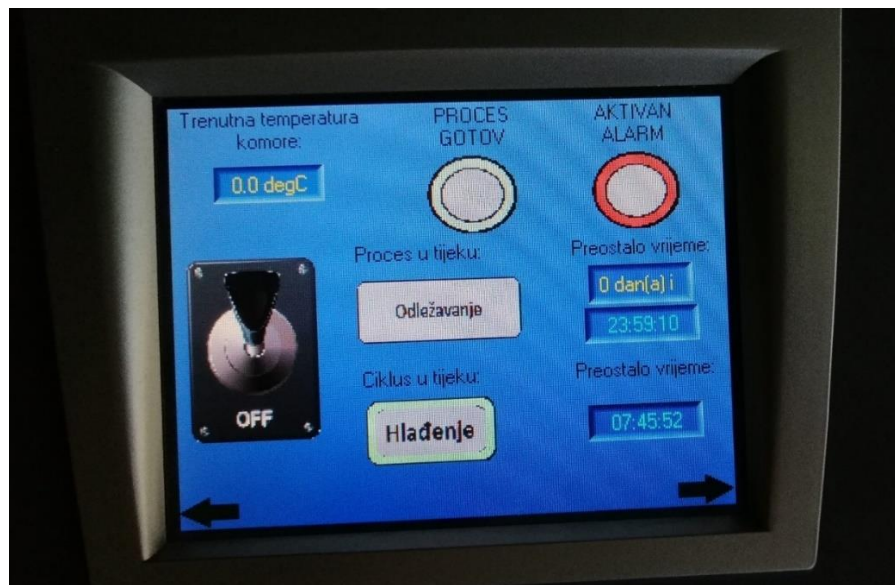
Na kraju glavnog vrenja započinje prijelaz na odležavanje u kojem se temperatura postepeno smanjuje za 1°C po danu (npr. 10 puta u danu za 0.1°C) do postizanja temperature odležavanja zadane u temperaturnom grafu. Za vrijeme ovog prijelaza nije poželjno otvarati vrata komore jer je ovaj dio procesa vrlo osjetljiv na temperaturne promjene. Prikaz nadzornog sustava za to vrijeme procesa izgledat će kao na slici 25.



Slika 25: PLC - proces u tijeku: Prijelaz na odležavanje

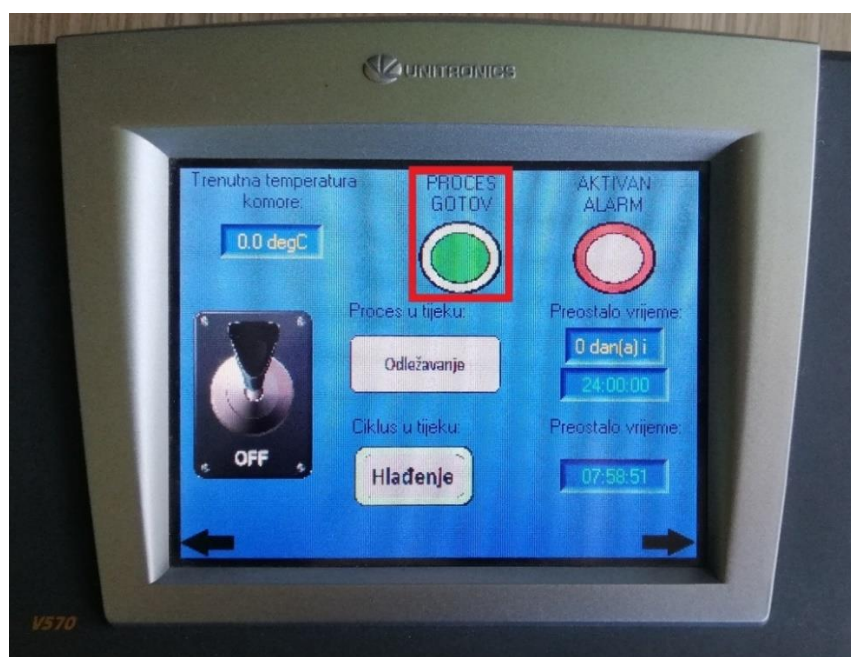
Izvorno autor.

Kada je temperatura odležavanja postignuta, ujedno i najniža temperatura prilikom proizvodnje piva, PLC će početi odbrojavati vrijeme do završne obavijesti korisniku (slika 26). U tome periodu se održava konstantna temperatura prema parametru iz temperaturnog grafa. Za lager ona iznosi npr. -1°C , dok će ljubitelji piva gornjeg vrenja, koja uglavnom imaju veći udio alkohola, odabrati nešto višu temperaturu npr. do 8°C za stout pivo [31]. Nakon završne obavijesti korisniku (slika 27) se temperatura komore i dalje održava sve do isključenja sustava.



Slika 26: PLC - proces u tijeku: Odležavanje

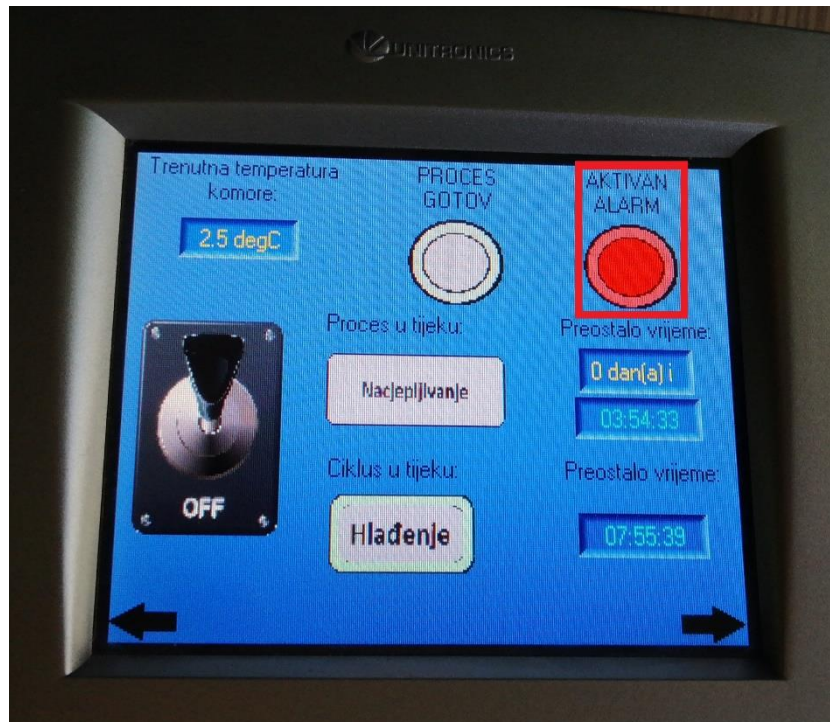
Izvorno autor.



Slika 27: PLC - proces gotov

Izvorno autor.

Kako je proces fermentacije i odležavanja piva dug, moguće je da za to vrijeme dođe do procesa nepovoljnih situacija kao npr. previsoka ili preniska temperatura komore. Uzrok tome može biti u neadekvatnim parametrima histereze, ali i u kvaru temperaturnih sondi ili jer su vrata komore ostala duže vrijeme otvorena. Ukoliko dođe do problema s temperaturom ili sondama za vrijeme procesa potrebno je korisnika obavijestiti o tome putem informacija o alarmima. Na glavnom prikazu za nadgledanje rada sustava svijetlit će crvena lampica ako postoji aktivan alarm (slika 28).

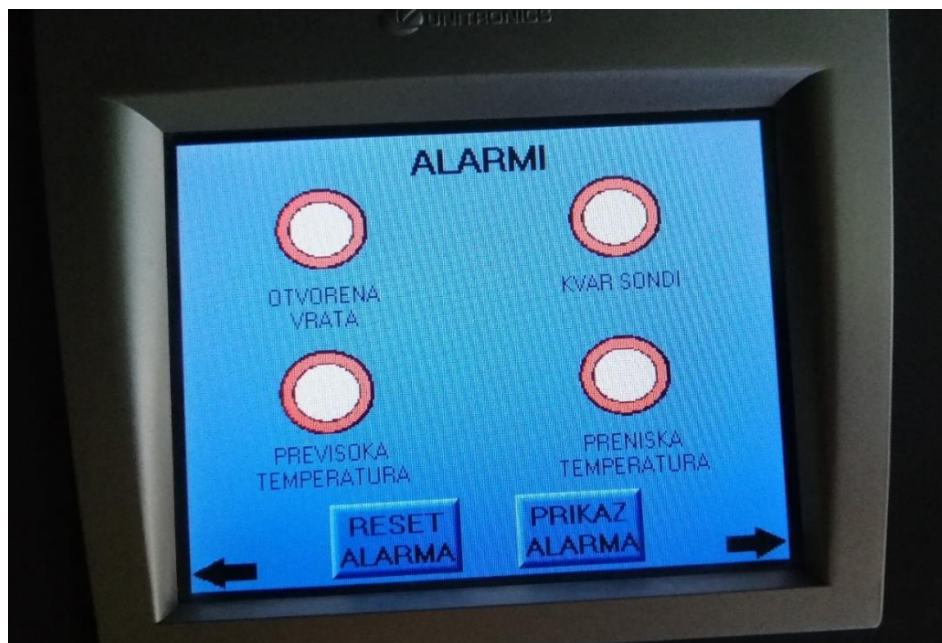


Slika 28: PLC - aktivan alarm

Izvorno autor.

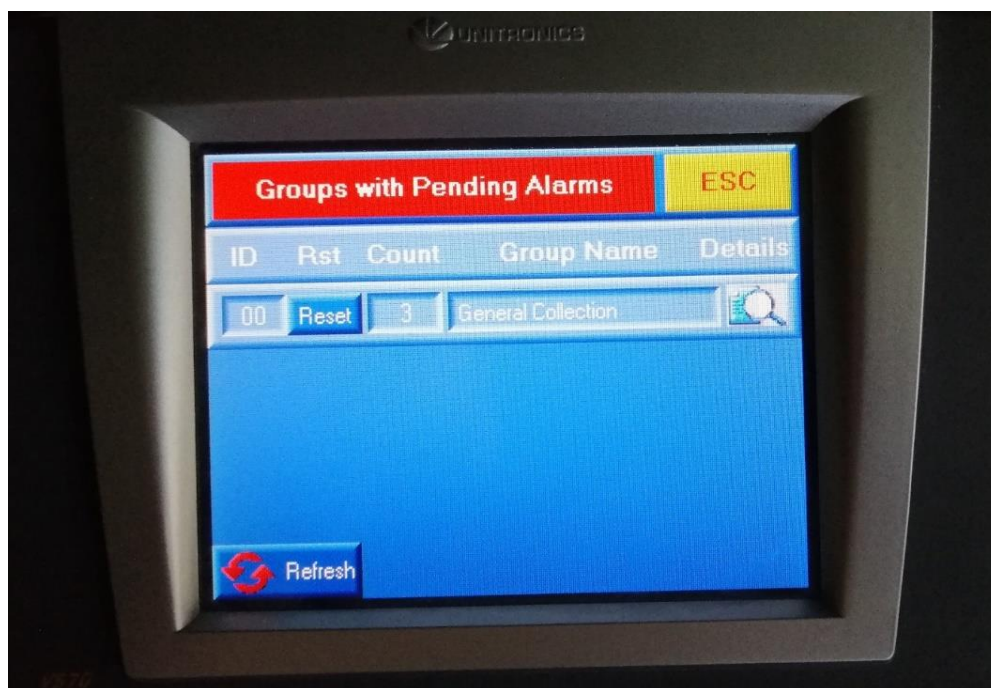
Kako bi korisnik saznao o kojem alarmu, odnosno problemu, je riječ, potrebno je pomoću strelica na donjem dijelu ekrana doći do prikaza svih alarma (slika 29). Putem crvenih lampica korisnik saznaje jesu li vrata komore bila otvorena predugo, sonde u kvaru ili je srednja temperatura komore bila previsoka ili preniska.

Za više detalja o aktivnim alarmima potrebno je prvo pritisnuti tipku prikaz ekrana čime se otvara prikaz s ukupnim brojem aktivnih alarma (slika 30). Zatim se pritiskom na ikonu povećala otvara lista svih alarma s točnim vremenom uključivanja pojedinog, što prikazuje slika 31. Pojedini alarm se može obrisati iz memorije PLC-a pritiskom na tipku „Reset“.



Slika 29: PLC - prikaz Alarmi

Izvorno autor.



Slika 30: PLC – prikaz broja aktivnih alarma

Izvorno autor.

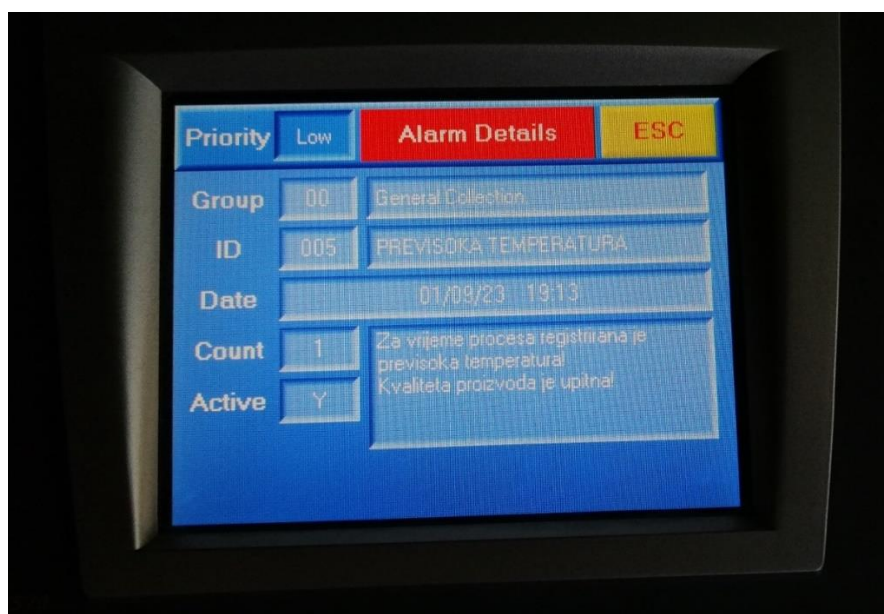


Slika 31: PLC - lista svih aktivnih alarma

Izvorno autor.

Ponovnim pritiskom ikone povećala, u ovom slučaju pored pojedinog alarma, otvara se prikaz detalja alarma s pripadajućom porukom, a primjer jednog od njih nalazi se na slici 32.

Nakon što se korisnik informirao o problemima u sustavu te otklonio problem, trebao bi pritiskom na tipku „RESET ALARMA“ (slika 29) obrisati sve alarme iz memorije te time provjeriti je li problem riješen. Ako smetnja, koja je okidač za određeni alarm, i dalje postoji, taj alarm se neće isključiti time dajući korisniku informaciju da smetnja i dalje postoji.



Slika 32: PLC - detalji alarma Previsoka temperatura

Izvorno autor.

Izrađeno programsko rješenje nalazi se u poglavlju Prilozi.

4. ZAKLJUČAK

Izradom programskog rješenja i simulacijom rada programa u ovom Završnom radu predočeno je da se prema usvojenom znanju i vještinama tijekom studija na odjelu prehrambene tehnologije, osobito proizvodnje piva te interesom za programiranje može izraditi adekvatni funkcionalni sustav upravljanja pomoću PLC-a te je dobra početna osnova za sve daljnje promjene i eventualnu potrebitu nadogradnju sustava. Prilikom izrade programa u obzir su uzeti mogući problemi tijekom rada i neželjene situacije te adekvatne reakcije. Program je izrađen na način da postoji funkcionalna komponenta programa, sigurnosna i komforna komponenta, sukladno usvojenim vještinama. Osim samog programskog rješenja napravljeno je i interaktivno vizualno grafičko sučelje za nadzor i regulaciju procesa. Unatoč tome što je za izradu rješenja odabran PLC tvrtka „Unitronics“, koncept je izrađen neovisno o odabiru procesora korištenog u PLC-u odnosno neovisno o tipu industrijskog računala.

Kao model za regulaciju temperature izabrana je histereza čiji su parametri promjenjivi te se može povećati ili smanjiti osjetljivost sustava na promjenu temperature ovisno o zahtjevima procesa i željama korisnika. U slučaju da histereza ne zadovoljava potrebe korisnika, moguće je taj dio algoritma zamijeniti nekim drugim načinom upravljanja, a ostatak rješenja tada nije potrebno mijenjati.

U ovom rješenju još uvijek su potrebne interakcije s korisnikom za vrijeme proizvodnog procesa, a neke od njih (provjera temperature spremnika sa sladovinom prije nacjepljivanja, mjerenje koncentracije ekstrakta i računanje prividnog prevrenja tijekom glavnog vrenja) bi se u slučaju većeg budžeta također mogle automatizirati. U tom slučaju bilo bi potrebno sustav nadograditi s dodatnim sensorima koji bi se nalazili u samom spremniku.

Prilikom simulacije rada sustava testirane su sve funkcionalnosti grafičkog sučelja te svi dijelovi izrađenog algoritma. Za samu simulaciju korišten je fizički PLC pa se ne očekuju drugačiji rezultati u slučaju rada stvarnog sustava.

Kao nastavak ovog rada bilo bi poželjno izraditi ostatak sustava te ga povezati s već napravljenim rješenjem, odnosno industrijskim računalom te testirati automatizaciju u stvarnim uvjetima. U tome slučaju bilo bi potrebno imati dobro znanje elektrotehnike i mehatronike pa bi takav projekt bilo moguće realizirati u obliku suradnje studenata sa fakulteta tih tehničkih znanosti.

5. LITERATURA

- [1] V. Marić, Tehnologija piva, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2009.
- [2] T. W. Young, »Beer,« Britannica, 2023. [Mrežno]. Available: <https://www.britannica.com/topic/beer>. [Pokušaj pristupa 25 3 2023].
- [3] V. Matotek, »Pića koja su utjecala na povijest čovječanstva,« HPP, 1 1 2012. [Mrežno]. Available: <https://povijest.net/pica-koja-su-utjecala-na-povijest-covjecanstva/>. [Pokušaj pristupa 27 3 2023].
- [4] G. Šarić, *Proizvodnja slada*, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2021.
- [5] W. Kunze, Technology Brewing and Malting, Njemačka: VLB Berlin, 2004.
- [6] G. Šarić, *Tehnologija proizvodnje piva 2*, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2022.
- [7] P. Raspor, F. Cus, K. Povhe Jamec, T. Zagorc, N. Cadez i J. Nemanic, »Yeast Population Dynamics in Spontaneous and Inoculated Alcoholic Fermentations of Zametovka Must,« *Food Technol. Biotechnol.*, svez. 40, br. 2, pp. 95-102, 2002.
- [8] G. Šarić, *Sirovine pivarske industrije*, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2021.
- [9] E. J. Lodolo, J. L. Kock, B. C. Axcell i M. Brooks, »The yeast *Saccharomyces cerevisiae* - the main character in beer brewing,« *FEMS Yeast Research*, svez. 8, br. 7, pp. 1018-1036, 2008.
- [10] G. Šarić, *Tehnologija proizvodnje piva 1*, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2021.
- [11] HowdyBrewer, »rapt temperature controlled fermentation chamber,« Howdy Brewer, [Mrežno]. Available: <https://www.howdybrewer.com/products/rapt-temperature-controlled-fermentation-chamber>. [Pokušaj pristupa 14 5 2023].
- [12] A. Bajak, »Microbe new to science found in self-fermented beer,« *Science*, 28. 7. 2017. [Mrežno]. Available: <https://www.science.org/content/article/microbe-new-science-found-self-fermented-beer>. [Pokušaj pristupa 24. 3. 2023].
- [13] INOX Processing Svoboda, »CYLINDRICAL CONICAL FERMENTATION TANK,« INOX Processing - Milan Svoboda, [Mrežno]. Available: <https://www.cylindricalconicaltank.com/>. [Pokušaj pristupa 2. 4. 2023].
- [14] Seologija, »Rashladne komore,« Servis Bane, 2022. [Mrežno]. Available: <https://servisbane.net/usluge/rashladne-komore/>. [Pokušaj pristupa 17 5 2023].
- [15] Danfoss, »Efficient solutions for cold rooms & walk in refrigeration,« Danfoss A/S,

- [Mrežno]. Available: <https://www.danfoss.com/en/markets/food-and-beverage/dcs/cold-rooms/#tab-faq>. [Pokušaj pristupa 13. 6. 2023].
- [16] Brouwland, »RAPT Temperature Controlled Fermentation Chamber,« Brouwland bv, [Mrežno]. Available: <https://brouwland.com/en/cooling-units/20464-rapt-temperature-controlled-fermentation-chamber.html>. [Pokušaj pristupa 4. 4. 2023].
- [17] M. Jašić, »Tehnologija skladištenja hlađenjem,« ehnologija hrane, 1. 12. 2010. [Mrežno]. Available: <https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/tehnologija-skladistenja-hladenjem>. [Pokušaj pristupa 15. 6. 2023].
- [18] I. Matijaš, *Brodski rashladni uređaji - provijant*, Split: Sveučilište u Splitu - Pomorski fakultet, 2019.
- [19] Soko Inženjering, *Uputstvo za rukovanje i održavanje modularnih rashladnih komora*, Beograd: Soko Inženjering.
- [20] A. Sočev, *Novosti na polju rashladne tehnike*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu - Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.
- [21] KegLand, »RAPT Fermentation Chamber Instruction Manual,« 1. 3. 2022. [Mrežno]. Available: <http://www.williamsbrewing.com/pdfs/p04.pdf>. [Pokušaj pristupa 2. 6. 2023].
- [22] KegLand, »RAPT Temperature Controller Instruction Manual,« 2023. [Mrežno]. Available: https://www.kegland.com.au/cdn/shop/files/RAPT_Temperature_Controller_-_Instruction_Manual.pdf?v=17212619636633540525. [Pokušaj pristupa 2. 6. 2023].
- [23] V. Tudić, OSNOVE UPRAVLJANJA PROCESIMA, Veleučilište u Karlovcu, 2022.
- [24] P. Steinitch, »Compressor start up amp draw,« YouTube, 2011.
- [25] Eaton Compressor, »Motor AMP Draw and Required Breaker,« [Mrežno]. Available: <https://eatoncompressor.com/wp-content/uploads/Amp-draws.pdf>. [Pokušaj pristupa 5. 6. 2023.].
- [26] Wikipedia, »Flowchart,« Wikimedia Foundation, Inc., [Mrežno]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Flowchart>. [Pokušaj pristupa 17. 8. 2023].
- [27] Wikipedia, »Use case diagram,« Wikimedia Foundation, Inc., [Mrežno]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Use_case_diagram. [Pokušaj pristupa 15. 8. 2023].
- [28] Unitronics, »Vision™ OPLC™,« [Mrežno]. Available:

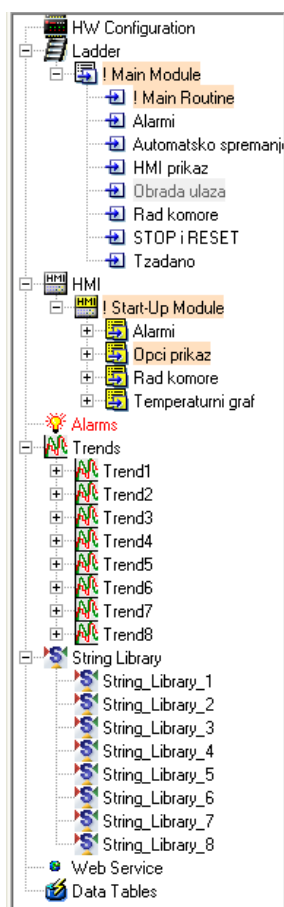
https://www.unitronicsplc.com/wp-content/uploads/2015/12/V570-57-T20B-J_TECH-SPEC_06-12.pdf. [Pokušaj pristupa 16. 8. 2023].

[29] Unitronics, »Expandability: I/O & COM Modules Expansion,« [Mrežno]. Available: <https://www.unitronicsplc.com/io-expansion-modules/>. [Pokušaj pristupa 16. 8. 2023].

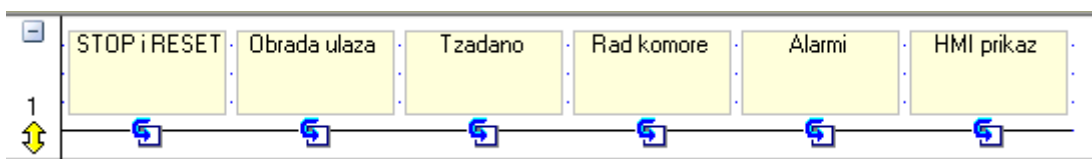
[30] Wikipedia, »Ladder logic,« Wikimedia Foundation, Inc., [Mrežno]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Ladder_logic. [Pokušaj pristupa 21. 8. 2023].

[31] B. Šantek, »Hrvatska tehnička enciklopedija - pivo,« Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 14. 6. 2022. [Mrežno]. Available: <https://tehnika.lzmk.hr/pivo/>. [Pokušaj pristupa 31. 8. 2023].

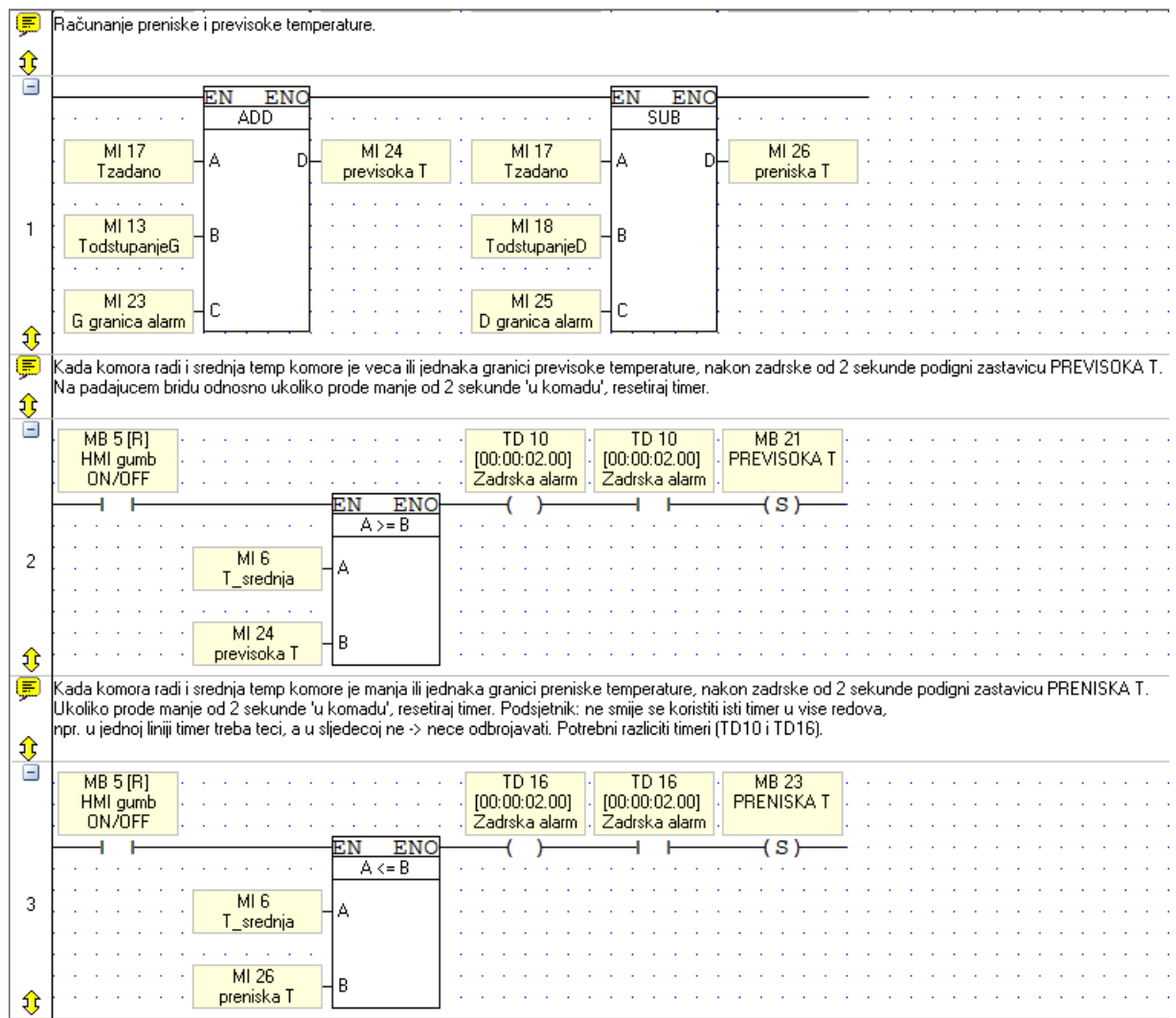
Prilozi

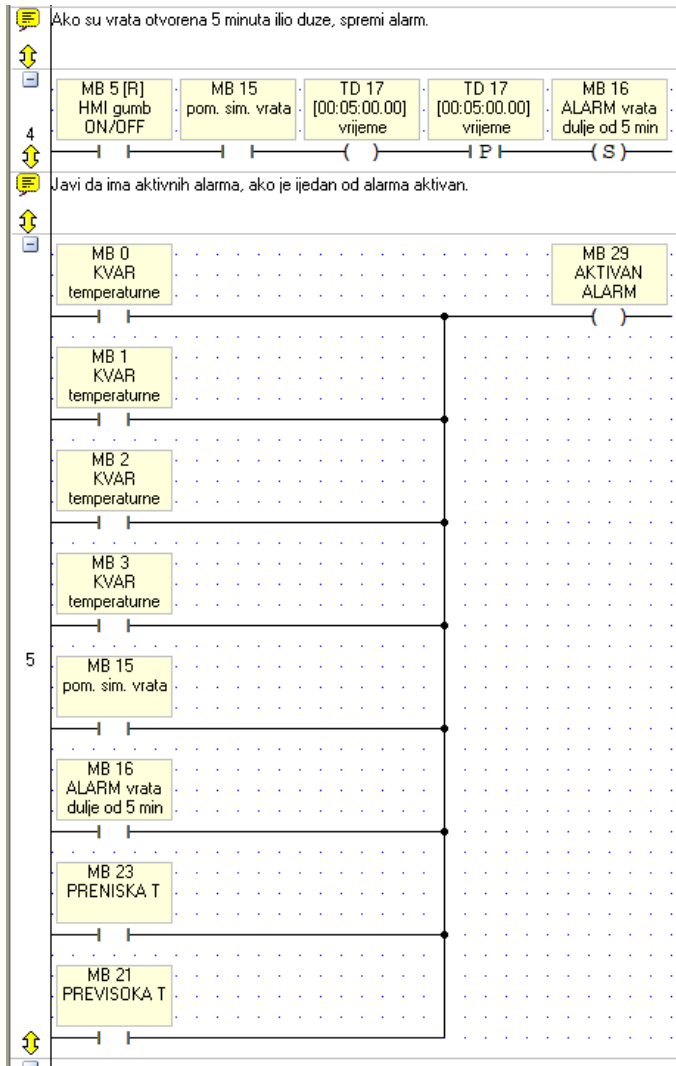


! Main Routine:

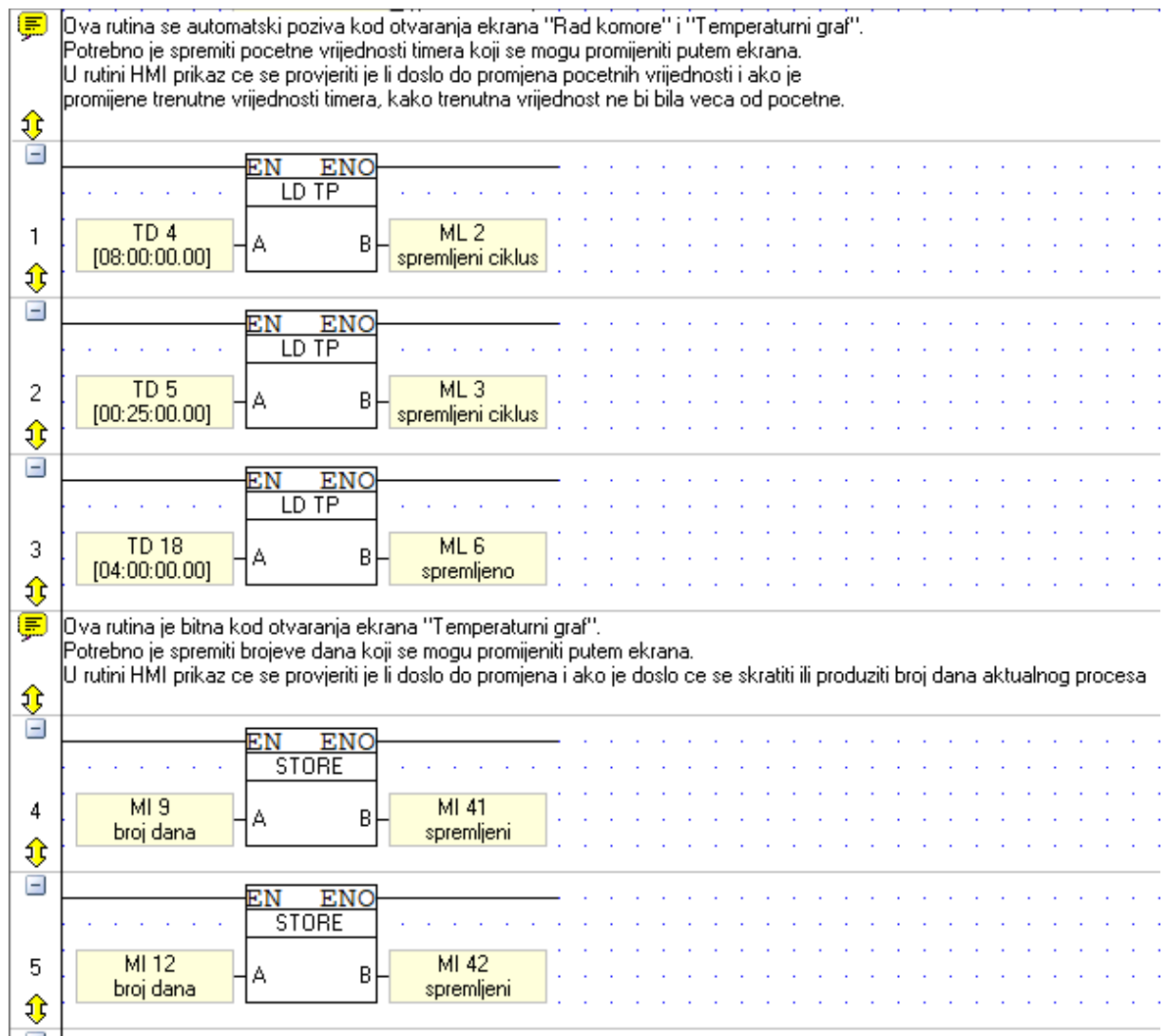


Alarmi:

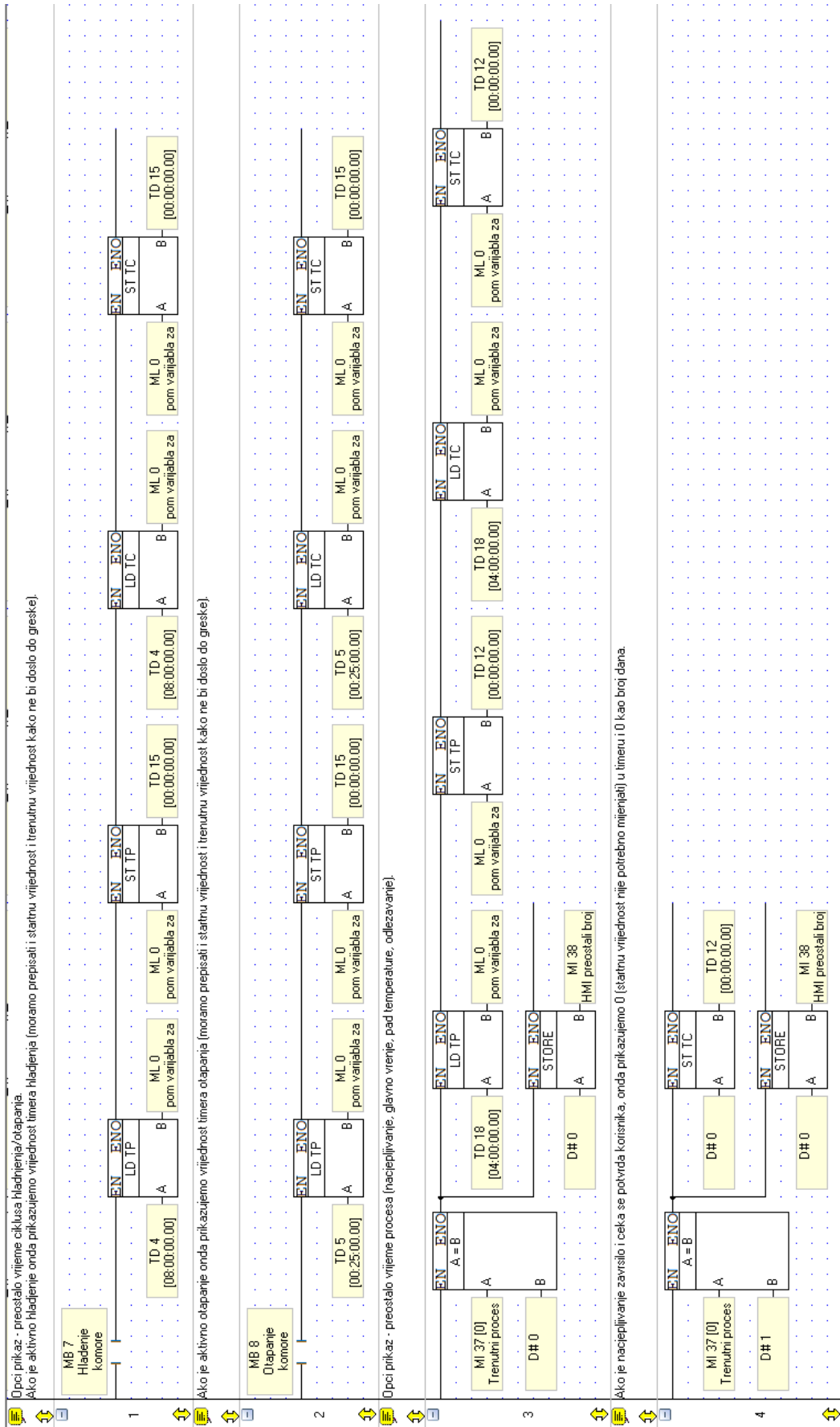


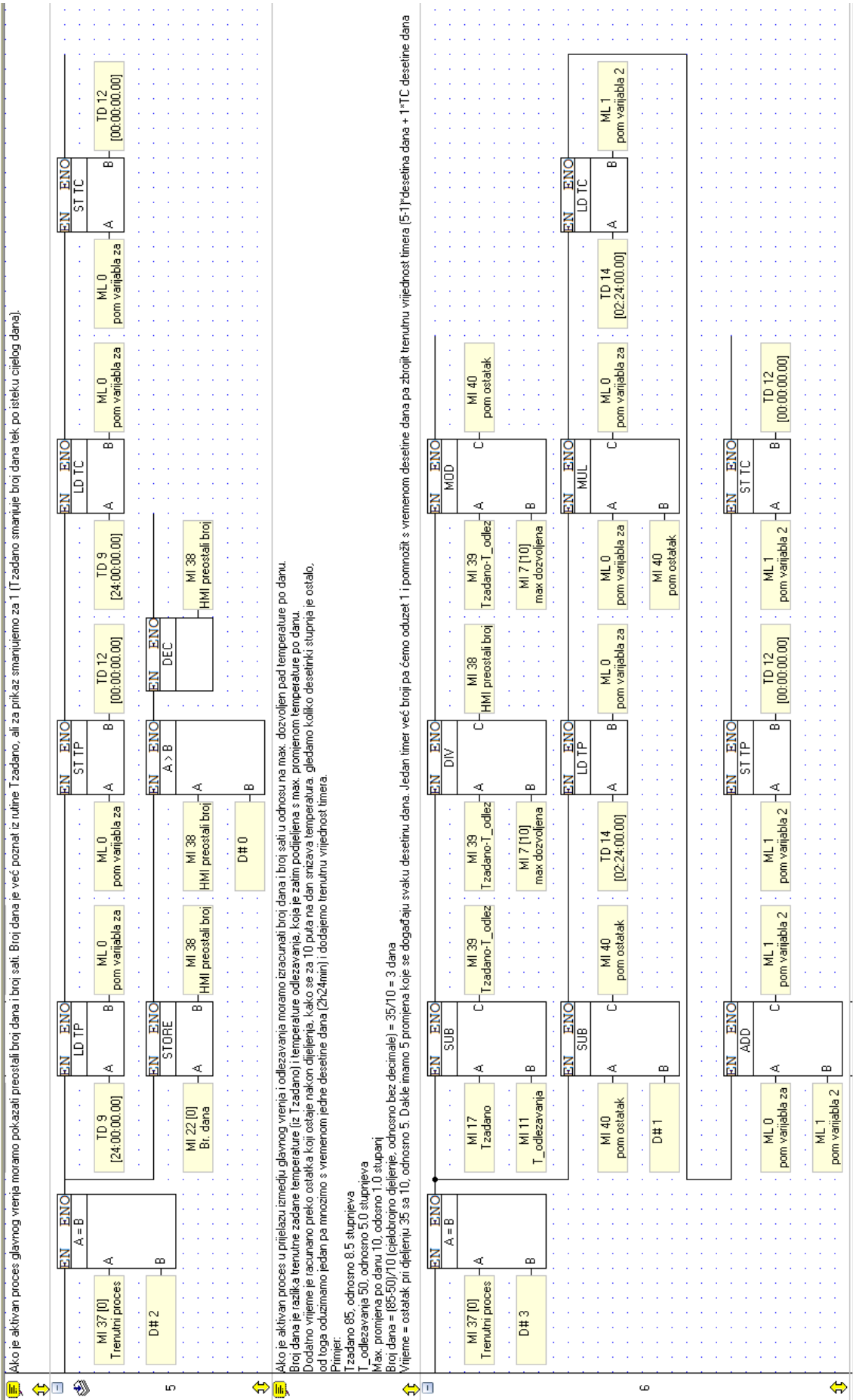


Automatsko spremanje:

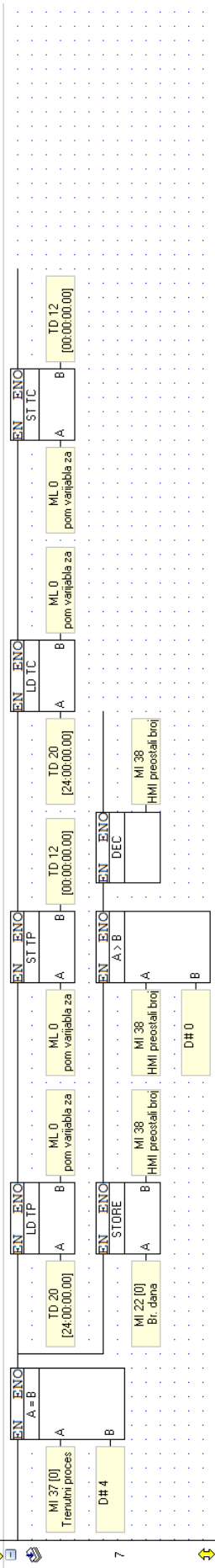


HMI prikaz:





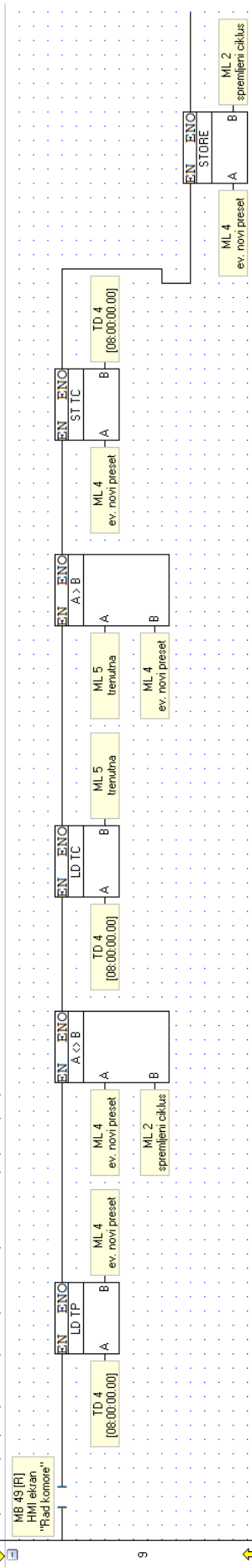
Alko je aktivan proces odleazavanja moramo pokazati preostali broj dana i broj sati. Broj dana je veći poznat iz rutine T zadano, ali za prikaz smanjuje broj dana tek po isteku cijelog dana. Broj sati je također poznat iz T zadano.

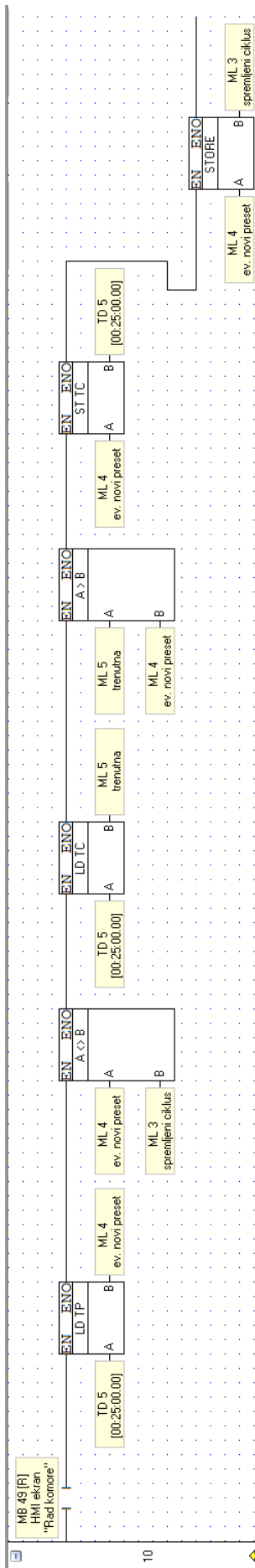


Prikaz alarma nakon pritiska tipke PRIKAZ ALARMA na ekranu Alarmi. Prikazuju se svi aktivni alarmi.

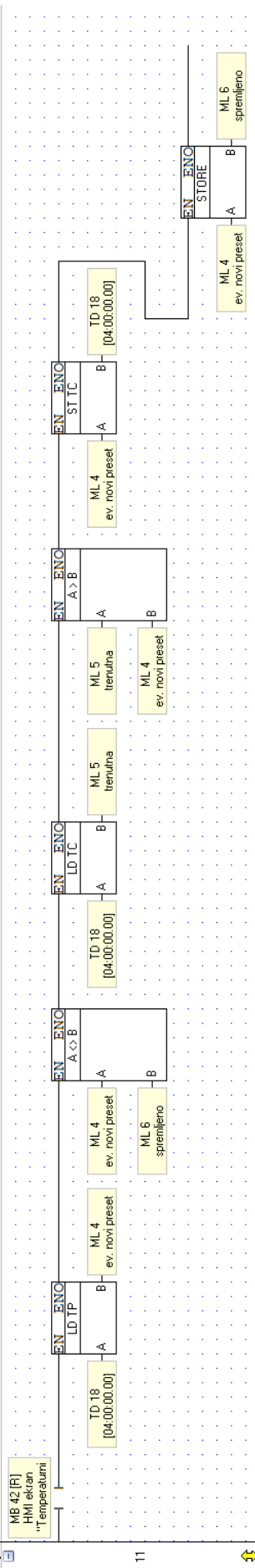


SVAKI TIMER IMA 2 VIJEKOSTI - POČETNU VIJEKOSTI (ENPL - Timer Preset) TP i trenutnu viječnost (enpl - Timer Current) TC.
 Kod otvaranja ekrana "Rad komore" putem (podrutine "Spremanje timera" smo spremili početne viječnosti timera u pomoćne varijable.
 Ako je došlo do promjene početnih viječnosti timera za cikluse hladjenja i otapanja potrebno je:
 -prvo provjeriti je li došlo do promjene oclavanja trenutnih preseka timera i usporedbom sa spremenim varijablama
 -ako je došlo do promjene provjeriti koja je trenutna viječnost promijenjena timera i ako je ona veća od statne viječnosti, postaviti trenutnu na statnu (ili reset timera)
 -ako je došlo do promjene spremi novi preset u pomoćnu varijablu za destrukciju sljedeće promjene



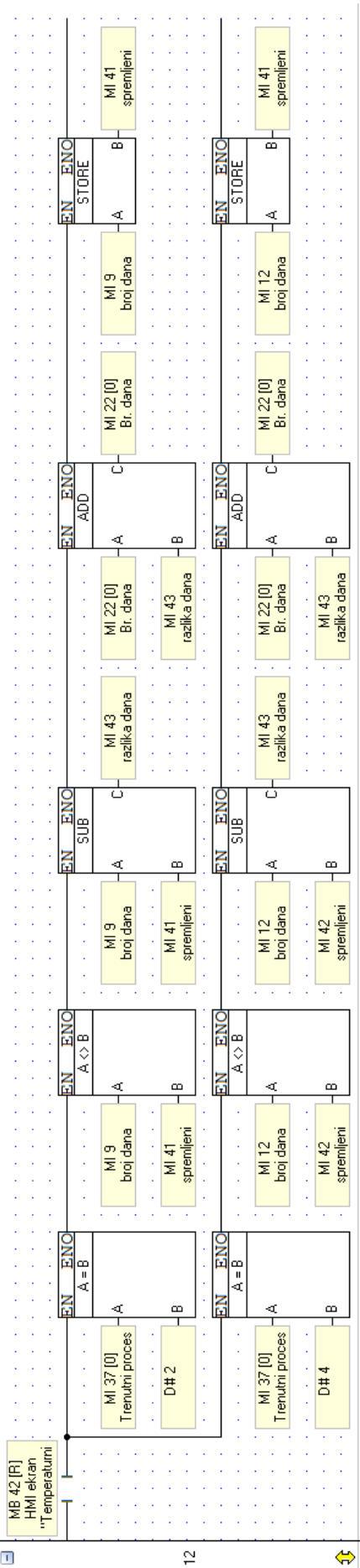


Ista stvar za timer naciepljivanja na ekranu temperaturni graž.
Potrebno je proizvoditi liniju (znajica), jer VisiLogic nekada ima problema kod velikih programa pa nije uvijek redoslijed izvođenja kod racvanja gore-->dole (pomies).

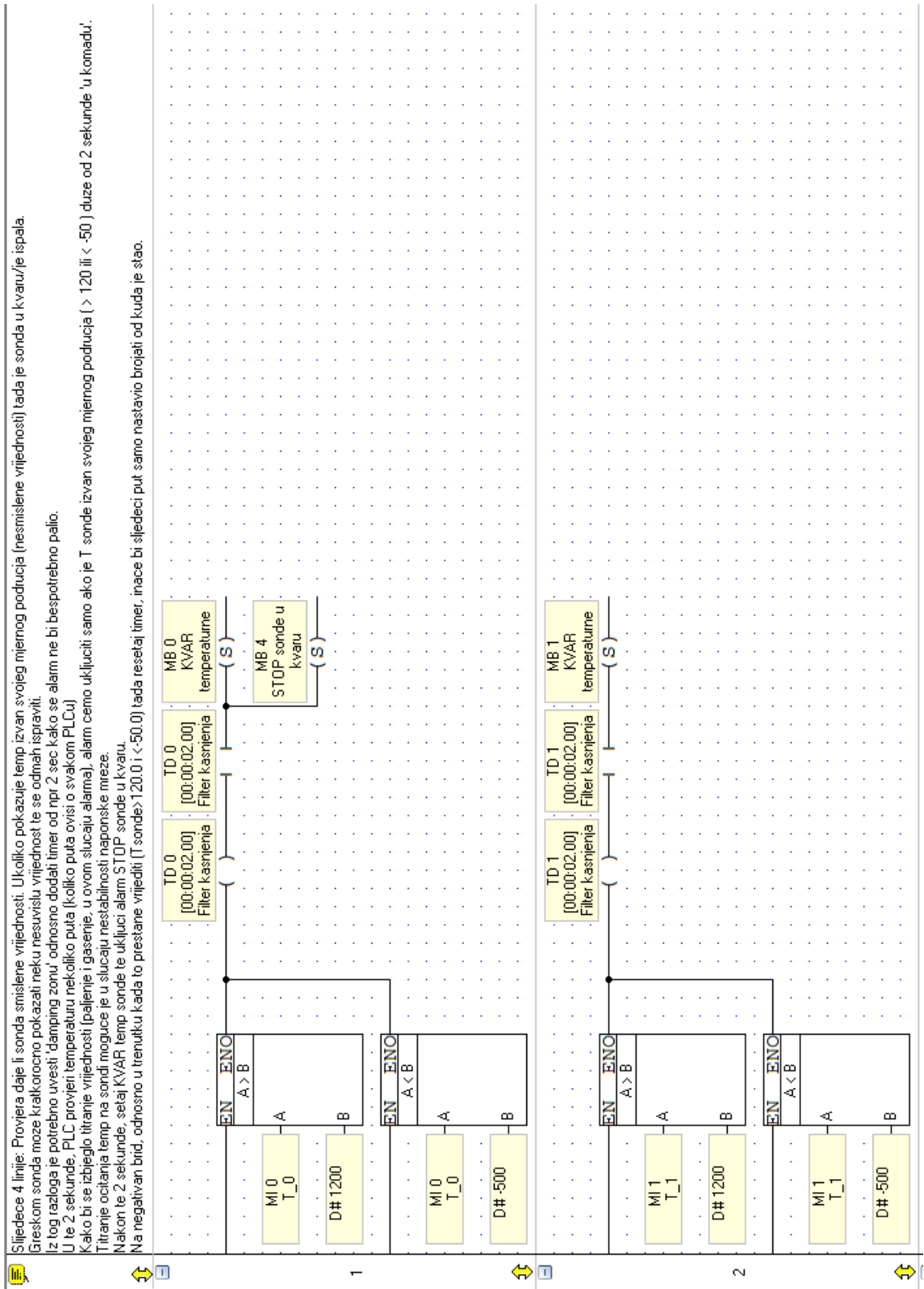


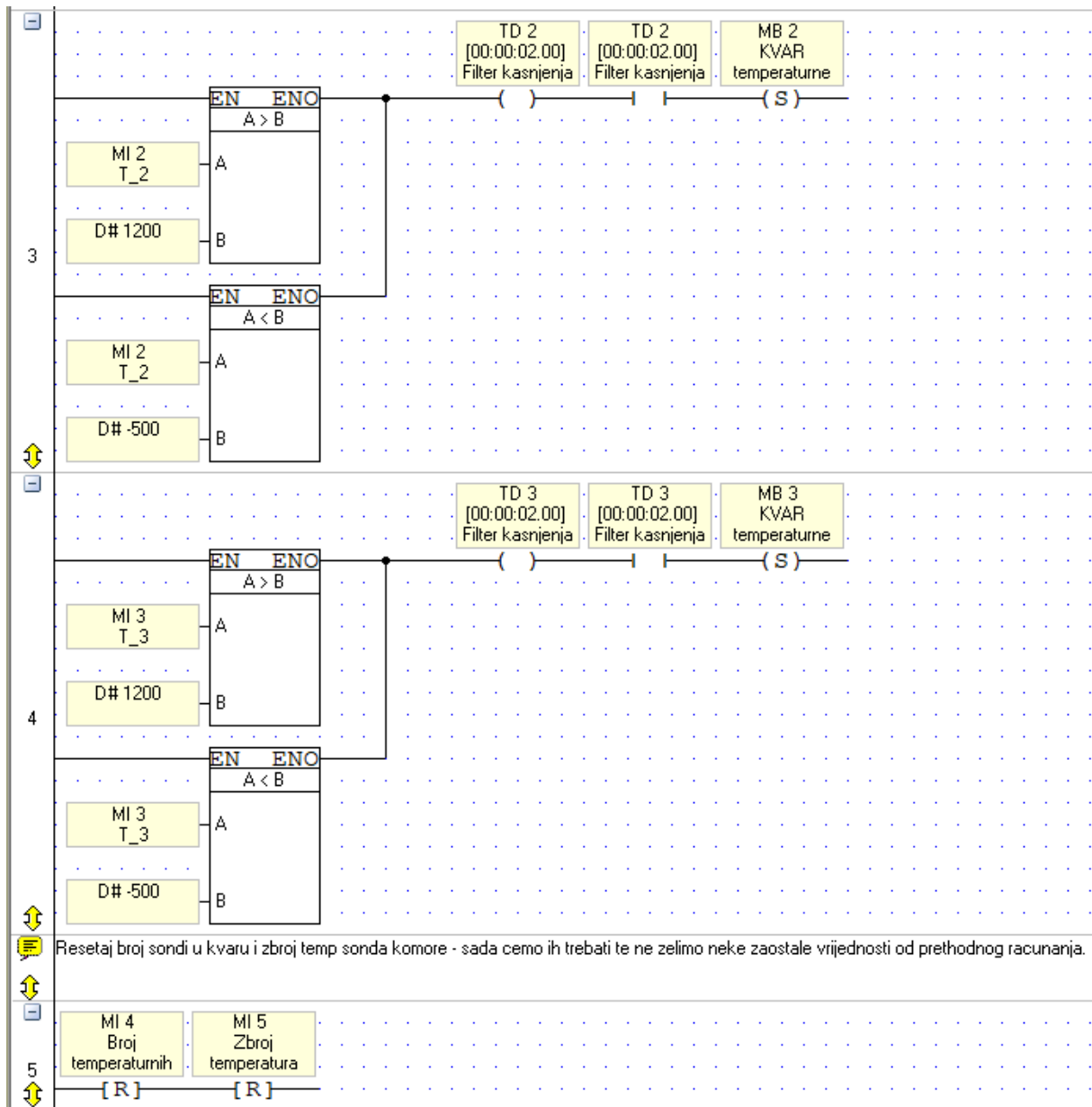
U rutini T zadano u trenutku promjene aktivnog procesa se očitava zadani broj dana. Ukoliko dodje do promjene broja dana aktivnog procesa od strane korisnika, logika to neće registrirati. Stoga, potrebno je:

- provjeriti je li došlo do promjene (otvaranje ekrana "Temperaturni graf" prema vrijednosti putem rutine "Spremanje br. dana")
- ako je došlo do promjene izračunati razliku (pozitivnu ili negativnu)
- zbrojiti razliku (pozitivnu ili negativnu) trenutnom broju dana aktivnog procesa
- acurirati spremljenu vrijednost za usporedbu



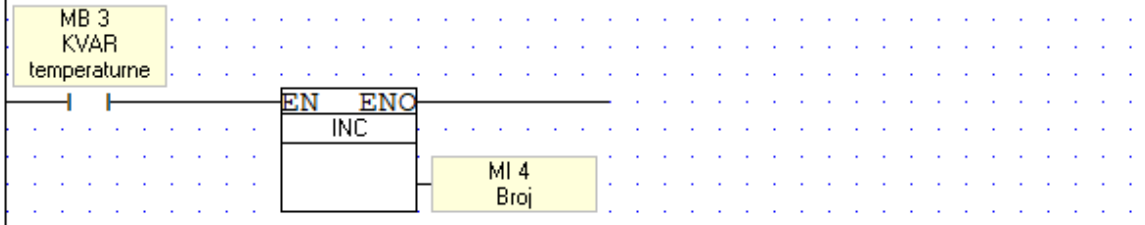
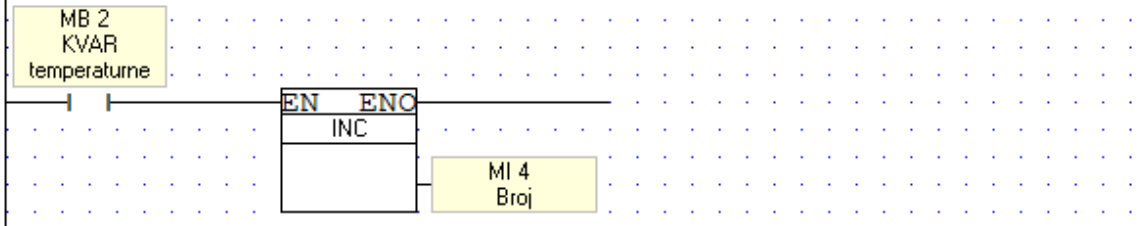
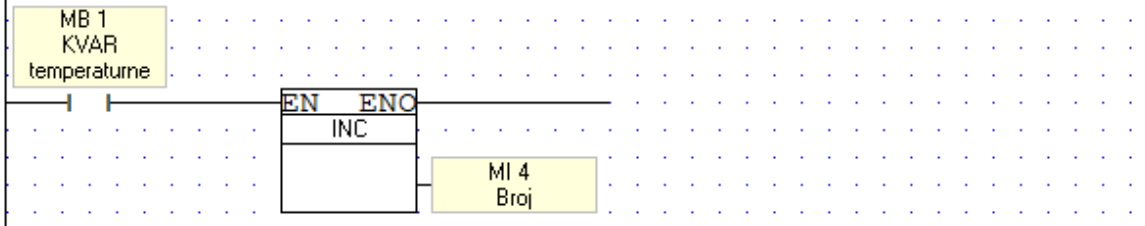
Obrada ulaza:



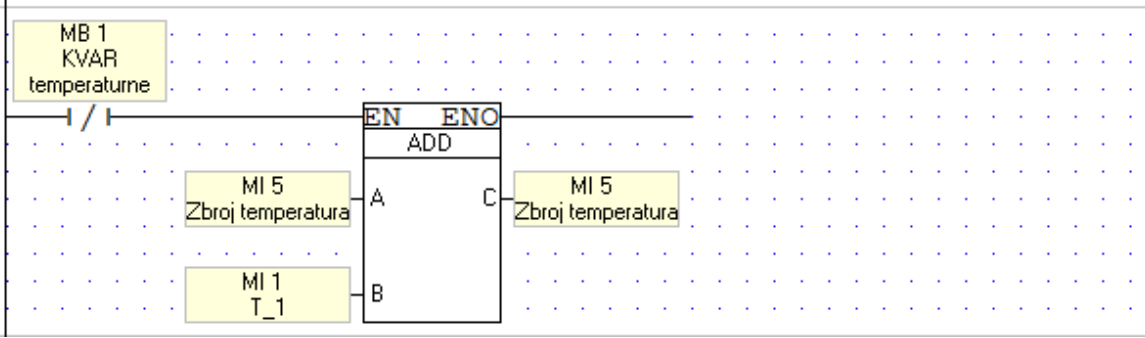


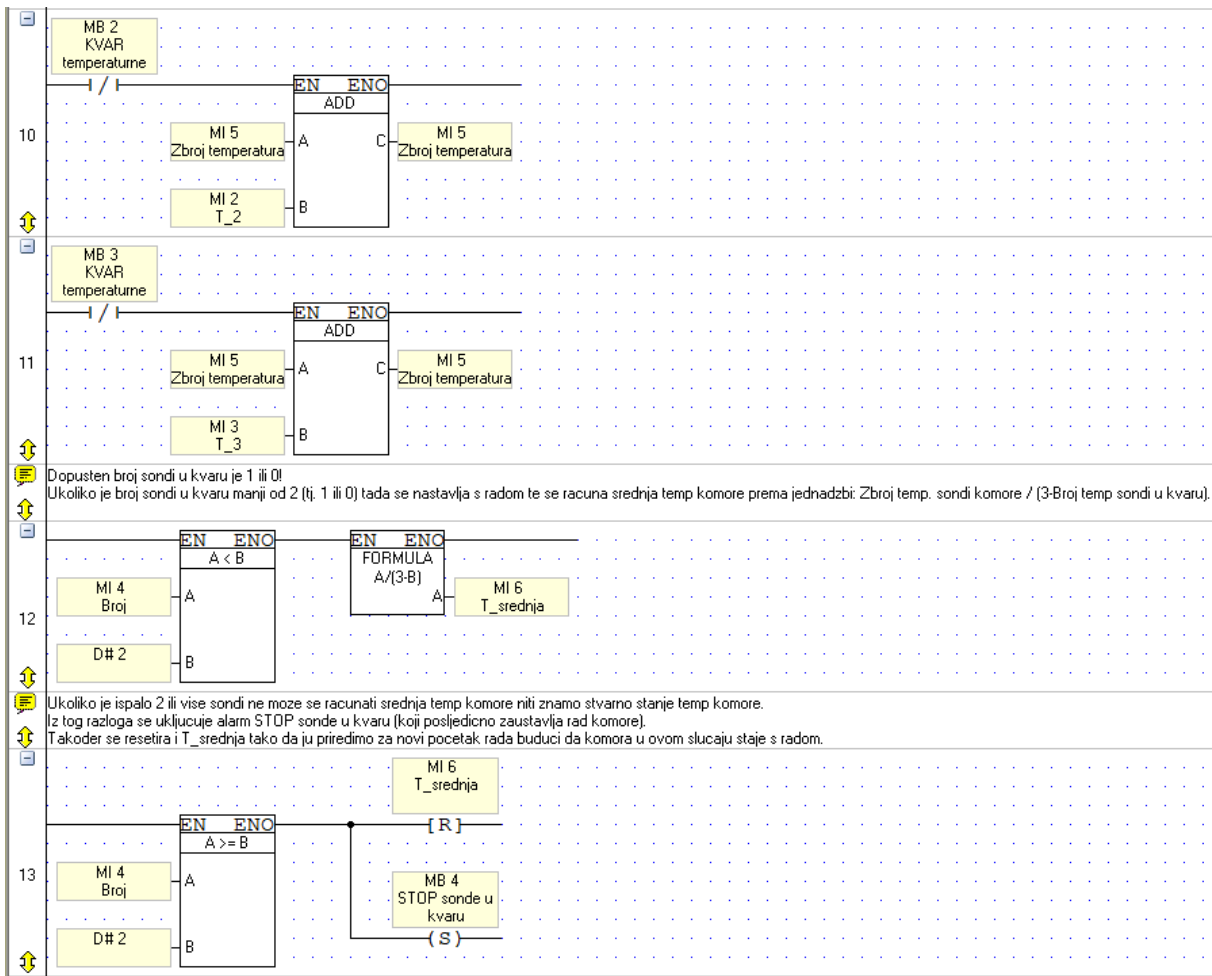


Sljedece 3 linije:
Ukoliko je pojedina sonda u kvaru, povecaj broj sonde u kvaru za 1.

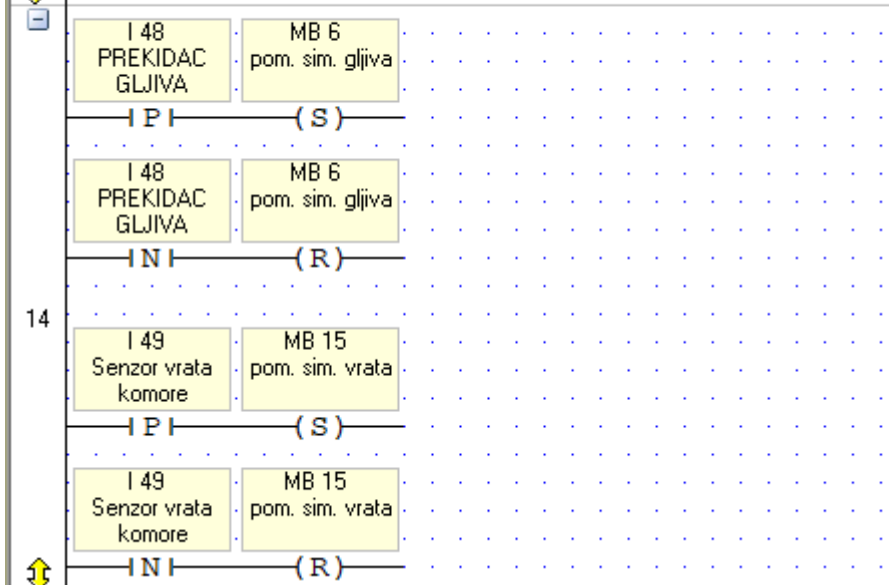


Sljedece 3 linije:
Ako pojedina sonda NIJE u kvaru, Zbroju temp sonde komore zbroji i temp te sonde. U protivnom se s tom temp ne racuna.

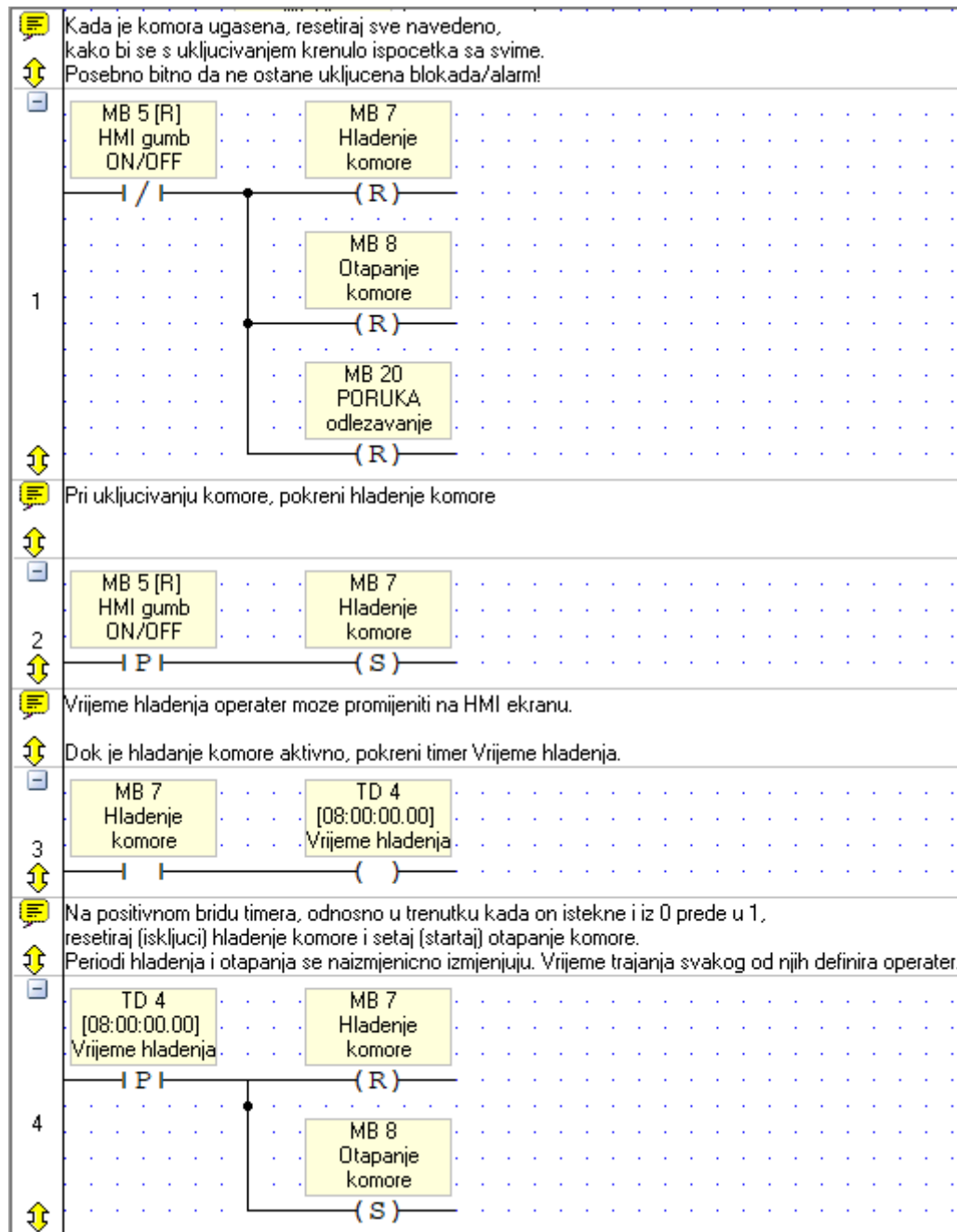


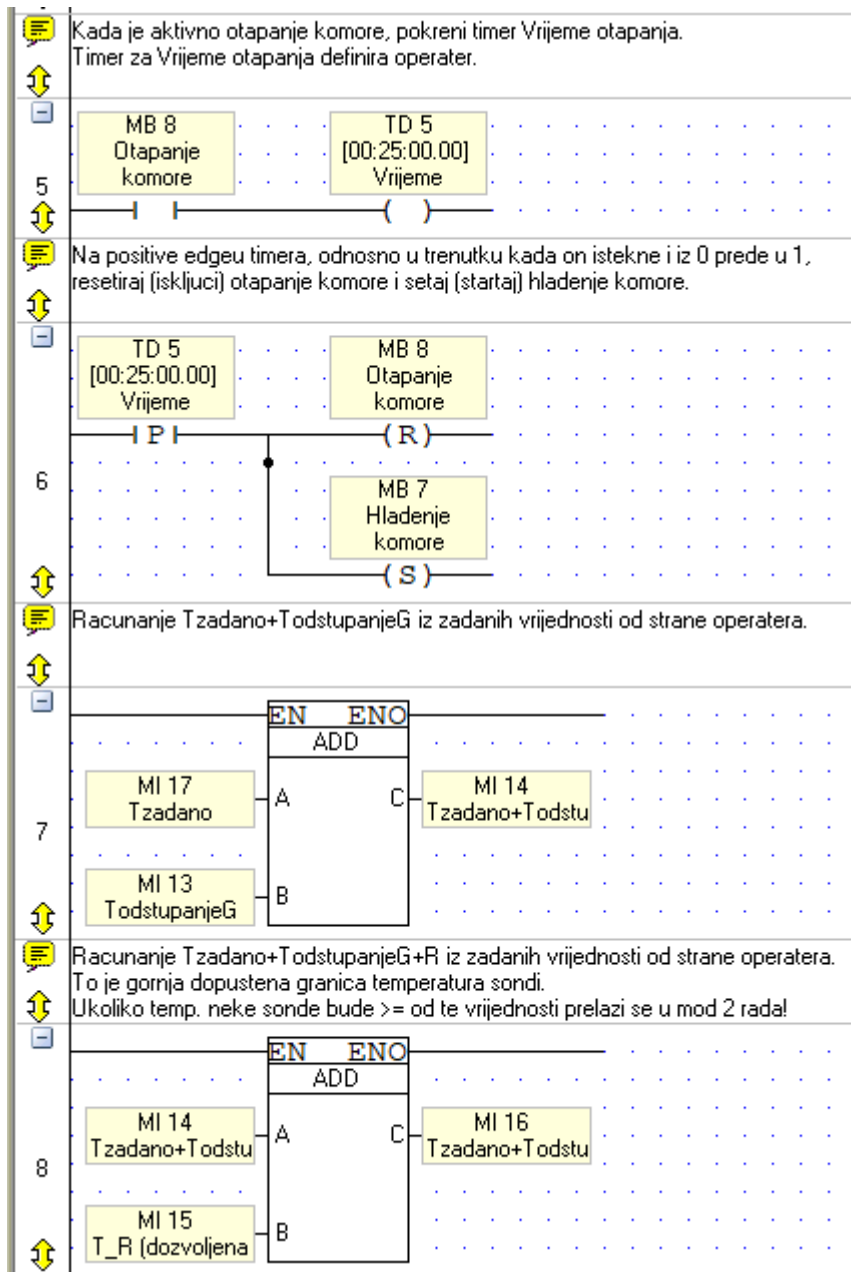


VisiLogic ne podrzava simulaciju digitalnih ulaza (prepisivanje vrijednosti digitalnih ulaza).
Stoga cemo koristiti pomocne varijable koje se mogu prepisati za vrijeme rada programa.

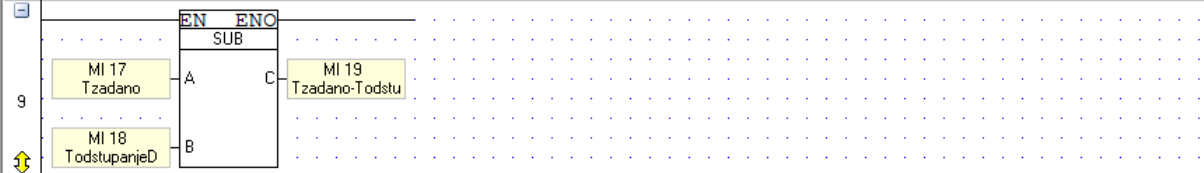


Rad komore:

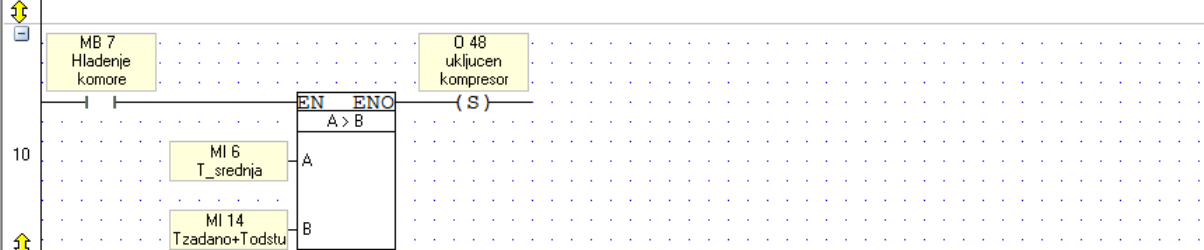




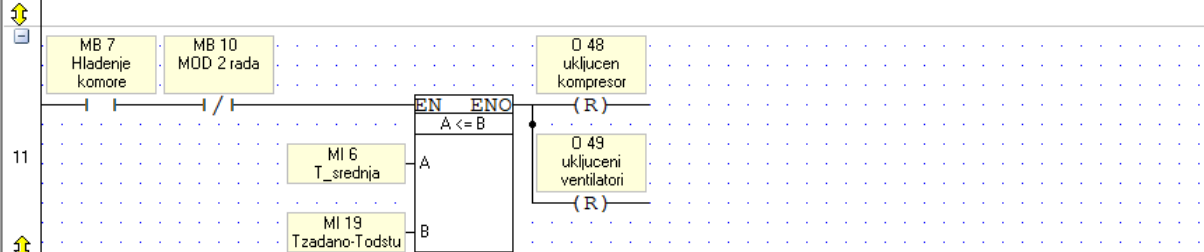
Racunanje Tzadano-TodstupanjeD iz vrijednosti definiranih od strane operatera.
To je donja dopustena granica temperatura sonde.



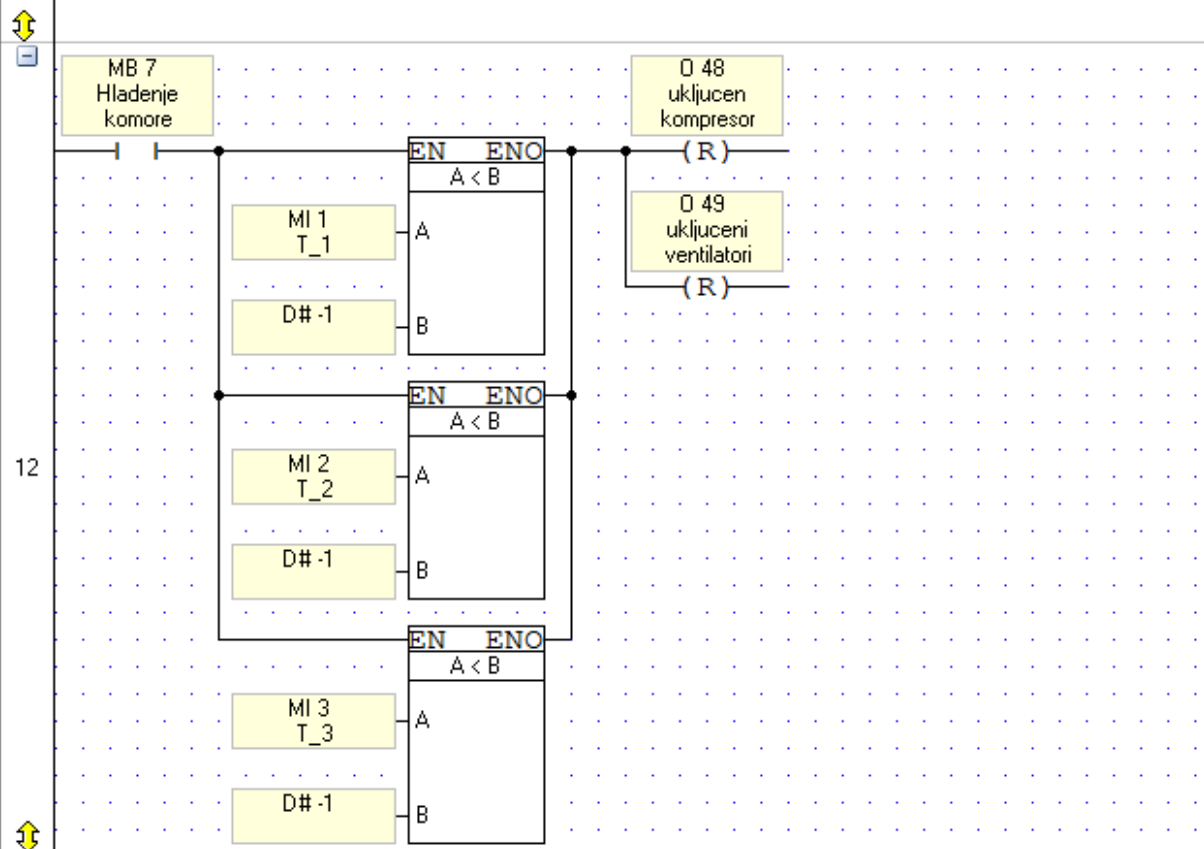
Kada je aktivno hlađenje komore, ukoliko je srednja temperatura komore veća od zadane temp + dozvoljeno odstupanje, uključi kompresor tj. kreni hladiti komoru.



U modu rada 1 kada je srednja temperatura dosegla donju granicu histereze ($T_{zadano} - T_{odstupanjeD}$) onda prestajemo s hlađenjem, odnosno gasimo kompresor i ventilatore



Ako temperatura iti jedne od sonde komore padne na temperaturu ispod -1, prestani s hlađenjem (ne zelimo da se pivo zaledi).

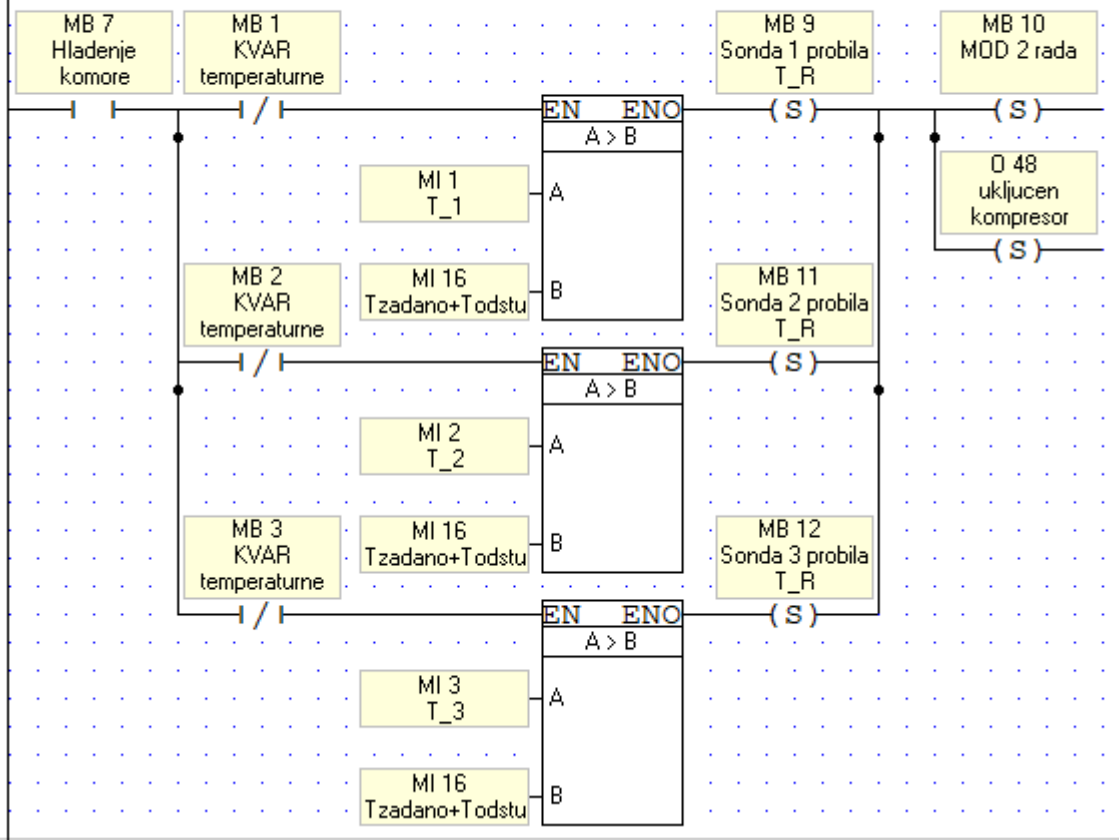




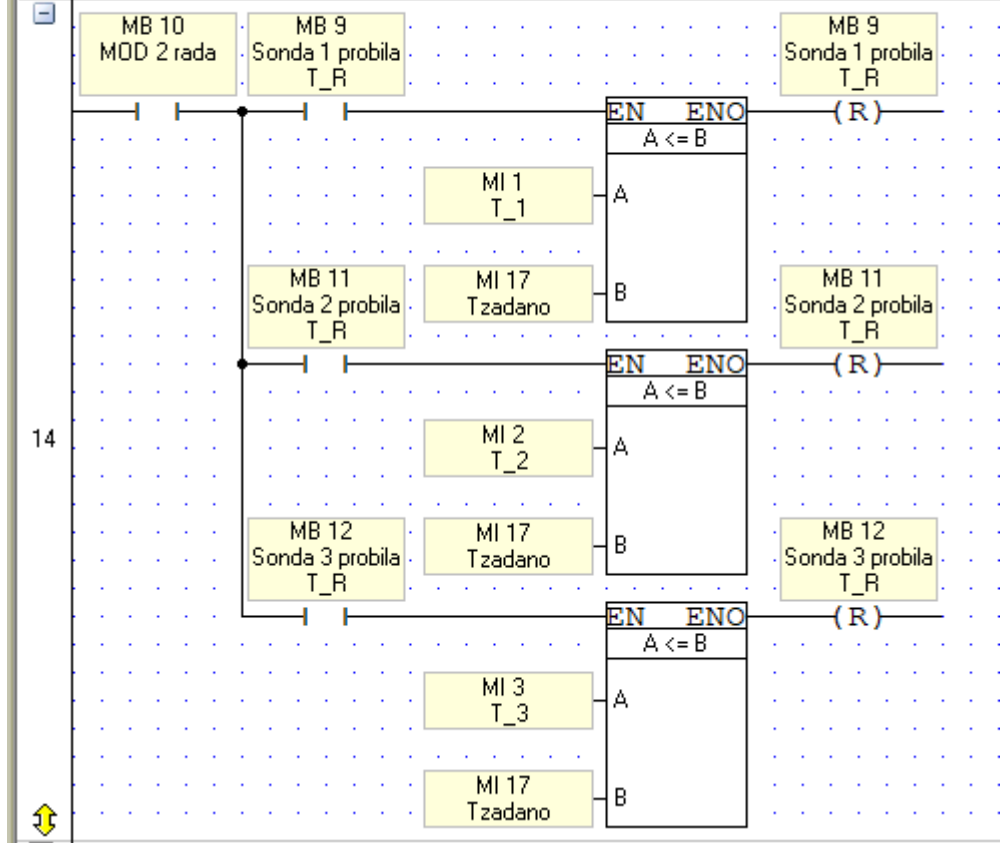
Ukoliko je hlađenje komore u tijeku te za svaku od sondu vrijedi sljedeće:
 sonda nije u kvaru, temperatura sonde je viša od zadane temp + dT + R (granica za mod 2 rada),
 digni 'zastavicu' pokazivaca ispada te sonde, pređi u mod 2 rada te ukljuci kompresor (kreni s hlađenjem).
 Ta zastavica nam je potrebna kako bi točno znali koja/e od sondi je probila R te da znamo regulirati MOD 2.
 MOD 2 rada = hladi dok god su zastavice aktivne.



13



Kada smo u MODU 2 rada (konstantno hladimo),
 ukoliko je zastavica proboja bilo koje od sondi aktivna,
 a T te sonde dođe na \leq temp od T zadano \rightarrow 'ugasi' tu zastavicu!





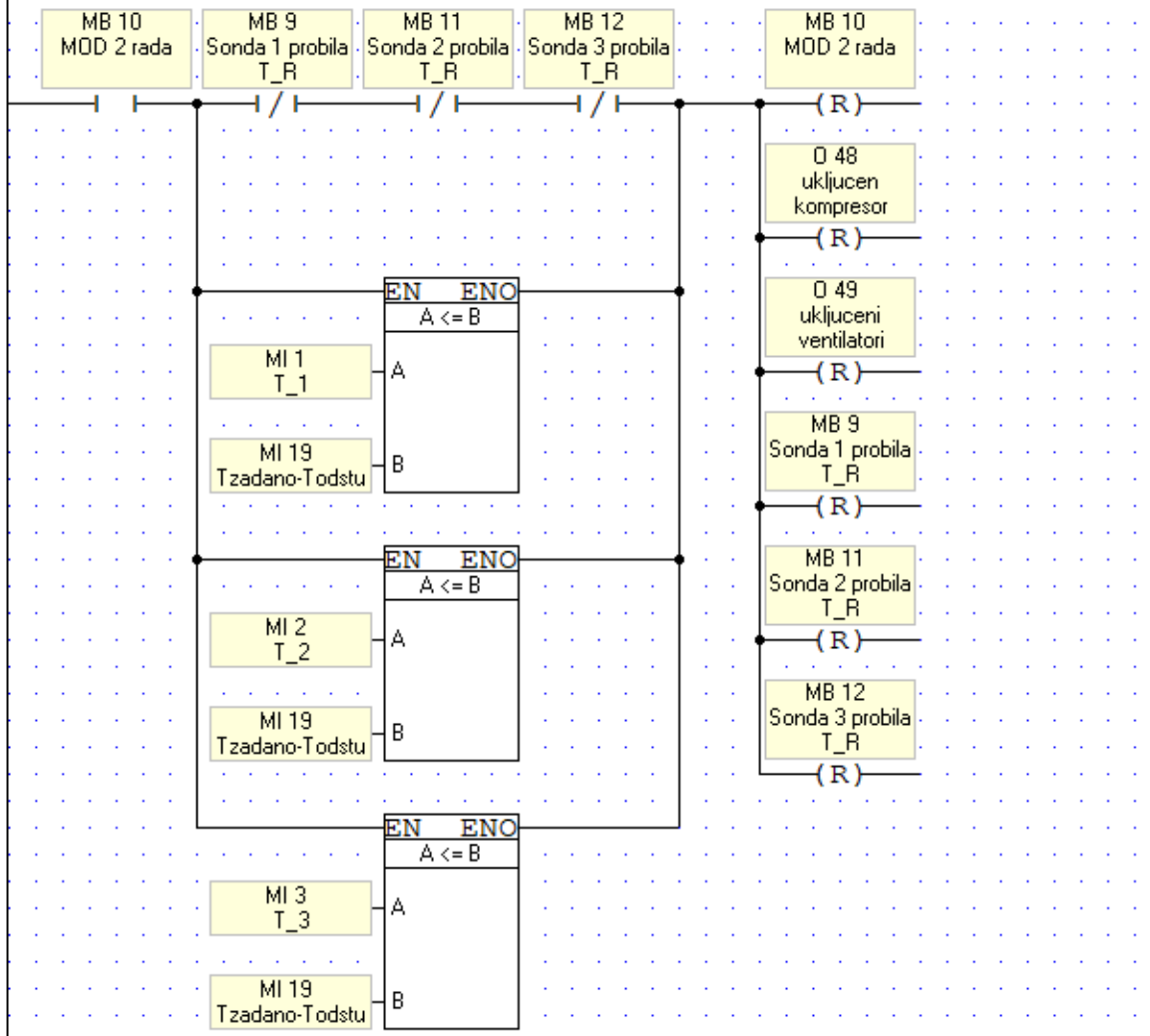
UVJETI ZA PREKID MODA 2 RADA:

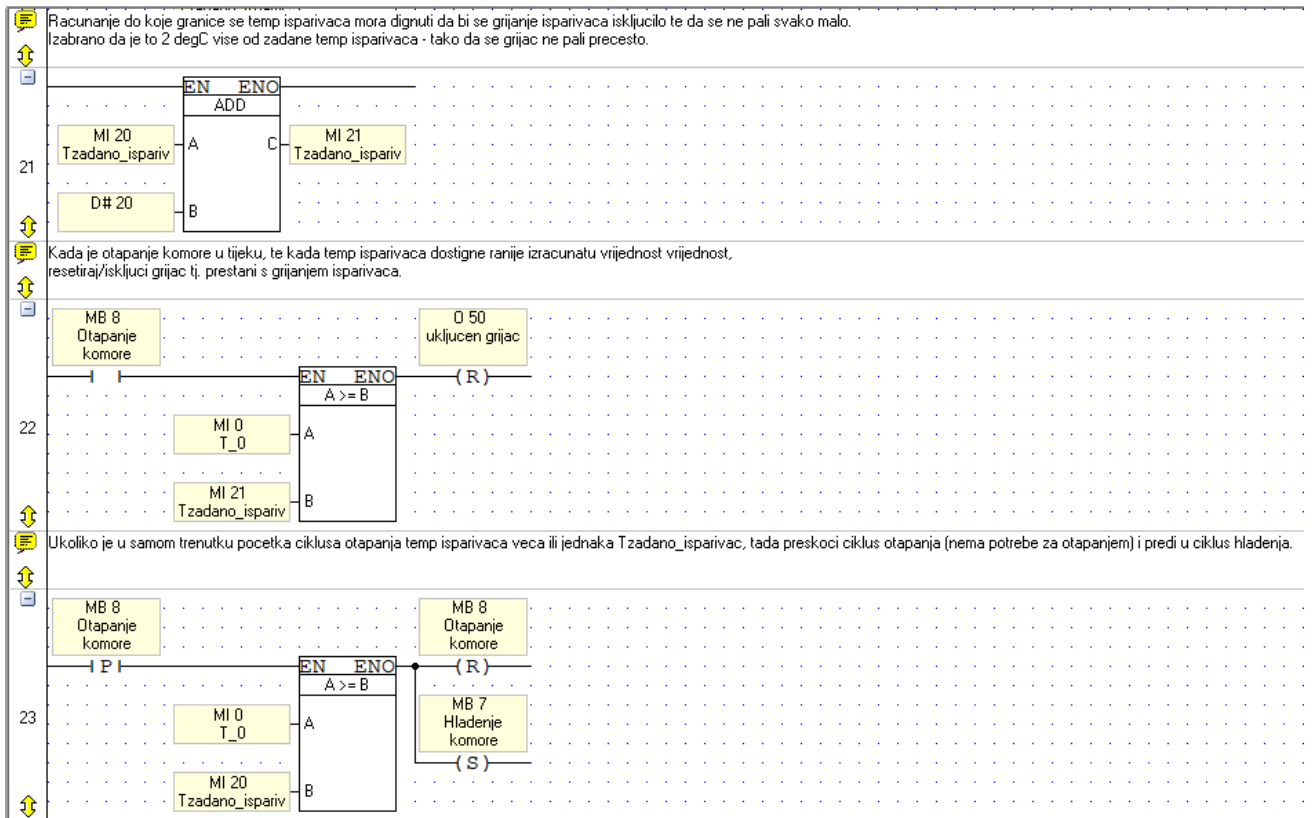
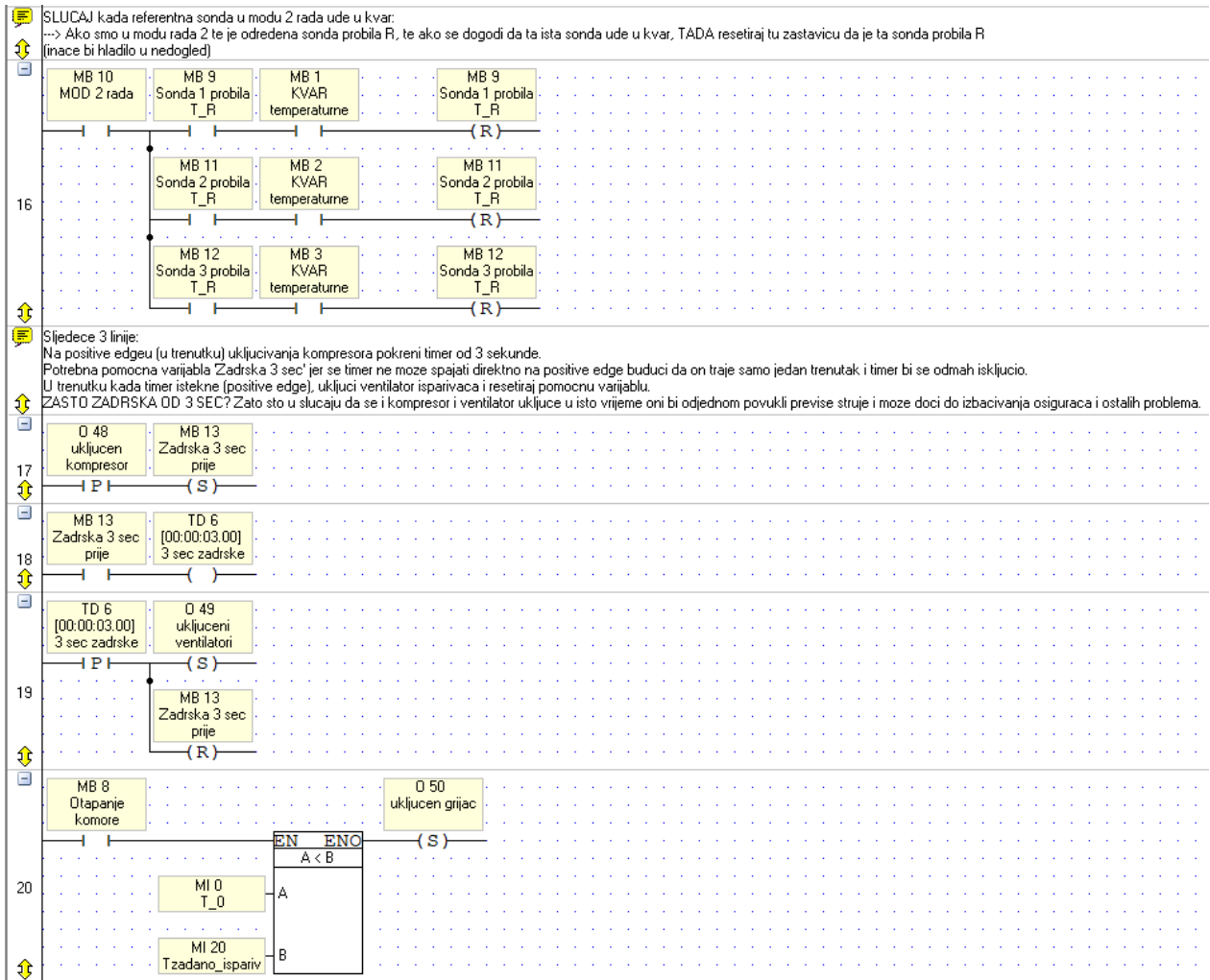
1. UVJET: niti jedna od zastavica (Sonda X probila R) nije aktivna
2. UVJET: ako bilo koja tj. ijedna sonda probije donju granicu histereze (T zadano-TodstupanjeD)

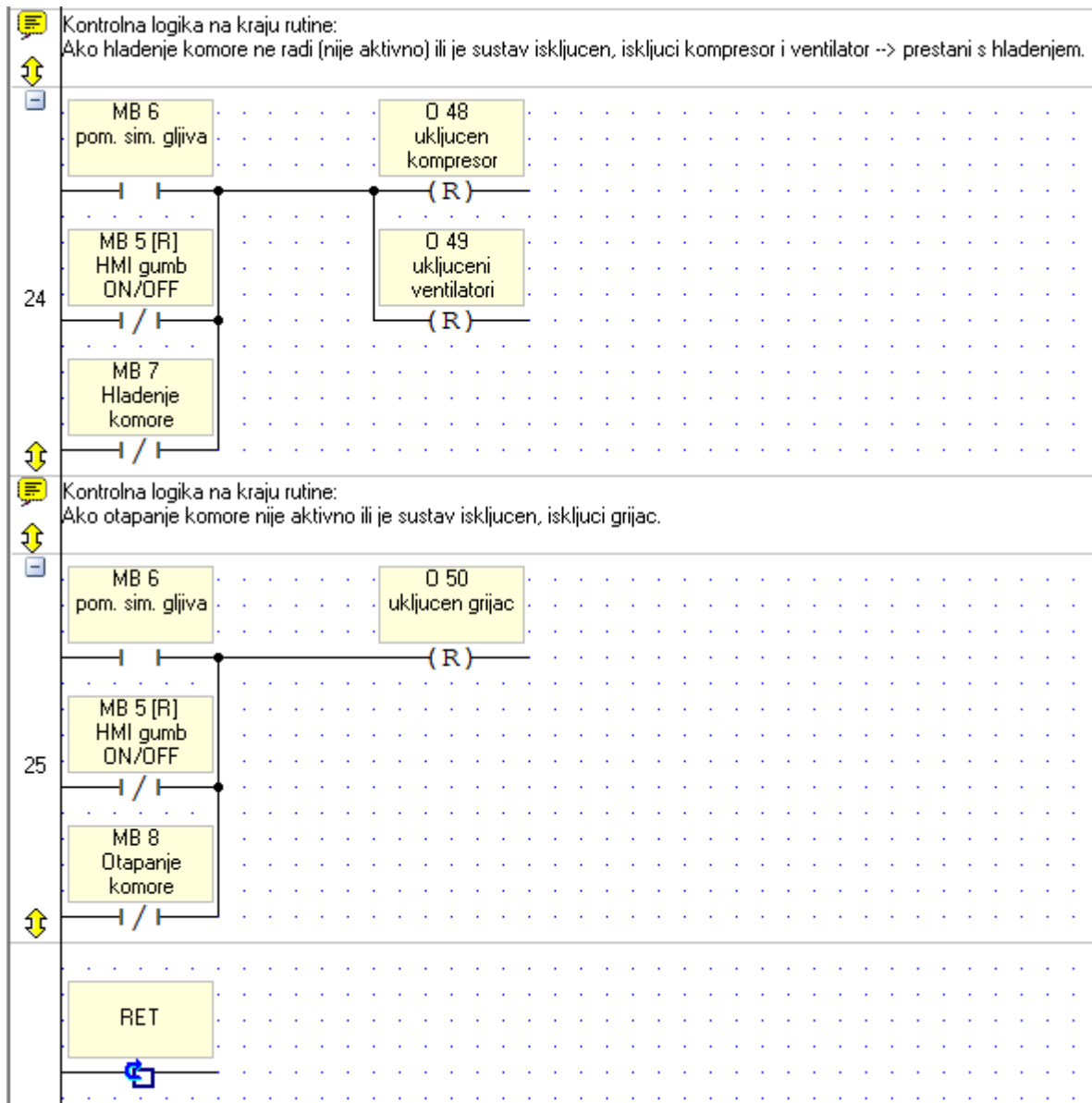


U oba slucaja resetiraj mod 2 rada, resetiraj Ukljucen kompresor (ugasi hladenje) te resetiraj sve zastavice (Sonda X probila R)

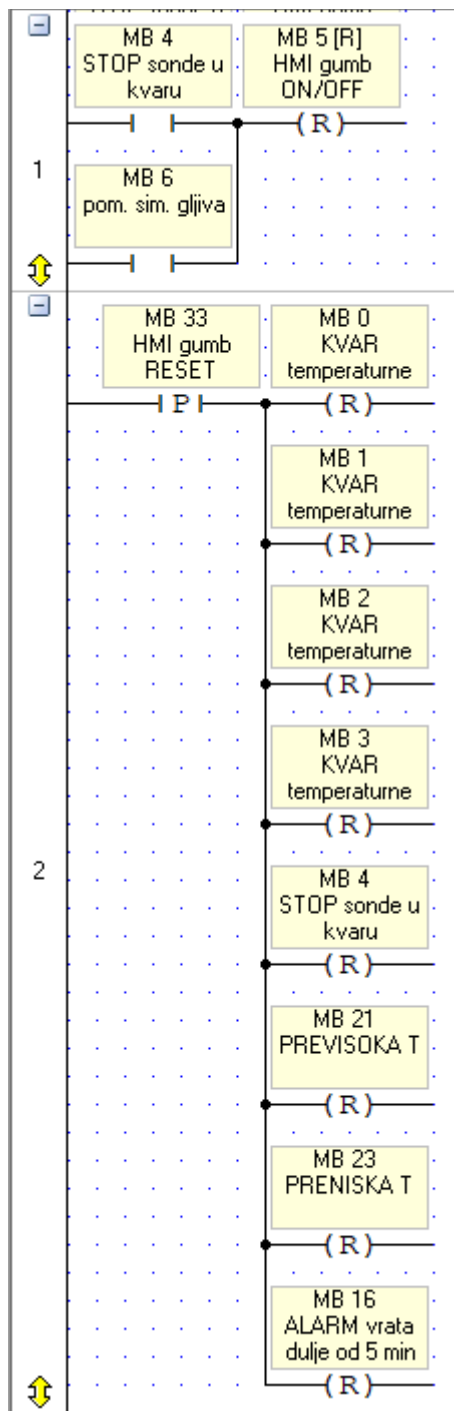
15



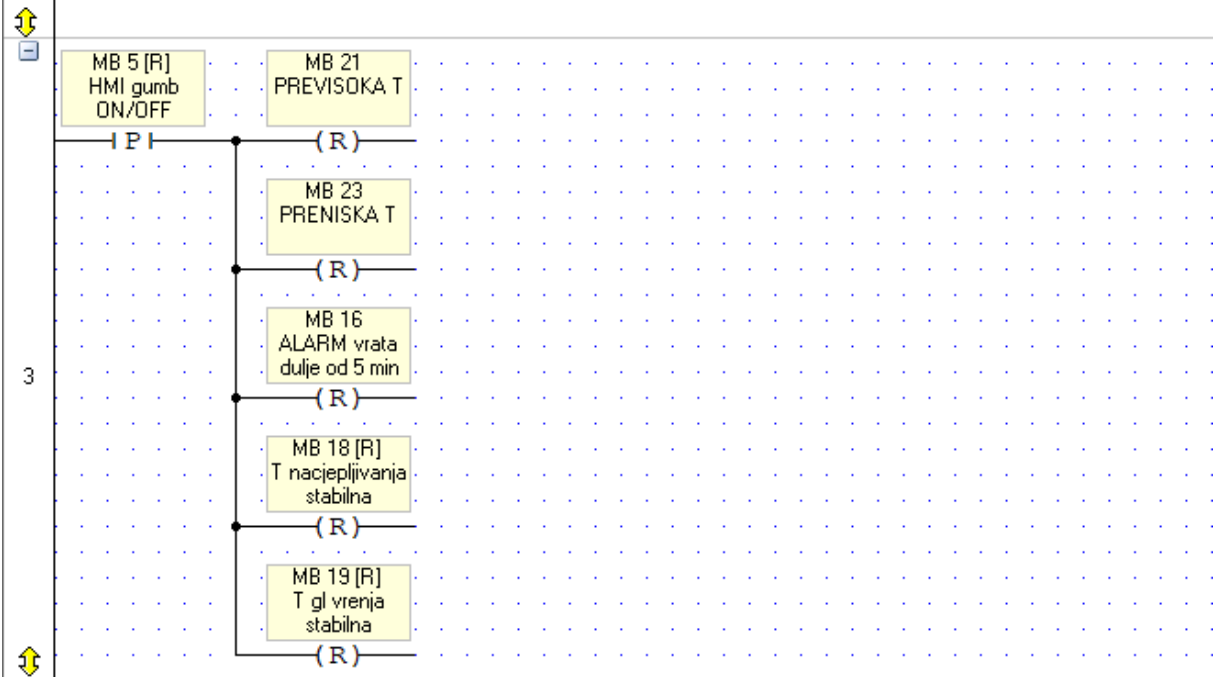




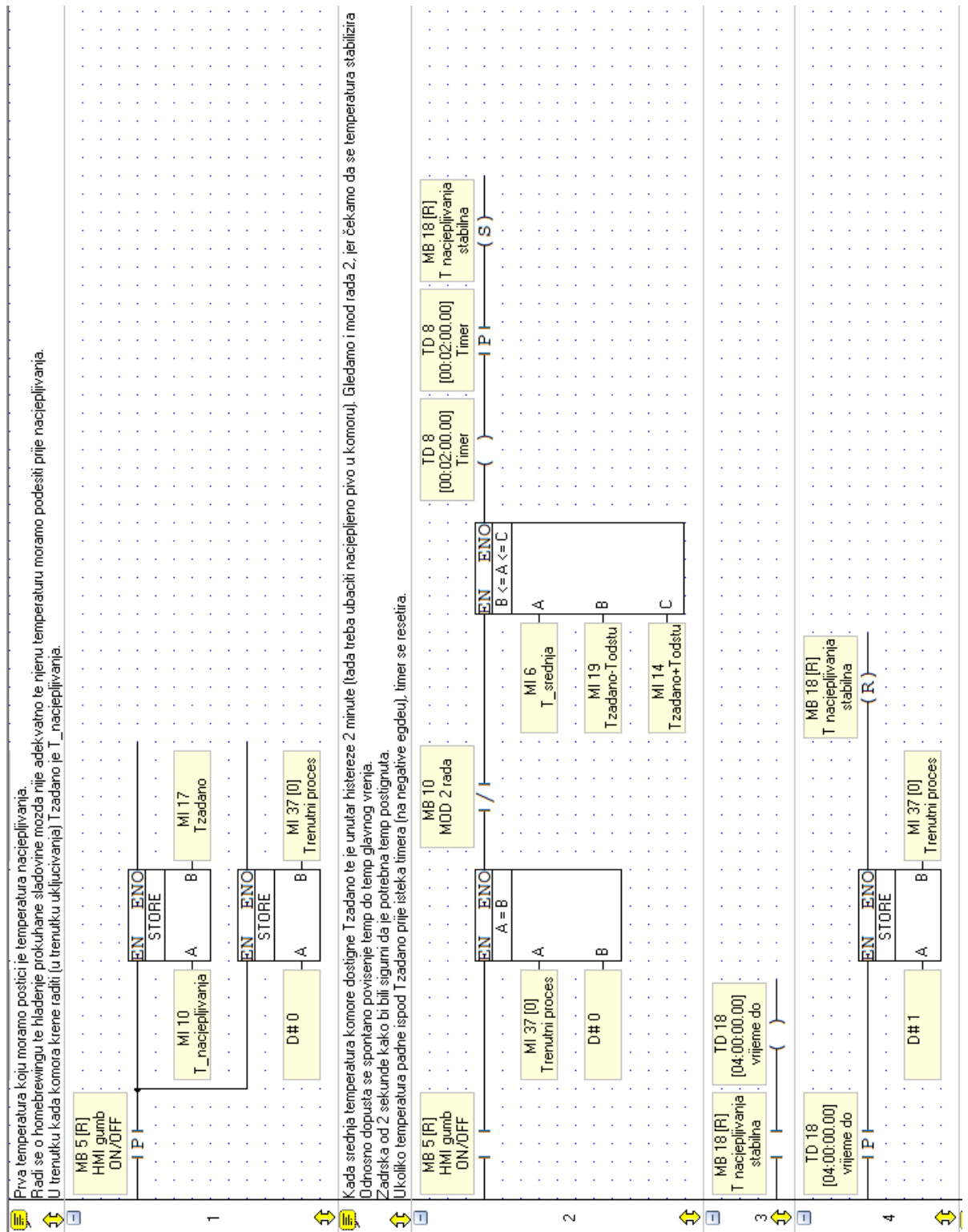
STOP i RESET:

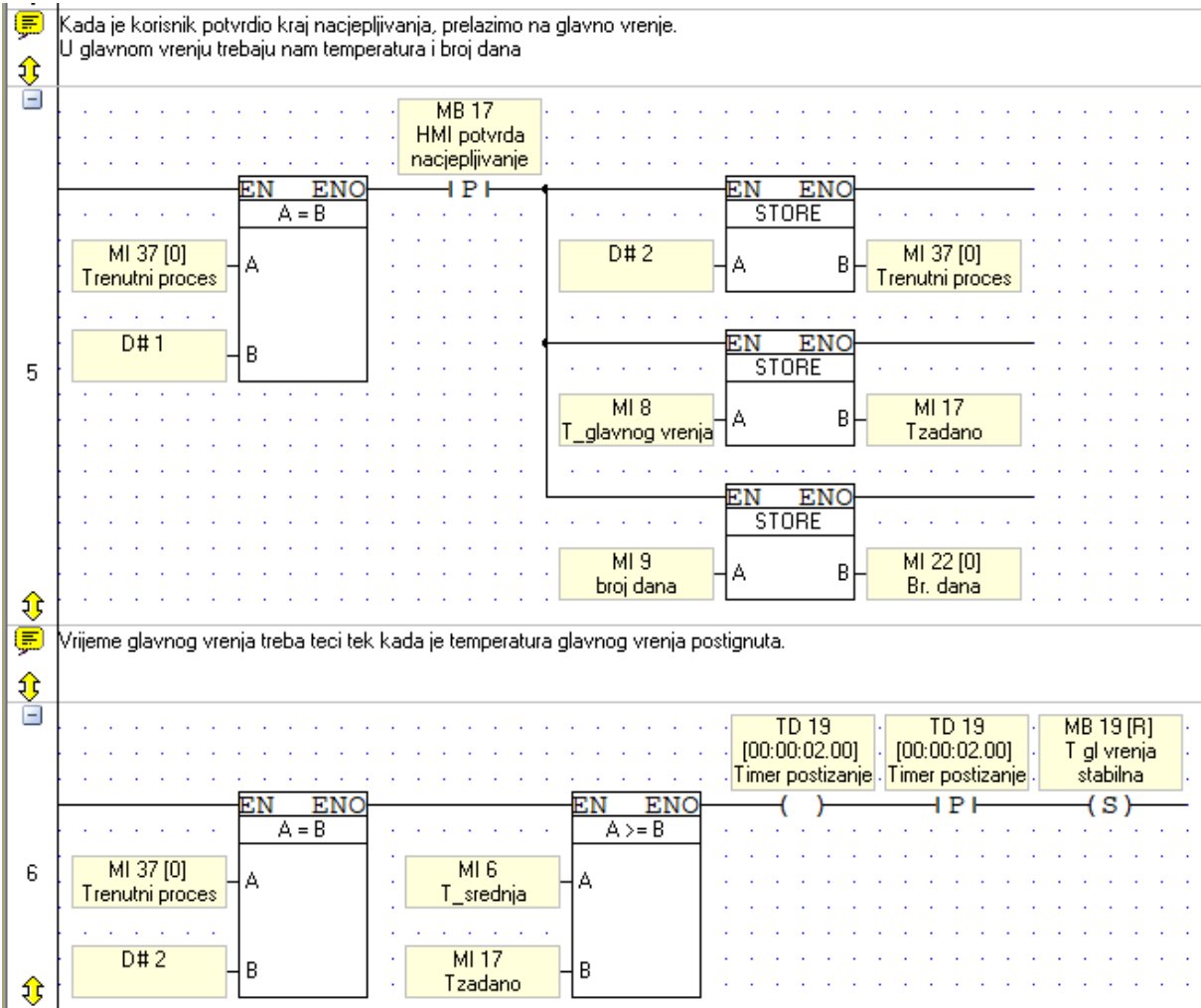


Kod pokretanja novog procesa obriši informacije da su za vrijeme prethodnog procesa dosegnute preniska i/ili previsoka temperatura.

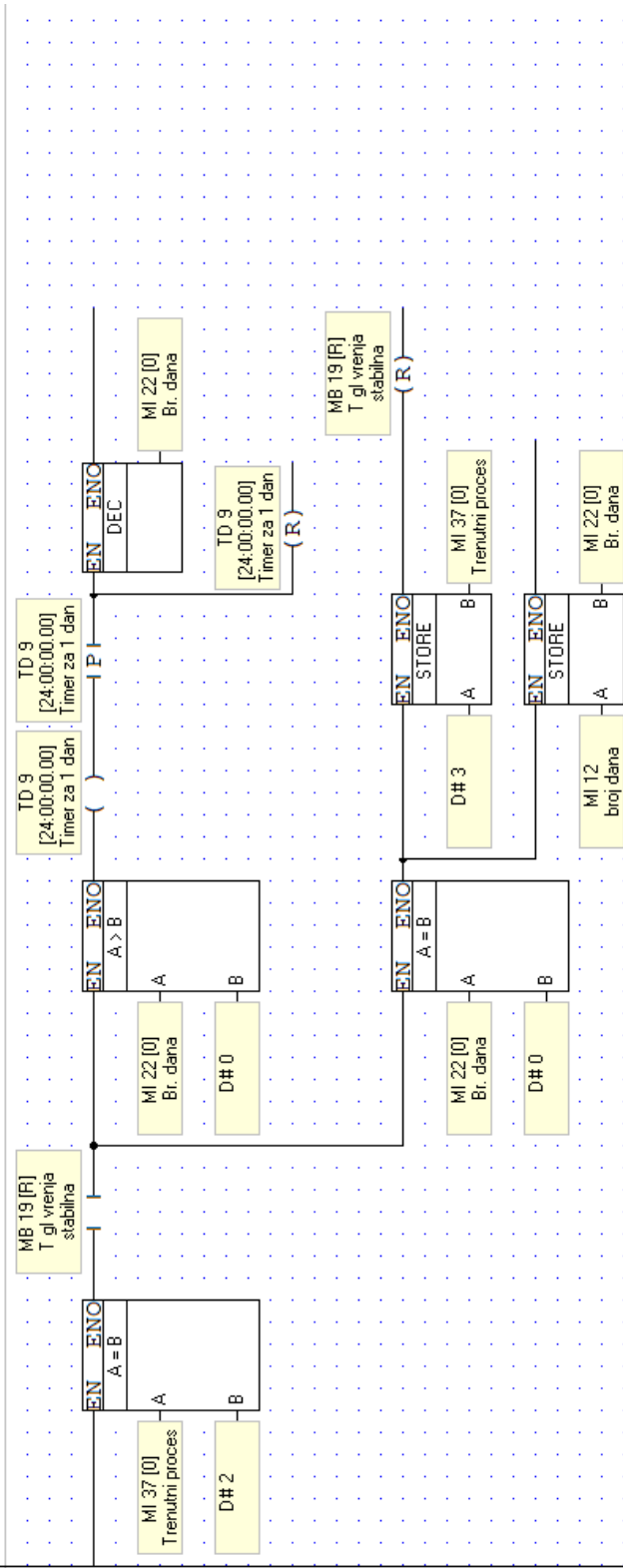


Tzadano:

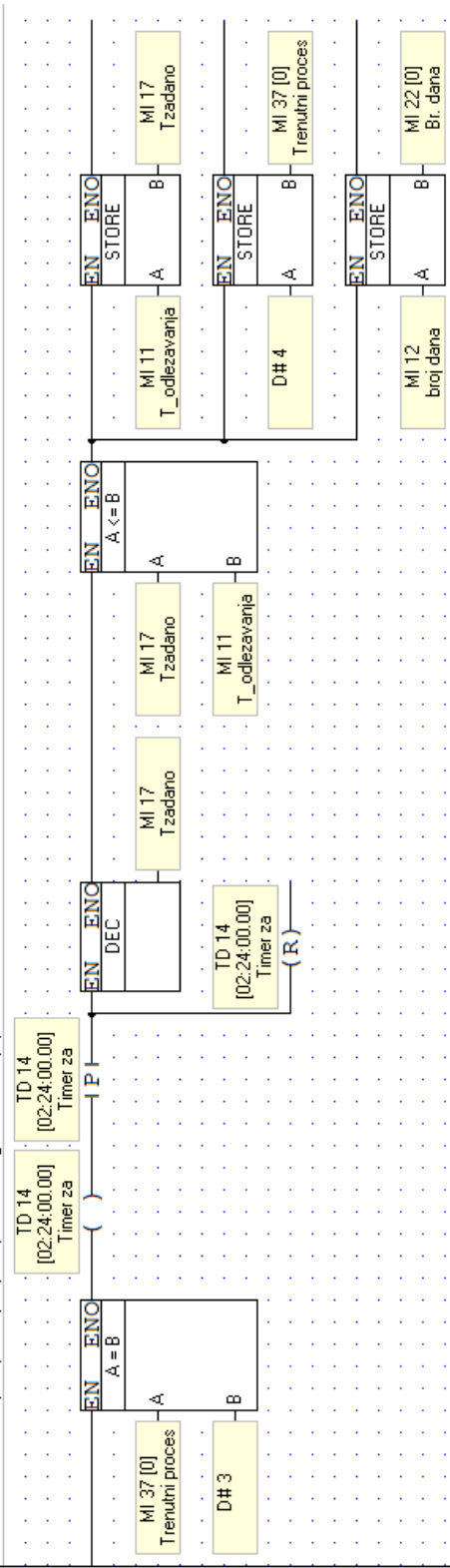


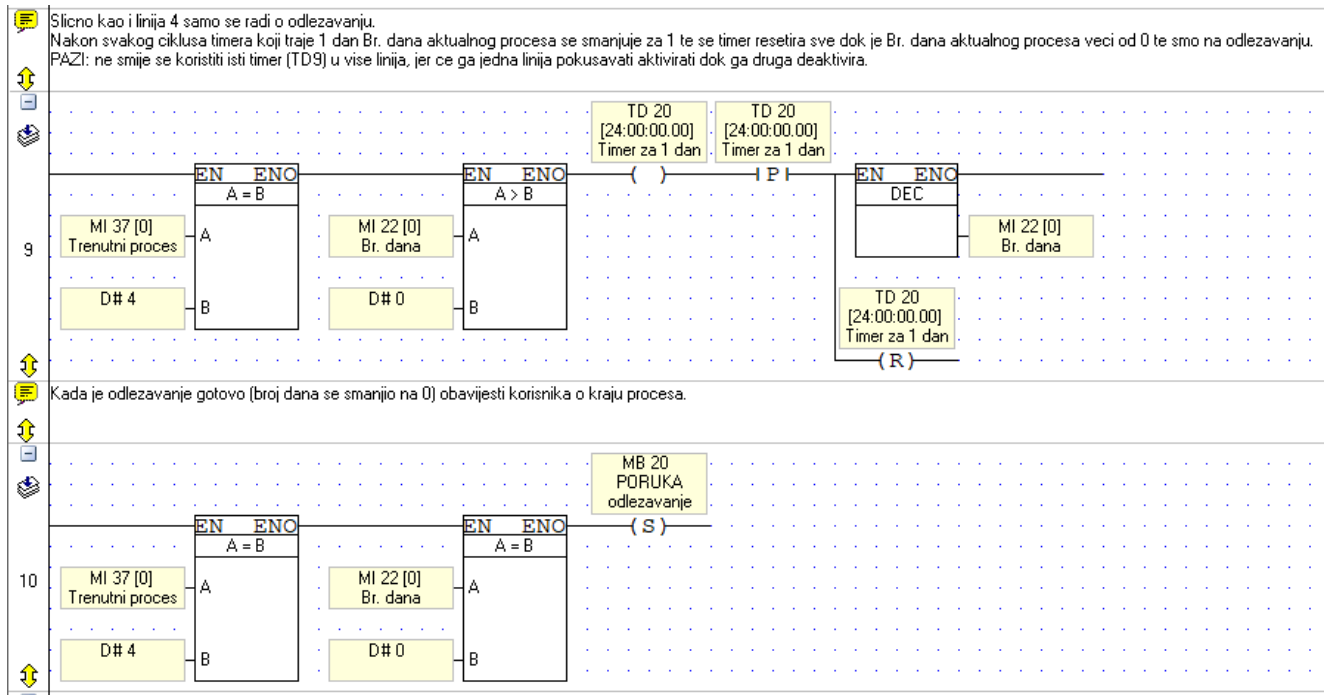


Nakon svakog ciklusa timera koji traje 1 dan Br. dana aktualnog procesa se smanjuje za 1 te se timer resetira sve dok je Br. dana aktualnog procesa veći od 0. Timer ima limit od 99 h 99 min i 99 s 99 sekundi što je nešto više od 4 dana, nedovoljno za potrebe vođenja procesa fermentacije. Stoga je potrebno napraviti petlju' kojom ćemo riješiti taj problem:

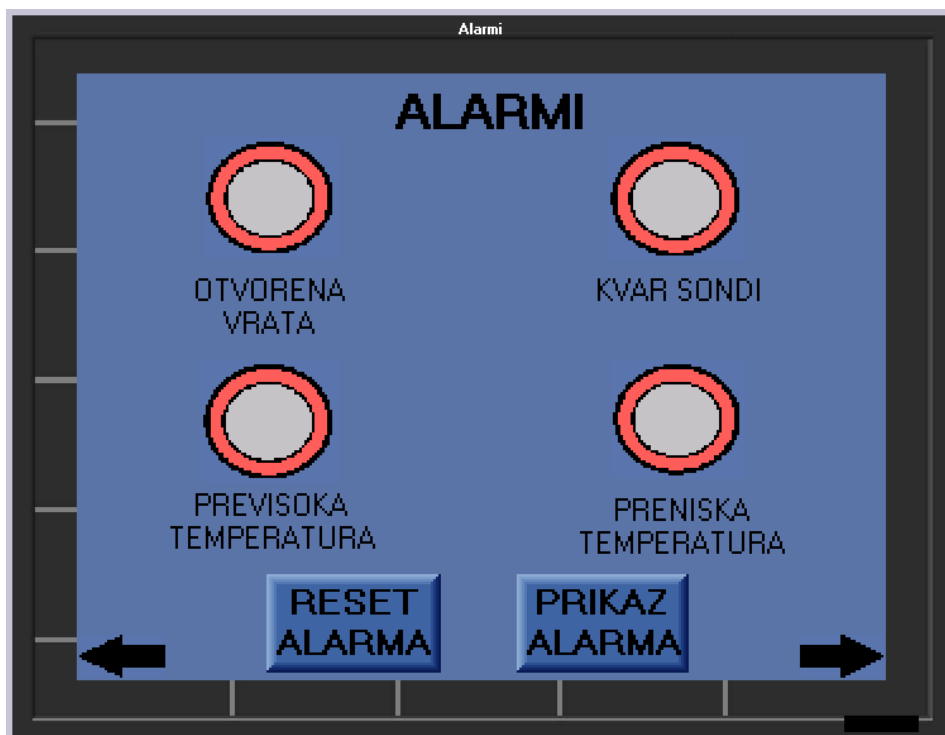


Kada smo u prijelazu iz glavnog vrenja u odležavanje spuštamo temperaturu za 1 stupanj celzijev po danu dok ne dosegneмо zadano, ne brojimo dane. Spuštamo temperaturu 10 puta u danu, odnosno svaka 2 sata i 24 minute. Ako bi se maksimalna promjena tijela promijeniti, ova logika se mora pripasati.

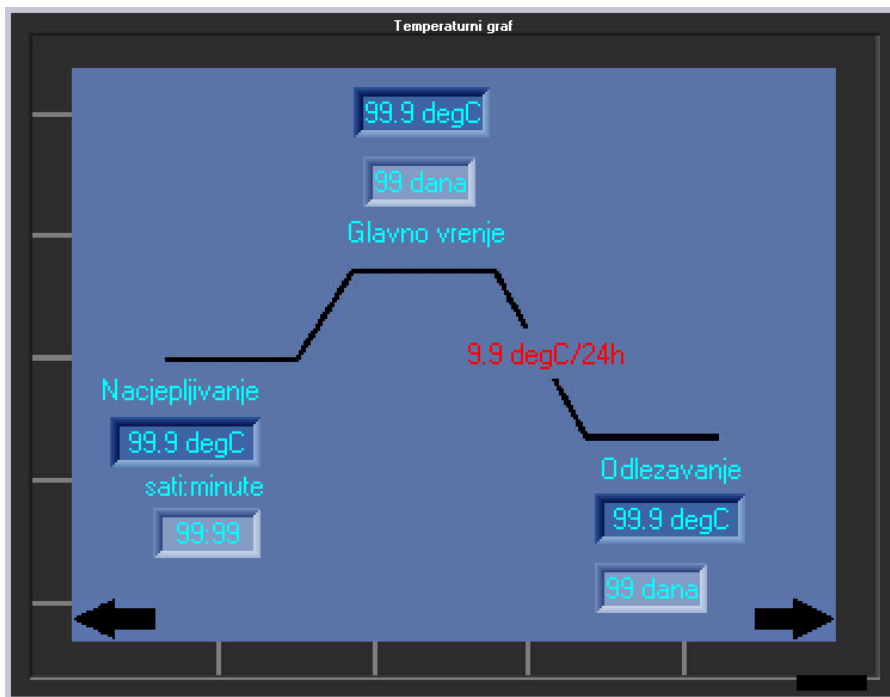




HMI prikazi:







Alarm Configuration Utility:

The screenshot shows the "Alarm Configuration Utility" window. It has a menu bar with "File", "Strings", "Actions", and "Help". Below the menu bar is a "View Mode" dropdown set to "Alarms in Groups" and several icons. The main area is divided into two panes. The left pane shows a tree view of "Alarm Configuration" with "Groups" expanded to "Group 00 - General Collection", listing alarms from Alarm 000 to Alarm 006. The right pane shows "Date Format" options (MM/DD/YYYY and DD/MM/YYYY) and "List" options (List by ID and List by Start Time). At the bottom, there is a table titled "Alarms: Global Operands" with columns for Links, Type, Addr, and Description.

Links	Type	Addr	Description
IN	MB	45	Pause ALL Alarms
	MB	46	Clear ALL pending Alarms and rescan bit
OUT	MI	31	Total Number of all Active Alarms
	MB	47	One or more Alarms is Active
	MI	32	Total Number of Alarms pending for Reset
	MI	33	Total Number of Alarms pending for Acknowledge
	MI	34	Total Number of Alarms pending for View
	MB	48	One or more Alarms is Pending

At the bottom of the window are three buttons: "OK", "Clear All & Exit", and "Cancel".