

Razvoj PLC sustava za upravljanje zalijevanjem biljaka i okolišnim varijablama plastenika

Šlankovič, Matej

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:235:092297>

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

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

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matej Šlankovič

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

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

Dr. sc. Matija Krznar, mag. ing.

Student:

Matej Šlankovič

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i prijašnjeg obrazovanja uz pomoć navedene literature.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Danijelu Pavkoviću i komentoru dr. sc. Matiji Krzнару na pomoći, dostupnosti te korisnim savjetima tijekom izrade rada.

Također veliko hvala obitelji, djevojci Lari i svim prijateljima na neizmjerne potpori i strpljenju tijekom studiranja.

Matej Šlankovič



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: **Matej Šlankovič** JMBAG: **0035212814**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Razvoj PLC sustava za upravljanje zalijevanjem biljaka i okolišnim varijablama plastenika**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of a PLC system for greenhouse plants watering and environmental variables control**

Opis zadatka:

Potrebno je osmisliti hardversko rješenje i razviti softversko rješenje sustava automatizacije plastenika u smislu automatskog zalijevanja biljaka i regulacije okolišnih varijabli kao što su temperatura i vlažnost zraka te koncentracija ugljičnog dioksida (CO₂). U radu je potrebno napraviti sljedeće:

- 1) Opisati značaj automatizacije plastenika i načine njihove implementacije na temelju pregleda dostupne stručne literature.
- 2) Navesti i opisati elektroničke upravljačke uređaje, senzore i aktuatora i njihovu ulogu u realizaciji projekta automatizacije rada plastenika, te priložiti skice plastenika sa smještajem navedenih uređaja.
- 3) Detaljno opisati odabrani PLC uređaj i korištene senzore s njihovim principima rada.
- 4) Opisati softversko rješenje PLC upravljačkog koda i interaktivnog sučelja prema korisniku temeljem odgovarajućeg uređaja za interakciju s korisnikom (HMI, Human-Machine Interface) i zadavanje vodećih veličina za rad plastenika te simulirati rad sustava automatskog upravljanja procesom zalijevanja i regulacije okolišnih varijabli plastenika unutar razvijenog korisničkog sučelja.
- 5) Na temelju popisa navedene opreme za automatizaciju plastenika i uvidom u stanje na tržištu potrebno je izraditi troškovnik opreme, odnosno procijeniti trošak takve investicije.
- 6) Dati mogućnosti daljnjeg unaprjeđenja sustava automatizacije.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Danijel Pavković
Dr. sc. Matija Krznar

Danijel Pavković

Predsjednik Povjerenstva:

Branko Bauer
Prof. dr. sc. Branko Bauer

Sadržaj

Sadržaj.....	I
Popis slika	III
Sažetak	V
Summary	VI
1 Uvod.....	1
2 Komponente automatiziranoga sustava.....	4
2.1 Upravljačka jedinica.....	4
2.2 Korisničko sučelje	6
2.3 Senzori	7
2.3.1 Senzori temperature.....	7
2.3.2 Senzori vlažnosti zraka.....	9
2.3.3 Senzori intenziteta svjetlosti.....	10
2.3.4 Senzori ugljičnog dioksida (CO ₂)	11
2.4 Izvršni uređaji.....	12
2.4.1 Grijanje, hlađenje i ventilacija zraka.....	12
2.4.2 Navodnjavanje.....	15
2.4.3 Osvjetljenje.....	16
2.5 Komunikacija.....	16
2.6 Shema spajanja uređaja	18
3 Troškovnik	20
4 Softversko i hardversko rješenje	22
4.1 MELSEC iQ-F FX5U-32MT/ESS.....	22
4.2 HMI GS2107-WTBD	23
4.3 GX Works3.....	23

4.4	GT Designer3	24
5	Upravljački program	26
5.1	Globalne varijable.....	26
5.2	Omogućavanje rada sustava	27
5.3	Središnji ventilator.....	28
5.4	Zalijevanje	28
5.5	Upravljanje razinom CO ₂	29
5.6	Rasvjeta	30
5.7	Upravljanje temperaturom.....	31
5.8	Upravljanje RVZ	34
6	Dizajn korisničkog sučelja	36
7	Simulacija.....	41
8	Zaključak.....	45
	Literatura	46

Popis slika

Slika 1.1. Primjer automatiziranog plastenika [5]	3
Slika 2.1. Prikaz PLC uređaja različitih proizvođača [8]	5
Slika 2.2. Simbolični prikaz rada PLC-a [7].....	5
Slika 2.3. Jedan ciklus PLC uređaja	6
Slika 2.4. HMI tvrtke Siemens [9].....	7
Slika 2.5. Senzori temperature [8]	8
Slika 2.6. Krivulje termistora [13].....	8
Slika 2.9. Karakteristika fotodiode [15].....	11
Slika 2.10. Prikaz rada CO2 senzora [16].....	11
Slika 2.11. Hlađenje pomoću ventilatora [19]	12
Slika 2.12. Grijanje pomoću električne grijalice	13
Slika 2.13. Ventilator za cirkulaciju zraka [19]	13
Slika 2.14. Industrijski ovlaživač zraka [21]	14
Slika 2.15. Industrijski odvlaživač zraka [22]	14
Slika 2.16. Prvi hrvatski kranovi za zalijevanje usjeva [26].....	15
Slika 2.17. Uzgoj pod LED lampama	16
Slika 2.18. Različite topologije mreža [29]	17
Slika 2.19. Shema spajanja uređaja	19
Slika 4.1. Mitsubishi FX5U-32MT/ESS [30].....	22
Slika 4.2. Mitsubishi HMI GS2107-WTBD [31]	23
Slika 4.3. Prikaz prozora softvera GX Works3 [31].....	24
Slika 4.4. Prikaz prozora softvera GT Designer3 [31]	25
Slika 5.1. Globalne varijable upravljačkoga koda	27
Slika 5.2. Omogućavanje rada sustava	28

Slika 5.3. Upravljački kod središnjeg ventilatora	28
Slika 5.4. Upravljanje zalijevanjem	29
Slika 5.5. Funkcijski blok Zalijevanje	29
Slika 5.6. Upravljanje razinom CO ₂	30
Slika 5.7. Funkcijski blok Detekcija_CO ₂	30
Slika 5.8. Upravljanje rasvjetom.....	31
Slika 5.9. Funkcijski blok Svjetlo.....	31
Slika 5.10. Upravljanje temperaturom.....	32
Slika 5.11. Funkcijski blok Grijanje_hlađenje.....	33
Slika 5.12. Lokalne varijable funkcijskog bloka Grijanje_hlađenje.....	33
Slika 5.13. Upravljanje RVZ	34
Slika 5.14. Funkcijski blok Ovlaživanje_odvlaživanje	35
Slika 5.15. Lokalne varijable funkcijskog bloka Ovlaživanje_odvlaživanje.....	35
Slika 6.1. Početni zaslon korisničkog sučelja	36
Slika 6.2. Zaslon sa statusima uređaja	37
Slika 6.3. Zaslon za upravljanje rasvjetom	38
Slika 6.4. Zaslon za upravljanje zalijevanjem	39
Slika 6.5. Zaslon za upravljanje temperaturom	40
Slika 6.6. Zaslon za upravljanje RVZ.....	40
Slika 7.1. Laboratorijski postav sa toplinskom komorom	41
Slika 7.2. Prikaz simulacije tipke STOP	42
Slika 7.3. Prikaz simulacije zalijevanja	42
Slika 7.4. Simulacija aktivirane grijalice	43
Slika 7.5. Tajmer aktivirane grijalice.....	43
Slika 7.6. Sigurnosno gašenje grijalice	44

Sažetak

Kroz ovaj rad, prikazano je softversko i hardversko rješenje automatizacije zaštićenoga prostora, konkretno plastenika za uzgoj biljaka. U uvodu je iznesen značaj i uloga zaštićenoga prostora te različiti mogući načini automatizacije istoga. Zatim se iznose i opisuju potrebne komponente automatiziranog sustava, te njihov značaj za biljke. Naglasak je na programibilnom logičkom kontroleru i sensorima čiji je rad detaljnije opisan. Za opisane komponente predložen je popis uređaja i senzora dostupnih na tržištu pa je za iste izrađen troškovnik. Također se prikazuje primjer rasporeda i shema spajanja uređaja na skici plastenika. S time se prelazi na upravljački kod, gdje se najprije ukratko opisuju korišteni softveri. Nadalje se detaljno opisuje cijeli upravljački kod i dizajn korisničkoga sučelja. Nakon toga se opisuje laboratorijski postav na kojemu je izvršena simulacije, te se prikazuju rezultati simulacije. Naposljetku iznosi se zaključak cijeloga rada i moguća poboljšanja u sustavu.

Ključne riječi: automatizacija, zaštićeni prostor, biljke, programibilni logički kontroler, plastenik

Summary

This paper has presented the software and hardware solution for the automation of a growhouse. In introduction, the importance and function of growhouse and various ways of automating one is presented. It is followed by the description of the required components of automated system, and their importance for plants. Accent is on programmable logic controller and sensors whose operating principles are described in detail. For described components a list of commercially available devices and sensors is proposed, and a cost estimate has been made. Moreover, an example of the layout and the device connection scheme is outlined on the dimensional drawing of the considered greenhouse. In the second part of this work, the development of the control program is presented, starting with the software environment used for programming, followed by the actual control code development and the design of the graphical user interface (GUI). This is followed by the description of the laboratory setup which is used for process control simulation, which has been used for actual process simulation within the proposed control framework. Final chapter gives the concluding remarks and possible improvements of systems.

Key words: automation, growhouse, plants, programmable logic controller, greenhouse

1 Uvod

Plastenici spadaju među zaštićene prostore koji služe za uzgoj biljaka kada to nije moguće na otvorenome zbog raznoraznih nepovoljnih klimatskih uvjeta ili jednostavno radi optimizacije klimatskih uvjeta te postizanja boljih prinosa [1].

Najveća korist plastenika se primijeti tijekom hladnih zimskih mjeseci sa učestalim padalinama tijekom kojih uzgoj velike većine biljaka nije moguć na otvorenome. U tim mjesecima glavna svrha plastenika je očuvanje topline akumulirane kroz različite načine grijanja ili kao posljedica svjetlosne energije Sunca [1].

Proizvodnja u zaštićenim prostorima je znatno napredovala, od prijašnjih samo natkrivenih uzgoja, danas imamo potpuno kontrolirane mikroklima sa automatiziranim uređajima koji su povezani sa sensorima te naspram dobivenih signala obavljaju odgovarajuće zadaće u smislu postizanja odgovarajućih mikroklimatskih uvjeta u plasteniku ili stakleniku. Prednost takvih prostora je u tome što uzgoj te količina i kvaliteta prinosa više ne ovise o vanjskim uvjetima već poljoprivrednik ima sigurnost i kontinuitet proizvodnje tijekom cijele godine [1,2]. Pametan uzgoj pomaže u očuvanju prirodnih resursa na način da se točnom i preciznom regulacijom optimiraju potrošnja vode i energije za grijanje i hlađenje. Nadalje, primjena ovakvih sustava poboljšava i kvalitetu života jer možemo koristiti manje kemijski tretirana i genetski mutirana sjemena čime se na prirodan način (izolacijom, radije nego kemijskim tretiranjem) postiže otpornost na vremenske uvjete [3].

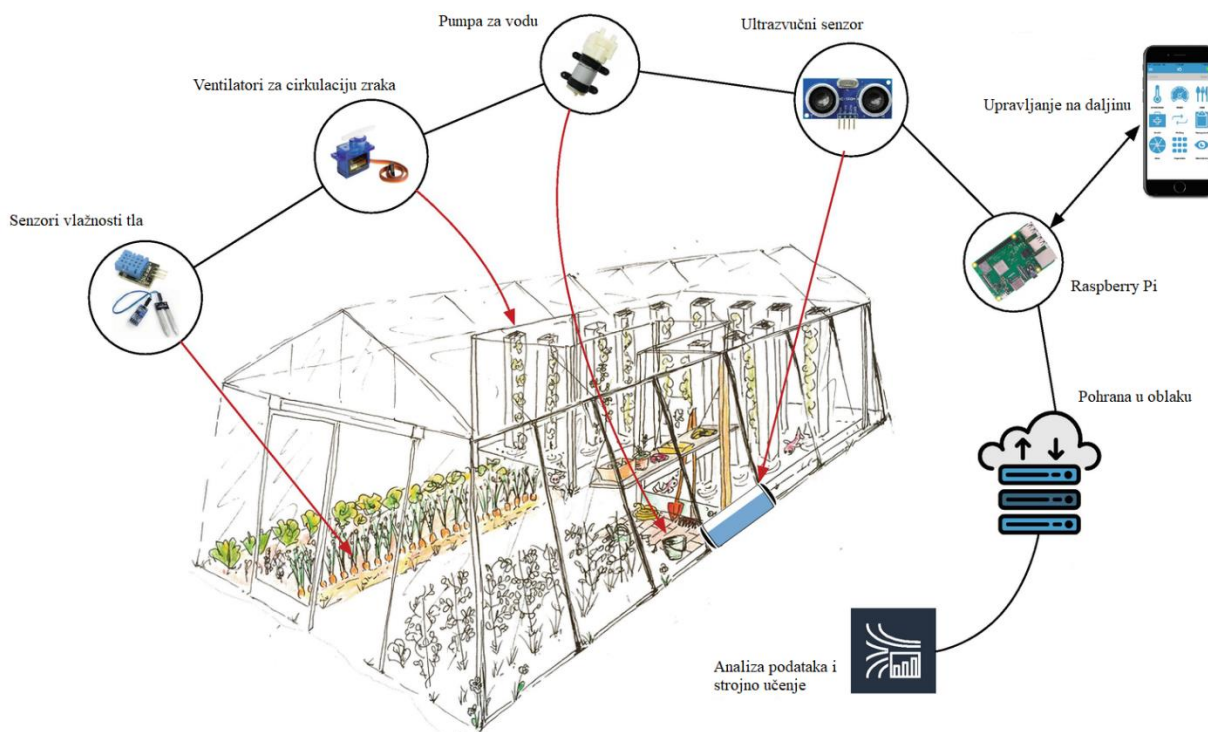
U potpuno automatiziranim plastenicima moguće je reguliranje faktora uzgoja kao što su: količina vode, temperatura, relativna vlažnost zraka, osvjetljenje biljaka, koncentracije ugljičnog dioksida (CO₂) i slično. Stoga je razmjerno lako uočiti prednosti kontrole navedenih uvjeta. Tijekom suših ljetnih mjeseci moguće je osigurati dovoljnu količinu vode biljkama te smanjiti temperaturu zraka na prihvatljive iznose kako biljke ne bi uvenule. Zatim tijekom kišnih proljeća i jeseni kada dolazi do povećanja vlažnosti zraka, a time i biljke postaju osjetljivije na napade bolesti i štetnika, jednostavnim uređajem kao što je odvlaživač zraka moguće je smanjiti šanse da se biljke zaraze i time sačuvati usjev. U zimskim mjesecima kada imamo kratak vremenski period svjetla u danu, današnjim umjetnim svjetlima možemo potpuno nadomjestiti spektar sunčevog svjetla koji je

potreban biljkama (400-800 nm). Tijekom godine se može javiti mraz te padaline poput tuče i snijega koje su u velikoj mjeri pogubne za biljke što dovodi do velikih investicijskih gubitaka, jednostavnim uzgojem biljaka i u najjednostavnijem neautomatiziranom zaštićenom prostoru štitimo prinos od takvih nepovoljnih utjecaja [1,2].

Razina automatizacije sustava jako ovisi o potrebama i investicijskim mogućnostima poljoprivrednika. Prvo što se uvijek pronade na listi automatizacije je navodnjavanje. Osim što je voda najosnovnija potreba biljci za rast i razvoj, navodnjavanje je ujedno i fizički posao te je vremenski zahtjevno za provoditi pogotovo kod velikih površina. Automatizacija navodnjavanja se može obaviti pomoću jeftinih i jednostavnih mikrokontrolera poput Arduina ili Raspberry Pi gdje se navodnjavanje obavlja u unaprijed određenim vremenskim ciklusima pa sve do puno kompliciranih i sofisticiranih sustava gdje se pomoću senzora određuje vlažnost tla te prema signalu senzora se dozira točno potrebna količina vode za optimalni rast biljke. Osim vode, kontroliranje svih ostalih iznad navedenih uvjeta se nužno provodi pomoću specijaliziranih senzora - zbog toga su senzori najvažniji članovi sustava koji moraju biti odgovarajuće kalibrirani radi točnosti rezultata. Kod naprednijih sustava gdje radnje više ne mogu obavljati jednostavni mikrokontroleri koriste se: programibilni logički kontroleri (engl. Programmable logic controller, PLC), distribuirani upravljački sustavi (Distributed control system, DCS) te u novije vrijeme internet stvari (engl. Internet of things, IoT) [2].

Prednosti automatiziranih plastenika su brojne, a neke od njih su: smanjenje fizičkog posla koji je potrebno obaviti, a time i radne snage, poboljšanje količine i kvalitete prinosa usjeva te preciznost u uzgoju koja se temelji na rezultatima sa senzora, a ne na procjeni radnika. Dok prednosti ima na pretek, nedostataka je vrlo malo: povećanje potrošnje električne energije, investicijski troškovi automatiziranog sustava te troškovi održavanja opreme. S time da treba uzeti u obzir da većina opreme i nije pretjerano preskupa te ima dosta dugi vijek trajanja, a potrošnja električne energije ne mora biti trošak ako na početku dodatno uložimo u solarne panele [2-4].

Na slici 1.1 je moguće vidjeti primjer jednostavnijeg automatiziranog sustava te komponenti koje on sadrži.



Slika 1.1. Primjer automatiziranog plastenika [5]

Kroz rad je opisan cijeli put projektiranja jednog automatiziranoga sustava, od izbora senzora i izvršnih uređaja do upravljačkoga koda i simulacije. Rad je podijeljen na sljedeći način, u poglavlju 2 opisane su komponente automatiziranog sustava (upravljačka jedinica, senzori, izvršni uređaji). Za navedene uređaje u poglavlju 3 izrađen je troškovnik. U 4. poglavlju prikazani su korišteni hardver i softveri. Peto poglavlje opisuje cijeli upravljački kod korišten za upravljanje sustavom, a poglavlje 6 dizajn korisničkoga sučelja za isti. Simulacija projektiranoga sustava prikazana je kroz poglavlje 7. Zaključak cijeloga rada te moguća unaprjeđenja automatiziranog zaštićenog prostora prikazana su u poglavlju 8.

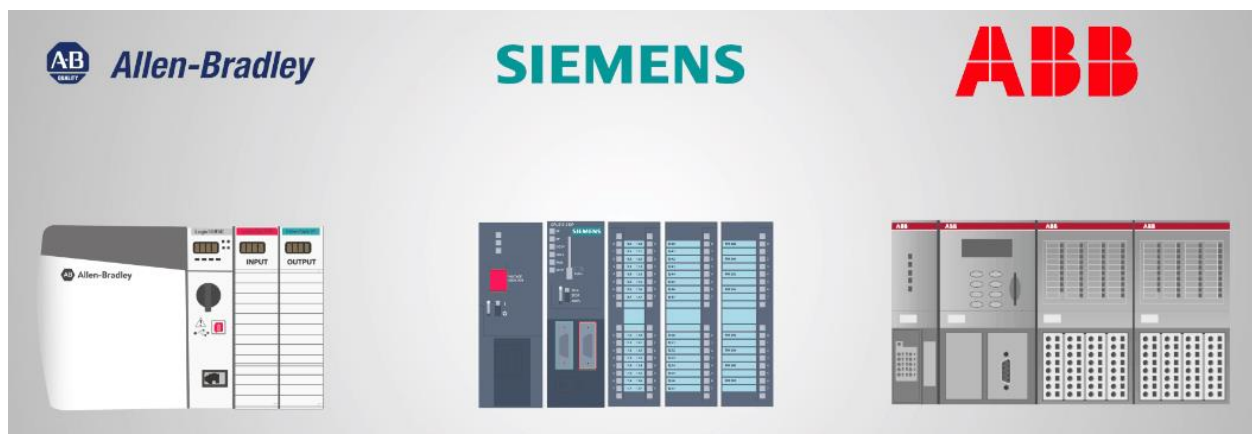
2 Komponente automatiziranoga sustava

Sustav automatiziranoga platenika se može podijeliti u četiri glavna podsustava, a to su: upravljačka jedinica, senzori, izvršni uređaji te komunikacija [2]. Svaki od navedenih podsustava će biti nadalje dodatno pojašnjen.

2.1 Upravljačka jedinica

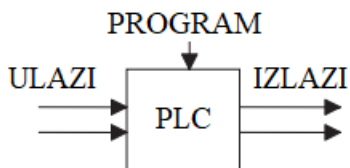
Kao što je rečeno u uvodu upravljačka jedinica može biti mikrokontroler, PLC te računalo. Za većinu sustava najpogodnije će biti koristiti PLC jer je s njime moguće odraditi potrebno upravljanje, a zahtjeva manje znanja i ulaganja te je lakše izvršiti promjene nego na DCS i IoT sustavima.

Programibilni logički kontroler je industrijski mikroprocesor koji koristi programibilnu memoriju za spremanje instrukcija te izvođenje funkcija kao što su: logika, sekvenca, tajmer, brojanje, aritmetika i druge složenije operacije. Trenutno je vodeća svjetska tehnologija za automatiziranje i kontrolu industrijskih procesa. Dizajniran je posebno za industriju stoga je otporan na povišene temperature, vlagu, električne šumove te vibracije i udare. PLC, umjesto prije njega korištenih releja, koristi logiku spremljenu u memoriji koju zatim ispituje mikroprocesor te je na taj način uvelike smanjeno potrebno ožičenje, a ujedno je i olakšana promjena namjene sustava jer umjesto izmjene kompletnog fizičkog sustava, mijenjamo samo napisani kod. Osim navedene fleksibilnosti i otpornosti uređaja prednosti PLC-a su: brzi odziv, komunikacijske mogućnosti, olakšano pronalaženje neispravnosti sustava, lagano proširivanje sustava dodavanjem modula na osnovu, niska cijena i mali zahtjevi za održavanje [6,7]. Na slici 2.1, prikazani su PLC uređaji različitih proizvođača. Osim navedenih na slici, postoje i mnogi drugi proizvođači te svaki uređaj ima sitne prednosti i nedostatke, ali u globalu svi funkcioniraju na isti način i temelje se na istoj tehnologiji.



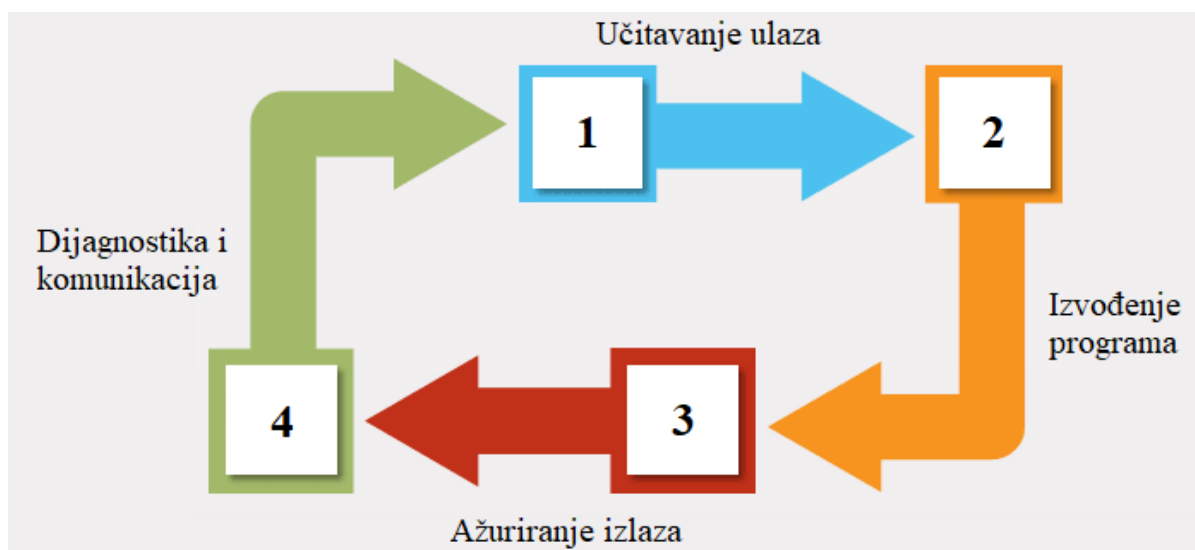
Slika 2.1. Prikaz PLC uređaja različitih proizvođača [8]

Način rada PLC-a je da na ulazu prima signale sa drugih uređaja ili senzora, zatim se izvršava program odnosno instrukcije zapisane u memoriji uređaja te se na izlazu šalju signali kojima se upravljaju i kontroliraju ostali uređaji [7]. Simbolički prikaz opisanoga postupka se može vidjeti na slici 2.2.



Slika 2.2. Simbolični prikaz rada PLC-a [7]

Program upisan u memoriju uređaja se konstantno ciklički ponavlja te se na taj način dobiva beskonačna petlja zbog čega je PLC odličan izbor u automatiziranim postrojenjima. U svakome ciklusu se izvodi iznad opisani postupak, učitavaju se ulazi zatim se izvodi program te PLC ažurira izlaze, ali najveći dio vremena ciklusa se odvaja na dijagnostiku i komunikaciju gdje uređaj provjerava da li radi ispravno. Duljina ciklusa ovisi o složenosti programa upisanog u memoriji ciklusa te o proizvođaču i seriji samoga uređaja [6]. Grafički prikaz jednoga ciklusa se može vidjeti na slici 2.3.



Slika 2.3. Jedan ciklus PLC uređaja

2.2 Korisničko sučelje

HMI predstavlja korisničko sučelje preko kojega operator može upravljati, nadgledati te vizualizirati procese stroja ili upravljačke jedinice. Mogu se pojaviti u različitim oblicima, kao: tvornički ugrađeni na uređaju, računalni ekrani, tableti i slični uređaji. Na zaslonu je moguće podesiti virtualne tipke koje zamjenjuju prave tipke, te se time smanjuje potrebno ožičenje. Zatim je moguće prikazati informacije procesa u obliku lampica i grafikona. Omogućuje operateru promjenu već definiranih tajmera i brojača. Nadalje moguće je prikazivati razne alarme te vrijeme i lokaciju kada su isti aktivirani i druge opcije. Dizajn samoga zaslona igra ključnu ulogu u sposobnosti operatera da prepozna i efikasno djeluje na probleme i promjene u procesu [6]. Komunikacija između PLC-a i sučelja, obavlja se putem raznih protokola, ovisno o proizvođaču samog uređaja. Najprimjenjiviji protokoli su Modbus, Ethernet/IP te Profibus [8]. Slika 2.4 prikazuje HMI panele različitih veličina tvrtke Siemens.



Slika 2.4. HMI tvrtke Siemens [9]

2.3 Senzori

Senzori su ključne komponente automatiziranog sustava. Pomoću njih se prikupljaju podaci o mikroklimi unutar plastenika naspram kojih se dalje upravlja istom kako bi se postigli idealni uvjeti za rast i razvoj biljaka. Postoje razne vrste senzora, ključni senzori u uzgoju bilja su: temperature, vlažnosti zraka i tla, svjetlosti, ugljičnog dioksida, PH vrijednosti i drugih veličina ključnih za uzgoj biljaka. Očitavanja sa senzora šalju se upravljačkoj jedinici kao: naponski signal u rasponima 0-10 V, -10 do 10V ili kao strujni signal u rasponu 4-20 mA, zatim se naspram mjernog područja senzora dobiveni signal pretvara u stvarne vrijednosti [10,11]. Dio navedenih senzora koji su češće korišteni, nadalje su detaljnije objašnjeni.

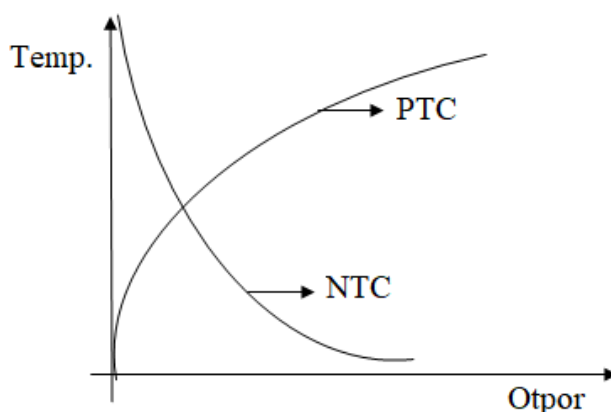
2.3.1 Senzori temperature

Postoje različite vrste električnih senzora temperature koji funkcioniraju na različitim principima npr. otporu, poluvodičima, optici, akustici, piezoelektričnim detektorima i drugim, manje zastupljenim postupcima. Kako bi senzor proizveo mjerljivi električni signal, mora biti termički povezan sa objektom kojemu se mjeri temperatura. Povezanost može biti fizička ili daljinska, ali mora postojati. Nadalje temperaturni senzori mogu biti podijeljeni na apsolutne i relativne. Apsolutni senzori mjere temperaturu u odnosu na apsolutnu nulu ili bilo koju drugu fiksnu točku apsolutne temperaturne skale. Neki od apsolutnih senzora su termistori i otpornički termometar (engl. Resistance temperature detector, RTD). Relativni senzori mjere temperaturnu razliku između dva objekta. Primjer relativnog senzora je termopar [12]. Na slici 2.5 je prikazan dio zastupljenijih temperaturnih senzora.



Slika 2.5. Senzori temperature [8]

Zbog niske cijene, velikog mjernog područja te dovoljno preciznih rezultata, najčešće upotrebljavani temperaturni senzori su termistori. Termistori se dijele u dvije skupine, sa negativnim temperaturnim koeficijentom (engl. Negative temperature coefficient, NTC) i pozitivnim temperaturnim koeficijentom (engl. Positive temperature coefficient, PTC). Odnosno kod NTC-a, otpor opada sa povišenjem temperature, a kod PTC-a dolazi do suprotnoga efekta. Iznosi otpora termistora ovise o samome materijalu od kojega je izrađen senzor. Veza između otpora i temperature je izrazito nelinearna [12]. Primjeri krivulja koje opisuju vezu otpora i temperature termistora su prikazane na slici 2.6.



Slika 2.6. Krivulje termistora [13]

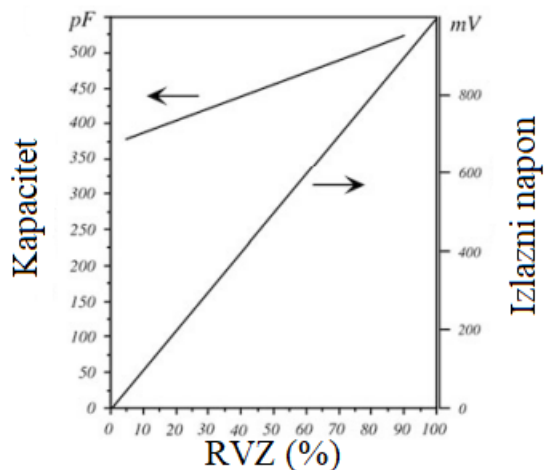
Za dobivanje preciznijih očitavanja, preporučeno je obaviti kalibraciju senzora kroz cijelo mjerno područje, a ne koristiti podatke dobivene od proizvođača. Kako bi se dobio iznos temperature iz otpora, koriste se matematički modeli. Postoji više vrsta modela od kojih su neki manje, a drugi više komplicirani. Kod jednostavnijih modela dobivamo manje precizne rezultate, ali ih lakše provodimo. Dok kod kompliciranijih modela dobivamo točnije rezultate, ali zahtijevaju precizniju kalibraciju i složeniju praktičnu upotrebu. Tri statička transformacijska modela su: jednostavni model, Fraden-ov model, Steinhart i Hart-ov model. Sva tri modela se temelje na eksperimentalno dokazanoj jednadžbi koja glasi [12]:

$$\ln R_t = A_0 + \frac{A_1}{T} + \frac{A_2}{T^2} + \frac{A_3}{T^3}$$

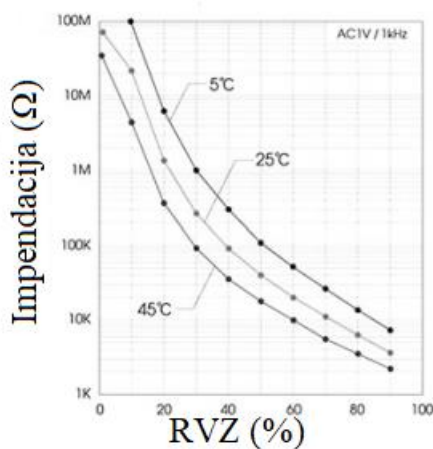
gdje su A_i , bezdimenzijske koeficijenti (konstante), $i = 0, 1, 2, 3$.

2.3.2 Senzori vlažnosti zraka

Vlažnost zraka je važan faktor mikroklimе, uslijed prevelike vlage zraka dolazi do povećane mogućnosti oboljenja biljaka od raznih gljivica i plijesni. Dok pri premalim razinama vlage, biljke se neće pravilno razvijati i može doći do sušenja biljke [14]. Možemo mjeriti apsolutnu i relativnu vlažnost zraka. Većinom se za izražavanje vlage zraka koristi relativna vlažnost zraka (RVZ). Relativna vlažnost zraka označava omjer stvarnog tlaka vodene pare pri nekoj temperaturi i tlaka pri zasićenju vodene pare pri istoj temperaturi, te se izražava u postocima. Kako bi se kalibrirao senzor vlažnosti zraka, potrebno je koristiti referentni izvor vlage kao što su: suhi zrak (0%), upareni zrak (100%), te zasićene otopine soli pomiješane sa vodom. Vlažnost zraka se mjeri uređajima higrometrima. Senzor unutar higrometra sadrže pretvarače tlaka vodene pare u električni signal. Među popularnijim pretvaračima su oni bazirani na otporu i kapacitivnosti, ali još postoje i optički, termalni i drugi. Kod kapacitivnih senzora, između metalnih elektroda se nalazi tanki sloj polimera ili oksidnih izolatora čija svojstva ovise o količini apsorbirane vlage. Odnosno vlaga u atmosferi mijenja električnu permitivnost materijala te je kod takvih senzora promjena kapaciteta kondenzatora približno proporcionalna RVZ što je vidljivo na slici 2.7. Otpornički senzori sadrže, materijal koji upija vlagu, a njegov otpor je funkcija apsorbirane vode. Iznosi mjerene impedancije su izrazito nelinearni prema relativnoj vlažnosti zraka, prikazano na slici 2.8. Pri radu senzora, nužno je koristiti izmjeničnu struju pošto istosmjerna struja može izazvati polarizaciju materijala osjetljivog na vlagu koji se koristi za mjerenje [12].



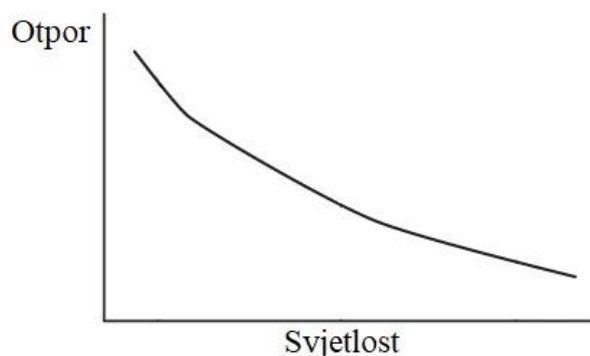
Slika 2.7. Karakteristika kapacitet, RVZ [12]



Slika 2.8. Karakteristika otpor, RVZ [12]

2.3.3 Senzori intenziteta svjetlosti

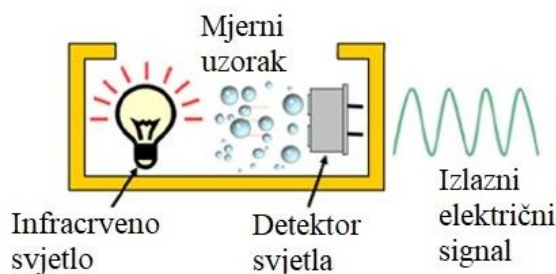
Intenzitet svjetlosti se mjeri u luksima, odnosno izvedenoj jedinici lumena po metru kvadratnome, direktna sunčeva svjetlost ima između 32 000 i 130 000 luksa. Senzori svjetla apsorbiraju kvante svjetlosti i proizvode, direktni ili indirektni, električni odziv. Apsorpcija fotona od strane osjetila, rezultira termalnim ili kvantnim odzivom te zbog toga se fotoćelije dijele u dvije skupine: termalne i kvantne. Kvantni detektori rade u području ultraljubičastog (UV) do sredine infracrvenog spektra, dok se termalni najviše koriste u srednjim do krajnjih područja infracrvenog spektra. Čvrsti kvantni detektori dijele se na fotonaponske i fotokapacitivne uređaje, a njihov rad se zasniva na interakciji individualnih fotona sa kristalnom rešetkom poluvodičkih materijala. U tu grupu senzora spadaju: fotodiode, fototranzistori, fotootpornici, UV detektori i slični uređaji. Detektori termalne radijacije se češće koriste kao beskontaktni senzori temperature stoga u ovome radu neće biti obrađeni. Najznačajnija vrsta fotosenzora su fotootpornici zbog njihove niske cijene te relativno dobre pouzdanosti i širokog mjernog područja. Funkcioniraju slično kao i NTC termistori, odnosno dolazi do pada otpora kada svjetlost padne na osjetilo [12]. Nadalje što je veći intenzitet svjetla to će otpor biti sve manje što je vidljivo na slici 2.9 koja pokazuje karakteristiku svjetlost, otpor. Zbog izrazito ne linearne karakteristike, jednačba koja povezuje otpor i intenzitet svjetla je logaritamskoga oblika te je najčešće zadana od strane proizvođača fotodiode.



Slika 2.9. Karakteristika fotodiode [15]

2.3.4 Senzori ugljičnog dioksida (CO₂)

Ugljični dioksid je bezbojni i bezmirisni plin koji nastaje izgaranjem, disanjem te organskom razgradnjom. CO₂ se izražava u bezdimenzijskoj veličini dijelovima po milijunu (engl. parts per million, ppm). Mjerenje može biti optičkim pretvaračima, termalnim sensorima, spektrometrima, fizikalnim pretvaračima kao što su zvučni valovi, elektrokemijski principi i druge tehnologije koje se rjeđe susreću u praksi. Najrašireniji su optički infracrveni detektori. Oni funkcioniraju na mjerenju interakcije raznih oblika svjetlosti ili elektromagnetske radijacije i kemikalije čiji se udio nastoji izmjeriti. Najmanji prijenosni uređaji koji funkcioniraju na principima apsorpcije infracrvenog svjetla i Lambert-Beer zakona su nedisperzivni infracrveni senzori (engl. non-dispersive IR, NDIR). NDIR detektira prisutnost i količinu CO₂ obzirom na količinu apsorbiranog infracrvenog svjetla određene valne duljine, rad senzora je prikazan na slici 2.10. Što je više apsorbiranog plina, to je izlazni električni signal sa senzora manji. Prednosti optičkih senzora naspram drugih vrsta su: dugotrajna stabilnost, preciznost te mali utrošak električne energije [12,16].



Slika 2.10. Prikaz rada CO₂ senzora [16]

2.4 Izvršni uređaji

Pod izvršne uređaje spadaju svi uređaji kojima upravljačka jedinica upravlja kako bi postigla željenu mikroklimu, to mogu biti: klimatizacijski uređaji, grijalice, svjetla, ventilatori, pumpe i slični uređaji. U velikim i sofisticiranijim zaštićenim prostorima koriste se zrakovodi u sustavu grijanja, hlađenja i ventilacije zraka (engl. Heating, ventilation, and air conditioning, HVAC). Zrakovodima je moguće kontrolirati: grijanje i hlađenje, vlagu, ventilaciju, količine CO₂ i druge varijable okoliša. [17]. U manjim prostorima je većinom prihvatljivije koristiti odvojene uređaje pošto zahtijevaju manja investicijska sredstva te ih je lakše postaviti i održavati.

2.4.1 Grijanje, hlađenje i ventilacija zraka

Grijanje i hlađenje se može odvijati na razne prirodne i umjetne načine. Tako se grijanje može vršiti pomoću: električnih grijalica, bačvi sa toplom vodom, energetske zavjesa i drugim tehnologijama. Dok hlađenje može biti prirodnim putem, otvaranjem prozora i ventilacijskih otvora ili prisilnom izmjenom zraka pomoću ventilatora. Postizanje željene mikroklimi i točnija kontrola temperature lakše se postiže umjetnim načinom. Nadalje kao što je spomenuto, možemo imati odvojene uređaje poput električne grijalice i ventilatora ili možemo koristiti klimatizacijski uređaj te tako imati oboje u jednom [18,19]. Slike 2.11 i 2.12 prikazuju primjer uređaja za hlađenja i grijanja plastenika.



Slika 2.11. Hlađenje pomoću ventilatora [19]



Slika 2.12. Grijanje pomoću električne grijalice [20]

Važno je napomenuti da prilikom hlađenja ventilatorom, ventilator treba ubacivati svježi zrak u plastenik ili izbacivati topli zrak iz plastenika, pa nije dostatno da se koristi samo jedan ventilator u sredini plastenika. Naime, na taj način se postiže samo cirkulacija zraka. Cirkulacija zraka je nužna u plastenicima iz razloga što se njome sprječava neujednačenost temperature u različitim dijelovima plastenika, isto tako sprječava se pojava plijesni uslijed zadržavanja kondenzirane vode [18]. Na slici 2.13 je vidljiv primjer ventilatora kojemu je funkcija održavati cirkulaciju zraka.



Slika 2.13. Ventilator za cirkulaciju zraka [19]

Osim temperature za biljke je važno i održavanje relativne vlažnosti zraka. Kao što je rečeno kod senzora vlage, uslijed prevelike vlažnosti zraka postoji opasnost od stvaranja gljivica i plijesni, a uslijed premale vlažnosti zraka biljke se neće dovoljno dobro i brzo razvijati. Tijekom zime i

hladnijeg vremena prilikom paljenja grijanja može doći do isušivanja zraka, a uslijed učestalih kišnih razdoblja dolazi do povišenja relativne vlažnosti zraka. Pošto zimi nije poželjno otvarati plastenik da bi podigli razinu vlage u zraku jer bi opet došlo do rashlađivanja, upotrebljava se ovlaživač zraka. U kišnim razdobljima vanjski zrak sadrži i previše vlage stoga se koristi odvlaživač zraka kako bi spustili relativnu vlažnost zraka (RVZ) unutar plastenika na prihvatljive iznose [1,21]. Na slikama 2.14 i 2.15 prikazani su uređaji za ovlaživanje i odvlaživanje zraka.



Slika 2.14. Industrijski ovlaživač zraka [21]



Slika 2.15. Industrijski odvlaživač zraka [22]

Zadnji uvjet povezan sa zrakom, a koji je neophodan biljkama je razina ugljičnog dioksida. Biljkama je CO_2 nužan za izvršavanje procesa fotosinteze. Uslijed povećanih količina CO_2 biljke više provode fotosintezu, a time: brže rastu i razvijaju se, zahtijevaju manje količine vode te sadrže smanjene količine dušika i proteina u tkivu [23]. Kako bi se održale normalne razine CO_2 , potrebno

je redovito izmijeniti zrak iz plastenika sa svježim zrakom izvan njega. Također moguće je ubaciti dodatan CO₂ u plastenik pomoću spremnika CO₂ ili kogeneracijom odnosno dovodjenjem pročišćenih ispušnih plinova, na primjer iz bliskog toplinskog postrojenja. U slučaju korištenja ispušnih plinova važno ih je pročistiti jer uslijed prevelikih količina nekih plinova koji se nalaze u njima, kao što su dušikov oksid ili eten može doći do odumiranja biljke [24].

2.4.2 Navodnjavanje

Navodnjavanje biljaka se može vršiti pomoću različitih uređaja, ovisno o vrsti navodnjavanja koju želimo postići. Uobičajene metode su: prskanje odozgo, kap po kap, zamagljivanje, crijeva za natapanje i druge tehnologije navodnjavanja. Svaka metoda ima svoje prednosti i mane te nije isključeno korištenje više metoda zajedno. Najčešće se uz jednu od metoda dodatno koristi zamagljivanje ili prskanje odozgo kako bi se osvježili i gornji dijelovi biljke, a ne samo korijenje [25]. Slika 2.16 pokazuje hrvatski proizvod tvrtke iz Splita, kranove za navodnjavanje.



Slika 2.16. Prvi hrvatski kranovi za zalijevanje usjeva [26]

2.4.3 Osvjetljenje

Za proces fotosinteze te rast i razvoj, biljkama je potrebna svjetlost. Tijekom zimskih mjeseci kada su kraći dani, a time i biljke su kraće izložene svjetlu, potrebno je nadoknaditi svjetlost. Svjetlost se može nadoknaditi različitim vrstama svjetiljki: svjetiljke sa žarnom niti, LED, natrijske svjetiljke (engl. High Pressure Sodium, HPS), lampe sa visokonaponskim izbojem u razrijeđenom plinu i drugi uređaji koji emitiraju svjetlost u željenom rasponu valnih duljina. Svaka vrsta svjetiljki ima svoje prednosti i mane, bilo to investicijski troškovi, troškovi električne energije ili preveliko zagrijavanje tijekom upotrebe. Koju god vrstu svjetla koristili važno je da ono emitira svjetlosni spektar koji je potreban biljkama za pravilan razvoj i rast (400-800 nm) [27]. Važno je napomenuti da su zbog velike potrošnje električne energije dopunska svjetla isplativa samo tijekom uzgoja presadnica kada imamo veliki broj biljaka po jedinici površine ili prilikom prelaska biljke iz jedne faze rasta u drugu [1]. Kao dopunsko svjetlo najčešće se odabiru LED lampe, primjer je prikazan na slici 2.17.

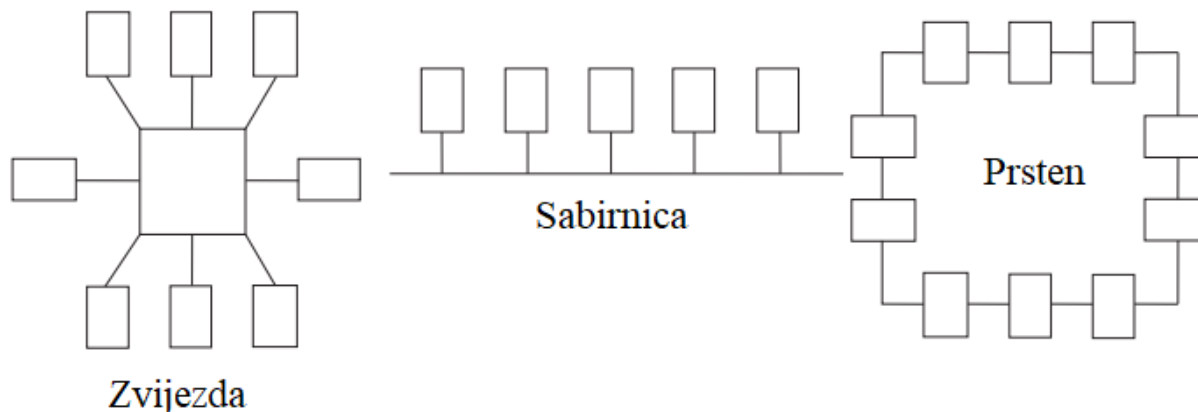


Slika 2.17. Uzgoj pod LED lampama [28]

2.5 Komunikacija

Komunikacijsko sučelje služi za primanje i slanje podataka putem komunikacijske mreže od jednog PLC-a prema drugome ili drugim uređajima spojenima na mrežu. Putem mreže se obavlja: verifikacija uređaja, prijenos podataka, sinkronizacija raznih aplikacija i slično. Komunikacija može biti serijska i paralelna. Kod serijske komunikacije podaci se prenose bit po bit, a standardno sklopovlje je RS232. Dok kod paralelne komunikacije možemo svih osam bitova riječi odjednom

prebaciti putem sabirnica. Standardna sabirnica za paralelni prijenos je IEEE-488. Kada imamo više uređaja međusobno spojenih, dolazi do stvaranja mreže. Tri su standardne topologije mreža: zvijezda, sabirnica, prsten (prikazane su na slici 2.18). Razlika između topologija je prvenstveno u načinu i prioritetu komunikacije. Način komunikacije između uređaja je također propisan ISO OSI modelom koji sadrži 7 razina.

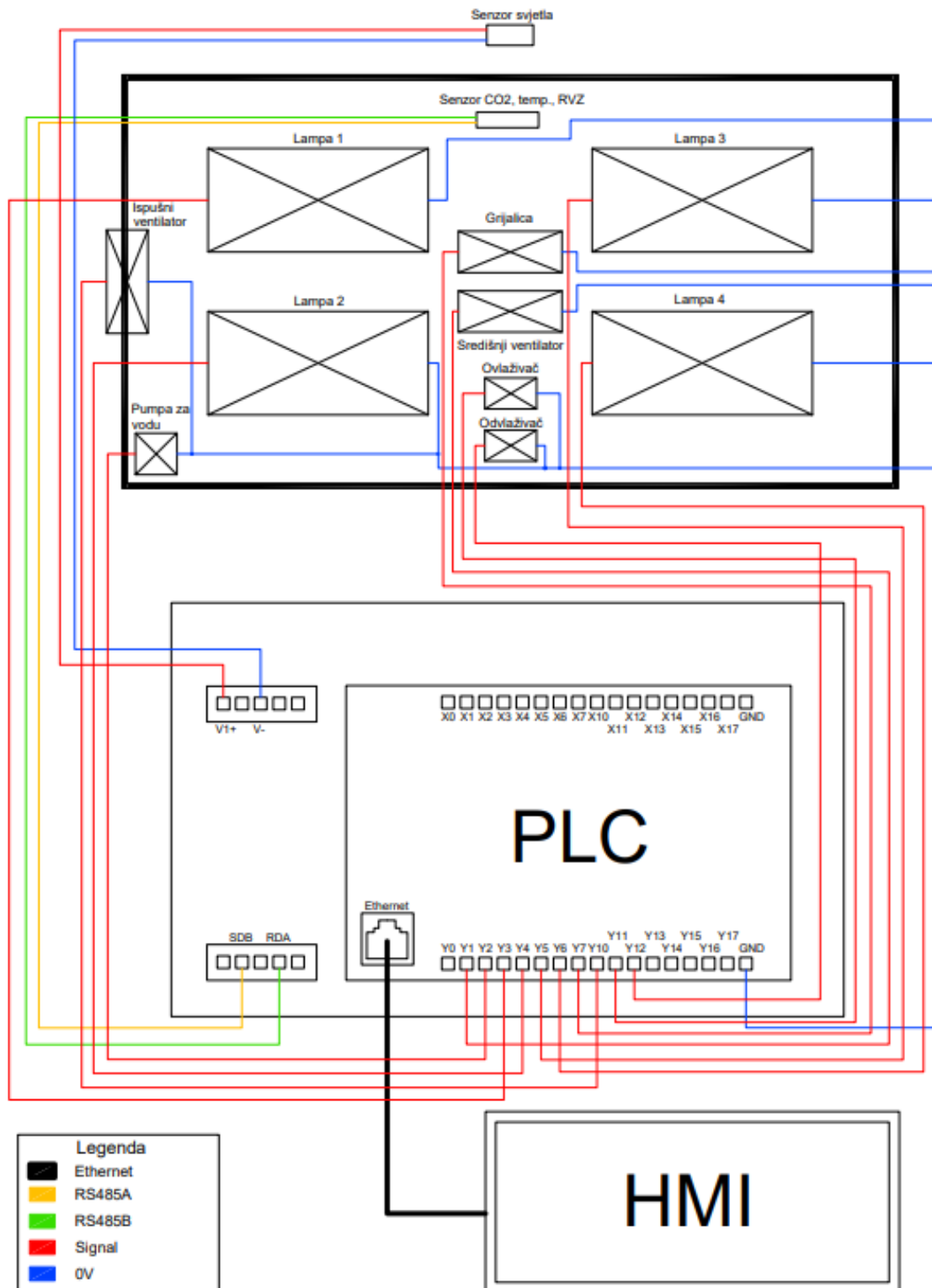


Slika 2.18. Različite topologije mreža [29]

Osim komunikacijskog sučelja, za pravilnu komunikaciju potrebni su komunikacijski protokoli. Komunikacijski protokoli su skup pravila koji definiraju sadržaj informacije te kako je komunikacija započeta i izvedena [8]. Najznačajniji protokoli koji se koriste sa PLC uređajima su: Ethernet/IP, Profibus, Modbus, ControlNet, Interbus i mnogi drugi. Ethernet/IP, Profinet i ControlNet definiraju sve uređaje na mreži kao seriju objekata te ih međusobno povezuju tako da svi rade na istom standardu. Između njih postoje sitne razlike u OSI razinama te su proizvedeni od strane različitih proizvođača. Modbus i Profibus protokoli koriste serijski prijenos podataka za slanje informacija, a funkcioniraju na principu *master-slave* komunikacije. U *master-slave* komunikaciji, postoji glavni (*master*) uređaj preko kojega se obavlja sva komunikacija sa uređajima pod njime odnosno *slave* uređajima. Interbus i Optomux koriste serijsku komunikaciju putem RS232 sklopovlja [29].

2.6 Shema spajanja uređaja

Shema spajanja uređaja na PLC, prikazana je na slici 2.19. Senzor jačine svjetla spojen je na PLC putem analognog ulaza, a senzori temperature, RVZ te CO₂ putem RS485 sabirnice. HMI je povezan putem Ethernet, dok su izvršni uređaji spojeni na digitalne izlaze PLC-a.



Slika 2.19. Shema spajanja uređaja

3 Troškovnik

U tablici niže su prikazani svi uređaji i senzori potrebni za automatsko održavanje manjega plastenika, otprilike 30-ak m². Kada bi izrađivali veći plastenik, većina komponenti bi ostala ista, eventualno bi trebalo više komada ili s malo jačom snagom. Pošto je vidljivo da četvrtina cijene trenutnoga sustava otpada na PLC i HMI, s povećanjem plastenika bi rasla isplativost investicije jer bezobzira na veličinu te dvije komponente više ne bi trebalo kupovati. Također su u tablici navede svjetla za uzgoj, iako zbog visoke cijene njih se može i izostaviti pošto većinu uzgojnog ciklusa nisu isplativa ili se može pronaći jeftinija opcija. Nadalje valjalo bi napomenuti da je radni vijek svjetla 50.000 sati, što znači ako su svjetla uključena 24 sata na dan tek nakon više od 5,5 godina bi ih trebalo zamijeniti. Poveznice do trgovina, u kojima su pronađeni uređaji po navedenim cijenama, nalaze se na slijedećoj stranici.

	Uređaj / senzor	Količinska jedinica	Jedinična cijena u kunama	Cijena u kunama
1	PLC – Mitsubishi FX5U	1	7.000,00	7.000,00
2	Mitsubishi GS2107-WTBD-N HMI	1	4.800,00	4.800,00
3	Senzor temperature, CO ₂ i vlage zraka	1	527,25	527,25
4	Senzor svjetla	1	337,50	337,50
5	Električni grijač zraka	1	800,00	800,00
6	Industrijski ventilator 30 cm	1	534,40	534,40
7	Industrijski ventilator 20 cm	1	330,80	330,80
8	Ispušna rešetka 35x35 cm	2	328,30	656,60
9	Pumpa za vodu	1	549,00	549,00
10	Svjetla	4	5.175,00	20.700,00
11	Odvlaživač zraka	1	3.223,22	3.223,22
12	Ovlaživač zraka	1	2.279,00	2.279,00
13	Ostalo (spremnik za vodu, crijevo, žice)	/	/	2.000,00
				Σ 43737,77

1. <https://uk.rs-online.com/web/p/plcs-programmable-logic-controllers/8755688>
2. <https://www.lcautomation.com/Store/Product/GS2107-WTBD-N.aspx>
3. https://www.aliexpress.com/item/32869366781.html?spm=a2g0o.search0304.0.0.26a44550pIznMg&algo_pvid=97568f42-59fa-466e-b6b0-c998225f9c03&algo_exp_id=97568f42-59fa-466e-b6b0-c998225f9c03-25
4. https://www.aliexpress.com/item/4000327324040.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.346e37e6LKGn80&algo_pvid=30425dda-e8cc-4244-ae80-4d242bafc698&algo_exp_id=30425dda-e8cc-4244-ae80-4d242bafc698-11&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000001342839862%22%7D
5. <https://bazaar.hr/p/VD59DGM-heinner-elektricni-grijac-zraka-vitg009>
6. <https://hr.elmarkstore.eu/cjevasti-industrijski-ventilator-tas-d300-product26834>
7. <https://hr.elmarkstore.eu/cjevasti-industrijski-ventilator-tas-d200-product26832>
8. <https://hr.elmarkstore.eu/ispu%C5%A1na-aluminijska-re%C5%A1etka-350x350-al-product26850>
9. <https://pevex.hr/pumpa-elektricna-einhell-gc-gp-6538-268694.html>
10. <https://www.igrow.com.hr/shop/rasvjeta/led-rasvjeta/sunbrite-green-led/>
11. <https://www.saturo.hr/odvlazivaci-zraka/5143-trotec-ttk-127-e-odvlazivac-zraka-do-150-m2375-m3.html>
12. <https://mikroklima.com.hr/peraci/485-boneco-w300-ovlazivac-i-perac-zraka.html>

4 Softversko i hardversko rješenje

4.1 MELSEC iQ-F FX5U-32MT/ESS

Upravljački program je izrađen u laboratoriju za elektrotehniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB). U laboratoriju se nalazi PLC od tvrtke Mitsubishi, FX5U-32MT/ESS (slika 4.1). Navedeni mikrokontroler spada u seriju MELSEC iQ-F, to su kompaktni logički kontroleri prihvatljivog omjera cijene i mogućnosti. FX5U pruža visoku fleksibilnost sa velikim rasponom dodataka kao što su:

- Tvornički ugrađeni Ethernet
- Dva analogna ulaza i jedan izlaz
- Mogućnost spremanja podataka
- Sigurnosne, komunikacijske i mrežne funkcije
- Ethernet, RS485 i SD memorijski utori
- *Run/Stop/Reset* prekidači
- Integrirani sat stvarnoga vremena
- Prikaz ulaza/izlaza pomoću LED lampica
- Mogućnost proširenja raznim modulima te razne druge karakteristike

Navedeni PLC može biti u različitim izvedbama sve do 256 ulaza i izlaza, te može izvoditi programe duljine do 64 tisuće linija koda [30]. PLC u laboratoriju na kojemu je izveden upravljački program sadrži 16 ulaznih te 16 izlaznih digitalnih linija (logičkih signala).



Slika 4.1. Mitsubishi FX5U-32MT/ESS [30]

4.2 HMI GS2107-WTBD

Na laboratorijskom postavu FSB-a nalazi se HMI tvrtke Mitsubishi, GS2107-WTBD (slika 4.2). Navedeni zaslon ima dijagonalu od 7 inča te rezoluciju 800x480 piksela. Memorija zaslona je tipa ROM (engl. Read-Only Memory) te je na raspolaganju 9 MB za spremanje podataka. Također ima tvornički ugrađeni Ethernet, utor za SD memorijsku karticu, RS232 i RS422 utore te USB utor za spajanje na računalo i prijenos podataka [31]. Zaslon je povezan sa PLC-om putem Ethernet veze.

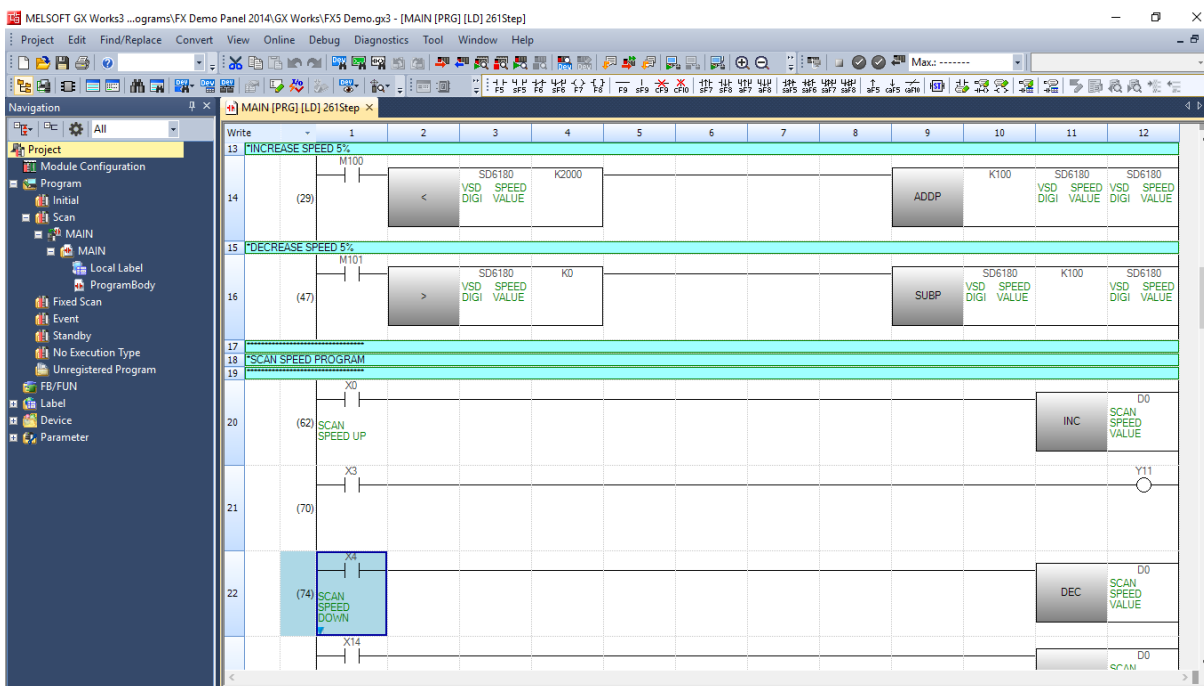


Slika 4.2. Mitsubishi HMI GS2107-WTBD [31]

4.3 GX Works3

GX Works3 je zadnja generacija softvera razvijena od tvrtke Mitsubishi koji primarno služi za pisanje upravljačkoga koda i održavanje PLC uređaja serija MELSEC iQ-R i MELSEC iQ-F. U softveru je moguće dizajnirati sustav PLC-a i potrebnih modula, programiranje, pronalaženje pogrešaka u kodu te održavanje. Podržava istovremeno programiranje glavnim jezicima prema IEC standardu odnosno Ladder diagram, Function block diagram (FBD) i Structured text (ST). Nadalje u programu se nalazi baza funkcijskih blokova i modula koji su dostupni za korištenje te je moguće dijeljenje iste kroz različite projekte. Najnovija generacija podržava upotrebu lokalnih i globalnih varijabla kojima se nastoji smanjiti vrijeme programiranja. Tako definirane varijable je moguće

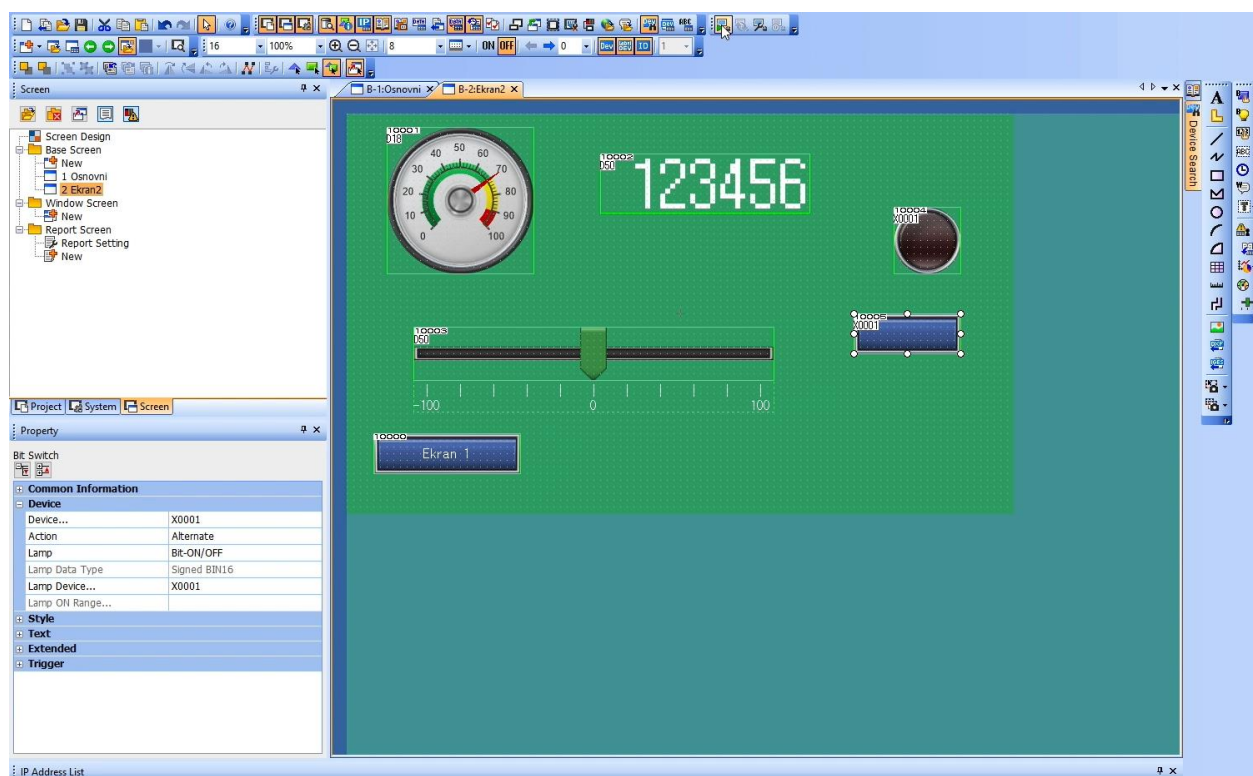
izvesti u: druge projekte, MELSOFT softvera i SCADA sustave drugih proizvođača. Na slici 4.3 je vidljiv izgled sučelja softvera [31]. Softver je korišten u svrhu programiranja upravljačkoga koda i simulaciju istoga u laboratoriju.



Slika 4.3. Prikaz prozora softvera GX Works3 [31]

4.4 GT Designer3

GT Designer3 je softver koji služi za dizajn zaslona HMI-a, također je razvijen od strane Mitsubishi-a. U softveru se nalazi baza dostupnih simbola kao što su tipke, lampe, strelice i sl., ali je moguće dodati i vlastite dizajnovne. Također možemo postaviti: alarme, tajmere, brojače, sat stvarnoga vremena, proizvoljni tekst, grafove i slična korisnička sučelja. Glavna značajka softvera je mogućnost simulacije, u kojoj možemo testirati paljenje i gašenje tipki, alarma, promjena zaslona i druge opcije. Također moguće je upariti simulaciju zajedno sa simulacijom GX Works3 kako bi mogli ispitati reakciju različitih objekata na temelju podataka dobivenih od strane simuliranog PLC-a. Radi bržega rada moguće je spremati objekte u favorite za brže pronalaženje istih u budućnosti. Uz to moguće je spremati bazne postavke pojedinih objekata kako ih u sljedećem projektu ne bi ponovo morali podešavati. Prozor GT Designera je prikazan na slici 4.4 [31]. Softverom je izrađen dizajn HMI-a za potrebe sustava automatiziranog plastenika.



Slika 4.4. Prikaz prozora softvera GT Designer3

5 Upravljački program

Kao što je već rečeno, upravljački program je izrađen i simuliran u laboratoriju FSB-a na PLC-u FX5U tvrtke Mitsubishi. U ovome poglavlju će biti detaljno prikazan i objašnjen upravljački kod dok će simulacija biti prikazana kasnije. Upravljački kod sustava napisan je korištenjem FBD/LD programskog jezika. FBD/LD je grafički programski jezik kojim se izrađuje program postavljanjem i spajanjem elemenata. Kod takvog načina programiranja prevladava Ladder diagram uz koji se mogu koristiti odgovarajući funkcijski blokovi. Funkcijski blokovi napisani su pomoću ST jezika, koji je baziran na programskome jeziku C. Samo izvršavanje programa podijeljeno je na tri razine, gdje je prva razina glavni program koji se ciklički izvršava. U drugoj razini imamo *interrupt* programe koji nakon zadanog vremenskoga intervala prekidaju glavni program kako bi se izvršili. Treća razina predstavlja potprograme koji su definirani unutar funkcijskih blokova, a u glavnome programu se prikazuju kao jedan element [32].

5.1 Globalne varijable

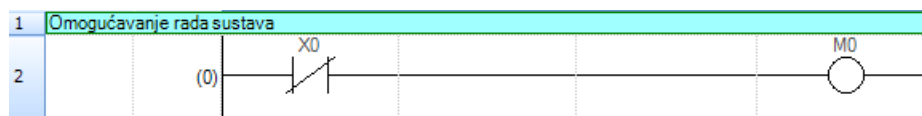
Kako bi se lakše pratio upravljački kod, za početak na slici 5.1 prikazane su sve globalne varijable koje se pojavljuju u kodu. Globalne varijable vrijede za cijeli kod, dok lokalne varijable vrijede samo za određene funkcije. Prvi stupac govori o proizvoljnome imenu varijable, drugi stupac o vrsti podatka što neposredno govori o broju mjesta koje isti zauzima u memoriji dok treći stupac samo označava da se radi o globalnim varijablama. Četvrti i peti stupci su nam najznačajniji s obzirom da se oznake iz četvrtog stupca pojavljuju kroz upravljački kod, a peti stupac zapravo opisuje koja je uloga uređaja, tajmera ili tipke. Također valja napomenuti, iako se tipke nalaze pod oznakama X0 – X13, što su standardne oznake za fizičke ulaze na PLC-ima, u ovome slučaju sve tipke su virtualno napravljene na HMI-u.

	Label Name	Data Type	Class	Assign (Device/Label)	English(Display Target)
1	s_STOP	Bit	VAR_GLOBAL	X0	Tipka za prekid rada cijeloga sustava
2	cirkulacija	Bit	VAR_GLOBAL	X1	Tipka za paljenje središnjeg ventilatora
3	zalij	Bit	VAR_GLOBAL	X2	Tipka za momentalno zalijevanje
4	svjetlo1_2	Bit	VAR_GLOBAL	X3	Tipka za paljenje svjetala broj 1 i 2
5	svjetlo3_4	Bit	VAR_GLOBAL	X4	Tipka za paljenje svjetala broj 3 i 4
6	temp2	Bit	VAR_GLOBAL	X5	Tipka za odabir temperature + - 2°
7	temp5	Bit	VAR_GLOBAL	X6	Tipka za odabir temperature + - 5°
8	grij_hladi	Bit	VAR_GLOBAL	X7	Tipka za omogućavanje grijanja i hlađenja
9	ovl_odvl	Bit	VAR_GLOBAL	X10	Tipka za omogućavanje ovlaživanja i
10	aut_zalij	Bit	VAR_GLOBAL	X11	Tipka za omogućavanje automatskog zalijevanja
11	aut_co2	Bit	VAR_GLOBAL	X12	Tipka za omogućavanje detekcije CO2
12	aut_svj	Bit	VAR_GLOBAL	X13	Tipka za omogućavanje automatskog paljenja
13	sred_vent	Bit	VAR_GLOBAL	Y1	Središnji ventilator
14	pumpa	Bit	VAR_GLOBAL	Y2	Pumpa za vodu
15	svj1	Bit	VAR_GLOBAL	Y3	Svjetlo 1
16	svj2	Bit	VAR_GLOBAL	Y4	Svjetlo 2
17	svj3	Bit	VAR_GLOBAL	Y5	Svjetlo 3
18	svj4	Bit	VAR_GLOBAL	Y6	Svjetlo 4
19	grijalica	Bit	VAR_GLOBAL	Y7	Grijalica
20	ventilator	Bit	VAR_GLOBAL	Y10	Ventilator
21	ovlazivac	Bit	VAR_GLOBAL	Y11	Ovlaživač
22	odvlazivac	Bit	VAR_GLOBAL	Y12	Odvlaživač
23	zelj_temp	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D20	Željena temperatura
24	zelj_vlaga	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D30	Željena vlaga
25	senzor_svj	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D100	Vrijednost sa senzora svjetlosti
26	senzor_temp	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D110	Vrijednost sa senzora temperature
27	senzor_vlaga	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D120	Vrijednost sa senzora vlage
28	senzor_co2	FLOAT [Single Precision]	VAR_GLOBAL	D130	Vrijednost sa senzora za detekciju CO2
29	timer1	Timer	VAR_GLOBAL	T1	Timer od 3 minute
30	timer2	Timer	VAR_GLOBAL	T2	Timer od 10 minuta
31	timer3	Timer	VAR_GLOBAL	T3	Timer od 10 minuta
32	timer4	Timer	VAR_GLOBAL	T4	Timer od 20 minuta
33	timer5	Timer	VAR_GLOBAL	T5	Timer od 20 minuta
34	timer6	Timer	VAR_GLOBAL	T6	Timer od 15 minuta
35	timer7	Timer	VAR_GLOBAL	T7	Timer od 15 minuta
36	vrijeme_sati	Time	VAR_GLOBAL	SD213	Stvamo vrijeme - sati
37	vrijeme_min	Time	VAR_GLOBAL	SD214	Stvamo vrijeme - minute

Slika 5.1. Globalne varijable upravljačkoga koda

5.2 Omogućavanje rada sustava

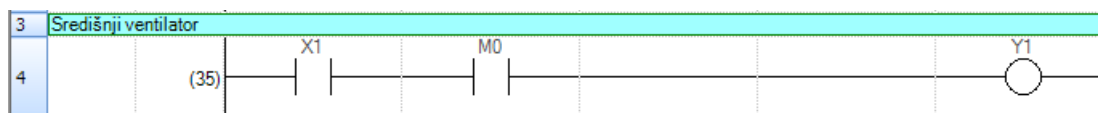
Omogućavanje rada cijeloga sustava postiže se mirnim kontaktom, odnosno kontaktom koji radi na principu suprotnom normalnim radnim kontaktima. Kroz mirne kontakte, suprotno radnim kontaktima, prolazi signal dok tipka nije aktivna, a kada se tipka aktivira dolazi do prekida kruga te uređaj prestaje raditi. Na slici 5.2 vidljivo je da će M0 biti aktivan sve dok se ne pritisne tipka X0. Tipka X0 predstavlja virtualnu crvenu gljivu, kakvu inače možemo pronaći u laboratorijima u fizičkome obliku. Pošto će kasnije biti vidljivo da za aktivaciju svakoga uređaja M0 mora biti aktivan, pritiskom na X0 dolazi do gašenja svih uređaja u sustavu. Lijeva vertikalna linija označava fazni vod dok desna vertikalna linija predstavlja nula vod. Oznaka M predstavlja dio memorije PLC-a koji je namijenjen za virtualne unutarnje releje [32]. Takva memorija nam je pogodna za spremanje bitova, odnosno procesa koji imaju dva stanja: 0 i 1 ili visoko stanje i nisko stanje.



Slika 5.2. Omogućavanje rada sustava

5.3 Središnji ventilator

Središnji ventilator se aktivira pritiskom na tipku X1. Kao što je rečeno kako bi ventilator mogao raditi osim tipke X1 mora biti i aktiviran unutarnji relej M0 (slika 5.3). Sve dok su oba uvjeta zadovoljena ventilator će raditi. Kada jedan od uvjeta prestane biti aktivan, dolazi do gašenja ventilatora.



Slika 5.3. Upravljački kod središnjeg ventilatora

5.4 Zalijevanje

Zalijevanje je izvedeno tako da se može izvesti u zadanome trenutku ili automatski u ciklusima kroz dan. Pritiskom na tipku X2 (radni kontakt) uz uvjet da je omogućen rad sustava dolazi do zatvaranja linije signala te postavljanja M1 trajno u visoko stanje. Aktivacijom M1 započinje zalijevanje i odbrojavanje tajmera T1 u trajanju od tri minute. Kada tajmer završi odbrojavanje, vraća M1 u nisko stanje i time dolazi do gašenja pumpe (slika 5.4). Da bi postavili automatsko zalijevanje, potrebno je aktivirati tipku X11. Postavljenjem M2 u visoko stanje dolazi do provjeravanja ugniježdene uvjetne (IF) funkcije u funkcijskom bloku. D1 je memorijski registar u kojemu je upisana vrijednost koliko je puta dnevno potrebno izvoditi zalijevanje. SD213 i SD214 specijalni su memorijski registri PLC-a u koje se upisuje stvarno vrijeme [32]. Na slici 5.5 vidljivo je ako je zalijevanje jedanput dnevno da će biti izvedeno u 6 sati ujutro, a ako je dva puta dnevno onda će biti izvedeno u 6 i 18 sati.



Slika 5.4. Upravljanje zalijevanjem

```

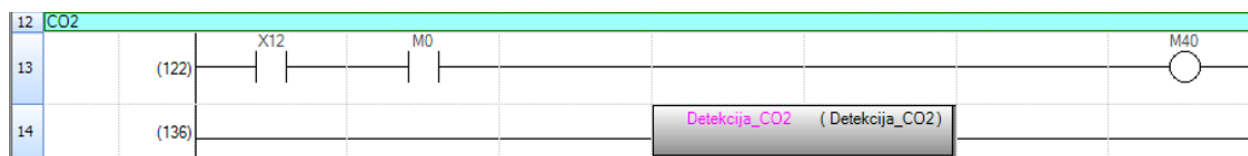
1 IF M1=0 & M2 = 1 THEN
2   IF D1 = 0 THEN
3     M1:=0;
4   ELSIF D1 = 1 THEN
5     IF SD213 = 6 & SD214 = 0 THEN
6       M1:=1;
7     END_IF;
8   ELSIF D1 = 2 THEN
9     IF (SD213 = 6 OR SD213 = 18) & SD214 = 0 THEN
10      M1:=1;
11    END_IF;
12  END_IF;
13 END_IF;

```

Slika 5.5. Funkcijski blok Zalijevanje

5.5 Upravljanje razinom CO₂

Vrijednosti CO₂ se konstantno očitavaju putem senzora i spremaju u memorijsko mjesto D130. Ako je aktivirana tipka X12 (slika 5.6) dolazi do provjere uvjetne petlje unutar funkcijskoga bloka Detekcija_CO₂. Iz slike 5.7 vidljivo je u prvome dijelu koda da će se ispušni ventilator upaliti ako je vrijednost CO₂ ispod 220 ppm. Nadalje ventilator će se aktivirati samo ako su M23 i M25 u niskome stanju, što označava da grijalica nije upaljena (detaljnije vidljivo u poglavlju upravljanja temperaturom), kako ne bi došlo do istovremenog hlađenja i grijanja prostorije. U drugome dijelu koda se nalazi automatsko gašenje ventilatora kada se ponovo postignu zadovoljavajuće razine CO₂. Unutarnji relej M41 služi za upravljanje automatskim gašenjem ventilatora kada se ventilator koristi za unošenje svježega zraka u svrhu podizanja razine CO₂, a ne rashlađivanja plastenika.

Slika 5.6. Upravljanje razinom CO₂

```

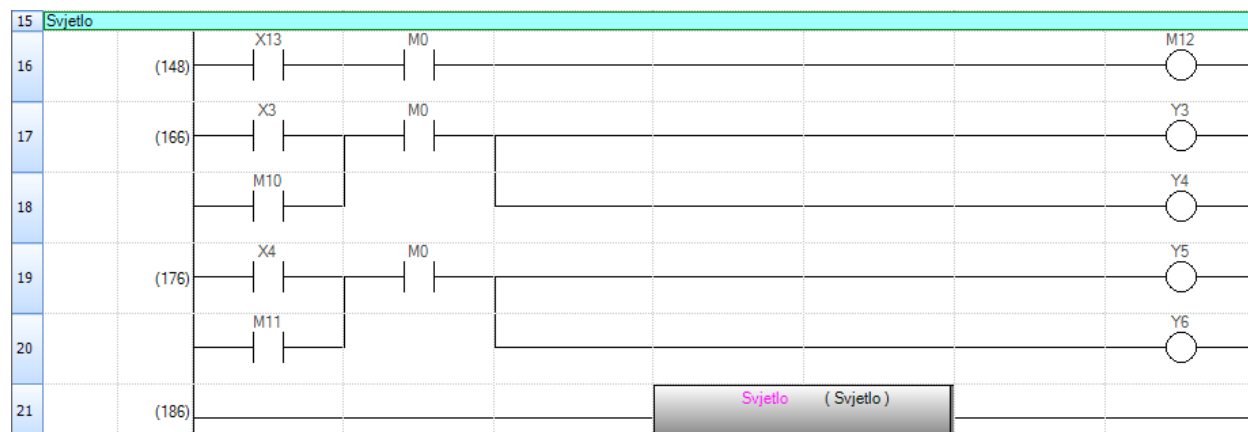
1 IF M40 = 1 & D130 < 220 & M23 = 0 & M25 = 0 THEN
2   M24 := 1;
3   M41 := 1;
4 END_IF;
5
6 IF M40 = 1 & D130 > 360 & M41 = 1 THEN
7   M24 := 0;
8   M41 := 0;
9 END_IF;

```

Slika 5.7. Funkcijski blok Detekcija_CO₂

5.6 Rasvjeta

Kao i kod zalijevanja, rasvjetom se može upravljati ručno ili postaviti automatsku rasvjetu. Ručnom upravljanje se postiže pritiskom na tipke X3 i X4. Osvjetljenje je podijeljeno u dvije grupe po dvije lampe gdje X3 pali/gasi jednu grupu lampi, a X4 drugu (slika 5.8). Kod automatskog načina rada, moguće je odabrati željeno vrijeme osvjetljenja biljaka u kombinaciji sa dnevnim svjetlom. Zatim naspram vrijednosti senzora zabilježene u D100 i stvarnog vremena u SD213 se lampe pale i gase po potrebi kada je intenzitet svjetla niži od 1000 luksa. Automatski način rada se aktivira na tipku X13, a izvedeno je preko unutarnjih releja M10, M11 i M12. Uvjetna petlja automatskog upravljanja svjetlom, prikazana je na slici 5.9. Također na istoj slici se može primijetiti da ručno upravljanje ima veći prioritet te automatski način rada ne može funkcionirati ako su svjetla prethodno ručno upaljena. Navedeno se vidi iz početnoga uvjeta $X3 = 0 \ \& \ X4 = 0$ koji moraju biti zadovoljeni kako bi petlja uopće išla u daljnju provjeru parametara.



Slika 5.8. Upravljanje rasvjetom

```

1 IF X3 = 0 & X4 = 0 & D100 < 1000 & M12 = 1 THEN
2   IF D10 = 12 & SD213 > 7 & SD213 < 19 THEN
3     M10 := 1;
4     M11 := 1;
5   ELSIF D10 = 18 & SD213 > 6 & SD213 <= 23 THEN
6     M10 := 1;
7     M11 := 1;
8   ELSIF D10 = 24 THEN
9     M10 := 1;
10    M11 := 1;
11  END_IF;
12 ELSE
13   M10 := 0;
14   M11 := 0;
15 END_IF;

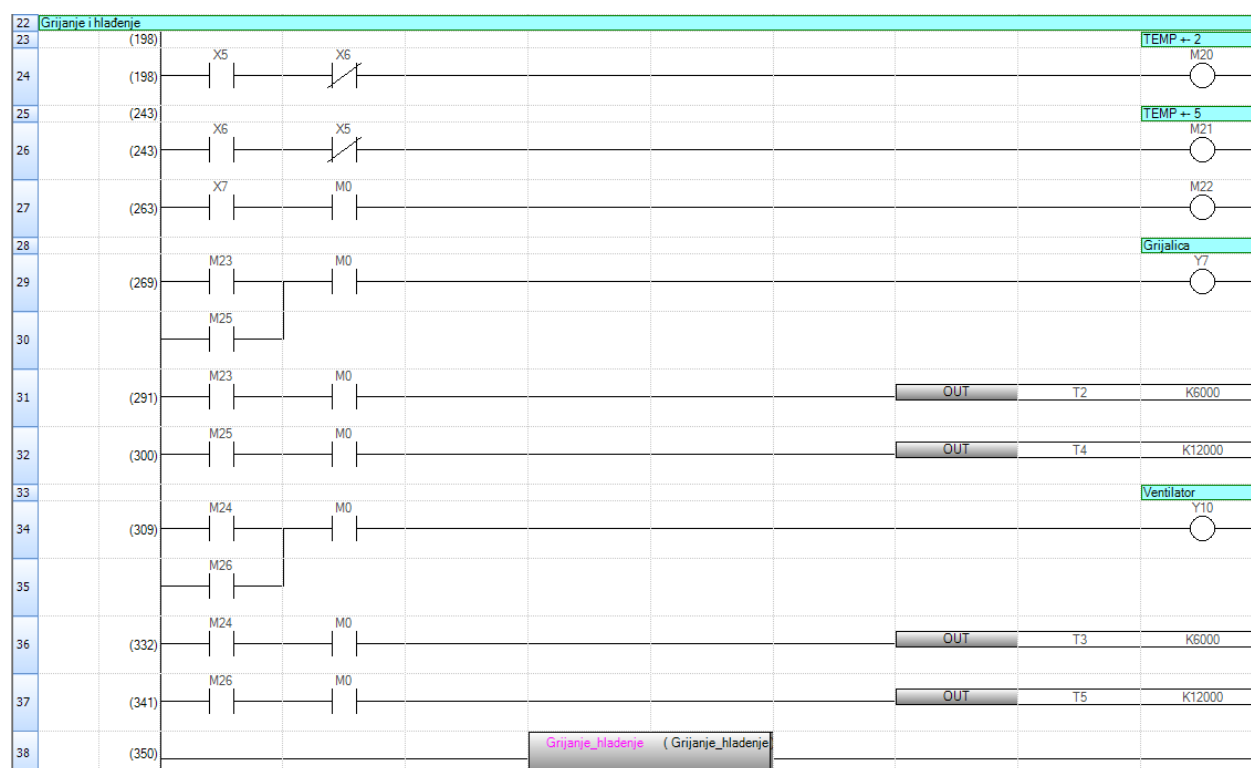
```

Slika 5.9. Funkcijski blok Svjetlo

5.7 Upravljanje temperaturom

Grijanje i hlađenje ima malo zamršeniji kod naspram dosadašnjih uređaja. Ono se obavlja pomoću regulacije sa mrtvom zonom. Odnosno izaberemo da li želimo regulaciju sa odstupanjem 2 ili 5 stupnja od željene temperature. Kada temperatura padne ispod ili se podigne iznad odstupane temperature, dolazi do paljenja grijalice odnosno ventilatora i njihovih tajmera T2-T5. Završetkom odbrojavanja tajmera, uređaji se ugase te ako je potrebno daljnje reguliranje temperature ponovo se pale, a tajmeri se resetiraju na početne vrijednosti. Na slici 5.10 može se vidjeti da za različite intervale imamo različite vrijednosti tajmera (10 i 20 minuta). Cijela logika regulacije izvedena je pomoću unutarnjih releja M20-M26. Kao što je spomenuto kod upravljanja razinom CO₂ unutarnji releji M23 i M25 upravljaju grijalicom, a M24 i M26 ventilatorom. U funkcijskome bloku

Grijanje_hlađenje (slika 5.11), prvi dio koda predstavlja upravljanje grijanjem i hlađenjem u intervalu od 2°C. Drugi dio koda predstavlja regulaciju u intervalu od 5°C, te nakraju imamo slučajeve automatskoga prekida rada. Do automatskog prekida rada će doći ako se postignu temperature plastenika blizu granica intervala, kako ne bi došlo do neprekidne petlja grijanja i hlađenja. Također je implementirana zaštita koja sprječava rad uređaja ako nije odabran nijedan interval što je korisno u slučaju slučajnog pritiska na tipku intervala kako uređaji ne bi ostali aktivni cijelo vrijeme i doveli do poremećaja željenih vrijednosti. Zadnja slika (5.12) prikazuje lokalne varijable korištene u funkcijskom bloku Grijanje_hlađenje.



Slika 5.10. Upravljanje temperaturom

```

1 Z_TEMP := D20;
2 TEMP_2P := Z_TEMP + 2.0;
3 TEMP_2M := Z_TEMP - 2.0;
4 TEMP_5P := Z_TEMP + 5.0;
5 TEMP_5M := Z_TEMP - 5.0;
6 TEMP_1P := Z_TEMP + 1.0;
7 TEMP_1M := Z_TEMP - 1.0;
8 TEMP_4P := Z_TEMP + 4.0;
9 TEMP_4M := Z_TEMP - 4.0;
10
11 IF M22 = 1 & M20 = 1 & M23 = 0 & M24 = 0 THEN
12     IF D110 < TEMP_2M THEN
13         M23 := 1;
14         M25 := 0;
15     ELSIF D110 > TEMP_2P THEN
16         M24 := 1;
17         M26 := 0;
18     END_IF;
19 END_IF;
20
21 IF M22 = 1 & M21 = 1 & M25 = 0 & M26 = 0 & M24 = 0 THEN
22     IF D110 < TEMP_5M THEN
23         M25 := 1;
24         M23 := 0;
25     ELSIF D110 > TEMP_5P THEN
26         M26 := 1;
27         M24 := 0;
28     END_IF;
29 END_IF;
30
31 //PREKIDANJE RADA//
32
33 IF (M23 = 1 & D110 >= TEMP_1P) OR (M25 = 1 & D110 >= TEMP_4P) THEN
34     M23 := 0;
35     M25 := 0;
36 END_IF;
37
38 IF (M24 = 1 & D110 <= TEMP_1M & M41 = 0) OR (M26 = 1 & D110 <= TEMP_4M &
M40 = 0) THEN
39     M24 := 0;
40     M26 := 0;
41 END_IF;
42
43 IF (M22 = 0 OR (M20 = 0 & M21 = 0)) & M41 = 0 THEN
44     M23 := 0;
45     M24 := 0;
46     M25 := 0;
47     M26 := 0;
48 END_IF;
49
50 IF T2 = 600 OR T3 = 1200 OR T4 = 6000 OR T5 = 12000 THEN
51     M23 := 0;
52     M24 := 0;
53     M25 := 0;
54     M26 := 0;
55 END_IF;

```

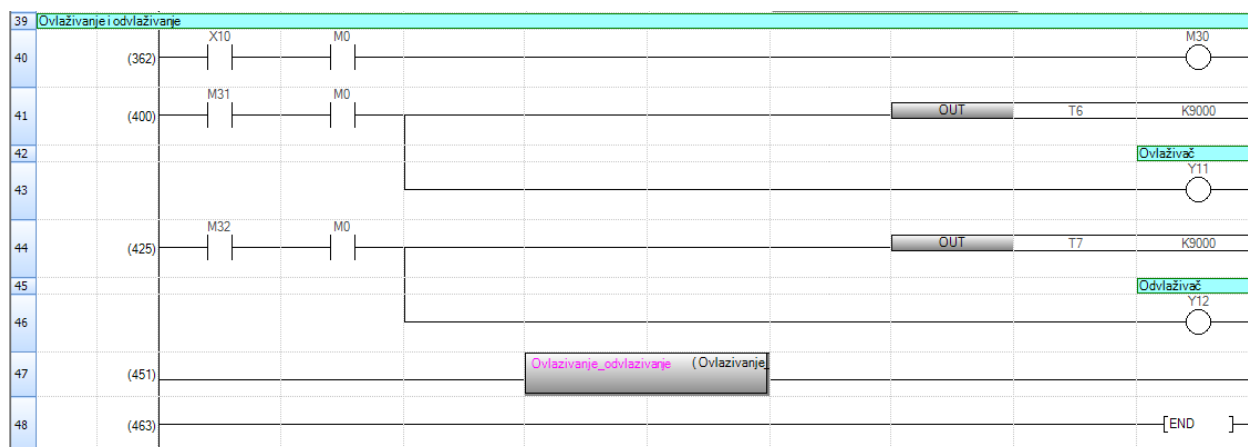
Slika 5.11. Funkcijski blok Grijanje_hlađenje

	Label Name	Data Type	Class	English(Display Target)
1	Z_TEMP	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature
2	TEMP_2P	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature +2
3	TEMP_2M	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature -2
4	TEMP_5P	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature +5
5	TEMP_5M	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature -5
6	TEMP_1P	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature +1
7	TEMP_1M	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature -1
8	TEMP_4P	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature +4
9	TEMP_4M	FLOAT [Single Precision]	VAR	Željena vrijednost temperature -4

Slika 5.12. Lokalne varijable funkcijskog bloka Grijanje_hlađenje

5.8 Upravljanje RVZ

Regulacija vlage u zraku postiže se na identičan način kao i kod temperature. Razlika je u tome što nije moguće birati interval regulacija već imamo samo jedan interval od 5%. Kada razina vlage padne ispod ili poraste iznad granica intervala dolazi do aktivacije ovlaživača odnosno odvlaživača te njihovih tajmera T6 i T7 koji su postavljeni na 15 minuta (slika 5.13). Također kao i kod regulacije temperature, kada tajmer završi odbrojavanje uređaj se ugasi, a tajmer se resetira na početnu vrijednost. Slika 5.14 prikazuje kod funkcijskog bloka Ovlaživanje_odvlaživanje, gdje opet vidimo u prvome dijelu kod za regulaciju vlažnosti zraka, a u drugome dijelu kod za automatsko gašenje uređaja uslijed dostizanja rubnih vrijednosti intervala. Lokalne varijable funkcijskoga bloka vidljive su na slici 5.15. Na kraju slike 5.13 vidljiva je linija koda END koja označava kraj upravljačkoga koda.



Slika 5.13. Upravljanje RVZ

```

1 Z_VL := D30;
2 VL_5P := Z_VL + 5.0;
3 VL_5M := Z_VL - 5.0;
4 VL_4P := Z_VL + 4.0;
5 VL_4M := Z_VL - 4.0;
6
7
8 IF M30 = 1 & M31 = 0 & M32 = 0 THEN
9     IF D120 < VL_5M THEN
10        M31 := 1;
11        ELSIF D120 > VL_5P THEN
12            M32 := 1;
13        END_IF;
14    END_IF;
15
16 //PREKIDANJE RADA//
17
18 IF (M31 = 1 & D120 >= VL_4P) OR (M32 = 1 & D120 <= VL_4M) OR M30 = 0 THEN
19     M31 := 0;
20     M32 := 0;
21 END_IF;
22
23 IF T6 = 9000 OR T7 = 9000 THEN
24     M31 := 0;
25     M32 := 0;
26 END_IF;

```

Slika 5.14. Funkcijski blok Ovlaživanje_odvlaživanje

	Label Name	Data Type		Class	English(Display Target)
1	Z_VL	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	Željenja vrijednost vlage
2	VL_5P	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	Željenja vrijednost vlage +5
3	VL_5M	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	Željenja vrijednost vlage -5
4	VL_4P	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	Željenja vrijednost vlage +4
5	VL_4M	FLOAT [Single Precision]	...	VAR	Željenja vrijednost vlage -4

Slika 5.15. Lokalne varijable funkcijskog bloka Ovlaživanje_odvlaživanje

6 Dizajn korisničkog sučelja

Dizajn korisničkoga sučelja također je izrađen u laboratoriju FSB-a u već spomenutom softveru GT Designer3 te isproban na HMI zaslonu GS2107-WTBD. Dizajn se sastoji od šest virtualnih zaslona, koji se izmjenjuju obzirom na pritisak različitih virtualnih tipki. Na zaslonima moguće je pronaći sve potrebne informacije o sustavu kao što su statusi uređaja, trenutna i željena temperatura i RVZ zatim tipke i klizači za upravljanje sustavom te stvarno vrijeme.

Prvi zaslon koji će biti obrađeni je glavni zaslon, odnosno početni zaslon iz kojega dolazimo do svih ostalih zaslona. Na glavnome zaslonu imamo podatke o stvarnome vremenu, trenutnoj temperaturi i RVZ te se na njemu nalaze tipke za upravljanje cirkulacijom zraka i razinom CO₂. Također imamo tipke za prelazak na druge zaslone i najvažnije, na početnome zaslonu se nalazi STOP odnosno tipka X0 kojom je moguće isključiti cijeli sustav. Početni zaslon je prikazan na slici 6.1.



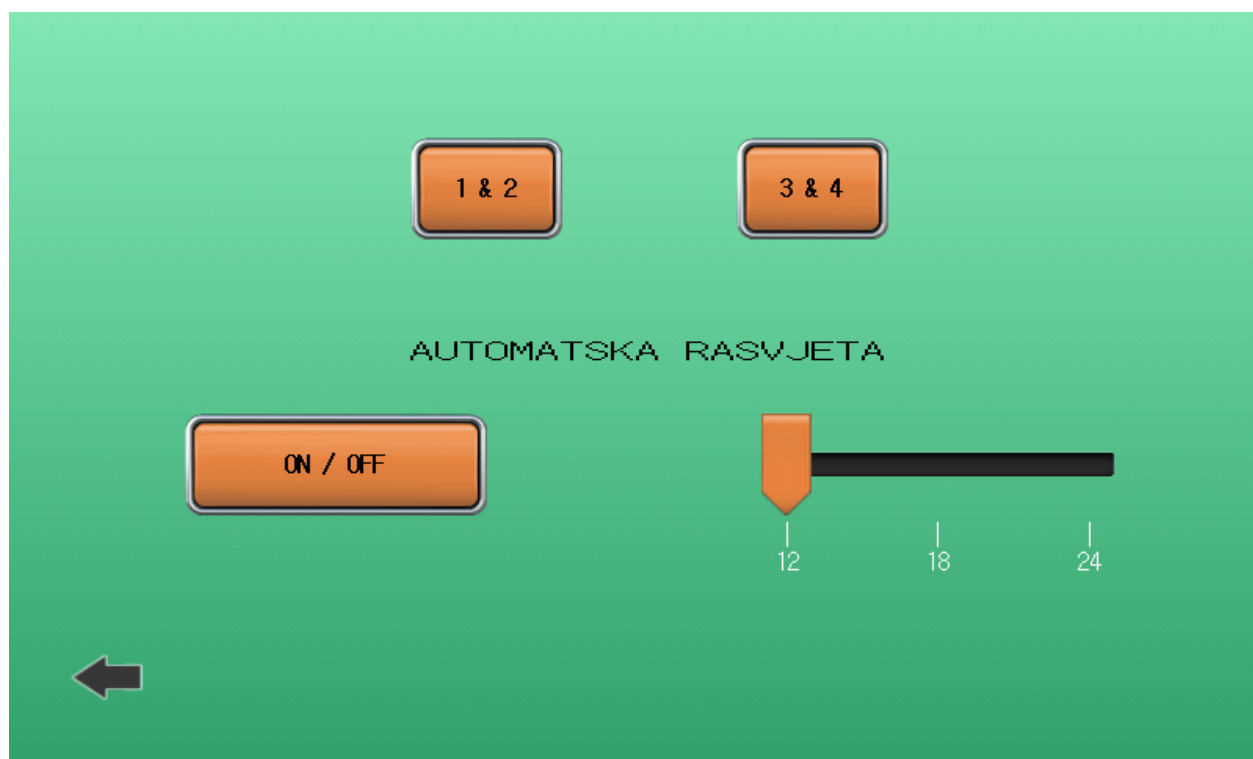
Slika 6.1. Početni zaslon korisničkog sučelja

Pritiskom na tipku status, dolazimo na sljedeći zaslon na kojemu možemo vidjeti status svih uređaja (slika 6.2). Ako je uređaj trenutno aktivan, onda su virtualne lampice upaljene, a u protivnome su ugašene. Na slici je vidljiv primjer izgleda lampice aktivnoga uređaja, lampica središnjeg ventilatora je upaljena. U donjem lijevome kutu imamo tipku izgleda strelice koja nam omogućava povratak na početni zaslon.



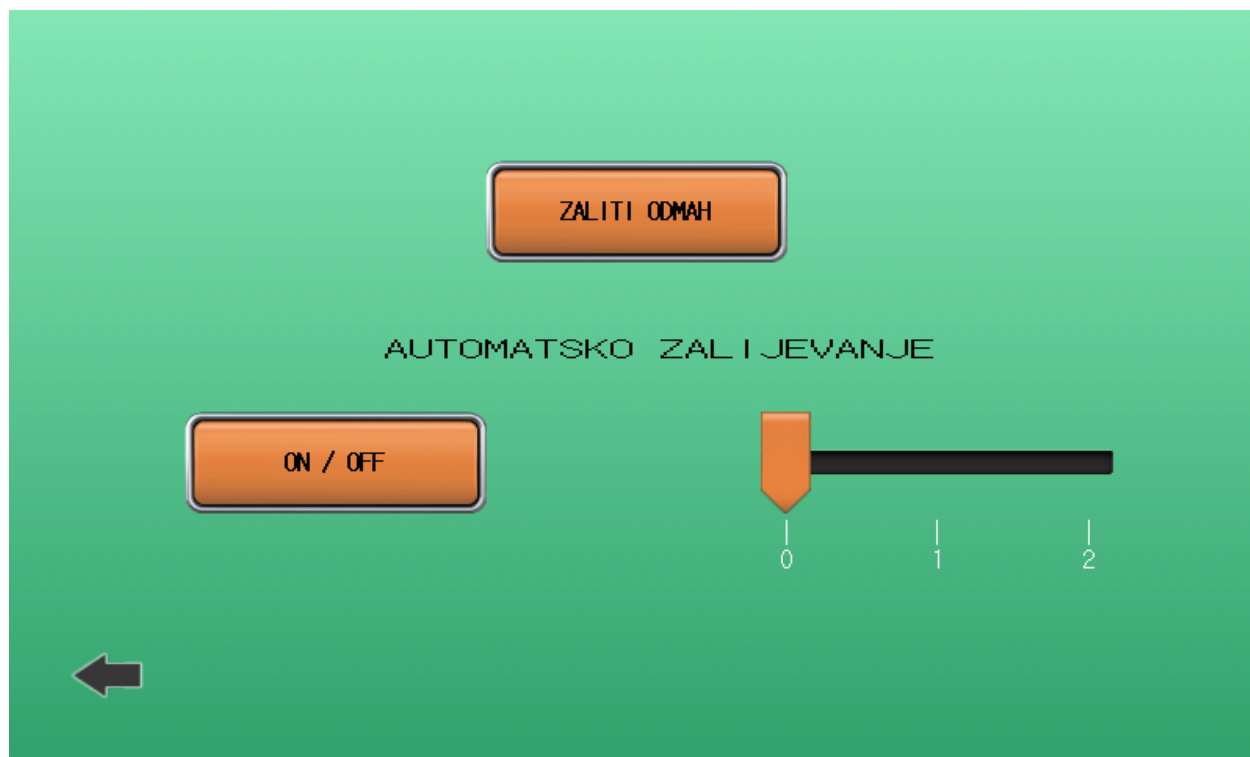
Slika 6.2. Zaslon sa statusima uređaja

Zaslon rasvjete (slika 6.3) sadrži dvije tipke za ručno paljenje lampi, a ispod njih se nalazi tipka za aktiviranje automatskoga načina rada i pripadni klizač za odabir željenoga vremenskoga ciklusa osvjetljenja u danu. Valja napomenuti ako je odabrano 24 sata, ne znači da će lampe raditi 24 sata već samo ono vrijeme kada je intenzitet dnevnog svjetla manji od 1000 luksa. Također je implementirana funkcija da se tipke međusobno isključuju, odnosno ako su ručno upaljena svjetla, pritiskom na automatski način rada tipke za ručno paljenje će iskočiti u isključeno stanje i obrnuto.



Slika 6.3. Zaslona za upravljanje rasvjetom

Zaslona za upravljanje zalijevanjem (slika 6.4) je vrlo sličan onome za upravljanje rasvjetom. Na njemu se također nalaze tipke za ručno i automatsko zalijevanje te klizač za odabir koliko puta dnevno je potrebno obaviti zalijevanje. Kao što je do sada vidljivo, dizajn samih zaslona je vrlo minimalistički s ciljem što lakše uporabe i što bolje funkcionalnosti istih.



Slika 6.4. Zaslona za upravljanje zalijevanjem

Zadnja dva zaslona također su veoma slična. Zaslona za upravljanje temperaturom i RVZ sadrže podatak o trenutnoj i željenoj temperaturi odnosno RVZ. Pritiskom na prozor željene vrijednosti, na zaslonu otvara se tipkovnica osjetljiva na dodir kojom možemo unijeti vrijednost. Regulacija obadvije vrijednosti može biti samo automatska, razlika je jedino što kod zaslona za upravljanje temperaturom možemo izabrati da li želimo interval od 5° ili 2°C. Također i tu je implementirana funkcija međusobnog isključivanja, ako je aktivan interval od 2° te pritisnemo na interval od 5°, doći će do isključivanja tipke za interval od 2° i obrnuto. Na slici 6.5 prikazan je zaslon za upravljanje temperaturom, a na slici 6.6 zaslon za upravljanje relativnom vlažnošću zraka.



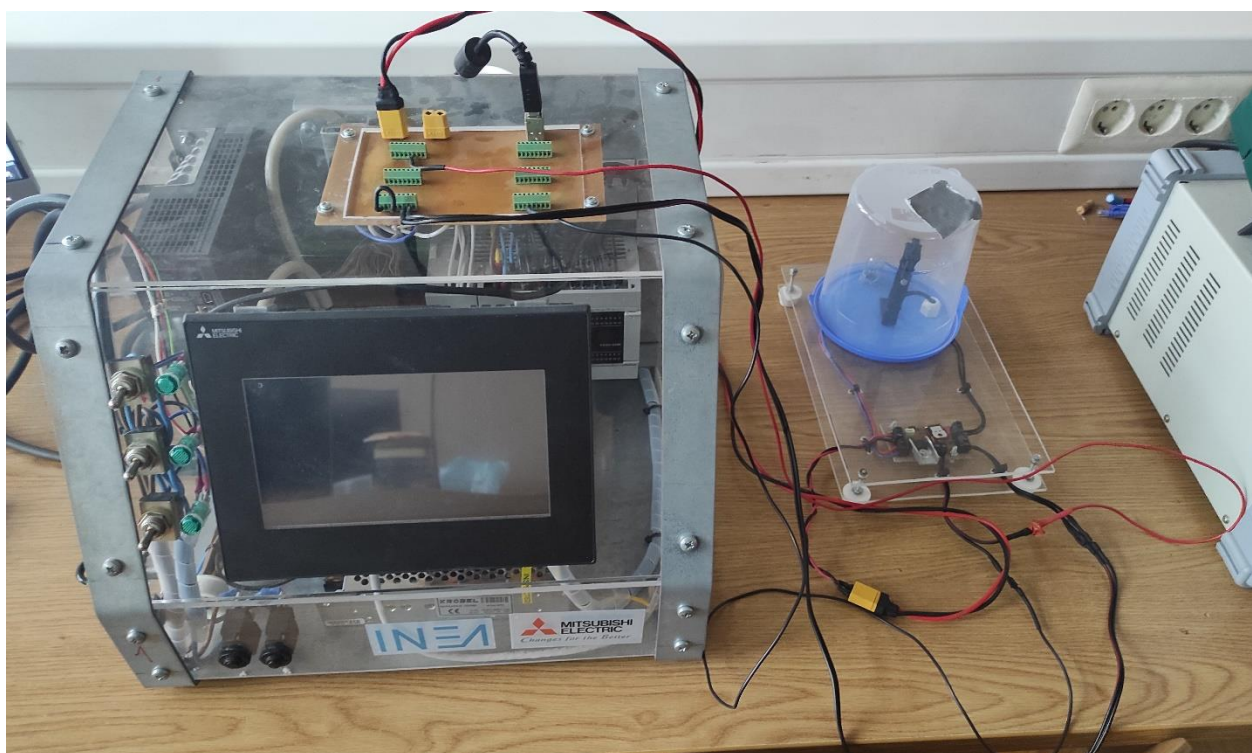
Slika 6.5. Zaslona za upravljanje temperaturom



Slika 6.6. Zaslona za upravljanje RVZ

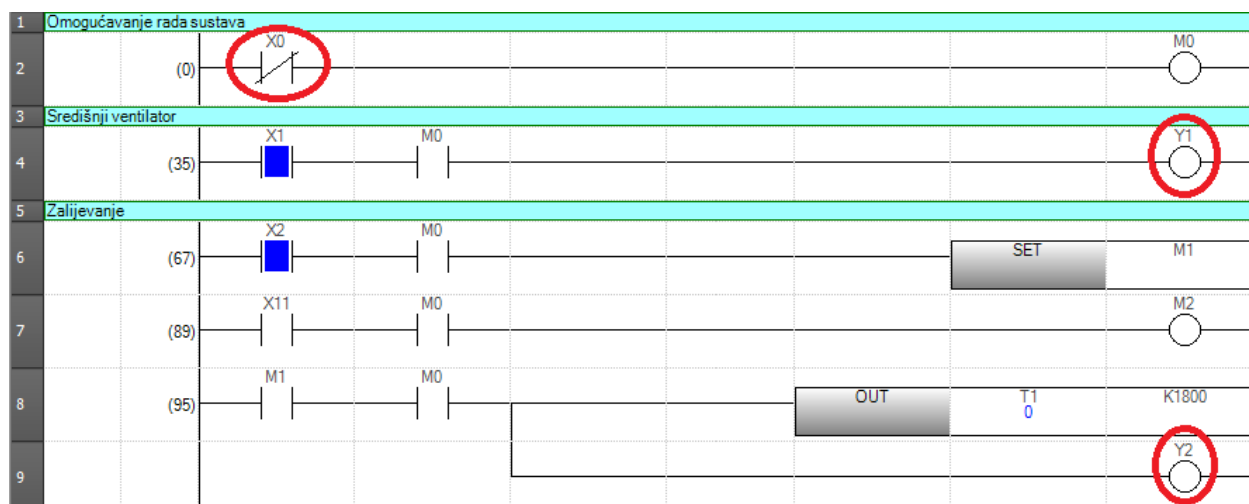
7 Simulacija

Simulacija je također provedena na već spomenutom postavu uz dodatak toplinske komore (slika 7.1) koja ima ulogu modela zaštićenoga prostora. U toplinskoj komori nalazi se senzor temperature, NTC termistor, te žarulja koja zamjenjuje električnu grijalicu. Zbog ograničenja u opremi, ostali dijelovi upravljačkoga koda simulirani su unutar simulacijskoga okruženja softvera GX Works3. Iako su simulirani svi slučajevi do kojih može doći tijekom rada automatiziranoga sustava, u ovome poglavlju biti će prikazani samo neki zbog kompleksnosti prikaza određenih scenarija, te same opsežnosti različitih mogućnosti.



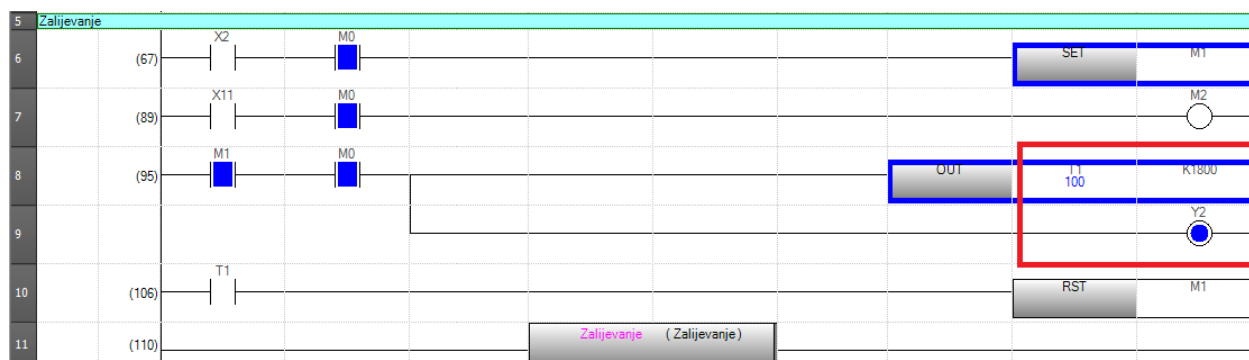
Slika 7.1. Laboratorijski postav sa toplinskom komorom

Za početak na slici 7.2 prikazani su rezultati simulacije najvažnijega sigurnosnog dijela sustava, kada je pritisnuta tipka STOP. Na slici je vidljivo da iako su pritisnute tipke X1 i X2, te bi trebali biti aktivni središnji ventilator i pumpa za vodu, zato što je pritisnuta tipka STOP dolazi do prekida signala odnosno Y1 i Y2 nisu aktivirani.



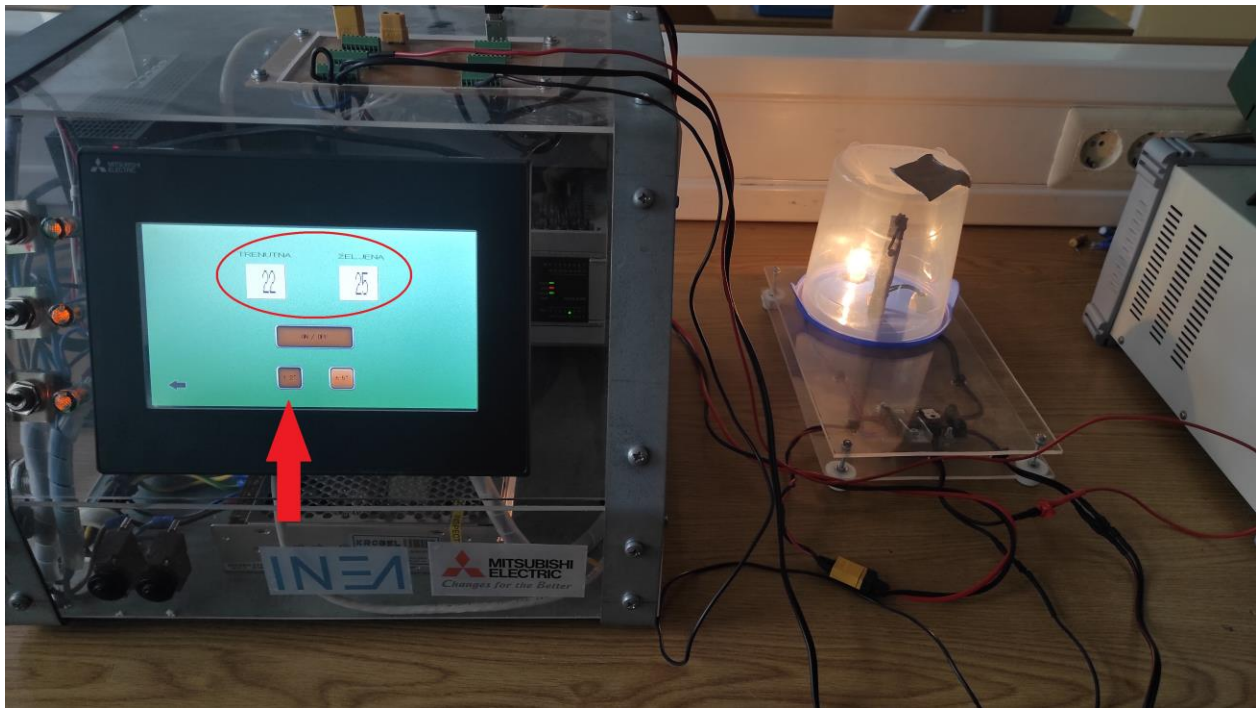
Slika 7.2. Prikaz simulacije tipke STOP

Nadalje na sljedećoj slici (7.3) prikazan je zaslon kada je uspješno aktivirana pumpa za vodu. M1 se postavlja u logičku jedinicu, te u isto vrijeme aktivira tajmer T1 i pumpu za vodu. Kada tajmer odbroji 3 minute dolazi do postavljanja T1 u logičku jedinicu te se resetira bit M1, a time i sami tajmer. Tipka X2 se aktivira na pritisak, te čim se otpusti bit X2 padne u logičku 0, zbog toga na slici nije prikazan u aktivnome stanju.

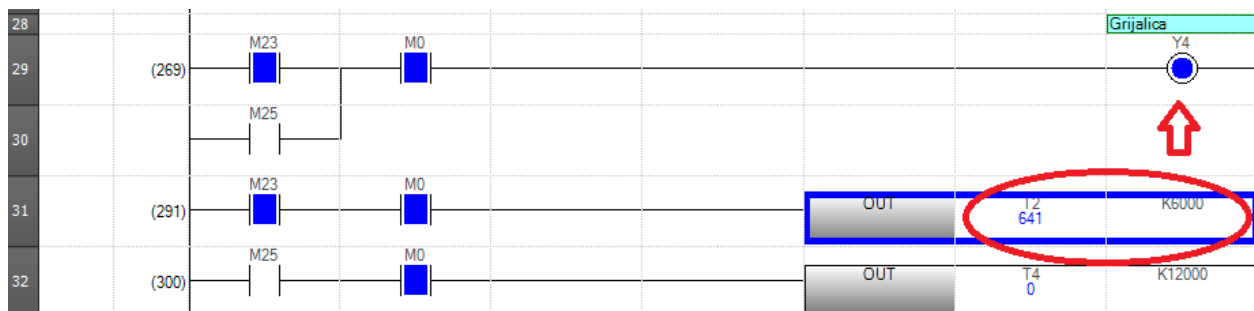


Slika 7.3. Prikaz simulacije zalijevanja

Simulacija grijanja sustava postaje već malo kompleksnija za prikazati. Slika 7.4 prikazuje aktiviranu grijalicu jer je trenutna temperatura ispod granice intervala, vidljivo je da je aktiviran interval $\pm 2^\circ$. Nadalje slika 7.5 prikazuje odbrojavanja tajmera grijalice u upravljačkome kodu.

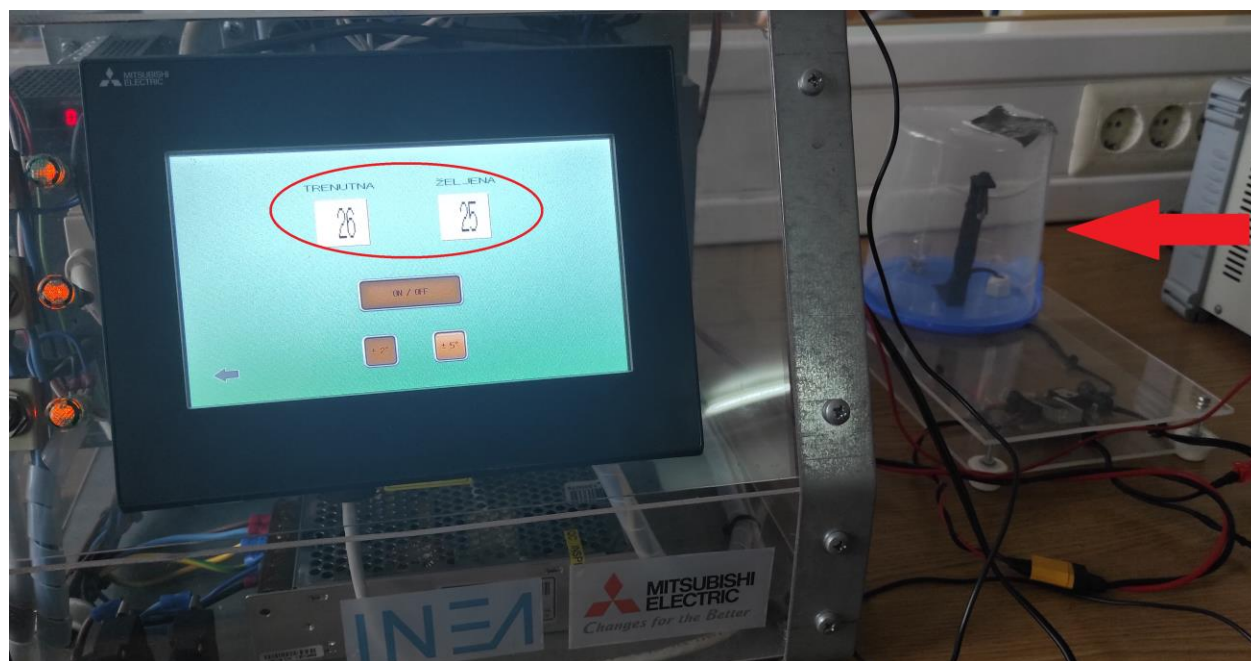


Slika 7.4. Simulacija aktivirane grijalice



Slika 7.5. Tajmer aktivirane grijalice

Zbog veličine samoga modela, tajmer nije stigao završiti odbrojavanje nego je bila postignuta gornja granica intervala, te se aktiviralo sigurnosno gašenje grijalice kako ne bi došlo do paljenja ventilatora i beskonačne petlje paljenja uređaja. Slika 7.6 prikazuje ugašenu grijalicu i postignutu temperaturu.



Slika 7.6. Sigurnosno gašenje grijalice

8 Zaključak

Zaštićeni prostori predstavljaju vrlo važne segmente u proizvodnji hrane, pogotovo u današnjim vremenima kada su se promijenile karakteristike godišnjih doba te imamo česte i nagle promjene vremena. Osim što osiguravaju prinos od smrzavanja, tuče i suše, također uz reguliranje uvjeta uzgoja dobivaju se veći te kvalitetniji prinosi. Automatiziranjem procesa kontroliranja mikroklimatskih uvjeta, smanjuje se potrošnja energije, rasterećuje se poljoprivrednik, a brže i točnije se postižu željeni uvjeti. Između različitih mogućih načina automatizacije, za manje zaštićene prostore, najbolje rješenje pruža PLC.

Nužne komponente automatiziranoga sustava čine senzori i upravljačka jedinica, dok ostale uređaje biramo prema financijskim mogućnostima i razini potrebe. Također iz priloženoga troškovnika vidljivo je kako svjetla za uzgoj čine veliki dio investicijskih troškova, a ovisno o uzgajanim biljkama ne moraju nužno pridonijeti dovoljno razvoju kako bi opravdala investiciju. Stoga pri projektiranju sustava valja uzeti u obzir uzgajane kulture, te prema njima prilagoditi korištenu opremu. S obzirom na rezultate simulacije, upravljački kod zadovoljavajuće odrađuje funkciju te ga je moguće implementirati u stvarni sustav. Naravno u dizajnu korisničkoga sučelja kao i u upravljačkome kodu moguće su izmjene kako bi se bolje prilagodili pojedinačnome sustavu.

Dodatna poboljšanja predloženog sustava mogu biti usmjerena prema implementaciji koncepta industrije 4.0. Neka od poboljšanja na kojima bi se moglo poraditi su: razvoj aplikacije za pametne uređaje kako bi u svakome trenutku mogli provjeriti i izmijeniti uvjete u plasteniku, spremanje podataka sa senzora i uređaja čime bi se mogli pratiti uvjeti pri kojima je biljka dala najveće prinose. Također moguće je implementirati različite alarme, koji bi upozoravali poljoprivrednika na moguće vremenske nepogode, greške u radu sustava ili optimalno vrijeme za odrađivanje zadaća kao što su berba plodova, rezidba biljaka i slično.

Literatura

- [1] Benko, B.: *Podizanje i opremanje zaštićenih prostora*, <https://gospodarski.hr/rubrike/prilog-broja-podizanje-i-opremanje-zasticenih-prostora/> , Pristupljeno: 17. 10. 2021.
- [2] Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., Shad, Z. M.: *Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture*, IJABE Vol. 11 No. 1
- [3] Bersani, C., Ouammi, A., Sacile, R., Zero, E.: *Model Predictive Control of Smart Greenhouses as the Path towards Near Zero Energy Consumption*, Energies Vol. 13 Issue 14
- [4] Autogrow, <https://autogrow.com/your-growing-environment/automated-greenhouse> , Pristupljeno: 18. 10. 2021.
- [5] Slika automatiziranog plastenika: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-43020-7_86 , Pristupljeno: 18. 10. 2021.
- [6] Petruzella, F.: *Programmable logic controllers – Fifth edition*, New York: McGraw-Hill Education, 2017.
- [7] Bolton, W.: *Programmable Logic Controllers – Sixth edition*, Oxford: Elsevier, 2015.
- [8] Slike PLC uređaja i temperaturnih senzora: <https://realpars.com> , Pristupljeno: 23. 10. 2021.
- [9] Slika Siemens HMI-a: <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens-simatic-hmi-touch-panels-13161979597.html> , Pristupljeno: 05. 12. 2021.
- [10] Hoque, J., Ahmed, R., Hannan, S.: *An Automated Greenhouse Monitoring and Controlling System using Sensors and Solar Power*, EJERS Vol. 5 No. 4
- [11] *8 Types of sensors for best greenhouse remote monitoring systems*, <https://www.renkeer.com/sensors-for-greenhouse-remote-monitoring-systems/> , Pristupljeno: 08. 11. 2021.
- [12] Fraden, J.: *Handbook of Modern Sensors – Fifth Edition*, New York: Springer, 2016.
- [13] Slika krivulja termistora: https://www.researchgate.net/figure/The-thermistor-temperature-characteristic-curve-In-Figure-1-the-thermistor-temperature_fig1_309267235 8.11 , Pristupljeno: 12. 11. 2021.
- [14] *How Humidity Affects the Growth of Plants*, <https://www.polygongroup.com/en-US/blog/how-humidity-affects-the-growth-of-plants/> , Pristupljeno: 15. 11. 2021.

- [15] Slika karakteristike senzora svjetla: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/simple-ambient-light-sensor-circuit.html> , Pristupljeno: 15. 11. 2021.
- [16] *How Do CO₂ Sensors Work?*, <https://www.processsensing.com/en-us/blog/how-CO2-sensors-work.htm> , Pristupljeno: 17. 11. 2021.
- [17] *HVAC for greenhouses and indoor gardens*, <https://www.sobieskiinc.com/blog/hvac-for-greenhouses-indoor-gardens/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [18] *Greenhouse Heating and Cooling*, <https://www.bcgreenhouses.com/greenhouse-buying-tips/cooling-and-heating/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [19] *5 Tips for Greenhouse Ventilation and Cooling*, <https://greenhouseinfo.com/5-tips-greenhouse-ventilation-cooling/> . Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [20] Slika električne grijalice: <https://www.greenhousegrower.com/technology/protect-unit-heaters-from-greenhouse-conditions/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [21] *How Can We Maintain the Humidity Inside a Greenhouse?*, <https://www.greenhousestores.co.uk/blog/How-Can-We-Maintain-The-Humidity-Inside-A-Greenhouse/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [22] Slika odvlaživača zraka: <https://royalbrinkman.com/the-suppliers-of-royal-brinkman/drygair/drygair-dg12-dehumidifier-standard-unit-excl-roof-999700031> , Pristupljeno 24. 10. 2021.
- [23] Taub, D. R.: *Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants*, <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/effects-of-rising-atmospheric-concentrations-of-carbon-13254108/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [24] *How to increase the CO₂ concentration in the greenhouse?*, <https://royalbrinkman.com/knowledge-center/crop-care/increase-concentration-co2-greenhouse> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [25] *Greenhouse Irrigation – What's the best watering system?*, <https://greenhouseemporium.com/blogs/greenhouse-gardening/greenhouse-irrigation-systems/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [26] Slika hrvatskih kranova za zalijevanje usjeva: <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/prvi-hrvatski-kranovi-za-zalijevanje-usjeva/24762/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.

- [27] *How to Pick the Right Grow Lights for Your Greenhouse*,
<https://greenhouseemporium.com/blogs/greenhouse-gardening/grow-lights-for-your-greenhouse/> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [28] Slika uzgoja pod LED lampama: <https://gs-horti.com/articles/63-led-grow-lights-correct-lighting-for-the-greenhouse.html> , Pristupljeno: 24. 10. 2021.
- [29] *Various Communication Protocols in PLC*, <https://instrumentationtools.com/various-communication-protocols-in-plc/> , Pristupljeno: 23. 11. 2021.
- [30] Mitsubishi FX5U PLC: <https://uk.rs-online.com/web/p/plcs-programmable-logic-controllers/8755688> , Pristupljeno: 27. 11. 2021.
- [31] Mitsubishi HMI te softveri GX Works3 i GT Designer 3:
<https://www.mitsubishielectric.com/fa> , Pristupljeno: 29. 11. 2021.
- [32] *Priručnik tvrtke Mitsubishi Electric GX Works3 Operating Manual*