

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Seminarski rad iz kolegija *Automatizacija postrojenja i procesa*

Automatizirani sustav upravljanja staklenikom

Rijeka, veljača 2025.

Marina Branilović
Jazz Richard Greblo
Leonard Mikša

Sadržaj

1. Uvod	2
2. Model sustava	3
2.1. Temperatura	3
2.1.1. Model procesa	4
2.1.2. Poremećajna veličina	6
2.1.3. HVAC jedinica	8
2.1.4. Temperaturni senzor i referentna temperatura	8
2.1.5. PID regulator	10
2.2. Vlažnost zraka i vlažnost tla	12
2.3. Svjetlost	17
3. Korisničko sučelje (HMI)	20
3.1. Glavni ekran	20
3.2. Animacija procesa sazrijevanja	20
3.3. Prikaz alarmnih stanja	22
3.4. Zadavanje referentnih vrijednosti procesnih varijabli	23
4. Zaključak	25
Bibliografija	26

1. Uvod

U posljednjim desetljećima, automatizacija postaje ključna u svim granama industrije, a time i tehnologija pametnih staklenika sve više dobiva na značaju. Uzgoj biljaka u kontroliranim uvjetima omogućuje veću efikasnost, optimizaciju resursa i povećanje prinosa, čineći proizvodnju otpornijom na vanjske klimatske utjecaje.

Ovaj rad bavi se razvojem i simulacijom automatiziranog sustava upravljanja staklenikom, s fokusom na regulaciju temeljnih parametara koji utječu na rast i razvoj biljaka: temperature, vlažnosti zraka, vlažnosti tla i svjetlosti. Za realizaciju modela korištena je Siemens TIA Portal platforma, unutar koje su razvijeni regulacijski algoritmi i korisničko sučelje (HMI) za nadzor i upravljanje procesom.

Rad započinje analizom modela sustava, gdje su detaljno opisane ključne fizikalne veličine i njihova regulacija. Zatim se opisuje implementacija izrađenih modela u *Ladder* logici, te razvoj korisničkog sučelja i vizualizacija podataka. Na kraju, u zaključku se osvrćemo na ograničenja modela i mogućnosti daljnjeg razvoja sustava.

Ova simulacija, iako nije izravno primjenjiva u stvarnom okruženju, predstavlja dobar temelj za razumijevanje dinamičkih procesa u automatizaciji staklenika.

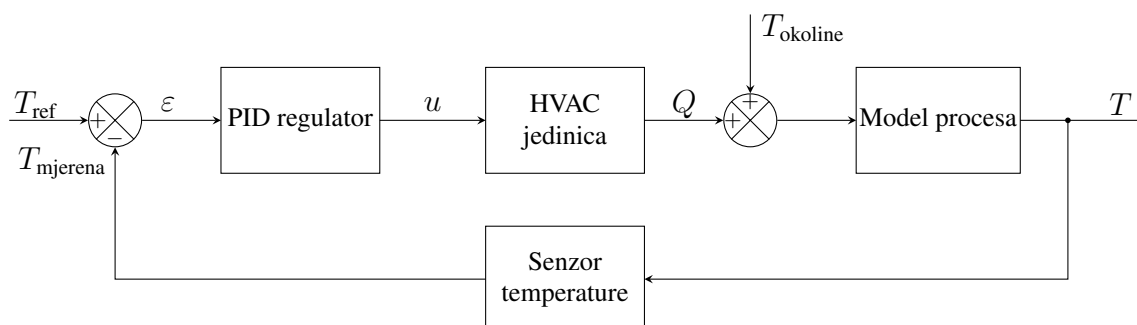
2. Model sustava

Za uspješno i optimalno upravljanje fizikalnim veličinama sustava, potrebno je detaljno razumijeti fizikalne procese unutar samog sustava. Četiri najvažnije fizikalne veličine nužne za uzgoj biljaka su temperatura, vlažnost zraka, vlažnost tla i intenzitet svjetlosti. Svaku od njih ćemo ukratko analizirati i modelirati ponašanje sustava odnosno samog objekta upravljanja, a to je fizički prostor koji staklenik zauzima.

2.1. Temperatura

Fotosinteza je biološki proces u kojem biljke pretvaraju energiju svjetlosti u kemijsku energiju, osiguravajući tako vlastitu ishranu. Prema [1], optimalni temperaturni raspon za fotosintezu je 25°C - 30°C , a maksimalna temperatura za uspješnu apsorpciju vode je 35°C do 40°C . Temperatura od 45°C je kritična temperatura na kojoj klorofil¹ postaje neaktivan i fotosinteza prestaje, a na 50°C prestaje i stanično disanje.

Kako bismo uspješno implementirali algoritam upravljanja temperaturom, najprije ga je potrebno matematički modelirati. Kao i svaki regulacijski sustav, i ovaj će se sastojati od regulatora, aktuatora - u ovom slučaju grijača, te objekta upravljanja - u ovom slučaju prostorije. S obzirom da se radi o zatvorenom regulacijskom krugu, u povratnoj vezi se nalazi senzor temperature.



Slika 2.1. Blokovska shema temperaturnog regulacijskog sustava u zatvorenom krugu

Slika 2.1 prikazuje načelnu shemu regulacijskog sustava. Signal razlike ε između željene temperature i stvarne (mjerene) temperature predstavlja ulazni signal u PID regulator, a u predstavlja izlaz iz regulatora, odnosno upravljački signal za HVAC jedinicu (eng. *Heating, ventilation, and air conditioning*), čiji izlaz je Q , odnosno toplina dovedena u sustav. Stvarna temperatura u prostoriji mjeri se senzorom u povratnoj vezi te uspoređuje s referentnom vrijednošću.

¹Zeleni biljni pigment ključan u procesu fotosinteze

2.1.1. Model procesa

S obzirom da je staklenik u suštini jedna velika prostorija, kod izrade toplinskog modela nužno je uzeti u obzir njegove dimenzije, toplinski kapacitet i toplinski otpor. S obzirom da će staklenik imati **tri zone uzgoja**, pretpostavit ćemo širinu od 10 metara, duljinu od 20 metara, te visinu od 4 metra. Sada, na temelju dimenzija staklenika, možemo izračunati njegov volumen.

$$V_{\text{staklenik}} = w \cdot l \cdot h = 10\text{m} \cdot 20\text{m} \cdot 4\text{m} = 800\text{m}^3 \quad (2.1)$$

Za precizniji izračun volumena prostora, potrebno je uzeti u obzir i geometriju krova s obzirom da postoje staklenici sa zaobljenim krovovima, ravnim krovovima, kosim krovovima, itd. Međutim, zbog jednostavnosti izrade modela, a i činjenice da se radi samo o simulaciji, ne i primjeni na stvarni objekt, volumen je aproksimiran jednostavnim umnoškom triju dimenzija.

Kako bismo izračunali **toplinski kapacitet prostorije**, potrebno je poznavati masu zraka u prostoriji i specifični toplinski kapacitet zraka, tj. medija kojim je prostor ispunjen. Gustoća zraka na sobnoj temperaturi i atmosferskom tlaku iznosi

$$\rho_{\text{zrak}} = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad (2.2)$$

Gustoća zraka nije konstanta i blago se mijenja s obzirom na temperaturu i tlak zraka, ali su ta odstupanja u simulaciji zanemarena. Specifični toplinski kapacitet zraka je konstanta koja iznosi

$$c_{\text{zrak}} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \quad (2.3)$$

Sada možemo izračunati toplinski kapacitet prostorije kao umnožak mase medija kojim je prostorija ispunjena i specifičnog toplinskog kapaciteta

$$C = m_{\text{zrak}} \cdot c_{\text{zrak}} = \rho_{\text{zrak}} \cdot V_{\text{zrak}} \cdot c_{\text{zrak}} \quad (2.4)$$

$$C = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 800\text{m}^3 \cdot 1005 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \quad (2.5)$$

$$C = 984900 \frac{\text{J}}{\text{K}} \approx 1 \frac{\text{MJ}}{\text{K}} \quad (2.6)$$

Idući važan parametar je **toplinski otpor** koji opisuje intenzitet izmjene topline s okolinom. Prema [2], staklenici sa zidovima od stakloplasta ili jednoslojnim polietilenskim filmom imaju vrijednost od 0.85 u imperijalnom sustavu mjernih jedinica, odnosno 1.25 za zidove s dva sloja polietilenskog filma i razmakom između njih.

Pretvorbom ovih vrijednosti u SI sustav mjernih jedinica, dobivamo raspon od

$$R = [0.15, 0.22] \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}, \quad (2.7)$$

iz kojeg odabiremo

$$R = 0.2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (2.8)$$

S obzirom na zauzetost prostora unutar staklenika - od posađenih biljaka, alata, konstrukcijskih dijelova, te prethodno opisane aproksimacije volumena, njegov toplinski kapacitet je u stvarnosti manji. Nadalje, vrijednost toplinskog otpora je također manja zbog prijenosa topline (vođenjem, radijacijom...), te ventilacije koja također značajno smanjuje vrijednost toplinskog otpora. U nastavku slijede aprkosimativno modificirane vrijednosti toplinskog kapaciteta prostora i toplinskog otpora.

$$C = 700000 \frac{\text{J}}{\text{K}}, \quad R = 0.1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (2.9)$$

Posljednji bitan parametar za model toplinskog procesa je toplinska vremenska konstanta, definirana kao umnožak toplinskog kapaciteta i toplinskog otpora. S obzirom da su Celzijevi stupnjevi i Kelvini ekvivalentne mjerne jedinice, one se mogu pokratiti u umnošku te ostavljajući samo sekundi kao omjer džula i vata.

$$\tau = R \cdot C = 0.1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot 700000 \frac{\text{J}}{\text{K}} = 70000s \quad (2.10)$$

$$\tau \approx 19 \text{ h} \quad (2.11)$$

Toplinska vremenska konstanta fizikalno predstavlja vrijeme potrebno da se temperatura u prostoriji promijeni isključivo uslijed utjecaja temperature okoline, odnosno razlike u temperaturi prostorije i okoline (drugim riječima, kada je regulacijski sustav isključen).

Ova aproksimacija modela ima nedostatke i bazira se na značajnom broju pretpostavki i aproksimacija, ali služi kao dobar uvid u toplinsku dinamiku unutar staklenika. Također, s obzirom da su toplinski procesi izrazito tromi, u simulaciji ćemo ionako morati drastično smanjiti vremensku konstantu. **Time nećemo narušiti samu dinamiku i prirodu procesa, nego ga samo ubrzati.**

Sada konačno možemo, **na temelju prvog zakona termodinamike**, opisati toplinsku dinamiku u prostoriji diferencijalnom jednadžbom; promjena energije sustava jednaka je razlici dodane i disipirane topline. Stoga slijedi

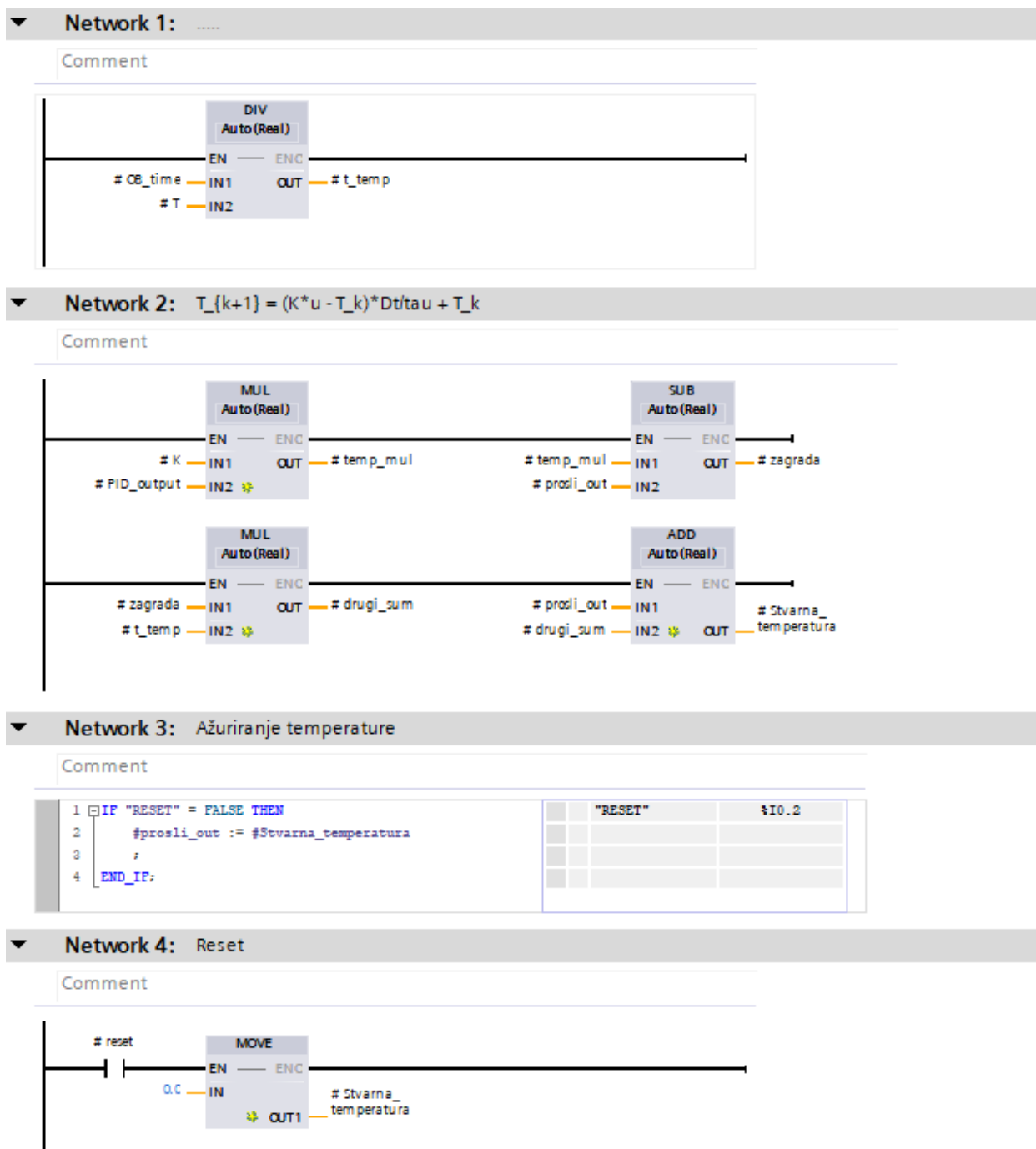
$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{C} - \frac{T - T_{\text{okoline}}}{\tau} \quad (2.12)$$

Diskretizacijom ove jednadžbe korištenjem Eulerove unaprijedne diferencije, dobivamo oblik:

$$T_{k+1} = T_k + (K \cdot u_k - T_k) \frac{\Delta t}{\tau}, \quad (2.13)$$

gdje je T_k vrijednost temperature u prethodnom koraku, K pojačanje funkcije prvog reda, a u_k izlaz iz grijača; ekvivalent dodanoj toplini, Δt je korak diskretizacije, odnosno vrijeme izvršavanja ciklusa PLC-a (približno 1 milisekunda).

Implementacija ove funkcije u TIA Portal-u je ostvarena korištenjem *funkcijskog bloka* (FB) kako je prikazano u nastavku. Odabrana vremenska konstanta je **2 sekunde**, a parametar K je jednak 1, s obzirom da sustav već forsiramo u željeno stanje preko topline iz grijača.



Slika 2.2. Funkcijski blok modela temperaturnog procesa

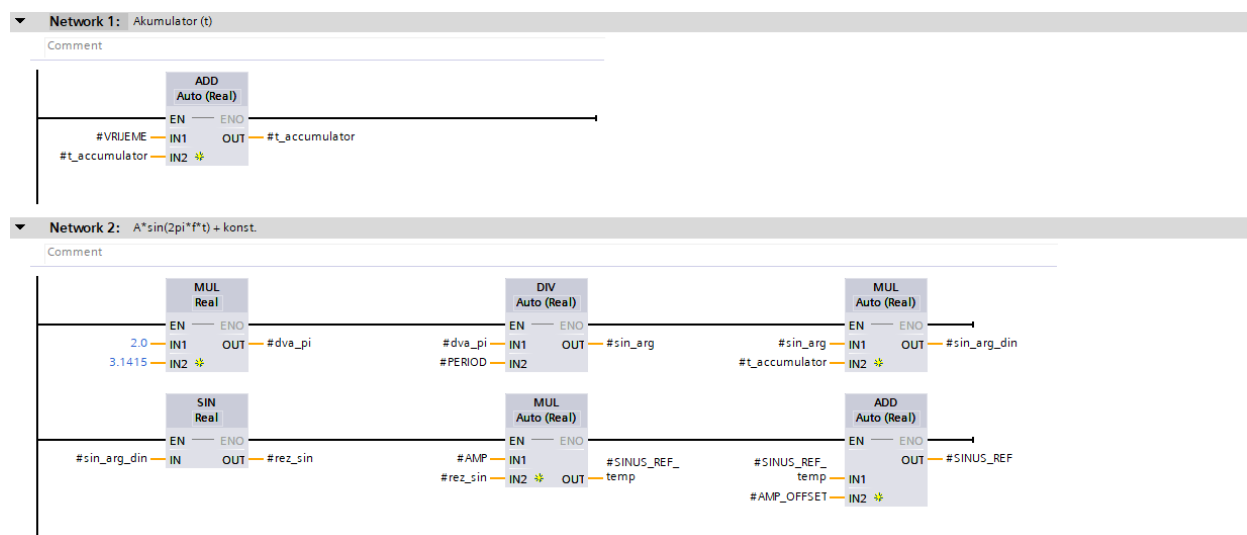
2.1.2. Poremećajna veličina

Vanjska temperatura, tj. temperatura okoline djeluje na toplinski proces kao poremećaj. Kao što je prethodno opisano, utjecaj poremećajne veličine ovisi, osim o njenom intenzitetu, i o parametrima procesa, što su u ovom slučaju toplinski otpor i toplinski kapacitet staklenika.

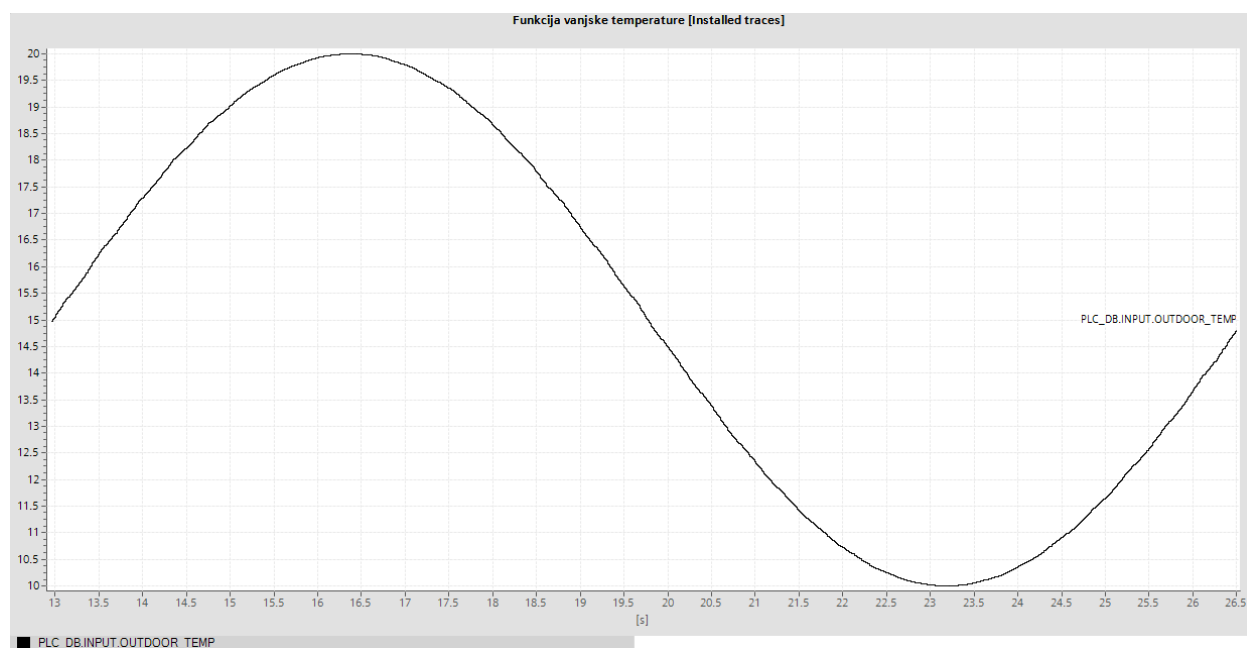
Priroda vanjske temperature je aproksimirana sinusnom funkcijom - najniža tijekom noći, raste tijekom jutra i dana, te zatim ponovo opada. Dakle, funkcija vanjske temperature je u ovoj simu-

laciji opisana sinusom, čija perioda bi u stvarnosti iznosila 1 dan, odnosno 24 sata, ali je zbog simulacijskih okolnosti smanjena na **12 sekundi**.

U nastavku je prikazan funkcijski blok (FB) kojim je ostvaren generator sinusne funkcije proizvoljne amplitude A i periode T , te proizvoljnog pomaka po vertikalnoj osi. Na taj način je inicijalno testirana funkcija čiji amplitudni *offset* iznosi 15°C , što predstavlja srednju temperaturu zraka tijekom dana, te amplituda vrijednosti 5, što znači da tijekom 24 sata temperatura oscilira u granicama od 10°C do 20°C .



Slika 2.3. Funkcijski blok vanjske temperature (poremećajne veličine)



Slika 2.4. Prikaz funkcije vanjske temperature u opciji **Trace** TIA Portal-a

2.1.3. HVAC jedinica

Pri odabiru industrijskog grijača za automatizaciju staklenika, u obzir je potrebno uzeti energetske učinkovitost, potrebnu snagu (ovisno o dimenzijama grijane prostorije), te druge parametre koji utječu na potrošnju energije i potrebe samog objekta upravljanja.

S obzirom da su toplinski procesi vrlo tromi, prilikom modeliranja HVAC jedinice može se zanemariti vrijeme potrebno da se on stabilizira u radnoj točki s obzirom da je to vrijeme daleko manje od toplinske vremenske konstante samog procesa.

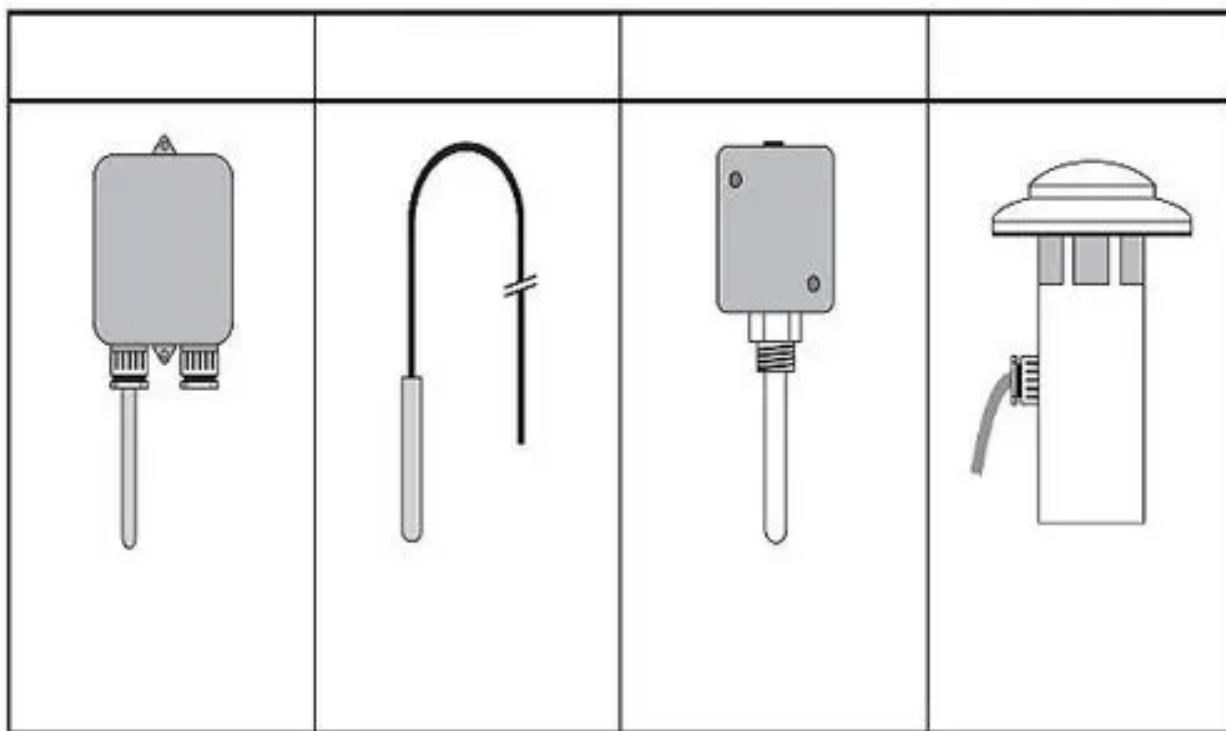
Prema tome, grijač možemo modelirati kao sustav nultog reda, odnosno kao jednostavno množenje s konstantom, koja ovisi o radnoj i/ili maksimalnoj snazi HVAC jedinice. U simulaciji, ona nije posebno modelirana, nego je njena funkcija *spojena* s funkcijom modela procesa - pojačanje modela procesa uključuje sam proces, te HVAC jedinicu.



Slika 2.5. Primjer HVAC jedinice korištene u regulaciji temperature staklenika [3]

2.1.4. Temperaturni senzor i referentna temperatura

Senzori koji se često koriste u automatizaciji staklenika su PT1000 senzori. Ovi senzori su trožični i oklopljeni, što ih čini robusnima i izdržljivima.



Slika 2.6. PT1000 temperaturni senzori [4]

Općenito, senzori su elektroničke komponente koje pretvaraju neku fizikalnu veličinu u električni signal. Slijedom toga, temperaturni senzor na svom izlazu daje napon proporcionalan temperaturi koju mjeri.

Odnos ulazne temperature i izlaznog napona definiran je **linearnim faktorom skaliranja** senzora. U stvarnosti, signal referentne temperature je kalibriran sa senzorom temperature. Drugim riječima, faktori skaliranja im se moraju podudarati kako bi se razlika napona mogla slati u regulator.

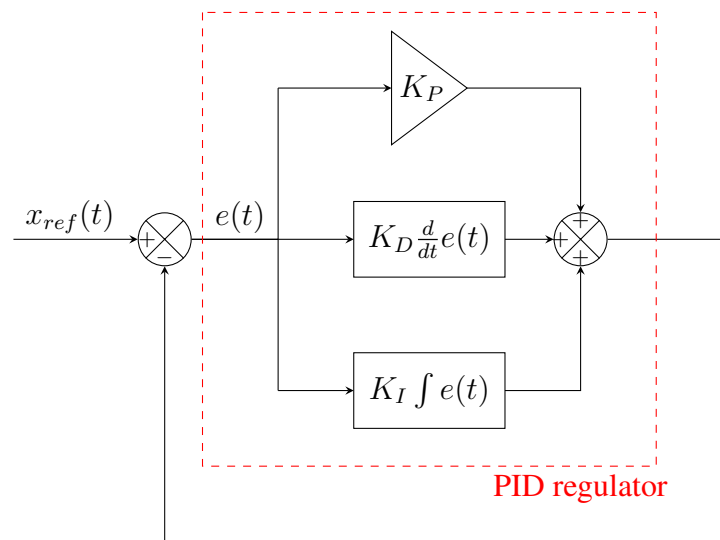
S obzirom da je rađena samo simulacija, a za senzor vrijede iste napomene kao i za HVAC jedinicu - može se modelirati kao pojačanje - njega također nismo posebno modelirali. Ono što bismo trebali napraviti su dvije funkcije skaliranja kako bismo na kraju dobili istu stvar. Zbog toga smo model senzora također zanemarili.

Zadavanje referentne temperature se vrši preko potenciometra. Kako bismo izbjegli nagle i potencijalno neželjene promjene u referentnoj temperaturi, na sam ulaz regulacijskog sustava dodana je nagibna funkcija (tzv. rampa). Generator rampe je realiziran u funkcijskom bloku (FB), radi u oba smjera, i omogućava proizvoljan odabir ubrzanja i nagiba.

2.1.5. PID regulator

S obzirom da temperaturni regulacijski procesi obično imaju velike vremenske konstante, koristi se PID regulator kako bismo ostvarili što dinamičnije upravljanje. Kod PID regulatora, proporcionalno pojačanje samo po sebi ne eliminira grešku u stacionarnom stanju, a integracijska komponenta ne može ubrzati sustav u zadovoljavajućoj mjeri. Zbog toga se kod tromih sustava dodaje i derivacijska komponenta čije je djelovanje proporcionalno razlici trenutnog i prethodnog stanja.

Korištena je najčešća, paralelna izvedba PID regulatora s obzirom da ovaj sustav nema nikakve neuobičajene zahtjeve. Neke od ostalih izvedbi PID regulatora su prilagođene specifičnim uvjetima, poput I-PD forme, P-ID forme, itd.



Slika 2.7. Paralelna struktura PID regulatora

Funkcija PID regulatora je također realizirana funkcijskim blokom (FB). Osim samih parametara regulatora, ulazi su još trenutna i referentna temperatura. Izlaz je upravljački signal koji je spojen na HVAC.

Proporcionalni dio je banalan; on jednostavno množi signal greške s konstantom i šalje ga prema izlazu. Integracijski dio je implementiran pomoću Eulerove metode rješavanja običnih diferencijalnih jednadžbi - izlaz u trenutnom ciklusu jednak je zbroju izlaza u prošlom ciklusu s umnoškom ulaznog signala i proteklog vremena. Općenito, vrijedi

$$X_k = X_{k-1} + hf(t_{k-1}, y_{k-1}), \quad (2.14)$$

Derivacijski dio koristi metodu unazadne diferencije, računavši omjer razlike trenutnog i prethodnog ulaza, i proteklog vremena. Općenito, vrijedi

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_k - x_{k-1}}{\Delta t}. \quad (2.15)$$

Implementacija u *Ladder* logici prikazana je na slici 2.8.



Slika 2.8. Funkcijski blok PID regulatora

Valja napomenuti kako je za potrebe ove simulacije upotreba PID regulatora nepotrebna. U stvarnosti bi on bio nužan s obzirom na veliku tromost samog procesa, ali s obzirom da je simulacija iz praktičnih razloga ubrzana, PI regulator bi imao identično dobre performanse. Parametar derivacijskog pojačanja je u simulaciji postavljen na 0.002, što također govori u prilog navedenom.

Na idućoj slici prikazani su odzivi vanjske temperature, referentne temperature i regulirane temperature unutar staklenika. Vremensko skaliranje i parametrisiranje regulatora je namješteno tako da se vide utjecaji svih čimbenika na proces - poremećajne veličine, dinamike tijekom jednog dana (jedna perioda sinusoide), te promjena u referentnoj temperaturi.



Slika 2.9. Odzivi procesnih varijabli temperaturnog regulacijskog kruga

Primjetan je utjecaj vanjske temperature na temperaturu unutar staklenika tijekom dana. Također, može se primjetiti kako su te dvije temperature u protufazi - kada je vanjska temperatura najniža, unutarnja je najviša. Naime, do fluktuacija u unutarnjoj temperaturi dolazi i uslijed djelovanja regulatora; kada je vani najtoplije i ta toplina nastoji zagrijati unutrašnjost staklenika, PID regulator nastoji ohladiti prostoriju preko HVAC jedinice.

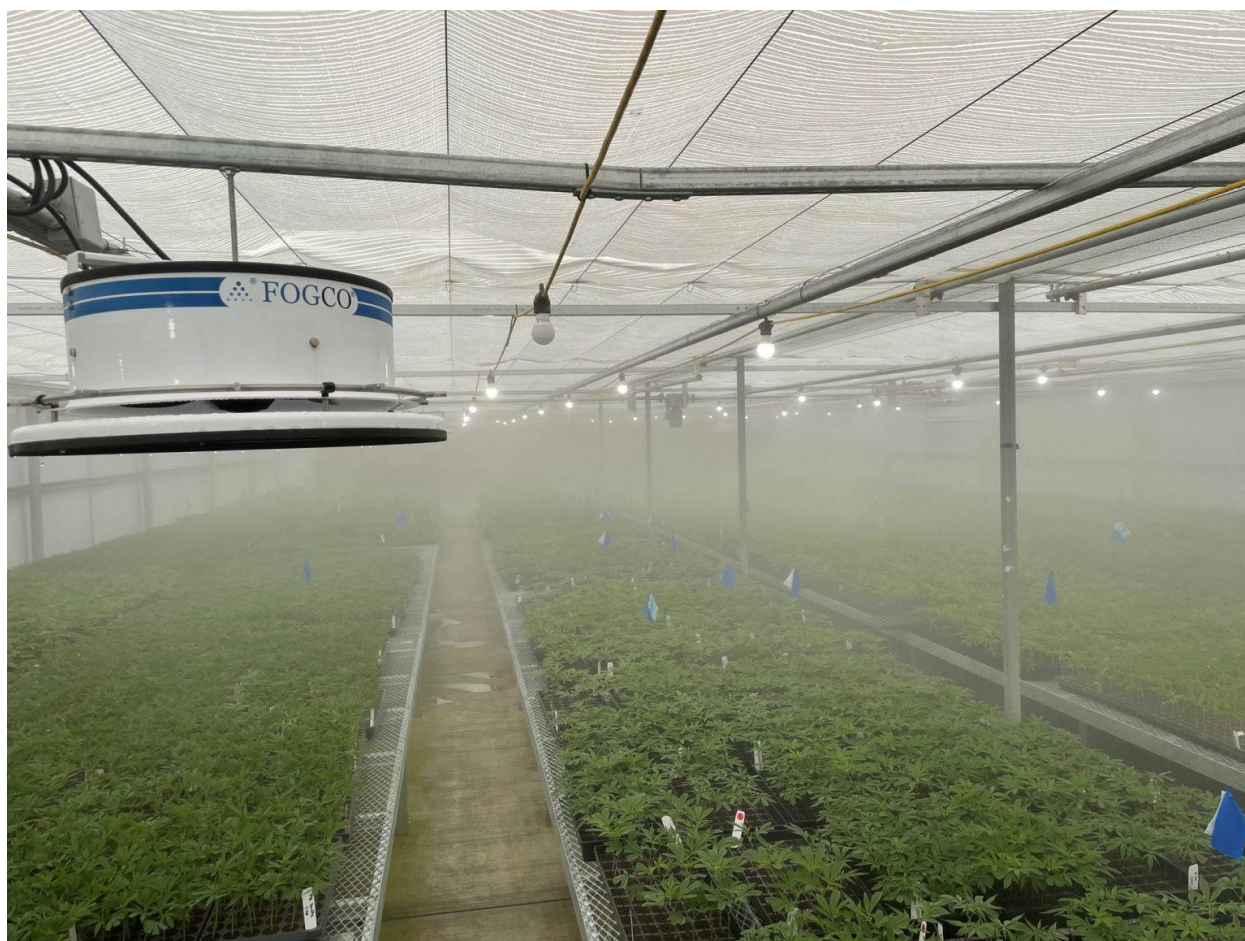
2.2. Vlažnost zraka i vlažnost tla

Idući regulirani parametar je vlažnost zraka. Slično kao i kod modeliranja procesa kod temperaturnog regulacijskog sustava, i ovdje će dinamika ovisiti o dimenzijama prostorije i svojstvima samog zraka.

Stoga je opravdano iskoristiti već modelirani proporcionalni član prvog reda (PT1) korišten u temperaturnom regulacijskom procesu. Jedino što će se razlikovati su parametri i intenzitet utjecaja poremećajne veličine.

Poremećajna veličina više nije vanjska temperatura nego vlažnost vanjskog zraka. S obzirom da je vlažnost zraka ovisna prvenstveno o temperaturi - hladan zrak je suh, topli zrak je vlažan - vlažnost vanjskog zraka je izravno ovisna o vanjskoj temperaturi. Stoga nije potrebno modificirati

samu logiku kojom je PT1 član napravljen, nego samo promijeniti parametre poput vremenske konstante. Naime, iako su temperatura i vlažnost zraka u izravnoj vezi, zrak će se brže ovlažiti nego zagrijati uz korištenje **ovlaživača zraka**.



Slika 2.10. Primjer industrijskog ovlaživača korištenog u regulaciji vlage zraka staklenika [5]

Prihvatljivi raspon vlažnosti zraka za staklenički uzgoj većine biljaka kreće se od 50% do 90% [6]. Prema [7], optimalna vlaga zraka za većinu biljaka iznosi 80%. Prevelike relativne vlažnosti zraka drastično povećavaju rizik od pojave pepelnice, plamenjače i sive plijesni.

Ove vrijednosti će se zadavati u HMI (eng. *Human-Machine Interface*) sučelju i predstavljat će granice za paljenje alarma, te željenu vrijednost vlage kao referentnu vrijednost za regulacijski sustav.

Umjesto kopiranja logike iz temperaturnog procesa, ovdje je pristup drugačiji. Oscilacije u vlažnosti zraka su ostvarene *timerima*. Umjesto regulatora, pojačanje proporcionalnog člana prvog reda smo postavili na 1, tako da nemamo greške u stacionarnom stanju.

To možemo i dokazati koristeći **teorem o konačnoj vrijednosti** koji glasi

$$e_{ss}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s), \quad (2.16)$$

gdje je $E(s)$ signal greške u frekvencijskoj domeni. Ako je pobuda step-funkcija, što s obzirom na način unosa referentne veličine jest, signal greške jednak je razlici referentne i izlazne veličine u s -domeni.

$$e_{SS}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s(R(s) - Y(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} s(R(s) - R(s)G(s)) \quad (2.17)$$

$$e_{SS}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sR(s)(1 - G(s)) \quad (2.18)$$

Referentni signal $r(t)$ u s -domeni je $R(s)$, a model procesa je $G(s)$. Stoga, uz $K = 1$, slijedi

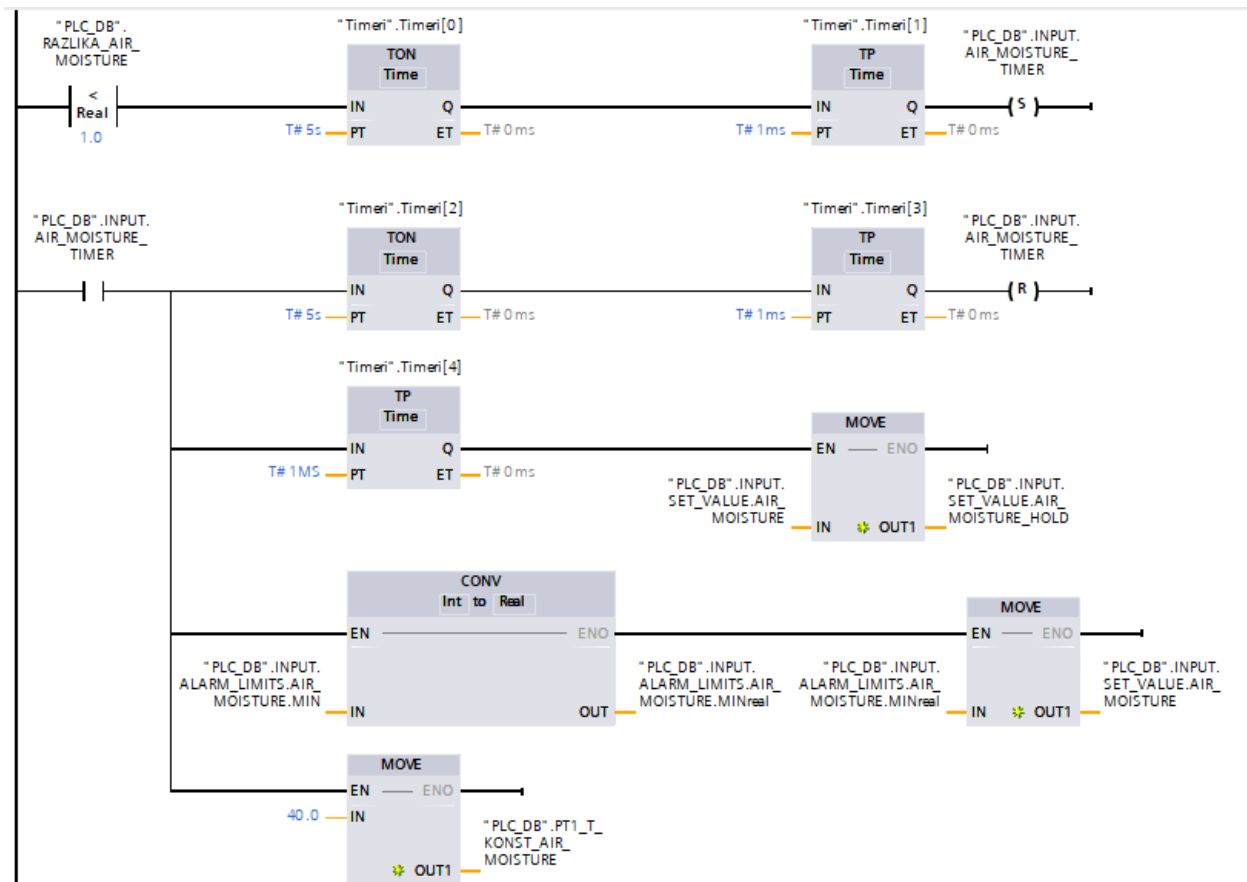
$$e_{SS}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{s} \left(1 - \frac{1}{\tau s + 1} \right) \quad (2.19)$$

$$e_{SS}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\tau s}{\tau s + 1} \quad (2.20)$$

$$e_{SS}(t) = 0 \quad (2.21)$$

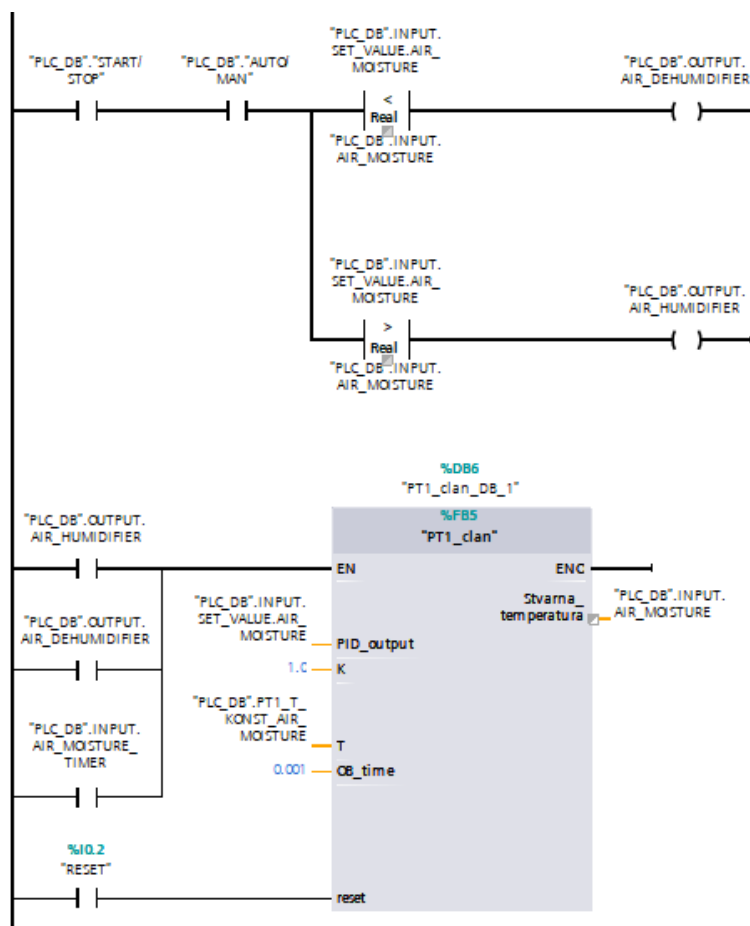
S obzirom na navedeno, sada regulacijski sustav možemo simulirati tako da periodički mijenjamo referentnu vrijednost. Nakon što izlazna vrijednost modela procesa (PT1) slijedi referentnu, uključuje se *timer*, te se nakon 5 sekundi referentna vrijednost postavlja na minimalnu dozvoljenu vrijednost od 50%.

Ovime je simulirano sušenje zraka koje se u stvarnosti događa uslijed ventilacije, otvora u zidovima staklenika, nedovoljne zabrtvljenosti, itd.



Slika 2.11. Ladder logika za upravljanje vlagom zraka (1)

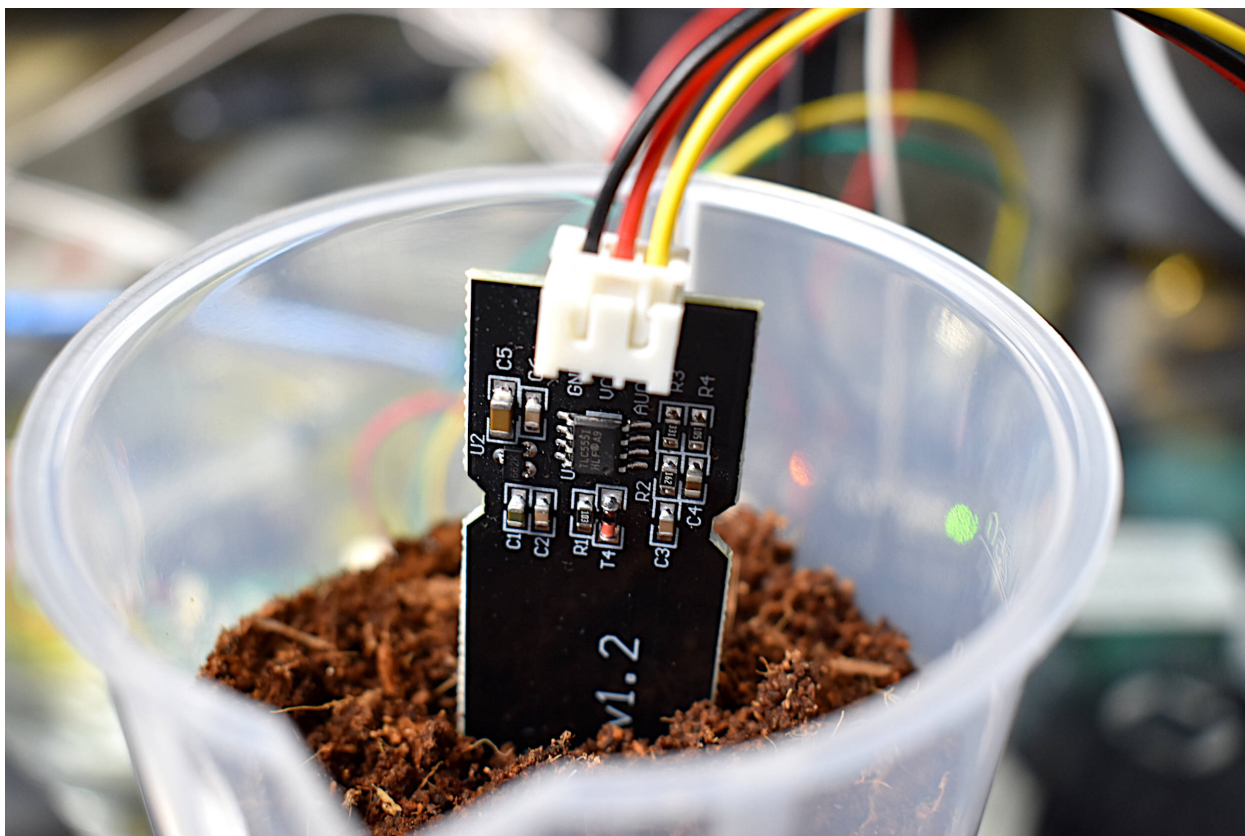
Nakon idućih 5 sekundi (sušenja), varijabla *timera* se gasi, i u funkcijski blok modela procesa se ponovno postavlja stvarna referentna vrijednost. Ovaj proces se ciklički ponavlja kako bi se simuliralo djelovanje ovlaživača i sušenja zraka. Također, prilikom aktivacije sušenja mijenja se i vremenska konstanta u svrhu dinamizacije procesa.



Slika 2.12. Ladder logika za upravljanje vlagom zraka (2)

U praksi se u ovakvoj primjeni koristi jedan senzor za temperaturu i za vlagu zraka, s obzirom da rade na sličnom principu i mjere povezane fizikalne veličine.

Istom logikom ostvareno je i upravljanje vlagom tla. Senzori za vlagu tla se fizički montiraju u zemlju kako je prikazano na idućoj slici, a rade na principu kapacitivnih senzora. Dvije elektrode koje se montiraju u zemlju imaju istu svrhu kao i ploče kondenzatora, dok je dielektrik između njih sama zemlja.



Slika 2.13. Primjer korištenja senzora za vlagu tla

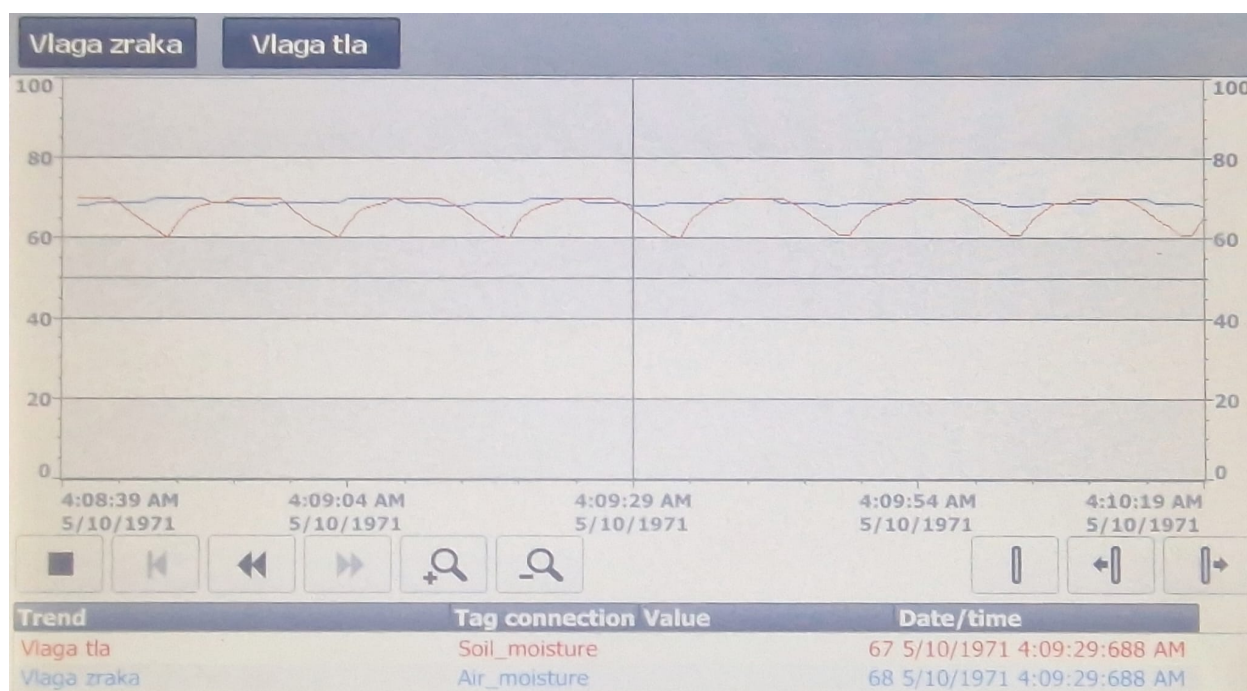
Ladder logika za upravljanje vlagom tla razlikuje se od one za vlagu zraka u tome što ima manju vremensku konstantu. Zemlja se inače sporije isušuje od zraka, ali ovime je postignut efekt tzv. *mrtvog vremena* - vremena potrebnog da, nakon aktivacije regulacijskog sustava, navodnjavanje počinje tek nakon vremenskog odmaka zbog samih cijevi koje napajaju prskalice.

S obzirom da voda putuje kroz crijevo od izvora do samog staklenika, potrebno je određeno vrijeme da dođe do navodnjavanja. Manjom vremenskom konstantom PT1 člana postiže se brži propad vlažnosti tla, čime se postiže efekt i pasivnog sušenja tla i vremenskog odmaka između aktivacije i početka navodnjavanja.

Korišteni *timeri* su:

- TON - za ostvarivanje vremenskog kašnjenja
- TP - za generiranje kratkog impulsa trajanja 1 milisekunde (otprilike jedan ciklus izvršavanja PLC-a)

Na slici 2.14 vidi se ostvareni učinak gore opisanih pojava kada su obje referentne vrijednosti jednake.



Slika 2.14. Odzivi procesnih varijabli regulacijskog kruga vlage zraka i vlage tla

2.3. Svjetlost

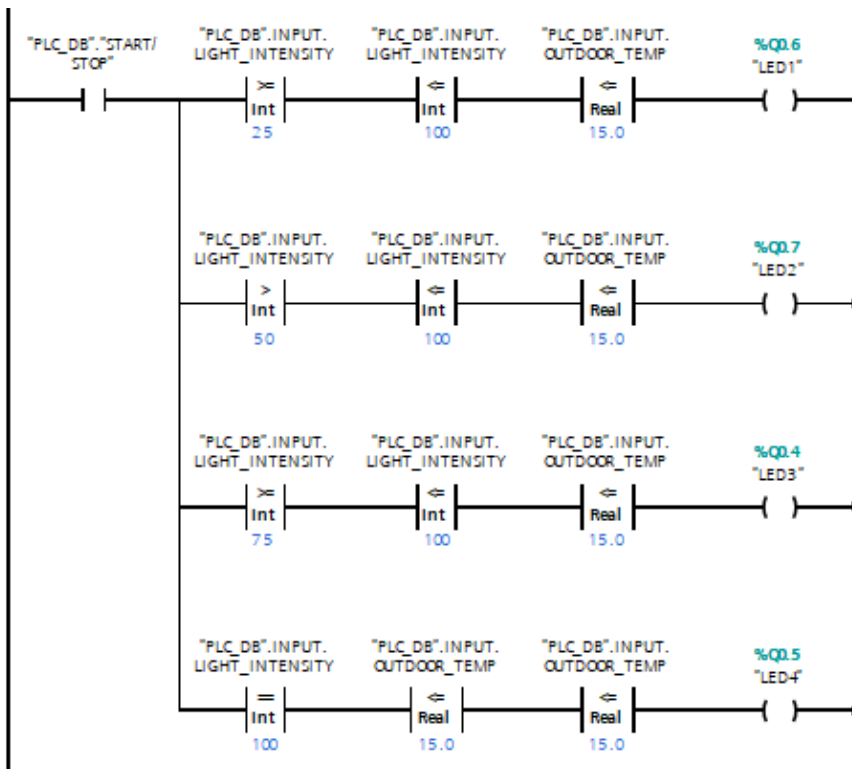
Posljednja regulirana fizikalna veličina je svjetlost unutar staklenika. Svjetlost je ključna u procesu fotosinteze i bez nje niti jedna biljka ne može sazrijeti. Regulacija svjetlosti je vizualizirana, osim na HMI-u, i na lokalnom panelu koji sadrži 8 LED dioda.

Željeni intenzitet svjetlost se zadaje preko HMI-a, a koriste se četiri zelene LED diode:

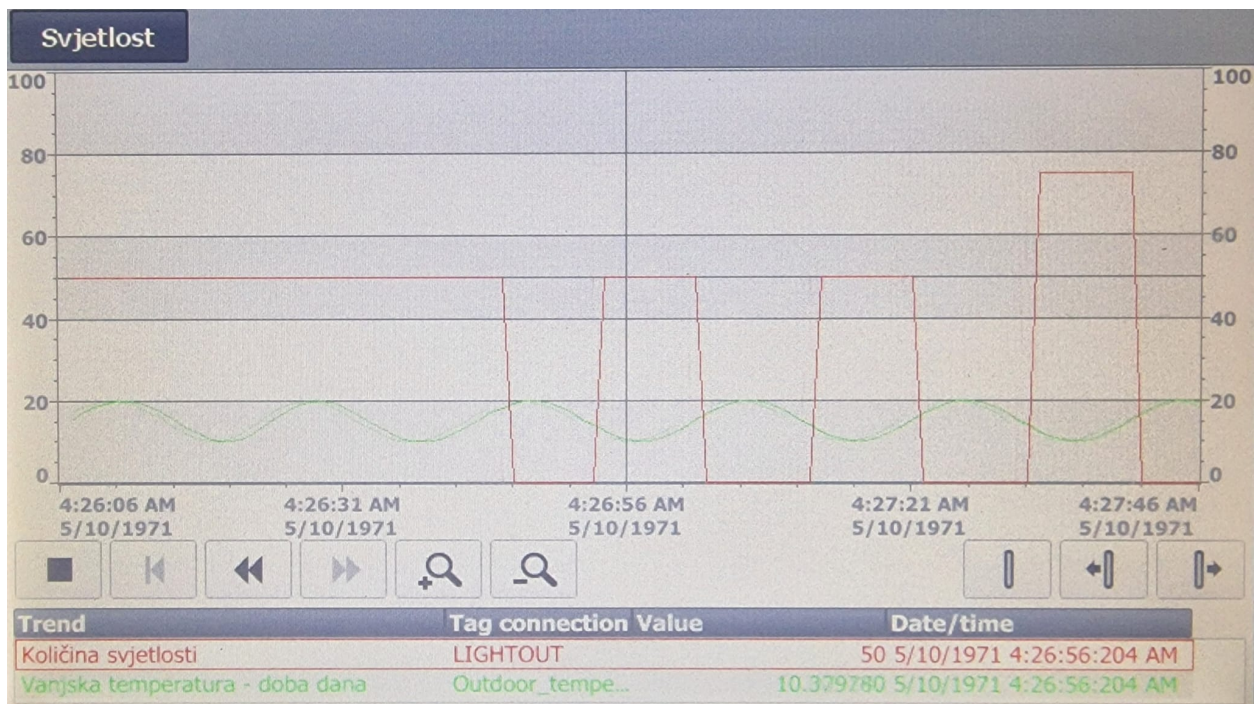
- 0% - 25%: sve LED su isključene
- 25% - 49%: uključena je jedna LED
- 50% - 74%: uključene su dvije LED
- 75% - 99%: uključene su 3 LED
- 100%: uključene su sve 4 LED

S obzirom da LED diode na lokalnom panelu nemaju mogućnost podesivog intenziteta svjetla, u kom slučaju bi se mogla primjeniti i neizrazita logika, imaju samo dva moguća stanja. Stoga je upravljanje svjetlošću implementirano običnom binarnom logikom.

Paljenje svjetla omogućeno je samo tijekom noći. S obzirom da smo u temperaturnom regulacijskom krugu koristili sinusnu funkciju kao aproksimaciju kretanja temperature tijekom 24 sata, uvjet za paljenje svjetla je da je trenutna vanjska temperatura veća od amplitudnog *offseta* podešenog u funkciji vanjske temperature.



Slika 2.15. Ladder logika za upravljanje svjetlosti



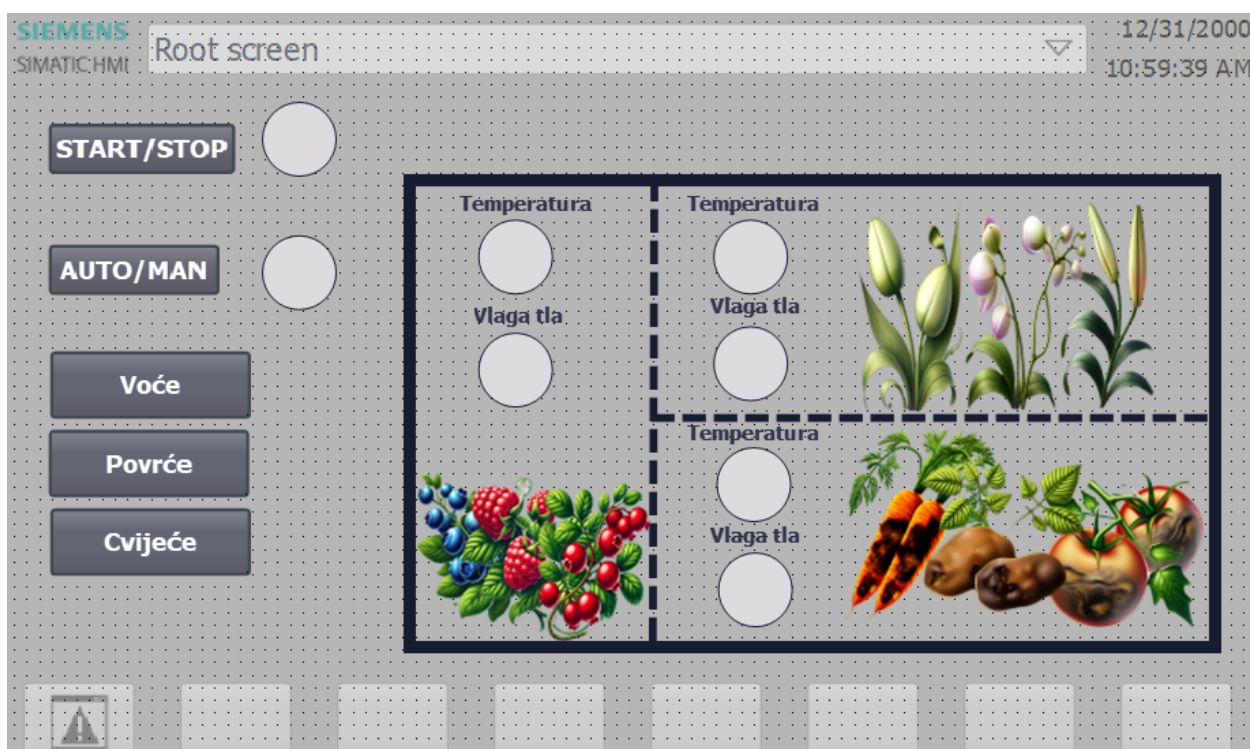
Slika 2.16. Odziv procesne varijable regulacijskog kruga svjetlosti

Ovime je završen opis logike upravljanja realiziran u TIA Portal-u koristeći *Ladder* logiku. Preostali dio programa uključuje alarmna stanja i manipuliranje varijablama koje se prikazuju na HMI-u, što će biti opisano u idućim poglavljima.

3. Korisničko sučelje (HMI)

3.1. Glavni ekran

Kao što je spomenuto u uvodu, staklenik je u ovoj simulaciji podijeljen na tri uzgojne zone - voće, povrće i cvijeće. Za svaku od tih zona, u svrhu vizualizacije procesa dozrijevanja, generirane su slike pomoću alata umjetne inteligencije. Ovisno o uvjetima dozrijevanja, omogućava se varijabla koja prikazuje trenutno stanje uroda, odnosno je li u procesu dozrijevanja, je li sazrijelo, ili je istrunulo zbog nepovoljnih klimatoloških uvjeta.

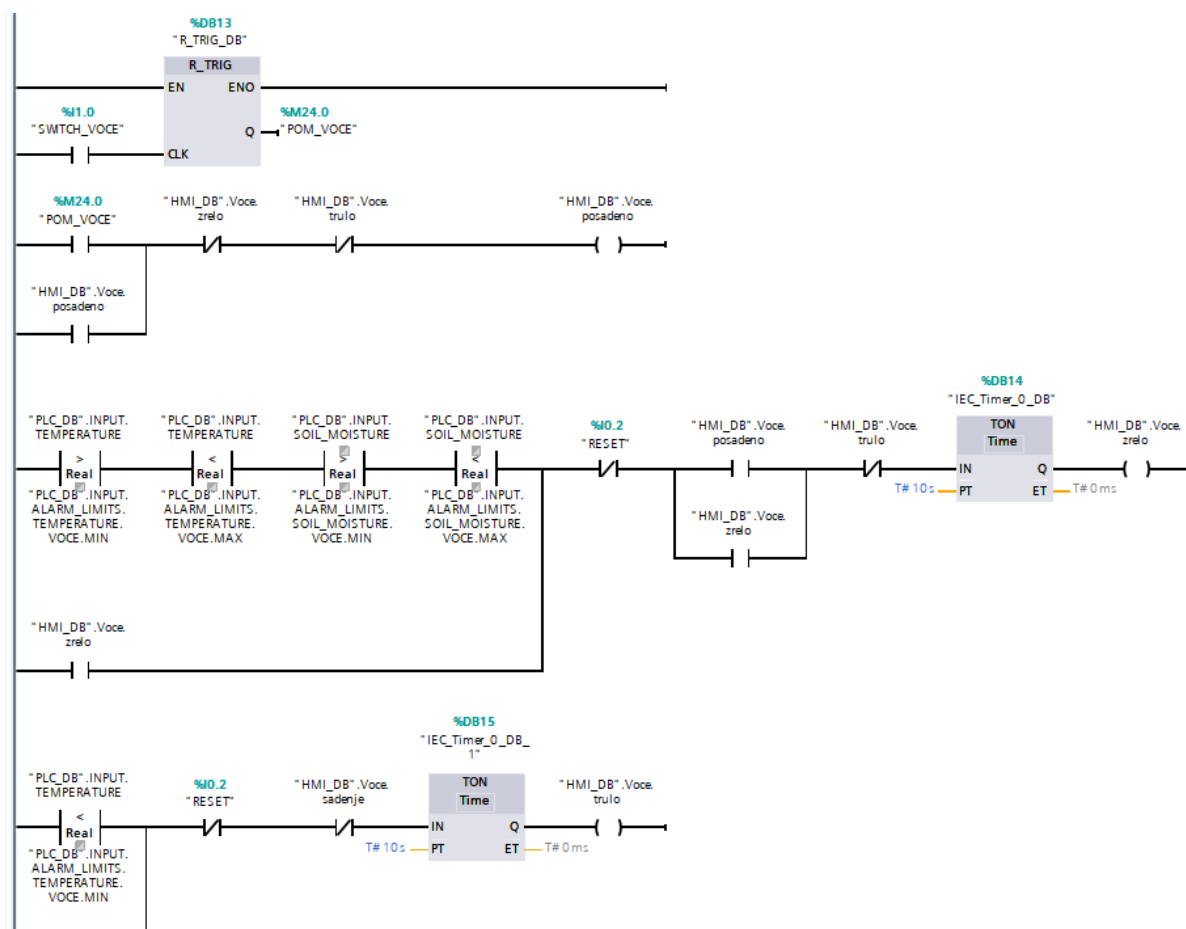


Slika 3.1. Prikaz glavnog ekrana korisničkog sučelja

Slika 3.1 prikazuje glavni ekran s različitim stanjima za svaku uzgojnu zonu - voće zrelo, povrće istrunulo, a cvijeće u procesu sazrijevanja. Tijekom simulacije, ove slike se dinamički izmjenjuju ovisno o uvjetima sazrijevanja, što je ostvareno mogućnošću *Visibility* unutar TIA Portal-ovog HMI uređivača.

3.2. Animacija procesa sazrijevanja

Varijable o kojima ovisi prisutnost pojedine slike čitaju se s PLC-a, a uvjeti za njihovo uključanje su realizirani u organizacijskom bloku *Ladder* logikom. Slika 3.2 prikazuje logiku uključanja varijabli stanja voća.



Slika 3.2. Prikaz logike za animaciju stanja voća

Za svaku skupinu posađenih biljnih vrsta namijenjena je jedna sklopka za 'sađenje', odnosno za početak ciklusa, na lokalnom panelu. Osim na lokalnom panelu, svaka od biljnih vrsta može se, također zasebno, 'posaditi' i na HMI-u. Kao što je vidljivo na slici 3.2, programski kod reagira na uzlazni brid i time se pokreće animacija procesa sazrijevanja. Konkretno, uključenjem sklopke SWITCH_VOCE, na korisničkom sučelju pojavljuje se slika voća u procesu dozrijevanja.

Uvjet za stanje zrelosti je da se najmanje 10 sekundi varijable temperature i vlažnosti tla drže unutar dozvoljenih granica koje se mogu mijenjati na HMI-u. Kao što je vidljivo na slici 3.2, to je realizirano *timerom* TON, a uvjeti da voće uopće može postati zrelo su

- voće je posađeno
- okolišni uvjeti (temperatura i vlaga)
- voće već nije istrunulo

Ako su ti uvjeti ispunjeni, na ekranu se pojavljuje sličica voća identična onoj na slici 3.1. Tada se ujedno na ekranu voća, prikazanom na slici 3.3, omogućuje tipka Berba koja je povezana na RESET varijablu.



Slika 3.3. Prikaz ekrana za animaciju stanja voća

Voće će zatim ostati u stanju zrelosti sve do uključanja RESET varijable, bilo tipkalom na lokalnom panelu, bilo pritiskom na tipku BERBA na HMI-u, ili do ispunjenja uvjeta za truljenje voća. Uvjet za truljenje voća je da je bilo koja od procesnih varijabli izvan dozvoljenih granica dulje od 10 sekundi.

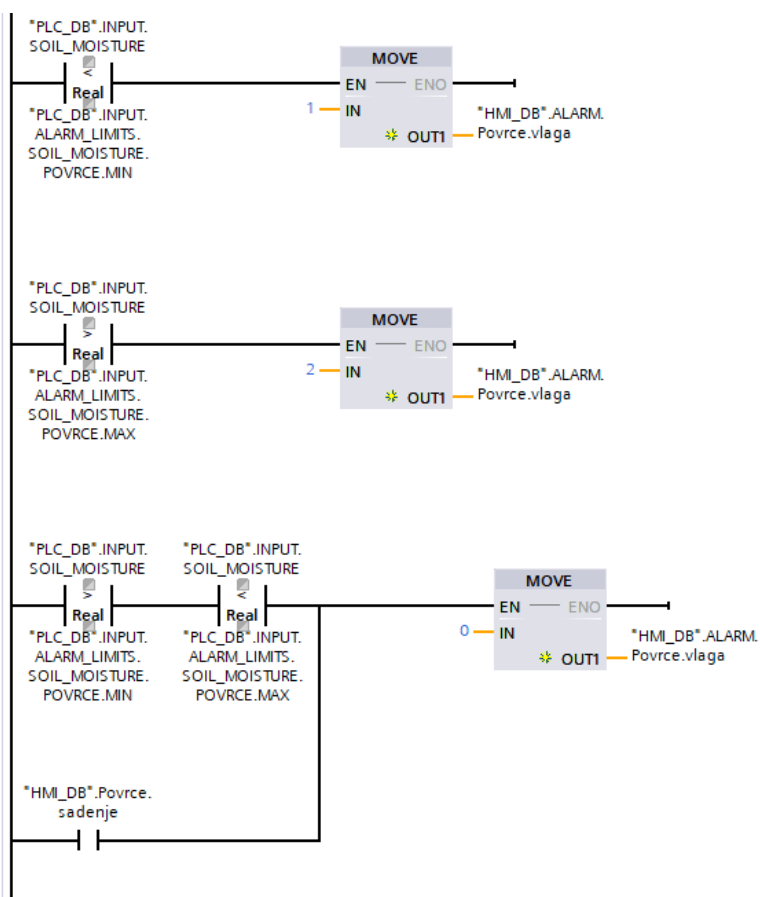
U tom slučaju, na HMI-u se pojavljuje tipka UKLONI TRULE USJEVE koja je također povezana s varijablom RESET.

3.3. Prikaz alarmnih stanja

LED indikatori na korisničkom sučelju signaliziraju stanje promatrane varijable:

- LED indikator ugašen - varijabla je unutar dozvoljene granice
- LED indikator svijetli plavom bojom - varijabla je ispod dozvoljene granice
- LED indikator svijetli crvenom bojom - varijabla je iznad dozvoljene granice

Ovo je ostvareno mogućnošću *Appearance* unutar uređivača korisničkog sučelja, a logika je ostvarena u organizacijskom bloku TIA Portal-a. Također, na HMI-u je ostvareno i praćenje procesnih varijabli prikazano na slikama 2.9, 2.14 i 2.16 koristeći *Trend view* blok unutar uređivača korisničkog sučelja.



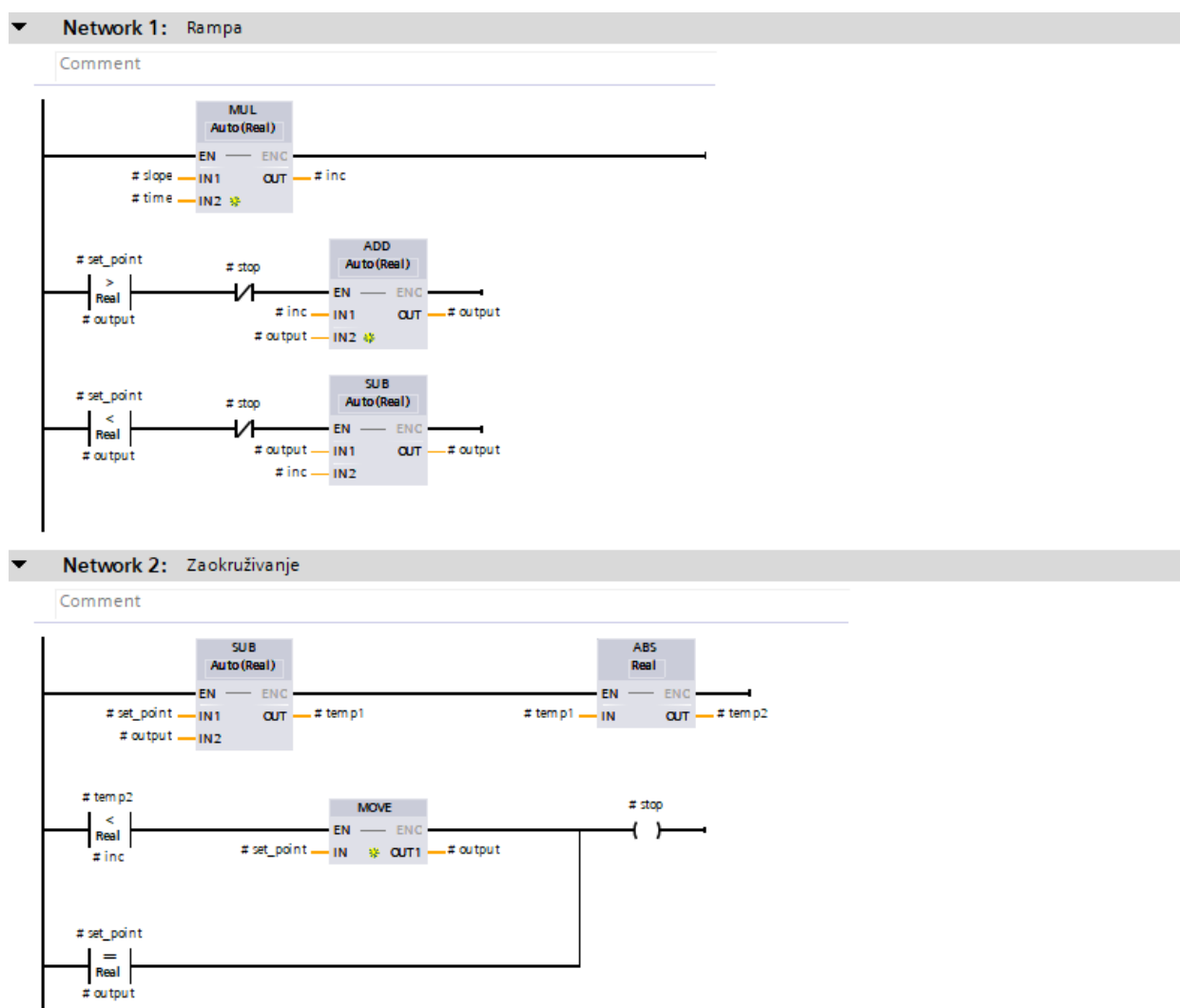
Slika 3.4. Prikaz logike za alarmna stanja povrća

Slika 3.4 prikazuje alarmnu logiku za povrće; identična logika je napravljena i za voće i cvijeće. Također, povrće i cvijeće imaju identične ekrane kao i voće, samo s različitim sličicama za vizualizaciju stanja usjeva.

3.4. Zadavanje referentnih vrijednosti procesnih varijabli

Zadavanje referentne temperature ostvareno je pomoću potenciometra na lokalnom panelu. Preko funkcije skaliranja maksimalna referentna vrijednost se svodi na 100, a pomoću generatora rampe se postiže postepena promjena vrijednosti referentne temperature. Funkcija skaliranja realizirana je blokom *Calculate* u kojem je implementirana funkcija pravca.

Osim dvosmjernosti rampe, ostvareno je i zaokruživanje izlazne vrijednosti na vrijednost izlaza funkcije skaliranja. Ovime se eliminiraju oscilacije nastale uslijed zaokruživanja i nekompatibilnosti varijabli (izlaz iz funkcije skaliranja je cjelobrojna, a izlaz iz generatora rampe realna vrijednost).



Slika 3.5. Prikaz logike za generator rampe

S obzirom da je na lokalnom panelu dostupan samo jedan potenciometar, preostale referentne vrijednosti - za vlagu zraka, vlagu tla i svjetlost - zadaju se izravno s HMI-a.

4. Zaključak

Prilikom izrade ovog rada, namjera je bila obuhvatiti i primjeniti što više što različitijih pristupa kako bi se primjenio širok raspon stečenih znanja tijekom fakultetskog obrazovanja. Zbog same izvedbe rada - simulacije, ali ne i primjene na stvarnom objektu - smatramo da je ovakav pristup opravdan, bez obzira na ozbiljne nedostatke koji bi učinili ovaj rad neprimjenjivim u stvarnosti.

Prilikom izrade modela temperaturnog procesa, nastojali smo obuhvatiti fizikalne zakonitosti toplinskog procesa i regulacijskih krugova, te smo detaljno matematički modelirali svaki blok regulacijskog procesa. Zatim smo svaki podsustav modelirali zasebno, te ih povezali u kompaktnu cjelinu.

Kako bismo izbjegli ponavljanje i korištenje gotovih blokova za sve četiri procesne varijable, regulaciju vlažnosti zraka i vlažnosti tla nastojali smo ostvariti drugačijim pristupom - korištenjem *timera* TON i TP, te cikličkom manipulacijom referentnih vrijednosti.

Prilikom implementiranja regulacije svjetlosti, pristup je opet bio drugačiji kako bismo svakoj varijabli pristupili na drugačiji način, a opet zadržali i ostvarili sam smisao regulacije.

Također, sve tri uzgojne zone imaju iste granice dozvoljenog raspona procesnih varijabli što u stvarnosti nije slučaj. Međutim, ovime smo izbjegli redundanciju i 'zagušenje' programskog koda, s obzirom da bismo morali dodavati posebne varijable za svaku uzgojnu zonu, a primjeniti identičnu logiku upravljanja. Smatrali smo to suvišnim za sam smisao ovog rada.

Bibliografija

- [1] prof. dr. sc. Danijel Jug: *"Utjecaj topline na biljnu proizvodnju"*, članak u Gospodarskom listu, veljača 2023.
- [2] P. A. Fowler, et. al.: *"Comparison of Energy Needed to Heat Greenhouses and Insulated Frame Buildings Used in Aquaculture"*, University of Florida, 2021.
- [3] S Interneta: *"Greenhouse Heating Systems"*, GVZ Glasshouses
- [4] S Interneta: *"Greenhouse temperature sensor PT1000 Series"*, Hotraco Horti, Nizozemska
- [5] S Interneta: *"Greenhouse humidifier systems"*, Fogco, Sjedinjene Američke Države
- [6] Barkat Rabbi, et. al.: *"Protected Cropping in Warm Climates: A Review of Humidity Control and Cooling Methods"*, Energies Journal, 2019.
- [7] S Interneta: *"Greenhouse Humidity And Temperature"*, DryGair Energies, Izrael