



Antti Juntunen

# Massapuristimen lämpötilasäätimen päivitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

7.11.2023

# Tiivistelmä

Tekijä: Antti Juntunen  
Otsikko: Massapuristimen lämpötilasäätimen päivitys  
Sivumäärä: 28 sivua + 2 liitettä  
Aika: 7.11.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Reijo Leinonen  
Automaatioinsinööri Jussi Korolainen

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää eräiden massapuristimien lämpötilasäädön ohjausta. Tavoitteena oli muuttaa aiemmin paikallisilla yksikkösäätimillä toteutettu lämpötilanohjausjärjestelmä PLC-pohjaiseksi järjestelmäksi, joka mahdollistaa prosessimuuttujien siirtämisen kenttäväylällä ylemmän tason järjestelmään.

Opinnäytetyössä perehdyttiin lämpötilansäädön teoriaan ja toteutustapoihin käytettäessä ohjelmoitavaa logiikkaa. Lisäksi perehdyttiin ihmisen ja koneen välisen rajapinnan suunnitteluun.

Opinnäytetyön aikana kehitettiin lämpötilanohjaukseen soveltuva PLC-pohjainen järjestelmä sekä järjestelmään liittyvä ihmisen ja koneen välinen rajapinta toteutettuna kosketusnäyttöpaneelilla. Lisäksi laadittiin järjestelmän käyttöohje ja käyttöönottoa varten tarvittava dokumentaatio.

Avainsanat: lämpötilansäätö, PID-säädin, ihmisen ja koneen välinen rajapinta.

## Abstract

Author: Antti Juntunen  
Title: Upgrade of the Extruder Temperature Control  
Number of Pages: 28 pages + 2 appendices  
Date: 7 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Reijo Leinonen, Senior Lecturer  
Jussi Korolainen, Automation Engineer

---

The purpose of this thesis work was to develop the temperature control of the extruder. The goal was to change the temperature control system, previously implemented with local unit controllers, into a PLC-based system that enables process variables to be transferred to a higher-level system via a field bus.

The thesis study explored the theory and implementation methods of temperature control using a programmable logic controller and the designing principles of human machine interface.

During the thesis work, a PLC-based system for temperature control was developed, as well as the interface between human and machine related to the system implemented with a touch screen panel. In addition, the user manual of the system and the necessary documentation for commissioning were prepared.

Keywords: Temperature control, PID-controller, human machine interface

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteiston kuvaus ja nykytilanne	1
2.1	Puristimen toiminta ja rakenne	1
2.2	Puristimen toimintaan vaikuttavat parametrit	2
2.3	Nykytilanteen kuvaus	3
3	Lämpötilansäätö	4
3.1	PID-säädin	4
3.2	PID-säätimen viritys	5
3.3	Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmä	7
3.4	PID-säätimen kokeellinen viritys	8
4	Ihmisen ja koneen välinen rajapinta	9
4.1	Käyttöliittymän peruseriaatteita	9
4.2	Käyttöliittymän ohjaimet	10
4.3	Muotojen ja symboleiden käyttö HMI-paneelissa	12
4.4	Värien käyttö HMI-paneelissa	13
5	Puristimien lämpötilasäätimien päivitys	13
5.1	Nykyiseen laitteistoon tutustuminen	14
5.2	Toivottujen toiminnallisuuksien kartoitus	14
5.3	Laitteistomuutosten suunnittelu	15
5.4	Ohjelman suunnittelu ja toteutus	15
5.5	Ohjelman rakenne	17
5.6	Käyttöliittymä	20
5.7	Toiminnan testaus testiympäristössä	23
5.8	Dokumentaatio	27
6	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

## Liitteet

Liite 1: Testaussuunnitelma

Liite 2: Lämpötilansäätimen käyttö- ja huolto-ohjeen sisällysluettelo

## Lyhenteet

- AI: *Analog Input*. Ohjauslaitteen analoginen tulo.
- AO: *Analog Output*. Ohjauslaitteen analoginen lähtö.
- DI: *Digital Input*. Ohjauslaitteen digitaalinen tulo.
- DO: *Digital Output*. Ohjauslaitteen digitaalinen lähtö.
- DP: *Decentralized Periphery*. Hajautettu I/O.
- FBD: *Function Block Diagram*. Graafinen ohjelmointikieli PLC-ohjaimen ohjelmoimiseksi.
- HMI: *Human Machine Interface*. Ihmisen ja koneen välisen vuorovaikutuksen mahdollistava rajapinta.
- I/O: *Input Output*. Tulot ja lähdöt. Ohjaimen rajapinta esimerkiksi antureihin ja toimilaitteisiin.
- OB: *Organization Block*. PLC-ohjelman käyttöjärjestelmän kutsuma ohjelmalohko.
- PID-säädin: *Proportional-Integral-Derivate controller*. Voidaan käyttää säätimen rakenteen mukaan myös muodoissa P-, PI- tai PD-säädin.
- PLC: *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikkaohjain.
- SCL: *Structured Control Language*. Tekstipohjainen ohjelmointikieli.
- TIA-portal: *Totally Integrated Automation*. Ohjelmointiympäristö Siemensin valmistamille automaatiolaitteille.
- VAC: *Voltage alternating current*. Vaihtovirtajännite.

# 1 Johdanto

Työpaikallani tarjoutui mahdollisuus tehdä opinnäytetyöprojekti liittyen eräiden massapuristimien eli extrudereiden lämpötilansäätimen päivitykseen. Kyseisiä puristimia on tuotantolinjalla useita, mutta niiden toiminnallisuuden samankaltaisuuden takia tässä opinnäytteessä keskitytään yksittäisen puristimen lämpötilansäätöjärjestelmän kehittämiseen.

Puristimien lämpötilansäätimen päivitys on ajankohtaista, koska nykytilanteessa puristimien lämpötila on nähtävissä ja säädettävissä ainoastaan puristimien yhteydessä olevilta yksikkösäätimiltä. Prosessin historiatiedon keräysjärjestelmän kehittämishankkeen yhteydessä oli tunnistettu tarve saada kyseisten puristimien lämpötilan tosiarvo sekä muutamia muita puristimeen liittyviä parametreja luettavaksi kenttäväylän kautta. Lisäksi järjestelmän päivityksen myötä kyseisten puristimien lämpötilanohjaus voidaan keskittää puristinkohtaisten paikallisohjauksipisteiden sijasta yhteen ohjauspisteeseen.

Prosessin historiatiedon keräysjärjestelmän kehitysprojektin yhteydessä oli tilattu lämpötilaohjauksen päivitykseen tarvittavat komponentit. Aiemmin tilattuja komponentteja voitiin opinnäytetyön aikana hyödyntää testausympäristön rakentamiseen.

Tuotannollisten aikataulujen takia tarkkaa asennusajankohtaa ei ole vielä päätetty. Asennusajankohtaan liittyvän epävarmuuden takia asennustyöt tuotantolinjalle ja käyttöönotto rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

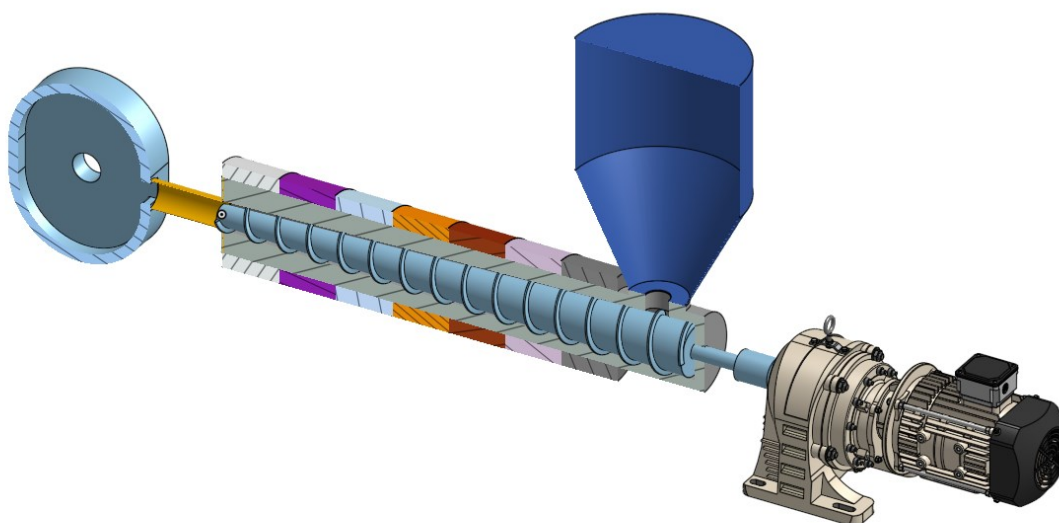
## 2 Laitteiston kuvaus ja nykytilanne

### 2.1 Puristimen toiminta ja rakenne

Puristimen käyttämä raaka-aine granulaatti toimitetaan tuotantolinjalle noin 1 m<sup>3</sup>:n laatikoissa. Laatikoista materiaali siirretään alipainejärjestelmällä

puristimen päällä olevaan siiloon, josta materiaali valuu painovoimaisesti puristimen syöttövyöhykkeeseen.

Puristimen ruuvi puristaa raaka-aineen eteenpäin lämpötilasäädellyssä sylinterissä, jolloin rakeet pehmenevät lämmön ja paineen vaikutuksesta elastiseksi massaksi. Sylinteristä massa johdetaan lämmitetyn yhdysputken kautta lämpösäädelyyn puristinpäähän. Kuvassa 1 on esitetty puristimen rakenne.



Kuva 1. Massapuristimen rakenteen periaate.

Puristimen lämmitysvyöhykkeiden asennusperiaate on esitetty kuvassa 1 väreillä korostetuilla lohkoilla puristimen sylinterin ympärillä.

## 2.2 Puristimen toimintaan vaikuttavat parametrit

Puristimen toimintaan vaikuttavat muun muassa puristimen ruuvien kierrosnopeus ja lämmitysvyöhykkeiden lämpötila.

Ruuvien kierrosnopeus vaikuttaa puristimen tuottaman massan määrään. Nopeuden asetus suoritetaan tarkkailemalla puristinpäähän ylitäytön aiheuttamaa



massakertymää ja asettamalla tuotto sellaiseksi, että puristuspään etupuolelle muodostuu massavalli.

Puristimen vyöhykkeiden lämpötilat sekä vyöhykekohtaiset yli- ja alilämpötilarajat määritetään materiaaliakohtaisesti raaka-ainetoimittajan tarjoaman lämpöprofiilin tai kokemusperäisten tietojen pohjalta. Lämpötilan hienosäätöön vaikuttaa myös raaka-aineen, ympäristön sekä tuotantolinjalla käsiteltävän tuotteen lämpötila.

### 2.3 Nykytilanteen kuvaus

Nykyisellään puristimella on paikallinen yksikkösäätimin toteutettu lämpötilansäätö. Lisäksi paikallisella ohjauspaikalla on puristimeen toimintaan vaikuttavia ohjaimia sekä puristinpään paineen ja lämpötilan näytöt. Puristimen tavanomainen ohjauspaikka esitettynä kuvassa 2.



Kuva 2. Nykyisin käytössä oleva ohjauspiste.

Paikallisohjauksen lisäksi puristinta ohjataan linjaohjauksen kautta. Linjaohjaukseen on kytketty ruuvien kierrosnopeuden säätö sekä ruuvien pyörimistä ohjaava linjan seis/ käy-tilatieto, lisäksi puristimen hälytykset ja tilatiedot on johdotettu linjaohjauksen PLC:n digitaalituloihin.

### 3 Lämpötilansäätö

Tuotantoprosesseissa lämpötilan säätämistä tarvitaan prosessille soveltuvan lämpötilan ylläpitämiseen sekä prosessin vaatimien lämpötilamuutosten toteuttamiseen. Prosessin aikana ennalta määritettyjen muutosten lisäksi lämpötilan säätötarvetta aiheuttavat muun muassa prosessin vaatiman lämpötilan ylläpito tai eksotermisessä prosessissa muodostuvan lämpöenergian aiheuttama jäähdytystarve.

Lämpötilansäädön haasteellisuutta lisäävät prosessissa esiintyvät muutokset ja häiriöt, prosessimateriaalien ominaisuudet sekä ympäröivien rakenteiden lämpökapasiteetista johtuvat hitaudet. Edellä mainittujen haasteiden takia lämpötilansäätö toteutetaan usein PID-säätimen tai sen variaatioiden avulla.

#### 3.1 PID-säädin

PID-säädin on teollisuusautomaatiossa yleinen takaisinkytkennän sisältävä säädintyyppi, joka soveltuu useiden prosessisuureiden ohjaukseen. Vaatimus PID-säätimen käytölle on se, että ohjattavan suureen tulee olla mitattavissa ja ohjauksen on oltava toteutettavissa ohjaamalla toista suuretta, kuten venttiilin toimilaitetta, jäähdytyspuhallinta tai lämmitysvastusta. [1, s. 307.]

PID-säätimen ja sen variaatioiden toiminnassa oleellisia suureita ovat ohjattavan prosessisuureen mitattu nykyarvo (säätimen tulo) ja säätötavoitetta osoittava asetusarvo sekä näiden erotuksena laskettu erosuure. Edellä mainittujen suureiden perusteella säätimessä lasketaan ohjaussuure, jonka perusteella toteutetaan ohjaus. [2, s. 44–50.]

PID-säädin koostuu kolmesta osasta, joita yhdistelemällä voidaan muodostaa haluttu säädinrakenne, mahdollisia yhdistelmiä ovat P-, PI-, PD- ja PID-säädin. Säätimen P-osa (proportional, suhteellinen) ohjaa säätimen asetusarvon ja prosessista mitatun säätimen tuloarvon erotuksena saatavan erosuureen  $e(t)$  perusteella ohjaussuuretta  $u(t)$ . P-osan toimintaa kuvaa kaava 1

$$u(t) = K_p e(t) + u_0 \quad (1)$$

jossa  $K_p$  on säätimen vahvistuskerroin ja  $u_0$  on ohjaussuureen vakiotaso eli bias eroisuureen arvon ollessa nolla. [2, s. 44–49.]

Säätimen I-osalla pyritään korjaamaan P-osassa aiheutuvaa säätöpoikkeamaa eli offset-virhettä. I-osan algoritmissa bias-termi on korvattu ajan funktiona muuttuvana integraalilauseella, joka muuttaa ohjaussuuretta niin kauan, kunnes erosuure on nolla. PI-säätimen toimintaa kuvaa kaava 2

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right) \quad (2)$$

jossa  $T_i$  on integrointi-aika. [2, s. 47–48.]

Säätimen D-osalla pyritään reagoimaan eroisuureen muutosnopeuteen pyrkien muun muassa vähentämään prosessissa esiintyvien hitauksien aiheuttamia säätöalueen ylityksiä. PID-säätimen toimintaa kuvaa kaava 3

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

jossa  $T_d$  on derivointiaika. [2, s. 48–49.]

### 3.2 PID-säätimen viritys

PID-säätimen virityksellä pyritään saavuttamaan hyväksyttävissä oleva kompromissi säätimelle asetettujen tavoitteiden suhteen. Säätimen tavoitteet voivat liittyä esimerkiksi säädön nopeuden ja tarkkuuden lisäksi säädön vakauden, häiriösietoisuuden sekä mahdollisten ristikkäisvaikutusten hallintaan. Ennen PID-säätimen viritämisen aloittamista onkin selvitettävä säädettävän prosessin asettamat reunaehdot sekä hyväksyttävissä olevat säätövasteet. [2, s. 107–111.]

PID-säätimen virityksessä etsitään säädettävälle prosessille sopivat viritysparametrit, joita ovat säätimen vahvistuskerroin  $K_p$  sekä integrointiaika  $T_i$  ja derivointiaika  $T_d$ . Lisäksi esimerkiksi säätimen tulosignaalin kohinan takia voidaan lisätä säätimeen derivoinnin suodatus, jolloin D-osaan lisättyyn suodatuksen aikavakioon  $T_{df}$  vaikuttamalla voidaan rauhoittaa derivoinnin vaikutusta ohjaussuureeseen. Tällöin PID-säätimen toimintaa kuvaa kaava 4:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + D \right) \quad (4)$$

jossa derivointiosaa kuvaa kaava 5:

$$D = T_d \frac{de(t)}{dt} - T_{df} \frac{dD}{dt} \quad (5)$$

Derivoinnin suodatuksen aikavakio määritetään kaavalla 6:

$$T_{df} = \frac{T_d}{N} \quad (6)$$

jossa  $N$  on suodatuskerroin. [2, s. 50–51.]

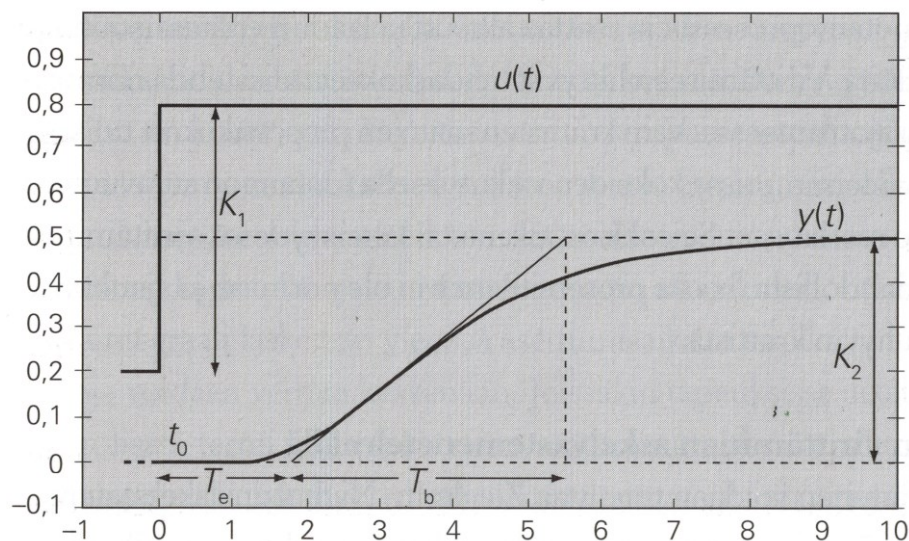
PID-säätimen viritysparametrien määrittelyyn voidaan käyttää prosessin matemaattiseen malliin tai prosessista saatuun mittausdataan pohjautuvia viritysohjelmistoja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää yksinkertaisempia menetelmiä, kuten Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmää tai Ziegler-Nicholsin jatkuvan värähtelyn menetelmää, joista jälkimmäinen soveltuu heikosti prosessiteollisuuden tarpeisiin. Edellä mainittujen menetelmien lisäksi yritys ja erehdys on usein käytetty parametrien iterointimenetelmä. [2, s. 107–102; 3, s. 136–143.]

PID-säätimen virityksen aikana prosessin tulisi olla lähellä normaalia ajotilaa, joten luontevinta olisi suorittaa PID-säätimen viritys tuotantoajan aikana. Kuitenkin säätimen parametrien hakeminen tai testaaminen prosessin käydessä voi aiheuttaa yllättäviä muutoksia säätimen toimintaan ja aiheuttaa häiriöitä

prosessiin tai pahimmassa tapauksessa vaarantaa prosessiturvallisuuden. [3, s. 136–143.]

### 3.3 Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmä

Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmä on 1940-luvulla esitelty viritysmenetelmä, joka perustuu askelvastekokeella määriteltäviin prosessiparametreihin, joiden perusteella PID-säätimen viritysparametrit ovat määriteltävissä. Askelvastekoe suoritetaan mahdollisuuksien mukaan prosessin normaalia ajotilannetta vastaavassa tilanteessa asettamalla tarkasteltava säädin käsikäytölle ja tekemällä askelmainen muutos säätimen lähtömuuttujaan ajanhetkellä  $T_0$ . Muutoksen jälkeen odotetaan, kunnes säädettävä prosessimuuttuja vakiintuu uudelle tasolle. Kokeen aikana tallennetaan säätimen lähtömuuttujan sekä säädettävän prosessisuureen arvo ajan suhteen [2, s. 115; 3, s. 141–142.]. Kuvassa 3 esitetään askelvastekokeen tuloksen kuvaaja sekä prosessiparametrien määrittäminen.



Kuva 3. Askelvastekokeen kuvaaja sekä prosessiparametrien määrittäminen [3, s. 142].

Prosessiparametrien määrittely aloitetaan piirtämällä säädettävän suureen kuvaajan jyrkimpään kohtaan tangentin suuntainen jana, joka leikkaa säädettävän suureen alku- ja lopputason. Kuvaajasta määritetään kuvan 3 mukaisesti viive ( $T_e$ ), aikavakio ( $T_b$ ), lisäksi askeleen ( $K_1$ ) ja vasteen suuruuden ( $K_2$ ) perusteella määritetään kaavan 7 mukaisesti prosessin vahvistus ( $K$ ). [3, s. 141–142.]

$$K = \frac{K_1}{K_2} \quad (7)$$

Askelvastekokeen kuvaajasta määriteltyjen prosessiparametrien perusteella määritetään taulukon 1 laskukaavoilla PID-säätimen viritysparametrit [3, s. 141–142].

Taulukko 1. PID-säätimen viritysparametrien laskentakaavat käytettäessä Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmää [3, s. 142].

Säätimen tyyppi	Säätimen vahvistus $K_p$	integrointiaika $T_i$	Derivointiaika $T_d$
P	$K_p = \frac{T_b K_1}{T_e K_2}$		
PI	$K_p = 0,9 \frac{T_b K_1}{T_e K_2}$	$T_i = 3 T_e$	
PID	$K_p = 1,2 \frac{T_b K_1}{T_e K_2}$	$T_i = 2 T_e$	$T_d = 0,5 T_e$

### 3.4 PID-säätimen kokeellinen viritys

PID-säätimen viritysparametrien hakeminen kokeellisesti on suhteellisen yleinen tapa virittää erityisesti toisarvoisia PID-säätimiä. Kokeellisessa virityksessä ongelmaksi voi muodostua viritykseen käytettävä aika, sillä erityisesti hitailla prosesseilla viritysparametrien muutoksen havaitsemiseen voi kulua huomattavan pitkään. Lisäksi yritys ja erehdys -menetelmällä viritysparametreja haettaessa tulee kiinnittää huomiota ohjatun prosessisuureen lisäksi PID-säätimen

ohjaussuureen käyttäytymiseen, esimerkiksi lämpötilan säädössä jatkuva lämmitys- ja jäähdytysyökin vaihtelu voi tuottaa halutun prosessisuureen arvon energiatehokkuuden kustannuksella. [2, s. 114.]

Suorittaessa kokeellista PID-säätimen viritystä suorittajan tulisi tietää, miten säätimen parametrit vaikuttavat prosessin toimintaan, ja tuntea nyrkkisäännöt, miten säädinparametrien muutokset vaikuttavat prosessin nopeuteen ja stabiliteettiin [2, s. 114].

## **4 Ihmisen ja koneen välinen rajapinta**

Ihmisen ja koneen välinen rajapinta eli käyttöliittymä muodostuu ohjaimista ja koneen tilaa ilmaisevista signaalilähteistä. Standardissa SFS-EN 60447 [4, s. 10–12] ihmisen ja koneen välinen rajapinta määritellään seuraavasti: ”laitteen ne osat, jotka on tarkoitettu mahdollistamaan laitteen ja sen käyttäjän suora vuorovaikutus, ja jotka antavat käyttäjälle mahdollisuuden ohjata ja valvoa laitteen toimintaa”

Standardissa SFS-EN 60447 [4, s. 10–14] ohjaimella tarkoitetaan ihmisen ohjaustoimenpiteen koneen ohjausjärjestelmälle välittävää osaa, jonka muoto ja toimintamekanismi voi vaihdella. Samaisen standardin mukaan signaalit voivat perustua näkö- kuulo- tai tuntoaistiin.

Tässä opinnäytetyössä ihmisen ja koneen välinen rajapinta toteutetaan käyttäen kosketusherkkää näyttöä eli HMI-paneelia, joten teoriaosiossa keskitytään ihmisen ja koneen välisen rajapinnan toteutukseen HMI-paneelin avulla.

### **4.1 Käyttöliittymän peruseriaatteita**

Käyttöliittymän suunnittelussa on huomioitava järjestelmän turvalliseen käyttöön, käytettävyyteen sekä käyttäjän henkilökohtaisiin ominaisuuksiin ja kulttuuristaan liittyviä näkökohtia.

Turvallisen käytön suunnitteluratkaisuilla pyritään estämään tai pienentämään käyttäjän virheestä johtuvia vahinkoja. Suunnitteluratkaisut voivat liittyä esimerkiksi vastakkaisten käskyjen välisen tärkeysjärjestyksen määrittelyyn sekä prosessin tai koneen tilan mukaan määriteltäviin turvallisuusominaisuuksiin. Tilanekohtaisesti määriteltäviä turvallisuusominaisuuksia voivat olla esimerkiksi hidastetun liikkeen tai rajoitetun voiman käyttäminen, ohjauksen lukitus tai ohjauuskäskyn vahvistuksen pyytäminen. Lisäksi inhimillisten virheiden vähentämiseksi ohjausnäyttöjen tulisi sisältää kaikki tehtävän suorittamiseen tarvittava informaatio, jotta vältetään käyttäjän muistinvaraiselta tiedon siirrolta eri ohjausnäyttöjen välillä. [4, s. 14; 6, s. 369.]

Käytettävyyteen liittyvät suunnitteluratkaisut liittyvät ohjaimien ja prosessista tarjottavan tiedon ryhmittelyyn, ohjausnäyttöjen sisällön määrittelyyn ja merkintöjen sekä signaalien selkeyteen ja tunnistettavuuteen. Käyttöliittymä tulisikin pitää riittävän yksinkertaisena erityisesti ennakolta suunniteltujen tehtävien suorittamiseen liittyvien ohjausnäyttöjen osalta. Lisäksi käyttöliittymän tulisi antaa vaste käyttäjän antamalle ohjaustoimenpiteelle, jotta käyttäjä voi varmistua ohjaustoimenpiteen onnistumisesta. [5, s. 103–107; 6 s. 369.]

Käyttöliittymän suunnittelussa huomioitavia käyttäjään liittyviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi näköaistin rajoitteet, joihin vastaamiseksi käyttöliittymän tulisi tarjota informaatio selkeällä ja riittävän suurikokoisella fontilla sekä riittävällä kontrastilla. Kulttuurisidonnaisista ominaisuuksista käyttöliittymän suunnittelussa on otettava huomioon muun muassa käyttäjän kielen lukusuunnan mukainen katseen kulkusuunta. Länsimaisella käyttäjällä tämä tarkoittaa sitä, että havainnointi etenee vaistomaisesti vasemmasta ylänurkasta kohti oikeaa alanurkkaa, jolloin tärkein informaatio tulisi sijoittaa vasempaan ylänurkkaan. [5, s. 103–107; 7, s. 18–20.]

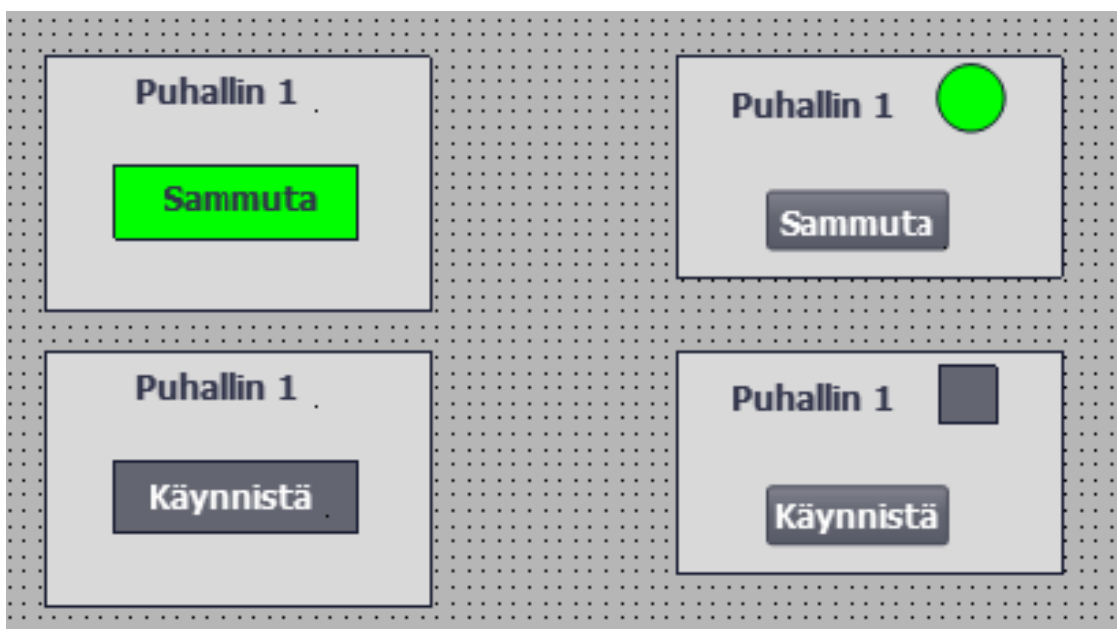
## 4.2 Käyttöliittymän ohjaimet

Standardi SFS-EN-60447 [4, s. 10] määrittelee ohjaimen ihmisen ohjaustoimenpiteen vastaanottavaksi mekanismin osaksi, joka voi olla muodoltaan kahva,



nuppi, painike, paina-paina painike, paina-vedä painike, rulla, ohjaustappi, hiiri, valokynä, näppäimistö tai kosketusherkkä näyttö. Ohjaimien sijoittelun suunnittelussa muodostetaan käyttäjälle ohjausmahdollisuuksien tarjouma eli affordanssi, joka havaintopsykologian käsitteenä tarkoittaa toimijan havaitsemia toiminnan mahdollisuuksia. Käyttöliittymän tarjouman suunnittelussa pyritään tunnistamaan käyttäjän kussakin tilanteessa tarvitsemat ohjausvaihtoehdot ja tuomaan ne esille siten että käyttäjä voi tunnistaa tarjotut ohjausvaihtoehdot ja niiden vaikutukset yksiselitteisesti ilman muistinvaraisia sääntöjä. [5, s. 110–111.]

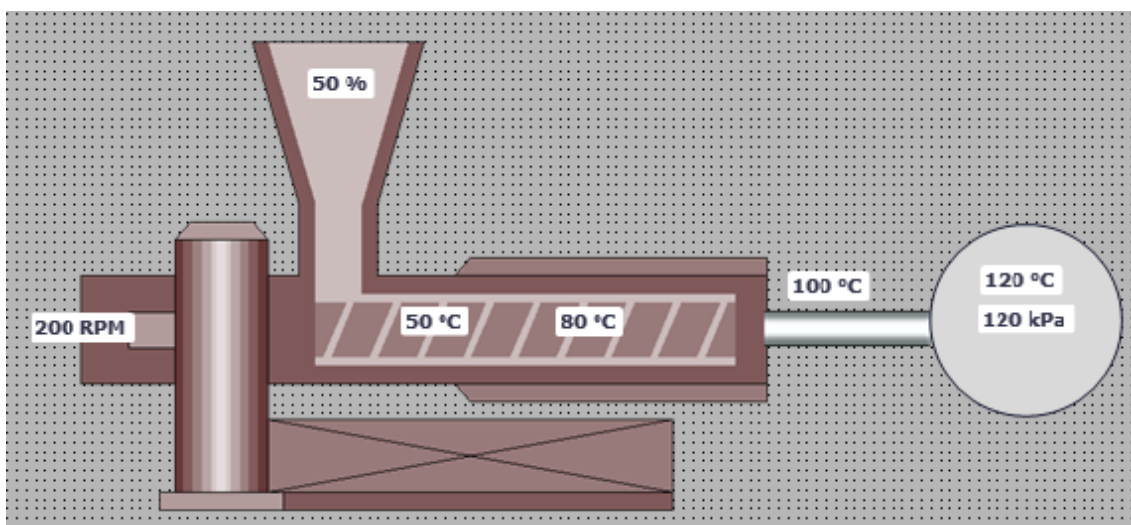
Ohjaimien suunnittelussa on huomioitava ohjaimen yhteydessä oleva informaatio, kuten painikkeen väri, teksti ja symboli sekä varmistuttava, ettei niistä muodostu ristiriitaista informaatiota ohjaimen käyttötarkoituksesta. Kuvassa 4 on esitettyä esimerkki ohjaimesta ja sen yhteydessä esitettävästä laitteen käyntitilaa kuvaavasta informaatiosta. Kuvan vasemmanpuolen ylemmän ohjaimen painikkeen vihreä väri ja tekstin tarjoama ohjausvaihtoehto muodostavat ristiriidan, kun taas oikeanpuoleisessa esimerkissä tarjottu ohjausvaihtoehto ja käyntitilaa osoittava värin ja muodon muodostama signaali on erotettu toisistaan. [5, s. 110–111.]



Kuva 4. Esimerkkejä ohjaimen ja ohjaimeen liitetyn informaation yhteensovittamisesta, lähdettä mukailten [5, s. 111].

### 4.3 Muotojen ja symboloiden käyttö HMI-paneelissa

Muotojen ja symboloiden sijoittelun avulla käyttöliittymään voidaan luoda käytettävää laitteistoa mukaileva ulkoasu, jolloin käyttäjän on helpompi saada yhdellä silmäyksellä tietoa laitteiston tilasta. Muotojen ja symbolien piirtämisessä tulee kiinnittää huomiota valokuvamaisen tarkan jäljentämisen sijasta laitteiden tunnistettavien piirteiden korostamiseen, kuten kuvan 5 esimerkissä. [5, s. 103–110.]



Kuva 5. Esimerkki visuaalisten elementtien käytöstä laitteeseen liittyvien käyttöparametrien esittämisestä.

Visuaalisia elementtejä käytettäessä on kiinnitettävä huomiota ohjausnäytön selkeyteen sekä käytetyn esitystavan yhdenmukaisuuteen käyttöliittymän osien välillä. Selkeyttä voidaan parantaa esimerkiksi visuaalisten elementtien ryhmittelyllä siten että yhteen kokonaisuuteen kuuluvat elementit kootaan lähelle toisiinsa ja kokonaisuuksien välille jätetään riittävästi tyhjää tilaa ryhmittelyn selkeyttämiseksi. Esitystavan yhdenmukaisuus voidaan toteuttaa noudattamalla ennalta määritettyjä sääntöjä käyttöliittymässä käytettävistä rakenteista. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää käyttöliittymän suunnittelutyökalujen ominaisuuksia, esimerkiksi Siemens TIA-ympäristössä Faceplate-toimintoa, jonka avulla voidaan muodostaa konfiguroitavia elementtiryhmiä asetteluja. [5, s. 103–107; 8, s. 6.]

#### 4.4 Värien käyttö HMI-paneelissa

Värien avulla voidaan esittää esimerkiksi laitteiden käyttilaa, osoittaa poikkeus- ja hätätilanteita tai erottaa eri prosessiaineita toisistaan. Värien käytön yleisperiaatteita käsitellään muun muassa standardissa SFS-EN-60073.

Värien käytössä on huomioitava erityisesti käyttäjän värinäön rajoitteet etenkin, mikäli käyttäjän värinäölle ei aseteta erityisiä vaatimuksia, jolloin värejä ei voi käyttää yksinomaisena informaation lähteenä. Esimerkiksi kuvun 4.2 kuvan 4 oikeanpuoleisissa esimerkkiohjaimissa laitteen käytitieto osoitetaan sekä värin että muodon muutoksella. [5, s. 105–106.]

Liiallinen värien käyttö voi aiheuttaa niin kutsuttua Las Vegas -ilmiötä, jolloin käyttöliittymästä tulee sekavan näköinen ja värien avulla korostettavaksi tarkoitetut asiat voivat hävitä muiden voimakkaiden värien joukkoon. Käyttöliittymän selkeyden takia värien määrä tulisi pitää mahdollisimman vähäisenä ja värien sävyerot riittävän suurina. [5, s. 105–106; 7, s. 18–20.]

### 5 Puristimien lämpötilasäätimien päivitys

Opinnäytetyöprojektin käytännön osuus aloitettiin nykytilanteen kartoituksella ja nykyiseen laitteistoon tutustumisella. Kartoitusvaiheen tavoitteena oli muodostaa käsitys laitteistosta sekä toteutukseen liittyvistä rajoitteista. Alkuvaiheessa tehtiin lisäksi operaattoreita ja linjan toimihenkilöitä haastatteleamalla kartoitus toivotuista toiminnallisuuksista.

Selvitysten jälkeen aloitettiin ohjelmiston suunnittelu, jonka aikana haettiin myös erilaisia ohjelman toteutusvaihtoehtoja. Suunnittelun rinnalla aloitettiin ohjelman kehittäminen sekä syntyneen ohjelman testaus demoympäristössä. Projektin loppuvaiheessa suoritettiin toiminnallinen testaus demoympäristössä sekä viimeisteltiin projektiin liittyvä dokumentaatio.

## 5.1 Nykyiseen laitteistoon tutustuminen

Olemassa olevaan laitteistoon tutustuttiin laitetoimittajan ja tuotantolinjan dokumentaation sekä kohteessa laitteeseen kajoamatta tehtyjen havaintojen perusteella. Puristimen dokumentaatio oli pääsääntöisesti paperimuodossa ja sisällöltään perusasiat kattava, kuitenkin puristimen dokumentaatiossa havaittiin puutteita komponenttien tyyppimerkintöjen osalta.

Pääsääntöisesti nykyinen laitteisto vastasi ennakko-odotuksia, ainoana yllättävänä ominaisuutena havaittiin puristimen sisäisessä ohjauksessa käytetty 110 voltin vaihtovirtajännite, joka täytyi ottaa huomioon muutosten suunnittelussa ja komponenttivalinnoissa.

Puristin oli kytketty linjaohjaukseen johdottamalla laitteen tarvitsemat I/O-lähdöt ja -tulot suoraan linjaohjauksen logiikkaohjaimen tulo- ja lähtökortille. Laitteen sisäinen ohjaus oli toteutettu manuaalikytkimillä ohjattavalla relelogiikalla ja lämpötilan säätö puolijohdereleitä ohjaavilla PID-säätimillä.

## 5.2 Toivottujen toiminnallisuuksien kartoitus

Laitteiston toivottuja ominaisuuksia kartoitettiin keskusteluilla useiden laitteistoa käyttävien operaattoreiden, osaston esihenkilön sekä prosessi-insinöörin kanssa. Suurimmat toiveet liittyivät ohjauspaikkojen sijoitteluun sekä käytön selkeyteen.

Keskustelujen yhteydessä tuli esille myös ehdotuksia opinnäytetyöprojektin rajauksen ulkopuolelle asetettujen ominaisuuksien kehittämisestä. Osa ehdotuksista pystyttiin toteuttamaan lämpötilansäätimen kehityksen yhteydessä, mutta laajuudeltaan suuremmat sekä lämpötilansäätöjärjestelmän toimintaan liittymättömien ehdotukset jätettiin myöhemmin toteutettaviksi.

### 5.3 Laitteistomuutosten suunnittelu

Merkittävimmät laitteistomuutokset liittyvät PID-säätimien korvaamiseen PLC-ohjaimella sekä PLC-ohjaimen I/O-moduulien kytkemiseen nykyiseen järjestelmään. PLC-järjestelmän osalta määritettiin kohdekohtaisesti tarvittavien I/O-pisteiden määrät ja tyypit. I/O-määrittelyn yhteydessä varmistettiin ennakolta tilattujen komponenttien riittävyys ja soveltuvuus kyseiseen kokoonpanoon. Lisäksi ohjausjärjestelmän komponenttien yhteensopivuus varmistettiin Siemensin dokumentaation avulla.

Puristimen 110 VAC:n ohjausjännitteen osalta päädyttiin jättämään kyseinen ohjausjännite käyttöön, jotta vältetään ohjausjärjestelmän komponenttien uusimiselta. Lisäksi mahdollinen jännitetason nosto olisi vaatinut ohjauskeskuksen sisäisten kaapelointien uusinnan tai laitevalmistajan käyttämien kaapeleiden nimellijännitteiden selvittämisen. 110 VAC:n ohjausjännitteen ja PLC-ohjauksen yhteensovittamista varten järjestelmään suunniteltiin lisättäväksi logiikan lähtökortin 24 VDC:n jännitteellä käytettävät apureleet.

Lisättävät komponentit suunniteltiin asennettavaksi linjanohjauskaappiin sekä puristinkohtaiset I/O-moduulit puristimien ohjauspulpettien laitetilaan. Järjestelmän HMI-rajapintana käytettävä kosketusnäyttöpaneeli sijoitetaan tuotantolinjan ohjauspaikalle.

Puristimen lämpötilansäädön PLC-ohjaimen, HMI-paneelin sekä I/O-moduulien välinen tiedonsiirto toteutetaan käyttäen PROFINET-kenttäväylää sekä PLC-ohjaimen ja olemassa olevan linjaohjauksen välinen liityntä käyttäen PROFIBUS DP-väylää (Decentralized Periphery).

### 5.4 Ohjelman suunnittelu ja toteutus

Ohjelman suunnitteluvaiheessa tutustuttiin työssä käytettävän Siemens TIA-portal -ohjelmointiympäristön tarjoamiin toteutusvaihtoehtoihin niin ohjelmointiratkaisujen, HMI-paneelin näyttöjen kuin muuttujienhallinnan osalta. Eri

toteutusvaihtoehtoja testattiin laajasti ja testauksen pohjalta saatujen kokemusten perusteella valittiin käytetyt toteutustavat.

Suunnitteluvaiheessa tunnistettiin, että järjestelmässä toistuu samoja ja samankaltaisia ohjauksen ja muuttujien muokkaamisen tarpeita, sekä HMI-paneelille tunnistettiin tulevan samankaltaisia elementtejä jokaiselta lämpöohjatulta vyöhykkeeltä.

Ohjelman rakenne päätettiin pitää mahdollisimman dynaamisena, jolloin laitteistomuutoksien tekeminen sekä ohjelmakoodin mahdollinen uudelleenkäyttö on vaivattomampaa. Lisäksi haluttiin välttää koodissa toistuvia rakenteita sekä toistuvaa FBD-lohkojen tulo- ja lähtö -muuttujien konfigurointia.

Ohjelmassa käytettyjä ratkaisuja

Puristimen ja vyöhykkeiden muuttujien hallinnan osalta päädyttiin käyttämään TIA-portal ympäristössä PLC data type -struktuuria, joka mahdollistaa useiden samaan instanssiin liittyvien erityyppisten muuttujien kokoamisen yhteen rakenteeseen. Datastruktuurin käyttäminen yksinkertaisti funktioiden laadintaa ja käyttöä, koska funktion kutsussa voidaan antaa viittaus ohjatun instanssin datastruktuuriin ja funktion sisällä voidaan valita käsiteltävät struktuurin muuttujat.

Ohjelma haluttiin pitää helposti muokattavissa mahdollista uudelleenkäyttöä varten, koska toimeksiantajalla on muita kohteita, joissa vastaavan kaltainen vyöhykekohtainen lämpötilansäätö on tarpeen. Uudelleenkäytön mahdollistamiseksi pyrittiin välttämään ohjelmakoodin sisällä tapahtuvaa kovakoodausta asettamalla tarvittavat puristin- ja vyöhykekohtaisten muuttujien arvot kirjoitettavaksi käynnistyksen yhteydessä kutsuttavan funktion avulla. Käynnistyksen yhteydessä kutsuttavaa funktiota muokkaamalla pystytään ohjelman uudelleenkäytön yhteydessä vaikuttamaan esimerkiksi käytössä olevien puristimien ja puristinkohtaisten vyöhykkeiden määrään sekä HMI-paneelilla esitettävien kuvailumuuttujien sisältöön.

## HMI-paneelissa käytettyjä ratkaisuja

HMI-paneelilla haluttiin esittää jokaiselta lämmitysvyöhykkeeltä toistuvia vyöhykekohtaisia muuttujien arvoja sekä tarjota käyttäjälle samat ohjausvaihtoehdot jokaiselle lämmitysvyöhykkeelle. Toistuvia HMI-paneelin elementtejä muodostettiin käyttämällä TIA-portal ohjelmointiympäristön faceplate-toimintoa, jolla voidaan muodostaa erillisistä HMI-elementeistä, kuten tekstikentistä, painikkeista ja muodoista faceplate-elementti. Faceplate-toiminnolla rakennettu elementti voidaan myöhemmin lisätä HMI-paneelin näkymään yhtenä objektina. Faceplate-elementin konfiguroimiseksi voidaan määrittää käytettäväksi yksittäisiä muuttujia tai käyttää PLC data type -datastruktuuria, josta faceplate-elementin muodostamisen yhteydessä valitaan tarvittavat muuttujat.

## 5.5 Ohjelman rakenne

Toiminnan aikana ohjelma jakaantuu kuvan 6 mukaisesti kutsurakenteeltaan kahteen osioon. PID-ohjaimet ja välittömästi niiden toimintaan vaikuttava ohjelman osa käsitellään 100:n millisekunnin välein suoritettavassa cyclic interrupt OB-lohkossa. Ohjelman pääkierrossa puolestaan kutsutaan puristinkohtaisia I/O:n lukemista ja kirjoittamista ohjaavia funktioita sekä puristimen ohjelmafunktiota. Lisäksi PLC-ohjaimen käynnistyksen yhteydessä kutsutaan puristin- ja vyöhykekohtaista parametrintia suorittavaa funktiota.

Call structure of PLC_1				
	Call structure	!	Address	Details
1	▼ Main		OB1	
2	▶ EX_prog		FC6	@Main ▶ NW1
3	▶ EX_prog		FC6	@Main ▶ NW2
4	▶ EX_prog		FC6	@Main ▶ NW3
5	▶ EX_prog		FC6	@Main ▶ NW4
6	Extruderit (Global DB)		DB2	@Main ▶ NW1
7	Extruderit (Global DB)		DB2	@Main ▶ NW2
8	Extruderit (Global DB)		DB2	@Main ▶ NW3
9	Extruderit (Global DB)		DB2	@Main ▶ NW4
10	▶ Haly_kokoaja		FC1	@Main ▶ NW9
11	▶ IO_toteutus_EX1		FC12	@Main ▶ NW5
12	▶ IO_toteutus_EX2		FC13	@Main ▶ NW6
13	▶ IO_toteutus_EX3		FC14	@Main ▶ NW7
14	▶ IO_toteutus_EX4		FC15	@Main ▶ NW8
15	▼ Cyclic interrupt		OB30	
16	Extruderit (Global DB)		DB2	@Cyclic interrupt ▶ NW1
17	Extruderit (Global DB)		DB2	@Cyclic interrupt ▶ NW2
18	Extruderit (Global DB)		DB2	@Cyclic interrupt ▶ NW3
19	Extruderit (Global DB)		DB2	@Cyclic interrupt ▶ NW4
20	▶ PID_EX1		FC16	@Cyclic interrupt ▶ NW1
21	▶ PID_EX2		FC17	@Cyclic interrupt ▶ NW2
22	▶ PID_EX3		FC18	@Cyclic interrupt ▶ NW3
23	▶ PID_EX4		FC19	@Cyclic interrupt ▶ NW4
24	▶ Startup		OB100	

Kuva 6. Ohjelman kutsurakenne.

### Ohjelmalohkot ja funktiot

Pääohjelmakierrosta kutsuttavan puristinkohtaisen funktion tehtävänä on virhetilanteiden ja häiriöiden käsittely, puristimen tilan hallinta, kommunikointi linjaohjaukseen sekä lämmitysvyöhykekohtaiseen ohjaukseen liittyvien alifunktioiden kutsuminen. Lisäksi pääohjelmakierrosta kutsutaan hälytysten käsittelyyn sekä tulojen lukemiseen ja lähtöjen kirjoittamiseen liittyviä funktioita.

Lämmitysvyöhykekohtainen ohjausohjelma muodostettiin puristinfunktiosta kutsuttavilla alifunktioilla, joilla muun muassa ohjattiin tiedonsiirtoa eri instanssien välillä ja käsiteltiin käyttäjän antamia syötteitä. Lämmitysvyöhykekohtaisten funktiokutsujen parametriksi määritettiin kyseisen funktion tarvitsemat datastruktuurit. Esimerkkikoodissa 1 on esitetty eräs FOR-lauseella toteutettu lämmitysvyöhykekohtainen funktiokutsu.



```

FOR #i := 0 TO #ex.vyohyke_lkm - 1 DO
    "vyohyke_output_ohjaus"(ex:= #ex,
                                kollektori:= #ex.PID_kollektori[#i]);
EDN_FOR;

```

Esimerkkikoodi 1. SCL-ohjelmointikielen FOR-lauseella suoritetaan vyöhykkeiden kappalemäärän ( $\#ex.vyohyke\_lkm - 1$ ) mukainen määrä funktiokutsuja funktiolle "vyohyke\_output\_ohjaus". Funktion parametreiksi annetaan PLC data type  $\#ex$  sekä indeksimuuttuja  $i$ :n mukainen PLC data type taulukosta  $\#ex.PID\_kollektori$ .

## Muuttujien käsittely

Lämpötilasäädön tarvitsemat muuttujat koottiin yhteen ohjelman Datablock-lohkoon PLC data type -struktuureina kuvan 7 mukaisesti. Datastruktuurin päätona käytettiin strukturia, joka sisälsi puristinta koskevia yksittäisiä muuttujia sekä kaksi taulukkoa sisältäen lämmitysvyöhykekohtaisia datastruktuureja. Vyöhykkeen yleistä datastruktuuria "PID\_kollektori\_vyohyke" käytettiin keskitettynä muuttujien tallennuspaikkana ja "HMI\_FP\_vyohyke" datastruktuuria käytettiin kommunikoinnissa HMI-paneelin kanssa.

Extruderit			
	Name	Data type	Start value
1	Static		
2	EX_1	*extruder	
3	EX_2	*extruder	
4	HMI_vyohyke	Array[0..8] of *HMI_FP_vyohyke*	
5	PID_kollektori	Array[0..8] of *PID_kollektori_vyohyke*	
6	PID_kollektori[0]	*PID_kollektori_vyohyke*	
7	PID_kollektori[1]	*PID_kollektori_vyohyke*	
8	PID_enable	Bool	false
9	PID_eno	Bool	false
10	PID_state	Int	0
11	PID_setpoint	Real	0.0
12	PID_setpointLimit_H	Bool	false
13	PID_setpointLimit_L	Bool	false
14	PID_error	Bool	false
15	PID_errorBits	DWord	16#0

Kuva 7. Ohjelmassa käytetyn datablock ohjelmalohkon rakennetta.

Kuvatun datastruktuurin käytöllä saavutettuja etuja ovat muun muassa mahdollisuus yksinkertaistaa funktiokutsujen muodostamista sekä viitata taulukon sisällä oleviin PLC data type -struktuureihin indeksimuuttujalla käytettäessä SCL-

ohjelmointikielen FOR-lausetta. Lisäksi HMI-paneelin faceplate-elementtien konfigurointia voitiin yksinkertaistaa määrittämällä kaikki faceplate-elementin tarvitsemat muuttujat erilliseen PLC data type -struktuuriin.

## PID-säätimet

PID-säädinlohkoina ohjelmassa käytettiin Siemens TIA-portal -kehitysympäristöstä löytyvää Siemensin valmiiksi ohjelmoimaa PID\_Temp -teknologiaobjektia. Kyseinen ohjelmalohko tarjoaa projektin käyttötarkoitukseen riittävät toiminnallisuudet, kattavan dokumentaation lohkon toiminnasta sekä PID-säätimen viritystä helpottavia työkaluja. PID-Temp -teknologiaobjektin ja muun ohjelman välisenä rajapintana voidaan käyttää joko lohkon FBD-esityksen tulo ja lähtö -liityntöjä tai teknologiaobjektin omaa datablokkia, joka on luettavissa ja kirjoitettavissa ohjelman muista osista.

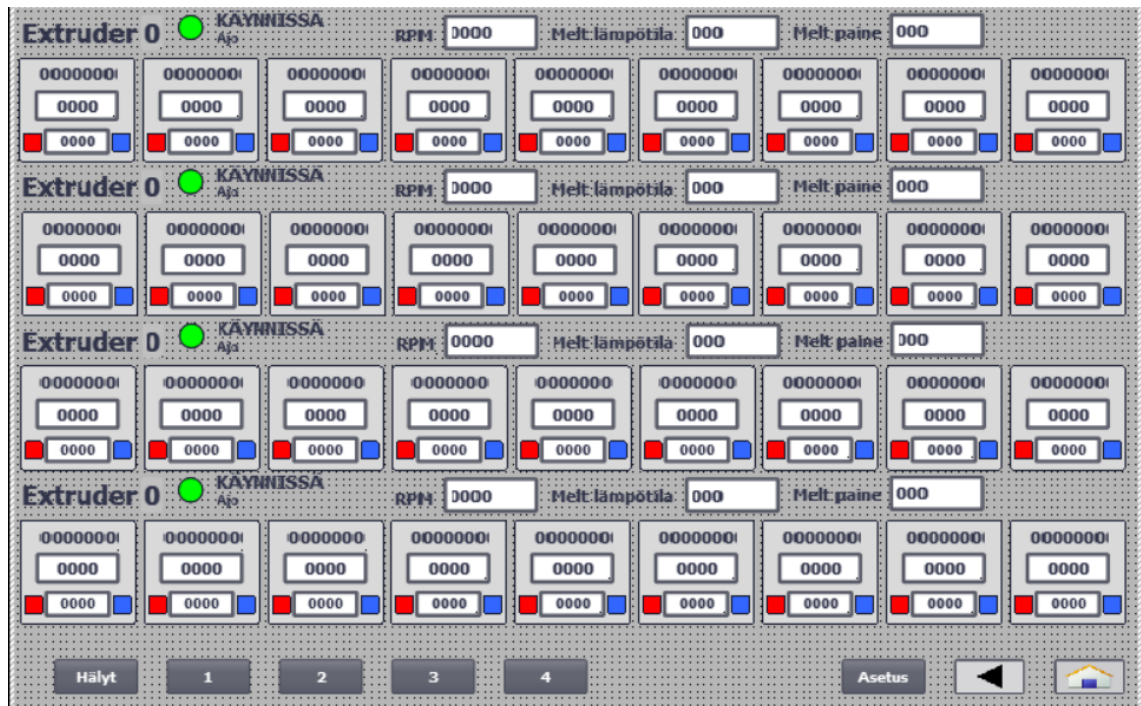
## 5.6 Käyttöliittymä

Käyttöliittymässä pyrittiin mahdollisimman johdonmukaiseen ulkoasuun sekä noudattamaan hyvän käyttöliittymän peruseriaatteita. Suunnittelussa pyrittiin myös siihen, että järjestelmän käyttö on helppo oppia eikä järjestelmän käyttäminen vaadi käyttäjältä muistisääntöjä toimintojen suorittamiseksi. Käyttöliittymässä pyrittiin myös huomioimaan ihmisen näkö- ja huomiokyvyn rajoitteita.

### Käyttöliittymän näyttösivut

Käyttöliittymässä esitettävät näytöt ovat pääsivuna käytettävä yleisnäyttö, vyöhykekohtaiset asetus- ja huoltonäytöt sekä järjestelmän varoitukset ja hälytykset esittävä hälytysnäyttö. Yleisnäytössä voidaan esittää tarvittaessa neljän puristimen puristinkohtaiset tiedot sekä puristimien vyöhykkeiden perustiedot. Lisäksi yleisnäyttö toimii navigointiväylänä puristinkohtaisille näyttösivuille. Yleisnäytön ryhmittelyssä puristimen lämmitysvyöhykkeiden tiedot esitetään yhdellä rivillä, joiden yläpuolella on kyseistä puristinta koskevat perustiedot. Kuvassa 8 on

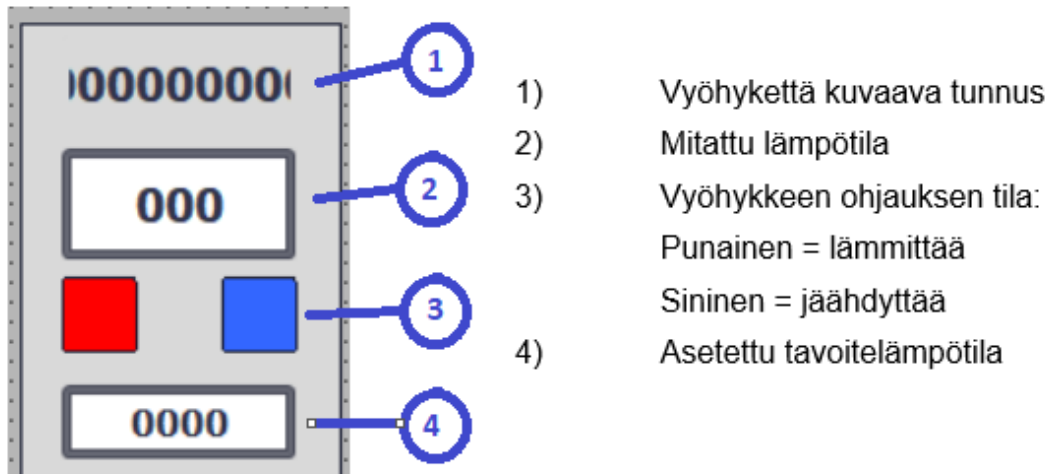
Siemens Tia-portal -kehitysympäristöstä otettu kuvakaappaus yleisnäytöstä, jossa on esitettyä neljän puristimen perustiedot.



Kuva 8. Ohjausjärjestelmän pääsivuna käytettävä yleisnäyttö.

Puristinkohtaisissa näytöissä käyttäjä voi suorittaa puristimen toimintaa liittyviä toimintoja, kuten käynnistää ja sammuttaa puristimen sekä valita puristimen toimintatiloja. Lisäksi puristinkohtaiset näytöt tarjoavat käyttäjälle mahdollisuuden tehdä vyöhykekohtaisia ohjaustoimintoja, kuten säätää lämpötila-asetusta ja vaihtaa tuotekohtaisia reseptejä. Puristinkohtaisten huoltovalikkojen kautta kunnossapitohenkilöstöllä on mahdollista suorittaa huoltoon ja vianhakuun liittyviä toimenpiteitä sekä tarkastella laitteiston parametreja.

Vyöhykkeiden tietoja esittävissä faceplate-elementeissä esitetään vyöhykkeen perustiedot, kuten vyöhykkeen nimike, mitattu lämpötila, asetusarvo sekä vyöhykkeen lämmitys- ja jäähdytystilaa kuvaavat merkkisymbolit samoilla paikoilla kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9.6 Vyöhykekohtaisen faceplate-elementin perustietoja esittävä osio selityksineen. Kuva järjestelmälle laaditusta käyttöohjeesta.

### Reseptit

Osa lämpötilansäätimen parametreista on riippuvaisia käytetystä raaka-aineesta sekä valmistettavasta tuotteesta. Tapauskohtaisesti vaihtuvia parametreja ovat muun muassa vyöhykekohtainen lämpötila, asettelun raja-arvot sekä sallitun lämpötila-alueen määrittävät hälytysrajat.

Tuotteen vaihdon yhteydessä tehtävän parametroidin helpottamiseksi käytettiin TIA-portal -ohjelmointiympäristöstä löytyvää HMI-paneelin recipes-toimintoa. Recipes-toiminnolla voidaan määrittää reseptikohtaisesti ohjattavat parametrit, sekä luoda kyseiset parametrit sisältäviä reseptejä.

Tuotteen vaihdon aikana parametroidin suoritetaan valitsemalla HMI-paneelin reseptivalikosta haluttu resepti ja lataamalla sen sisältämät parametrien arvot PLC-ohjaimelle. Tarvittaessa HMI-paneelin reseptit valikosta voidaan muokata nykyisiä reseptejä sekä luoda ja tallentaa uusia reseptejä.

## 5.7 Toiminnan testaus testiympäristössä

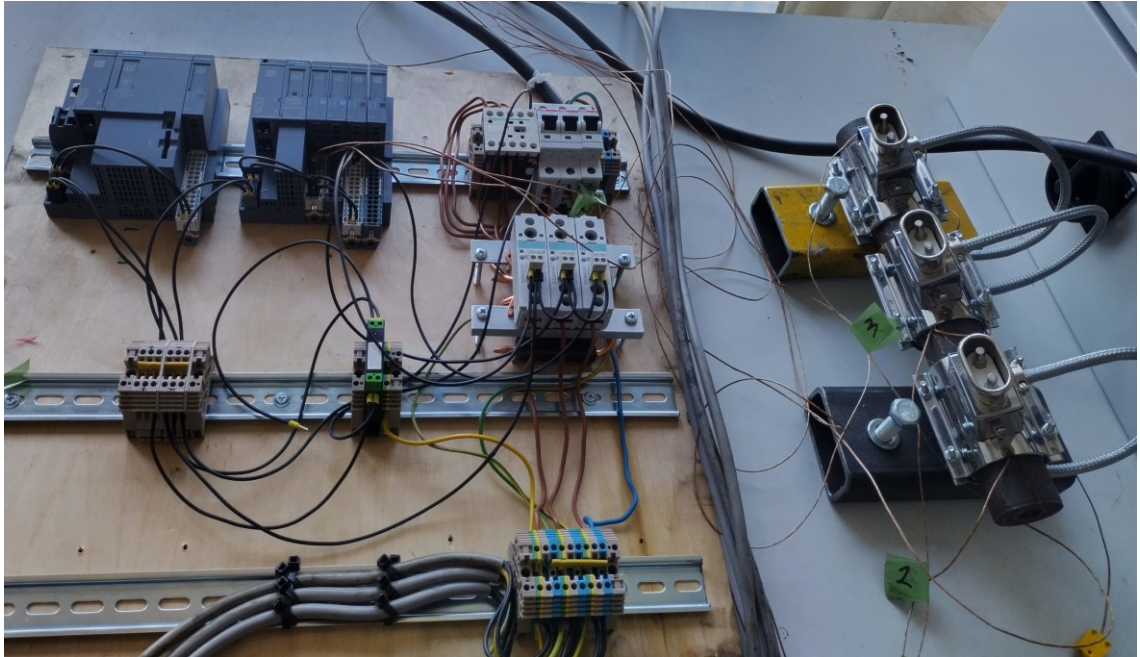
Ohjelman toimintaa testattiin toimeksiantajan sähkölaitekorjaamoon rakennetulla testiympäristöllä. Varsinaisen lopputestauksen lisäksi testijärjestelmää hyödynnettiin ohjausjärjestelmän kehittämissivaiheessa toteutustapojen ja järjestelmän toimintojen kokeilemiseen.

Testiympäristön rakenteen takia testausvaihheessa ei voitu huomioida PID-säätimen toimintaan vaikuttavia prosessi- ja kuormitusmuuttujia, kuten puristimen sisällä liikkuvan massan ja puristimen välisen kitkan aiheuttamaa lämpenemistä sekä massan mukana puristimesta pois kuljettuvan lämpöenergian aiheuttamaa säätötarvetta. Myöskään erillistä jäähdytystä ei järjestetty, vaan jäähdytyksen toimintaa tarkkailtiin lähtökorttien ledeistä samoin kuin muidenkin DO-ohjausten tilaa.

Turvallisuussyistä järjestelmän testauksen aikana käytettiin suurimpana lämpötilan asetusarvona 60 °C. Lisäksi aina ennen tilasta poistumista varmistettiin testiympäristön jännitteettömyys sekä aistinvaraisesti tarkastettiin, että lämmityselementit eivät olleet vaarallisen kuumia.

### Testiympäristö

Testausta varten rakennettiin kuvan 10 mukainen PLC-ohjaimen, HMI-paneelin, I/O-moduulin sekä tarvittavien apukomponenttien muodostama testiympäristö. Loppuvaiheen testausta varten laitteistoon lisättiin toinen I/O-moduuli, joka mahdollisti laitteiston toiminnan yksityiskohtaisemman seuraamisen.



Kuva 10. Kehitysvaiheen ominaisuuksiltaan rajattu yhden I/O-moduulin testiympäristö. Testiympäristöön kuului lisäksi kuvan ulkopuolelta HMI-paneeli ja 24 VDC:n virtalähde.

Lämpötilansäätöjärjestelmän lisäksi testiympäristöön kuului vikavirtasuojattuun pistorasiaan kytketty kolmevaiheinen pienjänniteosa, jonka etukojeena käytettiin 10:n ampeerin johdonsuojakatkaisijoita. Lämmitysvirtapiirin tehon ohjaamiseen käytettiin puristimen käyntitilan mukaan ohjattua pääkontaktoria sekä vyöhykekohtaisesti ohjattuja puolijohdereleitä.

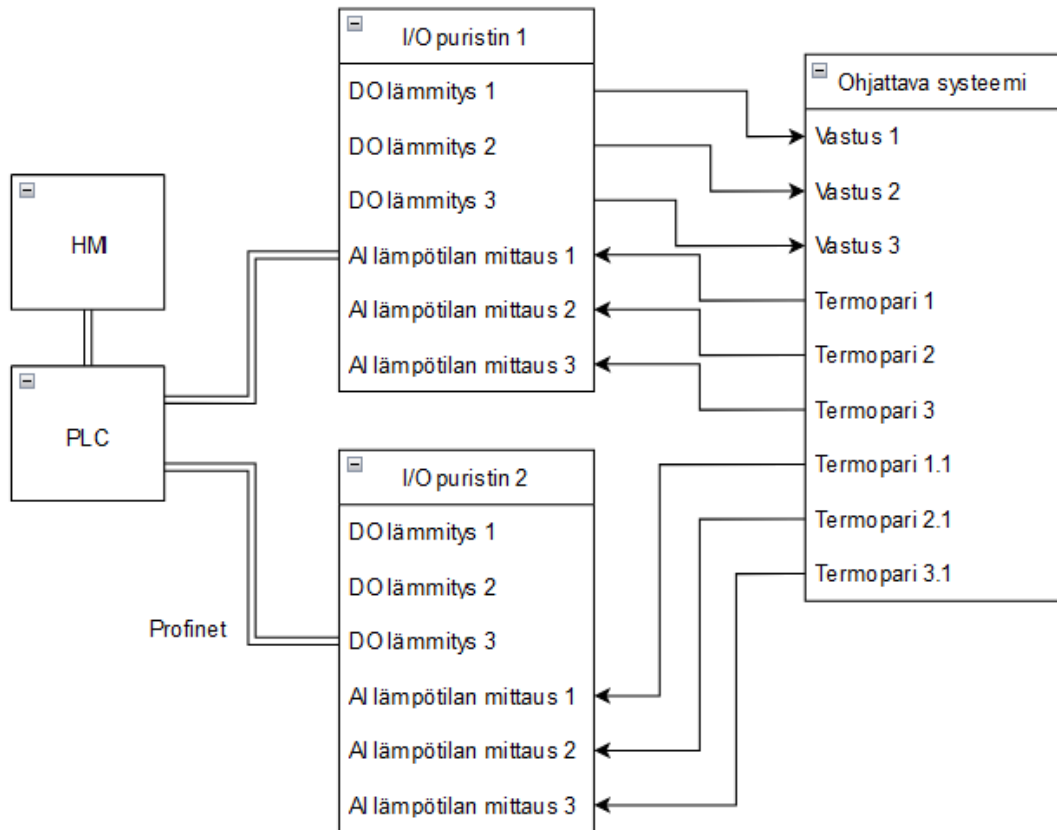
Testikokoonpanon komponentit kiinnitettiin vanerilevyllä käyttäen 35 millimetrin DIN-kiskoja. Puolijohdereleille sovellettiin testiympäristöön tilapäinen passiivinen jäähdytysratkaisu kierrätyskorista löydetystä tietokoneprosessorin jäähdytysseleillä. Testiympäristön johtavat osat kytkettiin suojamaadoitukseen ja suojauksen PE-jatkuvuus todettiin mittaamalla. Testiympäristön rakentamisen jälkeen toimeksiantajan sähkötöidenjohtaja tarkasti kytkennät ja totesi laitteiston testikäyttöön soveltuvaksi.

Puristimen rakennetta ja lämmitysvyöhykkeitä simuloitiin palamattomalle alustalle asetetulla halkaisijaltaan 45 millimetrin terästangolla, jonka ympärille kiinnitettiin kolme 160 watin lämmitysvastusta.

Lämpötilanmittausta varten puristimen rakennetta simuloivaan osaan toteutettiin kolme mittauspistettä, joista kuhunkin asennettiin kaksi K-tyyppin termoparia. Kunkin mittauspisteen termopareista yksi kytkettiin testijärjestelmän lämmitystä ohjaavaan I/O-moduuliin. Mittauspisteen toinen termopari kytkettiin loppuvaiheen testauksen yhteydessä erilliseen I/O-moduuliin, jolla oli mahdollista tarkkailla ohjausjärjestelmän toimintaa sekä testata ohjelman toimintaa mitatun lämpötilan poiketessa asetetusta ohjausarvosta.

Testijärjestelmän mittauspisteet sijaitsivat lämmityselementin ja rakennetta simuloivan terästangon välissä. Tavanomaisesti lämpötilanmittaus suoraan lämmityselementin vierestä ei ole optimaalinen ratkaisu, koska mittalaite reagoi rakenteen lämpenemisen sijasta vastuksen lämpenemiseen. Testiympäristöä suunniteltaessa todettiin, että on tärkeämpää saada aikaan oikean suuntaisia muutoksia mitatussa lämpötilassa mittausteknisesti oikein toteutetun järjestelmän sijaan. Lisäksi termoparien sijoittelu lämmityselementin yhteyteen mahdollisti nopean ja muutosaskeleeltaan suurehkon mitatun lämpötila-arvon nostamisen ilman rakennetta simuloivan terästangon merkittävää lämpenemistä.

PLC-ohjaimelle ladatussa ohjelman testiversiossa molemmat I/O-moduulit asetettiin toimimaan kuten ne olisivat ohjanneet omia puristimiaan. Kyseinen asetelu mahdollisti muun muassa hälytysten toiminnan testauksen käyttämällä lämmitysvastuksiin kytkettyä I/O-moduulia lämpötilan ohjaukseen ja muokkaamalla ainoastaan mittauksen osalta testiympäristöön kytketyn I/O-moduulin hälytysten raja-arvoja. Testijärjestelmän ohjauksen kytkentöjä on havainnollistettu kuvassa 11.



Kuva 11. Kaavio testijärjestelmän kytkennöistä.

### Testaussuunnitelma ja testien tulokset

Lämpötilansäätöjärjestelmän testaamista varten laadittiin testaussuunnitelma, jossa määriteltiin tehtävät testit sekä kullekin testille vaadittu lopputulos. Tarkasti määritettyjen testien lisäksi määritettiin jatkuvaan havainnointiin perustuvia testejä, joiden tarkoituksena oli seurata koko testausprosessin ajan, että ohjelma toimii tarkoituksenmukaisesti ja loogisesti. Testaussuunnitelma ja testien tulokset liitteessä 1.

Lämpötilansäätöjärjestelmän testauksessa haluttiin varmistua siitä, että järjestelmän käyttö on turvallista, etenkin että laitteisto päätyy sammutuksen yhteydessä turvalliseen tilaan. Lisäksi haluttiin varmistua, että järjestelmä antaa ylempään tason järjestelmälle signaalin normaalista tuotantotilasta poikkeavista tilanteista.



Lisäksi lämpötilansäätöjärjestelmän testauksessa haluttiin varmistua siitä, että reseptin parametrit ohjaavat tarkoitettuja toimintoja sekä siitä, että järjestelmä antaa asianmukaiset varoitukset ja hälytykset poikkeavista tilanteista. Testauksen aikana pyrittiin myös järjestelmän toimintaa havainnoimalla tunnistamaan mahdolliset epäloogiset toiminnot sekä virheet ohjauspaneelin näkymissä.

Testausta suoritettiin jatkuvana prosessina järjestelmän kehityksen yhteydessä ja loppuvaiheessa suoritettiin testaussuunnitelman mukaiset testit. Kehitysvaiheessa testiympäristössä pystyttiin tunnistamaan toimivia toteutustapoja sekä tutkimaan erilaisten ratkaisujen vaikutusta lopputulokseen.

Loppuvaiheen testauksessa saavutettiin testaussuunnitelman vaatimukset ja tunnistettiin muutamia kehityskohteita testaussuunnitelman ulkopuolelta. Loppuvaiheen testien onnistumisen johti kehitysvaiheessa tehty yksityiskohtainen testaus sekä kehitysvaiheen testauksen tulosten perusteella ohjelmaan tehdyt muutokset ja korjaukset.

## 5.8 Dokumentaatio

Kehitetystä järjestelmästä laadittiin toimeksiantajan käyttöön dokumentaatio asennusta, käyttöä, ylläpitoa sekä kehitetyn järjestelmän mahdollista uudelleenkäyttöä varten. Lämpötilansäätöjärjestelmän ohjelmakoodi pyrittiin kommentoimaan mahdollisimman kattavasti, jotta käyttöönotto, myöhemmin tehtävät muutokset ja ohjelman uudelleenkäyttö olisi mahdollisimman sujuvaa.

Koska laitetoimittajan sähkökaaviot löytyivät ainoastaan paperisena versiona, toteutettiin sähkökaavion muutokset laatimalla muutoksia sisältävistä kaavion lehdistä päivitettyt versiot korvaamaan vastaavat lehdet alkuperäisessä dokumentaatioissa. Lisäksi laitteiston asennuksen yhteydessä tehtävistä muutoksista laadittiin lyhyt työseloste.

Järjestelmälle laadittiin käyttö- ja ylläpito-ohjeet. Ohjeessa käsiteltiin lämpötilansäätöjärjestelmän perustoiminnot sekä käyttölogiikka, annettiin ohjeita reseptien

hallintaan sekä käytiin läpi kunnossapitoon liittyvät ominaisuudet, käyttöohjeen sisällysluettelo liitteenä 2.

## 6 Yhteenveto

Opinnäytetyön aikana kehitettiin lämpötilansäätöjärjestelmä, sisältäen lämpötilanohjaukseen käytettävän ohjelmakoodin sekä järjestelmän ohjaamiseen käytettävän käyttöliittymän. Opinnäytetyö liittyi toimeksiantajan prosessidatan historiatiedon keräysjärjestelmän kehittämiseen. Historiatiedon keräysjärjestelmän käyttöönoton tueksi kehitettiin opinnäytetyöprojektin aikana järjestelmä, josta halutut prosessimuuttujat on mahdollista siirtää kenttäväylän kautta ylemmän tason järjestelmiin. Lisäksi lämpötilansäätöjärjestelmää ja sen käyttöliittymää on myöhemmin mahdollista hyödyntää puristimien muiden toimintojen ohjaamiseen sekä uusien toimintojen kehittämiseen. Käyttöliittymän kehittämisen yhteydessä tehtiin lähteiden perusteella selvitystyötä käyttöliittymäsuunnittelussa huomioitavaista asioista, ja opinnäytetyön käyttöliittymien suunnittelua käsittelevää osuutta voitaneen käyttää hyödyksi myöhemmin toteutettavien käyttöliittymäprojektien yhteydessä.

Opinnäytetyön aikana kehitetyn lämpötilansäätöjärjestelmän ja sen ohjelmakoodin uudelleenkäytöstä on saatu onnistuneita kokemuksia, sillä eräessä toimeksiantajan tuotantolinjassa jouduttiin yllättävän komponenttivaurion seurauksena uusimaan vastaavan kaltainen lämpötilansäätöjärjestelmä. Alkuperäinen järjestelmä oli korvattu opinnäytetyön yhteydessä kehitetyllä järjestelmällä tekemällä tuotantolaitteen rakenteesta johtuvat muutokset ohjausjärjestelmän parametreihin varsinaisen ohjelmakoodin säilyessä lähes koskemattomana. Voitaneen siis todeta, että opinnäytetyön aikana onnistuttiin tuottamaan toimiva ja uudelleen käytettävissä oleva kokonaisuus puristimen lämpötilasäädön ohjaamiseksi, niin ohjelmakoodin kuin HMI-rajapinnan osalta.

## Lähteet

- 1 Zhang, Peng. 2010. Advanced industrial control technology. United Kingdom: Elsevier.
- 2 Harju, Timo & Marttinen, Arto. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Espoo: Control CAD.
- 3 Kippo, Asko K. & Tikka, Aimo. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima.
- 4 SFS-EN 60447. 2004. Perus- ja turvallisuusperiaatteet ihmisen ja koneen väliselle rajapinnalle, merkinnöille ja tunnistamiselle. Ohjausperiaatteet. Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 Tommila, Teemu (toim.) 2010. Valvomo – suunnittelun periaatteet ja käytännöt. Helsinki: Suomen Automaatioseura.
- 6 Zhang, Peng. 2008. Industrial control technology. Norwich, NY: William Andrew.
- 7 SFS-EN 60073. 2003. Ihmisen ja koneen välisen rajapinnan perus- ja turvallisuusperiaatteet. Merkinantolaitteiden ja ohjaimien koodaus. Suomen Standardisoimisliitto.
- 8 Basics on HMI Faceplates. 2015. Verkkoaineisto. Siemens AG. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/632/68014632/att\\_924738/v2/68014632\\_faceplates\\_instruction\\_doku\\_v14\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/632/68014632/att_924738/v2/68014632_faceplates_instruction_doku_v14_en.pdf)>. 6/2015. Luettu 6.5.2023.

## Testaussuunnitelma

Testaussuunnitelma ja testipöytäkirja puristimen lämpötilansäätöjärjestelmälle

*Tieto poistettu julkisesta liitteestä*

*Tieto poistettu julkisesta liitteestä*

Järjestelmän toiminta testattu

6/2023

Testi	Vaadittu tulos	Huom	Tulos
Ylilämpövaroitus	Varoitus paneelille		OK
Ylilämpöhälytys	Hälytys paneelille, tieto ylempään järjestelmään		OK
Alilämpövaroitus	Varoitus paneelille		OK
Alilämpöhälytys	Häytys paneelille, tieto ylempään järjestelmään		OK
Sammuu turvalliseen tilaan	Pääkontaktori ei vedä	Kaikki sammutustavat	OK
Odotustilan asetuksen toiminta	Setpoint muuttuu, tieto ylempään järjestelmään, varoitus paneelille		OK
Reseptin toiminta	Oikeat arvot oikeisiin parametreihin	Kaikki puristimet	OK
PID, lämmityksen ohjaus	Lämmityksen looginen toiminta	Jatkuva seuranta	OK
PID, jäähdytyksen ohjaus	Jäähdytyksen looginen toiminta	Jatkuva seuranta	OK
Lämpötila ok tieto ylempään järjestelmään	Antaa linjan käynnistyä, kun ajotilassa ja lämpötila asetetulla alueella	Jatkuva seuranta	OK
Lämmityksen pääkontaktorin ohjaus	Pääkontti vetää vain, kun järjestelmä käynnissä	Jatkuva seuranta	OK
Tilakoneen toiminta	Paneelin teksti vastaa toimintatilaa	Jatkuva seuranta	OK

## Lämpötilansäätimen käyttö- ja huolto-ohjeen sisällysluettelo.

### Sisällys

#### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paneelissa esitettävät näkymät	1
2.1	Yleisnäkymä (pääsivu)	1
2.2	Näkymissä toistuvat elementit	2
2.2.1	Vyöhykekohtaiset tiedot	2
2.2.2	Puristimen tiedot	3
3	Käyttö	4
3.1	Lämpötilanohjauksen käynnistäminen ja sammuttaminen	4
3.2	Puristimen ajo- ja odotustila	5
3.3	Lämpötila asetuksen muuttaminen	5
3.4	Reseptit	6
4	Hälytykset	8
5	Huolto ja ylläpito	9
5.1	PID-säätimen nollaus	10
5.2	Pakkokäyttö	10
5.3	PID-säätimien parametrit	10