

Jani Rautio

KALIBROINTIKELKAN PAIKOITUKSEN OHJAUS

KALIBROINTIKELKAN PAIKOITUKSEN OHJAUS

Rautio Jani
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka

Tekijä(t): Rautio Jani

Opinnäytetyön nimi: Kalibrointikelkan paikoituksen ohjaus

Työn ohjaajat: Hietanen Tero (OAMK), Keränen Harri (SSAB Europe Oy)

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Syksy 2015

Sivumäärä: 67 +11

Työ tehtiin SSAB Europe Oy:n Raahen tehtaan korjaamon sähkö- ja automaatiohuollolle. Työn tavoitteena oli saada rakennettua kalibrointilaitteiston ohjaus uusiksi ja mahdollisimman tarkaksi. Työssä perehdyttiin lämpötilaamittaavien laitteiden kalibrointiin, kalibroinnintyövaiheisiin ja laitteistolle vaadittaviin työturvallisuuteen, jotta kalibrointilaitteiston ohjaus pystytiin rakentamaan tilaajan haluamalla ja vaatimalla tavalla. Kalibrointikelkan ohjaukseen käytettiin logiikalla ohjattua taajuusmuuttajaa, joka ohjaa kelkan siirtoon käytettyä moottoria. Kelkan paikoitus tapahtui pulssianturin avulla.

Työ kattoi kalibrointikelkan ohjauksen uudelleen rakentamisen ja käyttöönoton sekä kalibrointikelkaa käyttävien asentajien perehdyttämisen laitteistoon. Kalibrointikelkan ohjaukseen laadittiin pikatyöohjeet. Työhön perehtyminen tapahtui enimmäkseen laitteistoa käyttävien asentajien haastatteluilla ja työ- sekä menettelyohjeita läpikäymällä. Uusiin laitteistoihin tarvittavat tiedot löydettiin pääasiassa internetistä.

Laitteisto saatiin toimintakuntoon ja laitteisto jäi asentajien käyttöön. Työ nopeutti ja helpotti kalibrointityövaihetta huomattavasti. Lisäksi laitteistolle tehtiin pikakäyttöohjeet.

Asiasanat: kalibrointi, pulssianturi, ohjelmointi

ALKULAUSE

Opinnäytetyöni tilaajana oli SSAB Europe Oy. Opinnäytetyöni valvojana SSAB:lta toimi automaatiohuollon työnjohtaja Harri Keränen ja Oulun ammattikorkeakoulusta työn ohjaajana toimi opettaja Tero Hietanen. Haluan kiittää työn ohjaajaa ja valvojaa kärsivällisyydestä opinnäytetyötäni kohtaan. Erityiset kiitokset haluaisin antaa asentajille Mikko Pikkulalle ja Mikko Isokoskelle sekä sähkökorjaamon työnjohtajalle Pekka Suhoselle avusta asennus ja ohjelmointitöissä. Kiitos myös kaikille muille, jotka olette auttaneet ja tukeneet opinnäytetyöni aikana.

Oulussa 10.12.2015

Jani Rautio

SISÄLLYS

ALKULAUSE.....	4
SISÄLLYS.....	5
SANASTO.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 LÄMPÖTILAN MITTAAMISEEN JA KALIBROINNIN PERUSPERIAATTEITA.....	9
2.1 Lämpösäteily.....	9
2.2 Lämpötilan mittaaminen.....	10
2.3 Musta kappale.....	10
2.4 Emissiokerroin.....	11
2.5 Referenssi.....	12
2.6 Vertailumenetelmä.....	12
2.7 Mittausjälki.....	13
2.8 Mittanormaalit.....	13
2.9 Epävarmuuslaskennat.....	14
2.10 PT100-vastusanturin epävarmuus laskennat.....	14
3 LÄMPÖTILAN MITTAAMISEEN KÄYTETTYTETTÄVIÄ LAITTEITA.....	16
3.1 Infrapunakamera.....	16
3.2 Linssioptikat.....	16
3.3 Kuituoptikat.....	17
3.4 PT-100-vastusanturi.....	19
3.5 Termoelementit.....	19
4 LÄMPÖTILANKALIBROINTI RAAHEN TEHTAALLA.....	21
4.1 Lämpötilankalibrointi.....	21
4.2 Kalibroinnissa käytettävät referenssianturit.....	22
4.3 Kalibroinnin tekeminen.....	23
4.4 Esivalssin rullarata 15:n kuitupyrometrit.....	24
5 TYÖN SUORITUS.....	28
5.1 Kartoitus.....	28
5.2 Vanhan laitteiston ja ohjelmien toiminnan kuvaus.....	28
5.3 Kalibrointiympäristön kuvaus.....	30
5.4 Laitteiston turvallisuus.....	32

6	SUUNNITTELU.....	34
6.1	Tarvehankinnat.....	34
6.2	Simatic S7-1200.....	35
6.3	Simatic HMI KTP600 Basic color PN-kosketusnäyttö.....	36
6.4	ABB ACS150 -taajuusmuuttaja	37
6.5	JOKAB SAFETY JSBR4 24V turvarele	38
6.6	Pulssianturi.....	39
6.7	Absoluuttianturi.....	40
7	OHJELMOINTI.....	41
7.1	Ohjelman kuvaus.....	41
7.2	Ohjelman tekeminen logiikalle.....	43
7.3	Kosketusnäytön ohjelmointi.....	54
8	ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO.....	59
8.1	Laitteistojen asentaminen.....	59
8.2	Taajuusmuuttajan parametointi	62
8.3	Käyttöönotto	63
9	YHTEENVETO	65
	LÄHTEET.....	66

LIITE

Liite 1. Pikaopas kelkan ohjaukseen

SANASTO

DB (Data Block)

ISO 9001

ITS90 (International Temperature Scale of 1990)

I/O

LAD (Ladder Diagram)

PLC (Programmable Logic Controller)

Profinet

referenssi

tag

TIA Portal

Ohjelman muistilohko.

Kansainvälinen laatustandardi.

Kansainvälinen lämpötila-asteikko

Tulo/lähtö.

Logiikan ohjelmointikieli.

Ohjelmoitava logiikka.

Teollisuus-Ethernet-standardi reaaliaikaiselle tiedonsiirrolle automaatiojärjestelmissä.

Vertailuarvo

Toiminnon nimeäminen osoitteelle.

Ohjelmointisovellus logiikalle.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyön tavoitteena oli uusien ja parantaa SSAB:n Raahen tehtaan sähkö- ja automaatiohuollon lämpötilankalibrointipisteen toimintaa. Lisäksi perehdyttiin Raahen tehtaalla tapahtuvaan lämpötila-antureiden kalibrointiin. Laitteistoa kartoittaessa ja suunniteltaessa otettiin huomioon uusien laitteistojen turvallisuus, jotta ne vastaisivat Raahen tehtaalla määrättyihin työturvallisuusohjeisiin.

Sähköautomaatiohuollossa kalibroidaan, huolletaan ja viritetään lämpötila-antureita viikoittain. Kalibroitavaksi ja korjattavaksi tulee paljon erilaisia lämpötila-antureita eri puolelta tehdasta ja osastoja. Lämpötilankalibrointi tehdään erillisessä tilassa, johon on rakennettu kalibrointipiste. Kalibrointipisteessä on viisi uunia, joista valitaan se, joka vastaa kalibroitavan anturin käyttöominaisuuksia. Kalibroitavien antureiden pitää olla mahdollisimman keskellä uunia, jotta mittaus tulos olisi luotettava. Lämpötila-anturit kalibroidaan vertailumenetelmällä.

Tarkka anturin paikoitus uuneille oli ollut hankalaa ja aikaa vievää vanhentuneen laitteiston vuoksi. Tällä hetkellä antureiden mittaaminen hoidetaan PC:llä. Mitattavat anturit on paikoitettu kalibrointiuuneille tähän mennessä käsin. Aikaisemmin kaikki toiminnot ovat tapahtuneet PC:n kautta.

Opinnäytetyö keskittyi ratkaisemaan, miten lämpötila-antureiden kalibrointipiste tulisi automatisoida, jotta pystyttäisiin tarkkaan antureiden paikoitukseen, sekä miten kalibrointityövaihetta pystyttäisiin helpottamaan ja nopeuttamaan.

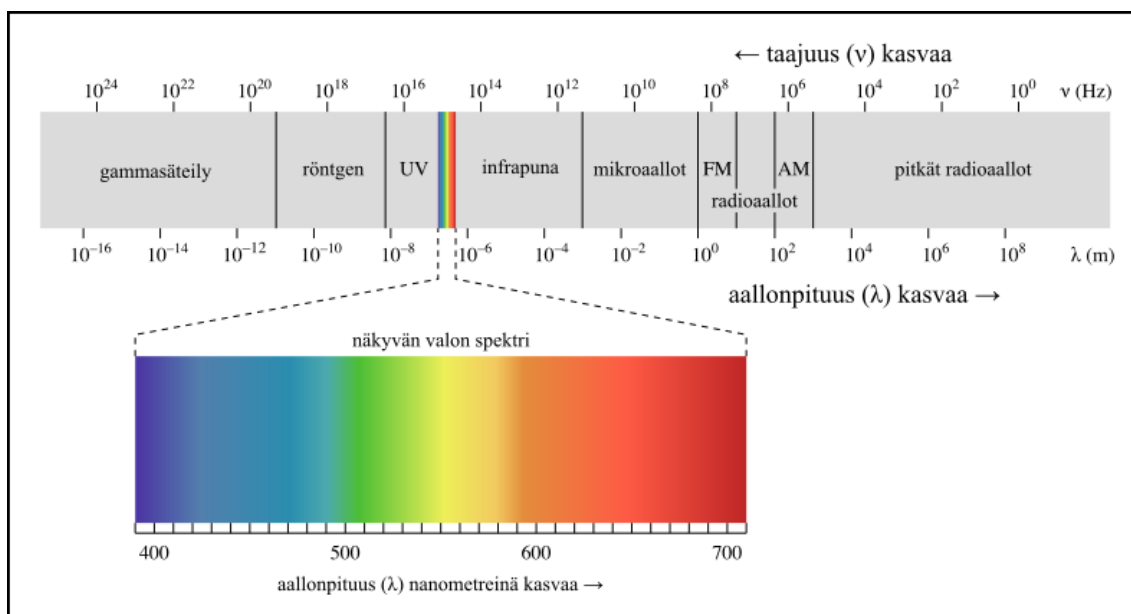
Työssä päädyttiin käyttämään S7-1200-ohjelmoitavaa logiikkaa ja kosketusnäyttöä kelkanohjaukseen. Laitteiston turvallisuutta parannettiin lisäämällä hätä-seis-katkaisimia ja paikoittamalla ne paremmin kuin vanhassa laitteistossa. Lisäksi laitteistolle tehtiin pikaohjeet kelkan ohjaukseen.

2 LÄMPÖTILAN MITTAAMISEEN JA KALIBROINNIN PERUSPERIAATTEITA

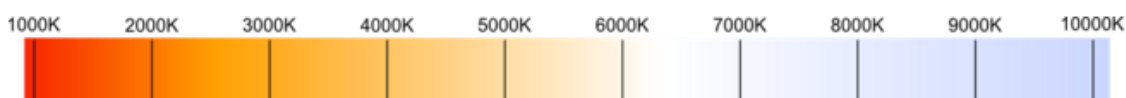
Tässä luvussa käydään läpi lämpötilan mittaamisen perusperiaatteita ja kalibroinnissakin huomi-
oon otettavia käsitteitä. Lisäksi luvunlopussa on esimerkki epävarmuuslaskennoista, jotka on las-
kettu kun kalibrointi tehdään vertailumenetelmällä.

2.1 Lämpösäteily

Lämpösäteily on yksi fysiikan ilmiöistä ja säteilyn muodoista. Lämpösäteily on yksinkertaisesti seli-
tettynä kappaleessa tapahtuvaa atomien lämpöliikettä eli sähkömagneettista liikettä. Tätä säteilyä
voidaan kuvata aallonpituuksien värimuunnoksilla eli spektreillä. Lämpösäteilyn muutokset näkyvät
vain tietyillä aallonpituuksilla. Kuvassa 1 on kuvattu näkyvän valon spektri ja kuvassa 2 on lämpö-
tilat kuvattu väreillä ja lämpötilayksikkö kelvineinä. Lämpösäteilyn mittaaminen perustuu mustan
kappaleen säteilylakiin. (1; 2.)



KUVA 1. Näkyvän valon spektri (3)



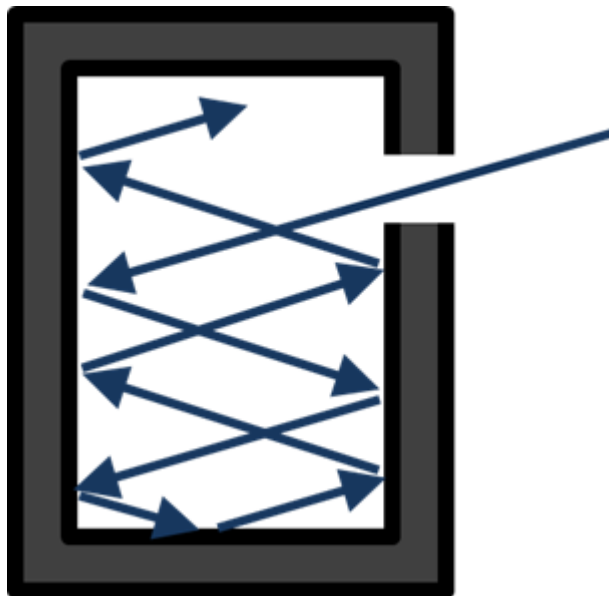
KUVA 2. Lämpötila väreinä ja kelvineinä (1)

2.2 Lämpötilan mittaaminen

Kappaleiden ja aineiden lämpötilaa voidaan mitata kosketusmittaamalla käyttämällä tavallisia vastuslämpömittareita tai termoelementtejä. Koskemattomalla mittaamisella mitataan, kun tavanomaisten vastusanturien, termistorien ja termoelementtien asentaminen on joko mahdotonta tai hyvin hankalaa. Kappaleen lämpötila voidaan mitata käyttäen hyväksi kohteen pinnasta säteilevää energiaa. Tätä energiaa kutsutaan infrapunaenergiaksi. Kun kappaleen emissiokerroin on pystytty määrittämään, pystytään eliminoimaan lämpötilatuloksia vääristäviä tekijöitä. Tätä tekniikkaa kutsutaan pyrometriaksi. (4.)

2.3 Musta kappale

Musta kappale on ideaalinen kappale, joka imee kaiken siihen kohdistuvan säteilyn kaikilla aallonpituuksilla, mutta samalla säteilee saamansa energian ulos itsestään. Kun kappaleen emissiokerroin on lähellä yhtä, kutsutaan sitä mustaksi kappaleeksi. Kun mustan kappaleen säteilylämpötila ylittää $525\text{ }^{\circ}\text{C}$:n, ei ihmissilmä havaitse sitä enää mustana. Kuvassa 3 on havaintokuva mustasta kappaleesta. (1; 2.)



KUVA 3. Musta kappaleeseen tuleva säteily (5)

2.4 Emissiokerroin

Emissiokerroin kertoo, kuinka paljon kappale säteilee verrattuna mustaan kappaleeseen. Yksinkertaistettuna emissiokerrointa voi verrata kohteen heijastuvuuteen tai kirkkauteen. Emissiokerroin määrittyy kohteen materiaalin ja pinnan viimeistelyn perusteella. Emissiokerroin voi vaihdella 0,1:n eli hyvin heijastavan kappaleen emissiokertoimen, esimerkiksi kiillotettu metalli, ja 1,0:n eli ideaalisen mustan kappaleen välillä. Kuvassa 4 on taulukko, jossa on kerrottu eräiden materiaalien emissiokertoimia. (4.)

Materiaali	Emissiokerroin (ε)
Teräs	0,35
Teräs (oksidoinut)	0,85
Ruostumaton teräs	0,30
Ruostumaton teräs (vähän oksidoinut)	0,40
Ruostumaton teräs (oksidoinut)	0,80
Kupari	0,06
Kupari (oksidoinut)	0,80
Alumiini	0,13
Alumiini (oksidoinut)	0,40
Tiili	0,85
Asfaltti	0,85
Iho	0,99
Vesi (syvyys yli 50 mm)	0,95
Puu	0,85

Huom: Jo yhden prosentin virhe emissiivisyydessä aiheuttaa jopa 60 asteen virheen lämpötilassa 3000 °C

KUVA 4. Emissiokertoimia (4)

Raahan tehtaalla kalibroinnissa käytetään mustan-kappaleen uunia, jonka emissiokertoimen tulee olla 0,995–0,998. Kalibroinnissa voidaan myös käyttää lämpölevyä jonka emissiokerroin on > 0,94. Jos valitaan vääränlainen vertailulaitteisto kalibrointia suorittaessa, on tuloksena mittalaite, joka mittaa virheellisesti. Kuvassa 5 näkyy taulukko, jossa on esitetty, miten vääränlaisella emissiokertoimella suoritettu mittaus vaikuttaa laitteiston lämpötilan mittaukseen. (6.)

keskim. aallonpituus/ μm	0,65	0,9	1,64	2,3	3,4	3,9	4,5	5,0	7,9	10,6	0,78 - 1,06
lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)											
-50									1,8	1,3	
0									0,3	0,3	
50				0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
100			0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	
200			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,1	1,2	
300			0,4	0,5	0,8	0,9	1,0	1,1	1,6	1,9	
400		0,3	0,5	0,7	1,1	1,2	1,4	1,5	2,2	2,6	
500		0,4	0,7	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	2,9	3,3	
750		0,7	1,1	1,7	2,5	2,8	3,1	3,4	4,7	5,3	12,2
1000	0,7	1,1	1,7	2,5	3,7	4,1	4,6	5,0	6,7	7,4	15,3
1500	1,4	1,8	2,7	4,3	6,2	6,7	7,4	7,9	10,1	10,9	21,3
2000	2,3	3,3	4,8	7,6	10,4	11,2	12,1	12,8	15,5	16,5	33,1
2500	3,5	4,9	6,9	10,8	14,3	15,2	16,3	17,1	20,2	21,2	45,4
3000	4,8	6,7	9,3	14,3	18,4	19,5	20,7	21,6	24,9	26,0	59,9

Lämpötilavirhe ($^{\circ}\text{C}$) joka johtuu 1 %:n emissiivisyysvirheestä

KUVA 5. Emissiivisyysvirheiden kertoimia (4)

2.5 Referenssi

Kansainvälinen lämpötila-asteikko ITS-90 määrittää lämpötilanmittauksissa käytettäville antureille referenssit eli vertailuarvot. Näitä arvoja sovelletaan käytettävän vertailuanturin mukaan. Referenssianturit valitaan mitattavan anturin mukaan. Referenssinormaali on anturi tai laitteisto, johon mitattavaa laitteistoa tai anturia verrataan. Vertailussa voidaan käyttää yhtä tai useampaa tarkoitukseen soveltuvaa referenssi-pyrometriä tai platinavastusanturia. (4; 6.)

2.6 Vertailumenetelmä

Vertailumenetelmässä verrataan kalibroivan laitteen näyttämää referenssinormaalien näyttämään. Käytettävän referenssinormaalien valintaan vaikuttavat kalibrointiuunin tyyppi, kalibrointilämpötila ja kalibroinnin tarkkuusvaatimukset. Taulukossa 1 on esitetty referenssinormaalit eli lämpötilankalibroinnissa käytettäviä vertailuantureita tai vertailuun soveltuvia laitteistoja. Lisäksi taulukossa 1 näkyy mille lämpötila-alueille anturit ja laitteistot soveltuvat. (6.)

TAULUKKO 1. Referenssianturin valinta (6)

Lämpötila-alue (°C)	Pääsääntöisesti käytettävät referenssinormaalit	Muut soveltuvat referenssinormaalit
- 10 ... + 70	PT100	Land Cyclops AF300
+ 25 ... + 150	PT100	Cyclops AF300
+ 200 ... + 550	PT100	Land GP414 Land GP203 Cyclops AF300
+ 550 ... + 750	GP203, GP113, Z1830	Cyclops AF300, C152A
+ 750 ... + 1100	GP113, GP123, Z1830	Cyclops AF300, C152A,
+ 1100 ... + 1500	GP113, GP123	C152A

2.7 Mittausjälki

Mittausjälki on kalibroinnissa käytettävä vertailuarvo, jota käytetään referenssinä kalibroinneissa. Mittausjälki tuodaan koti- tai ulkomaisesta, kansallisesta mittanormaalilaboratoriosta tai muusta valtuutetusta kalibrointilaboratoriosta mittanormaaleilla. Jos mitattavalle kohteelle ei ole mittausjälkeä saatavissa, mittausjälki perustuu suureen fysikaaliseen ominaisuuteen. (7.)

2.8 Mittanormaalit

Mittanormaali on laite, jota käytetään referenssilaitteena. Mittanormaalien laitetiedoista on ylläpidettävä laiterekisteriä. Mittanormaaleihin tehtävät huollot ja niihin tehtävät korjaukset pitää kirjata laiterekisteriin. Raahen tehtaalla on käytössä Arttu-järjestelmä, johon kirjataan mittanormaalien tapahtumat. Mittanormaalien kalibrointiväli ja ajoitus määritellään Raahen tehtaalla Arttu-järjestelmässä. Jokaisesta yksilöidystä laatumittalaitteesta on perustettu huoltotyö Arttu-järjestelmään. Mittanormaalien ja kalibrointilaitteiden kalibrointien ajoitus tapahtuu Arttu-järjestelmän huoltotyön ohjaamana. Kalibroitu laite merkitään viimeisen käyttökuukauden ja vuoden ilmaisevalla väritarralla. Mittanormaalien toimintatilaa seurataan niiden toiminnan varmistamiseksi. Toiminnan tarkistaminen on ohjeistettu mittasuureen menettelyohjeessa tai siihen liittyvissä työohjeissa. (7.)

2.9 Epävarmuuslaskennat

Kun mitataan mitä tahansa suuretta, on tulos vain arvio todellisesta arvosta mittaushetkellä. Lisäksi mittaustulokseen voi vaikuttaa useita virhelähteitä, jotka vääristävät saatua tulosta. Näiden virheiden eliminoimiseksi on laadittu epävarmuuslaskentaohjeet EA-4/02 (Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration). (4; 8.)

Tässä työssä on huomioitu epävarmuus saamalla kelkan paikoitus mahdollisimman tarkaksi. Paikoitus ei saa heittää kuin 1:n mm verran, jotta mittaustulos olisi paikkansapitävä. Raahan terästehtaalla kaikille käytettäville referenssiantureille on laskettu yhdistetty epävarmuuslaskennat. Kaikki laskelmat on tehty ohjeen EA-4/02 (Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration) mukaan. Mittausepävarmuuden laskelmissa on huomioitu kalibroituspisteen laitteistot ja kalibroitava laite. Seuraavassa luvussa on esimerkki epävarmuuslaskennoista, jotka on laskettu, kun kalibrointi tehdään vertailumenetelmällä, PT100-vastusanturia käyttäen. (4; 8.)

2.10 PT100-vastusanturin epävarmuus laskennat

PT100-vastusanturille, jota käytetään referenssilämpötilan määrittämiseen, on laskettu yhdistetty epävarmuus. Yhdistetty epävarmuus on epävarmuuskomponenttien summan neliöjuuri. Laitteille on myös laskettu laajennettu epävarmuus kaavalla 1. (8.)

Matemaattinen kaava on:

$$t_{90} = t_{pt100} + \delta t_{hpcal} + \delta t_{hptemp} + \delta t_{hpres} + \delta t_{Ptcal} + \delta t_{Ptdeep} + \delta t_{furgrad} + \delta t_{furstab} \quad \text{KAAVA 1.}$$

t_{pt100} Mittaustulos PT100-anturilla.

δ_{t_{hpcal}} DVM-mittajälki. Epävarmuuslaskelmassa yleismittarin 1 kΩ:n mittausalueen kalibroitiepävarmuuteen on sisällytetty myös yleismittarin pitkän ajan stabiilius (3 vuotta).

δ_{t_{hptemp}} Ympäristön lämpötilan vaikutus DVM-osoitukseen. Ympäristön lämpötilan vaikutus on otettu valmistajan spesifikaatioista.

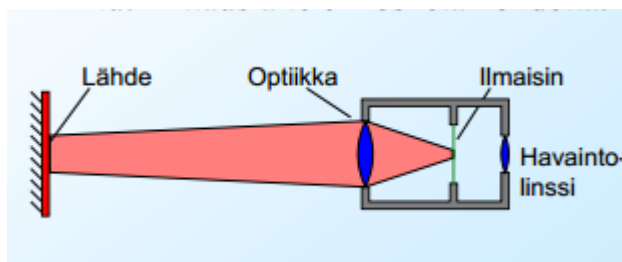
δt_{pres}	DVM-resoluutio. Yleismittarin resoluutio on $1\text{ k}\Omega$:n mittausalueella $100\text{ }\mu\Omega$.
δt_{Ptcal}	PT100-referenssianturin kalibroinnin epävarmuus. Kalibrointiepävarmuuteen on sisällytetty myös arvioitu pitkän ajan stabiilius (1 vuosi).
δt_{Ptdeep}	Lämmön siirtyminen mustasta kappaleesta PT100-anturiin.
$\delta t_{furgrad}$	Kalibrointiuunin mustan kappaleen tasalämpöisyys.
$\delta t_{furstab}$	Kalibrointiuunin mustan kappaleen lämpötilan stabiilius (5 min). (8. s. 1.)

3 LÄMPÖTILAN MITTAAMISEEN KÄYTETTYTETTÄVIÄ LAITTEITA

Tässä luvussa käydään läpi ne lämpötilan mittaamiseen käytetyt laitteet, jotka ovat yleisimpiä Raahen tehtaalla sekä kerrotaan lyhyesti niiden toiminta periaatteista.

3.1 Infrapunakamera

Normaali pyrometri eli infrapunakamera muodostuu optiikasta, ilmaisimesta ja elektroniikasta, jolla muodostetaan lämpötilaan verrannollinen sähköinen signaali. Kuvassa 6 on havainnollistava kuva infrapunakameran rakenteesta. Hyvin suunniteltu pyrometri, on rakennettu siten että, lämpösäteily kerätään mahdollisimman tehokkaasti ilmaisimelle. Tämä merkitsee sitä että, häiriöt nimellisen näköalueen ulkopuolelta on eliminoitu tai häiriölähteestä aiheutuvat virheet on kompensoitu ja optisella suodattimella on erotettu haluttu aallonpituuskaista. Yleisimmin käytetyt optiikat ovat linssi- ja kuituoptiikka. (4.)



KUVA 6. Havaintokuva infrapunakameran rakenteesta (9)

3.2 Linssioptiikat

Lasilinssit mittaavat lämpötiloja, jotka ovat lyhyillä aallonpituuksilla. Lämpötiloille, joissa vaaditaan pitempiä aallonpituuksia, ei optiikan läpäisykyky ole riittävä vaan tarvitaan muita materiaaleja. Haittapuolena optiikoissa on se, että ne likaantuvat herkästi. Tämä vaikuttaa niiden mittaustarkkuuteen huomattavasti. Kuvassa 7 on esimerkki linssioptiikasta joka on tullut kalibroitavaksi. (4.)



KUVA 7. Kalibroitava linssioptiikka

3.3 Kuituoptiikat

Joissakin sovelluksissa pienikokoisillakaan mittalaitteilla ei mittauskohdetta päästä tarkastelemaan tavanomaisilla optiikkajärjestelmillä. Kuvissa 8 ja 9 on esimerkimmalle kuituoptiikoista, joita käytetään Raahen tehtaalla. Asennuspaikka voi olla ahdas, kuuma, epäpuhtauksia sisältävä tai räjähdysvaarallinen eikä käytettävissä ole esim. jäähdytysvettä. Näihin kohteisiin löytyy ratkaisu kuituoptiikkaa käyttävistä rakenteista. Kuituoptiikan optinen mittapää voidaan sijoittaa jopa lämpötilaan 315 °C ilman jäähdytystä. Optiikan mittaava lämpösäteilyenergia siirretään optisella kuidulla suotuisampaan ympäristöön sijoitettuun vahvistimeen. Luvussa 4.4 on esimerkki kuituoptiikan käytöstä Raahen tehtaalla. Kuituoptisen mittauksen haittana pitkillä aallonpituuksilla on heikko optinen teho, mistä syystä kuidun pään tulee olla lähellä mittauskohdetta. Kuituoptiikat soveltuvat käytännössä parhaiten yli 300 °C:n lämpötilojen mittauksiin. (4.)



KUVA 8. Käytössä oleva referenssikuituoptiikka



KUVA 9. Kalibroitavaksi tuotu kuituoptiikka

3.4 PT-100-vastusanturi

PT-100 eli vastuslämpömittari on laite, jonka anturiaineen sähköinen vastusarvo on riippuvainen lämpötilasta. Kuvassa 10 on PT-100-vastusanturi, jota käytetään referenssianturina. Anturiosan pitää olla asianmukaisesti asennettu ja suojattu. Parhaiten vastusantureiksi soveltuvat eräät johdot, lähinnä metallit ja metalliseokset sekä tietynlaiset puolijohteet. Tavallisimmin käytetyt PT-100-anturi on valmistettu platinasta. Platinavastusanturit voidaan jakaa kahteen ryhmään: lanka-anturit ja platinakalvoanturit. (4.)



KUVA 10. Referenssianturina käytetty PT-100-lämpötila-anturi

3.5 Termoelementit

Termoelementti muodostuu kahdesta sähköä johtavasta materiaalista tehdystä langasta, jotka on yleensä valmistettu metallista tai metalliseoksesta. Nämä yhdistetään virtapiiriksi, jolloin muodostuu termopari. Kuvassa 11 on esimerkki termoelementistä. Jos termoparin liitoskohdat ovat eri lämpötiloissa, kulkee suljetussa virtapiirissä virta, joka voidaan havaita herkällä mittarilla. Virran synnyttävää sähkömotorista voimaa kutsutaan termosähköiseksi (Seebeck) jännitteeksi. Termoelementti on laajasti käytössä oleva anturityyppi lämpötilan mittauksissa. Moneen sovellutukseen sen yksinkertaisuus ja luotettavuus sekä halpa hinta ovat kilpailukykyisiä ominaisuuksia. Varsinkin yli 500 °C:n lämpötiloissa termoelementtien käyttö on vastusantureita yleisempää. (4.)



KUVA 11. Termoelementti

4 LÄMPÖTILANKALIBROINTI RAAHEN TEHTAALLA

Tässä luvussa selvitettiin, mitä lämpötilankalibrointi SSAB:n Raahen tehtaalla on ja miten kalibrointi tapahtuu. Lisäksi tarkasteltiin, kuinka paljon lämpötila-antureita tehtaalla on laatutarkkailunpiirissä. Esimerkiksi otettiin lämpötila-anturin kalibrointi, joka mittaa lämpötilaa +25 °C:n ja +200 °C:n välisellä lämpötila-alueella. Lisäksi tutustuttiin tehtaan tuotantolinjan alueeseen, jossa lämpötila-antureita on käytössä.

Nämä selvitykset oli hyvä tehdä, jotta ymmärrettäisiin, kuinka tärkeää lämpötilan kalibrointi tehtaalla on ja kuinka kalibroinnin tarkkuus vaikuttaisi suoraan tuotantoon.

4.1 Lämpötilankalibrointi

Lämpötilankalibroinnissa katsotaan, kuinka paljon mittaavan mittarin lukema poikkeaa oikeasta referenssilämpötilasta. Kalibrointiin ei yleensä sisälly mittarin virittämistä, vaan mitatusta laitteesta ja sillä saduista tuloksista laaditaan kalibrointitodistus. Kun kalibroitu laitetta käytetään mittauksissa, sen antamia mittauservoja verrata kalibrointitodistuksesta saatuihin korjauskertoimiin. Näistä arvoista saadaan laskettua oikea mitattu tulos. Säännöllisellä mittalaitteiden ja -välineiden kalibroinnilla varmennetaan ja estetään mittausvirheitä, jotka vaikuttavat tuotteisiin tai niitä ohjaaviin toimintoihin. (4; 7.)

Raahen tehtaalla kalibrointi tehdään kalibrointilaboratoriossa työohjeen KPP1071T mukaan tai mittalaitteen valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Korjaamon automaatiohuollon kalibrointihenkilöstö tekee jäljitettäviä, ISO 9001 -laatustandardin vaatimukset täyttäviä kalibrointitoita. Automaatiohuoltoon tulevat kalibrointia ja huoltoa vaativat mittalaitteet yleensä myös viritetään, jos niissä todetaan kalibroinnin yhteydessä mittapoikkeamaa. Laatutarkkailun piirissä ovat ne mittavälineet ja laitteet, joiden virheellinen mittaustulos aiheuttaa merkittäviä riskejä tuotteen laatuun, toiminnan häiriöttömyyteen tai ympäristön valvontaan. (7; 10.)

4.2 Kalibroinnissa käytettävät referenssianturit

Lämpötilan todentamisissa käytettävät referenssianturit kalibroi Ircal Oy. Ircal Oy on yksi TUKES:n hyväksymistä kalibrointeja suorittavista yrityksistä. Taulukossa 2 on listattu kaikki tehtaalla käytössä olevat referenssianturit ja laitteet.

TAULUKKO 2. Kalibroinnissa käytettävät referenssianturit

	REFERENSSIANTURIT JA PYROMETRIT
TE0405	Käyttönormaali termoelementtianturi
TE0406	Käyttönormaali termoelementtianturi
TE0420	PT-100-vastusanturi
TE0430	Infrapunapyrometri GP 123
TE0431	Pyrometri GP 113
TE0432	Pyrometri GP 414
TE0433	Käsi­pyrometri Cyclops 300AF
TE0463	Pyrometri GP 203
TE0518	Vahvistin
TE0520	Vahvistin
TE0525	Pyrometri GP 112
TE0527	Vaippa vastuselementti (LT-kalibrointipaikka CJ)
TE0528	Vaippa vastuselementti (LT-kalibrointipaikka kylmänpäänmittaus CJ)
TE0548	Vastusanturi
TE0549	Vastusanturi
TE0550	Lämpömittari
TE0556	PT-100-simulaattori
TE0557	PT-100-simulaattori
TE0565	Lämpötila-anturi 1XPT-100 DIN
TE0572	Lämpötila-anturi 1XPT-100 DIN

Tämän opinnäytetyön aikana Raahen tehtaalla laatutarkkailunpiirissä olevia antureita oli 494 kpl. Taulukosta 3 näkyy mitä lämpötila-antureita ja laitteita Raahen tehtaalla on käytössä ja paljonko niitä on laatumittauksen piirissä.

TAULUKKO 3. Esimerkki laatumittauksen piirissä olevista laitemääristä

KALIBROITAVAT ANTURIT	KPL
Termoelementit	180
Manttelitermoelementit	128
PT-100-vastusanturit	5
Pyrometrit	48
Kuitupyrometrit	51
Käsiipyrometrit	15
Infrapunapyrometrit	2
Infrapuna käsiipyrometrit	5
Vahvistimet	29
TERÄKSEN LÄMPÖT. TESTERIT	3

Tehtaalla on määritelty työhjeet jokaiselle kalibroitalle laitteelle. Seuraavassa kappaleessa on esimerkki kalibroitalvan pyrometritin työhjeista.

4.3 Kalibroinnin tekeminen

Lämpötilankalibroinnit tehdään vain kalibrointihuoneessa olevassa kalibrointipisteellä. Kalibrointihuoneen lämpötilaa ja kosteutta valvotaan niitä mittaavilla ja tallentavilla laitteilla. Kosteus- ja lämpötilalukemat kirjataan aina kalibrointipöytäkirjaan. Kalibrointi tehdään tietokoneavusteisesti kalibrointiohjelman avulla. Mitatut arvot muutetaan lämpötilaksi laitekohtaisesti määrättyllä tavalla. Mittaukset tehdään vertailumenetelmällä. (6.)

Ennen kuin varsinainen työ aloitetaan, on valittava uuni ja referenssianturi kalibroitalvan laitteen mukaan. Laitteistoa valittaessa on huomioitava myös mittauskohteen ja mitattavan alueen koon

vaikutus. Tämä vaikutus pitää ottaa huomioon mittavirheiden välttämiseksi. Esimerkiksi kun kalibroitava laite mittaa lämpötilaa +25 °C:n ja +200 °C:n välisellä lämpötila-alueella, käytetään LAND P80P-uunia. Referenssiarvona käytetään sopivaa PT-100-referenssianturia tai kalibrointiin soveltuvaa käsipyrometriä. (6.)

Työ aloitetaan puhdistamalla kalibroitavan pyrometrin optiikka. Laitteiston toimintakunto tarkistetaan aina ennen kalibrointia. Seuraavaksi kalibroitavalle laitteelle ja referenssianturille asetetaan emissiokertoimet. Kytettäessä ja tarkistettaessa laitteen apujännitettä toimitaan pyrometrin valmistajan ohjeiden mukaan. Kalibroitava pyrometri asetetaan uunien edessä olevalle telakalle. Ennen kalibrointia annetaan kalibroitavan pyrometrin lämpötila stabiloitua 30 min huoneen lämpötilassa jännitteet kytkettyinä. Tämän jälkeen voidaan mittaukset aloittaa. Ensiksi mitataan referenssianturilla mustankappaleen uunia. Referenssianturin antamat lukemat kirjataan tietokoneavusteisesti. Seuraavaksi mitataan mustankappaleen uunia kalibroitavalla pyrometrillä. Sillä saamia tuloksia verrataan referenssianturin antamiin tuloksiin. Mustankappaleen uunia voidaan myös vaihtaa jos kalibrointi vaati sitä. Mittauksia toistetaan useampaan kertaan mittaustuloksien luotettavuuden varmistamiseksi. Kalibroinnissa saadut lukemat kirjataan mittauspöytäkirjaan ja kalibroitu laite merkitään tarralla kalibroinnissa hyväksytyksi. (6.)

4.4 Esivalssin rullarata 15:n kuitupyrometrit

Lämpötilaa mittaavia antureita on tehtaalla satoja ja myös paikkoja joissa niitä on, on paljon. Selvitin yhden tehtaan alueen, jossa automaatiohuollon kalibroimia lämpötila antureita on käytössä. Nauhavalssaamon esivalssin jälkeinen rullarata tuntui järkevältä kohteelta, koska alue kuului sähköhuollon kunnossapito alueisiin.

Esivalssin jälkeinen rullarata 15:n, alla on kaksi lämpötilaa mittaavaa kuitupyrometria, jotka mittaavat esivalssilta tulevan teräksen lämpötilaa. Samalla kun anturit mittaavat lämpötilaa, ne antavat tilatiedon missä kohdassa valssattavan kappaleen keula tai häntä on menossa. Kuvassa 12 näkyy kuinka kaksi kuitupyrometria on sijoitettu suojaputkissa rullaradan alle.



KUVA 12. Rullarata 15. kuitupyrometrit

Antureiden päät on sijoitettu rullaradan alapuolelle mittaamisen tarkkuuden parantamiseksi. Jos anturit olisi sijoitettu rullaradan yläpuolelle, hilse joka irtoaa teräksen pinnasta, tuottaisi epävarmuutta mittaustuloksiin ja rikkoisi mittapäät ajan myötä nopeammin. Nauhan päällä liikkuva jäädytys ja hilsepesuvesi aiheuttaisivat myös mittaukseen häiriöitä. Kuvassa 13 näkyy rullarata yläpuolelta kuvattuna ja kohta mistä pyrometrit mittaavat.



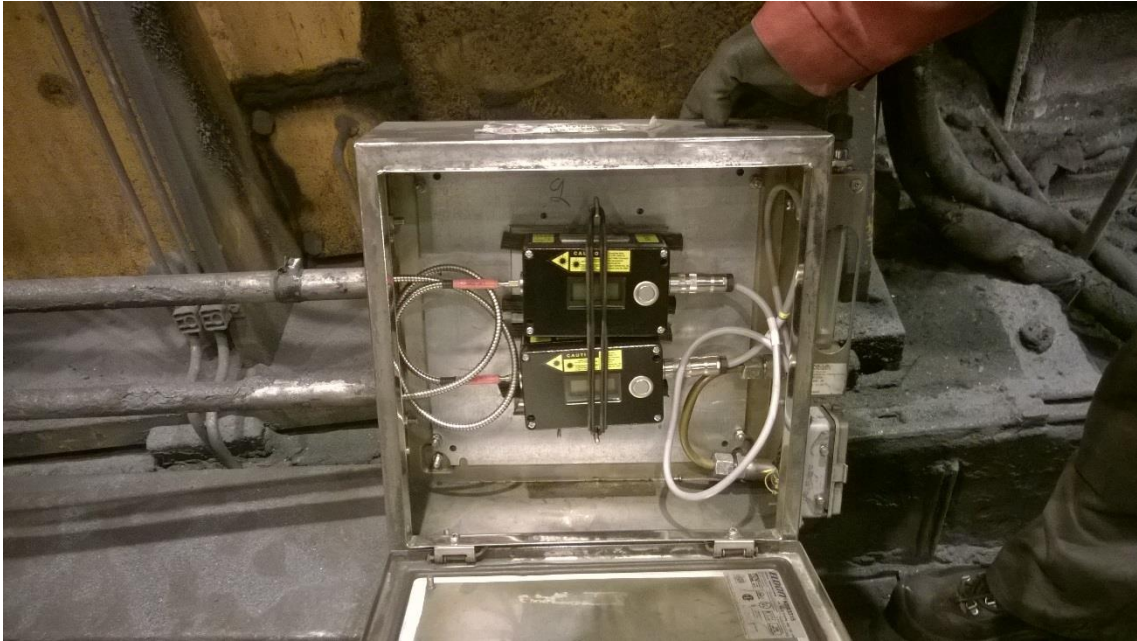
KUVA 13. Mittausaukko näkyy palkin keskellä olevana aukkona

Kuitupyrometrien mittapät on suojattu suojaputkillä ja ilmapursotuksella, jotta teräksestä irtoava hilse ja pöly eivät päsisi vahingoittamaan mittapätä. Kuvassa 14 näkyy kuinka kuitupyrometrin mittapää suojataan rullaradan alla.



KUVA 14. Suojaamaton kuitupyrometrin mittapää

Lisäksi mittalaitteet pitää suojata ruostumattomasta teräksestä valmistetulla suojakotelolla, koska olosuhteet rullaradan läheisyydessä vaativat sen. Kuumuus, hilsepöly ja jäähdytysvesi tuhoaisivat mittalaitteet nopeasti. Kuvassa 15 näkyy mittalaitteet sijoitettuna suojakoteloon.



KUVA 15. Mittalaitteet on sijoitettu ruostumattomasta teräksestä valmistettuun suojakoteloon

Kuitupyrometreiltä saatava tieto on yhteydessä nauhavalssaamon perusautomaatioon ja on osaltaan ohjaamassa teräksen valmistuksen prosessia.

5 TYÖN SUORITUS

Työ aloitettiin kartoittamalla kalibroitipisteen ongelmia ja tutustumalla lämpötilanmittaamisessa käytettävään ohjelmistoon. Lisäksi tutustuttiin kalibroitipisteen laitteistoihin ja kartoitettiin niiden turvallisuutta.

5.1 Kartoitus

Työn kartoitus aloitettiin perehtymällä työvaiheisiin, joita tapahtui antureiden kalibroinnissa. Tämä tehtiin, jotta saataisiin oikea kuva työstä. Kartoitusta tehtäessä kuunneltiin myös, minkälaisia toiveita olisi asentajilla, jotka työskentelivät lämpötilankalibroinnin kanssa. Antureiden tarkka kohdistaminen lämpötilan mittaamista varten oli ongelmallista nykyisellä laitteistolla. Lisäksi nykyinen kalibroitiohjelmisto oli kankea käyttää. Sovittiin työnohjaajan Harri Keräsen kanssa, että keskityttäisiin ensisijaisesti kalibroitikelkan paikoitukseen ja ohjaukseen, koska koko ohjelman uusiksi tekeminen olisi liian työlästä ja ajallisesti mahdotonta. Asentajien toiveena oli saada ohjattua kelkkaa käsi- ja automaattiajolla jokaisen uunin kohdalle. Tämä ongelma voitaisiin ratkaista käyttämällä ohjelmoitavaa logiikkaa.

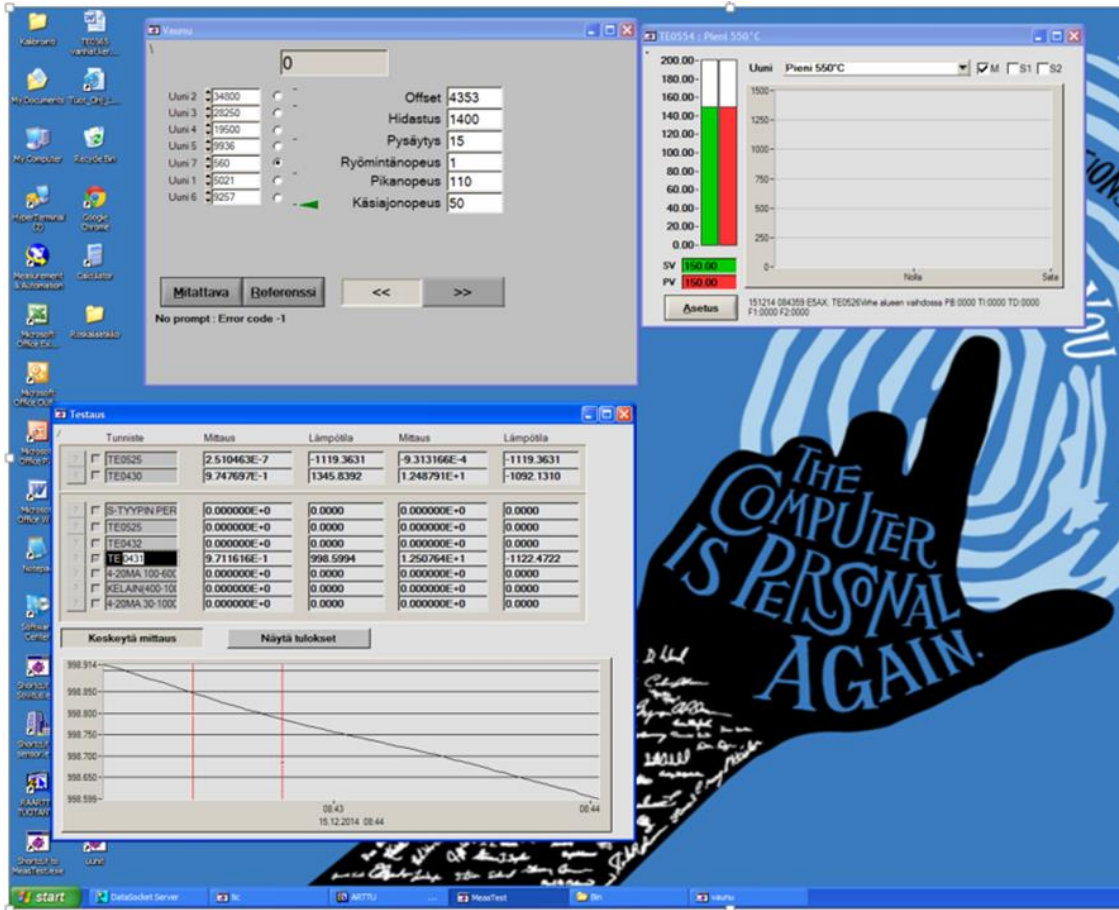
5.2 Vanhan laitteiston ja ohjelmien toiminnan kuvaus

Vanha kalibroitiprosessin ohjaus on toteutettu yhden ohjelman moniajototeutuksella, eli ohjelma ohjaa useita prosesseja resurssien käytön perusteella. Prosessit on määritelty askeleiksi, jotka ohjaavat jokainen omaa toimintoansa. Esimerkiksi yksi näistä askelista hoitaa GPIB-väylän toimintaa, toinen RS422-väylän toimintaa. Yksi näistä askelista ohjasi pyrometrikelkan paikoitusta sekä ohjausta.

Pääprosessit:

- Käyttöliittymä
- Näytönhallinta
- Näppäimistön luku
- Viestinvälitys
- GPIB-väyläkyselyt (MUX ja DMM)
- Jännite, lämpötilamuutokset ja GPIB-mittausten trenditietojen keruu
- RS232-väyläkyselyt (pyrometrikelkan liikkeet)
- RS422-väyläkyselyt (säätäjät)
- Uunien trenditietojen keruu
- Uunien tilan seuranta, lämpötila-asetusten ja säätöparametrien hallinta
- Pyrometrien kalibrointi
- Termoelementtien kalibrointi

Kalibrointiprosessia ohjattiin useammalla käyttöliittymällä, jotka olivat yhteydessä toisiinsa muodostaen edellä mainitun yhden ohjelman moniajototeutuksen. Käyttöliittymillä pystyi ohjaamaan kelkan paikoitusta, lämpötilanmittausta ja uunien lämpötilojen ohjausta. Kalibroitaessa lämpötilanmittausohjelma näyttää trendikäyränä mitattavan anturin mitatut arvot ja muutokset mittauksissa. Ohjelmistossa oli kaikille anturityypeille oma mittauskäyttöliittymänsä. Kuvassa 16 näkyy vanhat käyttöliittymät. Vanhasta kalibrointiohjelman kelkanojauksikäyttöliittymästä saatiin mallia uuden käyttöliittymän ulkoasun rakentamiseen, koska se oli tarpeeksi selkeä ja yksinkertainen.



KUVA 16. Vanha kelkanpaikoitusohjelma ja käytössä olevat kalibrintiohjelmat

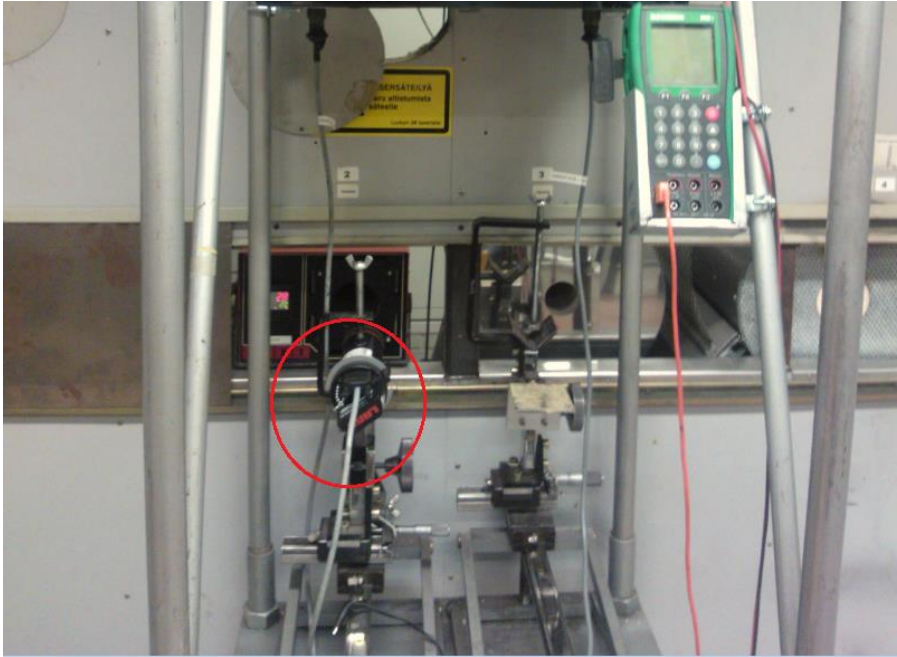
5.3 Kalibrintiympäristön kuvaus

Kalibrintiympäristö koostuu viidestä uunista ja kiskoilla kulkevasta kelkasta, johon kalibroitava laite ja referenssianturi sijoitetaan. Kuvassa 17 näkyy kalibrintipiste. Kelkkaan on asennettu Land-markx-mittauslaitteet, jotka on liitetty sarjaliikenneportilla PC:hen ja HP-mittalaitteeseen.



KUVA 17. Kalibrointipiste

Kalibrointiuuneja on yhteensä viisi, joille pitää määrittää kelkassa olevien referenssianturin ja korjattavan anturin paikat. Kelkalle tulee yhteensä kymmenen eri paikkaa joihin sen tulee pysähtyä. Anturit joita mitataan, sijoitetaan kelkkaan niille tehdyille telakoille. Kuvassa 18 näkyy kelkassa olevat telakat joihin anturit kiinnitetään mittauksien ajaksi.



KUVA 18. Kelkassa olevat telakat joihin anturit sijoitetaan

5.4 Laitteiston turvallisuus

Koska turvallisuus oli tärkeä osa tätä työtä suunniteltaessa ja tehtäessä, oli hyvä käydä läpi ne kohdat tehtaalla noudatettavasta Ruukki Turvallisuus turvallisuusohjeista, jotka asiat työnlopputuloksen pitää täyttää turvallisuuden osalta.

SSAB:n Raahen terästehtaalla noudatetaan RAOHJ_504 turvallisuusohjetta. Tehtäessä huolto-, tarkastus-, puhdistus- ja korjaustöitä koneille ja laitteille on odottamaton käynnistyminen aina luotettavasti estettävä. Odottamattomalla käynnistyksellä tarkoitetaan koneen, laitteen, järjestelmän tai näiden osien tilan muuttumista lepotilasta liikkeeksi, mikä voi tapahtuessaan aiheuttaa vaaraa vaaravyöhykkeellä työskenteleville henkilöille. Laitteiden toiminta on pystyttävä estämään erottamalla kaikki työkohteen energialähteet ja pidättämällä tai vapauttamalla varastoituneet energiat. Ennen työn aloittamista on selvítettävä työhön liittyvät vaaratekijät ja selvítettävä, miten huolto tai vianhaku voidaan suorittaa turvallisesti. (11.)



KUVA 19. Vanha ohjauskotelo ja hätä-seis-katkaisin

Vanhassa laitteistossa oli vain yksi hätä-seis-katkaisin, joka oli sijoitettu ohjauskotelon kylkeen. Koska katkaisin oli huonosti sijoitettu ja riittämätön laitteiston turvallisuuden kannalta, päätettiin asentaa kokonaan uusi hätä-seis-piiri laitteiston turvallisuuden parantamiseksi. Huono sijoituskohta näkyy kuvassa 19.

6 SUUNNITTELU

Kalibrintikelkan ohjauksen suunnittelu aloitettiin samalla kun kartoitettiin kalibrintipistettä ja sen laitteistoa. Haasteelliseksi suunnittelun teki se, että vanha kelkan ohjauslaitteisto oli jo poistettu käytöstä ja siitä löytyneet kuvat olivat vanhentuneita. Kuvissa ei ollut viimeisimpiä muutoksia, joita laitteistoon oli tehty. Lisäksi laitteiston turvallisuus oli puutteellista ja vaati välittömiä parannuksia.

Pohdittaessa järkevää ohjausratkaisua kelkalle, päädyttiin toteuttamaan kelkan ohjaus ohjelmoitavalla logiikalla, jota ohjattaisiin kosketusnäytön kautta. Lisäksi päätettiin vaihtaa kelkkaa liikuttaneen moottorin ohjaukseen käytetty taajuusmuuttaja uudempaan, koska vanha oli ABB Samistarmallinen. Taajuusmuuttaja oli vanhentunut eikä sitä ollut järkevää käyttää enää moottorin ohjaukseen.

Suunniteltaessa hankittavia laitteita, päätettiin käyttää mahdollisimman paljon jo olemassa olevia laitteita. Käyttöön jäävien laitteiden kunto tarkistettiin ennen kuin ne päätettiin jättää käyttöön.

Kelkan paikoitus tapahtuisi kosketusnäytöllä. Ohjaavana logiikkana toimii Siemens S7-1200 -sarjan logiikka, joka ohjaa kalibrintikelkan paikoitusta pulssianturin avulla. Pulssianturi on sijoitettu moottorin vaihteen päähän. Pulssianturi antaa 200 pulssia/ kierros. Tässä työssä käytettiin mahdollisimman paljon hyväksi jo kalibrintitilassa olemassa olevia laitteita.

6.1 Tarvehankinnat

Suurin osa tarvikkeista saatiin korjaamolta sähkö- ja automaatiohuollon varastoista. Lisäksi joitain tarvikkeita haimme tehtaan keskusvarastolta. S7-1200-mallin logiikan osat tilattiin SLO:n kautta.

Koska pulssianturin toimintakunnosta ei ollut varmuutta, hankittiin sitä korvaamaan absoluuttianturi, mikäli pulssianturi ei olisi toimintakunnossa. Taulukossa 4 näkyy tarvikkeet joita tarvittiin työssä.

TAULUKKO 4. Tarvehankinnat

Tarvehankinnat
S7-1200, CPU 1214C, DC/DC/DC
S7-1200, POWER MODULE PM1207
S7-1200 CM1241 RS422/485
Ohjauspaneeli KTP600 BASIC CLR
ABB ACS 150-taajuusmuuttaja
Sick ATM60-PAH13X13 Absoluutti anturi
Kontaktori Telemecanique LC1D12
Kolmivaihe johdonsuojakatkaisia ABB K 6A
Turvarele JOKAB SAFETY JSBR4 24V
Kosketinyksikkö Shneider H407414 NC
Kosketinyksikkö Shneider H407411 NO
Hätäseispainike Telemecanique NC 2 24V
Hätäseispainike NC 2 24V
MCMK 5*2,5 S 5m
MMJ 5*2,5 S 1,5m
NOMAK 2x2x0,5 20m
NOMAK 4x2x0,5 5,5m
RJ45 10m
RJ45 1,5m
MKJ 90C 0,75 VASI 10m
ML 2,5 SI 0,5m
ML 2,5 KEVI 0,5m

Seuraavissa luvuissa on kerrottu lyhyesti laitteista, jotka olivat tärkeimpiä tarvehankintoja kelkan ohjausjärjestelmän kannalta.

6.2 Simatic S7-1200

SIMATIC S7-1200 on ohjelmoitava PLC-logiikka (Programmable logic controller). Kuvassa 20 on havaintokuva logiikasta. Se on pienikokoinen automaatiolaite mekaniikan ohjaustehtäviin. Nykyään erilaiset toiminnot koneen ohjauksesta ja valmistuslinjoista toteutetaan ja valvotaan PLC-pohjaisilla ohjauksilla. Aiemmin näiden toimintojen aikaansaamiseksi käytettiin satoja aika- ja ohjausreleitä.



KUVA 20. Työssä käytetty logiikka CPU 1214C DC/DC/DC (12)

Automaatio-ohjausjärjestelmä on pienikokoinen, itsenäisesti toimiva ja kompakti automaatiolaite, jonka vahvuuksia ovat myös verkotettavuus olemassa oleviin TCP-/IP-verkkoihin ja laajennettavuus. (13.)

SIMATIC S7-1200 -tuoteperhe helpottaa pienten ja keskisuurien laitteiden automatisointia. Se on myös mahdollista liittää laajempiin ohjausjärjestelmiin. Tyypillisimmät tuoteperheen käyttäjät ovat laitevalmistajat. S7-1200:aa ei ole rajoitettu korvaamaan vain releohjauksia vaan sen PID-säätäjillä ja liikkeenohjaustoiminnoilla voidaan toteuttaa monimutkaisiakin laitteita. (13.)

SIMATIC S7-1200 -ohjelmointiohjelma STEP 7 Basic (TIA Portal) on helppo oppia ja tekee mahdolliseksi nopean ohjelmistototeutuksen eri tarpeisiin. Ohjelmointiohjelma jo itsessään sisältää ohjelmakirjastoja liityntätarpeisiin. (13.)

6.3 Simatic HMI KTP600 Basic color PN-kosketusnäyttö

KTP600 Basic color PN on erityisesti S7-1200 PLC-logiikkaperhettä tukeva kosketusnäyttö. Kuvassa 21 on havaintokuva kosketusnäytöstä.



KUVA 21. HMI KTP600 (14)

KTP600 on myös liitettävissä muihinkin ohjausjärjestelmiin, jotka tukevat PROFINET verkkoa ja käyttävät Ethernet-liitäntää. Kosketusnäyttöä voidaan ohjelmoida WinCC Basicilla (TIA Portal) tai sitä uudemmalla versiolla. (14.)

6.4 ABB ACS150 -taajuusmuuttaja

ACS150-taajuusmuuttajassa on laajat tehoalueet ja kattava parametroitavat toiminnot. Kuvassa 22 on esimerkki työssä käytetystä taajuusmuuttajasta.



KUVA 22. ABB ACS150-taajuusmuuttaja (15)

Taajuusmuuttaja on saatavana sekä yksi- että kolmivaihesyötöllä varustettuna. Monet toiminnot ovat laitteen vakio-ominaisuuksia, kuten PID-ohjaus, sisäinen jarrukatkoja ja EMC-suodatin. (15.)

6.5 JOKAB SAFETY JSBR4 24V turvarele

ABB JSBR4 on turvarele, joissa on kaksikanavainen synkronisaatio. Kuvassa 23 on havaintokuva työssä käytetystä turvareleestä.

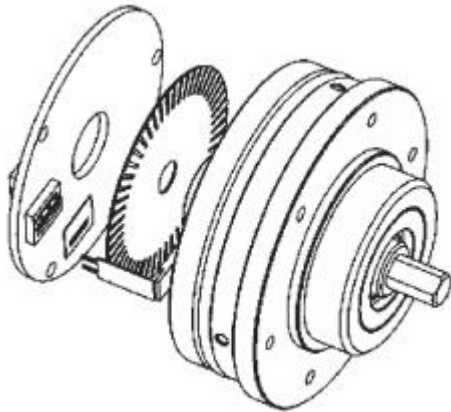


KUVA 23. Turvarele (16)

Turvareleet on tarkoitettu käytettäväksi esimerkiksi molemmin käsin ohjattavien laitteiden, hätäseis-piirien ja muiden turvalaitteiden ohjaamiseen. (16.)

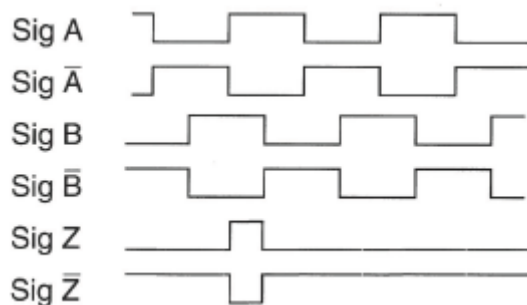
6.6 Pulssianturi

Pulssianturi on yksinkertainen, pyörintä ja kääntymiskulman osoittava anturi, jota voidaan myös käyttää kohteen paikoitukseen. Kuvassa 24 on havainnollistettu pulssianturin rakenne. Anturi koostuu valoa lähettävästä LED:stä, valoa vastaanottavasta diodista ja niiden välissä olevasta optisesta pulssikiekosta, joka on kiinnitetty akseliin. Pulssikiekkoon on värjätty vuorotellen sekä läpinäkyviä että läpinäkymättömiä viivoja, joiden lukumäärä vastaa anturin resoluutiota. Kun kiekko pyörii, valo vuorotellen näkyy ja ei näy pulssikiekkon läpi vastaanottimelle. (17.)



KUVA 24. Pulssianturin rakenne (17)

Tämä analoginen signaali vahvistetaan ja muutetaan suorakulmaiseksi kanttiaalloksi ulostuloon. Kuvassa 25 on kuvattu pulssianturin lähettämät signaalit. (17.)



KUVA 25. Pulssianturin signaalit (17)

6.7 Absoluuttianturi

Absoluuttianturi lukee koko ajan paikkansa pulssikiekolta, vaikka sähkötkatkaistaisiin välillä. Peruseriaate absoluuttianturin pulssien muodostuksessa on sama kuin pulssianturilla, mutta pelkkien viivojen sijaan pulssikiekolle on värjätty usealle sisäkkäiselle kehälle koko kyseistä asentoa ilmaiseva binäärikoodi. Kuvassa 26 on esimerkki absoluuttianturin kiekon rakenteesta. (17.)



KUVA 26. Absoluuttianturin kiekon rakenne (17)

7 OHJELMOINTI

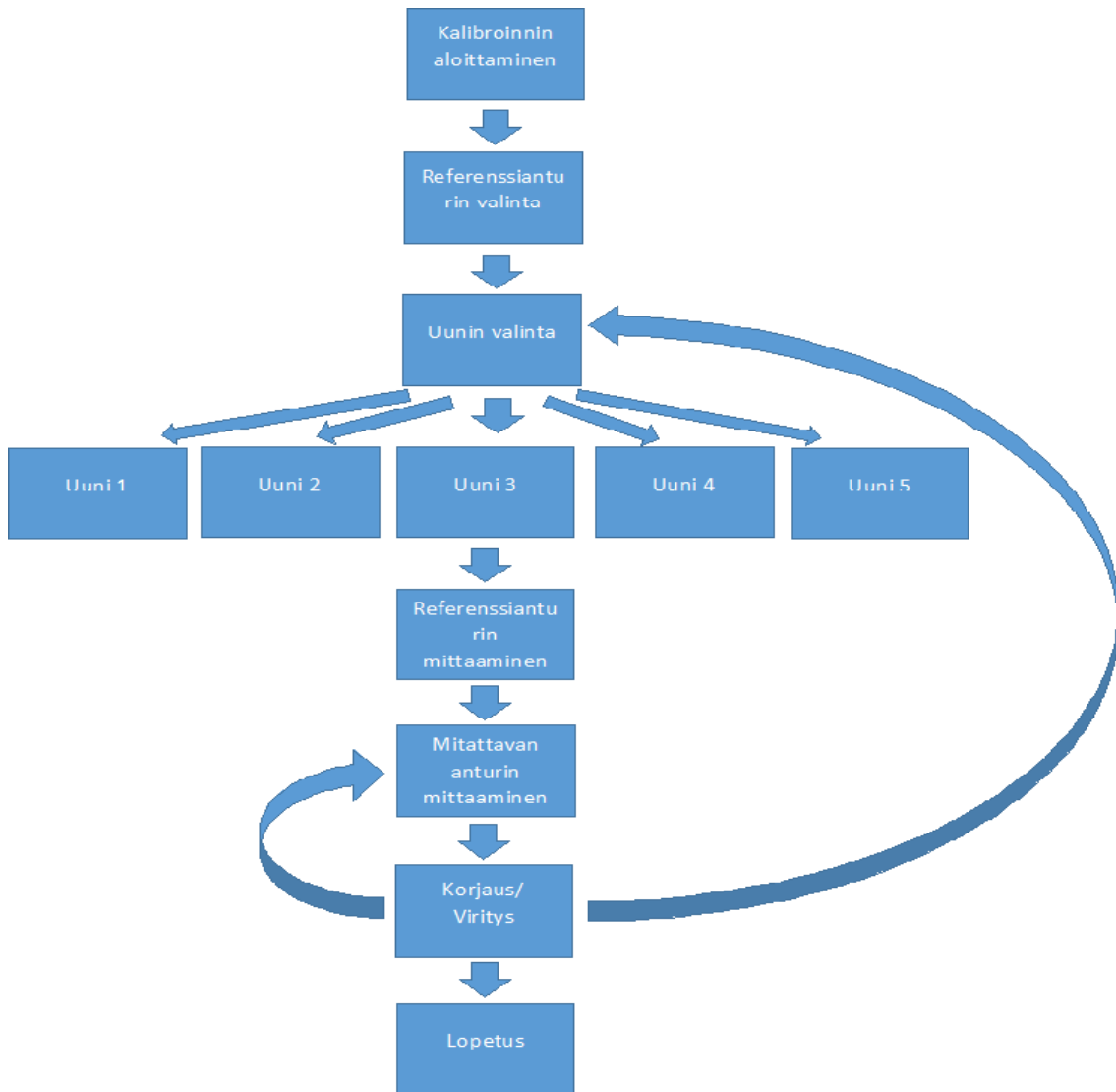
Työn ohjelmointi tehtiin TIA Portal V12 -ohjelmaa hyväksikäyttäen. TIA Portal valittiin siksi, että se sisälsi logiikan ohjelmointiin tarkoitetun Simatic Step 7- ja käyttöliittymäsuunnitteluun tarkoitetun Simatic WinCC -ohjelman. Ohjelmalla pystyttiin toteuttamaan sekä kelkanpaikoitus että kosketusnäytön ohjelmointi. Työtä tehdessä käytettiin LAD (Ladder Diagram) -ohjelmointikieltä logiikan ohjelmointiin.

Työ aloitettiin harjoittelemalla ohjelmointeja ja tekemällä pieniä harjoitusohjelmia. Näin tutustuttiin pulssianturin toimintaan sekä kosketusnäytön ohjelmointiin. Näin tehtiin, koska aikaisemmin ei ole oltu tekemisissä kyseisten laitteiden kanssa. Tässä vaiheessa eteen tuli ensimmäinen haaste: Aloittaessa ohjelman tekemistä ja lataamista logiikalle opinnäytetyötä varten saatu kannettavan tietokoneen virusturvaohjelma F-securen palomuri esti tietokoneen ja logiikan välisen tiedonkulun. Tätä ongelmaa ei esiintynyt, kun logiikalle ladattiin tyhjä ohjelma. Ongelma ratkaistiin asentamalla TIA toiselle koneelle. Seuraavaksi opeteltiin tekemään kosketusnäytölle toimintoja, joilla pystyttiin ohjaamaan ja simuloimaan moottorin ja taajuusmuuttajan eri toimintoja.

7.1 Ohjelman kuvaus

Kelkalla on 10 eri paikkaa, mihin sen pitää pystyä pysähtymään 1:n mm tarkkuudella. Kun kelkalle annetaan käsky ajaa uunille 1, eivät käskyn lähdettyä muut toiminnot mene päälle, poikkeuksena hätä-seis-painike ja seis-painike. Esimerkiksi ohjelman toiminnasta: kun halutaan kelkan liikkuvan uunin referenssianturin kohdalle, painetaan kosketusnäytöltä painiketta, jolle on määritetty sen paikka. Kelkka liikkuu niin kauan, kuin pulssianturi antaa uunille määritellyn pulssiluvun. Kosketusnäytön ruudulla on pulssilukua näyttävä lukema ja lisäksi animaatio, joka näyttää, missä kohdassa kelkka on menossa. Lisäksi uunien paikat pystytään vaihtamaan ja tallentamaan muistiin uudelleen käsiajotoimintoa käyttämällä.

Ennen varsinaista ohjelmointia tehtiin vuokaavio kalibrointiprosessista, jotta hahmotettaisiin, mitä ohjelmalta vaaditaan. Vuokaavio on nähtävillä kuvassa 27.



KUVA 27. Kalibrointiprosessin vuokaavio

Lisäksi tehtiin alustavan I/O-listan tarvittavista tuloista ja lähdöistä. I/O-lista näkyy taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Alustava I/O-lista

I/O lista	
Tulot	Lähdöt
Hätäseis	Hätäseis kuittaus
Päätyraja koti	Moottori ajo eteen
Päätyraja 1	Moottori ajo taakse
Pulssit	Hidastus

7.2 Ohjelman tekeminen logiikalle

Ohjelman tekeminen aloitettiin I/O-listan laatimisella. Ohjelmaan lisättiin kaikki mahdolliset tarvittavat tulot ja lähdöt. Kuvassa 28 on I/O-lista, jossa on kaikki tarvittavat tulot ja lähdöt.

	Name	Tag table	Data type	Address ▲	Retain	Visibl...	Acces...	Comment
1	Hätäseis	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Päätyraja koti	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Päätyraja 1	Default tag table	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Pulssi	Default tag table	DWord	%ID1004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Hätäseis kuittaus lähtö	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	M1 ajo eteen	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	M1 ajo taakse	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Hidastus(1)	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Aina 0	Default tag table	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Aina 1	Default tag table	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Tag_2	Default tag table	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Tag_3	Default tag table	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Tag_5	Default tag table	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Tag_1	Default tag table	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Tag_6	Default tag table	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Tag_12	Default tag table	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Tag_13	Default tag table	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Tag_8	Default tag table	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Seis_sr	Default tag table	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Tag_9	Default tag table	Bool	%M2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Tag_10	Default tag table	Bool	%M2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	Tag_15	Default tag table	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Moottori koti	Default tag table	Bool	%M2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Tag_16	Default tag table	Bool	%M2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	seis	Default tag table	Bool	%M3.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	Ohjausalue automaattijolla	Default tag table	Bool	%M3.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	Tag_11	Default tag table	Byte	%MB4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	Paikoitus St1 eteen	Default tag table	Bool	%M4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

KUVA 28. I/O lista

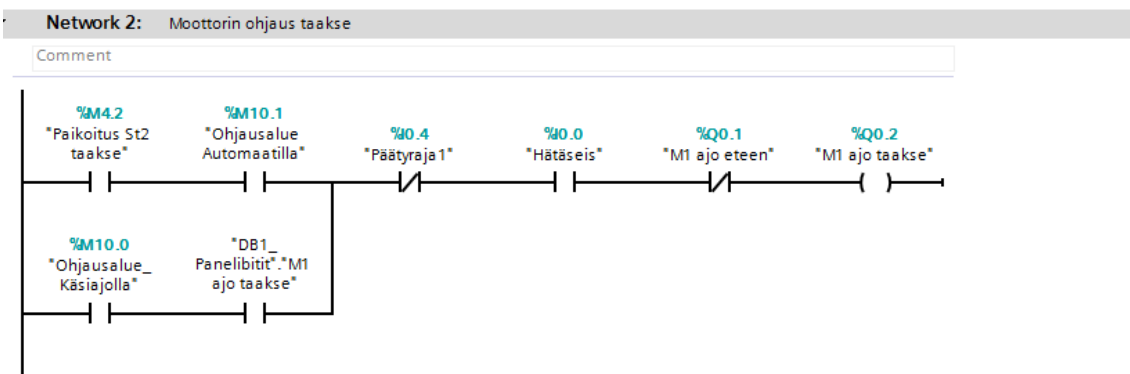
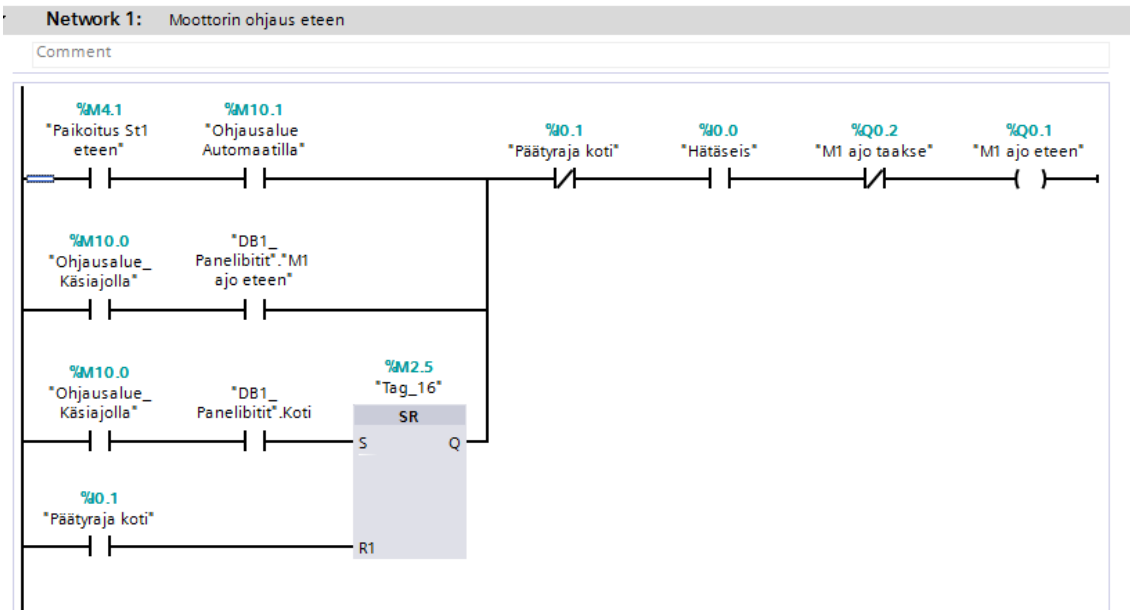
Osa tuloista, lähdöistä ja muistipaikoista selvisi vasta ohjelmaa tehdessä. Seuraavaksi tehtiin kosketusnäytön I/O-lista, jossa määritettiin painikkeiden tulot ja lähdöt. Kuvassa 29 on kosketusnäytölle tehty I/O-listasta.

Default tag table					
Name ▲	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	A
DB1_Panelibitit_Askelleen reset	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Askeele...	
DB1_Panelibitit_Auto	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit.Auto	
DB1_Panelibitit_Hätäseis kuittau	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Hätäseis ...	
DB1_Panelibitit_Käsi	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit.Käsi	
DB1_Panelibitit_M1 ajo eteen	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."M1 ajo e...	
DB1_Panelibitit_M1 ajo taakse	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."M1 ajo t...	
DB1_Panelibitit_Seis	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit.Seis	
DB1_Panelibitit_Uuni1 mit_ope...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni1 m...	
DB1_Panelibitit_Uuni1 ref_opet...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni1 re...	
DB1_Panelibitit_Uuni2 mit_ope...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni2 m...	
DB1_Panelibitit_Uuni2 ref_opet...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni2 re...	
DB1_Panelibitit_Uuni3 mit_ope...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni3 m...	
DB1_Panelibitit_Uuni3 ref_opet...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni3 re...	
DB1_Panelibitit_Uuni4 mit_ope...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni...	
DB1_Panelibitit_Uuni4 ref_opet...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni4 re...	
DB1_Panelibitit_Uuni5 mit_ope...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni5 m...	
DB1_Panelibitit_Uuni5 ref_opet...	Bool	HMI_connectio...	PLC_1	DB1_Panelibitit."Uuni5 re...	
DB10_Uuni3 ref	Dint	HMI_connectio...	PLC_1	"DB10_Uuni3 ref"."Uuni3...	
DB11_Uuni3 mit	Dint	HMI_connectio...	PLC_1	"DB11_Uuni3 mit"."Uuni...	

KUVA 29. Kosketusnäytön I/O lista

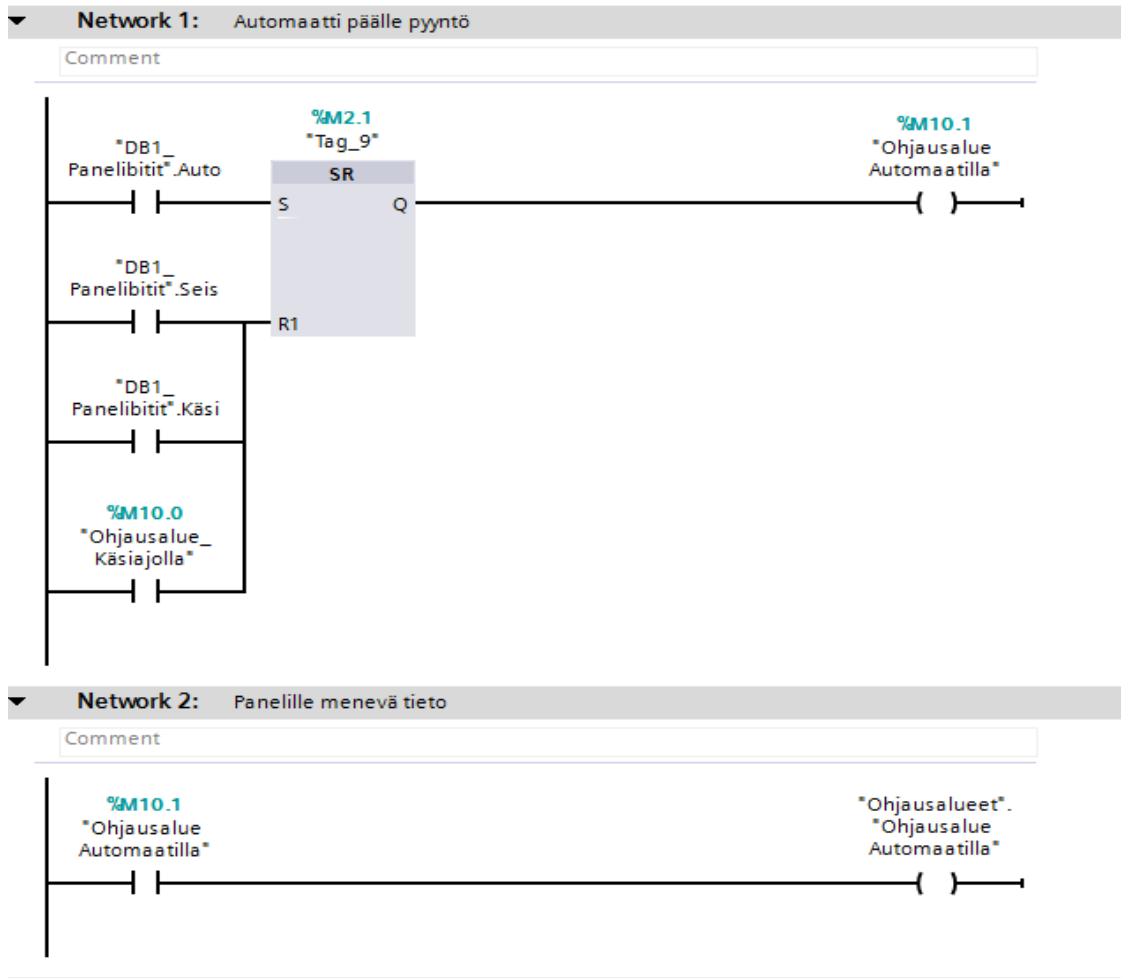
Tämän jälkeen piti kosketusnäytön tulot ja lähdöt linkittää logiikan lähtöjen kanssa. Kun tulokäsky lisättiin suoraan ohjelmaan, eivät painikkeet toimineet oikein. Sen vuoksi jokaiselle painikkeelle tehtiin oma DB-muistipaikka. DB:n kautta painikkeiden logiikka toimi oikein.

Ensimmäisenä lohkona tehtiin moottorinohjauslohko. Sitten määritettiin kaikki kelkan liikkumiseen vaikuttavat tekijät: mihin suuntaan kelkka liikkuisi ja olisiko kelkan ohjaus käsi- vai automaattiajolla. Taajuusmuuttajan parametrin estivät moottorin suuntien yhtäaikaisen käynnistymisen, mutta samalla haluttiin varmistaa sen myös ohjelman puolella. Ohjelmaan lisättiin myös turvareleeltä tulevien hätä-seis painikkeiden kosketintiedot. Hätä-seis-painikkeen painaminen näkyi kosketusnäytöllä punaisen painikkeen vilkkumisena. Kuvassa 30 on moottorinohjauslohko.

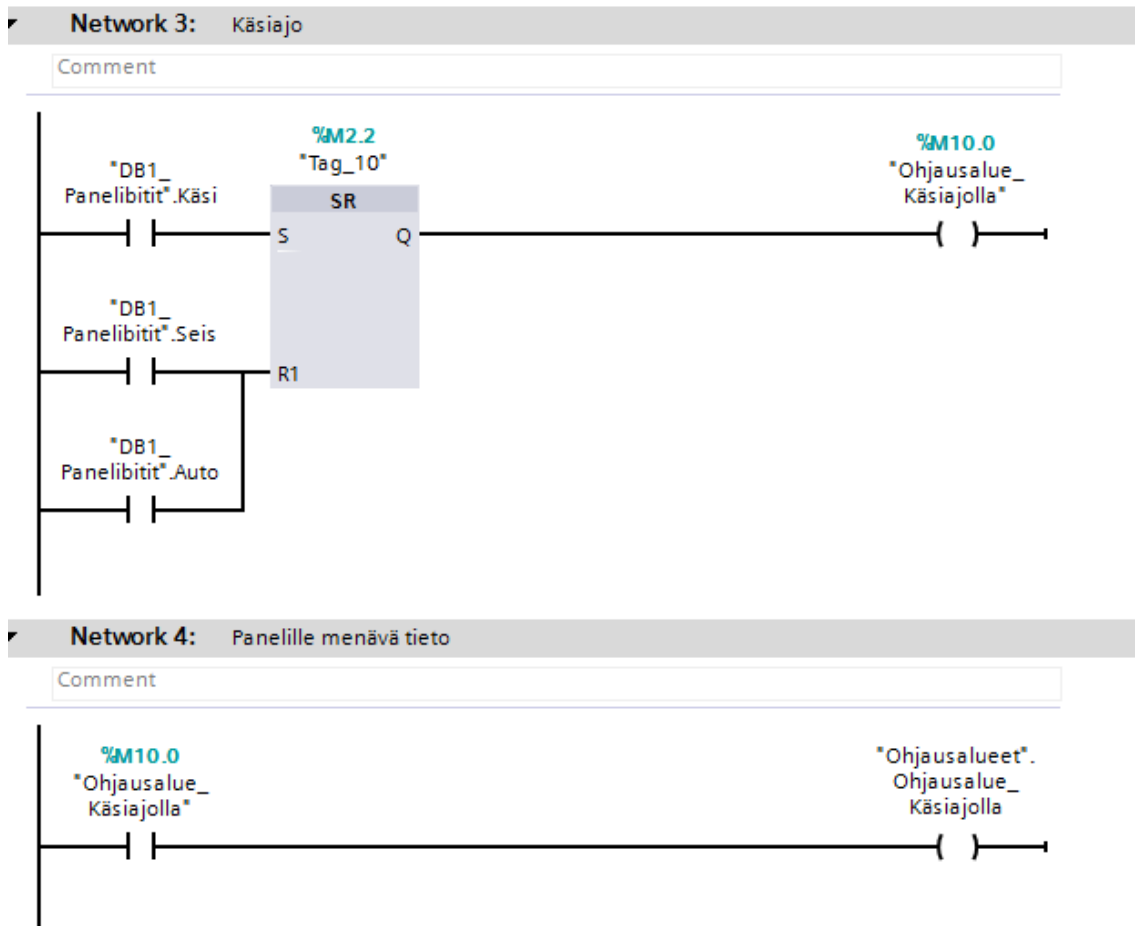


KUVA 30. Moottorinohjauslohko

Toisessa lohossa määritettiin automaatti- ja käsiajo-ohjauksien päälle ja pois määriykset. Tarkoituksena oli, että ohjaukset tapahtuisivat kosketusnäytön kautta. Kuvissa 31 ja 32 näkyy edellä mainitut automaattiajono-ohjauslohko ja käsiohjauslohko.

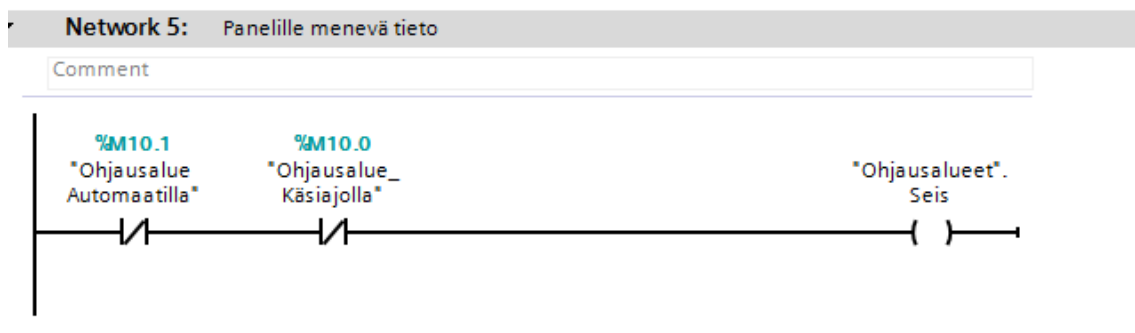


KUVA 31. Automaattiajonohjaus



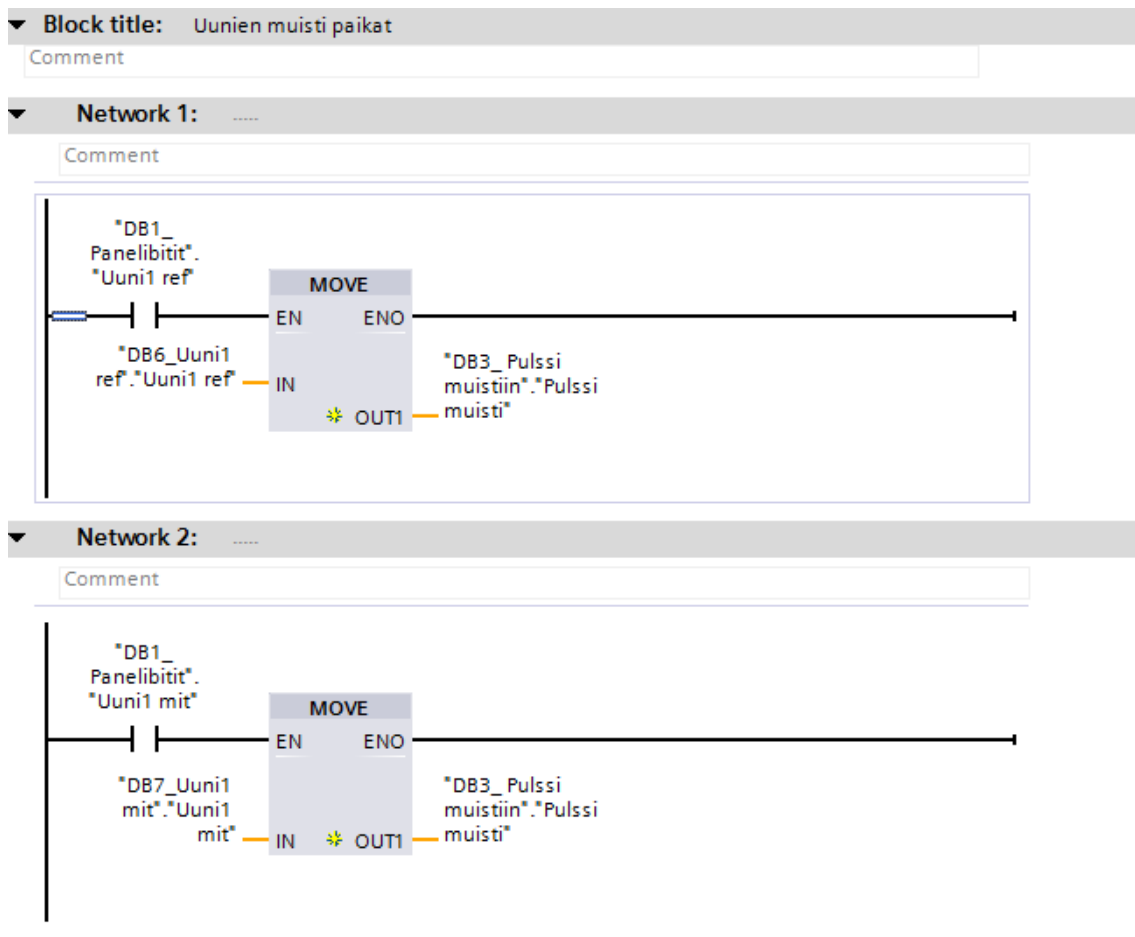
KUVA 32. Käsiäjo-ohjaus

Kolmanneksi tehtiin lohko, jossa määritettiin, että käsi- ja automaattiajo eivät voi olla yhtä aikaa päällä, vaikka taajuusmuuttajan käyttämä parametri estää kummankin suunnan menemästä yhtä aikaa päälle. Tämä varmistettiin ohjelmankin puolella. Kuvassa 33 näkyy tämän varmistuksen tekävä lohko.



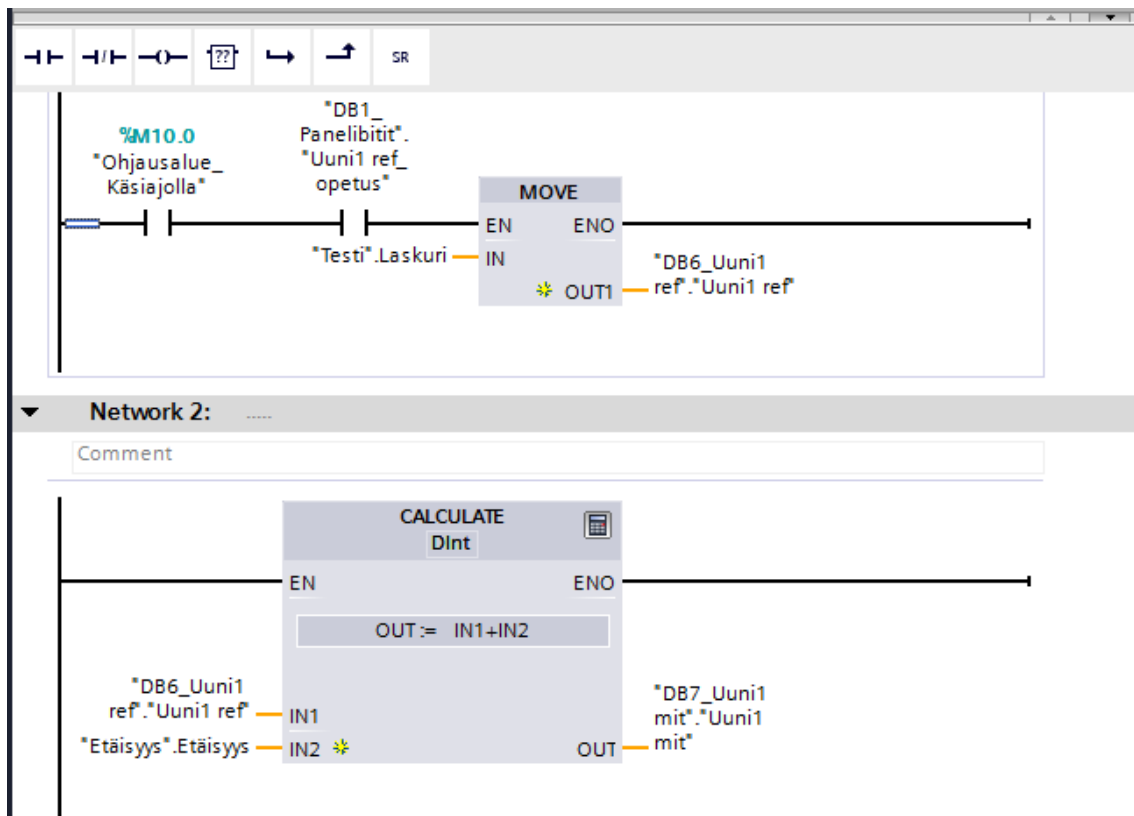
KUVA 33. Ohjauksien lukitukset

Kun oli saatu käsi- ja automaattiajo toimimaan, luotiin neljäs lohko, jossa määritettiin muistipaikat jokaiselle kelkan kymmenestä paikasta. Tätä lohkoa ohjattiin kosketusnäytön painikkeiden kautta. Tässä lohkoissa ohjelma lukee keltalle määritetyt lukuarvot. Kun tämä ohjelmalohko tehtiin, käytettiin kosketusnäytölle tehtyä käsiajotoimintoa kelkan 10 eri paikan määrittämiseksi. Kuvassa 34 on kaksi ensimmäistä kymmenestä muistipaikasta.



KUVA 34. Uunien muistilohko

Referenssianturit ja korjattavat anturit ovat aina kiinteästi keltassa niille rakennetuissa telakoissa, ja niiden etäisyys toisistaan on aina vakio. Uunien paikat voivat vaihtua ajan myötä. Jotta referenssiantureiden paikoitus voitaisiin määrittää uudelleen, lisättiin laskurilohko. Laskuri lisää referenssianturin ja korjattavan anturin etäisyysluvun aina automaattisesti, kun määritettäisiin referenssianturin paikka uudelleen uuneille. Kuvassa 35 näkyy esimerkki laskurilohkoista. Laskurin lisääminen lohkoon nopeutti ja helpotti uunien paikoitusta huomattavasti.



KUVA 35. Kelkan uuden paikan määrittävä lohko

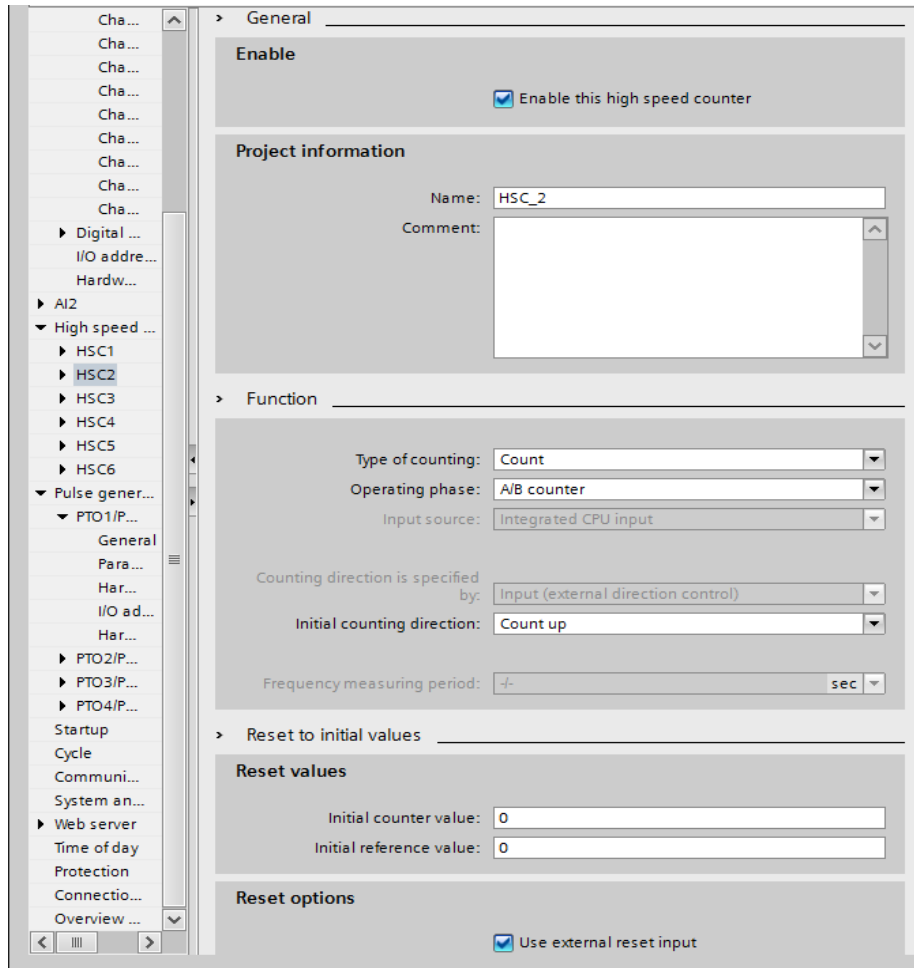
Uunien paikoitus toimii, jos käsiajopainiketta on painettu. Kosketusnäytölle tehtiin oman näkymä, jossa tämä toiminnon pystytään suorittamaan.

Pulssianturintulo-, paikoitus- ja hidastuslohkot tuottivat eniten ongelmia ohjelmoinnissa. Testausvaiheessa ongelmaksi syntyi pulssianturin tulon lukunopeus, koska ohjelman lukunopeus ei ollut tarpeeksi nopea. Ohjelma ei kyennyt lukemaan kaikkia pulsseja, jotka anturi antoi moottorin pyöriessä. Ongelmaa yritettiin korjata ohjelmankiertoa nopeuttamalla. Tarkoituksena oli saada ensin yksi uunin paikoitus toimimaan. Seuraavaksi ongelmaksi paikoituksessa osoittautui paikan säilyminen. Kelkan paikka siirtyi aina n. 5 mm oikealle, kun kelkka pysähtyi halutulle pulssiluvulle. Ohjelma ei vielääkään pystynyt lukemaan tarpeeksi nopeasti anturilta tulevia pulsseja.

Ongelman selvittämisen etsittiin tietoa pääasiassa internetistä. Myös asentajat auttoivat tiedon haussa. Ratkaisu löytyi Siemensin keskustelufoorumilta. Siellä oli keskusteluja, joissa oli samantyyppisiä paikoitusprojekteja. Sitä kautta löydettiin nopean tulon laskuri (High Speed Calculation).

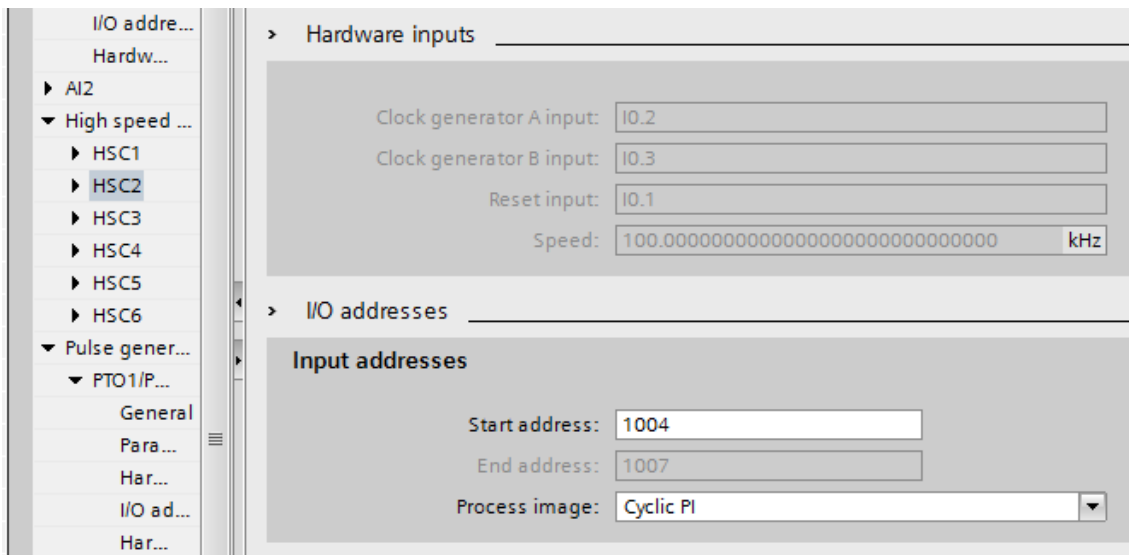
Työssä käytetyssä CPU-yksikössä on mahdollista käyttää kuutta erilaista nopean tulon laskuria. Käytimme laskuria, jonka käyttämät tulot täsmäsivät jo olemassa oleville pulssianturin tuloille, jotta

laitteiden johdotuksia ei enää tarvitsisi muuttaa. Nopea laskurin tulon pystyi määrittämään logiikan CPU-yksikön asetuksista. Kuvissa 36 ja 37 näkyy, miten nopean tulon laskuri määritettiin tässä työssä.



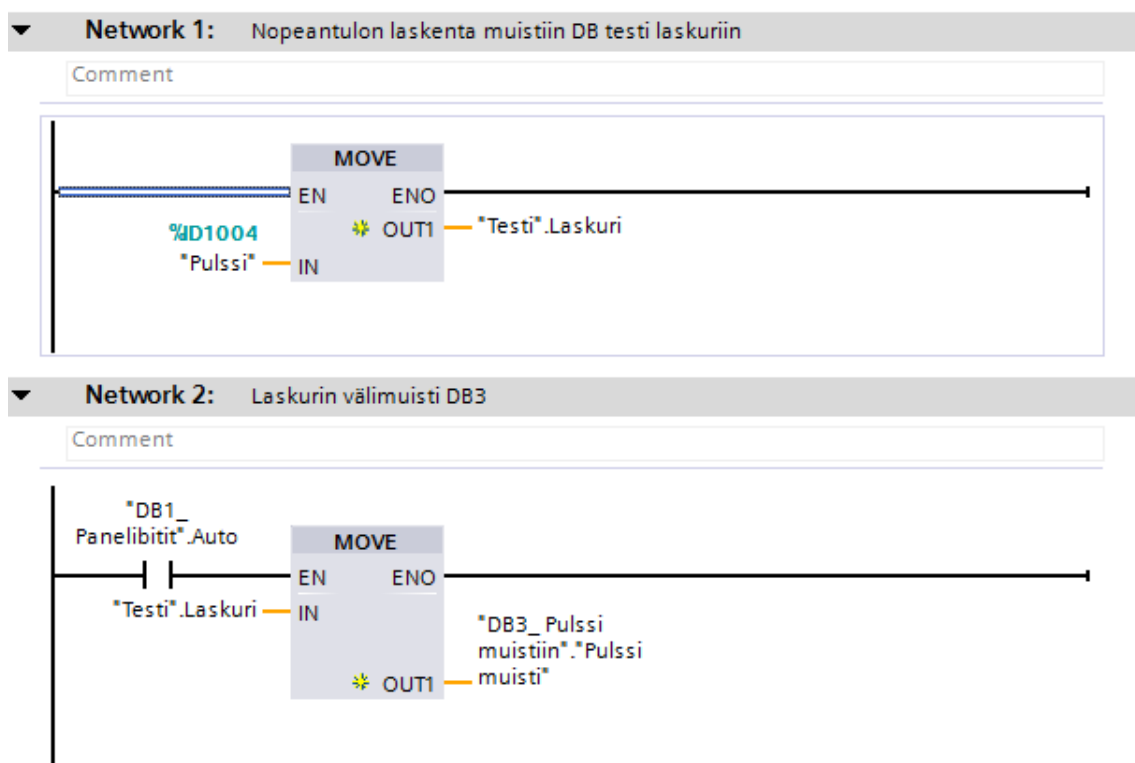
KUVA 36. Nopean laskurin päälle laitto

Laskuri käytti osoitetta 1004, joka piti antaa pulssianturin osoitteeksi.



KUVA 37. Laskurin käyttämät tulot sekä osoitteet

Tämän jälkeen tehtiin pieni ohjelmalohko, jossa pulssianturin antamat lukemat tallennetaan Laskuri-nimiseen muistipaikkaan. Lisäksi luvut pitää tallentaa DB-muistipaikkaan. Tämä ohjelmalohko näkyy kuvassa 38.



KUVA 38. Nopeantulon pulssilaskentalohko

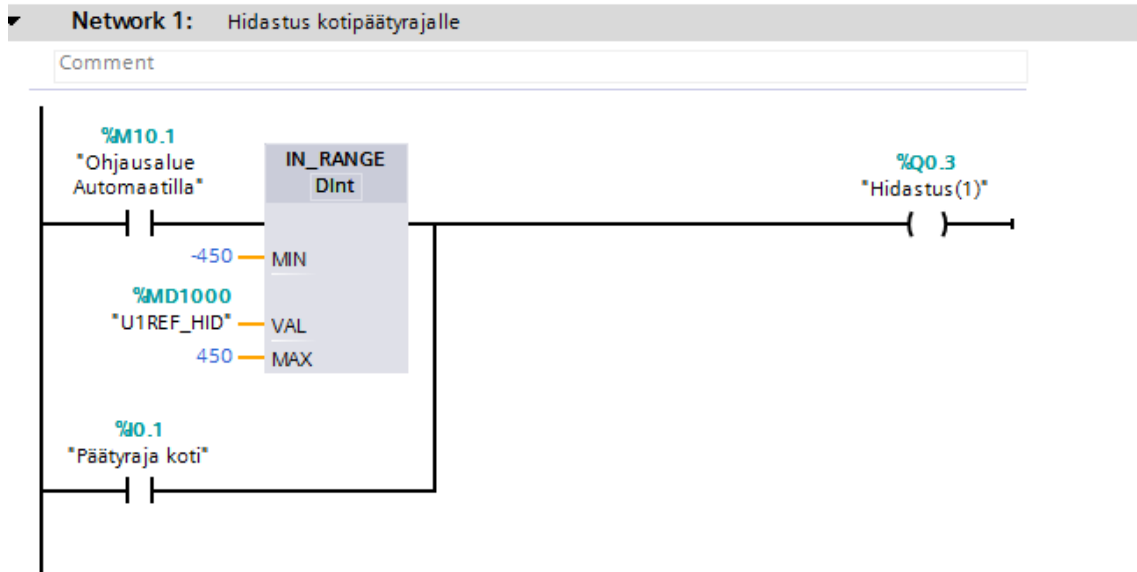
Pulssianturin tulo osoite muutettiin: nopeatulo käyttää ID1004 osoitetta ja tulo nollaus I0.1 osoitetta. Toisesta päätyrajasta, jonka osoite on I0.1, tehtiin kotiasema. Pulssianturinlaskuri nolaa itsensä, kun kelkka pysähtyy rajalle. Kuvassa 39 on merkitty muutetut osoitteet toiminnolle.

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Co
1	Hätäseis	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Päätyraja koti	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Päätyraja 1	Default tag table	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Pulssi	Default tag table	DWord	%ID1004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Hätäseis kuittaus lähtö	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	M1 ajo eteen	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	M1 ajo taakse	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Hidastus(1)	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Aina 0	Default tag table	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Aina 1	Default tag table	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Tag_2	Default tag table	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Tag_3	Default tag table	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

KUVA 39. Pulssianturin ja päätyrajan osoitteet

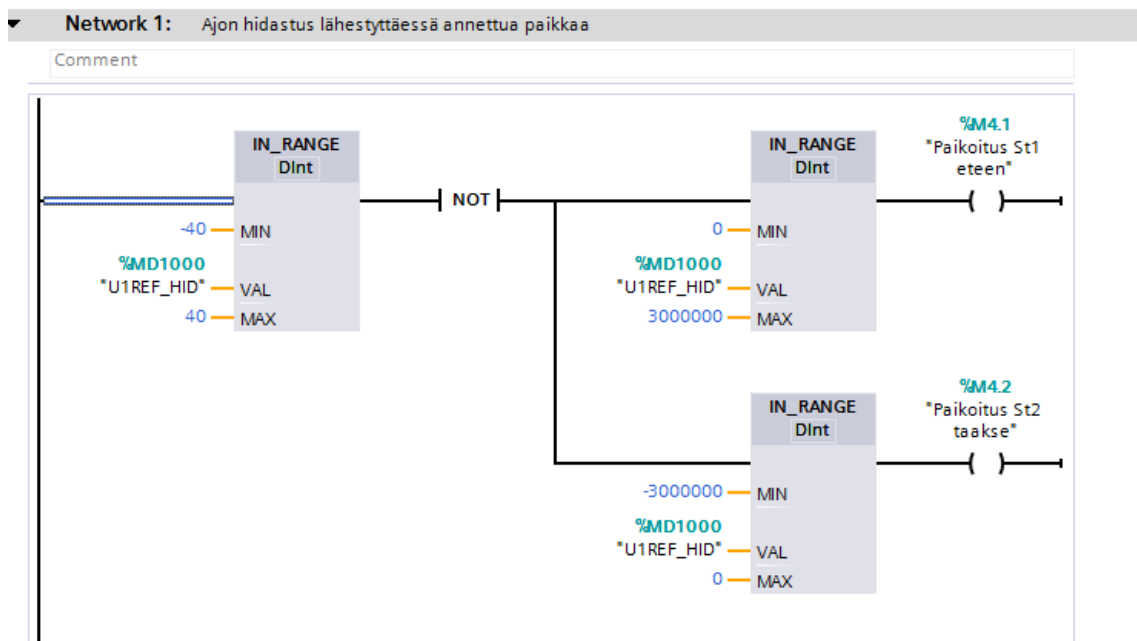
Hidastuslohkoa tehtäessä oli vaikeuksia saada kelkkaa pysähtymään oikeaan paikkaan. Ongelma ilmeni toistettaessa paikan hakua useita kertoja. Hidastukseen vaikuttivat ohjelman pulssianturin lukunopeus, hidastuksen aloittamisen lukuarvo ja taajuusmuuttajan nopeus.

Ratkaisuksi muodostui nopeantulon lisääminen ohjelmaan ja hidastuksen testaaminen useita kertoja, oikean lukuarvon löytämiseksi. Kuvassa 40 näkyy, kuinka tässä työssä on tehty kotiasema-päätyrajalle hidastaminen.

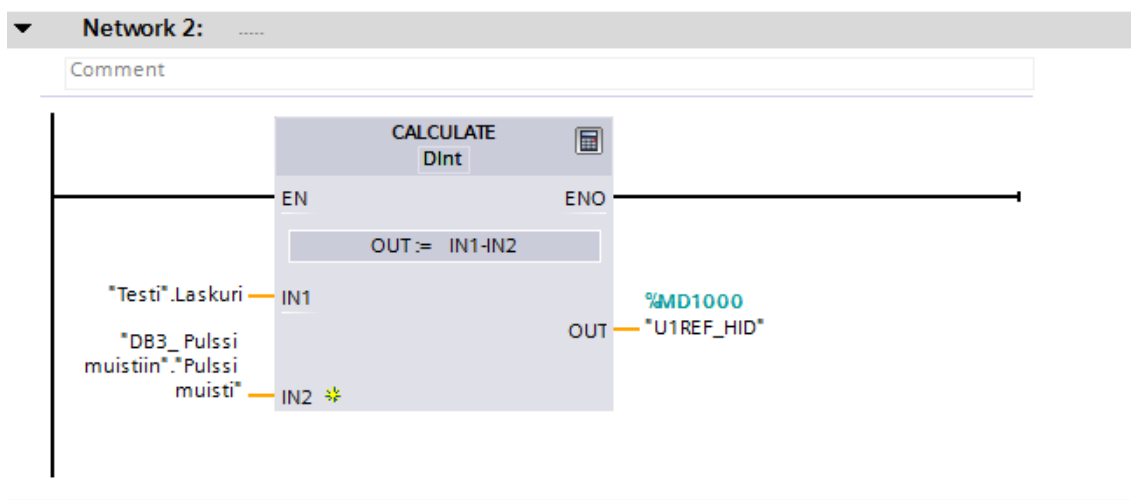


KUVA 40. Hidastus lohko kotiasemalle

Hidastuslohko toimii siten, että se laskee vain sen paikan, mikä on sillä kertaa valittu. Hidastus lähtee päälle, kun pulssiluku on lähellä uunille määritettyä paikkaa. Taajuusmuuttajalle lähtee tällöin tieto, jolloin se alkaa hidastaa nopeutta parametroidun rampituksen mukaan. Kuvissa 41 ja 42 näkyy, miten edellä mainittu toiminto on ratkaistu.



KUVA 41. Uunien paikkojen hidastuslohko



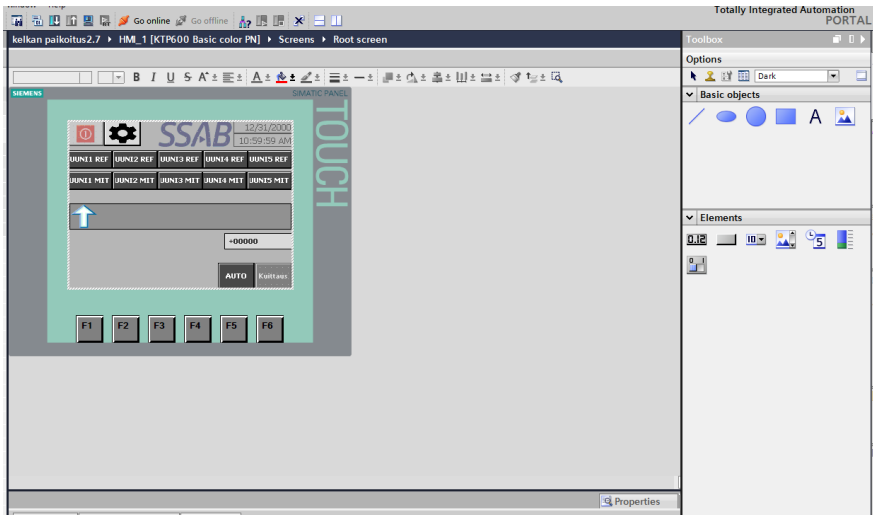
KUVA 42. Hidastus laskentalohko

Kun kaikki ohjauslohkot oli saatu tehtyä ja toimimaan, pystyttiin keskittymään kosketusnäytön näkymien rakentamiseen.

7.3 Kosketusnäytön ohjelmointi

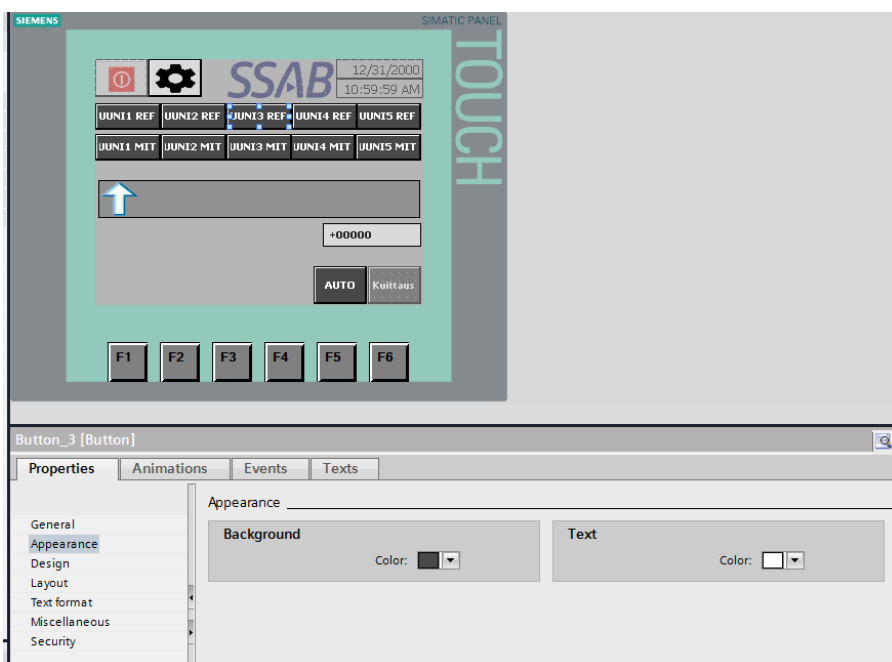
Kosketusnäytön ohjelmointi aloitettiin samalla, kun ohjelmoitiin logiikkaa. Näytön ohjelmointi osoitautui helpommaksi kuin oli kuviteltu ja ohjelmointi sujui paljon helpommin kuin logiikan ohjelmointi. Näytön näkymät suunniteltiin siten, että ne vastaisivat laitteiston käyttäjien odotuksia.

Kuvassa 43 näkyy ohjelma millä kosketusnäytön näkymät tehtiin. Kosketusnäytölle tehtiin kaksi näkymää: oletusnäkymä ja asetusnäkymä. Näkymien tekeminen aloitettiin lisäämällä tyhjiin ruutuun laatikoita, joista muodostettiin painikkeita. Painikkeet ja muut objektit sijoitettiin näkymille käyttäjien toivomille paikoille. Tämän jälkeen määritettiin painikkeille toimintoja.



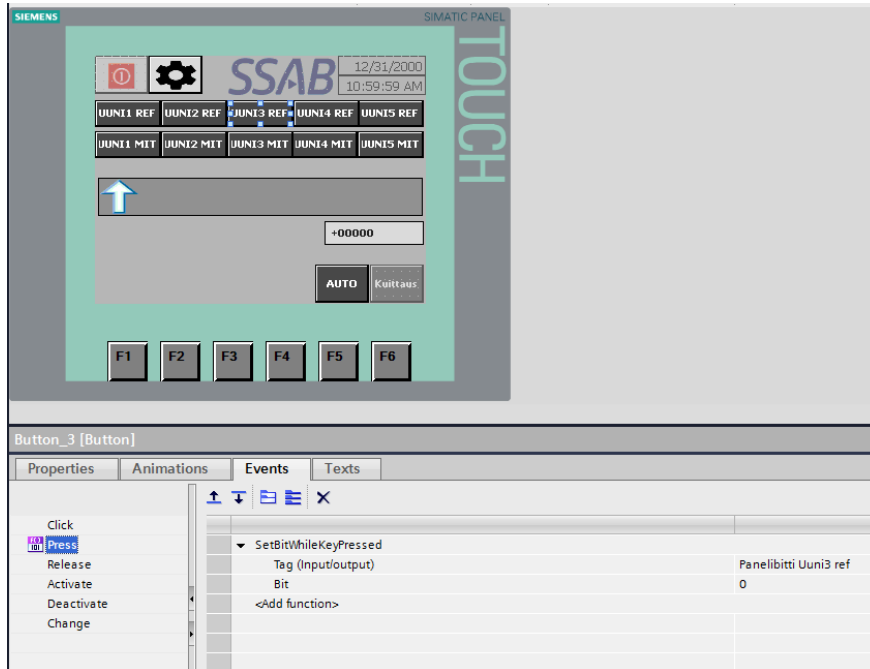
KUVA 43. Ohjelmointinäkymä

Painikkeiden määrittäminen tapahtui valitsemalla painike hiiren vasemmalla painikkeella, silloin näytön alareunaan aukesi Properties-määrittelyvälilehti. Tällä välilehdellä pystyi määrittämään valitun painikkeen värin, animaatiot, tekstin ja muut painikkeen asetukset. Kuvissa 44 ja 45 näkyy välilehdet, mistä painikkeiden toiminnot määritettiin.



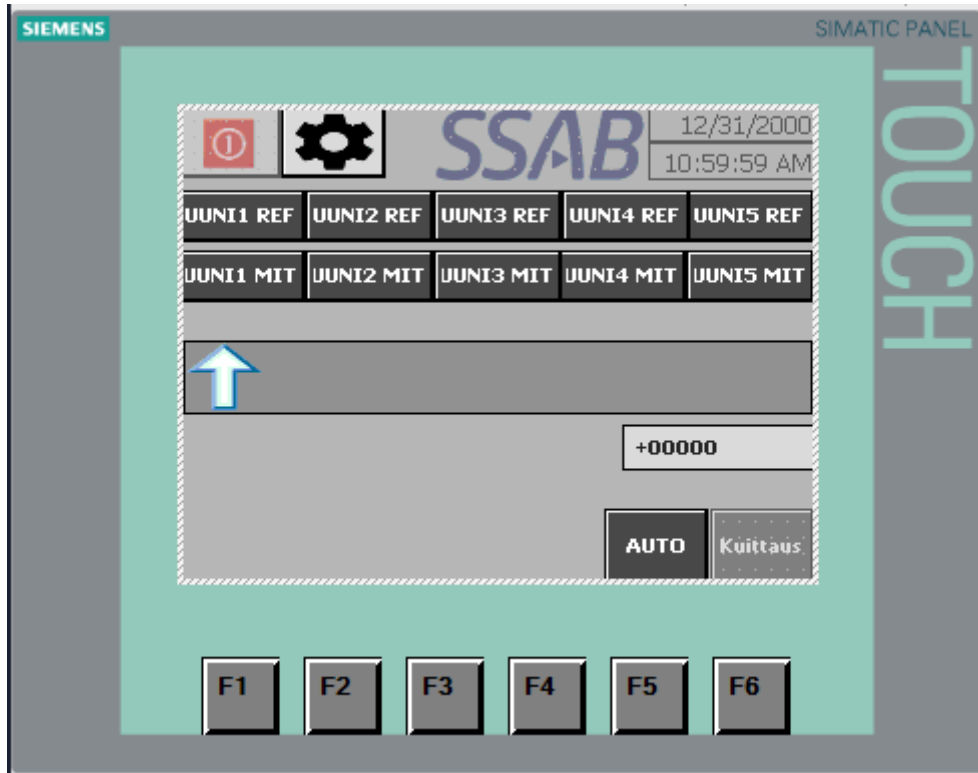
KUVA 44. Painikkeen määrittäminen

Events-välilehdestä määriteltiin valitun painikkeen toiminnot ja linkitykset logiikan DB-muistipaikoihin. Seuraavaksi painikkeet piti nimetä tag-listaan. Nimeämisen jälkeen painikkeet linkitettiin logiikan ohjelmaan DB-muistipaikkojen kanssa.



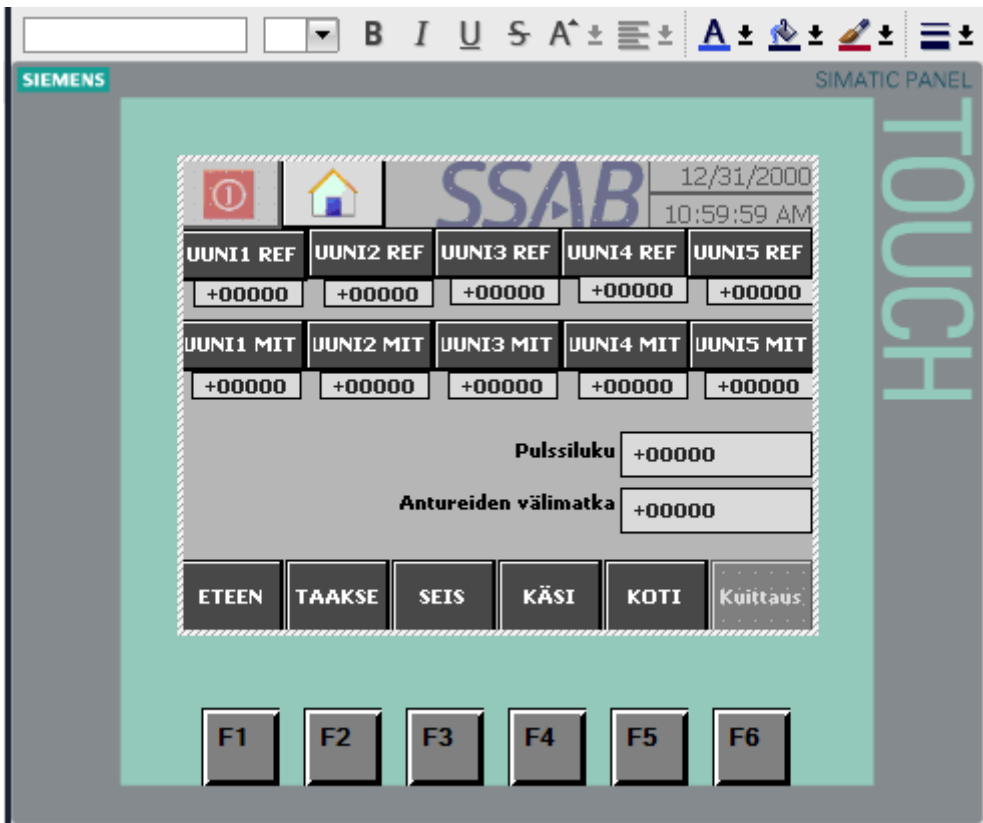
KUVA 45. Painikkeiden toimintojen määrittäminen

Aloituskäytössä näkyivät kaikki kelkalle määritetyt paikat painikkeina ja animaatio, joka havainnollisti kelkan paikkaa. Näytöllä näkyi myös numerolaskuri, joka näytti pulssianturin antamat pulssit numeroina. Lisäksi aloituskäytöön lisättiin hätä-seis-kuittauspainike, joka alkaisi vilkkumaan punaisena, jos hätä-seis-painiketta on painettu. Kaikki painikkeet näkyvät kuvassa 46.



KUVA 46. Aloitusnäky

Kun asetusnäköä tehtiin, kopioitiin kaikki edellisen sivun painikkeet. Jokaisen painikkeen alle lisättiin laskuri, joka näyttäisi painikkeen ohjaaman paikan luvun. Tähän näkömään tehtiin myös käsiohjauspainikkeet: Käsipainike pitää olla painettuna, jotta kelkkaa pystyy ohjaamaan eteen- tai taakse painikkeilla. Näkömälle lisättiin kotiasema painike. Koti-painike toimisi vain, jos käsiohjauspainiketta olisi painettu. Toimintojen toteuttamiseksi, ohjelmoitiin painikkeet vaihtamaan väriä, kun niitä painettaisiin. Kuvassa 47 on valmiiksi tehty asetusnäkö.



KUVA 47. Asetusnäkö

Kelkan paikoitusvaiheessa käytiin hyväksi tehtyä asetusnäköä. Tehdyillä käsiajopainikkeilla ja muistipaikoilla pystyi ajamaan kelkan uusille määritetyille paikoille ja samalla näkemään, mitä arvoja pulssianturi antoi paikoille.

8 ASENNUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Kalibrointi kelkan ohjaukseen käytettyjen laitteistojen asentaminen aloitettiin heti, kun suurin osa tarvehankinnoista oli saapunut. Taajuusmuuttaja parametroidiin vasta kun laitteisto oli testattu sähköä päällä. Kelkan paikoituksen -ja kosketusnäytönohjelmoinnit tehtiin osittain samaan aikaan kun laitteistoa testattiin. Kun laitteisto oli todettu toimivaksi, tehtiin sille käyttöönotto.

8.1 Laitteistojen asentaminen

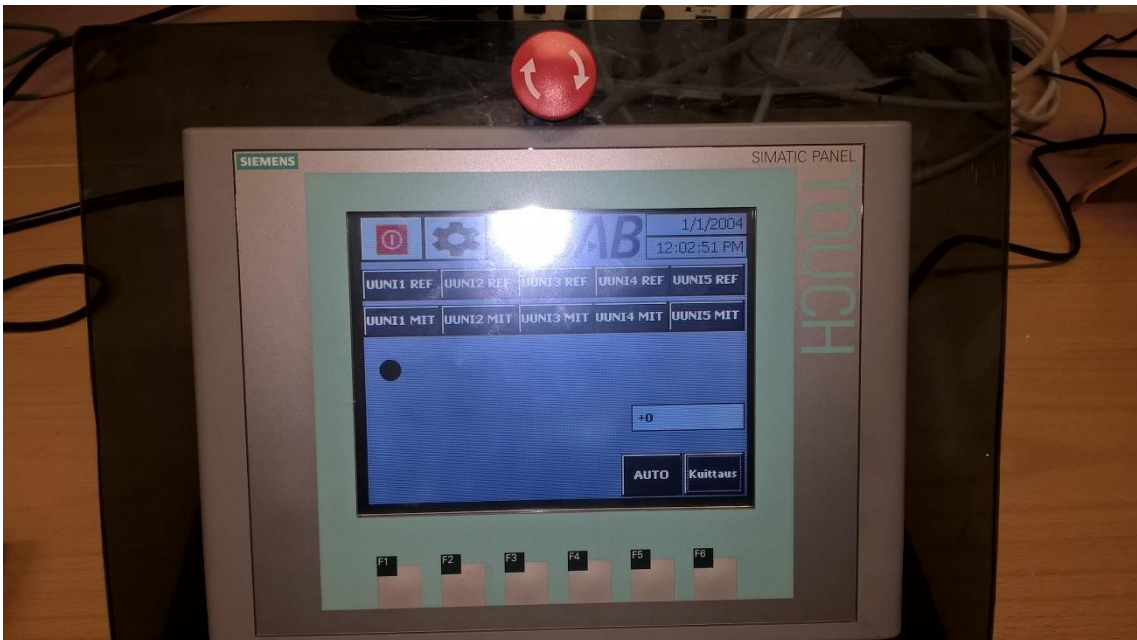
Laitteistojen asentamisen aloitettiin, kun suurin osa laitteista oli saapunut. Ensimmäisenä tehtiin kotelot logiikalle ja taajuusmuuttajalle yhteistyössä asentajien kanssa. Kun laitteiden kotelot oli tehty, kalustettiin ensimmäisenä logiikan kotelo vain logiikan virtalähteellä ja CPU:lla. Silloin päästiin testaamaan logiikan toimintoja. Erityisesti pulssianturin toiminnot veivät aikaa opetella.

Vaikka tämän jälkeen keskityttiin enemmän ohjelman tekoon, menivät laitteistojen asennus ja ohjelmointi limittäin, johtuen työn aikataulusta. Kun ohjelma oli saatu siihen vaiheeseen, että sitä kannattaisi testata fyysisillä laitteilla, kotelot asennettiin oikeille paikoille. Kotelot asennettiin paikoilleen, logiikka, turvarele ja muut ohjauslaitteet johdotettiin. Kuvassa 48 näkyy laitteisto jo asennettuna paikoilleen.



KUVA 48. Kotelot ja laitteistot paikallaan

Samalla kun tehtiin johdotuksia, leikattiin pleksistä kosketusnäytölle teline. Hätä-seis-painikkeet asennettiin kosketusnäytön telineeseen ja kelkan läheisyydessä olevalle oven reunustalle, asennuspaikat näkyvät kuvissa 49 ja 50.



KUVA 49. Hätä-seis-painike kosketusnäytön telineessä

Hätä-seis-painikkeiden lisääminen kalibrointipisteeseen paransi huomattavasti turvallisuutta kalibroinnissa.



KUVA 50. Hätä-seis-painike ovenpielessä

Kosketusnäyttö sijoitettiin kalibroinnissa käytetyn PC:n läheisyyteen, koska tämä helpottaisi työskentelyä. Kuvassa 51 näkyy sijoituspaikka. Opinnäytetyön ulkopuolisella ajalla, uusittiin kosketusnäytön telakka kokonaan uuteen koteloituun malliin, koska rakennettu telakka ei miellyttänyt asentajia, jotka työskentelivät lämpötilan kalibroinnin parissa.



KUVA 51. Kosketusnäytön sijoituspaikka

Kun johdotukset ja laitteistot oli saatu valmiiksi, aloitettiin testaamaan laitteistoa sähköt päällä. Tarkoituksena oli päästä testaamaan kelkan ajoa mahdollisimman pian. Ensimmäisellä testauskerralla ilmeni johdotusvirheitä 24 V jänniteohjauksen puolella. Virheet todennettiin mittaamalla yleismittarilla, mihin 24 V jännite jäi. Kun asennus virheet oli korjattu, aloitettiin hätä-seis-piirin testaaminen. Samalla kun testattiin hätä-seis-painikkeita, ohjelmoitiin kosketusnäytölle hätä-seis-kuittaus painike. Taajuusmuuttajan parametointi aloitettiin, kun laitteisto oli saatu testattua.

8.2 Taajuusmuuttajan parametointi

Taajuusmuuttajan parametrien ohjelmoinnissa käytettiin apuna ACS 150 Käyttäjänopasta. Kun taajuusmuuttaja käynnistettiin ensimmäistä kertaa, piti syöttää moottorin kilpitiedot, jotta taajuusmuuttaja toimisi oikein. Tämän jälkeen valittiin esiohjelmoituista parametreista sopivin, kyseiselle laitteistolle. Esiohjelmoituja parametreja kutsutaan sovellusmakroiksi, joita käytetyssä taajuusmuuttajassa oli useita. Vaihto-ohjausmakro soveltui tehtyyn moottorin ohjaukseen. Kuvassa 52 näkyy tämän ohjausmakron oletusarvoiset I/O-ohjauskytkennät.

Vaihto-ohjausmakro



Tässä makrossa käynnistyskomento ja suunta annetaan samalla koskettimella. Makro valitaan käyttöön asettamalla parametria 0902 arvoksi 3 (VAIHTO-OHJ.).

Parametrien oletusarvot on lueteltu kohdassa *Parametrien oletusarvot eri makroissa* sivulla 65. Jos käytetään muita kuin alla kuvattuja oletusarvoisia ohjauskytkentöjä, lisä tietoja on kohdassa *I/O-filtrimer* sivulla 34.

Oletusarvoiset I/O-ohjauskytkennät



1) Katso parametriyhmä 12 VAKIONOPEUDET:

DI3	DI4	Toiminto (parametri)
0	0	Nopeuden asetus integroidulla potentioimurilla
1	0	Nopeus 1 (1202)
0	1	Nopeus 2 (1203)
1	1	Nopeus 3 (1204)

2) 0 = Kiihdytys- ja hidastusajat parametrien 2202 ja 2203 mukaan.

1 = Kiihdytys- ja hidastusajat parametrien 2205 ja 2207 mukaan.

3) 380 asteen määrittely kinnäkkeen alle.

4) Kiristysmomentti = 0,22 Nm

5) Kiristysmomentilla = 0,5 Nm

KUVA 52. Käytössä oleva sovellusmakro (18)

8.3 Käyttöönotto

Käyttöönotto tehtiin, kun oli saatu laitteisto ensin testattua ja todettua toimivaksi. Ensimmäisenä testattiin turvareleen ja hätä-seis-piirin toiminta. Hätä-seis-piiri toimi oikein kummastakin hätä-seis-painikkeesta, ja laukaisi turvareleen. Turvareleen toimi oikein koska laitteistoa ei voinut käynnistää, ennen kuin kosketusnäytön kuittaus painikkeesta oli painettu. Tämän jälkeen laitteiston pystyi käynnistämään käynnistys painikkeesta normaalisti.

Kelkan päätyrajat testattiin ajamalla kelkka käsiajolla kumpaankin päätyrajaan asti. Samalla kun testattiin päätyrajojen toimimista, testattiin samalla että, moottorille ei voinut antaa eteen ja taakse ajokäskyä yhtäaikaaisesti. Päätyrajat toimivat ja kelkka pysähtyi kummallekin rajalle oikein. Kotiasema-ajo testattiin, ohjaamalla kelkkaa automaattiajolla kotiasemaksi määritetylle päätyrajalle. Kelkka pysähtyi ja pulssilaskenta nollaantui. Kotiasema-ajo toimi oikein. Kelkan paikoitus testattiin

ajamalla automaatioajolla kaikki 10 eri kelkan paikkaa läpi. Kelkka löysi kaikki 10 paikkaa 1 mm:n tarkkuudella. Uuden paikan määrittäminen testattiin, vaihtamalla yhtä kelkalle ennalta määritettyä paikkaa. Tämän jälkeen muutettu paikka tallennettiin kosketusnäytön valikosta muistipaikkapainikkeella. Kelkka pysähtyi sille määritetylle uudelle paikalle. Käytön jälkeen laitteisto todettiin käyttövalmiiksi ja se jäi kalibrointityötä tekevien asentajien käyttöön. Laitteistolle laadittiin pikakäyttöohjeet. Kuvassa 53 näkyy käyttövalmis laitteisto.



KUVA 53. Laitteisto käyttövalmiina

Opinnäytetyön jälkeisellä ajalla jouduttiin vielä tekemään pieniä säätöjä laitteistoon, jotta se toimisi paremmin. Ensimmäisen uunin paikannus oli virheellinen jonkin verran. Tämä johtui ohjelmaan tehdystä laskuvirheestä. Tämä virhe korjattiin.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tarkoitus oli parantaa lämpötilan kalibrointipisteen toimintaa. Työni keskittyi automatisoimaan kalibroinnissa käytettävää kelkkaa ja sen ohjaamista.

Tämän opinnäytetyön aikana SSAB:n Raahen tehtaalla laatumittauksen piirissä olevien antureiden lukumäärä oli noin 500 kappaletta ja osa näistä antureista on hyvinkin kriittisessä osassa teräksenvalmistus prosessia. Tämän takia kalibrointipisteen automatisointi oli ajankohtainen.

Ennen tekemiäni muutoksia kelkanohjaukseen, kelkkaa ohjattiin käsin. Tämä aiheutti lämpötilan kalibrointiin mittausvirheitä, joka hidasti osaltaan kalibrointia. Tämä ongelma oli tärkeä saada ratkaistuksi. Laitteiston automatisointi helpotti sekä nopeutti asentajien kalibrointityövaihetta. Tämän laitteiston uusiminen osaltaan auttaa automaatiohuollon kunnossapitoa, jotta tulevaisuudessakin pystyttäisiin tekemään lämpötilan kalibrointeja omavaraisesti.

Asentamani Siemens S7-1200 -logiikka ja sen lisämoduulit antavat mahdollisuuden tulevaisuudessa liittää uunien lämpötilaohjaukset logiikan kautta ja niiden ohjaamisen kosketusnäytöltä.

Työ oli haastava ja mielenkiintoinen, koska tehtaalla ei ollut vastaavia laitteistoja ja koska entinen kauan käytöstä pois ollut laitteisto oli jo valmiiksi vanhentunut. Tämän takia sain vapaat kädet tehdä ja suunnitella kelkan ohjausta ja sen paikoitusta oman mieleni mukaan. Haastavinta työssäni oli ymmärtää pulssianturin toiminta logiikkaliitoksineen ja oppia ohjaamaan sillä moottorin liikkeitä. Suurimaksi ongelmaksi osoittautui kelkan paikoituksen toteuttaminen. Tämän ongelman sain kuitenkin ratkaistuksi, kun sain rauhassa perehtyä pulssiantureiden toimintaan. Lisäksi logiikan ja käyttöliittymän kosketusnäytölle ohjelmointi antoi minulle hyvän pohjan ammattitaitoani ajatellen.

Ennen opinnäytetyöni aloittamista ei minulla ollut lämpötilan kalibroinnista kokemusta laisinkaan. Kun tein työtäni, sain myös hyvän kuvan lämpötilan kalibroinnista, niin yleisellä tasolla, kuin Raahen tehtaalla kunnossapidon näkökulmasta. Tämä auttoi minua ymmärtämään paremmin sähköautomaatiohuollon toimesta tapahtuvia kalibrointeja, kunnonvalvontaa sekä ennakkohuoltoja. Opinnäytetyöni aikana perehdyin kattavasti lämpötilan kalibrointiin ja menetelmiin, jotka asiat vaikuttavat kalibrointiin.

LÄHTEET

1. Mustan kappaleen säteily. Internetix. Saatavissa: http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy8/1_modernin_fysiikan_alku/101?C:D=2136242&m:selres=2136242. Hakupäivä 27.10.2015.
2. Plancin laki.2015. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Planckin_laki. Hakupäivä 12.5.2015.
3. Sähkömagneettinen säteily. 2011. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily#/media/File:EM_spectrum_fi.svg. Hakupäivä 27.10.2015.
4. Lämpötilan mittaus. 2005. Mike Metrologia. Saatavissa:http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/J4_2005_Lamportilan_mittaus.pdf. Hakupäivä 26.1.2015.
5. Musta kappale. 2014. Wikipedia. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Musta_kappale. Hakupäivä 12.5.2015.
6. Raahan tehtaan Työohje KPP1071T. 2012. SSAB Europe Oy:n Raahan tehtaan menettelyohjeet. Saatavissa: Raahan terästehtaan intranet. Hakupäivä 26.1.2015.
7. Raahan tehtaan Menettelyohje KPP019M. 2012. SSAB Europe Oy:n Raahan tehtaan menettelyohjeet. Saatavissa: Raahan terästehtaan intranet. Hakupäivä 26.1.2015.
8. Raahan tehtaan Menettelyohje KPP010M Liite 2. 2011. SSAB Europe Oy:n Raahan tehtaan menettelyohjeet. Saatavissa: Raahan terästehtaan intranet. Hakupäivä 26.1.2015.
9. Pyrometrin periaatekuva. Mikes metrology Saatavissa: http://metrology.hut.fi/courses/S-108.1010/Luento10_2007.pdf. Hakupäivä 11.2.2015.
10. Raahan tehtaan Menettelyohje KPP010M. 2013. SSAB Europe Oy:n Raahan tehtaan menettelyohjeet. Saatavissa: Raahan terästehtaan intranet. Hakupäivä 26.1.2015.
11. Raahan tehtaan Turvallisuusohje RAOHJ_504. 2014. SSAB Europe Oy:n Raahan tehtaan turvallisuusohjeet. Saatavissa: Raahan terästehtaan intranet. Hakupäivä 26.1.2015.
12. Tuoteluettelo. 2013. Siemens AG. Saatavissa: http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/palvelut_ja_koulutus/tekninen_tuki/tuoteluettelot/st70.pdf. Hakupäivä 30.3.2015.
13. S7-1200 logiikka. 2015. Siemens AG. Saatavissa: http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat_simatic/s7_1200.htm. Hakupäivä 30.3.2015.

14. KTP 600. 2010. Siemens AG. Saatavissa: http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat/s7_1200/simatic_s7-1200_broshure.pdf. Hakupäivä 30.3.2015.
15. ACS 150 taajuusmuuttaja. 2015. ABB Oy. Saatavissa: <http://new.abb.com/drives/fi/pienjannitetaajuusmuuttajat/mikrotaajuusmuuttajat/acs150>. Hakupäivä 30.3.2015.
16. Turvarele JOKAB SAFETY JSBR4 24V. 2015. ABB Oy. Saatavissa: <http://www.abb.fi/product/fi/9AAC170136.aspx>. Hakupäivä 30.3.2.2015.
17. Pulssiantureiden teoriaa. OEM Automatic. Saatavissa: http://www.oem.fi/Tuotteet/Anhuri/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien_teoraa/825723-526144.html. Hakupäivä 30.3.2015.
18. ACS150 Käyttäjän opas. 2007 ABB Oy. Saatavissa: <http://new.abb.com/drives/fi/pienjannitetaajuusmuuttajat/mikrotaajuusmuuttajat/acs150>. Hakupäivä 30.3.2015.

PIKAOPAS KELKAN OHJAUKSEEN

PIKAOPAS KELKAN OHJAUKSEEN

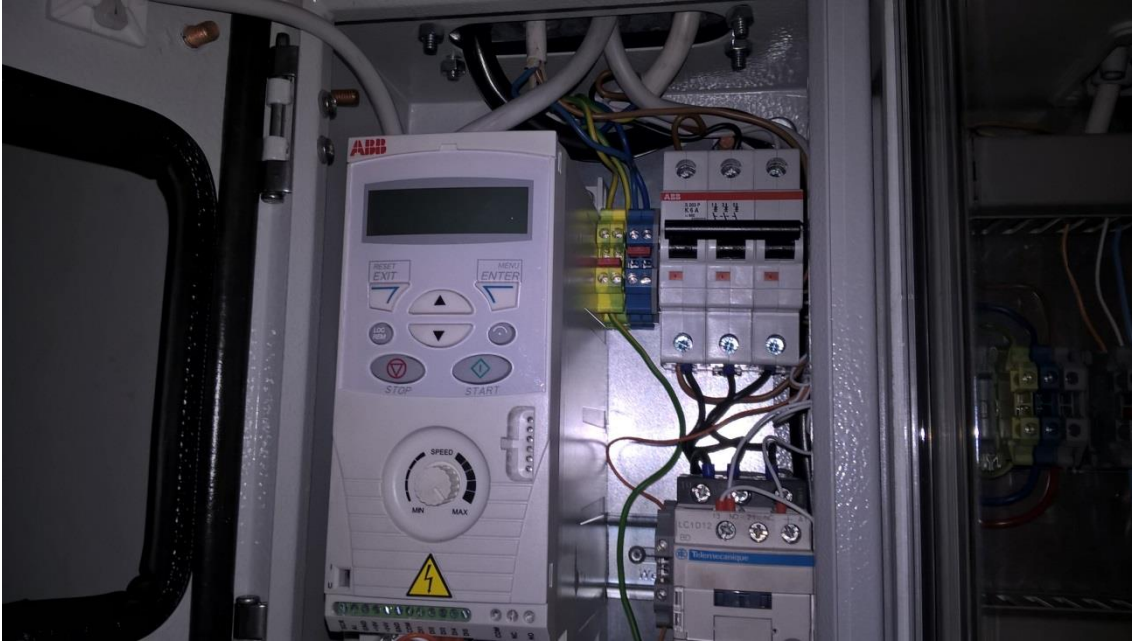
Pikaoppaassa käydään läpi vaihe vaiheelta, miten laitteisto saadaan toiminta kuntoon. Kelkan ohjaus laitteet koostuvat logiikasta, kosketusnäytöstä ja taajuusmuuttajasta, joilla ohjataan kelkan liikkeitä ohjaavaa moottoria. Kelkan ohjaus tapahtuu kosketusnäytön kautta. Kosketusnäyttö on sijoitettu kalibroinnissa käytettävän PC:n viereen.

Ennen työn aloittamista on tarkistettava, että kelkka on lukittuna ruuviin, jonka avulla kelkka kulkee kiskoilla. Kelkanlukitsin on merkitty kuvassa 1.



KUVA 1. Kelkanlukitsin

Kun käynnistät laitteistoa, ovat laitteiston johdonsuojakatkaisijat sijoitettuna taajuusmuuttajan koteloon. Kuvassa 2 näkyy laitteiston johdonsuojakatkaisijat. Käynnistys ja stop painikkeet ovat myös sijoitettuna taajuusmuuttajan koteloon kanteen.



KUVA 2. Laitteistoon tulevan syötön johdonsuojakatkaisijat

Kun laitteisto käynnistetään ensimmäistä kertaa tai kun on käynyt sähkökatko, on turvarele kuitattava. Turvarele on sijoitettuna samaan koteloon logiikan kanssa. Kuvassa 3 näkyvät logiikka ja turvarele. Turvareleen kuittauspainike on kosketusnäytöllä.



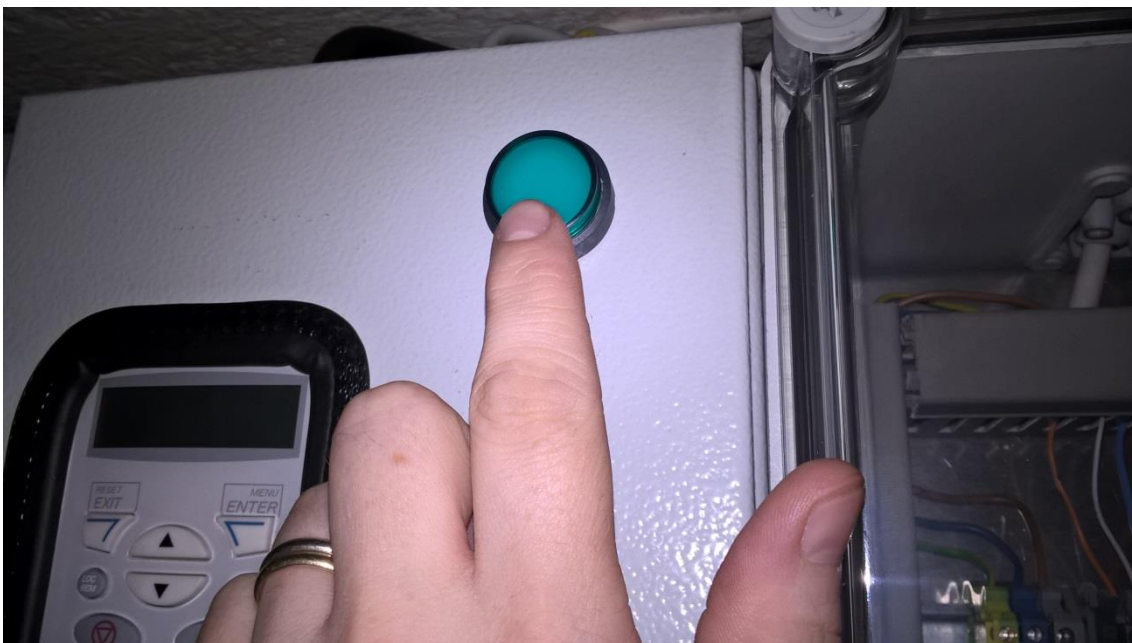
KUVA 3. Turvarele ei ole vetäneessä tilassa

Koska turvarele ei ole vetäneenä, kosketusnäytöllä vilkkuu kuittauspainike punaisena. Kuvassa 4 näkyy kuittauspainike kosketusnäytöllä.



KUVA 4. Kuittauspainike vilkkuu punaisena

Kuittauspainiketta painettaessa, turvarele muuttuu vetäväksi ja taajuusmuuttaja voidaan käynnistää käynnistys painikkeesta. Taajuusmuuttajan käynnistys painike on sijoitettu taajuusmuuttajan kotelon kanteen, joka näkyy kuvassa 5.

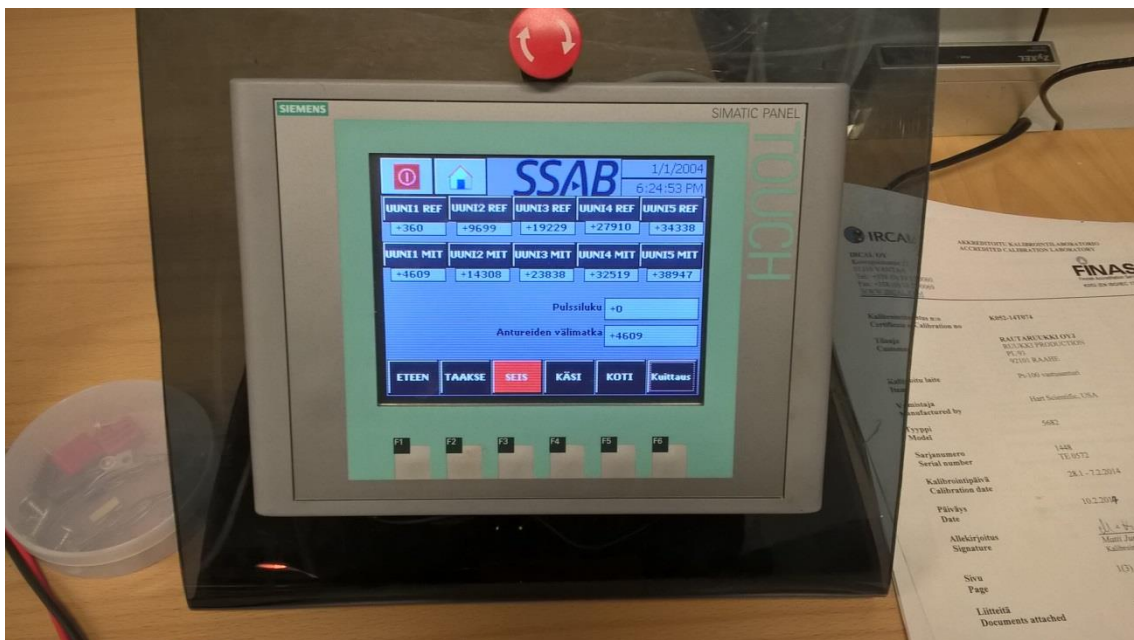


KUVA 5. Taajuusmuuttajan käynnistys painike

Kun taajuusmuuttaja käynnistyy, on kelkka käytettävä kotiasemassa, jotta pulssianturi nollautuu ja kelkka löytää oikeat paikat uuneille. Kelkan kotiutus painike löytyy kosketusnäytön asetukset näkymältä. Kuvissa 6 ja 7 näkyy miten päästään asetus näkymälle ja miltä asetus näkymä näyttää.



KUVA 6. Asetukset painike



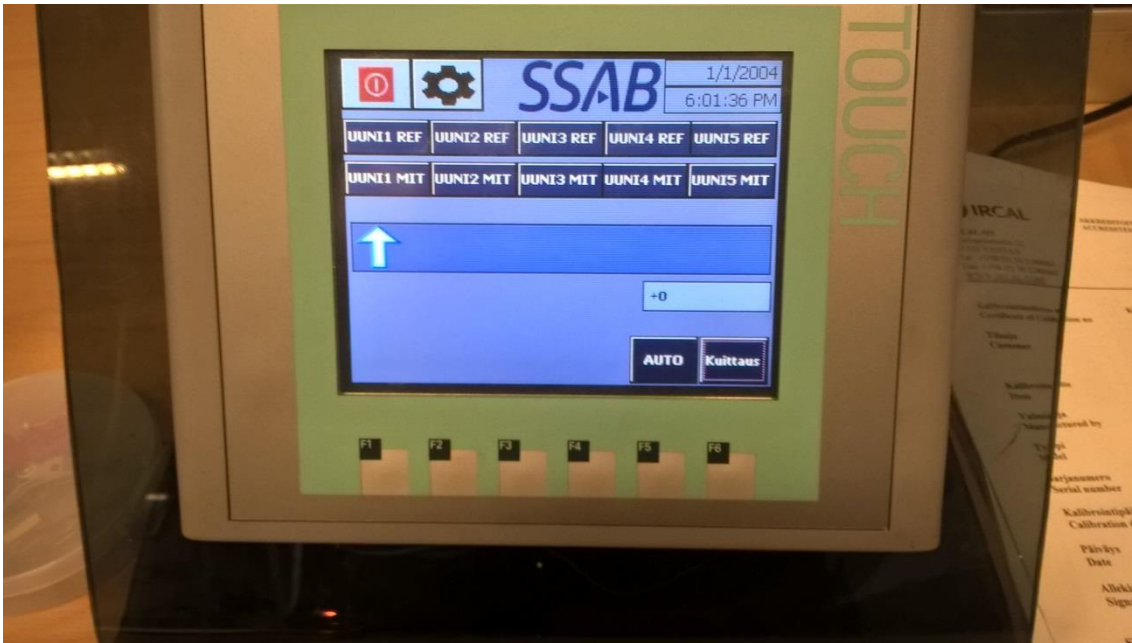
KUVA 7. Asetukset näkymä

Asetukset sivulla, pitää laittaa käsiajo päälle, jotta voidaan kelkka ohjata kotiasemaan, koti painiketta painamalla. Kelkka lähtee automaattisesti ajamaan sille määritellylle kotiasemalle ja nollaa pulssianturin. Tämän jälkeen kelkka löytää uuneille automaattisesti. Koti painike näkyy kuvassa 8.

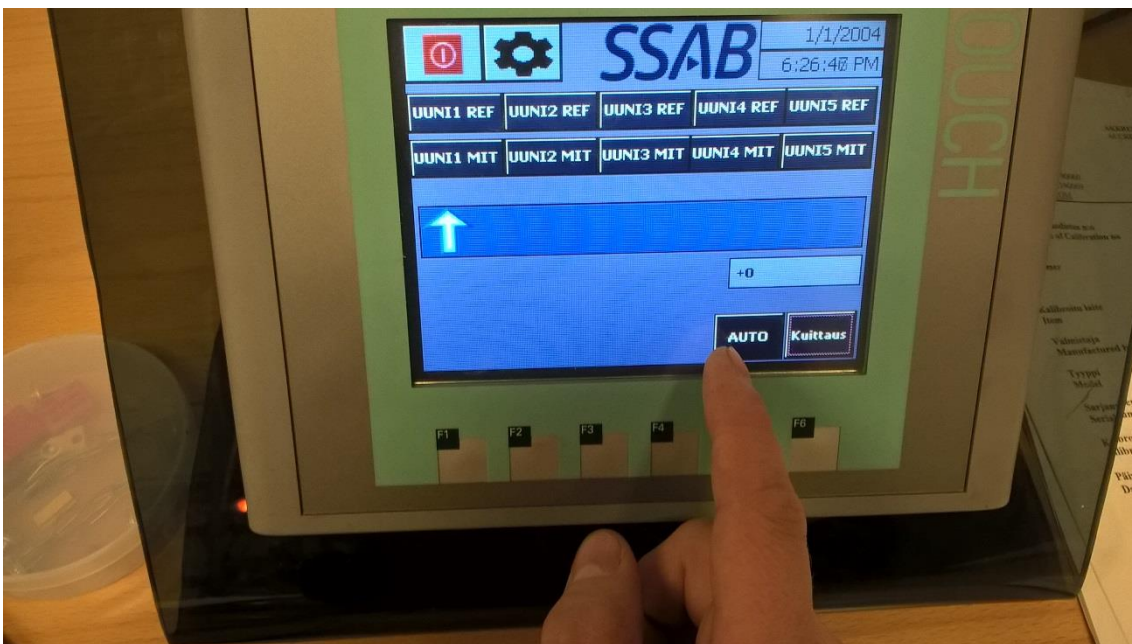


KUVA 8. Kotiaseman painike

Näiden alkutoimenpiteiden jälkeen voidaan aloittaa kelkan ohjaaminen, palaamalla ohjaussivulle painamalla ylälaidassa olevaa kuvaketta, joka kuvaa paluuta aloitus-sivulle Kun aloitetaan automaattista ajoa, on auto näppäintä painettava, että kelkka voidaan ajaa uuneille automaattijolla. . Kuvissa 9 ja 10 näkyy miten automaatti ajo alitetaan.

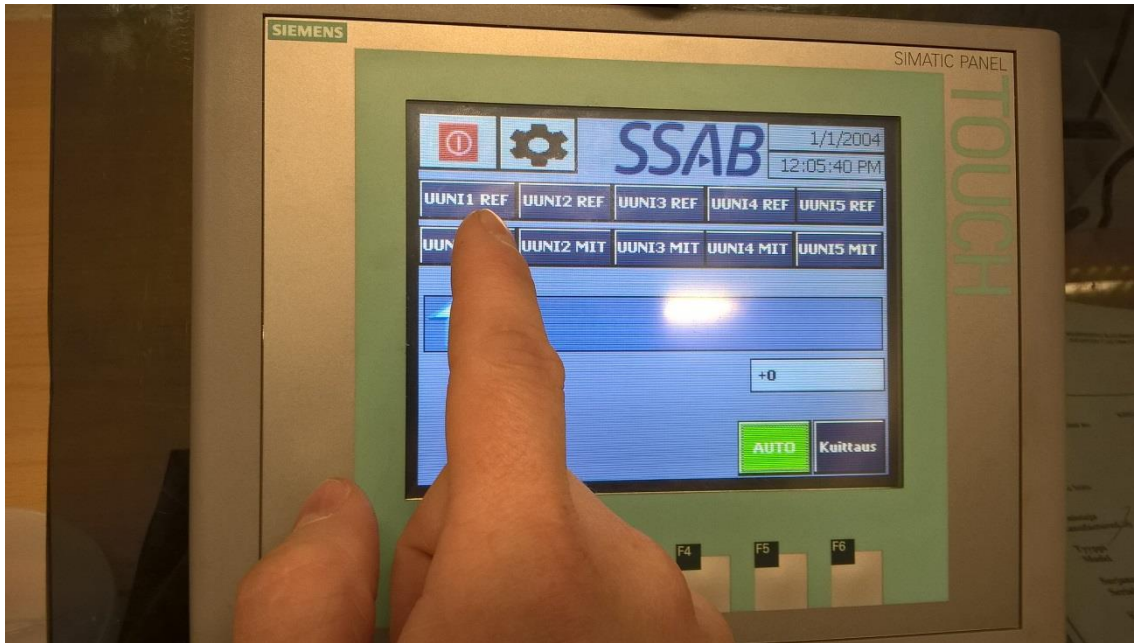


KUVA 9. Ohjaus-sivu



KUVA 10. Automaattiajon aloittaminen

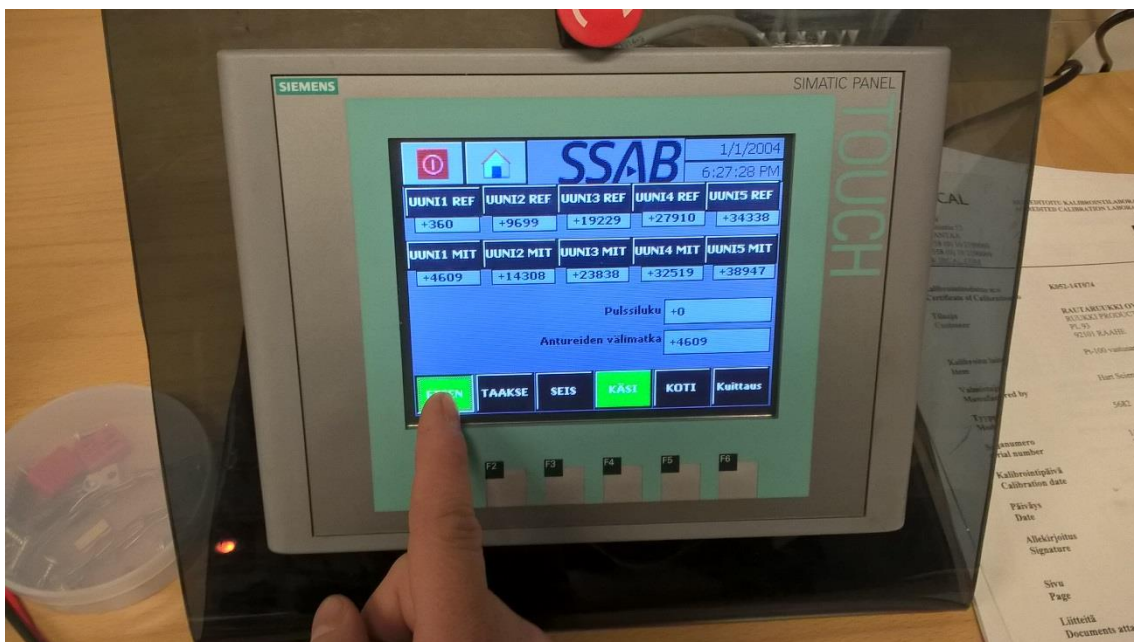
Kelkalle on määritetty 10 paikkaa. Nämä paikat ovat nimetty jokaisen uunin mukaan. Esimerkiksi jos halutaan kelkka ohjata uunille 1 ja referenssianturilla halutaan mitata uunia 1, painetaan uuni 1 ref painiketta kosketusnäytöltä. Tällöin kelkka liikkuu halutulle paikalle automaattisesti. Kuvassa 11. Näkyy kelkan ohjaus painikkeet.



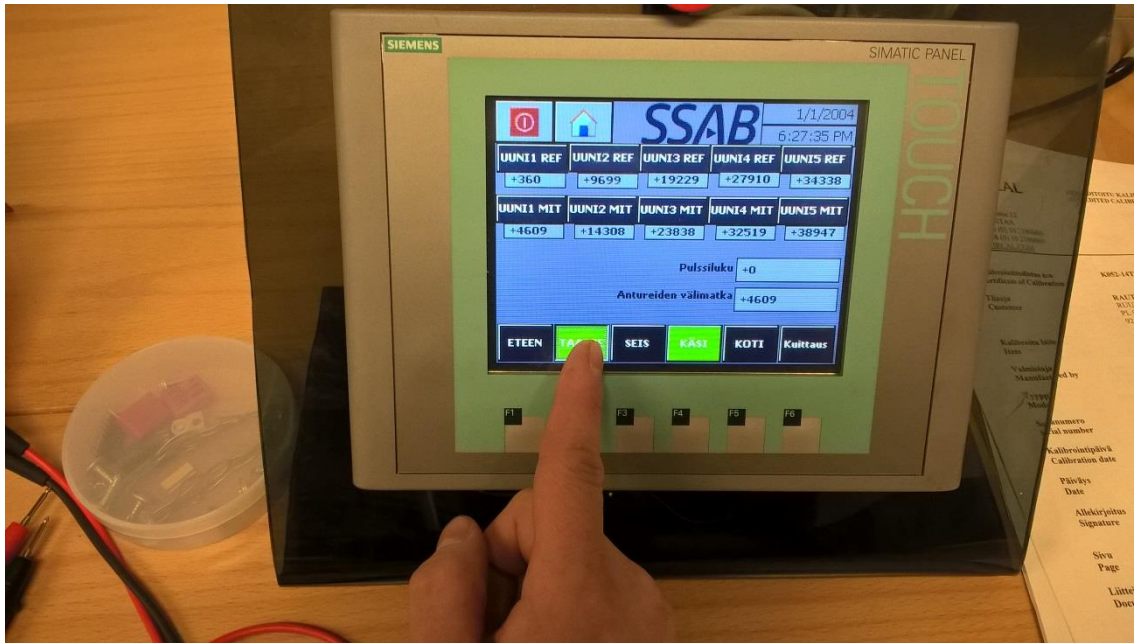
KUVA 11. Uunin 1 referenssianturin paikan ajo

Kelkkaa voidaan halutessa ajaa myös käsi-ohjauksella. Tämän toiminto löytyy asetus sivulta. Käsi-ajo painike pitää olla painettu, jotta voidaan ajaa kelkkaa eteen tai taakse kasiajolla.

Kuvissa 12 ja 13 näkyy miten kelkkaa ohjataan käsi-ohjauksella.



KUVA 12. Käsiajo eteen



KUVA 13. Käsiäjo taakse

Hätätilanteen sattuessa painetaan joko kosketusnäytön telineessä olevaa hätä-seis painiketta, tai oven pielessä sijaitsevaa hätä-seis painiketta. Kuvassa 14 on kosketusnäytön yhteydessä oleva hätä-seis-painike.



KUVA 14. Kosketusnäytön hätä-seis-painike

Hätä-seis-painike pysäyttää laitteiston kokonaan ja laitteisto ei lähde käyntiin, ennen kuin hätä-seis painikkeen kuittaus painiketta ja käynnistys painiketta on painettu. Kuvassa 15 on oven vieressä sijaitseva hätä-seis-painike.



KUVA 15. Hätä-seis-painike oven vieressä

Tämän jälkeen kelkka on ajettava ensimmäisenä kotiasemaan, jotta kelkan ohjaus toimisi oikein ja muilta häiriö tilanteilta vältyttäisiin.

Laitteiston sammuttaminen tapahtuu painamalla stop-painiketta taajuusmuuttajan kotelosta, joka näkyy kuvassa 16.



KUVA 16. Stop-painike