

Elektrodimassojen pehmenemisnopeuden määrittäminen

Niila Petäjaniemi

Tekniikan opinnäytetyö
Sähkötekniikka
AMK

Kemi 2013

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty kevään 2013 aikana Outokumpu Tornio Worksin Teknilliselle tutkimuskeskukselle.

Opinnäytetyön aiheesta ja avusta opinnäytetyön suunnittelussa haluan kiittää tutkimuskeskuksen laitehuollon Insinööri Arto Huhtalaa. Kiitos myös Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun DI Tuomas Pussilalle, joka toimi opinnäytetyön ohjaajana. Avusta testimittausten suorittamisessa haluan kiittää tutkimuskeskuksen tutkimuslaborantti Hannu Nilimaata.

Torniossa 26.4.2013

Niila Petäjaniemi

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Niila Petäjaniemi
Opinnäytetyön nimi:	Elektrodimassojen pehmenemisnopeuden määrittäminen
Sivuja (joista liitteitä):	54 (4)
Päiväys:	26.4.2013
Opinnäytetyön ohjaajat:	DI Tuomas Pussila, Insinööri Aila Petäjäjärvi
<p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Outokumpu Tornio Works. Opinnäytetyö tehtiin yrityksen TRC:lle, eli teknilliselle tutkimuskeskukselle. Opinnäytetyön aiheena oli laatia suunnitelma pehmenemisnopeuden mittausjärjestelmästä. Vanhan järjestelmän varaosien ja ohjelmistojen puute loi tarpeen uuden järjestelmän suunnittelulle. Järjestelmän suunnittelu tarkoitti käytännössä laitteiston valitsemista, ohjelmoimista ja testaamista.</p> <p>Elektrodimassojen pehmenemisnopeuden määrittäminen on viikottainen toimenpide tutkimuskeskuksessa. Sillä varmistetaan ferrokromin sulatusuuneilla käytettävän elektrodimassan laatu ja soveltuvuus sulatukseen.</p> <p>Järjestelmän ohjelmointi toteutettiin National Instrumentsin LabVIEW 8.0 -ohjelmointiympäristöllä. Ohjelman suunnittelussa käytettiin apuna vanhan järjestelmän toiminnan kuvausta. Myös käyttökäytännön toiveet käyttöliittymästä, mitattavista suureista ja mittaustulosten esittämisestä otettiin huomioon. Järjestelmän mitalaitteisto on pääosin National Instrumentsin valmistamaa. Sähkökuvat ovat piirretty Autodeskin AutoCADilla.</p> <p>Järjestelmän suunnittelu onnistui odotusten mukaisesti. Suoritettujen testimittausten perusteella voitiin todeta, että pehmenemisnopeuden määrittäminen onnistuu opinnäytetyössä esitellyn laitteiston ja ohjelman avulla.</p>	
Asiasanat: Suunnittelu, labVIEW, ohjelmointi, testaus, elektrodimassa.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme: Electrical Engineering
Author: Niila Petäjaniemi
Thesis title: Determining the Softening Speed of Electrode Paste
Pages (of which appendixes): 54 (4)
Date: 26 April 2013
Thesis instructors: Tuomas Pussila, Aila Petäjajarvi
<p>The thesis work was commissioned by Outokumpu Tornio Works. Thesis was made for the Technical Research Center of the company. The goal of the thesis was to design a new softening speed measurement system for electrode paste. Lack in the existing system's software and spare part support created a need for new system. Designing of softening speed measurement system practically meant choosing the appliances to complete the measurements and programming them.</p> <p>The electrode paste measurements are a weekly procedure in the research center. These measurements are made to ensure the quality of the electrode paste used in the furnaces of Outokumpu's Ferrochrome factory.</p> <p>When creating the program I used the description of the old measurement system as a reference. In creation of the interface and the measurement file I considered the wishes and advices from users of softening speed measurement. The program was created using labVIEW 8.0 software from National Instruments. Most of the components used are also from the same manufacturer. The electrical pictures are drawn with AutoCAD from Autodesk.</p> <p>Designing the system worked out well. According to test measurements made, the softening speed measurements of electrode paste can be done using the appliances and program presented in the thesis.</p>
Keywords: Designing, labVIEW, programming, testing, electrode paste.

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO.....	8
2 OUTOKUMPU.....	9
2.1 Outokumpu Oyj	9
2.2 Outokumpu Tornio Works	9
2.3 Ruostumattoman teräksen valmistus	10
3 ELEKTRODIMASSA	12
3.1 Käyttötarkoitus	12
3.2 Koostumus ja valmistus	13
4 PEHMENEMISNOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	14
4.1 Yleistä	14
4.2 Mittausprosessi	14
4.3 Prosessin laitteisto	15
4.3.1 Lämpötilan mittaus	16
4.3.2 Painauman mittaus.....	17
5 OHJELMOINTI &OHJELMOITAVALOGIIKKA.....	20
5.1 Yleistä	20
5.2 Logiikan rakenne	21
5.3 Logiikan moduulit	22
5.4 Logiikan ohjelmointi.....	23
6 SUUNITELTU JÄRJESTELMÄ	24
6.1 Laitteiston vaatimukset	24
6.2 Laitteisto.....	24
6.3 Ohjelmointiympäristö	26
6.4 Lay-out.....	27
7 JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI.....	30
7.1 Yleistä	30
7.2 LabVIEW ohjelmoinnin perusteet.....	30

7.3	Ohjelman toiminnan kuvaus.....	34
8	PEHMENEMISNOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	37
8.1	Toimintojen ohjelmointi	37
8.2	Ohjelman testaaminen.....	42
8.3	Käyttöliittymä.....	44
8.4	Mittausraportti	45
9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	48
	LÄHTEET	49
	LIITTEET.....	50

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

TRC	Teknillinen tutkimus keskus
RTD	Vastus-lämpötila-anturi
LVDT	Differentiaalimuuntaja
PLC	Ohjelmoitava logiikka
AI	Analogiatulo
AO	Analogialähtö
DI	Digitaalitulo
DO	Digitaalilähtö
MS	Microsoft
Pt	Platina
RAM	Käyttömuisti
NI	National Instruments
Vac	Vaihtojännite
Vdc	Tasajännite
VI	Virtual Instrument

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite oli laatia suunnitelma järjestelmästä, jolla pystyttäisiin toteuttamaan Outokummun Tornion tehtaalla käytettävien elektrodimassa kappaleiden pehmenemisnopeus mittaukset. Laboratorion tämänhetkinen pehmenemisnopeuden mittausjärjestelmä on otettu käyttöön vuonna 1985 ja se toimii Microsoftin MS-DOS-käyttöjärjestelmässä. Järjestelmän vikaantuessa korjaaminen ei olisi mahdollista puuttuvien varaosien ja ohjelmistojen takia.

Pehmenemisnopeuden mittaus tehdään ferrokromisulaton uuneissa käytettävälle elektrodimassalle. Mittaus suoritetaan joka viikko ja sen tavoitteena on laadun varmistus. Työn teoriaosassa kerrotaan elektrodimassan ominaisuuksista ja käyttötarkoituksesta. Siinä tutustutaan elektrodimassojen pehmenemisnopeuden mittaamisen periaatteisiin ja toteutukseen. Teoriaosassa käydään myös läpi ohjelmoitaviin logiikoihin ja niiden ohjelmointiin liittyviä asioita. Tarkemmin tutustutaan järjestelmän ohjelmoinnissa käytettyyn labVIEW -ohjelmistoon.

Opinnäytetyön käytännön osassa esitellään suunnitelma järjestelmästä, jolla mittaukset voitaisiin toteuttaa. Siinä käydään läpi, mitä elektrodimassojen pehmenemisnopeuden määrittäminen vaatii laitteistolta ja ohjelmalta. Osiossa esitellään valitun laitteiston ominaisuudet sekä pehmenemisnopeuden määrittämistä varten luodun ohjelman toiminnot. Lopussa kerrotaan, kuinka järjestelmän käyttöliittymä toteutettiin, millainen tiedosto mittauksesta tallentuu ja miten testimittaukset onnistuivat.

2 OUTOKUMPU

2.1 Outokumpu Oyj

Outokumpu on yksi maailman johtavista ruostumattoman teräksen tuottajista. Outokummun valmistamaa ruostumatonta terästä käytetään useilla eri aloilla ympäri maailmaa. Ruostumattoman teräksen käyttökohteita ovat esimerkiksi elintarviketeollisuus, kotitaloudet, rakennus- ja kuljetusala, kemian ja petrokemian teollisuus, energiantuotanto sekä prosessi- ja raaka-aineteollisuus. (Outokummun www-sivut 2013, hakupäivä 8.3.2013)

Outokumpu toimii yli 40 maassa, ja sen nykyaikaisissa tuotantolaitoksissa valmistetaan laajaa valikoimaa ruostumattomia terästuotteita – kuuma- ja kylmävalssattua terästä, tarkkuusnauhaa, putkia ja pitkiä tuotteita sekä kvarttolevyjä. (Outokummun www-sivut 2013, hakupäivä 8.3.2013)

Outokummun tie ruostumattoman teräksen valmistajaksi alkoi vuonna 1960, kun Kemin suuren malmion jalostamista ryhdyttiin kehittämään. Tornioon rakennetun ferrokromitehtaan ja Harjavallan nikkelitehtaan myötä yhtiö sai ruostumattoman teräksen avainraaka-aineet. Tornion terässulatto ja kylmävalssaamo käynnistyivät 1976.

Outokummun palveluksessa on yli 16 000 ammattilaista yli 40 maassa. Konsernin pääkonttori sijaitsee Espoossa, ja sen osake on listattu NASDAQ OMX Helsingissä vuodesta 1988 alkaen. (Outokummun www-sivut 2013, hakupäivä 8.3.2013)

2.2 Outokumpu Tornio Works

Tornio Works käsittää Outokummun merkittävimmät tuotantolaitokset, ferrokromisulaton ja terästehtaan, joka valmistaa noin miljoonan tonnin vuosikapasiteetilla valssattuja ruostumattomia teräksiä.

Outokumpu Tornio Worksin ruostumattoman teräksen valmistus- ja toimintaprosessi voidaan jakaa viiteen pääyksikköön, jotka ovat Kemin kaivos, ferrokromisulatto, terässulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo. Lisäksi valmistusprosessia tukevia yksiköitä ovat tutkimuskeskus, raaka-aine-varasto ja satama.

2.3 Ruostumattoman teräksen valmistus

Valmistusprosessi alkaa kromimalmin louhimisesta. Outokummun kromimalmi louhitetaan maanalaisesta kaivoksesta, joka sijaitsee Kemissä lähellä Tornion ferrokromi- ja terästehtaita. Sen jälkeen siitä tuotetaan pala- ja hienorikastetta. Kromirikastetta käytetään raaka-aineena ferrokromin valmistuksessa, mikä puolestaan on tärkeä ruostumattoman teräksen raaka-aine. (Outokummun www-sivut 2012. Hakupäivä 23.11.2012)

Kromirikasteesta tuotetaan ferrokromia sintraamossa, ja kahdessa sulatusuunissa. Sintraamossa tuotetut pelletit panostetaan sulatusuuneihin ferrokromin tuotannossa käytettyjen muiden raaka-aineiden kanssa. Valtaosa ferrokromitehtaan tuotannosta toimitetaan automaattijunalla suoraan terässulatolle. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

Outokummun ruostumattoman teräksen tuotanto perustuu kierrätykseen, sillä pääraaka-aine on kierrätysteräs. Sulatus tapahtuu valokaariuunissa, johon panostetaan kierrätysterästä, ja muita raaka-aineita – nikkeliä, molybdeenioksidia ja ferrokromia. Outokummun integroidun tuotantoprosessin merkittävä etu on se, että omalla tehtaalla tuotettu ferrokromi voidaan panostaa sulana suoraan uuniin, mikä säästää huomattavasti energiaa. Sulatusprosessin jälkeen noin 14 metriä pitkät ja 20–26 tonnia painavat ruostumattomat teräsaihiot siirretään kuumavalssaamoon. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

Terässulatosta saapuvat aihiot valssataan kuumavalssaamossa nauharulliksi. Ensin aihiot siirretään askelpalkkiuuniin, jossa teräksen lämpötila nostetaan yli 1 000 asteeseen. Sen jälkeen kuumat aihiot siirretään rullaradalle ja sitä pitkin etuvalssaimelle, jossa aihiota valssataan edestakaisin. Tällöin aihio ohenee ja sen pituus kasvaa, jolloin se muuttuu nauhaksi. Nauha ohennetaan entisestään valssaamalla sitä edelleen. Sen jälkeen nauha kelataan ja rulla siirretään jäähdytysaltaaseen. Tämän jälkeen suurin osa ruostumattomasta teräsnauhasta siirretään kylmävalssaamoon jatkokäsiteltäväksi, mutta ne voidaan myös myydä asiakkaille tässä vaiheessa tuotantoprosessia. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

Kuumavalssaamossa tuotettu nauha on mustan hilseen peitossa. Kylmävalssaamossa nauha avataan rullalta ja siirretään hehkutus- ja peittäuslinjalle, jossa hilse poistetaan ja teräksen pinta muuttuu samean mustasta kirkkaaksi. Tämän jälkeen nauha valssataan haluttuun paksuuteen; nauhaa voidaan ohentaa vielä 80 prosenttia. Valssattu teräs täytyy vielä hehkuttaa ja peitata uudelleen sekä huuhdella vedellä, jonka jälkeen se käsitellään viimeistelyvalssaimella pinnan sileyden parantamiseksi. Nauhan jännitys poistetaan venytysoikaisuyksikössä, jonka jälkeen teräs leikataan haluttuihin mittoihin. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

Satama on osa integroitua tuotantoketjua, joka koostuu kromikaivoksesta sekä ferrokromi- ja terästehtaasta. Sataman käyttäminen sekä kierrätysteräksen hankinnassa että tuotteiden toimituksessa maksimoi kuljetusten ekologisen kestävyyden. Tornion ruostumaton teräs kuljetetaan meriteitse Hollannin Terneuzenissa sijaitsevaan yksikköön, josta tuotteet on helppo toimittaa kaikille markkina-alueille. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

Tutkimuskeskus sijaitsee lähellä ferrokromi- ja terästehtaita. Sen tuotantoprosessia tukevia tehtäviä ovat laadunohjaus, materiaalianalyysit, ympäristötutkimus ja tekninen asiakaspalvelu. Laadunohjausosasto huolehtii tuotteiden mekaanisesta testauksesta, laatuilastoinneista ja -auditoinneista sekä henkilökunnan laatukoulutuksesta. Analyyttinen osasto vastaa prosessianalyyseista, raaka-aineiden analysoinnista sekä ympäristön tarkkailuanalyyseista. Teknisen asiakaspalvelun tärkein tavoite on varmistaa, että asiakas saa ruostumattoman teräslevyn tai -nauhan, joka sopii käyttökohteeseen parhaiten – niin laadultaan kuin hinnaltaankin. (Outokummun www-sivut 2012, hakupäivä 23.11.2012)

3 ELEKTRODIMASSA

3.1 Käyttötarkoitus

Elektrodimassaa käytetään Outokummun Tornion tehtaan ferrokromisulatolla. Elektrodimassa on tärkeä osa sulatuksessa käytettävien elektrodisauvojen toimintaa. Elektrodimassan ominaisuudet mahdollistavat sulatusprosessin. Ominaisuuksien ansiosta elektrodisauvat kestävät, ja pystyvät johtamaan suuria sähkövirtoja joita tarvitaan materiaalin sulattamiseen. (Larsen, Feldborg 2010, 22)

Ferrokromisulattojen uuneissa käytettävät elektrodisauvat ovat halkaisijaltaan noin 2 metriä, ja korkeudeltaan noin 11 metriä. Sauvojen kuori on valmistettu teräksestä, ja ne ovat sisältä onttoja, tukirakenteita lukuun ottamatta. Sulatusuunien elektrodisauvojen toiminta perustuu massan ominaisuuksien muuttumiseen lämpötilan noustessa. Lämpötila sauvan yläosassa on vajaa 100 °C ja alaosassa jopa 2500 °C. Sauvoissa olevan lämmityksen ansiosta niiden sisällä oleva elektrodimassa kutistuu, tiivistyy ja alkaa vajota sauvassa alaspäin.

Elektrodisauvoja täytetään jatkuvasti massalla. Elektrodimassan syöttäminen tapahtuu sauvojen yläosasta. Sauvojen teräskuori johtaa virran uuniin kunnes elektrodimassa saavuttaa 450 - 500 °C lämpötilan. Tässä lämpötilassa elektrodimassa muuttuu molekyylien uudelleen järjestäytymisen seurauksena hiileksi. Se kiinteytyy ja alkaa johtaa virtaa uuniin.

Hiili soveltuu elektrodisauvan materiaaliksi hyvin, koska sen sähkön johto- ja kestävyys ominaisuudet ovat paremmat kuin teräksellä. Hiilen suhteellinen lujuus vahvistuu lämpötilan noustessa ja saavuttaa huippunsa noin 800 °C. Teräs puolestaan pehmenee lämpötilan noustessa, ja sen suhteellinen lujuus saavuttaa 0 % noin 800 °C. (Larsen, Feldborg 2010, 22)



Kuva 1. Elektrodimassakappale

3.2 Koostumus ja valmistus

Elektrodimassa (kuva 1.), jonka ominaisuuksia pehmenemisnopeuden mittauksessa selvitetään, on Elkemin valmistama Söderberg's electrode paste. Söderbergin elektrodimassan koostuu niin sanotusta kuiva-aineksesta, ja niin sanotusta sidos-aineksesta. 75 - 80 % massasta on kuiva-ainesta, eli sähköisesti kalsinoidusta antrasiittia, ja 20 - 25 % sidosainesta eli kivihiiliterva-pikeä. (Larsen, Feldborg 2010, 33)

Elektrodimassan valmistusvaiheita ovat kalsinointi, erottelu, sekoittaminen ja ekstruusio. Tuotteen valmistusvaiheessa laadunvalvonta on suuressa roolissa. Tuotteelle tehdään kemikaalianalyysi, mitataan resistanssiarvot kalsinoinnin jälkeen, sekä tarkistetaan rakeisuus, joustavuus ja tiheys. Valmiille tuotteelle tehdään vielä lujuus-, joustavuus- ja johtavuustestit. (Larsen, Feldborg 2010, 37)

Sidosaineen viskositeettiominaisuudet ovat tärkeitä, koska sen tehtävänä on toimia elektrodimassan ”liimana”. Sidosaineen pehmenemispiste on sylinterin mallisilla massakappaleilla 65 - 96 °C ja briketeillä 80 - 95 °C. (Larsen, Feldborg 2010, 33)

4 PEHMENEMISNOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN

4.1 Yleistä

Elektrodimassan pehmenemisnopeuden määrittäminen tehdään Outokumpu Tornio Worksin Teknisen tutkimuskeskuksen uunihuoneella. Pehmenemisnopeuden määrittämisen tavoitteena on laadunvalvonta. Testeissä käytetään Ferrochromisolatolle menevää massasta porattuja näytekappaleita. Testi tehdään noin kerran viikossa

Elektrodimassan hyvä pehmenemisnopeus on luokkaa 3 – 6 % / °C. T-50 % -arvon tavoite, eli lämpötila-arvo painauman ollessa 50 % näytteen alkupituudesta, on 95 - 105 °C.

Vaikka näihin hyväksi todettuihin arvoihin ei päästäisi, ei saapumiseriä kuitenkaan vielä hylätä. (Karassaari 2009, 13)

4.2 Mittausprosessi

Elektrodimassasta porataan sylinterinmuotoinen kappale joka on noin 100 mm pitkä ja halkaisijaltaan noin 50 mm. Massakappale laitetaan teräksiseen säiliöön jota kutsutaan reaktoriksi. Reaktori on täytetty öljyllä, ja se on sijoitettu keittolevyn päälle. Massakappaleen päälle sijoitetaan kahden ja puolen kilogramman kokoinen paino.

Pehmenemisnopeuden määrittäminen alkaa reaktoreiden alla sijaitsevien keittolevyjen käynnistämällä. Keittolevyjen tarkoitus on kuumentaa öljy ja sen myötä massakappale. Ennen levyjen käynnistämistä on kuitenkin syötettävä näytteen tiedot tietokoneelle. Kirjattavia tietoja ovat mm. kappaleen mitat, ja näytteen numero, testin järjestysnumero, mittaus tiheys ja käytössä oleva öljyhaude. Kun tiedot on syötetty, käynnistetään prosessin mittaukset tietokoneelta, ja kytketään keittolevyt päälle. Mittaus prosessi kestää yhdestä ja puolesta tunnista kahteen tuntiin. Testin aikana tallennettavia suureita ovat aika, reaktorin lämpötila ja massakappaleen painauma.

Tietokone tallentaa mittaustuloksista tiedoston josta testin loputtua käyttökunta voi tarkistaa mittaustulokset ja suorittaa vaadittavat toimenpiteet. Tietokone on myös ohjelmoitu laskemaan tuloksista tiettyjä arvoja joita henkilökunta tarvitsee massan laa-

dun arvioimiseksi. Laskettuja arvoja ovat: loppupituus [mm], pehmenemisnopeus [% / °C], painauma testin päättyessä [%], lämpötila testin päättyessä [°C] ja testissä kulunut aika.

Tärkein arvo joka mittauksesta tallentuu, on pehmenemisnopeus. Se lasketaan kaavalla: $(60 \% \text{ painauma} - 30 \% \text{ painauma}) / (60 \% \text{ lämpötila} - 30 \% \text{ lämpötila})$. Lisäksi ferrokromisulatolle lähetetään testin lämpötilatiedot painauman arvon ollessa 2 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % ja 80 % alkupituudesta.

Testin keskimääräinen kesto on 1h 20min – 2h 20min ja testin päättyttyä painauma vaihtelee 79 % ja 85 % välillä.

4.3 Prosessin laitteisto

Reaktoreita on kaksi. Ne ovat kartion muotoisia teräksisiä säiliöitä joihin öljy ja massakappale sijoitetaan. Säiliön tehtävä on taata turvallinen ympäristö näytekappaleen ja öljyn kuumentamiselle. Reaktoreissa on kansi-osa, josta näyte laitetaan sisään. Reaktoreihin on kiinnitetty lämpötilan mittaus- sekä öljyn sekoituslaitteistot. Reaktorit sijaitsevat tutkimuskeskuksen uunihuoneen pöytätasolla, keittolevyjen päällä.

Pehmenemisnopeuden määrittämiseksi tarvitaan kolme erillistä mittausta: lämpötila, painauma ja aika. Ajan mittaus tapahtuu tietokone ohjelmassa, lämpötilan mittaus on kiinnitetty reaktoriin, ja painauman mittaus suoritetaan reaktorin yläpuolelle asennetun differentiaalimuuntajan avulla.

Pehmenemisnopeuden määrittämisessä tarvittavat komponentit ovat sijoitettu ohjauskoteloon mittauslaitteiston taakse. Kotelon laitteiston avulla prosessista saatavat mittaus-signaalit muunnetaan tietokoneelle sopiviksi.

Tietokone, jolla näytteen tiedot kirjataan ja mittauksia ohjataan sekä tulokset käsitellään ja tallennetaan, on sijoitettu reaktorien läheisyyteen.

4.3.1 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittauksia on prosessissa kaksi kappaletta, yksi kummallekin reaktorille. Ne ovat toteutettu vastus-lämpötila-antureilla (RTD) (kuva 2.). Vastus-lämpötila-antureiden toiminta perustuu metallien sähkövastuksen lämpötilariippuvuuteen. Kun tämä riippuvuus suhde tunnetaan, voidaan lämpötilan mittaus muuttaa resistanssin mittaukseksi. (Mäkinen, Kallio & Tantarimäki 2009, 172)

Pehmenemisnopeusmittauksessa käytössä oleva vastus-lämpötila-anturi, kuten useimmat teollisuudessa käytettävät vastus-lämpötila-anturit, on valmistettu platinasta. Platina kestää hyvin kemiallista rasitusta ja sen resistanssiarvo muuttuu riittävän lineaarisesti lämpötilan muuttuessa. Platinan käyttökelpoinen mittausalue on $-200...+850$ celsiusta. Hyvän vastus-lämpötila-anturissa käytetyn materiaalin ominaisuuksia ovat suuri vakiona pysyvä lämpötilakerroin, suuri resistiivisyys, hyvä toistuvuus, mekaanisen ja kemiallisen rasituksen kestävyys sekä raaka aineen edullisuus ja tasalaatuisuus. (Mäkinen ym. 2009, 172)



Kuva 2. Pt-100 anturi

Käytössä oleva anturi on tyyppiä Pt-100. Kyseinen anturityypin resistanssi nollassa celsius asteessa on 100 ohmia. Lämpötilan noustessa resistanssi arvo nousee, ja laskiessa, resistanssi laskee. Resistanssin muutos on hieman epälineaarinen. Yhtä celsius astetta kohden se on kuitenkin noin 0,39 ohmia. (Aumala 2000, 89)

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1.) on esitetty Pt-100 anturin resistanssin lämpötilariippuvuutta. Platina antureita löytyy myös muilla resistanssi-arvoilla. Muita anturi tyyppejä ovat: Pt-250, Pt-500 ja Pt-1000. (Mäkinen ym. 2009, 172)

Taulukko 1. Pt-100 resistanssi (<http://www.micropik.com/PDF/pt100.pdf>)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
0.00	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00
110.00	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110.00
120.00	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120.00
130.00	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130.00
140.00	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140.00

Vastus-lämpötila-antureidenkytkentä on mahdollista toteuttaa kolmella eri tavalla. Kytkennoilla voidaan vaikuttaa mittaustulosten tarkkuuteen. 2-johdin kytkennässä instrumenttikaapeli liitetään lämpötila-anturin kytkentäkotelon liittimiin. Mittaustuloksessa on tällöin mukana johtimien resistanssit, jotka myös muuttuvat ympäristön lämpötilan mukaan. (Mäkinen ym. 2009, 173)

3-johdinkytkentä on yleinen ja riittävän tarkka mittaustapa teollisuudessa. Lämpötilalähetin mittaa anturin resistanssin ja johdinsilmukan resistanssin ja vähentää ne toisistaan. Tuloksena on anturin resistanssi. Koska kaikkien johtimien resistanssien on oltava yhtä suuret, käytetään yleisesti kaksiparisista instrumenttikaapelia. (Mäkinen ym. 2009, 173)

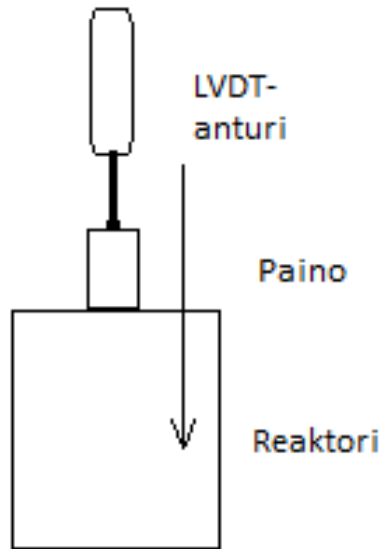
4-johdin kytkentää käytetään erityistä tarkkuutta vaativiin sovelluksiin. Siinä Pt-100-anturin päähän kytketään kaksi johdinta kaksiparisesta instrumenttikaapelista. Lämpötilalähetin syöttää virran toiseen johdinpariin ja toisella mitataan jännite anturin yli. (Mäkinen ym. 2009, 173)

4.3.2 Painauman mittaus

Elektrodimassakappaleen painauman mittaukset ovat toteutettu Monitranin MTN-IE-150 differentiaalimuuntajilla. Muuntajat ovat kiinnitetty kohtisuoraan massakappaleen päälle asetettavien painojen yläpuolille (kuva 3.). Muuntajienmännät lepäävät painojen päällä ja elävät niiden liikkeen mukana.

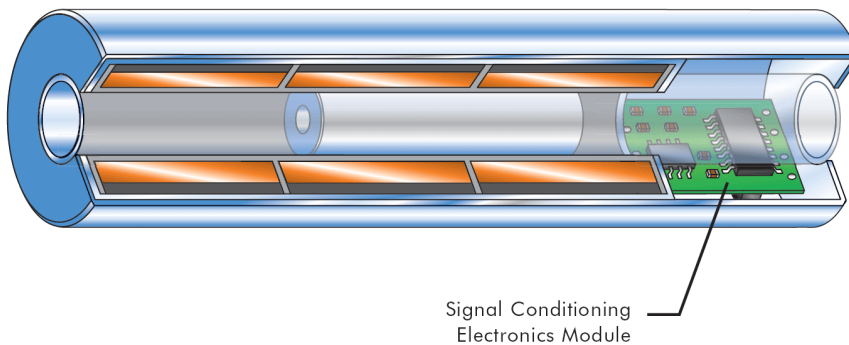
Anturi lähettää männän asennosta riippuvaa tasajännite signaalia jonka suuruus on 1 - 5 volttia. Painauma-mittauksen alkaessa, kun painauma on nolla millimetriä ja anturin mäntä on kokonaan kuoren sisällä, on differentiaalimuuntajan lähtösignaali 5 volttia.

Mittauksen edetessä, kun massakappale lämmön ja painon vaikutuksesta painautuu reaktorin pohjalle, laskevat anturin lähettämät voltit kohti yhtä voltia. Monitranin anturin mitta-alue on 100 millimetriä. 5 voltin lähtöviesti tarkoittaa 0 millimetrin painaumaa ja 1 voltin viesti 100 millimetrin painaumaa.



Kuva 3. Differentiaalimuuntajan sijoitus

Differentiaalimuuntajan toiminta perustuu kolmeen käämiin ja yhteen rautasydämeen jota liikutetaan käämeihin nähden (kuva 4.). Anturin sylinteriputkessa keskimmäiseen eli ensiokäämiin syötetään puhdasta siniaaltoja 50...10000 Hz:n taajuudella. Sylinteriputken molemmissa päissä sijaitsee identtiset käämit eli toisiokäämit, joihin indusoituu jännite ferromagneettisydämen avulla. (Fonselius, Laitinen, Pekkola. Sampo & Välimaa 1994, 94)



Kuva 4. Differentiaalimuuntajan läpileikkaus

Toisiokäämit on kytketty vastakkain (vaihe-ero 180°) niin, että liikkuvan rautasydämen ollessa keskiasennossa ovat molempiin käämeihin indusoituneet jännitteet yhtä suuria. Toisosarjakytkennästä johtuen summajännite on nolla. Rautasydämen siirtyessä pois keskiasennosta käämien induktiojännitetasapaino muuttuu ja lähtöjännitteen suuruus riippuu rautasydämen siirtymästä. (Fonselius ym. 1994, 95)

Anturin sisälle on rakennettu ohjauselektronikka, jolla muodostetaan tarvittava sini-muotoinen syöttöjännite ja luetaan toisiokelojen antama vaihtojännite. Sisään syötetään esimerkiksi 5V:n tasajännite, ja ulostulosta saadaan 1 – 5V:n välillä vaihteleva tasajännite joka kertoo männän sijainnin.

Anturin suurin mittausepäätarkkuus on noin 0,5 - 1,5 % mitta-alueesta ja erottelukyky on luokkaa 10 μm . Normaalirakenteisten antureiden käyttölämpötila on $-20\dots+80^\circ\text{C}$. Ulkonäöltään anturit muistuttavat suoraviivaista liikettä mittaavia potentiometrejä. (Fonselius ym. 1994, 95)

Virhetoimintoja antureihin voivat aiheuttaa ulkoiset magneettikentät, niiden estämiseksi anturi asennetaan suojakuoren sisään. Iskumaiset räsitukset ja värinä ovat toiminnan kannalta haitallisia, sillä anturi reagoi herkästi sydämen liikkeisiin ja rekisteröi ne. Anturin rakenne on yksinkertainen ja sen liikkuvaan osaan kohdistuva voima erittäin pieni. Liikekitka on hyvin pieni ja anturilla on hyvä erottelukyky. (Fonselius ym. 1994, 95)

5 OHJELMOINTI & OHJELMOITAVALOGIIKKA

5.1 Yleistä

Teollisuuden kasvaneet tuottavuusvaatimukset ovat johtaneet automaatiolaitteiden voimakkaaseen kehittymiseen ja niiden käytön lisääntymiseen. Massatuotannossa on paljon samanlaisina toistuvia työjaksoja ja tällaiset automatisoitavat toiminnot toteutetaan nykyään ohjelmoitavilla logiikoilla. (Mäkinen ym. 2009, 215)

Ohjelmoitavaa logiikkaa käytetään keskitettynä laitteena useiden binääri viestien ja ohjausten käsittelyyn. Sillä korvataan toiminnat, joita aikaisemmin tehtiin lukuisilla apu- ja aikareleillä ja näiden johdotuksilla. Laitteet ovat vuosien varrella kehittyneet niin, että niitä voidaan nykyisin käyttää myös analogiaviestien käsittelyyn, mittauksiin, ohjauksiin ja säätöihin. (Mäkinen ym. 2009, 215)

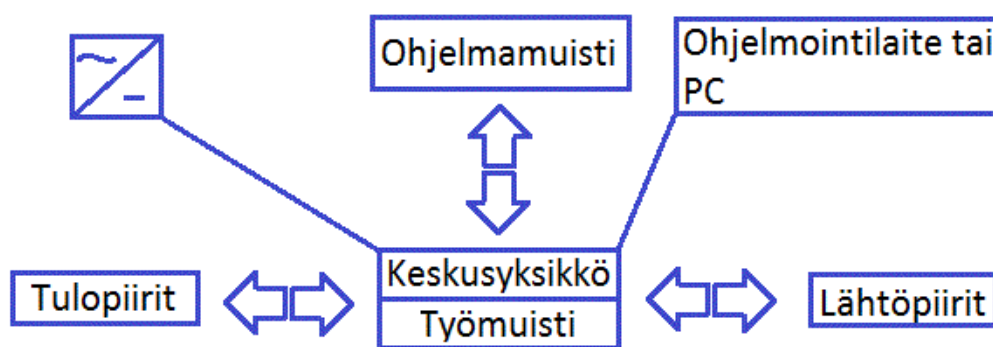
Ohjelmoitava logiikka on yksinkertaisimmillaan binäärisignaaleja käsittelevä ”pieni purkki”, jossa on tarvittavat komponentit. Se tarvitsee vain verkkosyötön sekä johdote-
tut tulot ja lähdöt. Tällaisten logiikoiden ohjelmointi tehdään suoraan sen etupaneelistä. (Mäkinen ym. 2009, 215)

Laajimmillaan ohjelmoitava logiikkajärjestelmä voi käsittää ”kaappikaupalla” komponentteja, kuten itse logiikan, laajennuskortteja kehikoissa, tasajännitelähteitä ja rivi-
liittämiä. Ohjelmoitavien logiikkajärjestelmien toimintaa valvotaan erillisistä valvomois-
ta. (Mäkinen ym. 2009, 215)

Nykyisin logiikat voidaan jakaa kahteen ryhmään sen perusteella ovatko ne kiinteällä tulo- ja lähtöportti määrällä varustettuja vai erilaisista moduuleista kokoonpantavia laitteistoja. Kiinteillä tuloilla ja lähdöillä varustetut logiikat ovat yleensä pieniin, yksittäisen laitteen ohjaukseen soveltuvia edullisia laitteita. Normaalisti näissä logiikoissa ei ole mahdollisuutta esimerkiksi kenttäväylän käyttämiseen. Modulaarisissa logiikkajärjestelmissä taas käyttäjä voi valita kulloiseenkin tarpeeseen sopivat erilaiset IO- ja kenttäväylämoduulit. Tällaiset logiikat soveltuvat jo hyvin monimutkaisten ja isojen järjestelmien ohjaamiseen. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 222)

5.2 Logiikan rakenne

Ohjelmoitava logiikka toimii oleellisena osana ohjelmoitavaa ohjausjärjestelmää. Sen tuloihin kytketään järjestelmän tilaa mittaavat anturit ja lähestymiskytkimet eli ”aistit”. Lähtöihin kytketään toimilaitteet joita ovat esim. sähkömoottorit, releet, merkkilamput ja magneettiventtiilit. Sen muistiin voidaan kirjoittaa ohjelma, joka valvoo järjestelmän tilaa tosiaikaisesti. Alla olevassa kuvassa on esitelty ohjelmoitavan logiikan ympärille muodostettuun ohjauskokonaisuuteen liittyviä elementtejä (kuva 5.).(Keinänen ym.) 2007, 223)



Kuva 5. Logiikan rakenne

Logiikan tulopiirit kytkevät kentältä tulevat signaalit ohjelmoitavaan logiikkaan. Näitä signaaleja voi tulla käsi- tai lähestymiskytkimiltä, valokennoilta tai esimerkiksi releiden apukoskettimilta.. Lähtöpiirit ohjaavat järjestelmän toimilaitteita. Tulo- ja lähtö-piirejä on sekä binäärisiä eli kaksitilaisia, että analogisia. (Keinänen ym. 2007, 225)

Logiikan keskusyksikkö toteuttaa sille ohjelmoituja käskyjä yksi kerrallaan. Keskusyksikkö on nykyisissä logiikoissa lähes poikkeuksetta toteutettu mikroprosessorilla. Tämä mahdollistaa loogisten operaatioiden ohella myös aritmeettiset laskutoimitukset. Keskusyksikkö vaatii näiden suorittamiseksi ainakin yhden työresterin jota kutsutaan yleensä akuksi. Keskusyksikössä on jonkin verran käyttäjän luku- ja kirjoitusmuistia (RAM) työmuistina. (Keinänen ym. 2007, 223)

Ohjelmamuisti tallentaa kirjoitetun ohjelman. Siinä on kaikki se informaatio, jolla automatisoitu laitteisto toimii. Logiikkojen muistikoko ilmoitetaan yleensä kirjoitettavien ohjelmarivien määränä, perusyksikkönä on 1 K eli 1024 käskyä. Muistikoot vaihtelevat

pienlogiikoiden 0,25 kilon muisteista aina isojen järjestelmien 256 kiloon. Logiikan muisti muodostuu tavallisesti 16-bittisistä sanoista (Word). (Keinänen ym. 2007, 225)

5.3 Logiikan moduulit

Moduulit ovat logiikkaan liitettäviä signaalia käsitteleviä yksiköitä (kuva 6). Niitä valmistetaan useisiin eri käyttötarkoituksiin. Moduuleista käytetään suomenkielessä usein nimitystä kortti ja ne ovat suunniteltu joko mittaus tai ohjaus tarkoitukseen. Moduulit vastaanottavat ja lähettävät signaaleja tietokoneen ja kentälaitteiden välillä. Suomessa yleisimpiä logiikoiden ja moduulien valmistajia ovat mm. Siemens, Metsoja ABB.



Kuva 6. Siemens digitaalinen sisääntulomodula

Logiikan digitaalisella tuloyksiköllä on neljä tehtävää: välittää on/ei-tietoa antureilta keskusyksikölle, toteuttaa galvaaninen erotus, sovittaa anturijännitteet logiikan jännitteeseen ja suojata logiikkaa häiriöiltä. Galvaaninen erotus voidaan toteuttaa joko optoerottimella, releellä tai muuntajalla. Tuloyksiköissä käytetään etupäässä optoerottimia. (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström, & Välimaa 1999, 107)

Optoerotin koostuu valoa lähettävästä diodista ja valoa vastaanottavasta transistorista. Kun lähestymiskytkin havaitsee kappaleen, se saa tuloyksikön sisällä olevan optoerotin ledin hohtamaan valoa. Valo liipaisee transistorin ja näin logiikka saa tiedon anturin havainnosta. Diskreetteihin tuloyksiköihin voidaan kytkeä esimerkiksi painonappeja tai rajakytkimiä. (Fonselius ym. 1999, 108)

Logiikan lähtöyksikön tehtävänä on välittää tietoa toimilaitteille, toteuttaa galvaaninen erotus ja sovittaa jännitteet logiikan ja toimilaitteiden käyttöön sopiviksi. Lähtöyksikön kytkentätaajuus on vain muutama Hz. Lähtöyksikön kytkimenä voi toimia joko rele, transistori tai triac. Rele on lähtöyksikön kytkentäelimistä kuitenkin yleisin. Sillä voidaan ohjata sekä tasa- että vaihtojännitettä aina 250 V:in saakka. (Fonselius ym. 1999, 108)

Analogisen signaalin vastaanottamiseen tarvitaan analogista tuloyksikköä. Analoginen tuloyksikkö suorittaa signaalille analogi/digitaali-muunnoksen. Se muuttaa esimerkiksi 0...10 V signaalin 16 bitin digitaalisanaksi. Analogiasignaalin ohjaamiseen tarvitaan analogialähtöyksikkö eli D/A-muunnin. Analogiayksiköitä käytetään logiikkaohjauksissa säätöjen toteuttamiseen. (Fonselius ym. 1999, 110)

Logiikoihin on saatavilla myös erikoisyksiköitä, eli niin sanottuja älykkäitä yksiköitä. Älykkääksi yksikköä kutsutaan silloin, kun sillä on oma prosessori. Erikoisyksiköitä ovat mm. nopeat laskuritulo-, väylä-, paikoitus- ja säätäjäyksiköt. (Fonselius ym. 1999, 111)

5.4 Logiikan ohjelmointi

Logiikan ohjelmointi tapahtuu yleensä tietokoneella, erityisesti tähän tarkoitukseen tehdyillä ohjelmilla. Pienissä logiikoissa ohjelmointiin käytetään logiikan omaa näppäimistöä tai logiikka-kohtaista käsiohjelmointilaitetta. Niissä ohjelma kirjoitetaan muistiin rivikerrallaan. (Mäkinen ym. 2009, 216)

Logiikkojen ohjelmat ja ohjelmointi ovat valmistajakohtaisia. Ne voidaan jakaa käyttöjärjestelmään ja sovellusohjelmistoon. Kaikkien valmistajien ohjelmat noudattavat kuitenkin standardissa IEC 61131-3; Programming määriteltyjä käytäntöjä. (Mäkinen ym. 2009, 217)

Yleisimpiä logiikoiden ohjelmointi tapoja ovat: toimintakaavio (FBD), käskylista (IL), tikapuukaavio (LD), rakenteinen teksti (ST) ja sekvenssikaavio (SFC).

(Mäkinen ym. 2009, 217)

6 SUUNITELTU JÄRJESTELMÄ

6.1 Laitteiston vaatimukset

Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin seuraavat asiat:

- Laitteistoa tulnaisiin ohjaamaan tietokoneella Windows käyttöjärjestelmän avulla.
- Windowsiin rakennettavan käyttöliittymän kautta mittausten reaaliaikainen seuraaminen ja ohjausviestien lähettäminen laitteille tuli olla sujuvaa.
- Mittaustuloksista tuli tallentua mittaustiedosto joka sisälsi näytteen tiedot, mittaustulokset esimerkiksi 5 sekunnin välein ja yhteenvedon tuloksista.
- Tulosten tuli olla siististi riveillä ja sarakkeilla ja niiden tarkastelun tuli onnistua Microsoft Excel -ohjelman avulla.

Mittauksen käynnistämisen, pysäyttämisen sekä tulosten reaaliaikainen seurannan lisäksi myös lämpölevyjen ohjaukset haluttiin toteuttaa ohjemallisesti käyttöliittymän kautta. Laitteiston tuli olla luotettava, laajennettavissa ja helposti muunneltavissa.

Samanaikaisesti laitteiston piti pystyä neljään analogiseen mittaukseen. Kahteen Pt-100 lämpötila mittaukseen sekä kahteen painauman mittaukseen. Neljän analogiatulon lisäksi tarvittiin kaksi relelähtöä ohjaamaan reaktoreiden lämpölevyjä.

6.2 Laitteisto

Ohjelmiston ja mittauskorttien valmistajaksi valittiin National Instruments. Valmistajan valintaan vaikuttivat sekä minun että laboratorion kokemukset kyseisestä valmistajasta. Outokummulta löytyi valmiina lisenssit National Instrumentsin labVIEW -ohjelmistoon sekä laitteisto joilla lämpötilan ja painauman mittauksia pystyttäisiin kokeilemaan. LabVIEW:n hyviin puoliin lukeutuu myös käyttöliittymän tekemisen helppous ja se on suunniteltu juuri massatestien kaltaisiin mittaus ja tiedontallennus sovelluksiin.

Lämpötilan ja painauman mittauksiin soveltuu National Instrumentsin valmistama NI 9219 analogia input moduuli (kuva 7.). Moduuli pystyy mittaamaan neljää kanavaa sa-

manaikaisesti. Kanavat ovat vapaasti ohjelmoitavissa esim. virta, resistanssi, lämpötila, RTD, termopari ja jännitemittauksille.

NI 9219:n kanavien ohjelmointi toteutettiin National Instrumentsin labVIEW ohjelmointiympäristössä. Ohjelmiston avulla pystyttiin määrittämään kullekin kanavalle mittauksen tyyppi (RTD, AI), mittaus signaalin skaalaus ja näytteenottotaajuus. Lisäksi ohjelma tarjosi kytkentäkuvat mitta-antureiden liittämiseksi korttiin.



Kuva 7. NI 9219 (National Instrumentsin www-sivut 2013, hakupäivä 13.9.2013)

Pehmenemisnopeus mittauksen ohjelmaan suunniteltiin myös ohjaukset kahdelle relelähdölle joilla pystyttäisiin kytkemään reaktoreiden lämpölevyt päälle ja pois mittauksen mukana ja sen aikana. Lähdöt on suunniteltu toteutettaviksi National Instrumentsin NI 9481- moduulilla (Kuva 8.).

NI 9481 on National Instrumentsin valmistama neljäkanavainen digitaalinen lähtömoduuli. Moduulin jokaisessa kanavassa on ohjelmoitava elektromeekaaninen rele jolla voidaan ohjata: 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A) ja 250 VAC (2 A) jännitteitä.

Tällä hetkellä lämpölevyjen käyttö tapahtuu kellokytkimen kautta manuaalisesti, mutta uuteen ohjelmaan on nyt sisällytetty optio levyjen käytön ohjelmallisesta toteuttamisesta NI 9481-moduulin avulla.



Kuva 8. NI 9481 (National Instrumentsin www-sivut 2013, hakupäivä 13.9.2013)

Edellä mainitut National Instrumentsin NI 9219 ja NI 9481 ovat suunniteltu asennettaviksi NI-cDAQ 9174 alustaan (kuva 9). Mittaustiedot ja ohjausviestit kulkevat USB -kaapelia pitkin alustan ja tietokoneen välillä. NI 9481:een pystyy liittämään yhteensä neljä moduulia eli laajennus kapasiteettia jää kahden moduulin verran.



Kuva 9. NI-cDAQ 9174 (National Instrumentsin www-sivut 2013, hakupäivä 13.9.2013)

6.3 Ohjelmointiympäristö

LabVIEW on National Instrumentsin kehittämä graafinen ohjelmointiympäristö joka on alun perin kehitetty vuonna 1986 Applen Macintoshille. LabVIEW -ohjelmointi perustuu graafiseen G-kieleen ja siitä on saatavissa versiot Linuxille, Windowsille, Macille,

Solarikselle sekä joillekin PDA- laitteille. LabVIEW ohjelmat ovat suoraan siirrettävissä eri käyttöjärjestelmien välillä.

LabVIEW soveltuu hyvin mittaus ja testaus sovellutuksiin sekä myös yleisohjelmointikieleksi. Tyypillisiä käyttökohteita ovat PC-pohjaiset teollisuusautomaatiosovellukset sekä laajat ja hajautetut tiedon analysointi ja varastointi sovellutukset.

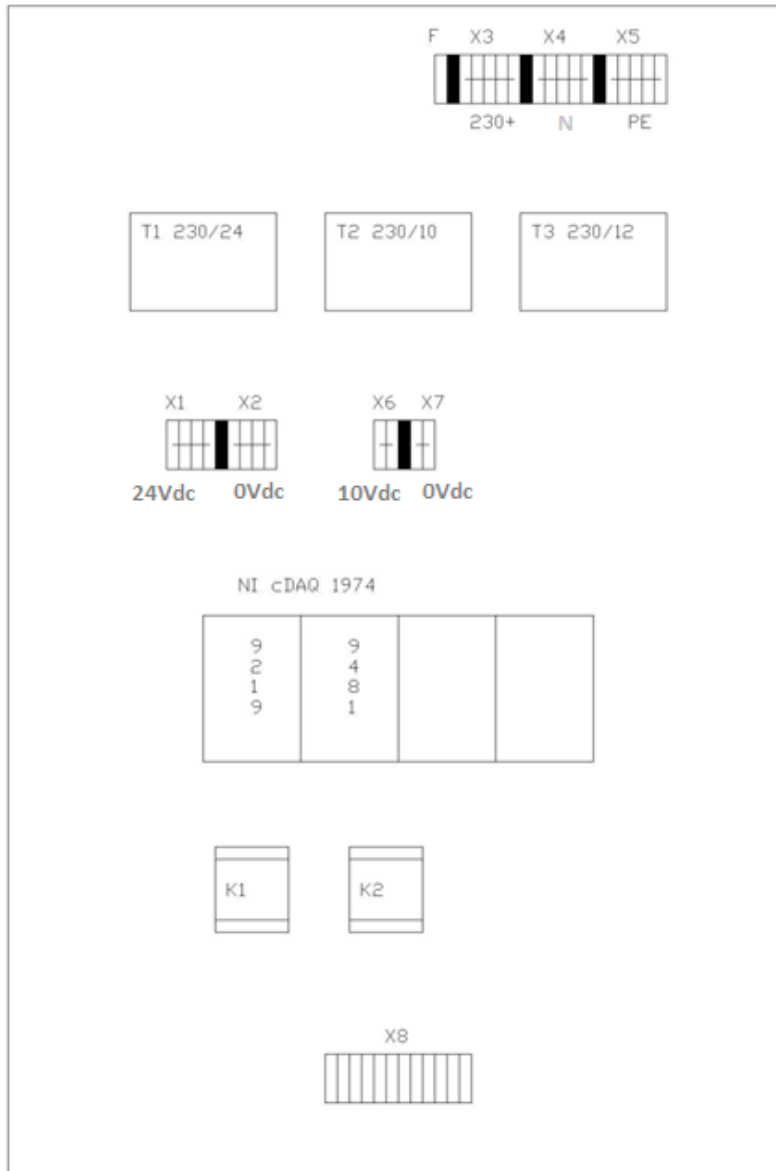
LabVIEW on helppokäyttöinen ja se sisältää paljon valmiita esimerkkejä erilaisten mittausten toteuttamiseksi. Siinä on laajat kirjasto ja haku ominaisuudet joiden avulla löytyy tietoa halutuista aliohjelmista tai ohjelmointi työkaluista. Logiikkaan labVIEW yhdistetään usein USB -kaapelilla.

LabVIEW eroaa monista muista ohjelmointi ympäristöistä käyttöliittymän rakentamisen osalta. Käyttöliittymää rakennetaan labVIEW:ssä samanaikaisesti ohjelmapuolen kanssa. LabVIEW:ssä on aina auki sekä ohjelmointi ikkuna, että käyttöliittymä ikkuna. Toiminnon lisääminen käyttöliittymä ikkunaan voi aiheuttaa saman toiminnon ilmestymisen myös ohjelmointi ikkunaan.

Käytössäni ollut labVIEW versio oli vuodelta 2008. Tein ohjelmointia myös labVIEW:n Student Edition:lla, johon National Instruments tarjoaa kuukauden ilmaisen lisenssin. Ohjelmointiympäristön uusin versio labVIEW2012 on julkaistu vuoden 2012 elokuussa.

6.4 Lay-out

Edellä mainittujen moduulien lisäksi massojen pehmenemisnopeuden määrittäminen vaatii myös muita komponentteja. Ohjauskoteloon sijoitetaan kolme muuntajaa, kaksi kontaktoria ja riviliittimiä. Lisäksi kotelon kanteen tulee merkkilamput indikoimaan lämpölevyjen toimintaa sekä pistorasiat lämpölevyjen käyttöjännitteelle. Alla olevassa kuvassa (kuva 10.) on esitelty pehmenemisnopeuden määrittämiseen tarvittava laitteisto sekä sen sijoittelu ohjauskoteloon.



Kuva 10. Ohjauskotelo

Ohjauskotelon oikeassa yläkulmassa näkyvät riviliittimet X3, X4 ja X5 ovat 230VAC jännitteelle sekä maadoitukselle. Riviliittimien alapuolelle on piirretty kolme jännite muuntajaa. (kuva10.)

Ensimmäinen muuntaja T1 muuntaa 230VAC jännitteen 24VDC:ksi. Jännitettä käytetään kontaktorien K1 ja K2 kelojen ohjauksena sekä kotelon kannessa sijaitsevien lämpölevyjen toimintaa indikoivien merkkilamppujen H1 ja H2 syöttöön. Muuntajan T2 antama jännite 10VDC on tarkoitettu painauman mittauksessa käytetyn anturin käyttöjännitteeksi. Muuntaja T3: 12 voltia on NI-cDAQ 1974:n käyttöjännite. Muuntajilta tulevat jännitteet kulkevat niiden alapuolella olevien riviliittinrimojen kautta. Riviliitin-

rimat X1 ja X2 ovat 24VDC jännitteelle ja rimat X6 ja X7 10VDC jännitteelle. Muuntajan T3 jännite viedään suoraan NI-cDAQ 1974:lle. (kuva10.)

NI-cDAQ 1974 sekä moduulit ovat sijoitettu jänniterimojen ja kontaktorien väliin. Kontaktorien alapuolelle on piirrettyliitinrima X8. Liitinriman kauttasähkö kulkee kentälle ja kentältä. Kotelosta on piirrettykytkentäkuvat ja ne löytyvät opinnäytetyön liitteistä 1, 2, 3 ja 4.

7 JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI

7.1 Yleistä

LabVIEW ohjelmoiminen tapahtui pääasiassa Kemi-Tornion ammattikorkeakoululta lainassa olleella kannettavalla tietokoneella. Koululta sain myös käyttööni LabVIEW 8.2 opiskelija-version jolla pystyin harjoittelemaan ohjelmointia. Lopullinen ohjelma toteutettiin Outokummun kannettavalla tietokoneella ja labVIEW 8.0 versiolla.

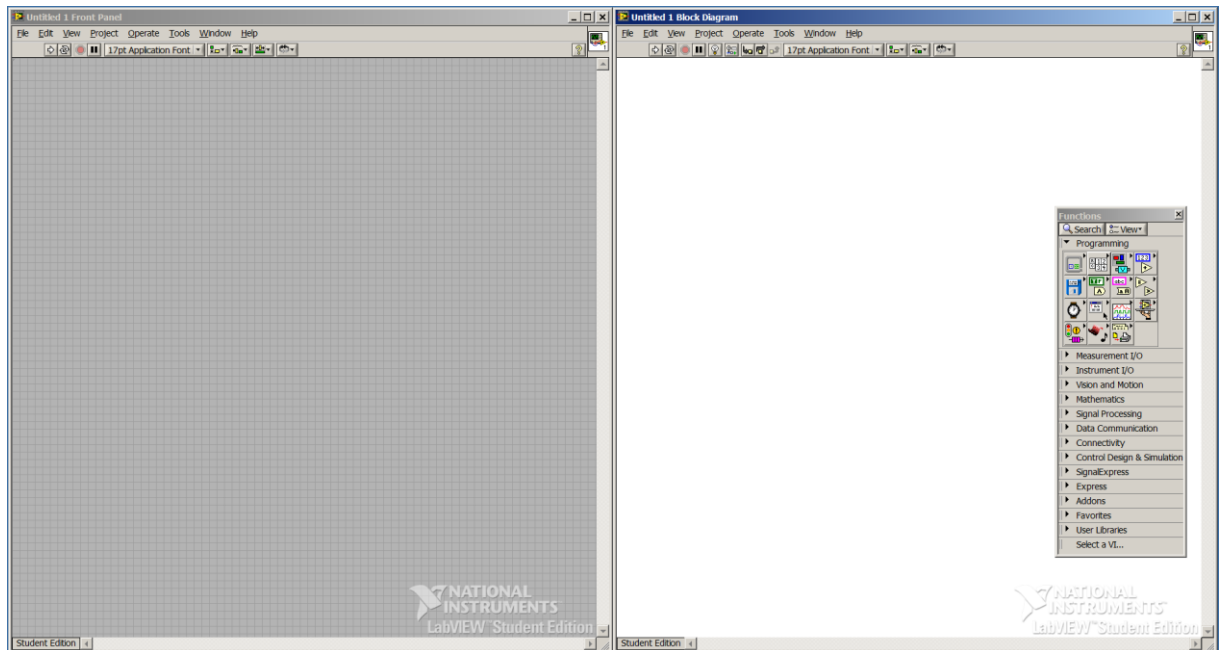
LabVIEW ohjelmoinnin harjoittelussa käytin ohjelmiston mukana tulevia teoksia ”Getting Started with labVIEW” ja ”labVIEW fundamentals.”. Suuri osa opiskelusta tapahtui myös labVIEW:n Internet sivujen kautta. Sivuilta löytyy valtava määrä kysymyksiä ja vastauksia liittyen labVIEW ohjelmointiin ja siinä ilmenneisiin haasteisiin. (<http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/bd-p/170>)

7.2 LabVIEW ohjelmoinnin perusteet

LabVIEW on graafinen ohjelmointikieli, joka käyttää tekstirivien sijaan kuvakkeita ohjelmia rakennettaessa. Toinen ero muihin ohjelmointi ympäristöihin verrattaessa on kahden ohjelmointi ikkunan samanaikainen käyttö. LabVIEW:ssä rakennetaan samanaikaisesti käyttöliittymä näkymää ja ohjelmointi näkymää. Käyttöliittymä näkymään sijoitetaan painonapit, osoittimet ja merkkivalot. Ohjelmointi näkymässä määrätään toiminnot käyttöliittymä näkymän nappien painalluksille ja määritellään osoittimien ja merkkivalojen toiminta.

Ohjelmista käytetään labVIEW:ssä nimeä VI, eli Virtual Instrument. Ohjelmointinäkymästä käytetään englanninkielistä nimeä Block Diagram eli ”palikkakaavio” ja käyttöliittymänäkymästä Front Panel eli ”etupaneeli”. (National Instrument Corporation 2005, Getting Started with LabVIEW, 1-19)

LabVIEW ohjelmointi alkaa tyhjän VI:n luomisella. Alla olevassa kuvassa (kuva 11.) on esitelty näkymä ohjelmoinnin aloitus vaiheessa. Kuvassa on auki tyhjä VI (Blank VI) ja siinä näkyvissä olevista ikkunoista harmaataustainen on Front Panel ja valkostaustainen Block Diagram.



Kuva 11. Front Panel ja Block Diagram

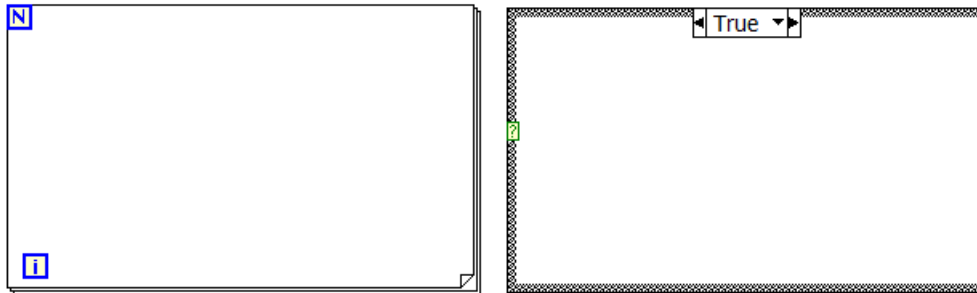
Ohjelman rakentaminen alkaa yleensä While-silmukan (While-loop) luomisella (kuva 12.). While-silmukka on rakenne jonka sisälle ohjelma kirjoitetaan. While-silmukka määrää kuinka kauan ohjelmaa toistetaan. Sen rakenteeseen kuuluu Stop-nappi, joka ilmestyy While-silmukan luotua myös Front Panel:iin. Napin painallus aiheuttaa ohjelmakierron pysähtymisen. Silmukan vasemmassa alareunassa on myös sininen neliö joka laskee kuinka monta kertaa ohjelma on suoritettu.



Kuva 12. While-loop

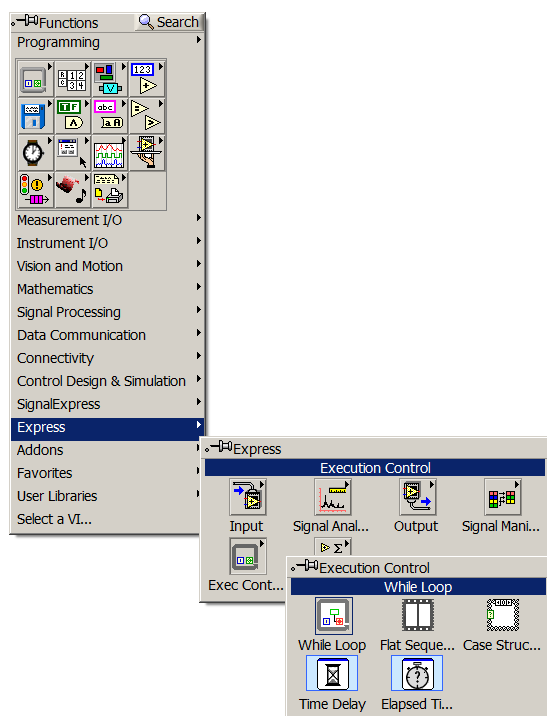
Muita ohjelmoinnissa usein käytettyjä rakenteita ovat For-silmukka (For-Loop) ja Case-rakenne (Case Structure) (kuva 13.). For-silmukkaan määritetään etukäteen kuinka monta kertaa se tullaan suorittamaan. Toistojen lukumäärä johdotetaan rakenteen oike-

assa yläkulmassa olevaan N- terminaaliin. Case-rakenne sisältää vihreän kysymysmerkki terminaalin. Jos terminaalin tulo on tosi, toistaa Case-rakenne kohdan True alle kirjoitettua ohjelmaa. Rakenteen yläosassa on valikko josta voidaan vaihtaa valintojen True ja False välillä. Eli jos kysymysmerkkitulo on tosi (1), toistuu valikon True kohtaan tehty ohjelma ja jos tulo on epätosi (0) toistuu kohdan False alle tehty ohjelma.



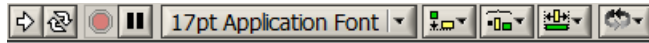
Kuva 13. For- ja While-rakenteet

Etupaneeli ja palikkakaavio sisältävät molemmat omat valikot. Etupaneelin valikkoa kutsutaan Controls-valikoksi (kuva 14.), ja palikkakaavion valikkoa Functions-valikoksi. Valikoissa on useita ala-valikkoja joista ohjelman tekemisessä tarvittavat työkalut löytyvät. Valikoissa on myös Search-toiminto, jolla on mahdollista hakea haluttua toimintoa. Valikot sisältävät niin paljon toimintoja että hakua käyttämällä löytää etsimänsä toiminnon monissa tapauksissa nopeammin.



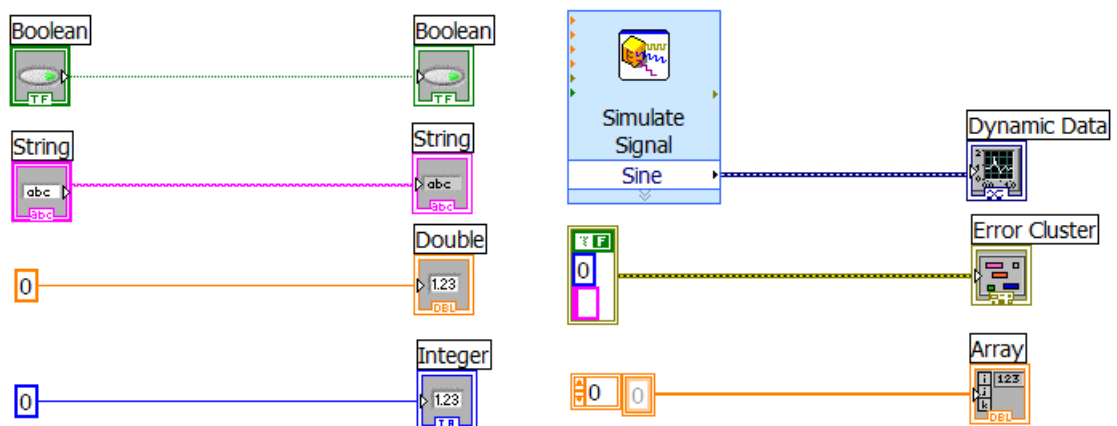
Kuva 14. Functions-valikko

Sekä etupaneelissa että palikkakaaviossa on ikkunan vasemmassa yläreunassa Status-valikko. Valikosta löytyvät Run, Continuous Run ja Abort Execution toiminnot. Näillä napeilla käynnistetään ja pysäytetään VI:n suorittaminen LabVIEW:ssä. Alla olevassa kuvassa (kuva 15.) on esitetty labVIEW:n Status-valikko. Valkoista nuolta klikkaamalla käynnistyy ohjelman suoritus. Nuolen väri vaihtuu samalla mustaksi mikä havainnollistaa että ohjelma on käynnissä. Myös punainen Abort Execution valinta muuttuu aktiiviseksi ja VI:n pysäytys onnistuu klikkaamalla sitä.



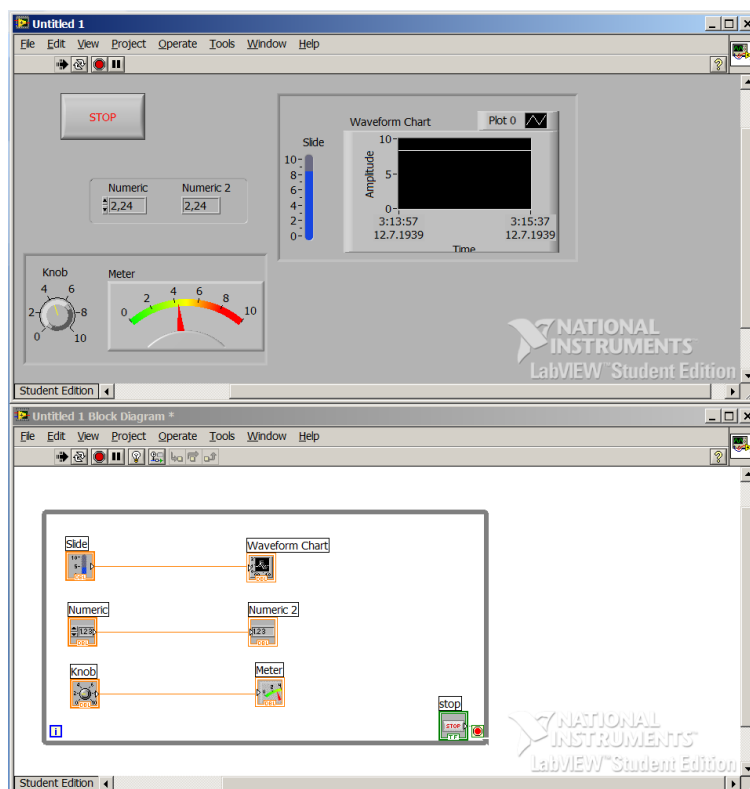
Kuva 15. Status-valikko

LabVIEW VI:n palikkakaaviossa etupaneelin objektien terminaalit voivat ilmetä useina eri väreinä. Terminaalien väri ja symboli kuvastavat säätimien ja osoittimien datatyyppejä. Värit kuvaavat myös johdotusten, inputtien ja outputtien datatyyppejä. Objektien terminaalien värytyksestä on pääteltävissä, minkälaisista datatyyppeistä sen lähtö on ja minkä tyyppin tulon se hyväksyy. Datatyyppeiden avulla on pääteltävissä mitkä objektit, inputit ja outputit ovat yhdistettävissä toisiinsa. Esimerkiksi kytkin joka on väritetty vihreällä reunuksella, pystytään kytkemään mihin tahansa sisääntuloon joka on varustettu samalla värillä. Myös oranssi liukusäädin voidaan kytkeä oranssiin osoittimeen. Tilanne jossa näitä kahta eri väriä olevaa objektia eli vihreää kytkintä ja oranssia osoitinta pyritään yhdistämään, ei tule onnistumaan, koska niiden datatyyppi on eri. Vihreän kytkimen antama viesti on muodoltaan Boolean, eli kytkin antaa vain viestiä 1 tai 0, kun taas keltaisella reunustettu osoitin vaatisi analogisen tulosignaalin. Alla olevassa kuvassa (kuva 16.) on esitelty labVIEW:llä ohjelmoitaessa useimmin ilmenevät datatyypit: Boolean, String, Double, Integer, Dynamic Data, Error Cluster sekä Array ja niiden värytykset.



Kuva 16. LabVIEW datatyypit

LabVIEW:n etupaneeli ja palikkakaavio toimivat rinnan. Lisäämällä esimerkiksi painonapinetupaneeliin, ilmestyy kyseinen objekti myös tulosignaaliiksi palikkakaavioon. Kuvassa 17. on näkyvissä kaksi ikkunaa (kuva 17). Ylempi ikkuna on etupaneeli johon on lisätty kolme säädintä sekä kolme osoitinta. Kuvan alemmassa ikkunassa näkyy kuinka etupaneeliin lisätyt objektit esiintyvät palikkakaaviossa. Eli lisäämällä esimerkiksi Slide-säätimen etupaneeliin, ilmestyy se myös palikkakaavioon. Kuvan 13. etupaneeliin lisätyt objektit on yhdistetty kuvan 12. palikkakaaviossa toisiinsa johdotustyökalulla. Nyt VI:n ollessa toiminnassa näyttävät osoittimet säätimillä asetettuja arvoja.



Kuva 17. Esimerkki Front- ja Block-ikkunat

7.3 Ohjelman toiminnan kuvaus

Ennen mittauksen aloittamista ohjelma vaatii käyttäjää syöttämään seuraavat tiedot: näyttenumero, järjestysnumero, näytteen pituus, näytteen halkaisija, mittaustiheys ja öljyhaude. Tietoja tarvitaan mittauksesta tallennettavaan raporttiin, sekä ohjelmassa käytettyihin laskutoimituksiin. Kun kaikki tietokentät on täytetty, voidaan mittaus käynnistää painamalla valkoista nuolta näkymän vasemmassa yläkulmassa.

Ohjelma aloittaa painauman mittaukset NI 9481 kortin kanavilta 0 (reaktori 1) ja 2 (reaktori 2) sekä lämpötilan mittaukset kanavilta 1 (reaktori 1) ja 3 (reaktori 2).

Syötettyihin tietoihin asetettu mittaustiheys määrittää mittaustietojen luku- ja tallennustaajuuden. Luku tarkoittaa mittausten väliä. Jos luku on yksi, tarkoittaa se että tiedot luetaan kerran sekunnissa. Jos asetettu luku on viisi, luetaan tiedot kerran viidessä sekunnissa.

Painauman mittauksessa on käytetty lineaarista skaalaamista. LVDT -anturin lähettämä signaali painauman ollessa nolla, on viisi voltia. Painauman edetessä voltit pienenevät kohti yhtä voltia. Skaalaus arvot ovat syötetty ja tallennettu DAQ-Assistant lohkoon Painauma-table-nimellä. Mitatut voltit skaalautuvat ohjelmassa olevan laskennan avulla millimetreiksi. Viisi voltia vastaa nollaa millimetriä, ja yksi voltti vastaa 100:aamillimetriä. Lämpötilan mittaus ei tarvitse samanlaista skaalaamista. Ohjelma osaa määrittää lämpötilan, kunhan DAQ-Assistant:n asetukset ovat oikein, eli mittaustyyppi on valittu RTD ja vastukseksi Pt-100.

Mittaustulokset päivittyvät etupaneeliin ennen mittausten aloittamista määritellyllä mitaustaajuudella. Lisäksi mittaustulokset esitetään graafisesti käyttöliittymässä. Käyttöliittymässä olevan kuvaajan Y-akselilla näkyvät lämpötila (punainen viiva) sekä painauma, (valkoinen viiva) ja X-akselilla aika. Ohjelma piirtää kuvaajaa koko mittauksen ajan. Kuvaajan (kuva 30.) tarkoitus on havainnollistaa pehmenemisprosessia sekä lämpötilan ja painauman riippuvuutta. Ajan määrittäminen tapahtuu tietokoneen kellon avulla.

Ohjelma sisältää niin sanotun painaumatiedon nollauksen. Ohjelman startatessa LVDT-anturin paikkatieto luetaan, ja painauman laskeminen aloitetaan paikasta, jossa se on. Eli jos anturin mäntä on testin alkaessa jo puoliksi ulkona, ohjelma kirjaa nollan siihen, ja aloittaa painauman laskemisen siitä. Nollaus tapahtuu ohjelman ensimmäisen kierron aikana.

Ohjelma sisältää kuusi laskukaavaa. Kaksi pehmenemisnopeuden laskemiselle [% / C], kaksi loppupituudelle [mm] ja kaksi painaumalle testin päättyessä [%]. Pehmenemisnopeuden (1) laskemisessa käytetään testin aikana mitattuja arvoja. Sen laskemiseen tarvitaan lämpötilat painauman ollessa 30 % ja 60 % näytteen pituudesta. Loppupituuden laskukaavassa (2) käytetään näytteen pituutta ennen testin aloittamista, sekä lopullista

painauksen arvoa. Prosentuaalisen painauksen kaavan (3) avulla saadaan selville kuinka monta prosenttia lopullinen painauma on näytteen aloituspituudesta

$$\text{pehmenemisnopeus}(\%/^{\circ}\text{C}) = \frac{(60\% \text{ painauma} - 30\% \text{ painauma})}{(60\% \text{ lämpötila} - 30\% \text{ lämpötila})} \quad (1)$$

$$\text{loppupituus}(\text{mm}) = \text{näytteenpituus}(\text{mm}) - \text{painauma}(\text{mm}) \quad (2)$$

$$\text{prosentuaalinenpainauma} = \frac{\text{näytteenpituus}(\text{mm})}{\text{painauma}(\text{mm})} \times 100\% \quad (3)$$

Mittauksen kestoksi on asetettu kaksi ja puoli tuntia. Jos mittaus halutaan lopettaa aiemmin, on etupaneelissa painike ”Lopeta mittaus”. Napin painallus aiheuttaa ohjelmantoiston lopettamisen. Ohjelma pyytää tässä vaiheessa myös raportin tallennuspaikkaa, sekä nimeä tallennettavalle tiedostolle. Tiedosto kannattaa nimetä.txt muotoon. Esimerkiksi ”Testi.txt”. Tämä helpottaa tallennetun tiedoston aukaisua kun tiedostomuoto on valmiiksi määritelty tekstiksi.

Tallennetun tiedoston aukaiseminen onnistuu hyvin Microsoft Excelillä. Tallennetut tiedot avautuvat selkeästi omiin riveihin ja sarakkeisiin. Myös Windowsin Muistiolla tulosten tarkastelu onnistuu.

Testistä tallennettava tiedosto sisältää testin päivämäärän ja ajan, tiedot näytteestä eli näytenumero, järjestysnumero, pituus, halkaisija sekä käytetyn öljyn tyyppin. Siinä on listattuna testinaikana kirjatut arvot molempien reaktoreiden lämpötiloista, painaumista (mm), painaumista (%) ja kuluneesta ajasta. Tallennetun tiedoston loppuun on vielä eritelty tiedot jotka käyttäjä tarvitsee lähetettäväksi eteenpäin. Näitä tietoja ovat: lämpötila arvot painaumien 2 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % kohdalla, sekä pehmenemisnopeudet ja näytteiden loppupituudet.

8 PEHMENEMISNOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN

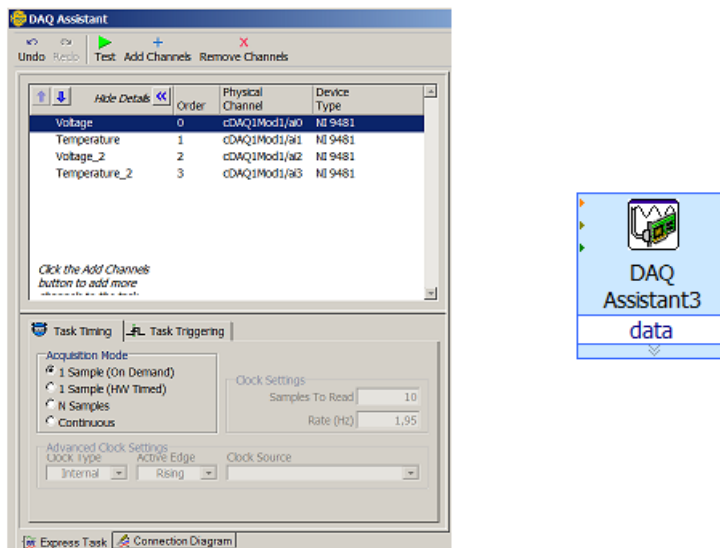
8.1 Toimintojen ohjelmointi

Ohjelma sisältää hyvin paljon data tyyppien käsittelyä. Kuten aiemmin on todettu, labVIEW:ssä on kuutta erilaista perusdatatyyppiä, ja siksi datamuunnoksia on paljon. Alla olevassa kuvassa (kuva 18.) näkyvät datamuunnoksiin paljon käytetyt ”Scan From String” ja ”Format Into String”.



Kuva 18. datamuunnokset

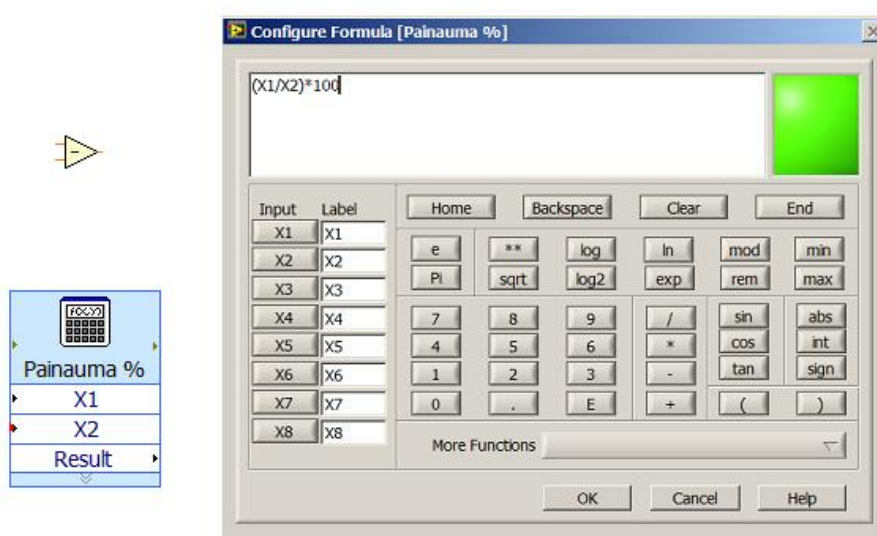
Logiikan tulo ja lähtösignaalit välitetään ohjelmaan ja ohjelmasta DAQ-Assistant toiminnolla (kuva 19.). Toimintoon määritellään moduuli ja kanava sekä kyseessä olevan signaalin tyyppi. Muita määriteltäviä tietoja ovat signaalinsuuruus, näytteenotto taajuus sekä signaalin skaalaus.



Kuva 19. DAQ-Assistant

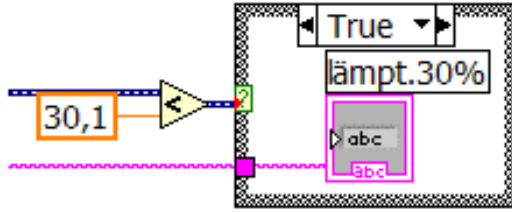
Järjestelmä sisältää useita laskutoimituksia. Niistä yksinkertaisin eli näytteen loppupituus on pystytty laskemaan vähennys toiminnolla (kuva 16.). Toiminnon ensimmäiseen

tuloon tuodaan näytteen alkuperäinen pituus ja toiseen tuloon näytteen painauma. Ohjelma vähentää nämä toisistaan ja tuloksena on näytteen loppupituus. Monimutkaisemmat laskutoimitukset kuten prosentuaalinen painauma ja pehmenemisnopeus on helppo toteuttaa labVIEW:stä löytyvällä ”Formula” toiminnolla. Toiminto sisältää peruslaskimen kaltaiset laskutoimitukset ja siihen voidaan tuoda useita muuttujia. Alla olevassa kuvassa (kuva 20.) näkyy laskukaava editori johon on syötetty kaava jolla saadaan tietää painauman prosentuaalinen arvo näytteen pituudesta. Kaavassa muuttuja X1, eli painauma, on jaettu muuttujalla X2, eli näytteen pituudella ja laskun osamäärä kerrottu 100 %:lla.



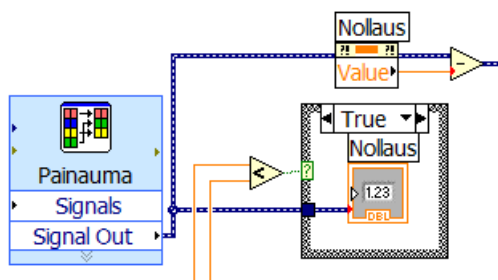
Kuva 20. Laskutoimitukset

Pehmenemisnopeuden laskemisessa käytetään hyväksi lämpötila-arvoja painauman ollessa 30 % ja 60 % näytteenpituudesta. Näiden lämpötilatietojen lukitseminen on ohjelmassa toteutettu alla olevassa kuvassa näkyvällä ohjelmalla (kuva 21.). Ohjelma tallentaa punaista johdinta pitkin tulevaa lämpötilaviestiä niin kauan kuin ohjelman Case-loopin kysymysmerkkitulo on positiivinen. Kysymysmerkkitulo on johdotettu ”suurempi kuin” toimintoon jonka ensimmäiseen tuloon on tuotu painauman arvo ja vertailu tuloon syötetty luku 30,1. Toiminto antaa positiivista lähtöä ja lämpötilan tallennus jatkuu kunnes painauma saavuttaa vertailuarvon.



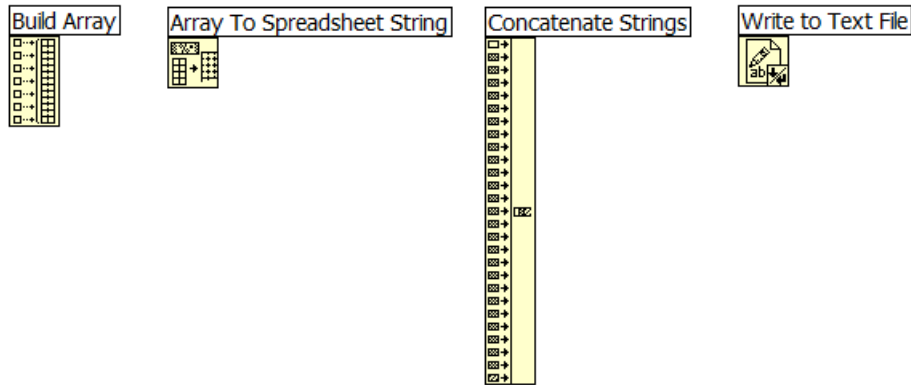
Kuva 21. Lämpötilojen lukitukset

Ohjelman alkuun tuli suunnitella ”nollaus” painaumalle (kuva 22). Ohjelman piti toimia siten, että kun LVDT -anturin mittapää asetetaan painon päälle, asettuu nollakohta siihen. Nollaus tapahtuu ohjelman ensimmäisen kierron aikana. Ohjelma lukitsee painauman arvon mittauksen alkaessa ja vähentää sen itsestään joten erotus on nolla. Piiri toimii ainoastaan ensimmäisen kierron ajan, jonka jälkeen painauman arvo nousee mitausten edetessä normaalisti.



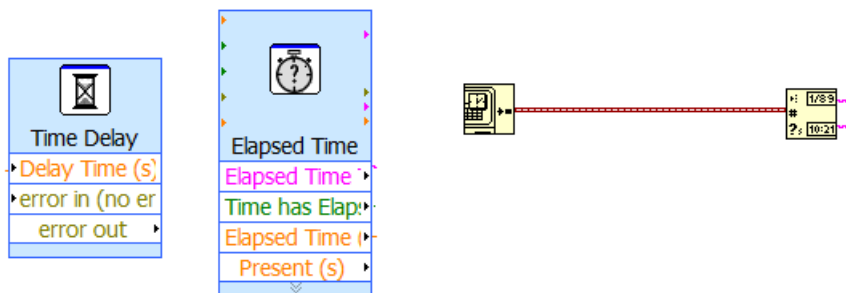
Kuva 22. Painauman nollaus

Tietojen tallennus asetti haasteita ohjelmoimiseen. Tallennetussa tiedostossa piti olla itse syötettyjä tietoja näytteestä sekä mittaustulokset. Tiedoston loppuun piti vielä tehdä yhteenveto testin tuloksista. LabVIEW:n valmiilla ”Write to Measurement File” toiminnolla ei saanut aikaan haluttua tiedostoa joten se piti rakentaa itse. Tallennus toteutui neljää eri toimintoa käyttämällä.



Kuva 23. Tietojen tallennus

Yllä olevassa kuvassa (kuva 23.) on esitelty tietojen tallennukseen käytettäviä toiminta lohkoja. Kuvassa näkyvään ”Build Array” toimintoon vietiin mittaustulokset, ”Array To Spreadsheet String” toiminto muutti tulokset taulukoksi, ”Concatenate Strings” toimintoon kirjoitettiin ”Build Array”:stä tulevien mittaustulosten nimet, ja ”Write to Text File” muodosti tiedoista teksti tiedoston ja tallensi sen.

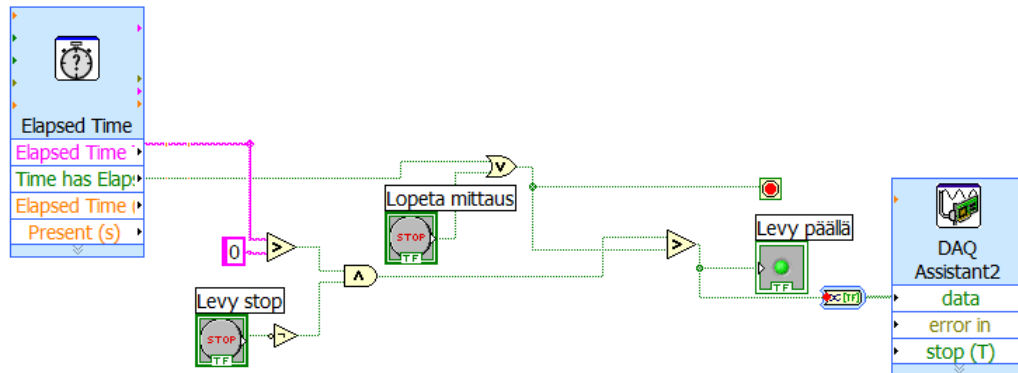


Kuva 24. Ajan hallinta

Ohjelmaan on sisällytetty useita aika-toimintoja. Kuvassa (kuva 24.) vasemmalla oleva ”Time Delay” toiminto määrittää loopin pyörimistaajuuden. ”Delay Time” kenttään syötetty sekunti määrä määrittää kuinka usein ohjelmakierto käydään läpi. ”Elapsed Time” toiminnosta saatiin kulunut aika, ja kuvassa oikealla näkyvä toiminto antaa tietokoneen kellosta saatavan ajan ja päivämäärän.

Reaktoreiden lämmittämiseen käytettävien lämpölevyjen ohjaukset ovat myös toteutettu labVIEW:ssa. Ohjelmaan on molemmille levyille sisällytetty alla olevan kuvan kaltaiset ohjausehdot (kuva 25.) Kuvassa oleva ”Elapsed Time” laskee ohjelman käynnistymisestä kulunutta aikaa, ”Levy stop” ja ”Lopeta mittaus” ovat käyttöliittymässä näkyviä painonappeja, ”Levy päällä” on käyttöliittymässä oleva indikaattori, ”DAQ Assistant” oh-

jaa lähtörelettä jonka kautta kulkee kontaktorien ohjaus jännite. Kolmiomaiset vaalealla pohjalla olevat kuvakkeet ovat Boolean yhtälöitä. Boolean yhtälöistä nuoli oikealle on ”Greater Than”, nuoli ylös on ”And”, nuoli alas on ”Or” ja jäljelle jäävä, kuvassa stop napin jälkeen oleva Boolean on ”Not”.



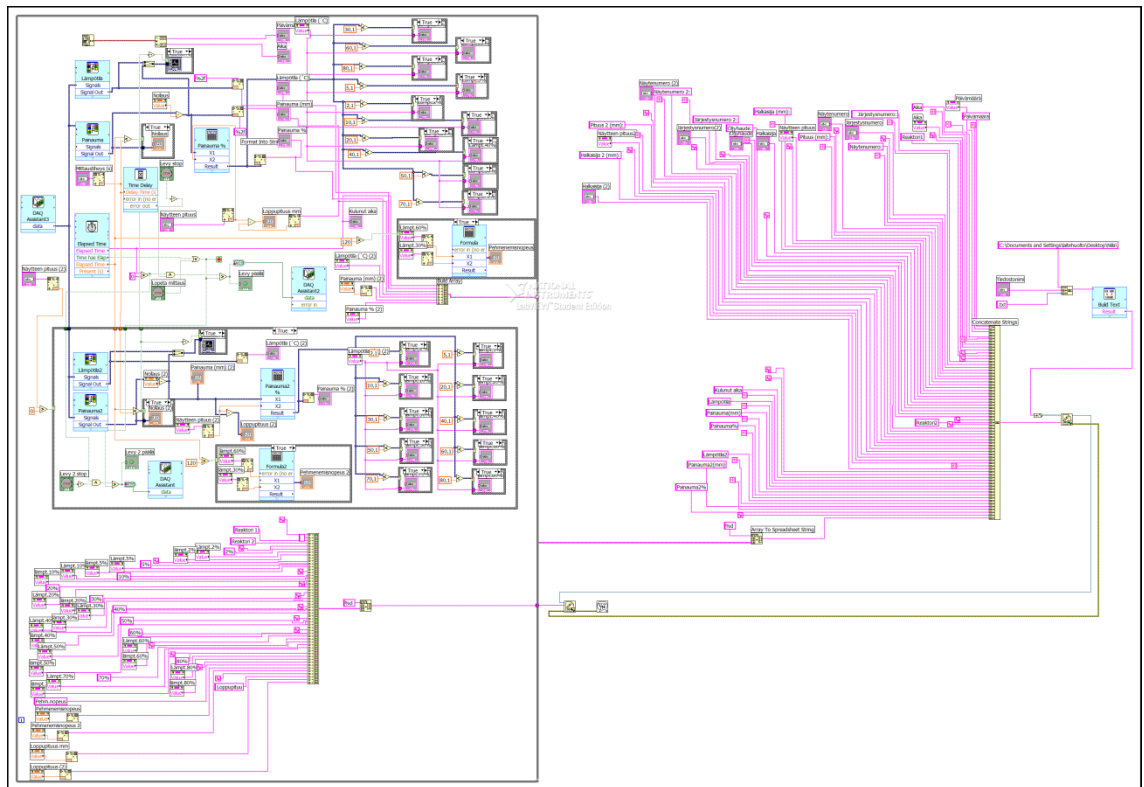
Kuva 25. Levyn 1 ohjaus

Lämpölevy ohjataan siis päälle tilanteessa jossa:

- Kulunut aika on suurempi kuin 0s.
- Levy stop painiketta ei ole painettu.
- Ohjelman aikaraja ei ole tullut täyteen (asetetaan Elapsed Time-toimintoon, oletus 2,5h).
- Lopeta mittaus painiketta ei ole painettu.

Jos jokin edellä mainituista ehdoista ei täyty, kytkeytyy levyn ohjaus pois päältä. Ohjauskotelon kanteen rakennetaan levyille pistorasiat joten hätätilanteessa levyt saadaan sähköttömiksi myös manuaalisesti. Sekä ohjelmaan että ohjauskoteloon on suunniteltu merkkilamput indikoimaan levyjen tilaa.

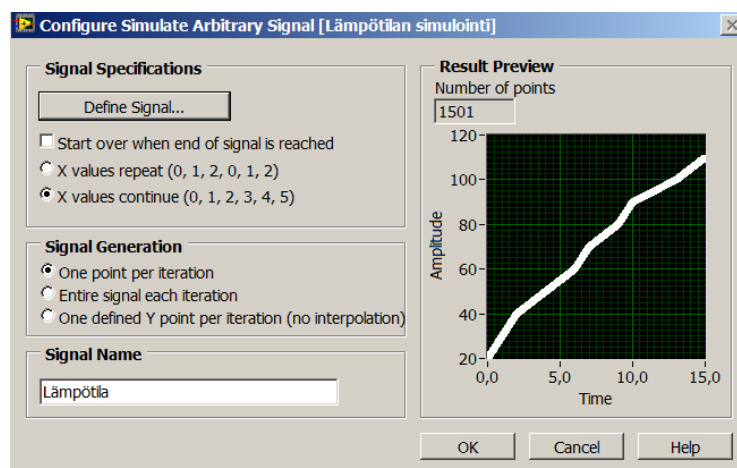
Muita ohjelmasta löytyviä toimintoja ovat kontrollit, indikaattorit, numero- ja teksti -vakiot, Boolean-yhtälöt, case ja loop-rakenteet, signaalin erottelijat ja tekstin kokoamistoiminto. Ohjelman tärkeimmät toiminnot on esitelty edellä, mutta esimerkiksi ohjelmamuutosten tekemiseen vaaditaan paljon laajempi tutustuminen ohjelmaan ja sen johdotuksiin (kuva 26.).



Kuva 26. Pehmenemisnopeuden määrittäminen, Block Diagram

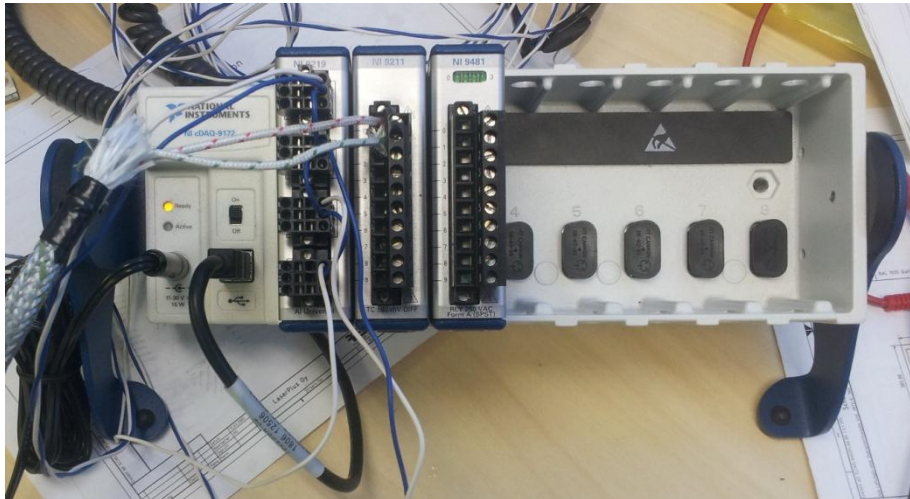
8.2 Ohjelman testaaminen

Aluksi testasin ohjelman toimintaa simuloituilla lämpötilan ja painauksen arvoilla. Käytin simuloimiseen LabVIEW:stä löytyviä ”Simulate Arbitrary Signal” toimintoja (kuva 27.). Toimintoihin käyttäjän on mahdollista itse syöttää toimintojen lähettämät arvot. Syöttämällä toimintoihin painauksen ja lämpötilan arvoja pystyin ohjelmoimaan ja kokeilemaan ohjelman toimintaa myös kotioloissa, joissa minulla ei ollut mahdollisuutta käyttää jännitegeneraattoreita mittaus signaaleiden simuloimiseen.



Kuva 27. Lämpötilan simulointi

Opinnäytetyöprosessin ajan minulla oli Outokummun Teknisen Tutkimuskeskuksen laitehuollon tiloissa käytössä alla olevassa kuvassa (kuva 28.) näkyvä NI-cDAQ 1972 laite. Laite vastaa suunnitelmassa olevaa NI-cDAQ 1974 kehikkoa ominaisuuksiltaan. Erona on neljä moduuli paikkaa enemmän. Sain myös käyttööni jo suunnitelmassa esitellyt moduulit NI 9219 sekä NI 9481. Laitteiston avulla pystyin tutkimaan logiikan, moduulien ja ohjelman toimintaa.



Kuva 28. NI-cDAQ, AI -moduuli ja Relé-moduuli

Painauman mittauksen simuloimiseen käytin laitehuollosta löytyvää jännitepöytää. Pöydän 0-30Vdc lähdöstä sain ulos LVDT -painauma anturin signaalia vastaavaa 5-1 voltin jännitettä. Pt-100 mittauksen simuloimiseksi minulla oli käytössä Pt-100 anturi, sekä Danbridge:n valmistama säätövastus. Säätövastuksen arvo oli muutettavissa yhden ohmin askelluksella välillä 0-11.110 kilo ohmia.

Ohjelmalla tehtiin myös kaksi oikeaa mittaustilannetta vastaavaa pehmenemisnopeusmittausta (kuva 29.). Laitteisto kytkettiin mittaamaan LVDT -anturilta tulevaa painauma viestiä sekä pt-100 lämpötila viestiä. Testimittauksessa käytettiin ylimääräisiksi jääneitä elektrodimassakappaleita. Mittaukset kestivät noin 2 tuntia, ja testien tulokset tallennettiin.

Ensimmäisen testin jälkeen ohjelmaan tehtiin joitain muutoksia. Ensimmäisen ohjelma-kierron alkuun lisättiin funktio joka nolaa painauman testin alkaessa. Ohjelman ensimmäisessä versiossa painauman mittaus piti käsin asettaa nollaan. Lisäksi ohjelmasta tal-

lennettava tiedosto muokattiin testin jälkeen lopulliseen muotoonsa. Myös ohjelman käyttöliittymänäkymä muuttui. Molemmille reaktoreille lisättiin graafit piirtämään lämpötilan ja painauman käyriä. Myös T % arvot tuotiin näkyville.

Toisesta testistä saatuja tuloksia verrattiin edellisvuosien testien tuloksiin. Mittaustulokset vaikuttivat järkevilä. Myös käyttöliittymän graafit piirsivät onnistuneesti lämpötilan ja painauman suhteen näytölle. Käyttöliittymä tuntui hyvältä ja testi suoritettiin onnistuneesti.



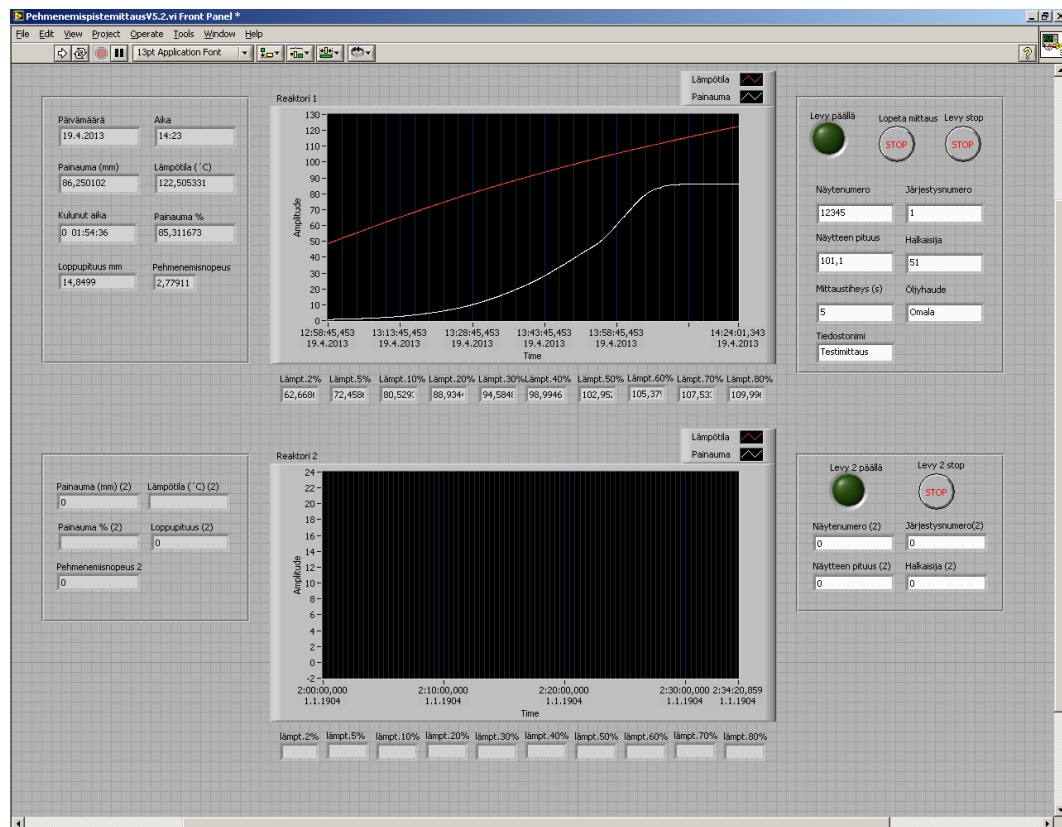
Kuva 29. Toinen testimittaus

8.3 Käyttöliittymä

Pehmenemisnopeuden määrittämisyjärjestelmän käyttöliittymä rakennettiin myös labVIEW:ssä. Käyttöliittymässä (kuva 30.) on molemmille reaktoreille omat näyte tietokentät, graafit ja mittaustulosten indikoinnit. Kuvassa oikealla näkyviin valkoisiin tekstikenttiin syötetään elektrodimassakappaleiden tiedot. Kuvan keskellä olevat graafit piirtävät reaaliajassa lämpötilan ja painauman mittaustuloksista käyriä mittauksen ajan, ja kuvassa vasemmalla oleviin harmaisiin kenttiin päivittyy hetkelliset mittaustiedot. Graafien alapuolella näkyvät kentät tallentavat lämpötilatiedot painauman ollessa kenttään kirjattu prosenttiosuus näytteen pituudesta.

Mittaus käynnistyy painamalla vasemmassa yläkulmassa olevaa valkoista (Run) nuolta ja se lopetetaan painamalla graafin oikealla puolella olevaa ”Lopeta mittaus” painiketta.

Levyjen ohjaus lähtee automaattisesti päälle mittauksen käynnistyessä. Levyjen käytöstä indikoi ”Levy päällä” merkkilamppu. Levyt sammuvat automaattisesti mittauksen loppuessa, mutta niiden kytkeminen pois testin aikana on mahdollista ”Levy stop” -painikkeella.



Kuva 30. Käyttöliittymä

8.4 Mittausraportti

Mittauksesta saatavat tulokset tallentuvat ohjelmassa ennalta määrättyyn kansioon ”Tiedostonimi” kenttään syötetyllä nimellä. Tiedosto muoto on .txt ja sen avaaminen onnistuu parhaiten Microsoft Excel –ohjelmalla. Tallennettu tiedosto koostuu kolmesta kohdasta. Ensimmäisessä kohdassa (taulukko 2.) esitetään käyttäjän syöttämät tiedot näytteestä: näyttenumero, pituus, käytössä ollut öljyhaude jne.

Taulukko 2. Mittaustulosten esitys

Testimittaus 19.4.2013 TRC.txt - Microsoft Excel							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Päivämäärä	19.4.2013		Aika	12:29		
2							
3	Reaktori1						
4	Järjestysnumero:	1					
5	Näytenumero:	12345					
6	Pituus (mm):	101,1					
7	Halkaisija (mm):	51					
8	Öljyhaude:	Omala					
9							
10	Reaktori 2						
11	Järjestysnumero 2:	0					
12	Näytenumero 2:	0					
13	Pituus 2 (mm):	0					
14	Halkaisija 2 (mm):	0					
15							
16	Kulunut aika	Lämpötila	Painauma(mm)	Painauma%	Lämpötila2	Painauma2(mm)	Painauma2%
17	0 00:00:00	25,686322	-80,878352	-79,99837		0	
18	0 00:00:05	25,686163	-0,002727	-0,002697		0	
19	0 00:00:10	25,693969	-0,0038	-0,003758		0	
20	0 00:00:15	25,693332	-0,001296	-0,001282		0	
21	0 00:00:20	25,694845	-0,00076	-0,000752		0	
22	0 00:00:25	25,696199	-0,000715	-0,000707		0	
23	0 00:00:30	25,699704	-0,000224	-0,000221		0	
24	0 00:00:35	25,700341	-0,001609	-0,001592		0	
25	0 00:00:40	25,702332	0,000402	0,000398		0	
26	0 00:00:45	25,703527	-0,001028	-0,001017		0	
27	0 00:00:50	25,705837	0,002503	0,002476		0	
28	0 00:00:55	25,708704	0,001699	0,00168		0	
29	0 00:01:00	25,707111	0,000805	0,000796		0	
30	0 00:01:05	25,712049	0,001743	0,001724		0	
31	0 00:01:10	25,708067	0,005499	0,005439		0	
32	0 00:01:15	25,712846	0,003934	0,003891		0	
33	0 00:01:20	25,711173	0,004694	0,004643		0	
34	0 00:01:25	25,712368	0,005141	0,005085		0	
35	0 00:01:30	25,712607	0,005543	0,005483		0	
36	0 00:01:35	25,713165	0,008807	0,008711		0	

Näytetietojen alapuolelta alkaa tiedoston toinen osio jossa esitetään mittauksen tulokset eri ajan hetkinä (taulukko 2.). Mittauksesta tallennettuja tietoja ovat lämpötila, painauma (mm) ja painauma (%). Sarakkeissa B - D ovat ensimmäisen reaktorin tulokset, ja sarakkeissa D - G, toisen reaktorin tulokset.

Mittaustiedoston lopusta löytyy viimeinen osio johon on koottu käyttäjälle tärkeät tiedot mittauksesta (taulukko 3). Nämä tiedot käyttöhenkilökunta lähettää ferrokromisulatolle, jossa tulosten tulkitseminen tapahtuu. Mittauksen tärkeitä tietoja ovat lämpötila-arvot painauman prosenteilla 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, sekä pehmenemisnopeus ja loppupituus.

Taulukko 3. Mittaustulosten esitys

Testimittaus 19.4.2013 TRC.txt - Microsoft Excel							
	A	B	C	D	E	F	G
1365	0 01:52:21	121,094621	86,223011	85,284878			0
1366	0 01:52:26	121,150645	86,22252	85,284391			0
1367	0 01:52:31	121,184327	86,225917	85,287752			0
1368	0 01:53:11	121,585571	86,236869	85,298585			0
1369	0 01:53:16	121,644234	86,237764	85,299469			0
1370	0 01:53:21	121,689506	86,238434	85,300133			0
1371	0 01:53:26	121,741762	86,242189	85,303847			0
1372	0 01:53:31	121,799113	86,241921	85,303582			0
1373	0 01:53:36	121,845373	86,243039	85,304687			0
1374	0 01:53:41	121,901658	86,242413	85,304068			0
1375	0 01:53:46	121,980295	86,245095	85,306721			0
1376	0 01:53:51	122,03609	86,243799	85,305439			0
1377	0 01:53:56	122,092132	86,244693	85,306323			0
1378	0 01:54:01	122,14119	86,244558	85,30619			0
1379	0 01:54:06	122,200192	86,250638	85,312204			0
1380	0 01:54:11	122,243911	86,249655	85,311231			0
1381	0 01:54:16	122,296012	86,246481	85,308092			0
1382	0 01:54:21	122,344827	86,247196	85,308799			0
1383	0 01:54:26	122,390109	86,249789	85,311364			0
1384	0 01:54:31	122,43457	86,250415	85,311983			0
1385	0 01:54:36	122,505331	86,250102	85,311673			0
1386							
1387			Reaktori 1	Reaktori 2			
1388		2 %	62,668674				
1389		5 %	72,458695				
1390		10 %	80,529332				
1391		20 %	88,934414				
1392		30 %	94,584818				
1393		40 %	98,99466				
1394		50 %	102,952788				
1395		60 %	105,379632				
1396		70 %	107,53311				
1397		80 %	109,996578				
1398		Pehm.nopei	2,779112		0		
1399		Loppupituu	122,505331		0		
1400							

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Insinööriyön aihe, elektrodimassan pehmenemisnopeuden mittaaminen, oli projektin alkaessa itselleni täysin tuntematon. Työn edetessä sain tutustua elektrodimassojen ominaisuuksiin ja käyttötarkoitukseen. Ennalta tuntematon aihe teki työn teosta mielenkiintoisemman ja haastavamman. Pehmenemisnopeuden määrittämiseen tarvittavan järjestelmän suunnitteleminen oli monipuolinen prosessi. Työ sisälsi suunnittelua, analogisten ja digitaalisten signaalien käsittelyä, paljon ohjelmointia, testaamista sekä piirtämistä.

Elektrodimassoihin perehtyminen ei kuitenkaan ollut työn ainoa haaste. LabVIEW -ohjelmistoon tutustuminen, ohjelmoinnin harjoittelu ja ymmärtäminen vei työajasta suurimman osan. Ohjelman mittausten, ohjausten ja laskutoimitusten toteutus vaati mittavan perehtymisen LabVIEW -ohjelmointiin, ja työn edetessä tuli havaittua kuinka paljon voi aloittelijalla vierähtää aikaa muokatessa jotain tiettyä ohjelman osaa, tai toimintoa, juuri haluamaansa muotoon. Monet ohjelman toiminnoista olivat kuitenkin yksinkertaisia ja nopeasti omaksuttavissa ja pala palalta kokonaisuus rakentui ja projekti eteni testimittauksiin. Ohjelman rakentaminen vaati paljon kärsivällisyyttä, periksi antamattomuutta ja luovuutta ja siitä suoriutuminen antoi hyvää osviittaa insinöörinä työskentelystä.

Teoria ja käytäntö kohtasivat jo työn alkuvaiheessa kun lämpötilaa mittaavan anturin tyyppi piti selvittää. Lopulta resistanssi mittausten perusteella voitiin todeta kyseessä olevan Pt-100 anturi. Pehmenemisnopeudesta laadittu työohje oli myös jatkuvassa käytössä jotta mittauksessa käytetyt laskukaavat saatiin kirjattua ohjelmaan oikein. Myös ohjelmoinnissa vastaan tulleet ongelmat selvisivät perehtymällä aiheesta kirjoitettuihin teksteihin.

LabVIEW:n valinta ohjelmointiin oli oikea päätös. Ohjelmalla pystyttiin toteuttamaan halutut toiminnot. Sen avulla onnistui luoda vaadittu käyttöliittymä sekä mittaustiedosto. Myös valittua laitteistoa vastaava koelaitteisto suoriutui testimittauksista moitteetta. Ohjelmiston ja laitteiston käyttäminen pehmenemisnopeuden määrittämisessä vaikuttaa toimivalta ratkaisulta ja tarpeen vaatiessa se voidaan ottaa käyttöön elektrodimassojen pehmenemismittausjärjestelmänä.

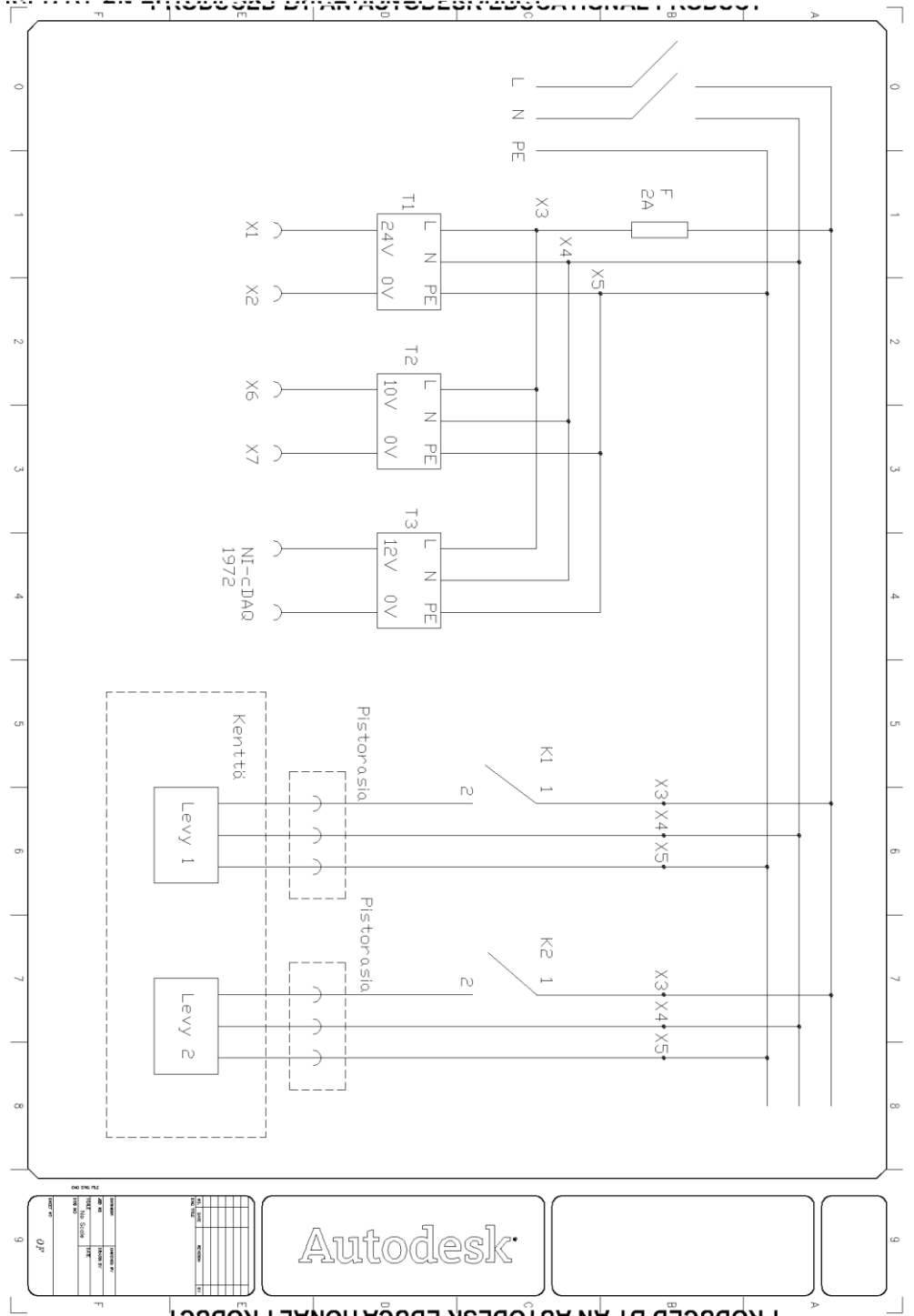
LÄHTEET

- Fonselius, Jaakko & Laitinen, Esko & Pekkola, Kari & Sampo, Arto & Välimaa, Taisto 1994. Anturit. Helsinki: Painatuskeskus.
- Fonselius, Jaakko & Pekkola, Kari & Selosmaa, Seppo & Ström, Markku & Välimaa, Taisto, 1999, Koneautomaatio: Automaatiolaitteet. Helsinki: Edita Oy.
- Karassaari, Olli-Pekka 2009. Ferrokromisulaton tarveaineet 2008. Raportti. Sisäinen Intranet.
- Keinänen, Tomi & Kärkkäinen, Pentti &, Lähetkangas, Markku & Sumujärvi, Matti 2007, Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit OY.
- Larsen, Bjørnar & Feldborg, Heidi 2010, Söderberg Electrodes and electrode paste, Powerpoint-esitys.
- Mäkinen, Markku JJ & Kallio, Raimo & Tantarimäki, Reijo 2009, Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava.
- National Instrument Corporation, 2005, Getting Started with LabVIEW, Ireland.
- National Instrument Corporation, 2005, LabVIEW Fundamentals, Ireland.
- National Instrumentsin www-sivut 2013. Hakupäivä 13.9.2013.
<<http://www.ni.com/f/products/2/2177/fi/>>
- Outokummun www-sivut 2013. Hakupäivä 8.3.2013.
<<http://www.outokumpu.com/fi/Outokumpu/Sivut/default.aspx>>
- Outokummun www-sivut 2012. Hakupäivä 23.11.2012.
<http://www.outokumpu.com/FlashDocuments/Animation/FI_Sustainability/index.html>
- Suomen Sähkörajoitussijaliitto ry, 1991, Sähkörajoitussijaliiton Koulutus ja Kustannus OY, Espoo.

LIITTEET

- Liite 1. Sähkökuva, 230VAC
- Liite 2. Sähkökuva, 24VDC
- Liite 3. Sähkökuva, Lämpötilan mittaukset
- Liite 4. Sähkökuva, Painuman mittaukset

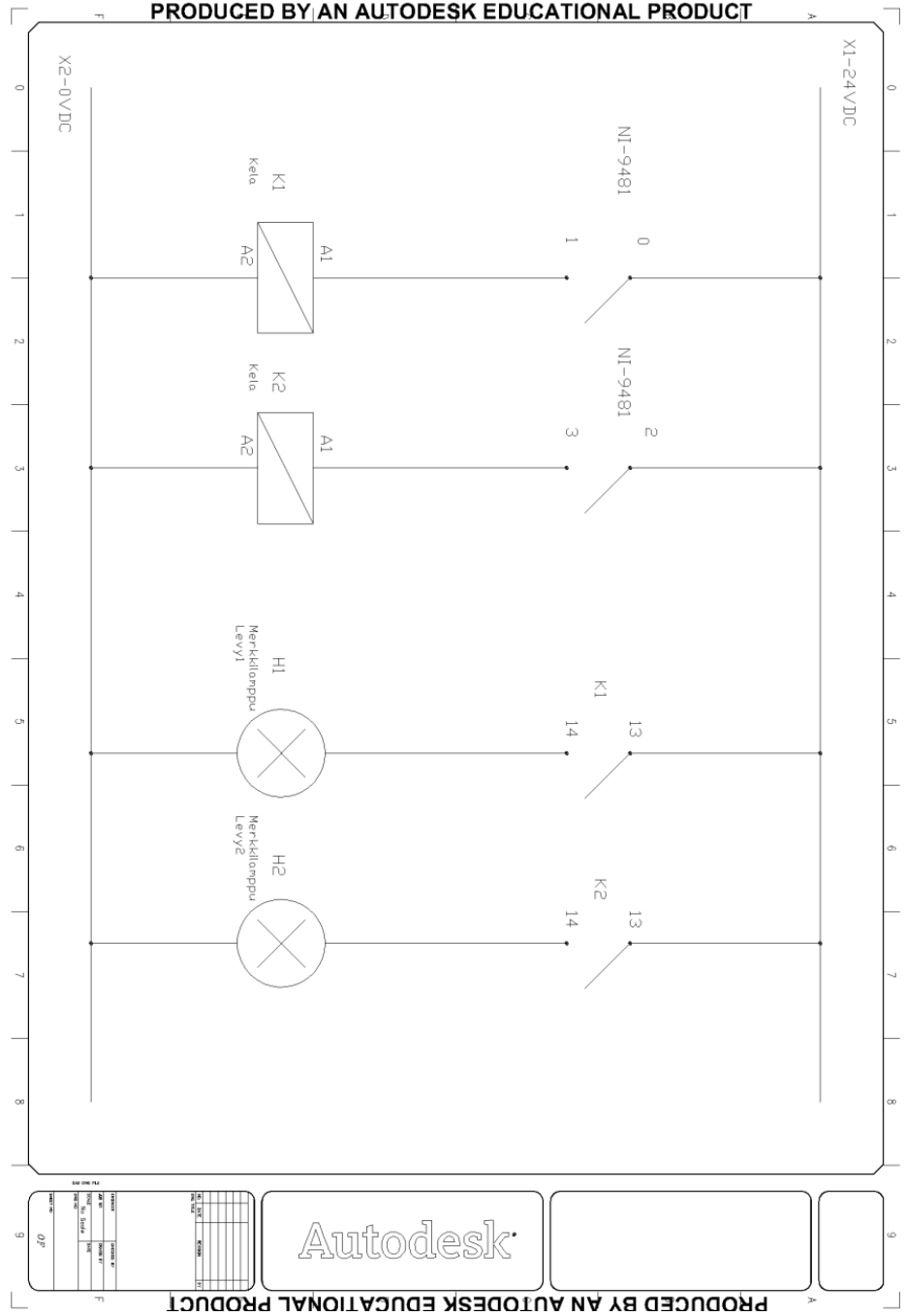
Liite 1. Sähkökuva, 230VAC



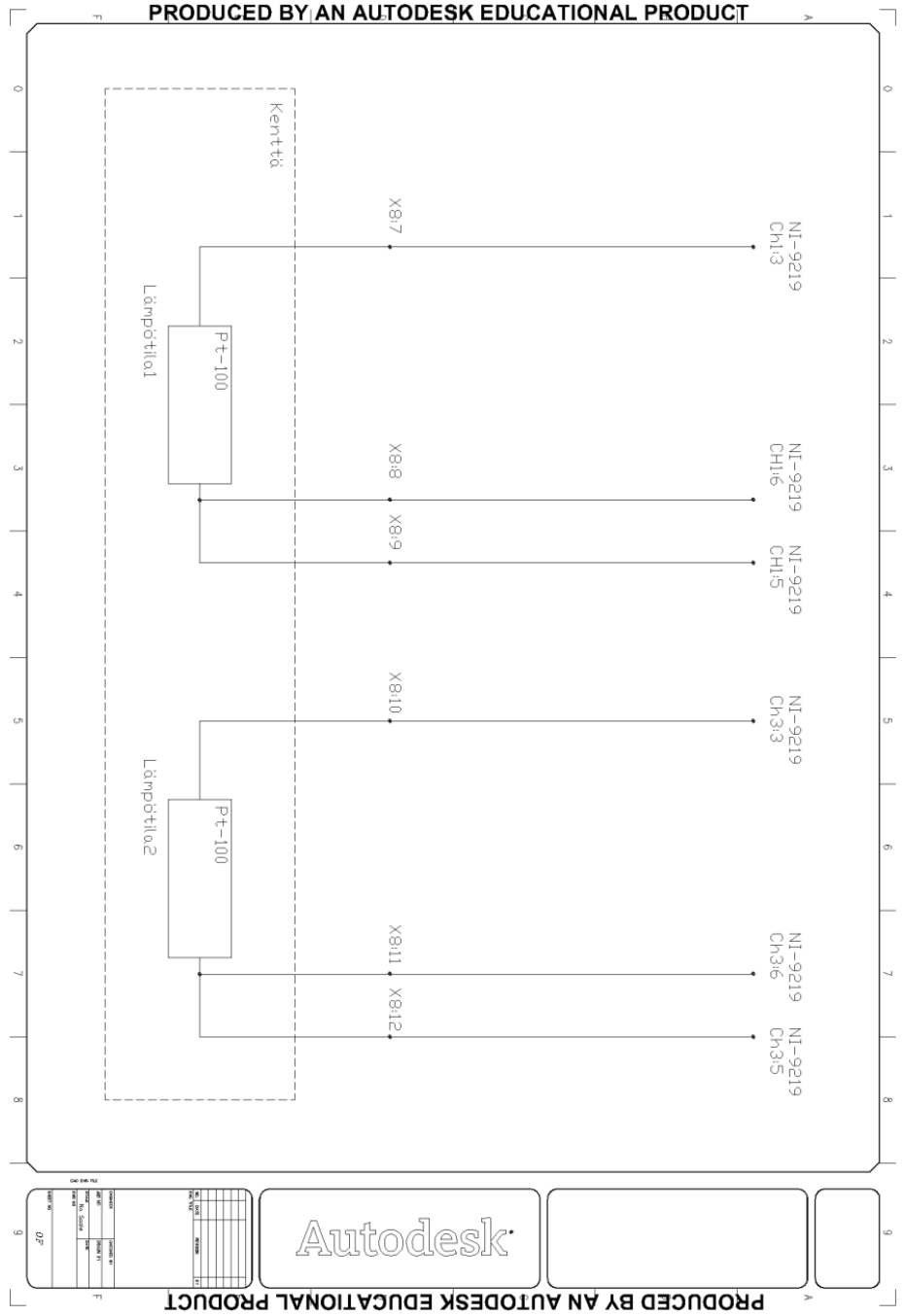
Autodesk

07

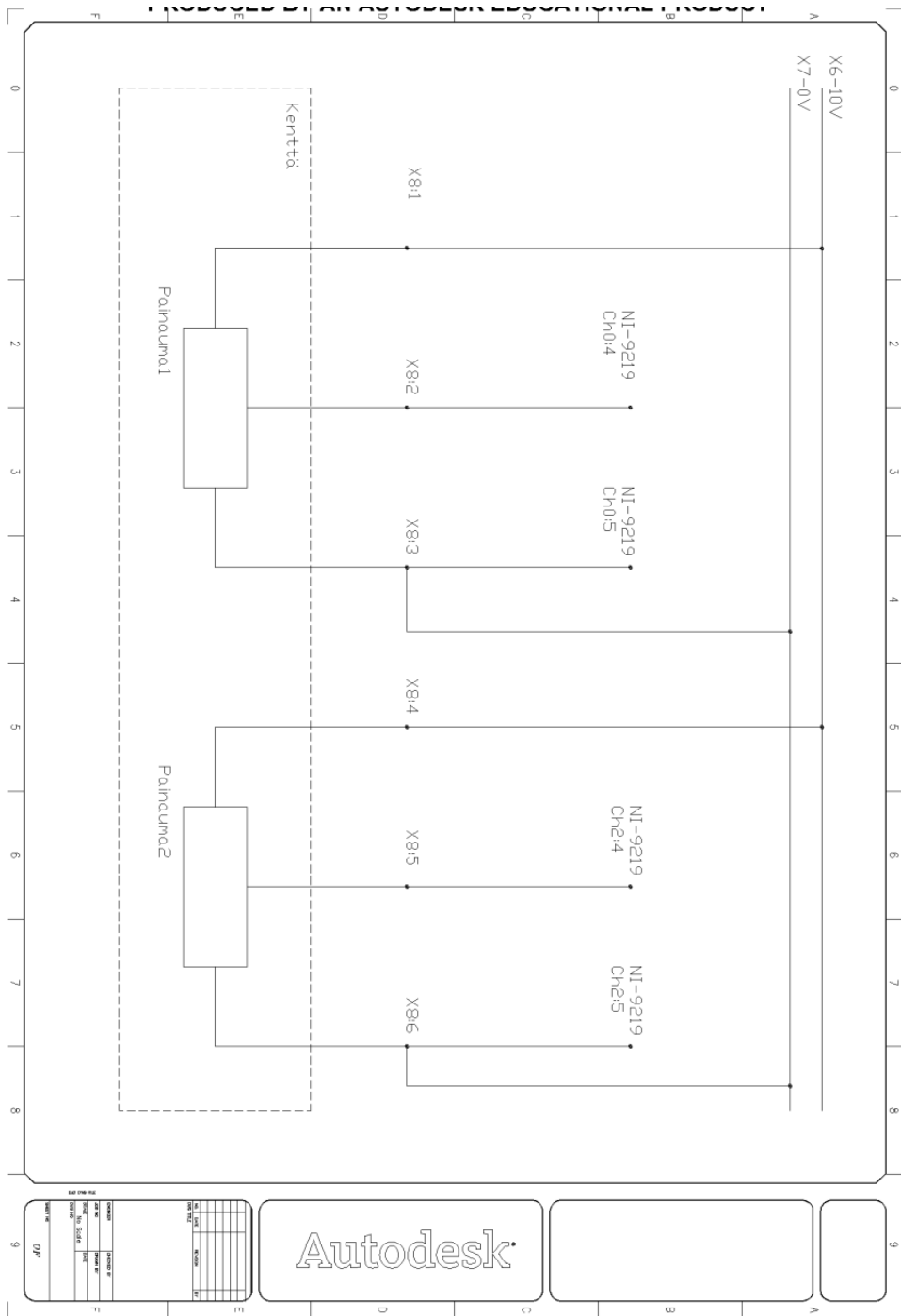
Liite 2. Sähkökuva, 24VDC



Liite 3. Sähkökuva, Lämpötilan mittaukset



Liite 4. Sähkökuva, Painauman mittaukset



Autodesk

NO	REVISION	DATE
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

NO	REVISION	DATE
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

OP