



KLAPIKUIIVURIN OHJAUSAUTOMAATIO

Juho Seppälä

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2013
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

SEPPÄLÄ, JUHO:
Klapikuivurin ohjausautomaatio

Opinnäytetyö 71 sivua, joista liitteitä 20 sivua
Maaliskuu 2013

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa ohjausautomaatio klapi-kuivurille. Työn kohteena oli Pinsiön Klapiaitta Oy:n kuivuri ja teettäjänä Metecno Oy. Kuivuri on toimintaperiaatteeltaan kylmäilmakuivuri eli kuivausilmaa ei lämmitetä. Kuivurin ohjausta varten oli selvitettävä teoriataustaa puiden kuivaamisesta ja valittava sopivimmat mittaamenetelmät kuivurin ohjausta varten. Automaatiosovelluksen käyttöä varten tuli toteuttaa myös graafinen käyttöliittymä, jossa olisi trendit mittaussuureille sekä hälytykset mahdollisista vioista laitteistossa. Lisäksi tuli toteuttaa trendeissä esitettyjen tietojen tallennus erilliseen tiedostoon. Automaatiojärjestelmäksi valittiin Beckhoffin TwinCAT.

Polttopuiden kosteus on tärkein niiden laatuun vaikuttava tekijä. Puiden tehokas kuivaaminen auttaa ehkäisemään lahoamista ja siten puiden laadun heikkenemistä varastoitauttaessa. Kuivat polttopuut palavat myös puhtaammin ja luovuttavat enemmän lämpöä kuin kosteat puut.

Klapien kosteuden määrittämistä tutkittiin sekä tasapainokosteuden että resistanssimittauksen perusteella. Puun kosteus hakeutuu tasapainoon ympärillä vallitsevan ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan. Tasapainokosteusmittausta varten tutkittiin, asettuisiko ilman kosteus suljetussa tilassa vastaamaan puun kosteutta, siten että klapien kosteus voitaisiin mitata ilmankosteuden ja lämpötilan perusteella. Vertailumittauksena kosteudet mitattiin punnitus ja kuivausmenetelmällä, joka on yksinkertainen ja tarkka tapa mitata kosteuspitoisuutta. Kosteusmittauksia verrattiin myös Klapiaitta Oy:n käyttämään piikkikosteusmittariin, joka toimii myös resistanssimittausperiaatteella.

Lopullisessa toteutuksessa päädyttiin käyttämään tasapainokosteusperiaatetta. Mittaustavasta saatiin hyviä kokemuksia suljetussa astiassa toteutetuilla mittauksilla ja kuivuri päätettiin rakentaa ajatellen mittaustavan testaamista käytännössä. Toteutettu ohjaus vertaa klapien kosteutta ulkoilmasta saavutettavissa olevaan tasapainokosteuteen ja ohjaa puhallinta tämän perusteella.

Valmis automaatiokeskus asennettiin Klapiaitta Oy:n kuivurin ohjaukseen. Lopullinen toiminta jää vielä testattavaksi seuraavalla kuivauskaudella. Kuivurissa on kuitenkin mahdollisuus syöttää kosteusarvot käsin luotettavan mittauksen perusteella, jos valitulla mittaamenetelmällä ei päästäkään riittävän hyvään tarkkuuteen. Tämän kerättävän tiedon perusteella Metecno Oy:n on mahdollista pohtia laitteen kehittämistä edelleen kaupalliseksi tuotteeksi.

Asiasanat: automaatio, polttopuu, pilkkeet, kuivaus, vesipitoisuus, ilmankosteus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Automation Technology

SEPPÄLÄ, JUHO:

Control Automation for a Chopped Firewood Dryer

Bachelor's thesis 71 pages, appendices 20 pages
March 2013

The purpose of this thesis was to design and build an automation application for a dryer of chopped firewood. The target dryer is property of Pinsiön Klapiaitta Oy and the work was ordered by Metecno Oy. The dryer is a cold air dryer which means that the drying air is not heated. In order to produce the control system, the theory basis for wood drying had to be cleared out. Based on this information the most suitable measurement methods were to be chosen. A graphical user interface was also to be made, including trends and alarms for device's faults. The information from the trends was also to be logged into a file. Beckhoff TwinCAT was chosen as the automation system for this project.

The moisture content of the firewood is the most important factor affecting its quality. Effective drying prevents wood from decaying and helps maintain the quality in storage. Dry firewood also burns cleaner and gives more heat than wet wood.

Measuring the moisture content of chopped firewood was studied using balance moisture content method and resistance moisture measurement. Wood's moisture content sets to balance with the humidity and temperature of the surrounding air. For the balance moisture content method, it was studied whether the air humidity would set to balance according to wood moisture content in a closed container. For a reference, the moisture content was measured by using drying and weighing method, which is simple and accurate method to determine moisture content. Measurements were also compared to measurements made by using a handheld moisture meter that Klapiaitta Oy has been using. The meter works also on resistance principle.

For the final application, the balance moisture content method was chosen. The method gave good results when tested in a closed container, and the control system was built to test this method in practice. The built controller compares the achievable moisture content to the actual wood moisture content and starts the fan if more drying is possible to achieve.

The final automation cabinet was installed to control Klapiaitta Oy's dryer. How it works in practise is yet to be tested during next drying season. Anyway, the dryer has an option to manually enter the proper moisture values if the tested measurement method turns out inadequate. According to this future test data, Metecno Oy can possibly develop this control system further as a commercial product.

Key words: automation, firewood, chopped firewood, drying, moisture content, humidity

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 1.1 | Metecno Oy..... | 8 |
| 1.2 | Työn tavoitteet | 8 |
| 2 | TEORIA | 10 |
| 2.1 | Kosteuden vaikutus puun laatuun | 10 |
| 2.2 | Ilman kosteus | 11 |
| 2.3 | Puun Kosteus | 12 |
| 2.4 | Kuivausmenetelmät | 14 |
| 2.5 | Lämpötilamittaus | 14 |
| 2.6 | Ilmankosteusmittaus | 14 |
| 2.7 | Puun kosteuden mittaaminen | 15 |
| 2.7.1 | Punnitus ja kuivaus -menetelmä | 16 |
| 2.7.2 | Puun kosteuden määrittäminen tasapainoilman kosteuden perusteella..... | 17 |
| 2.7.3 | Puun kosteuden määrittäminen resistanssin perusteella..... | 18 |
| 3 | TOTEUTUS | 21 |
| 3.1 | Matemaattinen malli tasapainokosteuskäyrästä..... | 21 |
| 3.2 | Kosteuden määrittäminen tasapainokosteudesta..... | 25 |
| 3.3 | Kosteuden määrittäminen piikkimittarilla..... | 27 |
| 3.4 | Kosteuden määrittäminen punnitus-kuivaus-menetelmällä | 28 |
| 3.5 | Mittausjärjestely kuivurille | 29 |
| 3.6 | Kuivurin sähkökeskus..... | 30 |
| 3.7 | Kuivurin PLC-ohjelma | 32 |
| 3.7.1 | Aliohjelma Tulosten_luku | 33 |
| 3.7.2 | Aliohjelma Kello..... | 34 |
| 3.7.3 | Aliohjelma Mittausvaihe..... | 34 |
| 3.7.4 | Aliohjelma Datalog | 34 |
| 3.7.5 | Aliohjelma Ohjaus | 35 |
| 3.7.6 | Aliohjelma Nayton_aputoiminnot..... | 36 |
| 3.7.7 | Aliohjelma Lahtojen_ohjaus | 36 |
| 3.8 | Ohjausnäytöt | 37 |
| 3.8.1 | Päänäyttö | 37 |
| 3.8.2 | Trendinäytöt | 39 |
| 3.8.3 | Asetusnäyttö | 40 |
| 3.8.4 | Hälytysnäyttö ja hälytykset..... | 41 |
| 3.9 | Ohjelman testaus..... | 44 |
| 3.10 | Asennus..... | 46 |

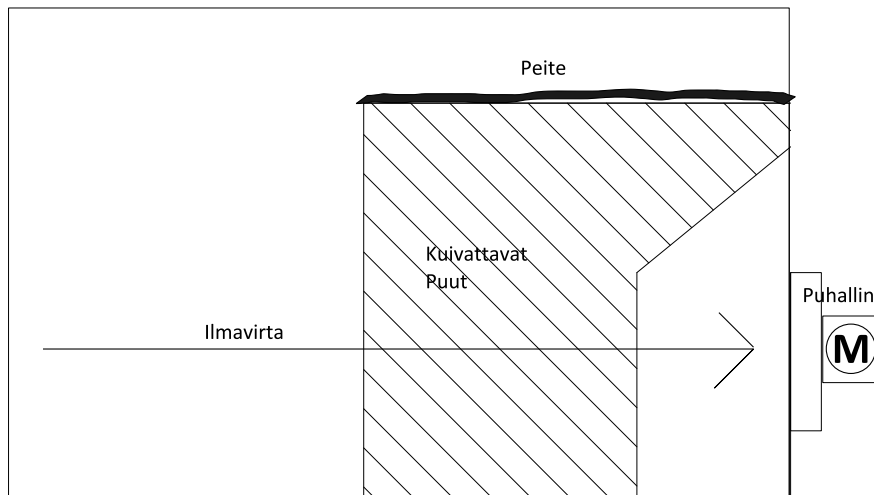
| | |
|--|----|
| 3.11 Asennetun laitteen testaus..... | 48 |
| 4 POHDINTAA..... | 49 |
| LÄHTEET..... | 51 |
| LIITTEET | 52 |
| Liite 1. Klapikuivurin sähkökaavio | 52 |
| Liite 2. PLC ohjelma | 57 |

ERITYISSANASTO

| | |
|-------------|---|
| Adsorptio | Ilmiö, jossa nestettä tai kaasua sitoutuu kiinteään aineeseen |
| Desorptio | Adsorption vastakohta. Kaasua tai nestettä vapautuu kiinteästä aineesta |
| Klapi,pilke | 0,2 - 0,5 metriseksi katkaistu ja halkaistu polttopuu |
| CSV | (Comma Separated Values), yksinkertainen tiedostomuoto taulukoille |
| IL | Instruction List, Alhaisen tason ohjelmointikieli |
| LD | Ladder Diagram, Tikapuukaavio |
| ST | Structured text, Korkean tason ohjelmointikieli |
| FBD | Function Block Diagram, Lohkokaavio |
| SFC | Sequential Function Chart, Sekvenssikaavio |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa klapikuivurin ohjausautomaatio. Klapiaitta Oy:lle Siuroon. Työn teettää automaatio- ja mekatronikka-alan yritys Metecno Oy. Klapiaitalla on olemassa jo käsiohjauksella toimiva kylmäilmakuivuri puiden kuivaamiseen (Kuvio 1). Kuivurissa kuivausilma imetään puhaltimella kuivattavien puiden läpi.



Kuvio 1. Kuivurin rakenne

Polttopuiden kosteus on merkittävin laatuun vaikuttava tekijä. Kosteista polttopuista saadaan huonosti lämpöä ja puut myös homehtuvat tai alkavat lahota helpommin. Pilkkeiden kuivumisnopeus riippuu voimakkaasti ympäristön lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Kiinteiden biopolttoaineiden ja ei-teollisuuskäyttöön myytävän polttopuun ominaisuuksia ja laatua käsittelevät standardit SFS-EN 14961-1 ja SFS-EN 14961-5.

Tarkoituksena on suunnitella kuivurille automaattinen ohjaus, jonka ohjaama puhallin käy vain, kun puita on mahdollista saada kuivemmaksi. Polttopuiden tavoitemaksimikosteus on 20 %, mutta ne kuivataan niin kuiviksi kuin mahdollista. Standardi SFS-EN 14961-5 määrittelee kuitenkin polttopuiden minimikosteudeksi 12 %. Ohjausautomaatiota varten pitää selvittää kuinka puiden ja kuivausilman kosteutta on järkevää mitata.

1.1 Metecno Oy

Metecno Oy Hämeenkyrössä on sijaitseva vuonna 2008 perustettu automaatio ja mekatroniikan kokonaisratkaisuja toimittava yritys. Metecno Oy:n tarjoamia palveluita ovat:

- sähkö- ja automaatio suunnittelu
- hydrauliikka- ja pneumatiikkasuunnittelu
- mekaaninen suunnittelu
- modernisoinnit
- keskusvalmistus
- robottijärjestelmät
- koneiden kokonaistoimitukset

(www.metecno.fi)

Metecno Oy:n vahvuuksia on mekatroniikan kaikkien osa-alueiden tuntemus ja tehokas hyödyntäminen laitesuunnittelussa. Metecnolla on lisäksi S1-tason sähköpätevyudet, mikä mahdollistaa myös yli 1000 Voltin laitteistojen toimitukset ja asennukset. Metecnolla on myös muutamia omia tuotteita, kuten LINPU™-tasopuristinjärjestelmät ja OP17-ohjauspaneeli. (www.metecno.fi)

Metecno on ollut mukana kehittämässä pientuulivoimaloiden tehonsäätimiä FinnProp Oy:lle. Tuotekehitysvaiheen jälkeen yhteistyö on jatkunut säätimien sopimusvalmistajana. Metecno pyrkii tarjoamaan asiakkailleen, jatkuvasti komponenttimarkkinoita seuraamalla, teknisesti ja taloudellisesti edullisimmat ratkaisut. (www.metecno.fi)

1.2 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä toteutetaan puukuivurin ohjausautomaatio, selvitetään puun kuivaamisesta teoriataustaa ja tutkitaan olisiko mahdollista mitata automaattisesti puiden kosteutta niiden ympärillä seisovan ilman kosteuden perusteella. Tarvittaville mittauksille valitaan mittalaitteet. Jotta puiden kuivaamista voidaan säätää, pitää tietää ilman kosteus ja lämpötila sekä puiden kosteus. Ohjausautomaatiosta voi myös mahdollisesti tulla Metecnon myyntituote, jos toteutuksesta tulee sellainen että sen voisi tuotteistaa.

Kuivurille tehdään TwinCAT järjestelmällä logiikkaohjaus johon kuuluu:

- Säätöpiiri puun kuivaukselle.
- Trendit puun kuivumisen ja ulkoilman seurantaan.
- Datalogaus mittausdatan tallennusta varten.
- Hälytykset anturien toimintahäiriöistä.
- Graafinen ohjausnäyttö laitteiston ohjaukseen.

Ohjauskeskuksen kokoonpano, kytkentä ja asennus kuuluvat tämän työn laajuuteen. Ohjauskeskuksen sähkösuunnittelun tekee Metecno Oy. Metecno Oy myös hankkii PC:n ohjausjärjestelmää varten. Instrumentoinnin asennus ja siihen tarvittavien kaapeleiden asennus kuuluu työhön. Työhön ei kuulu mekaanisia asennuksia, kuten puhaltimien asennuksia tai kuivurin rakenteen muuttamista.

Kuivuriin mahdollisesti tehtäviä lisäominaisuuksia, jotka tehdään vain jos niiden toteuttamiseen jää ylimääräisiä resursseja:

- Puhaltimen tarkkailu paine-eromittauksella.
- Web-palvelin kuivurin tietojen etälukua varten.

Lopullisesta laitteistosta testataan laitteiston ja ohjelmien toimivuus, mutta lopullisen säädön hyvyttä ei tässä työssä testata, koska se ei opinnäytetyön toteutusaikataulun puitteissa ole mahdollista.

2 TEORIA

Teoriaosuudessa perehdytään tarkemmin kosteuden merkitykseen puun laadun kannalta. Tarkastellaan kuinka ilman kosteus ja lämpötila vaikuttavat puun kuivumiseen. Puun kosteuden ilmaisemiseen käytetyt laskentakaavat esitellään, sekä mitä eri tapoja käytetään kosteuden laskemiseen. Erilaisia puiden kuivaamiseen tarkoitettuja kuivurityyppejä esitellään myös lyhyesti.

Tässä osiossa tarkastellaan myös erilaisia mittausperiaatteita ja laitteita, koska työssä tarvitsee mitata kosteuksia ja lämpötiloja. Ilman kosteuden ja lämpötilan pitää olla sopivat, jotta kuivumista voi tapahtua ja puiden kosteus pitää tietää, jotta voidaan asettaa rajat puhaltimen käynnille. Ilmankosteuden ja lämpötilan mittaamiseen on olemassa runsaasti mittalaitteita joilla päästään riittäviin tarkkuuksiin. Puiden kosteuden jatkuvaan mittaukseen taas ei kaupallisia mittalaitteita juuri löydy.

2.1 Kosteuden vaikutus puun laatuun

”Merkittävin pilkkeiden laatuun vaikuttava tekijä on kosteus, jota pyritään alentamaan kuivaamalla puuta.”(Hillebrand 2006) Kosteat polttopuut eivät syty kovin helposti ja niiden sisältämän veden haihtuminen sitoo energiaa puita poltettaessa. Myös lahottaj sienet elävät paremmin kosteissa puissa. Lahottaj sienet vähentävät puuaineksen tiheyttä ja tällä tavoin pienentävät puun lämpöarvoa. Homehtuneet puut ovat myös rumia, mikä haittaa niiden myyntiä asiakkaille.(Luomi M Aulamo O 1962)

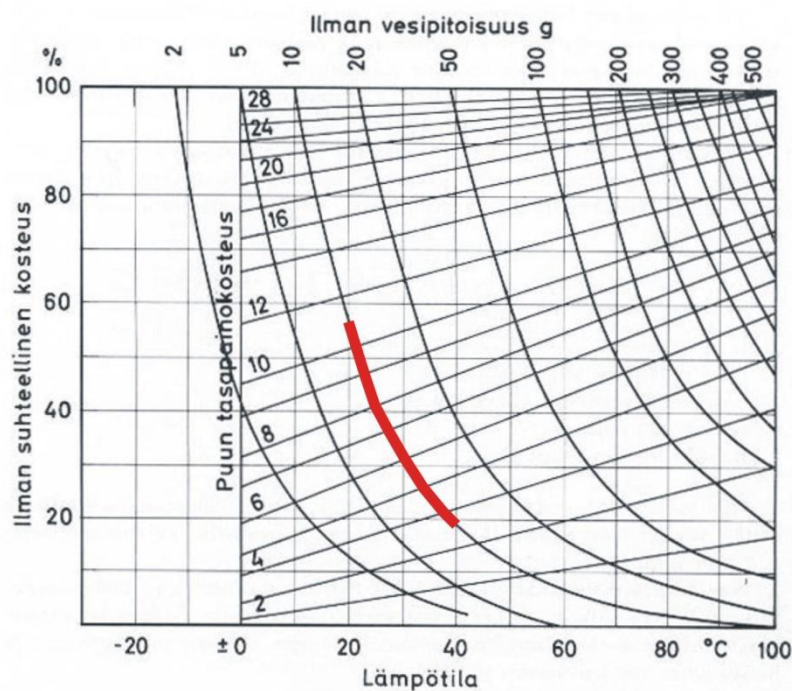
Kun puun kosteus on noin 23 prosenttia kokonaispainosta, käy sienten elintoiminta vaikeaksi ja loppuu yleensä kokonaan kun kosteus on alle 17 %. Näihin kosteuksiin pitäisi kuivauksessa päästä mahdollisimman nopeasti, jotta puu ei pääsisi pilaantumaan. Vastakaadettu puu taas on liian kosteaa, että lahottaj sienet voisivat siinä toimia. (Luomi & Aulamo 1962)

Polttopuut kuivuvat kun niissä oleva kosteus haihtuu ja siirtyy ympäröivään ilmaan. Ilman kosteus ja lämpötila taas vaikuttavat siihen, kuinka paljon kosteutta voi sitoutua puuta ympäröivään ilmaan. Puu on hygroskooppista ainetta, joten se voi sitoa kosteutta ilmasta. Puun kylmäilmakuivauksessa onkin tavoitteena siirtää kuivauskelpoista ilmaa

puukasan läpi, jotta puiden kosteus laskisi. Liian kosteaa ilmaa ei ajeta puukasan läpi, jottei puu ala imeä kosteutta ilmasta.

2.2 Ilman kosteus

Ilman kosteus on ilmaan sitoutunutta vesihöyryä joka ei näy. Ilman lämpötila vaikuttaa ilman kykyyn sitoa vettä, siten että lämpimään ilmaan mahtuu vettä enemmän kuin kylmään. Kuviosta 2 nähdään esimerkiksi että, jos ilman vesipitoisuus on 10 g/m^3 ja lämpötila $20 \text{ }^\circ\text{C}$, on ilman suhteellinen kosteus n.55 % jos taas lämpötila nousee $40 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilan pysyessä samana, on suhteellinen kosteus enää hieman alle 20 %. Kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %, alkaa vesi kondensoitua eli tiivistyä nestemäiseen olomuotoon. Paine vaikuttaa myös ilman kykyyn sitoa kosteutta, mutta työssä käytettävässä kuivurissa ei synny niin merkittävää paine-eroa, että se olisi syytä ottaa huomioon. (Ilmatieteen laitos)



Kuvio 2. Kosteuskäyrästä (Hillebrand K, Kouki J, 2006)

Ilman kosteutta voidaan ilmaista monin eri tavoin:

- Absoluuttinen kosteus** kertoo, montako grammaa vettä on kuutiometrissä ilmaa.
- Suhteellinen kosteus** kertoo prosenttilukuna kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä maksimimäärään nähden vallitsevassa lämpötilassa.

-**Kosteussisältö** on veden määrä ilman massayksikköä kohden.

-**Kastepiste** kertoo mihin lämpötilaan ilma pitäisi jäädyttää, jotta vesi alkaisi kondensoitua.

-**Kyllästyskosteus** määrittelee paljonko vesihöyryä ilmassa voi olla kussakin lämpötilassa. (Ilmatieteen laitos)

2.3 Puun Kosteus

Puu on hygroσκοoppinen aine eli se imee ilmasta kosteutta itseensä. Puun kosteutta ilmaistaan kahdella eri tavalla, kosteus märkäpainoa kohti, (M) ja kosteus kuivapainoa kohti, (U), jotka ovat helposti muunnettavissa keskenään (kaavat 1 ja 2). Kosteus ilmoitetaan prosentteina massasta. Kosteuden yksikkö on painoprosentti [p-%].

$$U = \frac{M}{100-M} \cdot 100 \quad (1)$$

$$M = \frac{U}{100+U} \cdot 100 \quad (2)$$

Esimerkiksi piikkikosteusmittari mittaa kosteuden kuivapainoa kohti(U) ja antaa lukemaksi 20 %. Kosteus märkäpainoa kohti saadaan laskettua kaavalla (2):

$$M = \frac{20}{100 + 20} \cdot 100 = 16,67 \%$$

Kosteus märkäpainosta(M) on puussa olevan veden osuus puun kokonaismassasta. Tätä tarkoitetaan yleensä, kun puhutaan puun kosteudesta erittelemättä asiaa tarkemmin.

$$M = \frac{m_v}{m_v+m_p} \cdot 100 \quad (3)$$

jossa,

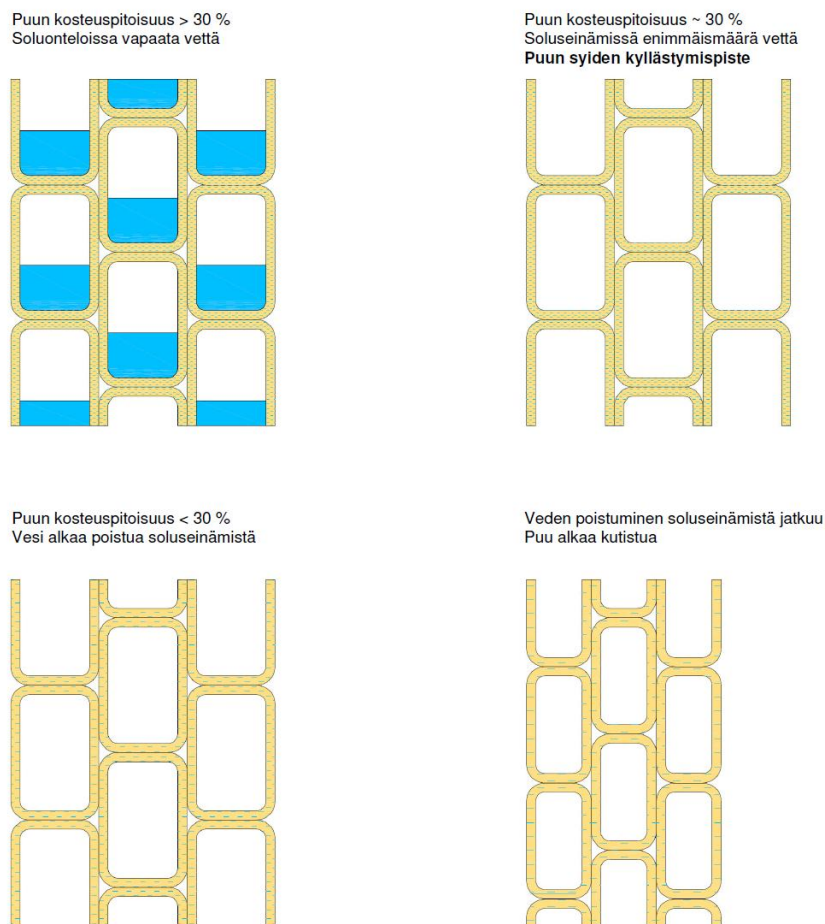
m_v = veden massa

m_p = kuivan puun massa

Kosteus kuiva-aineesta on veden massan suhde kuivan puun massaan. Tästä käytetään myös nimitystä kosteussuhde. Kosteutta kuiva-ainetta kohti käytetään yleisesti sahatavaran kosteuden ilmaisuun.

$$U = \frac{m_v}{m_p} \cdot 100 \quad (4)$$

Vettä esiintyy puussa kahdella eri tavalla: vapaasti soluonteloissa, sekä sitoutuneena puun soluseinämiin. Puunsyiden kyllästymispiste on puulajille ominainen kosteussuhde, jossa puun soluseinät ovat kyllästyneet vedellä mutta soluonteloissa ei ole yhtään vapaata vettä. Puunsyiden kyllästymispiste on n.30 %. Kuivattaessa puusta haihtuu ensin vapaana oleva vesi ja tämän jälkeen soluseinämät alkavat kuivua (Kuvio 3). Soluseinämi- en kuivuessa alkaa puuainees myös kutistua ja halkeilla.(Puuinfo 2011)



Kuvio 3. Veden poistuminen puun solukosta. (Puuinfo 2011)

2.4 Kuivausmenetelmät

Tavallisin keino klapien kuivaamiseen on luonnonkuivaus. Tällöin puita ei kuivata mitenkään koneellisesti, vaan puut ovat esimerkiksi kasalla katoksessa tai taivasalla. Tämä on kuitenkin hidasta ja puiden kuivuminen edellyttää suotuisia sääolosuhteita.

Keinokuivausmenetelmiä ovat kylmä-, lämmin- ja kuumailmakuivaus. Kylmäilmakuivurissa tavallista ulkoilmaa puhalletaan tai imetään puukasan läpi, jolloin saadaan jatkuvasti uutta kuivempaa ilmaa kulkemaan puukasan läpi. Tällöinkin ollaan riippuvaisia sääolosuhteista, mutta kuivauskelpoinen ilma saadaan paremmin hyödynnettyä, kun kosteutta sitonut ilma ei jää paikalleen seisomaan. (Hillebrand, Kouki 2006 s.34)

Lämminilmakuivauksessa puukasan läpi ajettava ilma lämmitetään, jolloin sen suhteellinen kosteus laskee ja se pystyy sitomaan enemmän kosteutta puista. Tämä menetelmä on nopea ja riippumaton sääolosuhteista. Lämmittämiseen tarvitaan kuitenkin energiaa, mikä lisää kustannuksia. Lämminilmakuivuri on myös kalliimpi hankkia, koska kuivaamorakennus tarvitsee hyvän lämmön ja kosteuden eristyksen. Mikäli kuivausilman lämpötila on yli 100 °C, käytetään termiä kuumailmakuivuri. (Hillebrand, Kouki 2006 s. 34)

2.5 Lämpötilamittaus

Lämpötilan mittaamiseen on tarjolla lukuisia eri menetelmiä, yleisimpiä ovat kuitenkin resistanssiin, termopariin tai puolijohteeseen perustuvat anturit. Anturit ovat edullisia ja niillä päästään riittävän hyviin alle yhden Celsiusasteen tarkkuuksiin. Lämpötilamittauksen toteuttamiseen ei tässä työssä juuri käytetä aikaa.

Sähköisiin suureisiin perustuvat mittaukset on helppo muuttaa jännite- tai virtaviestiksi ohjausjärjestelmää varten tähän tarkoitukseen tehdyillä standardiviestilähettimillä.

2.6 Ilmankosteusmittaus

Ilmankosteuden mittaamiseen on tarjolla useilla eri periaatteilla toimivia laitteita. Osa laitteista mittaa kastepistettä, osa suhteellista tai absoluuttista kosteutta suoraan. Muuta-

mia yleisiä mittalaitteita ovat kastepistemittalaite, psykrometri, alumiinioksidianturi ja kapasitiivinen anturi.

Kastepistemittauksessa mitattavaa ilmaa jäähdytetään, kunnes se kondensoituu mittalaitteessa olevalle peilille. Optinen mittalaite havaitsee heijastuksen muuttumisesta peilin huurtumisen kun kastepiste on saavutettu. Kastepistemittareiden etuja on niiden tarkkuus ($<0,1$ °C) ja laaja toiminta-alue (-70 °C...+100 °C). Laitteet vaativat kuitenkin käyttöönottaessa kalibroinnin koko mitta-alueelle ja ne ovat kalliita. (Bentley R.E. 1998 s.141-142)

Psykrometri koostuu kahdesta lämpömittarista, joista toisen päällä on kostutettu sukka. Ilman virratessa sukasta haihtuu kosteutta sitä enemmän mitä kuivempaa ilma on. Haihtuminen jäähdyttää mittaria ja lämpötilojen erosta saadaan ilma suhteellinen kosteus laskettua. Toimiakseen mittalaite tarvitsee siis jatkuvan ilmavirran ja sukan täytyy pysyä kosteana.

Ohutkalvopolymeerianturi mittaa suhteellista ilmankosteutta. Anturissa on ohut hygroskooppinen kalvo jonka kapasitanssia mitataan. Vakioilmankosteudessa kapasitanssi ei juuri muutu lämpötilan muuttuessa, joten anturit voidaan kalibroida yhdessä lämpötilassa. (Bentley R.E. 1998 s.143)

2.7 Puun kosteuden mittaaminen

Puun kosteutta mitataan yleensä resistiivisellä mittauksella, jossa puuhun lyödään anturiipiikit puun syiden suuntaisesti. Puun resistanssi on lähes suoraan verrannollinen lämpötilaan ja kosteuteen, joten myös lämpötila tarvitsee tietää. Kapasitiivinen mittaus ei riko puuta, vaan mittaus tehdään mitattavan kohteen pinnalta. Puun pinnan rikkoutumisella ei tosin ole merkitystä polttopuiden ollessa kyseessä. Kapasitiivinen mittaus ei kuitenkaan toimi luotettavasti, jos mitattavassa puussa on onttoja kohtia tai oksia mittauskohdassa. Tällaiset mittalaitteet ovat yleensä kannettavia laitteita, joiden lukema luetaan omalta näytöltä. Työtä varten ei löydetty mittareita, jotka saisi kytkettyä ohjausautomaatioon jatkuvaa mittausta varten.

Kosteus on myös mahdollista määrittää ilman kosteudesta, joka on tasoittunut puun tasoainokosteuden kanssa. Tämän menetelmän toteutuskelpoisuutta tutkitaan ensisijaisesti tässä työssä.

2.7.1 Punnitus ja kuivaus -menetelmä

Punnitus ja kuivaus -menetelmä on yksinkertainen ja tarkka tapa määrittää puun kosteus. Standardin SFS-EN 14774-2 mukaan mitattaessa puu punnitaan märkänä ja kuivataan $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ asteisessa uunissa kunnes siitä ei enää haihdu kosteutta. Vertaamalla täysin kuivan puun painoa puun alkuperäiseen painoon, saadaan kosteus laskettua. Puiden kuivaaminen standardilämpötilassa on kuitenkin hidasta. Kosteus saapumistilassa M_{ar} saadaan laskettua standardin SFS-EN 14774-2 mukaan kaavalla 5. Standardin SFS-EN 14588 määritelmän mukaan ”saapumistilassa” tarkoittaa tilaa, jossa materiaali on, kun se saapuu tai toimitetaan. Kesken kuivauksen suoritettavat mittaukset lasketaan kuitenkin samalla kaavalla.

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} \quad (5)$$

jossa

m_1 =tyhjän astian massa grammoina

m_2 =kuivausastian ja näytteen massa grammoina ennen kuivausta

m_3 =kuivausastian ja näytteen massa grammoina kuivauksen jälkeen

m_4 =pakkaukseen sitoutuneen kosteuden massa grammoina

Esimerkkinä 296 gramman puunäyte kuivataan $348\text{ g} = m_1$ painavassa teräsastiassa jolloin kuivausastian ja näytteen massa ennen kuivausta m_2 on 644 g . Kuivattuna kuivausastian ja näytteen massa m_3 on 592 g . Pakkaukseen jossa näyte on tuotu kuivatavaksi, ei ole jäänyt kosteutta, joten m_4 on 0 g .

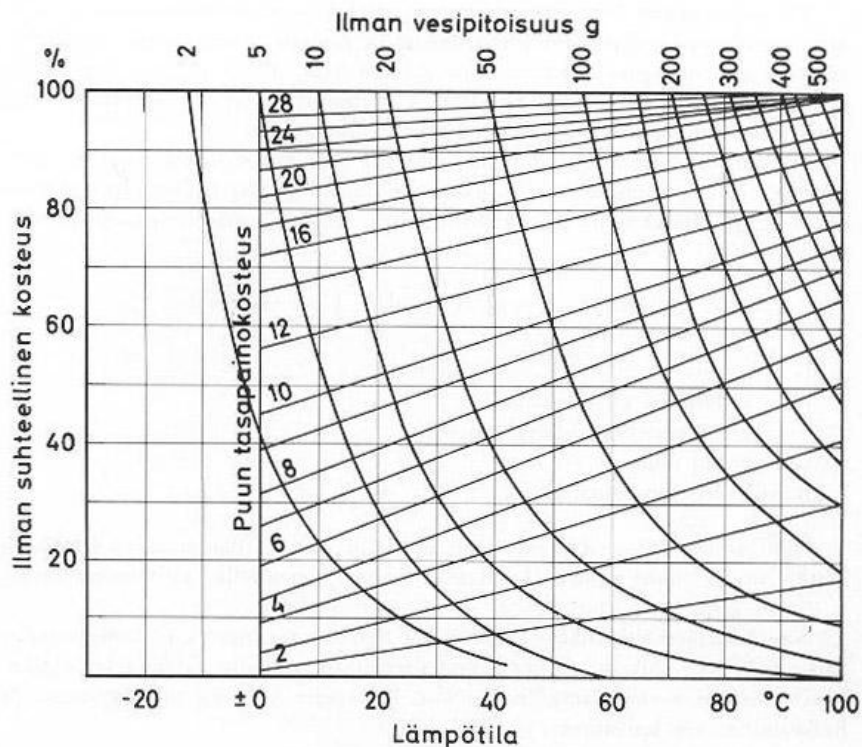
$$M_{ar} = \frac{(644\text{ g} - 592\text{ g}) + 0\text{ g}}{(644\text{ g} - 348\text{ g}) + 0\text{ g}} = 0,1757 = 17,6\%$$

Standardissa on tarkasti määritelty kuivauslämpötila, vaa’alta vaadittu tarkkuus ja näytteen suuruus. Kuivumisen seuraamista ja ohjaamista varten tehtävissä mittauksissa ei

kuitenkaan ole tarpeen noudattaa standardia orjallisesti, vaan kosteus saadaan määritettyä tavallista kotitalousuunia ja keittiövaakaa käyttämällä. Jos puuta kuitenkin myydään asiakkaalle standardinmukaisena polttopuuna, niin silloin mittaukset on tehtävä standardin ohjeiden mukaisesti.

2.7.2 Puun kosteuden määrittäminen tasapainoilman kosteuden perusteella

Koska puun kosteudelle on määritetty tasapainokosteuskäyrästä (Kuvio 4), voidaan puun kosteus määrittää siitä, mihin suhteelliseen kosteuteen puuta ympäröivä ilma asettuu seistyään tarpeeksi kauan suljetussa tilassa puiden kanssa. Kuivurin käydessä ilma vaihtuu jatkuvasti puiden ympärillä, mutta yöaikaan ei kuivuria pidetä päällä, koska ilman kosteus on yleensä erittäin korkea yöaikaan ja kuivurista aiheutuva melu haittaa lähisöllä asuvia ihmisiä. Kun oletetaan että puukasan sisällä on tarpeeksi suljettu tila ja kosteus ehtii asettua tasapainotilaan yön aikana, voidaan puiden kosteus mitata ilmankosteus- ja lämpömittarilla puukasan sisällä vallitsevista olosuhteista. Puun kosteus määritetään tasapainokosteuskäyrästä ilmankosteuden ja lämpötilan perusteella.



Kuvio 4. puun tasapainokosteuskäyrästä (Hillebrand K, Kouki J, 2006 s.36)

Menetelmästä tutkitaan kuinka kauan asettuminen vie aikaa ja päästäänkö sillä kohtuullisiin tarkkuuksiin. Lisäksi jos menetelmä osoittautuu muuten käyttökelpoiseksi, pitää miettiä kuinka mittaus saadaan toteutettua käytännössä. Mittalaitteen pitää olla turvassa kolhuilta, kun puita käsitellään kauhakuormaajalla ja mittaus pitäisi kuitenkin tehdä edustavasta paikasta.

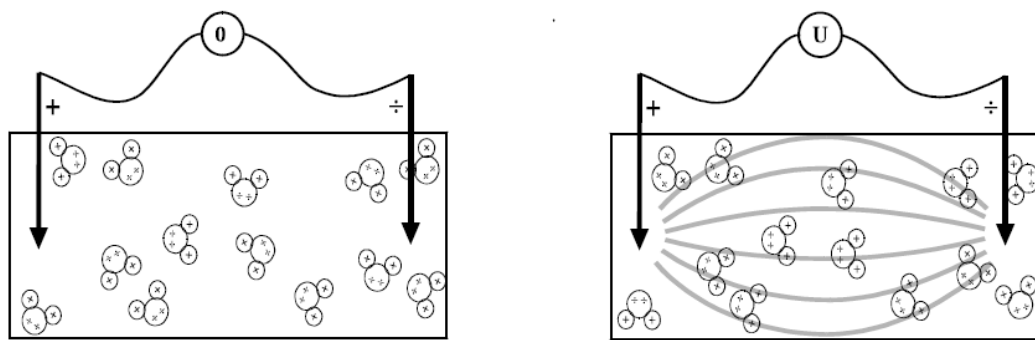
Menetelmällä voidaan mitata kosteuspitoisuutta, kun se on alle puunsyiden kyllästymispisteen. Mittauksissa on myös hystereesiä adsorption ja desorption välillä, eli imeekö puu kosteutta vai luovuttaako se sitä kosteustasapainon saavuttamiseksi. Norjalaisessa tutkimuksessa eri mittausmenetelmien mahdollisuuksista puun kosteuden tavoitearvoonsa saamiseksi, on standardipoikkeamalle 10 tunnin asettumisajan jälkeen saatu alle $\pm 1,5$ % ja 80 tunnin asettumisajalla poikkeama on ollut enää $\pm 0,5$ %. Heidän menetelmässään testaukset on tehty suljetussa tilassa vakioämpötilassa 80 °C koska hystereesi poistuu kokonaan lämpötilan ylittäessä 75 °C ja vakioämpötilassa ei tarvitse lämpötilan muuttumista ottaa laskuissa huomioon. $\pm 0,5\%$ poikkeamaa ei oltu kuitenkaan saatu poistettua. Poikkeaman epäiltiin olevan näytteenotosta tai mittaustavasta aiheutuvaa hystereesiä, jota on mahdoton poistaa. (Fløtaker S., Tronstad S. 2000 s.66,70)

Täytyy kuitenkin huomioida, että tutkimuksessa ei tavoitteena ollut kosteuden mittaaminen, vaan kosteuden asettaminen halutulle tasolle mahdollisimman tarkasti. Puiden kosteusmittauksen suorittaminen ilmankosteuden perusteella pitäisi kuitenkin onnistua, kun yöajaksi asetetaan vaikka 10 tunnin pituinen jakso. Tällöin ilmankosteuden puukasan sisällä pitäisi ehtiä tasoittua tarpeeksi mittausta varten. Mittaus suoritetaan aamulla, juuri ennen käynnistysluvan antamista.

2.7.3 Puun kosteuden määrittäminen resistanssin perusteella

Puun resistanssi vaihtelee voimakkaasti kosteuden mukaan, kun kosteus on alle puun syiden kyllästymispisteen. Resistanssi kasvaa logaritmisesti kosteuden laskiessa. Resistanssiin vaikuttaa myös jonkin verran ilman lämpötila ja puulaji. Vastus kasvaa kun lämpötila laskee. Resistanssi mitataan puuhun painettavien elektrodien kautta. Tämä menetelmä rikkoo puun pintaa, mutta sillä ei ole polttopuissa suurta merkitystä. (Forsén, H., 1997 s.1)

Tasavirralla mitattaessa puussa olevat vesimolekyylit polarisoituvat, mikä kasvattaa mitattua resistanssia ja alentaa mitattua kosteutta (Kuvio 5). Yleismittarilla mitattaessa mittaustuloksen asettuminen kestää useita minuutteja ja puuhun varautuu jännite, joka näkyy yleismittarin jännitemittauksella. Mittaus olisi luultavasti parempi tehdä vaihtovirtaa käyttävällä mittarilla. Ilmiön huomasi yleismittarilla puun resistanssia mitattaessa. Resistanssi alkoi kasvaa välittömästi kun mittari kytkettiin päälle ja kasvu jatkui useita minuutteja koko ajan hidastuen. Resistanssin kasvun tasoituttua, saattoi puusta jännitemittauksella mitata lähes 1 V jännitteen.(Fløtaker S., Tronstad S. 2000 s.14)



Kuvio 5. Vesimolekyylien polarisoituminen (Fløtaker S., Tronstad S. 2000 s.14)

Forsénin ja Tarvaisen mukaan puun resistiiviseen kosteusmittaukseen ei vaikuta elektrodien etäisyys toisistaan, tai se mitataanko resistanssia poikkisyin vai syitä pitkin. Myöskään puun tiheydellä ei ole resistiivisessä mittauksessa vaikutusta. Standardi SFS-EN 13183-2 määrittää, että mittaus tulisi tehdä syitä pitkin, ellei mittalaitteen manuaalissa toisin määrätä. Mittauselektrodien varsien tulisi olla eristetyt, jotta puun pinnalla oleva kosteus ei vääristä mittausta. (Forsén, H., & Tarvainen, V., 2000 s.33-35 ja SFS-EN 13183-2:2002)

Kosteuden määrittämiseen ovat Forsén ja Tarvainen määrittäneet valmiit laskukaavat ja kertoimet eri puulajeja varten VTT:n julkaisussa ”Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters.”, Jossa tutkitaan erilaisten kannettavien kosteusmittarien tarkkuuksia. Julkaisussa on myös laskukaava lämpötilan vaikutuksen kompensointiin.

$$\log(\log(R + 1)) = a \cdot u + b \quad (6)$$

tai toisin kirjoitettuna

$$R = 10^{(10^{a \cdot u + b} - 1)} \quad (7)$$

jossa

R = resistanssi (MΩ)

u = kosteuspitoisuus kuivapainosta %

a ja b ovat puulajista riippuvia regressiosovituksen kertoimia.

Kun mittauslämpötila on eri kuin 20 °C saadaan lämpötilan vaikutus kompensoitua seuraava Forsénin ja Tarvaisen julkaisussa johdetulla kaavalla:

$$u_{korj} = - \frac{0,00147 \cdot T \cdot \ln(10) + \ln(e^{a \cdot u_{mit} \cdot \ln(10) + b \cdot \ln(10)} + 1) - 1,075 \cdot \ln(10)}{\ln(10) \cdot (0,000158 \cdot T + 0,0262)} \quad (8)$$

jossa

u_{korj} = lämpötilakorjattu kosteuspitoisuus (%)

u_{mit} = mitattu kosteuspitoisuus (%)

T = puun lämpötila (°C)

Kertoimille a ja b löytyy taulukoituna eri puulajeille maakohtaisesti mitatut arvot. Tämän työn kannalta tärkeimpänä on suomalainen koivu, koska kuivattava puu on sitä. Taulukossa 1 on tavallisimpien suomalaisten puulajien kertoimet sekä r^2 , joka kuvaa regressiosovituksen hyvyttä. Lisäksi on ilmoitettu kosteuspitoisuudet kuivapainosta 10, 1000 ja 10000 MΩmin resistansseilla 20 °C lämpötilassa.

Taulukko 1. Resistanssikertoimet (Forsén, H., & Tarvainen, Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters s.27)

| Puulaji | kertoimet | | | Kosteus kuivapainosta lämpötilassa 20°C | | |
|---------|-----------|-------|-------|---|---------|----------|
| | a | b | r^2 | 10 MΩ | 1000 MΩ | 10000 MΩ |
| Koivu | -0,039 | 1,035 | 0,961 | 18,8 | 11,1 | 8,6 |
| Mänty | -0,038 | 1,052 | 0,958 | 19,8 | 11,8 | 9,3 |
| Kuusi | -0,038 | 1,080 | 0,980 | 20,5 | 12,6 | 10,0 |

3 TOTEUTUS

Kuivurin ohjaus toteutetaan TwinCAT-järjestelmällä. TwinCAT on Beckhoffin ohjelmisto, joka tarjoaa PLC-toiminnot tietokoneelle. Ohjelma tukee kaikkia viittä IEC-61131 standardin määrittelemää ohjelmointikieltä(IL, LD, ST, FBD ja SFC) ohjelmoitaville logiikoille sekä CFC(Continuos Function Chart) ohjelmointitapaa. Ohjelmistossa on ohjelmointityökalut sekä runtime, joka on valmista logiikkasovellusta suorittava ohjelma. Ohjelmisto tarjoaa myös työkalut ohjausnäyttöjen tekemiseen.

Testauslaitteistona oli Beckhoffin väyläterminaalista ja I/O-moduuleista kostuva laitteisto. Väylänä oli normaali ethernet, joten liitäntä väylään tapahtui tavallisen verkkokortin kautta. Mittausperiaatteen valitsemiseksi tehtiin myös käytännön mittauksia eri menetelmillä. Kun mittausperiaate oli valittu, rakennettiin kuivurille sähkökeskus ja toteutettiin lopullinen ohjaussovellus.

3.1 Matemaattinen malli tasapainokosteuskäyrästä

Tasapainokosteuskäyrästä (Kuvio 2) on helppoa lukea mikä on puun tasapainokosteus, kun tiedetään ilmankosteus ja lämpötila. Käyrästä tarvitsi luoda matemaattinen malli, jotta myös automaatiosovellus voisi käyttää samaa käyrää. Valmista yhtälöä käyrästä mallintamiseen ei ollut saatavilla, joten se tarvitsi kuvan perusteella tehdä itse. Käyrästä mallintamisesta teki haastavaa se, että kaikilla puun tasapainokosteuksilla on erilainen kulmakerroin ja nollalämpötilan tasapainokosteus vaihtelee myös puun kosteuden mukaan epätasaisesti. Käyrästä ei myöskään ollut ilmoitettu onko kyseessä kosteus märkäpainosta M vai kosteus kuivapainosta U. Myöhemmin mittaustuloksia vertaamalla selvisi että kyseessä on kosteus märkäpainosta M.

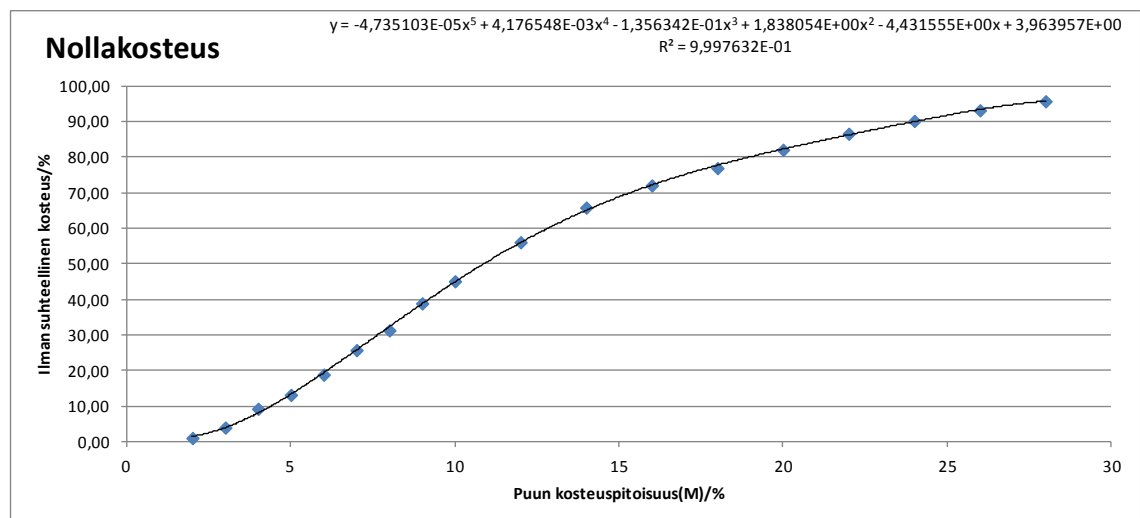
Mallia varten jokaisesta kosteussuorasta luettiin niiden arvo kahdessa eri lämpötilassa ja tämän perusteella saatiin kullekin suoralle suoran yhtälö (Taulukko 2). Kuvasta lukemiseen käytettiin hyväksi kuvankäsittelyohjelman mitoitustyökalua, jotta lukuvirheet saataisiin minimoitua. Mitoitustyökaluun määritettiin ensin kuvasta suora joka vastaa kuvassa suhteellista ilmankosteutta 0 %...100 %. Tämän jälkeen mitta skaalasi kahden pisteen etäisyydet ilmankosteudeksi muutettuna. Suorien pisteet katsottiin 0 °C ja +80

°C kohdalta, sillä pienet lukuvirheet vaikuttavat sitä vähemmän mitä kauempana pisteet ovat toisistaan. Korkeammista lämpötiloista suorilla on vaikeampi erottaa toisistaan.

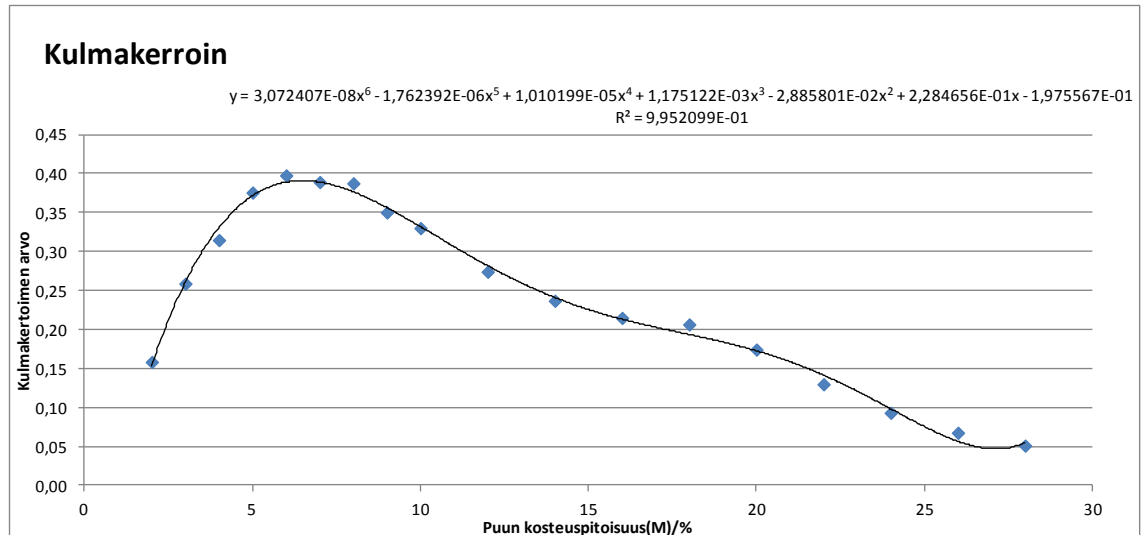
Taulukko 2. käyrästä taulukoituna

| Puun kosteus (M) | y1 | y2 | nollakosteus | yhtälö y= | kulmakerroin |
|------------------|-------|-------|--------------|--------------------------------|--------------|
| 28 | 95,70 | 99,78 | 95,70 | $0,051(x+1876,4705882353)$ | 0,051000 |
| 26 | 93,16 | 98,56 | 93,16 | $0,0675*(x+1380,1481481481)$ | 0,067500 |
| 24 | 90,17 | 97,62 | 90,17 | $0,093125*(x+968,26845637584)$ | 0,093125 |
| 22 | 86,56 | 96,94 | 86,56 | $0,12975*(x+667,12909441233)$ | 0,129750 |
| 20 | 82,05 | 95,99 | 82,05 | $0,17425*(x+470,87517934003)$ | 0,174250 |
| 18 | 76,90 | 93,42 | 76,90 | $0,2065*(x+372,39709443099)$ | 0,206500 |
| 16 | 72,03 | 89,22 | 72,03 | $0,214875*(x+335,21815008726)$ | 0,214875 |
| 14 | 65,80 | 84,75 | 65,80 | $0,236875*(x+277,78364116095)$ | 0,236875 |
| 12 | 56,05 | 77,98 | 56,05 | $0,274125*(x+204,46876424989)$ | 0,274125 |
| 10 | 45,08 | 71,49 | 45,08 | $0,330125*(x+136,55433547899)$ | 0,330125 |
| 9 | 38,86 | 66,88 | 38,86 | $0,35025*(x+110,94932191292)$ | 0,350250 |
| 8 | 31,27 | 62,28 | 31,27 | $0,387625*(x+80,670751370526)$ | 0,387625 |
| 7 | 25,72 | 56,86 | 25,72 | $0,38925*(x+66,075786769428)$ | 0,389250 |
| 6 | 18,82 | 50,64 | 18,82 | $0,39775*(x+47,316153362665)$ | 0,397750 |
| 5 | 13,13 | 43,19 | 13,13 | $0,37575*(x+34,943446440452)$ | 0,375750 |
| 4 | 9,21 | 34,39 | 9,21 | $0,31475*(x+29,261318506751)$ | 0,314750 |
| 3 | 3,93 | 24,64 | 3,93 | $0,258875*(x+15,18107194592)$ | 0,258875 |
| 2 | 1,00 | 13,67 | 1,00 | $0,158375*(x+6,3141278610892)$ | 0,158375 |

Kun kaikille suorille saatiin yhtälöt kirjattua, Piirrettiin kulmakertoimille ja 0 °C lämpötilaa vastaaville ilmankosteuksille kuvaajat Excelissä. Kuvaajiin piirrettiin trendiviivat, jotka kulkivat mahdollisimman tarkasti kaikkien pisteiden kautta. Näin saatiin interpoloituja arvoja mille tahansa puun kosteudelle käyrästä alueella.



Kuvio 6. nollalämpötilan kosteuden yhtälön sovitus



Kuvio 7. kulmakertoimen yhtälön sovitus

Kulmakertoimen (K) määrittämiseen tarvittiin kuudennen asteen polynomi (Kaava 10) ja tasapainokosteuksille 0 °C lämpötilassa (N) viidennen asteen polynomi (Kaava 11). Näiden tietojen perusteella käyrästä kuvaavasta kaavasta 9 saatiin seuraavanlainen:

$$RH = K \cdot t + N \quad (9)$$

$$K = 3,072407 \cdot 10^{-8} \cdot M^6 - 1,762392 \cdot 10^{-6} \cdot M^5 + 1,010199 \cdot 10^{-5} \cdot M^4 + 1,175122 \cdot 10^{-3} \cdot M^3 - 2,885801 \cdot 10^{-2} \cdot M^2 + 2,284656 \cdot 10^{-1} \cdot M - 1,975567 \cdot 10^{-1} \quad (10)$$

$$N = -4,735103 \cdot 10^{-5} \cdot M^5 + 4,176548 \cdot 10^{-3} \cdot M^4 - 1,356342 \cdot 10^{-1} \cdot M^3 + 1,838054 \cdot M^2 - 4,431555 \cdot M + 3,963957 \quad (11)$$

Jossa: RH = ilman suhteellinen kosteus, t = ilman lämpötila [°C] ja M = puun tasapainokosteus [%].

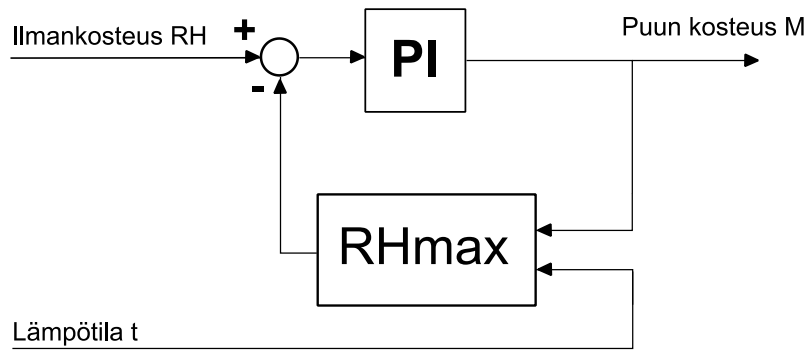
Yhtälön paikkansapitävyyttä tarkasteltiin laskemalla muutamilla arvoilla ja vertaamalla tulosta käyrästä luettuun arvoon. Laskimella laskettuna yhtälö toimi erittäin hyvin. Kuivauksen ohjausta varten yhtälöstä saadaan ilman suhteellinen kosteus, jota korke-

ammassa kosteuksissa kuivumista ei enää tapahdu, kun yhtälöön sijoitetaan puista mitattu kosteus ja ilman lämpötila.

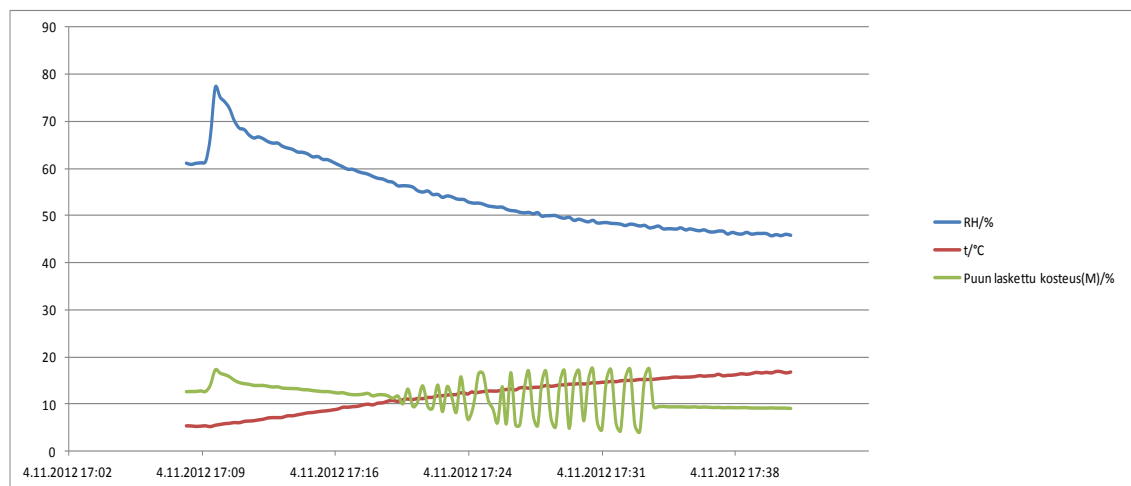
Valmiista yhtälöstä ohjelmoitiin TwinCATtiin toimilohko, jota voidaan myöhemmin käyttää ohjauksessa. Toimilohko ei aluksi toiminut odotetulla tavalla vaan antoi negatiivisia ilmankosteuden arvoja. Kaikki luvut ja etumerkit tarkastettiin moneen kertaan eikä niistä löytynyt virheitä. Lopulta ohjelma alkoi toimia kun polynomien termit summattiin ketjussa siten että kahden edellisen luvun summaan lisättiin seuraava luku. Yhden monituloisen yhteenlaskulohkon käyttö johti väärään tulokseen, joten jatkossa yhteenlaskutoimilohkot ketjutettiin aina vaikka niihin on mahdollista lisätä tuloja.

Yhtälöstä haluttiin myös ratkaista puun tasapainokosteus, kun ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila tiedetään. Yhtälön pyörittäminen osoittautui kuitenkin liian vaikeaksi, kun haluttu suure M oli yhtälössä kuudennessa potenssissa. M :ää aiemmin saadusta yhtälöstä yritettiin ratkaista TI-89 -laskimen ja MATLAB-ohjelmiston solve-komennoilla. Näillä ei kuitenkaan saatu ratkaistua M :ää symbolisesti. Ratkaisun sai kyllä kun antoi muille muuttujille numeroarvot. TwinCATissa ei ole yhtälöratkaisutoimintoa, vaan yhtälö täytyy kirjoittaa valmiiksi oikeassa muodossa ohjelmaan.

Ongelman sai kuitenkin kierrettyä lisäämällä PI-säätimen aiemmin tehtyyn toimilohkoon. PI-säätimen asetusarvo on mitattu ilmankosteus ja säädetty suure on puun kosteus (Kuvio 8). Takaisinkytkentänä säätimelle tulee ohjauksen antaman puun kosteuden ja mitatun ilman lämpötilan perusteella laskettu ilmankosteus. PI-säädin sitten säättää puun kosteusarvoa vastaamaan mitattua ilmankosteutta. Säätimen käytössä on kuitenkin omat heikkoutensa. Säädin tarvitsee virittää, jotta se seuraa tarkasti ilman suhteellista kosteutta kuitenkaan värähtelemättä. Kuviossa 9 on esimerkki siitä mitä voi tapahtua, jos säädin on liian herkkä. Lämpötila ja ilmankosteus muuttuvat voimakkaasti ja säädin on lähtenyt värähtelemään voimistuvasti. Ohjelman uudelleenlataus rauhallisemmilla parametreilla lopetti värähtelyn.



Kuvio 8. PI-säädin puun kosteuden laskentaan



Kuvio 9. Värähtelevä PI-säädin.

3.2 Kosteuden määrittäminen tasapainokosteudesta

Puiden kosteuden määrittämistä tasapainokosteuden perusteella tutkittiin ensimmäisenä mittausvaihtoehtona. Kun puut saavat olla tarpeeksi kauan tietyn kosteuden ja lämpötilan omaavassa ilmassa, asettuvat ne tasapainokosteuteen. Toisaalta kun ilman on tarpeeksi kauan tietyn kosteuden omaavien puiden ympärillä, asettuu se puiden tasapainokosteutta vastaavaan ilmankosteuteen. Kosteus hakee siis aina tasapainotilan. Kun oletetaan että ilma pysyy tarpeeksi suljetussa tilassa puukasan sisällä ja puiden massa on valtavasti suurempi kuin ilman massa, pitäisi ilmankosteuden asettua puiden tasapainokosteuden mukaisesti.

Mittausperiaatteen toimivuutta kokeiltiin ottamalla kolme eri kosteutta olevia pilkkeitä: kuivia, puolikuivia ja märkiä, ämpäreihin ja mittaamalla ilmankosteutta suljetuista ämpäreistä. Märkä näyte sahattiin tuoreesta rangasta. Keskikuiva näyte otettiin puuliite-

ristä ja kuiva näyte puista joita oli pidetty muutama päivä pannuhuoneessa lämpimässä. Myöhemmin ämpäreissä olevien pilkkeiden kosteudet mitataan myös punnituskuivaus menetelmällä ja piikkikosteusmittarilla.

Taulukko 3. Kuivien puiden mittaustuloksia ilmastokosteusmittauksella.

| Mitattu ilmastokosteus %RH | Mitattu Lämpötila °C | Laskettu puun kosteus M/% | Laskettu puun kosteus U/% | Paikka |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 54,70 | 24,65 | 10,32 | 11,50 | Sisällä |
| 63,45 | 21,89 | 12,31 | 14,03 | Sisällä |
| 61,30 | 6,33 | 12,77 | 14,63 | Ulkona |
| 61,16 | 5,31 | 12,79 | 14,67 | Ulkona |
| 59,68 | 25,10 | 11,28 | 12,72 | Sisällä |
| Keskiarvo | | 11,89 | 13,51 | |

Taulukko 4. Puolikuivien puiden mittaustuloksia ilmastokosteusmittauksella.

| Mitattu ilmastokosteus %RH | Mitattu Lämpötila °C | Laskettu puun kosteus M/% | Laskettu puun kosteus U/% | Paikka |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 80,53 | 24,91 | 17,17 | 20,73 | Sisällä |
| 81,10 | 24,25 | 17,46 | 21,15 | Sisällä |
| 80,38 | 24,23 | 17,16 | 20,72 | Sisällä |
| 82,82 | 9,15 | 19,52 | 24,26 | Ulkona |
| 82,28 | 8,82 | 19,29 | 23,90 | Ulkona |
| 80,40 | 24,78 | 17,13 | 20,67 | Sisällä |
| Keskiarvo | | 17,96 | 21,90 | |

Taulukko 5. Märkien puiden mittaustuloksia ilmastokosteusmittauksella.

| Mitattu ilmastokosteus %RH | Mitattu Lämpötila °C | Laskettu puun kosteus M/% | Laskettu puun kosteus U/% | Paikka |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 95,40 | 25,68 | 26,54 | 36,13 | Sisällä |
| 94,93 | 24,93 | 26,15 | 35,41 | Sisällä |
| Keskiarvo | | 26,35 | 35,77 | |

Mittaustulokset poikkeavat hieman toisistaan eri lämpötiloissa, mikä johtunee siitä, että kosteuskäyrästä on keskiarvo erilaisille puille, sekä hystereesistä puiden imiessä tai luovuttaessa kosteutta. Märkien puiden osalta (Taulukko 5) mittaustulos on liian alhainen, sillä kosteutta tiivistyi ämpärin pohjalle ja seinille sekä päällä olevaan kelmuun. Kosteus on siis selvästi suurempi kuin puunsyiden kyllästymispiste (n. 30 % Märkäpainosta).

3.3 Kosteuden määrittäminen piikkimittarilla

Vertailun vuoksi puunäytteistä tehtiin mittauksia piikkikosteusmittarilla. Käytetty mittari oli Stanley 77-030 -kosteusmittari (Kuva 1). Laite on tarkoitettu rakennusmateriaalien kosteuden mittaamiseen ja se ilmoittaa kosteuden kosteussuhteena (U). Mittaustarkkuudeksi ilmoitetaan käyttöohjeessa ± 2 %. Mittaukset tehtiin niin, että yhdestä näyteämpäristä otettiin mittauksia eri klapeista yhteensä viisi per näyteämpäri ja tuloksista laskettiin keskiarvo (Taulukko 6).



Kuva 1. Stanley-kosteusmittari. (<http://www.stanleytools.co.uk/product/176102>)

Taulukko 6. Piikkikosteusmittaukset

| Kuivat puut | | | Puolikuivat puut | | | Märät puut | | |
|-------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| mittaus | Kosteus M | Kosteus U | mittaus | Kosteus M | Kosteus U | mittaus | Kosteus M | Kosteus U |
| 1 | 12,28 | 14 | 1 | 17,36 | 21 | 1 | 30,56 | 44 |
| 2 | 12,28 | 14 | 2 | 18,03 | 22 | 2 | 30,56 | 44 |
| 3 | 12,28 | 14 | 3 | 15,97 | 19 | 3 | 30,56 | 44 |
| 4 | 12,28 | 14 | 4 | 16,67 | 20 | 4 | 30,56 | 44 |
| 5 | 12,28 | 14 | 5 | 18,70 | 23 | 5 | 30,56 | 44 |
| keskiarvo | 12,28 | 14 | keskiarvo | 17,34 | 21 | keskiarvo | 30,56 | 44 |

Kuivien puiden kosteus näytti samaa arvoa joka mittauksella. Puolikuivissa puissa oli pientä vaihtelua eri mittausten välillä. Märästä puusta kosteus näytti >44 % arvoa joka mittauksella, eli mittaus meni yli asteikon. Kuivien ja puolikuivien osalta mittaustulokset ovat varsin lähellä ilmankosteusmittauksella saatuja tuloksia. Märkien puiden osalta tuloksissa on suuriakin eroja. Kummankaan mittaustavan ei kuitenkaan edes odoteta toimivan yli 30 % kosteuksissa märkämpäriä kohti.

3.4 Kosteuden määrittäminen punnitus-kuivaus-menetelmällä

Kuivaus suoritettiin aivan tavallisella kotitalousuunilla ja punnitus keittiövaivalla. Kummankaan välineen tarkkuuksista ei ole tietoa. Kuivattava näyte otettiin leikkaamalla näyteklapeista ohuita lastuja jotta kuivuminen olisi nopeaa (Kuva 2). Lastut leikattiin puukolla vasaraa apuna käyttäen. Lastut punnittiin teräsvaivalla mutta kuivaus tehtiin uunipellillä, jotta lastut saavat olla ilmavammin, ja kuivuisivat nopeasti (Kuva 3). Lastuja leikattiin niin paljon, että ennen kuivausta näytteen massa oli noin 300 g.



Kuva 2. Lastujen leikkaus



Kuva 3. Kuivaus uunissa

Taulukko 7. Punnitus ja kuivaus -tulokset

| Punnitus ja kuivaus -mittauksen tulokset, massat grammoina | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|
| | astia (m1) | näyte alussa | yhteensä alussa (m2) | yhteensä lopussa (m3) | kosteutta haihtunut | kosteus M | kosteus U |
| Kuiva | 348 | 310 | 658 | 622 | 36 | 11,61 % | 13,14 % |
| Puolikuiva | 348 | 296 | 644 | 592 | 52 | 17,57 % | 21,31 % |
| Märkä | kovasti homeessa, ei kuivattu | | | | | | |

Kosteuden laskeminen on esitetty kappaleessa 2.7.1. Kappaleessa on myös esimerkkilasku puolikuivan näytteen kosteuden laskemiselle. Mittaustulokset vastaavat hyvin aiemmin saatuja tuloksia (Taulukko 8). Saatujen mittaustulosten perusteella voidaan odottaa tasapainokosteuteen perustuvan mittaustavan olevan tarkkuuden puolesta kelvollinen kuivurin ohjaamiseen.

Taulukko 8. Yhteenveto mittaustuloksista

| Yhteenveto, kosteus kokonaispainosta (M) | | | |
|--|--------|-------------|-------|
| | Kuivat | Puolikuivat | Märät |
| Tasapainokosteus | 11,89 | 17,96 | 26,35 |
| Piikkimittaus | 12,28 | 17,34 | 30,56 |
| Punnituskuivaus | 11,61 | 17,57 | - |

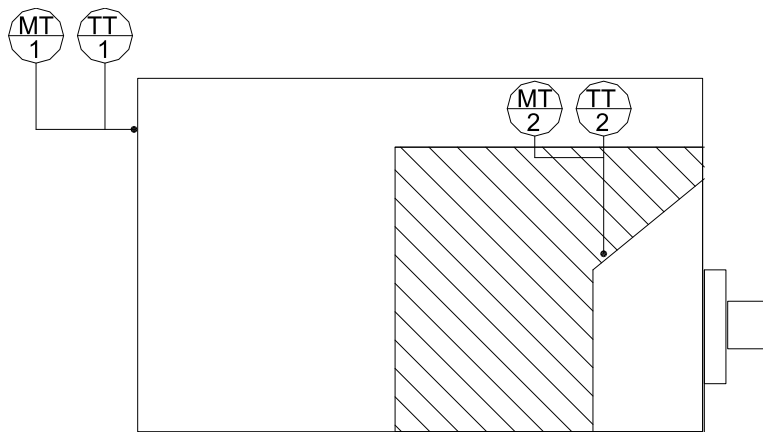
Märät puut olivat päässeet homehtumaan niin pahasti, ettei niitä kuivattu ollenkaan homeen pölyämisen välttämiseksi. Märkien puiden todellinen kosteus jäi arvoitukseksi, mutta sen on oltava yli 30 %, koska puista irtosi vettä astian pohjalle. Kosteuden määrittäminen ilmankosteuden perusteella antaa selkeästi liian alhaisen kosteuden, kun puut ovat märkiä. Tämä seikka täytyy todennäköisesti huomioida kuivauksen alkuvaiheessa, jotta kuivuri ei seiso turhaan. Alkuvaiheen tehokas kuivaus on kuitenkin kriittisintä polttopuiden laadun säilymisen kannalta. Uudesta kuivauserästä kannattanee määrittää kosteus punnituskuivauksesta ja ohjata kuivuria alkuvaiheessa tämän arvon mukaan.

3.5 Mittausjärjestely kuivurille

Kuivurin ohjaus päätettiin toteuttaa tasapainoilmankosteuteen perustuvalla mittauksella. Kuvio 10 esittää anturien sijoituksen. Puukasan anturille keksittiin paikka, jossa sen uskotaan mittaavan edustavasti ja olevan suojassa kolhimiselta. Anturi sijoitetaan kuivurin takaosassa olevan pienen tilan kaltevalle osuudelle. Anturin päälle on tarkoitus laittaa suojaritilä tai pelti, jotta klapit eivät kolhi sitä. Korkealle sijoitettuna anturi on suojassa myös kauhakuormaajalta. Ulkoilman kosteus ja lämpötila mitataan rakennuk-

sen pohjoisen puoleiselta ulkoseinältä. Molemmissa mittauksissa anturina on Rixen TRH-300, joka mittaa sekä ilmankosteutta että lämpötilaa. Anturin ulostulo on 4...20 mA ja mittausalue 0...100 % RH ja -40...+60 °C.

Kuivurin ohjaukseen päätettiin ottaa alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen myös toinen kuivuri, joka sijaitsee samoissa tiloissa kuin ensimmäinenkin. Kuivurit ovat erotettu toisistaan väliseinällä. Tälle toiselle kuivurille ei kuitenkaan hankittu omaa anturia, vaan puiden kosteus saadaan ainoastaan käsin syöttämällä. Jos kosteusmittaus tasapainokosteuden perusteella osoittautuu toimivaksi käytännössä, hankitaan myöhemmin toinen anturi.



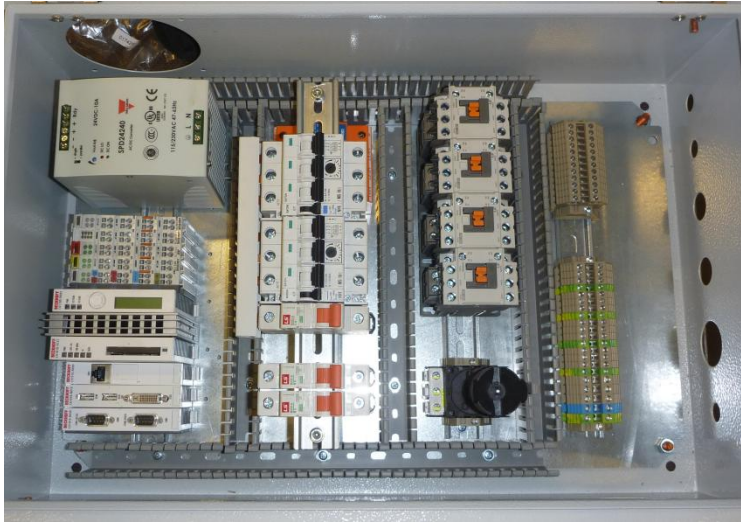
Kuvio 10. Mittauspisteet

3.6 Kuivurin sähkökeskus

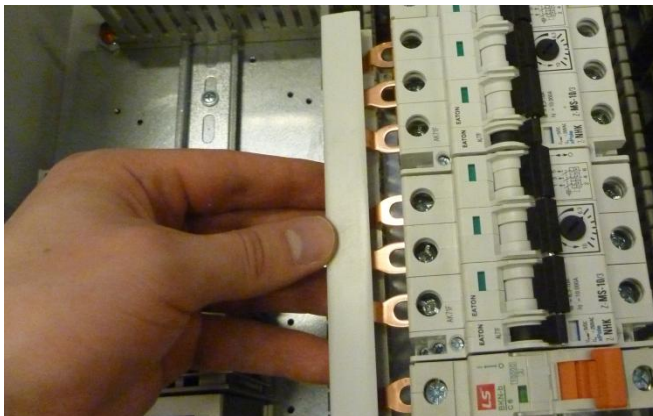
Klapikuivurin sähkökeskuksen sähkökaaviot piirrettiin ja komponentit hankittiin Metecnon toimesta. Kuivurin piirikaavio, jonka mukaan keskus rakennettiin, on liitteessä 1. Koteloksi valittiin toisessa Metecnon tuotteessa käytettävä kotelo, johon asennuskiskojen ja kourujen mitat ja paikat oli valmiiksi määriteltä. Kotelon kannessa oli valmiiksi sopivat aukot pääkytkimelle, käsiohjauskytkimille ja aukko johon moottorinsuoja- ja johdonsuojakatkaisijat saadaan näkyville. Katkaisijan voi täten kytkeä avaamatta kotelon kantta. Kotelossa oli myös valmiit tuuletusaukot.

Keskuksen kokoaminen aloitettiin asennuskiskojen ja kourujen sahaamisella. Asennusruuveja varten oli pohjalevyssä valmiit reiät, jolloin asennuskiskojen paikoilleen asentaminen oli yksinkertaista valokuvan perusteella. Kun kiskot ja kourut olivat paikoil-

laan, haettiin komponenteille sopivat paikat. Logiikka ja jännitelähde eivät mahtuneet valmiisiin kiskoihin, joten niille lisättiin vielä yksi kisko kotelon yläreunaan. Paikoilleen asetetut komponentit näkyvät kuvassa 4. Moottorisuojien ja jännitelähteen syötöt yhdistettiin yhdistyskiskolla toisiinsa (Kuva 5).



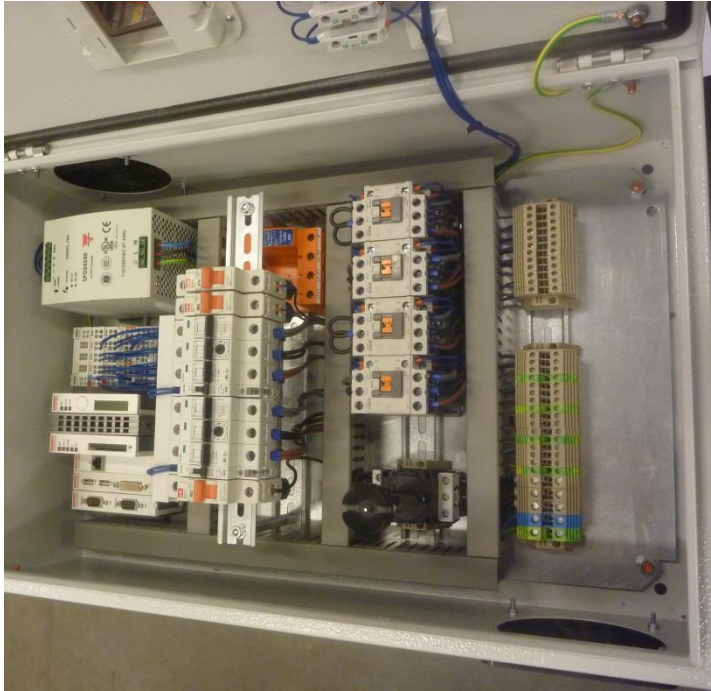
Kuva 4. Kotelo ennen johdotusta



Kuva 5. Yhdistyskisko

Kun komponentit oli saatu paikoilleen, aloitettiin johdottaminen. Ensimmäisenä kytkettiin kotelon ja kannen maadoitukset. Muut johdot kytkettiin siten että paksuimmat johdot vedettiin pohjalle ensimmäisenä ja ohuimmat päälle. 24 voltin ohjaussähköt johdettiin viimeisenä. Johdotuksessa käytettiin pääteholkkeja. Jokaiseen monisäikeiseen johtoon laitettiin pääteholkki, paitsi kun johto kytkettiin jousivoimaliittimeen. Tällöin johto kytkettiin ilman holkkia. Jousivoimaliittimiä oli vain logiikan liittimissä.

Johdot on jaettu siten, että 230 V johdot kulkevat kotelon vasemmassa reunassa ja 24 V johdot oikealla. Valmiille kotelolle (Kuva 6) tehtiin käyttöönottotarkastus, jossa mitattiin maadoituksen jatkuvuus ja eristysresistanssi. Eristysvastusmittausta varten piti irrottaa PELV-johto ja ylijännitesuoja, ettei logiikka tai ylijännitesuoja hajoa. PELV-johdolla yhdistetään ohjausjännitteen miinus-napa samaan potentiaaliin suojamaan kanssa.



Kuva 6. Johdotettu kotelo

3.7 Kuivurin PLC-ohjelma

Logiikkaohjelma tehtiin pääsääntöisesti FBD-ohjelmointikielellä, mutta jotkin toiminnot ohjelmoitiin ST-kielellä, kun se oli yksinkertaisempaa. Kaikki yksittäiset toiminnot tehtiin omiksi toimilohkoiksi (Function Block), jotka liitettiin toisiinsa tulojen ja lähtöjen avulla. Tällöin yksittäisen lohkon sisällä tehtävät muutokset eivät aiheuta muutoksia ohjelman muihin toimintoihin tai sekoita niitä.

Erilaiset toimintakokonaisuudet ohjelmoitiin omiin aliohjelmiinsa joita kutsutaan pääohjelmasta. Pääohjelman ainoa toiminto onkin kutsua aliohjelmiä. Aliohjelmiä ovat mm. ”tulojen luku”, jossa analogiatulot skaalataan, tai ”kello”, jossa suoritetaan eri toimintojen ajastus. Pää- ja aliohjelmat esitetään liitteessä 2.

Toisen kuivurin ohjausta varten kopioitiin tarvittavat toiminnot ja muuttujat. Muuttujien ja aliohjelmien nimen perään lisättiin numero kaksi. Lisäksi tulot ja lähdöt vaihdettiin kopioiduissa osissa viittaamaan toisen kuivurin käyttämiin tuloihin ja lähtöihin. Vastavasti kopioimalla olisi mahdollista lisätä samaan ohjelmaan useampiakin kuivureita.

3.7.1 Aliohjelma Tulojen_luku

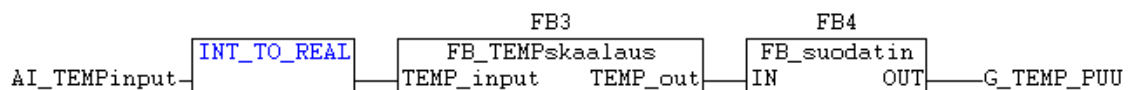
Kaikki tulot luetaan joka ohjelmakierroksella ja 4...20 mA analogiatulojen arvot tulevat I/O-kortilta kokonaislukuna väliltä 0...32767. Tulojen lukuvaiheessa analogiatulot muutetaan liukuluvuiksi ja skaalataan mitta-alueiden mukaisesti. Työssä tarvitsi skaalata ilmakeuhemittaus alueelle 0...100 % RH ja Lämpötila alueelle -40...+60 °C. Skaalauskerroin saadaan laskettua seuraavasti:

$$\frac{\text{haluttu alueen leveys}}{\text{alkuperäinen alueen leveys}} = \frac{100}{32767} = 327,67 \quad (9)$$

Molemmissa mittauksissa alueet ovat yhtä leveät, joten kerroin on sama molemmissa mittauksissa. Lämpötilamittauksessa aloituspiste on kuitenkin -40 °C joten tämän verran pitää vielä vähentää skaalatusta arvosta ennen kuin se on oikein (Kuvio 11). Mittauksille laitettiin vielä suodatus kohinan vähentämiseksi. Suodatus tehdään laskemalla liukuva keskiarvo neljästä viimeisimmästä mitta-arvosta. Kuvio 12 esittää koko skaalaustoimenpiteen lämpömittaukselle kuten se on ohjelmassa.



Kuvio 11. Skaalaus Lämpömittaukselle



Kuvio 12. Lämpömittauksen skaalaus ja suodatus

3.7.2 Aliohjelma Kello

Aliohjelmassa nimeltä Kello suoritetaan toimintojen ajastamiset. Ensimmäiseksi ohjelma antaa tämänhetkisen kellonajan TIME_OF_DAY-tyyppisenä muuttujana, jota käytetään vertailukohtana ajastuksissa. Puhallin ei saa käydä yöaikaan, meluhaittojen takia, joten puhaltimen ohjaukselle annetaan sammutuskäsky käyttäjän yöksi määrittelemälle aikavälille.

Käyttäjä saa määritellä sammutus- ja käynnistysajat minuutin tarkkuudella. Ohjelma laskee, kuinka monta tuntia yön pituudeksi tulee. Kosteusmittaus suoritetaan aikasammutuksen laskevalla reunalla, jotta ilmankosteus ehtii tasoittua mahdollisimman hyvin puukasan sisällä. Kosteusmittaus voidaan tehdä myös käyttäjän toimesta ohjausnäytöltä.

3.7.3 Aliohjelma Mittausvaihe

Mittausvaiheessa puukasan ilmankosteudesta ja lämpötilasta lasketaan puun tasapainokosteus. Tasapainokosteus lasketaan jatkuvasti, mutta siirretään ohjauksessa käytettäväksi arvoksi vain, kun ohjelma antaa mittausluvan. Ulkoilmasta lasketaan myös jatkuvasti, mikä on alin saavutettavissa oleva puiden kosteus. Tätä saavutettavissa olevaa kosteutta vertaamalla puun kosteuteen, saadaan selville kannattaako puhallinta käyttää.

Ohjelmassa on myös mahdollista syöttää manuaalisesti mitattu puun kosteus. Valintalohkolla määritetään käytetäänkö käsin syötettyä vai automaattisesti mitattua arvoa. Käsin syötetyn arvon saa syöttää kosteutena kokonaispainosta tai kosteutena kuivapainosta, jotta käyttäjän ei itse tarvitse laskea muunnosta eri ilmoitustapojen välillä.

3.7.4 Aliohjelma Datalog

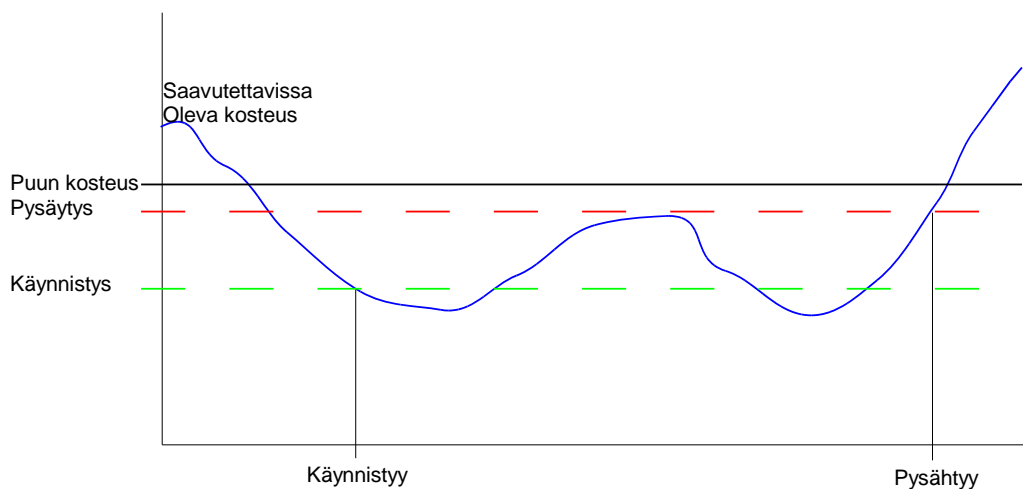
Datalogaus suoritetaan Metecnolta saadulla toimilohkolla, joka tallentaa halutut arvot CSV(Comma Separated Values)-tiedostoon. CSV-tiedosto on helppo tuoda taulukkolaskentaohjelmaan myöhempää tarkastelua varten. Toimilohkoon saa kytkettyä aikaleiman ja 20 tuloa, joiden on oltava reaalityypisiä. Lisäksi lohkon tuodaan tallennettavan tiedoston nimi ja hakemistopolku sekä aktivointibitti ja näytteenottotaajuus.

Lohkossa tulot yhdistetään merkkijonoksi, jossa eri arvot on erotettu puolipisteellä. Merkkijono tallennetaan näytteenottovälein tiedostoon, joka luodaan tai avataan aktivointibitin kytkeytyessä päälle. Tiedosto suljetaan kun aktivointibitti kytketään pois päältä.

3.7.5 Aliohjelma Ohjaus

Ohjauksessa verrataan saavutettavissa olevaa puun kosteutta mitattuun puun kosteuteen. Ensimmäisessä tähän työhön tehdyssä ohjauksessa tarkkailtiin, millä ulkoilman kosteudella kuivuminen on mahdollista ja kuivuri ohjattiin päälle, kun ilmankosteus laski alle tämän rajan. Puun kosteuksien vertaamista pidettiin kuitenkin käyttäjän kannalta selkeämpänä tapana hoitaa puhaltimen ohjausta.

Ohjaus haluttiin tehdä niin, että kuivuri ei käynnisty heti kun saavutettavissa oleva kosteus laskee alemmaksi kuin puiden kosteus. Käynnistys tapahtuu vasta kun saavutettavissa oleva kosteus on selkeästi alle nykyisen kosteustason ja lisää kuivumista voidaan selvästi odottaa tapahtuvan. Näin vältetään puhaltimen pyörittäminen turhaan. Käynnistuksen ja pysäytyksen väliin myös asetellaan hystereesiä, etteivät aivan pienet muutokset olosuhteissa aiheuta jatkuvia sammutuksia ja suurivirtaisia käynnistyksiä (Kuvio 13). Sammutusraja asetellaan niin että se on korkeampi kuin käynnistysraja, mutta alle saavutettavissa olevan kosteuden. Sopivat rajat haetaan käyttökokemuksien kautta, kun kuivuri on otettu käyttöön.



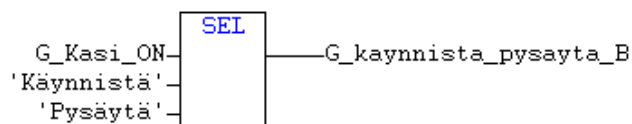
Kuvio 13. Puhaltimen ohjausperiaate

3.7.6 Aliohjelma Nayton_aputoiminnot

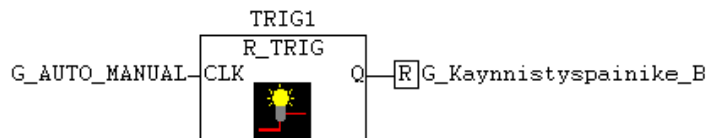
Tässä aliohjelmassa suoritetaan kaikki ohjausnäyttöjen tekstien ja painikkeiden vaatimat lisätoiminnot. Esimerkiksi useisiin painikkeisiin tulee vaihtuvat tekstit. Painikkeeseen ei voi määrittellä eri tekstivaihtoehtoja, mutta painikkeen voi määrittellä näyttämään muuttujan arvoa, jolloin saadaan merkkijonomuuttujilla (STRING) tehtyä vaihtoehtoisia tekstejä. Muuttujien avulla voidaan myös muuttaa näyttöobjektien värejä ja sijainteja, sekä näkyvyyttä.

Esimerkiksi käsikäytön Käynnistä/Pysäytä painikkeelle tuodaan haluttu teksti valintalohkolla niin, että ”käy”-tilan ollessa päällä näytetään painikkeessa ”pysäytä”-tekstiä (Kuvio 14). Painike ohjelmoitiin myös sellaiseksi, että käsikäynnistys nollataan seis-tilaan aina, kun ohjaus vaihdetaan takaisin automaattiohjaukselle (Kuvio 15).

Käsikäynnistysnapin tekstit



Kuvio 14. Valintalohkon käyttö tekstin valintaan



Kuvio 15. Käsikäynnistyksen nollaus

3.7.7 Aliohjelma Lahtojen_ohjaus

Lähtöjen ohjauksessa asetetaan I/O-lähtöjä ohjaavat muuttujat. Tämän työn ainoat lähdöt liittyvät moottorin ohjaukseen. Moottori tarvitsee tähti-kolmiokäynnistyksen, joten ohjaus tapahtuu kahdella kontaktorilla, joista ensimmäinen kytkee moottorin tähteen ja toinen kolmioon. Tähti- ja kolmiokytkennät eivät saa olla yhtä aikaa päällä. Tämä estetään ohjelman lukituksilla, sekä myös johdottamalla kontaktorien ohjaus toisen kontaktorin avautuvan koskettimen kautta.

Tähti-kolmiokäynnistykselle tehtiin oma toimilohko, joka ohjaa käynnistyskäskyn kontaktoreille. Käynnistyksessä moottori kytketään ensin tähteen ja alkukiihdytyksen jälkeen kolmioon. Se kuinka pitkään moottoria pidetään tähtikytkennässä, on määriteltävissä toimilohkon tulossa. Lohkon sisällä on myös ajastettu 0,2 s viive tähdestä kolmioon vaihdolle, jolloin kumpikaan kontaktori ei vedä. Tällöin kontaktorit ehtivät varmasti vaihtaa tilaansa ja yhtäaikaista kytkentää ei tapahdu.

3.8 Ohjausnäytöt

Ohjausnäytöt tehtiin PLC Controllilla, kuten PLC-ohjelmakin. Samalla ohjelmistolla tehtävissä näytöissä oli etuna se, että muuttujia ei tarvinnut erikseen yhdistää PLC-ohjelman ja näyttöohjelman välillä. Muuttujat saatiin yhdistettyä painikkeisiin ja näyttöpaneeliin yms. suoraan muuttujan nimellä. Lisäksi muuttujien kutsuihin oli mahdollista lisätä toimintoja, kuten laskutoimituksia ja bittilogiikkaoperaattoreita.

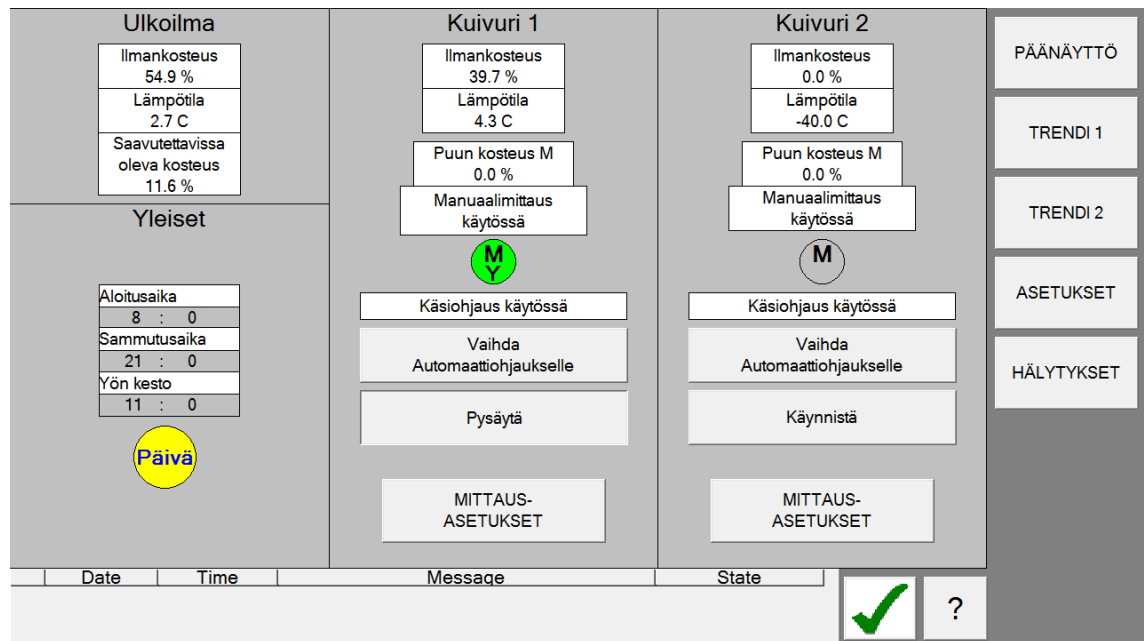
Kaikilla näytöillä on yhteinen tausta, jossa on painikkeet näytöstä toiseen siirtymiseen, hälytyslista, kuittauspainike ja infopainike, jolla saa ohjetekstejä näkyviin. Tausta tehdään omana näyttönään, joka asetetaan ns. master-layoutiksi, jolloin se näkyy kaikkien näyttöjen taustalla.

3.8.1 Päänäyttö

Päänäyttö antaa yleiskuvan laitteen tilasta (Kuvio 16). Yhdellä silmäyksellä näkee molempien kuivurien tilan, sekä ulkoilman mittausarvot. Lisäksi näytetään aikasammutuksen asetukset ja tila. Kuivureiden ohjauspainikkeet sijaitsevat myös tässä näytössä. Käynnistyspainike on piilotettuna kuivurin ollessa automaattiohjauksella ja näkyvissä vain käsiohjauksella. Yksittäistä kuivuria koskevan hälytyksen ollessa päällä, muuttuu tausta ko. kuivurin kohdalta punaiseksi. Tällöin on helppo huomata jos kuivurin toiminnassa on vikaa.

Kuivureille tehtiin myös omat näytöt, mutta ne poistettiin lopullisesta versiosta. Syynä tähän oli se että yksittäisnäytössä ei ollut mitään mikä ei olisi jo päänäytöstä tullut sel-

ville, joten tarpeettomat näytöt olisivat vain tehneet visualisoinnista sekavamman käyttä.



Kuvio 16. Päänäyttö

Mittausasetukset-painikkeesta avautuu näyttö, jossa voidaan valita käytettävä mittaustapa (Kuvio 17). Vihreä tausta kertoo, kumpi mittaustapa on käytössä. Lisäksi voidaan syöttää manuaalisella mittauksella saatu kosteusprosentti tai päivittää automaattisen mittauksen arvo. Käsillä syötettävän kosteusprosentin mittayksikkö voidaan valita, jotta käyttäjän ei tarvitse itse laskea muunnosta. Yläreunassa ilmoitetaan kosteudet sekä kuivapainosta että märkähainosta.

| Kuivuri 1 | | | |
|--|------|--|-------|
| Manuaalimittaus Nykyinen mittausarvo % märkápainosta 11 Nykyinen mittausarvo % kuivapainosta 12.35955 Valittu mittayksikkö % märkápainosta (M) % Märkápainosta % Kuivapainosta Syötä manuaalimittauksen arvo 0 Käytä | | Automaattimittaus Nykyinen mittausarvo % märkápainosta 12.38823 Nykyinen mittausarvo % kuivapainosta 14.13992 Hae nyt puun kosteuden arvo ilmankosteusmittauksella Automaattimittaus käytössä Vaihda Manuaalimittaukselle | |
| | | PÄÄNÄYTTÖ KUIVURI 1 KUIVURI 2 TRENDI 1 TRENDI 2 ASETUKSET HÄLYTYKSET | |
| Date | Time | Message | State |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ? | |

Kuvio 17. Mittausasetukset -näyttö

Puhaltimien tilaa esittävät kuvakkeet (Kuvio 18) muuttuvat eri tilojen mukaan. Normaalisti sammuksissa ollessa kuvake on harmaa. Käydessä kuvake on vihreä ja Y- tai D-kirjain ilmaisee onko moottori tähdessä vai kolmiossa. Punainen kuvake tarkoittaa, että kyseiselle moottorille on tullut häiriö, kuten moottorisuoja on lauennut tai valvontahäiriö.



Kuvio 18. Moottorin tilaa esittävät kuvakkeet

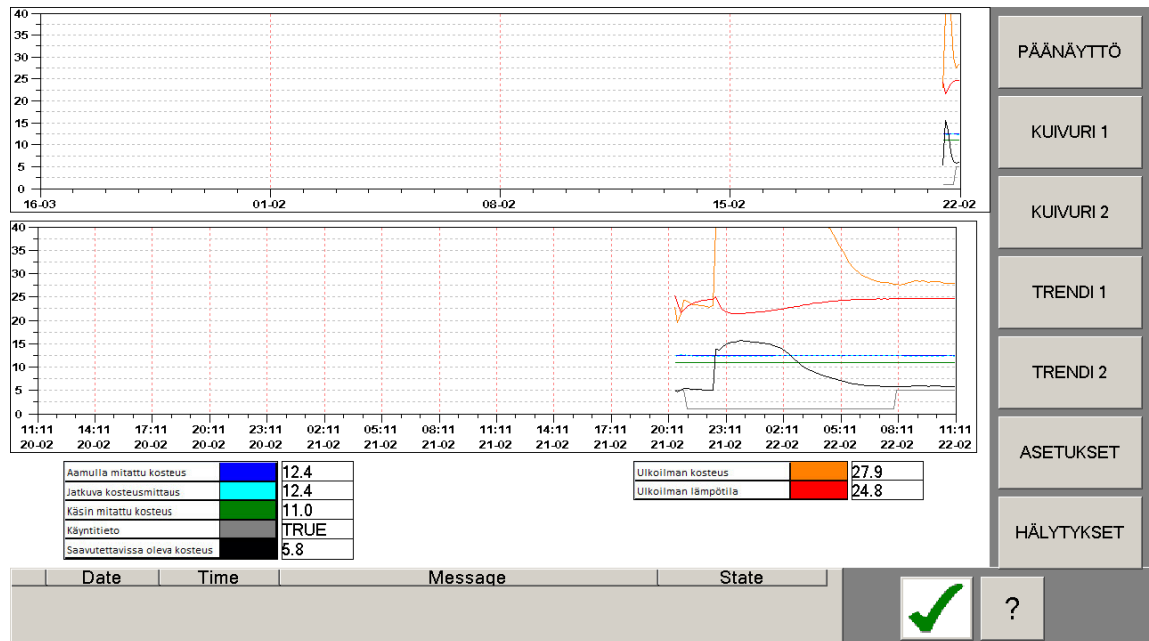
3.8.2 Trendinäytöt

Trendinäytössä on kaksi trendiä, pitkä ja lyhyt (Kuvio 19). Lyhyt trendi näyttää tiedot kahden vuorokauden ajalta ja pitkä näyttää neljän viikon tiedot. Asteikko on nolasta neljäänkymmeneen. Tämä valittiin, koska useimmat tiedot trendissä pysyvät tällä alueella, ainoastaan ilmankosteus voi normaalitilanteissa nousta tätä korkeammalle. Kummallekin kuivurille on omat trendinsä.

Trendeihin valittuja tietoja ovat:

- aamulla mitattu kosteus
- jatkuva kosteusmittaus
- käsillä mitattu kosteus
- saavutettavissa oleva kosteus
- ulkoilman kosteus ja lämpötila
- käyntitieto

Nämä tiedot tallennetaan myös lokitiedostoihin dataloggauksessa ja hetkellisarvot näytetään ruudun alareunassa. Käyntitieto on skaalattu trendiin siten, että TOSI-tilaa vastaa arvo 5 ja EPÄTOSI-tilaa vastaa arvo 1. Tällöin käyrä on kokoajan näkyvässä trendin alareunassa.



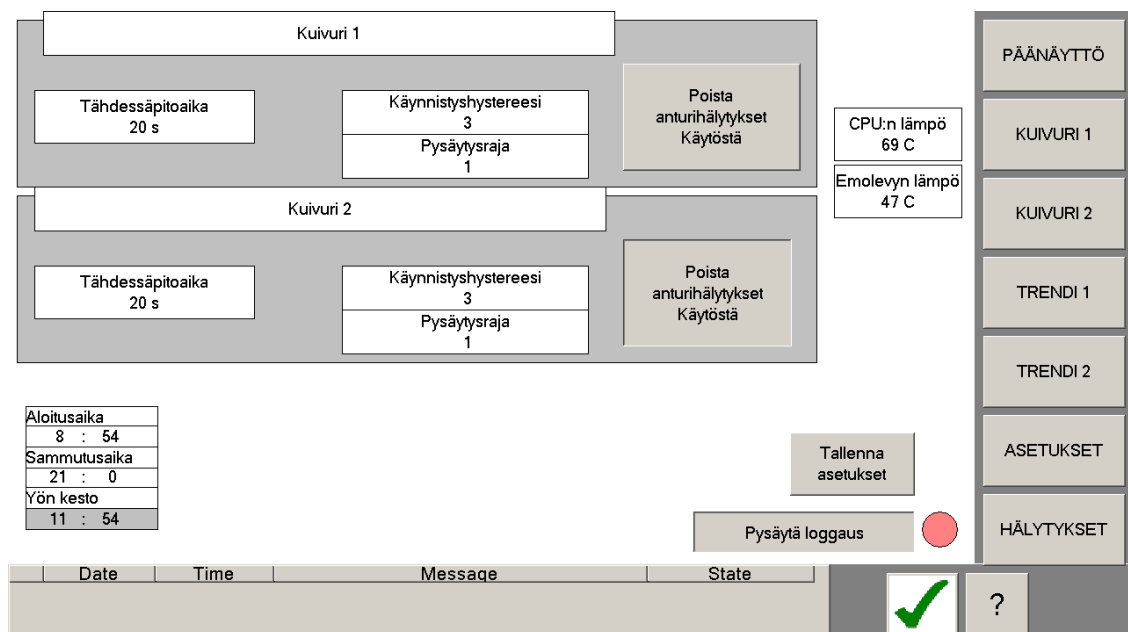
Kuvio 19. Trendinäyttö

3.8.3 Asetusnäyttö

Asetusnäytössä asetetaan puhaltimen yleistä toimintaa ohjaavat asetukset (Kuvio 20). Käynnistys- ja sammutusajat ovat muutettavissa täältä, kun päänäytössä ne olivat vain näkyvillä. Tähdessäpitoaika voidaan asettaa kummallekin puhaltimelle erikseen. Pysäytysraja määrää, paljonko saavutettavissa olevan kosteuden on oltava alle puusta mitatun kosteuden, jotta puhallin saa käydä. Käynnistyshystereesi taas kertoo, paljonko saavu-

teltavissa olevan kosteuden on oltava alle pysäytysrajan, jotta puhallin voidaan käynnistää. Toimintaperiaate on selostettu tarkemmin kappaleessa 3.7.5.

Poista anturihälytykset käytöstä -painikkeella saadaan estettyä anturin vioista johtuvat hälytykset, jos kyseistä anturia ei ole asennettu. Kuten tässä työssä toiselle kuivurille ei vielä asenneta. Anturin lisäyksen jälkeen hälytykset voidaan kytkeä käyttöön jolloin saadaan tieto mahdollisista vioista. Tallenna asetukset -painikkeella saadaan asetukset tallennettua pysyvään muistiin siten, että asetukset säilyvät mahdollisen sähkökatkon yli. Asetusarvot tulevat käyttöön kuitenkin heti kun ne on syötetty, vaikkei niitä tallennettaisi. Näytössä on myös PLC-ohjaimen prosessorin ja emolevyn lämpötilat näkyvisissä, koska ylikuumeneminen aiheutti ongelmia ohjelman testauksessa ja lämpöjä piti tarkkailla.



Kuvio 20. Asetusnäyttö

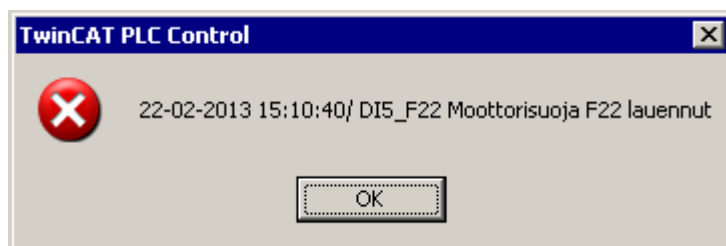
3.8.4 Hälytysnäyttö ja hälytykset

Hälytysnäyttö (Kuvio 21) sisältää hälytystaulukon, jossa näkyvät kaikki hälytykset sama taulukko on myös joka näytön taustassa pienempänä. Hälytysnäytössä on kuitenkin enemmän tilaa hälytyslistalle. Hälytykset järjestellään listalle niiden prioriteetin mukaan, tärkeimmät ensin. Vihreällä kuittauspainikkeella saadaan hälytykset kuitattua. Punaisilla reunuksilla myös korostetaan taustassa hälytysten voimaantuloa.

| | Date | Time | Message | Expression | State | |
|---|------------|----------|--------------------------------------|---------------------|-------|--|
| 0 | 22-02-2013 | 14:42:37 | Moottorisuoja F21 lauennut | DI2 F21 | INTO | PÄÄNÄYTTÖ |
| 1 | 22-02-2013 | 14:41:01 | Moottorisuoja F22 lauennut | DI5 F22 | ACK | |
| 2 | 22-02-2013 | 14:42:37 | Moottorin 1 tila ei vastaa pyydettyä | AL_valvontahairio 1 | INTO | |
| 3 | 22-02-2013 | 14:41:01 | Moottorin 2 tila ei vastaa pyydettyä | AL_valvontahairio 2 | ACK | |
| | | | | | | KUIVURI 1 |
| | | | | | | KUIVURI 2 |
| | | | | | | TRENDI 1 |
| | | | | | | TRENDI 2 |
| | | | | | | ASETUKSET |
| | | | | | | HÄLYTYKSET |
| | Date | Time | Message | State | | |
| 0 | 22-02-2013 | 14:42:37 | Moottorisuoja F21 lauennut | INTO | | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 1 | 22-02-2013 | 14:41:01 | Moottorisuoja F22 lauennut | ACK | | |
| 2 | 22-02-2013 | 14:42:37 | Moottorin 1 tila ei vastaa pyydettyä | INTO | | |

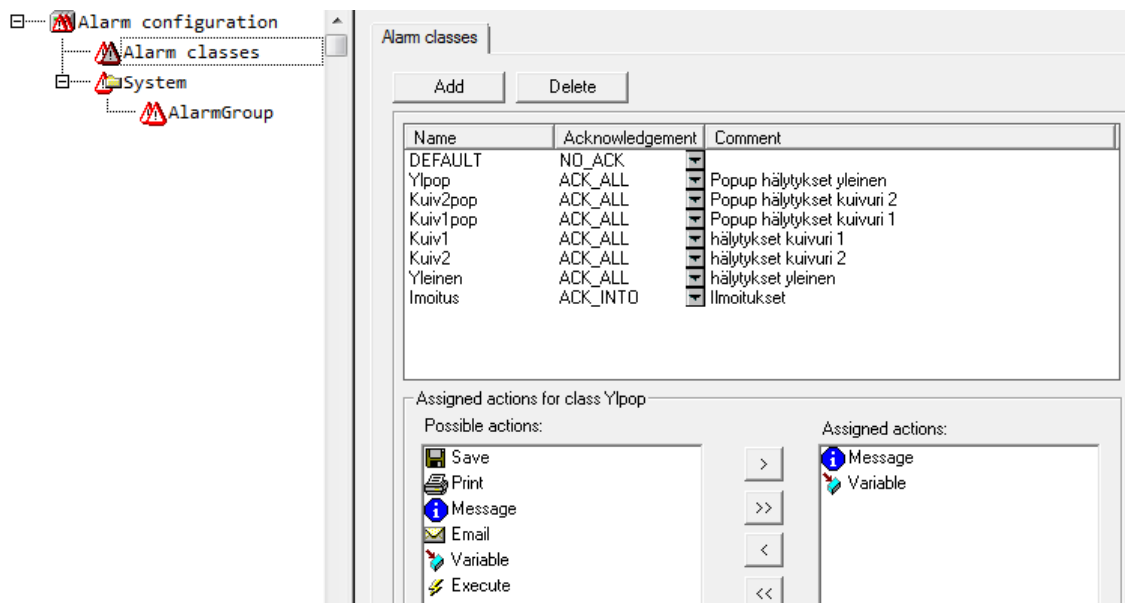
Kuvio 21. Hälytysnäyttö

Kuittaamattomat hälytykset ovat listalla INTO-tilassa ja kuitatut ACK-tilassa. Kun hälytys ei ole voimassa menee se OUTOF-tilaan, jolloin sen voi poistaa listalta kuittaamalla uudestaan. Osa vähemmän tärkeistä hälytyksistä, kuten ilmoitus aikasammutuksesta, näkyy listalla vain kun ne ovat voimassa ja poistuvat ilman kuittausta. Moottorisuojien ja ylijännitesuojan laukeamisesta ilmoitetaan lisäksi ruudulle aukeavalla viestikunalla (Kuvio 22).



Kuvio 22. Hälytysviesti

Hälytykset jaetaan erilaisiin luokkiin sen mukaan, mitä toimintoja suoritetaan hälytyksen tullessa voimaan (Kuvio 23). Molemmille kuivureille sekä yleisille hälytyksille on kaksi luokkaa kullekin. Ensimmäisessä asetetaan päälle hälytysmuuttuja, jota käytetään näytöllä vikakohdan värin muuttamiseen. Varsinaiset lukitukset on ohjelmoitu PLC-ohjelmaan. Toisessa luokassa on hälytysmuuttujan lisäksi ilmoitusviesti, kuten kuviossa 22. Lisäksi on ilmoitukset-luokka, jossa hälytys näytetään listalla niin kauan, kuin se on voimassa.



Kuvio 23. Hälytysluokat

Varsinaiset hälytykset voidaan tehdä eri ryhmiin, joista voidaan hälytystaulukkoon valita näkyväksi yksi ryhmä tai kaikki ryhmät. Aluksi hälytykset jaettiin eri ryhmiin, mutta tästä aiheutuneiden ongelmien takia kaikki hälytykset laitettiin lopulta yhteen ryhmään (Kuvio 24). Eri ryhmiin jaetut hälytykset toimivat hyvin PLC Controllilla eli ohjelmointiympäristöllä testatessa, mutta loppukäytössä käytettävässä visualisointiohjelmassa hälytyslista oli tyhjä. Visualisointiohjelma ei ilmeisesti tue kuin yhden ryhmän näyttämistä hälytyslistalla. Asia selvisi, kun ohjelmaa kokeiltiin PLC Controllin vanhemmalla versiolla, joka ei myöskään tukenut muuta, kuin yhden ryhmän näyttämistä hälytyslistalla ja antoi tästä virheilmoituksen. Ongelman selvittämiseen kului aikaa lähes viikko, koska kyseistä ominaisuutta ei ole dokumentoitu käyttöohjeisiin, eikä teknisesti tuesta osattu auttaa asiassa.

Hälytyksen määrittelyssä valitaan hälytyksen aiheuttava muuttuja, hälytyksen tyyppi, digitaalinen tai analoginen. Analogiselle muuttujalle voidaan valita ylä- tai alaraja, sekä lisäksi erilaisia muutosnopeuksia seuraavia tyyppejä. Hälytysluokka valitaan aiemmin määritellyistä luokista. Prioriteetti määritellään myös tässä vaiheessa. Lisäksi voidaan kirjoittaa kuvaava viesti hälytykselle ja mahdollinen deaktivointimuuttuja, jolla hälytys saadaan pois käytöstä. Deaktivointimahdollisuus asetettiin anturivioille, koska kaikkia antureita ei asenneta. Tällöin johto irti -hälytystä on turha näyttää puuttuvalle anturille. Erilaisia hälytyksiä määritettiin kaikkiaan 24 kappaletta.

| Expression | Type | Class | Priority | Message | Deactivation | Id |
|--------------------|-------|----------|----------|---|----------------|----|
| D11_OVP | DIG=1 | Yipop | 0 | Ylijännitesuoja lauennut | | 0 |
| D12_F21 | DIG=0 | Kuiv1pop | 0 | Moottorisuoja F21 lauennut | | 1 |
| D15_F22 | DIG=0 | Kuiv2pop | 0 | Moottorisuoja F22 lauennut | | 2 |
| AL_valvontahairo_1 | DIG=1 | Kuiv1 | 1 | Moottorin 1 valvontahairo | | 3 |
| AL_valvontahairo_2 | DIG=1 | Kuiv2 | 1 | Moottorin 2 valvontahairo | | 4 |
| AL_A11_IRTI | DIG=1 | Yleinen | 2 | Ulkoilman kosteusmittaus - johto irti(TE-1) | | 5 |
| AL_A12_IRTI | DIG=1 | Yleinen | 2 | Ulkoilman lämpömittaus - johto irti(TE-1) | | 6 |
| AL_A13_IRTI | DIG=1 | Kuiv1 | 3 | Kuivurin 1 kosteusmittaus - johto irti(TE-2) AL_Vaimenna... | | 7 |
| AL_A14_IRTI | DIG=1 | Kuiv1 | 3 | Kuivurin 1 lämpömittaus - johto irti(TE-2) AL_Vaimenna... | | 8 |
| AL_A15_IRTI | DIG=1 | Kuiv2 | 3 | Kuivurin 2 kosteusmittaus - johto irti(TE-3) AL_Vaimenna... | | 9 |
| AL_A16_IRTI | DIG=1 | Kuiv2 | 3 | Kuivurin 2 lämpömittaus - johto irti(TE-3) AL_Vaimenna... | | 10 |
| G_Aikasammutus | DIG=1 | Imoitus | 255 | Aikasammutus on käytössä | | 11 |
| AL_err_datalog_1 | DIG=1 | Yleinen | 254 | Dataloggauksessa virhe (lok1) | | 12 |
| AL_err_datalog_2 | DIG=1 | Yleinen | 254 | Dataloggauksessa virhe (lok2) | | 13 |
| AL_A11_YLI | DIG=1 | Imoitus | 4 | Ulkoilman kosteusmittaus - yli alueen(T... | | 14 |
| AL_A12_YLI | DIG=1 | Yleinen | 3 | Ulkoilman lämpömittaus - yli alueen(TE-1) | | 15 |
| AL_A13_YLI | DIG=1 | Imoitus | 4 | Kuivurin 1 kosteusmittaus - yli alueen(T... | AL_Vaimenna... | 16 |
| AL_A14_YLI | DIG=1 | Kuiv1 | 3 | Kuivurin 1 lämpömittaus - yli alueen(TE-2) AL_Vaimenna... | AL_Vaimenna... | 17 |
| AL_A15_YLI | DIG=1 | Imoitus | 4 | Kuivurin 2 kosteusmittaus - yli alueen(T... | AL_Vaimenna... | 18 |
| AL_A16_YLI | DIG=1 | Kuiv2 | 3 | Kuivurin 2 lämpömittaus - yli alueen(TE-3) AL_Vaimenna... | AL_Vaimenna... | 19 |
| SMB_CPU_TEMP | HI | Imoitus | 1 | Prosessorin lämpötila korkealla | | 20 |
| SMB_MB_TEMP | HI | Imoitus | 1 | Emolevyn lämpötila korkealla | | 21 |
| SMB_CPU_TEMP | HIHI | Imoitus | 0 | Prosessori ylikuumentunut | | 22 |
| SMB_MB_TEMP | HIHI | Imoitus | 0 | Emolevyn ylikuumentunut | | 23 |

Kuvio 24. Hälytysryhmä

3.9 Ohjelman testaus

Kun kotelo saatiin valmiiksi, alettiin ohjelmaa testata lopullisessa ympäristössään. Ohjelmaa oli tähän mennessä testattu vain PC:llä. Lopullista ohjelmaa käytetään kuitenkin Beckhoffin CX1010 sulautetulla PC-laitteella. Laitteessa on Windows XP Embedded -käyttöjärjestelmä, 256 MB RAM-muistia ja 500 MHz prosessori. Laite on siis suorituskyvyltään huomattavasti heikompi kuin tavalliset nykyaikaiset PC:t. Laitteeseen ei asennettu omaa näyttöä ja näppäimistöä, vaan sitä käytettiin Windowsin Remote Desktop Connection -etäkäyttöohjelmalla lähiverkon yli. (Beckhoff, Hardware documentation for CX1010 Embedded PC, 2008 s.11)

Aluksi CX:llä olevat TwinCAT ja HMI-ohjelma päivitettiin uusimpiin versioihin. Tämän jälkeen PLC-ohjelma siirrettiin CX:lle ja otettiin käyttöön. Ensimmäisenä huomattiin että näyttöjen fontit olivat aivan erilaisia kuin PC:llä. Syynä tähän oli se, että PC:llä käytettyä oletusfonttia ei ollut asennettuna CX:n Windowsiin. Fontti vaihdettiin sellaiseen joka löytyi molemmista käyttöjärjestelmistä vakiona.

Toinen ongelma oli aiemmin mainittu hälytyslistojen toimimattomuus, mikä saatiin myös korjattua. Pitkäaikaisessa käytössä tuli ilmi PLC-ohjelman ja koko Windowsin kaatumista. Ongelman syyksi selvisi lopulta ylikuumentuminen, kun aluksi epäiltiin ohjelmassa olevan jotain mikä aiheuttaisi kaatumisen. Ylikuumentuminen aiheutui kotelon

väärästä asennosta: Testattaessa kotelo oli selällään lattialla, eikä ilma päässyt kiertämään CX:n läpi. CX1010 on passiivisesti jäähdytetty, joten siinä ei ole tuuletinta. Kotelon nostaminen pystyasentoon auttoi pitämään lämmöt kurissa. Osaltaan ongelmaan vaikutti ohjelman raskaus. PLC-ohjelma vei 25 % prosessoriajasta ja visualisointi loput. Tyhjäkäynnillä laite ei ylikuumentunut väärässäkään asennossa.

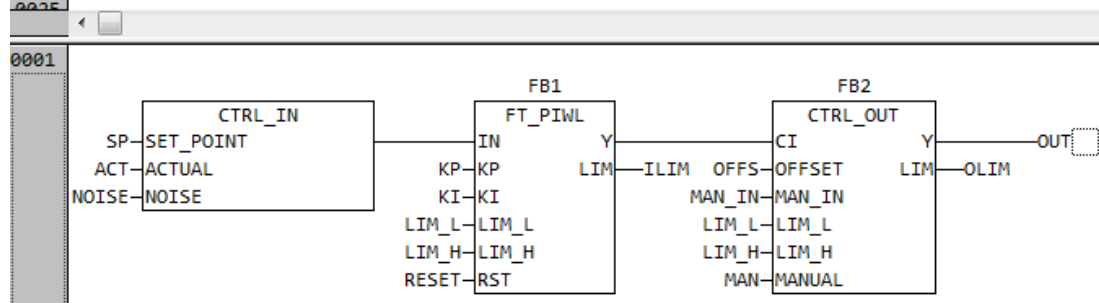
Suorituskykyä saatiin parannettua muuttamalla ohjelman kiertoaikaa 10 millisekunnista 50 millisekuntiin. Tällöin PLC-ohjelma vei vain 5 % prosessoriajasta. Ohjelmassa käytetyn PI-säädin täytyi kuitenkin virittää uudelleen, koska digitaalisen säätimen toimintaan vaikuttaa myös näytteenottoväli. Puun kosteutta laskevan PI-säätimen toiminnassa havaittiin myös puute: TwinCATin perussäätimessä ei ole toimintoa, jolla integrointiarvon kertymisen saisi estettyä, kun lähtö ei enää muutu rajoituksen takia. Tämä aiheuttaa sen että säädön palautuminen toimintaan kestää kauan.

Uusi PI-säädin otettiin avoimen lähdekoodin OSCAT-kirjastosta. OSCAT-kirjastoja voi ladata osoitteesta www.oscat.de. Sivusto on saksankielinen mutta kirjastojen dokumentit on saatavilla myös englanniksi. Sopivaa PI säädintä ei ollut valmiina mutta tarvittavat toimilohkot oman säätimen kokoamiseen oli tarjolla, näistä lohkoista koottu PI-säädin on kuvassa. Rakennettu PI-säädin pysäyttää integroinnin kun lähtö on sille määritetyllä ylä- tai alarajalla ja alkaa toimia heti kun säätö palaa toiminta-alueelleen.

```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_OMA_PI
0002 VAR_INPUT
0003   SP: REAL;      (*Asetusarvo*)
0004   ACT: REAL;     (*Oloarvo*)
0005   NOISE: REAL := 0; (*Tulon kohina. Tätä pienempiä muutoksia ei huomioida*)
0006   KP: REAL := 1;  (*Vahvistus*)
0007   KI: REAL := 1;  (*Integraattorin vahvistus. EI integrointi-aika*)
0008   RESET: BOOL := FALSE; (*resetoi integraattori*)
0009   OFFS: REAL := 0; (*Lähdön hystereesi*)
0010
0011
0012   MAN_IN: REAL;   (*manual input*)
0013   LIM_L: REAL;   (*Lähdön alaraja*)
0014   LIM_H: REAL;   (*lähdön yläaraja*)
0015   MAN: BOOL := FALSE; (*manuaalille*)
0016 END_VAR
0017 VAR_OUTPUT
0018   OUT: REAL;
0019   ILIM: BOOL;    (*integraattori rajoittimella*)
0020   OLIM: BOOL;    (*lähtö rajoittimella*)
0021 END_VAR
0022 VAR
0023   FB1: FT_PIWL;
0024   FB2: CTRL_OUT;
0025

```



Kuvio 25. Oma PI-säädin

3.10 Asennus

Uusi kuivurin kotelo asennettiin vanhan ohjauskotelon tilalle (kuvat 16 ja 17). Vanhassa kotelossa oli moottorinsuojakytkimet ja tähti-kolmio-kytkimet. Kuivuriin tulevaa anturia varten oli johdot vedetty jo valmiiksi. Moottoreille lähteviä kaapeleita jouduttiin jatkamaan, koska ne eivät yletyneet uuden kotelon liittimille. Kaapelit jatkettiin jakorasiassa (Kuva 8). Myös anturikaapeli oli liian paksua, eikä johtimia saatu kytkettyä suoraan anturille. Anturi kytkettiin ohuemmalla kaapelilla ja yhdistettiin jakorasiassa valmiiksi asennettuun kaapeliin.



Kuva 7. Vanha ohjauskotelo



Kuva 8. Uusi ohjauskeskus

Ulkoilmaa mittaava anturi asennettiin räystäään alle, missä se on suojassa sateelta ja aurinkonpaisteelta (Kuva 9). Kuivurin anturi asennettiin hieman alemmaksi kuin oli aluksi suunniteltu, jotta se olisi paremmin klapikasan sisällä (Kuva 9). Työn tilaaja asentaa myöhemmin itse suojan anturin päälle, jotta klapit eivät sitä vahingoita. Anturin kaapeli asennettiin suojaputkeen siltä osin, kun se tarvitsee suojata klapeilta.



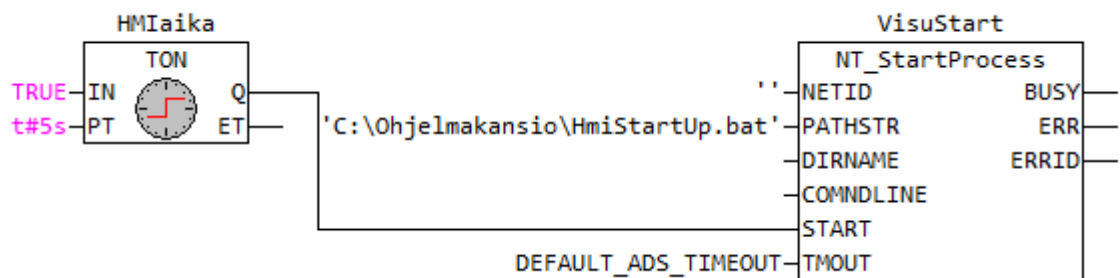
Kuva 9. Anturit paikoilleen asennettuna.

3.11 Asennetun laitteen testaus

Kuivuri testattiin ensin käsiohjauksella ja samalla mitattiin, paljonko tähti-kolmio käynnistyksessä pitää asettaa käynnistysajaksi. Ensimmäisessä käynnistyksessä tähdessä käynnistys toimi hienosti, mutta kolmiokytkentään vaihdettaessa moottori pysähtyi. Syynä tähän oli se, että kolmiokytkennässä tuli moottorin käämien molempiin päihin sama vaihe, joten jännite-eroa ei ole. Kaikkia kolmiokytkennän tekevälle kontaktorille tulevia syöttöjohtoja siirrettiin yhdellä vaiheella eteenpäin. Tällöin kytkentä saatiin toimimaan ja moottorit pyörivät myös oikeaan suuntaan. Käynnistysajoiksi saatiin 8 s ja 9 s. Tähdessä kolmioon vaihdos tehtiin heti, kun puhallin ei enää kiihdytä vauhtiaan. Kiihtymistä arvioitiin korvakuulolla. Nämä ajat asetettiin ohjelmaan tähtikytkennässä pitoajoiksi.

Käsi käyttötestin jälkeen testattiin anturien toiminta. Ulkoilma-anturista oli lämpömittauksen johdot menneet ristiin. Kytkentä korjattiin ja mittaus alkoi toimia. Kun kytkennät olivat kunnossa, voitiin testata ohjelmaa. Aluksi asetettiin mitatut käynnistysajat ohjelman asetuksiin ja kokeiltiin käynnistystä ohjelmasta käsiohjauksella. Käsiohjaus toimi kuten pitikin. Automaattiohjauksen toimintaa ei testattu enää tässä, koska se on testattu jo ohjelman testausvaiheessa. Kun moottorit käynnistyvät käsiohjauksella, toimivat ne myös automaattiohjauksella. Automaattisen kosteusmittauksen toimivuus käytännössä jää myös seuraavan kesän aikana testattavaksi.

Kun ohjelma oli testattu, asetettiin se käynnistymään automaattisesti, kun virrat kytetään päälle. Lisäksi ohjelmaan lisättiin käsky, joka käynnistää visualisoinnit automaattisesti PLC-ohjelman käynnistyessä (Kuvio 26). Tämäkin toiminta testattiin vielä.



Kuvio 26. Visualisoinnin käynnistys

4 POHDINTAA

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa klapi-kuivurin ohjausautomaatio ja sellainen saatiinkin toteutettua. Klapien kosteudelle toteutettiin automaattinen kosteusmittaus, jonka käyttökelpoisuus käytännössä jää vielä nähtäväksi. Menetelmää valittaessa tehtyjen testien perusteella mittauksen voidaan odottaa kuitenkin toimivan, ainakin jollain tarkkuudella. Vaikka varsinainen kosteusmittaus ei lopulta osoittautuisikaan käytännössä toimivaksi ratkaisuksi, tarjoaa rakennettu laitteisto mahdollisuuden automaatiohjaukseen käyttäjän itse tekemien mittausten perusteella, mikä jo paljon enemmän kuin lähtötilanteen täysin käsikäyttöinen ratkaisu.

Automaatiototeutukseen saatiin sisällytettyä kaikki alussa määritellyt ominaisuudet: Kuivaukselle on säätöpiiri, mittausdataa varten on dataloggaus ja trendit, ohjaukselle on graafiset näytöt ja myös hälytystoiminnot sisältyvät ohjelmaan. Mahdollisia lisäominaisuuksia ei tehty, mutta web-palvelimen sijaan kuivuria on mahdollista käyttää etänä verkkoyhteyden yli, kunhan laite vain liitetään nettiin. Nettiliittymä voidaan toteuttaa esimerkiksi mobiililaajakaistalla ja yhteys tapahtuisi Remote Desktop Connectionilla, kuten laitteen ohjelmointikin. Paine-eromittaus ei toteutettu, koska sitä ei lopulta katsottu tarpeelliseksi. Kuivurissa on jo ennestään omatekoinen U-putkimanomometri puhaltimen paine-eron tarkkailua varten.

Laitteisto antaa hyvän mahdollisuuden tutkia käytetyn mittausperiaatteen toimintaa käytännössä. Kun käyttäjä seuraa puiden kuivumista punnituskuivausmenetelmällä tehdyillä mittauksilla ja vertaa näitä automaattimittauksen tuloksiin, saadaan kerättyä tietoa menetelmän toimivuudesta. Eniten käytetyssä mittaustavassa arveluttavat ilmankosteuden tasoittumisajan riittävyys ja se, onko klapi-kuivurin sisällä tarpeeksi suljettu ympäristö mittaukselle.

Ohjausautomaation voisi myös tuotteistaa. Toteutettu ratkaisu sisältää ominaisuuksia, joita ei pelkkään puiden kuivaamiseen tarvita, kuten ohjausnäytöt ja datankeruu. Datankeruu on kuitenkin tärkeää laitteen testausvaiheessa. Myytävän laitteen voisi toteuttaa edullisemmin kompaktilla logiikalla, hyödyntäen joko pelkkää käyttäjän mittaamaa puun kosteutta tai myös automaattimittauskäyttöä. Vallitsevissa sääolosuhteissa saavutettavissa oleva puun kosteus on kuitenkin ainoa pakollinen jatkuva mittaus kuivurin ohjauksessa. Puiden kosteuden voi käyttäjä selvittää haluamallaan menetelmällä.

Teoriapohjan selvittäminen antoi runsaasti tietoa puun kosteuskäyttäytymisestä ja kosteuden merkityksestä polttopuiden laatuun, sekä erilaisista tavoista määrittää puun kosteus. Resistanssimittauksen testaaminen ei valitettavasti onnistunut käytettävissä olevalla yleismittarilla ja mittaustavan käyttö olisi muutenkin ollut hankalampaa, koska puihin olisi tarvinnut kiinnittää johtimia. Lisäksi resistanssimittauksen toteutuksessa olisi todennäköisesti tarvinnut kehitellä oma mittausslähetin, koska sellaisia ei valmiina ollut tarjolla. Tasapainokosteutta taas pystyy mittaamaan tavallisella ilmankosteus- ja lämpötilalähettimellä.

Varsinaisen automaatiosovelluksen tekeminen perehdytti hyvin TwinCAT-järjestelmään. Järjestelmä antaa mahdollisuuksia toteuttaa ohjelmoinnin hyvin vapaasti monella eri tavalla, ja tämä vapaus teki osaltaan haastavammaksi tehdä selkeä ohjelma, jota olisi myös ulkopuolisen helppo lukea. Lisäksi ohjelman eri osioiden ja muuttujien nimeämisessä on suunnittelijalla vapaat kädet, jolloin nimeämiskäytäntöjen olisi hyvä olla alusta asti tarkasti määritellyt. Jos aloittaisin ohjelman teon nyt, käyttäisin vähemmän globaaleja muuttujia ja enemmän aliohjelmien sisäisiä muuttujia. Tällöin muuttujien liittyminen tiettyyn ohjelmaosioon olisi selkeämpää ja muuttujiin olisi kuitenkin mahdollista viitata muualta ohjelmasta.

Ohjelma koostui kuitenkin erillisistä moduuleista, joista oli yksinkertaista kopioida tarvittavat toiminnot toiselle kuivurille, joka päätettiin myöhemmin lisätä laitteistoon. Tämän perusteella ohjelman voidaan todeta olevan muutettavissa ja laajennettavissa, ilman suuria muutoksia ohjelmaan.

LÄHTEET

Beckhoff, Hardware documentation for CX1010 Embedded PC, 2008.

Luettu 26.2.2013

http://download.beckhoff.com/download/Document/EPC/CX1010_HWen.pdf

Bentley, R., E., 1998. Handbook of temperature measurement. Vol. 1, Temperature and Humidity Measurement. Singapore: Springer.

Fløtaker S., Tronstad S., Norwegian institute of wood technology, 2000. Description and initial test of 8 principles for in-kiln measuring and end-point control of wood moisture content. Luettu 26.11.2012

http://www.treteknisk.no/Rapport_47_klY0f.pdf.file

Forsén, H., & Tarvainen, V., 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. Espoo: VTT Publications 420. Luettu 26.11.2012.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P420.pdf>

Forsén, H., 1997. Tutkija Holger Forsénin pitämä esitelmä Otawood-kuivausseminaarissa 12.11.1997. Luettu 26.11.12

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/forsen.pdf>

Hillebrand, K., Kouki, J., 2006. Pilkkeen kuivaus -luonnokuivaus, keinokuivaus ja laadun hallinta. Helsinki: Työtehoseuran julkaisuja 398.

Ilman kosteus. Ilmatieteen laitos. Luettu 27.10.2012.

<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>

Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä, SFS-EN 14774-2:2009

Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 5: polttopuu eiteollisuuskäyttöön, SFS-EN 14961-5:2011

Kiinteät polttoaineet. Terminologia. Määritelmät ja kuvaukset, SFS-EN 14588:2010

Luomi, M., Aulamo, O. 1962. Halkojen varastointi. Helsinki: Pienpuualan toimikunnan oppaita.

Metecno Oy:n internet-sivut. Luettu 28.2.2013.

<http://www.metecno.fi/>

Moisture content of a piece of sawn timber. Part 2: Estimation by electrical resistance method, SFS-EN 13183-2:2002

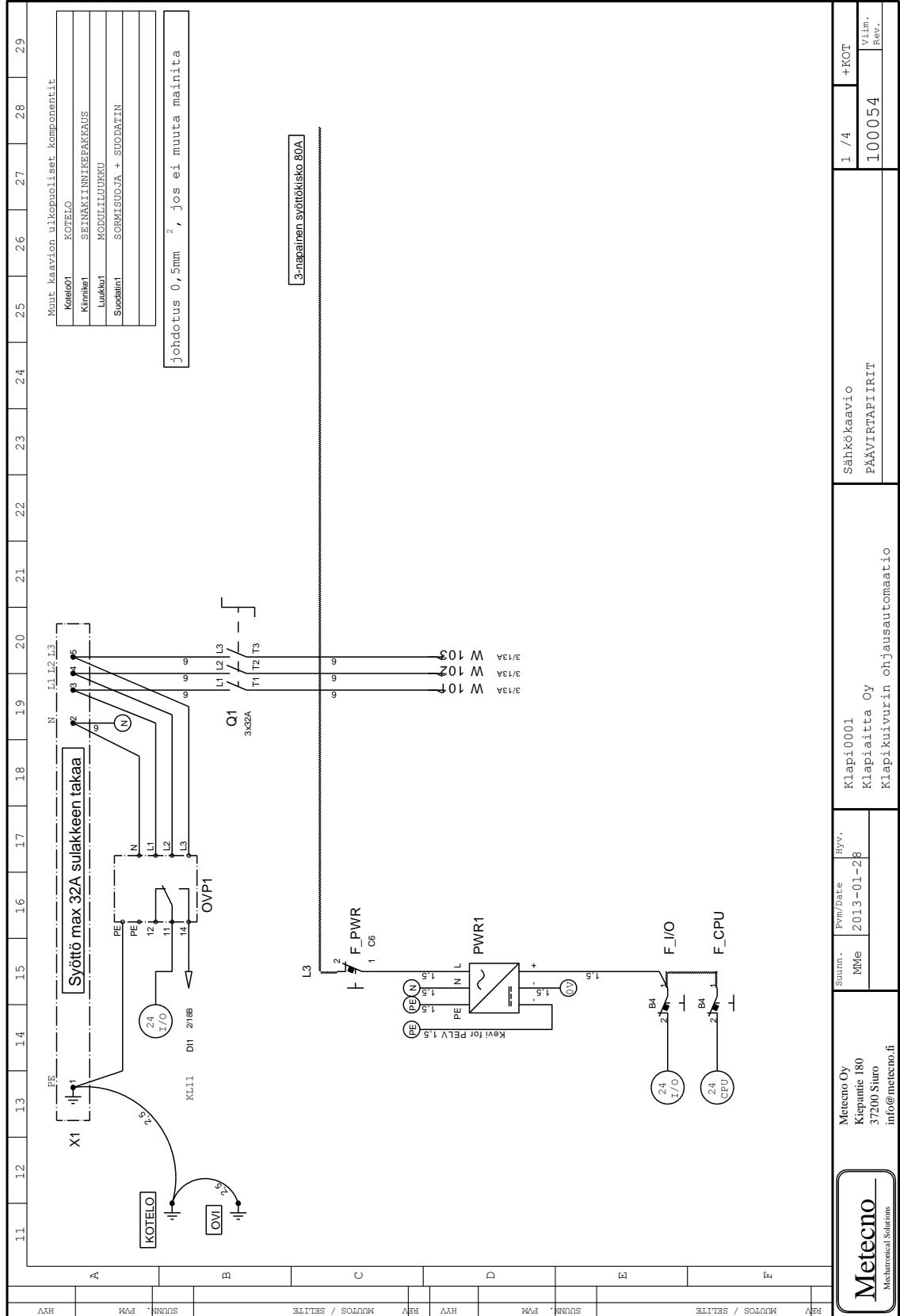
Puuinfo. Puun kosteuskäyttäytyminen. Tekninen tiedote. Luettu 3.10.12.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puun-kosteuskayttaytyminen/puun-kosteuskayttaytyminen.pdf>

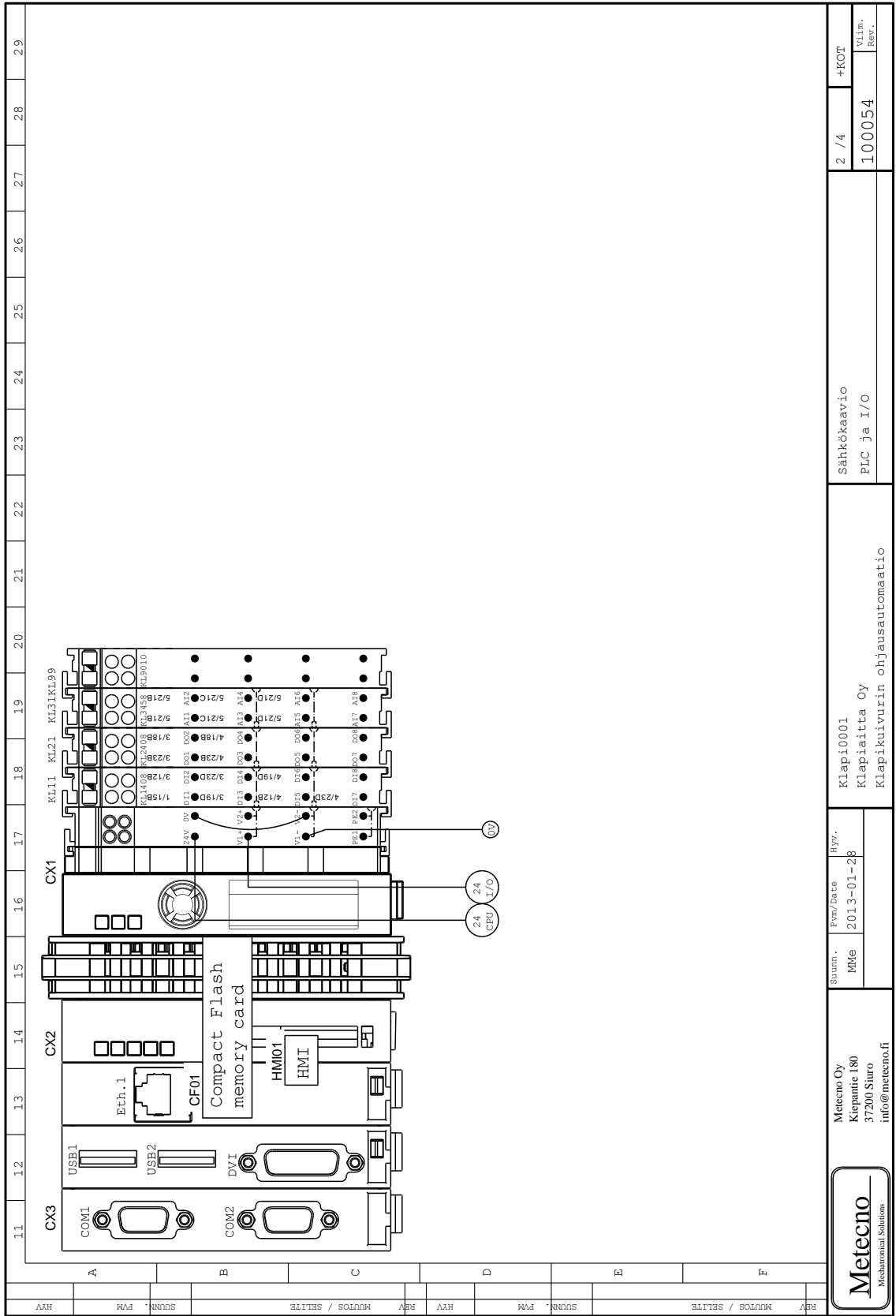
LIITTEET

Liite 1. Klapikuivurin sähkökaavio
(Metecno Oy)

1(5)



| | | | | | | | |
|---|---------------|------------------------|----------|--|-------------------------------|--------|----------------|
| Metecno Oy Kiepantie 180 37200 Siuro info@metecno.fi | Suunn. MMe | Pvm/Date 2013-01-28 | Hyv. | Klapi0001 Klapiaitta Oy Klapikuivurin ohjausautomaatio | Sähkökaavio PÄÄVIRTAPIIRIT | 1 / 4 | +KOT |
| | | | | | | 100054 | V.Lim. Rev. |



Metecno Oy
Kiepantie 180
37200 Suuro
info@metecno.fi

Suunn.
JMM

Pvm/Date
2013-01-28

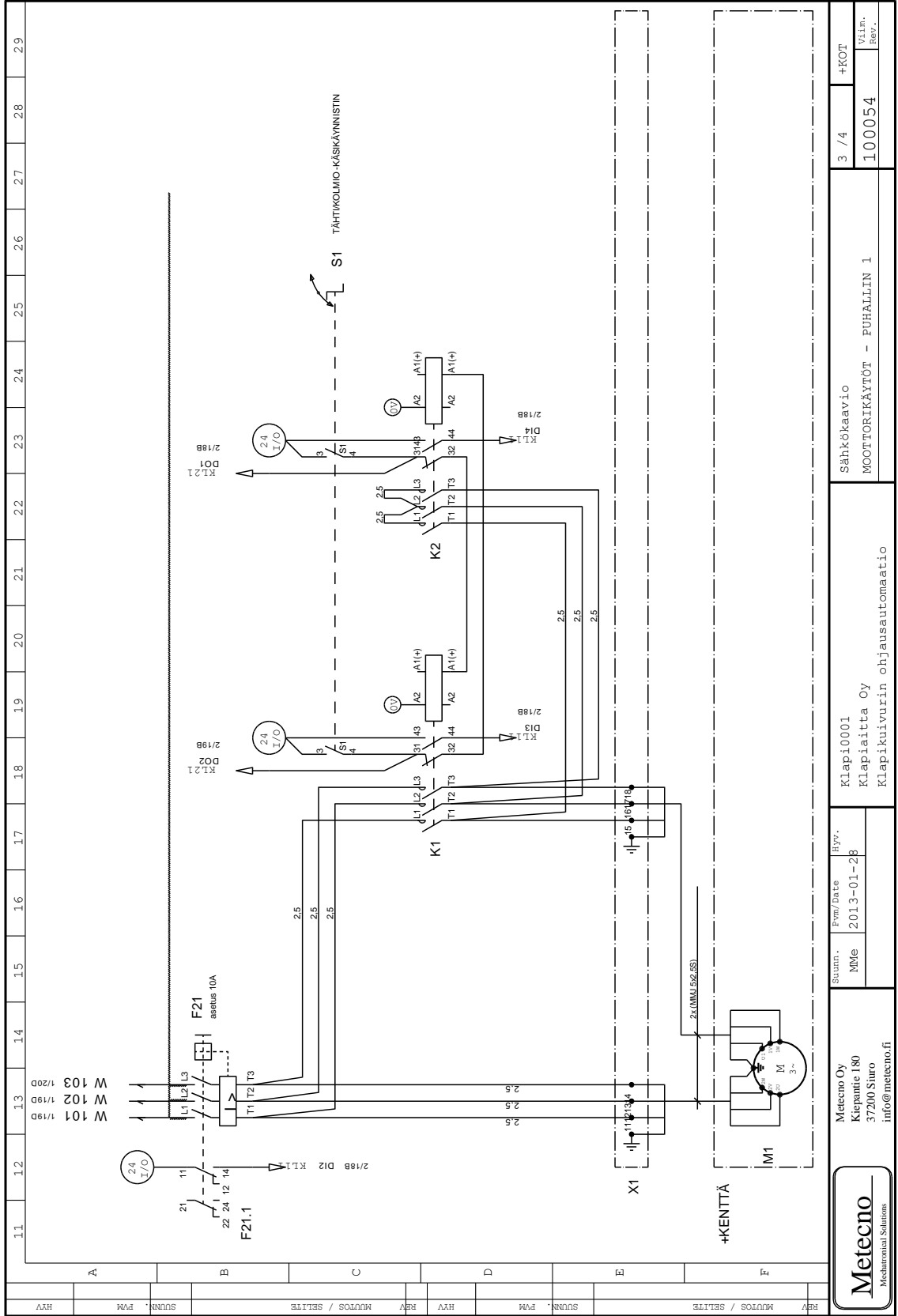
Hyv.
Hyy

Klapi10001
Klapiaitta Oy
Klapikuivurin ohjausautomaatio

Sähkökaavio
PIC ja I/O

2 / 4
100054

+KOT
V.I.m.
Rev.



| | |
|--------|----------------|
| 3 / 4 | +KOT |
| 100054 | Vll.m. Rev. |

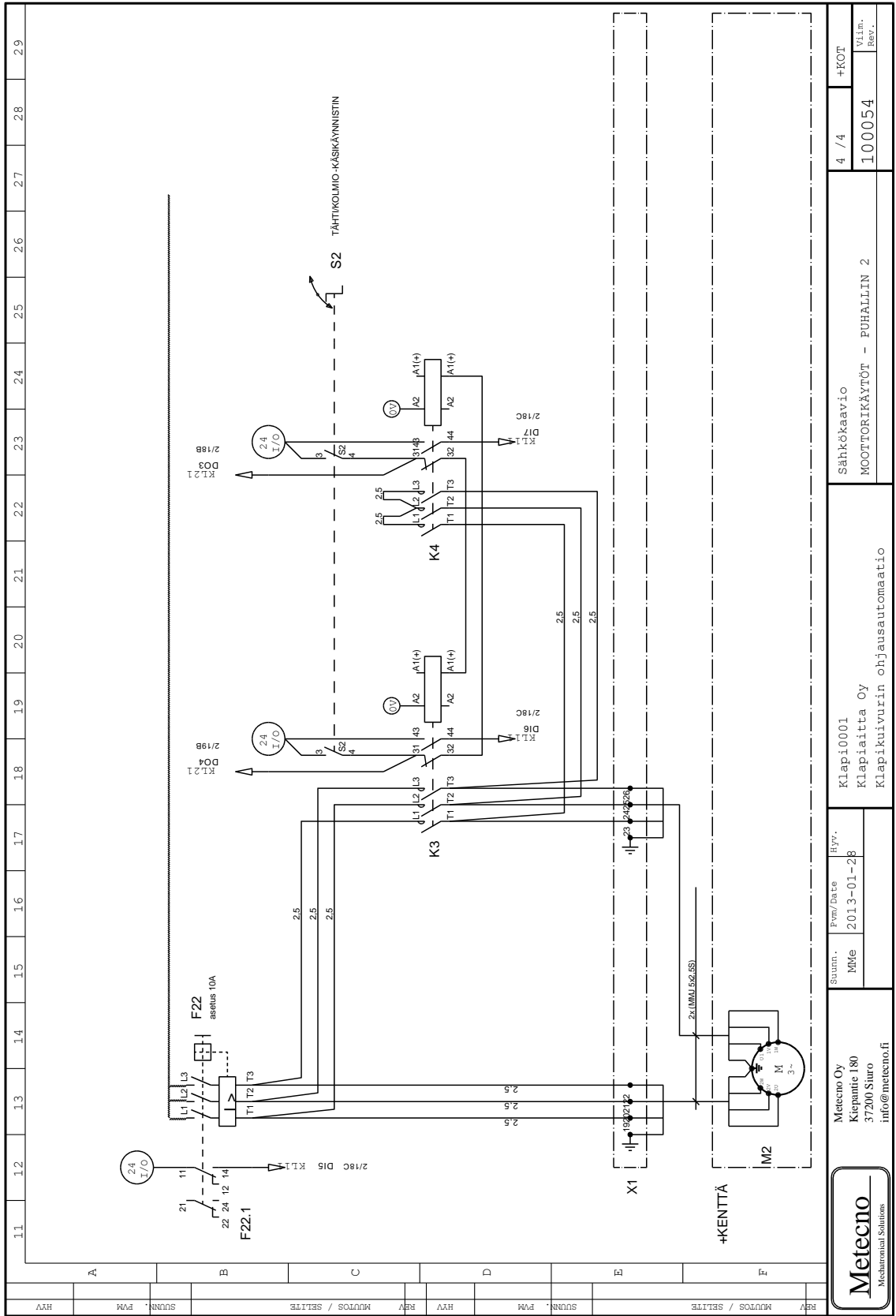
Sähkökaavio
MOOTTORIKÄYTÖT - PUHALLIN 1

Klapi10001
Klapiaitta Oy
Klapikuivurin ohjausautomaatio

| | | |
|--------|------------|-------|
| Suunn. | Pvm/Date | Hvvt. |
| MMMe | 2013-01-28 | |

Metecno Oy
Kiepantie 180
37200 Suuro
info@metecno.fi





| | |
|--------|----------------|
| 4 / 4 | +KOT |
| 100054 | Vl.lm. Rev. |

Sähkökaavio
MOOTTORIKÄYTÖT - PUHALLIN 2

Klapii0001
Klapii Oy
Klapiikuivurin ohjausautomaatio

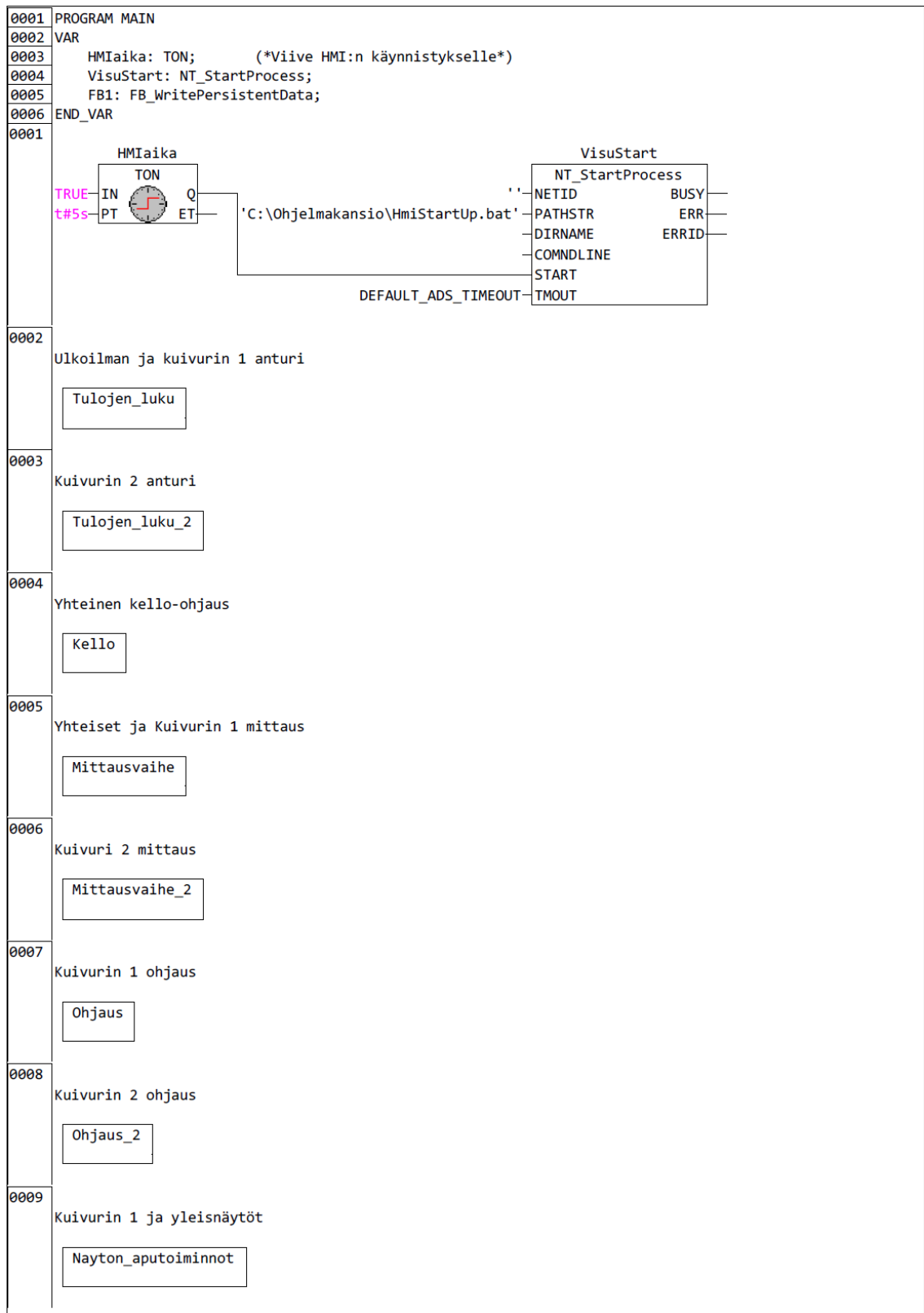
| | | |
|--------|------------|-------|
| Suunn. | Pvm/Date | Hyvä. |
| MMe | 2013-01-28 | |

Metecono Oy
Kiepantie 180
37200 Suuro
info@metecono.fi

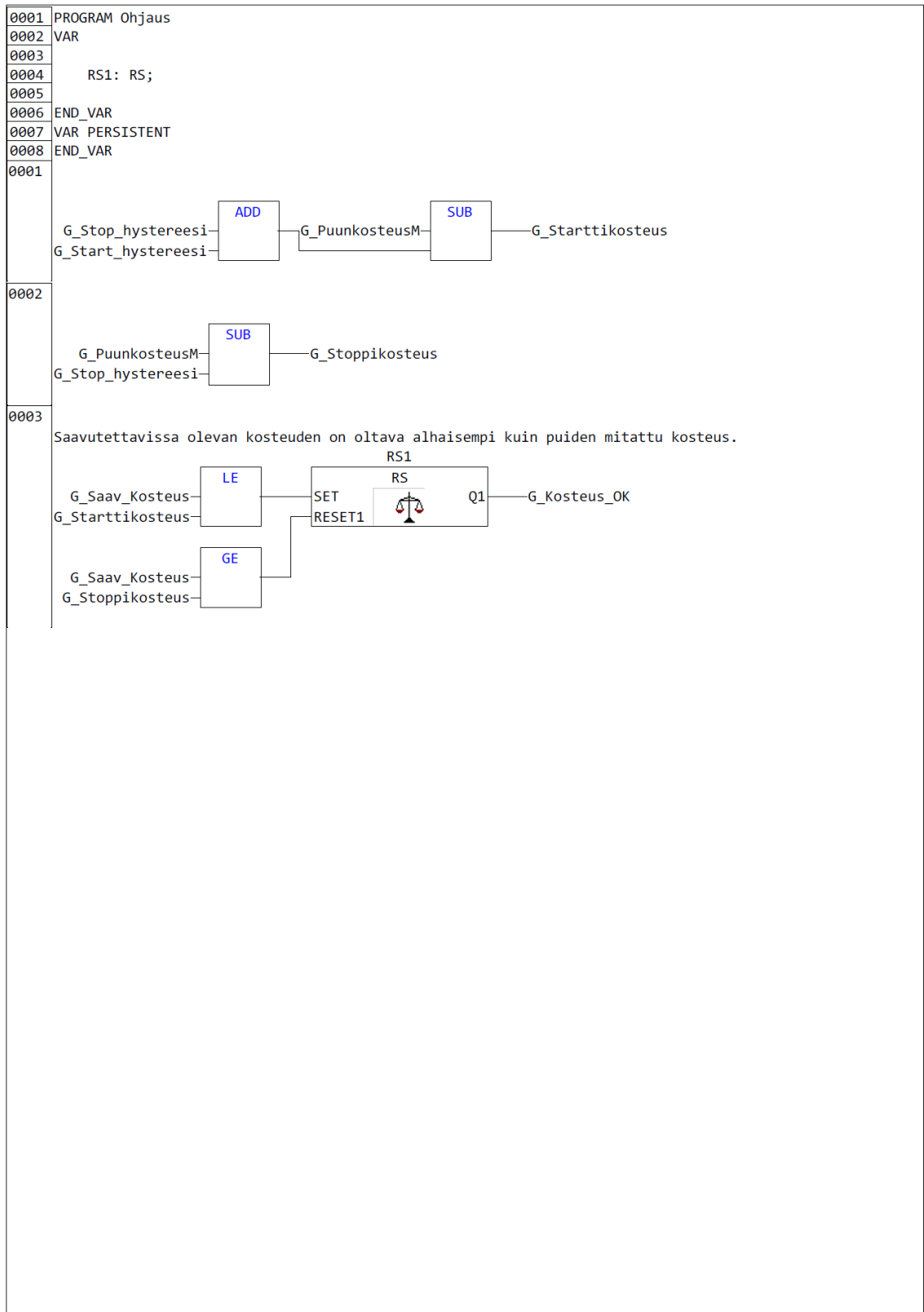


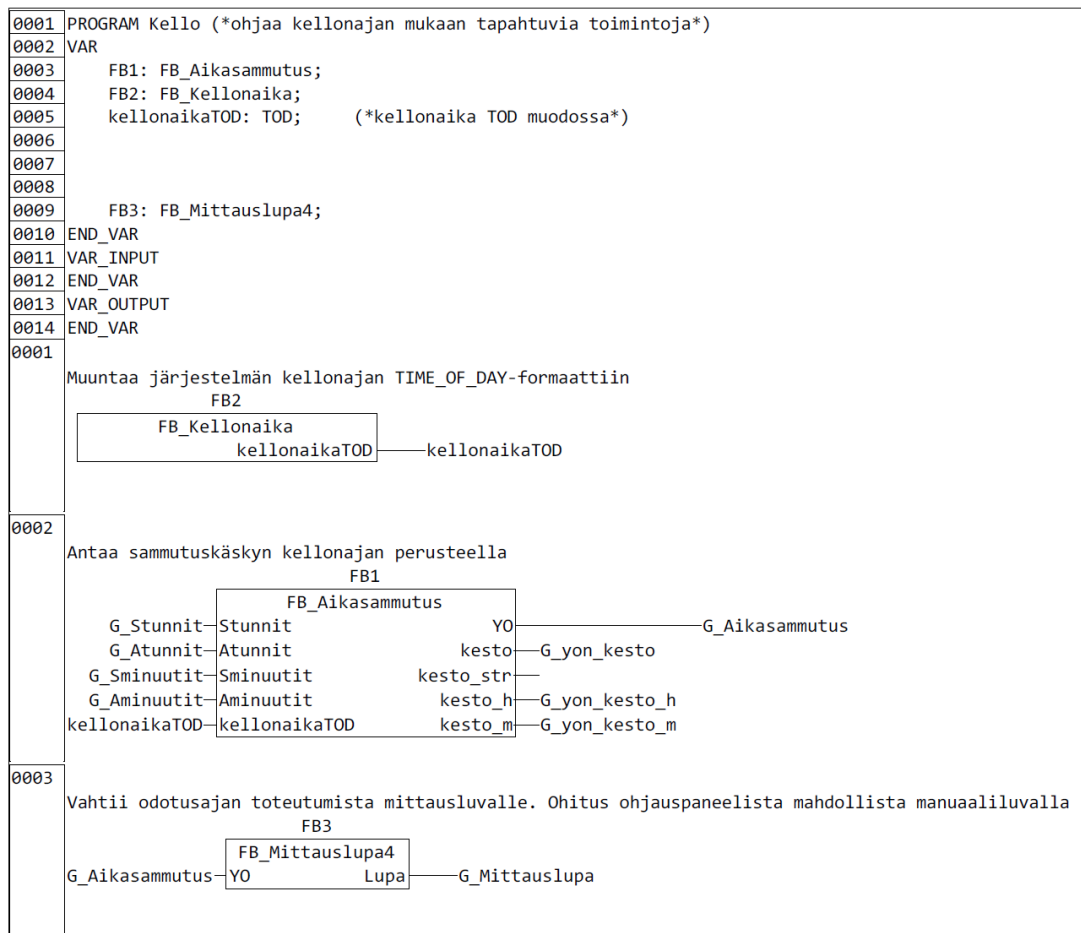
Liite 2. PLC ohjelma

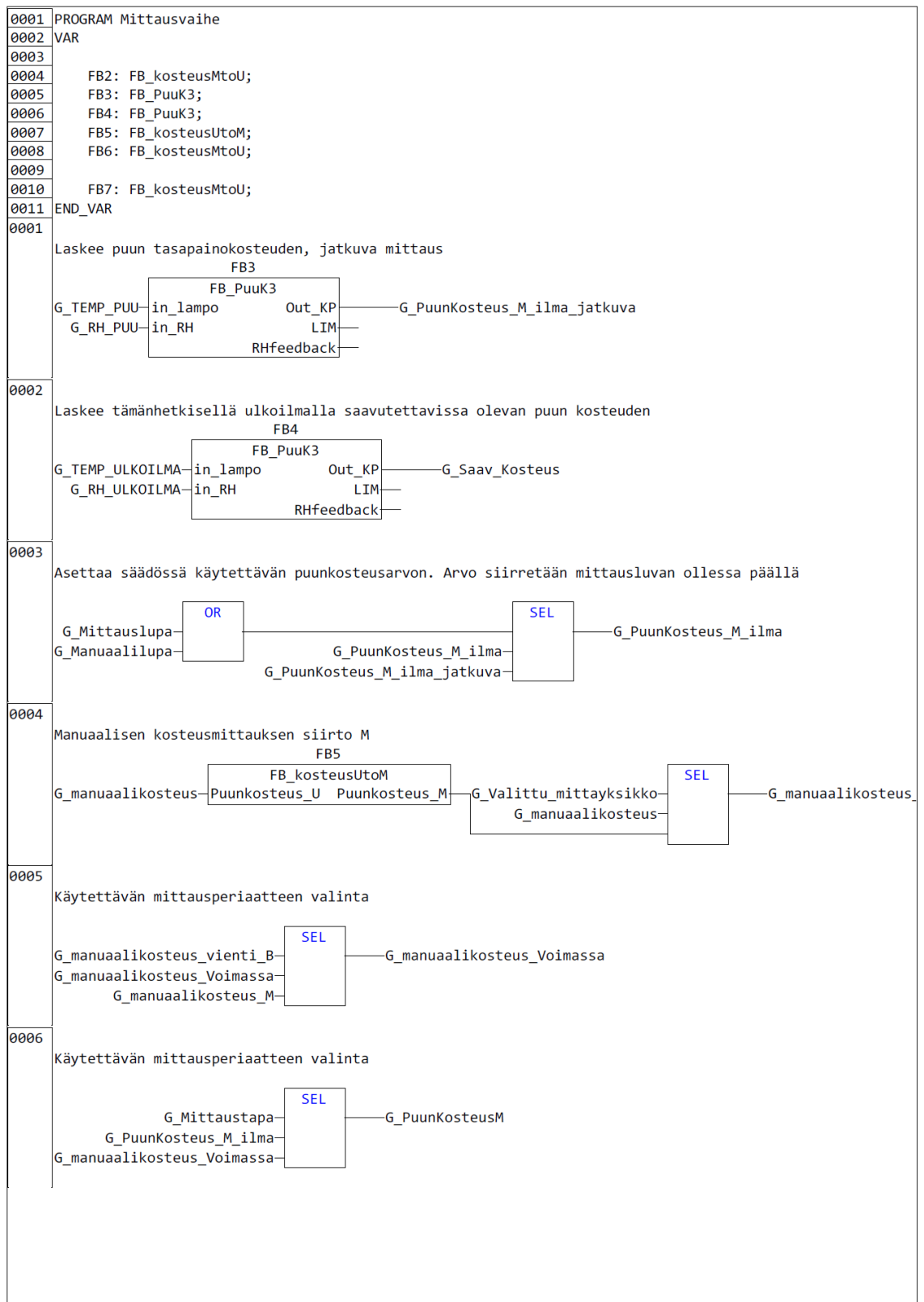
1(15)



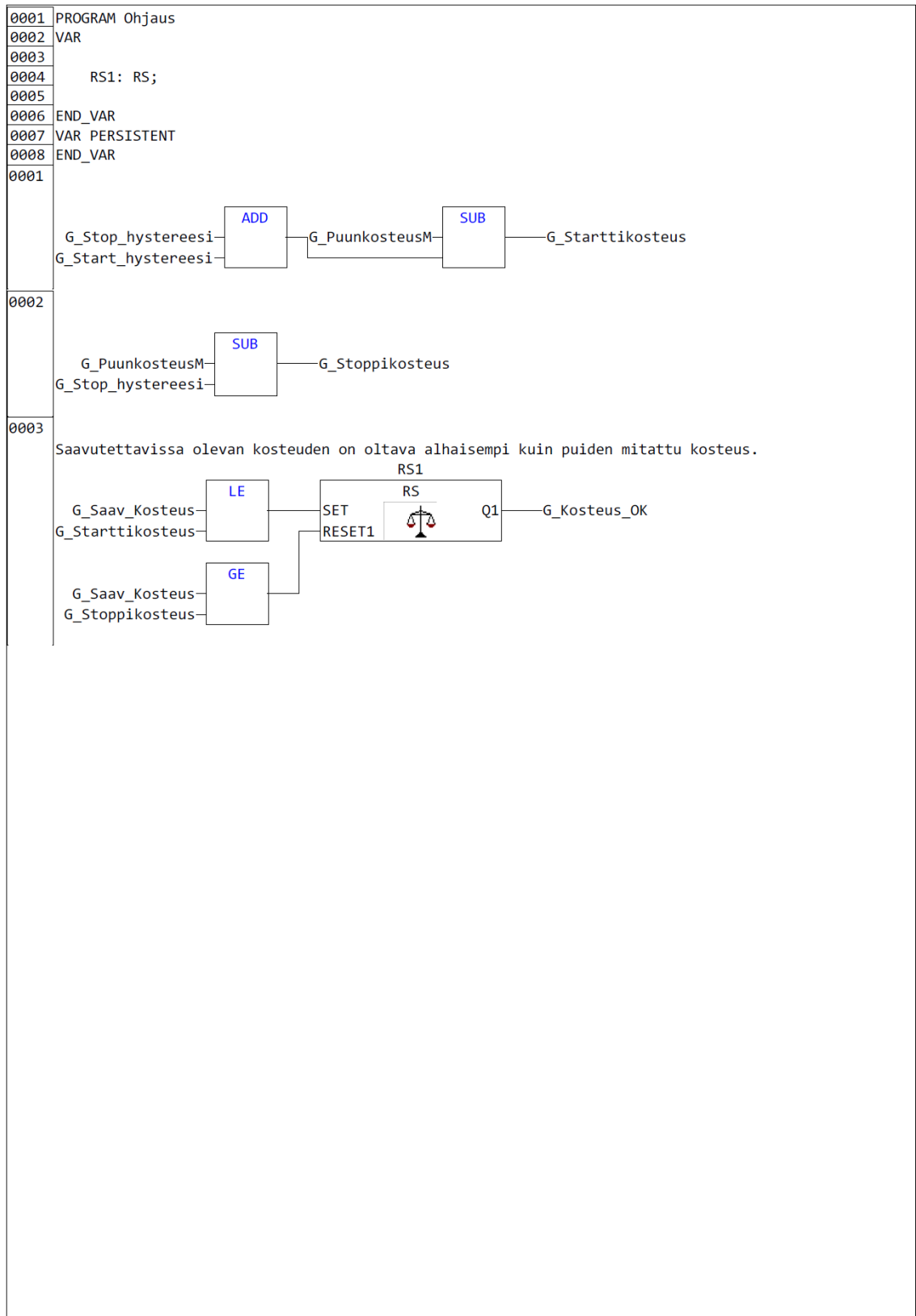
| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|------------------------|--|-------|------|----------|-----|-----------------------|-------|--------|--|--------|--|
| 0010 | Kuivurin 2 näytöt <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Nayton_aputoiminnot_2</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0011 | Kuivurin 1 lähdöt <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Lahtojen_ohjaus</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0012 | Kuivurin 2 lähdöt <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Lahtojen_ohjaus_2</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0013 | Kuivurin 1 valvonta <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Valvonta</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0014 | Kuivurin 2 valvonta <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Valvonta_2</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0015 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Halytys</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0016 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: 20px;">Datalog</div> | | | | | | | | | | | | |
| 0017 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> <p style="text-align: center;">FB1</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 2px;">FB_WritePersistentData</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">NETID</td> <td style="padding: 2px;">BUSY</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">801-PORT</td> <td style="padding: 2px;">ERR</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">G_WPersistent_B-START</td> <td style="padding: 2px;">ERRID</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">-TMOUT</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">0-MODE</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </table> </div> | FB_WritePersistentData | | NETID | BUSY | 801-PORT | ERR | G_WPersistent_B-START | ERRID | -TMOUT | | 0-MODE | |
| FB_WritePersistentData | | | | | | | | | | | | | |
| NETID | BUSY | | | | | | | | | | | | |
| 801-PORT | ERR | | | | | | | | | | | | |
| G_WPersistent_B-START | ERRID | | | | | | | | | | | | |
| -TMOUT | | | | | | | | | | | | | |
| 0-MODE | | | | | | | | | | | | | |





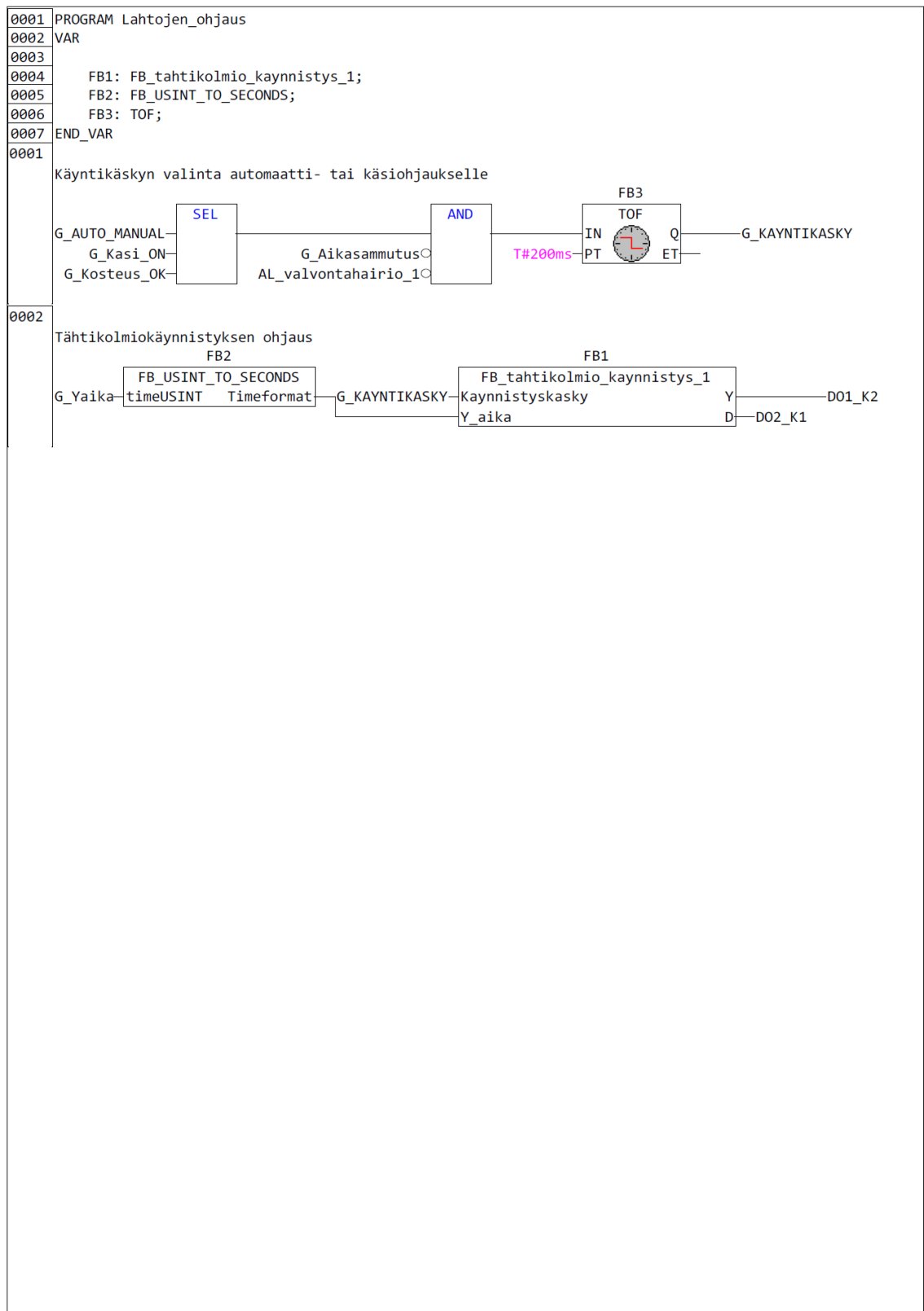


| | |
|------|--|
| 0007 | <p>Manuaalisen kosteusmittauksen siirto U</p> <p style="text-align: center;">FB6</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px;"> FB_kosteusMtoU </div> <p>G_manuaalikosteus_Voimassa—Puunkosteus_M Puunkosteus_U——G_manuaalikosteus_U</p> |
| 0008 | <p>Käytettävän arvon muunnos kosteudeksi kuivapainosta</p> <p style="text-align: center;">FB2</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px;"> FB_kosteusMtoU </div> <p>G_PuunKosteusM—Puunkosteus_M Puunkosteus_U——G_PuunKosteusU</p> |
| 0009 | <p style="text-align: center;">FB7</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px;"> FB_kosteusMtoU </div> <p>G_PuunKosteus_M_ilmä—Puunkosteus_M Puunkosteus_U——G_PuunKosteus_U_ilmä</p> |

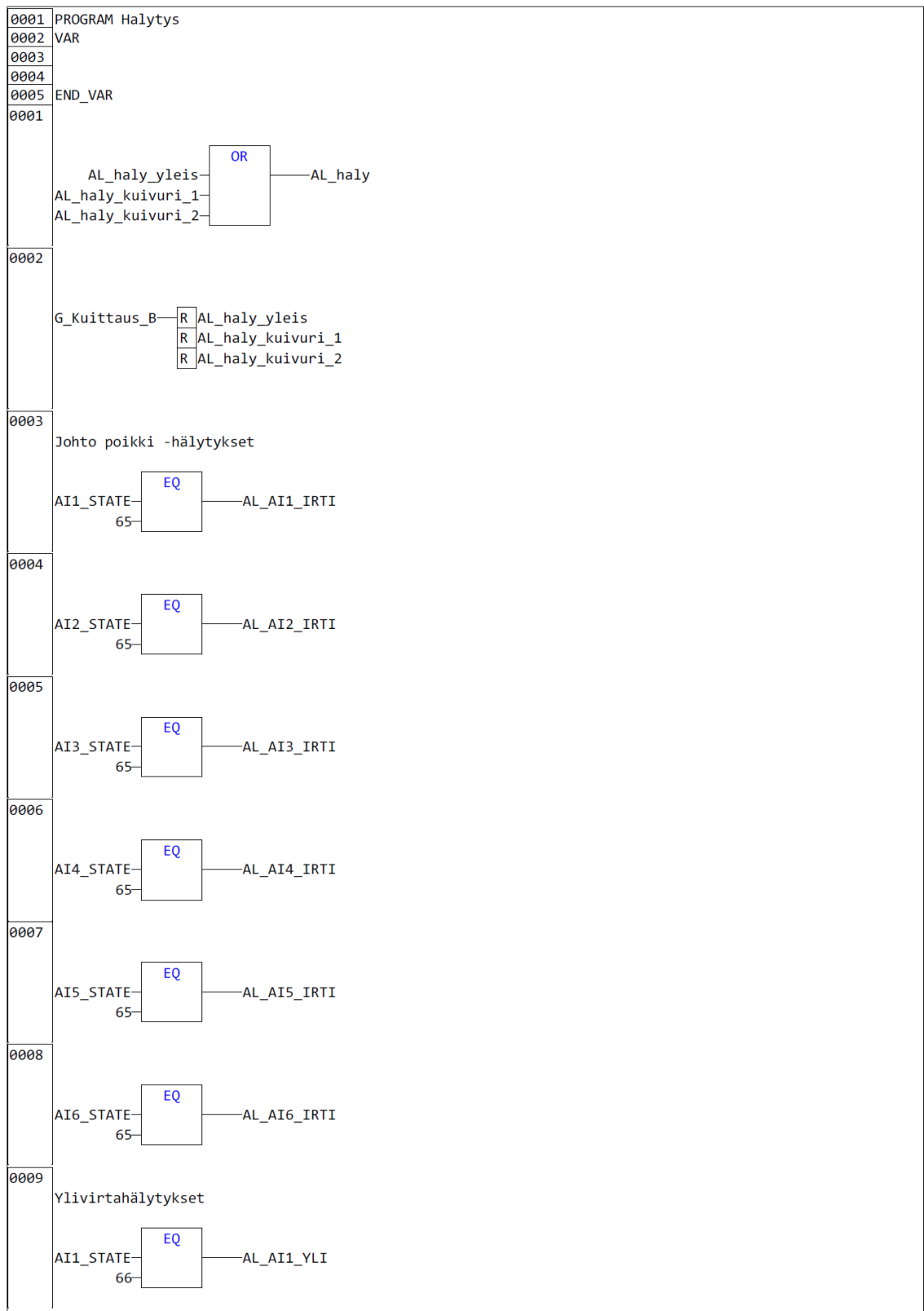


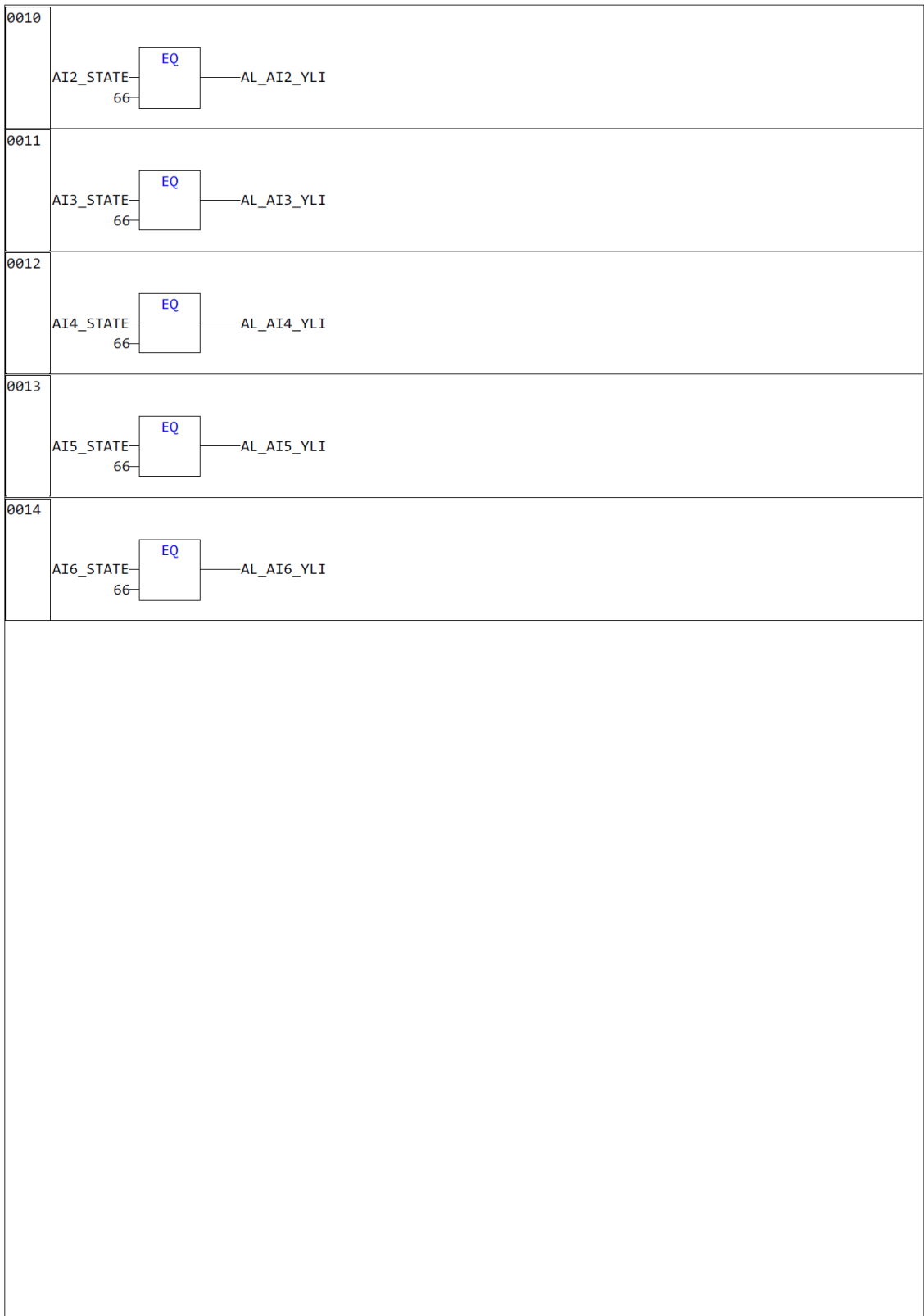
| | |
|------|--|
| 0001 | PROGRAM Nayton_aputoiminnot(*ohjausnäytön painikkeiden toimintaan liittyvät toiminnot*) |
| 0002 | VAR |
| 0003 | |
| 0004 | |
| 0005 | |
| 0006 | RS1: RS; |
| 0007 | END_VAR |
| 0001 | Ohjaustavan valinta |
| | |
| 0002 | Ohjaustavan valinta |
| | |
| 0003 | Mittauksen valinta |
| | |
| 0004 | Mittauksen valinta |
| | |
| 0005 | Käsi käynnistysnapin tekstit |
| | |
| 0006 | Käsi käynnistyspainikkeen toiminnan ohjaus. Automaattiohjauksella käsi ohjausta ei saa napista päälle ja automaattiohjausta ei saa käsi ohjaukselta päälle |
| | G_AUTO_MANUAL — R G_Kaynnistyspainike_B |
| 0007 | Käsi käynnistyspainike |
| | G_Kaynnistyspainike_B — G_Kasi_ON |

| | |
|------|---|
| 0001 | PROGRAM Nayton_aputoiminnot(*ohjausnäytön painikkeiden toimintaan liittyvät toiminnot*) |
| 0002 | VAR |
| 0003 | |
| 0004 | |
| 0005 | |
| 0006 | RS1: RS; |
| 0007 | END_VAR |
| 0001 | Ohjaustavan valinta |
| | <pre> graph LR G_AUTO_MANUAL --> SEL Kasi["'Käsi'"] --> SEL Automaatti["'Automaatti'"] --> SEL SEL --> G_Valittu_Ohjaustapa </pre> |
| 0002 | Ohjaustavan valinta |
| | <pre> graph LR G_AUTO_MANUAL --> SEL Automaatti["'Automaatti'"] --> SEL Kasi["'Käsi'"] --> SEL SEL --> G_Valitse_Ohjaustapa_B </pre> |
| 0003 | Mittauksen valinta |
| | <pre> graph LR G_Mittaustapa --> SEL Automaattimittaus["'Automaattimittaus'"] --> SEL Manuaalimittaus["'Manuaalimittaus'"] --> SEL SEL --> G_Valittu_Mittaus </pre> |
| 0004 | Mittauksen valinta |
| | <pre> graph LR G_Mittaustapa --> SEL Manuaalimittaukselle["'Manuaalimittaukselle'"] --> SEL Automaattimittaukselle["'Automaattimittaukselle'"] --> SEL SEL --> G_Valitse_Mittaus_B </pre> |
| 0005 | Käsi käynnistysnapin tekstit |
| | <pre> graph LR G_Kasi_ON --> SEL Kaynnista["'Käynnistä'"] --> SEL Pysayta["'Pysäytä'"] --> SEL SEL --> G_kaynnista_pysayta_B </pre> |
| 0006 | Käsi käynnistyspainikkeen toiminnan ohjaus. Automaattiohjauksella käsi ohjausta ei saa napista päälle ja automaattiohjausta ei saa käsi ohjaukselta päälle |
| | G_AUTO_MANUAL — R G_Kaynnistyspainike_B |
| 0007 | Käsi käynnistyspainike |
| | G_Kaynnistyspainike_B — G_Kasi_ON |



| | |
|------|--|
| 0001 | PROGRAM Valvonta |
| 0002 | VAR |
| 0003 | FB1: FB_kaynnistysvalvonta; |
| 0004 | FB2: FB_kaynnistysvalvonta; |
| 0005 | END_VAR |
| 0001 | <p>Käynnistyksen valvonta tähti FB1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p style="text-align: center;">FB_kaynnistysvalvonta</p> <p style="text-align: center;">Valvontahairio</p> <p>ohjaus</p> <p>karkitieto</p> <p>valvonta_aika</p> </div> <p>D01_K2—S AL_valvontahairio_1</p> <p>DI4_K2—</p> |
| 0002 | <p>Käynnistyksen valvonta kolmio FB2</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p style="text-align: center;">FB_kaynnistysvalvonta</p> <p style="text-align: center;">Valvontahairio</p> <p>ohjaus</p> <p>karkitieto</p> <p>valvonta_aika</p> </div> <p>D02_K1—S AL_valvontahairio_1</p> <p>DI3_K1—</p> |
| 0003 | <p>Moottorisuoja aiheuttaa valvontahäiriön</p> <p>DI2_F21—S AL_valvontahairio_1</p> |
| 0004 | <p>G_Kuittaus_B—R AL_valvontahairio_1</p> |
| 0005 | <p>AL_valvontahairio_1—R G_AUTO_MANUAL</p> |
| 0006 | <p>AL_valvontahairio_1—R G_Kaynnistyspainike_B</p> |





```

0001 PROGRAM Datalog
0002 VAR
0003
0004     FB2: FB_TimeFormatString_4;      (*Aikaleima*)
0005     PVM: STRING;                    (*nykyinen päivämäärä*)
0006     FB3: FB_DatanKerays2;
0007     FB1: FB_TimeFormatString_4;
0008     FB4: FB_DatanKerays2;
0009 END_VAR
0001
    Kuivurin 1 loki
    FB1
    FB_TimeFormatString_4
    pvm_hh_mm_ss    pvm_hh_mm    pvm    PVM
    hh_mm_ss0      hh_mm_ss     hh_mm   hh_mm
    hh             hh           hh         hh
    mm             mm           mm         mm
    ss             ss           ss         ss

    G_LOGGING--bEnable--TimeStamp
    G_TEMP_ULKOILMA--Arvo1
    G_RH_ULKOILMA--Arvo2
    G_Saav_Kosteus--Arvo3
    G_PuunKosteus_M_iilma--Arvo4
    G_PuunKosteus_M_iilma_jatkuva--Arvo5
    G_manuaalikosteus_Voimassa--Arvo6
    --Arvo7
    G_kayntitieto--Arvo8
    --Arvo9
    --Arvo10
    --Arvo11
    --Arvo12
    --Arvo13
    --Arvo14
    --Arvo15
    --Arvo16
    --Arvo17
    --Arvo18
    --Arvo19
    --Arvo20
    'D:\lokitt'--DirName
    'kuivuri1_lokit'--FileName
    t#60m--SampleRate

    FB3
    FB_DatanKerays2
    bError
    bBusy
    bRegording
    bRegording_Flasher
    TekstiPainikkeeseen
    Open_nErrId
    Write_nErrId
    Close_nErrId

    AL_err_data_log_1
    G_FLASHER
    G_tallennus_string

```

