

Pasi Ristimäki

# STOKERIN SYÖTTÖSÄILIÖN TÄYTÖN AUTOMATISOINTI

Automaatioteknologian koulutusohjelma  
2012



## STOKERIN SYÖTTÖSÄILIÖN TÄYTÖN AUTOMATISOINTI

Ristimäki, Pasi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologian koulutusohjelma  
Kesäkuu 2012  
Heinonen, Jarkko  
UDK:  
Sivumäärä: 38  
Liitteet: 11

Asiasanat: syöttösäiliö, varastosäiliö, täyttökierukka, PLC, ultraäänianturi

---

*Opinnäytetyön tarkoituksena oli kiinteän polttoaineen syötinlaite/polttimen ns. stokerin syöttösäiliön täytön automatisointi. Järjestelmää laajennettiin ulkopuolisella varastosäiliöllä ja siitä syöttösäiliöön kytkeytyvillä täyttökierukoilla. Kehitystyö lähti tarpeesta pidentää syöttösäiliön polttoainetäydennysten välistä toiminta-aikaa. Järjestelmä toimii ohjelmoitavalla logiikalla, joka sisältää kosketusnäytöllisen käyttöliittymän. Työn metodi oli kehitystyö ja se tehtiin ns. elinkaarimallin mukaan. Opinnäytetyössä käydään läpi projektin mekaniikan ja ohjelmiston suunnittelu. Mekaniikan ja ohjelmiston suunnittelussa pyrittiin yksinkertaisiin ratkaisuihin ja käyttämään kaupallisesti saatavia komponentteja. Ohjelman toiminta testattiin simuloinnissa. Valmistus ja asennus tehtiin suunnitelmien mukaan ja toiminnallisessa testauksessa korjattiin ohjelmistoissa esiin tulleet ongelmat. Myös polttimen toimintaa ja savukaasuja mitattiin. Tulosten perusteella polttimen palopään huollettavuutta parannetaan. Savukaasujen mittaukset uusitaan ja paloprosessi säädetään optimaaliseksi. Lämmityskattilaan lisätään koneellinen tuhkanpoisto. Projekti onnistui erittäin hyvin ja lopputulokseksi saatiin kaikki etukäteen asetetut vaatimukset täyttävä automaatiojärjestelmä.*

## AUTOMATION OF THE FILLING OF STOKERS SUPPLY TANK

Ristimäki, Pasi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation Technology

June 2012

Heinonen, Jarkko

UDK:

Number of Pages: 38

Appendices: 11

Key Words: supply tank, storage tank, filling worm, PLC, ultrasonic sensor

---

*The purpose of this thesis was to create filling automation for a solid fuel's feeder/burner combination's (so called stoker) supply tank. The system was expanded with an outside storage tank and with a filling worm leading from the storage tank to the supply tank. This R & D project is based from the need to lengthen the period of time between the fillings of the supply tank. The system works with programmable logic which includes touch-screen user interface. The method of this R & D project was development method and it was done according the so called life span model. The thesis includes the design of the mechanics and the programming. In the design of the fore mentioned the aim was to find simple solutions and to enable the usage of off-the-self components. The programming was tested with simulation. The producing and assembling was done according to the plans and in the actual functioning test the arisen problems in the programming were corrected. Also, the functioning of the burner and the exhaust fumes were studied. The functioning of burner's head will be adjusted according to the test results and the some modifications will be done to make the service easier. Study of the exhaust fumes will be renewed and the process will optimized. the boiler will be equipped with mechanized ash removal. The project was very successful and as a result an automation system that completely fills all the requirements set in the beginning was accomplished.*

# SISÄLLYS

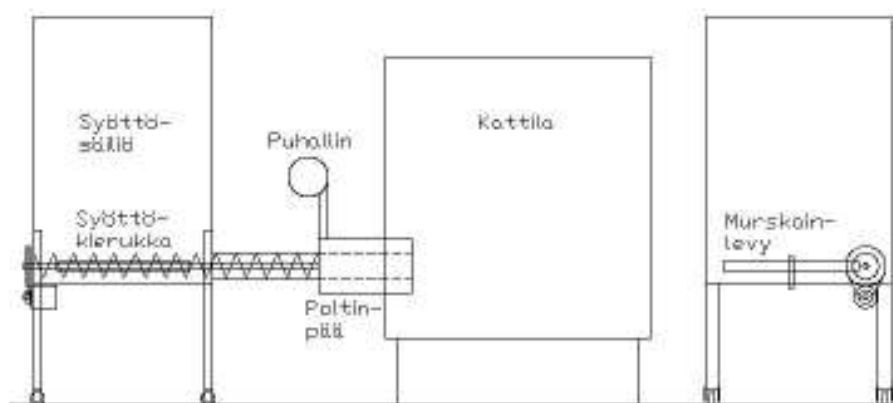
1	JOHDANTO.....	5
2	PROJEKTIN ESITTELY .....	6
2.1	Lähtötilanne .....	6
2.2	Projektisuunnitelma .....	7
2.3	Käyttäjävaatimukset.....	7
2.4	Esisuunnittelu.....	8
2.5	Toiminnallinen kuvaus .....	9
2.5.1	Polttimen toiminnallinen kuvaus.....	11
2.5.2	Syöttösäiliön täytön toiminnallinen kuvaus .....	12
3	SUUNNITTELU .....	12
3.1	Järjestelmäsuunnittelu.....	13
3.1.1	Laitteisto kuvaus .....	13
3.1.2	Ohjelmisto kuvaus.....	15
3.2	Toteutussuunnittelu.....	15
4	TOTEUTUS .....	16
4.1	Mekaaniset laitteet .....	16
4.2	Ohjelmisto.....	20
5	ASENNUS.....	24
5.1	Mekaniikka .....	24
5.2	Kytkeä ja sähköistys .....	27
5.3	Ohjelmisto.....	28
6	TOIMINNALLINEN TESTAUS.....	28
6.1	Laite- ja ympäristöturvallisuus .....	29
6.2	Ohjelmiston toiminta .....	29
6.3	Vikatilanteet.....	31
7	KOEKÄYTTÖ .....	32
7.1	Laitteiston suorituskyky ja luotettavuus .....	34
8	JATKOKEHITYS .....	34
8.1	Tuhkanpoisto .....	34
8.2	Polttoprosessin parantaminen .....	35
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET .....	39

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää kiinteän polttoaineen syöttölaite/polttimen ns. stokerin syöttösäiliön automaattinen täyttö. Tässä tapauksessa kyseessä oli pienitehoinen kattilahuoneeseen sijoitettava malli. Yleensä kehitystyön tavoitteena on kehittää uusi tuote tai parantaa jo olemassa olevaa, kilpailukyvyn säilyttämiseksi. Tämä kehitystyö syntyi tarpeesta pidentää stokerin polttoainetäydennysten välistä toiminta-aikaa. Tämä toteutettiin kattilahuoneen ulkopuolisella varastosäiliöllä ja syöttösäiliön täytön automatisoinnilla. Projekti tehtiin ns. elinkaarimallin mukaan. Elinkaarimalli sisältää eri vaiheita, alkaen projektin määrittelystä ja päätyen tuotantovaiheeseen ja laitteiston purkuun. Työn metodi oli kehitystyö. Työ sisälsi sekä mekaanista että ohjelmistosuunnittelua. Ohjelmistosuunnittelu oli haasteellista, koska aikaisempaa kokemusta ohjelmien teosta ei ollut. Ongelmiakin ohjelman teossa syntyi, mutta ne ratkaistiin Automation Assistant Oy:n ja Metaweld Oy:n konsulttiavun avulla. Kyseessä oli oma projekti, joten lopputulokseksi haluttiin käytännössä toimiva ja luotettava järjestelmä. Kaikki työn tavoitteet täyttyivät ja lopputulokseksi saatiin toimiva automaatiojärjestelmä.

## 2 PROJEKTIN ESITTELY

Stokeri on mekaaninen kiinteän polttoaineen syöttölaite/polttin, joka koostuu syöttösäiliöstä, syöttökierukasta, murskaimesta, puhaltimesta ja poltinpäästä (kuva 1). Sillä voi polttaa mm. haketta, puupellettiä, turvepellettiä ja palaturvetta ja sitä käytetään keskuslämmityskattilan polttimena. Projektin tavoitteena oli kehittää, suunnitella ja valmistaa stokerin syöttösäiliön automaattinen täyttölaite tai laitteisto. Tässä tapauksessa kyseessä oli pienitehoinen stokeri, joka on suunniteltu kattilahuoneessa käytettäväksi. Koska syöttösäiliö on pieni, on se lämmityskaudella täytettävä usein. Talvella, lämpötilasta riippuen, syöttösäiliö täytetään n. 2-3 vrk välein. Tulevaisuudessa ei todennäköisesti ole mahdollista olla fyysisesti paikalla täyttämässä syöttösäiliötä näin usein, joten tarvitaan järjestelmä jolla säiliön täyttöväliä voidaan pidentää. Ulkopuolisella suuremmalla varastosäiliöllä ja syöttösäiliön täytön automatisoinnilla varastosäiliön täyttöväliä voidaan pidentää huomattavasti. Lisäksi oli tarkoitus tehdä polttimeen ns. takaisinkytketty ohjaus, mutta siitä luovuttiin kustannussyistä.



Kuva 1. Stokeri syöttölaite/polttin

### 2.1 Lähtötilanne

Stokerin poltinpää on teholtaan 40 kW ja käsin täytettävä syöttösäiliö tilavuudeltaan n. 0,5 m<sup>3</sup>. Suurin sallittu tilavuus pannuhuoneessa olevalle kiinteän polttoaineen teräksiselle säiliölle on 0,5 m<sup>3</sup> joten säiliön kokoa ei voi kasvattaa /1./ Ratkaisu oli ulkopuolinen isompi varastosäiliö tai kokonaan uusi stokeri. Eri valmistajilla on olemassa malleja, jossa syöttösäiliö on kattilahuoneen ulkopuolella ja ainoastaan

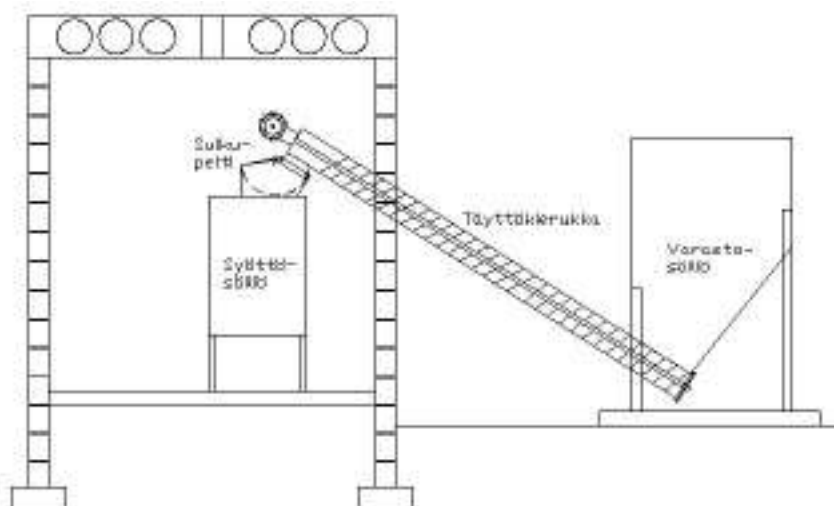
poltinpää on kattilahuoneessa. Uusi laitteisto ei ollut todellinen vaihtoehto, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jäi ulkopuolinen isompi varastosäiliö ja kattilahuoneessa olevan syöttösäiliön täytön automatisointi. Tavoitteena oli pidentää säiliön täyttöväli vähintään 10 vuorokauteen. Tavoitteen saavuttamiseksi varastosäiliön ja syöttösäiliön yhteistilavuus tulisi olla vähintään 2 m<sup>3</sup>.

## 2.2 Projektisuunnitelma

Projektit ovat kooltaan ja luonteeltaan hyvinkin erilaisia. Pienessä projektissa projektipäällikkö on pääasiallinen resurssi. Aikataulu muodostuu pääasiallisesti projektipäällikön ajankäyttösuunnitelman mukaan. Projektin alussa tehdään projektisuunnitelma. Siinä määritellään tavoitteet, tehtävät, toteutussuunnitelma, budjetti ja ohjaussuunnitelma. Toteutussuunnitelma sisältää mm. aikataulun, riskien kartoituksen, budjetin, resurssit sekä ohjaussuunnitelman. Suunnitelmaan voidaan sisällyttää mm. katselmuskäytännöt ja testausperiaatteet. /14./ Tämä projekti oli ns. oma projekti jossa sekä tilaaja ja toimittaja olivat samoja ja henkilöresurssit pienet (2kpl), joten kaikkia edellä mainittuja dokumentteja ei pidetty tarpeellisena. Dokumenteista tehtiin mm. aikataulu, budjetti ja testauspöytäkirja. Laitteiston teknisestä toiminnasta tehtiin riskianalyysi. (*Liitteet 1- 4*).

## 2.3 Käyttjävaatimukset

Käyttjävaatimuksissa huomioitiin mm. toimintaympäristö, ohjaus- ja tietojärjestelmät, toiminnalliset rajoitukset, suorituskykyvaatimukset ja toteutustekniset rajoitukset. Toimintaympäristönä on syöttösäiliön osalta kattilahuone ja varastosäiliön osalta kattilahuoneen viereinen ulkotila (kuva 2). Kattilahuone on kooltaan 3650mm pitkä, 2350mm leveä ja 2400mm korkea. Kattilahuoneeseen tulee vain pieni osa täyttökierukasta, syöttösäiliön sulkupelti ja sähkökeskusta. Muu laitteiston osa sijoittuu kattilahuoneen ulkopuolelle. Syöttösäiliön sulkupelti vaaditaan paloluokan vaatimuksien täyttämiseksi /1./



Kuva 2. Varastosäiliö ja täyttökierukka

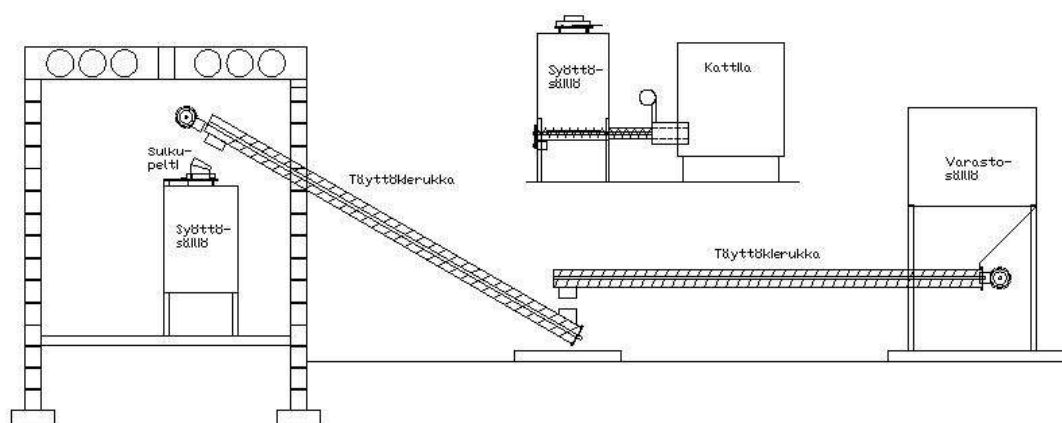
Polttoaineena käytetään pääasiassa palaturvetta. Tämä asetti täyttökierukalle muutamia vaatimuksia. Palaturve on raekooltaan suurempaa kuin hake tai pelletti. Kierukkaputken on oltava tarpeeksi iso, että raekooltaan isompi palaturve mahtuu siihen. Myös kierukan nousun on oltava palaturpeelle sopiva. Laitteisto toimii ohjelmoitavalla logiikalla (PLC, Programmable Logic Controller) ja siihen ladatulla ohjelmalla. Useilta eri valmistajilta löytyy tähän tarkoitukseen sopivia pienikokoisia ohjelmoitavia logiikkayksiköitä. Prosessimuutosten tekemiseen tarvitaan käyttöliittymä (HMI, Human Machine Interface). Käyttöliittymä voidaan toteuttaa esim. tekstipaneelilla tai kosketusnäytöllä. Yksinkertainen käyttöliittymä toteutetaan painonapeilla ja merkkivaloilla. Joskus käyttöliittymää ei vaadita ollenkaan tai siksi riittää PLC:n pieni LCD näyttö ja ohjainnäppäimet.

## 2.4 Esisuunnittelu

Esisuunnittelun tavoitteena on määrittellä automaatiojärjestelmän vaatimukset ja tekniset reunaehdot. Monesti automaatiojärjestelmän määrittely etenee vasta sitten kun muut suunnittelut ovat edenneet tarpeeksi /2./ Ennen automaatiojärjestelmän määrittelyä, tarkennettiin täyttökierukan ja sulkupellin rakennetta. Polttoainetta varten tarvitaan myös polttoainevarasto. Varastosäiliöön lisättiin toinen täyttökierukka, koska säiliö haluttiin sijoittaa polttoainevaraston sisään (Kuva 3). Toinen täyttökierukoista on n. 30 asteen kulmassa, joten siihen kohdistuu suurempi rasitus verrattuna vaakatasossa olevaan kierukkaan. Kierukoiden on oltava laakeroitu



molemmista päistä. Näin kierukan ja putken välys saadaan mahdollisimman pieneksi. Tällä myös varmistetaan täyttökierukan toimivuus hakkeella ja pelletillä. Täyttönopeus ei ollut kriittinen vaatimus. Tärkeintä on, että kierukka ei tukkeudu ja toiminta on luotettavaa. Sulkupelti on kuvassa 2 kääntyvä. Se vaihdettiin vaakatasossa liikkuvaksi. Täyttökierukan ja sulkupellin väliin täytyy jäädä tilaa, koska poltinpään puhdistusta varten syöttösäiliötä on voitava siirtää taaksepäin. Syöttösäiliön jaloissa on pyörät, joten sitä voidaan helposti liikuttaa.



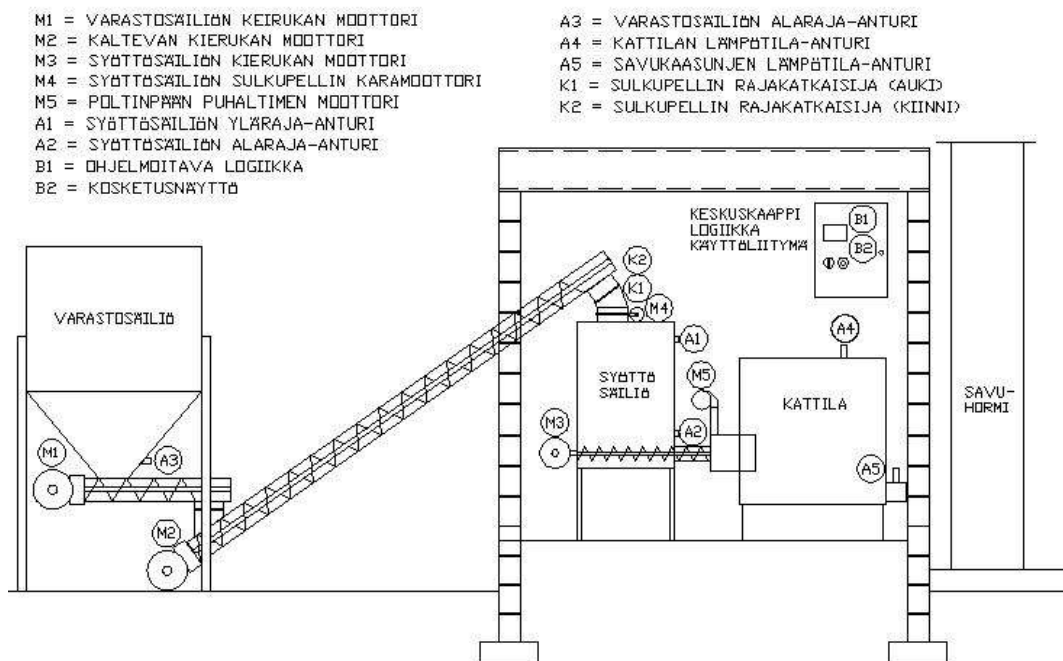
Kuva 3. Varastosäiliö ja syöttökierukat

Myös käyttöliittymä tarvitaan, koska polttimen syöttökierukan käynti- ja taukoaikaa sekä puhaltimen pyörimisnopeutta täytyy pystyä muuttamaan. Lisäksi haluttiin, että jos vaihdetaan polttoainetta, voidaan käyttöliittymästä valita kyseinen polttoaine ja sille asetetut puhaltimen ja syöttökierukan säädöt vaihtuvat automaattisesti. Tämä onnistuu parhaiten kosketusnäytöllisellä käyttöliittymällä. Häiriötilanteiden varalta haluttiin, että PLC varustetaan GSM-modeemilla. Varastosäiliön polttoainepinnan saavuttaessa raja-arvon (ala) tai laitteiston vikatilanteessa, GSM-modeemi lähettää tekstiviestinä tai sähköpostina hälytyksen haluttuun numeroon tai osoitteeseen. Optioksi haluttiin mahdollinen prosessin ohjaus GSM-puhelimen välityksellä.

## 2.5 Toiminnallinen kuvaus

Perussuunnittelun keskeisimpiä dokumentteja on toiminnallinen kuvaus. Se muodostaa pohjan laitteen ja järjestelmän suunnittelulle. Toiminnallinen kuvaus kuvaa mm. laitteen toiminnot, sekä tiedot ja rajoitukset, joiden perusteella järjestelmä toimii. Pääpaino on toiminnoissa. Toiminnallisen kuvauksen tekee toimittaja

käyttäjävaatimuksien ja esisuunnittelun perusteella. Se on sopimuskirjoitus, jonka tilaaja ja toimittaja allekirjoittavat sopimuksen allekirjoituksen yhteydessä. Siihen on suhtauduttava vakavasti, koska sen perusteella toimittaja arvio tulevien muutosten hintavaikutukset. /2./



Kuva 4. Toiminnallinen kuvaus, toimilaitteet

Polttimella tarkoitetaan kokonaisuutta, joka koostuu poltinpästä, poltinpään puhaltimesta (M5), syöttökierukasta ja sen moottorista (M3) sekä syöttösäiliöstä. Polttimen käynnistyessä poltinpään puhallin ja syöttökierukan moottori käynnistyvät. syöttökierukan moottori käy jaksottaisesti. Tuli poltinpäessä palaa kokoajan. Polttimen pysähtyessä poltinpään puhallin ja syöttökierukan moottori pysähtyvät, mutta tuli poltinpäessä ei sammua, vaan jatkaa palamista hiilloksena. Polttimen ja syöttösäiliön toiminta voidaan kuvata yksinkertaisimmillaan seuraavasti. Poltin käynnistyy kun kattilan lämpötila-anturi A4 saavuttaa raja-arvon (ala) ja pysähtyy kun anturi A4 saavuttaa raja-arvon (ylä). Toiminta jatkuu samanlaisena, kunnes polttoaineen pinta syöttösäiliössä saavuttaa raja-arvon (ala). Tällöin poltin pysähtyy ja säiliön täyttö käynnistyy. Syöttösäiliön täyttö jatkuu kunnes polttoaineen pinta syöttösäiliössä saavuttaa raja-arvon (ylä). Täytön päätyttyä poltin käynnistyy jälleen. (Kuva 4). Tämä on kuitenkin liian yksinkertainen kuvaus sovellusohjelman rakentamista ajatellen. Toiminnallisen kuvauksen täytyy olla huomattavasti

yksityiskohtaisempi. Toiminnallinen kuvaus voidaan esittää esim. vaiheittain. Toiminnallisesta kuvauksesta tehdään yleensä erillinen dokumentti, mutta tässä tapauksessa se on esitetty seuraavissa kahdessa kappaleessa.

### 2.5.1 Polttimen toiminnallinen kuvaus

Vaihe 1: Kun anturi A4 saavuttaa raja-arvon (ala) moottorit M3 ja M5 käynnistyy. Moottori M3 käynnistyy viiveellä M5 jälkeen (viive esim. n. 15 sekuntia). Moottori M5 käy koko ajan, mutta moottori M3 käy jaksottaisesti. (esim. n. 4 sekuntia käynnissä ja n. 15 sekuntia pysähdyksissä). Moottorin M3 käynti- ja taukoaikaa, sekä puhaltimen M5 pyörimisnopeutta voidaan tarvittaessa säätää käyttöliittymästä. Anturi A5 mittaa savukaasujen lämpötilaa. Jos anturi A5 ei saavuta annettua raja-arvoa (savukaasujen min. lämpötila) polttimen käynnistymisen jälkeen, (viive esim. n. 180 sekuntia) tuli poltinpäässä on todennäköisesti sammunut ja poltin (M3 ja M5) pysäytetään. Jos syöttökierukan moottoria ei pysäytetä, se työntää kattilan tulipesän täyteen polttoainetta.

Vaihe 2: Kun anturi A4 saavuttaa raja-arvon (ylä) moottorit M3 ja M5 pysähtyvät. Moottori M5 pysähtyy viiveellä moottorin M3 jälkeen (viive esim. n. 90 sekuntia). Poikkeus: Jos kattilan lämpötila-anturi A3 saavuttaa raja-arvon (ala) syöttösäiliön täytön aikana, poltin ei käynnisty. Tässä tilanteessa poltin käynnistyy vasta syöttösäiliön täytön jälkeen. Ohjelmaan täytyy sisältyä myös ns. ylläpitoteho. Lämmityskauden ulkopuolella (kesäaika) polttimen pysähtymisen ja käynnistymisen välinen aika voi olla pitkä. Tällöin on vaarana, että tuli poltinpäässä sammuu. Ylläpitotoiminto on päällä sekä kesällä että talvella. Ylläpitotehon toiminta voidaan kuvata seuraavasti. Moottori M3 käynnistyy määrätyn ajan kuluttua polttimen viimeisen käynnin jälkeen (esim. n. 10 min. viimeisestä käynnistä). Moottori M3 käy yhden jakson ja pysähtyy (jakso esim. n. 1-2 sekuntia). Tämä toistuu määrätyn ajan kuluttua viimeisestä ylläpitopoltosta (esim. n. 10 min. edellisestä ylläpitopoltosta), ellei anturi A3 käynnistä poltinta ensin. Käynti- ja viiveajat ovat säädettävissä käyttöliittymästä lukuun ottamatta ylläpitotehoa. Järjestelmän toimilaitteet ja anturit nähdään kuvassa 4.

### 2.5.2 Syöttösäiliön täytön toiminnallinen kuvaus

Kun polttoaine syöttösäiliössä on loppumassa ja saavuttaa anturin A2 raja-arvon (ala) syöttösäiliön täyttö käynnistyy seuraavasti.

Vaihe 3: Moottorit M3 ja M5 pysähtyvät. Puhallinmoottori M5 pysähtyy viiveellä (viive esim. n. 90 s.).

Vaihe 4: Moottori M4 käynnistyy ja avaa sulkupellin (viive M5 pysähtymisen jälkeen esim. n. 2 s.). Rajakatkaisija K1 pysäyttää moottorin M4 ja käynnistää moottorit M2 ja M1.

Vaihe 5: Moottori M1 käynnistyy viiveellä M2 jälkeen (viive esim. n. 5 s.). Täyttö jatkuu, kunnes polttoaineen pinta saavuttaa anturin A1 raja-arvon (ylä) ja pysäyttää moottorit M1 ja M2.

Vaihe 6: Moottori M4 käynnistyy (viive M1 ja M2 pysähtymisen jälkeen esim. n. 5 sekuntia) ja sulkee sulkupellin. Rajakatkaisija K2 pysäyttää moottorin M4.

Vaihe 7: Moottorit M3 ja M5 käynnistyvät ja poltin palautuu normaalitilaan (moottorit eivät välttämättä käynnisty jos kattilan lämpötila ei ole saavuttanut alaraja-arvoa).

Poikkeus. Jos varastosäiliö tyhjenee ennen kuin anturi A1 saavuttaa raja-arvon (ylä) niin moottorit M1 ja M2 pysähtyvät, moottori M4 sulkee sulkupellin ja moottorit M3 ja M5 käynnistyvät ja poltin palautuu normaalitilaan.

## 3 SUUNNITTELU

Suunnitteluvaihe koostuu tehtävistä, kuten järjestelmäsuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Järjestelmäsuunnittelun tarkoitus on tarkentaa järjestelmän arkkitehtuuria ja ratkaisuvaihtoehtoja siten, että niiden perusteella voidaan aloittaa yksityiskohtainen toteutussuunnittelu. Järjestelmäsuunnittelun kesto on yleensä varsin lyhyt. Pääkohdat on yleensä sovittu perussuunnitteluvaiheessa. Tässä vaiheessa toimittaja pyrkii ratkaisuihin, jotka toteuttavat toiminnallisen kuvauksen. Järjestelmäsuunnittelussa vastuu normaalisti on toimittajalla ja asiakkaan rooli on pienempi /3./

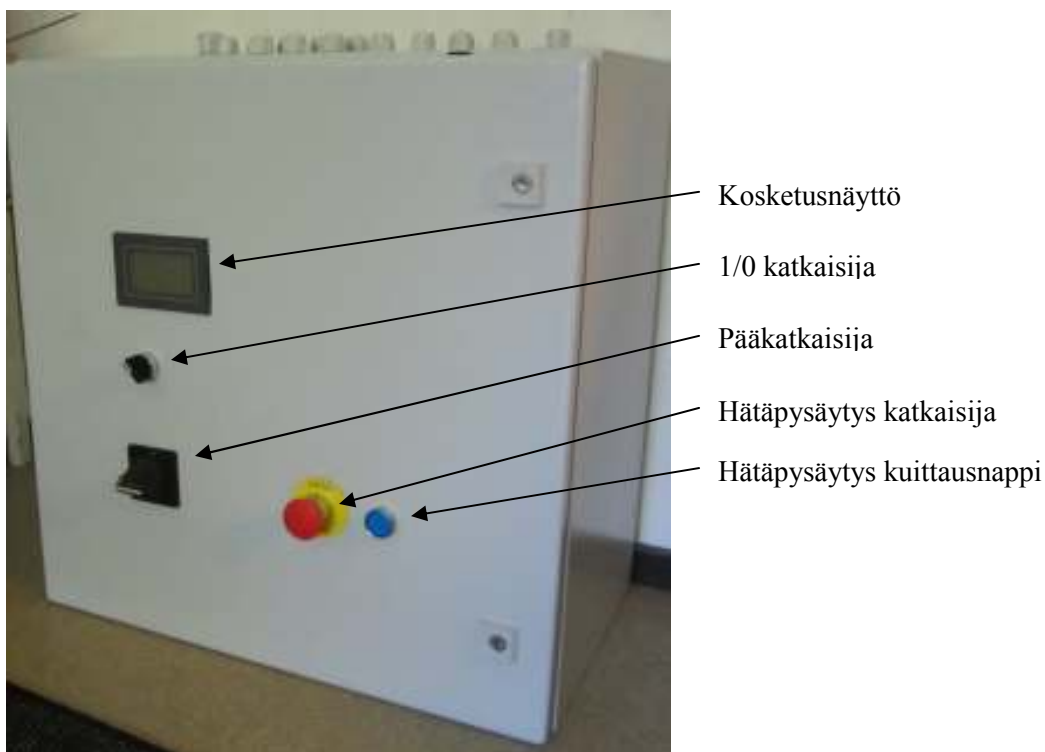
### 3.1 Järjestelmäsuunnittelu

Järjestelmäsuunnittelun lähtökohtana olivat käyttäjävaatimukset, toiminnallinen kuvaus ja kuvassa 4 esitetyt toimilaitteet ja instrumentit. Instrumentoitiin luetaan mm. mittausanturit, mittauslaitteet ja moottorihjaukset /4./ Järjestelmä vaatii mm. ohjelmoitavan logiikkayksikön, kosketusnäytön ja GSM-modeemin (kuva 4). Syöttösäiliön automaattisen täytön kannalta oleellisen tärkeä tieto on polttoaineen pinnan taso säiliöissä. Käyttäjävaatimuksissa toiveena oli prosessin ohjaus GSM-puhelimen välityksellä. Tässä tapauksessa se tarkoitti syöttö- ja varastosäiliön täyttöasteen, sekä kattilan lämpötilan tiedustelua GSM-puhelimen välityksellä lähetetyllä tekstiviestillä. Toiminnallisen kuvauksen perusteella säiliöihin ajateltiin sijoittaa raja-arvo katkaisijat. Polttoainetasojen mittaaminen ei kuitenkaan onnistu raja-arvokatkaisimilla. Jatkuva pinnakorkeuden mittaus voidaan suorittaa mm. kapasitiivisella tai ultraäänimittauksella, joten raja-arvoanturit vaihdettiin ultraääniantureiksi. Koska pinnankorkeus säiliöissä on erittäin oleellinen asia koko laitteiston toiminnan kannalta, raja-arvoanturit pidettiin kuitenkin vaihtoehtona siltä varalta, jos ultraäänianturit eivät jostain syystä sovellu tähän tapaukseen. Kattilan- ja savukaasujen lämpötilan mittaamiseen tarvittiin lämpötila-anturit ja sulkupeltiin karamoottori ja rajakatkaisijat

#### 3.1.1 Laitteisto kuvaus

Laitteistokuvauksessa kuvataan mm. käyttöympäristö, rajapinnat muihin järjestelmiin ja järjestelmän ergonomia sekä arvioidaan vaatimusten toteutuminen, suorituskyky, käytettävyys ja vianmääritys /3./ Tässä tapauksessa kyseessä oli lähinnä vaatimusten toteutuminen, käytettävyys, suorituskyky ja vianmääritys. Järjestelmä tilattiin ulkopuoliselta yritykseltä järjestelmäsuunnittelun pohjalta. Sopimuksen mukaan yritys tilasi järjestelmän osat (kuvat 5-6), lukuun ottamatta täyttökierukoiden moottoreita ja kulmavaihteita ym. niihin tarvittavia osia. Sopimukseen kuului myös sähkökeskuskaappi ja sen sisään tulevan automaatiojärjestelmän kokoaminen. Automaatiojärjestelmään kuuluvat osat ja laitteet valittiin yhteistyössä kyseisen yrityksen kanssa. Logiikaksi valittiin Crouzetin

logiikka. Valmiiksi koottu sähkökeskustaappi sisältöineen nähdään kuvissa 5 ja 6 ja kytkentäkaaviot löytyvät *liitteistä 5-7*.



Kuva 5. Sähkökeskustaappi



Kuva 6. Sähkökeskustaappin sisältö

### 3.1.2 Ohjelmisto kuvaus

Ohjelmistosuunnittelussa suunnitellaan ohjelmiston rakenne. Suunnittelu sisältää ohjelmistonrunгон lisäksi mm. käyttöliittymän, mahdollisten ylemmän tason ohjelmistojen ja niiden liityntöjen suunnittelua. Suunnittelussa on hyvä käyttää vakioituja ratkaisuja. Standardi IEC- 61131-3 määrittelee neljä ohjelmointikieltä jotka ovat

- Käskylista (Instruction List, IL),
- Rakenteinen teksti (Structured Text, ST),
- Tikapuukavio (Ladder Diagram, LD)
- Toimilohkokaavio (Function Block Diagram FBD) /2/.

Tässä vaiheessa aloitettiin sovellusohjelman suunnittelu. Crouzetin logiikka antaa sovellusohjelma vaihtoehtoiksi tikapuukaavion ja toimilohkokaavion. Kuvassa 6 näkyvä yhdistelmä XD26+XA04+GSM-modeemi antoi vaihtoehdoksi vain toimilohkokaavion.

### 3.2 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa tarkennetaan järjestelmäsuunnittelun tuloksia siten, että ohjelmiston ja laitteiston toteutus voidaan aloittaa /2./ Sähkökeskuskaapin kokoamisvaiheessa huomattiin, että kosketusnäyttö ja GSM-modeemi eivät voi olla kytkettynä PLC:n perusmoduuliin yhtä aikaa. PLC:n perusmoduulissa on vain yksi sarjaportti, joten siihen voi kytkeä joko kosketusnäytön tai GSM-modeemin kerrallaan. Suunnitelmaa tarkennettiin siten, että lisättiin kosketusnäytön ja GSM-modeemin väliin vaihtokytkin. Vaihtokytkimellä voidaan valita, ilman kaapelien irrotusta, kumpi laitteista on kytkettynä PLC:n perusmoduuliin. Toteutussuunnittelussa tehdään yleensä myös testaussuunnitelma. Testaussuunnitelmassa tulee määritellä mm. testauksen laajuus, toteutus ja ympäristö. Testausta varten tehdään testauslomake. Testilomakkeella tulee olla paikka mm. hyväksymiselle/hylkäämiselle, poikkeamille, päivämäärälle ja allekirjoitukselle. Myös testin kriittisyys tulee mainita. Integroititestausta voidaan aloittaa heti kokoonpanon aikana kun ensimmäiset komponentit ja ohjelmat on yhdistetty. Mahdollisuuksien mukaan kaikki ohjelmistot, laitteet ja käyttöliittymät

testataan toimittajan tiloissa. Testausta varten laitteisto kootaan testaustilaan mahdollisimman täydellisenä. Laajaa järjestelmää ei yleensä voi toimittajan tiloissa kokonaisuudessaan testata. /3./ Tässä tapauksessa järjestelmä oli pieni, joten se koottiin suoraan lopulliselle paikalleen.

## 4 TOTEUTUS

Toteutusvaiheessa toimittaja valmistaa, hankkii ja kokoaa suunnitteluvaiheessa määritellyn järjestelmän. Yleensä käytetään kaupallisesti saatavilla olevia laitteisto- ja ohjelmistokomponentteja. Samalla toimittaja aloittaa automaatiojärjestelmän sovellusohjelmoinnin ja päivittää kenttälaitteiden asennusdokumentaation. Lopuksi suoritetaan yhdessä asiakkaan kanssa tehdastestaus. Kaikki testit suoritetaan testaussuunnitelman mukaan toimittajan tiloissa. Viimeistään tässä vaiheessa katselmoidaan dokumentit ja arvioidaan toteutuksen onnistuminen toiminnallisen kuvauksen perusteella. Hyväksytyt suoritus on lupa toimitukselle. /3./

### 4.1 Mekaaniset laitteet

Järjestelmä sisältää myös mekaaniset laitteet, kuten täyttökierukat, sulkupellin ja varastosäiliön. Niiden suunnittelussa ja valmistuksessa noudatettiin koneensuunnittelun yleisiä periaatteita. Yksinkertaisimmillaan toiminnot pyritään toteuttamaan entuudestaan tutuilla ratkaisuilla. Tällaisia ratkaisuja ovat esim. laakeroinnit, vaihteistot ja kytkimet. Ratkaisut pidettiin mahdollisimman yksinkertaisina ja tavoitteena oli toiminnan varmuus, luotettavuus ja turvallisuus. /7./ Myös laitteiston edullisuus oli yksi tavoitteista. Varastosäiliö valmistettiin 2mm pellistä. Säiliö koostuu 9 osasta, jotka on liitetty toisiinsa ruuviliitoksin. Osista koostuva säiliö on helpompi maalata tai toimittaa maalaukseen kuin kokonainen säiliö. Kuvassa 7 näkyy säiliön alaosa, minkä pohjassa on tila täyttökierukalle. Valmis varastosäiliö nähdään kuvassa 8.



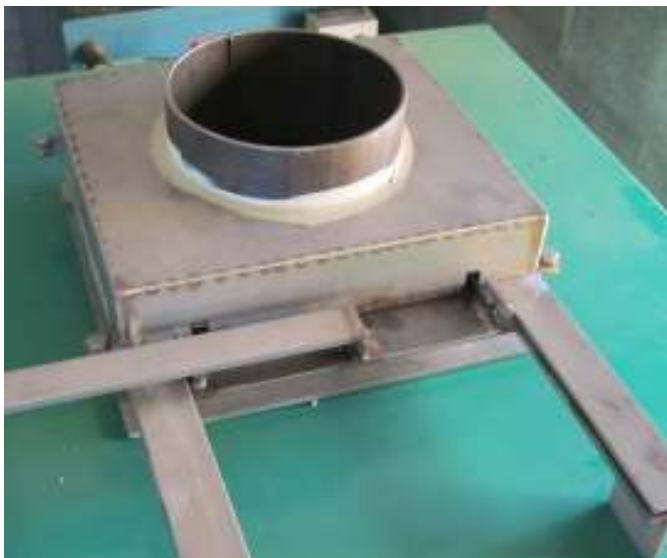


Kuva 7. Varastosäiliön alaosa



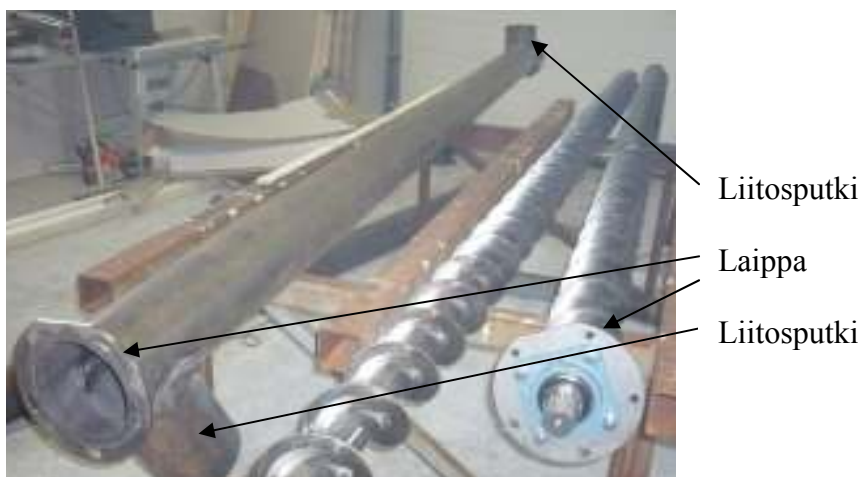
Kuva 8. Varastosäiliö valmiina

Syöttösäiliön kanteen liitettiin sulkupelti. Sulkupelti liikkuu vaakatasossa karamoottorin liikuttamana. Karamoottorin isku on 250mm, max. voima 1500N ja käyttöjännite 24V. Sulkupelti suunniteltiin itse, mutta teetettiin ulkopuolisella. Sulkupelti nähdään kuvassa 9 ilman karamoottoria.



Kuva 9. Sulkupelti ja karamoottori

Täyttökierukat valmistettiin valmiista osista. Osat hankittiin paikallisen valmistajan varaosakaupasta lukuun ottamatta moottoreita ja kulmavaihteita. Paikalliselta stokeri valmistajalta voi ostaa sokerin eri osia, kuten esim. kierukoita. Kuvassa 10 nähdään kierukka ja kierukkaputket. Varaosakaupasta löytyi valmiina myös kuvassa näkyvät liitosputket ja laipat. Kierukka hitsattiin tukiputkeen ja laipat sekä liitosputket isoon kierukkaputkeen.



Kuva 10. Kierukka ja kierukkaputket

Kierukoiden pyörittämiseen tarvittiin moottorit ja kulmavaihteet. Ne saatiin hankittua edullisesti käytettynä. Moottorit ovat teholtaan 1,1 kW ja molemmissa kulmavaihteissa on sama välityssuhde. Pyörimisnopeus säädettiin erikokoisilla

hammasrattailla ketjuilla. Ketjuvaihteiden etuna on mm. hyvä hyötysuhde ja edullisuus. Huonona puolena voidaan mainita mm. välityksien muuttuminen monikulmiovaikutuksen takia ja ketjun sekä ketjupyörien kuluminen. Lisäksi ketjuvaihteessa voidaan käyttää vain yhdensuuntaisia, tavallisesti vaakasuoria akseleita /8./ Kuvassa 11 nähdään moottori ja kulmavaihte hammasrattaineen. Kulmavaihteen akseli, mihin hammasratas kiinnittyy, teetettiin ulkopuolisella.



Kuva 11. Moottori ja kulmavaihte

Ketjuvaihteita käytetään yleensä vaakatasossa olevissa akseleissa. Tässä tapauksessa toinen kierukoista oli n. 30 asteen kulmassa. Siitä ei kuitenkaan ollut haittaa, koska ketju on suhteellisen lyhyt ja sen nopeus pieni. Tarpeen vaatiessa ketjulle voidaan tehdä ohjain, joka pitää ketjun rattaalla. Kuvassa 12 ja 13 nähdään kierukoiden ketjuvaihteet. Varastosäiliön ketjuvaihteesta puuttuu vielä ketjusuoja.



Irrotettava panta

Kuva 12. Kaltevan kierukan ketjuvaihte



Kuva 13. Varastosäiliön ketjuvaihde

Kierukat yhdistetään irrotettavalla pannalla, mikä nähdään kuvassa 12. Vastaava panta tehtiin myös sulkupellin ja täyttökierukan väliin. Panta valmistettiin 0,5mm ruostumattomasta pellistä ja varustettiin pikakiinnittimillä, joten se on helppo kiinnittää ja irrottaa. Lopuksi varastosäiliö ja täyttökierukat polttomaalattiin keltaiseksi. Varastosäiliön, täyttökierukoiden ja sulkupellin piirustukset löytyvät *liitteissä 8-10*. Valmistuksessa noudatettiin soveltuvilla osin standardeja SFS-EN ISO 12100 -1, ja -2 /9./ /10./

#### 4.2 Ohjelmisto

Lähtökohtana oli, että ohjelma tehdään itse, vaikka minkäänlaista kokemusta ohjelman suunnittelusta ei ollutkaan. Vaihtoehtona oli ohjelman teettäminen ulkopuolisella. Kuten järjestelmä- ja ohjelmistokuvauksessa todettiin automaatiojärjestelmä sisältää logiikan, moottoreita ja antureita. Lämmityskattilassa on kaksi lämpötila-anturia. Toinen on kattilavedelle ja toinen savukaasuille. Syöttösäiliössä on ultraäänianturi ja kaksi induktioanturia. Ultraäänianturi on polttoaineen pinnanmittausta varten. Induktioanturit toimivat karamoottorin ääriasentoantureina. Varastosäiliössä on samanlainen ultraäänianturi kuin syöttösäiliössä. Kuvissa 14 ja 15 nähdään ultraääni- ja induktioanturit.

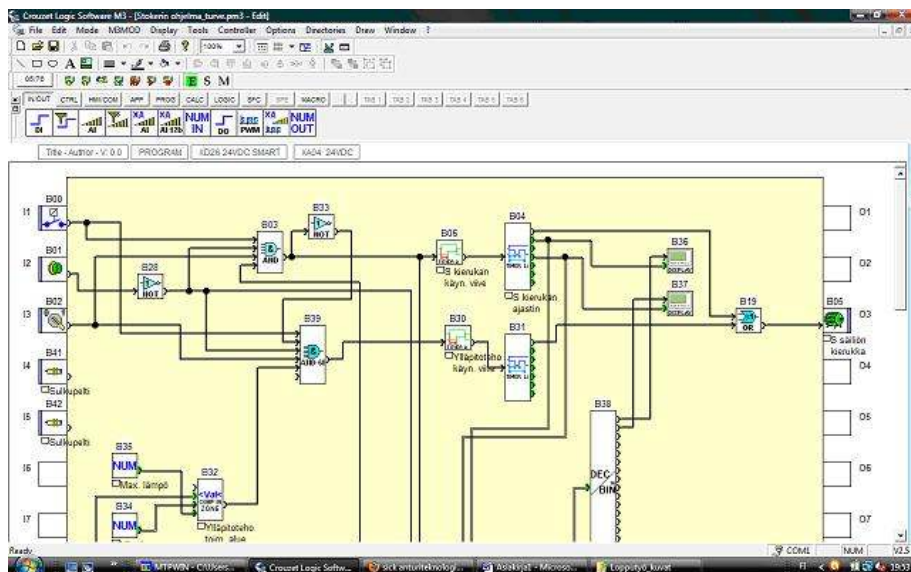


Kuva 14. Ultraäänianturi Datalogic US30



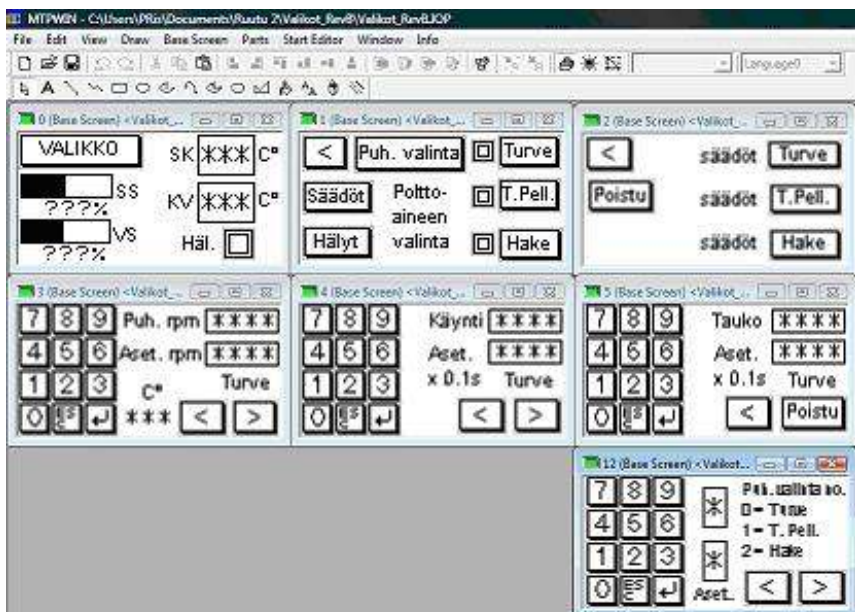
Kuva 15. Induktioanturi Sick 18mm /13./

Sovellusohjelma tehtiin toimilohkokaaviolla (FBD). Kuvassa 16 nähdään esimerkki Crouzetin toimilohkokaavion ohjelmistonäkymästä. Vasemmalla laidalla sijaitsee sisääntulot (input) ja oikealla ulostulot (output). Väliin jäävälle alueelle sijoitetaan ns. toimilohkot. Toimilohkot kytketään siten, että syntyy yhteys sisääntulon ja ulostulon välille. Lämpötila- ja ultraäänianturit ovat ns. analogia-antureita. Osa inputeista käy sekä digitaalisille että analogisille antureille. Poltinpään puhaltimen pyörimisnopeuden säätö vaatii analogisen ulostulon, eikä sitä ole XD26 peruslohkossa, joten analogialisäkortti XA04 (kuva 6) tarvittiin analogista ulostuloa varten. Kattilan PT100 lämpötila-anturi kytkettiin myös suoraan XA04 analogialohkon sisääntuloon.



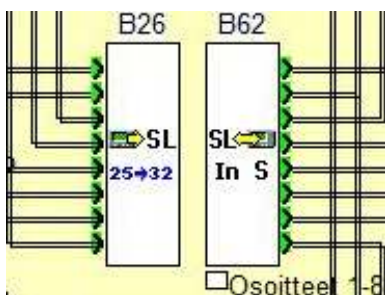
Kuva 16. Esimerkki ohjelmistonäkymästä

Ohjelman perustana käytettiin toiminnallista kuvausta. Ohjelma tehtiin kolmelle eri polttoaineelle (turve, turvepelletti, hake) siten, että jokaisella polttoaineella on omat säätömahdollisuudet syöttökierukan käynti- ja taukoajoille sekä puhaltimen pyörimisnopeudelle. Syöttösäiliön täyttö tehtiin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja automaattiseksi ilman säätömahdollisuuksia. Käyttöliittymäksi haluttiin kosketusnäyttö. Kosketusnäyttö tuo mukavuutta ja helppokäyttöisyyttä säätöjen muuttamiseen. Ohjelma sisältää kaikki toiminnallisessa kuvauksessa esitetyt toiminnot, lukuun ottamatta GSM-puhelimella tehtävää tiedustelua varastosäiliön täyttöasteesta ja kattilan lämpötilasta. Toiminto ajateltiin lisätä vasta sitten kun syöttösäiliön täytön toimivuus varmistuu. Kuvassa 17 nähdään muutama kosketusnäytön valikoista.



Kuva 17. Kosketusnäytön valikot (turve)

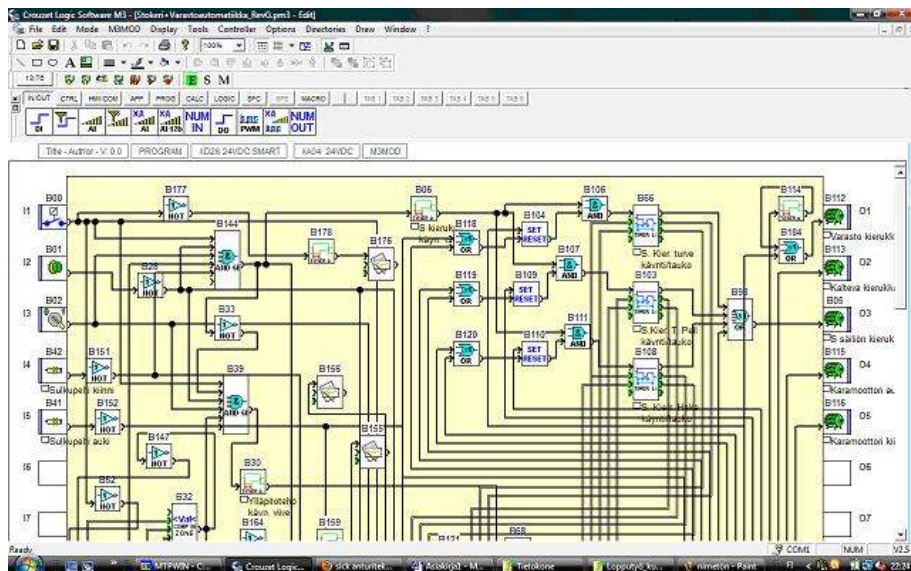
Ohjelmaa voitiin ajaa tietokoneessa simulaatiolla ja testata sen toimivuutta. Kosketusnäytön valikoiden toimivuutta suhteessa ohjelmaan ei voinut testata simulaatiolla, joten se tehtiin toiminnallisessa testauksessa. Kosketusnäyttö kytkeytyy peruslohkoon sarjaportin kautta. Ohjelmassa on sarjaporttitoimilohkot, joiden numeroituihin osoitteisiin kosketusnäytön valikoita tehdessä viitattiin. Kuvassa 18 nähdään ohjelman sarjaporttitoimilohkot.



Kuva 18. Sarjaporttitoimilohkot

Yhdessä sarjaporttitoimilohkossa on 8 osoitetta. Ohjelmaan sisään tulevat on numeroitu 1-24. Ulosmenevät on vastaavasti numeroitu 25-48. Kuvassa 18 vasen lohko on ohjelmasta ulospäin menevälle informaatiolle ja oikea on ohjelmaan sisään tulevalle. Kosketusnäytön valikot tehtiin valmistajan nettisivuilta saatujen ohjeiden mukaan /12./ Kosketusnäytön valikoiden toimivuutta päästiin testaamaan vasta toiminnallisessa testauksessa. Ohjelman teossa oli muutamia ongelmia, mutta ne

ratkaistiin järjestelmän toimittaneen yrityksen konsulttiavulla. Ohjelma saatiin lopulta omin voimin valmiiksi ja toimivaksi. Kuvassa 19 nähdään osa lopullisesta sovellusohjelmasta.



Kuva 19. Ohjelma valmiina

## 5 ASENNUS

Asennusvaiheessa järjestelmä kootaan sen lopulliseen käyttöympäristöön asiakkaan tiloihin ja kytketään siten, että toiminnallinen testaus voidaan aloittaa. Nykyaikaisten järjestelmien asentaminen on varsin lyhyt vaihe. Kun laitteisto on asennettu, kytketään kenttälaitteiden kaapelit ja väylät. Yleensä pyritään siihen, että koko automaatiojärjestelmä asennetaan kerralla. /3./

### 5.1 Mekaniikka

Mekaanisten laitteiden asennus aloitettiin asentamalla kalteva täyttökierukka moottoreineen lopulliselle paikalleen. Täyttökierukka kiinnitettiin U-palkkiin, joka ankkuroitiin sitä varten valettuun betoniseen alustaan. U-palkkiin hitsattiin tuet kierukan alaspäin siirtymisen ja kiertymisen estämiseksi. Lopputulos todettiin varsin tukevaksi (kuva 20).





Kuva 20. Täyttökierukan kiinnitys

Kaltevan kierukan yläpään seinän läpivientiin valmistettiin kannatin, minkä piirustukset nähdään *liitteessä 11*. Seuraavaksi asennettiin varastosäiliö täyttökierukoineen. Varastosäiliö, täyttökierukka ja moottori koottiin valmiiksi ja nostettiin lopulliselle paikalleen siten, että täyttökierukoiden liitosputket asettuvat pystysuoraan linjaan ja varastosäiliö asettui suunnitellun polttoainevaraston sisään. Polttoainevaraston pohja oli valettu valmiiksi (kuva 21). Täyttökierukoiden liitoskohdan päälle tehtiin vielä suojakate, joka toimii samalla ketjusuojana (kuva 22).



Varastosäiliön  
täyttökierukan kannatin

Kuva 21. Varastosäiliö lopullisella paikallaan



Kuva 22. Suojakate

Tämän jälkeen asennettiin sulkupelti ja karamoottori. Sulkupeltiä varten syöttösäiliön kanteen tehtiin neliskulmainen aukko ja sulkupelti kiinnitettiin kanteen pulttiliitoksella. Karamoottori oli sovitettu ja kiinnitetty sulkupeltiin etukäteen (kuva 23).



Induktioanturin  
kiinnityskorvake

Kuva 23. Sulkupelti ja karamoottori lopullisella paikallaan

Lopuksi asennettiin ultraääniantureiden suojakotelot ja induktioantureiden kiinnityskorvakkeet. Antureiden suojakotelot oli valmistettu jo aikaisemmin.

## 5.2 KytKentä ja sähköistys

Kaapeloinnin yhteydessä asennettiin säiliöiden ultraäänianturit ja sulkupellin induktioanturit. Lämmityskattilan lämpöanturit oli asennettu jo aikaisemmin. Kaapeloinnit ja turvakytkimet nähdään kuvassa 24. Kaapeloinnit tehtiin itse ja kytkennät teki paikallisen sähköliikkeen sähköasentaja. Ultraääni- ja induktioanturit nähdään kuvissa 25 ja 26 paikalleen asennettuna.



Kuva 24. Kaapelointi ja turvakytkimet



Kuva 25. Ultraäänianturi paikalleen asennettuna



Kuva 26. Induktioanturi paikalleen asennettuna

### 5.3 Ohjelmisto

Ohjelma ja kosketusnäytön valikot ladattiin logiikkayksikköön välikaapelin välityksellä. Kosketusnäytön valikoiden lataaminen ei heti onnistunut, koska kannettavassa tietokoneessa ei ollut RS232 -sarjaporttia. Kaapelin kytkemiseksi tietokoneen USB- porttiin tarvittiin adapteri. Ohjelmistojen latauksen jälkeen järjestelmä oli valmis toiminnalliseen testaukseen.

## 6 TOIMINNALLINEN TESTAUS

Testausta aloitettaessa voidaan olettaa, että järjestelmän ja laitteiston sähköinen sekä mekaaninen toimivuus on tarkastettu asennuksen yhteydessä. Toiminnallinen testaus aloitetaan tarkistuksilla, jotka liittyvät laite-, ympäristö- ja henkilöturvallisuuteen. Tarkastettavia ovat mm. hätäpysäytystoiminto ja suojalaitteet. Jos testauksessa havaitaan turvallisuuspuutteita, on ne korjattava heti. Testaus voidaan tehdä vaiheittain siten, että siirrytään pienistä kohteista kohti suurempia ja vaikeampia. Testauksen aikana pidetään pöytäkirjaa ja yhteenvedoksi tehdään testausraportti *liite 4 /2./*

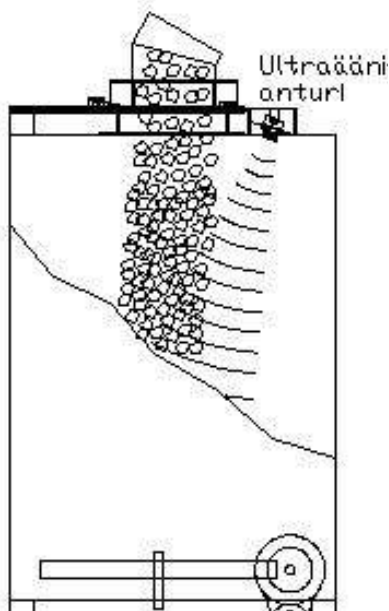
## 6.1 Laite- ja ympäristöturvallisuus

Turvallisuustestaus aloitettiin tarkastamalla moottoreiden ja turvakytkimien kytkennät sekä hätäpysäytystoiminto. Järjestelmä ei sisältänyt muita toiminnan estäviä tai pysäyttäviä turvalaitteita. Laitteistosta tehtiin myös riskianalyysi. Riskianalyysin alueet ja taulukko nähdään *liitteissä 1-2*. Riskianalyysissä noudatettiin soveltuvin osin standardia SFS-EN 1050 /11./

## 6.2 Ohjelmiston toiminta

Ohjelmiston testaus tehtiin vaiheittain. Ensin testattiin polttimen toimintaa ohjaavan ohjelman toiminta ja siihen liittyvät kosketusnäytön toiminnot. Ohjelma oli tässä vaiheessa vielä yksinkertainen ja tehty ainoastaan yhdelle polttoaineelle. Tarkoitus oli saada stokeri toimimaan mahdollisimman nopeasti, koska oli talvi ja lämmityskausi. Polttimen ohjelma saatiin toimimaan, mutta kosketusnäyttöä ei siten kuin oli tarkoitus. Ennen kuin ongelma saatiin ratkaistua kaikki säätötoimenpiteet, kuten ajastimien aikojen muuttaminen piti tehdä PC:ltä monitorointi tilassa. Ongelma selvisi vasta, kun saatiin konsulttiapua järjestelmän toimittaneelta yritykseltä. Ongelma ei ollut kosketusnäytössä vaan ohjelmassa. Syöttökierukan toimintaa ohjaavista ajastintoimilohkoista oli jäänyt yksi asetus rastittamatta. Ongelman ratkettua polttimen ohjelma tehtiin kolmelle polttoaineelle (turve, turvepelletti ja hake) siten, että polttoainetta vaihdettaessa voidaan kosketusnäytöstä valita kyseinen polttoaine muuttamatta syöttökierukan tai puhaltimen säätöjä. Tämä vaatii, että jokainen polttoaine koekäytetään ja polttimen säädöt optimoidaan jokaiselle polttoaineelle erikseen savukaasuja mittaamalla. Turvetta ja haketta koepoltettiin ja savukaasut mitattiin. Myös liekinvahti- ja ylläpitotehotoiminto testattiin ja ajastimien toiminta säädettiin halutuksi. Ohjelma sisältää myös hälytystoiminnon. Hälytystoiminnon päälle saadakseen, on kosketusnäytön kytkentäkaapeli irrotettava PLC:n perusmoduulista ja GSM- modeemi vastaavasti kytkettävä siihen (irrotus ja kytkentä vaihtokytkimellä). Koska kaikki polttimen säätötoiminnot tehdään kosketusnäytöstä, pelkona oli että kaapelin irti kytkemisen jälkeen ohjelma ei enää toimi halutulla tavalla. Toinen askarruttava tilanne oli sähkökatko tilanteessa missä kosketusnäyttö ei ole kytkettynä PLC:n peruslohkoon. Molemmissa tilanteissa ohjelma kuitenkin toimi normaalisti. Lopuksi vielä varmistettiin

häätäpysäytystoiminnon oikeanlainen toimivuus. Seuraavaksi aloitettiin syöttösäiliön automaattisen täytön testaaminen. Testaus aloitettiin ultraääni- ja induktioantureiden kytkentöjen tarkistuksella. Ennen varsinaista ohjelmiston testausta asetettiin ultraääniantureille raja-arvot. Tämä tehtiin manuaalisesti suoraan anturissa olevilla näppäimillä. Ultraäänianturien toiminta-alue on 200mm-2000mm. Syöttösäiliön anturi olisi voinut olla toiminta-alueeltaan pienempikin, koska sen korkeus on n.1000mm. Tällä ei kuitenkaan ollut merkitystä toiminnan kannalta. Seuraavaksi testattiin induktioanturien toiminta. Tämä tehtiin monitorointitilassa suoraan PC:ltä. Tässä vaiheessa tehtiin vielä pieniä korjauksia ohjelmaan, koskien induktioanturien toimintaa. Tämän jälkeen tehtiin ns. kylmätestaus, eli testaus ilman polttoainetta. Syöttösäiliön täyttö käynnistettiin PC:ltä manuaalisesti ultraääniantureiden arvoja muuttamalla. Kylmätestauksessa testattiin sulkupellin toiminta ja tarkistettiin täyttökierukoiden oikea pyörimissuunta sekä häätäpysäytystoiminnon toimivuus. Lisäksi testattiin ohjelman toimivuus tilanteessa, missä varastosäiliö tyhjenee ennen kuin syöttösäiliö on täyttynyt. Nyt voitiin aloittaa syöttösäiliön automaattisen täytön toimivuus oikealla polttoaineella. Kuvassa 27 nähdään tilanne täytön aikana.



Kuva 27. Syöttösäiliön ultraäänianturi

Syöttösäiliöön tuleva polttoaine putoaa varsin läheltä ultraäänianturia. Arveltiin, että jos anturi lähettää signaalia aivan kuten säiliö olisi täynnä, täyttö pysähtyisi ja pysähtymisen jälkeen taas käynnistyisi jne. Anturi ei kuitenkaan reagoanut läheltä

putoavaan polttoaineeseen, vaan toimi halutulla tavalla. Syöttösäiliötä ei myöskään saanut täyttää liian täyteen, koska alle 200mm etäisyydellä ultraäänianturi lähetti 0-arvoa. Tämä huomioitiin asetettaessa yläraja-arvoa. Säiliön täyttötoiminnon testauksen jälkeen polttimen ollessa käynnissä, havaittiin seuraavanlainen ongelma. Jostain syystä ultraäänianturi toisinaan kadottaa polttoaineen pinnan ja lähettää hetken 0-arvoa. Tästä seuraa, että aina kun ultraäänianturin lähettämä arvo putoaa nolnaan, syöttösäiliön täyttö käynnistyy riippumatta polttoaineen pinnantasosta syöttösäiliössä. Vastaava ongelma havaittiin myös varastosäiliön ultraäänianturissa. Varastosäiliön ultraäänianturin 0-arvo taas vastaavasti pysäyttää täytön. Ohjelmaa muutettiin siten, että se ei huomioi 0-arvoa. Lisäksi ohjelmaan lisättiin muutamia toimilohkoja mm. ajastimia. Muutoksilla ohjelma saatiin toimimaan halutulla tavalla.

### 6.3 Vikatilanteet

Vikatilanteista oli testattu jo polttimen toiminnallisen testauksen yhteydessä liekinvahdin toiminta. Liekinvahti pysäyttää polttimen syöttökierukan ja puhaltimen toiminnan jos tuli poltinpäässä sammuu. Muita mahdollisia vikatiloja on esim. täyttökierukoiden tai syöttökierukan jumiutuminen. Jumiutuminen aiheutuu todennäköisesti jonkin vieraan esineen joutumisesta polttoaineen sekaan. Haketta käytettäessä jumiutuminen voi aiheutua myös puukuidun kerääntymisestä kierukkaputken ja säiliön saumakohtaan /5./ Tämän ehkäisemiseksi säiliön ja kierukan välissä on leikkuri (kuva 28).



Leikkurin  
sijainti

Kuva 28. Leikkurin sijaintipaikka

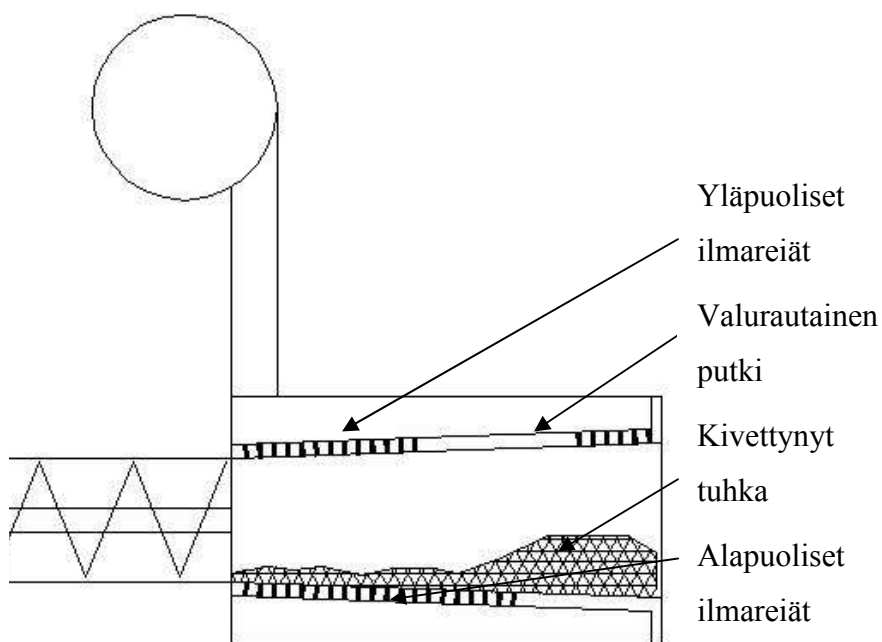
Jumiutumisen laukaisee kierukan moottorin lämpöreleen. Lämpöreleen laukeamisesta seuraa hälytys. Hälytysten toimivuutta ei ehditty kunnolla testaamaan aikataulullisista syistä (talviloma päättyi). Edellä mainituissa vikatilanteissa poltin pysäytetään ja GSM-modeemi lähettää viestin haluttuun puhelinnumeroon. Muita hälytyksiä on mm. varastosäiliön tyhjeneminen ja lämmityskattilan lämpötilan lasku alle määritellyn hälytysrajan. Kaikkia mahdollisia vikoja ei ole huomioitu, mutta yleensä ne välillisesti laukaisee jonkun edellä mainituista hälytyksistä. Esimerkkinä voidaan mainita puhaltimen moottorin hajoaminen. Siitä seuraa, että tuli poltinpäässä sammuu ja liekinvahti toiminto sammuttaa polttimen. Tämä aktivoi hälytystoiminnon.

## 7 KOEKÄYTTÖ

Koekäytössä järjestelmää käytetään, kuten lopullisessa käytössä. Siinä kiinnitetään huomiota ei-toiminnallisiin kriteereihin, kuten esim. suorituskykyyn. Koekäytön aikana voidaan vielä säätää parametreja, mutta tällöin testit uusitaan muutosten varmistamiseksi. /2./ Poltin oli toiminnassa talvella noin 2,5 kuukautta ilman syöttösäiliön automaattista täyttötoimintoa. Koko automaatiojärjestelmän varsinainen



koekäyttö tehdään seuraavalla lämmityskaudella. Koekäytössä selviää mm. pölyn vaikutus ultraäänianturien luotettavuuteen ja soveltuvuuteen polttoainetason mittaamiseen. Jos ultraäänianturit osoittautuvat koekäytössä epäluotettaviksi, ne vaihdetaan kiinteän polttoaineen pinnantason ilmaiseviin rajakatkaisijoihin. Polttimen toiminnallisessa testauksessa mitattiin turpeen ja hakkeen savukaasuja. Tarkoitus oli säätää kyseisten polttoaineiden paloprosessi mahdollisimman optimaaliseksi. Varsinaista säätöä ei ehditty tehdä, mutta mittaustuloksista saatiin selville, että paloprosessi ei ollut kummallakaan polttoaineella kohdallaan. Ilmamäärä oli noin 3,5 kertaa suurempi mitä kemiallinen palaminen vaatii. Tästä huolimatta polttoaine ei kuitenkaan palanut puhtaasti. Varsinkin turvetta poltettaessa, poltinpäähän kerääntyy huokoista kivettyntä tuhkaa, joka tukkii alapuoliset ilmareiät (kuva 29).



Kuva.29 Poltinpään rakenne

Polttoaine ei saa alapuolisista ilmarei'istä ns. primääri-ilmaa, joten palaminen ei ole puhdasta huolimatta suuresta sekundääris-ilmasta. Myös polttoaineen kosteus vaikuttaa palamiseen. Kosteaa polttoaine palaa tunnetusti huonosti ja huonolla hyötysuhteella. Polttoaineen kosteutta ei mitattu eikä poltinpäätä puhdistettu ennen mittauksia, joten savukaasuja onkin tarkoitus mitata uudelleen varsinaisessa koekäytössä seuraavan lämmityskauden alettua. Silloin mittaukset on tarkoitus tehdä

samoilla asetuksilla, mutta poltinpää huolellisesti puhdistettuna. Näin voimme vertailla tuloksia ja tehdä johtopäätökset jatkotoimenpiteistä esim. poltinpään huolto-ohjeista.

### 7.1 Laitteiston suorituskyky ja luotettavuus

Koko automaatiojärjestelmän lopullinen toimivuus ja luotettavuus selviävät seuraavalla lämmityskaudella tehtävässä varsinaisessa koekäytössä. Toiminnallisessa testauksessa järjestelmä saatiin toimimaan halutulla tavalla, mutta vasta pidemmän käytön jälkeen voidaan tehdä johtopäätöksiä luotettavuudesta. Suorituskyvyksi voidaan laskea ainakin syöttösäiliön täyttönopeus. Säiliön täytön alkamisen ja päättymisen välinen aika oli n 20-25min. Tarpeen niin vaatiessa, täyttöä voidaan nopeuttaa muuttamalla täyttökierukoiden ketjuvaihteiden välityksiä.

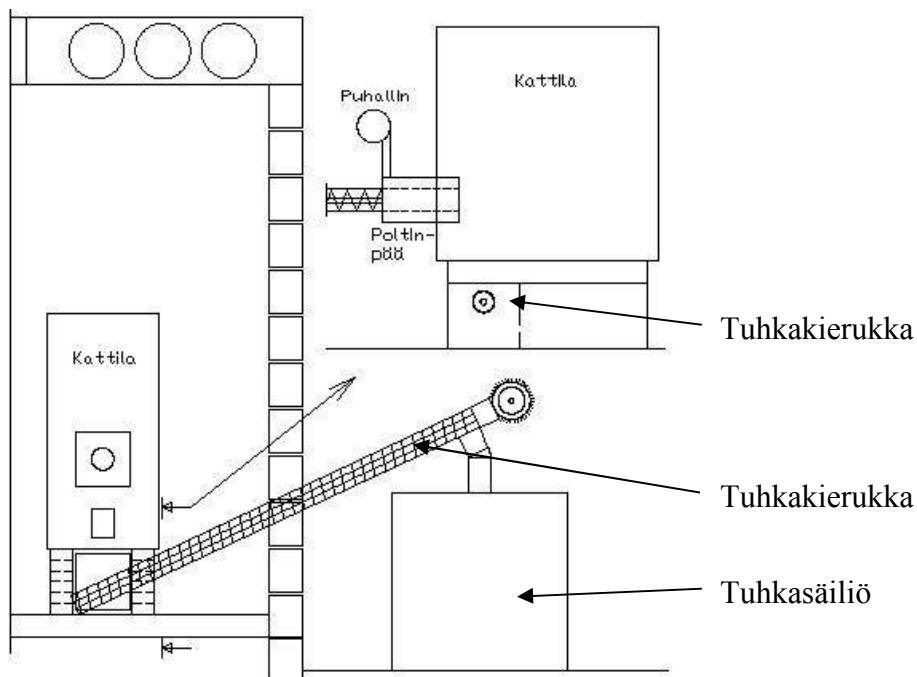
## 8 JATKOKEHITYS

Stokeri oli toiminnassa talvella n. 2,5 kuukautta. Tässä vaiheessa järjestelmästä oli toiminnassa ainoastaan poltin, joten syöttösäiliö täytettiin vielä käsipelillä. Tämän lyhyen jakson kokemusten perustella, päätettiin lisätä lämmityskattilaan automaattinen tuhkanpoisto. Lisäksi tehdään varastosäiliön ultraäänianturin kiinnityskotelon alle n. 150mm-200mm korkea konsoli. Tällä estetään tilanne, jossa ultraäänianturi olisi varastosäiliön täytön jälkeen liian lähellä polttoaineen pintaa. Etäisyys saa olla min. 200mm. Pienemmällä etäisyydellä anturi lähettää 0-arvoa ja tämä estää syöttösäiliön täytön käynnistymisen. Myös poltinpään rakennetta muutetaan hieman tuhkanpoiston helpottamiseksi.

### 8.1 Tuhkanpoisto

Tuhkanpoisto toteutetaan lisäämällä kattilan tuhkatilaan poistokierukka. Kierukan toiminnan ohjaus lisätään järjestelmän ohjelmaan. Lämmityskattilan alle tehtiin jo rakennusvaiheessa n. 300mm korkea tiilestä muurattu tuhkatila. Tuhkakierukka

viedään kattilan tuhkatilaan ja seinän läpi ulos tuhkasäiliöön. Kierukka asetetaan n.25 asteen kulmaan ylöspäin. Näin saadaan tilaa ulos tulevalle tuhkasäiliölle. Kuvassa 30 on hahmoteltu tulevaa tuhkanpoistojärjestelmää.



Kuva 30. Tuhkakierukka ja tyhjennettävä säiliö

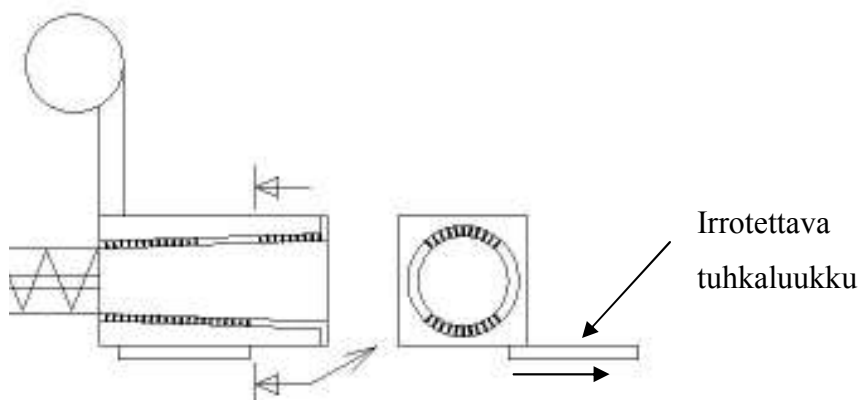
## 8.2 Polttoprosessin parantaminen

Toiminnallisessa testauksessa mitattiin turpeen ja hakkeen savukaasujen arvoja. Tuloksista voitiin päätellä, että polttoprosessi ei ole kohdallaan. Poltinpään sisään kertyy kivettyntä tuhkaa, joka tukkii primääri-ilman tuloreiät. Tuhkaa myös valuu ilmareijistä kotelon sisään. Poltinpään rakennetta muutetaan hiukan koteloon kertyvän tuhkanpoiston helpottamiseksi. Poltinpää on valurautainen ulospäin laajeneva putki, jonka ympärillä on pellistä tehty kotelo. Kotelo on umpinainen lukuun ottamatta puhaltimen aukkoa (kuva 31).



Kuva 31. Poltinpää

Peltikotelon alaosaan tehdään luukku, joka irrotettuna mahdollistaa tuhkan poiston kotelon sisältä. Kuvassa 32. nähdään hahmotelma luukun sijainnista poltinpäässä.



Kuva 32. Poltinpään tuhkaluukku

Koekäytössä tehdään poltinpään huolto-ohjeet ja uudet savukaasujen mittaukset eri polttoaineilla. Tuloksista riippuen päätetään pitääkö poltinpää vaihtaa toisen tyyppiseksi. Paikallisella valmistajalla on valikoimissa vastaavan kokoinen ja tehoinen liikkuvalla arinalla varustettu poltinpää. Se on kuitenkin aika kallis, joten ainakaan lähitulevaisuudessa poltinpään vaihto ei tule ajankohtaiseksi.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää kiinteän polttoaineen syötinlaite/polttimen ns. stokerin syöttösäiliön täytön automatisointi. Tavoite oli pidentää stokerin polttoainetäydennysten välistä toiminta-aikaa. Tämä toteutettiin automaatiojärjestelmällä, joka sisältää mekaanisten laitteiden lisäksi ohjelmoitavan logiikkayksikön ja kosketusnäytön. Järjestelmä suunniteltiin siten, että se voidaan toteuttaa käyttäen mahdollisimman paljon kaupallisesti saatavia komponentteja. Logiikaksi valittiin Crouzetin logiikka ja saman valmistajan kosketusnäyttö. Ohjelmistoarkkitehtuuriksi valikoitui toimilohkokaavio. Ohjelmisto tehtiin ohjelmoitavalle logiikalle ja kosketusnäytölle kokonaan itse. Ohjelmoitavan logiikan ohjelmisto testattiin simulointimallilla, mutta kosketusnäytön testaaminen pystyttiin tekemään vasta toiminnallisessa testauksessa. Testauksessa ilmeni sekä kosketusnäytön toimivuudessa että logiikan ohjelmoinnissa ongelmia, jotka ratkaistiin testien aikana. Mekaniikan suunnittelussa ja toteutuksessa ei esiintynyt ongelmia, joten valmistus ja asennus sujuivat suunnitelmien mukaan. Myös polttimen savukaasuja mitattiin. Mittaustulosten perusteella päätettiin tehdä polttimeen pieniä parannuksia. Savukaasujen mittaukset ja polttimen säädöt tehdään vielä uudelleen varsinaisen koekäytön aikana seuraavan lämmityskauden alkaessa. Aikataulun mukaan järjestelmän automaatiosuunnittelun piti alkaa kesällä 2011. Tämä ei kuitenkaan toteutunut. Osa automaatiojärjestelmän komponenteista oli tilaustavaraa ja toimitusajat olivat n. 6 viikkoa. Tähän ei osattu varautua etukäteen. Koska järjestelmän suunnittelu ja valmistus oli suunniteltu tehtävän pääasiassa lomien aikaan, aloitus siirtyi eteenpäin useammalla kuukaudella. Tästä aiheutuu yleensä ongelmia, mutta tässä projektissa siitä ei ollut haittaa. Tämä kuitenkin osoitti sen, kuinka helposti projektin aikataulu voi muuttua. Varsinainen suunnittelu, ohjelmointi ja valmistus sujuivat varsin lyhyessä ajassa, joten ilman aloituksen siirtymistä aikataulu olisi mahdollisesti jopa alitettu. Vaikka pidempiaikainen kokemus järjestelmän toiminnasta vielä puuttuukin, voidaan jo nyt todeta, että työ onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Kun huomioidaan kokemattomuus ohjelmistosuunnittelussa, niin projekti onnistui jopa erinomaisesti. Lopputuloksena saatiin kaikki toiminnalliset vaatimukset täyttävä automaatiojärjestelmä.

## LÄHTEET

1. Suomen RakMK E9 2005. Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus Ohjeet 2005. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.
2. Asmala, H., Koskinen, K., Koskela, M., Mätäsniemi, T., Soini, A., Strömman, M., Tommila, T. & Valkonen, J. 2001. Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
3. Ajo, R., Hakonen, S., Harju, H., Järvi, J., Kaskes, K., Lenardic, E., Niukkanen, E., Nurminen, T., Ritala, P., Tolppanen, M., Tommila, T. 2001. Laatu Automaatiossa parhaat käytännöt. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.
4. Kippo, A., Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy
5. Biopoltinjärjestelmien ammattilainen Säätotuli Oy <http://www.saatotuli.fi>
6. Lämmityskattila ja stokeri biolämmitykseen ALA-TALKKARI <http://www.ala-talkkari.fi>
7. Airila, M., Karjalainen, J. A., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A., Verho, A. 1985. Koneenosien suunnittelu 1 perusteet. Helsinki: WSOY
8. Airila, M., Karjalainen, J. A., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A., Verho, A. 1985. Koneenosien suunnittelu 3 tehonsiirto. Helsinki: WSOY
9. SFS-EN ISO 12100 -1. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet osa:1 Peruskäsitteet ja menetelmät. 2004. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto ry SFS
10. SFS-EN ISO 12100 -2. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet osa:2 Tekniset periaatteet. 2004. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto ry SFS
11. SFS-EN 1050. Koneturvallisuus. Riskien arvioinnin periaatteet. 1996. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto ry SFS
12. Crouzet – Micro Control, Pneumatics, Micro Motor, Sensors [www.crouzet.com](http://www.crouzet.com)
13. SICK Anturiteknologiaa [www.sick.fi](http://www.sick.fi)
14. Pelin, R. Projektihallinnan käsikirja. 2002. 3. uudistettu painos. Helsinki: Projektijohtaminen Oy Risto Pelin

## LIITTEET

- Liite 1. Riskianalyysi taulukko
- Liite 2. Riskianalyysi kuva
- Liite 3. Esimerkki aikataulusta
- Liite 4. Testauspöytäkirja
- Liite 5. Sähkökytkennät 1
- Liite 6. Sähkökytkennät 2
- Liite 7. Sähkökytkennät 3
- Liite 8. Kierukat ja kierukkaputket
- Liite 9. Varastosäiliö
- Liite 10. Sulkupelti
- Liite 11. Läpivientikannatin

Projekti  
Tekijä  
Pvm

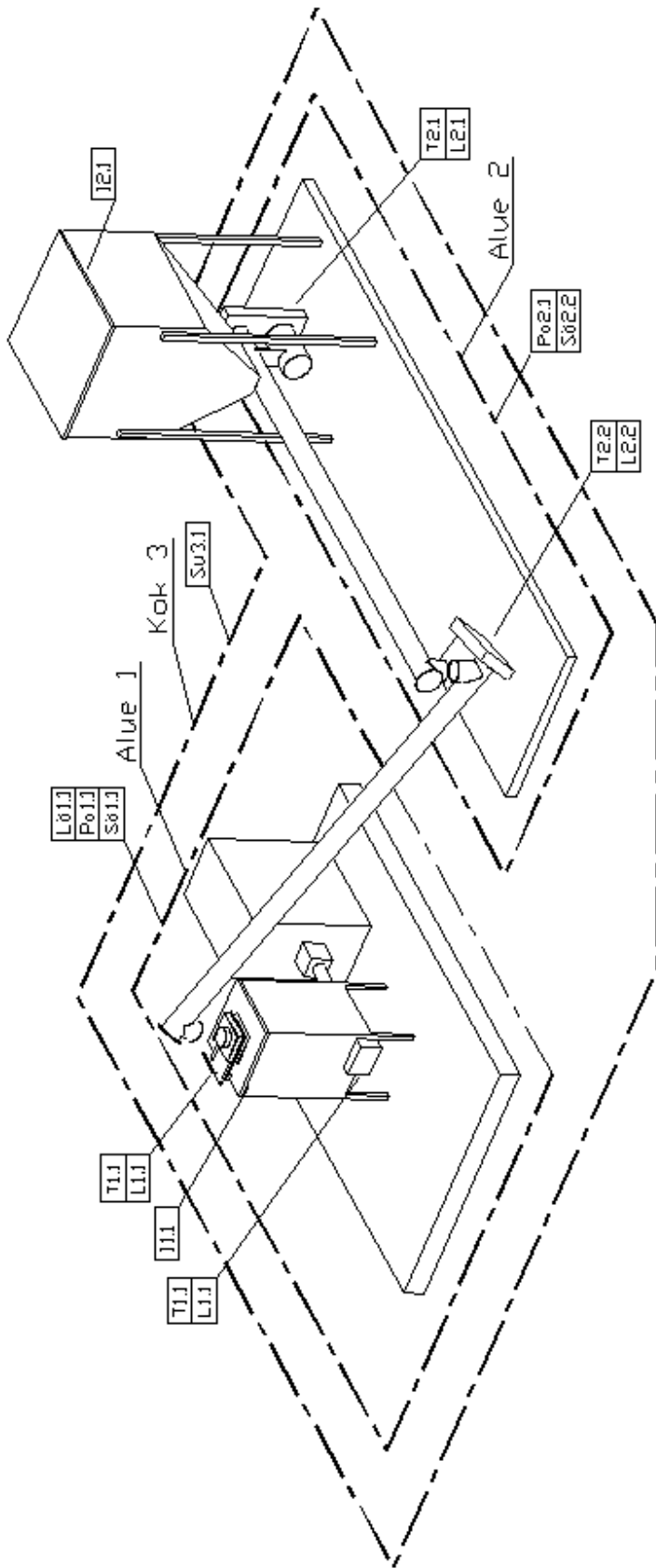
Opinnäytetyö  
Pasi Risimäki  
14.5.2011

A = Jännitteettömänä  
B = Jännite kytkettynä

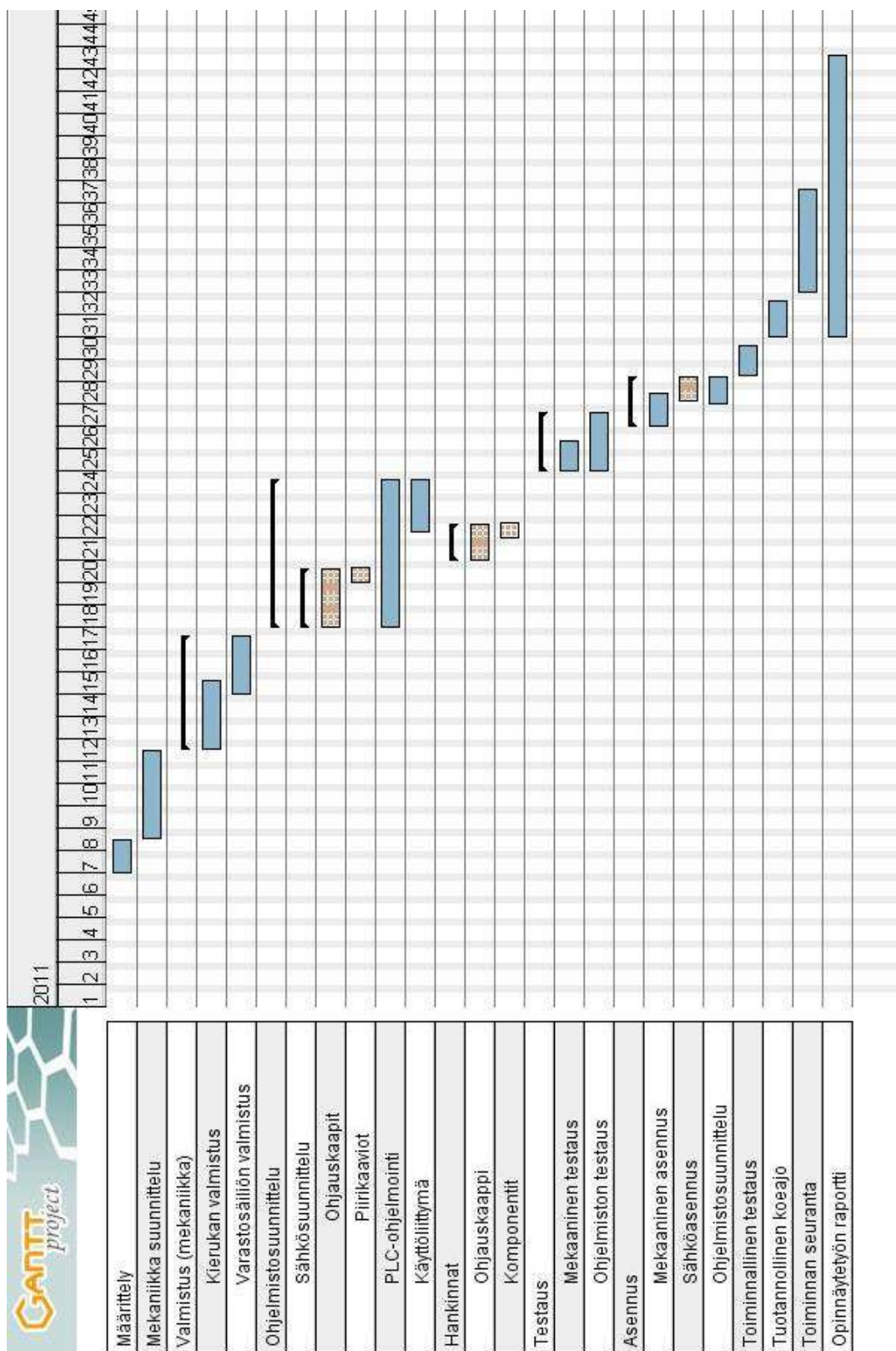
Seuraus	Vakavuus V <sub>a</sub>	Luokka LK			T	T	Vä			T	Välittävyys V <sub>a</sub>
		0-4	5-8	9-11			12-13	14-15	To		
Kuolema, silmän tai raajan menetys	4	0	1	2	4	Päivittäin	5	Yleinen	5	Mahdoton	5
Pysyvä vamma	3	0	0	1	3	Vikottain	4	Todennäköinen	4	Harvainen	4
Lääkärin parannettavissa	2	0	0	0	2	Kuukausittain	3	Mahdollinen	3	Mahdollinen	3
Laastarihoito	1	0	0	0	1	Vuositain	2	Harvainen	2	Todennäköinen	2
						Harvoin	1	Merkittyksetön	1	Varma	1

Seur. No.	Pos. No.	Vaaratyyppi	V <sub>a</sub>	T			Vä			T	Jännösvara	Kateg.
				A	B	3	A	B	A			
1	T1.1	Tartuntavaara	2	1	3	2	2	2	5	7	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
2	T1.2	Tartuntavaara	2	1	3	2	2	2	5	7	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
3	T2.1	Tartuntavaara	2	1	3	2	2	2	5	7	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
4	T2.2	Tartuntavaara	2	1	3	2	2	2	5	7	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
5	L1.1	Leikkautumisvaara	3	1	3	2	3	2	5	8	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
6	L1.2	Leikkautumisvaara	3	1	3	2	3	2	5	8	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
7	L2.1	Leikkautumisvaara	3	1	3	2	3	2	5	8	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
8	L2.2	Leikkautumisvaara	3	1	3	2	3	2	5	8	Ketjusuoja/raonleveys/ohjeistus	OK
9	I1.1	Iskuvaara	2	3	3	2	2	2	7	7	Kaasusylinterit kannessa	OK
10	I2.1	Iskuvaara	2	3	3	2	2	2	7	7	Kaasusylinterit kannessa	OK
11	P1.1	Putoamisvaara (säil.)	2	3	3	3	2	2	8	7	Korkeus yli 1,3m	OK
12	P2.2	Putoamisvaara (säil.)	4	3	3	2	2	2	7	7	Korkeus yli 1,3m	OK
13	Lä1.1	Lämpötilavaara	2	4	4	4	4	3	11	11	Ohjeistus	OK
14	Pa1.1	Palovaara	2	1	1	2	2	2	5	5	Takatuksuoja/metaalliset tuhka-astia/palo-ohjeet	OK
15	Pa2.1	Palovaara	2	1	1	1	1	2	4	4	Palopelti syyttönsäiliöissä/palo-ohjeet	OK
16	Sä1.1	Sähköiskuvaara	4	1	2	1	2	1	2	3	Johdot suojattu/antureilla suojajännite	OK
17	Sä2.1	Sähköiskuvaara	4	1	2	1	2	1	2	3	Johdot suojattu/antureilla suojajännite	OK
18	Sä2.2	Sähköiskuvaara	4	1	2	1	2	1	2	3	Johdot suojattu	OK
19	Su3.1	Suunnitteluvirhe	3	1	2	1	2	2	4	6		OK





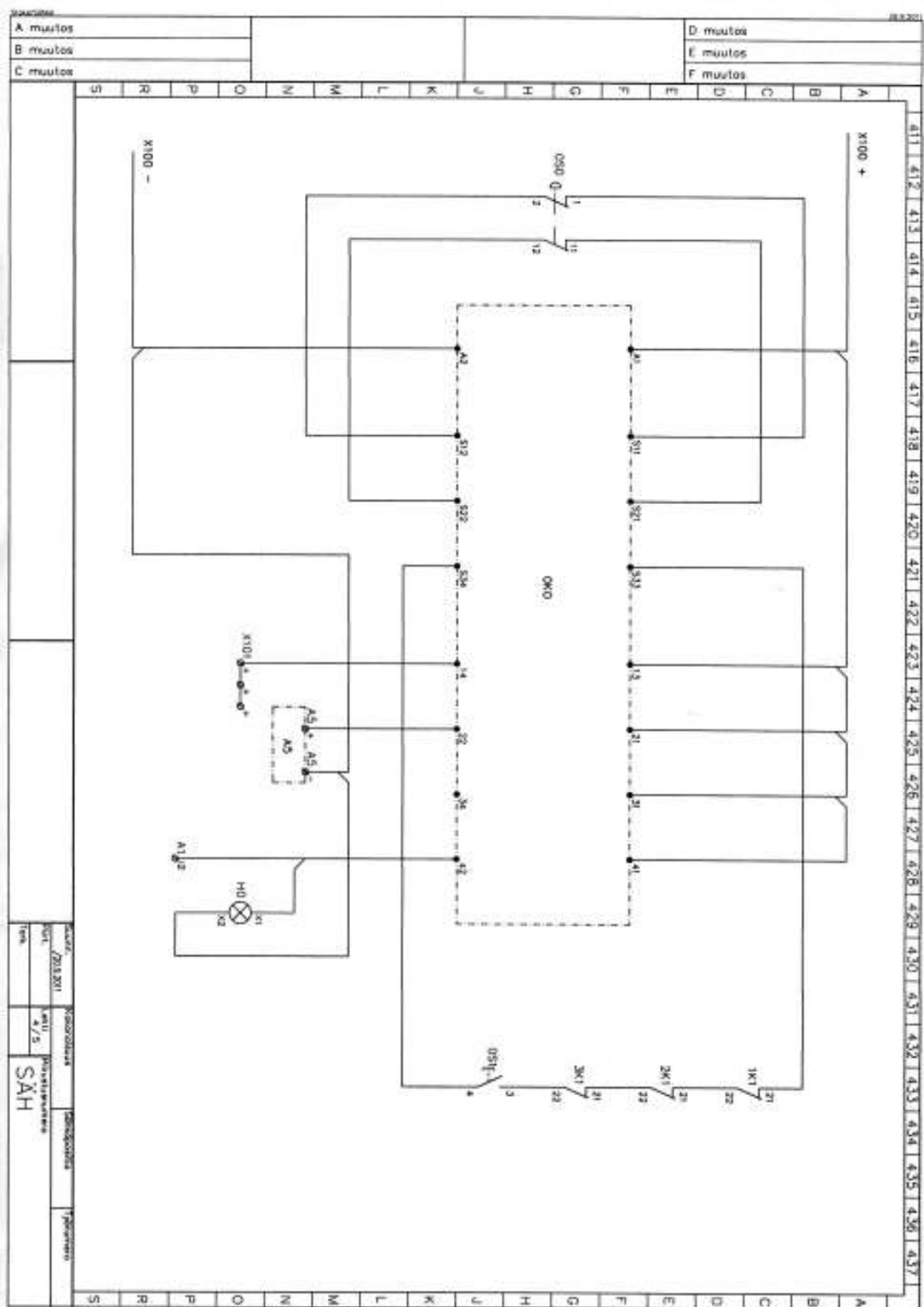
Riskianalyysialueet



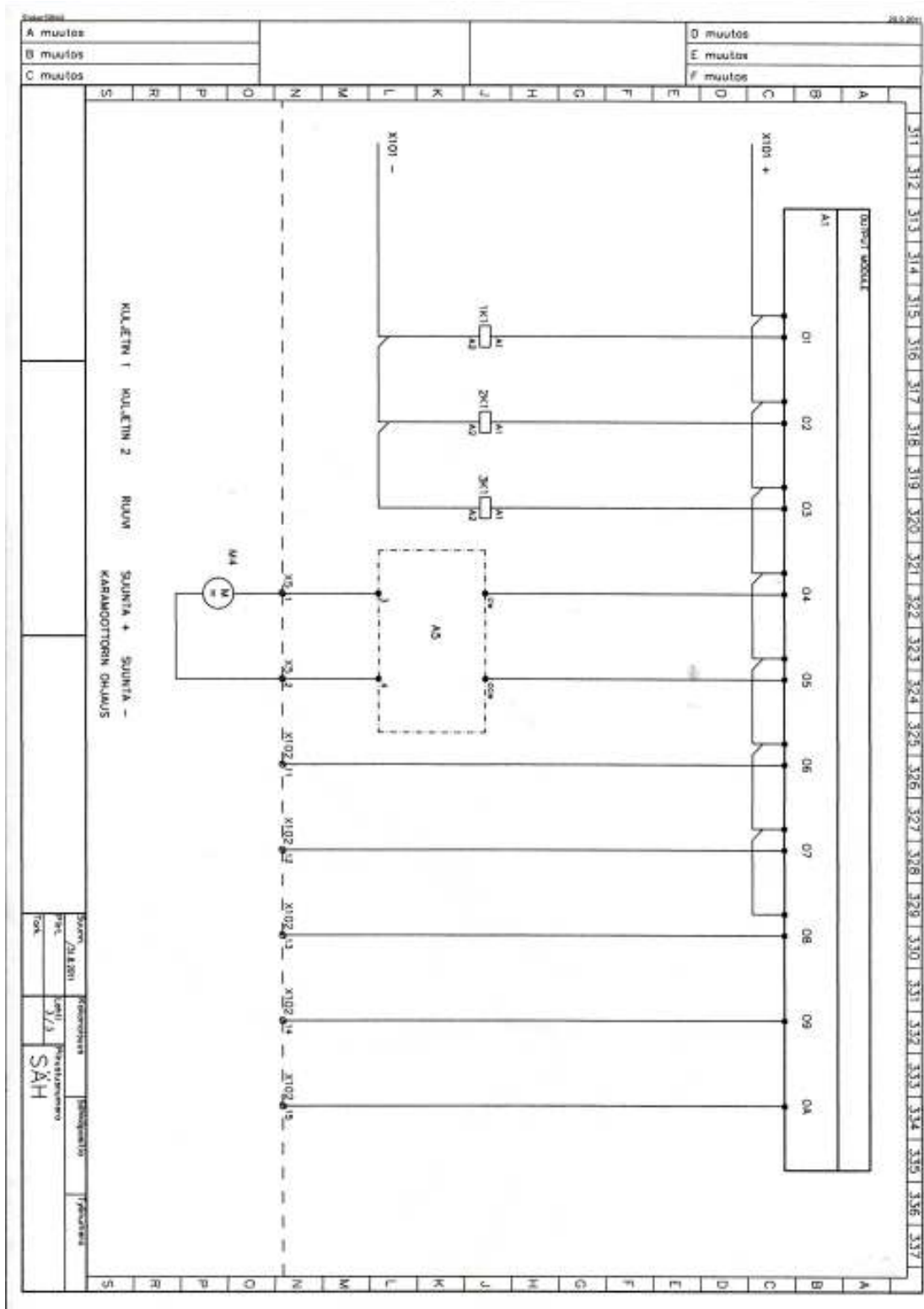
Aikataulu

TESTAUSPÖYTÄKIRJA			
Tarkastaja		Paiväys	
Kohde			
Tunniste	Kuvaus	Testitulokset	Huomautukset
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

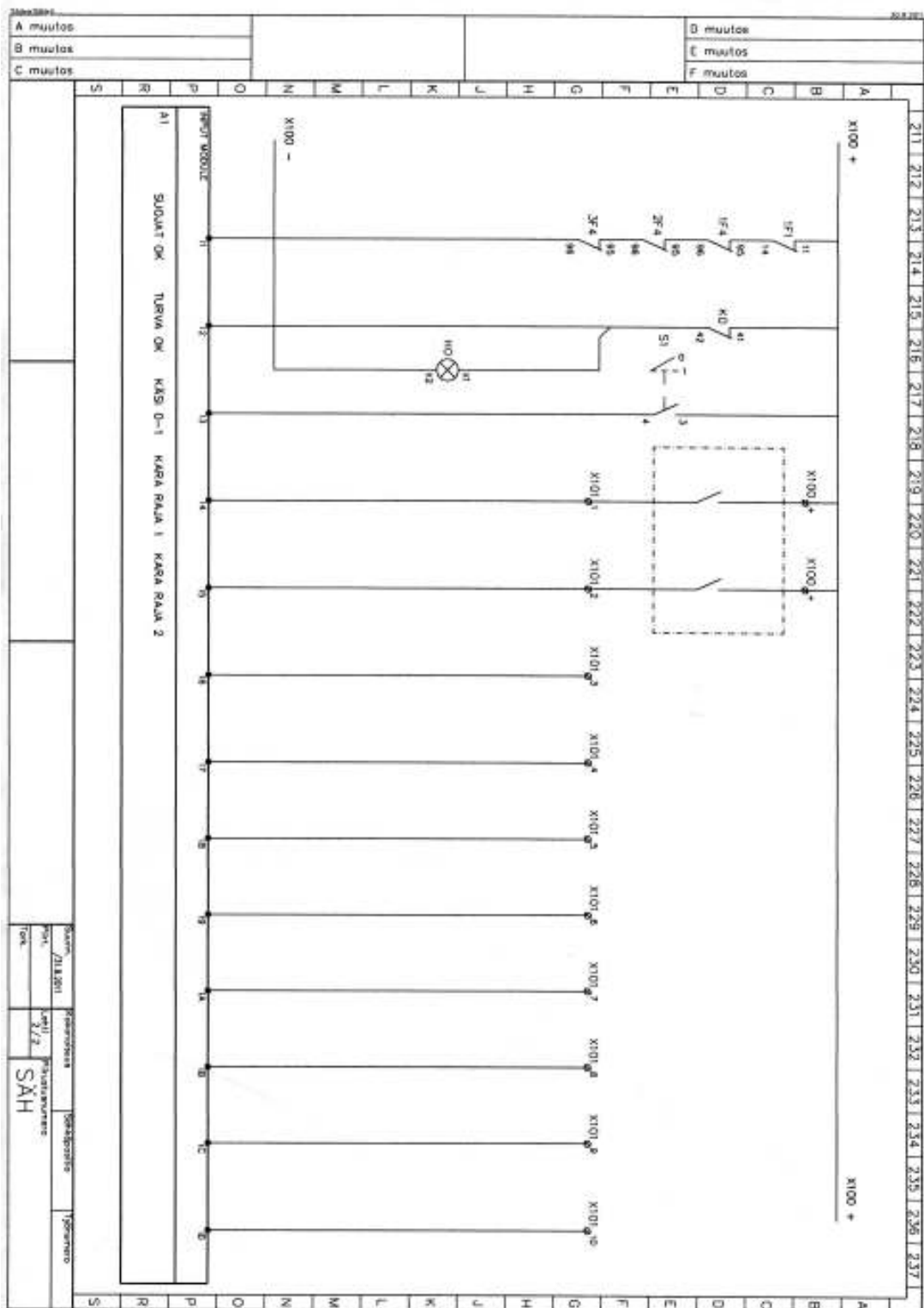
Testauspöytäkirja



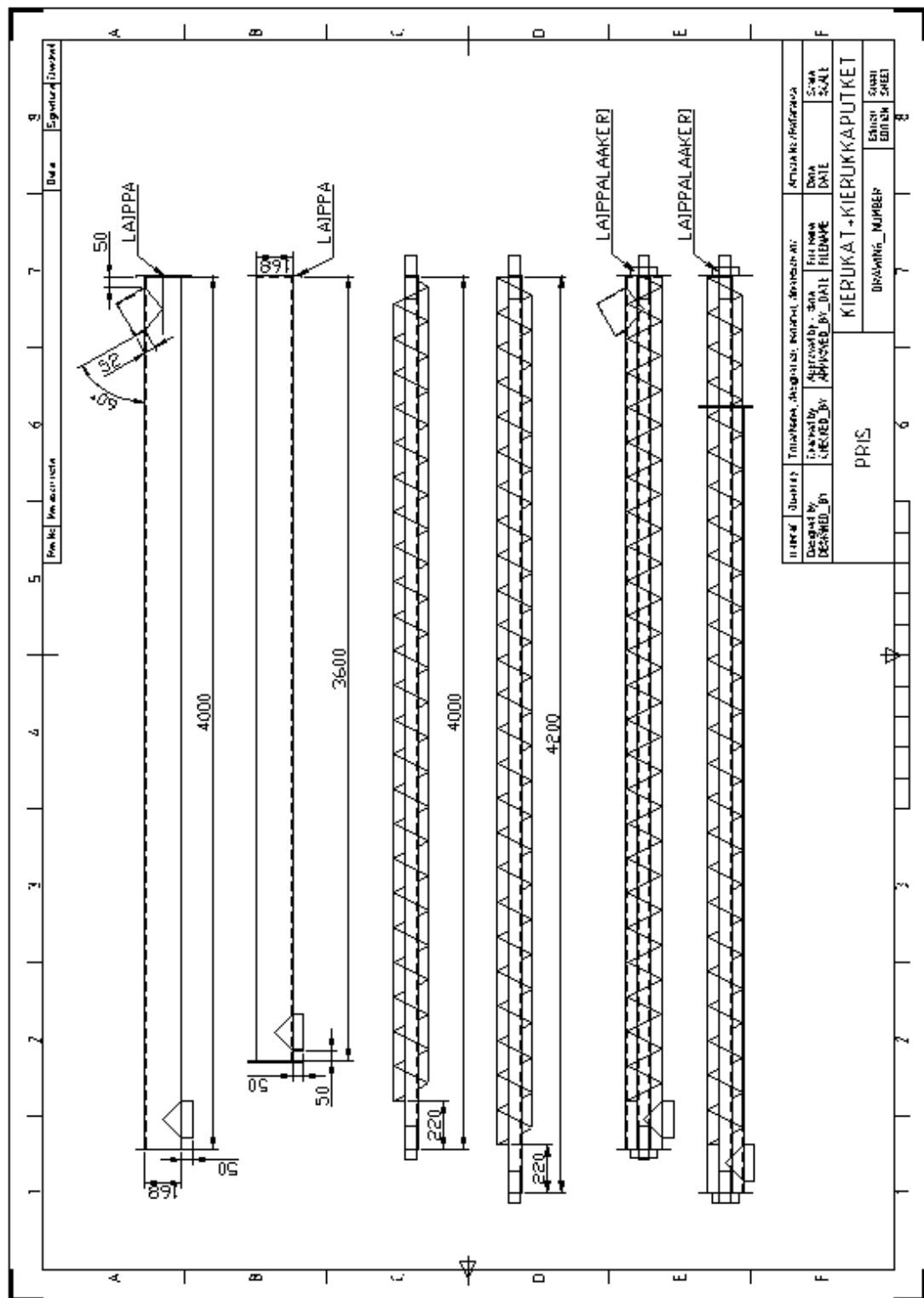
Sähköytkenät 1



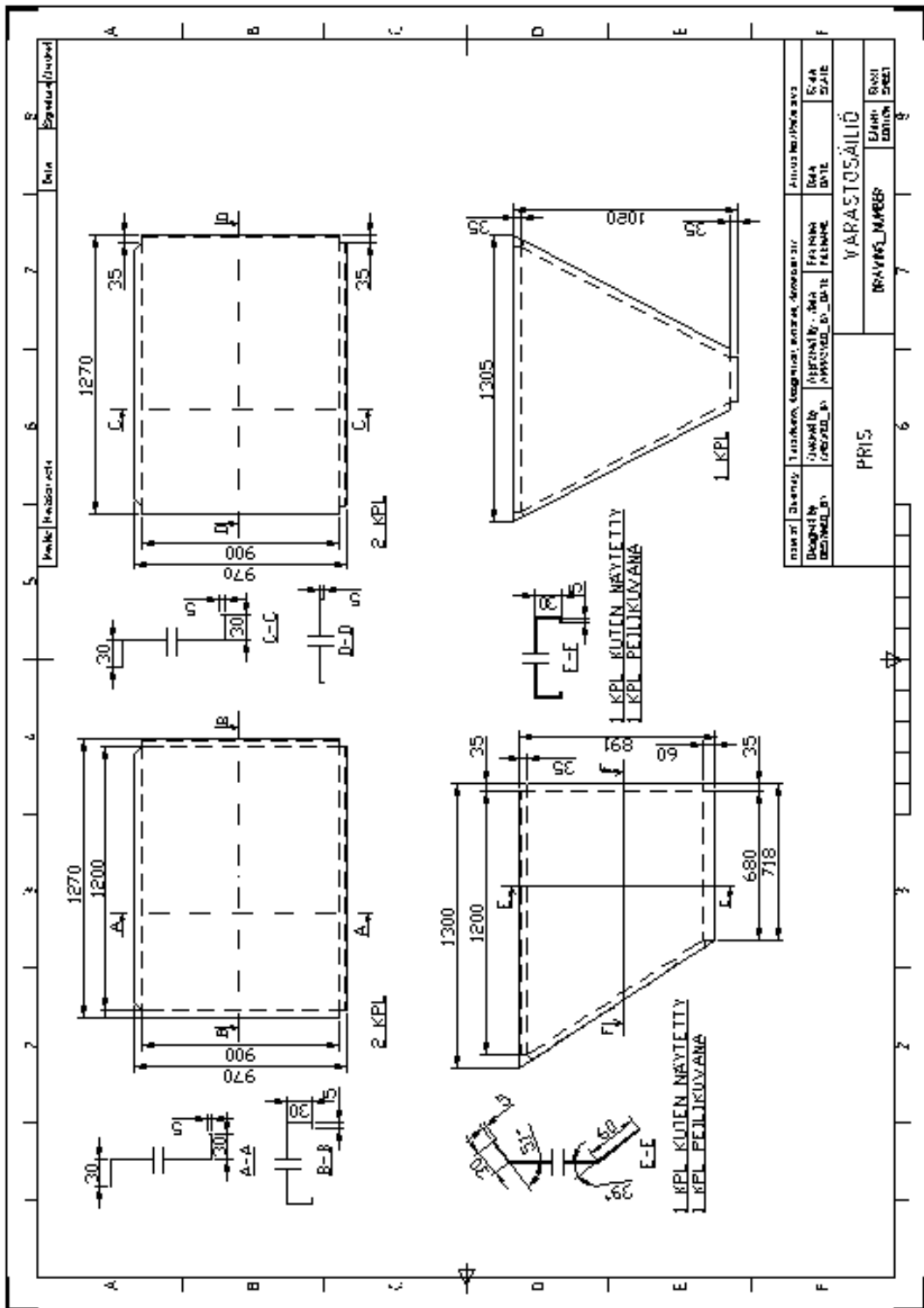
Sähköytkenät 2



Sähkökytkennät 3



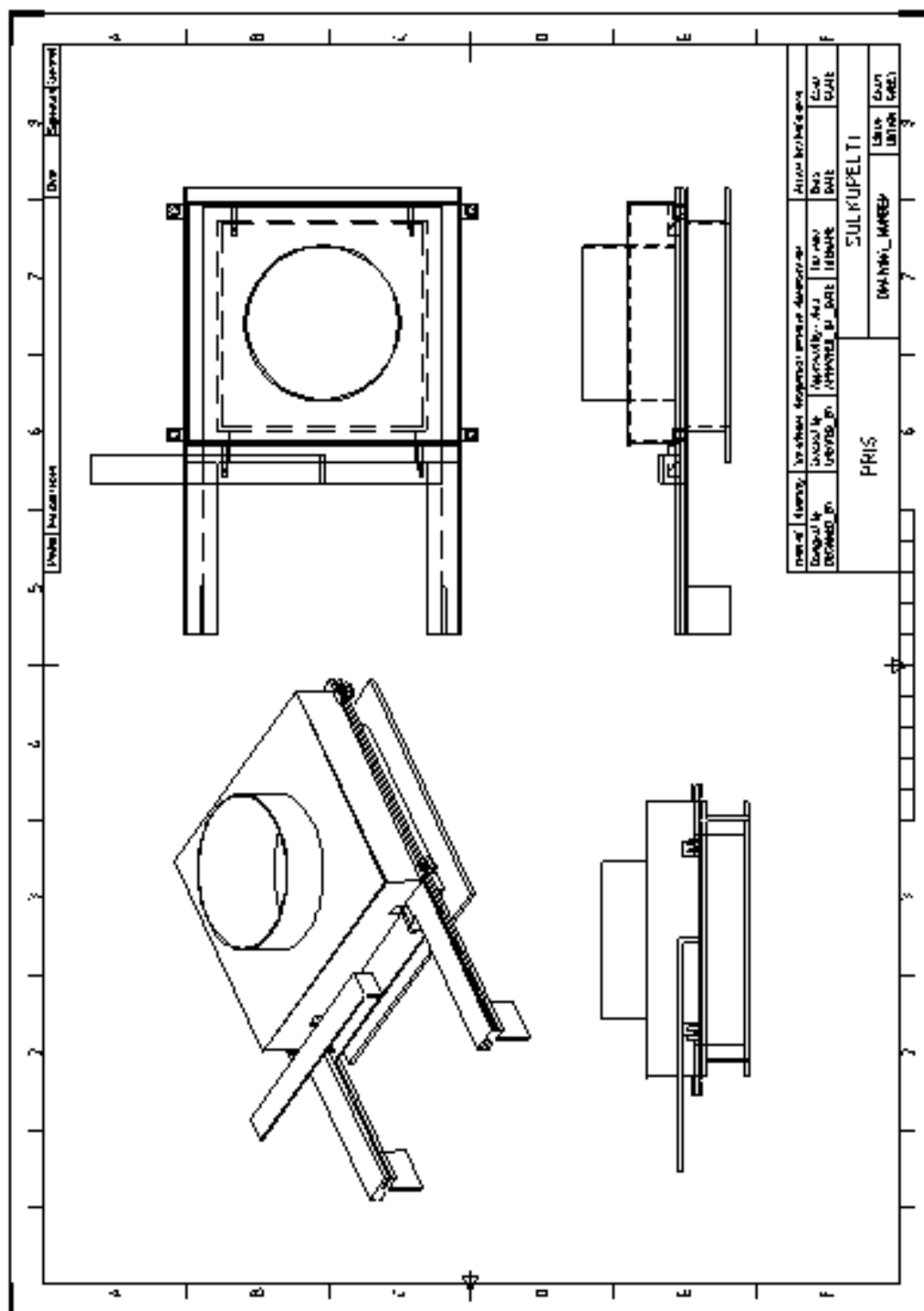
Kierukat ja kierukkaputket



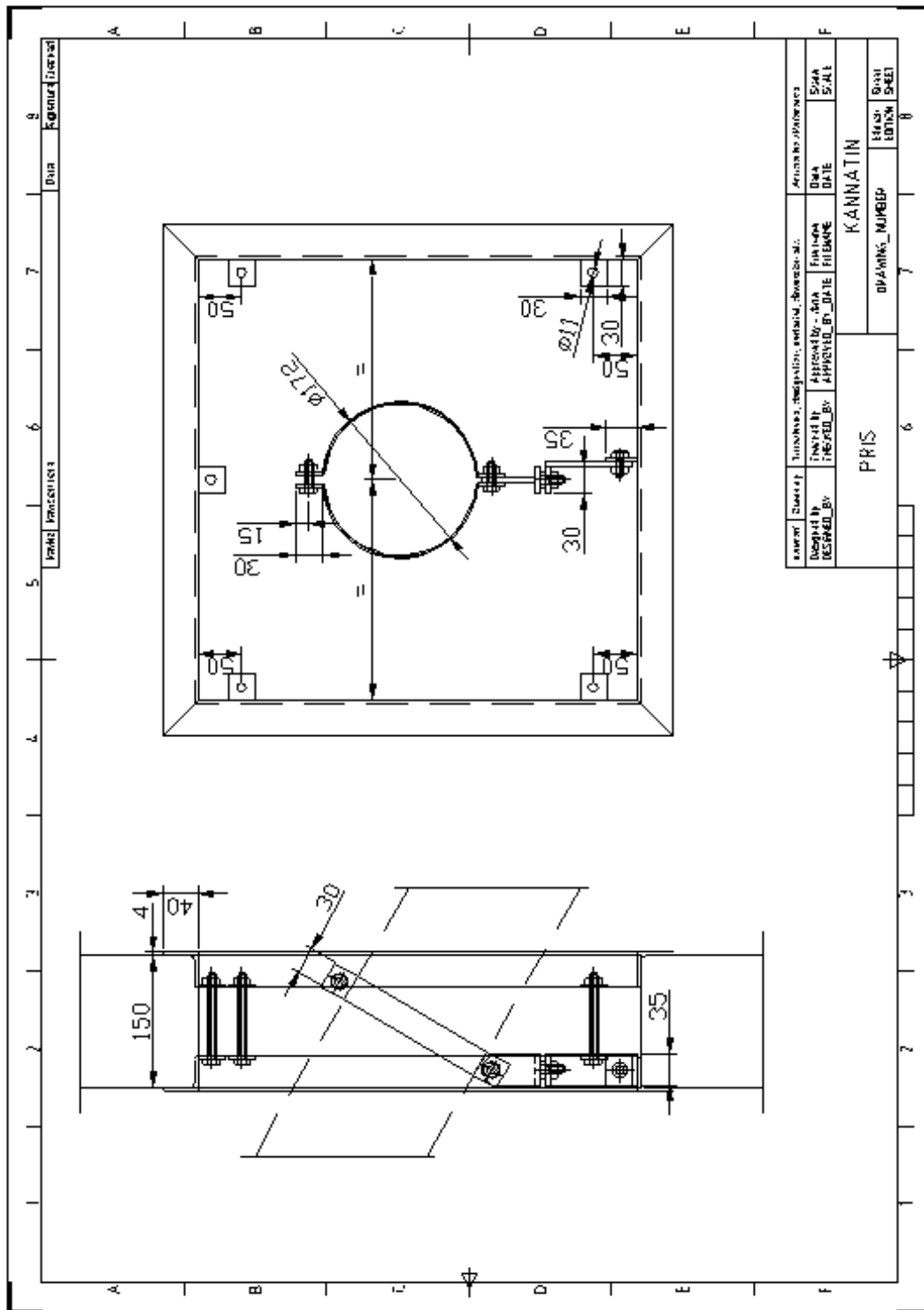
Design by DRAUGHTSMAN	Checked by SUPERVISOR	Approved by MANAGER	Drawn by DRAWING MANAGER	Scale SCALE	Sheet SHEET
VARASTOSÄILIÖ					
PRIS					

Varastosäiliö





Sulkupelti



Läpivientikannatin