

# STOKERIKATTILAN AUTOMATISOINNIN SUUNNITTELU



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Syksy, 2019

Niko Ruuttu

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Valkeakoski

---

<b>Tekijä</b>	Niko Ruuttu	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Stokerikattilan automatisoinnin suunnittelu	
<b>Työn ohjaaja</b>	Timo Väisänen	

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä työssä suunniteltiin asiakkaan pyynnöstä automatisoitu ohjausjärjestelmä stokerikattilaan. Suunniteltavasta järjestelmästä pyrittiin tekemään kokonaisuus, jota asiakas pystyy muokkaamaan halutessaan omanlaiseksi. Erityisesti ohjaukseen tarvittavan ohjelmiston muokattavuus halettiin helpoksi.

Työssä perehdyttiin erilaisiin lämmityskattiloihin ja niiden käyttämiin polttoaineisiin. Työssä paneuduttiin puukattiloihin ja yleisimpiin puukattiloissa käytettäviin kiinteisiin polttoaineisiin. Puukattiloiden rakenteista ja toimintaperiaatteista saatavaa tietoa hyödynnettiin ohjelmiston suunnittelussa. Erilaisia polttoaineita tutkimalla pystyttiin ymmärtämään erilaisten polttoaineiden vaikutusta stokerikattilan toimintaan. Ohjausjärjestelmästä pyrittiin toteuttamaan kokonaisuus, joka on yhteensopiva mahdollisimman monen kiinteän polttoaineen kanssa. Työssä tutustuttiin myös stokerikattilaan ja sen ohjaukseen vaadittaviin komponentteihin.

Työn suunnittelussa käytettiin apuna opiskeluaikoina tutuksi tulleita menetelmiä. Suunnittelusta pyrittiin tekemään johdonmukainen ja mahdollisimman yksinkertainen. Komponentit suunnitteluun valittiin asiakkaan toimomusten mukaisesti. Suunnittelussa hyödynnettiin myös opiskeluaikana tutuksi tulleita komponentteja.

Tätä suunnitelmaa on tarkoitus käyttää asiakkaan stokerikattilan ohjaukseen, jolla lämmitetään asiakkaan kiinteistöä. Suunnittelua pyritään myös hyödyntämään muiden lämmityskattiloiden automatisoinnissa.

**Avainsanat** automaatio, lämmityskattila, ohjausjärjestelmä, suunnittelu, stokeri

**Sivut** 63 sivua, joista liitteitä 7 sivua

Electrical and automation engineering  
Valkeakoski

---

<b>Author</b>	Niko Ruuttu	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Automation design of stoker boiler	
<b>Supervisors</b>	Timo Väisänen	

---

#### ABSTRACT

The purpose of this thesis project was to design an automation control system for a stoker boiler. The aim for this design was to make a system that could easily be modified by the customer. It was especially important that the designed PLC program would be easy to use and modify.

In this thesis different kind of heating boilers and fuels which boilers could use were examined. The heating boilers that were examined here were wood boilers. Wood boilers use fuel which is made from wood. Wood fuels that were examined were the most common types used in wood boilers. Information on the structure and operating principles of wood boilers was utilized during the design of the program. By examining different kind of wood fuels, it was possible to understand how different kind of wood fuels function with a stoker boiler. This information was used to improve the quality of the program. An additional goal in the project was to make the stoker boiler compatible for the use of many kinds of wood fuels. A stoker boiler and the components that are required for it to operate automatically were examined also in this project.

Methods that were learned during studies were used during the design process. The most important goal in the design was to make it consistent and simple. The components for the stoker boiler automation system were chosen by listening to the opinions of the customer. Also the components which were examined and used in projects that were completed during studies were made use of.

The design of the stoker boiler was planned to control the customer's stoker boiler which is used to heat the customer's housing property. This design was also planned to be utilized for heating purposes of other heating boilers as well.

**Keywords** automation, boiler, control system, electrical design, stoker.

**Pages** 63 pages including appendices 7 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PUUKATTILAT.....	1
2.1	Yläpalokattila.....	2
2.2	Alapalokattila .....	3
2.3	Käänteispalokattila.....	4
2.4	Kaksoispesäkattila .....	6
2.5	Etupesäpoltin .....	7
2.6	Stokeri .....	7
2.7	Stokerikattila .....	9
3	KIINTEÄT POLTTOAINEET.....	9
3.1	Hake.....	9
3.2	Puupelletti .....	10
3.3	Palaturve .....	11
3.4	Polttopuut .....	12
4	TAAJUUSMUUTTAJAT .....	13
4.1	Suorat taajuusmuuttajat .....	13
4.2	Välipiirilliset taajuusmuuttajat .....	15
4.3	Tasasuuntaaja.....	16
4.4	Välipiiri.....	18
4.5	Jännitevälipiiri .....	19
4.6	Virtävälipiiri .....	19
4.7	Vaihtosuuntaaja .....	19
4.8	Ohjauspiiri .....	20
5	OHJELMOITAVA LOGIIKKA .....	20
5.1	Ohjelmointikielet.....	21
5.2	Rakenne.....	22
6	PT100-ANTURI .....	24
6.1	Rakenne.....	24
6.2	Kyt Kentätävät .....	25
7	TRIAC.....	26
7.1	Triac-säädin .....	26
8	SUUNNITTELU TYÖ .....	27
8.1	Lähtötiedot.....	27
8.2	Toimintaselostus .....	28
8.3	Osaluettelo .....	29
8.3.1	Taajuusmuuttaja.....	29
8.3.2	Triac-säädin.....	32

8.3.3	Releet.....	32
8.3.4	I/O-yksikkö.....	33
8.3.5	PLC.....	37
8.3.6	Anturit.....	38
8.3.7	Virtalähde.....	38
8.3.8	Riviliittimet.....	39
8.3.9	Sulakkeet.....	40
8.3.10	Kyt Kentäkotelo.....	41
8.4	Piirikaaviot.....	41
8.4.1	Jännitteenjako.....	41
8.4.2	Kyt kennät.....	43
8.4.3	Johtimet ja kaapelit.....	43
8.4.4	Keskuslayout.....	45
8.5	Automaatiosuunnittelu.....	46
8.5.1	Rakenne.....	46
8.5.2	IO-listat.....	47
8.5.3	Functiot.....	47
8.5.4	Function Blockit.....	48
8.5.5	Program.....	49
8.6	Visualisointi.....	49
8.7	Simulointi.....	50
9	YHTEENVETO.....	50
	LÄHTEET.....	52

## Liitteet

Liite 1	Keskuslayout
Liite 2	230 VAC jännitteenjako
Liite 3	24 VDC / 0 VDC jännitteenjako
Liite 4	Manuaaliohjauksen painonapit
Liite 5	Moottorin M1 ohjaus
Liite 6	Moottorin M2 ohjaus
Liite 7	Instrumentit (PT100)

## 1 JOHDANTO

Lämmityskattiloiden käyttö yhtenä kiinteistön lämmitysmuotona on lisääntynyt viime vuosina. Lämmityskattiloita käytetään lämmittämään kohteita aina pienistä mökeistä omakotitaloihin ja omakotitaloista suuriin maataloihin. Markkinoilla olevien laajojen erikokoisten ja -mallisten lämmityskattilakokoelmat mahdollistavatkin monenlaisen kiinteistön lämmittämisen. Lämmityskattiloiden peruseräite on pysynyt lähes samana jo vuosien ajan, mutta nykyään markkinoilla on monenlaisia erikoismallisia lämmityskattiloita, joiden automatisoidut toiminnot takaavat huolettoman ja käyttäjätavallisen käyttökokemuksen.

Nykyään lämmitysmuodon valinnassa painaa enemmän uusiutuvan energian käyttö, sekä ympäristöystävällisyys. Myös poliittiset päätökset ja suhtautuminen uusiutuviin energialähteisiin on positiivista. Näiden vaatimusten vuoksi biopolttoainetta käyttävien lämmityskattiloiden suosio on kasvamassa. Biopolttoainetta käyttävissä kattiloissa suosiossa on ns. puukattilat. Puukattiloiden polttoaineena käytetään pääasiallisesti haketta, pellettiä, polttopuita tai turvetta. Suomen laajapinta-alaiset metsät ovatkin loistava raaka-aineen lähde uusiutuvalle ja ympäristöystävälliselle kiinteälle biopolttoaineelle.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan erilaisiin puukattiloihin ja niissä käytettäviin kiinteisiin polttoaineisiin. Teoriaosuudessa tutustutaan myös stokerikattilaan ja sen automatisointiin tarvittaviin keskeisimpiin komponentteihin. Opinnäytetyön teoriaosuuden tarkoitus on saada tutuksi stokerikattilan automatisoinnin vaatimat menetelmät. Teoriaosuudella pyritään myös vertailemaan erilaisia mahdollisuuksia lämmityskattiloiden ohjauksiin.

Työn suunnittelussa käydään läpi vaatimukset stokerikattilan automatisointiin, sekä tutustutaan automatisoinnin vaativiin keskeisimpiin komponentteihin ja niiden kytkentätapoihin. Työn vaiheet käydään läpi tutustumalla suunniteltuihin piirikaavioihin, sekä stokerikattilan ohjaukseen suunniteltuun PLC-ohjelmaan. Suunnitelman tavoitteena on luoda stokerikattilan ohjaukseen soveltuva PLC-järjestelmä, jolla pystytään ohjaamaan monenlaisia lämmityskattiloita ilman, että ohjelman koodiosuutta täytyy muuttaa.

## 2 PUUKATTILAT

Puukattilaksi kutsutaan lämmityskattilaa, jonka pääasiallisena polttoaineena käytetään haketta, halkoja (klapeja) tai pilkettä. Myös puupohjaista brikettiä tai pellettiä käyttäviä lämmityskattiloita voidaan kutsua

puukattiloiksi. Puukattiloiden lämmönjakojärjestelmänä käytetään yleensä vesikiertoista patteri- tai lattialämmitysverkostoa. Järjestelmässä on usein myös mukana lämminvesivaraaja, joka varastoi järjestelmän kehittämän lämpöenergian. Hyvällä puukattilalla päästään yli 80 %:n hyötysuhteeseen. Omakotitaloissa käytettävissä puukattiloissa lämmitysteho on yleensä n. 15 – 25 kW. Maatiloilla ja suurissa kiinteistöissä lämmitysteho on yleensä 25 – 400 kW. (Motiva, 2019)

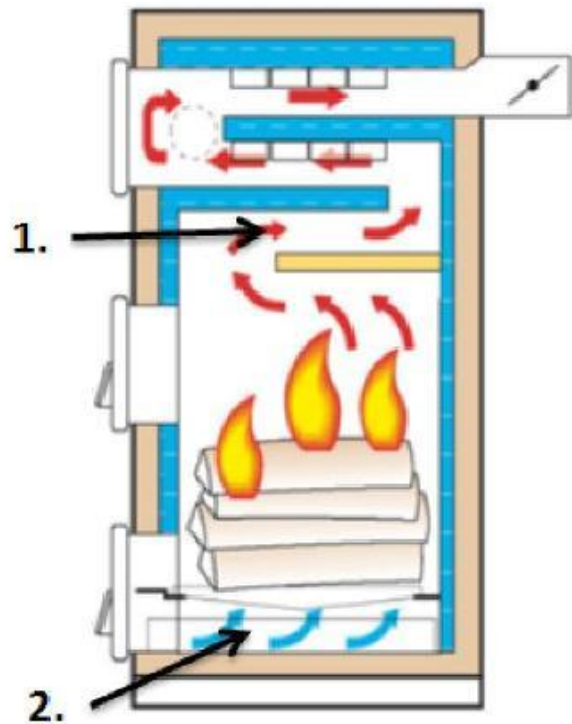
Puukäyttöiset lämmityskattilat jaetaan kolmeen kattilatyypin: alapalo-, yläpalo-, ja käänteispalokattilat. Näiden kattilatyypin lisäksi voidaan erottaa myös etupesäpoltin, kaksoispesäkattila ja stokeripoltin. Halkojen ja pilkkeen polttaminen onnistuu jokaisessa kattilatyypissä, mutta hakkeen polttoon tarvitaan alapalokattila tai hakkeen polttoon soveltuva hakepoltin, joita ovat esimerkiksi stokeri ja tiettytyypiset etupesäpolttimet. Brikkettä voidaan käyttää halkojen tapaan, mutta pelletin polttoon suositellaan käytettävän pellettipoltinta, pellettikattilaa tai stokeria. (Motiva, 2016)

## 2.1 Yläpalokattila

Yläpalokattila on yleensä halvempi valmistaa, sekä mitoiltaan pienempi, kuin muun tyyppiset puukattilat. Se soveltuu erinomaisesti kohteisiin, joissa kattilahuoneen koko on rajallinen tai kohteen savupiippu on matala. Yläpalokattilaa ei yleensä suositella käytettäväksi kiinteistön ainoaksi lämmitysmuodoksi, vaan esimerkiksi jonkin toisen lämmitysmuodon, kuten sähkölämmityksen rinnalle. Yläpalokattilaa voidaan kuitenkin käyttää tarvittaessa myös lämmönvaraajan kanssa. (Mäkelä, 1995, s. 5)

Yläpalokattilassa polttoaine syötetään arinan päälle varastopesään. Polttoaine palaa nuotion tavoin, jolloin polttoaine on kokonaan tulessa ja palamiskaasut virtaavat polttoainekerroksen läpi. Tehokas ja puhdas poltto edellyttää alhaaltapäin tulevien palamiskaasujen palamista liekeissä. Yläpalokattilassa käytettävän polttoaineen on oltava suurikokoista ja se on aseteltava harvakseltaan varastopesään, jotta toisioilma pääsee arinan alta kulkemaan polttoainekerroksen läpi edesauttaen palamiskaasujen palamista. Palaminen on voimakasta polttoaineen lisäyksen jälkeen, jonka seurauksena kattila savuttaa voimakkaasti liian vähäisen palamisilman vuoksi. Uudet polttoaineet tulisi lisätä varastopesään, kun vanha polttoaine on hiilloksena arinalla. Tämä mahdollistaa puhtaan ja tehokkaan palamisen, koska hiiltynyt polttoaine ei enää kaasuunnu. Jos polttoainetta lisätään palavassa olevan polttoaineen päälle, liekit saattavat tukehtua, jolloin polttoaineen palamiskaasut eivät pala. Tämä heikentää kattilasta saatavaa lämpöenergiaa. (Mäkelä, 1995, s. 5)

Kuvassa 1 esitellään yläpalokattilan toimintaperiaate. Kuvassa numero 2 tarkoittaa toisioilmaa, joka virtaa polttoainekerroksen läpi. Numero 1 viittaa palamiskaasujen poistumisreittiin.



Kuva 1. Yläpalokattilan toimintaperiaate (Aaltoarina n.d.a).

Hyviä puolia yläpalokattilassa on sen pieni koko ja yksinkertainen rakenne. Se sopii erinomaisesti jonkin toisen varaavan lämmitysmuodon tueksi. Ongelmia yläpalokattilassa on palamisen epäpuhtaus, korkeat palamattomien aineiden päästöt, sekä herkästi savuttava kattila. (Suomela, n.d.)

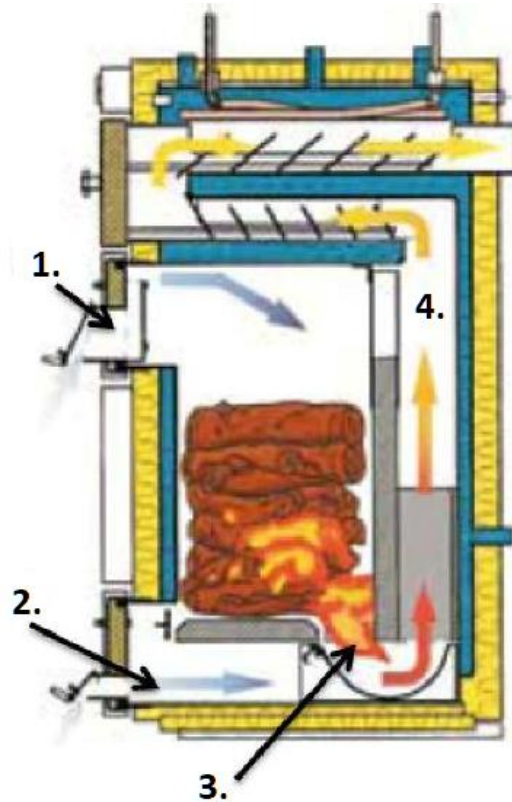
## 2.2 Alapalokattila

Alapalokattilan palaminen tapahtuu nimensä mukaisesti kattilan alaosassa. Alapalokattilaa käytetään usein ainoana rakennuksen tai kiinteistön lämmitysmuotona. Kattila kytketään yleensä lämmitysjärjestelmään, jossa on myös lämmönvaraaja. Lämmönvaraaja voi olla esimerkiksi lämminvesivaraaja. (Mäkelä, 1995, s. 5)

Kattilan varastopesään syötetään polttoaine. Varastopesässä olevaa uutta polttoainetta valuu arinalle vanhan polttoaineen palaessa, mikä mahdollistaa polttoaineen lisäämisen varastopesään palon aikakin. Tällöin koko polttoainemäärää ei tarvitse kerralla asettaa varastopesään. Kattilan varastopesä on vesivaipan ympyröimä. Lämmin vesivaippa ja palavan polttoaineen lämpö mahdollistaa polttoaineen esilämmityksen ja pitää polttoaineen kuivana. Arinalla olevan polttoaineen ensiöilma johdetaan varastopesään polttoainekerroksen läpi. Polttoaineen palamisesta muodostuva tuhka tipahtaa tuhkatilaan arinan läpi. Arinalla kaasuuntuva polttoaine ohjautuu lieskapesään. Lieskapesässä kaasut sekoittuvat toisioilmaan korkeassa lämpötilassa, josta saadaan lämpöenergiaa. (Mäkelä, 1995, s. 5-6)



Kuvassa 2 esitellään alapalokattilan toimintaperiaate. Numero 1 viittaa ensiöilman saapumiseen varastopesään. Numero 2 kuvastaa toisioilmaa ja numerossa 3 kuvastetaan lieskapesää, jossa toisioilma ja kaasuuntuva polttoaine sekoittuvat. Numerolla 4 esitetään palamiskaasujen poistumisreittiä.



Kuva 2. Alapalokattilan toimintaperiaate (Aaltoarina n.d.b).

Alapalokattilan hyviin puoliin lukeutuu tehokas polttoaineen poltto ja esilämmitys. Muihin hyviin puoliin voidaan luokitella myös polttoaineen puhtas palaminen, pienet savukaasuhäviöt ja kattilan hyvä hyötysuhde. Alapalokattilassa on usein myös suurehko varastopesä. Ongelmia alapalokattilassa saattaa aiheuttaa huonolaatuinen tai epätasalaatuinen polttoaine. Epätasalaatuinen polttoaine estää varastopesän täydellisen täyttymisen. Epäonnistuneessa polttoprosessissa kaasuuntuvan polttoaineen kaasut saattavat päästä lieskapesän ohi, jonka seurauksena kaikkea lämpöenergiaa ei voida hyödyntää. Kattila myös likaantuu ja palamisesta aiheutuvat päästöt lisääntyvät. Alapalokattilan polttotehoa voidaan säätää ilmavirtauksen kuristuksella, joka kuitenkin nostaa päästöjä palamattomista aineista. (Suomela, n.d.)

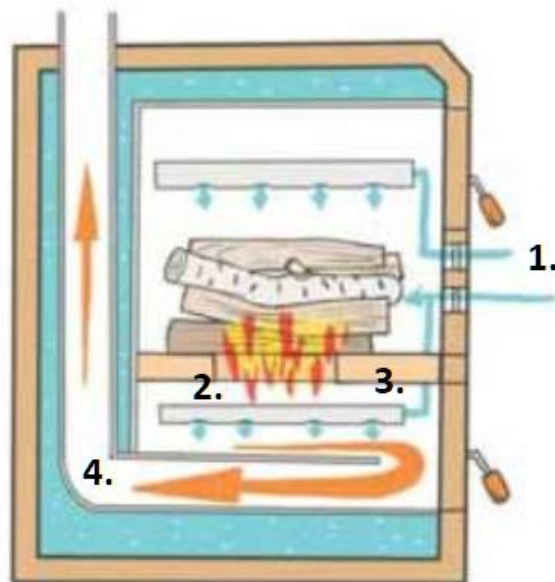
### 2.3 Käänteispalokattila

Käänteispalokattilaa voidaan pitää paranneltuna versiona alapalokattilasta. Palamista kattilassa voidaan säätää hyvin, koska arinalla olevalla

palamisvyöhykkeellä on vain vähän polttoainetta kerrallaan. Käänteispalokattila tarvitsee erillisen palamisilmapuhaltimen. Puhallin voi olla, joko kattilan etuosassa tulipesään puhaltava tai kattilan takaosassa puhaltava, jolloin kattilasta tulee alipaineinen ja palamiskaasut kulkeutuvat savuhorniin. Kattila on myös usein varustettu termostaateilla. Kattilatermostaatti ohjaa puhaltimen toimintoa kattilaveden lämpötilan mukaan, sekä vesipumppua käyttävän varaajan käyntiä. Kun savukaasujen lämpötila laskee polttoaineen loppuessa, puhallin saadaan pysäytettyä savukaasutermostaatilla. Käänteispalokattilaa voidaan käyttää varaavaan tai suoraan lämmitykseen. Suoran lämmityksen kattiloissa palamisilmaluukut ohjataan sähköllä ja kattilatermostaatilla. (Mäkelä, 1995, s. 6)

Käänteispalokattilan toimintaperiaate on alapalokattilan kaltainen. Polttoaine syötetään varastopesään, jossa palon edistyessä polttoaine valuu arinalle. Polttoaineen palamisesta syntyvät liekit ja kaasut ohjataan arinan alle, jossa sijaitsee palotila. Polttoaineen lävitse johdetaan ensiöilma arinan yläpuolelle. Toisioilma johdetaan palotilaan, jonka avulla saadaan poltettua kaasut. Polttoaineen palamisesta muodostuva tuhka putoaa arinan alle sijaitsevaan tuhkatilaan. Käänteispalokattilan materiaalien on oltava kuumuutta kestäviä. Erityisesti kattilan arinarakenne joutuu alttiiksi suuralle lämpörasitukselle, koska arinarakennetta ei jäähdytä palamisilma. (Mäkelä, 1995, s. 6)

Kuvassa 3 esitellään käänteispalokattilan toimintaperiaate. Numero 1 tarkoittaa ensiöilman tuomista arinan yläpuolelle. Numerolla 2 viitataan palotilaan, jossa toisioilma (numero 3) ja palamiskaasut sekoittuvat. Numero 4 esittää palamiskaasujen poistumisreittiä.



Kuva 3. Käänteispalokattilan toimintaperiaate (Kinnunen 2013a, s. 8).

Käänteispalokattilan hyviä puolia ovat kattilan korkea hyötysuhde ja polttoaineen puhdas palaminen. Käänteispalokattilaa voidaan myös käyttää kohteissa, joissa on matala savupiippu, koska kattilassa on palamisilmapuhallin. Ongelmia kattilassa on korkea hinta muihin kattilatyyppeihin nähden. (Suomela, n.d.)

## 2.4 Kaksoispesäkattila

Kaksoispesä- tai yhdistelmäkattila on kattilatyyppejä, jossa voidaan käyttää polttoaineena kiinteää polttoainetta tai nestemäistä polttoainetta. Kiinteää polttoainetta voi olla esimerkiksi hake, klapit tai turve. Kaksoispesäkattiloissa polttoöljyä käytetään yleisesti nestemäisenä polttoaineena. Kaksoispesäkattilassa on omat varastopesät molemmille polttoainetyypeille. Savukaasujen takia pelkästään toista polttotapaa pystytään käyttämään kerrallaan. (Ala-Talkkari, n.d.)

Kuvassa 4 esitellään kaksoispesäkattilan rakennetta. Ylempi pyöreähkö tila on polttoöljylle varattu tila ja alempi neliskanttinen tila on varattu kiinteälle polttoaineelle.



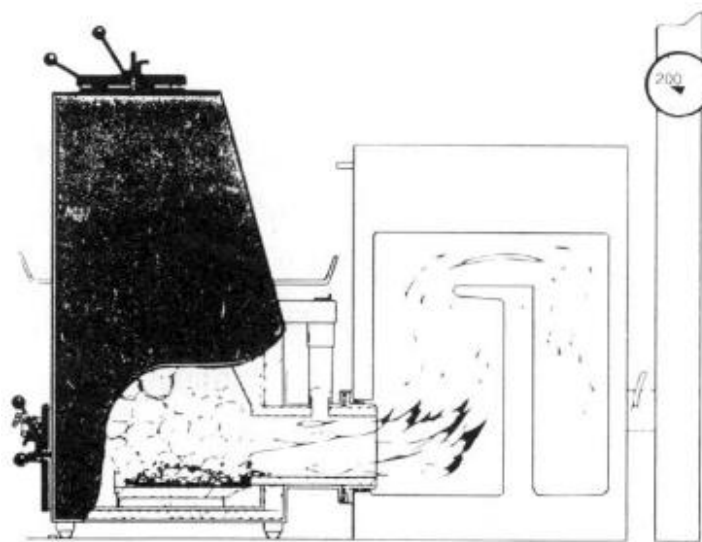
Kuva 4. Kaksoispesäkattilan rakenne (Eneka n.d.).

## 2.5 Etupesäpoltin

Etupesä on kattilan etuosaan liitettävä osa, jolla voidaan parantaa kattilan poltto-ominaisuuksia mm. parantamalla polttoaineen yhteensopivuuksia. Etupesässä voidaankin käyttää melkein mitä vain palavaa kiinteätä polttoainetta. Öljykäyttöinen kattila voidaan muuttaa etupesän avulla kiinteätä polttoainetta polttavaksi kattilaksi. Etupesän avulla saadaan myös yläpalo-kattilan hyötysuhde paremmaksi, sekä kattilan polttoainemäärää suuremmaksi, jolloin yläpalo-kattilaa voidaan käyttää myös ilman lämmönvaraajaa suorassa lämmityksessä. (Mäkelä, 1995, ss. 7-8)

Etupesä koostuu varastopesästä, arinasta ja tuliputkesta. Arinalle valuu polttoainetta palon edetessä. Ensiöilma johdetaan arinalle, jonka seurauksena polttoaine kaasuuntuu epätäydellisesti. Epätäydelliset kaasut johdetaan tuliputkeen, jossa ne syttyvät toisioilman avulla. Loppuun kaasut palavat kattilassa. Etupesästä puuttuu vesivaippa, jonka seurauksena etupesän tulee olla hyvin eristetty lämpöhäviöiden pienentämiseksi. (Mäkelä, 1995, s. 7)

Kuvassa 5 on esitelty etupesäpoltin kiinnitettyä lämmityskattilaan.



Kuva 5. Etupesäpoltin (Mäkelä 1995, s. 8).

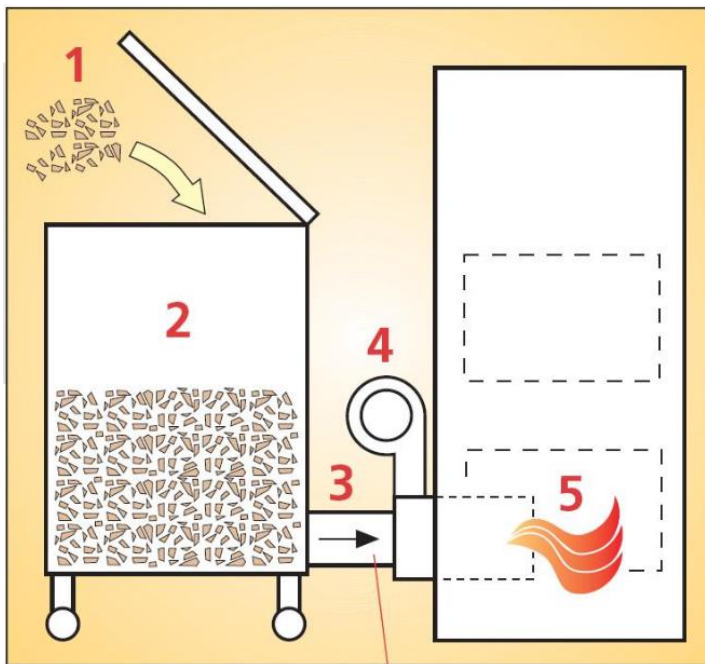
## 2.6 Stokeri

Stokerilla tarkoitetaan kiinteän polttoaineen poltinta. Sillä voidaan lämmit-  
tää kiinteistöä ilman lämmönvaraajaa. Stokeri koostuu kolmesta osastosta:  
poltin, polttoainevarasto ja syöttölaite (syöttöruuvi). Stokeripoltin lisätään  
lämmityskattilaan työntämällä se kattilaan tulenhoitoluukusta tai erilli-  
sestä luukusta, joka voi olla esimerkiksi poltinluukku. (Mäkelä, 1995, s. 6-  
7)

Polttotavaltaan stokeripoltin on yläpaloinen. Syöttöruuvilla lisätään polttoainevarastosta polttoainetta vähän kerrallaan polttimelle. Säättämällä polttoaineen syöttömäärää voidaan säätää laitteiston tehoa. Kattilatermostaatti ohjaa polttimen toimintoa säädetyllä teholla. Kattilaveden lämpötilan noustua haluttuun arvoon, laitteisto siirtyy valmiustilaan. Valmiustila päättyy, kun kattilasta tarvitaan taas lämpöä. (Mäkelä, 1995, s. 6-7)

Yleensä stokerin poltinpää on laatikkomainen tai putkimainen. Poltinpäässä on sisä- ja ulkovaippa, joiden väliin jää tila. Ensiö- ja toisioilma johdetaan vaippojen väliin jäävää tilaa pitkin. Arina muodostaa polttimon pohjan, jonka reikien läpi johdetaan ensiöilma. Toisioilma johdetaan polttimen päältä ja sivuilta. Poltin tarvitsee palamisilmapuhaltimen suuren virtausvastuksen vuoksi. Savupiipun veto ei yksinään ole tarpeeksi suuri estämään kattilan savuttamista sisäänpäin. Savupiipun tulee olla lämpöeristetty ja mieluiten haponkestävä, koska poltinkäytössä savukaasujen lämpötilat saattavat laskea kastepisteen alapuolelle, jolloin piipun seinämille tiivistyy vettä. (Mäkelä, 1995, s. 6-7)

Kuvassa 6 esitellään stokerijärjestelmän toimintaperiaate. Numero 1 kuvastaa polttoainetta, joka syötetään varastopesään (numero 2). Numerossa 3 polttoaine liikkuu syöttöruuvilla polttimelle. Numero 4 on palamisilmapuhallin, jolla saadaan voimistettua palopäässä olevaa liekkiä (numero 5).



Kuva 6. (Kinnunen 2013b, s. 13).

Stokerin polttoaineeksi soveltuu mm. hake, sahanpuru, puupelletti, pala ja jyrsinturve. Turpeen ja viljaperäisten polttoaineiden polttaminen aiheuttaa ongelmia polttimen tukkeutumisen, sekä tuhkan sulattamisen kanssa.

Hakkeen on oltava polttimessa tasalaatuista ja vesipitoisuuden n. 20 – 25 %. Epätasalaatuinen hake aiheuttaa ongelmia viretulijakson aikana. Polttaessa epätasalaatuista haketta viretulijakson aikana, polttimen liekki saattaa sammua. (Mäkelä, 1995, s. 6-7)

## 2.7 Stokerikattila

Stokerikattila on keskuslämmityskattila, joka on suunniteltu erityisesti käytettäväksi stokerin kanssa. Stokerikattilakokonaisuus sisältää polttimen, polttoainevaraston, syöttölaitteen ja lämmityskattilan. Kattilat ovat suunniteltu kiinteän polttoaineen polttamista varten. Kattiloissa on myös usein suuri vesitilavuus, jolloin erillistä lämmönvaraajaa ei välttämättä tarvita. Stokerikattilat ovat hyvin muokattavissa käyttötarpeen mukaan. Mahdollisuuksia kattilasta löytyy mm. kattilan kätisyyden vaihdon mahdollisuus, erilaiset lisäosat erityyppisille polttoaineille, automaattinen nuohous ja tuhkanpoisto, sekä mahdollisuus hoitaa kattilalla kohteen lämmin käyttövesi käyttövesikierukalla. Suurempien stokerikattiloiden yhteyteen suositellaan käytettävän savukaasupuhallinta. Ala-Talkkarien valmistamien stokerikattiloiden tehoalue on 30 – 990 kW. (Ala-Talkkari, 2014 s. 4)

## 3 KIINTEÄT POLTTOAINEET

Puukattiloissa käytettäviä polttoaineita on monen tyyppisiä. Yleisimpiä puukattiloissa käytettäviä polttoaineita ovat hake, polttopuut, pelletti ja turve. Hyvän polttoaineen on oltava tasalaatuista ja kuivaa. Kuivan polttoaineen palaminen on tehokkaampaa, kuin kostean polttoaineen. Kuivalla polttoaineella saadaan siis suurempi määrä lämpöenergiaa. Kostean polttoaineen käyttäminen likaannuttaa lämmityskattilaa herkemmin, heikentää palamisen hyötysuhdetta, sekä nostaa palamisesta syntyviä päästöjä. (Energiatehokas koti, 2017)

### 3.1 Hake

Hake on kiinteätä polttoainetta, joka valmistetaan koneellisesti hakkurilla puusta. Haketta saadaan mm. hakkuutähteistä, puunkannoista, risuista, puujätteestä, karsitusta tai karsimattomasta kokopuusta. Yleisesti hake teetetään urakoitsijoilla. Haketta voidaan valmistaa erityyppisillä hakkureilla. Hakkeen valmistukseen käytettäviä hakkureita ovat laikka-, rumpu- tai ruuvihakkuri. Laikka- ja ruuvihakkurilla saadaan tasalaatuista haketta puhtaasta rankapuusta. Polttoaineen tarpeen ollessa suuri, puu on suuri-kokoista, haketettava puu on puujätettä tai epäpuhdasta, käytetään haketukseen rumpuhakkuria. Rumpuhakkurilla saadaan epätasalaatuista haketta, mutta rumpuhakkuri kestää epäpuhtaat puut paremmin, kuin laikka- tai ruuvihakkuri. Hakkurit ovat yleensä traktoriin kiinnitettyjä tai erillisellä alustalla traktorin perässä olevia hakkureita. (Bioenergianeuvoja, n.d.a)

Hakkeen laatu määritellään sen kosteusarvolla, palojen koolla ja tasalaatuisuudella. Hakkeen koon suositellaan olevan 5 – 50 mm, sekä hakkeen kosteuden suositellaan olevan alle 30 %. Epätasalaatuinen ja kostea hake aiheuttaa ongelmia lämmityksessä. Ongelmia epätasalaatuista tai kostea hakea käyttäessä voi olla heikko hyötysuhde, suuret päästöt palamisesta, kattilan nokeentuminen ja takapalovaarauhkan lisääntyminen. (Bioenergi-aneuvoja, n.d.b)

Kuvassa 7 nähdään valmistettua haketta.



Kuva 7. Haketta (Vapo 2017).

Kuutiometrissä haketta on n. 0,7 – 0,9 MWh energiaa ja se vastaa n. 80 litraa polttoöljyä. Hakkeesta saatava energia riippuu hakkeen laadusta ja kosteudesta. Kostea hakea heikentää huomattavasti hakkeesta saatavaa energia-arvoa. Esimerkiksi vastakaadetun puun kosteusarvo on n. 50 – 60 % ja hyvän hakkeen kosteus suositellaan olevan alle 30 %. (Bioenergi-aneuvoja, n.d.c)

### 3.2 Puupelletti

Puupelletti on puunjalostusteollisuudessa syntyvästä hiontapölystä, kutterin- tai sahanpurusta valmistettavaa kiinteätä polttoainetta. Kosteusarvo puupellettiin käytettävillä raaka-aineilla on n. 10 - 15 %. Pelletti valmistetaan koneellisesti ja pelletin valmistusvaiheet ovat: raaka-aineen puristaminen hydraulisesti pakottamalla, jäähdyttäminen, pelletin seulonta ja hienoaineksen kierrätys. Lopuksi valmis pelletti pakataan ja varastoidaan. Puupelletin valmistuksessa on mahdollista käyttää myös erilaisia sidosaineita, jotka parantavat pelletin kestävyyttä sitä käsiteltäessä. Yleisiä käytettäviä sidosaineita ovat peruna- ja maissitärkkelys. (Puhakka ym., 2003, s. 14)

Valmiin puupelletin pituus on 10 – 30 mm ja halkaisija on 6 – 12 mm. Kosteusarvo valmiilla puupelletillä on alle 10 %. Pienen kosteusarvon ansiosta pelletti ei homehdu tai jäädy. Puupelletillä on myös erinomainen lämpöarvo. Energiasisältö puupelletissä on n. 4,75 kWh/kg, joka vastaa n. 0,5 litraa polttoöljyä. (Bioenergianeuvoja, n.d.d)

Kuvassa 8 nähdään hyvälaatuista puupellettiä.



Kuva 8. Puupellettiä (Sirkkala 2017).

### 3.3 Palaturve

Palaturve on turvesuolta koneellisesti valmistettua kiinteätä polttoainetta. Palaturpeen valmistusvaiheet ovat: jyrsiminen, kääntäminen, karheaminen, kuormaus ja aumaus. Tuotantoalue jyrsitään 30 – 50 cm:n syvyydeltä leikkuuterillä varustetuilla nostokiekkoilla tai nostoruuveilla. Turpeen kosteus on jyrshintä vaiheessa yli 80 %. Tuotantoalueen jyrhinnän jälkeen, nostokoneella muovailaan kentällä olevasta massasta lieriön tai nauhan muotoisia paloja. Valmiita paloja kuivataan 1 - 2 viikkoa. Kuivaamisen aikana paloja käännetään kääntäjällä 1 – 2 kertaa, jolloin palojen kosteus saadaan n. 35 %:iin. Karheamisessa paloista poistetaan hienoaines traktorin karheajan muovikiekkoilla, jonka jälkeen hihnakuormaaja kuormaa palat peräkärriin. Peräkuormassa oleva palaturve kuljetetaan tienvarsiaumoihin, jossa suoritetaan aumaus. (Turveinfo n.d.)

Valmis palaturve on halkaisijaltaan 40 – 70 mm ja pituudeltaan 50 – 200 mm. Palaturpeessa on erinomainen lämpöarvo, mutta palaturve vaatii paljon varastointitilaa. Palaturpeella on myös suuri tuhkapitoisuus, joka on 4 - 6 %. Kosteus valmiilla palaturpeella on 25 – 40 %. Energiasisältöä palaturpeella on n. 12,9 Mj/kg. (Bioenergianeuvoja, n.d.e)



Kuvassa 9 nähdään valmista palaturvetta.



Kuva 9. Palaturvetta (Farmit 2007).

### 3.4 Polttopuut

Polttopuuta voi kutsua monilla nimityksillä. Yleisempiä nimityksiä polttopuun lisäksi ovat mm. halko, klapi tai pilke. Polttopuu on kiinteätä polttoainetta, jota valmistetaan erityyppisistä puulajeista. Yleisempiä puulajeja, joita käytetään polttopuun valmistukseen ovat haapa, koivu, kuusi, leppä ja mänty. Polttopuun valmistukseen on monia tapoja. Jos polttoaineen tarve on pieni, valmistukseen riittää kirves tai moottorisaha. Suurempiin polttoainemääriin markkinoilla on tarjolla monenlaisia halkaisijoita: pienistä sähköhalkaisijoista, suuriin automatisoituihin traktorikäyttöisiin halkaisijoihin. (Bioenergianeuvoja, n.d.f)

Polttopuun koko määritellään käyttökohteen mukaan. Polttopuulla tulee olla korkeintaan 15 – 20 %:n kosteusarvo. Polttopuun on myös mahdollista väljästi tulisijaan tai lämmityskattilaan, jolloin taataan riittävä hapen määrä palamiseen. Näin polttopuusta saadaan optimaalisesti lämpöenergiaa ja paras mahdollinen hyötysuhde. Myytäviksi tarkoitetuille polttopuille on määritelty laatustandardit. Standardi SFS-EN 14961-5 määrittää polttopuunlaatuokat: A1, A2 ja B. (Bioenergianeuvoja, n.d.g)

Kuvassa 10 nähdään koivusta valmistettua polttopuuta.



Kuva 10. Polttopuita (Mäkkyän perunatila n.d.).

Painoon suhteutettuna lämpöenergia eri puulajeista valmistetuilla polttopuilla on sama. Tiheydessä sen sijaan puulajeilla on eroja. Puulajin tiheys vaikuttaa puun painoon. Esimerkiksi saman painoinen koivu ja kuusi ovat eri kokoisia. Energiasisältö yleisimmillä polttopuuksi valmistetuilla puulajeilla on n. 4,00 – 4,15 kWh/kg. Kahden kilon määrä kuivaa ja laadukasta polttopuuta vastaa energiasisällöltään n. 1,0 litraa polttoöljyä. (Bioenergi-aneuvoja, n.d.h)

## 4 TAAJUUSMUUTTAJAT

Taajuusmuuttajalla säädetään portaattomasti oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta muuttamalla moottorin syöttöjännitteen taajuutta. Pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuttajalla on ainoa tapa säätää oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta tarkasti ja tehokkaasti. Taajuusmuuttajan käyttö parantaa energiatehokkuutta, sekä vähentää mekaanista rasitusta laitteen käynnistyessä. Myös moottorin maksimivääntömomentti saavutetaan matalilla kierrosnopeuksilla käyttämällä taajuusmuuttajaa. Taajuusmuuttajat luokitellaan kahteen tyyppiin: suoriin ja välipiirillisiin taajuusmuuttajiin. Yleisimmät taajuusmuuttajat koostuvat neljästä osastosta. Osastoja kutsutaan tasasuuntaajaksi, välipiiriksi, vaihtosuuntaajaksi ja ohjauspiiriksi. (Sähkönet, n.d.)

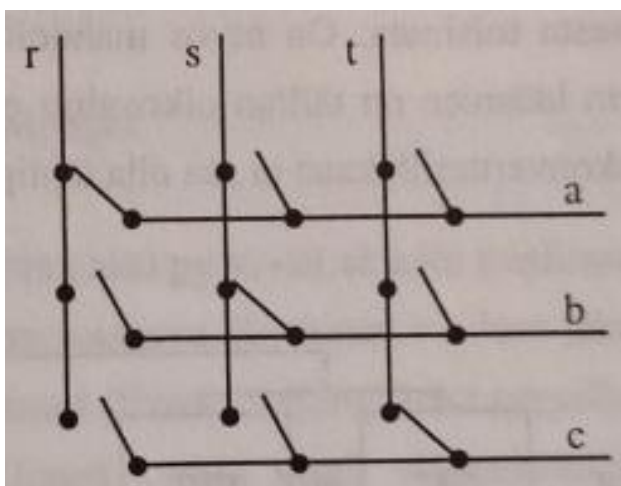
### 4.1 Suorat taajuusmuuttajat

Suorissa taajuusmuuttajissa ei ole välipiiriä. Tämän tyyppisissä taajuusmuuttajissa tasa- tai vaihtojännite pilkkotaan puolijohdekytkimillä halutun jännitteiseksi. Suoralla taajuusmuuttajalla voidaan myös muuttaa

tasajännitteen taajuutta. Suoria taajuusmuuttajia ovat matriisimuuttaja ja syklonkonvertteri. Suorat taajuusmuuttajat eivät ole yleisesti käytettäviä taajuusmuuttajia niiden käytännön rajoitusten vuoksi. (Niiranen, 1999, ss. 50-51)

Matriisimuuttajalla säädetään kytkimillä lähtöjännitettä kytkemällä yhdeksän kytkintä kolmeen eri syöttövirran vaiheeseen. Kytkimillä katkotaan ja syötetään jännitettä siten, että lähtöjännitteen ja vaihevirran keskiarvot muuttuvat siniaallon muotoiseksi. Matriisimuuttajan kytkimet sisältävät transistoreja ja diodeja, joita molempia se sisältää kaksi kappaletta. Matriisimuuttajalla saadaan hyödynnettyä vain n. 86 % moottorin nimellistehosta, koska matriisimuuttajalla saadaan vain 86 % lähtöjännitteen maksimiarvosta. (Niiranen, 1999, ss. 50-51)

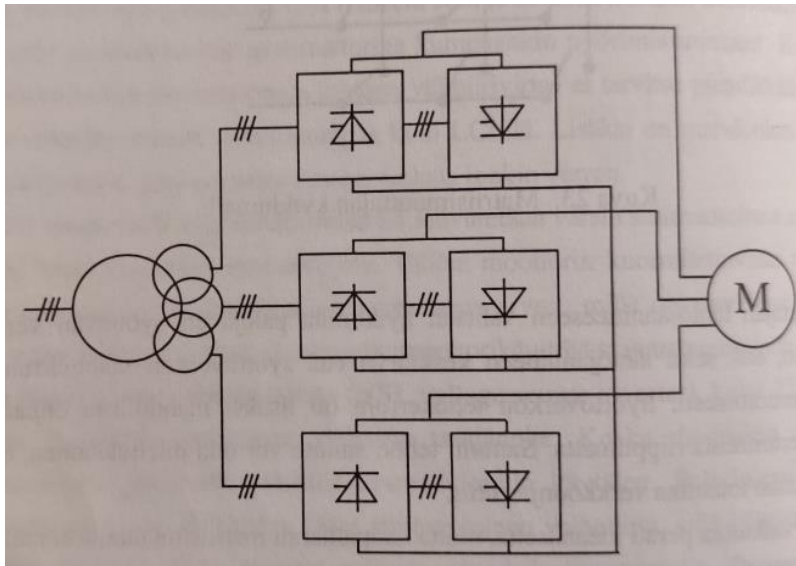
Kuvassa 11 kuvastetaan matriisimuuttajan kytkimien toimintoa. Kuvassa on esitelty yhdeksän kytkimen käyttöä.



Kuva 11. Matriisimuuttajan kytkentämalli (Niiranen 1999, s. 51).

Syklonkonvertterilla muutetaan kolmivaihesähköön taajuus pienemmäksi taajuudeksi 18:lla vastarintaankytketyiden tyristorisiltojen avulla, joille syötetään sähkövirta kolmivaiheisen muuntajan toisiokäämistä. Syklonkonvertteri toimii matriisimuuttajan tavoin, mutta syklonkonvertterilla vaaditaan jokaisen moottorin vaiheen ohjauskulman ja sillanvaihdos kahdesti lähtöjännitteen yhden jakson aikana, jotta saadaan vaihtojännitettä aikaiseksi. Kun lähtötaajuutta suurennetaan, jännitteen aaltomuoto ei muodosta enää täydellistä siniaaltoa, jolloin syklonkonvertterilla voidaan käyttää vain n. puolta syöttöjännitteen taajuudesta. (Niiranen, 1999, ss. 51-52)

Kuvassa 12 kuvastetaan syklonkonvertterin toimintoa.

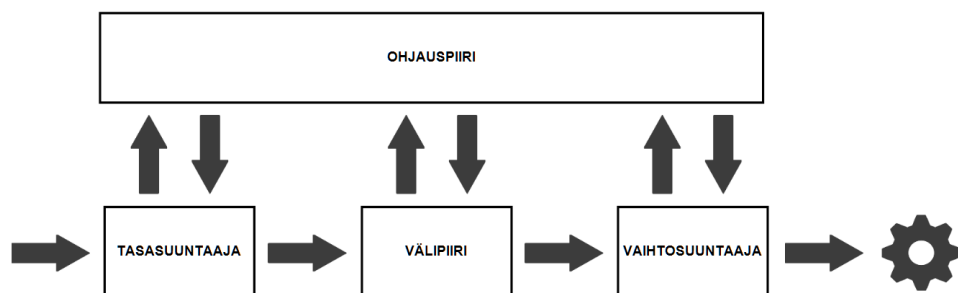


Kuva 12. Syklonkonverteri (Niiranen 1999, s. 52).

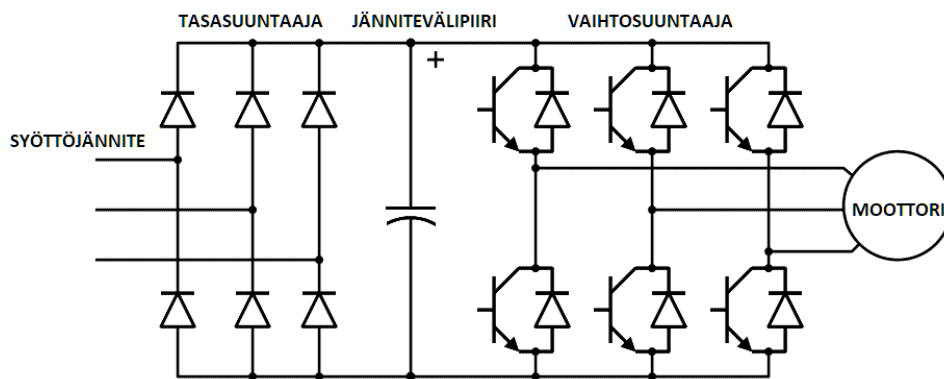
#### 4.2 Välipiirilliset taajuusmuuttajat

Välipiirillisissä taajuusmuuttajissa syöttöjännite tai -virta muunnetaan ensiksi sykkiväksi tasajännitteeksi, jonka jälkeen jännite muunnetaan takaisin vaihtojännitteeksi. Välipiirilliset taajuusmuuttajat luokitellaan jännite- ja virtaohjattuihin taajuusmuuttajiin. Luokitus tehdään välipiirin toteutustavan mukaan. (Niiranen, 1999, s. 48)

Kuvassa 13 esitellään välipiirillisen taajuusmuuttajan pelkistetty versio toimintaperiaatteesta. Kuvassa 14 esitellään jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan toimintaperiaate yksityiskohtaisemmin.



Kuva 13. Välipiirillisen taajuusmuuttajan toimintaperiaate



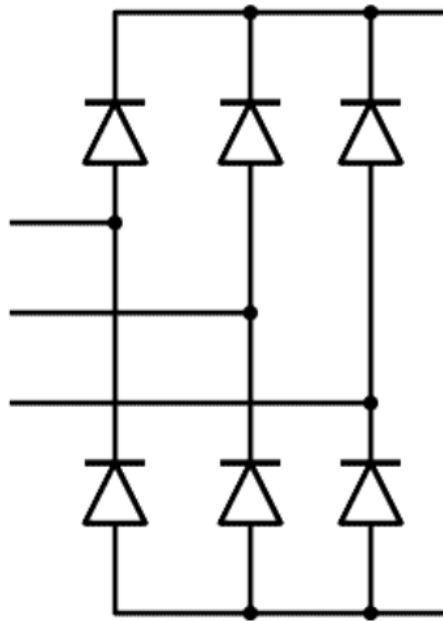
Kuva 14. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja (Cowie, 2005).

### 4.3 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaajalla muunnetaan kolmivaiheisen sähköverkon syöttöjännite sykkiväksi tasajännitteeksi diodien, tehotransistoreiden, tyristoreiden tai niiden yhdistelmien avulla. Tasasuuntaajia voi olla kahden tyyppisiä: ohjaamattomia ja ohjattuja. Diodeilla toteutettu tasasuuntaaja on ohjaamaton tasasuuntaaja. Tehotransistoreita, tyristoreita tai niiden yhdistelmiä käyttävät tasasuuntaajat ovat ohjattuja. Yleisempiä tehotransistoreja ja tyristoreja, joita käytetään tasasuuntaukseen ovat IGBT-transistori (Insulated Gate Bipolar Transistor) ja GTO-tyristori (Gate Turn-Off Thyristor). (Niiranen, 1999, s. 42)

Ohjaamattomassa tasasuuntaajassa syöttöjännitettä ohjataan diodiryhmien avulla. 6-pulssinen dioditasasuuntaaja koostuu kahdesta diodiryhmästä, joissa molemmissa ryhmissä on kolme diodia. Kolmivaiheisen sähköverkon jokaiseen vaiheeseen kytketään kaksi diodia. Toinen diodi päästää vaihtojännitteen positiivisen osan läpi ja toinen negatiivisen osan, jolloin saadaan aikaiseksi sykkivää tasajännitettä. 12-pulssisessa dioditasasuuntaajassa kytketään kaksi 6-pulssista dioditasasuuntaajaa rinnan. 24-pulssisessa dioditasasuuntaajassa kytketään kaksi 12-pulssista dioditasasuuntaajaa rinnan. Ohjaamattoman tasasuuntaajan etuina ovat erinomainen tehokerroin, sekä tasasuuntauksen automaattinen toiminta. Huonoja puolia ohjaamattomassa tasasuuntaajassa on ohjauksen puuttuminen, sekä sähkövirran mahdollinen kulkeminen vain yhteen suuntaan. (Niiranen, 1999, ss. 40-43)

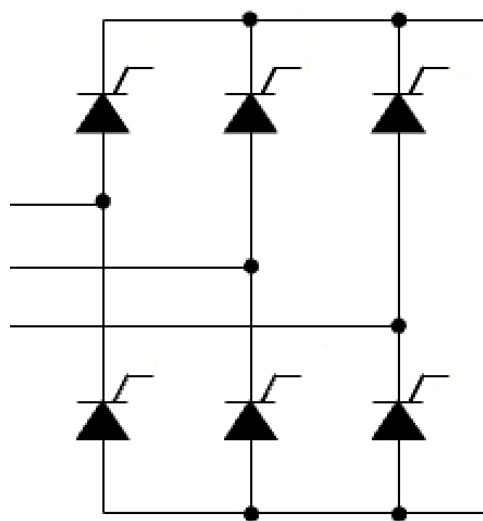
Kuvassa 15 esitellään diodeilla toteutettu 6-pulssinen tasasuuntaaja.



Kuva 15. Diodeilla toteutettu tasasuuntaaja (Ravanti 2014, s. 4).

Ohjatun tasasuuntaajan toimintaperiaate on diodeilla toteutetun tasasuuntaajan kaltainen, mutta diodit ovat korvattu tehotransistoreilla tai tyristoreilla. Ohjatun tasasuuntaajan etuina ovat säädettävyys ja sähkövirran suunnan vaihdon mahdollisuus. Tämän tyyppinen tasasuuntaaja aiheuttaa heikon tehokertoimen lähtöjännitteen ollessa lähellä nollaa. (Niiranen, 1999, ss. 40-43)

Kuvassa 16 esitellään 6-pulssinen tasasuuntaaja, joka on toteutettu tyristoreilla.

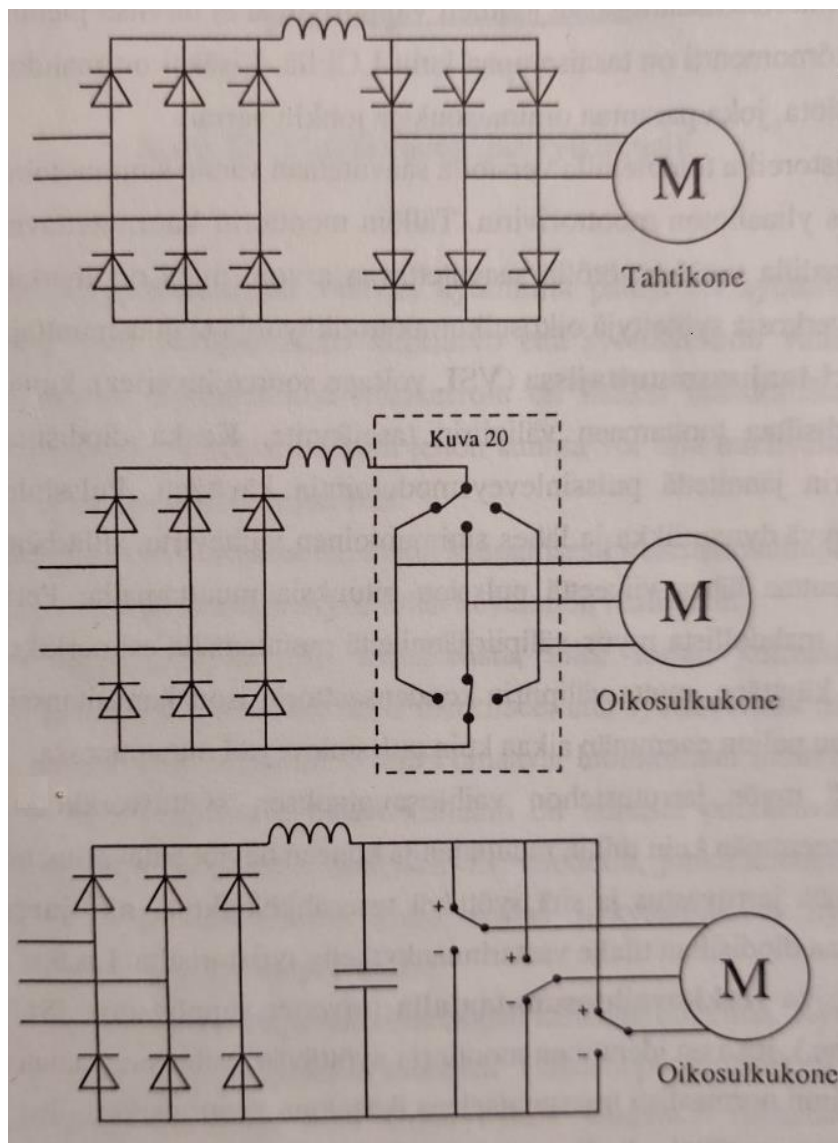


Kuva 16. Tyristoreilla toteutettu tasasuuntaaja (Mathworks n.d.).

#### 4.4 Välipiiri

Välipiirin tehtävä taajuusmuuttajassa on toimia hetkellisenä varastona, sekä erottaa tasa- ja vaihtosuuntaaja toisistaan. Välipiirin kondensaattori toimii hetkellisenä varastona ja pitää tasajännitteen vakaana. Välipiirin kurostin sen sijaan pitää virran välipiirissä tasaisena. On olemassa kolme erilaista välipiiriä käyttävää taajuusmuuttajatyyppeä: jännitevälipiirillinen, virtävälipiirillinen, sekä kuormakommutoitu taajuusmuuttaja. (Niiranen, 1999, ss. 48-49)

Kuvassa 17 esitellään kaikki kolme välipiiriä. Ylimmäistä välipiiriä käyttää kuormakommutoitu taajuusmuuttaja. Keskimmäistä käyttää virtävälipiirillinen taajuusmuuttaja. Alimmaista kuvassa olevaa välipiiriä käytetään jännitevälipiirillisessä taajuusmuuttajassa.



Kuva 17. Taajuusmuuttajan välipiirit (Niiranen 1999, s. 49).

#### 4.5 Jännitevälipiiri

Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja eli VSI (Voltage Source Inverter) käyttää jännitevälipiirissä diodisiltaa puhdistamaan tasasuuntaajan syöttämän tasajännitteen epäpuhtaudet. Jännitevälipiiri tarvitsee toimiakseen pulsinleveysmodulaatiota (engl. Pulse-Width Modulation, PWM) muodostamaan moottorin tarvitseman jännitteen, koska diodisiltaa ei ole mahdollista ohjata. Lähtöjännitteen keskiarvoa voidaan säätää lähes ilman viivettä muuttamalla sähkösignaalin pulssien leveyksiä PWM:llä, jolloin vaihejännitteestä saadaan lähes sinimuotoinen. (Niiranen, 1999, s. 50)

Jännitevälipiiri tarvitsee jarrutusvastuksen ja tasajännitekatkojan, kun tarvitaan suurempaa jarrutustehoa. Diodisilta voidaan vaihtaa myös vastarinankytkettyyn tyristorisiltaan tai verkkovaihtosuuntaajan, jolloin jarrutusvastusta ja tasajännitekatkojaa ei tarvita. Verkkovaihtosuuntaaja on vaihtosuuntaajan kaltainen, jolla saadaan vaihejännitteestä vieläkin sinimuotoisempi. (Niiranen, 1999, s. 50)

#### 4.6 Virtavälipiiri

Kuormakommutoitu taajuusmuuttaja eli LCI (Load Commutated Inverter) muodostaa tasasuuntaajan jännitteen tasavirraksi. Kuormakommutoitu taajuusmuuttaja koostuu kahdesta tyristorisillasta. Toinen tyristorisilta kytketään sähköverkkoon ja toinen tahtikoneeseen. Sähköverkon puoleinen tyristorisilta toimii tasasuuntaajana ja tahtikoneen puoleinen tyristorisilta vaihtosuuntaajana. Tyristorisillat yhdistetään toisiinsa tasokuristimella. Kuormakommutoidussa taajuusmuuttajassa tyristorisiltojen epäluotettava kommutointi aiheuttaa nykimistä ja epävakautta alhaisilla nopeuksilla moottorissa, koska sähköverkonpuoleisen tyristorisillan välipiirin virta joudutaan ohjaamaan jokaisella kerralla nolnaan, kun tyristorisillan tahtikoneen puolella oleva tyristori pitää sytyttää ja virtaa johtava tyristori sammuttaa. Tämän seurauksena kuormakommutoitu taajuusmuuttaja ei sovellu hyvin prosesseihin, joissa tarvitaan moottorilta suurta vääntömomenttia pienillä nopeuksilla. (Niiranen, 1999, ss. 48-50)

Toisella tavalla rakennetussa virtavälipiirissä korvataan tahtikoneen puoleinen tyristorisilta kommutointi kondensaattoreilla. Tällä tavalla rakennettua virtavälipiiriä käyttävää taajuusmuuttajaa kutsutaan CSI:ksi (Current Source Inverter). CSI tekee moottorin vääntömomentista tasaisemman ja voimakkaamman pienilläkin nopeuksilla, koska välipiirin virtaa ei jouduta katkoa. (Niiranen, 1999, s. 50)

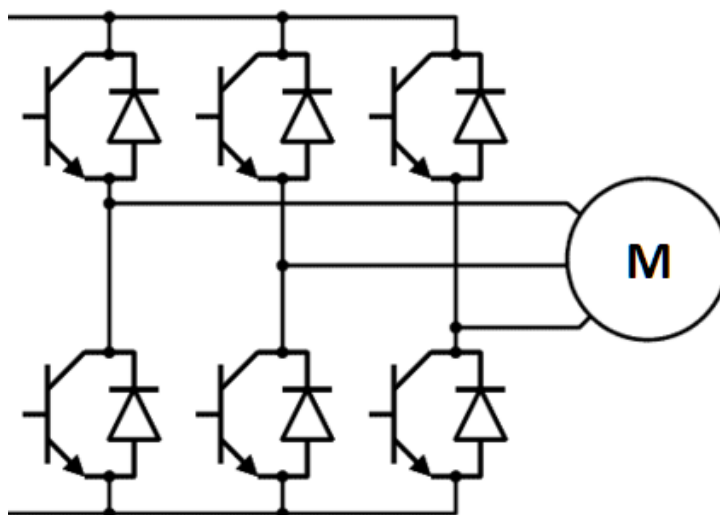
#### 4.7 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan eli invertterin tehtävä on muokata vielä viimeisen kerran sähkösignaalia ennen siirtymistä moottoriin. Välipiiri syöttää vaihtosuuntaajaan, joko sykkivää tasajännitettä, tasavirtaa tai vakiotasajännitettä.



Saapuvassa sykkivässä tasajännitteessä tai -virrassa muuttuu pelkästään taajuus vaihtosuuntaajassa. Jos vaihtosuuntaajaan saapuu vakiotasojännitettä, muutetaan sen amplitudia ja taajuutta. Vaihtosuuntauksesta lähtevä sähkö on oltava vaihtosähköä. Vaihtosuuntaajassa käytetään yleensä IGBT-transistoreja tai GTO-tyristoreita. (Niiranen, 1999, ss. 46-48)

Kuvassa 18 esitellään vaihtosuuntaajan toimintaperiaate.



Kuva 18. Vaihtosuuntaajan toimintaperiaate (Cowie, 2005).

#### 4.8 Ohjauspiiri

Ohjauspiirillä ohjataan taajuusmuuttajan toimintoja, joita ovat mm. puoli-johteiden ohjaus, tiedonsiirto taajuusmuuttajan ja ulkopuolisten laitteiden kanssa, tiedon keräys ja raportointi, turvatoimien suorittaminen ja moottorin suojaus. Ohjauspiiri voidaan esimerkiksi liittää PLC-järjestelmään, jolloin PLC hoitaa taajuusmuuttajan ohjauksen. Ohjauspiirin toiminnot ja toiminta riippuu taajuusmuuttajan mallista ja rakenteesta. (Sähkönet, n.d.)

## 5 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

Ohjelmoitava logiikka tai PLC (Programmable Logic Controller) on sähkötekniikassa käytettävä pieni tietokone, joka käyttää muistia datan säilytykseen. Datalla voidaan suorittaa mm. ajastuksia, ajoituksia, loogisia operaattoreita, laskureita ja laskutoimituksia. PLC:n toiminta on syklistä, jolloin edellisen syklin päätyttyä, ohjelma aloittaa syklin alusta ja käy läpi ohjelman uudelleen. PLC:tä käytetään yleensä automaatiota vaativissa tehtävissä ohjaamaan esimerkiksi koneita ja prosesseja. PLC:n tarkoitus on yksinkertaistaa ohjaukseen käytettävien ohjelmien luontia yksinkertaistamalla ohjelmiin käytettäviä ohjelmointikieliä. (Bolton, 2006, s. 4)

## 5.1 Ohjelmointikielet

PLC:ssä käytettävät ohjelmointikielet määritellään standardissa IEC 61131-3. Standardissa määritellään yhteensä viisi erilaista PLC:ssä käytettävää ohjelmointikieltä, joista kaksi ovat tekstipohjaisia ja kolme graafisia. Tekstipohjaisia ohjelmointikieliä ovat käskylista ja rakenteinen teksti. Graafisella toteutustavalle pohjautuvia ohjelmointikieliä ovat tikapuukaavio, toimilohkokaavio ja vuokaavio. (Bolton, 2006, s. 80)

Käskylista eli instruction list (IL) on tekstipohjainen matalan tason ohjelmointikieli, joka muistuttaa rakenteeltaan assembly-ohjelmointikieltä. Käskylista suorittaa yksinkertaisen komennon kerrallaan, joka mahdollistaa vähäisen muistinkäytön ja helpon ohjelman siirtämisen laitteesta toiseen. Käskylistalla saadaan siis säästettyä PLC:n muistia, mutta sillä ei voida toteuttaa monimutkaisia ohjelmia. (Bolton, 2006, s. 108)

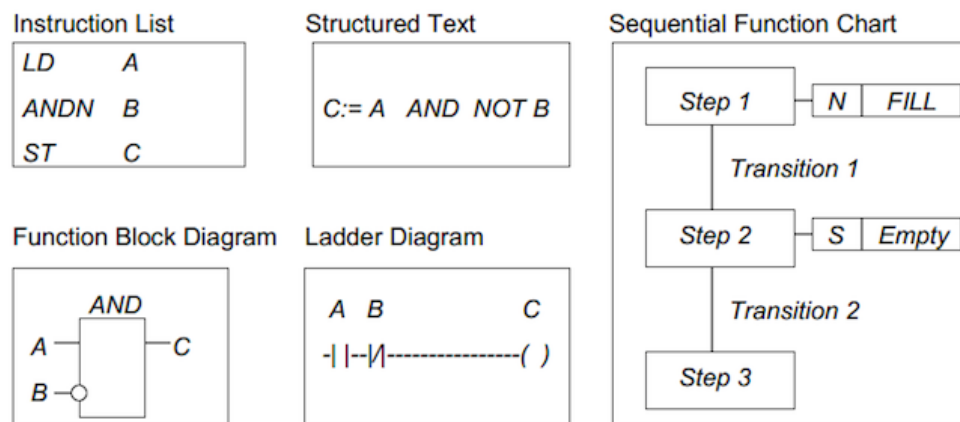
Rakenteinen teksti eli structured text (ST) on korkeamman tason tekstipohjainen ohjelmointikieli, jolla voidaan suorittaa erittäin vaativia ohjelmia. Rakenteinen teksti on C-ohjelmointikielen kaltainen ja sillä voidaan suorittaa kontrollirakenteita, joita ovat mm. if-else -rakenne, sekä while- ja for- silmukat. Rakenteinen teksti antaa erinomaisen mahdollisuuden vaativien ohjelmien rakentamiseen, sekä niiden dokumentointiin kommenttien muodossa. Rakenteellisella tekstillä saadaan myös usein pienennettyä ohjelman koodin määrää, mutta tätä ohjelmointikieltä voi olla haastavaa testata ja siitä voi olla myös hankala korjata virheitä. (Bolton, 2006, ss. 120-121)

Tikapuukaavio eli ladder diagram tai ladder logic (LD) on graafiseen esitystapaan pohjautuva ohjelmointikieli, joka muistuttaa esitystavaltaan sähkötekniikan virtapiirejä. Ohjelmaa luetaan ikään kuin vasemmalta oikealle, jolloin se on helposti ymmärrettävää. Monimutkaisemmat ohjelmat muodostavat tikapuukaaviolle ongelmia, koska silloin koodin määrä kasvaa, jolloin ohjelmaa on vaikeampi ymmärtää. (Bolton, 2006, ss. 80-82)

Toimilohkokaavio eli function block diagram (FBD) on ”palikoilla” kasattava graafinen ohjelmointikieli. Palikat esittävät erilaisia toimintoja, kuten ajastimia, laskureita tai loogisia operaattoreita. Palikat voivat olla myös monimutkaisia ja toimilohkokaaviolla voidaankin tehdä vaativiakin ohjelmia, mutta ohjelman koon kasvaessa, toimilohkokaavion lukeminen hankaloituu huomattavasti. (Bolton, 2006, ss. 94-95)

Vuokaavio eli sequential function chart (SFC) on graafinen ohjelmointikieli. Tässä ohjelmointikielessä on erilaisia funktiolaatikoita. Funktiolaatikoilla muodostetaan ohjelma pystyasentoon, jolloin sitä luetaan ylhäältä alas. Vuokaaviota on helppo lukea, testata ja korjata, mutta vaativat ohjelmat tuottavat vuokaaviolle vaikeuksia. Sitä on myös vaikea kääntää muille ohjelmointikielille sen poikkeuksellisen rakenteen vuoksi. (Bolton, 2006, ss. 115-117)

Kuvassa 19 esitellään esimerkeillä standardin IEC 61131-3 määrittelemät ohjelmointikielet. Esimerkeissä kuvatun ohjelman toiminta on seuraavanlainen: kun A on tosi ja B on epätosi, niin C on tosi. Muissa tilanteissa C:n tila on epätosi.

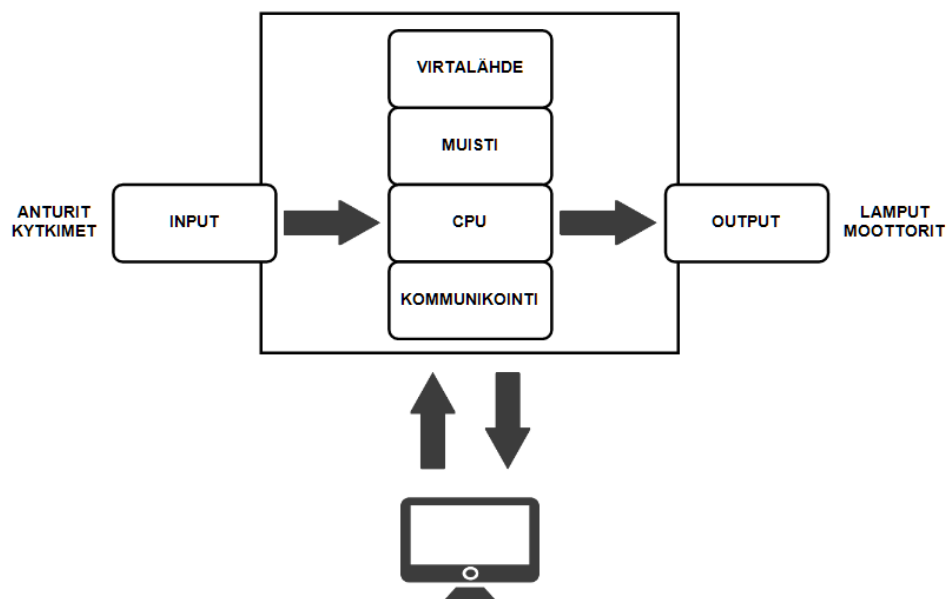


Kuva 19. PLC:n ohjelmointikielet (Motion Control Tips 2018).

## 5.2 Rakenne

PLC-järjestelmän rakenne koostuu prosessorista (CPU), virtalähteestä, ohjelmointilaitteesta, muistiyksiköstä, sisään- ja ulostulos -yksiköstä (input/output section), sekä kommunikaatioyksiköstä. Prosessori sisältää mikroprosessorin, joka tulkitsee input-signaalit. Input-signaalien ja muistiin tallennetun ohjelman perusteella prosessori ohjaa output-signaalien tiloja. Virtalähteellä muunnetaan laitteeseen syöttöverkon jännite PLC:lle ja sen I/O-yksikölle sopivaksi jännitteeksi. PLC:n käyttämä jännite on yleensä tasajännitettä, jonka suuruus on 24 V. Ohjelmointilaitteella luodaan ohjelma PLC:lle. Ohjelma siirretään muistiin, josta prosessori pystyy käsittelemään luotua ohjelmaa. Muistiyksikköön tallennetaan ohjelma, sekä I/O-yksikön signaalien tilat. Prosessori käsittelee muistiyksikössä olevan tiedon ja tekee tietojen perusteella tarvittavat operaatiot. I/O-yksikön input-osioon tuodaan ulkopuolisten laitteiden tarvittavat signaalit, joita voivat olla esimerkiksi kytkin- tai anturitiedot. Output-yksikkö ohjaa prosessin toimintoa prosessorin ja muistissa olevan ohjelman mukaan. Ohjattavia laitteita voi olla esimerkiksi releet, valaisimet tai analogiset säädöt. Kommunikaatioyksikköä käytetään kommunikoimiseen erilaisten verkkojen, tietokoneiden ja toisten PLC-järjestelmien kanssa. Kommunikaatioyksikössä käytettäviä kenttäväyläteknikoita voi olla esimerkiksi hart, fieldbus, profibus, modbus tai erilaiset kenttälaitteet, kuten anturit. (Bolton, 2006, ss. 4-5)

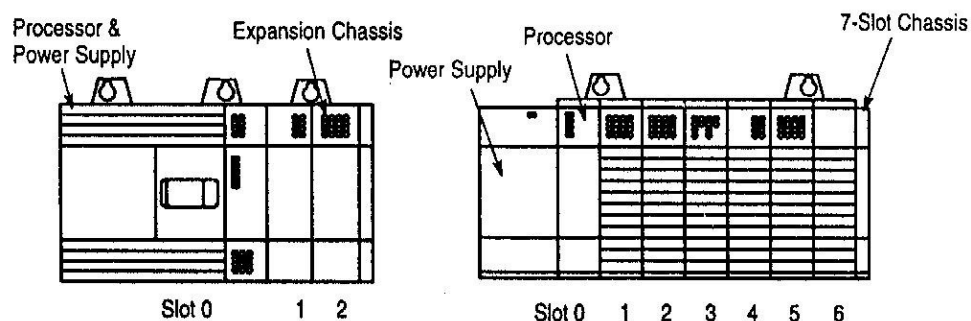
Kuvassa 20 esitellään PLC-järjestelmän toimintaperiaatetta.



Kuva 20. PLC-järjestelmän toimintaperiaate

PLC:n mekaaninen rakenne voi olla, joko integroitu tai modulaarinen. Integroidussa rakenteessa PLC:llä on tarvittavat osat itsessään, joten se sisältää valmiiksi jo prosessorin, virtalähteen, muistiyksikön, I/O-yksikön ja kommunikointiyksikön. Joissakin integroiduissa järjestelmissä on myös sisäänrakennettu ohjelmointi mahdollisuus, jolloin erillistä ohjelmointilaitetta ei välttämättä tarvita. Modulaarinen yksikkö yleensä sisältää pelkästään prosessorin, muistiyksikön, sekä mahdollisesti kommunikointiyksikön ja pienen määrän I/O-yksiköitä. Modulaarinen järjestelmä soveltuukin paremmin suuren luokan ohjelmiin, koska modulaarista PLC-järjestelmää on helppo laajentaa ja tehdä siitä prosessin vaativan kokonaisuuden. (Bolton, 2006, ss. 10-13)

Kuvassa 20 esitellään integroitu ja modulaarisen PLC:n rakenne. Kuvassa vasemmalla on integroitu PLC-järjestelmä ja oikealla modulaarinen.



Kuva 21. Integroitu ja modulaarinen PLC-järjestelmä (Automation Forum 18).

## 6 PT100-ANTURI

PT100-anturi on vastusanturi, jolla mitataan lämpötilaa esimerkiksi vedestä. PT100-anturin nimessä PT viittaa platinaan ja numero 100 vastuksen arvoon, joka sillä on 0 °C:n lämpötilassa. Tämän tyyppisessä anturissa käytetään platinaa mittaamaan lämpötilaa, koska platinan sähköinen vastus reagoi lämpötilan muutokseen lineaarisesti. Kun mitattavan kohteen lämpötila nousee, vastuksen arvo kasvaa. Vastuksen arvo pienenee, kun lämpötilakin laskee. Platinavastuksen sähköisen vastuksen muutos on n. 0,39 ohmia yhtä celsiusastetta kohden. PT100-anturin mittausalue on -200 – 550 °C. (Säätö, n.d.)

Kuvassa 22 esitellään PT100-anturi, jonka kytkentätapana on 2-johdinkytkentä.

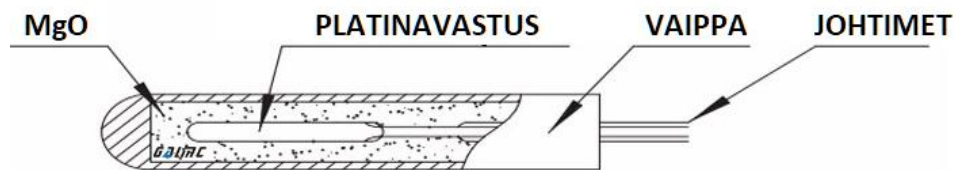


Kuva 22. PT100-anturi (PSEK n.d.).

### 6.1 Rakenne

PT100-anturin vastus sijaitsee eristeen ja mittaussauvan sisällä. Yleensä myös mittaussauva asennetaan erilliseen koteloon tuomaan suojausta mekaaniselta rasitukselta. Lisäsuojaus yleensä tuo viivettä mittaukseen, mutta vioittunut suojakotelollinen vastus voidaankin mahdollisesti vaihtaa uuteen vastukseen ilman, että prosessi keskeytyy. Anturi sijaitsee mittaussauvan perällä ja anturin mittaustuloksen antavat johtimet ovat mittaussauvan toisessa päässä. Usein johtimet tuodaan kotelolliseen kytkentäalustaan, jossa johtimet kytketään esimerkiksi riviliittimiin tai lämpötilalähettimeen. Lämpötilalähetin muuntaa anturin vastusarvon 4-20 mA -virtaviestiksi. Virtaviesti alkaa usein 4 mA:sta, koska tällä pyritään estämään mittaushäiriöitä, joita pienemmät virrat saattavat tuoda. Virtaviestin 4 mA vastaa siis lämpötila-arvoltaan anturin pienintä arvoa. Virtaviestiä voidaan käyttää esimerkiksi PLC:n analogiseen tuloon mittaamaan tai ohjaamaan prosessia. (Säätö, n.d.)

Kuvassa 23 esitellään PT100-anturin läpileikkaus, josta selviää keskeisemmät osat anturista.



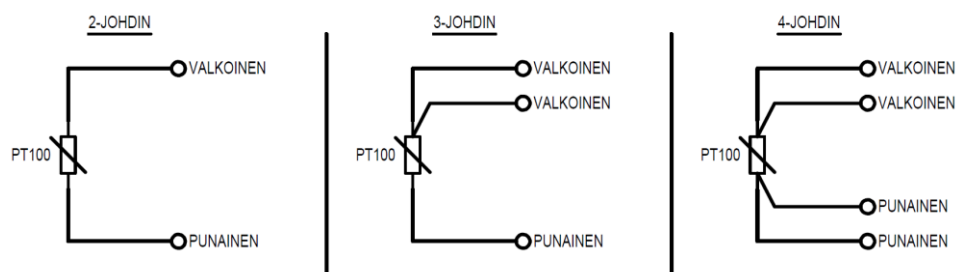
Kuva 23. PT100-anturin läpileikkaus (Alibaba n.d.).

PT100-anturin mittausten tarkkuusluokat ja toleranssit määrittää standardi IEC 60751. Standardi määrittää kaksi erilaista tarkkuusluokkaa, joita ovat A- ja B-luokka. A-luokan anturissa tarkkuus 100 °C:n lämpötilassa on  $\pm 0,35$  °C ja B-luokan anturilla  $\pm 0,8$  °C. Standardi määrittää myös PT100-anturin vastukseen liitettävien johtimien värit. (Epic Sensors, n.d.)

## 6.2 KytKentätävät

PT100-anturi voidaan kytkeä, joko 2-, 3-, tai 4-johdinkytkentänä. 2-johdinkytkennässä vastukselta lähtee kaksi johdinta. 3-johdinkytkennässä vastuksen toisesta päästä lähtee kaksi johdinta ja toisesta päästä yksi johdin. 4-johdinkytkennässä vastuksen molemmista päistä lähtee kaksi johdinta. 2-johdinkytkentä sopii mittauksiin, joissa johtimien pituudet ovat lyhyitä, koska kahdella johtimella mittaustulokseen tulee mukaan johtimien aiheuttama virhevastus. 3-johdinkytkennällä vastukselta tulevien identtisten johtimien aiheuttama vastus saadaan poistettua, jolloin mittaustulos on tarkempi. Tarkimpiin mittauksiin käytetään 4-johdinkytkentää, koska johtimien vastus saadaan kokonaan eliminoitua mittaamalla myös johdinvastus. (Säätö, n.d.)

Kuvassa 24 esitellään yksittäisen PT100-anturin mahdolliset johdinkytkennät.

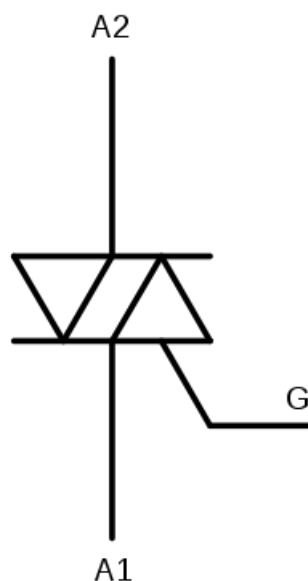


Kuva 24. PT100-anturin kytKentätävät

## 7 TRIAC

Triac on puolijohdekomponentti, jolla voidaan säätää kuorman tehoa portaattomasti. Triac-säätimellä voidaan mm. himmentää valaisinta tai säätää 1-vaihe moottorin pyörimisnopeutta. Triac koostuu kahdesta rinnankytketystä tyristorista. Tyristori on puolijohdekomponentti, joka koostuu anodista, katodista ja hilasta. Tyristori on diodin tavoin estosuuntainen, mutta tyristori kuitenkin saadaan johtamaan myös myötäsuuntaisesti antamalla virtapulssi hilalle. Tyristorit kytketään vastakkain ja tyristorien hilat kytketään yhteen, jolloin triac pystyy toimimaan vaihejännitteen negatiivisen ja positiivisen jakson aikana. Triacin tilaa voidaan ohjata tyristorin hilalla ja pitovirralla. Triac saadaan johtamaan virtaa, kun hila saa virtapulssin. Hila pysyy aktiivisena ja triac johtaa virtaa, kunnes virran arvo alenee alle pitovirran. Jotta tyristorin hila aktivoituu, katodin jännite täytyy olla vähintään hilan kynnyksjännitteen verran korkeampi, kuin hilan jännite, sekä katodin jännite täytyy olla matalampi, kuin anodin jännite. (Koskinen, 2002, s. 67-70)

Kuvassa 25 esitellään triacin rakenne. A1 ja A2 tarkoittavat tyristorien anodeja ja G (Gate) tarkoittaa tyristorien yhteen kytkettyjä hiloja.



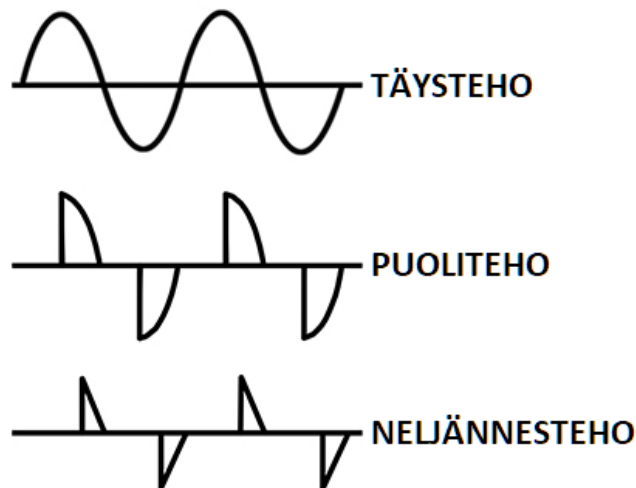
Kuva 25. Triacin rakenne (Wikipedia n.d.)

### 7.1 Triac-säädin

Perinteisen triac-säätimen tehonsäätö perustuu triacin ohjaukseen tiettyssä kohtaa vaihtojännitteen puolijaksoa. Ohjausjaksolla triac ohjataan päästämään virtaa läpi tiettyssä kohtaa vaihtojännitteen puolijaksoa. Ohjausjakson jälkeen triac päästää virtaa laitteeseen, kunnes seuraavan vaihtojännitteen puolijakso on nollakohdassa. Kun triac ohjataan päästämään virtaa aikaisessa vaiheessa vaihtojännitteen puolijaksoa, päästää triac

enemmän virtaa läpi, jolloin esimerkiksi valaisin palaa kirkkaammin. Kun triac ohjataan päästämään virtaa myöhäisemmässä vaiheessa vaihtojännitteen puolijaksoa, valaisin palaa himmeämmin. (Valokas, n.d.)

Kuvassa 26 esitellään triacin säätämät sähkösignaalien eri signaalimuodot erilaisilla suodatuksilla. Mitä sinimuotoisempaa sähkösignaali on, sen enemmän virtaa triac päästää lävitseen.



Kuva 26. Triac-säätimen signaalimuodot (Schweber 2014).

## 8 SUUNNITTELUYÖ

Tässä kappaleessa tutustutaan stokerikattilan automatisoinnin suunnittelutyöhön. Kappaleessa käydään läpi stokerikattilan ohjauksen vaatimukset, keskeisimmät komponentit, jotka vaaditaan ohjauksen toteuttamiseen, piirikaaviot, sekä automatisointiin luotu ohjelma. Kokonaisuudesta pyrittiin tekemään helposti ymmärrettävä ja muokattava. Kokonaisuus toteutettiin Wagon PLC-järjestelmään. Suunnittelussa käytettävät ohjelmat olivat Kymdatan Cads Electric -sähkösuunnitteluohjelma, sekä CODESYS-ohjelmointiympäristö.

### 8.1 Lähtötiedot

Suunnittelutyö aloitettiin selvittämällä asiakkaan tarpeet stokerikattilan ohjaukseen, sekä yleiseen ohjelmiston toimintaan. Ohjelmisto haluttiin yhteensopivaksi mahdollisimman monen erilaisen kiinteän polttoaineen kanssa, mutta erityisesti hakkeen ja pelletin. Ohjelmistoon haluttiin myös mahdollisuus automaattiseen ja manuaaliseen ajoon. Manuaaliseen ajoon haluttiin myös yhdistää olemassa oleva ohjauskotelo. Ohjelmisto haluttiin toteutettavan Wagon PLC-järjestelmällä.

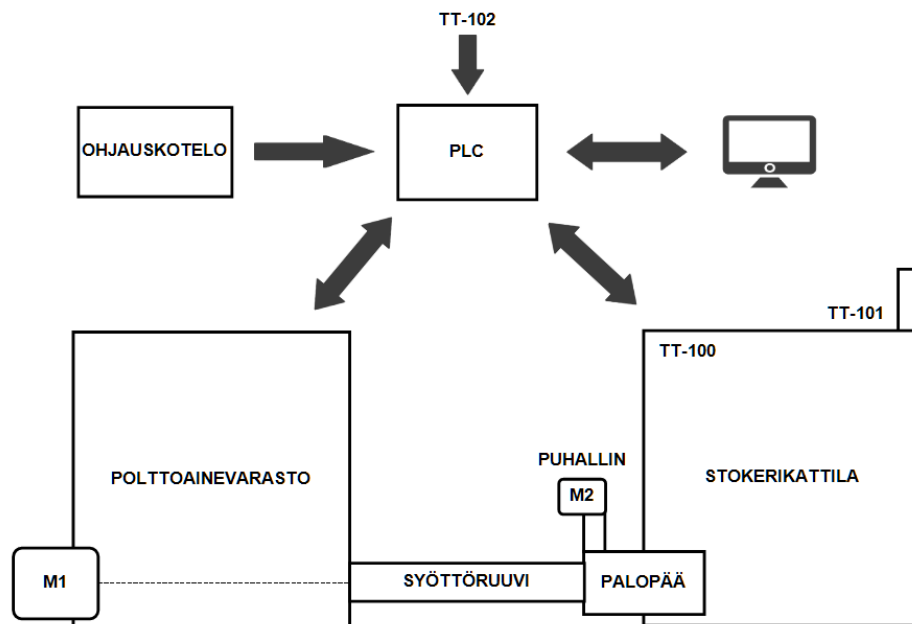


## 8.2 Toimintaselostus

Manuaalitulassa ohjataan syöttöruuvin moottoria palautuvilla eteen ja taakse -painonapeilla. Puhaltimen moottoria ohjataan päälle/pois -painonapilla.

Automaattitulassa valitaan haluttu polttoaine. Kun polttoaine on valittu, siirtyy ohjelmisto starttitilaan hetkeksi. Starttitilan tarkoitus on saada syöttöruuvi liikkeelle, sekä sytyttää liekki palopäässä. Starttitilan jälkeen ohjelmisto siirtyy, joko teho- tai ylläpitotilaan. Tehokäyttöön siirrytään, kun kattilan veden lämpötilaa nostetaan. Syöttöruuvi syöttää polttoainetta palopäähän, jossa polttoaine palaa. Liekkiä palopäässä säädetään puhaltimen avulla. Tehokäyttö on voimassa, kun kattilan veden lämpötila nostetaan halutulle yläraja-arvolle. Kun veden lämpötilan yläraja-arvo on saavutettu, ohjelmisto siirtyy ylläpitoon, kunnes veden lämpötilan alaraja-arvo saavutetaan. Alaraja-arvon saavutettua, ohjelmisto siirtyy takaisin tehokäyttöön. Ylläpidossa syöttöruuvi ja puhallin antaa sykäyksiä tietyn väliajoin. Ylläpidon tarkoituksena on ylläpitää palopään liekkiä ja kattilan veden lämpötilaa. Syöttöruuvin ja puhaltimen moottorien nopeudet riippuvat valitusta polttoaineesta ja ohjelmiston tilasta. Antureilla määritellään moottorien nopeuksia. Kattilan veden lämpötila-anturi ohjaa syöttöruuvin nopeutta ja savukaasujen lämpötila-anturi ohjaa puhaltimen nopeutta. Erilaiset viat estävät automaattiajon, jolloin vika täytyy nollata, ennen kuin automaattitila jälleen toimii. Ohjelmistossa on myös mahdollisuus pakottaa teho- tai ylläpitotila päälle, joka mahdollistaa ohjelman testauksen.

Kuvassa 27 esitellään stokerikattilan ohjausperiaate. Merkinnot TT-100 – TT-102 tarkoittavat lämpötila-antureita. TT-100 on stokerikattilan veden lämpötila-anturi, TT-101 on kattilan savukaasujen lämpötila-anturi ja TT-102 on ulkolämpötila-anturi. M1 tarkoittaa syöttöruuvia ohjaavaa moottoria ja M2 tarkoittaa puhallinta ohjaavaa moottoria. Nuolten suunnat määrittävät laitteiden välisen kommunikoinnin suunnan.



Kuva 27. Stokerikattilan ohjausperiaate

### 8.3 Osaluettelo

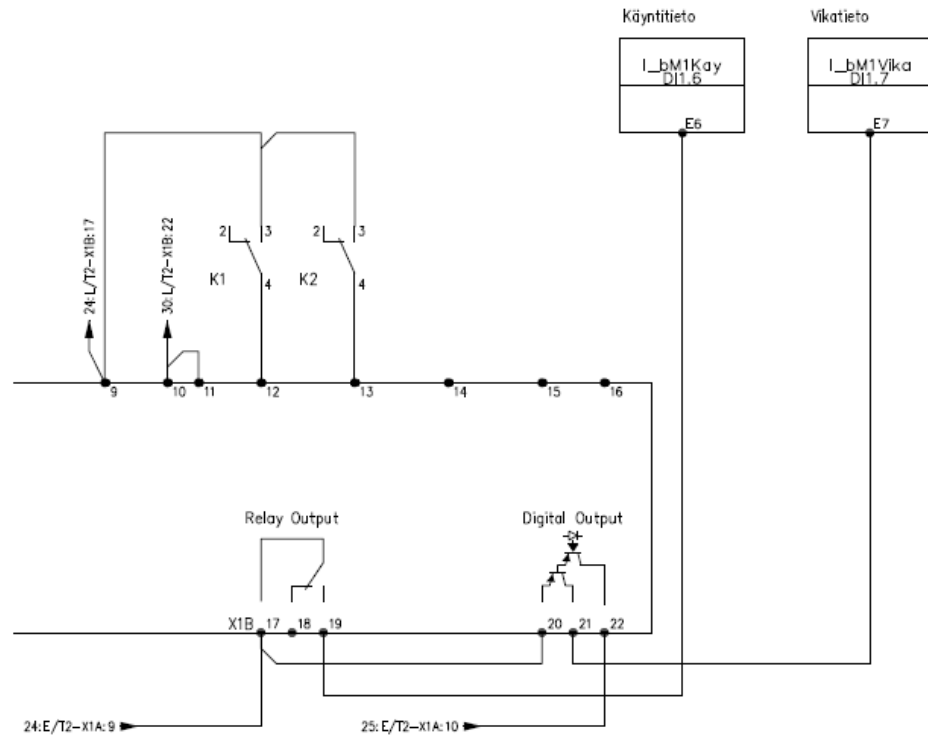
Tässä kappaleessa käydään läpi stokerikattilan ohjaukseen tarvittavat keskeisimmät komponentit. Osaluettelo voitiin toteuttaa, kun tarvittavat lähtötiedot suunnittelun aloittamiseen olivat selvillä. Osien valintaan vaikuttivat asiakkaan toivomukset, kustannukset, osien saatavuus ja yhteensopiavuus. Myös opintojen aikana tutuksi tulleita komponentteja suosittiin suunnittelussa.

#### 8.3.1 Taajuusmuuttaja

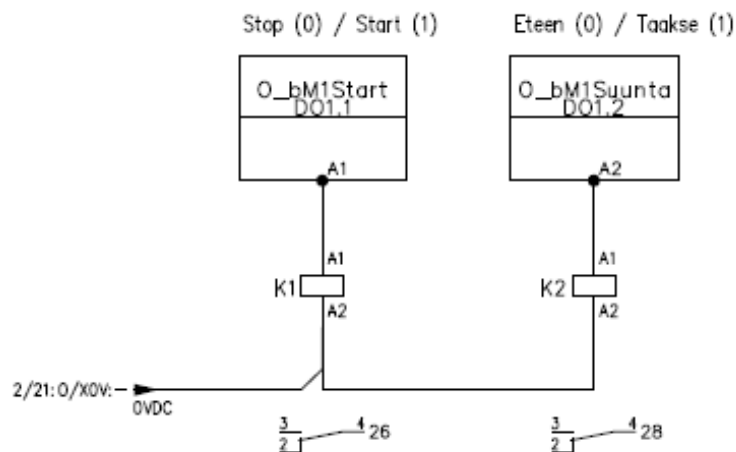
Taajuusmuuttajan toimintoja ohjattiin taajuusmuuttajan ohjauspiirillä. Ohjauspiirin toimintoja ohjattiin syöttämällä PLC:n I/O-yksiköstä 24 V:n tasajännitteisiä ohjaussignaaleja ohjauspiirin haluttujen toimintojen digital input (DI) -portteihin. Ohjauspiirin DI-porttien ja ohjaussignaalien väliin asennettiin releet. Releen kärjillä katkottiin ja syötettiin ohjaussignaalia. Ohjauspiirin DI-porteista käytettiin toimintoja moottori päälle (0) / pois (1) ja moottori eteen (0) / taakse (1). Näillä kahdella toiminnolla ohjattiin syöttöruuvien moottoria. DI-porttiin tuleva ohjaussignaali luetaan binäärisenä, jolloin tila 0 tarkoittaa, että DI-porttiin ei tule ohjaussignaalia, jolloin esimerkiksi moottori ei käynnisty. Tilan ollessa 1, DI-portti saa ohjaussignaalin, jolloin moottori käynnistyy. Ohjauspiiristä otettiin myös taajuusmuuttajan käynti- ja vikatieto. Tiedot saatiin ohjauspiirin digital output (DO) -porteilla, jotka lähettävät 24 V:n tasajännitesignaalia.

Kuvassa 28 esitellään taajuusmuuttajan ohjauspiirin DI ja DO -porttien kytkennät. Pinni 12 (DI1) ohjaa moottoria päälle/pois. Pinni 13 (DI2) ohjaa moottorin pyörimissuuntaa. Pinneistä 19 ja 21 saatiin käynti- ja vikatieto.

K1 ja K2 ovat releen kärkiä, joita ohjataan releen kelalla. Releiden ohjaus nähdään kuvassa 29.

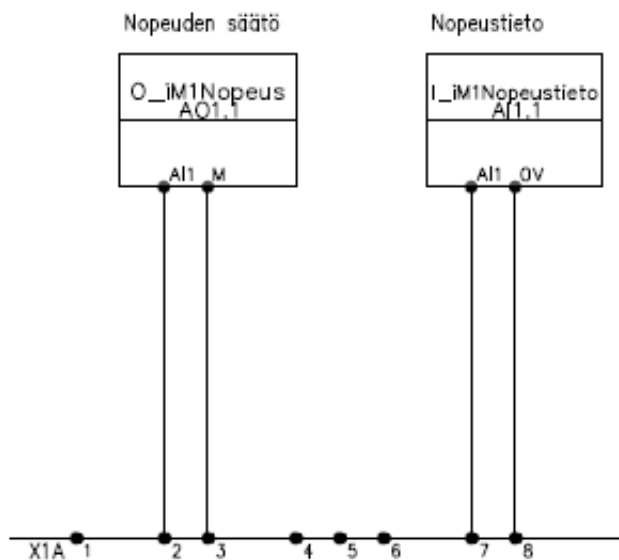


Kuva 28. Taajuusmuuttajan DI- ja DO-portit



Kuva 29. Taajuusmuuttajan ohjaukseen käytettävien releiden kelat

Taajuusmuuttajaan kytkettyä moottorin nopeutta ohjattiin syöttämällä taajuusmuuttajan ohjauspiiriin analog input (AI) -porttiin 4 – 20 mA virtaviestiä, joka vastaa 0 – 100 %:n tehoa moottorista. Analog output (AO) -portilla saatiin moottorin nopeustieto PLC:lle 4 – 20 mA virtaviestinä. Kuvassa 30 esitellään taajuusmuuttajan AI ja AO -porttien kytkennät.



Kuva 30. Taajuusmuuttajan ohjauspiirin AI- ja AO-portit

Syöttöruuvim moottori oli 3-vaiheinen 400 V:n oikosulkumoottori, jonka teho oli 1,1 kW. Syöttöruuvim ohjaukseen valittiin ABB ACS350 -taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja soveltuu 3-vaiheisen oikosulkumoottorin ohjaukseen, jonka teho on 0,37 – 22 kW. Valintaan vaikutti myös taajuusmuuttajan pieni koko ja saatavuus. Taajuusmuuttaja kytkettiin 3-vaiheiseen sähköverkkoon 16 A:n sulakkeen taakse. Sähköverkon jännite oli 400 V ja taajuus 50 Hz. Kuvassa 31 nähdään valittu taajuusmuuttaja ABB ACS350.



Kuva 31. ABB ACS350 -taajuusmuuttaja (ABB 2007).

### 8.3.2 Triac-säädin

Puhaltimen moottori oli 1-vaiheinen 230 V:n sähkömoottori, jonka teho oli 80 W. Koska puhaltimen moottori oli 1-vaiheinen, taajuusmuuttajan käyttö ei ollut mahdollista. Puhaltimen moottorin nopeuden säätöön valittiin lopulta triac-säädin. Triac-säädin suojattiin 4 A:n sulakkeella mahdollisten oikosulkutilanteiden varalta. Triac-säädin oli Electromenin valmistama EM-162, jolla pystytään ohjaamaan laitetta, jonka kuorma on 10 – 200 W. Triac-säätimen tehonsäätöä ohjattiin PLC:n AO-portista, josta syötettiin triac-säätimeen 0 – 10 V:n tasajännitettä. Puhaltimen moottori saatiin päälle releen avulla samanlaisella toimintaperiaatteella, kuin syöttöruuvimoottorikin. Kuvassa 32 nähdään suunnitelmaan valittu Electromenin valmistama triac-säädin.



Kuva 32. Triac-säädin EM-162 (Electromen, n.d.).

### 8.3.3 Releet

Syöttöruuvimoottorien ja puhaltimen moottorien ohjaukseen tarvittiin releitä. Releiden kytkimillä ja keloilla ohjattiin moottorien toimintoja. Taajuusmuuttajan ohjauspiiristä releillä ohjattiin syöttöruuvimoottorin käynnistäminen ja pyörimissuunta. Puhaltimen moottoria ohjattiin releellä päälle/pois. Ohjaukseen käytettävät releet olivat Omronin valmistamia G2R-2-SNDI -pistokantareleitä. Releiden kelat toimivat 24 V:n tasajännitteellä, joten PLC:n DO-porttien 24 V:n lähtöjännite mahdollistaa näiden releiden ohjauksen. Releiden kärjet toimivat vaihtojännitteellä maksimissaan 8 A:n ja 250 V:n arvoilla. Tasajännitteellä releen kärjet toimivat maksimissaan 30 V:lla. Koska taajuusmuuttajan DI-portit toimivat 24 V:n tasajännitteellä ja triac-säätimen syöttämä sähkösignaali on maksimissaan 230 V vaihtojännitettä, toimivat releet molempien moottorien ohjauksessa. Kuvassa 33 nähdään valittu pistokantarele ilman releen kytkentäalustaa.



Kuva 33. Pistokantarele G2R-2-SNDI (Sähkönumerot n.d.).

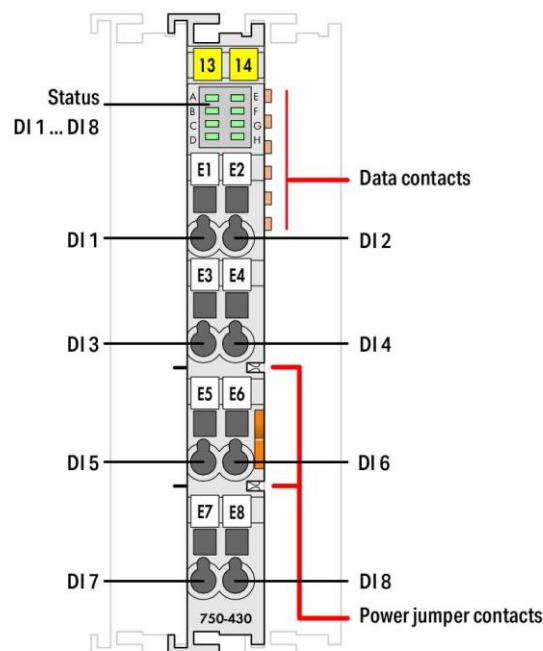
### 8.3.4 I/O-yksikkö

Stokerikattilan ohjaukseen tarvittavien I/O-yksikössä olevien I/O-korttien ja niissä olevien I/O-porttien lukumäärä saatiin selville tietämällä anturien lukumäärä, moottorien ohjaustavat, sekä manuaaliohjauksen ohjauskotelon toimintaperiaate. Kuvassa 34 esitellään stokerikattilan ohjaukseen tarvittavat I/O-portit. Sähköpositio viittaa sijaintiin, jossa I/O-yksikköön kytkettävä laite sijaitsee. OK1 tarkoittaa ohjauskoteloa, KK1 tarkoittaa kytkentäkoteloa, SK1 tarkoittaa stokerikattilaa ja UK1 ulkotilaa. Piirin tunnus viittaa komponenttiin, joka sijaitsee sähköpositiossa. S1 – S4 tarkoittavat ohjauskotelon kytkimiä, T2 tarkoittaa taajuusmuuttajaa, T3 tarkoittaa triacsäädintä ja TT100 – 102 antureita. Logiikan osoite viittaa mihin I/O-yksikön korttiin ja mihin kortin porttiin sähkösignaali kytketään. PLC-tunnus viittaa PLC:n ohjelmistossa käytettävään tunnuksen.

SÄHKÖ-POSITIO	PIIRIN TUNNUS	LOGIIKAN OSOITE	PLC-TUNNUS	PIIRIN KUVAUS
OK1	S1.1	DI1.1	I_bAutomaatti	AUTOMAATTITILA
	S1.2	DI1.2	I_bManuaali	MANUAALITILA
	S2	DI1.3	I_bM1Eteen	M1 ETEEN
	S3	DI1.4	I_bM1Taakse	M1 TAAKSE
	S4	DI1.5	I_bM2Kayntiin	M2 KÄYNNISTYS
KK1	T2	DI1.6	I_bM1Kay	TAMUN KÄYNTITieto
		DI1.7	I_bM1Vika	TAMUN VIKATieto
		DO1.1	O_bM1start	M1 KÄYNNISTYS
		DO1.2	O_bM1Suunta	M1 PYÖRIMISSUUNTA
	T3	AI1.1	I_iM1Nopeustieto	M1 NOPEUSTIETO
		AO1.1	O_iM1Nopeus	M1 NOPEUSSÄÄTÖ
		DO1.3	O_bM2start	M2 KÄYNNISTYS
SK1	TT100	AI2.1	I_iTT100	VEDEN LÄMPÖTILAN MITTAUS
	TT101	AI2.2	I_iTT101	SAVUKAASUJEN LÄMPÖTILAN MITTAUS
UK1	TT102	AI2.3	I_iTT102	ULKOLÄMPÖTILAN MITTAUS

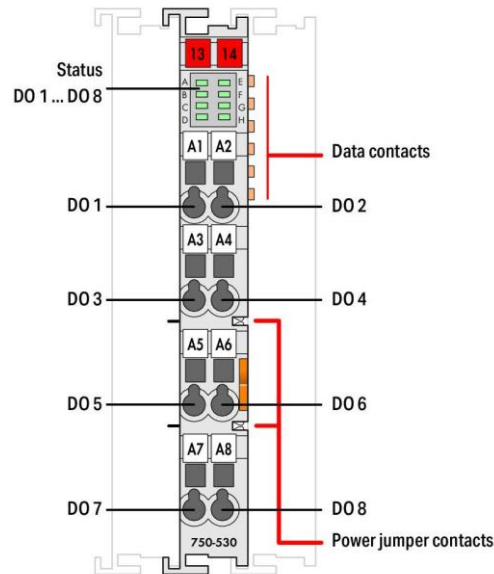
Kuva 34. Stokerikattilan ohjauksen I/O-luettelo

DI-portteja tarvittiin yhteensä seitsemän kappaletta. Ohjauskotelosta tarvittiin kytkintiedot automaatti- ja manuaalijosta, syöttöruuvin eteen- ja taakse -ohjauksista, sekä puhaltimen moottorin käynnistyksestä. Taajuusmuuttajasta otettiin tilatiedot moottorin käynti- ja vikatilasta. Kytkintieto saadaan PLC:n käyttöön, kun 24 V:n sähkösignaali tuodaan kytkimen kautta DI-porttiin. PLC:n prosessori lukee kytkintiedon binääriarvona ja tallentaa sen muistiin. Kytkimen binääriarvo on 0, kun kytkin on auki. Binääriarvo on 1, kun kytkin on kiinni. Koska DI-portteja tarvittiin seitsemän kappaletta, DI-kortiksi valittiin 8-kanavainen Wago 750-430 (kuva 35).



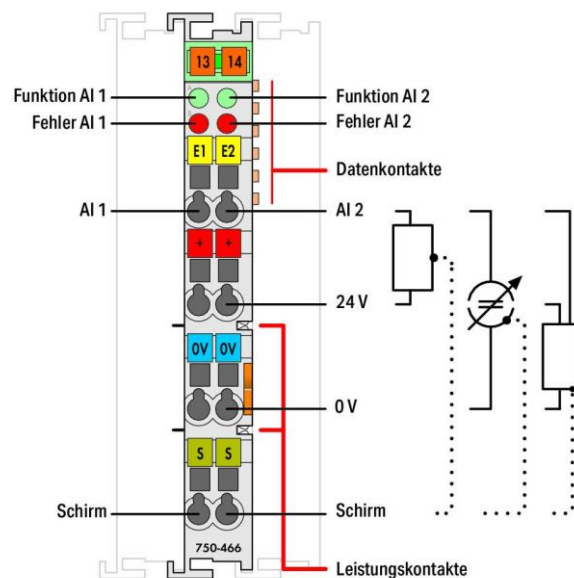
Kuva 35. Wago 750-430 (Wago n.d.a).

DO-portteja tarvittiin stokerikattilan ohjaukseen kolme kappaletta. DO-portteja käytettiin syöttöruuvin moottorin päälle/pois - ja eteen taakse - ohjauksiin, sekä puhaltimen moottorin ohjaukseen. DO:lla syötettiin 24 V:n sähkösignaali releen kelaan, jolloin releen kytkimet sulkeutuvat ja ohjattava laite saa sähkövirtaa. DO-porteilla ohjattiin taajuusmuuttajan ohjauspiiriä, josta ohjattiin syöttöruuvin moottorin käynnistämistä ja pyörimissuuntaa. DO-portilla ohjattiin myös puhaltimen moottorin käynnistämistä triac-säätimen päälle/pois ohjauksella. DO-kortiksi valittiin 8-kanavainen Wago 750-530 (kuva 36). Vaikka stokerikattilan ohjaukseen riittäisikin 4-kanavainen kortti, valittiin 8-kanavainen kortti tulevaisuuden laajennuksien varalle.



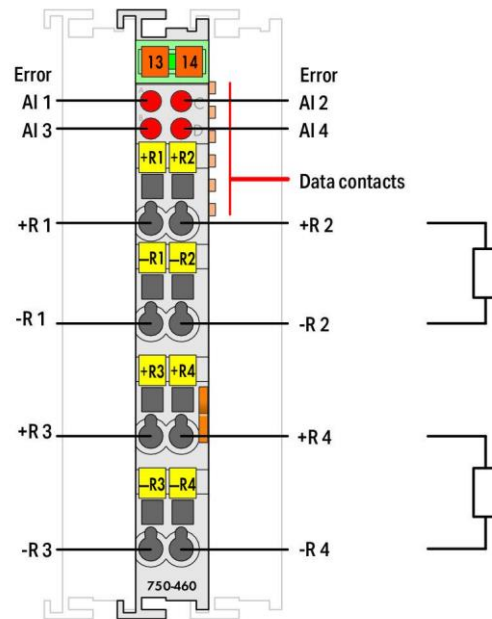
Kuva 36. Wago 750-530 (Wago n.d.b).

AI-portteja käytettiin lukemaan syöttöruuvin moottorin nopeus, sekä anturien tiedot. Taajuusmuuttajan ohjauspiiristä otettiin 4 – 20 mA virtaviesti, joka tuotiin AI-porttiin. Virtaviesti muutettiin ohjelmassa vastamaan moottorin prosentuaalista tehoa, sekä pyörimisnopeutta (RPM). Vedden, savukaasujen, sekä ulkolämpötilan virtaviestit tuotiin erilliseen PT100-anturille suunniteltuun PT100 AI -kortin portteihin. AI-kortiksi valittiin 2-kanavainen Wago 750-466 (kuva 37) ja PT100 AI -kortiksi valittiin 4-kanavainen Wago 750-460 (kuva 38).



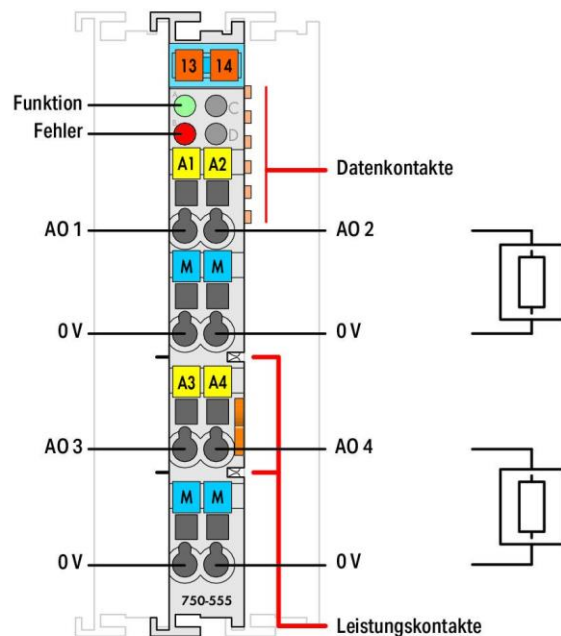
Kuva 37. Wago 750-466 (Wago n.d.c).





Kuva 38. Wago 750-460 (Wago n.d.d).

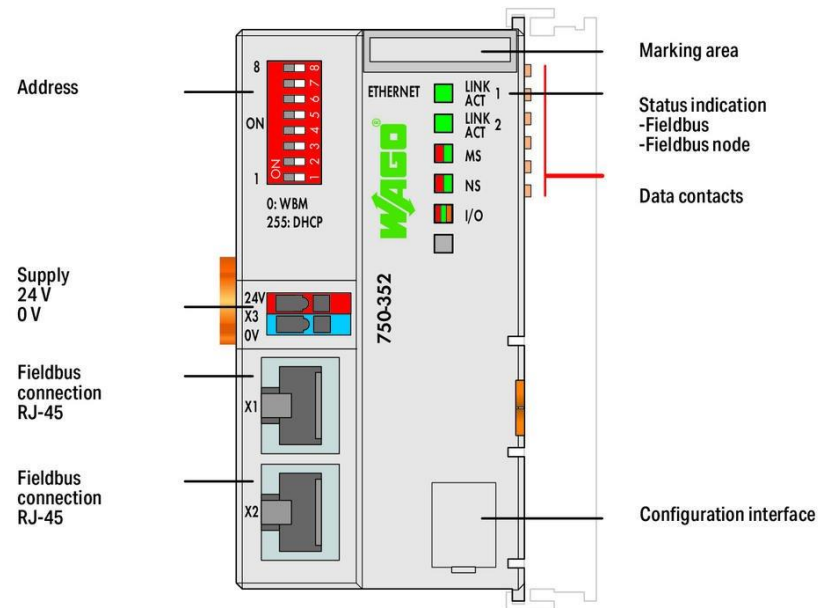
AO-porteilla ohjattiin moottorien nopeuksia syöttämällä 4 – 20 mA virtaviestiä niihin. Syöttöruuvin moottoria ohjattiin taajuusmuuttajan ohjauspiirillä ja puhaltimen moottoria triac-säätimellä. AO-kortiksi valittiin 4-kanavainen Wago 750-555 (kuva 39).



Kuva 39. Wago 750-555 (Wago n.d.e).

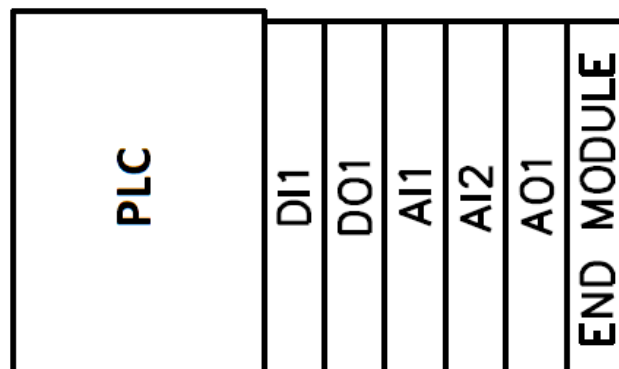
## 8.3.5 PLC

PLC tarvittiin ohjaamaan I/O-yksikköä, sekä yhdistämään PLC-järjestelmä tietokoneeseen. Tietokoneella saatiin ladattua haluttu ohjelma PLC-järjestelmään, sekä ohjaaman käyttöliittymästä ohjelmistoa. PLC:ksi valittiin Wagon 750-352 (kuva 40). Tätä laitteistoa kutsutaan kenttäväyläkopleriksi tai PLC:ksi. Wago 750-352 on tarkoitettu tiedonsiirtoon modbusväylän välityksellä ethernet/ip-verkoissa. Tätä PLC:tä voitiin ohjata ethernet-yhteyden kautta, jolloin ohjelmiston käyttäminen tietokoneen kautta oli helppoa.

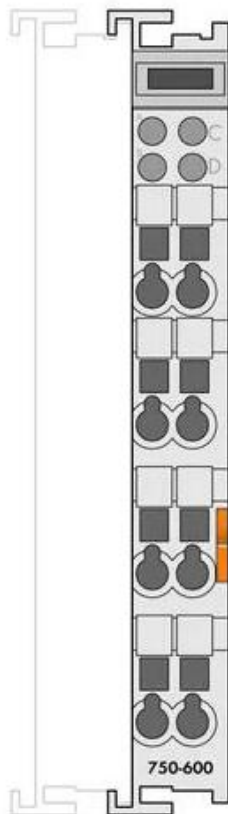


Kuva 40. Wago 750-352 (Wago n.d.f).

Lopulliseksi PLC-järjestelmän kokoonpanoksi saatiin seuraavanlainen järjestelmä: PLC, DI-kortti, DO-kortti, AI-kortti, PT100 AI -kortti ja AO-kortti. Kuvassa 41 nähdään suunniteltu kokonaisuus. Kuvassa näkyvää päätymoduulia (end module) käytetään viimeistelemään sisäinen tietopiiri. Päätymoduuliksi valittiin Wago 750-600 (kuva 42).



Kuva 41. PLC-järjestelmän rakenne



Kuva 42. Wago 750-600 (Wago, n.d.g).

### 8.3.6 Anturit

Lämpötilojen mittauksiin käytettiin PT100-antureita. Mitattavat lämpötilat olivat stokerikattilan veden ja savukaasujen lämpötilat. Myös ulkolämpötila haluttiin mittauksiin mukaan, vaikka ulkolämpötila ei vaikuttanut ohjelman toimintoihin. PT100-antureina käytettiin asiakkaan omistamia 2-johdinkytkettäviä antureita. Anturi kytkettiin suoraan PT100 AI -kortin porttiin, jolloin erillistä lämpötilalähetintä ei tarvittu. PT100 AI-kortti muuntaa suoraan anturin antaman sähkösignaalin 4 – 20 mA virtaviestiksi.

### 8.3.7 Virtalähde

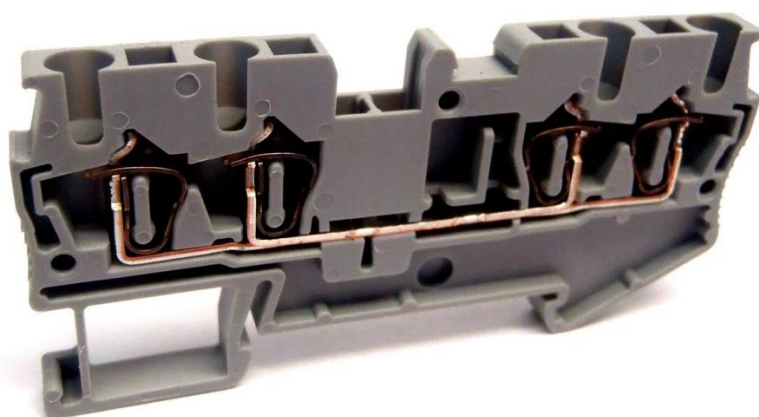
Virtalähteeksi 24 V:n tasajännitepuolelle valittiin Balluff BAE PS-XA-1W-24-100-004 (BAE002) -virtalähde. Virtalähteellä muunnettiin 230 V:n vaihtojännite 24 V:n tasajännitteeksi. Virtalähteen kokoon vaikuttaa siihen kytkettävien laitteiden virrankulutus. Virtalähteen kuormana olivat PLC-järjestelmä, triac-säädin, sekä anturit. Virtalähteen virrankesto oli 10 A, mutta kulutus 24 V:n tasajännitepuolella jäi huomattavasti 10 A:n alapuolelle. Kuvassa 43 esitellään virtalähde. Alhaalla oleviin liittimiin tuodaan 230 V:n syöttöjännite. Ylimmistä liittimistä virtalähde syöttää muunnettua jännitettä 24 V:n tasajännitteellä.



Kuva 43. Balluff BAE002 (Balluff 2009).

### 8.3.8 Riviliittimet

Kytkenäkotelon kytkentöihin käytettäväksi riviliittimiksi valittiin Phoenix Contactin valmistamat ST 2,5-QUATTRO -riviliittimet. Näissä riviliittimissä on neljä liitinpistettä, joten yhteen riviliittimeen saadaan helposti kytkettyä neljä johdinta, jolloin esimerkiksi jännitteenjako on helpompaa. Johtimet kiinnitetään riviliittimeen jousiliitännän avulla, jolloin vältetään johtimien ruuvaamiselta. Kuvassa 44 nähdään valittu riviliitin.



Kuva 44. Phoenix Contact ST 2,5-QUATTRO (LMIAS n.d.).

### 8.3.9 Sulakkeet

Sulakkeilla suojattiin sähköpiirin komponentit. Sulake suojaa komponentteja vikatilanteissa, joita ovat esimerkiksi oikosulku ja ylikuormitus. Työssä käytettävät johdonsuojakatkaisimet ovat myös sulakkeita. Taajuusmuuttaja, triac-säädin, virtalähde, sekä pistorasia suojattiin johdonsuojakatkaisimilla. Sulakkeet olivat ABB S200 -sarjan C-käyrän johdonsuojakatkaisimia. Sulakkeen käyrän valintaan vaikuttaa onko kuorma induktiivista vai resistiivistä, sekä kuinka nopeaa katkaisua tarvitaan. Kuvassa 45 nähdään ABB S200 -sarjan johdonsuojakatkaisija.



Kuva 45. ABB S200 (Allied Electronics & Automation, n.d.).

I/O-yksikön inputit suojattiin sulakkeellisilla riviliittimillä. Osaksi valittiin Phoenix Contact ST 4-HESILED 24 -riviliittimet. Riviliittimet sisälsivät 2 A:n tai 10 A:n lasiputkisulakkeen. 2 A:n sulakkeet soveltuvat hyvin inputtien suojaukseen, koska inputtien sähkövirta on pieni. PLC suojattiin 10 A:n lasiputkisulakkeella. Kuvassa 46 nähdään sulakkeellinen ST 4-HESILED 24 -riviliitin.



Kuva 46. Phoenix Contact ST 4-HESILED 24 (Elektrotools, n.d.).

### 8.3.10 Kyt Kentäkotelo

Kyt Kentäkotelon tarkoituksena oli säilyttää ja kiinnittää stokerikattilan ohjaukseen tarvittavat komponentit. Kyt Kentäkoteloksi valittiin Rittalin valmistama AE 1076.500 -kyt Kentäkotelo. Kotelon mitat olivat 600x760x210 mm. Kotelo on valmistettu teräksestä ja se kiinnitettiin seinäkiinnityksellä. Kuvassa 47 nähdään valittu kyt Kentäkotelo aukaistuna.



Kuva 47. AE 1076.500 (Beyond Smiles Dental n.d.).

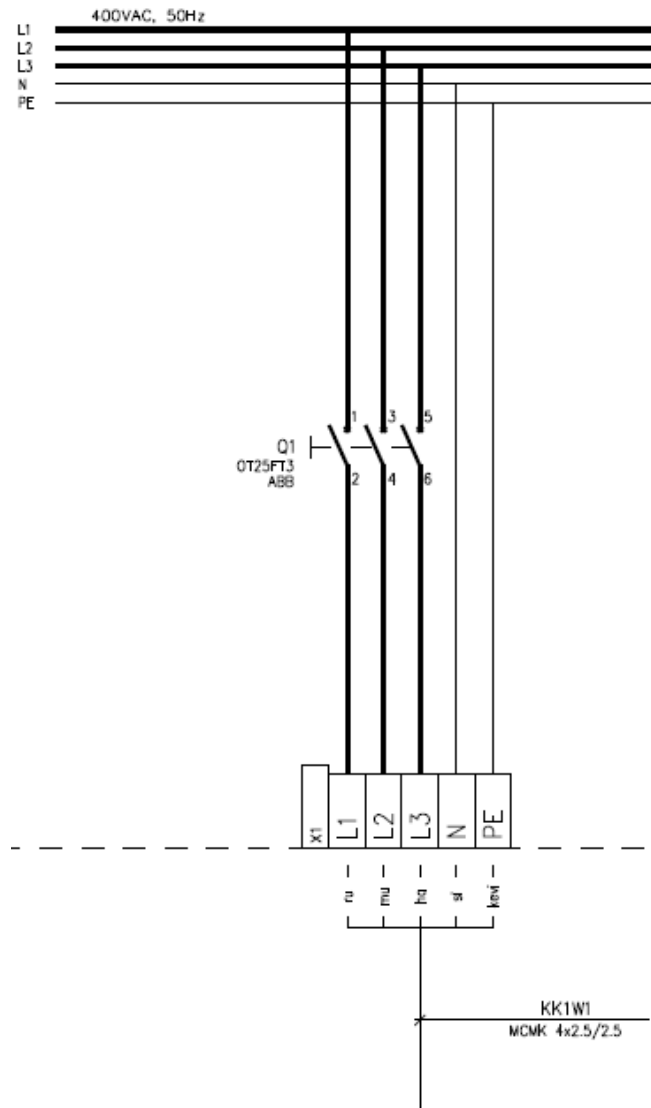
## 8.4 Piirikaaviot

Stokerikattilan ohjaukseen tarvittavat sähköpiirikaaviot suunniteltiin, kun tarvittavat komponentit ja I/O-liitäntöjen lukumäärä stokerikattilan ohjaukseen olivat selvillä. Piirikaavioiden suunnitteluun käytettiin CADS Electric -sähkösuunnitteluohjelmaa. Piirikaavioilla suunniteltiin jännitteenjaot, sekä erilaiset kytkennät eri laitteiden välillä. Piirikaavioiden sivuilla pyrittiin näyttämään yhden komponentin tai komponenttiryhmän kytkennät yhdellä sivulla.

### 8.4.1 Jännitteenjako

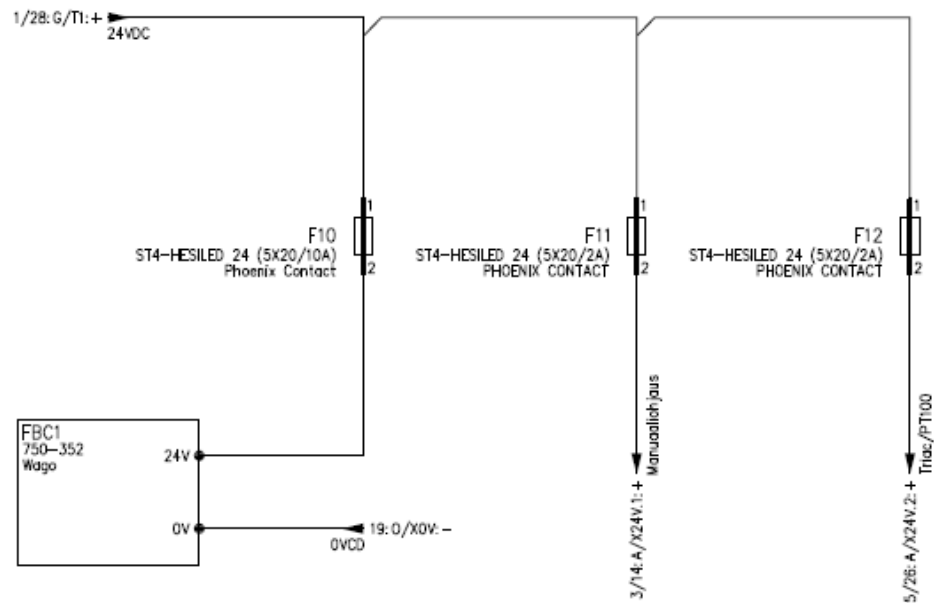
Piirikaavioihin suunniteltu jännitteenjako sisälsi 3-vaiheisen 400 V:n vaihtojännitteen-, sekä 24 V:n tasajännitteenjaon. 3-vaiheinen sähköverkko koostuu vaiheista L1, L2, ja L3. Yhden vaiheen ja nollan välinen jännite on 230 V. 230 V:n jännitettä käytettiin syöttämään sähköä virtalähteelle, pistorasialle, sekä triac-säätimelle. Vaiheeseen L1 kytkettiin virtalähde, vaiheeseen L2 kytkettiin pistorasialle ja vaiheeseen L3 kytkettiin triac-säädin. Näin jokaiselle vaiheelle kytkettiin yksi komponentti, jolloin saatiin jaettu vaiheiden kuormaa. 3-vaiheisen sähköverkon kahden vaiheen välinen jännite on 400 V. 400 V tarvittiin taajuusmuuttajan sähkösyöttöön, jolloin 3-vaiheinen oikosulkumoottori saadaan toimimaan.

Sähköverkkoon kytketyt komponentit suojattiin sulakkeilla. Sulakkeiden koko määriteltiin tarkistamalla sulakkeeseen kytkettävän komponentin kuorma. Sulakkeen koon täytyi olla lähellä komponentin kuormitusta, ettei sulake laukea liian aikaisin tai myöhään. Kuvassa 48 esitellään syöttöjännite, jolla jännitteenjako toteutettiin. Kuvassa näkyvä komponentti Q1 on pääkytkin, jonka tarkoituksena on katkaista kytkentäkotelon sähkönsyöttö.



Kuva 48. Kytkentäkotelon syöttö

Tasajännitteenjako toteutettiin 24 V:n virtalähteellä. Jännite jaettiin PLC-järjestelmälle, ohjauskotelolle ja antureille. Jännitteenjaossa otettiin huomioon, että virtalähteen teho riittää syöttämään sähköä kaikille tarvittaville komponenteille. Laitteet myös suojattiin 2 A:n tai 10 A:n lasiputkisolakkeilla, joilla varmistettiin, etteivät laitteet vahingoitu mahdollisissa oikosulku- tai ylikuormitustilanteissa. Kuvassa 49 esitellään 24 V:n jännitteenjako. F11-sulake suojaa ohjauskotelon kytkimet ja sulake F12 suojaa triac-säätimen ja anturit.



Kuva 49. 24 V:n tasajännitteenjako

#### 8.4.2 Kytkennät

Piirikaavioihin suunnitellut kytkennät tarkistettiin komponenttien datalehdistä. Datalehdistä selvitettiin laitteiden kytkentätapa, virran- ja jännitteenkesto, tehonkulutus, sekä laitteiden fyysinen koko. Datalehdistä saatujen tietojen avulla voitiin varmistaa laitteiden yhteensopivuus, sekä kytkentöjen oikeellisuus.

#### 8.4.3 Johtimet ja kaapelit

Kytchentäkotelon vaihtojännitepuolen sisäisissä johdotuksissa käytettiin ML-johdinta. Johtimen koko määräytyi sulakkeen koosta, sekä kytkettävän komponentin tehosta. 16 A:n sulakkeella suojattavissa komponenteissa, sekä pääkytkimessä käytettiin 2,5 mm<sup>2</sup> paksuisia johtimia. Muissa kytkennöissä käytettiin 1,5 mm<sup>2</sup> paksuisia johtimia. Johtimien värit määriteltiin niiden käyttötavan mukaan. Vaihejohtimet olivat ruskea (L1), musta (L2) ja harmaa (L3). Nollajohdin oli sininen (N) ja maadoitusjohdin keltavihreä (PE). Kuvassa 50 nähdään ML-johdin.





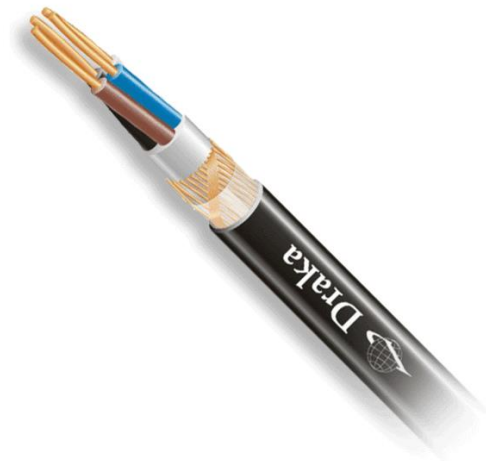
Kuva 50. ML-johdin (Finnparttia n.d.a).

Tasajännitepuolen johtimina käytettiin kuparisia monisäikeisiä MKEM-johtimia. Johtimet olivat  $0,75 \text{ mm}^2$  paksuisia. Johtimien väreinä käytettiin punaista ja sinistä. Punaisia johtimia käytettiin +24 V:n johdotuksissa ja sinisiä johtimia 0 V:n kytkennöissä. MKEM-johdin nähdään kuvassa 51.



Kuva 51. MKEM-johdin (Finnparttia n.d.b).

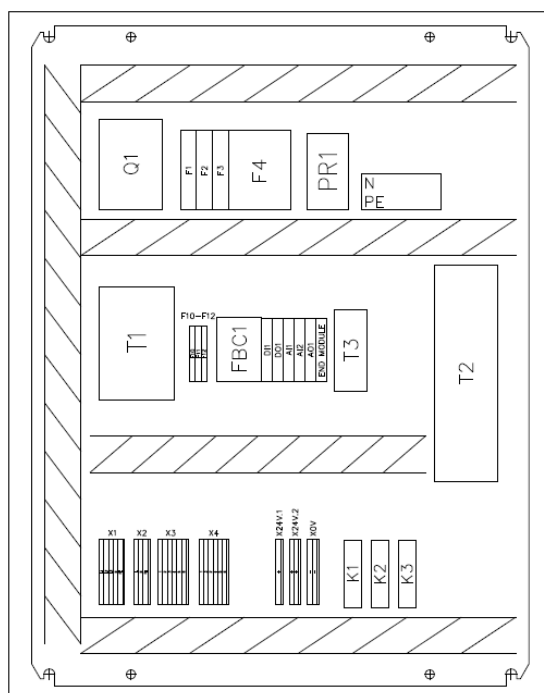
Kaapeleita suunniteltiin piirikaavioissa käytettävän kytkentäkoteloon tulevissa ja lähtevissä kytkennöissä. Kaapelien koko ja kaapelissa olevien johtimien poikkipinta-ala määriteltiin kytkettävien laitteiden tehon mukaan. Kuvassa 52 esitellään kytkentäkotelon syöttökaapeli. Kaapeliksi valittiin Drakan valmistama MCMK 4x2.5/2.5.



Kuva 52. MCMK 4x2.5/2.5 -kaapeli (Finnparttia, n.d.c).

#### 8.4.4 Keskuslayout

Keskuslayout-suunnittelun tarkoituksena oli suunnitella valitulle kytkentäkotelolle pohjakuva. Suunnittelulla voitiin varmistaa, että valitut komponentit mahtuvat valittuun keskukseen. Suunnittelu toteutettiin CADs Electric -sähkösuunnitteluohjelmalla. Keskuslayout-suunnitteluun asetettiin komponentit oikeanlaisella mittakaavalla. Komponenttien mitat saatiin selville komponenttivalmistajien datalehdistä. Suunnitelmassa pyrittiin pitämään sulakkeet, komponentit, sekä riviliittimet omissa ryhmissään tai riveillään. Tällä pyrittiin helpottamaan keskuslayoutin lukua ja komponenttien välisiä johdotuksia. Kuva 53 esittää suunnitellun kytkentäkeskuksen kokoonpanon.



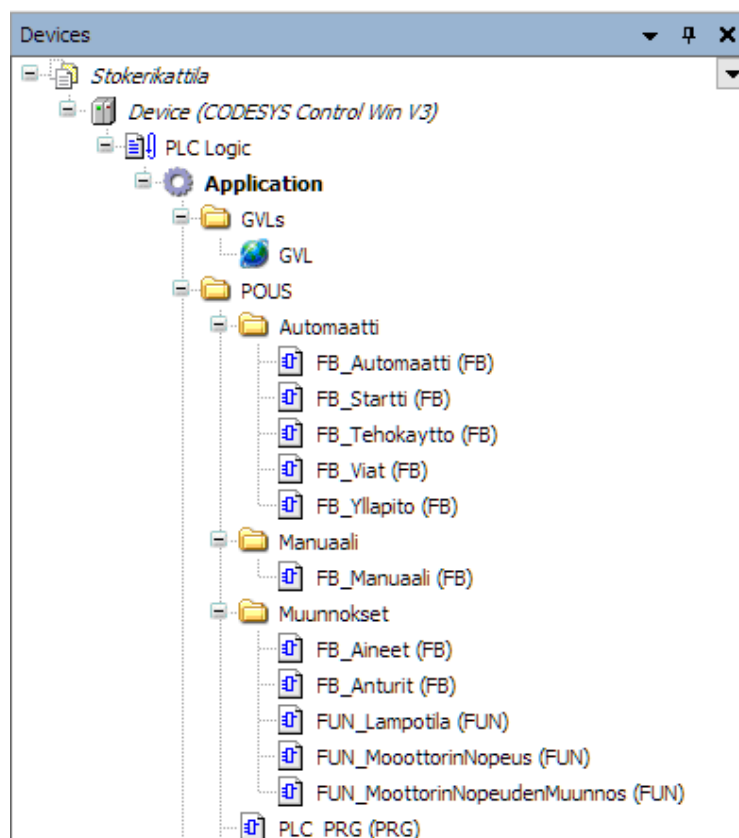
Kuva 53. Keskuslayout

## 8.5 Automaatiosuunnittelu

Automaatiosuunnittelu voitiin aloittaa, kun tarvittavat I/O-portit, sekä suunnitteluun tarvittavat piirikaaviot olivat valmiina. Automaatiosuunnittelussa suunniteltiin ohjelma, jolla stokerikattila saatiin toimimaan toimintaselostuksen mukaisella tavalla. Ohjelma suunniteltiin CODESYS-ohjelmalla. CODESYS on IEC61131-3 standardiin pohjautuva ohjelmointiympäristö. CODESYS-ohjelman käyttöön päädyttiin, koska se on yhteensopiva Wagon PLC-järjestelmän kanssa. Ohjelma toteutettiin käyttäen FBD-ohjelmointikieltä asiakkaan toiveesta.

### 8.5.1 Rakenne

Ohjelma koostuu erilaisista function blockeista (FB) ja function blockeihin rinnastettavista functioista (FUN). FB:n ja functionin suurimpana erona on muistin käyttö. FB soveltuu ohjelmalliseen työhön, joita ovat esimerkiksi moottorien ja valaisimien ohjaukset. FB:n outputin tila voi vaihdella riippuen inputtien tiloista. Function output on aina sama samoilla inputeilla. Functio soveltuu siis laskutoimituksiin ja FB ohjaustoimintoihin. Kuvassa 54 esitellään stokerikattilan ohjelmistossa käytettävät osiot.



Kuva 54. Ohjelmiston rakenne

## 8.5.2 IO-listat

Ohjelmaan määritetyillä IO-listoilla mahdollistetaan ohjelmiston I/O-porttien käyttö PLC:n fyysisissä I/O-korteissa. GVL-listaan (Global Variable List) määritellään I/O:t, joita tarvitaan PLC:n I/O-yksikön ohjauksiin, jolloin PLC voi ohjata ulkopuolisia laitteita. GVL-listassa olevat I/O:t pystytään siis yhdistämään I/O-yksikön I/O-portteihin. GVL-listassa olevat muuttujat ovat myös koko ohjelmiston yhteisessä käytössä. Kuvassa 55 esitellään ohjelmistossa käytettävä GVL-lista.

```

VAR_GLOBAL
  // M1 = Syöttöruuvin moottori
  // M2 = Puhaltimen moottori

  // OHJAUSKOTELO
  I_bAutomaatti           : BOOL; // DI 1.1   Automaattitila
  I_rManuaali            : BOOL; // DI 1.2   Manuaalitila
  I_rM1Eteen             : BOOL; // DI 1.3   Moottorin 1 suunta eteenpäin
  I_rM1Taakse            : BOOL; // DI 1.4   Moottorin 1 suunta taaksepäin
  I_rM2Start             : BOOL; // DI 1.5   Moottorin 2 manuaalikäynnisty, 0 = stop, 1 = start

  // TAAJUUSMUUTTAJA
  I_rM1Kay               : BOOL; // DI 1.6   Moottorin 1 käyntitieto
  I_rM1Vika              : BOOL; // DI 1.7   Moottorin 1 vikatieto
  O_rM1Start             : BOOL; // DO 1.1   Moottorin 1 käynnisty, 0 = stop, 1 = start
  O_rM1Suunta            : BOOL; // DO 1.2   Moottorin 1 suunta, 0 = eteen, 1 = taakse
  I_iM1Nopeustieto       : INT; // AI 1.1   Moottorin 1 nopeustieto
  O_iM1Nopeus            : INT; // AO 1.1   Moottorin 1 nopeuden säätö

  // TRIAC-SÄÄDIN
  O_rM2Start             : BOOL; // DO 1.5   Moottorin 2 käynnisty, 0 = stop, 1 = start
  O_iM2Nopeus            : INT; // AO 1.2   Moottorin 2 nopeuden säätö

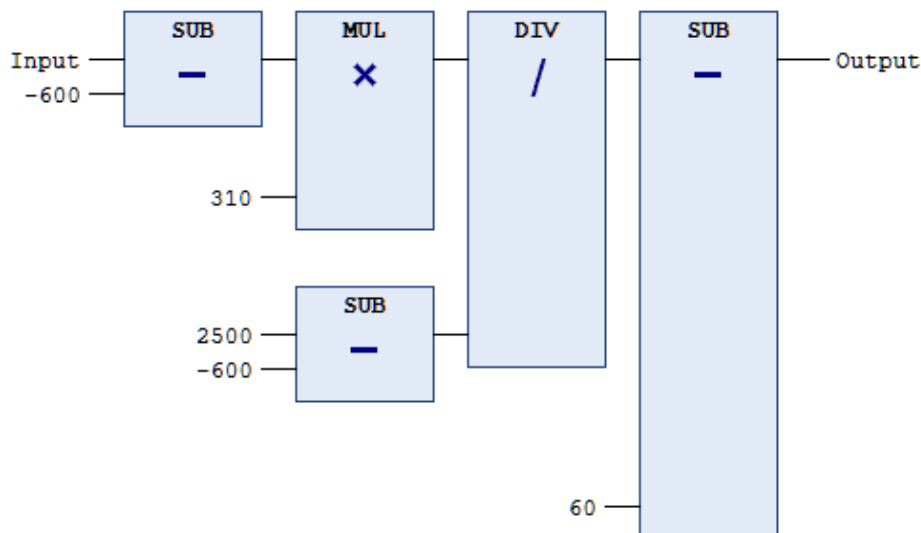
  // Anturit (PT100)
  I_iTT100               : INT; // AO 2.1   Vedenlämpötila (stokerikattila)
  I_iTT101               : INT; // AO 2.2   Savukaasujen lämpötila (stokerikattila)
  I_iTT102               : INT; // AO 2.3   Ulkolämpötila (ulkotila)
END_VAR

```

Kuva 55. Global Variable List

## 8.5.3 Functiot

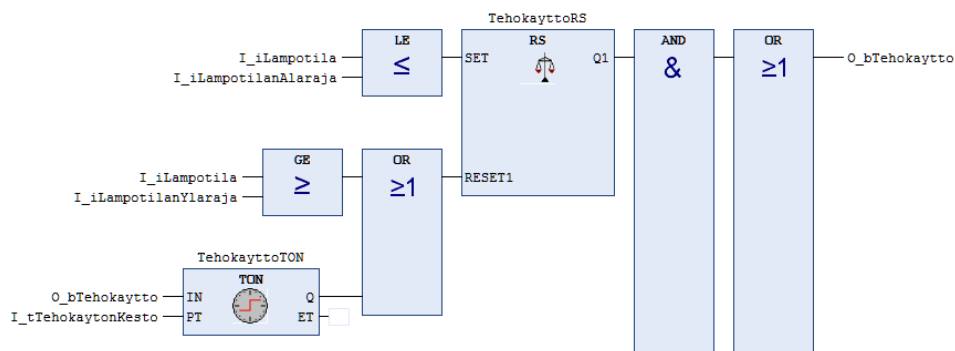
Functioiden tarkoitus oli muuntaa PLC-järjestelmän AI-portteihin tulevien 4 – 20 mA virtaviestien arvot helpommiksi luettaviksi. Functioilla myös muunnettiin ohjelmiston sisällä määritettyjä arvoja yhteensopiviksi AO-porttien syöttämille 4 - 20 mA virtaviesteille. Wagon AI-kortteihin tuleva virtaviesti muuntuu integer-luvuiksi. AI-kortilla luku alue on 0 – 32767 ja PT100 AI -kortilla -600 – 2500. Oikeanlaisilla laskutoimituksilla saatiin muunnettua luettavat integer-luvut vastaamaan celsiusasteita ja syöttöruuvin moottorin kierrosnopeutta. Functioita käytettiin myös muuntaamaan ohjelmassa määritetyt prosentuaaliset moottorin tehoarvot vastaamaan virtaviestiä, joilla voitiin ohjata syöttöruuvin ja puhaltimen moottorien kierrosnopeuksia. Kuvassa 56 esitellään lämpötila-anturien antaman integer-luvun muunnos celsiusasteeksi.



Kuva 56. Virtaviestin muunnos celsiusasteeksi

#### 8.5.4 Function Blockit

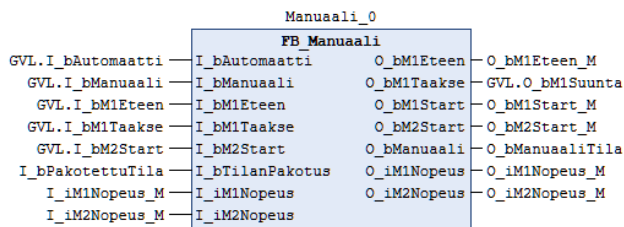
FB:lla rakennettiin ohjelman hallinta. Jokaiselle ohjelman toiminnolle suunniteltiin oma FB. Automaatti- ja manuaaliajo, startti-, teho-, ylläpito- ja vikatilat tarvitsivat oman FB:n. FB:t suunniteltiin myös polttoaineen valintaan ja antureille. FB:ta ohjattiin erilaisilla inputeilla, joilla määriteltiin FB:n outputtien tilat. FB sisälsi inputtien, outputtien ja loogisten operaattorien lisäksi myös ajastimia, triggereitä ja ns. RS-kiikkuja. Loogisia operaattoreita olivat mm. AND- ja OR-portit. Ajastimilla saatiin viiveitä tarvittaviin stokerikattilan toimintoihin, kuten ylläpidon sykleihin. Triggereillä ohjattiin RS-kiikkujen toimintaa lukemalla palautuvan painonapin ohjaussignaalin nousevaa reuna. FB:ssa käytettiin myös vertailulohkoja, joilla saatiin luotua rajat lämpötiloille, jotka määrittivät stokerikattilan tilojen toiminnat. Kuvassa 57 esitellään ehtoja, jotka asettavat stokerikattilan tilan tehokäyttöön. Kuvassa on esitelty lämpötilan rajat, jolloin tehokäyttö käynnistyy ja sammuu. Mukana on myös ajastin, joka määrittää kuinka kauan tehokäyttö voi kestää.



Kuva 57. Tehokäytön ehtoja

### 8.5.5 Program

Ohjelmassa olevan program-osion tarkoitus oli saada FB:t toimimaan yhdessä. Programilla kutsutaan ja määritellään FB:t, jolloin ne saadaan ohjelmiston käyttöön. Tällä osiolla mahdollistetaan PLC:n I/O-yksikön outputtien ohjaus, sekä käyttöliittymän visualisointi. Kuvassa 58 esitellään manuaaliohjaukseen rakennetun FB:n kutsu program-osiossa.



Kuva 58. Manuaaliohjauksen FB

### 8.6 Visualisointi

Visualisoinnilla luotiin käyttöliittymä ohjelmalle. Käyttöliittymällä voitiin ohjata stokerikattilan toimintoja, sekä asettaa halutut muuttujien arvot. Näillä asetuilla arvoilla voitiin ohjata stokerikattilan toimintoja. Käyttöliittymästä pyrittiin luomaan yksinkertainen, jolla on helppo kontrolloida ja säätää ohjelmistossa käytettäviä muuttujien arvoja.

Jokainen stokerikattilan ohjelmistossa käytettävä tila rakennettiin omalle välilehdelle. Tällä pyrittiin helpottamaan ohjelmiston ohjausta. Käyttöliittymässä näytettiin myös graafisesti stokerikattilan tilat merkkivaloilla. Moottorien nopeudet ja anturien antamat lämpötila-arvot näytettiin lukuarvoina. Kuvassa 59 esitellään käyttöliittymän etusivun näkymää, kun stokerikattilan tilana on tehokäyttö.



Kuva 59. Käyttöliittymän etusivu

## 8.7 Simulointi

Simuloinnilla mahdollistettiin ohjelman testaus. Simuloinnilla pyrittiin testaamaan ohjelman toiminallisuus, sekä etsiä mahdolliset virheet ohjelmistosta. Simuloinnilla pyrittiin simuloimaan mahdollisimman tarkasti stokerikattilan toimintaa käytännön tilanteissa. Simuloinnin avulla pyrittiin myös luomaan käyttöliittymästä mahdollisimman käyttäjäystävällinen.

## 9 YHTEENVETO

Tämän työn päätarkoituksena oli toteuttaa stokerikattilan automatisointiin mahdollistava suunnitelma, jolla asiakkaalta onnistuu kiinteistön lämmitys. Suunnittelua laadittaessa stokerikattilan ohjausjärjestelmästä ja sen toteutustavasta pyrittiin tekemään asiakkaalle mieluisa. Järjestelmästä haluttiin erityisesti helposti käytettävä ja mahdollisuus monen erilaisen kiinteän polttoaineen polttoon. Suunnitelmaa luodessa myös mahdollinen järjestelmän laajennettavuus pyrittiin ottamaan huomioon.

Suunnitelman toteutus onnistui pääosin hyvin. Ohjelmistoon saatiin mahdollisuus valita itsenäisesti kaikki mahdolliset arvot, jotka vaikuttavat stokerikattilan toimintaan. Ohjelmistoon asetettiin aluksi kolme erilaista polttoainetyyppiä, mutta lokeroidun ohjelmistokoodin ansiosta erilaisten polttoainetyyppien lisäys on helppoa. Ohjelmiston käyttöliittymäkin saatiin käyttäjäystävälliseksi lisättyjen välilehtien avulla, jolloin stokerikattilan ohjaukseen valittavat arvot ovat helppo muuttaa mieluisakseen. Myös asiakkaan stokerikattilan ohjaukseen toteutettu ohjauskotelo pystyttiin lisäämään ohjelmaan ilman ongelmia. Suunnitelmaa laadittaessa asiakkaan toiveet vaikuttivat itse ohjelmiston toiminnan lisäksi myös komponenttien valintaan.

Tätä työtä laadittaessa erilaiset lämmityskattilat, niissä käytettävät polttoaineet, sekä PLC-järjestelmien toimintaperiaatteet tulivat tutuiksi. Suunnittelussa automaatiojärjestelmän toteutukseen tarvittavien vaatimusten tunteminen edistyi paljon. Erityisesti ohjelman toimintakuntoon saaminen ja sen tuomat haasteet tulivat tutuiksi. Suunnittelun avulla oppi hahmottamaan automaatiojärjestelmien kokonaisuuksia paremmin. Myös suunnittelun vaiheet ja sen tuomat haasteet opittiin tuntemaan paremmin.

Suunnitelman toteutuksen apuna käytettiin opintojen aikana saamaa tietoa ja opetusta. Tiedosta ja opetuksesta oli erittäin paljon apua suunnitelmaa laadittaessa. Pelkästään opintojen aikana saatujen oppien avulla, pystyttiin suunnittelemaan tätä opinnäytetyötä. Paremman suunnittelun edellytyksenä olisi kuitenkin ollut hyvä tutustua valittuihin komponentteihin ja itse stokerikattilaan fyysisesti. Näin kokonaisuudesta olisi saatu vieläkin enemmän irti ja suunnittelua olisi ollut helpompi hahmottaa.

Jatkokehityksenä tähän stokerikattilan automatisointijärjestelmään jäivät polttimen automaattinen sytyttäminen ja polttimen liekin valvonta, sekä stokerikattilan langaton ohjaus. Polttimen automaattiseen sytyttämiseen on olemassa erilaisia ratkaisutapoja. Polttimon liekin valvontaan voitaisiin käyttää kameraa ja/tai lämpötila-anturia. Langaton järjestelmän ohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi Wagon langattomalla ethernet-lähettimellä, joka on suoraan yhteensopiva tämän PLC-järjestelmän kanssa. Tähän suunniteltuun järjestelmään jätettiin varauksia laajennuksille, jolloin koko PLC-järjestelmän tai kytkentäkotelon kokoonpanoa ei tarvitse muuttaa. Jatkokehityksen kohteena voidaan pitää myös tämän suunnitellun perusteellista testausta oikeanlaisissa ympäristöissä.



## LÄHTEET

- Aaltoarina. (n.d.a). Yläpalokattila. Haettu 4.10.2019 osoitteesta [http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/JASPI%20KATTILA%20ARINAT/YLAPALO\\_KATTILA\\_kesto.pdf](http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/JASPI%20KATTILA%20ARINAT/YLAPALO_KATTILA_kesto.pdf)
- Aaltoarina. (n.d.b). Alapalokattila. Haettu 4.10.2019 osoitteesta [http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/ARIMAXARINAT/ALAPALO\\_KATTILAN\\_arina\\_kotisivu.pdf](http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/ARIMAXARINAT/ALAPALO_KATTILAN_arina_kotisivu.pdf)
- ABB. (2007). ACS350. Haettu 22.10.2019 osoitteesta [https://library.e.abb.com/public/8d8032fe1a2937f5c1257348002504b0/FI\\_ACS350\\_UM\\_D\\_screenres.pdf](https://library.e.abb.com/public/8d8032fe1a2937f5c1257348002504b0/FI_ACS350_UM_D_screenres.pdf)
- Ala-Talkkari (2014). Lämpöä uusiutuvasta energiasta. s. 4. Haettu 8.10.2019 osoitteesta [https://ala-talkkari.fi/wp-content/uploads/2014/11/yhtesite\\_plFIN51.pdf](https://ala-talkkari.fi/wp-content/uploads/2014/11/yhtesite_plFIN51.pdf)
- Ala-Talkkari (n.d.). Veto BK kaksoispesäkattila. Haettu 6.10.2019 osoitteesta [https://ala-talkkari.fi/wp-content/uploads/2014/11/yhtesite\\_plFIN51.pdf](https://ala-talkkari.fi/wp-content/uploads/2014/11/yhtesite_plFIN51.pdf)
- Alibaba (n.d.). GPT -WZPK Industrial Oven pt100 Temperature Sensor. Haettu 19.10.2019 osoitteesta [https://www.alibaba.com/product-detail/GPT-WZPK-Industrial-Oven-pt100-Temperature\\_60570047726.html](https://www.alibaba.com/product-detail/GPT-WZPK-Industrial-Oven-pt100-Temperature_60570047726.html)
- Allied Electronics & Automation. (n.d.). ABB S201-K5. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.alliedelec.com/product/abb/s201-k5/70094341/>
- Automation Forum. (2018). Configuration of Allen Bradley SLC 500. Haettu 17.10.2019 osoitteesta <https://automationforum.in/t/how-to-configure-and-connect-online-a-allen-bradley-plc-slc500/5352>
- Balluff. (2009.). BAE PS-XA-1W-24-100-004. Haettu 22.10.2019 osoitteesta [http://www.murri.fi/documents/balluff/BAE/BAEPS\\_XA\\_1W\\_24\\_100\\_004\\_en.pdf](http://www.murri.fi/documents/balluff/BAE/BAEPS_XA_1W_24_100_004_en.pdf)
- Beyond Smiles Dental. (n.d.). Rittal Kompakt-Schaltschrank AE 1076.500. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <http://www.beyondsmilesdental.com.au/Rittal-KompaktSchaltschrank-AE-1076500-DIY-&Tools-Circuit-Breaker-Panels-51135/>
- Bioenergianeuvoja (n.d.a). Hake polttoaineena. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/hake-polttoaineena/>

Bioenergianeuvoja (n.d.b). Laatu. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/>

Bioenergianeuvoja (n.d.c). Hake. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/hake/>

Bioenergianeuvoja (n.d.d). Pelletti. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>

Bioenergianeuvoja (n.d.e). Käyttö. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/turve/kaytto/>

Bioenergianeuvoja (n.d.f). Valmistus. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/polttopuun-valmistus/>

Bioenergianeuvoja (n.d.g). Laatu. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/laatu/>

Bioenergianeuvoja (n.d.h). Lämmitysteho. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/lampoarvo/>

Bolton, W. (2003). *Programmable Logic Controllers*. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Newnes.

Cowie, C. (2005). PWM VFD Diagram. Haettu 14.10.2019 osoitteesta [https://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:PWM\\_VFD\\_Diagram.png](https://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:PWM_VFD_Diagram.png)

Electromen. (n.d.). EM-162. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://electromen.com/fi/tuotteet/item/power-controllers/230vac/EM-162>

Electrotools. (n.d.). Fuse terminal block G-fuse 5x20 mm. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <http://en.elektrotools.de/Product/Fuse-terminal-block-G-fuse-5x20-mm-Swivelling-LED-3036547>

Eneka. (n.d.). Yhdistelmäkattila. Haettu 6.10.2019 osoitteesta <https://www.eneka.info/tuotteet/yhdistelmaka/>

Energiatehokas koti (2017). Puulämmitys. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan-suunnittelu/lammitys/puulammitys>

Epic Sensors (n.d.). Miten toimii Pt100-anturi. Haettu 20.10.2019 osoitteesta <https://www.epicsensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>

Farmit. (2007). Palaturve. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <https://www.farmit.net/energia/2007/06/15/palaturve-karkottaa-hyttysset>

Finnparttia. (n.d.a). ML 1,5 MU. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.finnparttia.fi/ML-15-MU>

Finnparttia. (n.d.b). MKEM 16 MU. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.finnparttia.fi/MKEM-16-MU>

Finnparttia. (n.d.c). MCMK 4x2,5+2,5. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.finnparttia.fi/MCMK-4x2525>

Kinnunen, E. (2013a). Käänteispalokattila. Haettu 6.10.2019 osoitteesta [https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen\\_28112013.pdf](https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen_28112013.pdf)

Kinnunen, E. (2013b). Hakekattila stokerijärjestelmällä. Haettu 8.10.2019 osoitteesta [https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen\\_28112013.pdf](https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen_28112013.pdf)

Koskinen, M. (2002). *Analogiasuunnittelu*. Helsinki: Sanoma Magazines.

LMIAS. (n.d.). Phoenix Contact Typ ST 2,5 Quattro. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://lmias.com/products/phoenix-contact-typ-st-2-5-quattro-4-circuit-gray-terminal-blocks-600v-2-5mm>

Mathworks (n.d.). Pulse Generator (Thyristor). Haettu 15.10.2019 osoitteesta <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/power-sys/ref/pulsegeneratorthyristor.html>

Motion Control Tips. (2018). IEC 61131-3 PLC programming languages. Haettu 17.10.2019 osoitteesta <https://www.motioncontroltips.com/iec-61131-3-plcopen/>

Motiva (2019). Hake-, pilke- ja halkokattilat. Haettu 2.10.2019 osoitteesta [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/hake-pilke-ja-halkokattilat](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/hake-pilke-ja-halkokattilat)

Motiva (2016). Keskuslämmityskattilat. Haettu 2.10.2019 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puulammitys\\_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/puulammitys_kiinteistoissa/keskuslammityskattilat)

Mäkelä, O. (1995). Etupesäkattila. Haettu 7.10.2019 osoitteesta [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443348/vtie-dote71\\_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443348/vtie-dote71_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mäkelä, O. (1995). Klapi kattiloiden käyttöominaisuudet. *Maatalouden tutkimuskeskus* 71/95. Saatavilla osoitteesta [https://ju-kuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443348/vtiedote71\\_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ju-kuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443348/vtiedote71_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mäkkylän perunatila. (n.d.). Polttopuut. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <https://makkylanperunatila.fi/polttopuut/>

Niiranen, J. (1999). *Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus*. Helsinki: Otatieto.

PSEK (n.d.). PT100-anturi 2-johdin -45 – 180 °C. Haettu 19.10.2019 osoitteesta [https://www.psek.fi/pt100-anturi-2-johdin--45---180c\\_0](https://www.psek.fi/pt100-anturi-2-johdin--45---180c_0)

Puhakka, A., Alanen, V., Kokkonen, A., Nalkki, J., Rousku, P. (2003). Perustietoa pellettilämmityksestä. *Pellettilämmitysopas*. Kuopio: Suomen Graafiset Palvelut Oy. Haettu 11.10.2019 osoitteesta [https://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas\\_Perustietoa\\_pellettilammityksesta.pdf](https://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas_Perustietoa_pellettilammityksesta.pdf)

Ravantti, A. (2014). Tasasuuntaaja. Haettu 15.10.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/23262203-Ari-ravantti-taajuusmuuttajat-abb-group-november-26-2014-slide-1.html>

Schweber, B. (2014). TRIAC-based dimming. Haettu 21.10.2019 osoitteesta <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/jul/ics-answer-the-challenge-of-dimming-led-lamps-in-triac-driven-circuits>

Sirkkala. (2017). Puupelletti. Haettu 9.10.2019 osoitteesta <http://omitui-nenprojekti.blogspot.com/2017/01/puupelletti-kuivikkeena.html>

Suomela (n.d.). Puulämmitys ja puukattilan valinta. Haettu 5.10.2019 osoitteesta <https://www.suomela.fi/puulammitys-ja-puukattilan-valinta-67864/>

Sähkönet (n.d.). Taajuusmuuttajat. Haettu 13.10.2019 osoitteesta <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>

Sähkönumerot. (n.d.). 2709991. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.sahkonumerot.fi/2709991>

Säätö (n.d.). Lämpötilan mittaus. Haettu 19.10.2019 osoitteesta <https://saato.fi/tekniset-artikkelit/lampotilan-mittaus/>

Turveinfo (n.d.). Palaturpeen tuotanto. Haettu 12.10.2019 osoitteesta <http://turveinfo.fi/turve/turvetuotanto/tuotantomenetelmat/palaturpeen-tuotanto/>

Wago. (n.d.a). 750-430. Haettu 23.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/i-o-jaerjestelmaet/8-kanavainen-digitaalitulo/p/750-430>

Wago. (n.d.b). 750-530. Haettu 23.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/i-o-jaerjestelmaet/8-kanavainen-digitaalilaeh-toe/p/750-530>

Wago. (n.d.c). 750-466. Haettu 23.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/global/i-o-systems/2-channel-analog-input/p/750-466>

Wago. (n.d.d). 750-460. Haettu 24.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/global/i-o-systems/4-channel-analog-input/p/750-460>

Wago. (n.d.e). 750-555. Haettu 24.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/i-o-jaerjestelmaet/4-kanavainen-analogialaeh-toe/p/750-555>

Wago. (n.d.f). 750-352. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/i-o-jaerjestelmaet/kenttaevaeylaekopleri-et-hernet/p/750-352>

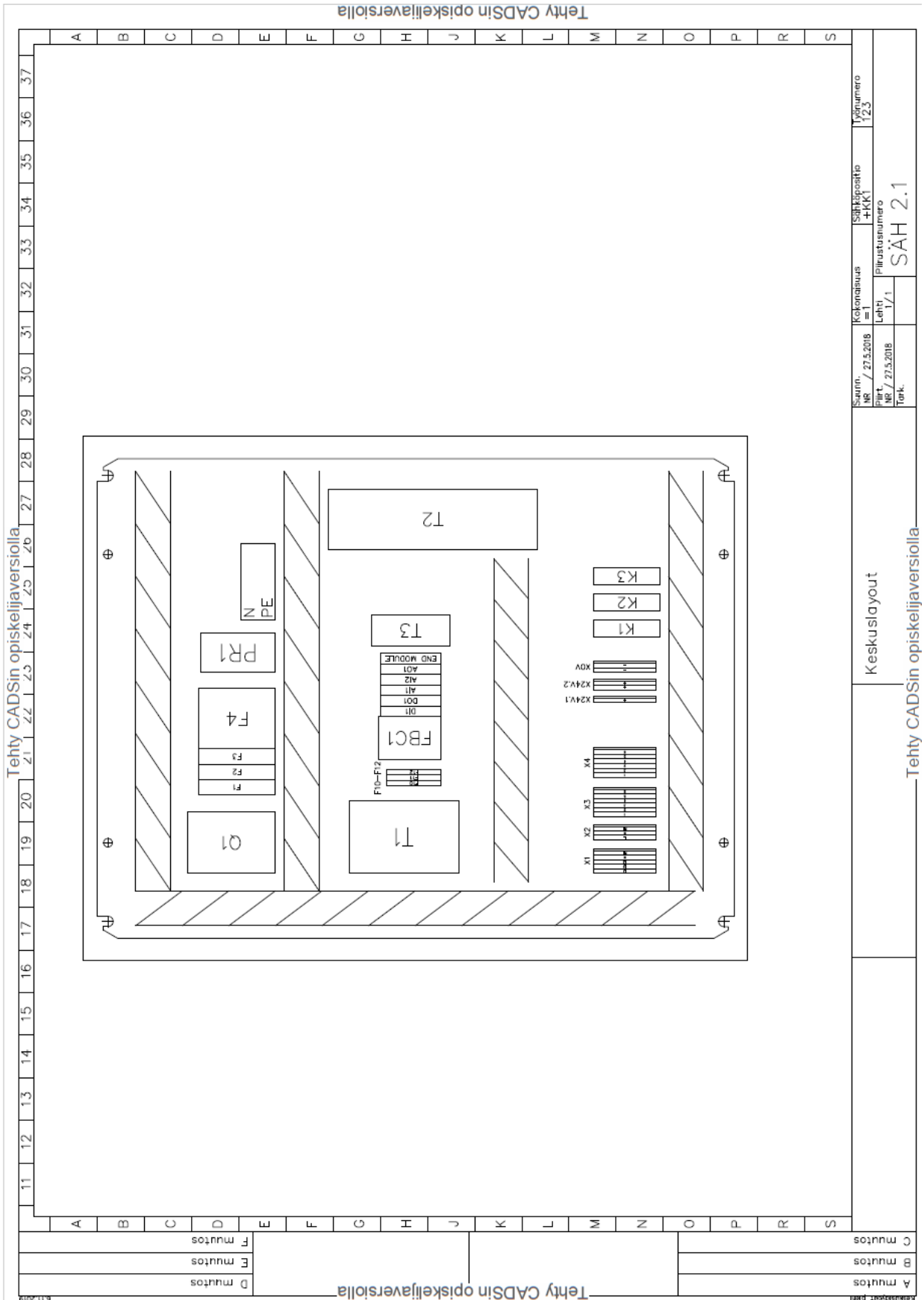
Wago. (n.d.g). 750-600. Haettu 22.10.2019 osoitteesta <https://www.wago.com/fi/i-o-jaerjestelmaet/paeaetymoduuli/p/750-600>

Valokas (n.d.). Triac. Haettu 20.10.2019 osoitteesta <https://valokas.fi/triac/>

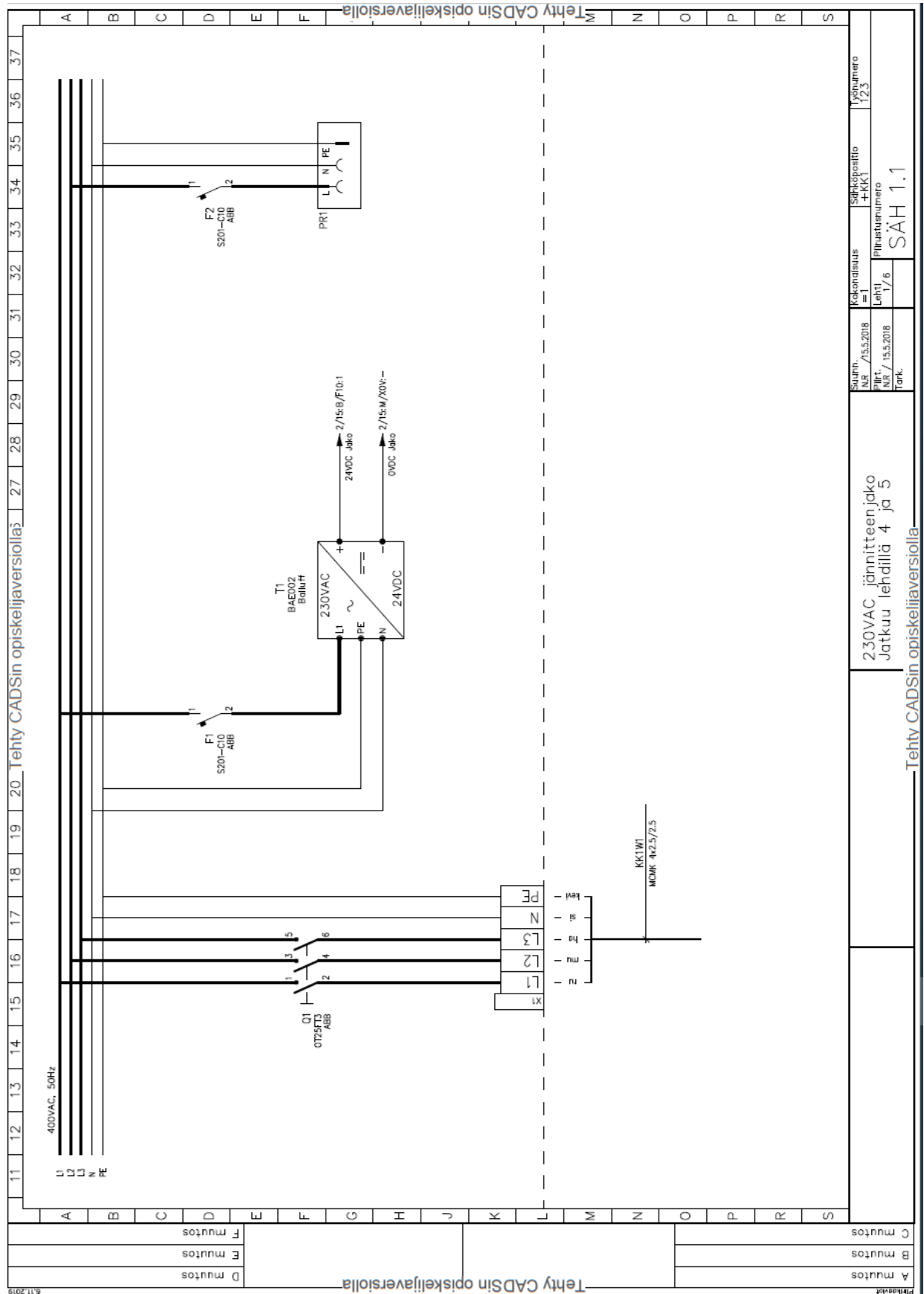
Vapo. (2017). Haketta. Haettu 10.10.2019 osoitteesta <https://www.vapo.fi/referenssit/suur-savon-sahko/haketta/>

Wikipedia (n.d.). Triakki. Haettu 20.10.2019 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Triakki>

Keskuslayout



230 VAC jännitteenjako

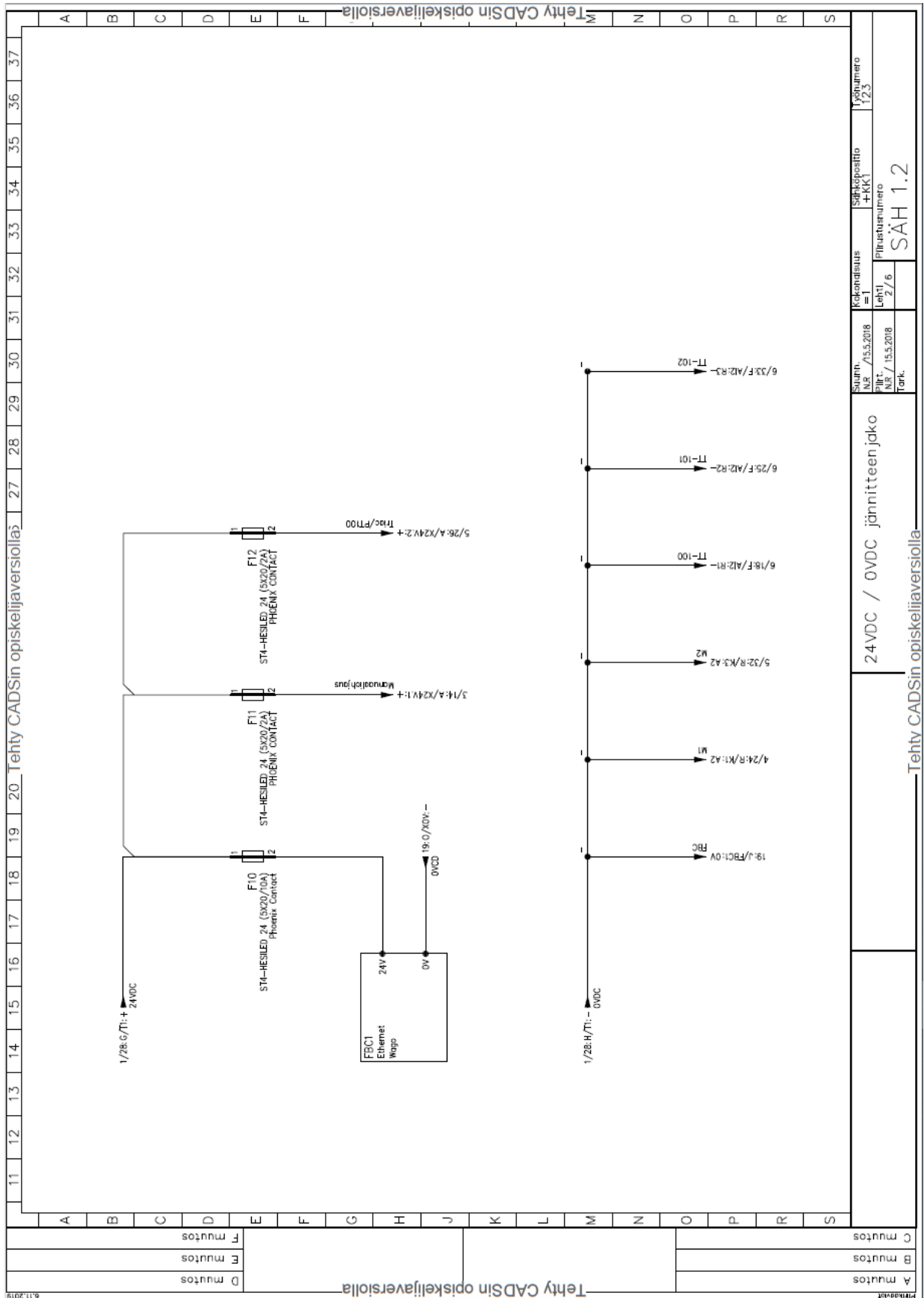


Tehty CADSin opiskelijaversiolla

Tehty CADSin opiskelijaversiolla

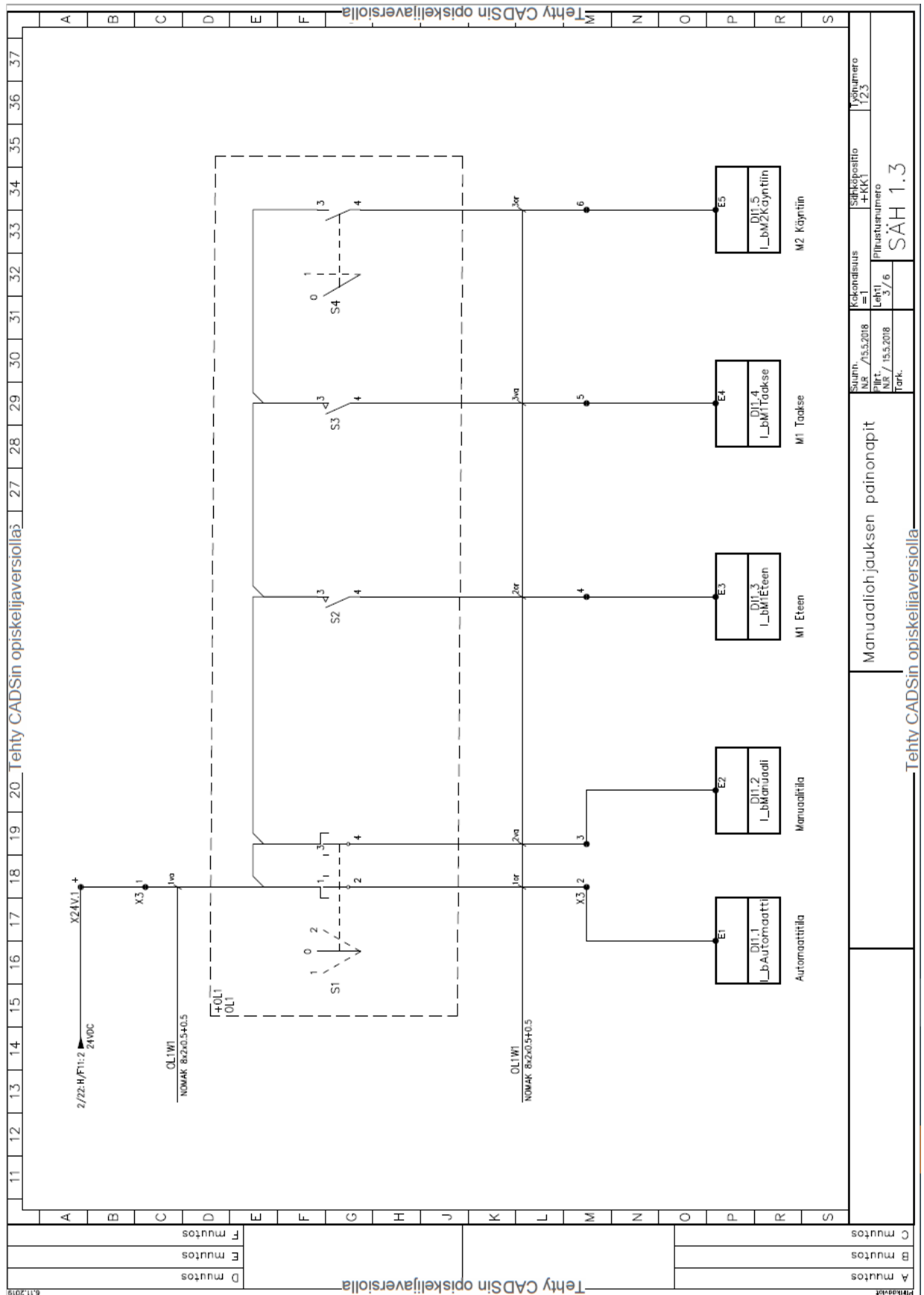
A muutokset	230VAC jännitteenjako		Siirtäjä	1/23
B muutokset	Jatkuu lehdillä 4 ja 5		Projekti	SAH 1.1
C muutokset	Tehty CADSin opiskelijaversiolla		Lehti	1/6
			Tark.	
			Siirtäjä	1/23

24 VDC / 0 VDC jännitteenjako





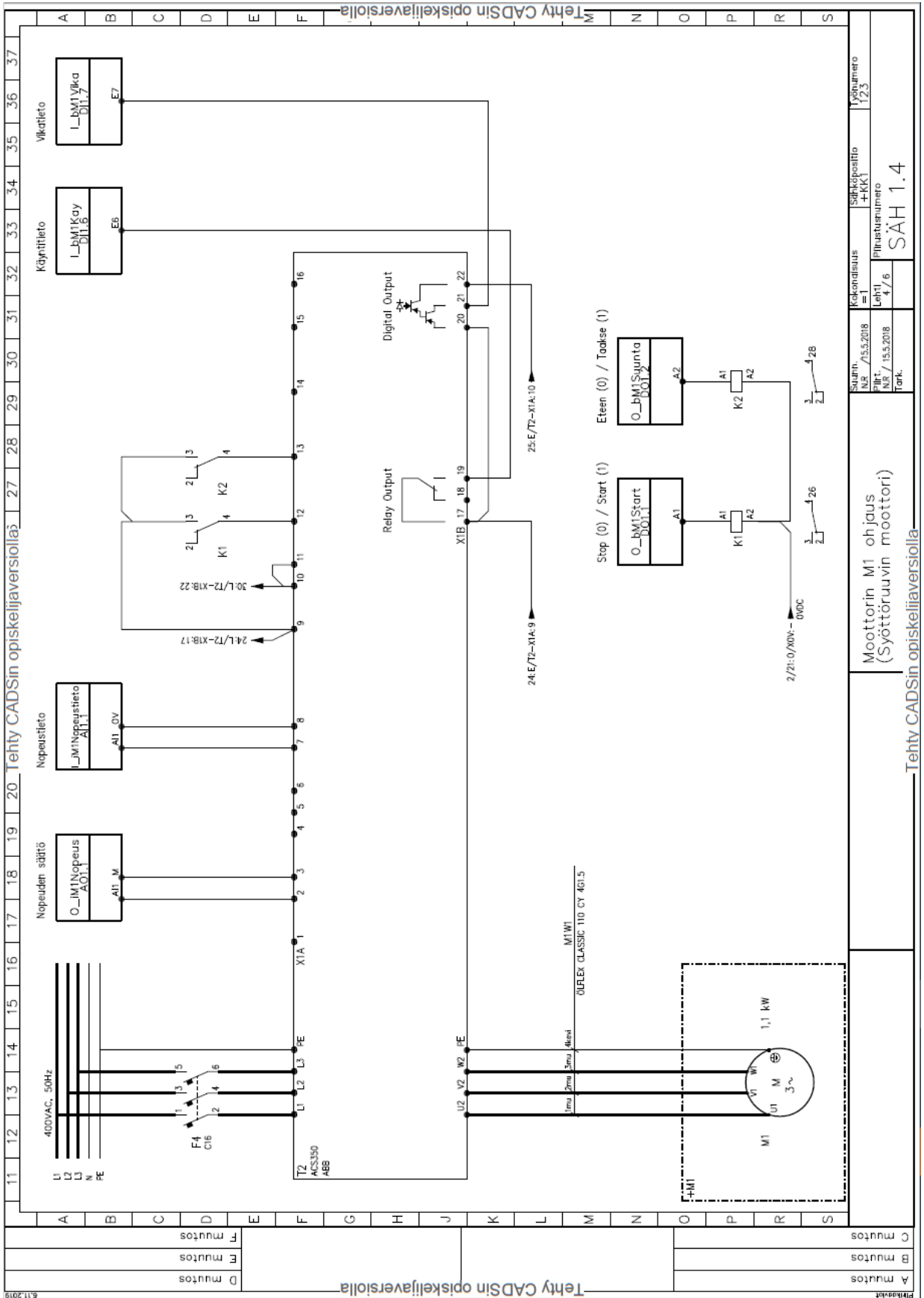
Manuaaliohjauksen painonapit



Tehty CADSin opiskelijaversiolla

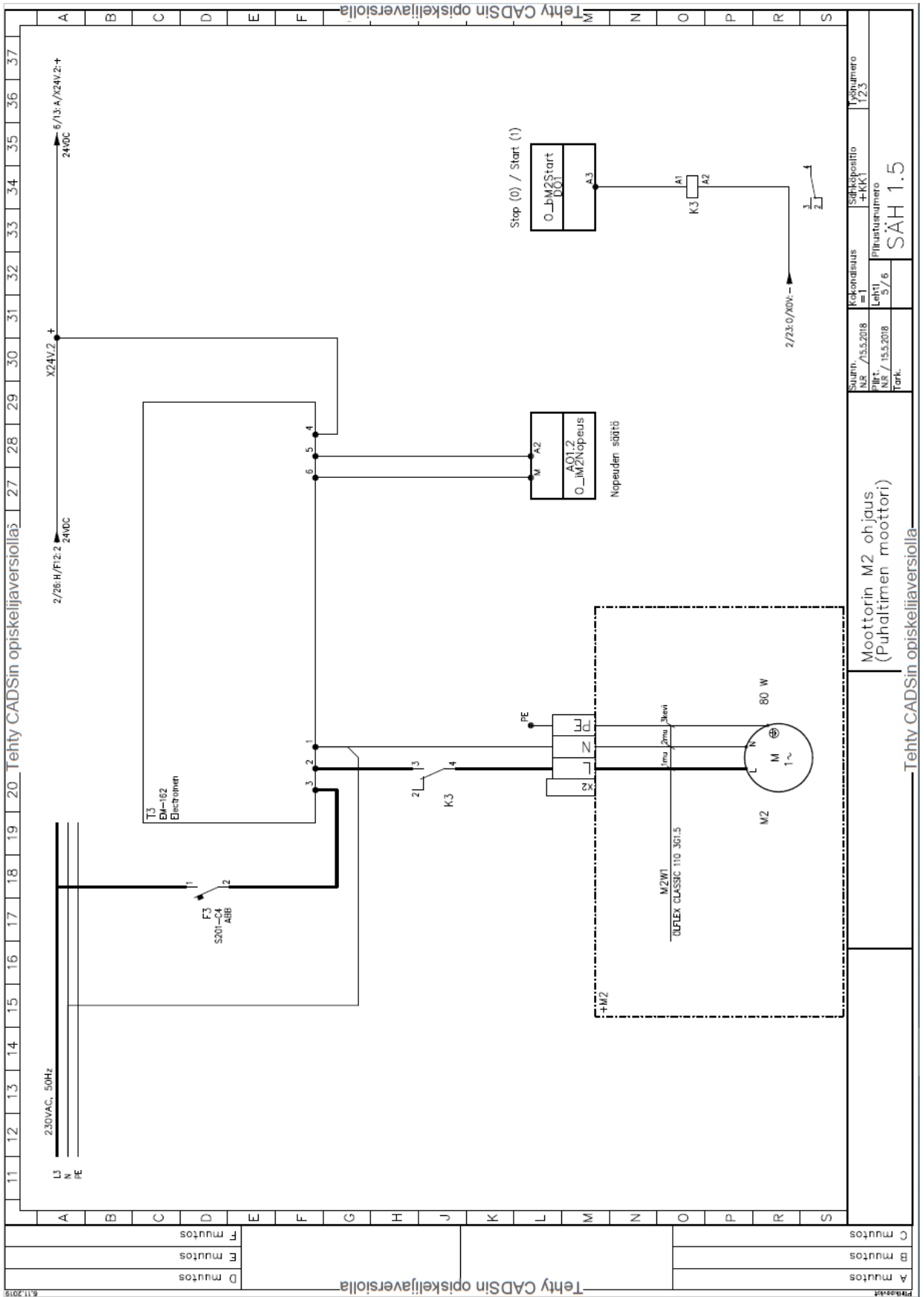
Tehty CADSin opiskelijaversiolla

Moottorin M1 ohjaus



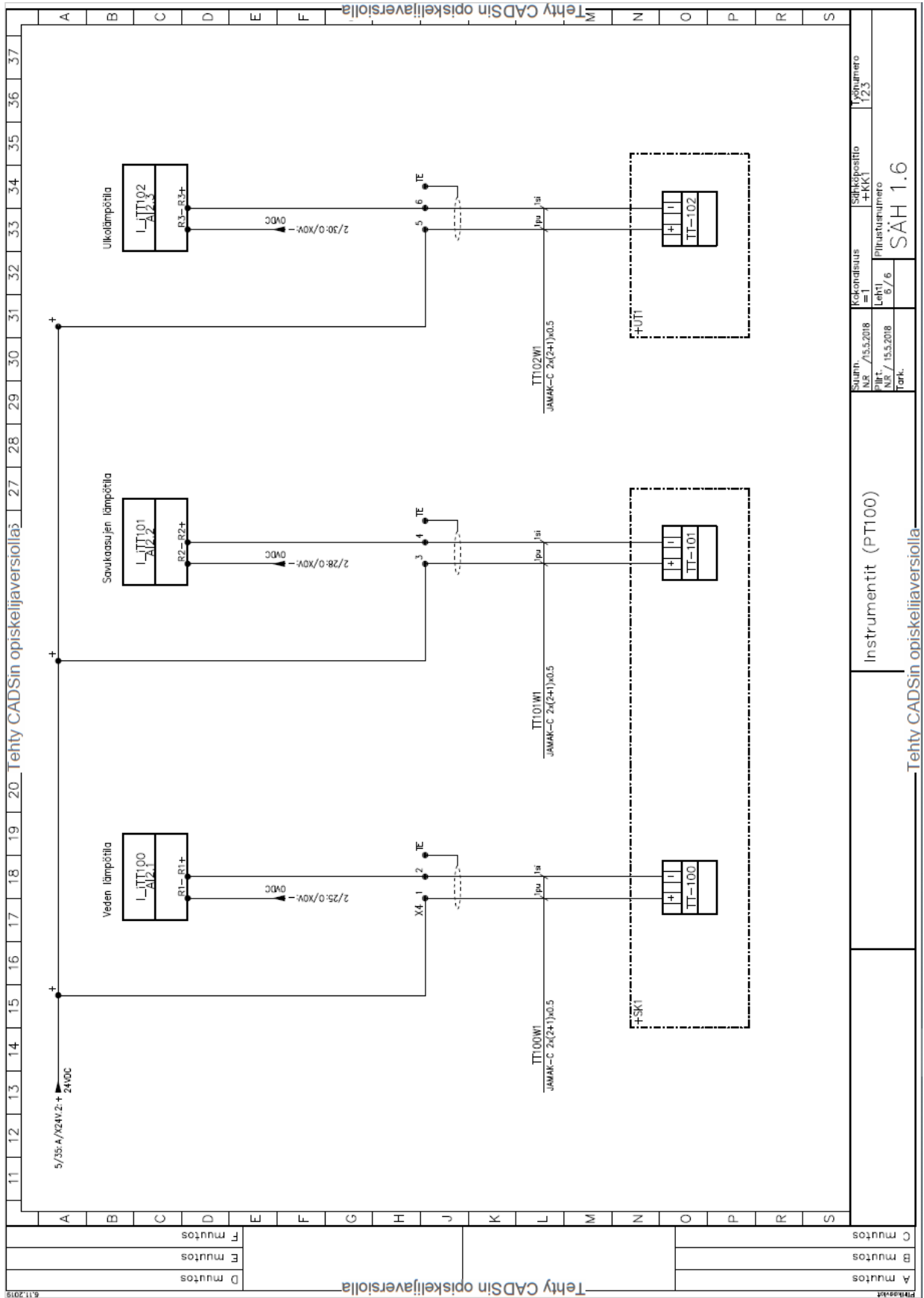
Tehty CADSin opiskelijaversiolle											Tehty CADSin opiskelijaversiolle										
A muutos											A muutos										
B muutos											B muutos										
C muutos											C muutos										
D muutos											D muutos										
E muutos											E muutos										
F muutos											F muutos										
G											G										
H											H										
I											I										
J											J										
K											K										
L											L										
M											M										
N											N										
O											O										
P											P										
R											R										
S											S										
Suunniteltu / 15.5.2018											Suunniteltu / 15.5.2018										
Suunnitellut / 15.5.2018											Suunnitellut / 15.5.2018										
Piirustuksen numero / 4/6											Piirustuksen numero / 4/6										
SAH 1.4											SAH 1.4										
Moottorin M1 ohjaus (Syöttöruuvien moottori)											Moottorin M1 ohjaus (Syöttöruuvien moottori)										
Tehty CADSin opiskelijaversiolle											Tehty CADSin opiskelijaversiolle										

Moottorin M2 ohjaus



A	Li	230VAC, 50Hz	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37			
B																																
C																																
D																																
E																																
F																																
G																																
H																																
J																																
K																																
L																																
M																																
N																																
O																																
P																																
Q																																
R																																
S																																
A muutos											B muutos											C muutos										
D muutos											E muutos											F muutos										
Tehty CADSin opiskelijaversiolla											Moottorin M2 ohjaus (Puhaltimen moottori)											Tehty CADSin opiskelijaversiolla										
Suurh. NR / 15.5.2018											Kokonaissus = 1											Sähköpiirros +KK1										
Piltt. NR / 15.5.2018											Lehti 5/6											Pöytänumero 123										
Tark.											SÄH 1.5																					

Instrumentit (PT100)



6.11.2019

PT100-01T