



Stokerikattilan ohjausjärjestelmän modernisointi

Erkki Hietaranta

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

HIETARANTA, ERKKI:
Stokerikattilan ohjausjärjestelmän modernisointi

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2019

Opinnäytetyössä pyrittiin modernisoimaan kattilan ohjauksesta täysautomaattinen, mikä lisää käyttömukavuutta ja parantaa palamisen hallintaa merkittävästi. Palamisen hyvä hallinta kasvattaa kattilan hyötysuhdetta ja käyttövarmuutta. Lisäetuna syntyi mahdollisuus helppokäyttöisyyttä parantavien ominaisuuksien, kuten etävalvonnan tai automaattisen sytytyksen, lisäämiseen. Alkuperäinen stokerikattila on ollut käyttömukavuudeltaan kohtuullinen. Kun sopivat säädöt oli löydetty, voitiin kattilaa käyttää varsinkin kylmällä säällä melko huolettomasti. Kuormitusvaihteluiden takia kattilaa oli kuitenkin säädettävä käsivaralta esimerkiksi sään tai polttoaineen laadun muuttuessa.

Opinnäytetyön on tilannut neljän veljeksensä omistama maatalousyhtymä Etelä-Pohjanmaalta. Maatilan lämmöntarve jakautuu kolmen asuinrakennuksen, korjaamohallin ja navetan kesken. Lämpö tuotetaan polttamalla stokerikattilassa haketta, joka on tehty maatilan metsistä korjatusta harvennuspuusta.

Kattilan modernisointi aloitettiin tutkimalla puun palamisen teoriaa ja sen pohjalta valittiin mitattavat suureet, joilla kattilan automaatiota ohjataan. Suureiksi valikoituivat kattilaveden ja savukaasujen lämpötila sekä savukaasujen jäännöshappipitoisuus. Näillä suureilla ohjataan kattilaan ohjattavaa palamisilman sekä polttoaineen määrää. Kattilaan lisättiin anturoinnit edellä mainittujen suureiden mittaamiseksi. Lisäksi turvallisuusnäkökohtien takia lisättiin anturointia takapalon havaitsemiseen ja polttoainevaraston turvallisuuteen. Anturointien lisäksi opinnäytetyötä varten hankittiin säädettävä paloilmahuuhallin ja automaatiojärjestelmä oheislaitteineen. Valittujen komponenttien pohjalta piirrettiin kytkentäkaavio, joka helpotti piirien johdotusta ja muiden oheiskomponenttien valintaa. Kun automaatiojärjestelmä oli saatu kasattua ja johdotettua, kytkettiin se ensin monitoroimaan järjestelmän toimintaa alkuperäisen ohjauksen rinnalla. Samalla automaatiojärjestelmää alettiin ohjelmoimaan tehtyjen havaintojen perusteella. Kun ohjelman perustoiminnot vaikuttivat toimivilta, ryhdyttiin koeajoon, jonka aikana ohjelmaan ja kattilaan tehtiin useita muutoksia ja korjauksia.

Vaikka kattilan viritystä ei voida pitää vielä loppuun asti optimoituna, on siinä merkittäviä parannuksia turvallisuudessa ja energiatehokkuudessa. Voidaankin todeta, että opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin. Tulevaisuudessa etähallintaa ja kattilan säätimien viritystä voidaan parantaa entisestään.

Asiasanat: lämmityskattilat, bioenergia, palaminen, prosessinohjaus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Intelligent Machines

HIETARANTA ERKKI:
Modernizing the Controls System of a Solid Fuel Boiler

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 4 pages
May 2019

The purpose of this thesis was to modernize the control system of a solid fuel boiler. The study was commissioned by a farming partnership owned by four brothers. The farm is located in South Ostrobothnia and there are three residential buildings, a cowhouse and a workshop which are heated with the boiler. The primary fuel for boiler is woodchips that are made from residual wood collected from the forest area of the farm after thinning.

The need for modernizing came from original control system's incapability to deal with changes in need of the energy or changes in fuel properties. That caused poor burning conditions or unbalance between energy needed and energy produced. Modernizing the system created an opportunity to add more user-friendly features such as remote diagnostics and auto igniter.

The modernizing started by studying theory related to wood burning. Based on that theory it was decided which process values will be used to control the boiler. Temperature of the boiler water controls the amount of fuel in the boiler. Residual oxygen controls airflow to the boiler. There are some values that should be monitored for safety reasons, such as temperature of the fuel feed system or the fuel storage lid opening. After values that need to be measured were known, sensors were selected. It was also possible to select a controllable blower to feed the air to the boiler. After other components were decided it was possible to choose a main controller that had enough I/O connections. Knowing items to be used made it possible to start designing schematics for the system. With the schematics it was easy to select all the other required components such as some additional relays and wire terminals. With proper schematics and new components, it was easy to install and bring the control system to working condition. When the original control system was still connected to the boiler, the modernized control system was just monitoring system performance. The data gathered was used to create a basic program for the modernized system. The boiler was then test run for three months to find potential flaws, and many changes were made to both the program and the boiler during this period.

Temperature control keeps boiler water temperature reasonable stable and the controllable blower keeps the residual oxygen levels of the combustion gas in optimum range. Even though those controllers are not perfectly tuned the main goal was reached. Remote diagnostics can be done, but it needs special software for now. For future it is possible to tune controllers better and add more features.

Key words: boilers, bioenergy, burning, automation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PUUN PALAMISEN TEORIAA	7
3	STOKERIKATTILA.....	11
4	PIENOHJAUSJÄRJESTELMÄ SIEMENS LOGO!	13
	4.1 LOGO! keskusyksiköt.....	13
	4.2 Ohjelmointiympäristö.....	13
	4.3 Lisämoduulit.....	15
	4.4 HMI-paneeli.....	16
5	PID-SÄÄDIN	19
	5.1 PID-säätimen toiminta.....	19
	5.2 PID-säätimen viritys	23
6	STOKERIKATTILAN OHJAUS	26
	6.1 Alkuperäinen releohjaus.....	26
	6.2 Lisättävä toiminnallisuus	27
	6.3 Lisättävät komponentit	28
	6.3.1 Lämpötila-anturi PT100	28
	6.3.2 Induktiivinen anturi.....	30
	6.3.3 Jäännöshappianturi, Lambda-anturi	32
	6.3.4 Jäännöshappilähetin.....	33
	6.3.5 Säädettävä puhallinmoottori	34
	6.3.6 Sytytyspuhallin.....	35
	6.4 Modernisoitu ohjaus.....	36
	6.4.1 Sähköiset kytkennät	36
	6.4.2 Sytytys.....	38
	6.4.3 PI-säätimet ja palaminen	39
	6.4.4 Sammutus	40
7	POHDINTA	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	47
	Liite 1. Alkuperäinen kytkentäkaavio (Alatakkari 1995).....	47
	Liite 2. Uusi kytkentäkaavio	48

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaaja on neljän veljeksen omistama maatalousyhtymä Etelä-Pohjanmaalla. Maatalousyhtymän omistamalla maatilalla on kolme asuinrakennusta, navetta ja korjaamo, joiden tarvitsema lämpöenergia tuotetaan stokerikattilalla. Metsäkeskusten mukaan maatila onkin yksi tyypiesimerkki stokerikattilan käyttökohteista. Lämpöenergiaa kuluu niin rakennusten lämmittämiseen kuin lämpimän käyttöveden aikaansaamiseen. Stokerikattilan pääasiallinen polttoaine on tilan metsien harvennuspuusta tehty hake. Harvennuspuun käyttö on kustannustehokasta ja puoltaa siten lämmitystavan valintaa mautiloilla, vaikka aloituskustannukset saattavat olla muihin järjestelmiin verrattuna korkeat. Polttoaineen tuotantoa voidaan pitää ekologisena, kun se tuotetaan vastuullisesti noudattaen kestävän metsätalouden periaatteita. (Viirimäki 2008, 7.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on modernisoida olemassa olevan stokerikattilan ohjausjärjestelmä. Kattilaa ohjataan alun perin releohjauksella, mikä vaatii käyttäjältä toimenpiteitä lämmöntarpeen muuttuessa esimerkiksi säätilan tai kuormituksen vaihdellessa. Modernisoinnissa ohjausjärjestelmä vaihdetaan ohjelmoitavaan ratkaisuun, minkä yhteydessä järjestelmään lisätään anturointia lämpöenergian tuoton automaattisen säädön toteuttamiseksi. Anturointia lisäämällä parannetaan myös palotapahtuman hyötysuhdetta ja siten myös ekologisuutta.

Palamistapahtuman optimoimiseksi ja hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi tutustutaan puun palamisen teoriaan. Teoreettisten arvojen pohjalta mitoitetaan vaihdettavia ja lisättäviä komponentteja. Lisättäviä komponentteja tarkastellaan myös paloturvallisuuden näkökulmasta, sillä turvallisuussuositukset ovat muuttuneet kattilan käyttöönoton jälkeen. Niissä suositellaan lisäämään erilaisia anturointeja kattilan, polttoainevaraston ja sammutusjärjestelmien monitorointiin. (Finanssialan keskusliitto 2017, 9–12)

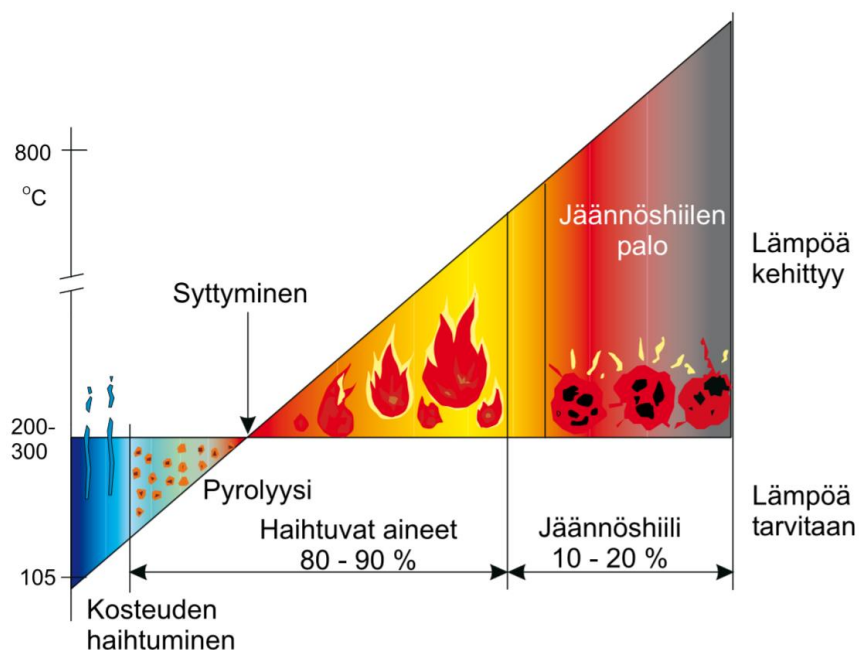
Stokerikattilan ohjausjärjestelmänä käytetään Siemensin valmistamaa LOGO!-pienoisautomaatiojärjestelmää. Opinnäytetyöhön sisältyy automaatiojärjestelmän oheislaitteiden valinta. Pohjana ohjausjärjestelmässä käytetään starttipakettia, johon kuuluvat logiikka, HMI-paneeli ja teholähde sekä ohjelmointiohjelmat.

Opinnäytetyössä käsitellään ohjausjärjestelmän ohjelmointiympäristön käyttöönotto ja laitteiden tiedonsiirtoyhteyksien muodostaminen. Ohjausjärjestelmän asentamisen ja ohjelmoinnin lisäksi säätöpiirit viritetään toimimaan halutusti. Työssä tutustutaan PID-säätimen toimintaperiaatteeseen sekä erilaisiin virittämistekniikoihin.

2 PUUN PALAMISEN TEORIAA

Puun palaminen, kuten palaminen yleisesti, on kemiallinen reaktio, jossa happi yhdistyy toiseen aineeseen muodostaen oksidimolekyylejä. Puun poltossa energiaa vapautuu hapen reagoiessa hiilen, vedyn ja rikin kanssa, joskin rikin osuus puunpoltossa on marginaalinen. Muita huomioitavia alkuaineita puunpalamisessa ovat typpi ja kloori. (Hakkila 2013, 25–28.)

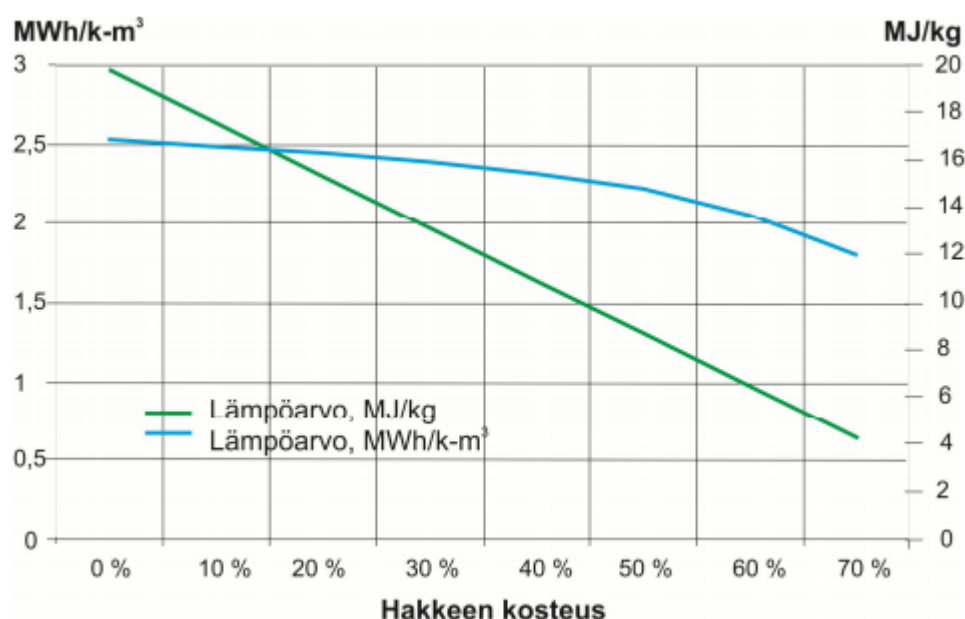
Syttymisellä tarkoitetaan tilannetta, jossa reaktion tuottama energia pystyy pitämään reaktiota yllä. Puun syttyminen vaatii 200 – 400 °C asteen lämpötilan (Huh-tinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 41). Tätä ennen puusta haihtuu vettä ja muita yhdisteitä. Kun puusta on haihtunut tarpeeksi vettä, nousee puun lämpötila niin korkeaksi, että muut haihtuvat yhdisteet syttyvät. Syttyttyään nämä yhdisteet tuottavat lämpöä ja reaktio kiihtyy lämpötilan noustessa. Lämpötilan noustua riittävästi syttyy puussa oleva hiili ja nostaa palolämpötilan entistä korkeammaksi. Kuvio 1 selventää palamisen vaihteita lämpötilan kasvaessa.



KUVIO 1. Puunpalaminen ja lämmönkehitys (Alakangas 1992, 35)

Palaminen on ketjureaktio, jossa palava polttoainepartikkeli sytyttää seuraavan partikkelin. Yllä oleva kuvio viittaa nimenomaan yksittäisen partikkelin palamiseen. Puun palamisessa on useita eri vaiheissa palavia partikkeleita.

Puun palamisessa energiaa vapautuu pääasiassa hiilen ja vedyn reagoiessa hapen kanssa. Polttoaineista vapautuvaa energiamäärää kuvataan lämpöarvolla. Puun lämpöarvo riippuu vahvasti puun kosteudesta. Kuivan puun tehollinen lämpöarvo on 19,1 MJ/kg, kun kostean puun tehollinen lämpöarvo on vain 7,25 MJ/kg (Huhtinen ym. 2000, 45). On kuitenkin huomattava, että kostean puun massa on suurempi kuin kuivan. Alla olevasta kuviosta voidaan huomata, että kosteus-tilavuussuhteen lämpöarvo ei laske yhtä voimakkaasti kuin kosteus-massasuhteen.

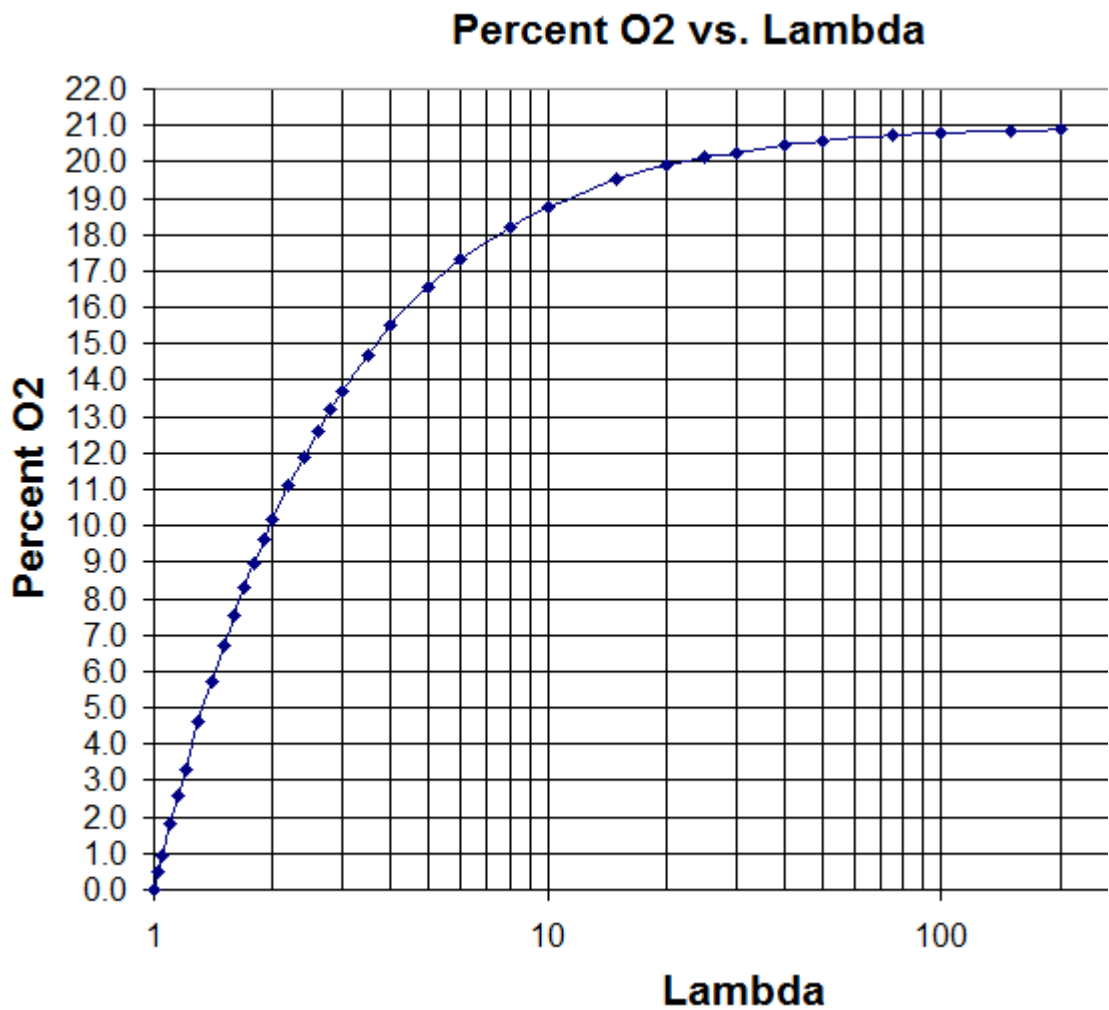


KUVIO 2. Hakkeen tehollinen lämpöarvo kosteuden suhteen (VTT 2016)

Kaiken kaikkiaan hakkeiden vertailu on vaikeaa ilman biomassan kuivakiintotiheyden, tiiviyn ja kosteuden tuntemista. Kuivakiintotiheys muuttuu puun kasvupaikan, perintötekijöiden ja iän mukaan (Kytö, Äijälä & Panula 1983, Alakan-kaan, Hurskaisen, Laatikainen-Luntaman & Korhosen 2016, 64 mukaan). Hakkeen tiiviyyteen vaikuttavat sen valmistusmenetelmä, puulaji, oksien määrä, kuljetustapa ja kosteus (Hakkila 2013, 30). Hakkeen kosteuteen vaikuttavat puun kasvupaikka, korjuu-, ja varastointiaika sekä varastointiolosuhteet (Alakangas ym. 2016, 60).

Palamiseen tarvittava happi tulee yleensä ilmasta. Kun ilman suhteellinen kosteus on 0%, palamisilman tarve kuivalle puulle on 4,71 m³n/kg ja kostealle puulle 2,35 m³n/kg. Käytännössä teoreettinen määrä ilmaa ei riitä minkään polttoaineen

täydelliseen palamiseen, sillä ilman sekoittuminen palotilassa ei ole täydellistä. Mikäli palotapahtumassa ei ole osallisena riittävästi happea, syntyy palamistuotteena häkää, mikä vähentää lämpötilan vapautumisen noin neljäsosaan. Todellisen ja teoreettisen palamisilman tarpeen suhdetta kuvaa polton ilmakerroin λ . Puulla ilmakertoimen arvo voimalaitoskattiloissa on tyypillisesti 1,15–1,50, joka vastaa noin 2,5–6,5% jäännöshappipitoisuutta (kuvio 3). (Huhtinen ym. 2000, 45, 86, 91.)



KUVIO 3. Ilmakertoimen ja jäännöshappipitoisuuden suhde (Tech Edge, 2011)

Palotapahtumassa kulutetaan energiaa polttoaineen syttymislämpötilan saavuttamiseen. Myös typen reagoiminen hapen kanssa kuluttaa energiaa. Puussa on aineita, jotka eivät osallistu palotapahtumaan lainkaan. Näistä aineista muodostuu puun palaessa tuhkaa. (Huhtinen ym. 2000, 79–85; Hakkila 2003, 25–28.)

Vaikka puuta poltetaan oikein, syntyy palamisessa haitallisia päästöjä. Merkittävimpiä päästöjä puunpoltossa ovat hiilidioksidi sekä typen oksidit. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, ja sen lisääntyminen ilmakehässä vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen. Puun polttamista voidaan kuitenkin pitää hiilineutraalina, eli hiilidioksidin määrää lisäämättömänä, kun poltettava puu on tuotettu kestävän metsätalouden periaatteella (Hakkila 2013, 25). Typen oksidit ovat haitallisia niin terveydelle kuin ympäristölle. Typen oksideja voidaan vähentää palotapahtuman lämpötilaa laskemalla. Tämä onnistuu esimerkiksi vaiheistamalla palamisilman syöttöä. Myös erilaiset puhdistimet ovat vaihtoehto, mutta ne ovat melko kalliita investointeja pienpolttolaitokseen. (Huhtinen ym. 2000, 91–95.)

3 STOKERIKATTILA

Pientalojen lämmityksessä puupohjaiset polttoaineet ovat pitäneet osuutensa vakaana. Sähkö- ja öljylämmittäjien pienentyneet osuudet ovat siirtyneet valtaosin maalämmön osuuteen. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä stokerikattila on osa maatilalan lämmitysjärjestelmää. Maatila onkin yksi tyyppiesimerkki stokerikattilan asennuskohteista, sillä maatioilla on pientaloja suurempi energian tarve. (Tilastokeskus 2016; Viirimäki 2008, 7.)

Stokerikattila on keskuslämmityskattila, joka on varustettu kiinteän polttoaineen syöttölaitteistolla ja ilmatiiviillä polttoainevarastolla. Polttoaineena stokerikattilassa käytetään yleisesti erilaisia biomassoja kuten haketta, pellettejä, sahanpuurua, brikettejä, turvetta ja ylijäämäviljaa. Syöttölaitteisto syöttää polttoainetta kattilaan polttoainevarastosta automaattisesti. Yleisesti syöttölaite on rakennettu ruuvikuljettimen oheen. Ruuvikuljettimelle polttoaine syötetään erilaisilla purkainlaitteilla kuten jousi-, tanko- tai kolapurkaimella. (Bioenergianeuvoja n.d.)

Polttoaineen automaattisessa syötössä joudutaan tarkastelemaan aina paloturvallisuutta. Riskinä on takapalo eli tulen kulkeutuminen syöttölaitteistoa pitkin polttoainevarastoon. Yleisesti käytössä olevia takapalon suojalaitteita ovat esimerkiksi automaattinen sammutusjärjestelmä, sulkusyötin, ilmahyppy ja polttoainevaraston ilmatiiviyys. Paloturvallisuuden kannalta suositellaan käyttämään vähintään kahta erillistä suojajärjestelmää. (Finanssialan keskusliitto 2017, 9).

Kattilavesi tulisi pitää 80–85 °C lämpötilassa. Kattilaan syötettävän veden lämpötilan alittaessa 55 °C kattilan lämpöpintojen syöpyminen kiihtyy ratkaisevasti. Kylmät lämpöpinnat saavat savukaasut tiivistymään lämpöpinnalle, jolloin kattilapinnat pikeentyvät ja hyötysuhde putoaa. Kattilasta lähtevien savukaasujen lämpötila terässavupiipun kanssa tulisi olla vähintään 120 °C. Näin vältetään savukaasujen vesihöyryn ja rikkidioksidin tiivistyminen savupiipun pinnalle, mikä pidentää piipun ikää. (Ala-Talkkari 1995; Ariterm 1999).

Opinnäytetyössä käsiteltävä stokerikattila on Aritemin 120 kW kattila, jossa käytetään Ala-Talkkarin palopäätä ja hakkeen syöttölaitteistoa. Hakkeen syöttölaitteisto koostuu 6 m³:n ilmatiiviistä polttoainevarastosta, jousipurkaimesta, vaha-
tulppasammutuslaitteesta sekä kalvopaisunta-astialla varmistetusta painesam-
mutuslaitteesta.

Kuivan, kokonaisesta puusta valmistetun mäntyhakkeen energiatiheyden, 820 kWh/kg, ja kattilan huipputehon, 120 kW, avulla voidaan laskea huipputehoon tarvittava hakkeen määrä seuraavasti;

$$\frac{120 \text{ kW}}{820 \frac{\text{kWh}}{\text{i-m}^3}} \approx 0,146 \frac{\text{i-m}^3}{\text{h}}.$$

Huipputehon tarvitsema ilmamäärä voidaan laskea kuivan hakkeen tehollisen lämpöarvon, 5,4 kWh/kg, kuivan hakkeen ilmantarpeen 4,7 n-m³/kg, kattilan huip-
putehon, 120kW, ja ilmaylimääräkertoimen avulla seuraavasti;

$$\frac{120 \text{ kW}}{5,4 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \cdot 4,71 \frac{\text{n-m}^3}{\text{kg}} \cdot 1,5 \approx 160 \frac{\text{n-m}^3}{\text{h}}.$$

Koska palaminen on muuttuva prosessi, tämä ole ilman maksimivirtaama, vaan keskimääräinen virtaama. (Alakangas, 2003.)

4 PIENOHJAUSJÄRJESTELMÄ SIEMENS LOGO!

4.1 LOGO! keskusyksiköt

Siemens LOGO! on monipuolinen pienautomaatiojärjestelmä, joka on suunniteltu korvaamaan järjestelmiä, joissa aikaisemmin on käytetty releitä. LOGO!-keskusyksikkömalleja on saatavilla moniin eri käyttöjännitteisiin, hyvinä esimerkkeinä 12–24 voltin tasajännitteellä sekä 115–230 voltin vaihtojännitteellä toimivat mallit. Keskusyksiköt sisältävä kahdeksan sisääntuloa, joista neljää voidaan osassa malleista käyttää myös analogisina. Lähtöjä keskusyksiköissä on neljä, ja ne voivat olla transistori- tai relepohjaisia. Transistorilähdöt voivat saavuttaa 10 hertsin kytkentätaajuuden, ja niiden kuormitettavuus on 0,3 ampeeria. Relepohjaiset lähdöt saavuttavat kahden hertsin kytkentätaajuuden resistiivisellä ja puolen hertsin kytkentätaajuuden induktiivisella kuormalla. Resisttiivinen kuormitettavuus on kymmenen ja induktiivinen kuormitettavuus kolme ampeeria. (Siemens 2018a.)

LOGO! oli toimeksiantajalle uusi automaatioympäristö, joten opinnäytetyötä varten hankittiin aloituspaketti, johon kuuluvat LOGO!-keskusyksikkö, HMI-paneeli, teholähde sekä tarvittavat ohjelmistot. Lisäksi hankittiin lisämoduulit lämpötilan mittausta varten sekä analoginen lähtömoduuli puhaltimen ohjaamista varten.

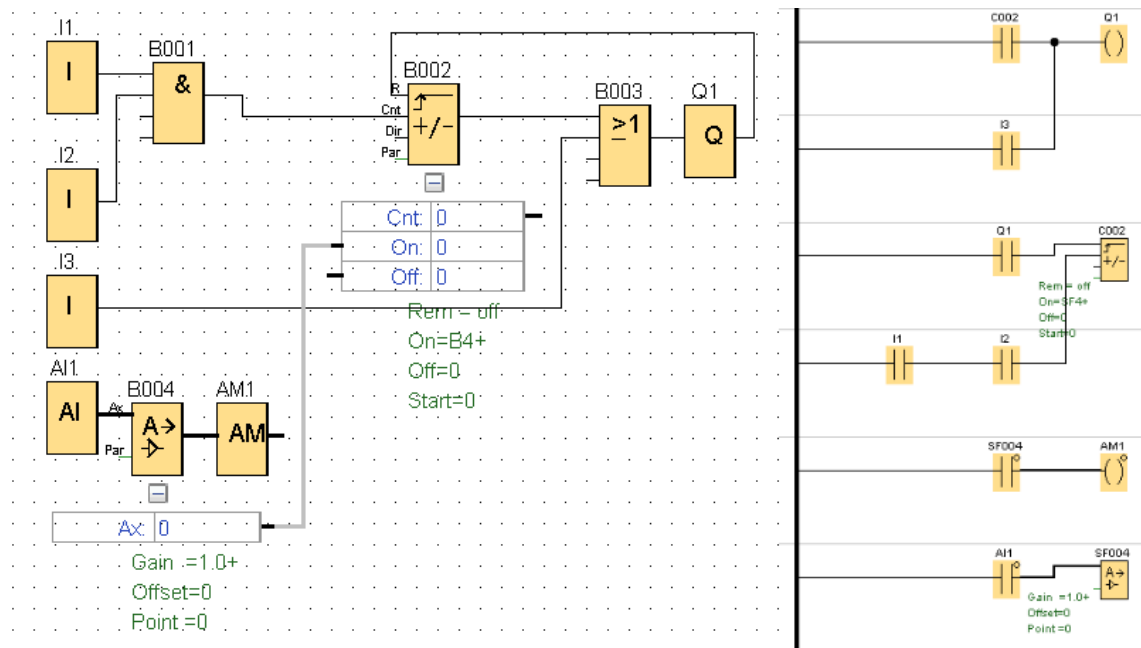
4.2 Ohjelmointiympäristö

LOGO! ohjelmoidaan LOGO! Soft Comfort -ohjelmistolla. Ohjelmiston asennus onnistuu helposti Windows-ympäristössä. Toimitetulta asennuslevyltä suoritetaan asennusohjelma ja muutaman minuutin päästä voidaan aloittaa LOGO!-ohjelmointi. LOGO!-ohjelmisto voidaan päivittää internetin kautta vaivattomasti. Ohjelmointiympäristön kokeiluversion voi ladata Siemensin internetsivuilta. Kokeiluversio mahdollistaa ohjelmoinnin, ohjelman simuloinnin ja tallentamisen täysversion kanssa yhteensopivalla tiedostoformaattilla. Täysversion avulla ohjelma voidaan siirtää LOGO!:oon, jolloin sen monitorointi ja reaaliaikainen ohjelman testaus ovat mahdollisia. (Siemens 2018b.)

Valmis ohjelma voidaan siirtää LOGO!-ohjausyksikköön SD-muistikortilla tai Ethernet-verkon avulla. Ethernet-väylän yli voidaan tavanomaisilla selaimilla seurata LOGO!:n tilaa esimerkiksi älypuhelimella. Tiedon vaihto verkossa olevien toisten LOGO!-moduulien kanssa voidaan ohjelmoida suoraan lisäämällä looginen yhteys lohkokaaviosta toiseen, mikäli projekti on määritelty oikein. (Siemens 2018c)

HMI-paneeleja tai muita kuin LOGO!-laitteita varten joudutaan käyttämään joko ModBus- tai Siemens S7 -protokollaa. Niin analogisille kuin digitaalisille tuloille, lähdöille ja markkereille on omat kiinteät osoitteensa kullakin protokollalla. Lohkokaavion funktioiden sisäisille parametreille on erillinen jaettu muistialue, johon tarvittavat tiedot on merkittävä. Tälle erilliselle muistialueelle voidaan luoda 64 eri siirrettävää tietoa. (Siemens 2017a)

LOGO!:n yksinkertainen lohkokaavio-ohjelmointitapa ja monipuoliset esimerkit lyhentävät ohjelmointiin ja suunnitteluun tarvittavaa aikaa huomattavasti (Siemens 2018d). Myös vahva yhteisön tuki Siemensin tarjoamalla keskustelupalstoilla on eduksi. LOGO! tukee myös tikapuukaavio-ohjelmointia ja lohkokaavio voidaankin helposti muuttaa tikapuukaavioksi. Alla olevassa kuvassa vasemmalla on sama logiikkaohjelma esitettyinä lohkokaaviomuodossa ja oikealla tikapuukaaviona. Lohkokaavioesityksessä näkyy harmaalla viivalla, miten LOGO!-ohjelmassa yhdistetään lohkojen parametrejä. Tikapuukaaviossa linkitys tehdään lohkon määrittämisen sisällä, eikä siinä visualisoida parametrien riippuvuuksia.



KUVA 1. Logiikkaohjelma lohkokaavio- ja tikapuukavioesityksenä

Tavanomaisten loogisten lohkojen lisäksi LOGO!-n lohkokirjastossa on saatavilla monipuolinen valikoima laskureita, ajastimia sekä analogisten viestien käsittelylohkoja (Siemens 2015).

LOGO!-n analogiatulot toimivat kymmenen bitin tarkkuudella. Kymmenen bitin tarkkuuden analogisen sisääntulon mitta-alueen sisällä voidaan erotella 1024 eri tilaa. Mittausalueen alarajalla tila on 0 ja ylärajalla 1024. LOGO!-ssa nämä arvot on skaalattu siten, että analogisen sisääntulon ollessa alarajalla saa se arvon nolla ja arvon ollessa ylärajalla saa se arvon 1000. Vastaava skaalaus on tehty analogisille lähdöille. Kun ohjelmassa lähtö saa arvon 1000, on fyysinen lähtö maksimiarvossaan. (Siemens 2017b.)

4.3 Lisämoduulit

Lisäkortteja digitaalisten tulojen ja lähtöjen lisäämiseksi on saatavina transistori- ja relepohjaisina moduuleina eri porttimäärillä. Kuten pääyksikölläkin, transistoripohjainen kortti soveltuu pienjännitteelle ja nopeammille kytkentätaajuuksille. Relepohjaisten lisäkorttien kuormitettavuus on viisi ampeeria resistiivisellä ja kolme induktiivisellä kuormalla, mikä on vähemmän kuin keskusyksiköllä. (Siemens 2018e.)

Analogisia lisäkortteja on saatavilla standardijännite- ja standardivirtaviestien sisääntulo- ja lähtökortteina. Lisäksi on saatavilla lämpötilanmittausmoduuli, joka on yhteensopiva PT100- ja PT1000-antureiden kanssa. (Siemens 2018e)

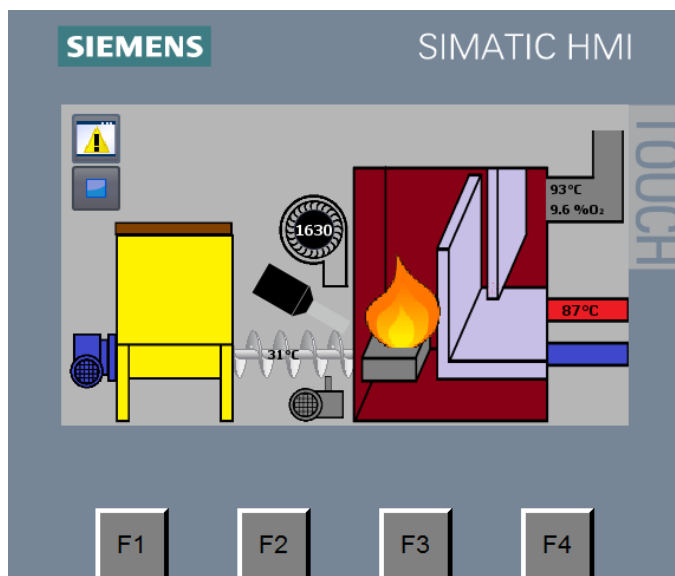
Viestintälisämoduuleita on saatavilla kahta mallia. GSM/GPS-moduulilla voidaan lähettää viestejä matkapuhelinverkon yli. Samalla moduulilla voidaan lukea moduulin paikka sekä tahdistaa järjestelmän kello. KNX-moduulilla voidaan liittyä talo-automaatioväylään. Siemens tarjoaa LOGO! -tuoteperheessään Ethernet-kytkintä monen lisälaitteen kytkemiseksi Ethernetin välityksellä. (Siemens 2018f)

4.4 HMI-paneeli

HMI-paneeli on kosketusnäytöllä varustettu laite, johon voidaan ohjelmoida erilaisia interaktiivisia käyttöliittymiä. Opinnäytetyöhön valittiin neljän tuuman Siemens KTP400 Basic HMI -paneeli. Paneelissa on kosketuspaneelin lisäksi neljä fyysistä painonappia. HMI-paneelin tiedonsiirto tapahtuu Ethernetin yli. Tiedonkeruuta varten paneelissa on USB-liitäntä. Monipuolisempien ja isompien paneelien ohjelmoinnin aloituskustannukset ovat suuremmat. Järjestelmän ollessa yksinkertainen ei lisäominaisuuksia nähty tarpeellisina. Peruspaneelissa ei kuitenkaan ole lisenssiä etäkäyttömahdollisuuteen. Mobiilihallinta on siis ohjelmoitava LOGO!:n omalla web-palvelimella toimivaksi. (Siemens 2018g)













HMI-paneeli ohjelmoidaan Siemensin TIA Portal -ohjelmistolla. Opinnäytetyötä varten hankittuun aloituspakettiin kuuluivat ohjelmiston lisenssi ja asennusmedia. Ohjelmiston asentaminen Windows 10 -ympäristöön tuotti aluksi vaikeuksia. Kun ymmärrettiin, että ongelmat johtuvat käyttöjärjestelmän uudesta versiosta, huomattiin, että päivitysten hallintasovellus oli asentunut oikein. Päivitysten hallintasovelluksella saatiin ladattua päivitys, jolla ohjelmiston asennus onnistui virheettömästi. Lisenssin asennuksen dokumentointi oli hieman vaikeaselkoinen ja vaati tutkimista. Lopulta selvisi, että lisenssi tulee aktivoida siirtämällä se näennäisesti tyhjältä USB-muistitikulta lisenssinhallintasovelluksella työaseman järjestelmäosioon, joka yleisimmin Windows käyttöjärjestelmässä on nimetty C-osioksi.

Ohjelmiston asentamisen jälkeen voidaan aloittaa ohjelmointi. Ohjelmointia varten luodaan uusi projekti, johon lisätään haluttu HMI-paneeli. Tämän jälkeen käyttöliittymää voi muodostaa raahaamalla erilaisia paneeleja, nappeja, tekstikenttiä ja grafiikkaa HMI-paneelin näyttölehdille, joista yksi on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. HMI-paneelin päänäyttö

Grafiikkatiedostoja voi myös luoda itse vapaasti valittavalla kuvankäsittelyohjelmalla. Yllä olevan kuvan grafiikoista vain painonappien kuvakkeet, ruuvi ja liekki ovat TIA Portaalin kirjastoista. Muut grafiikat on luotu tätä työtä varten. Basic-paneelien animointityökalut ovat rajalliset ja esimerkiksi grafiikan kiertymisen animoinnin puuttuminen hämmästytti käyttöliittymän ohjelmoinnin aikana. Animointivaihtoehtoja ovat objektien liikuttaminen, piilottaminen sekä piirtoparametrien, kuten taustan täyttövärin, muuttaminen. Edistyneemmät animaatiot on tehtävä ruutu ruudulta grafiikkalistojen avulla (kuva 3).

Graphic list entries				
...	Default	Value ▲	Graphic name	Graphic
	<input type="radio"/>	0	Mootorinsiipi	
	<input type="radio"/>	1	Mootorinsiipi1	
	<input type="radio"/>	2	Mootorinsiipi2	
	<input type="radio"/>	3	Mootorinsiipi3	
	<input type="radio"/>	4	Mootorinsiipi4	
	<input type="radio"/>	5	Mootorinsiipi5	

KUVA 3. Grafiikkalista animointia varten

Grafiikkalistan avulla animointia varten LOGO!:n ohjelmaan luotiin erillinen kymmenen askeleen laskuri, jolla voitiin tehdä kaikki edistyneemmät animaatiot, kuten puhallinmoottorin pyörimisen indikointi pyörittämällä puhaltimen siiven grafiikkaa tai kuumen ja kylmän sytytysilman virtaamista järjestelmässä.

Tiedonsiirto HMI-paneeliin tapahtuu Ethernetin yli. TIA Portal -ohelmistossa projektiin määritellään tiedonsiirtoyhteysparametrit, kuten protokolla ja ip-osoitteet. HMI-paneeli tukee useita Ethernet-pohjaisia protokollia, kuten Modbus TCP, Mitsubishi MC sekä Siemensin omat S7-protokollat (Siemens 2018h). Halutut muuttujat lisätään HMI-tags -taulukoihin. Muuttujat nimetään, ja niiden muistialueet kohdelaitteessa määritellään. Tiedonsiirtoyhteyksiä voi olla monia, joten taulukossa valitaan, minkä yhteyden takaa kyseinen muuttuja löytyy. LOGO!:n kohdalla digitaalisten tulojen, lähtöjen ja markkereiden muistiosoitteita ei tarvitse erikseen määritellä vaan voidaan käyttää suoraan näiden numerointeja. Analogisien tulojen ja lähtöjen sekä markkereiden muistiosoitteet on kuitenkin selvitettävä LOGO!:n dokumentaatiosta. Muuttujille voidaan asettaa monia erilaisia toimintoja, kun ylitetään raja-arvoja tai kun muuttujan arvossa tapahtuu muutos. Muuttujan arvot voidaan myös skaalata kohdelaitteen ja HMI-paneelin välillä. Tässä projektissa ajastimien arvot liikkuvat yhdessä aikayksikössä HMI-paneelistä LOGO!:on. Ajat asetetaan kuitenkin kahdessa aikayksikössä. Nämä aikayksiköt skaalataan ja summataan paneelinpäässä, ennen siirtoa LOGO!:on. HMI-paneelin ja LOGO!:n välillä siirretään 80 eri tietoa. (Siemens 2018i)

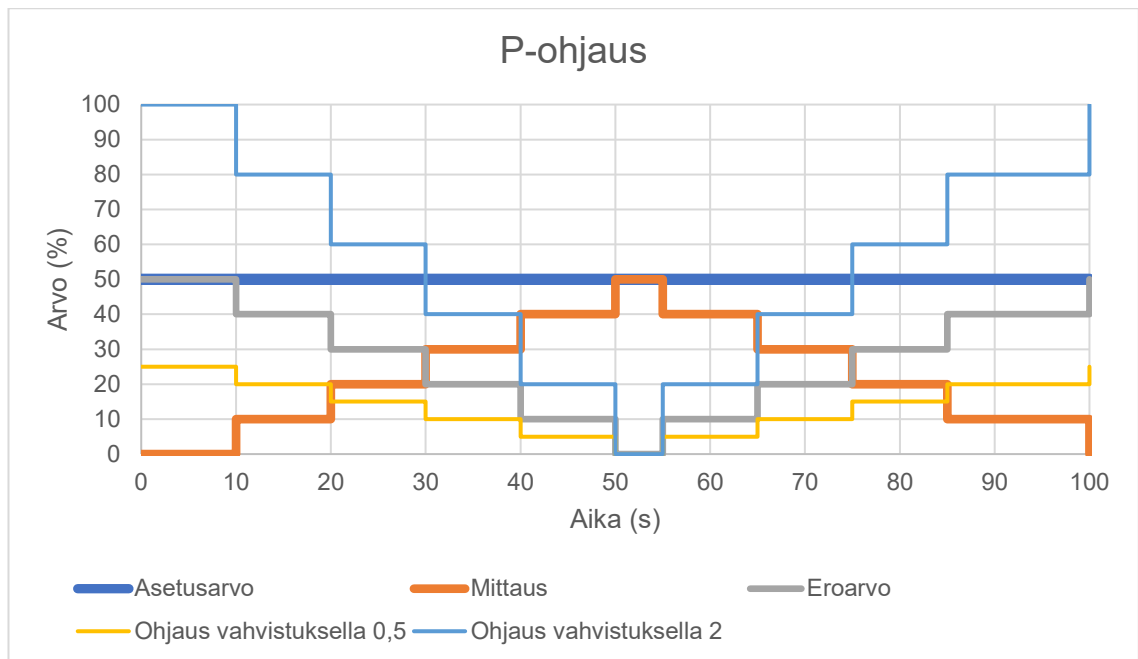
5 PID-SÄÄDIN

5.1 PID-säätimen toiminta

PID-säädin on teollisuuden tärkeimpiä säätimiä. Teollisuuden säätötarpeista 90–95% täytetään PID-säätimellä (Åström & Hägglund 1996,198). Nykyaikainen PID-säädin koostuu kolmesta rinnakkaisesta säätimestä, joiden ulostulojen summa muodostaa yhdessä ohjaussuureen. Myös sarjasäätimiä on mutta ne ovat pääsääntöisesti pneumaattisia tai mekaanisia. PID-säätimen nimi on muodostunut osasäätimien englanninkielisistä nimistä, jotka ovat *propotional*, *integral*, ja *derivative*. *Propotional* tarkoittaa vahvistavaa tai verrannollista, *integral* integroivaa ja *derivate* derivoivaa säätöä. (Harju & Marttinen 2000, 44, 60.)

P-säädin vahvistaa takaisinkytkennän ja asetusarvon välistä eroaeroa. P-säätimellä ei muuttuvissa prosessiolosuhteissa päästä virheettömään säätöön, sillä ilman eroaeroa ei säädin voi muodostaa ohjaussuuretta. Kasvattamalla P-säätimen vahvistuskerrointa voidaan säädön lopullista virhettä pienentää. Säätimen vahvistuksen kasvattaminen pienentää toiminta-aluetta, jolla säädin saa ääriarvonsa. Tätä toiminta-aluetta kutsutaan myös vertoalueeksi. Kasvattamalla säätimen vahvistuskerrointa liiaksi ohjaussuure alkaa värähdellä. (Harju & Marttinen 2000, 45–47; Savolainen & Vaittinen 2007, 30–32.)

Säätimien toimintaa on helpompaa ymmärtää graafisista kuvaajista. Erillissäätimien toiminnan perustuessa eroarvon yksinkertaisiin matemaattisiin operaatioihin, on niiden toimintaa helppo kuvata taulukkolaskentaohjelmilla. Tämän luvun kuvat on luotu Excel taulukkolaskentaohjelmalla. Luvun ensimmäinen kuvio 4 havainnollistaa P-säätimen ohjausarvon muutoksia mittausarvon suhteen.

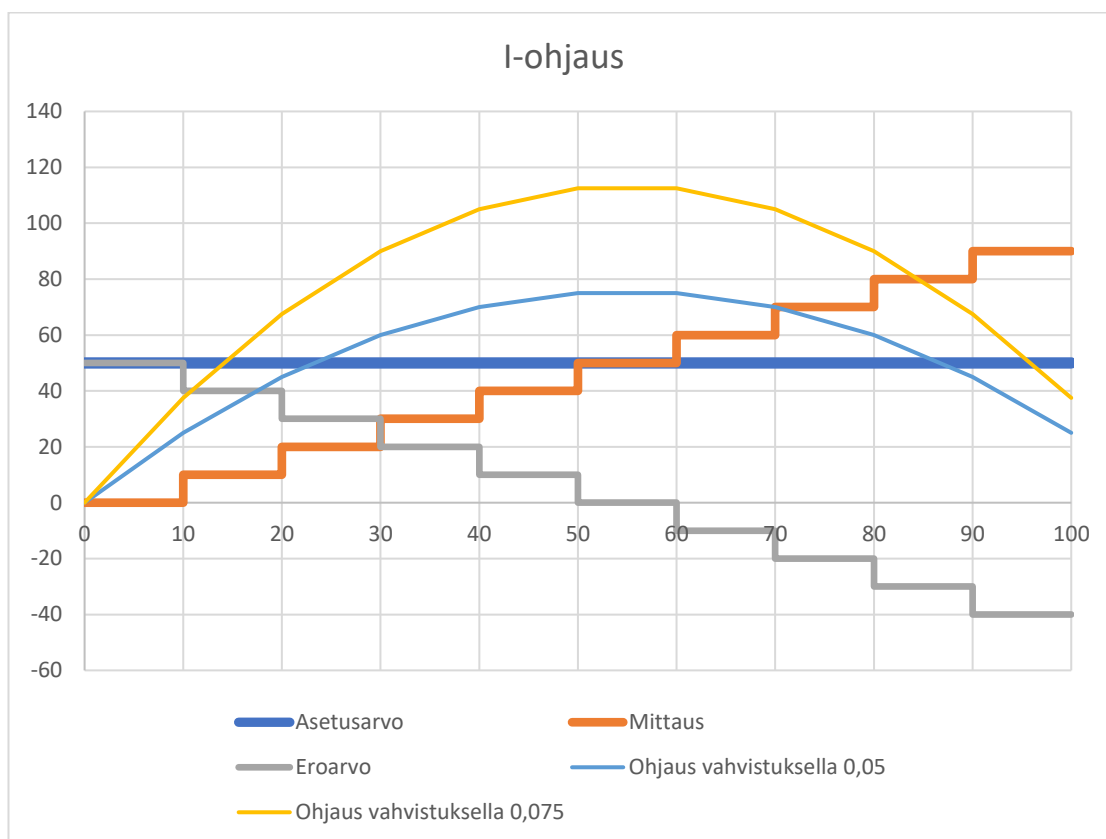


KUVIO 4. P-säätimen ohjaus mittauksen suhteen

Kuviosta 4 voidaan säätöalueen pieneneminen huomata helposti. Oletetaan säätimen lähtöarvon ääriarvoiksi nolla ja 100. Kun asetusarvo on 50 ja mittausarvo on nolla, on eroarvo 50. Edellä mainitussa tilanteessa vahvistuskertoimella kaksi on ohjaus jo ääriarvossaan, kun taas vahvistuskertoimella 0,5 ulostulo on vasta neljäsosassa ääriarvostaan.

I-säädin vahvistaa eroarvon integraalia. I-säädin on luonteeltaan värähtelevä, sillä eroarvon saavuttaessa nollan on integraalin arvo edelleen nolosta poikkeava. Säätimen eroarvo lähenee kuitenkin nolaa ajan kuluessa ja oikein viritettynä se on käytännössä nolla melko lyhyessä ajassa. Puhdas I-säädin on ainoa osasäädin, joka pystyy itsenäisesti poistamaan eroarvon. I-säätimen luontainen taipumus värähdellä rajoittaa integrointiosan vahvistuskertoimen pieneksi. Yleensä käytetäänkin integroimisaikavakiota, joka tarkoittaa aikaa, jossa vakiona pysyvä eroarvo muuttaa ohjausta eroarvon verran. Integroimisaika on P-säätimen vahvistuskertoimen ja I-säätimen vahvistuskertoimen osamäärä. (Harju & Marttinen 2000, 47–48; Savolainen & Vaittinen 2007, 34–35.)

Integroiminen on käytännössä pinta-alan laskemista jonkin muuttujan suhteen. Prosessinohjauksessa integroidaan eroarvoa ajan suhteen. Kuviossa 5 kuvataan I-säätimen toimintaa. Kun eroarvo pysyy tasaisena, muuttuu ohjaussignaali eroarvoon verrannollisella kulmakertoimella.

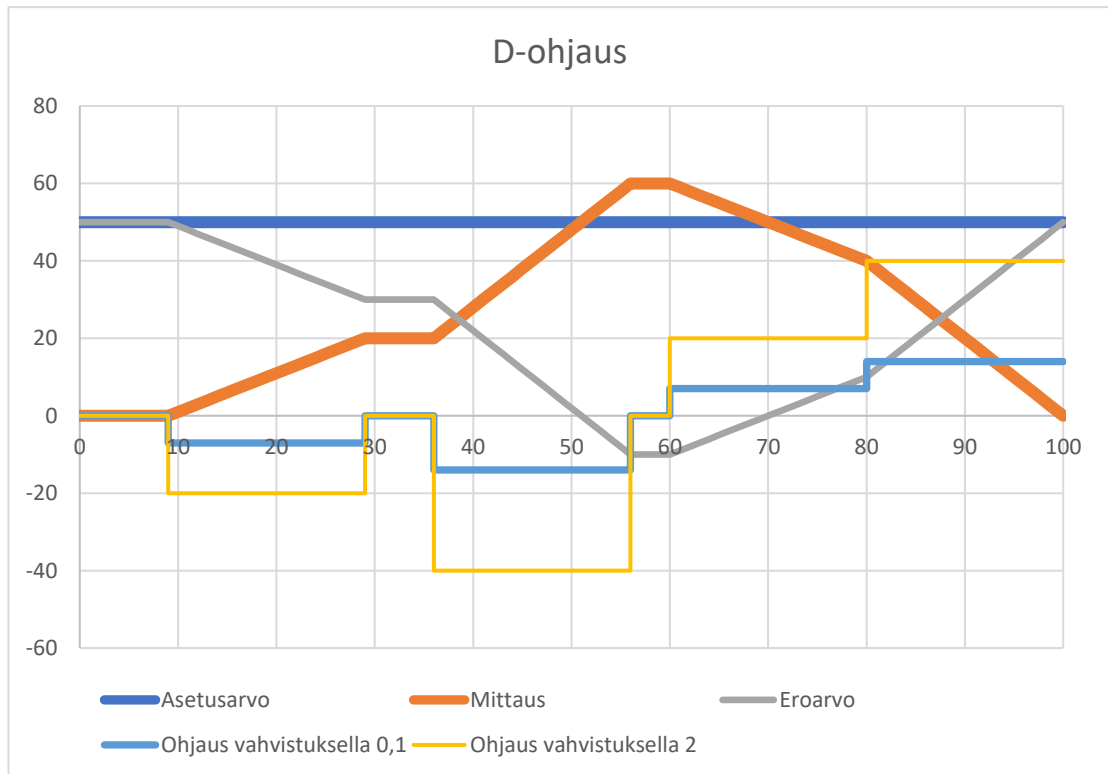


KUVIO 5. I-ohjaus mittauksen suhteen

D-säädin vahvistaa eroarvon derivaattaa eli eroarvon muutoksen kulmakerrointa. Joissain tapauksissa voidaan derivoida pelkästään mittaussignaalia. Tälläin säätimen asetusarvon muutos, joka on usein askelmainen, ei aiheuta turhaa häiriötä säätimen lähtöön. D-säädintä luonnehditaan ennakoivaksi osasäätimeksi. Mitä suurempia ja nopeampia muutoksia eroarvossa tapahtuu, sitä enemmän D-säätimen ulostulo reagoi. Tämä helpottaa värähtelyjen poistamista, mutta altistaa myös häiriösuureiden suurelle vaikutukselle prosessissa. Häiriöiden minimoimiseksi säätimen sisääntulosignaalia yleensä suodatetaan, jotta vain todelliset muutokset mittauksessa vaikuttaisivat säätöön. (Harju & Marttinen 2000, 48–49, 59; Savolainen & Vaitinen 2007, 36–38.)

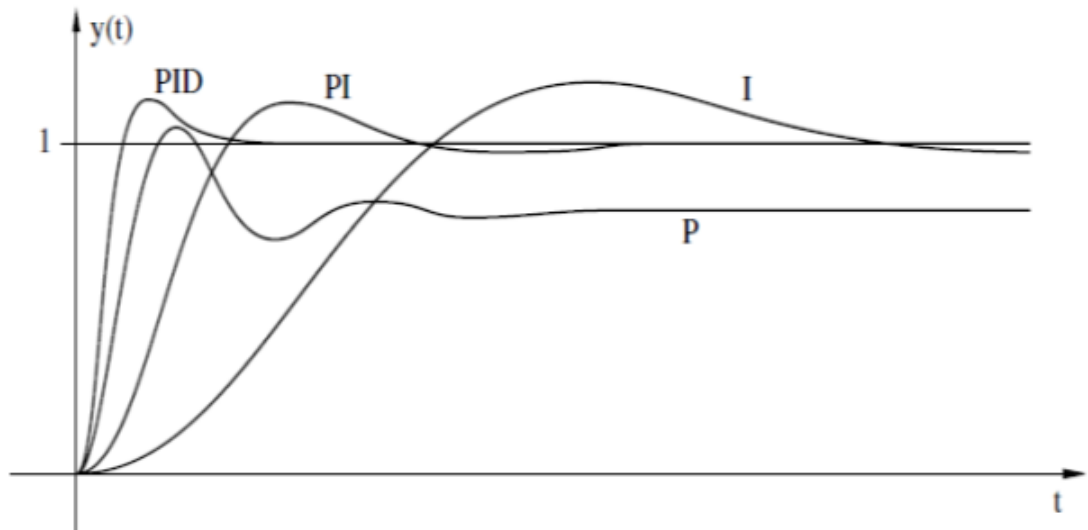
Kuviossa 6 kuvataan D-säätimen toimintaa muuttuvissa olosuhteissa. Kuvioon on piirretty erilaisia pengermäisiä muutoksia mittaussignaaliin. Eroarvon tasainen muutos synnyttää vakion ohjauksuureen, joka on verrannollinen eroarvon kulloiseenkin kulmakertoimeen. Derivoiva ohjaus pyrkii vastustamaan mittaussignaalin muutosta. Säätimen toimintaan ei vaikuta eroarvon suuruus. Näin säätösuure

ei muutu, vaikka eroarvon etumerkki vaihtuu, mikäli muutos on edelleen samansuuntainen. Koska säätö tapahtuu vain muutosten suhteen, ei D-säädintä voida käyttää itsenäiseen prosessin ohjaamiseen.



KUVIO 6. D-ohjaus mittauksen suhteen

Edellä mainitut kuviot eivät vastaa todellisia prosesseja vaan ainoastaan osasäätimien reagoitua mittaussuureeseen. Todellisessa takaisinkytketyssä prosessissa säätimen ohjaus vaikuttaa prosessin kautta mittaussuureeseen, mikä muuttaa jatkuvasti myös ohjaussuuretta. Kuvassa 4 on havainnollistettu erilaisten optimoitujen säätimien askelvasteita simuloitussa prosessissa.

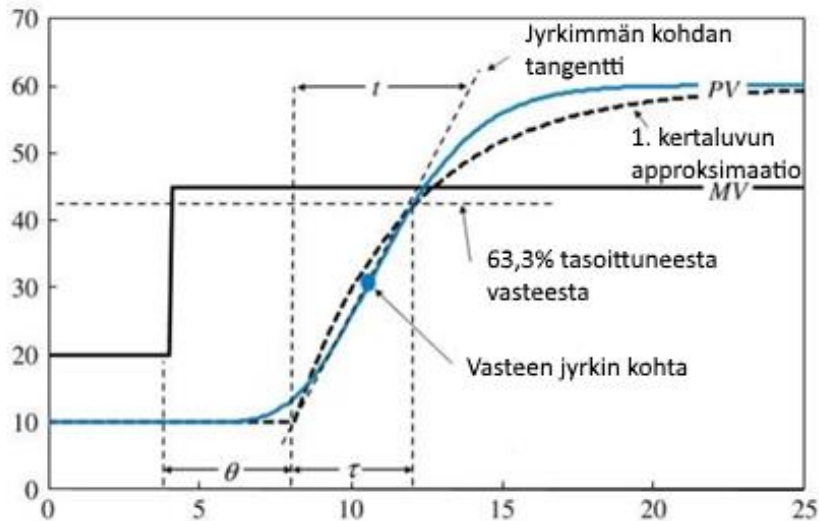


KUVA 4. Eri säätimien askelvasteita (Hamed 2011)

Askelvaste kuvaa prosessin käyttäytymistä ohjearvon askelmaiseen muutokseen. Kuvassa ei siis näy ohjausarvon muutosta, vaan prosessin mitattu, tai tässä tapauksessa simuloitu, muutos.

5.2 PID-säätimen viritys

PID-säätimen viritykseen on monia tapoja. Yleisimmin tunnetut menetelmät ovat vuonna 1942 esitellyt Ziegler–Nicholsin askelvaste- ja värähtelyrajamenetelmät. Menetelmät ovat yksinkertaisia, mikä lienee pitänyt ne suosittuna, ainakin koulutustarkoituksissa. Nämä menetelmät eivät kuitenkaan anna moneenkaan prosessiin riittävän hyvää viritystä vasteiden värähdellessä liiaksi. Menetelmien viritysparametrejä voidaan pitää hyvänä lähtökohtana yritys-erehdys-tyyliselle viritykselle. (Harju & Marttinen 2000, 115–116).



KUVA 5. Prosessi-arvot jyrkimmän muutoskohdan tangentin avulla (King 2011, 18)

Askelvastemenetelmässä prosessille suoritetaan askelvastekoe, jossa tasapainotilassa olevaan säätimen lähtöön tehdään askelmainen muutos ja prosessin reagointi tallennetaan esimerkiksi piirturilla. Prosessin mitatusta reaktiosta selvitetään merkittävien aikavakio t , viive L sekä suhteellinen vahvistuskerroin K . Merkittävin aikavakio selvitetään askelvasteen jyrkimmän muutoskohdan tangentin avulla. Aikavakiona pidetään sitä aikaa, joka kuvaajassa jää jyrkimmän tangentin tasapainotilojen leikkauspisteiden väliin (kuva 5). Näillä tiedoilla voidaan taulukon 1 mukaisilla kaavoilla laskea viritysparametrit säätimelle. (Savolainen & Vaitinen 2007, 41–42.)

TAULUKKO 1. Ziegler-Nicholsin askelvastekokeen mukaiset viritysparametrit (Harju & Marttinen 2000, 115)

	K_p	T_i	T_d
P	$t/(KL)$		
PI	$0,9t/(KL)$	$3L$	
PID	$1,2t/(KL)$	$2L$	$L/2$

Värähtelyrajamenetelmässä prosessin säädin viritetään P-säätimeksi, jonka vahvistuskerrointa kasvatetaan, kunnes prosessi värähtelee tasaisella amplitudilla. Tämä vahvistuskerroin on kriittinen vahvistus K_u . Värähtelyn jaksonaikaa, joka

syntyy kyseisellä vahvistuksella, kutsutaan kriittiseksi jaksonajaksi P_u . Taulukossa 2 on värähtelyrajakokeen mukaiset viritysparametrien laskukaavat. (Savolainen & Vaitinen 2007, 43–44)

TAULUKKO 2. Ziegler-Nicholsin värähtelyrajakokeen mukaiset viritysparametrit (Harju & Marttinen 2000, 115)

	K_p	T_i	T_d
P	$0,50K_u$		
PI	$0,45K_u$	$0,83T_u$	
PID	$0,60K_u$	$0,50T_u$	$0,125P_u$

Ziegler-Nichols -menetelmän mukaisen virituksen antaessa värähtelevän vasteen sopii tähän opinnäytetyöhön paremmin ITAE-menetelmä. Tämä menetelmä perustuu absoluuttisen virheen aikapainotetun integraalin minimoimiseen. ITAE on lyhennelmä englanninkielisestä selitteestä *integral over time of the absolute error*. Tämä menetelmä antaa prosessille rauhallisen vasteen, hyvin vähäisellä värähtelyllä. Prosessiarvot voidaan selvittää Ziegler-Nichols -menetelmän mukaisella askelvastekokeella. Näistä arvoista voidaan taulukon 3 kaavojen avulla laskea viritysparametrit. (King 2011, 57–59.)

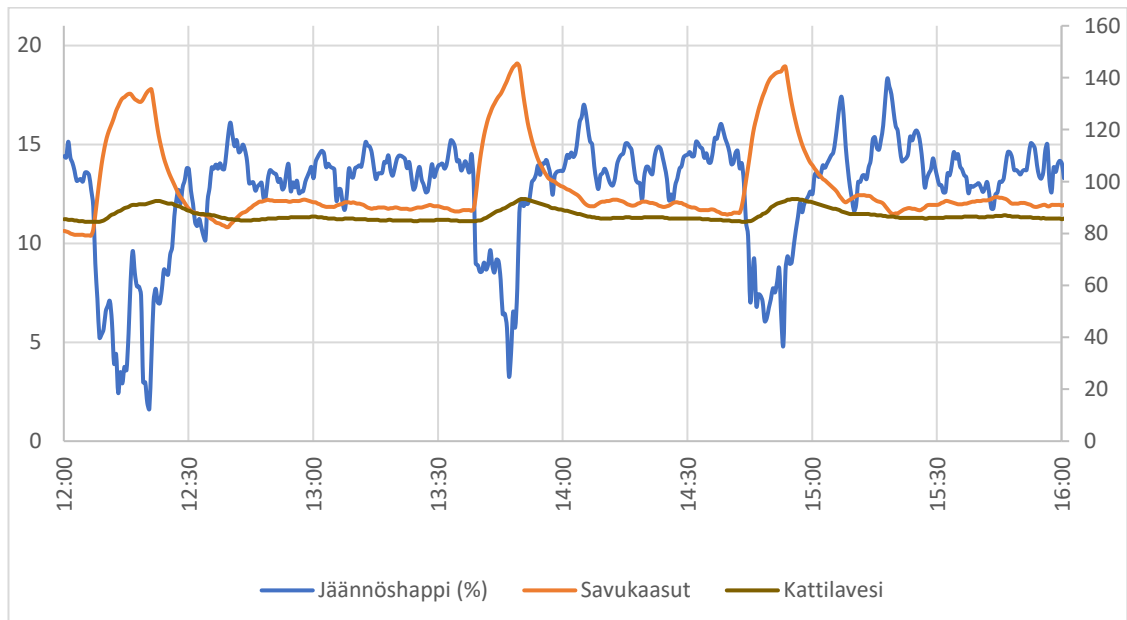
TAULUKKO 3. ITAE-viritysparametrien kaavat (Lopez, Miller, Smith & Murril 1967, 57–62, Kingin 2011, 58 mukaan)

	$K_p = \frac{A \left(\frac{L}{t}\right)^B}{K_u}$		$T_i = \frac{\tau}{A \left(\frac{L}{t}\right)^B}$		$T_d = A \left(\frac{L}{t}\right)^B \tau$	
	A	B	A	B	A	B
P	0,490	-1,084				
PI	0,859	-0,977	0,674	-0,680		
PID	1,357	-0,947	0,842	-0,738	0,381	0,995

6 STOKERIKATTILAN OHJAUS

6.1 Alkuperäinen releohjaus

Alkuperäinen stokerikattilan ohjaus koostui potentiometreillä säädettävistä aika-releistä, apureleistä ja moottorinsuojakytkimestä (liite 1). Kattilan termostaatilla ohjattiin laitteisto joko tauko- tai kuormatulelle. Molemmat tilat ohjasivat aikoja, joina polttoainetta syötettiin palopäälle ja joina odotettiin polttoaineen palamista ennen uuden polttoaineannoksen syöttämistä. Taukotulella kattilaan syötettiin pieni määrä polttoainetta tulen ylläpitämiseksi. Pienellä polttoaineen määrällä kattilaveden lämpötila saatiin laskemaan. Kuormatulella polttoainetta syötettiin enemmän, jolloin kattilan lämpötila nousi. Tauko- ja kuormatulen avulla saatiin aikaan kaksipistesäädin, jolla kattilavettä lämmitetään tai jäähdytetään tulta sammuttamatta. Lisäksi kuormatulella syötettiin lisäilmaa liekin lämpötilan nostamiseksi. Kuviosta 7 nähdään savukaasujen tarpeettoman suuri lämpötila kuormatulella. Samalla savukaasujen jäännöshapen määrä voi pudota ajoittain hyvin alhaiseksi. Taukotulen aikana savukaasujen lämpötila on puolestaan hieman alhainen ja jäännöshapetta on liiaksi.



KUVIO 7. Alkuperäisen ohjauksen monitorointi

Alkuperäisen ohjauksen komponenteista kontaktorit, moottorinsuojakytkin ja yllämpötermostaatti olivat käyttökelpoisia uudessakin ohjauksessa. Järjestelmään on lisätty arina, joka ei kuitenkaan ole kuvattu alkuperäisessä ohjauksessa. Myös arinan ohjauskomponentit olivat uudelleen käytettävissä. Modernisoinnin vaatima monitorointi ei olisi onnistunut käyttämällä näitä komponentteja uudessa ohjauksessa, joten modernisoituun ohjaukseen valittiin vastaavat komponentit. Alkuperäisen ohjauksen komponentit toimivat varaosina uudessa ohjauksessa.

6.2 Lisättävä toiminnallisuus

Alkuperäinen ohjaus ei reagoinut lämpöenergian tarpeen muutokseen esimerkiksi ulkolämpötilan muuttuessa. Jos kuormatulen polttoainemäärä ei riittänyt tai odotusaika oli liian pitkä, kattilaveden lämpötila laski. Jos kuormatulen polttoainemäärä oli liian suuri, kattilaan ei voitu syöttää riittävästi ilmaa tehokkaan palamisen takaamiseksi. Epätäydellinen palaminen laski lämmönsaantia merkittävästi. Taukotulen säätö oli tasapainoilemista kattilan sammumisen ja halutun lämpötilan laskun kanssa. Taukotulella koetettiin tuottaa mahdollisimman vähän lämpöenergiaa, jolloin polttoaineen laatuvariaatiot vaikuttavat säätöihin eniten. Mikäli polttoainemäärä oli liian suuri tai odotusaika liian lyhyt, kattilaveden lämpötila nousi. Kattilaveden lämpeneminen molemmilla käyttötiloilla johtaa kattilan sammumiseen yllämpötermostaatin ohjaamana. Taukotulella liian pitkä odotusaika tai liian lyhyt syöttöaika sammutti tulen. Modernisoinnin yhteydessä lisättiin kattilaveden lämpötilan mittaus, joka ohjaa polttoaineen syöttöä. Näin ei tarvita erillisiä käyttötiloja ja polttoainetta poltetaan aina vain tarvittava määrä, polttoaineen laatuvariaatioista huolimatta.

Ilmamäärää kattilassa on säädetty muuttamalla mekaanisen sulkupellin asentoa ennen puhallinta. Puhallin oli käytössä vain kuormatulen aikana. Ilman lisäpuhallusta taukotulen polttoainemäärä oli helposti liian suuri, mikä johtaa nopeavaan palamiseen. Modernisoidussa ohjauksessa kattilan savukaasuista mitataan happipitoisuus, jonka perusteella ohjataan puhallimen pyörimisnopeutta jatkuvasti. Kun ilmamäärää ohjataan jatkuvasti, on palaminen mahdollisimman täydellistä palon joka vaiheessa. Taloudellisesti oli järkevää vaihtaa myös puhallin sellaiseen, jossa ei tarvita erillistä pyörimisnopeuden säädintä.

Palotapahtumaa on ohjattava niin, ettei savukaasujen lämpötila laske liian alhaiseksi. Jos savukaasujen lämpötila laskee liian alas, on riskinä rikkitrioksidin tiivistyminen kattilanpinnoille veden kanssa, jolloin muodostuu pintoja syövyttävää rikkihappoa. Toisaalta savukaasujen lämpötilan on oltava mahdollisimman alhainen korkean hyötysuhteen saavuttamiseksi. Pienin savukaasujen lämpötila teräspiipulla on 120 °C (Ala-Talkkari 1995, 18). Ylimääräilmakehrointia muuttamalla voidaan vaikuttaa savukaasujen lämpötilaan.

Lisäksi paloturvallisuutta lisättiin polttoainevaraston anturoinneilla. Polttoainevaraston kannen kiinniolo varmistettiin rajakytkimellä. Kannen aukiolosta annetaan välitön hälytys ja kattila sammutetaan, mikäli kansi on auki yli keskimääräisen varaston täyttöajan.

Prosessin valvontaa varten kattilahuoneeseen asennettiin HMI-paneeli, jolla voidaan ohjata kattilaa huoltotoimenpiteiden aikana ja säätää prosessiarvoja. Siemensin HMI-paneeliin voi ottaa etäyhteyden Ethernetin kautta, kun etävalvontaa tarvitaan, mutta työssä huomattiin tähän tarvittavan erillisen lisenssin. Niinpä etäkäyttö voidaan toteuttaa LOGO!:n sisäisellä web-palvelimella.

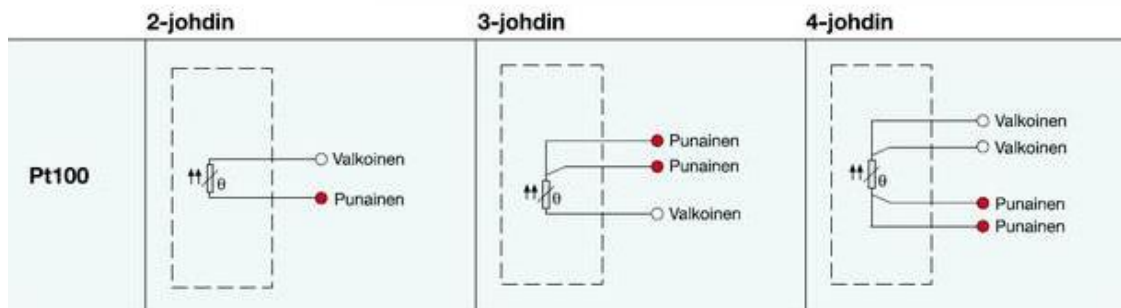
6.3 Lisättävät komponentit

6.3.1 Lämpötila-anturi PT100

PT100 on lämpötila-anturi, jonka toiminta perustuu platinan resistanssin kasvuun lämpötilan noustessa. Anturin resistanssi 0 °C:n lämpötilassa on 100 Ω. Resistanssi kasvaa 0,39 Ω, kun lämpötila nousee yhden asteen. (SKS Sensors n.d.)

Vastuksen muutokseen perustuvissa lämpötilan mittauksissa käytetään yleisesti kaksi-, kolmi- tai nelijohdinkytkentää (kuva 6). Siemens LOGO!:n on saatavilla lisämoduuli, johon PT100 voidaan kytkeä suoraan joko kaksi- tai kolmijohdinkytkennällä. Kaksijohdinkytkennässä johtimien resistanssi aiheuttaa jonkin verran virhettä lämpötilanmittaukseen. Kolmijohdinkytkennässä johtimien resistanssin

aiheuttama virhe voidaan kompensoida lähes kokonaan. Suurta tarkkuutta vaativissa mittaussovelluksissa on käytössä myös nelijohdinkytkentä. Käyttämällä lisämoduulia ei tarvita erillistä lähetintä, joka muuntaisi vastusarvon sähköiseksi standardiviestiksi, joita ovat 4-20 mA:n virtaviesti, sekä 0-10 V:n jänniteviesti.



KUVA 6. Pt100-johdinkytkennät (SKS Sensors n.d.)

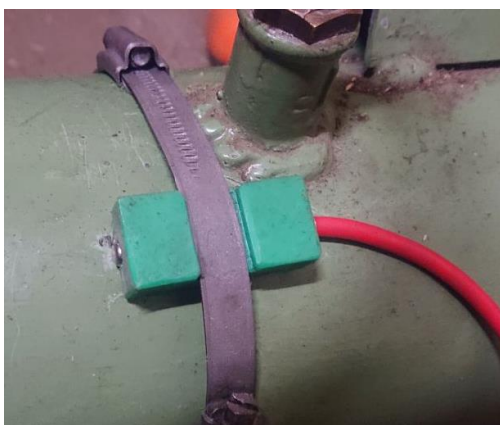
Kattilaveden ja syöttöputken antureiksi valittiin silikonikaapelilla varustettu edullinen malli. Savukaasujen anturiksi valittiin hieman korkeampaa lämpötilaa kestävä teflonkaapelinen malli. Kuvassa 6 näkyvät valitut lämpötila-anturit ja niille valmistetut suojaputket.

Lämpötila-antureiden liittämiseksi kattilaan valmistettiin erilaisia kiinnikkeitä. Kattilaveden mittaamista varten valmistettiin kattilan mittausnipaan sopiva messinkinen suojaputki, jolla voitiin varmistaa kattilaveden vuotamattomuus. Anturi pysyy paikallaan suojaputkessa tavallisella sähköjohdon läpiviennillä. Savukaasujen mittauksen suojaputki valmistettiin haponkestävästä teräksestä. Koska suojaputki ja sen alue oletettiin kuumemmaksi kuin kattilaveden kohdalla, valmistettiin suojaputkeen kartiopinnalla oleva mutteri ja sisäkierre, jolloin teflonnauhan palalla saadaan aikaiseksi vedonpoisto, joka kestää kuumuutta.



KUVA 7. Lämpötila-anturit ja niiden suojaputket

Polttoaineen syöttöputken lämpötilan mittausta varten valmistettiin muovista eristävä kiristysholkki, joka kiristettiin syöttöputken ympärille metallisella letkusiteellä (kuva 7).

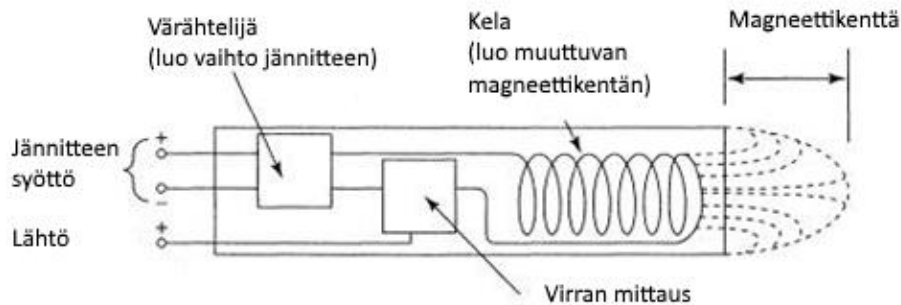


KUVA 8. Syöttöputken lämpötila-anturin kiinnitys

6.3.2 Induktiivinen anturi

Kun ilmatiivistä polttoainevarastoa pidetään turvalaitteena, suositellaan varaston kannen monitoroimista (Finanssialan keskusliitto 2017, 13). Aluksi varaston kannen monitorointiin suunniteltiin käytettäväksi turvarajaa. Rajan asentaminen riittävän robustiksi vaikutti kuitenkin haasteelliselta, joten päädyttiin induktiiviseen anturiin. Induktiiviselle anturille valmistettiin yksinkertainen pidike, jolla anturin asento on helppo säätää kohdalleen (kuva 10). Tavanomainen induktiivinen anturi koostuu värähtelijästä, kelasta ja virranmittauspiiristä (kuva 9). Kun anturiin syötetään jännite, värähtelijä luo kelan avulla muuttuvan magneettikentän. Kun

muuttuvaan magneettikenttään tuodaan metalliesine, indusoituu esineeseen pyörrevirtoja. Näin värähtelijään vaikuttaa muuttunut impedanssi. Impedanssin muutosta mitataan ja mittaustuloksista muodostetaan lähtötieto. (Fargo Controls Inc, n.d.; OMRON Corporation, n.d.)



KUVA 9. Induktiivisen anturin rakenne (PC-Control Ltd 2008, muokattu)

Induktiivisen anturin lähdöt ovat yleensä digitaalisia on–off -tietoja. Ne voivat olla joko PNP- tai NPN-tyyppisiä ja sekä avautuvia että sulkeutuvia. NPN-tyyppinen lähtö tarkoittaa kuvitellun kuorman kytkemistä anturin lähdön ja positiivisen syöttönavan välille. Toisin sanoen lähtö on aktiivisena negatiivisessa potentiaalissa ja muuten kelluvana. PNP-tyyppisessä lähdössä kuviteltu kuorma kytketään anturin lähdön ja negatiivisen syöttönavan välille. Tämän tyyppisessä lähdössä lähtö on positiivisessa potentiaalissa aktiivisena ja muutoin kelluvana. (Fargo Controls Inc n.d.)



KUVA 10. Induktiivisen anturin kiinnike

6.3.3 Jäännöshappianturi, Lambda-anturi

Puhtaaseen palamiseen johtavaa ilman ja polttoaineen suhdetta nimitetään, varsinkin autoteollisuudessa, lambdaksi. On siis luontevaa, että anturi nimitään useimmin Lambda-anturiksi kuvaavamman jäännöshappianturin sijaan. Bosch aloitti anturin kehittämisen vuonna 1970 autojen päästöjen vähentämiseksi ja on ensimmäinen lambda-anturien valmistaja. Bosch on myös luultavimmin suhdeluvun nimeäjä. Lambda-anturit lajitellaan yleisesti kapea- ja laajakaistaisiin antureihin. Kapeakaistaiset anturit reagoivat voimakkaasti jäännöshapen lisääntyessä. Kapeakaistaiset anturit ilmaisevat siten ilman tarpeen lisäämisen tai vähentämisen, mutta seossuhteen mittaaminen ei ole käytännössä mahdollista. Kapeakaistainen anturi mielletäänkin digitaalisen tilan anturiksi. Koska puunpoltossa yli-ilmamäärä on suuri, ei kapeakaistainen anturi sovellu tähän työhön. (Bosch, 2016.)

Kapeakaistainen lambda-anturi perustuu yleisimmin zirkoniumdioksidikennon jännitteen ja kennon läpi kulkevien happi-ionien virtaaman suhteeseen. Nernstin yhtälön mukaan kennon jännite E riippuu kaasujen konsentraatiosta C , paineesta P ja lämpötilasta T seuraavasti

$$E = \frac{RT}{4F} \log_e \frac{C_{O_1} P_1}{C_{O_2} P_2}, \quad (1)$$

jossa R on kaasuvakio ja F Faradayn vakio. Jos lämpötila ja vertailukaasun, tässä tapauksessa ilmassa olevan hapen, konsentraatio tunnetaan, voidaan mitattavan kaasun konsentraatio laskea helposti. Zirkoniumkenno kuljettaa happi-ioneita vain korkeassa lämpötilassa, minkä vuoksi nykyaikaisia antureita lämmitetään säädellysti erillisellä vastuksella. Säädetty lämpötila vakauttaa mittauksen. (Systech Illinois, n.d.)

Laajakaistainen lambda-anturi perustuu samaan zirkoniumkennon jännitteen ja happi-ionien virtaaman suhteeseen kuin kapeakaistainen lambda-anturikin. Laajakaistaisessa anturissa on kaksi erillistä zirkoniumdioksidikennoa: pumppukenno ja mittauskenno. Pumppukennoon kytketään sähkövirta, joka pakottaa happi-ionit kulkemaan kennon läpi. Pumppukennolla säädetään mittauskennon

happipitoisuutta, joka koetetaan pitää stoikiometrisenä. Pumpukennoon syötettävä virta on tällöin verrannollinen mitattavan kaasun happipitoisuuteen. Mikäli mitattavassa kaasussa on merkittävä happivajaus, kääntyy sähkövirran kulku suunta. Tämä antaa anturille laajan toiminta-alueen, jopa 0,7 ilmakertoimesta puhtaaseen ilmaan asti. (Tech Edge, 2010)

6.3.4 Jäännöshappilähetin

Ohjausjärjestelmään kytketään jäännöshappilähetin, joka hoitaa lambda-anturin ohjaamisen siten, että mittaus on mahdollinen ja muuntaa mittaussignaaliin automaatiojärjestelmiin soveltuvaksi. Markkinoilla on anturiin integroitua lähettämiä, mutta käyttämällä erillistä lähetintä voidaan hyödyntää ajoneuvoteollisuudelle massatuotettuja anturimalleja. Autoteollisuuden antureilla saavutetaan pitkä elinkaari ja edulliset varaosat.

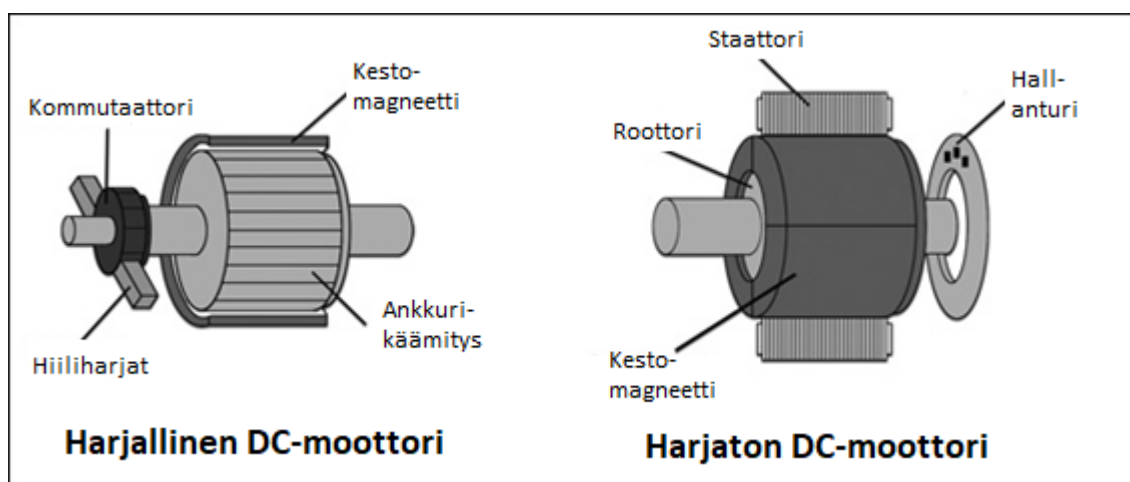
Jäännöshappilähetin on valmistettu erityisesti automaatiosovelluksiin. Käyttöjännite on näin ollen 24 voltia. Jäännöshappilähetin perustuu Boschin valmistamaan integroituun piiriin. Piiri muun muassa lukee anturin kalibrointitiedot, tekee signaalikäsittelyn sekä hoitaa vikadiagnostiikkaa. Lähettimestä saadaan useita erillisiä analogisia viestejä, kuten 4–20 mA:a, 0–5 V:a ja 0–10 V:a. Virhesignaalille on digitaalinen lähtö ja tarkemmat diagnostiikkatiedot voidaan lukea RS232-sarjaliikenneväylää pitkin. Jäännöshappilähettimen diagnostiikkaa tarvittiinkin stokerikattilan modernisoinnissa heti anturin kytkennän jälkeen, sillä se paljasti päivityksestä anturimallista johtuneen virheellisen anturin kytkennän.

Jäännöshappilähetin on koteloimaton. Kattilahuoneen ollessa melko iso lähetin päädyttiin asentamaan erilliseen metallikoteloon lähelle mittauspistettä. Tämä helpottaa elektroniikan lämpötilanhallintaa ja mahdollistaa lyhyet anturikaapelit.

6.3.5 Säädettävä puhallinmoottori

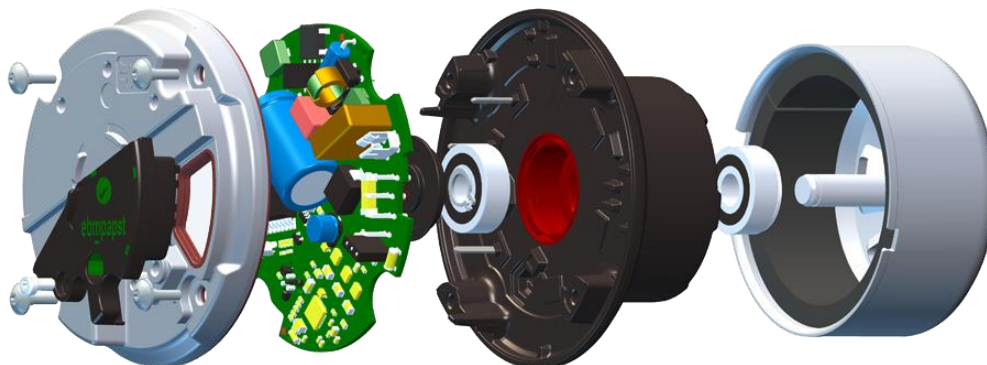
Järjestelmän alkuperäinen puhallinmoottori oli yksivaiheinen ja kondensaattori-käynnisteinen. Se toimi vakiokierroksilla. Modernisoidulla ohjauksella oli tarkoitus mahdollistaa puhaltimen pyörimisnopeuden ohjaaminen. Standardiviestillä ohjattava puhaltimensäädin on kustannuksiltaan tasavertainen modernin, sisäänrakennetun säätimen sisältävän puhaltimen kanssa. Kolmivaiheisten puhallinmoottorien valikoima alkaa paljon vaadittua tehoa suuremmasta luokasta. Puhallinmoottorilla, johon säädin on integroitu, saavutetaan korkeampi hyötysuhde, hiljaisempi käyntiääni ja vähäisemmät häiriöt verrattuna edellä mainittuihin moottorivaihtoehtoihin. Puhaltimen valintaperusteena käytettiin alkuperäisen puhaltimen tehoa sekä aiemmin laskettua palamisilmamäärää.

Näiden tietojen perusteella puhaltimeksi valikoitui ebm-papstin valmistama 66 watin EC-puhallin. EC-puhallin perustuu hiiliharjattomaan moottoritekniikkaan. Lyhenne EC tulee englannin kielen sanoista *electronically commutated* eli elektronisesti kommutoitu. Kommutointi tarkoittaa käytännössä virran ohjausta moottorin käämeihin siten, että moottorin sisälle syntyy pyörivä magneettikenttä. Kun kommutointi tehdään elektroniikan ohjaamana, moottorissa ei tarvita hiiliharjoja eikä kommutaattoria. Tästä tulee nimitys hiiliharjaton moottori. Tätä harjattoman ja harjallisen moottorin rakenteiden eroa havainnollistaa kuva 11.



KUVA 11. Harjattoman ja harjallisen moottorin rakenteelliset erot (Elinco International 2018, muokattu)

Hiiliharjojen puuttuminen parantaa hyötysuhdetta poistamalla kitkoja moottorin mekaanisesta rakenteesta. Kestomagnetoidun roottorin ja kehittyneen ohjauksen avulla moottorin hyötysuhde kasvaa sähköisesti, etenkin matalilla kierroksilla. Ebm-papstin puhaltimessa harjattoman moottorin roottori on staattorin ulkopuolella, mikä yksinkertaistaa moottorin säätöelektronikan integroimista (kuva 12). (Ebm-papst 2008.)



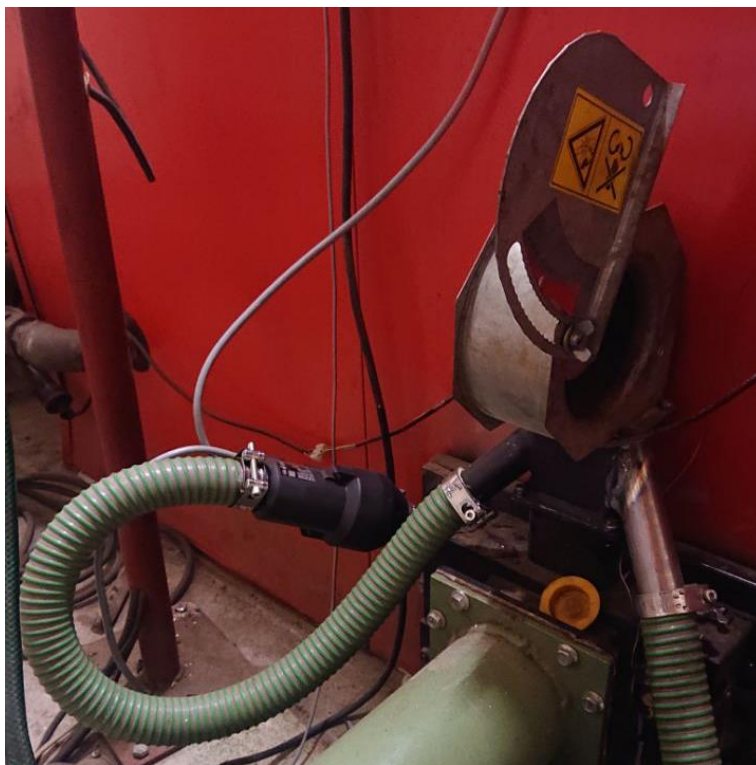
KUVA 12. EC-puhallinmoottorin rakenne (ebm-papst 2015)

EC-puhaltimen käyttöjännite on 230 V, ja siinä on sisäänrakennettu ylikuormitus-suojaus. Moottorin kierroslukua voi ohjata PWM-signaalilla tai 0–10 V:n analogi- viestillä. Potentiometriohjausta varten moottorissa on 10 V:n lähtö. Moottorissa on digitaalinen avokollektorilähtö kierrosluvun mittaamista varten. Lähdön jännite ohjataan kerran kierroksessa analogiseen nolapotentiaaliin. Niinpä laite on yksinkertainen kytkeä automaation ohjaamaksi.

6.3.6 Sytytyspuhallin

Sytytyspuhaltimeksi valikoitui Leisterin valmistama IGNITER BM4, joka on suunniteltu erityisesti hake- ja pellettikattiloiden sytyttimeksi. Puhaltimen kokonaissähköteho on 1600 W. Puhaltimen moottori ja vastuselementti voidaan kytkeä toimimaan erikseen. Stokerikattilan palopäässä oli valmiiksi asennuspaikka sytyttimelle. Sytyttimen imuilman tuonti oli ratkaistava siten, etteivät palokaasut pyri takaisin pannuhuoneeseen, kun puhallin sammuu. Tämä ratkaistiin tuomalla

imuilma sytytyspuhaltimelle paloilmapuhaltimen painepuolelta. Näin sytytyspuhaltimen imuilmanpaineen tulisi olla korkeampi kuin savukaasujen. Tämä ratkaisu vaati uuden paloilmapuhaltimen kiinnikkeen valmistamisen (kuva 13).



Kuva 13. Paloilmapuhaltimen uusi kiinnike

Paloilmapuhaltimen kiinnikkeeseen lisättiin lähtö myös toisiopaloilmalle. Lisäilmaohjaus paransi hieman savukaasujen jäännöshapen hallittavuutta.

6.4 Modernisoitu ohjaus

6.4.1 Sähköiset kytkennät

Kytkentäkaaviot piirrettiin Proficad -ohjelmalla, joka on ilmainen ei-kaupallisessa käytössä (liite 2). Ohjelma on helppo omaksua yksinkertaisten tulostusasetusten ja kattavan, helposti muokattavan symbolikirjaston avulla. Esimerkiksi Logo!-n komponentit löytyvät kirjastosta jo valmiina. Valittujen komponenttien päävirtapiirien suunnittelu oli suoraviivaista. Instrumentoinnin ja automaation yhteensovitta-

minen oli haasteellisempi osuus. Esimerkiksi avokollektorilähdön kytkentä automaatiojärjestelmään ei ollut entuudestaan tuttu asia, vaikka kyseessä olikin yksinkertaisesti vain sopivan, niin kutsutun ylösvetovastuksen kytkentä käyttöjännitteen ja logiikan sisäänmenon yhteyteen. Kytkeä muuttettiin suunnittelun edetessä useasti. Vielä sähkökeskuksen johdotusvaiheessa tuli tarpeita muuttaa suunnitelmaa.

Kun komponentit oli valittu ja päävirtapiirit suunniteltu, hahmoteltiin komponenttien asemat. Kunkin komponentin paikan ja äärimittojen perusteella valittiin sähkökaappi. Kaappia valittaessa pidettiin silmällä myös tulevaisuuden tarpeita. Esimerkiksi taajuusmuuttajaohjattu syöttöruuvi saattaa tulevaisuudessa korvata releohjatun ruuvin.

Vanhojen kenttälaitteiden käyttöjännite tippuu modernisoinnin yhteydessä pienjännitteeksi. Kontaktorien käyttöjännitteet päätettiin kuitenkin katkaista ylälämpötermostaatin ohjaamana. Niinpä kontaktorien ja käyttölaitteiden ohjausjännitteet katkeavat ylälämpötermostaatin ohjaamalla releellä. Ylälämpötermostaattiin on integroitu myös muita termostaatteja, joten johdotusta tuli muuttaa termostaatin sisällä jokaisen termostaatin tilan erikseen lukemiseksi. Kaapeloinneissa teho ja instrumentointisignaalit kuljetettiin omissa kaapeleissaan. Instrumentointikaapelit on suojattu ja suojavaippa on maadoitettu vain sähkökeskuksen päästä. Tällä pyritään estämään häiriöt varsinkin analogisissa viesteissä.

Työtä tehdessä tuli selväksi kytkentäkaavion osuus vain yhtenä osana sähköistystä. Komponenttien sijainti sähkökaapissa ja kattilahuoneessa vaikuttaa johdotukseen. Jopa kytkentää tehdessä voi huomata selkeän tarpeen muuttaa kytkentää yksinkertaisemmaksi tai edullisemmaksi. Ensimmäisessä suunnitelmassa saattaa olla virheitä, jotka huomataan vasta asennustilanteessa.

6.4.2 Sytytys

Kattilaan ei opinnäytetyön puitteissa ollut tarkoitus asentaa automaattisytytintä. Myöhemmin mahdollisesti asennettavaa automaattisytytystä varten varatiin lähdöt automaatiojärjestelmään. Kun ohjausta viritettiin sään lauhtuessa, huomattiin pienellä tehon tarpeella vaikeuksia pitää liekkiä yllä järkevillä savukaasujen arvoilla. Niinpä automaattinen sytytyslaitteisto päätettiin kuitenkin asentaa ja ohjelmoitiin järjestelmään.

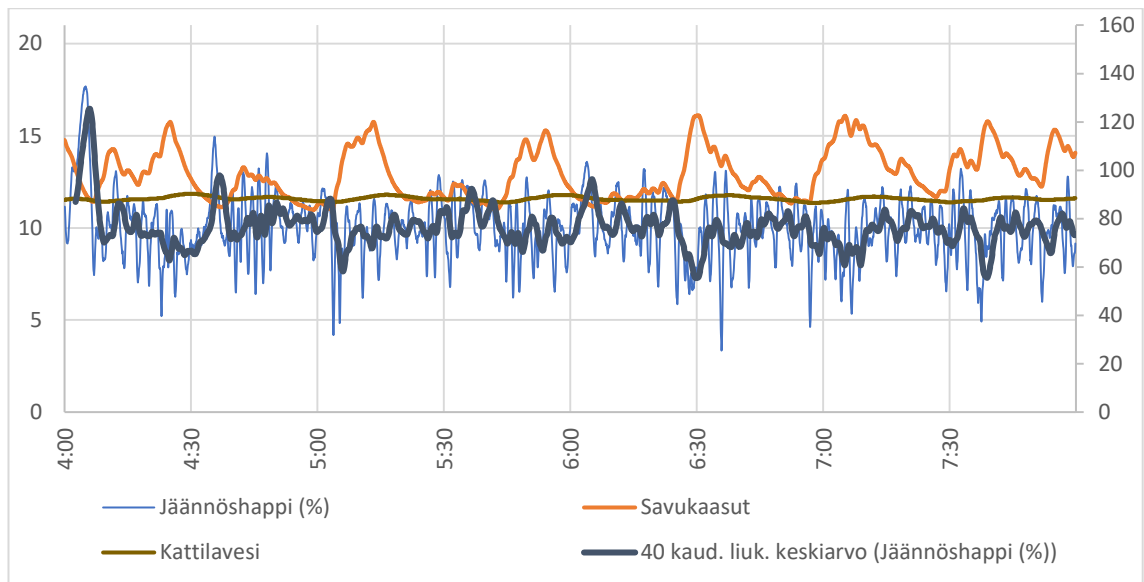
Automaattisytytin on tarkoitukseen valmistettu tehokas kuumailmapuhallin. Puhallin toimii yksivaiheisella vaihtojännitteellä, ja siinä on erilliset navat puhaltimen ja sytytysvastuksen ohjaamiseksi. Sytytys tapahtuu syöttämällä kattilaan haketta käyttäjän määrittelemän ajan, jonka jälkeen paloilmapuhallin ja sytytyspuhallin käynnistyvät käyttäjän määrittelemäksi maksimiajaksi. Sytytyspuhaltimen sammussa jää sen puhallin pyörimään vielä joksikin aikaa. Näin sytytysvastuksen pintalämpötila ei kasva puhalluksen äkkiä loppuessa, mikä kasvattaa vastuselementin käyttöikä. Mikäli tuli ei syty, toistetaan sytytys sykli kolmesti. Tämän jälkeen ohjaus päätyy häiriötilaan ja käyttäjälle näytetään virheilmoitus. Mikäli polttoaineen syöttöarvon ja taukoajan raja-arvot ylittyvät, asetetaan kattila sammumaan. Käyttäjän asetuksista riippuen kattila sytytetään uudelleen, kun kattilaveden lämpötila on laskenut riittävän alas. Tällaisen sammutuskäytön lisänä olisi hyvä olla automatiikkaa myös lämminvesivaraajan ohjauksessa siten, ettei varaajan energialla lämmitetä turhaan kattilaa eikä toisaalta lämmitetä varaajaa ennen kuin muussa kierrossa riittää lämmin vesi.

Ohjauksessa on vaihtoehto sytyttämiseen manuaalisesti nestekaasupolttimella, esimerkiksi automaattisytyttimen mahdollisessa vaurioilanteessa. HMI-paneelistä asetetaan manuaalinen sytytystila ja hakkeen syötön loputtua asetetaan nestekaasupoltin paikalleen. Puhallinta pidetään päällä tietyllä teholla, kunnes käyttäjä poistaa polttimen. Poltin pyydetään poistamaan savukaasujen saavuttaessa riittävän lämpötilan. Käyttäjän vahvistettua polttimen poiston kattila siirtyy automaattitilaan.

6.4.3 PI-säätimet ja palaminen

PI-säädin sopii hyvin kattilan ohjaukseen, sillä lämmitysprosessi on hidas ja säädin voidaan virittää rauhalliseksi. PI-säätimiä käytetään kattilan polttoaineen syötön sekä ilmamäärän ohjauksessa. Ilmamäärän ohjauksessa viritys täytyy olla hieman nopeampi kuin polttoaineen syötön ohjauksessa. Säätimien optimaalinen viritys osoittautui haasteelliseksi muuttuvan energiantarpeen ja polttoaineen ominaisuuksien vaihtelun takia. Erilaisten viritysmenetelmien vaatimat kokeet vaativat yleensä jonkinlaisen tasapainotilan, jota tuntui olevan vaikea saavuttaa. Näin ollen virittäminen jouduttiin tekemään kokeilemalla eri parametreja.

Palamista ohjataan kattilaveden lämpötilan mukaan PI-säätimellä. Säädin ohjaa polttoaineen syöttötaukosuhdetta. Säätimen ohjearvon asettaa käyttäjä. Puhtaan palamiseen tarvitaan riittävästi ilmaa. Palamisilmapuhallinta ohjataan savukaasujen jäännöshapen mukaan PI-säätimellä. Palamisilman ohjearvo muodostetaan savukaasujen ja kattilaveden lämpötilasta yksinkertaisella ohjearvokartalla. Jos savukaasut ja kattilavesi ovat riittävän lämpimiä, voidaan ilmakerrointa pienentää. Polttoaineen syötön jaksonaika säätty toteutuneen ilmamäärä ohjauksen avulla. Mikäli puhaltimen ohjauksella ei saada riittävästi yli-ilmamäärää, syöttöaika harvenee. Kuvioista 8 nähdään kattilaveden lämpötilasäätimen pitävän veden lämpötilan melko tasaisena. Myös palamisilman ohjearvon muutokset savukaasun lämpötilan tasaamiseksi näkyvät kyseisestä kuvioista hyvin. On myös huomattava, että savukaasujen jäännöshapen määrä pysyy optimaalisella alueella.



KUVIO 8. Modernisoidun ohjauksen monitorointi

Syöttöruuvien moottorinsuojakytkin asetettiin automaattisesti kuittautuvaan tilaan. Suojakytkimen palautuessa käyttövalmiuteen peruutetaan syöttöruuvia muutamman sekunnin ajan. Ruuvia peruuttamalla saadaan haketus poistumaan itsestään. Arinan putsaus tapahtuu sen palovaiheen puolivälissä, millä ruuvi on pyörinyt määritellyn ajan. Näin arinalle muodostuu lähes vakiomäärä tuhkaa ennen putsausta, riippumatta siitä, kuinka usein tai kuinka pitkään ruuvi pyörii.

6.4.4 Sammutus

Sammutus tehdään joko käyttäjän pyynnöstä tai turvatoimena. Kattilan turvatoimia ovat ylikämmön, takapalon tai polttoainevaraston luukun auki jäämisen havaitseminen. Kattilan ylikämpö pyritään havaitsemaan lämpötilan mittauksella. Mikäli anturi esimerkiksi vikaantuu, käytetään kattilan alkuperäistä ylikämpösuoja polttoaineen syötön pysäytykseen muusta järjestelmästä riippumatta. Automaatiojärjestelmä havahtuu takapaloon ennen sammutusjärjestelmiä. Takapalon leviäminen pyritään estämään syöttämällä polttoainetta kattilaan tietyn aikaa. Mikäli polttoaineen syöttö ei saa takapaloa estetyksi, pysäytetään polttoaineen syöttö ja paloilmapiuhallin. Kun takapalo laajenee kattilan pysähtyessä, sammutusjärjestelmä havahtuu ja sammuttaa takapalon. Polttoainevaraston luukun avaaminen aiheuttaa välittömän hälytyksen. Mikäli hälytys on aktiivinen yli tavanomaisen polttoaineen täydennyksen ajan, kattila sammutetaan.

7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli modernisoida maatilayhtymän tarvitseman lämpöenergian tuottamisessa hyödynnettävän stokerikattilan ohjaus. Modernisoinnin tarpeen taustalla olivat releohjatun kattilan ominaisuudet, jotka lämmöntarpeen muutoksissa vaativat käyttäjältä toimenpiteitä. Tarkoitus oli saada käyttöön ohjelmoitava ohjausjärjestelmä, lämpöenergiantuotannon automaattisen säädön mahdollistaminen, toimintavarmuuden parantaminen sekä palotapahtuman hyötysuhteen ja siten myös ekologisuuden parantaminen.

Projekti, jossa uuden automaatiojärjestelmän potentiaalinen virhetilanne aiheuttaa haittaa asiakkaalle, on haasteellinen modernisoitava, varsinkin toiminnallisuuden lisääntyessä. Hyvilläkin pohjatiedoilla ja huolellisella suunnittelulla projektissa tulee yllätyksiä. Tässä projektissa suurimpia haasteita tuottivat muun muassa hormin hyvä veto ja täten savukaasujen jäännöshapen arvojen suuret muutokset kattilan saadessa palamiseen osallistumatonta ilmaa tuhkatilan kautta. Tuhkatilaa tiivistettiin siten, että savukaasuihin ei päässyt sekoittumaan ylimääräistä ilmaa.

PI-säätimien virittäminen erilaisten viritysmenetelmien avulla huomattiin haasteelliseksi prosessin muuttuessa jatkuvasti. Muutoksia prosessiin tuottavat muutokset niin polttoaineessa kuin energiantarpeessakin. Paloilman säätimen virittämisessä kattilan vuotoilman lisäksi ongelmaksi muodostui paloilman vaiheistamisen puute. Kattilassa paloilmapuhallin on yhteinen ensiö- ja toisioilmalle. Savukaasujen jäännöshapen säädön tulisi vaikuttaa ainoastaan toisioilmamäärään. Kuviosta 8 voidaan huomata jäännöshappipitoisuuden laskiessa savukaasujen ja kattilaveden lämpötilojen nousu. Tämä johtuu edellä mainitun vaiheistamisen puuttumisesta. Kun puhallinta ohjataan pyörimään nopeammin alhaisen savukaasujen happipitoisuuden takia, lisää se ensiöilman määrää, jolloin hake palaa nopeammin, mikä liian pienellä toisioilmalla johtaa savukaasujen happipitoisuuden laskemiseen entisestään ja täten ohjaa puhaltimen pyörimään entistä nopeammin. Kun palaminen on tehokkaampaa, kattilaveden ja savukaasujen lämpötila nousee. Säätimet reagoivat lämpötilojen nousuun ja hillitsevät palamista muuttamalla polttoaineen syöttöä sekä ilmamäärän ohjearvoa. Ensiöilmaa tulisi

säätää vain tehon tarpeen lisääntyessä. Tämä ongelma osoittautui niin suureksi, että tulipesään tehtiin erillinen toisioilman syöttö, joka kuitenkin toimii samalla paloilmapuhaltimella. Kuvio 8 on muodostettu toisioilmasyötön lisäämisen jälkeen, mutta ongelma on edelleen nähtävissä.

Opinnäytetyön kokonaisvaltaisuus ja laajuus yllättivät. Suunnittelu ja ajatustyöskentelyn ovat rajapintoja käytännön ja teorian välillä. Sähköteknisen suunnittelun ja halutun toimintalogiikan miettimiseen käytetty ajatustyöskentely sekä keskustelut ovat abstrakteina prosesseina melko haastavia raportoitaviksi. Vaikka esitetyt tulokset ovat yksinkertaisia, ne eivät syntyneet vaivatta. Se, että työstä saatiin tuloksina toimiva käyttöliittymä, automaattinen kattilaohjaus ja kytkentäkaaviot, on opettanut paljon automaatiojärjestelmän suunnittelemisen kokonaisvaltaisuudesta. Työssä ilmenneiden ongelmien ja kehitystarpeiden ratkaisemiseksi ja toimivan järjestelmän valmistamiseksi täytyi työssä myös suunnitella ja valmistaa erilaisia mekaanisia osia. Tällainen mekaanisten osien suunnittelu ja valmistaminen sopivat hyvin monialaisen koulutusohjelman opinnäytetyöhön.

Työn tuloksena syntyi toivotunlainen stokerikattilan ohjaus. Verrattaessa kuvioita 7 ja 8 voidaan todeta palotapahtuman olevan hallitumpaa kuin ennen, mikä lisää paloturvallisuutta. Kattilaveden lämpötila pysyy tarpeellisella tarkkuudella halutussa lämpötilassa savukaasujen lämpötilan ja jäännöshapen pysyessä samalla maltillisemmissa lukemissa, säätimien virityksen haasteista huolimatta. Kuviot eivät ole täysin vertailukelpoisia, sillä alkuperäisen ohjauksen kuvion tiedot on kerätty kevättalvella, jolloin energian tarve on suurimmillaan. Modernisoidun ohjauksen kuvion tiedot on kerätty, kun yöpakkaset olivat enää satunnaisia ja lämpöenergian tarve oli jo vähäistä. Tämä näkyy alhaisena savukaasun lämpötilana kattilaveden ollessa edelleen lämmintä. Lisätyn automaattisyytytyksen avulla ei kattilassa tarvitse pitää pientä ja huonoilla savukaasuarvoilla palavaa liekkiä. Voidaan todeta tavoitteen energiatehokkuuden ja toimintavarmuuden kasvamisesta täytyneen.

Modernisoidun ohjauksen palamisarvojen odotetaan olevan tulevana talvena mittattua kuviota parempia. Suurin kehittämisen tarve on palamisilman syötön vaiheistaminen kattilan palamisarvojen vakauttamiseksi. Lisäksi etähallintaa ja kattilan säätimien viritystä voidaan parantaa entisestään.

LÄHTEET

Ala-Talkkari. 1995. VETO Turve/hakemaatti. Asennus ja käyttöohjeet.

Alakangas, E. 1992. Taloustulisijojen käyttö. Helsinki: Rakennustieto.

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258. Espoo: VTT.

Ariterm. 1999. Arimax Bio 50-2000. Asennus- ja käyttöohjeet.

Bioenergian Pikkujättiläinen. N.d. Laitevalinnat. Luettu 12.4.2018.
<http://www.bioenergieneuvoja.fi/biolampolaitos/laite-valinnat/>

Bosch. 2016. 40 years of Bosch lambda sensors. Luettu 16.4.2018.
<http://www.bosch-lambdasonde.de/en/40-jahre.htm>

Elinco International. 2018. Construction difference of brushless vs brushed motor. Luettu 4.4.2019. <http://www.e-jpc.com/blog/?p=171>

ebm-papst Oy. 2008. Mitä erikoista on EC-puhaltimissa?. Luettu 10.6.2018.
http://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku__Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf

ebm-papst GmbH. 2015. The future of refrigeration, air conditioning and building technology. Luettu 15.6.2018. https://mag.ebmpapst.com/de/branchen/kalte-klima/kompakte-ec-motoren-fuer-leistungsfahige-ventilatoren-und-geblaese_12440/

Fargo Controls. N.d. Operating principles for inductive proximity sensors. Luettu 25.3.2019. https://www.fargocontrols.com/sensors/inductive_op.html

Finanssiala ry. 2017. Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen paloturvallisuus. Luettu 27.3.2018. http://www.finanssiala.fi/vahingontorjunta/dokumentit/Kiinteän_polttoaineen_lampokeskuksen_paloturvallisuus.pdf

Hamed, B. 2011. Lect 6 Fuzzy PID Controller. Luentomateriaali.

Hakkila, P. 2013. Biomassan synty ja palaminen. Teoksessa Knuutila, K. (toim.) Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Ensimmäinen painos. Espoo: Otamedia.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki:Edita

Hägglund, T & Åström, K. 1996. PID Control. Teoksessa Lewine, W (ed.) The Control Handbook. United States of America: CRC Press Inc.

King, M 2011. Process Control A Practical Approach. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.

OMRON Corporation. N.d. Proximity Sensors. Luettu 25.3.2019. <http://www.ia.omron.com/support/guide/41/introduction.html>

SKS Automaatio. N.d. Miten Pt100-anturi toimii?. Luettu 10.4.2018. <http://www.skssensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>

Savolainen, J. & Vaittinen, R. 2007. Säättötekniikan perusteita. Ensimmäinen painos. Helsinki: Hakapaino

Siemens AG. 2015. LOGO! Functions. Luettu 13.11.2018. https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/logo-software/Documents/logo_functions_en_web.pdf

Siemens AG. 2017a. VM mapping parameters. Luettu 14.11.2018. <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/100782807?c=85315142923>

Siemens AG. 2017b. Basics. Luettu 14.11.2018. <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/100782807?c=88108823947>

Siemens AG. 2018a. LOGO! Technical Data. Luettu 13.11.2018. https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/Documents/logo_tech_data_basic_en.pdf

Siemens AG. 2018b. Demo software, upgrades/updates, drivers. Luettu 13.11.2018. <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/demo-software/pages/default.aspx>

Siemens AG. 2018c. LOGO! basic modules without display. Luettu 13.11.2018. <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-pure-variants/Pages/Default.aspx>

Siemens AG 2018d. Getting started - first steps with LOGO!. Luettu 12.11.2018. <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/Pages/getting-started.aspx>

Siemens AG. 2018e. LOGO! expansion modules. Luettu 15.11.2018. <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-expansion-modules/Pages/Default.aspx>

Siemens AG. 2018f. LOGO! communication modules. Luettu 15.11.2018. <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-communication-variants/Pages/Default.aspx>

Siemens AG. 2018g. SIMATIC HMI Basic Panels. Luettu 17.11.2018. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/basic-panels.html>

Siemens AG. 2018h. Connecting the controller. Luettu 17.11.2018.

https://cache.industry.siemens.com/dl/dl-media/350/90114350/att_974305/v9/120763147019/en-US/index.html#586b0fe603e25f0567a317b065c4b5c5

Siemens AG. 2018i. Connecting an HMI to LOGO! 8. Ohjelmointi esimerkki. Luettu 18.11.2018. http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/software/applications/logo/hmi_communication.zip

Systech Illinois. N.d. Zirconia Oxygen Analysis. Luettu 10.10.2018.

<https://www.systechillinois.com/en/support/technologies/zirconia-oxygen-analysis>

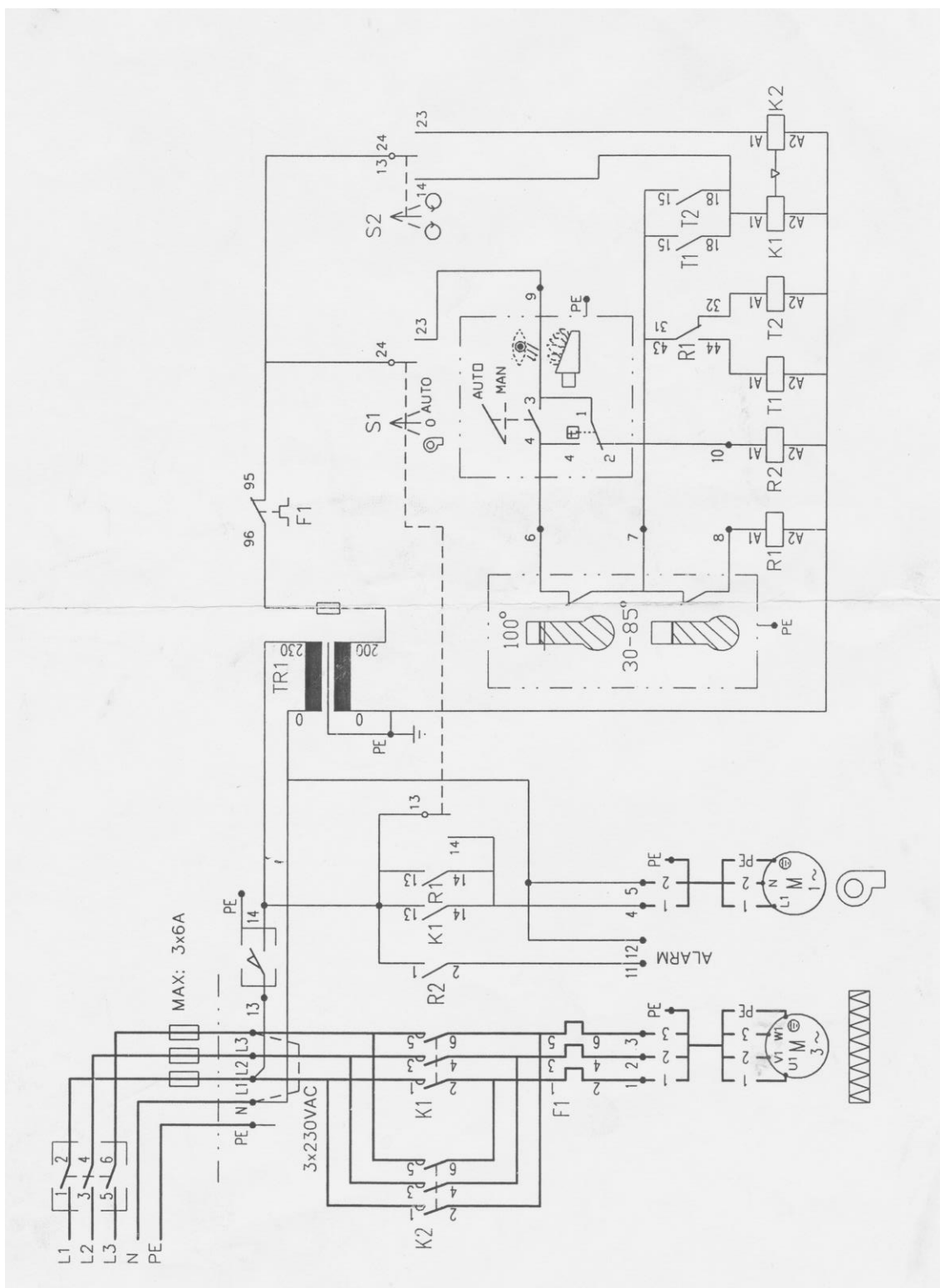
Tech Edge Pty. Ltd. 2010. How 5-Wire Sensors Work. Luettu 8.10.2019.

<https://www.wbo2.com/lsu/lsuworks.htm>

Viirimäki J. (toim.) 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Tampere: Hämeen Offset Tiimi Oy.

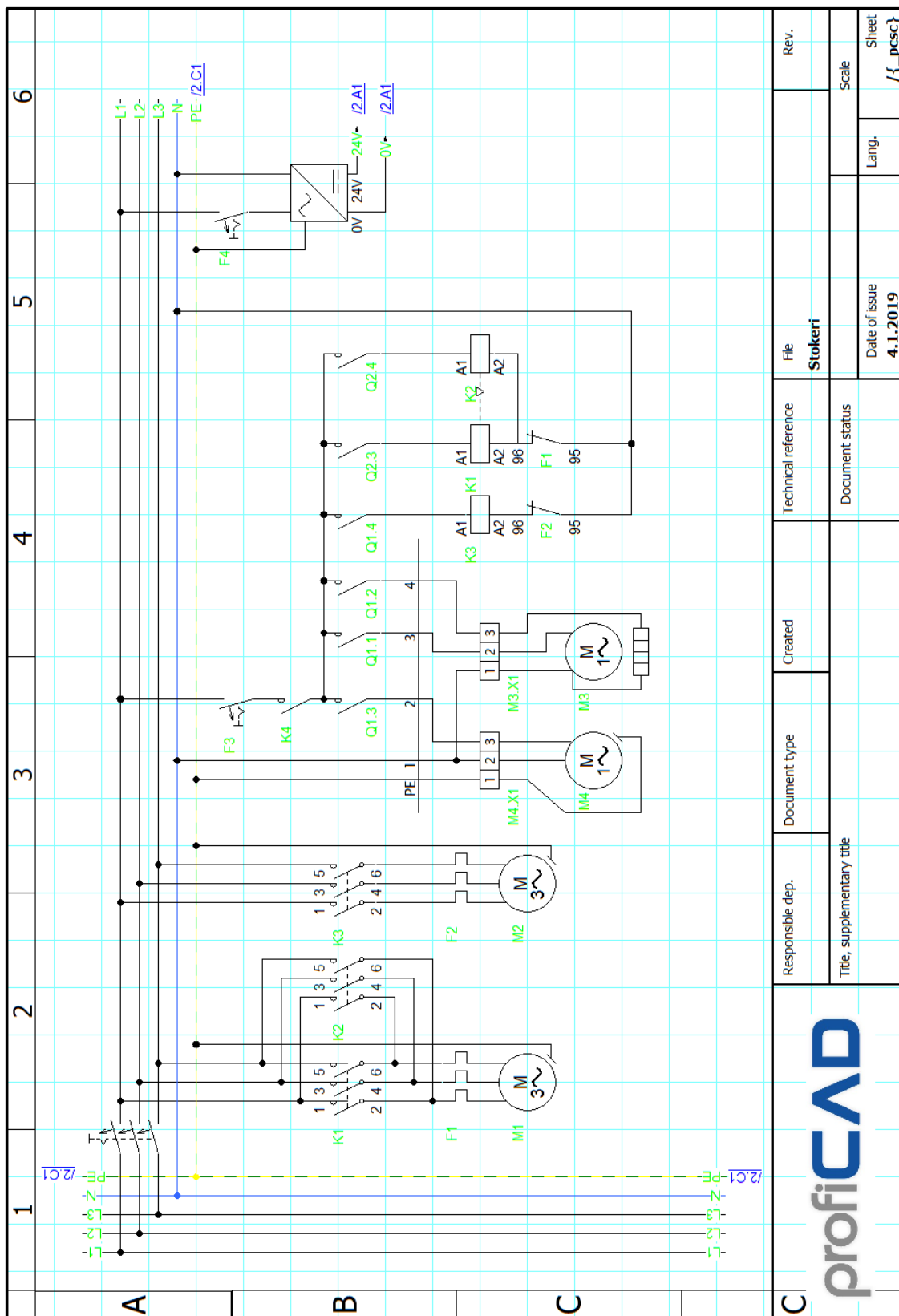
LIITTEET

Liite 1. Alkuperäinen kytkentäkaavio (Alatalkkari 1995)

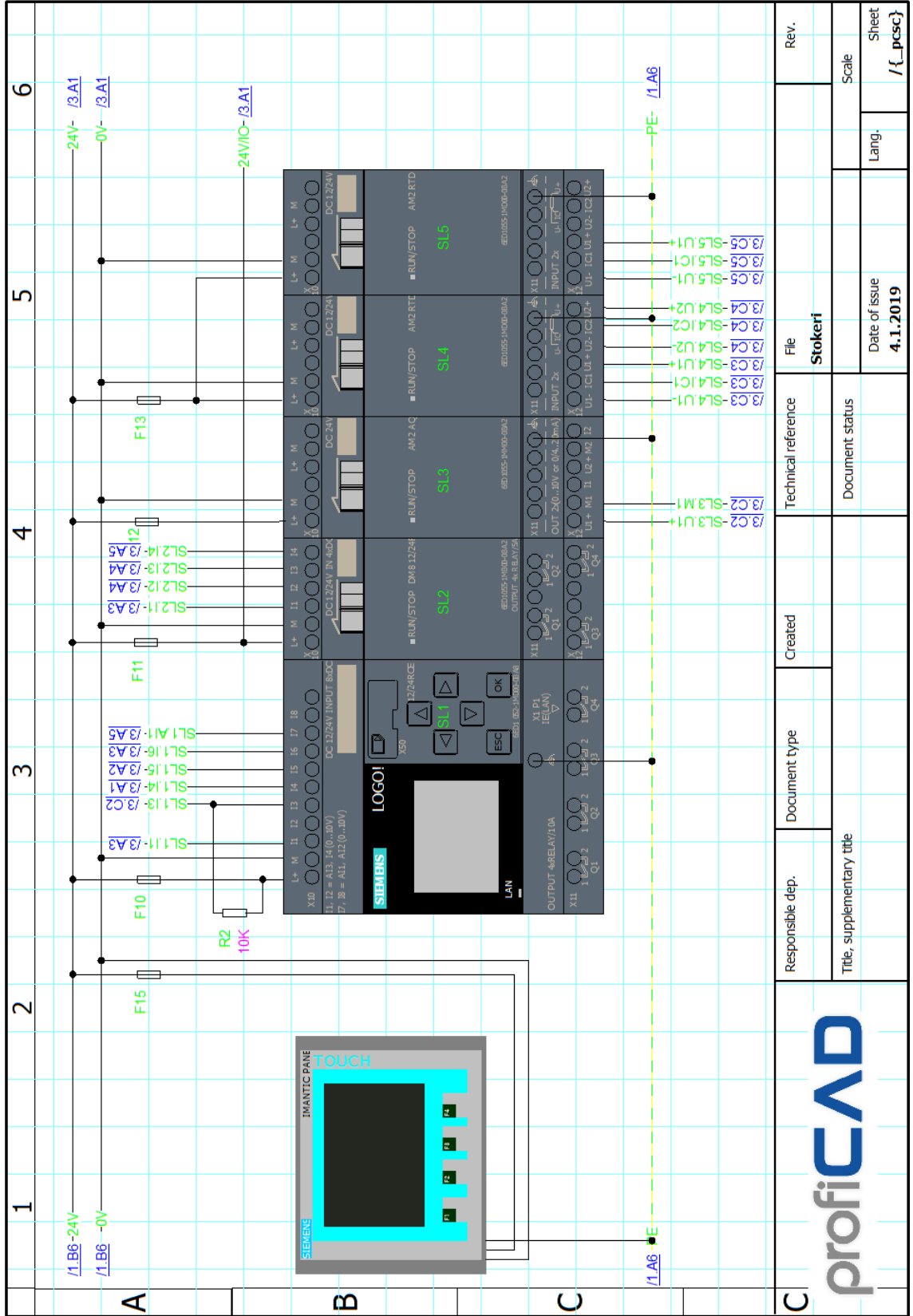


Liite 2. Uusi kytkentäkaavio

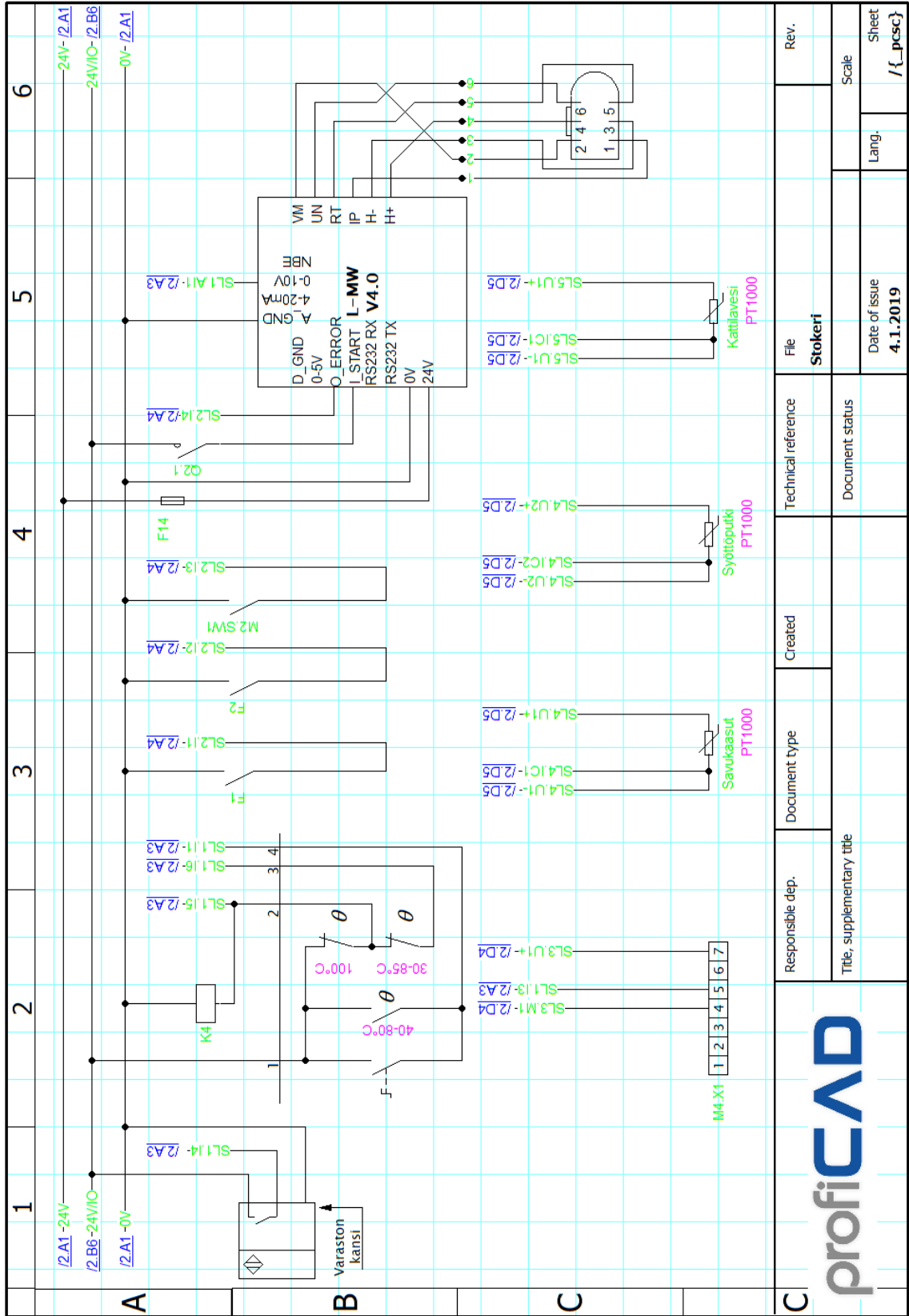
(1/3)



	Responsible dep.	Document type	Created	Technical reference	File	Rev.
	Title, supplementary title			Document status	Stokeri	
				Date of issue	Lang.	Sheet
				4.1.2019		Scale
						/ { _ psc }



C	Responsible dep.		Document type		Created		Technical reference		File		Rev.		
	Title, supplementary title						Document status		Stokeri		Scale		
										Date of issue		Sheet	
										4.1.2019		/ { _ pcsc }	



profiCAD

Responsible dep.	Document type	Created	Technical reference	File	Rev.
Title, supplementary title	Savukkaasut		Document status	Stokeri	
			Date of issue		Scale
			4.1.2019		Sheet
					Lang.
					{_pcsc}