

PELETTIKATTILAN LAITTEISTON JA AUTOMAATION PÄIVITYKSET HAKEKÄYTTÖÖN

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät 2024

Teemu Päivärinta

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä Teemu Päivärinta

Työn nimi Pellettikattilan laitteiston ja automaation päivitykset hakekäyttöön

Ohjaaja Timo Viitala

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tässä työssä suunniteltiin TEAK-Huolto Oy:n asiakkaan pyynnöstä automaatiomuutokset keskuslämmitysjärjestelmään, jossa pellettikattila muutettiin hakekäyttöön. Suunniteltavan automaatiojärjestelmän tavoiteltiin toteuttavan mekaanisen laitteiston vaatimat ohjaukset. Keskiössä tässä suunnitteluprojektissa olivat paloturvallisuus, säädettävyyden ja toimintavarmuus. Lisäksi laitteiston tehon haluttiin pysyvän samalla tasolla kuin ennen muutoksia.

Suunnittelutyön tueksi perehdyttiin pienlämmitysjärjestelmiin, biopolttoaineisiin, paloturvallisuusmääräyksiin sekä logiikoihin ja näiden oheislaitteisiin. Lisäksi erityistä perehtymistä vaati asiakkaalle valmistettu mekaaninen laitteisto. Säädettävyyden ja toimintavarmuuden ovat suhteellisen helposti automaatiolla toteutettavissa olevia ominaisuuksia, joten erityistä painoarvoa annettiin paloturvallisuuden toteutumiselle. Kerätyn tiedon pohjalta käynnistettiin toteutusprosessi, jonka päätteeksi asiakkaalle luovutettiin suunniteltu järjestelmä. Suunnittelutyössä huomioitiin asiakkaan toiveet sekä laitteiston vaatimukset ja asetetut tavoitteet.

Tietojen pohjalta todettiin useimpien hakejärjestelmien pitävän viretulta palopäässä lepojaksen aikana. Vaikka laitteistot työntävät polttoainetta palopäähän lepojaksen aikana tietyin väliajoin, on riski takatulen syntymiselle ja etenemiselle väärään suuntaan varsinkin pitkien lepojaksoiden aikana mahdollista. Tässä työssä haluttiin uudistaa ajattelu viretulen ylläpitämisen tarpeellisuudesta ja näin parantaa paloturvallisuutta. Syntyneen ratkaisun myötä viretulta ei pidetä ollenkaan yllä. Tuli sytytetään palopäähän keskuslämmityskattilan jokaisella käyntikerralla sytyttimen avulla. Poltinruuvissa oleva polttoaine poltetaan pois käyntiaikana. Näin takatuli on käytännössä mahdoton polttoaineen puuttuessa.

Tulokset järjestelmän toimivuudesta ovat yllättäneet positiivisesti. Järjestelmää on käytetty tämän työn kirjoittamisen ajankohtana lähes vuoden. Laitteistoon kytkettyä vesisammutusjärjestelmää ei ole tarvittu kertaakaan. Tästä voidaan päätellä, että riskiä takatulle ei ole ollut. Viretulen puuttuessa palopään sintraantuminen on ollut perinteisellä tekniikalla toimivia laitteistoja vähäisempää. Huoltotyöt ovat täten olleet vähäisempiä. Projektiin ryhdyttäessä oli epävarmaa, onko mekaanista laitteistoa, keskuslämmityskattilaa ja automaatiota saada toimimaan yhtenä kokonaisuutena. Tähän mennessä saadut käyttökokemukset ovat osoittaneet epäilyt epätosiksi.

Avainsanat keskuslämmityskattila, ohjausjärjestelmä, hake, takatuli, paloturvallisuus

Sivut 51 sivua ja liitteitä 13 sivua

The purpose of this project has been to design automation for TEAK-Huolto Oy's customer, who has a central heating system with pellet boiler. The pellet boiler was going to be upgraded for wood chip use. The goal of this thesis was upgrading the boiler by building an appropriate automation system for mechanical devices. Fire safety, adjustability and operational reliability were the main targets for designing. Also, the heating efficiency of the boiler should be the same following the upgrade.

The design process started by collecting information of small central heating systems, fire safety rules, logic components, and other electrical components, and especially mechanical devices which were made for customer. Adjustability and reliability are relatively easy to implement with automation, so the design centralized on fire safety. After designing, the completed automation systems were given to customer. The customer's wishes and requirements on the equipment and result were considered in the designing process.

Most of the wood chip burners maintain a small fire inside them during resting time. This small fire is more like an ember, but it can cause a huge fire if it develops the wrong way. Even when the conveyor moves wood chips toward the burner there is a possibility of fire. This thesis investigates whether the burner needs this small fire inside of it, as it goes against fire safety. Fire is only used to ignite new wood chips, but that can be also handled by electrical ignition. The designed automation system only uses electrical ignition. At the start of the boiler run, the burn conveyor is loaded with woodchips and those are burned away during run time. It should not be possible to cause a fire when the conveyor is empty and has no wood ships in it.

The customer has used this upgraded boiler for nearly a year now, and the results have been positive. There is a water-based fire extinguishing system connected to the burn conveyor but there has been no need to use it. This means there has been no actualized risk of fire. The burner has been cleaner than the traditional burners as there is no constant flame, which has lead to reduced maintenance. At the beginning of this project, it was uncertain if it was even possible to upgrade pellet boiler for wood chip use. The results have shown it is possible to upgrade a pellet boiler by using wood chip burner and correct automation.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kiinteänpolttoaineen pienlämmitysjärjestelmät	2
2.1	Keskuslämmitysjärjestelmä	2
2.2	Toimintaperiaate	2
2.3	Kiinteän polttoaineen keskuslämmityskattilat	3
2.3.1	Ariterm Biomatic+ 40	4
2.3.2	Teho ja hyötysuhde	5
2.4	Hakelämmitysjärjestelmä	6
2.5	Hakelämmityksen turvajärjestelmät	7
2.6	Lämmitysjärjestelmän mitoitus	8
2.7	Keskuslämmitysjärjestelmän säätötekniikka	11
2.7.1	Anturit ja ohjaukset	12
2.7.2	Lämpimän käyttöveden säätö	12
2.7.3	Lämmityksen säätö	12
2.7.4	Ilmanvaihdon säätö	13
2.8	Säätölaitteet	13
2.8.1	Termostaatti	14
2.8.2	Linjasäätö	14
2.8.3	Paisunta ja varolaitteet	15
3	Kiinteät biopolttoaineet	15
3.1	Pelletti	16
3.2	Hake	17
3.3	Polttopuu	19
4	Paloturvallisuusmääräykset	19
5	Logiikka ja oheislaitteet	20
5.1	Beckhoff PC ja I/O	21
5.2	PT100	24
5.3	Triac	24
5.4	Kapasitiivinen anturi	25
5.5	Optinen anturi	25
5.6	Releet ja kontaktorit	26
6	Suunnittelutyö	27
6.1	Mekaanisen laitteiston tehtävä- ja toimintakuvaus	27
6.2	Turvajärjestelmät ja -laitteet	28

6.3	Automaatiosuunnittelu	29
6.3.1	Instrumentointikaavio.....	31
6.3.2	Osaluettelo	32
6.3.3	PLC-järjestelmä.....	35
6.3.4	Piirikaaviot.....	37
6.3.5	Toimintaselostus.....	37
6.4	Visualisointi.....	39
7	Yhteenveto.....	40
	Lähteet	42

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Omakotitalon keskuslämmityksen periaatekuva	3
Kuva 2.	Ariterm Biomatic+ keskuslämmityskattila	4
Kuva 3.	Ariterm Biomatic+ 40 läpileikkaus	5
Kuva 4.	Stokeri - palopää, syöttölaitteisto ja polttoainesäiliö	6
Kuva 5.	Ariterm minijet palopää palopuhaltimella	7
Kuva 6.	Esimerkki säätökäyrästä	13
Kuva 7.	Linjasäätöventtiilit ja mittaukset	15
Kuva 8.	Puupellettiä	16
Kuva 9.	Pelletin kuluttajahinta 2015-2023	17
Kuva 10.	Haketta	18
Kuva 11.	Hakkeen hintakehitys	18
Kuva 12.	Polttoaineen varastoiminen EI60-luokka	20

Kuva 13. Beckhoff C6015 teollisuus pc	21
Kuva 14. EK1100 EtherCat väyläterminaali	22
Kuva 15. 8-kanavainen input terminaali	23
Kuva 16. 8-kanavainen output terminaali	23
Kuva 17. PT100 lämpötila-anturi	24
Kuva 18. Triac-säätimen rakenne	25
Kuva 19. Releen rakenne periaate	26
Kuva 20. Mekaanisen laitteiston toimintaperiaate.	27
Kuva 21. Vesisammutus laitteisto.	29
Kuva 22. Instrumentointikaavio.	32
Kuva 23. ABB:n AF09-30-01-11 kontaktori	33
Kuva 24. Lämpörele	34
Kuva 25. Lämpöreleen asennusalusta	34
Kuva 26. I/O-luettelo.	36
Kuva 27. PLC-järjestelmän rakenne.....	37
Kuva 28. Käyttöliittymän työpöytänäkymä.....	39
Kaava 1. Lämmittämiseen tarvittava energia määrä.	5
Kaava 2. Keskimääräinen teho.	5
Kaava 3. Hyötysuhde.	6
Kaava 4. Rakennuksen lämmitystehontarve.	9

Kaava 5. Huonelämmityksen tehontarve.	9
Kaava 6. Johtumisteho.	9
Kaava 7. Vuotoilmanteho.	10
Kaava 8. Ilmanvaihdon lämmitystehon tarve.	10
Kaava 9. Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö.	10
Kaava 10. Tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve.	11
Kaava 11. Käyttöveden lämmityksen tehontarve.	11

Liitteet

- Liite 1. Sekvenssiohjelma
- Liite 2. Suunnittelu dokumentit

1 Johdanto

Maailmanpoliittisten jännitteiden ja Venäjä vastaisen pakotepolitiikan seurauksena energian hinnat lähtivät voimakkaaseen kasvuun vuoden 2022 keväällä. Venäjältä on perinteisesti tuotu suomeen vuosittain suuret määrät haketta, energiapuuta ja pellettiä. Tuonnin pysähtyttyä lisääntynyt kysyntä kotimaisesta raaka-aineesta nosti kotimaan markkinoiden hinnat nopeasti korkealle tasolle.

Suomessa kiinteistöjen käyttämästä energiasta valtaosa kuluu lämmitykseen. On luonnollista, että jonkin energianlajin hinnan nousun seurauksena, etsitään vaihtoehtoisia kustannustehokkaampia ja edullisempia energiamuotoja. Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna metsähake on ollut edullisin tapa tuottaa lämmitysenergiaa, vaikka myös sen kilowattituntihinta on kahden viime vuoden aikana kasvanut. Lämmittäjät ovat nykyään hyvin ympäristötietoisia ja erilaisten uusiutuvien tai hiilineutraalien lämmitysmuotojen suosio on ollut kasvussa. Poistumista fossiilisista lämmitysaineista ohjataan toki myös verotuksellisesti.

Metsähake ja puupelletti ovat hiilineutraaleja lämmityspolttoaineita. Näiden polttoaineiden käyttölaitteistot ja keskuslämmityskattilat ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia, mutta pellettilaitteistossa ei voi käyttää polttoaineena haketta. Puupelletin käyttölaitteistot ovat mittakaavaltaan pienempiä ja kokonaisvaltaisesti käyttövarmempia, kuin metsähakkeen. Metsähaketta käyttävät lämmitysjärjestelmät kärsivät useammin myös paloturvallisuus ongelmista.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan erilaisiin keskuslämmityskattiloihin, lämmitysjärjestelmän mitoitukseen sekä keskuslämmitysjärjestelmien säätötekniikkaan. Lisäksi perehdytään tarkasti hakelämmitysjärjestelmien tekniikkaan, näiden turvajärjestelmiin ja lämmitysjärjestelmiä koskeviin paloturvallisuusmääräyksiin. Teoriaosuudessa käydään läpi erilaisia mahdollisuuksia hakejärjestelmien ohjaukseen.

Opinnäytetyön toteutusprosessissa on tavoitteena suunnitella ohjausjärjestelmä, jolla pellettikattila voidaan ottaa hakekäyttöön. Suunnittelun lähtökohdan keskiössä on paloturvallisuus, säädettävyys sekä toimintavarmuus. Keskuslämmitysjärjestelmän tehon tulisi pysyä aikaisemmalla tasolla käyttölaitteiston muutoksesta huolimatta. Olemassa olevissa ohjausjärjestelmissä palopäähän haketta syöttävä kuljetinruuvi pidetään täynnä haketta myös polton lepoaikana. Tästä syntyy mahdollisuus takapalon syttymiselle. Tässä opinnäytetyössä pyritään ratkaisemaan tämä paloturvallisuusongelma automaation keinoin.

2 Kiinteänpolttoaineen pienlämmitysjärjestelmät

Pienlämmitysjärjestelmän toimintaperiaate ja komponentit ovat riippuvaisia lämmitysenergian tuotantotavasta. Tämän opinnäytetyön kannalta on oleellista tarkastella keskuslämmitysjärjestelmiä ja etenkin kiinteällä biopolttoaineella toimivien järjestelmien toimintaperiaatteita. Tässä luvussa perehdytään lämpöenergian tuottamiseen teholtaan alle 120 kilowatin pienjärjestelmillä. Käydään läpi lämmitysjärjestelmän tehtävää, toimintaperiaatetta ja niihin liittyviä ohjauksia. Lisäksi pureudutaan pintapuolisesti lämmitysjärjestelmän mitoitukseen ja lämmöntarpeen laskemiseen.

2.1 Keskuslämmitysjärjestelmä

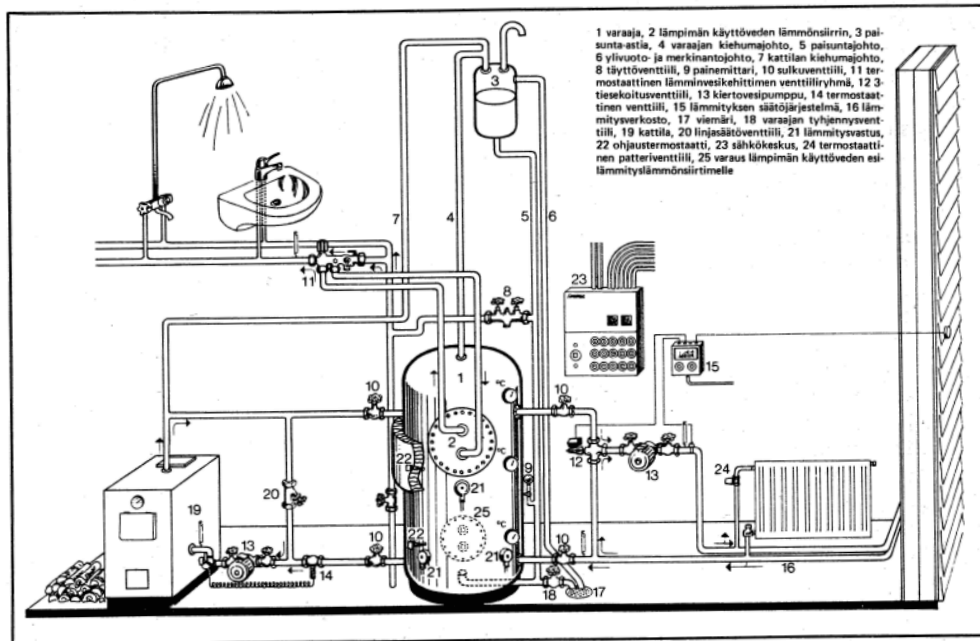
Lämmitysjärjestelmään kuuluvilla laitteilla lämmitetään rakennuksen tai rakennuksien tilat, käyttövesi sekä mahdollisesti myös ilmanvaihdon tuloilma. Järjestelmässä käytettävä lämpö voidaan tuottaa rakennuksessa tai tuoda sinne ulkopuolelta. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat mm. lämmitettävät kuutiot, rakennuksen käyttötarkoitus, energiantarve ja sijainti. (Rakennustieto, ss. 5–11)

Kiinteällä polttoaineella toimivia lämmitysjärjestelmiä kutsutaan keskuslämmitysjärjestelmiksi. Keskuslämmitysjärjestelmässä huonetilojen vaatima lämpö tuotetaan lämpökeskuksessa. Lämmön tuotto perustuu polttoaineen polttamiseen keskuslämmityskattilassa. Polttoaineena voidaan käyttää haketta, pellettiä tai polttopuita. Lämpö siirretään keskuslämmityskattilasta putkissa kiertävän veden välityksellä. Tätä menetelmää kutsutaan vesikeskuslämmitykseksi. (Päärni, ss.10–11)

2.2 Toimintaperiaate

Kuvassa 1 on keskuslämmitysjärjestelmän periaatekuva. Keskuslämmityskattilaan kytketään vesivaraaja, joka varaa kattilan tuottamaa lämpöenergiaa ja luovuttaa energian huonetiloihin väliaineena toimivan veden avulla silloin, kun kattilassa ei ole tulta. Lisäksi vesivaraajan tehtävänä on estää kattilaa kiehumasta. Lämminvesi virtaa varaajasta lämpöpattereihin eli radiaattoreihin tai lattian lämmitysputkiin. (Päärni, ss. 10–11)

Kuva 1. Omakotitalon keskuslämmityksen periaatekuva (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, s. 31).



Lämpimää käyttövettä tuotetaan joko keskuslämmityskattilaan tai vesivaraajaan asennetulla lämminvesikierukalla tai lämmönvaihtimella. Ympäristöministeriön antaman rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoja koskevan asetuksen mukaan (1047/2017 §6):

”Lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötilan on oltava vähintään 55 celsiusastetta ja sitä on saatava lämminvesikalusteesta 20 sekunnin kuluessa.” Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen lämminkäyttövesiverkko varustetaan kiertovesivesipumpulla, jolloin lämpimää vettä on mahdollista saada mahdollisimman nopeasti vesihanavan avautuessa.

Lämpimän käyttövedenverkostoon menevän veden lämpötila säädetään tyypillisesti +55 asteeseen sekoittamalla siihen sopivassa suhteessa kylmää vettä. Näin veden käyttäjälle ei aiheudu palovammoja liian kuumasta vedestä, mutta vesi on kuitenkin riittävä ehkäisemään bakteeriston kasvua putkistossa. (Pääni, s. 33)

2.3 Kiinteän polttoaineen keskuslämmityskattilat

Keskuslämmityskattilat jaetaan rakenteensa ja siten myös toimintansa mukaan kolmeen eri tyyppiin; yläpalo-, alapalo- ja käänteispalokattilaan. Yläpalokattilan pesässä polttoaine palaa samaan tyyliin kuin nuotiossa. Polttoaine on kerrallaan kokonaan tulesa ja palamiskaasut nousevat polttoaineen läpi. Polttoaine itsessään vie palamistilaa palokaasuilta. (Mäkelä, 1995, s.5)

Alapalo- sekä käänteispalokattiloissa on molemmissa varastopesät, josta polttoaine valuu arinalle palamisen edetessä. Palaminen on kaksivaiheista. Alapalokattilassa polttoaine kaasuuntuu arinalla ja palokaasut palavat lieskapesässä. Käänteispalokattilassa liekit menevät arinan läpi ja palokaasut palavat arinan alla. (Mäkelä, 1995, ss. 5–6)

2.3.1 Ariterm Biomatic+ 40

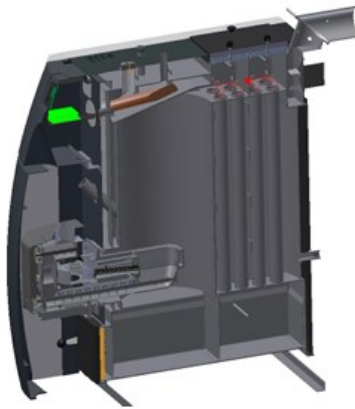
Ariterm Biomatic+ 40 kuvassa 2, on Ariterm Service Oy:n valmistama pelletti käyttöön suunniteltu keskuslämmityskattila. Kattila on tarkoitettu suurempien kuin 150 m² kiinteistöjen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottoon.

Kuva 2. Ariterm Biomatic+ keskuslämmityskattila (Ariterm, n.d. -b).



Kuten läpileikkauksuvasta 3. nähdään, kattila on tyypiltään yläpaloinen. Kattilassa on pystykonvektiot, jotka on varustettu automaattipuhdistuksella. Lisäksi kattilassa on savukaasuihuri sekä lämmönsäätö- ja pellettipoltin automatiikka. Valmistaja ilmoittaa kattilan tehoksi pelletillä 12-40kw ja hyötysuhteeksi 93 %. Kattilan vesitilavuus on 173 litraa. (Ariterm, n.d. -c, s. 4)

Kuva 3. Ariterm Biomatic+ 40 läpileikkaus (Ariterm, n.d. -c).



Varalämmönlähteenä kattilassa on 9 kilowatin sähkövastus. Kattilan alaosassa on tuhkalaatikko, johon polttoprosessissa syntyvä tuhka tipahtelee. Tuhka poistetaan vetämällä tuhkalaatikko ulos kattilan alimmaisesta luukusta. Kattila voidaan asentaa huoneeseen, joka täyttää EI60 paloluokituksen. (Ariterm, n.d. -c, ss. 4–6)

2.3.2 Teho ja hyötysuhde

Tässä opinnäytetyössä tullaan käymään pohdintaa päivitetyn lämmitysjärjestelmän tehosta ja hyötysuhteesta. Näin ollen on perusteltua tarkastella teoriapohjaa edellä mainittujen suureiden laskemiseksi. Olemassa olevan keskuslämmityskattilan teho on mahdollista laskea sen kyvystä siirtää lämpöenergiaa järjestelmässä olevaan veteen. Tämän määrittämiseksi on mitattava kattilan toiminnassa ollessa järjestelmän veden lämpötilan muutos tietyssä ajassa. Kaavan 1 mukaan pystytään laskemaan veteen siirtyvä lämpömäärä. (Hautala & Peltonen, 2016, ss. 160–161)

Kaava 1. Lämmittämiseen tarvittava energiaa määrä (Hautala & Peltonen, 2016, s. 160).

$$Q = cm\Delta T$$

Kun tiedetään lämpömäärä ja aika, jossa lämpö on järjestelmän veteen siirtynyt, voidaan laskea järjestelmän teho kaavalla 2. Siirtyneen lämpöenergian määrä jaettuna siirtymiseen kuluneella ajalla. (Hautala & Peltonen, 2016, s.48)

Kaava 2. Keskimääräinen teho (Hautala & Peltonen, 2016, s. 48).

$$P_k = \frac{W}{t}$$

Järjestelmän hyötysuhde voidaan selvittää tarkastelemalla, kuinka suuri osa polttotapahtumassa kulutetun hakkeen energiasisällöstä siirtyy järjestelmässä olevaan veteen lämpöenergiaksi kaavan 3 mukaisesti. Tässä yhteydessä E_{anto} on veteen siirtynyt lämpöenergia ja E_{otto} kulutetun hakkeen energiasisältö. (Hautala & Peltonen, 2016, s. 49)

Kaava 3. Hyötysuhde (Hautala & Peltonen, 2016, s. 49).

$$\eta = \frac{E_{anto}}{E_{otto}}$$

2.4 Hakelämmitysjärjestelmä

Yksinkertainen hakelämmitysjärjestelmä kuvassa 4. on kiinteän polttoaineen poltin, jota kutsutaan stokeriksi. Stokerin laitteistoon kuuluu polttoainesäiliö, syöttölaitteet sekä palopää. Automaatio-ohjauksella laitteistoa voidaan käyttää ilman kattilaan kytkettyä varaajaa. Polttotavaltaan poltin on yläpaloinen. Kuvassa 5. olevaan stokerin palopäähän lisätään polttoainetta pieninä annoksina syöttöruuvilla. (Mäkelä, 1995, ss. 6–7)

Kuva 4. Stokeri - palopää, syöttölaitteisto ja polttoainesäiliö (Hankkija, n.d.).



Polton aikana palopäähän puhalletaan palopuhaltimella ensiö- ja toisioilma, jotka johdetaan palopäähän polttimen lokeromaisiin vaippoihin tehtyjen ilmareikien kautta. Biopolttoaineista

stokereihin soveltuvat hake, sahanpuru, olki sekä vilja. Lisäksi niissä on mahdollista käyttää polttoaineena turvetta. (Mäkelä, 1995, s.7)

Kuva 5. Ariterm minijet palopää palopuhaltimella (Ariterm, n.d. -a).



Monimutkaisemmat, yleensä mittaluokaltaan ja teholtaan yli 40kw:n hakelämmitysjärjestelmät muodostuvat lämmityskattilasta, polttoaineen syöttöjärjestelmästä, turvajärjestelmästä sekä polttoainevarastosta. Hake ohjataan erilaisilla kuljettimilla polttoainevarastosta ruuvikuljetinta pitkin sulkusyöttötimeen tai pudotuskuiluun ja siitä edelleen ruuvilla palopäähän. (Tukes, 2018, s. 7)

2.5 Hakelämmityksen turvajärjestelmät

Automaattisyötöllä toimivien hakekattiloiden ongelmana paloturvallisuuden kannalta on takatuli. Takatuli tarkoittaa palon etenemistä normaalista polttoaineen syöttösuunnasta poikkeavasti eli palopästä polttoaineen tulo suuntaan. Takatuli voi olla kaasumainen tai se voi edetä kytellä. Takatuli voi syntyä puuttuvien turvajärjestelmien, laitteiden yhteensopimattomuuden, laiterikon, polttoaineen syöttöhäiriön tai sähkökatkon aiheuttaman häiriötilanteen seurauksena. (Tukes, 2018, s. 6)

Paloturvallisuusmääräysten kattilahuoneille ja laitteille asettamia vaatimuksia käsitellään tarkemmin luvussa 4. Turvallisuuskeskuksen (Tukes, 2018, s. 7) mukaan automaattisyöttöisten kattiloiden syöttölaitteistoissa on suositeltavaa olla kaksi toisistaan

riippumatonta erillistä turvajärjestelmää takatulen varalta. Näiden turvajärjestelmien tulisi toimia myös sähkökatkon aikana.

Käytössä olevia turvajärjestelmiä ovat erilaiset sammutusjärjestelmät, sulkusyöttimet, pudotuskuilut ja -putket, liekinvalvontalaitteet, savukaasuimurit sekä alipaine- ja lämpöanturit. Sammutusjärjestelmiä on olemassa vesi- ja jauhetoimisia. Varmennettua vesikäyttöistä sammutusjärjestelmää suositellaan käytettäväksi hakelämmityksen yhteydessä. Varmennetulla järjestelmällä tarkoitetaan sammutuksen toimintakykyä myös sähkökatkon aikana. Tämä voidaan toteuttaa kalvopaisuntasäiliöllä. Sammutusjärjestelmässä tarkkaillaan polttoaineen syöttöruuvien lämpötilaa tähän kytketyllä mekaanisella termostaatti venttiilillä. Lämpötilan noustessa yli sallitun kalvopaisuntasäiliön vesi virtaa suuttimista syöttöruuviin sammuttaen takatulen. (Tukes, 2018 s. 7, ss. 13–14)

Toinen hyvin yleisesti käytetty turvajärjestelmä on sulkusyötin. Sulkusyötin on syöttöjärjestelmässä oleva ilmatiivislaitte, joka katkaisee lämmityskattilan ja polttoainevaraston suoran yhteyden. Alipaineanturi ja liekinvalvontalaitte ovat automatiikkaan liitettäviä turvalaitteita. Nämä kytketään kattilan tulipesään. Alipaineanturilla ohjataan savukaasuimuria, jotta tulipesässä kytetään varmistamaan riittävä alipaine ja näin kattilan toimiminen oikeaan suuntaan. Liekinvalvontalaitteella voidaan pysäyttää syöttö, mikäli tuli on päässyt sammumaan. (Tukes, 2018, ss. 13–14.)

2.6 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

Rakennuksen lämpötehon tarpeen mitoitus voidaan tarkimmillaan määrittää huonekohtaisesti, kuten kaavassa 5 on esitetty. Tällöin saadaan lasketuksi huoneessa tarvittava lämpöteho ja näin valita oikeat huonekohtaiset lämmityslaitteet. Pääasiallinen lämpötehon tarve muodostuu rakennuksen rakenteiden lämpöjohtumishäviöistä, ilmastuodista ja ilmanvaihdosta. Kaavassa 4 on esitetty, miten koko rakennuksen lämpöteho tarve määräytyy huonekohtaisten lämpötehojen ja käyttöveden lämmitystehon summana. (Rakennustieto, 2007, s. 170)

Varaavissa järjestelmissä lämmöntuottolaitteistot voidaan mitoittaa tehon tarpeesta poikkeavasti. Vuorokautinen lämpöenergia määrä voidaan tuottaa varaajaan hyvinkin lyhyen ajan kuluessa. Tällöin lämmitysjärjestelmän teho on moninkertainen jatkuvaan lämmitystehontarpeeseen nähden. Tällaisessa jaksollisessa lämmityksessä laitteiden mitoitus riippuu muun muassa lämmitysjakson pituudesta ja sallitusta lämpötilan laskusta. (Rakennustieto, 2007, s. 170)

Kaava 4. Rakennuksen lämmitystehontarve (Rakennustieto, 2007, s. 171).

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\Phi_{\text{huonelämmitys}}}{\eta_{\text{huonelämmitys}}} + \frac{\Phi_{\text{tuloilmapatteri}}}{\eta_{\text{tuloilma}}} + \frac{\Phi_{\text{lkv}}}{\eta_{\text{lkv}}} \quad (9.1)$$

jossa

$\Phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
$\Phi_{\text{huonelämmitys}}$	huonelämmityksen tehon tarve, W
$\Phi_{\text{tuloilmapatteri}}$	ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmityspatterin tehon tarve, W
Φ_{lkv}	käyttöveden lämmitystehon tarve, W
$\eta_{\text{huonelämmitys}}$	huonelämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
η_{tuloilma}	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
η_{lkv}	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -

Kaava 5. Huonelämmityksen tehontarve (Rakennustieto, 2007, s. 171).

$$\Phi_{\text{huonelämmitys}} = \Phi_{\text{joht}} + \Phi_{\text{vuotoilma}} + \Phi_{\text{iv}} - \Phi_{\text{tuloilmapatteri}}$$

jossa

$\Phi_{\text{huonelämmitys}}$	huonelämmityksen tehon tarve, W
Φ_{joht}	tilojen johtumisteho, W
$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmitysteho tilassa, W.
Φ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, W
$\Phi_{\text{tuloilmapatteri}}$	tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve, W

Huonekohtainen lämmitystehon tarve koostuu kolmesta pääasiallisesta tekijästä. Tilojen johtumistehosta kaavan 6 mukaisesti, vuototehosta kaavan 7 mukaisesti sekä ilmanvaihdon tehosta kaavojen 8, 9 ja 10 mukaisesti. (Rakennustieto, 2007, ss. 170–173)

Kaava 6. Johtumisteho (Rakennustieto, 2007, s. 171).

$$\Phi_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (T_s - T_{u, \text{mit}})$$

jossa

Φ_{joht}	johtumislämmitysteho, W
$\sum H_{\text{joht}}$	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

Kaava 7. Vuotoilmanteho (Rakennustieto, 2007, s. 172).

$$\phi_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_{u, \text{mit}})$$

jossa

$\phi_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho, W
$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C

Vuotoilman lämmitykseen tarvittavaa tehoa voidaan tarkastella, mikäli rakennus on poikkeuksellisen tiivis tai epätiivis. Maanalaisissa kellaritiloissa ja rakennuksen keskellä olevissa tiloissa ei vuotoilmoja tarvitse ottaa huomioon. (Rakennustieto, 2007, s. 172)

Kaava 8. Ilmanvaihdon lämmitystehon tarve (Rakennustieto, 2007, s. 173).

$$\phi_{\text{iv}} = H_{\text{iv}} (T_s - T_{u, \text{mit}})$$

jossa

ϕ_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, W
H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

Kaava 9. Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö (Rakennustieto, 2007, s. 173).

$$H_{\text{iv}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{poisto}} (1 - \eta_{p, \text{mit}})$$

jossa

H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, \text{poisto}}$	poistoilmavirta, m ³ /s
$\eta_{p, \text{mit}}$	lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusolosuhteissa.

Kaava 10. Tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve (Rakennustieto, 2007, s. 174).

$$\phi_{\text{tuloilmapatteri}} = \rho_i c_{pi} q_{v, \text{tulo}} (T_{\text{tulo, mit}} - T_{u, \text{mit}} - \eta_{t, \text{mit}} (T_s - T_{u, \text{mit}})) \quad (9.9)$$

jossa

$\phi_{\text{tuloilmapatteri}}$	tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve, W
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, \text{tulo}}$	tuloilmavirta, m ³ /s
$T_{\text{tulo, mit}}$	tuloilman lämpötilan asetusrarvo mitoitusolosuhteissa, (yleensä 15 ... 18 °C) °C
$\eta_{t, \text{mit}}$	lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusolosuhteissa, -
T_s	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u, \text{mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C.

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavan 11. mukaisesti rakentamismääräyksissä määritetyllä mittausvirtaamalla. Tarvittaessa tehoon tulee lisätä lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö, joka on kuitenkin verrattaen pieni käyttöveden lämmittämiseen.

Kaava 11. Käyttöveden lämmityksen tehontarve (Rakennustieto, 2007, s. 175).

$$\phi_{\text{lkv}} = \rho_v c_{pv} q_{v, \text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}) + \phi_{\text{lkv, kiertoahäviö}} \quad (9.10)$$

jossa

ϕ_{lkv}	käyttöveden lämmityksen tarvitsema teho, kW
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
$q_{v, \text{lkv}}$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, m ³ /s
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$\phi_{\text{lkv, kiertoahäviö}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon tarvitsema teho, kW

Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ($T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}$) arvoa 50 °C.

2.7 Keskuslämmitysjärjestelmän säätötekniikka

Keskuslämmitysjärjestelmät tarvitsevat ympärilleen säätötekniikkaa erilaisten prosessien hallitsemiseksi. Tässä luvussa on käyty läpi lyhyesti keskeisimmät keskuslämmitysjärjestelmien säätöpiirit.

2.7.1 Anturit ja ohjaukset

Anturit keräävät tietoa prosessista, jonkin koneen tai laitteen tilasta. Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka muuntaa mitattavan prosessisuureen arvon siihen verrannolliseksi viestiksi. Tämä viesti on yleensä sähköinen. Anturin mittaelementti määrittää suureen arvon, minkä jälkeen anturiosa muuttaa tuloksen halutun muotoiseksi viestiksi. (Keinänen ym., 2009, s.167–168)

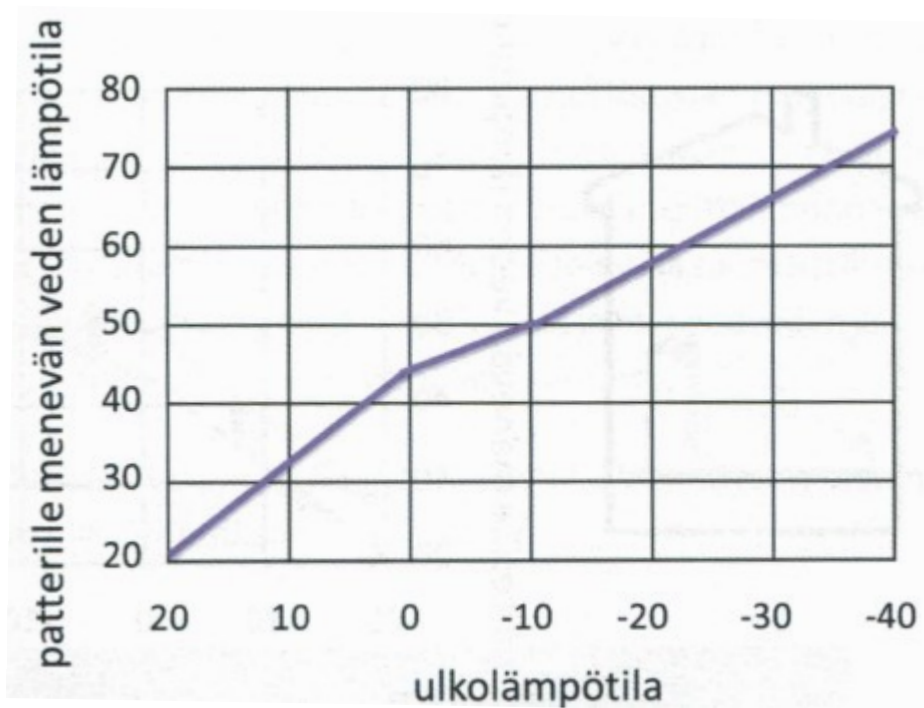
2.7.2 Lämpimän käyttöveden säätö

Pienissä keskuslämmitysjärjestelmissä lämpimän käyttöveden säätö tapahtuu termostaattisessa venttiilissä. Tätä venttiiliä kutsutaan syöttösekoitusventtiiliksi. Kuten luvussa 2.2 käsiteltiin, tulee rakennusmääräysten mukaan lämpimän käyttöveden lämpötila olla vähintään +55 astetta. Säädettäessä mitataan lämpötila-anturilla käytön kiertoon menevän veden lämpötilaa ja säädetään tämän lämpötila-arvon mukaan termostaattista venttiiliä. (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, s. 83)

2.7.3 Lämmityksen säätö

Lämmityksen säätö tapahtuu käyttäjän näkökulmasta säätökäyrän valinnalla. Kuvassa 6. on esimerkki säätökäyrästä ulkolämpötilan suhteen. Säätökäyrä valitaan jokaiselle kiinteistölle yksilöllisesti. Säätökäyrän valinnalla on suuri vaikutus energian kulutukseen. Valintaan vaikuttavat rakennuksen ominaisuudet, käyttötarkoitus ja sijainti. Säätökäyrä määrittää patteriverkoston veden lämpötilan suhteessa ulkolämpötilaan. (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, ss. 60–62)

Kuva 6. Esimerkki säätökäyrästä (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 63).



2.7.4 Ilmanvaihdon säätö

Ilmanvaihdon säätöpiiri on olemassa, kun ilmanvaihdon lämmityspatteri on vesikiertoinen. Tällöin ilman lämmittämiseen tulee tuottaa keskuslämmitysjärjestelmästä lämmintä vettä. Suurissa kiinteistöissä ilmanvaihtoverkostolle valitaan säätökäyrä vastaavalla tavalla, kuin lämmityspiirillekin. Omakotitaloissa lämmityspatterin vesikierto voidaan toteuttaa lämpimänkäyttöveden linjasta. Sääntönä on, että ilmanvaihtoverkoston menoveden tulisi olla 10–20 astetta lämpimämpää, kuin patteriverkoston menovesi. Tähän lämpötilaeroon vaikuttaa kuitenkin lämmöntalteenottoyksikön tehokkuus. (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 68)

2.8 Säätölaitteet

Keskuslämmitysjärjestelmien säätöpiirit tarvitsevat toimiakseen säätölaitteita. Nämä laitteet voivat olla mekaanisia tai sähköisiä. Tässä luvussa on perehdytty keskeisimpiin keskuslämmitysjärjestelmiin asennettaviin säätölaitteisiin.

2.8.1 Termostaatti

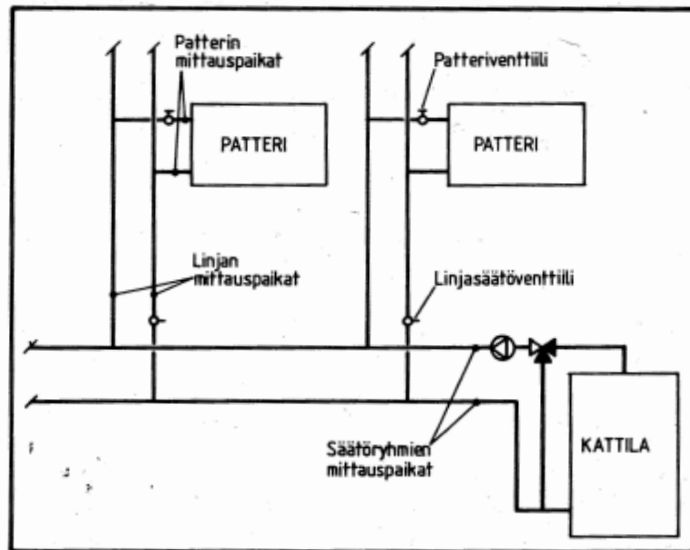
Termostaatti on yleisnimitys säätötoimilaitteelle. Tässä tarkastellaan keskuslämmitysjärjestelmien radiaattoreiden eli lämpöpattereihin liitettyjä termostaatteja. Patteriventtiilejä on olemassa käsisäätöisiä tai termostaattisia. Käsisäätöinen patteriventtiili päästää lävitseen säädöllä asetetun vakiomäärän patteriverkoston lämmintä vettä reagoimatta huonelämpötilaan. Patteriventtiilit eivät vaikuta pattereissa virtaavan veden lämpötilaan, vaan ainoastaan sen määrään. (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, ss. 53–54)

Termostaattinen patteriventtiili reagoi huoneilmanlämpötilaan. Mekaanisessa termostaattisessa patteriventtiilissä, patteriventtiilin karaan on kytketty anturi. Tämä anturi laajenee huoneilman lämmitessä ja näin seuraavalla liikkeellä vähentää tai sulkee kokonaan patteriventtiilin karan, jolloin patteriin ei kulje patteriverkoston lämmintä vettä. Vastaavasti huoneilman viiletessä anturi supistuu, jolloin patteriventtiilin kara aukeaa ja patteriin siirtyy patteriverkoston lämmintä vettä. (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, s. 53)

2.8.2 Linjasäätö

Linjasäätöventtiilit ovat olennainen osa patteriverkoston säätöä. Etenkin isoissa kiinteistöissä patterilinja eli ryhmiteltyjä pattereita saattaa olla useita. Huoneiden ominaisuuksien takia on hyödyllistä kyetä säätämään useiden pattereiden lämpötiloja kerralla, säätämällä niissä virtaavan lämmitysverkon veden määrää. Tämä säätö tapahtuu linjasäätöventtiilien avulla. Kuvassa 7 on esitetty linjasäätöventtiilien sijainti patteriverkostossa. (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, s. 129)

Kuva 7. Linjasäätöventtiilit ja mittaukset (Haapalainen & Vepsäläinen, 1992, s. 128).



2.8.3 Paisunta ja varolaitteet

Lämmitysverkosto on suljettu järjestelmä. Toimiakseen verkosto vaatii oikean vedenpaineen. Keskuslämmitysjärjestelmän jaksokäyttöisyys aiheuttaa verkoston lämpötilavaihtelua, josta suljetussa järjestelmässä seuraa paineenvaihtelua. Paineenvaihtelun aiheuttamien ongelmien minimoimiseksi järjestelmiin kytketään paisuntasäiliö. Paisuntasäiliöt ovat tyypillisesti kalvopaisuntasäiliöitä. Säiliön sisällä lämmitysverkoston vesi ja ilma on erotettu kumisella kalvolla. Ilma joustaa lämmitysverkoston paineen vaihtelujen mukaan sillä seurauksella, että verkoston paine pysyy tasaisena lämpötilasta riippumatta. (Rakennustieto, 2007, s. 18)

Lämpimän käyttövedenverkko ja lämmitysverkosto varustetaan varoventtiileillä.

Varoventtiilien on tarkoitus suojata verkostoja rikkoutumasta liiallisesta paineesta, joka voi olla seurausta esimerkiksi laiterikosta. Varoventtiili aukeaa määrättyssä rajapaineessa päästäten ylimääräisen veden lävitseen. (Rakennustieto, 2007, s. 18)

3 Kiinteät biopolttoaineet

Kiinteät biopolttoaineet ovat uusiutuvaa energiaa. Puu, josta pelletti, hake ja klapit valmistetaan, sitoo kasvunsa aikana ilmakehystä hiiltä. Polton aikana vapautuu yhtä paljon hiiltä, kuin puu on kasvunsa aikana sitonut. Kun vielä varmistetaan, että kaadettujen puiden

tilalle istutetaan uusia, ei luonnollisessa kierrossa olevan hiilen määrä lisäännny. Näin ollen biomassa on hiilineutraali energianlähde. (Wilkins, 2009/2012, ss. 6–7)

3.1 Pelletti

Puupellettiä on Suomessa valmistettu 1990-luvun lopusta. Suomessa on tällä hetkellä toiminnassa noin 20 pellettitehdasta. Yksittäisten tehtaiden tuotannot vaihtelevat muutamasta sadasta tonnista noin 100000 tonniin vuodessa. Kaiken kaikkiaan suomessa valmistettiin pellettiä 360000 tonnia vuonna 2022. (Bioenergia, n.d.)

Pelletit kuvassa 8., ovat muutaman senttimetrin mittaisia jauhetusta sahanpurusta tai lastuista puristettuja lieriömäisiä rakeita. Pienlaitteistoissa käytettävät pelletit ovat halkaisijaltaan yleensä 6–8 mm. Pelletit valmistetaan puuteollisuuden sivutuotteista. Puristamalla puun energia saadaan pieneen ja tasalaatuiseen tilaan, mikä vähentää varastotilan tarvetta. (Laitinen, 2010, ss. 69–72)

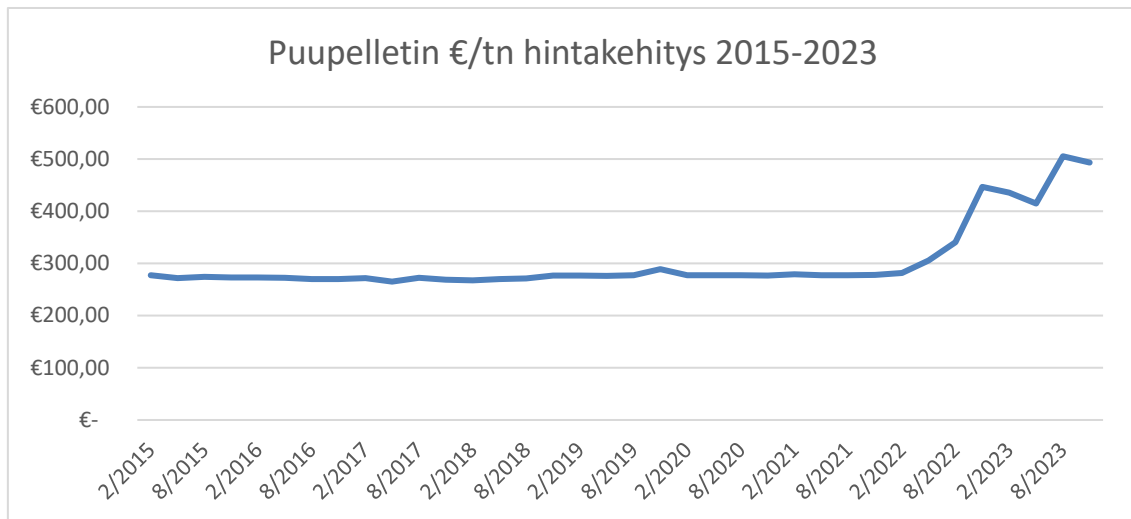
Kuva 8. Puupellettiä (Bioenergianeuvoja, n.d. -a).



Pelletillä on puupohjaisista polttoaineista alhaisimmat pienhiukkaspäästöt. Tämä on seurausta siitä, että pelletin tilavuuspainosta vain 10 % on vettä. Lisäksi pelletti on tasalaatuista, joten polttolaitteiden toiminta pystytään säätämään optimaaliselle tasolle. Hiukkaspäästöt on mahdollista saada nollassa tai lähelle sitä erilaisten savukaasusuodattimien tai palamista parantavien laitteiden avulla. (Bioenergia, n.d.)

Puupelletin hintakehitys oli pitkään vakaata. Keväällä 2022 asetettujen tuontirajoitusten seurauksena hinta on ollut paikoin jopa 80 % enemmän kuin vuodesta 2015 vuoteen 2021. Kuvassa 9. on kaavio puupelletin hintakehityksestä vuodesta 2015 vuoteen 2023. Keväällä 2022 alkanut hinnan nousu on selkeästi havaittavissa. Vuoden 2023 lopulla pelletillä tuotettu arvonlisäverollinen kilowatti maksoi keskimäärin 10,64 snt/kwh. (Tilastokeskus, 2024a)

Kuva 9. Pelletin kuluttajahinta 2015-2023 (Tilastokeskus, 2024a).



3.2 Hake

Polttohaketta on ryhdytty Suomessa käyttämään ennen toista maailman sotaa. Haketta tehtiin tuolloin sahojen jättepuusta sekä pienikokoisesta runkopuusta. Varsinainen innostus polttohakkeen käyttöön kasvoi 1950-luvun puolivälissä, jolloin on valmistettu ensimmäisiä siirrettäviä hakkureita. Varsinainen hakkeen nousukausi alkoi 1970-luvun energiakriisistä, jolloin päätettiin ottaa energia käyttöön kaikki markkinakelvoton puu. Öljyn maailmanmarkkinahinnan laskeminen 1980-luvulla johti metsähakkeen suosion vähenemiseen. Uusi nousu alkoi kuitenkin vuosituhannen vaihtuessa. Hiilineutraalina polttoaineena hakkeen käytölle on nykyisin merkittäviä poliittisia kasvutavoitteita. (Pakkanen, 2017, ss. 49–64)

Luonnonvarakeskuksen (Luke, 2024) mukaan kuvassa 10. olevaa metsähaketta tullaan käyttämään vuonna 2023 noin 11,5 miljoonaa kuutiota. Hake ja metsähake tarkoittaa koneellisesti hakkurilla pieneksi silpuksi pienennettyä puuta. Haketta voidaan valmistaa hakkuutähteistä, karsimattomasta tai karsitusta koko puusta. Irtokuutiometri haketta sisältää keskimäärin 0,8MWh energiaa. (Bioenergianeuvoja, n.d. -b)

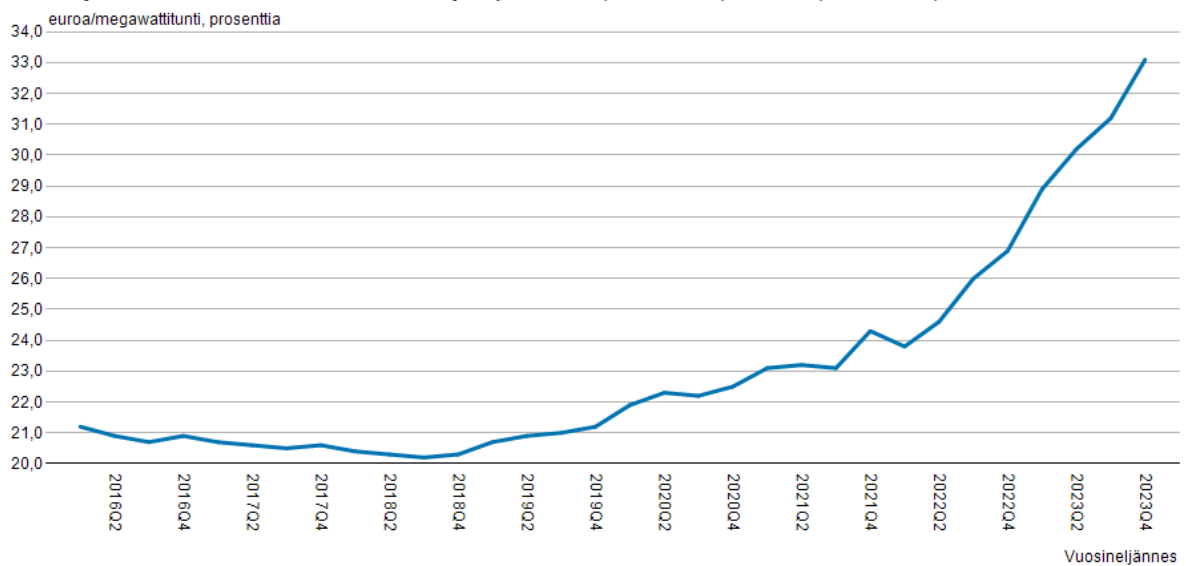
Kuva 10. Haketta (Bioenergianeuvoja, n.d. -b).



Kuvassa 11. on kaavio hakkeen hintakehityksestä. Kotimaisen hakkeen kysyntä on lisääntynyt rajusti vuoden 2022 jälkeen, kun maailman traagisten tapahtumien Euroopassa tehtiin poliittinen päätös kieltää energian tuonti Venäjältä. Taulukon taustadatan mukaan vuoden 2023 lopussa arvonlisäverollinen kilowatti tuntihinta metsähakkeella tuotettuna on ollut noin 4,1snt/kW. (Mäentausta, 2023; Tilastokeskus, 2024b)

Kuva 11. Hakkeen hintakehitys (Tilastokeskus, 2024b).

Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa (ei sis. alv) muuttujina Vuosineljännes. Metsähake/-murske käyttöpaikalla, (2016Q1-), Hinta (eur/MWh).



3.3 Polttopuu

Polttopuun käytölle on Suomessa pitkät perinteet. Koko energiahuoltomme perustui lähes yksinomaan puuhun 1900-luvulle saakka. Tuolloin noin puolet käytetystä puusta poltettiin ja puolet käytettiin rakennuksiin. Teollisuus, höyrylaivat ja junat olivat merkittäviä puun käyttäjiä aina 1960-luvulle saakka. Polttopuut tehtiin tuohon aikaan käsityönä ja kuljetettiin hevosilla. Vielä nykyään noin neljännes maamme energiasta katetaan puupolttoaineilla. (Pakkanen, ss. 7–48)

Nykyisin polttopuun suosio on uudelleen kasvussa. Lämmitysenergiasta polttopuulla tuotetaan jopa 40 %. Puulämmitys on usein kuitenkin vain tuki- tai täydentävä lämmitysmuoto esimerkiksi sähkö- tai öljylämmityksen rinnalla. Polttopuu mielletään edullisimmaksi lämmitysmuodoksi. Polttopuita poltetaan takoissa ja keskuslämmityskattiloissa. (Laitinen, ss. 105–111)

4 Paloturvallisuusmääräykset

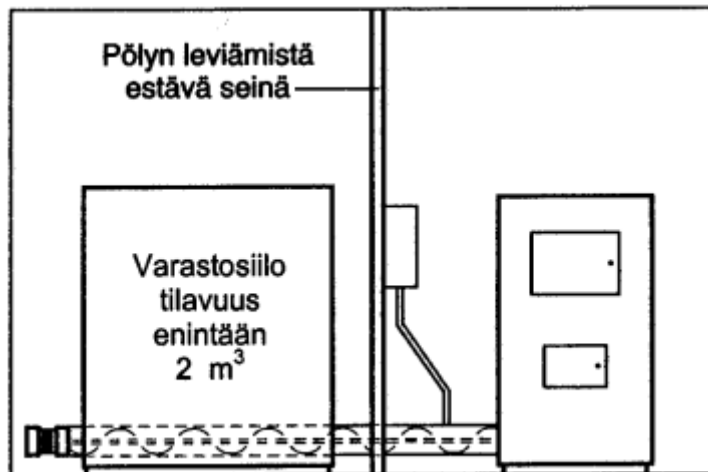
Kattilahuoneita koskee isojoukko erilaisia paloturvallisuusmääräyksiä, joista on säädetty ympäristöministeriön asettamissa rakentamismääräyskokoelmissa. Lisäksi vakuutusyhtiöiden keskusliitto on antanut erilaisia lämpökeskuksien turvallisuusohjeita, jotka pohjautuvat rakentamismääräyksiin ja vakuutusyhtiöiden ehtoihin. Myös turvatekniikan keskus on antanut laitteita koskevia ohjeistuksia ja suosituksia, joita käsiteltiin luvussa 2.5. (RakMK E9, 2005, s. 8)

Rakennuksen yhteyteen sijoitetulle keskuslämmityskattilalle täytyy olla oma osastoitu kattilahuone. Kattilahuoneen täytyy täyttää EI60-luokan määräykset, mikäli keskuslämmityskattilan teho on yli 30kW. EI30-luokan määräykset, mikäli kattilan teho on 30kW tai alle. Kattilahuoneen osastoivan palo-oven tulee olla luokitukseltaan vähintään puolet itse huoneen luokituksesta. (RakMK E9, 2005, s. 3–5)

Kattilan palamisilma tulee johtaa suoraan ulkoa ja kiinteää polttoainetta käytettäessä palamisilmakanavan tai -venttiilin poikkipinta-ala tulee olla vähintään 1,5ertainen savuhormin poikkipinta-alaan. Mahdollinen polttoainevarasto muodostetaan omaksi palo-osastokseen. Kiinteää polttoainetta EI60-luokan kattilahuoneen yhteyteen on mahdollista varastoida enintään 2 m³ teräksisessä säiliössä kuvan 12. mukaisesti. Ilman seinää teräksisessä säiliössä enintään 0,5 m³. Mikäli kiinteän polttoaineen varasto sijaitsee toisessa

palo-osastossa olevassa tilassa, syöttölaitteiston vieminen osastoivan rakennusosan läpi ei saa olennaisesti heikentää palo-osastointia. (RakMK E9, 2005, s.3–4)

Kuva 12. Polttoaineen varastoiminen EI60-luokka (RakMK E9, 2005, s. 4).



5 Logiikka ja oheislaitteet

Yksi ohjauksjärjestelmän keskeisimpiä tehtäviä on toimia laitteiston ja käyttäjän välisenä rajapintana. Käyttöliittymä voi koostua painikkeista, kytkimistä ja näytöistä, joiden avulla käyttäjä käskyttaa laitteistoa. Näiden sekä antureiden avulla käyttäjä saa tietoa laitteiston tilasta. Yksinkertaisimmillaan ohjaus koostuu yksittäisestä katkaisijasta, joka kytkee jännitteen. (Keinänen ym., 2000, s. 225)

Tänä päivänä käytettävät ohjauslaitteet ovat pääasiassa elektronisia ohjelmoitavia laitteita. Näitä ovat logiikat eli PLC:t ja teollisuus-PC:t. Ne vastaanottavat tuloyksikön välittämän tiedon antureilta ja suorittavat ohjausohjelman määräämät toimenpiteet. Vastaavasti lähtöyksikön kautta käskytetään laitteistoa. Pienissä järjestelmissä tulojen ja lähtöjen määrä voi olla 10 ja suurissa modulaarisissa järjestelmissä tulojen ja lähtöjen määrä voi olla kymmeniä tuhansia. Tuloja ja lähtöjä kutsutaan englanniksi input ja output eli I/O. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 248–252)

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyön kannalta merkitykselliset ominaisuudet logiikkalaitteista. Lisäksi käydään läpi I/O-laitteita ja I/O-laitteisiin kytkettäviä oheislaitteita kuten triakki, erilaisia antureita, releitä ja kontaktoreita. sekä niiden ympärille kytkettävistä oheislaitteista.

5.1 Beckhoff PC ja I/O

Kuvassa 13. on Beckhoff:n mallisarjan pienin kompakti teollisuus-pc. Mallia voidaan käyttää I/O-yhdyskäytävänä isommissa järjestelmissä tai itsenäisenä laitteena. Siihen voidaan liittää usb-laitteita ja lähes mikä tahansa näyttö display-portin kautta. Asennus voidaan tehdä din-kiskoon tai suoraan kotelon takalevyyn. (Beckhoff, n.d.)

Kuva 13. Beckhoff C6015 teollisuus pc (Beckhoff, n.d. -a).

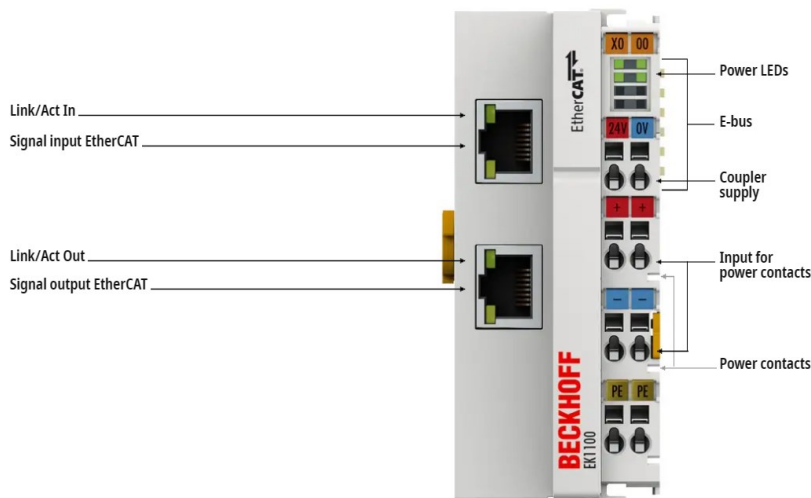


C6015 teollisuus-pc voidaan ohjelmoida IEC-standardin 61131–3 mukaisilla ohjelmointitavoilla. Näitä ovat rele- eli tikapuukaavio ladder, logiikkakaavio FBD, strukturoitu teksti ST sekä sekvenssikaavio SFC. Tikapuukaaviossa avautuvilla ja sulkeutuvilla koskettimilla muodostetaan ehtologiikka, jonka tila siirretään logiikan haluttuun bittiin. FBD on paljon käytetty ohjelmointimuoto sen visualisuuden seurauksena. Ehdot muodostetaan lohkoina, joiden välinen riippuvuus on selkeästi tulkittavissa. Strukturoitu teksti on lausekielinen ohjelmointikieli. Se on sopivin mutkikkaiden laskentaoperaatioiden ohjelmointiin sekä monimutkaisiin silmukkarakenteisiin. Sen etuna on suora siirrettävyys mihin tahansa logiikkaan. SFC-ohjelmointi soveltuu sekvenssien tekemiseen. Tällä tavoin muodostetaan sekvenssin runko eli askelia, johon voidaan ohjelmoida siirtymisehtoja ja toimenpiteitä, jollain muulla ohjelmointi muodolla. Sekvenssi soveltuu peräkkäisten toisistaan riippuvien toimenpiteiden ohjelmointiin. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 259–268)

EtherCat on Beckhoff:n kehittämä avoin tiedonsiirtoverkko. EtherCat-verkko on kehitetty teollisuuden tarpeisiin. Sitä käytetään etenkin hajautetun I/O:n kanssa yhdistämään

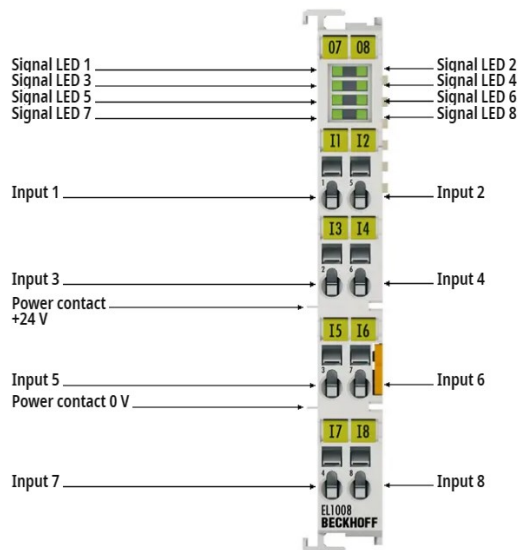
teollisuus pc:t ja eri puolilla tehdaskenttää sijaitsevat I/O-terminaalit toisiinsa, kuvissa 15. ja 16 I/O-terminaalien liittäminen ethercat-verkkoon vaatii kuvassa 14. olevan väyläterminaalin. EtherCAT on tavallista ethenetiä huomattavasti nopeampi. Sen nopeus perustuu tiedonsiirtotapaan. Verkossa ei ole lainkaan kytkimiä, vaan yksi master-laite ja loput ovat slave-laitteita. Jokainen laite poimii masterin lähettämästä viestikehyksestä oman viestinsä. Kehys etenee master-slave-ketjua, kunnes viimeinen laite palauttaa sen takaisin masterille. (EtherCat, n.d.)

Kuva 14. EK1100 EtherCat väyläterminaali (Beckhoff, n.d. -b).



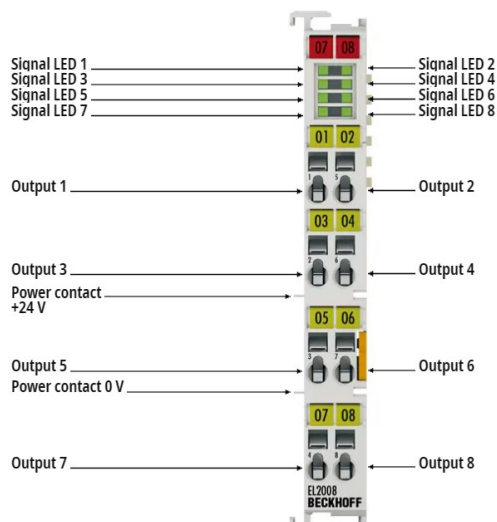
Kuvassa 15. on digitaalinen tuloyksikkö. Tuloyksikkö ottaa vastaan antureilta ja ohjauslaitteilta tulevat digitaaliset on/off-signaalit ja siirtää tiedot väyläterminaalin kautta keskusyksikölle. Modulaarisiin logiikoihin, joita tässä luvussa esitellyt Beckhoff:n laitteet ovat, on saatavissa useita erilaisia tuloyksiköitä. Nämä poikkeavat toisistaan muun muassa jännitteen kestossa ja -tyypissä, sekä tulojen määrässä. Yksikkö valitaan siihen kytkettävän tai kytkettävien anturien mukaan. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 250–251)

Kuva 15. 8-kanavainen input terminaali (Beckhoff, n.d. -c).



Kuvassa 16. on digitaalinen lähtöyksikkö, jota käytetään ohjaamaan muun muassa kontaktoreita, merkkilamppuja, apureleita tai magneettiventtiilejä. Erilaisten laitteiden vuoksi lähtöyksikön on kyettävä kytkemään erijännitteisten kuormien lisäksi erilaisia tehoja. Lähtöyksiköissä käytettäviä kytkintyyppejä ovat releet, transistorit ja triakit. Lähtöyksikkö valitaan kytkettävän laitteen mukaisesti. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 252)

Kuva 16. 8-kanavainen output terminaali (Beckhoff, n.d. -d).



5.2 PT100

Metallien perusominaisuuksiin kuuluu, että niiden resistanssi nousee lämpötilan myötä. Tämän mittaamiseen toiminnaltaan perustuvia lämpötila-antureita kutsutaan lyhenteellä RTD eli resistance temperature detector. Näistä yleisin ja eniten käytetty on kuvassa 17. oleva PT100. (Hanssen, 2015, ss. 106–107)

Kuva 17. PT100 lämpötila-anturi (Siemens, n.d.).

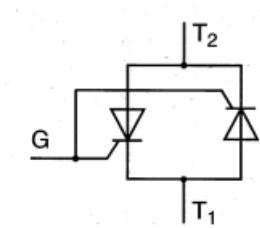


PT100 on edullinen ja sillä kyetään mittaamaan laajan skaalan lämpötiloja. PT viittaa platinaan ja 100 resistanssiin lämpötilassa 0°C. Anturissa on metallikuoren sisällä massassa platina sydän, jonka vastusarvon muuttumista mitataan. Tuota vastusarvon muuttumista vahvistetaan lähettimellä, jolla saadaan aikaiseksi isompi variaatio mitattuun arvoon muuttamalla se jännite- tai virtaviestiksi logiikkaan lähettämistä varten. (Hanssen, 2015, ss. 106–107)

5.3 Triac

Triakiksi kutsutaan komponenttia, jolla voidaan säätää kuorman tehoa portaattomasti 0–100 % alueella. Triac-säädin koostuu kuvan 18. mukaisesti kahdesta vastakkaissuuntaisesti rinnakkain kytketystä tyristorista. Yhdellä tyristorilla kuorman saama teho puolittuisi, sillä ne johtavat vain toisella vaihtosähkön puolijaksolla diodin tapaan. Tyristoreiden yhteen kytketyt anodit ja katodit muodostavat navat T1 ja T1. Triacin liipaisu johtavaksi tapahtuu yhteisen hilan G virtapulssilla. (Volotinen, 1997, s. 309)

Kuva 18. Triac-säätimen rakenne (Volotinen, 1997, s. 309).



Triac-säätimiä käytetään muun muassa valaisinten himmentämiseen tai 1-vaihe moottorin pyörimisnopeuden säätöön. Triac on johtavana, kunnes virran arvo alenee alle pitovirran. Jotta tyristorin hila aktivoituu, katodin jännite täytyy olla vähintään hilan kynnysjännitteen verran korkeampi, kuin hilan jännite. Vastaavasti katodin jännite täytyy olla matalampi, kuin anodin jännite. (Koskinen, 2002, s. 67–70)

5.4 Kapasitiivinen anturi

Kapasitiivisia antureita käytetään, kun tunnistettava aine ei ole metallia. Rakenteeltaan ne muistuttavat induktiivisia antureita, mutta niiden tunnistuselimenä on avattu kondensaattori. Tunnistusetäisyys riippuu olosuhteista. Pöly, kosteus ja lämpötila vaikuttavat tunnistusetäisyyteen. Tunnistaminen voi tapahtua myös sähköä johtamattoman pakkauksen läpi säätämällä anturin herkkyyttä. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 211)

5.5 Optinen anturi

Optisten antureiden käyttö automaatioissa on hyvin yleistä. Yksinkertaistetusti optisen anturin toiminta perustuu valonsäteeseen, jonka kulun tunnistettava kappale katkaisee tai vaihtoehtoisesti luo valonsäteen. Lähetin lähettää valonsädettä, joka erilaisilla pulssi ja taajuustoiminnoilla saadaan häiriön sietoiseksi ulkopuolisten valonlähteiden vaikutukselle. Vastaanottimeen sijoitettu valoherkkä transistori tai diodi tunnistaa tämän lähettimen lähettämän valonsäteen. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 214)

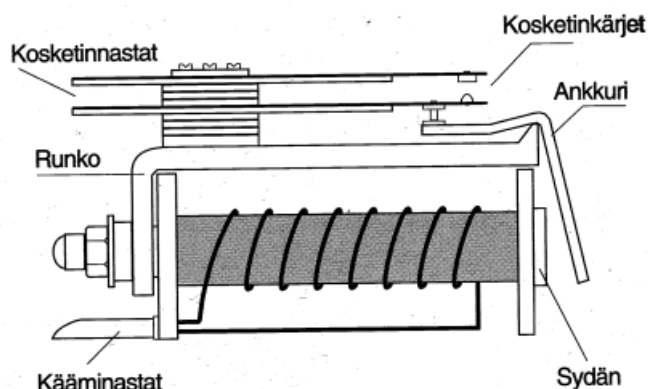
Peiliheijasteisessa optisessa anturissa sekä lähetin, että vastaanotin ovat samassa laitteessa. Toimiakseen anturi tarvitsee peilin, josta valonsäde heijastuu takaisin. Tunnistettava esine katkaisee valonsäteen takaisin heijastumisen. Pisimmillään laseranturin tunnistusetäisyys voi olla useita kymmeniä metriä. Myös tunnistettava kappale voi toimia valonsäteen takaisin heijastimena. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 215–216)

5.6 Releet ja kontaktorit

Rele on elektroninen tai sähkömagneettinen kelan sovellutuksena valmistettu kytkentälaitte. Releillä voidaan toteuttaa muun muassa heikon ohjaus signaalin vahvistus, potentiaali erotus, jännitteen sovitus, häiriöiden suodatuksia, päästö- ja vetohidastuksia tai koneturvallisuuden parantamista. Sähkömagneettiset releet ovat edullisia ja pienillä ohjausvirroilla toimivia komponentteja (Keinänen ym., 2019, s. 29)

Kuvassa 19. on releen rakenne periaate. Kelan nastoille tuotu ohjausvirta muodostaa sähkömagneetin rautasydämeen, joka vetää ankkuria puoleensa. Ankkuri painaa kosketinkärjet toisiinsa, jolloin virtapiiri kosketinnastojen välillä sulkeutuu. Kelan ohjausvirran katketessa jousi palauttaa kosketinkärjet alkuasentoonsa. Releissä voi olla avautuvia-, sulkeutuvia- tai vaihtokoskettimia. Kontaktori on nimitys releelle, joka kykenee kytkemään ja irrottamaan suuria sähkövirtoja. Kontaktoreita hyödynnetään esimerkiksi kolmivaihemootoreiden suorakäynnistyksessä. (Keinänen ym., 2019, s. 29–30)

Kuva 19. Releen rakenne periaate (Volotinen, 1997, s.142).



Releohjauksia on käytetty laajasti ennen ohjelmoitavia logiikoita. Niiden ongelma on kuitenkin monimutkaisten ohjausjärjestelmien suureksi kasvava koko sekä muuntelemisen hankaluus. Releet ovat kuluvia komponentteja, sillä ne kestävät vain rajallisen määrän sykäyksiä tai vetoja. Vanhemmiten releohjaus järjestelmät muuttuvat tästä syystä epävakaisiksi. Näiden heikkouksien takia releistä on luovuttu suurissa ohjausjärjestelmissä. Nykyisin ei ole enää suositeltavaa toteuttaa releillä ohjauksia, joissa olisi yli kymmenen relettä. (Keinänen ym. 2019, s. 31)

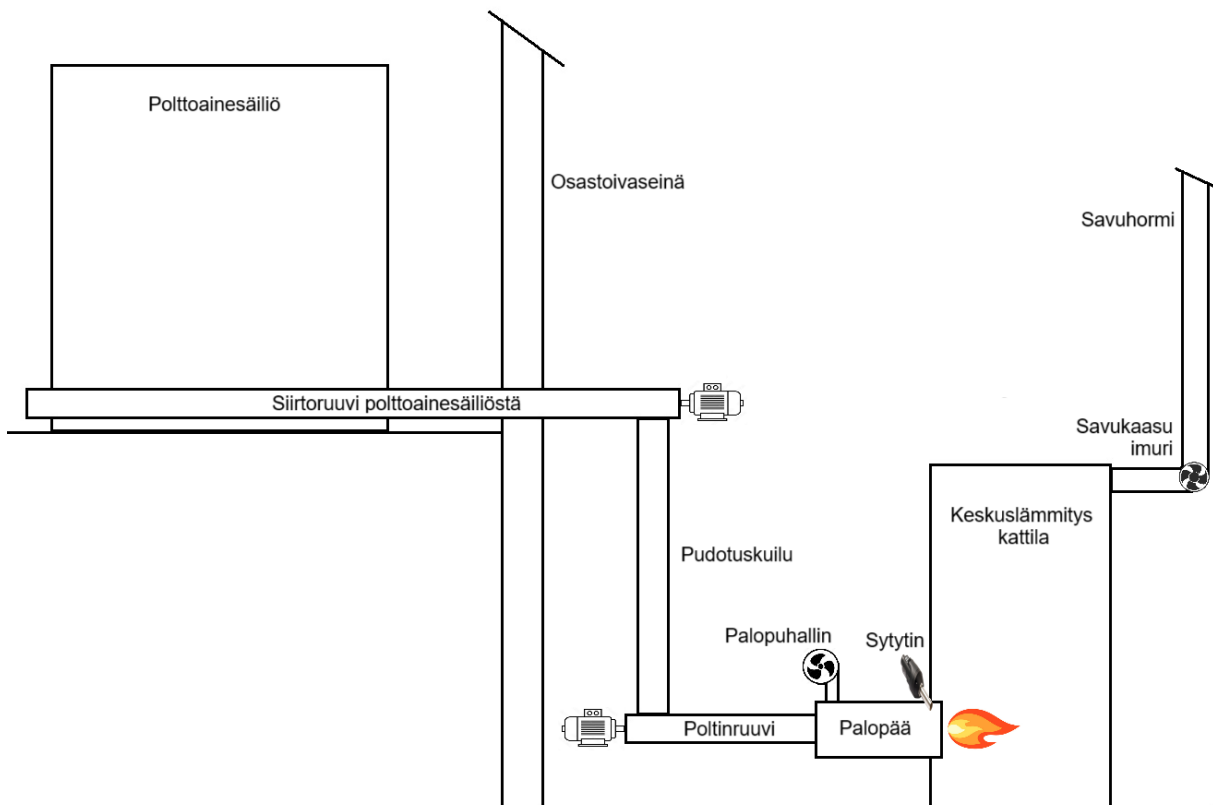
6 Suunnittelutyö

Tässä luvussa perehdytään pellettikattilan automaation muutostöihin hakekäyttöä varten. Käydään läpi asiakkaalle toimitetut mekaaniset laitteistot, niiden toimintaperiaatteet ja automaatiolle asettamat vaatimukset sekä edellytykset oikealaiselle toiminnalle. Lisäksi käsitellään automaation toteutus ja sen ympärilleen tarvitsemat oheiskomponentit.

6.1 Mekaanisen laitteiston tehtävä- ja toimintakuvaus

Kuvassa 20. on mekaanisen laitteiston toimintaperiaatekuva. Laitteisto koostuu polttoainesäiliöstä, ulkoisesta siirtoruuvista pudotuskuiluun, poltinruuvista, palopäästä sytyttimen ja palopuhaltimen kera sekä keskuslämmityskattilasta. Polttoainesäiliö sijaitsee rakennuksen ulkopuolella. Kattilahuone on osastoitu EI60 paloluokan vaatimukset täyttävällä rakenteella. Seinät ja katto ovat betonia. Kulkuovi kattilahuoneeseen täyttää saman paloluokan vaatimukset. Polttoainesäiliö on teräksinen ja siinä on ilmatiivis kansi. Polttoaineen eli hakkeen täyttö säiliöön tapahtuu koneellisesti rakennuksen ulkopuolella. Polttoainesäiliön kansi on avattava hakkeen täytön ajaksi.

Kuva 20. Mekaanisen laitteiston toimintaperiaate.



Ulkoisen siirtoruuvien tehtävänä on siirtää hake polttoainesäiliöstä pudotuskuiluun. Pudotuskuilu on toteutettu sulavasta putkimateriaalista, joka mahdollisessa takapalotilanteessa katkaisee palon nousemisen ulkoiseen siirtoruuviin ja etenemisen edelleen polttoainesäiliöön. Ruuvia pyörittää ketjuvälityksellä vaihteistoon kytketty kolmivaihe oikosulkumoottori. Siirtoruuvien halkaisija on 139 mm ja sen polttoaineen siirtokapasiteetti on 0,9 m³ tunnissa. Pituutta ruuvilla on kuusi metriä. Ruuvi on valmistettu teräksestä.

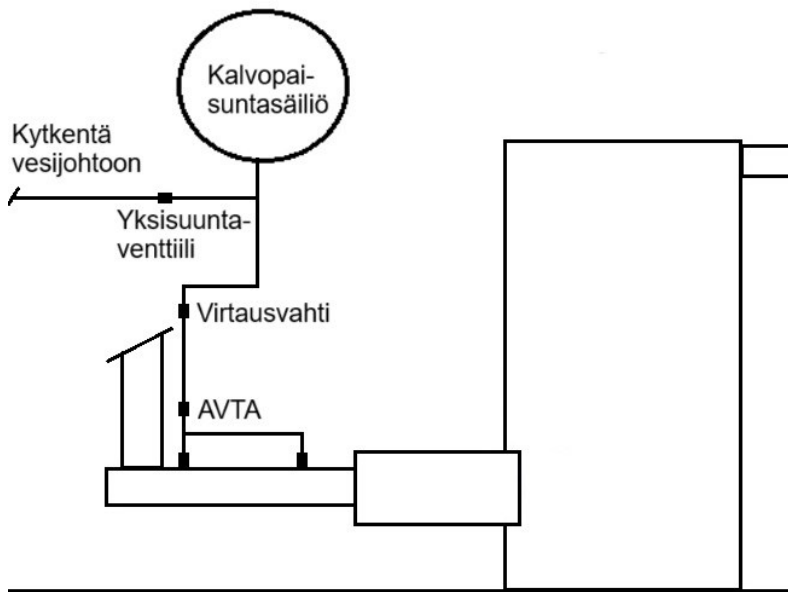
Poltinruuvien tehtävänä on siirtää pudotuskuilusta tuleva hake vähitellen palopäähän. Poltinruuvien halkaisija on 139 mm ja sen polttoaineen kuljetuskapasiteetti on 0,8 m³ tunnissa. Poltinruuvia pyörittää ketjuvälityksellä vaihteistoon kytketty kolmivaihe oikosulkumoottori. Palopään rakenne on vastaavanlainen kuin luvussa 2.4 on käsitelty. Palopuhaltimen ilma kulkee palopään poltinputken reikien läpi vaipan koteloista palotilaan. Syyttimen tehtävänä on käynnistymistilanteessa syyttää palopäässä oleva syytysannos.

Keskuslämmityskattilana on luvussa 2.3.1 läpi käyty Ariterm Biomatic+ 40., jonka palopesässä polttoaineen palokaasut palavat. Kuumat palamiskaasut kulkevat kattilan sisällä palopesästä konvektiokanaviin ja edelleen savukaasuimurin luoman vedon välityksellä keskuslämmityskattilasta hormin kautta taivaalle.

6.2 Turvajärjestelmät ja -laitteet

Kuten luvussa 2.5 käsiteltiin, hakelämmitysjärjestelmissä tulee olla kaksi toisistaan erillistä turvajärjestelmää. Tässä kyseisessä lämmitysjärjestelmässä pääturvajärjestelminä ovat pudotuskuilu sekä kuvassa 21. laitteineen oleva vesisammutusjärjestelmä. Pudotuskuilu on toteutettu sulavasta putkimateriaalista, joka mahdollisessa takapalotilanteessa katkaisee palon nousemisen ulkoiseen siirtoruuviin ja etenemisen edelleen polttoainesäiliöön. Järjestelmässä ei ole sulkusyötintä poltinruuvien ja ulkoisen siirtoruuvien välillä. Polttoaineen siirron ilmatiiviys on varmistettu ilmatiivistetyillä liitoksilla sekä ilmatiiviillä polttoainesäiliön kannella.

Kuva 21. Vesisammutus laitteisto.



Vesisammutusjärjestelmä on toteutettu kalvopaisuntasäiliö varmenteisena. Näin ollen sen toimivuus on varmistettu myös vesijohtoon vedensyötön häiriötilanteissa. Vesijohtoverkoston ja kalvopaisuntasäiliön välissä oleva yksisuunta-venttiili estää kalvopaisuntasäiliön tyhjenemisen verkoston suuntaan, mikäli sen paine laskee. Virtausvahdin kautta saadaan automaatiolle tieto sammutusjärjestelmän aktivoitumisesta. Tällöin automaatiolla pystytään katkaisemaan polttoaineensyöttö poltinruuville ja näin estämään takapalon leviäminen.

Termostaattisen AVTA-venttiilin anturi on kytketty poltinruuvien keskiosaan.

Vesisammutuspisteet sijaitsevat poltinruuvien alku- ja loppupäässä kuvan 21. mukaisesti.

Venttiili on säädetty laukeamaan poltinruuvien pintalämpötilan ylittäessä 80°C.

Keskuslämmityskattilassa on ylikuumentumisen varalle lämpömekaaninen termostaattikytkin, joka pysäyttää polttoaineen syöttämisen palopäähän.

6.3 Automaatiosuunnittelu

Automaation suunnittelu aloitettiin selvittämällä asiakkaan tarpeet järjestelmän ohjaukseen, mahdolliset myöhemmät laajennukset sekä itse mekaanisen laitteiston toiminta, joka kuvattiin luvussa 6.1. Kuten luvussa 2.3.1 käsiteltiin, Biomatic+ 40 kattilassa on keskuslämmityksen lämmönsäätö- ja pellettipoltin automatiikka. Muutoksen toteuttamista varten kattilan pellettipoltin automatiikka poistettiin käytöstä. Uuden automaation suunnittelussa haluttiin asiakkaan pyynnöstä kiinnittää erityistä huomiota paloturvallisuuteen.

Takapalon ehkäisemiseksi automaatiota lähdettiin suunnittelemaan siten, että poltinruuvi tulee polton päättyessä tyhjäksi. Polttoaineen puuttuessa poltinruuvista, takatulen pitäisi olla mahdoton. Sähkönsyötön aiheuttamia häiriöitä lukuun ottamatta.

Poltinruuvin tyhjäksi jääminen polton päättyessä johtaa siihen, että palopäästä puuttuu viretuli. Viretulen tehtävä olisi sytyttää polttoaine uuden polton alkaessa. Näin ollen polttokierron alkaessa tuli on sytytettävä sytyttimellä. Tämä lisää jonkin verran järjestelmän sähkönkulutusta sekä hidastaa täyden polttotehon saavuttamista. Vastapainona on kuitenkin paloturvallisuuden oleellinen parantuminen.

Poltinruuvin tyhjeneminen edellyttää, että polton käynnistyessä poltinruuviin ja palopäähän ladataan tietyn verran polttoainetta. Tämä käytetään poltossa keskuslämmityskattilan lämmittämiseksi, eikä uutta polttoainetta tuoda alku latauksen jälkeen siirtoruuvilla polttoainesäiliöstä. Kattilan haluttu hystereesi on suoraan verrannollinen alku latauksessa tarvittavan polttoainemäärän kanssa. Mitä pienempi hystereesi kattilan lämpötilassa on, sitä vähemmän polttoainetta on ladattava poltto varten. Alku latauksessa tuotavaa polttoaine määrää määriteltäessä, on huomioitava, että sytytyksen toimiminen edellyttää palopäähän vähintään 1,5 litraa haketta. Tämä on todettu mittauksilla. Pienemmällä polttoainemäärällä sytyttimen puhaltama kuuma sytytysilma menee polttoaineen ohitse.

Luvussa 2.3.2 käsiteltiin lämmittämiseen tarvittavan energian kaavoja. Niiden mukaan Biomatic+ 40 kattilan 15°C hystereesillä, 93 % hyötysuhteella ja hakkeen 0,8MWh energiasisällöllä tarvittava alku latauksen polttoainemäärä olisi laskettavissa seuraavasti.

Kattilaveden 15°C lämpötilan nousemiseen vaadittava energia.

$$Q = cm\Delta T = 4,186 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot 173kg \cdot 15^{\circ}C \approx 10863kJ$$

Tarvittava energiamäärä kattilan hyötysuhde huomioiden.

$$E_{hake} = \frac{E_{veteen}}{\eta} = \frac{10863kJ}{0,93} \approx 11681kJ$$

Lämpötilan nostamiseksi tarvittava tehon määrä.

$$P_k = \frac{W}{t} = \frac{11681}{3600} \approx 3,245kWh$$

Vaadittavan tehon saavuttamiseksi tarvittava hakkeen määrä.

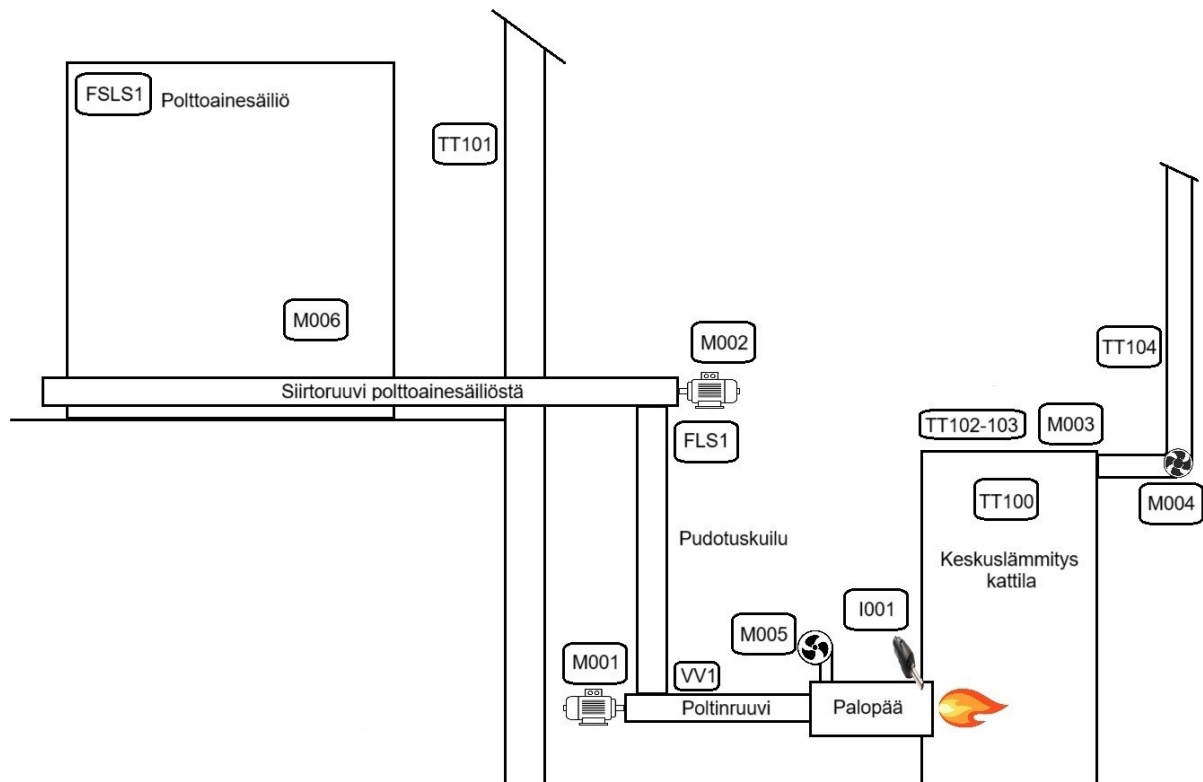
$$\frac{3,176kWh}{\frac{0,8MWh}{m^3}} \approx 0,00406m^3$$

Eli kattila veden 15°C lämpötilan nostamiseksi haketta tarvitaan noin 4 litraa. Vastaavalla tavalla 10°C lämpötilan nostamiseksi tarvittava hakemäärä on noin 2,7 litraa ja 20°C nostamiseksi 5,4 litraa. Asiakkaan toiveesta hystereesiä pitäisi pystyä muuttamaan visuaalisesta ohjausjärjestelmästä. Ottaen huomioon sytytyksen ja palotapahtuman onnistumisen sekä keskuslämmityskattilan kestävyys, on järkevintä suositella 15 asteen hystereesiä. Perustuen laskettuihin hakemääriin, alle 10 asteen hystereesillä sytytyksen epäonnistumisen todennäköisyys kasvaa ja yli 20 asteen hystereesillä kattilan käyttöikä lyhenee kondenssiveden aiheuttaman korroosion seurauksena. Hystereesin säädettävyys lienee perusteltua täten rajata ohjelmallisesti 10 ja 20 asteen välille.

6.3.1 Instrumentointikaavio

Kuvassa 22. on järjestelmän instrumentointikaavio. Kaavio antaa toiminnallisen kokonaiskuvan laitteistosta ja sisältää kaikki toiminnalliset laitteet. I/O-luettelo ja osaluettelo on lähdetty tekemään instrumentointikaavion perusteella lisäten asiakkaan toivomat ohjauskeskuksen manuaaliohjaukseen vaaditut komponentit.

Kuva 22. Instrumentointikaavio.



6.3.2 Osaluettelo

Mekaaninen laitteisto, moottorit, sytytin, puhaltimet, jne. tarvitsevat ympärilleen toimintaansa varten sähköisiä peruskomponentteja. Tähän työhön pyrittiin valitsemaan peruskomponentit mahdollisimman kustannustehokkaasti. Valintaan vaikuttivat myös asiakkaan toiveet. Tässä luvussa käydään läpi projektin toteutuksessa tarvittu keskeisimmät komponentit. Näitä ovat moottorit M001-M006, anturit, rajakytkin sekä keskuksen komponentit. Todettakoon, että työ on mahdollista tehdä myös muiden tuotemerkkien komponenteilla, joilla on vastaavat ominaisuuden kuin tässä valituilla. Tässä käsitellyt komponenttien lyhenteet ovat vastaavia, kuin liitteenä 2 olevissa keskuksen suunnitteludokumenteissa.

Moottorit M001 ja M002 ovat kolmivaihemoottoreita. Molemmat ovat kytkettyä suoraan vaihteistoon. M001 on teholtaan 0.75kW ja M002 1,1kW. Keskuksessa moottorilähtökomponentteina käytettiin ABB:n kontaktoreita kuvassa 23. ja Schneider Electricin lämpöreleitä. Releiden ja kontaktoreiden toimintaperiaatteita tarkasteltiin luvussa

5.6. Kontaktoreissa K1 ja K3 on 3 pääkosketinta ja yksi NO-apukosketin. Kontaktorissa K2 on 3 pääkosketinta ja yksi NC-apukosketin.

Kuva 23. ABB:n AF09-30-01-11 kontaktori (ABB, n.d.).



Moottorit M004 – M006 ovat yksivaihe ec-puhallin moottoreita. Tehoiltaan 60w, 80w ja 100w. Näiden moottoreiden tehoa on pystyttävä säätämään portaattomasti palamisprosessin ohjattavuuden hallitsemiseksi. Tämän vaaditun ominaisuuden vuoksi ohjaukseen valittiin Electromen EM-162 triac-säätimet, liitteiden piirikaaviossa tunnuksilla T2-T4. Triac-säätimien toimintaperiaatetta on käsitelty luvussa 5.3. Kyseisten triac-säätimien tehoa ohjataan 0–10 v jännite- tai vaihtoehtoisesti 4-20mA virtaviestillä. Konvektionpuhdistusmoottori M003 on 50w yksivaiheinen vaihteistomoottori. Tämän käynnistyskomponentiksi valittiin Omronin pistokantarele. Sama pistokantarele valittiin käytettäväksi myös Leisterin BM4 sytyttimelle I001.

Lämpörele on kuvassa 24. kytkettiin kuvassa 25. olevaan asennusalustaan. Näin jokaiseen kontaktoriin ei tarvinnut liittää omaa lämpörelettä. Asennusalusta kiinnitettiin asennuskaapin DIN-kiskoon. Lämpöreleet säädettiin moottoreiden M001 ja M002 maksimi kuormitusvirran mukaan.

Kuva 24. Lämpörele (Schneider Electric, n.d. -a).



Kuva 25. Lämpöreleen asennusalusta (Schneider Electric, n.d. -b).



Lämpötila-antureiksi TT100, TT102 ja TT103 tässä työssä käytettiin Siemensin QAP2010.150 PT100-antureita. Ulkoanturina TT101 Siemensin QAC2010 PT100 anturia. PT100 anturin rakennetta ja toimintaa käsiteltiin luvussa 5.2. Savukaasun lämpötila-anturiksi valittiin Siemensin FGT-PT1000. Kyseiset anturit kytketään kaksijohdin tekniikalla. Ulko-anturia lukuun ottamatta antureiden runko-osasta lähtee 1,5 m suojattu silikonijohdin.

Instrumentointikaavion FLS1 on kapasitiivinen anturi, jonka tehtävä on tunnistaa esimerkiksi tukoksen seurauksena täytynyt pudotuskuilu. Tämän anturin toiminnan tarkoituksena on yhdessä logiikan oikeanlaisen ohjelmoinnin kanssa estää polttoaineen pakkautuminen ulkoiseen siirtoruuviin eli estää siis moottoria M002 käynnistymästä, mikäli pudotuskuilu on täynnä polttoainetta. Anturiksi tähän valittiin IFM:n KI5086.

Sulakkeilla F1-F5, F11-12 suojattiin kaikki toteutuksen virtapiirit. 24F8-10 sulakkeilla suojattiin 24VDC laitteet sekä +24VDC jännitteen jakokisko. Sulake suojaa komponentteja vikatilanteissa, joita ovat esimerkiksi oikosulku ja ylikuormitus. Sulakkeina tässä käytettiin ABB:n S200-sarjan C-käyrän johdonsuojakatkaisimia. Sulakkeen valinta riippuu kuorman laadusta sekä vaaditusta katkaisunopeudesta. KytKentäkaapiksi valittiin Rittalin AX-sarjan 600x800x250 IP66-luokituksen teräskaappi.

6.3.3 PLC-järjestelmä

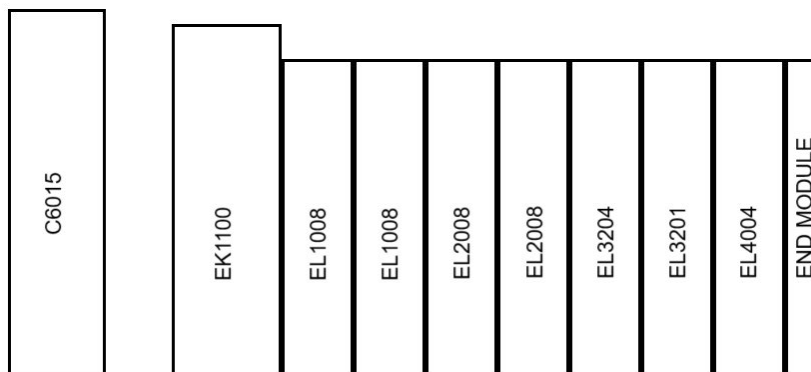
Kuvan 26. I/O-luettelossa sähköpositio OK tarkoittaa ohjauskeskusta, KLK keskuslämmityskattilaa, PS polttoainesäiliötä ja UT ulkotilaa. Luettelon perusteella logiikassa tulee olla DI-portteja ohjauksien toteuttamiseksi 11 kappaletta, DO-portteja 7 kpl, AI-portteja 5 kpl ja AO-portteja kolme kappaletta.

Kuva 26. I/O-luettelo.

SÄHKÖ- POSITIO	PIIRIN		LOGIIKAN	
	TUNNUS	PIIRIKUVAUS	OSOITE	PLC TUNNUS
OK	S1.0	Hätäseiskeytkin keskuksen kotelossa	81.7	EmergencySwitch
	S2.0	Käyntilupakytkin keskuksen kotelossa	81.5	StartPermission
	S3.0	Vikatilan kuittauspainike	81.4	FailResetButton
	S3.1	Vikatilan valo	47.5	FailModeLight
	S4.1	Ulkoinenruuvi eteenkytkin	81.3	ExternalConveyorForwardSwitch
	S4.2	Ulkoinenruuvi taaksekytkin	81.2	ExternalConveyorReverseSwitch
	S5.0	Poltinruuvi eteenkytkin	81.6	BurnConveyorRunForwardSwitch
	M004-6	Jännitteensyöttö Triacille	47.6	FansPowerOn
M001	M001.R	M001 Käy	47.0	BurnConveyorRun
	M001.F	M001 Vikatieto	81.0	BurnConveyorNotFail
M002	M001.R	M002 Eteen	47.1	ExternalConveyorRun
	M002.B	M002 Taakse	47.2	ExternalConveyorReverse
	M002.F	M002 Vikatieto	81.1	ExternalConveyorNotFail
KLK	TT100	Kattilan lämpötila-anturi	63	BoilerTemperature
	TT102	Patterikierron veden lämpötila	71	RadiatorWaterTemperature
	TT103	Lattiakierron veden lämpötila	75	FloorWaterTemperature
	TT104	Savukaasun lämpötila	79	SmokeTemperature
	M003	Konvektion puhdistus	47.3	ConvectionClean
	M004	Savukaasuilmuri nopeusasetus	43	SmokeFanSpeed
	M005	Palopuhallin nopeusasetus	39	BurnFanSpeed
	I001	Sytytys	47.4	Ignition
	VV1	Virtausvahti	82.3	FireExting
PS	M006	Kuivauspuhaltimen nopeusasetus	41	DryFanSpeed
	FSL1	Säiliön kannen rajakytkin	82.1	FuelStorageLimitSwitch
	FLS1	Pudotuskuilun yläpään anturi	82.0	FuelLevelSensor
UT	TT101	Ulkolämpötila	67	OutTemperature

Logiikka sekä vaaditut I/O-portit valittiin toteutettavaksi Beckhoff:n toimittamilla laitteilla, joita käsiteltiin luvussa 5.1. DI-porteille valittiin kaksi EL1008 terminaalia. Näin käyttöön tuli yhteensä 16 DI-porttia, joista toteutukseen käytettiin 11 kappaletta. DO-porteille valittiin kaksi EL2008 terminaalia. 16 portista toteutukseen käytettiin 7 kappaletta. Viisi kappaletta AI-portteja vaativille lämpötilamittauksille valittiin terminaali EL3204 ja EL3201. AO-portit toteutettiin EL4004 terminaalilla. Toimiakseen terminaalit tarvitsevat EK1100 linkin logiikan PC:n ja terminaalien välille. Järjestelmään valittiin C6015 PC. Rakenne kuvassa 27.

Kuva 27. PLC-järjestelmän rakenne.



6.3.4 Piirikaaviot

Suunnittelussa edettiin piirikaavioiden toteuttamisvaiheeseen komponenttien valintojen ja I/O määrittelyiden jälkeen. Piirikaavioiden toteutukseen käytettiin CADS Electric-suunnitteluohjelmaa. Tämän opinnäytetyön liitteenä 2 olevissa piirikaavioissa on nähtävissä jännitteenjaot sekä kytkennät eri laitteiden välillä.

Ohjauskeskusta syöttävään johtimeen asennettiin keskukseen päävirtakatkaisija S1. Vaiheiden L1-L3 kuormat pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisena. Tämän periaatteen mukaan vaiheelle L1 kytkettiin muuntaja T1 ja konvektion puhdistusmoottori. Vaiheelle L2 kytkettiin logiikan näytön pistorasia sekä sytytin I001. Vaiheelle L3 kytkettiin triac-säätimet T2-T4. Moottorit M001 ja M002 ovat kolmivaiheisia 50Hz 400VAC moottoreita.

6.3.5 Toimintaselostus

Kattilahuoneen seinälle asennettiin logiikkaa ja sen oheislaitteita varten uusi keskus. Keskuksen kotelon kanteen asennettiin asiakkaan pyynnöstä manuaalikäyttöä varten kytkimet, joista polttoaineen ulkoista siirtoruuvia voidaan ajaa eteen ja mahdollisen tukoksen vuoksi myös taakse. Poltinruuvien manuaaliselle eteen ajolle asennettiin oma käyttökytkimensä ja vikatilaa kuittaavalle valo sekä kuittauspainike.

Automaation toteutus perustuu sekvenssiohjaukseen ja sitä täydentäviin FBD-ohjauksiin. Liitteessä 1 on sekvenssiohjelma. Sekvenssissä on useita ajastimia, sillä polttoaineen lataus,

sytytys, poltinruuvien työaika sekä tauko-aika perustuvat kaikki säädettävissä oleviin ajastettaviin toimintoihin. Seuraavassa ohjelmallinen toiminta tiivistetysti.

Ohjelmakierto alkaa, kun keskuslämmityskattilan lämpötila laskee näytöltä asetetulle alarajalle. Lämpötilojen skaalauksille on erillinen FBD-ohjelma, josta lämpötilan alarajalle saapuminen asetetaan erillisellä sisäisellä muuttujalla ja vastaavasti ylärajalle. Ulkoinen ruuvi käynnistyy säädetyllä ennakolla poltinruuviin nähden. Tällä pienennetään käynnistymisestä syntyvää virtapiikkiä sekä tasaan käyntinopeuksien eroa. Ruuveja käyttävät moottorit pyörivät säädetyin ajan ladatakseensa poltinruuviin ja palopään polttoaineella sytytystä varten. Ulkoiselle ruuville on latauksen aikana 16 sekunnin välein kuuden sekunnin käyntitauko. Tällä tasataan ruuvien tuottoeroja estäen, ettei pudotuskuiluun synny tukkeumia. Säädetyt luvut perustuvat mittauksiin.

Poltinruuvien latauksen ollessa valmis, ruuvit pysähtyvät ja sytytin käynnistyy. Savukaasuimuri käynnistyy sytytysvaiheen teholla. Sytytin ottaa tarvitsemansa ilman palopuhaltimelta. Sytytysajan päätyttyä palopuhallin käynnistyy ja savukaasuimuri siirtyy polttovaiheen teholle. Ohjelmassa on 45 sekunnin palontasaantumisaika, jonka jälkeen polttoaineensyöttö palopäähän käynnistyy säädettyjen työ- ja tauko-aikojen mukaisesti. Poltinruuvien työkertojen määrä määräytyy työajan ja ladatun polttoaineen mukaisesti. Esimerkiksi 55 sekunnin polttoainelatauksella ja viiden sekunnin työajalla työkertoja tulee olla 11 kappaletta. Nämä ovat kuitenkin erikseen näytöltä säädettävissä, sillä kostealla polttoaineella työaika tulee olla lyhyempi ja näin ollen työkertoja täytyy olla useampia, jotta poltinruuvi tyhjenee polton aikana siihen aluksi ladatusta polttoaineesta.

Polton päättymistoimenpiteet käynnistyvät, kun työkertojen määrä tulee täyteen tai asetetun lämpötilan yläraja saavutetaan. Päättymistoimenpiteisiin kuuluu poltinruuvien 20 sekunnin pyöriminen ja palopuhaltimen sekä savukaasuimurin 75 sekunnin käyminen. Näiden päätteeksi sekvenssissä siirrytään odottamaan lämpötilan laskua asetettuun alarajaan. Sekvenssin päätyttyä polttoainesäiliön kylmäilmakuivain käynnistyy näytöltä asetetulla teholla. Mikäli sekvenssi pyrkii käynnistymään uudelleen alle peräkkäisten käyntien estolle säädettyä aikaa, siirrytään sekvenssissä vikatilaa. Sama vikatila kytkeytyy myös, mikäli vesisammutusjärjestelmän virtausvahti on lauennut. Vikatilasta ei voida edetä sekvenssin käynnistymiseen, ellei käyttäjä kuittaa vikatilaa ohjauskeskuksen painikkeesta.

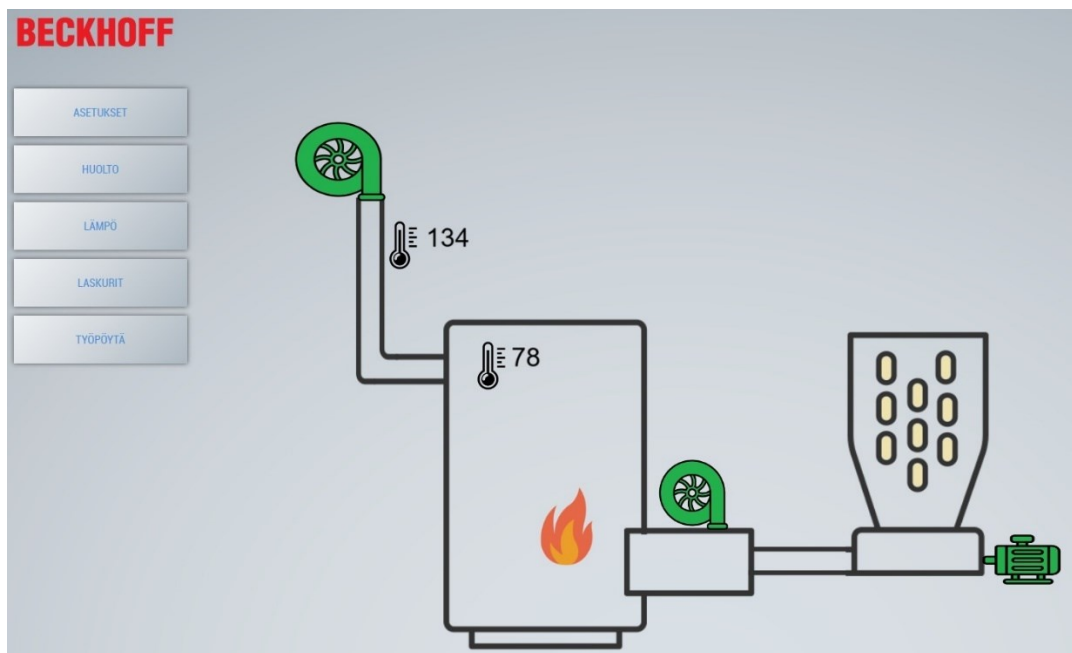
Konvektion puhdistukselle on oma sekvenssi, joka on täysin riippumaton muista logiikan suorittamista ohjelmista. Konvektion puhdistusväli sekä -aika ovat säädettävissä näytöltä. Lisäksi puhaltimien ja savukaasuimurin käyttöä voidaan hallita näytöltä laitteiston

huoltotoimenpiteitä ja testausta varten. Polttoa suorittava sekvenssi ei käynnisty, mikäli ohjauskeskuksen käyntilupakatkaisija ei ole päällä tai polttoainesäiliön kansi on auki.

6.4 Visualisointi

Ohjelmalle luotiin visualisointi eli käyttöliittymä Visual Studiolla. Käyttöliittymästä voidaan ohjata järjestelmän toimintoja sekä asettaa halutut arvot muuttujille ja ajastimille. Käyttöliittymä pyrittiin toteuttamaan selkeänä ja yksinkertaisena. Kuvassa 28. on käyttöliittymän työpöytänäkymä. Näkymässä on esitetty helposti havainnoitavasti savukaasun ja kattilan lämpötilat. Vihreällä näkyvät puhaltimet tarkoittavat niiden olevan käynnissä.

Kuva 28. Käyttöliittymän työpöytänäkymä.



Käyttövalikot ovat työpöytänäkymän vasemmassa reunassa. Asetukset-valikosta pääsee muuttamaan muuttujien arvoja. Huolto-valikosta voi käynnistää manuaalisesti järjestelmän eri laitteita. Lämpötila-valikko lisättiin automaatiojärjestelmään myöhemmin lisättäviä lämmönsäätöjä varten. Laskurit valikosta on mahdollista tarkkailla hakkeen kulutusta. Kulutuslaskenta perustuu ulkoisen siirtoruuvien tuntituottoon sekä käyntiaikaan.

7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön päätarkoituksena oli toteuttaa automaatio-ohjaus, jolla pellettikattila voidaan ottaa hakekäyttöön. Järjestelmästä oli tavoitteena saada paloturvallinen, säädettävä ja toimintavarma. Suunnittelussa haluttiin huomioida myös asiakkaan toiveet.

Toteutusprosessin onnistumista arvioitaessa asiakkaan palautteella on hyvinkin suuri merkitys.

Ryhdyttäessä projektiin ei ollut tiedossa eikä sen aikana tullut tietoon, että vastaavia muutoksia olisi tehty aikaisemmin. Oli osin epävarmaa, toimiiko mekaaninen laitteisto, keskuslämmityskattila ja automaatio yhdessä kokonaisuena järjestelmänä muutoksen jälkeen. Näihin alkuasetelmiin nähden projekti onnistui yli odotusten. Järjestelmä on ollut tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä asiakkaalla käytössä lähes vuoden ajan.

Asiakkaan mukaan takapalolta suojaava vesisammutusjärjestelmä ei ole lauennut kertaakaan. Tämä kertoo siitä, että suunniteltu poltinruuvin alkulataus polttoaineella, sytytys ja tyhjeneminen polton aikana on ollut onnistunut ratkaisu paloturvallisen laitteiston sekä automaatio-ohjauksen suunnittelussa. Asiakkaan mittauksien mukaan sytytys kattilan jokaisella käynti kerralla on kuluttanut sähköä kovina pakkaspäivinä noin neljä kilowattia. Tässä kulutuksessa on mukana myös näytön, logiikan, puhaltimien ja ruuvimoottoreiden sähkönkulutus.

On arveltu, että sähkönkulutus on sytyttimen kulutuksen verran suurempi kuin perinteisten viretulta ylläpitävien laitteistojen. Toisaalta paloturvallinen laitteisto on asiakkaalle tärkeämpi arvo, kuin muutamilla kilowateilla lisääntynyt sähkönkulutus. Näin pientä sähkönkulutuksen nousua ei asiakkaan toimesta nähdä negatiivisena asiana. Poltinruuvin tyhjenemisen tuomana positiivisena yllätyksenä on ollut palopään vähäisempi sintraantumisen, kuin viretulta ylläpitävissä laitteistoissa. Näin ollen asiakas on säästänyt aikaa laitteiston huoltotoimenpiteissä. Järjestelmän lämpötehoksi on mitattu 38-50kW käytettävän polttoaineen koostumuksesta ja ominaisuuksista riippuen. Tämä on hyvin linjassa järjestelmän tehoon ennen muutokseen ryhtymistä.

Suunnitellun järjestelmän kaikkia asetuksia on mahdollista säätää visuaalisesta näytöstä. Asiakas on kertomansa mukaan ollut säätömahdollisuuksiin tyytyväinen, joskin säätöarvoille rajattiin logiikkaan maksimi ja minimi arvot muutamien käyttäjälähtöisten virheellisten asetusten syöttämisen jälkeen. Tyytyväisyyttä on herättänyt myös toimintavarmuus. Automaatiosta johtuvia käyttökatkoja ei ole ollut. Muutamat vuoden aikana sattuneet

sähkökatkot ovat aiheuttaneet hankaluuksia. Automaation pitäisi käynnistyä uudelleen sähkökatkon jälkeen, mutta aina näin ei ole kuitenkaan tapahtunut. Jatkokehityksenä onkin ollut ajatus koko lämmitysjärjestelmän liittamisestä automaatioineen UPS-laitteistoon. Lisäksi on ollut kaavailuja lämpötila-anturin lisäämisestä palopäähän polttoaineen syttymisen varmistamiseksi. Jatkokehitystä on myös jo aiemmin tässä opinnäytetyössä mainittu lämmönsäätöjärjestelmän liittäminen osaksi suunniteltua automatiikkaa.

Lähteet

ABB. (n.d.). *AF09-30-01-11 7* [kuva].

<https://new.abb.com/products/fi/1SBL137001R1101/af09-30-01-11>

Ariterm, (n.d. -a). *Ariterm minijet 40* [kuva]. https://biosystems.aritermshop.fi/bio_fi/root-catalog/biopolttimet/hakejet/minijet-40/palopaa.html

Ariterm. (n.d. -b). *Ariterm Biomatic+ 40* [kuva]. <https://ariterm.fi/lammitysratkaisut/ariterm-biomatic-20/>

Ariterm, (n.d. -c). *Ariterm Biomatic+ 40 asennus- ja käyttöohje*. <https://ariterm.fi/wp-content/uploads/2020/04/AritermService-Biomatic-40-asennus-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ohjeet.pdf>

Beckhoff, (n.d. -a). *Ultra-compact industrial PC*. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/pcs/c60xx-ultra-compact-industrial-pcs/c6015-0010.html?>

Beckhoff, (n.d. -b). *EK1100 – EtherCAT Coupler* [kuva]. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/ek1xxx-bk1xx0-ethercat-coupler/ek1100.html>

Beckhoff, (n.d. -c). *EL1008 – EtherCAT Terminal* [kuva]. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1008.html>

Beckhoff, (n.d. -d). *EL2008 – EtherCAT Terminal* [kuva]. <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2008.html>

Bioenergia, (n.d.). *Pellettienergia* <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/pellettienergia/>

Bioenergianeuvoja. (n.d. -a) *Pelletti*. <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>

Bioenergianeuvoja. (n.d. -b) *Hake*. <https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/>

EtherCat. (n.d.) *EtherCAT – The Ethernet Fieldbus*. <https://www.ethercat.org/en/technology.html>

Haapalainen, E. & Vepsäläinen, T. (1992). *LVI Lämmitystekniikka*. VAPK-kustannus.

- Hankkija. (n.d.). *Veto stokeri* [kuva]. <https://www.hankkija.fi/viljankasittely-ja-lammityslaitteet/hakelammitys/ia-ala--talkkarin-veto--turvehakemaatti-2005059/>
- Hanssen, D. (2015). *Programmable logic controllers*. WILEY.
- Hautala, M. & Peltonen, H. (2016). *Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1*. Lahden Teho-Opetus Oy.
- Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Lähetkangas, M & Sumujärvi, M. (2009). *Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat*. WSOYpro OY.
- Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Metso, T. Putkonen, K. (2001). *Logiikat ja ohjausjärjestelmät*. WSOY.
- Keinänen, T. & Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. Sanoma Pro Oy.
- Koskinen, M. (2002). *Analogiasuunnittelu*. Sanoma Magazines.
- Laitinen, J. (2010). *Pieni suuri energiakirja – opas energiatehokkaaseen asumiseen*. Into Kustannus Oy.
- Luonnonvarakeskus Luke. (2024). *Metsähakkeen kokonaiskäyttö käyttökohteittain*. Tilastotietokanta. <https://statdb.luke.fi>
- Mäentausta, R. (2003). *Energiapuusta maksetaan jo saman verran kuin kuitupuusta, kysyntä nosti hinnat pilviin*. <https://yle.fi/a/74-20048789>
- Mäkelä, O. (1995). *Klapikattiloiden käyttöominaisuudet*. Maatalouden tutkimuskeskus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/443348/vtiedote71_95.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pakkanen, E. (2017) *Halkojen suomi. Energiaa puusta*. Metsäkustannus Oy.
- Pääрни, K. (2013). *Talotekniikka. Pientalon LVI-työt*. Karisto Oy.
- Rakennustieto. (2007). *Rakennusten lämmitysjärjestelmät*. Rakennustietosäätiö RTS.

Rakennusmääräys RakMK E9. (2005) *Suomen rakentamismääräykokoelma.*

Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus.

<https://www.finlex.fi/data/normit/28202-E9su2005.pdf>

Volotinen, V. (1997). *Analoginen elektroniikka. Komponentit ja peruskytkennät.* WSOY.

Wilkins, M-J. (2012). *Bioenergia.* (N. Valjakka, käant.). Biomass Power. (Alkuperäisteos julkaistu 2009)

Schneider Electric. (n.d. -a). *Lämpörele 1,8-2,6A* [kuva].

<https://www.se.com/fi/fi/product/LR2K0308/l%C3%A4mp%C3%B6rele-1826-a/>

Schneider Electric. (n.d. -b). *TeSys Lämpöreleen asennusalusta* [kuva].

<https://www.se.com/fi/fi/product/LAD7B106/tesys-l%C3%A4mp%C3%B6releen-asennusalusta-lrd01-35/>

Siemens. (n.d.). *Kaapelilämpötila-anturi PT100* [kuva].

<https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=FI&lang=fi&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aQAP2010.150>

Suomäki, J. & Vepsäläinen, S. (2013). *Talotekniikan automaatio.* Kiinteistöalan kustannus.

Tilastokeskus. (2024a). *Teollisuuden tuottajahinnat.*

<https://www.stat.fi/julkaisu/cln0bhifx74qv0avtcbg198n5>

Tilastokeskus. (2024b). *Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa.*

<https://pxdata.stat.fi>

Turvatekniikankeskus Tukes. (2018). *Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus.*

<https://tukes.fi/documents/5470659/6424402/Kiinte%C3%A4n+poltt%C3%B6aineen+l%C3%A4mmityskattiloiden+turvallisuus.pdf/7eca5da3-fb9c-46c7-a1e7-03586057152c/Kiinte%C3%A4n+poltt%C3%B6aineen+l%C3%A4mmityskattiloiden+turvallisuus.pdf?version=1.0&t=1516701277000&download=true>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 1047/2017.

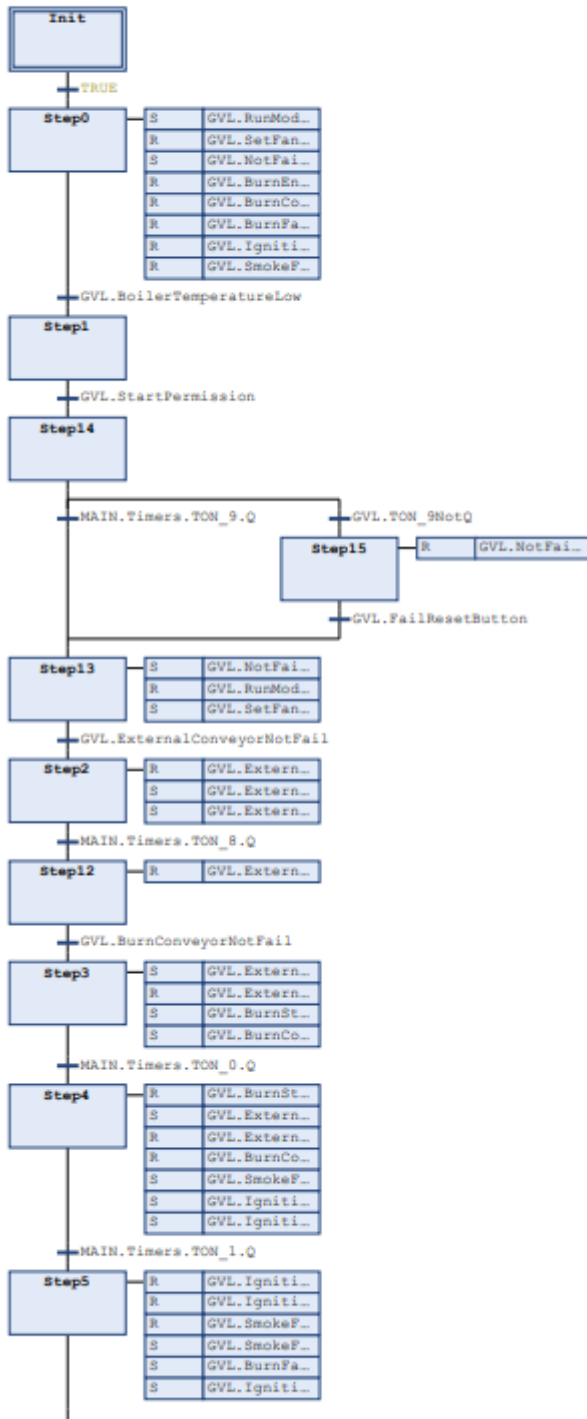
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047#Lidm46651396661920>

Liite 1. Sekvenssiohjelman

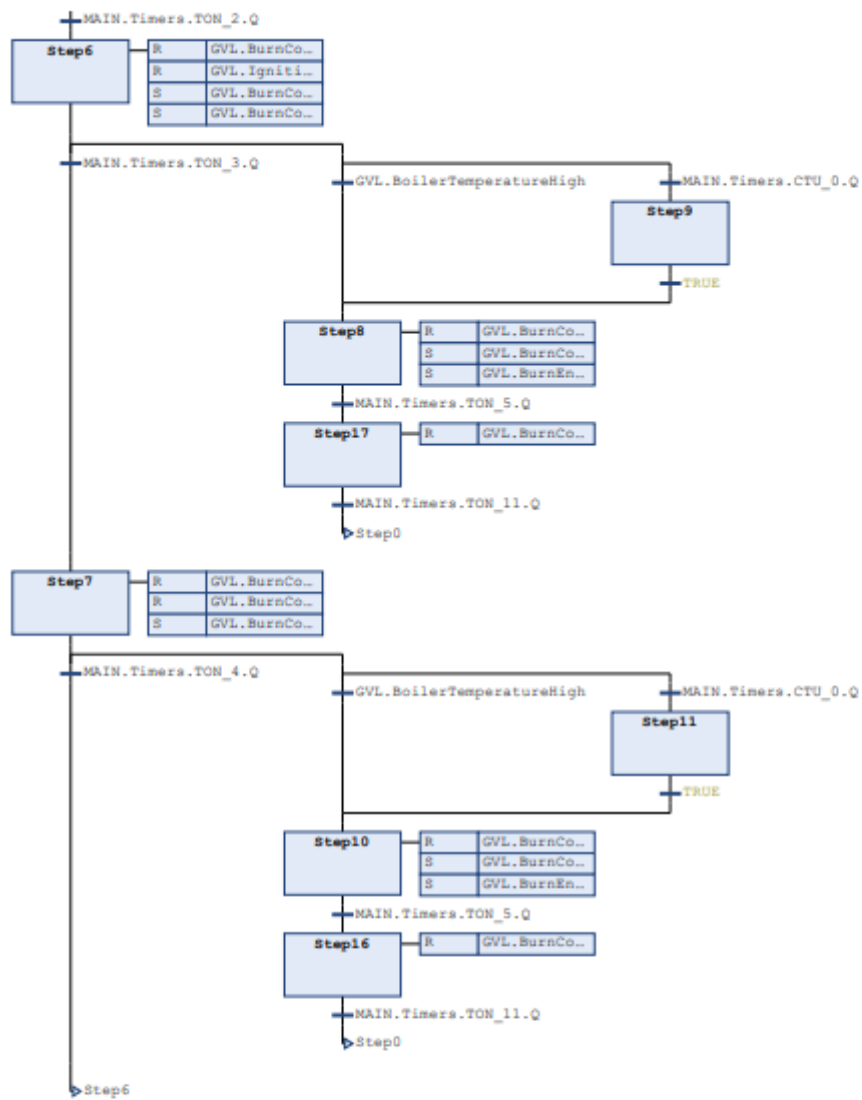
POU: Burn

```

1  FUNCTION_BLOCK Burn
2  VAR_INPUT
3  END_VAR
4  VAR_OUTPUT
5  END_VAR
6  VAR
7  END_VAR
8
    
```

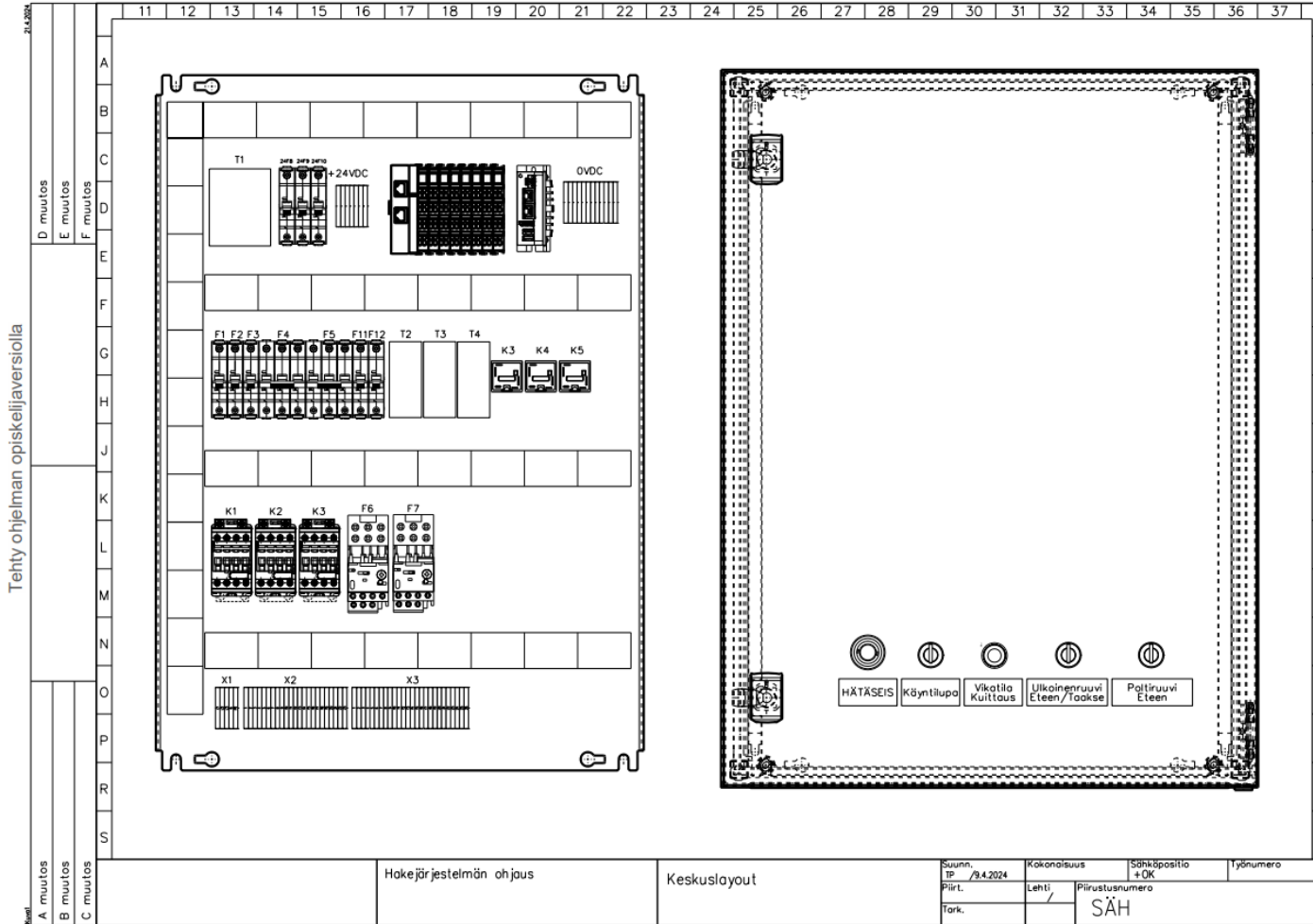


POU: Burn



Liite 2. Keskuksen suunnitteludokumentit

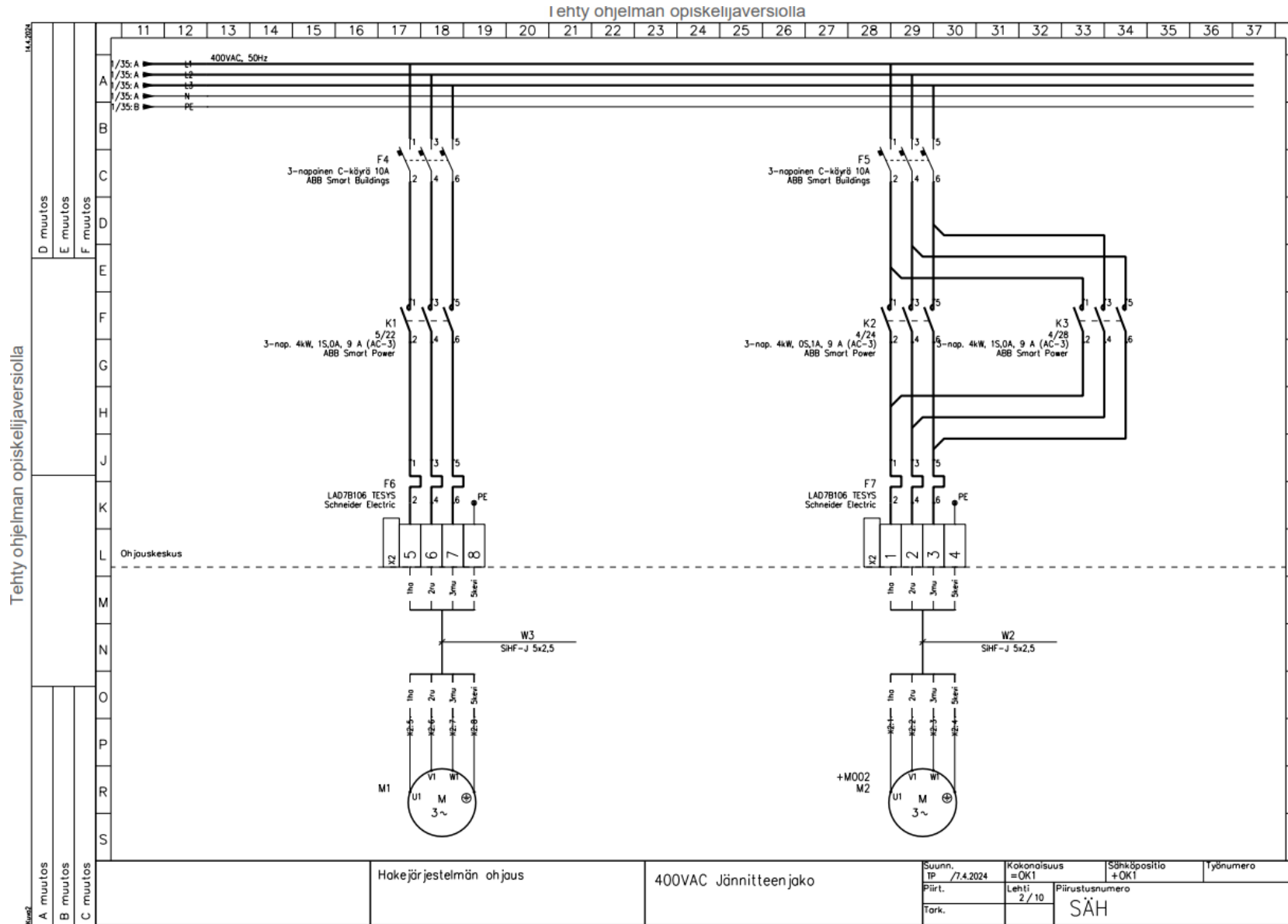
Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



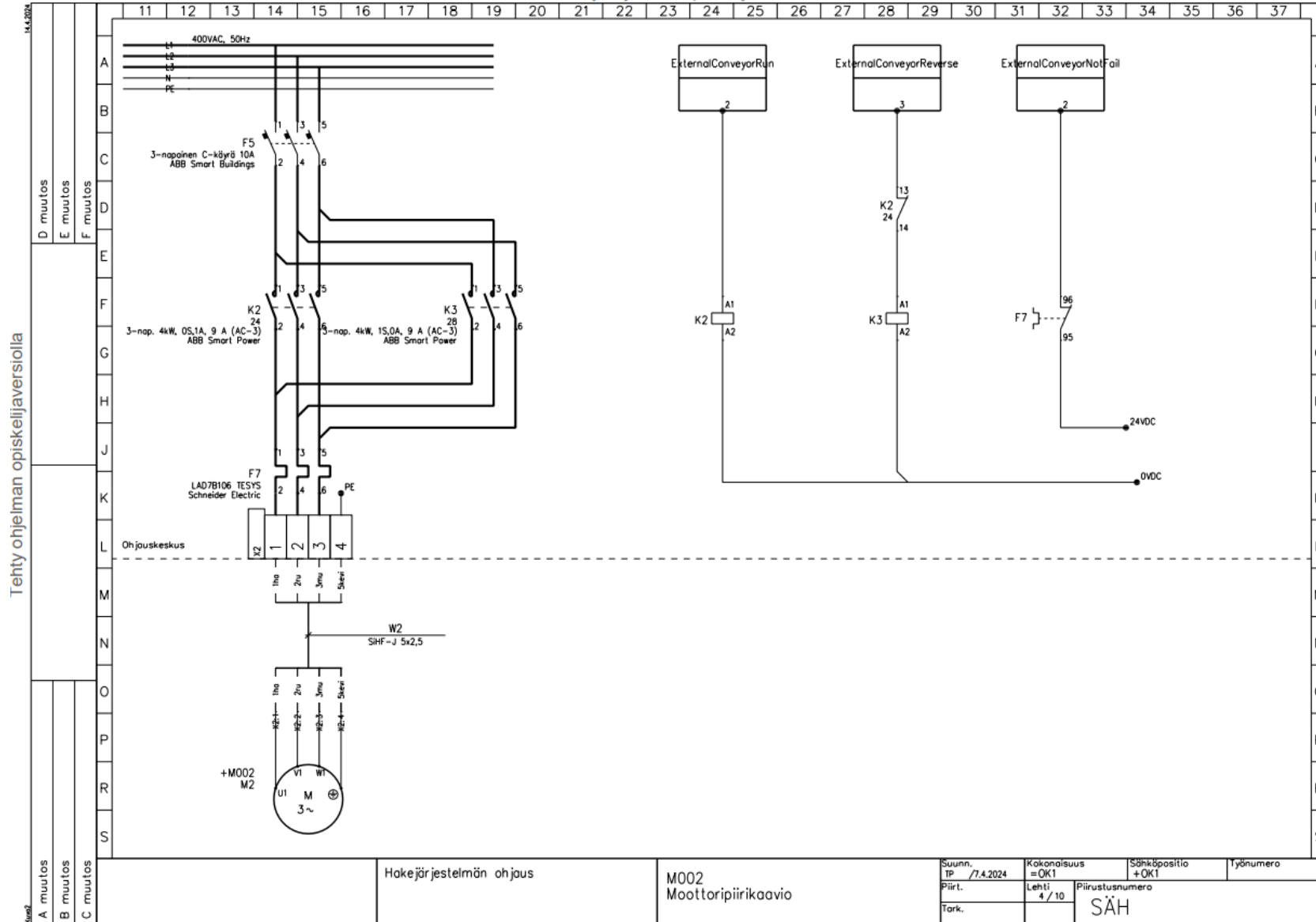
Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

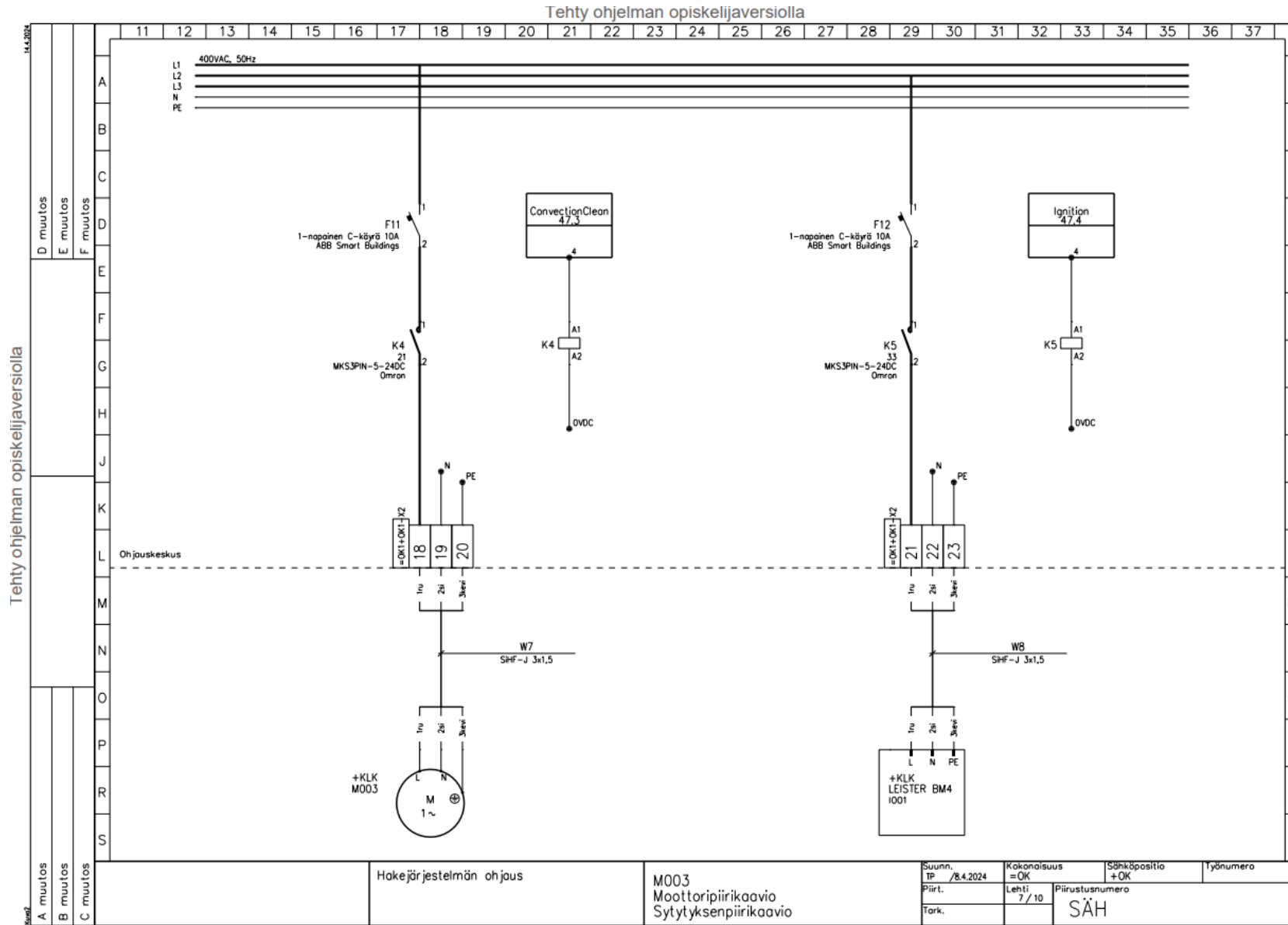


Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

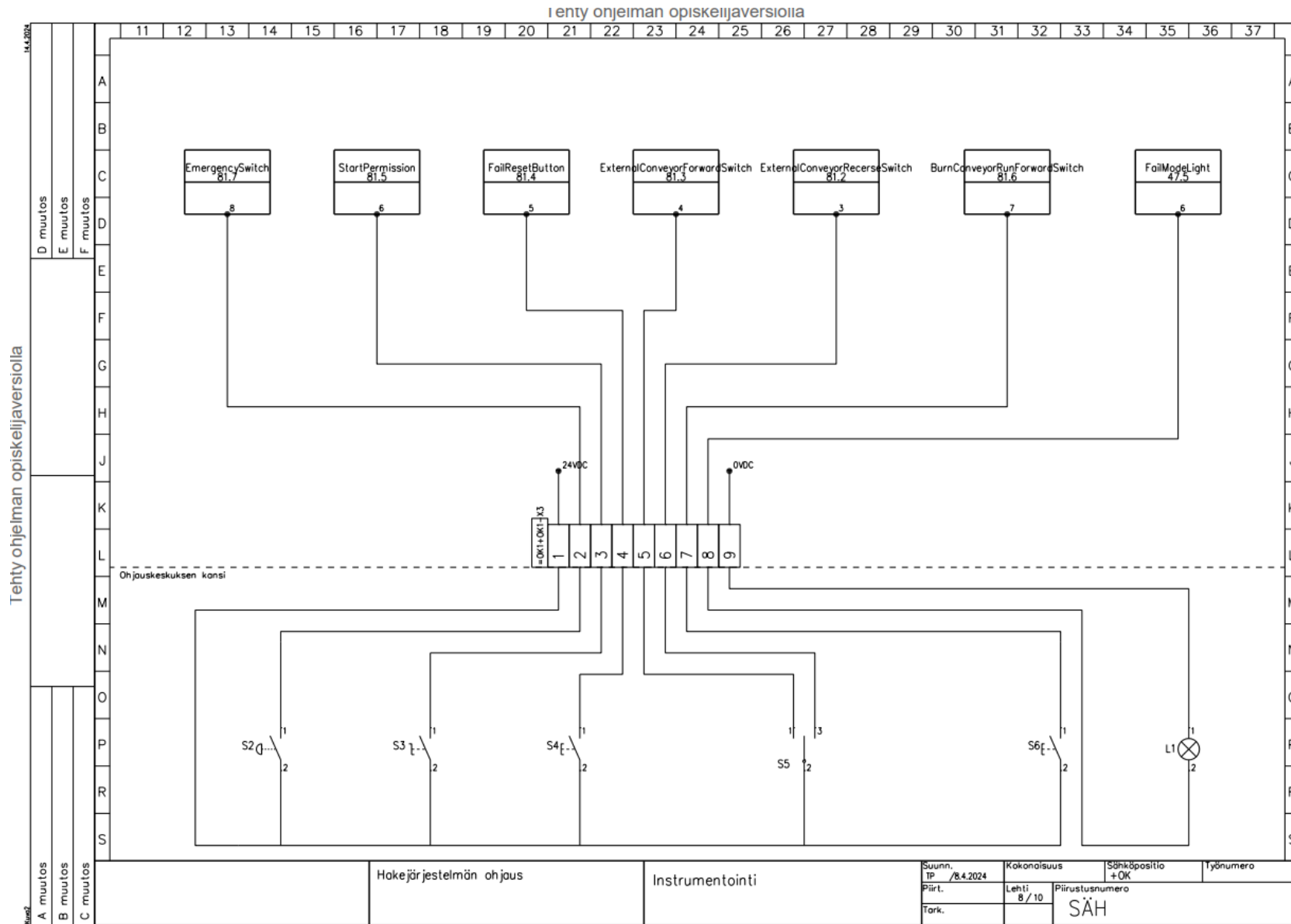


Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



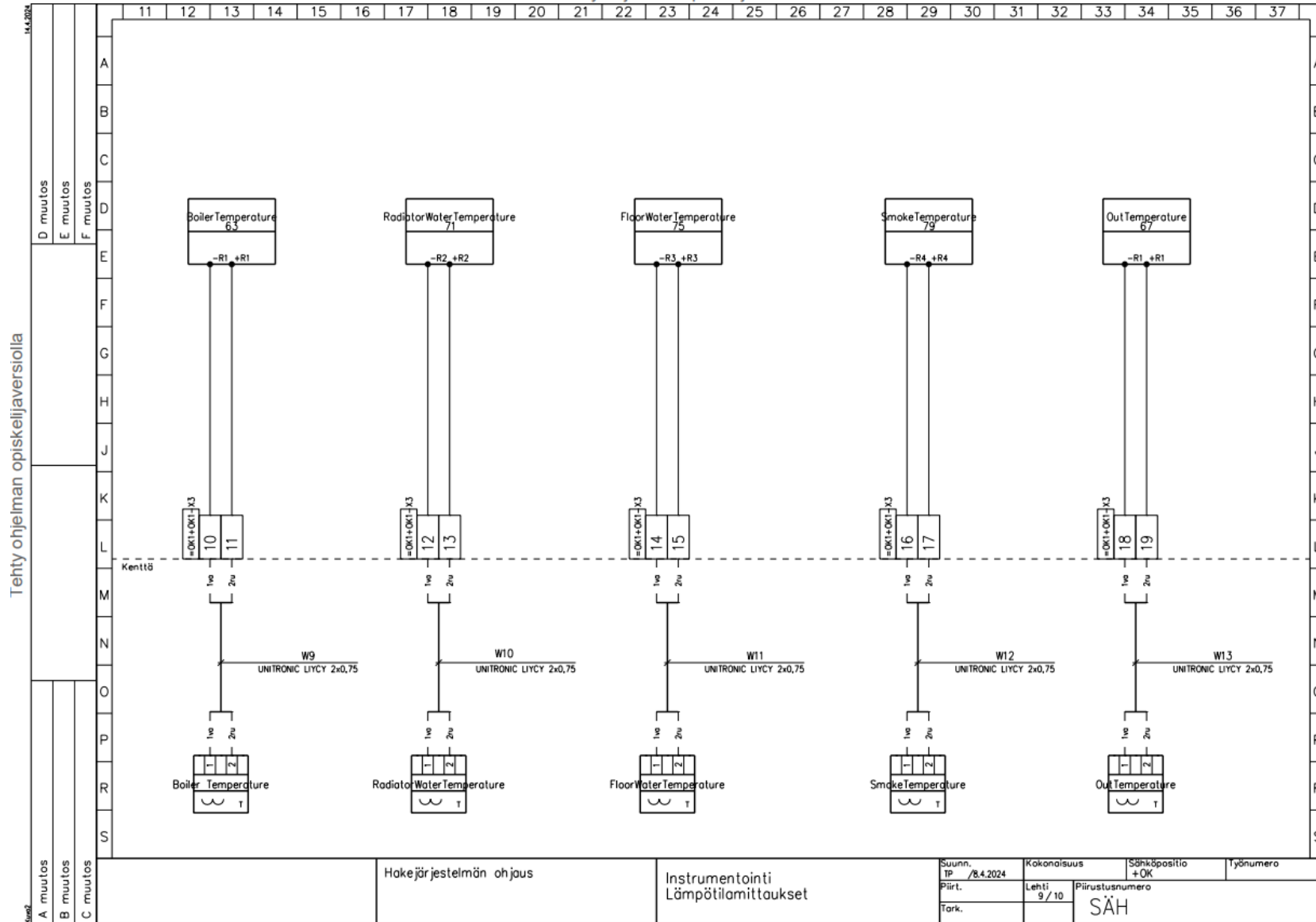
Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

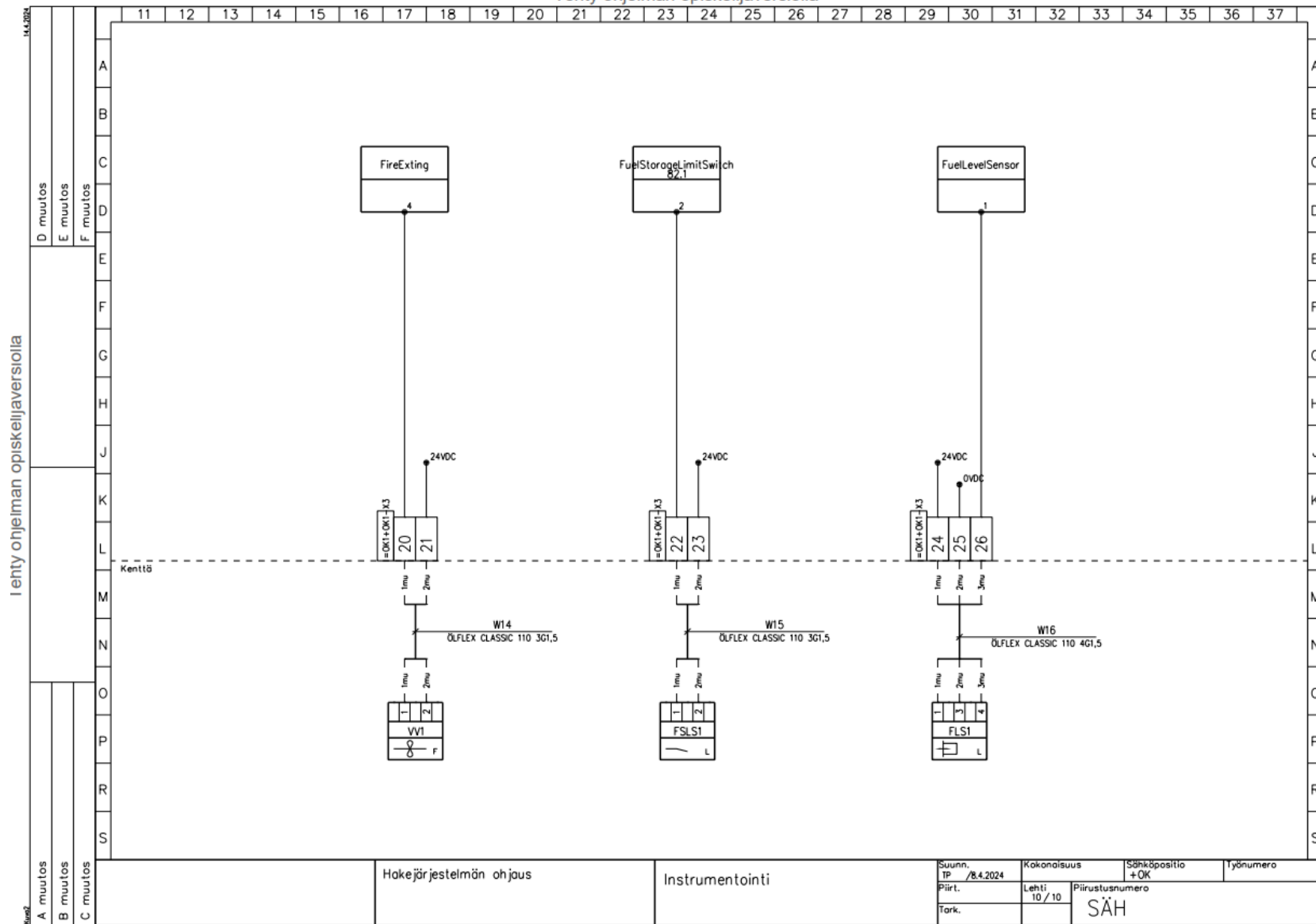
Tehtv ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla



Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla

Tehty ohjelman opiskelijaversiolla