

Mikroluokan CHP -laitteiston esiselvitys

Mika Kallio

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kallio, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 4.4.2016
	Sivumäärä 65	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Mikroluokan CHP -laitteiston esiselvitys		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Biotalousinstituutti		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutin kattilalaboratoriolle, jossa mitataan ja testataan kattiloita sekä polttoaineita. Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä kadonnut dokumentointi mikroluokan CHP -laitteistoon. Aineistojen avulla tuli selvittää laitteiston sekä laitteistoon kuuluvien komponenttien toimintaa. Löydettyjen aineistojen perusteella tuli myös tehdä toimeksiantajalle osaluettelo laitteistoon kuuluvista komponenteista. Luetteloon kirjattiin tärkeimpiä tietoja sekä ominaisuuksia. Lisäksi yhtenä tavoitteena oli selvittää laitteiston prosessin toimintaa sekä sitä, kannattaisiko laitteistoa käynnistää uudestaan. Mikroluokan CHP-laitteistolla tarkoitetaan noin satojen kilowattien sähköntuotantotehon omaavia lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksia.</p> <p>Laitteistoon liittyvä selvitystyön teko aloitettiin ottamalla yhteyttä sähköpostitse toimeksiantajan nimeämiin asiantuntijoihin ja tutustumalla aiempiin dokumentteihin. Yhteydenotoissa pyydettiin luovuttamaan laitteistoon liittyviä dokumentteja opinnäytetyön tekoa varten. Yhteydenotoissa kyseltiin tietoja henkilöstä sekä yrityksistä, jotka olivat laitteiston hankkeessa mukana sen suunnitteluvaiheessa. Saaduista dokumenteista selvitettiin, mitä komponentteja ja osia laitteistossa on tallella sekä mitä siitä puuttuu.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimeksiantajalle tehtyä osaluettelo, josta nähdään, mitä kyseiseen laitteistoon kuuluu, mitä osia siitä puuttuu. Myös löytyneet komponentit identifioitiin. Laitteistosta löytyi odotettua enemmän dokumentteja: suunnitteluvaiheessa tehtyjä detalji -kuvia, tarjouksia ja tarjouskyselyitä, laskentataulukoita sekä 3D -malleja. Saatujen dokumenttien perusteella saatiin myös käsitys laitteiston prosessin toiminnasta. Koottuja tietoja sekä dokumentteja voidaan hyödyntää laitteiston mahdollisessa käynnistyksessä sekä komponenttien käytössä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Mikroluokan CHP -laitteisto, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, lämpövoimalaitos		
Muut tiedot		

Author(s) Kallio, Mika	Type of publication Bachelor's thesis	Date 4.4.2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 65	Permission for web publication: x
Title of publication Micro- CHP - facility preliminary report		
Degree programme Degree programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Marjukka Nuutinen		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences, Institute of Bioeconomy		
Abstract <p>The thesis was made for Jyväskylä university of applied sciences' institute of bioeconomy boiler lab which does testing and measuring activities for boilers and fuels. The goal of the thesis was to find and combine the missing documentation of the micro-CHP -facility and also research how to device and it's components work on the based on the findings. Another task was to make a part list of the components which belong to the facility and also write down properties of the components. Also another goal was to research how the process of the facility works and would it be reasonable to try to restart the facility based on the findings. Micro-CHP -facility means combined heat and power production which has around hundreds of kilowatts of electricity production.</p> <p>The process of the research was started by contacting the persons which the employer gave via email and getting researching the known documents. The contacted persons were asked to give out documents regarding the micro-CHP -facility and also give out information about persons and companies which were part of project at the design phase. Which parts were missing and which were still in possession were sorted out from the received information and documents.</p> <p>As a result of the thesis a part list was made for the employer which showed which parts belong to the facility and which parts were missing. Also the found parts were identified. Eventually more documents were found than originally was expected. Concerning the facility detail -drawings, offers, offer requests, calculations and also 3D -models was recovered. On the grounds of the received documents an understanding of the facility's process was made. The compiled information and documents can be utilized on possible restart of the facility's and in the use of the components.</p>		
Keywords/tags (subjects) Micro-CHP –facility, combined heat and power, thermal power plant		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Tausta ja tavoitteet	5
1.2	JAMK:n Biotalousinstituutin kattilatestauslaboratorio.....	6
2	CHP -tuotanto ja -voimalaitokset.....	7
2.1	Yleistä	7
2.2	Toimintaperiaate	8
3	Mikroluokan CHP.....	12
3.1	Mikroluokan CHP:n ja teollisen CHP laitoksen erot	12
3.2	Mikroluokan CHP laitoksen hyödyt.....	13
3.3	Mikroluokan CHP laitoksen ongelmat.....	15
4	Mikroluokan CHP-tekniikat	16
4.1	Stirling -moottori	16
4.1.1	Stirling -moottorin toimintaperiaate.....	16
4.1.2	Stirling -moottorin hyödyt ja heikkoudet	21
4.2	Mikroturbiini.....	22
4.2.1	Mikroturbiinin toimintaperiaate	22
4.2.2	Mikroturbiinin hyödyt ja heikkoudet.....	24
4.3	Polttomoottori.....	25
4.3.1	Polttomoottorin toimintaperiaate	25
4.3.2	Polttomoottorin hyödyt ja heikkoudet.....	26
5	Biotalousinstituutilla sijaitseva mikroluokan CHP-laitteisto	27
5.1	Lähtötilanne.....	27
5.2	Dokumenttien etsintä	28
5.3	Laitteiston komponentit.....	30
5.3.1	Laitteiston laitekuvaus.....	30
5.3.2	Stirling -moottori	30

5.3.3	Pellettipoltin	33
5.3.4	Eko 1 & 2	36
5.3.5	Luvo.....	38
5.3.6	Tulipesä.....	39
5.3.7	Kiertosavukaasupuhallin.....	41
5.3.8	Keskipakopuhaltimet polttoilmoille	43
5.3.9	Väliaikainen lämmönvaihdin	44
5.3.10	Adsorptiokuivain.....	45
5.3.11	Savukaasukanaviin liittyvät osat.....	45
5.3.12	Automaatioventtiilit	48
5.4	Puuttuvia osia	49
5.5	Prosessikuvaus.....	51
5.6	Laitteiston käynnistäminen	55
5.6.1	Komponenttien hyödyntäminen	57
6	Pohdinta	58
	Lähteet.....	61
	Liitteet	64
	Liite 1. Suljetun jäähdytyksen tarkempi PI-kaavio	64
	Liite 2. Laitteiston 3D -malli pääkomponenteista	65

Kuviot

Kuvio 1. Kaukolämmön ja siihen liittyvään sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet vuonna 2015.....	7
Kuvio 2. Lauhdutusvoimalaitoksen toimintaperiaate	9
Kuvio 3. CHP -laitoksen periaatekuva	9
Kuvio 4. Kaukolämmityksen toimintaperiaate	10
Kuvio 5. Keskikokoisen CHP -voimalaitoksen pelkistetty energiatase	11
Kuvio 6. Lauhdutusvoimalaitoksen energiataseen shankey-diagrammi.....	11
Kuvio 7. Kaaviokuva mikroluokan CHP -laitteiston energiavirroista kiinteistössä. Prosentuaaliset osuudet ovat viitteellisiä	14
Kuvio 8. Mikro- ja pien-CHP -laitosten investointi ja tuotantokustannukset. Ei sisällä ALV.....	15
Kuvio 9. Periaatekuva alfa- ja beta -tyypin stirling -moottorista	17
Kuvio 10. Stirling -syklin pV -diagrammi.....	18
Kuvio 11. Periaatekuva regeneraattorilla varustetusta stirling -moottorista.....	19
Kuvio 12. Periaatekuva gamma -tyypin stirling -moottorista	20
Kuvio 13. Stirling -perusteisen CHP -laitteiston periaatepiirros	21
Kuvio 14. Capstonen 30 kW:n mikroturbiinin rakenne.....	23
Kuvio 15. Periaatekuva 4-tahtisen mäntämoottorin työkierto.....	25
Kuvio 16. Valokuva lähtötilanteesta. Kuvassa ei ole kaikki komponentit.....	28
Kuvio 17. Valokuva laitteistoon kuuluvasta stirling -moottorista.....	31
Kuvio 18. Moottorissa oleva lämmönvaihdin. Kuvassa myös rivoitettu putki.....	32
Kuvio 19. Kuva heater housing -osasta.	33
Kuvio 20. Valokuva laitteiston pellettipolttimesta.....	34
Kuvio 21. Valokuva pellettipolttimen arvotaulusta	35
Kuvio 22. Ekonomaiserit. Vasemmalla Eko 1 ja oikealla Eko 2	36
Kuvio 23. Eko:n arvotaulu	37
Kuvio 24. Luvo ja siihen asennettava kääntökammio	38
Kuvio 25. Tulipesä kasattuna. Kuvassa myös selityksiä yhteille.....	39
Kuvio 26. Tulipesän jalkaosa	40
Kuvio 27. Tulipesän kaksi keskimmäistä elementtiä.....	40

Kuvio 28. Tulipesän ylin osa, jonka kanssa käytetään väliaikaista lämmönvaihdinta	.41
Kuvio 29. Kiertosavukaasupuhaltimen arvotaulu	42
Kuvio 30. kiertosavukaasupuhaltimen 3D -malli sekä valokuva laitteesta	43
Kuvio 31. Puhaltimet polttoilmoille	44
Kuvio 32. Valokuva väliaikaisesta lämmönvaihtimesta	45
Kuvio 33. Valokuva paljetasaimesta	46
Kuvio 34. Valokuvat kulmakappaleista	47
Kuvio 35. Valokuva muuntokappaleista	48
Kuvio 36. Valokuva toisesta löytyvästä automaatioventtiilistä	48
Kuvio 37. 3D -malli jäähdytyspiiristä	50
Kuvio 38. Prosessin periaatekuva	51
Kuvio 39. Laitteiston PI-kaavio	52
Kuvio 40. Suljetun jäähdytyskierron yksinkertaistettu PI-kaavio	54

Taulukot

Taulukko 2. Stirling -moottorin tyypillisiä ominaisuuksia	20
Taulukko 3. Mikroturbiinien tyypillisiä teknisiä ominaisuuksia	24
Taulukko 4. Kaasu- ja dieselmoottojen tyypillisiä ominaisuuksia eri moottoritehoilla	27

1 Johdanto

1.1 Tausta ja tavoitteet

Suomessa kiinteistöjen ja kotitalouksien energiantarpeet katetaan tyypillisesti keskitetysti suurissa voimalaitoksissa tuotetulla energialla. Kaupunkialueilla kotitaloudet ja kiinteistöt lämmitetään pääsääntöisesti kaukolämmöllä ja sähkö ostetaan normaalisti asiakkaan valitsemasta sähköyhtiöstä. Mikäli kaukolämpöä ei ole saatavilla, joudutaan kiinteistö lämmittämään vaihtoehtoisesti sähköllä tai valitulla polttoaineella lämpiävällä lämpökattilalla. (Koponen, 2010.)

Viime vuosien aikana on ollut kasvava kiinnostus hajautettuun energiantuotantoon, etenkin haja-asutusalueilla. Hajautetun pien-CHP- tuotannon rinnalle on noussut myös ”mikro” -tason sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Se, missä raja kulkee mikro- ja pientuotannon välillä on vielä toistaiseksi häilyvä ja vaikea määrittää. Voisi ajatella, että mikroluokan CHP -laitteistolla tuotetaan sähköä ja lämpöä yksittäisen kiinteistön omiin tarpeisiin, esimerkiksi omakotitalo. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä selvitystyötä liittyen Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutilla sijaitsevaan mikroluokan CHP -laitteistoon. Kyseinen laitteisto oli VTT:n (Valtion teknillinen tutkimuskeskus), JAMK:n (Jyväskylän ammattikorkeakoulu) ja Jyväskylän yliopiston yhteishanke. Hankkeen tarkoituksena oli saada kyseinen laitteisto massatuotantoon sopivaksi prototyyppiksi. (Koponen, 2010). Laitteisto on päätyneet säilöön Biotalousinstituutille viime talven aikana täysin purettuna ja ilman dokumentointeja. Laite on tiedettävästi seissyt varastossa viimeiset pari vuotta. Toimeksiantajalla ei ollut varmuutta, onko kaikki tarvittavat laitteet tallella ja mitä mahdollisesti puuttuvat osat ovat.

Tavoitteena oli etsiä tai valmistaa laitteistoon liittyviä dokumentteja. Erityisesti toimeksiantaja halusi saada yksittäisistä komponenteista osaluettelon ja saada osaluetteloon tärkeimpiä tietoja komponenteista. Mahdollisuuksien mukaan yritettiin myös löytää komponenttien suunnittelu- ja valmistuspiirustuksia. Toinen tärkeä tavoite oli tutkia laitteiston ja sen komponenttien yleistä toimintaa. Kolmantena tavoitteena oli pohtia ja tutkia mitä laitteiston käynnistys vaatisi, jos laitteistoa yritettäisiin käynnis-

tää sekä pohtia, mitkä komponenteista voitaisiin hyödyntää. Myös prosessin toiminnan selvittäminen yleisellä tasolla muodostui yhdeksi tavoitteista.

1.2 JAMK:n Biotalousinstituutin kattilatestauslaboratorio

Kattilatestauslaboratorio sijaitsee Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutin kampuksella Saarijärvellä. Laboratorio on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun liiketoimintaa. Kattilatestauslaboratorio tarjoaa kattiloiden mittaus- ja testaus-toimintaa sekä polttoaineiden analyysipalvelua. (Kattilatestauslaboratorio n.d.)

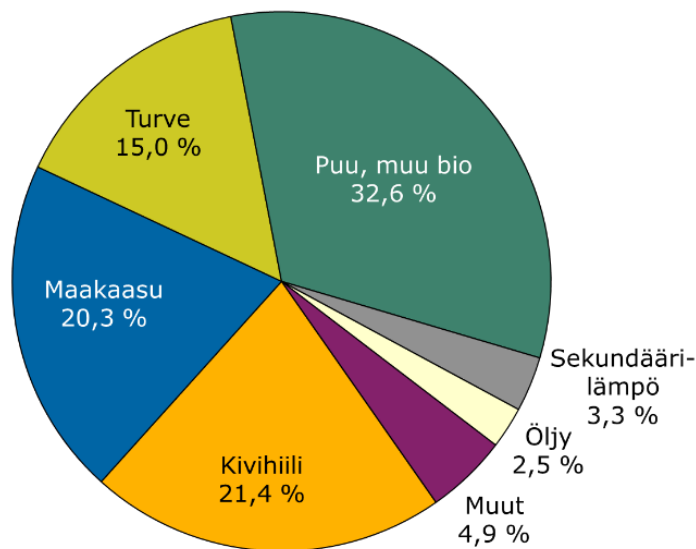
Mittaus ja testaus-toimintaan laboratorio tarjoaa kolme testauspaikkaa, joista kaikki on varustettu uusimmalla mittaus- ja säätötekniikalla. Kaksi uusinta, erikoisvarusteltua polttoainekattilaa mahdollistavat myös biopolttoaineiden testaamisen samassa paikassa. Laboratoriossa testataan, mitataan ja tutkitaan energiabiomassojen polttoa, päästöjen hallintaa sekä energiatehokkuutta. VTT Expert Service Oy on suorittanut viralliset FINAS T001 1.19 mukaiset akkreditoinnit laboratorion tiloihin ja laitteisiin. Kattilatestaukset voidaan suorittaa sekä raportoida EN 303-5 standardin mukaan. Lisäksi laboratorion piha-alueella voidaan suorittaa lämpökonttien testausta 3 MW:iin asti. (Kattilatestauslaboratorio n.d.)

Polttoaineiden analyysipalvelu tarjoaa ominaisuuksien määrittystä erityisesti biopolttoaineille. Palvelu tarjoaa perusanalyysijä, kuten kosteuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden määrittämisen. Perusanalyysien lisäksi laboratorio tarjoaa mahdollisuutta analysoida esimerkiksi tuhkan alkuainepitoisuuksia, pellettien tuhkansulamispisteen määrittämistä sekä polttoaineiden mikrobianalyysijä. Laboratoriossa on myös mahdollista kovien materiaalien murskaus ja sen jatkoanalysointi. (Kattilatestauslaboratorio n.d.)

2 CHP -tuotanto ja -voimalaitokset

2.1 Yleistä

CHP-tuotannolla (Compined Heat and Power) tarkoitetaan yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa. CHP -voimalaitoksista puhutaan enemmän nimellä lämpövoimalaitos. Suomi on maailmalla johtava maa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Melkein 80 % kaukolämmön tuotannosta ja kolmannes sähköstä saadaan yhteistuotannosta. (Sähkön ja lämmön yhteistuotanto n.d)



Kuvio 1. Kaukolämmön ja siihen liittyvään sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet vuonna 2015 (Energiavuosi 2015.)

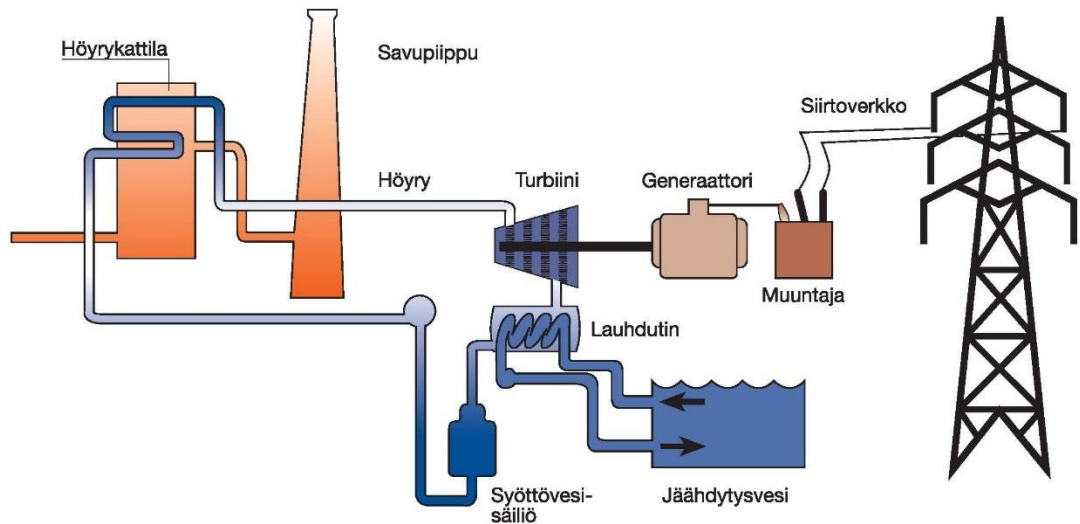
Kuviosta 1 nähdään, että tämän energian tuottamiseen käytetään vielä laajasti fossiilisia polttoaineita. Noin 45 % käytetyistä polttoaineista ovat fossiilisia ja noin 35 % uusiutuvia. Käytetyistä polttoaineista vain 56 % ovat kotimaisia. (Energiavuosi 2015.) Näistä luvuista voidaan päätellä, että parantamisen varaa vielä löytyy. Hajautettu energiantuotanto ja mikroluokan CHP-laitokset voisivat olla osittainen ratkaisu uusiutuvan polttoaineiden käytön ja kotimaisuuden lisäämiseen.

Lämpövoimalaitokset ovat yleensä keskitettyä suurta tuotantoa. Ne rakennetaan lämmöntarpeen mukaan. Tyypillisesti lämmitystehot vaihtelevat välillä 10 - 250 MW, riippuen lämmitettävän alueen rakennuskannasta. Keskitetyn tuotannon etuna ovat alhaiset käyttökustannukset. Investointikustannukset ovat puolestaan suuria laitoksien suuresta koosta johtuen.

Keskittämisellä on myös riskinsä. Kun laitos on suuri yksikkö ja siihen tulee iso häiriö, jonka seurauksena koko laitos joudutaan ajamaan pois toiminnasta, joudutaan turvautumaan varavoimalaitosten käyttöön. Varavoimalaitosten käyttö on kallista, koska ne käyvät pääsääntöisesti kaasulla tai öljyllä. Hajauttaminen toisi tilanteeseen eräänlaista toimitusvarmuutta, koska tällöin ei oltaisi kokonaan muutaman suuren laitoksen varassa energiantuotannon suhteen. Pääosin kuitenkin suurten yksiköiden käyttöasteet ovat korkeita ja alas ajaminen on harvinaista.

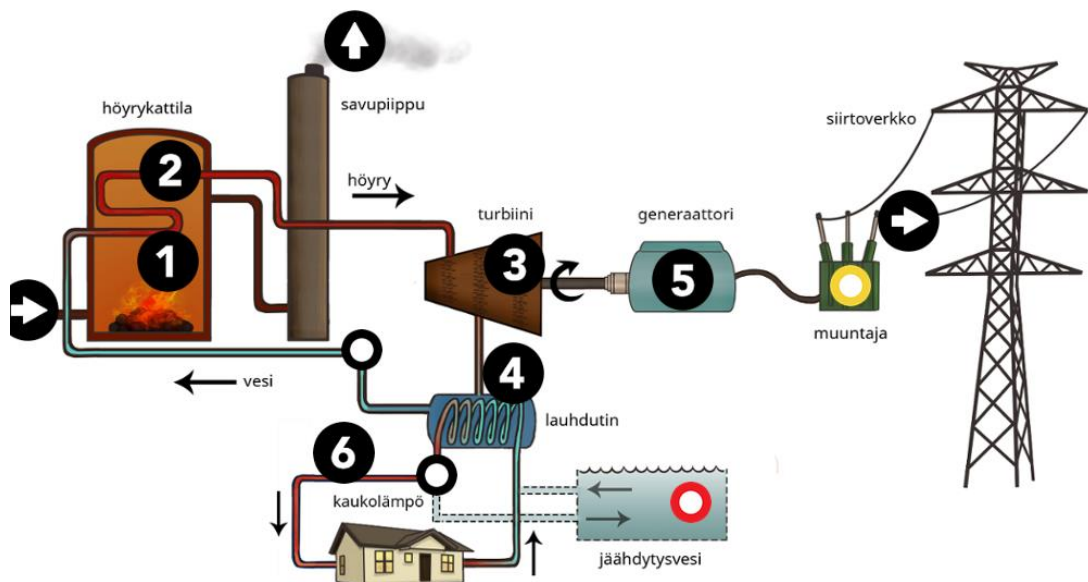
2.2 Toimintaperiaate

Höyryvoimalaitokset jaetaan turbiinin jälkeisen paineen perusteella kahteen pääryhmään. Mikäli voimalaitosta käytetään yhteistuotantoon, asettaa kaukolämmön menoveden lämpötila vaatimukset turbiinin jälkeiselle paineelle sekä lämpötilalle. Asiakkaalle menevä kaukolämpöveden lämpötila on tyypillisesti n. 120 °C talvella ja kesällä n. 70 °C. Kaukolämpövoimalaitoksessa turbiinin jälkeinen höyryn paine vaihtelee välillä 0.8 - 1,5 bar. Tällöin höyryn lauhtumislämpötila on niin korkea, että sitä voidaan käyttää kaukolämpöveden lämmittämiseen vielä sähköntuotannon jälkeen. Tällaista voimalaitosta nimitetään vastapainelaitokseksi. Vastapainevoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on tyypillisesti n. 90 %. (Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H. 2012, 10-12.)



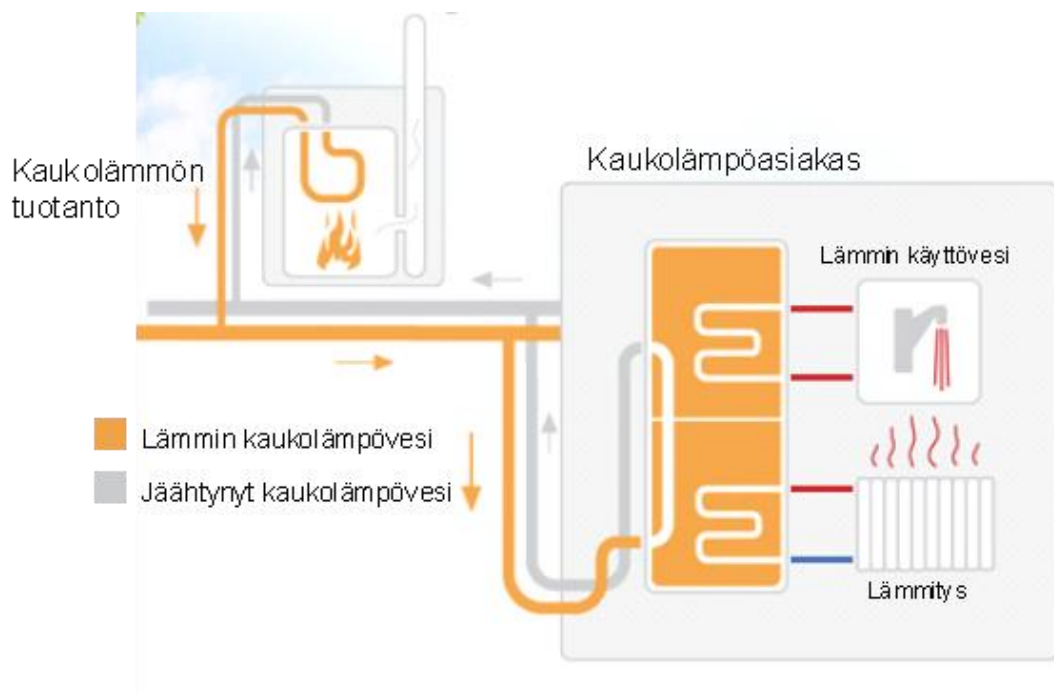
Kuvio 2. Lauhdutusvoimalaitoksen toimintaperiaate (Lauhdutusvoimalaitoksen toimintaperiaate, n.d.)

Toinen laitostyyppi on lauhdutusvoimalaitos, jossa turbiinin sähköntuotanto on maksimoitu (ks. Kuvio 2). Höyry paisuu turbiinissa lähes absoluuttiseen tyhjiöön saakka. Tämän takia turbiinin jälkeinen höyryn lauhtumislämpötila on niin matala, että sitä ei voida käyttää enää lämmitystarkoituksiin. Käyttökelvoton ylimääräinen lämpöenergia ajetaan jäähdytysveteen, joka on usein läheinen järvi. Lauhdutusvoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on parhaimmillaan vain noin 44 %. (Huhtinen ym. 2012, 7-12)



Kuvio 3. CHP -laitoksen periaatekuva (CHP -tuotanto, 2015.)

CHP-laitoksessa polttoaineen (esimerkiksi hiili) sisältämä kemiallinen energia muunnetaan sähköksi ja lämpöenergiaksi kaukolämpöverkkoon seuraavien vaiheiden kautta (ks. Kuvio 3). Ensin kattilaan syötetty polttoaine poltetaan ja polttoaineen kemiallinen energia muuttuu savukaasujen lämpöenergiaksi. Kattilassa olevien lämmönsiirtimien kautta lämpöenergia siirretään mahdollisimman tehokkaasti kattilassa kiertävään veteen. Vesi lämpenee ja höyrystyy sekä lopuksi höyrystynyt vesi vielä tulistetaan. Höyryn lämpötila on tyypillisesti välillä 450 - 550 °C ja höyryn paine välillä 150 - 220 bar. Seuraavaksi tulistettu höyry siirretään putkia pitkin turbiiniin. Turbiinissa höyry paisuu. Paisuessa höyry pyörittää turbiinin akselia ja siihen kiinnitettyä generaattoria. Tuotettu sähkö muunnetaan muuntajassa siirtoverkon jännitteeseen. Muuntajasta sähkö siirretään sähköverkkoa pitkin kuluttajalle. (Huhtinen, M. Korhonen, R. Pimilä, T. Urpalainen, S. 2013, 21-22; Huhtinen ym. 2012, 7-11)



Kuvio 4. Kaukolämmityksen toimintaperiaate (Kaukolämmityksen toimintaperiaate, 2011)

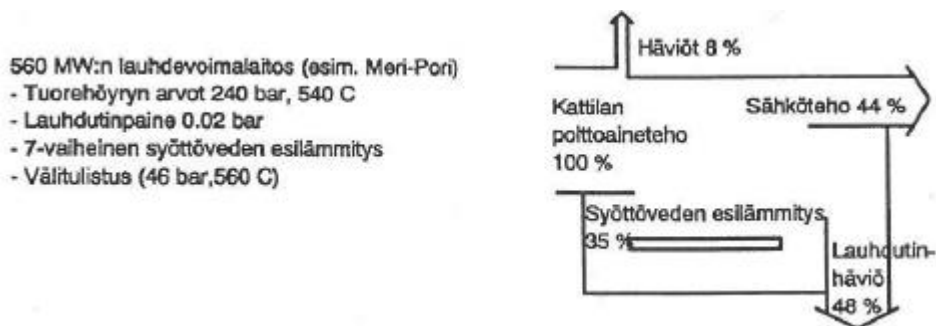
Turbiinin jälkeen höyry siirtyy lauhduttimeen, josta jäljelle jäänyt lämpöenergia siirretään kaukolämpöverkkoon lämmönvaihtimen avulla ja kaukolämpöverkkoa pitkin asiakkaalle (ks. kuvio 4). Lopuksi lauhtunut vesi pumpataan takaisin kattilaan syöttö-

vesisäiliön sekä mahdollisen veden esilämmittimen kautta ja kierto alkaa alusta.
(Huhtinen ym., 2013, 21-22; Huhtinen ym., 2012, 10-11)



Kuvio 5. Keskikokoisen CHP -voimalaitoksen pelkistetty energiatase (Huhtinen ym. 2012, 12)

Kuviosta 5 nähdään karkea energiatase keskikokoiselle kaukolämpövoimalaitokselle (kaukolämpöteho n. 50MW). Kuviossa olevassa esimerkissä rakennussuhde on 0,5. Rakennussuhteella tarkoitetaan sähköntuottotehon suhdetta kaukolämmöntuottoon. Nykyaikaisissa CHP -voimalaitoksissa rakennussuhdetta voidaan säätää tarpeen mukaan. Suuremmissa laitoksissa rakennussuhde voidaan nostaa jopa 0,6:een. (Huhtinen ym. 2012, 12) Kuviosta myös nähdään, että sähkön ja lämmön tuotannon yhdistäminen on hyvinkin järkevää. Häviötä tulee todella vähän verrattuna siihen, että tuotetaan pelkkää sähköä lauhdutusvoimalaitoksessa.



Kuvio 6. Lauhdutusvoimalaitoksen energiataseen shankey-diagrammi (Huhtinen ym. 2012, 15.)

Kuviosta 6 nähdään lauhdutusvoimalaitoksen energiatase. Lauhdutusvoimalaitoksessa menee hukkaan 48 % energiasta lauhdutin-häviössä, koska höyry ei ole hyödyntämiskelpoista kaukolämpökäytössä turbiinin jälkeen.

3 Mikroluokan CHP

Mikroluokan CHP:n tarkka määrittelyminen on toistaiseksi melko hankalaa. Määritelmä mikroluokan CHP:n tehorajalle vaihtelee usein määrittelijän mukaan. Suuret yhteiskunnan perusenergiatarpeen tyydyttävät voimalaitokset ovat suuruudeltaan satoja megawatteja. Motivan määritelmän mukaan pien-CHP rajattaisiin sähkötuotantoteholtaan 1 -2 MW_e (MW_e = megawattia sähköä) ja lämpöteholtaan 3 – 5 MW_h. (MW_h = megawattia lämpöä)

Mikroluokan CHP:n määritelmä asettuu kuitenkin sähköteholtaan kilowattien teholuokkaan. Ilkka Korvan opinnäytetyössä oli määritelty maksimi sähköntuottoteho 50 kW_e mikroluokan CHP:lle. (Korva, 2012.) Koposen Pro gradu -tutkielmassa maksimi sähköntuottoteho oli rajattu maksimissaan 100 kW_e:iin. (Koponen, 2010.) Motiva julkaiseman oppaan mukaan mikrotuotannon ylärajana on käytetty 11 kVA. (Karjalainen, 2012.)

Kuten huomataan määritelmät vaihtelevat melko paljon määrittelijän mukaan. Vaihtelusta huolimatta määritelmät kuitenkin asettuvat suhteellisesti samaan kokoluokkaan. Kaikissa maksimitehon yläraja asettuu noin satojen kW_e:en luokkaan. Tästä voitaisiin yleistää, että teholuokka; joka riittää vain yhden kotitalouden, maatilan tai suuren kiinteistön tuotantoon, kutsuttaisiin mikroluokan CHP tuotannoksi.

3.1 Mikroluokan CHP:n ja teollisen CHP laitoksen erot

Mikro- ja suuren kokoluokan CHP -laitoksien välillä on erona muutakin kuin ilmiselvä fyysinen kokoero ja tehoon liittyvät eroavaisuudet. Eroavaisuuksia löytyy käytetyissä polttoaineissa. Suuret CHP -voimalaitokset käyttävät laajaa polttoainevalikoimaa, muun muassa kivihiihtä, öljyä, turvetta tai erilaisia puumassoja. Käytetty polttoaine valitaan hinnan sekä muuttuvien tuotantotukien ja verotuksen perusteella.

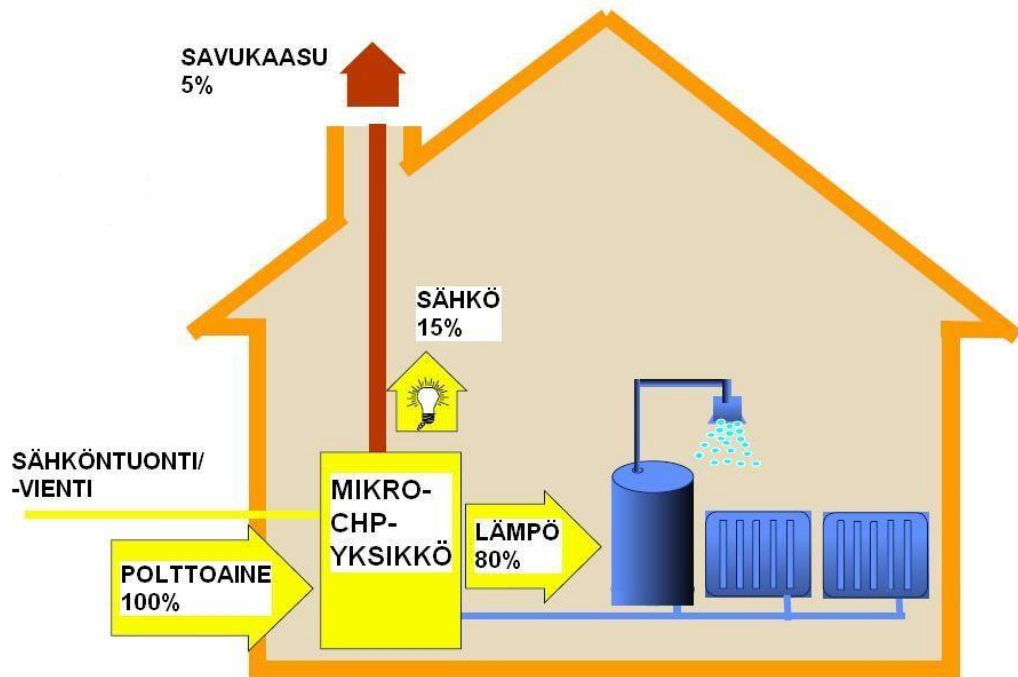
Mikroluokan CHP -laitokset käyttävät tällä hetkellä pääasiallisesti erilaisia kaasuja, kuten maakaasu, biokaasu ja puukaasu. Tekniikoita mikroluokan CHP:lle on laaja valikoima, jotka mahdollistavat erilaisten polttoaineiden käytön. Ne ovat toimivia, mutta

toisaalta ne ovat toistaiseksi rajoittuneita, eikä niitä voida käyttää tuotannossa tehokkaasti. (Koponen, 2010.; Karjalainen, 2012.)

3.2 Mikroluokan CHP laitoksen hyödyt

Teknologian kehittyminen ja energian voimakkaat hinnan vaihtelut ovat aiheuttaneet kasvavaa kiinnostusta sähkön ja lämmön tuottamiseen aiempaa pienemmässä mittakaavassa. Moni pienistä ja keskisuurista kiinteistöistä lämmitetään vieläkin suoralla sähköllä tai valitulla polttoaineella lämpiävällä lämmityskattilalla. Vaikka sähköä ei kulu lämmitykseen, nykyaikainen kiinteistö tarvitsee aina sähköä. (Koponen, 2010.; Karjalainen, 2012.)

Kohoavat sähkön hinnat, siirtomaksut ja haja-asutusalueilla mahdolliset sähkönjakeluongelmat ovat herättäneet syyn pohtia vaihtoehtoisia ratkaisuja sähkön ostolle pelkästään suurilta sähköntuottajilta. Mikroluokan CHP on yksi vaihtoehto sähkön ja lämmön omavaraisuusasteen parantamiseksi tai jopa suoran sähkölämmityksen kokonaisvaltaiseksi korvaajaksi. Mikroluokan CHP-laitos voitaisiin jopa asentaa vanhan olemassa olevan lämmityskattilan yhteyteen. Näin saataisiin tuotettua sähköä kiinteistön omaan käyttöön. (Koponen, 2010.)



Kuvio 7. Kaaviokuva mikroluokan CHP -laitteiston energiavirroista kiinteistössä. Prosentuaaliset osuudet ovat viitteellisiä. (Koponen, 2010.)

Mikroluokan CHP -laitokset ovat hajautettua energiantuotantoa. Lämmön siirrossa yleensä tapahtuu paljon häviötä verrattuna sähkön siirtoon tai pelkän polttoaineen kuljettamiseen. (Koponen, 2010.) Mikroluokan CHP-laitteistolla energiantuotanto tapahtuu lähellä kulutusta. Tämä vähentäisi merkittävästi lämmönsiirtohäviötä. Myös sähkön oston tarve vähenee tai jopa lakkaa. Tästä syystä sähkönsiirrosta aiheutuvat häviöt vähenevät.

Energiantuotannosta ei pidä unohtaa polttoaineen kuljetuksesta aiheutuvia kustannuksia ja häviöitä. Mikroluokan CHP-laitoksilla voitaisiin tehokkaammin hyödyntää paikallisia polttoaineita. Tämä parantaa koko energiantuotantoprosessin kokonaisyhteyttä. Paikallisten polttoaineiden käyttäminen kasvattaa myös energiantuotannon kotimaisuusastetta ja tätä kautta energiantuotanto olisi vähemmän riippuvainen energian tuonnista polttoaineiden ja sähkön oston suhteen.

Jos ajateltaisiin, että kyseinen tekniikka yleistyisi, vähentäisi se myös suurilla CHP-laitoksilla tapahtuvaa "rekkarallia". Tämä puolestaan edistäisi kehitystä ilmastopoliittikan suuntaan vähentämällä polttoaineen kulutusta ja sitä kautta myös päästöjä.

3.3 Mikroluokan CHP laitoksen ongelmat

Mikroluokan CHP-laitosten ongelmat ovat suurimmalta osin tällä hetkellä taloudellisia. Laitteistojen alkuinvestoinnit ovat mittavia sekä tekniikka vaatii vielä kehitystä ja testausta. Erityisesti pohjoismaissa tällä hetkellä edullinen markkinasähkö heikentää mikro- ja pien-CHP:n kannattavuutta. Kuviosta 8 nähdään eri yritysten ilmoittamia investointi- ja tuotantokustannuksia. (Koponen, 2010,; Pesola, A., Vanhanen J., Hagström M., Karttunen V., Larvus L., Hakala L., Vehviläinen I. 2014.)

Yritys	Tekniikka ja kokoluokka	Investointi (sis. laitteiston ja asennuksen) €/kWe	Tuotantokustannus €/MWh
Volter Oy	Puun kaasutus + kangassuodatin + kaasumoottori 30 kW _e /80 kW _{th} , 40 kW _e /100 kW _{th}	4 000 – 5 000	40 – 50 ¹⁹ (sähkö & lämpö)
Gasek Oy	Puun kaasutus + tuotekaasun puhdistus (Gasek ei toistaiseksi tarjoa sähköntuotantoyksikköä) 1 MW _{th}	4 000 – 4 500 ²⁰	110 (sähkö)
Convion Oy	Maakaasu/biokaasu/metaani-vety SOFC- poltto- kenno 50 kW _e /min 25 kW _{th}	2015: < 10 000 2020: = 5 000 massatuotanto: < 1 000	Vaikea arvioida luotet- tavasti tässä vaihees- sa ²¹

Kuvio 8. Mikro- ja pien-CHP -laitosten investointi ja tuotantokustannukset. Ei sisällä ALV. (Muokattu lähteestä Pesola, A., ym. 2014)

Investointikustannukset hidastavat kehitystä monella tavalla. Ostajakunta ja asiakkaiden määrä on hyvin pieni ja samalla pienestä asiakaskunnasta seuraa pienet valmistusmäärät. Tästä johtuen laitevalmistajilla ei ole tarvittavaa kassavirtaa, jotta olisi varaa panostaa tuotekehitykseen. Tekniikan kehittyessä hitaasti, laitteistojen hinnat pysyvät korkealla. Kuluttajan kannalta myös pitää tarkasti arvioida takaisinmaksuaika investoinnille. (Koponen, 2010.)

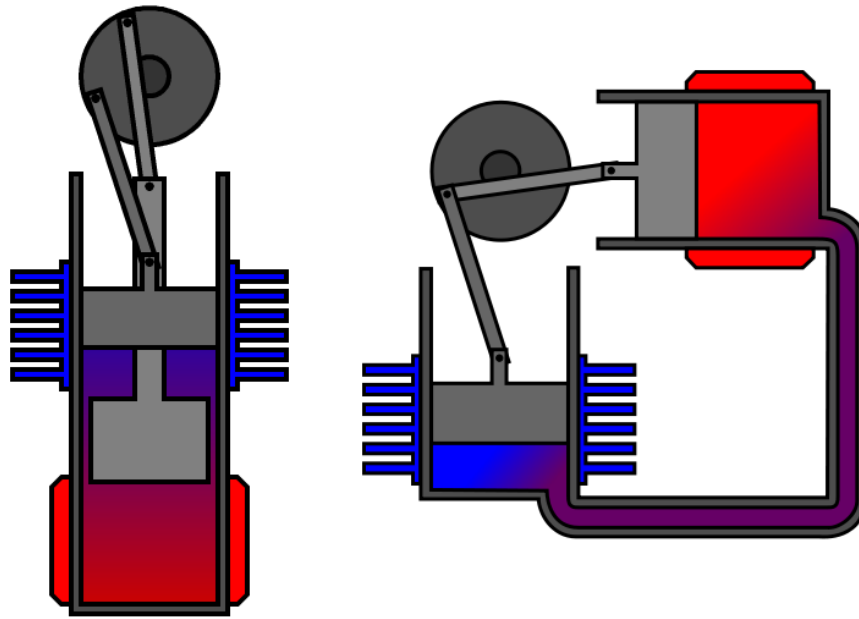
4 Mikroluokan CHP-tekniikat

Mikroluokan CHP -tekniikat perustuvat kahteen prosessityyppiin, avoimiin ja suljettuihin prosesseihin. Avoimessa prosessissa polttoaine poltetaan lämpövoimakoneen sylinterissä tai erillisessä polttokammiossa, joka on mekaanisesti yhdistetty sähkögeneraattoriin. Suljetulla prosessilla tarkoitetaan prosessia, jossa polttoaine poltetaan erillisessä polttilassa ja lämpöenergia tuodaan lämpövoimakoneelle erillisen työaineen kautta. (Koponen, 2010.)

4.1 Stirling -moottori

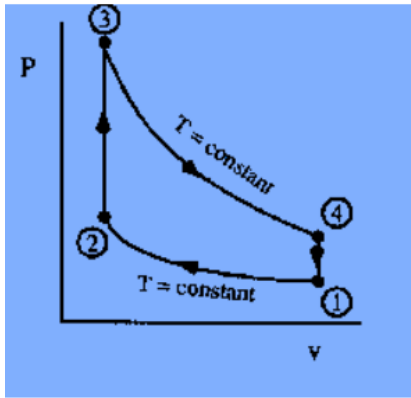
4.1.1 Stirling -moottorin toimintaperiaate

Stirling -moottori on lämpömoottori, joka toimii työkaasun avulla. Työkaasun syklisen puristuksen ja laajenemisen avulla lämpöenergia muunnetaan mekaaniseksi työksi. Stirling -moottori luokitellaan prosessityypiltään suljettuun prosessiin. Moottorin sylinterit ovat suljettu siten, että toimintasykliä välillä työkaasu ei vaihdu. Moottori saa työn tekemiseen vaadittavan energian sylinterien ulkopuolelta. Työkaasuna moottoreissa voi olla ilmaa, vetyä, typpeä tai heliumia. Lämpöenergia, joka siirtyy palamisessa työkaasuun tapahtuu korkeassa lämpötilassa, joka on yleensä 700-750 °C. Ylimääräinen lämpöenergia, jota ei muunneta työksi, siirtyy osaksi jäähdytysvettä (40-85 °C). (Koponen, 2010.; Karjalainen 2012.)



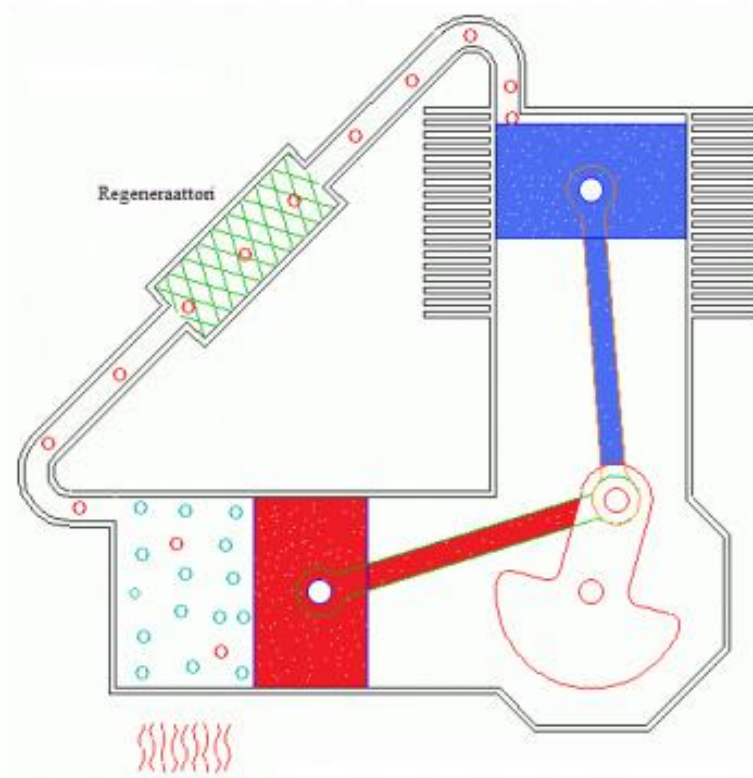
Kuvio 9. Periaatekuva alfa- ja beta -tyypin stirling -moottorista (Muokattu lähteestä Periaatekuva stirling -moottorista, 2016.)

Moottori saa työhön tarvittavan voimansa lämpötilaerosta kylmän ja kuuman pään välillä (Ks. kuvio 9). Stirling -moottorin käydessä työsyklin aikana (ks. kuvio 10), moottorin sisällä oleva työkaasu liikkuu jaksottaisesti kylmän ja kuuman pään välillä. Kuumaa ja kylmäänpään männät ovat kiinnitetty samalle akselille. Kuumassa päässä kaasu lämpenee ja laajenee isotermisesti liikuttaen työmäntää. Tässä vaiheessa paine laskee ja kaasun tilavuus kasvaa. Laajentuessaan kaasu samalla liikkuu kohti kylmää päätä. Kylmässä päässä kaasu jäähtyy ja samalla syrjäyttämääntä puristaa kaasua isotermisesti nostaen kaasun painetta. Tämän jälkeen kaasu alkaa liikkumaan taas kohti kuumaa päätä. Kuumassa päässä kaasu taas lämpenee ja sykli alkaa alusta. Tuotettu sähköteho paranee mitä suurempi kylmän ja kuuman pään lämpötilaero on. Eli toisin sanoen kylmään päähän tulevan jäähdytysveden lämpötilalla on ratkaiseva merkitys. Tehoa voidaan myös parantaa paineistamalla työkaasu. (Koponen, 2010.; Karjalainen 2012.)



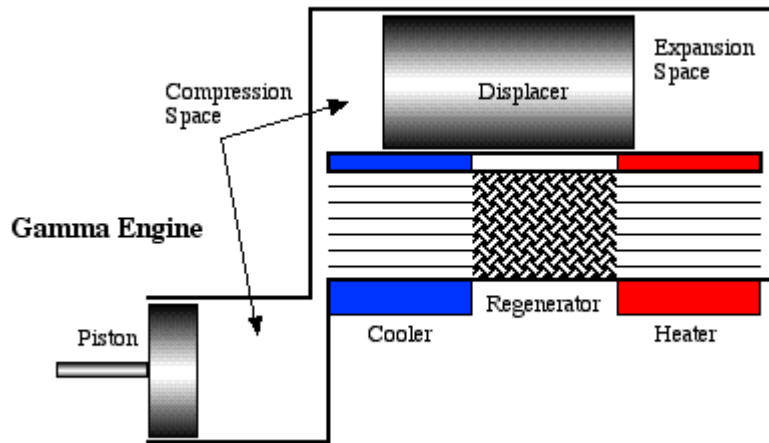
Kuvio 10. Stirling -syklin pV -diagrammi (Lommi, 2006.)

Stirling -moottorin hyötysuhdetta voidaan parantaa lisäämällä moottoriin regeneraattori kuuman ja kylmän pään välille (ks. kuvio 11). Se voidaan yksinkertaisimmillaan tehdä metallivillasta. Regeneraattori varastoi lämpimästä päästä virtaavasta kaasusta lämpöenergiaa regeneraattorin massaan. Kun työkaasu palaa kylmästä päästä regeneraattori luovuttaa varastoidun lämpöenergian takaisin kylmästä päästä virtaavalle kaasulle, esilämmittäen kuumaan päähän menevän kaasun. Eli regeneraattori samalla viilentää ja lämmittää työkaasua. (Beith, R., Burdon, I., Knowles, M., 2004.; Koponen, 2010.; Savolainen n.d.)



Kuvio 11. Periaatekuva regeneraattorilla varustetusta stirling -moottorista (Savolainen, n.d.)

Stirling -moottorit jaetaan toimintaperiaatteen mukaan kahteen pääkategoriaan. Ensimmäinen kategoria on kinemaattiset stirling -moottorit. Kinemaattisissa moottoreissa mäntien edestakainen liike muutetaan kampimekanismin avulla pyöriväksi. Toinen kategoria on vapaamännällä varustetut moottorit. Tämän kategorian moottoreissa ei ole pyöriviä osia. Suurimmassa osassa teho saadaan mäntään kiinnitetystä pitkittäisestä vaihtovirtageneraattorista. (Koponen, 2010.; Urieli, 2016. Beith, ym., 2004.)



Kuvio 12. Periaatekuva gamma -tyypin stirling -moottorista (Urieli, 2016.)

Pääkategorioiden lisäksi stirling -moottorit jaetaan sylintereiden ja mäntien geometristen sijoitusten mukaan alfa-, beta- ja gamma -tyypin moottoreihin. Alfa-typin moottorissa työkaasu kulkee erillisen kuumen ja kylmän pään välillä (ks. kuvio 9). Beta-tyypin moottorissa sekä kokoonpuristuminen että laajentuminen tapahtuvat yhdessä sylinterissä yhdellä samalla työmännällä. Erillinen syrjäyttämäntä liikuttaa työkaasua kylmän ja kuumen pään välillä (ks. kuvio 9). Gamma-tyypin moottori toimii samalla periaatteella kuin beta-tyypin moottori. Erona on vain, että työmäntä sijaitsee omassa erillisessä sylinterissä (ks. kuvio 12). (Beith, ym., 2004.; Koponen, 2010.)

Taulukko 1. Stirling -moottorin tyyppillisiä ominaisuuksia (Muokattu lähteistä Karjalainen 2012.; Koponen 2010)

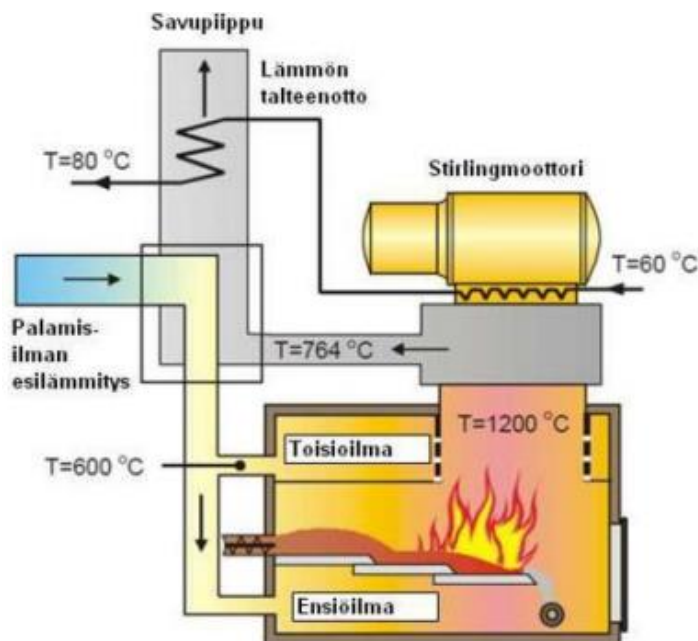
Tekniikka	Stirling -moottori
Sähköhyötysuhde	15 - 35 %
Lämpöhyötysuhde	50 – 60 %
Kokonaishyötysuhde	75 – 85 %
Lämmöntuotto	60 – 80 °C
Huoltoväli	4000 – 6000 h
Elinikä	50 000 – 60 000 h
Kierrosnopeus	1500 – 1800 rpm

Esimerkipolttoaineita	Maakaasu, alkoholi, butaani, biokaasu, hake, pelletti
Käyttö- ja ylläpitokustannukset	0,017 – 0,028 €/kWh _e

4.1.2 Stirling -moottorin hyödyt ja heikkoudet

Stirling -moottorin käytöllä on monia etuja sekä hyviä puolia. Moottori on rakenteeltaan yksinkertainen ja käyttökustannukset ovat pienet. Stirling -moottori tarvitsee vähän huoltoa (ks. taulukko 2). Perushuolto- ja öljynvaihtoväli on pitkä, mikäli öljyjä tarvitsee vaihtaa ollenkaan. (Koponen, 2010.)

Suurimpana etuna on varmastikin päästöjen ”hallinta”. Stirling perusteisen mikroluokan CHP -laitteiston päästöt riippuvat täysin valitusta polttoaineesta. Esimerkiksi, jos lämmönlähteenä käytetään aurinkokeräimiä, ei päästöjä synny lainkaan. Polttoaineen laaja valikoima mahdollistaa myös sen, että voidaan käyttää mahdollisimman paljon biopohjaisia sekä mahdollisimman vähäpäästöisiä polttoaineita. Stirling -moottorin käyntiäänäni on myös hiljainen. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)



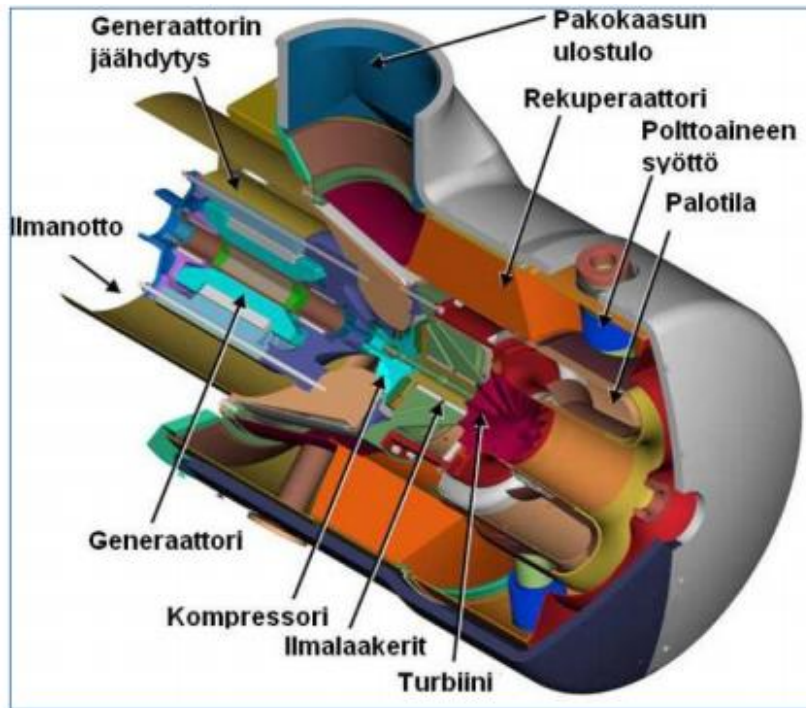
Kuvio 13. Stirling -perusteisen CHP -laitteiston periaatepiirros (Karjalainen, 2012.)

Stirling -moottorin heikkoudeksi lasketaan sen suuri fyysinen koko sekä hinta tuotettuun tehoon nähden. Moottorin suurin heikkous on kuitenkin ehkä sen hidas tehonvaste kuorman muutokseen. Tämä johtuu siitä, että vaikka kuormitus laskee, moottorin kuumaan päähän on sitoutunut lämpöenergiaa. Tämä ongelma ei korostu mikäli kyseistä tekniikkaa käytetään kohteissa, joissa tarvittava teho on suhteellisen tasainen. (Koponen, 2010.; Beith ym., 2004.)

4.2 Mikroturbiini

4.2.1 Mikroturbiinin toimintaperiaate

Mikroturbiineilla tarkoitetaan yleensä kaasuturbiineja, joiden teho vaihtelee välillä 25 – 250 kW_e. Tyypillisesti niissä on yksi akseli, johon on kiinnitetty generaattori, kompressor, ja itse turbiini. Turbiini on laakeroitu ilma- tai öljy-laakereilla. Prosessityypiltään mikroturbiini on avoin prosessi. Mikroturbiinissa on yhdistetty lentokoneen moottorijärjestelmää, turboahdinta ja muita autojen teknisiä ratkaisuja. Suurimpana erona suuriin turbiineihin on virtauksen suunta. Suurissa ratkaisuissa virtaussuunta on aksiaalinen, toisin kuin mikroturbiineissa virtaussuunta on säteinen. Mikroturbiineilla tuotettu vaihtovirta on myös todella korkea taajuista, jopa 100 000 r/min. Joten niiden yhteyteen tarvitaan aina taajuusmuuntaja. (Karjalainen, 2010.; Koponen, 2010.; Hiltunen, J., Luoma, P., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2002.)



Kuvio 14. Capstonen 30 kW:n mikroturbiinin rakenne (Karjalainen, 2012.)

Mikroturbiini toimii pääpiirteittäin siten, että kompressori työntää ilmaa palotilaan. Palotilassa ilmaan suihkutetaan polttoainetta. Kun seos palaa, siitä syntyvä pakokaasu virtaa suurella nopeudella turbiinipyörän läpi ja saa turbiinin pyörimään korkealla kierrosnopeudella. Turbiini pyörittää edelleen kompressoria, joka syöttää lisää ilmaa palotilaan. Polttoaineena mikroturbiineissa käytetään kaasumaisia sekä nestemäisiä polttoaineita (ks. taulukko 3). Yleisin polttoaine on maakaasu, mutta biokaasun käyttö on myös lisääntymässä. (Hiltunen, 2002.; Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

Kuten stirling -moottorissa, mikroturbiinilla on myös sisäinen esilämmitin, jolla parannetaan laitteen hyötysuhdetta. Nykyaikaisissa mikroturbiineissa on hyötysuhdetta parantava rekuperaattori. Se varastoi lämpöenergiaa poistuvasta pakokaasusta, jonka lämpötila vaihtelee välillä 450 – 550 °C. Varastoidulla energialla esilämmitetään sisään tulevaa kaasua. Näin kasvatetaan kokonais- ja sähköntuotannon hyötysuhdetta. Ilman rekuperaattoria alle megawatin mikroturbiineilla sähköhyötysuhde jää yleensä 25 % alapuolelle. Yhteistuotantokäytössä mikroturbiineilla päästään tyypillisesti 75 - 85 % kokonaishyötysuhteeseen. (Hiltunen, 2002.; Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

4.2.2 Mikroturbiinin hyödyt ja heikkoudet

Mikroturbiinien hyödyt ovat sen luotettavuus, pieni koko ja pitkä käyttöikä sekä huoltovälit. Laitteessa on vähän liikkuvia osia joten käyttö- ja huoltokustannukset ovat myös pienet. Lisäksi mikroturbiinien päästöt ovat alhaisia. Varsinkin CO- ja NO_x-päästöt. Tähän on syynä nopea palaminen sekä runsas palamisilmanmäärä. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

Suurin heikkous mikroturbiinille on sen huonot ja kannattamattomat säätömahdollisuudet. Mikroturbiinia ei kannata ajaa osakuormalla. Se on taloudellisesti kannattamatonta sekä palamisesta tulee epätäydellistä ja tästä aiheutuu normaalia enemmän päästöjä. Sähköntarpeen muutokseen sopeuttaminen tapahtuu siis hyötysuhteen kustannuksella. Näistä syistä yksittäistä mikroturbiinia tulisi aina ajaa täydellä teholla. Tämän takia myös mikroturbiinilla varustettu mikroluokan CHP -tekniikka soveltuu parhaiten suurten kiinteistöjen energiantuotantoon, joissa kuorma ei vaihtele. Toisaalta hyötysuhdeongelma voidaan kiertää siten, että mikroluokan CHP -laitteisto valmistettaisiin useasta erillisestä mikroturbiinista. Tällä tavalla hyötysuhde säilyy hyvänä vaikka sähkön- ja lämmöntarve muuttuu. Tästä huolimatta mikroturbiinien hyötysuhde laskee teholuokan laskiessa. Huonon säädettävyyden lisäksi huonoa mikroturbiinissa on sen korkea investointikustannus. (Karjalainen, 2012.; Koponen 2010.)

Taulukko 2. Mikroturbiinien tyypillisiä teknisiä ominaisuuksia (Muokattu lähteistä Karjalainen 2012.; Koponen 2010.)

Tekniikka	Mikroturbiini
Sähköhyötysuhde	25 – 30 %
Lämpöhyötysuhde	50 – 60 %
Kokonaishyötysuhde	75 – 85 %
Lämmöntuotto	85 – 100 °C, höyry
Turbiinista lähtevän kaasun lämpötila	450 – 600 °C
Peruskorjausväli	20 000 – 30 000 h
Elinikä	50 000 – 75 000 h
Yksikköteho	25 – 250 kW _e
Esimerkkipolttoaineita	Maakaasu, diesel, propaani, petroli, biokaasu

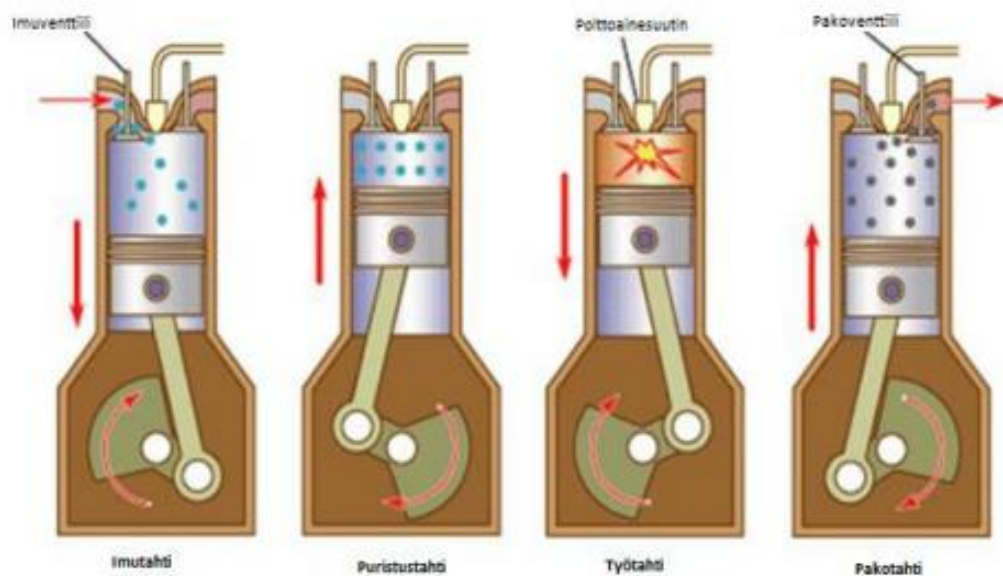
Käyttö- ja ylläpitokustannukset	0,006 – 0,021 €/kWh _e
---------------------------------	----------------------------------

4.3 Polttomoottori

Polttomoottori luetellaan mikroturbiinin tavoin avoimeksi prosessiksi. (Koponen, 2010.) Polttomoottori on mikroluokan CHP -tekniikoista varmastikin kaikkein tutuin jokaiselle. Polttomoottori löytyy jokaisen autosta tai mahdollisesti joku on käyttänyt aggregaattia sähkön tuottamiseen.

4.3.1 Polttomoottorin toimintaperiaate

Polttomoottorin toimintaperiaate on yksinkertainen. Polttomoottorissa polttoaine palaa sylinterikammiossa, joko pisaroina tai kaasumaisena. Kun polttoaine palaa, se muuttaa kammiossa olevan kaasun lämpötilaa sekä painetta, jolloin sylinterissä oleva mäntä alkaa liikkua. Mäntä puolestaan on kiinnitetty akseliin ja myös akseli alkaa liikkua (ks. kuvio15). Mikäli moottorilla tehdään sähköä, akseli on kiinni generaattorissa. Akselin liike tuottaa 1- tai 3-vaihe sähköä riippuen generaattorista.



Kuvio 15. Periaatekuva 4-tahtisen mäntämoottorin työkierto (Ahola, 2014.)

Mikroluokan CHP -käytössä lämmöntuotanto otettaisiin jäädytyksestä ja pakokaasuista. Polttomoottoreita on käytetty energiantuotantoon jo pitkään. Tämän takia ne ovat hyvin saatavilla sekä tekniikka on myös hyvin kehittynyttä. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

Polttomoottorit jaotellaan kahteen eri luokkaan toimintaperiaatteen mukaan. Puristusyttytteisiin eli dieselmoottoreihin sekä kipinäsytytteisiin eli ottomoottoreihin. Ottomoottorissa polttoilma sekoitetaan ennen syöttöä sylinteriin. Eli mäntä puristaa sylinterissä seosta. Dieselmoottorissa taas sylinteriin syötetään aluksi polttoilma ja puristuksen loppuvaiheessa itse polttoaine. Eli mäntä puristaa sylinterissä vain ilmaa. Dieselmoottorin teho-lämpösuhde näiden kahden välillä on korkeampi. Teho-lämpösuhteella tarkoitetaan, tuotetun sähkön määrää verrattuna tuotettuun lämpöön. Dieselmoottori yleensä myös turboahdetaan alle 1MW_e teholuokassa tehon kasvattamiseksi. Tästä huolimatta ottomoottorin kokonaistehokkuus on näiden kahden välillä parempi. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.; Polttomoottori, 2014.)

4.3.2 Polttomoottorin hyödyt ja heikkoudet

Polttomoottorivoimaloiden hyötyjä on monia. Niille on tyypillistä suhteellisen laaja polttoainevalikoima sekä korkeat hyötysuhteet. Sähköntuotannossa hyötysuhteet pyörivät jopa 40 % tienoilla. Myös kokonaishyötysuhde laitteilla on korkea, parhaimmillaan 90 % luokkaa. Tekniikka on myös kehittynyttä. Tästä johtuen moottorivoimaloita tehdään paljon ja niitä on saatavilla paljon erikokoisia. Ne ovat myös modulaarisia, joten niistä on helppo kasata tarpeen mukaan oikeanlainen energiantarpeita vastaava kokonaisuus. Modulaarisuudesta johtuen myös rakennusajat ovat lyhyitä. (Karjalainen 2012.; Koponen, 2010.)

Moottorivoimaloiden heikkoudet ovat korkea ja tiheä huollontarve, esimerkiksi verrattuna mikroturbiiniin moottorivoimaloiden peruskorjausväli on puolet lyhempi (ks. taulukko 4 ja 3). Tekniikassa on myös paljon liikkuvia ja kuluvia osia, joten moottorit ovat alttiimpia vikaantumiselle verrattuna tekniikkoihin, joissa liikkuvia osia on vähemmän. Muihin tekniikkoihin verrattuna päästöt ovat myös yksi moottorivoimaloi-

den heikkouksista. Varsinkin, jos polttoaineena käytetään uusiutumattomia polttoaineita. (Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

Taulukko 3. Kaasu- ja dieselmoottoreiden tyypillisiä ominaisuuksia eri moottoritehoilla (Muokattu lähteistä Karjalainen, 2012.; Koponen, 2010.)

	< 200 kW
Sähköhyötysuhde	30 - 38 %
Lämpöhyötysuhde	45 - 50 %
Kokonaishyötysuhde	73 - 85 %
Lämmöntuotto	85 - 100 °C
Peruskorjausväli	15 000 – 20 000 h
Käytettävyys	96 %
Kierrosnopeus	1 000 – 3 000 rpm
Esimerkkipolttoaineita	Kipinäsytytteinen moottori: Kaasu, biokaasu, nafta; Diesel moottori: kaasu, biokaasu, erikoiskevytöljy, kevytöljy, raskasöljy, rapsiöljy ja metyyliesteri
Käyttö- ja ylläpitokustannukset	0,013 – 0,022 €/kWh _e

5 Biotalousinstituutilla sijaitseva mikroluokan CHP-laitteisto

5.1 Lähtötilanne

Työn yhtenä tavoitteena oli selvittää, mitä komponentteja CHP -laitteistoon liittyy ja tehdä näistä toimeksiantajalle osaluettelo. Osaluetteloon merkittiin teknisiä tietoja komponenteista. Tämä auttaisi siinä, mikäli komponentteja hyödynnetään semmoiseen, eikä laitteistoa käynnistettäisi.

Alussa laitteiston komponentit olivat laboratorion pihalla rahtilavoilla (ks. kuvio 16). Toimeksiantajalla ei ollut käsitystä, mitä kaikkea lavoilla on, eikä edes onko kaikki laitteistoon kuuluvat komponentit tallella. Toimeksiantajalla oli kuitenkin tieto, että

laitteistoon liittyen oli tehty ainakin yksi pro gradu -tutkielma sen kehitysvaiheessa, minkä pohjalta laitteistoa ja sen toimintaa voidaan lähteä selvittämään. Lisäksi toimeksiantajalta löytyi tulosteita laitteeseen liittyen. Näitä0 pystyttiin myös hyödyntämään. Toimeksiantajalla oli myös tietoa yrityksistä ja henkilöistä, jotka olivat tehneet työtä laitteiston kehitysvaiheessa. Tärkeimmäksi tavoiteltavaksi henkilöksi todettiin Marko Rasi ja hänen tekemä tarkka toimintakuvaus laitteelle.



Kuvio 16. Valokuva lähtötilanteesta. Kuvassa ei ole kaikki komponentit.

5.2 Dokumenttien etsintä

Selvitystyö aloitettiin ensimmäiseksi etsimällä internetistä pro gradu -tutkielma, jonka toimeksiantaja mainitsi. Tiedettiin, että tutkielma oli käsitellyt erityisesti laitteen ohjausta tai tiedonkeruuta. Tämä kyseinen tutkielma löytyikin varsin nopeasti. Jukka Koposen vuonna 2010 tehdystä pro gradu -tutkielmasta oli suuri apu työn suorittami-

nessa. Tutkielmasta pystyttiin myös etsimään lähteiden avulla muita tähän laitteistoon käytettyjä tutkimusjulkaisuja.

Toinen tärkeä julkaisu laitteistoon liittyen löytyi nimenomaan Koposen tutkielmaan käytetyistä lähteistä. Laitteistoon oli tehty toinen gradutyö sen aloitusvaiheilla vuonna 2006. Mikko Lommi oli tehnyt pro gradu -tutkielman liittyen laitteiston prosessilaskentaan sekä lämmönvaihtimien mitoitukseen.

Tärkeäksi todettua Rasin tekemää toimintakuvausta lähdettiin etsimään hankkimalla hänen yhteistietoja internetistä. Rasin yhteystiedot löytyivät Jyväskylän yliopiston kotisivuilta. Rasi vastasi yhteydenottoon. Hän totesi, että hänellä ei ole kyseistä dokumenttia enää tallessa. Dokumentti oli jätetty Jyväskylän yliopiston haltuun, hänen erottuaan virastaan 2009. Samassa kyselyssä selviteltiin myös mahdollisten suunnittelukuvien tietoja sekä muita yhteyshenkilöitä, joilla saattaisi olla tietoa laitteesta. Erityisesti haluttiin tietää, mikä yritys oli kyseiset suunnittelukuvat piirtänyt. Rasin sähköpostiviestissä kerrottiin, että suunnittelupiirustukset oli tehnyt insinööritoimisto Vaskol, jonka nykyään omistaa Elomatic Oy. (Rasi, 2016.)

Toimintakuvausten etsimistä jatkettiin ottamalla yhteyttä Jyväskylän yliopiston kirjaamoon. Kirjaamolta pyydettiin ottamaan yhteyttä Tuula Paukamaan, JYU:n kemianlaitoksen amanuenssiin. Ensimmäisessä vastauksessa Paukamaa lupasi etsiä dokumentin, mutta lisäyhteydenotoista huolimatta raporttia taikka lopullista vastausta ei saatu. Toimintakuvaus jäi saamatta opinnäytetyön tekemisen aikana. Paukamaalle jätettiin kuitenkin pyyntö, että lähettää löytyneet dokumentit opinnäytetyön toimeksiantajalle.

Suunnittelukuvien osalta Rasi kertoi, että entinen Vaskol (nyk. Elomatic Oy) oli yritys jossa suunnittelukuvat tehtiin. Elomatic:n suuntaan otettiin yhteyttä puhelimitse Process & Plant -ryhmän ryhmäpäällikköön Heikki Niemiseen. Puhelun aikana selvisi, että kaikki Vaskolin arkistoidut dokumentit ovat siirtyneet suoraan Elomatic:lle yrityskaupan yhteydessä. Nieminen lupasi etsiä kuvat Elomatic:n arkistoista. Suunnittelukuvat löytyivät ja Nieminen luovutti suunnittelutiedot opinnäytetyön tekoa varten. Elomatic:lta saaduissa tiedostoissa oli yllättävän paljon materiaalia. Opinnäytetyön tekoa varten saatiin koko projektiansio, joka oli Vaskolin aikana tehty. Kansio sisälsi Vertexillä tehtyjä 3D -malleja, detalji -kuvia, tarjouskyselyitä, venttiili- ja laiteluette-

loita sekä laskentataulukoita. Nämä auttavat toimeksiantajaa sekä opinnäytetyöntekoa merkittävästi.

Näiden kahden tutkielman, Elomatic Oy:ltä saatujen dokumenttien sekä Rasin toimintakuvauksen avulla saatiin melko hyvä käsitys siitä kuinka laitteiston pitäisi toimia ja mitä komponentteja laitteistoon kuuluu sekä minkälaisia komponentit ovat ominaisuuksiltaan. Vertaamalla dokumentteja nykytilanteeseen saadaan myös käsitystä siitä, mitä kaikkea laitteistosta puuttuu.

5.3 Laitteiston komponentit

5.3.1 Laitteiston laitekuvaus

Laitteistoon kuuluu monta erilaista komponenttia ja jokaisella on oma tehtävänsä. Itse laitteiston päätehtävä kokonaisuudessaan on tuottaa sähkö- ja lämpöenergiaa. Jokaisella komponentilla on tehtävä, jota suorittamalla koko laitteiston päätehtävä toteutuu. Liitteestä 2 nähdään miltä laitteisto näyttää toimintakunnossa.

Laitteiston pääkomponentteja ovat stirling -moottori, tulipesä, pellettipoltin, kaksi kappaletta ekonomaisereita, luvo, savukaasupuhallin/savukaasuimuri, kiertosavukaasupuhallin sekä kaksi puhallinta primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilmoille, yksi levylämmönvaihdin, yksi kiertopumppu sekä lisäksi myös ohjau- ja sähköautomaatiokaapit. Laitteistoon kuuluu putkisto jäähdytysvesiä varten sekä kanavisto savukaasuille. Putkistoihin liittyy myös 35 kappaletta erilaisia käsi-, varo- ja tyhjennysventtiileitä sekä kolme kappaletta etäohjattavia automaattiventtiileitä. Laitteistoon liittyy myös 30 kappaletta mittausantureita ja -laitteita.

5.3.2 Stirling -moottori

Laitteiston stirling-moottori, jolla sähkö tuotetaan, on Solo V161 -mallin moottori (ks. kuvio 17). Moottoripaketin massa on noin 500 kg. Tämä moottori käyttää työkaasuna heliumia 20 - 150 bar:n paineessa. Tehonsäätö tapahtuu työkaasun painetta muuttamalla. Ilmoitettu moottorin maksimibrutto- sekä maksiminettotehot ovat 9,8 kW_e ja 9,2 kW_e. Kyseinen Solon moottoripaketti sisältää generaattorin, joka tuottaa 400 V,

50 Hz 3 -vaihesähköä. Erikoisuutena laboratorion sijaitsevassa moottorissa normaaliin vastaavanlaiseen pakettiin, on sen pystyasennosta toimimaan muutettu voitelujärjestelmä. (Koponen, 2010.; Lommi, 2006.)



Kuvio 17. Valokuva laitteistoon kuuluvasta stirling -moottorista

Moottoriin asennettu lämmönvaihdin, jolla saadaan moottorin liike aikaiseksi, on kaksirivinen lomitettu rivoittamaton ristivirtaputkilämmönvaihdin (ks. kuvio 18). Laskettu lämmönsiirtoteho kyseiselle asennetulle lämmönvaihtimelle on n. 10 kW_h. Laskennallinen sähköteho on laskettu tällä lämmönsiirtoteholla, ilmoitetun paineen maksimi arvoilla, työkaasun lämpötila 550 - 650 °C sekä jäähdytysveden tilavuusvirtauksena 0,56 kg/s. Tällöin tuotetuksi sähkötehoksi saadaan 2 - 3 kW_e. Ilmoitettuun maksimi sähköntuottotehoon pääsy nykyisellä lämmönvaihtimella ei ole mahdollista. (Koponen, 2010.; Lommi, 2006.)



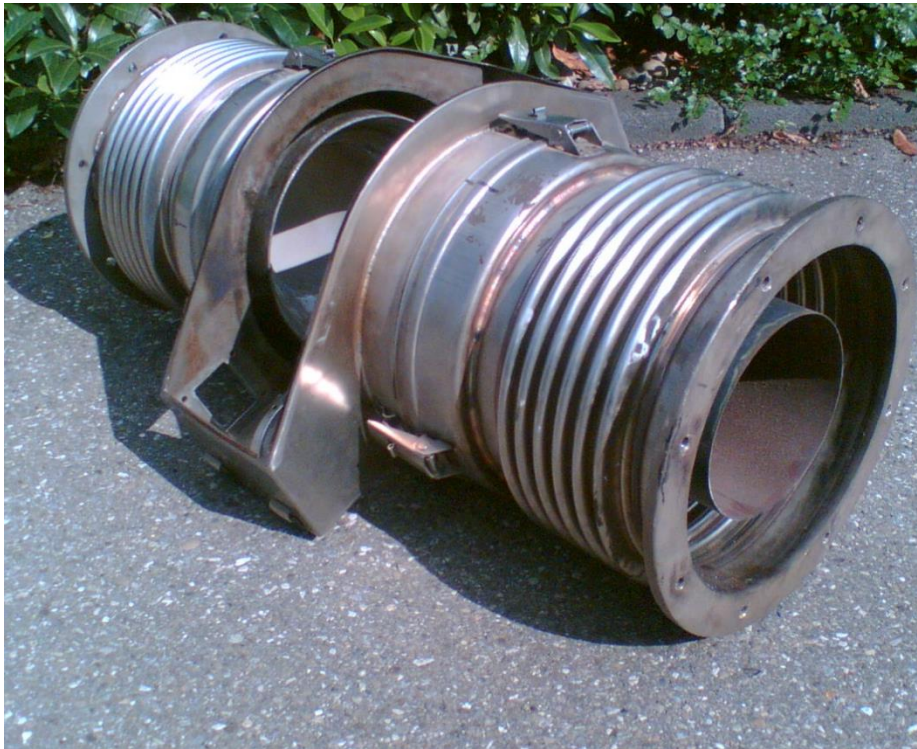
Kuvio 18. Moottorissa oleva lämmönvaihdin. Kuvassa myös rivoitettu putki (Lommi, 2006.)

Laboratoriolla sijaitsevan Solo V161 -moottorin teknisiä tietoja, jotka on koottu Lommin pro gradu -tutkielmasta sekä yhdestä moottorin arvotaulusta:

- Moottorin tyyppi: V 2-sylinterinen, alfa-syklinen
- Sylinterin halkaisija: 68 mm
- Iskunpituus: 44 mm
- Sylinteritilavuus: 160 3 cm³
- Kierrosnopeus: 1500 rpm
- Suurin sähköteho: 9 kW
- Suurin keskimääräinen syklipaine: 130 bar
- Suurin keskimääräinen syklilämpötila: 650 °C
- Napaparien lukumäärä: 2 paria
- Hyötysuhde: 92,5 %
- Cos φ: 0,85
- IP -luokitus: IP54
- Vaihteisto: Tähti

Stirling -moottoriin kuuluu myös "heater housing" -osa. Sen tarkoitus on olla moottorin lämmönvaihtimen asennuskehikkona sekä ohjata savukaasu tulipesästä itse läm-

mönvaihtimen läpi. Tämä osa oli kokonaisuudessaan tallella. Se koostuu kahdesta palkeesta sekä kotelosta niiden välissä (ks kuvio 19).



Kuvio 19. Kuva heater housing -osasta.

5.3.3 Pellettipoltin

Laboratoriolla sijaitseva pellettipoltin oli merkiltään ja malliltaan Ecotec B2 70 kW. Kuten mallimerkinnässä on mainittu, polttimen maksimilämpöteho on 70 kW. Pellettipolttimen tehtävänä on syöttää ja polttaa käytettävä polttoaine tulipesässä, tässä tapauksessa pelletti.



Kuvio 20. Valokuva laitteiston pellettipolttimesta

Polttimen tiedot, jotka ilmoitettiin Koposen pro gradu -tutkielmassa, ovat ristiriidassa yhden tiedon osalta. Tutkielmassa ilmoitettiin polttimen malliksi Ecotec B2 **80 kW**. Kun tarkastellaan polttimen arvotaulua (ks. kuvio 21), siinä polttimen malliksi on ilmoitettu Ecotec B2 **70 kW**. Työtä tehdessä tuli siis aiheelliseksi miettiä, onko laboratoriolle oleva polttin eri verrattuna Koposen gradun aikana käytettyyn polttimeen vai onko pro gradu -työssä painovirhe.

Todennäköisesti kyseessä on painovirhe. Tätä ajatusta tukee muutama seikka. Ensinnäkin mallimerkintä on sama "Ecotec B2". Mikäli kyseessä olisi eri polttin, todennäköisesti mallimerkintä ei tältä osin olisi sama. Tälle ei kuitenkaan löytynyt varmistusta Ecotec:n kotisivuilta. Lisäksi laitteet näyttävät ulkoisesti samalta. Tarkempia kuvia kuitenkaan vuodelta 2010 ei polttimesta ole. Kolmantena seikkana olisi, että pro gradussa kuvatut erikoismuutokset, joita polttimelle on tehty, täsmäivät laboratoriolle olevaan polttimeen ja on todella epätodennäköistä, että projektin loppuvaiheilla (v. 2010) olisi muokattu kahta poltinta koelaitteistolle sopivaksi. Polttimet ovat vielä maksimilämpöteholtaan 10 kW:n päässä toisistaan. Projektia ei tiedettävästi ole enää gradutyön jälkeen juuri jatkettu. Tämänkin puolesta on todennäköistä, että kyseessä

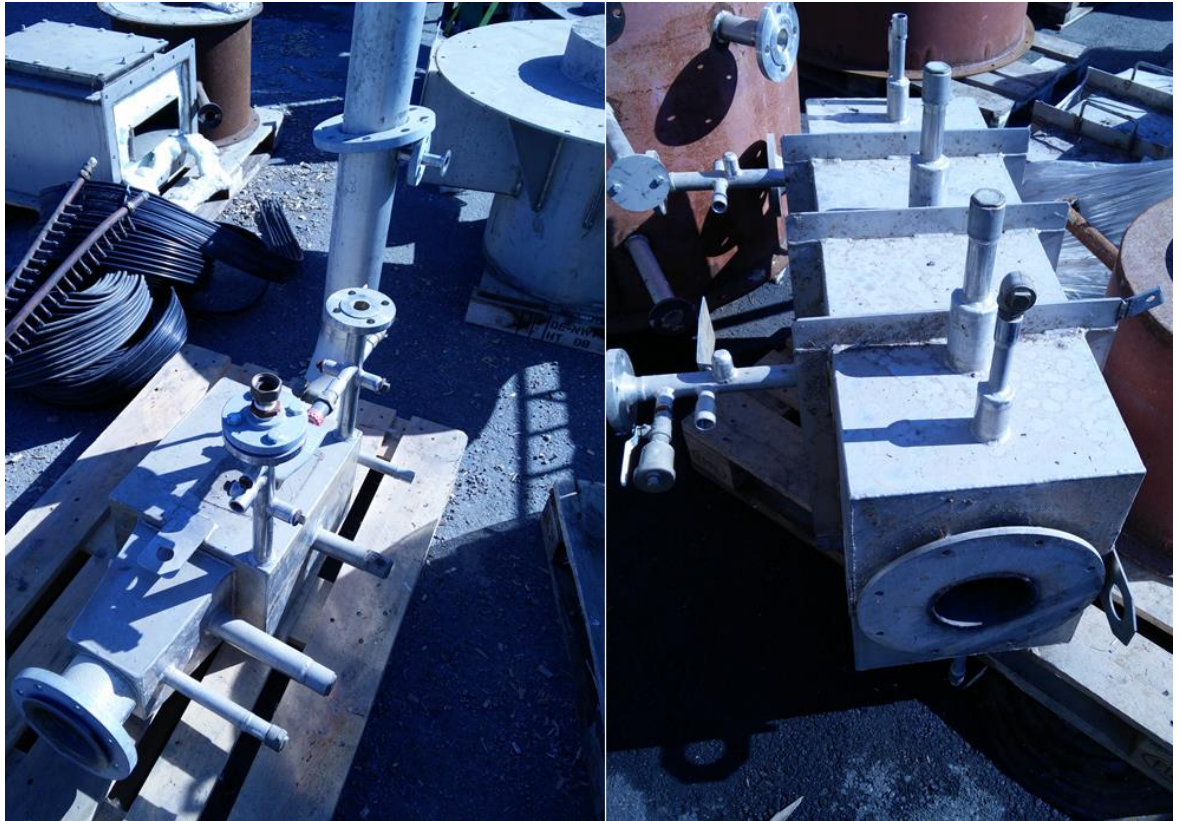
on sama poltin. Samaa mieltä asiasta oli myös toimeksiantaja. Näiden seikkojen perusteella opinnäytetyön tekoa jatkettiin olettamuksella, että polttimet ovat samat.



Kuvio 21. Valokuva pellettipolttimen arvotaulusta

Poltin rakentuu poltinpäästä, primääri-ilmakanavasta, syöttökanavasta ja -ruuvista sekä poltinvaunusta. Poltinpään kuuluu poltinmalja, tasaajarengas ja sen pyöritin, tuhkaaraappa sekä ilmaraot. Poltinvaunu sisältää syöttöruuvia pyörittävän 63 W moottorin, sulkusyöttimen sekä liitännät polttoaineen syötölle siilosta ja primääri-ilmapuhaltimelle. Kyseiseen polttimeen, joka sijaitsee laboratoriollla, on tehty jälkeinpäin muutoksia. Polttimen syöttökanavaa ja -ruuvia on pidennetty ja syöttökanava on eristetty. Polttimen syöttökanavan yläpuolella kulkevaa ilmakanavaa on myös muutettu. Kanavaa on uudelleen muotoiltu n. 10mm korkuiseksi ja poltinpään levyiseksi. (Koponen, 2010.)

5.3.4 Eko 1 & 2



Kuvio 22. Ekonomaiserit. Vasemmalla Eko 1 ja oikealla Eko 2

Laitteistoon kuuluu kaksi erikokoista ekonomaiseria eli ekoa (ks. kuvio 22).

Ekonomaisereiden tehtävänä laitteistossa on lämmittää käyttövesi. Ekonomaiserit on tehnyt Termopoint Oy. Niiden suurin sallittu käyttöpaine on 6 bar sekä veden suurin sallittu lämpötila on 110 °C (ks. kuvio 23). Suunnittelukuvista saatiin laitteiden ilmoitetut massat sekä tilavuudet. Massat ovat 30 kg (Eko 1) ja 121 kg (Eko 2). Tilavuudet ovat 3,0 dm³ (Eko 1) ja 5,4 dm³ (Eko 2).



Kuvio 23. Eko:n arvotaulu

Teoreettisesti savukaasu tulee ensimmäiselle ekonomaiserille (Eko2) luvon jälkeen noin 650 °C:na ja lähtee seuraavalle ekonomaiserille (Eko 1) noin 300 °C:na. Tästä savukaasu poistuu noin 180 °C:na ja jatkaa matkaa kiertosavukaasupuhaltimelle. Ekonomaisereiden laskennalliset lämmönsiirtotehot ovat 29 kW ja 6 kW. Ekonomaiserit ovat muuten pääpiirteittäin samanlaisia, paitsi Eko 2:ssä on ympäröivä vesikiertoon perustuva jäähdytysvaippa. (Koponen, 2010.)

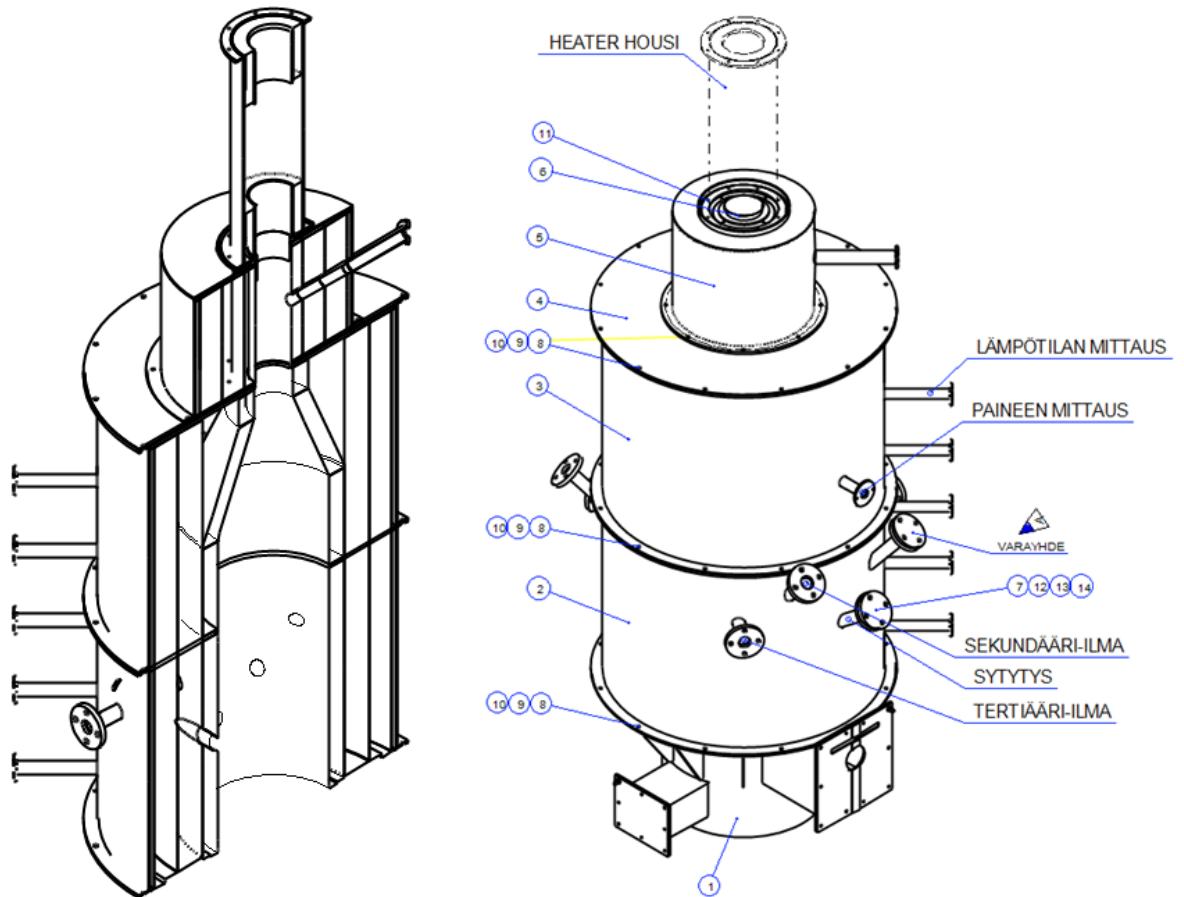
5.3.5 Luvo



Kuvio 24. Luvo ja siihen asennettava kääntökammio

Luvon tarkoituksena on esilämmittää kattilalle syötettävä tertiääri- ja sekundaari-ilma. Lämmitettävä ilma kulkee U:n muotoisen reitin kääntökammion kautta. Sekundaari- ja tertiääri-ilma tulee ensin alemman 1. vedon läpi kääntökammioon ja poistuu ylemmästä 2. vedosta lämmitettynä. Savukaasu kulkee pystysuunnassa ylhäältä alaspäin. Laskennallisesti luvo lämmittää syötettäviä palamisilmoja noin 600 °C:een huoneen lämpötilasta. Samalla itse savukaasu jäähtyy noin 850 °C:sta 650 °C:een. Laskettu lämpöteho mikä siirtyy sekundääri ja tertiääri-ilmaan on noin 14,5 kW. (Koponen, 2010.) Elomatic:lta saaduista suunnittelukuvista selvisi myös luvon sisällä olevien lämmitysputkien materiaali, joka on ruostumatonta 253Ma terästä. Tämä materiaali kestää maksimissaan 1150 °C lämpötilan.

5.3.6 Tulipesä



Kuvio 25. Tulipesä kasattuna. Kuvassa myös selityksiä yhteille

Kyseisen laitteiston tulipesä koostuu neljästä lieriömäisestä elementistä. Kammio kasataan pystyyn seisomaan. Jokainen elementti koostuu teräsvaipasta, muurauksesta ja eristekerroksesta. Keskimmäisten elementtien eristepaksuus on 300 - 470mm. Itse palotila on halkaisijaltaan 500mm, mutta se kapenee yläosassa. Tulipesän ulkohalkaisija leveimmässä eli keskimmaisissä kappaleissa oli n. 1200mm. Savukaasukanavien alkaessa palotilan halkaisija on vain 160mm.



Kuvio 26. Tulipesän jalkaosa

Alimmaisiksi tulee jalkaosa, johon myös kiinnitetään laitteistoon kuuluva pellettipoltin sekä sisältää tuhkanpoistoluukun (ks. kuvio 26). Jalkaosan päälle tulee kaksi samankokoista elementtiä. Nämä kaksi keskimmäistä elementtiä sisältää sekundaari- ja tertiääri-ilman syötön sekä paikkoja mittausyhteille (ks. kuvio 27).



Kuvio 27. Tulipesän kaksi keskimmäistä elementtiä.

Ylimmäiseksi kappaleeksi tulee halkaisijaltaan pienempi lieriö. Laitteistoon kuuluu kaksi kappaletta näitä kyseisiä pienempiä lieriö elementtejä. Toisen elementin kanssa

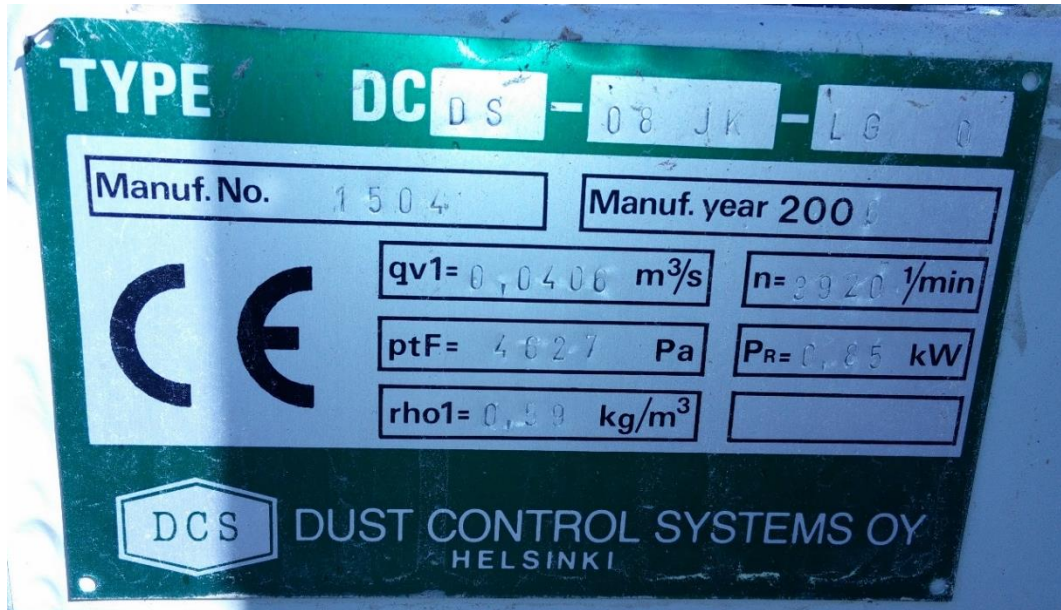
käytetään stirling -moottoria ja toisen kanssa väliaikaista lämmönvaihdinta. Keskenään nämä eroavat siten, että toisessa yläosa on avoin (ks. kuvio 28). Pienempien lieriöiden ulkohalkaisija on noin 550 mm.



Kuvio 28. Tulipesän ylin osa, jonka kanssa käytetään väliaikaista lämmönvaihdinta

5.3.7 Kiertosavukaasupuhallin

Laitteistoon kuului monta 2,2 kW moottorilla varustettua keskipakopuhallinta. Yksi näistä oli kiertosavukaasupuhallin. Puhaltimen tehtävänä laitteistossa on ottaa savukaasua halutusta pisteestä ja kierrättää se takaisin tulipesään. (Koponen, 2010.) Elo-matic:lta saatujen 3D -mallien perusteella kiertosavukaasupuhallin on ulkoisesti hyvin samannäköinen kuin laitteistoon kuuluva savukaasupuhallin, jonka tarkoituksena on poistaa savukaasut piippua kohti ja luoda tulipesään alipaine. Ulkoisena erona näiden kahden välillä on kanavan liityntäyhteen suunta/paikka. Kiertosavukaasupuhaltimes- sa (ks. kuvio 30) yhteen suunta on ylöspäin.



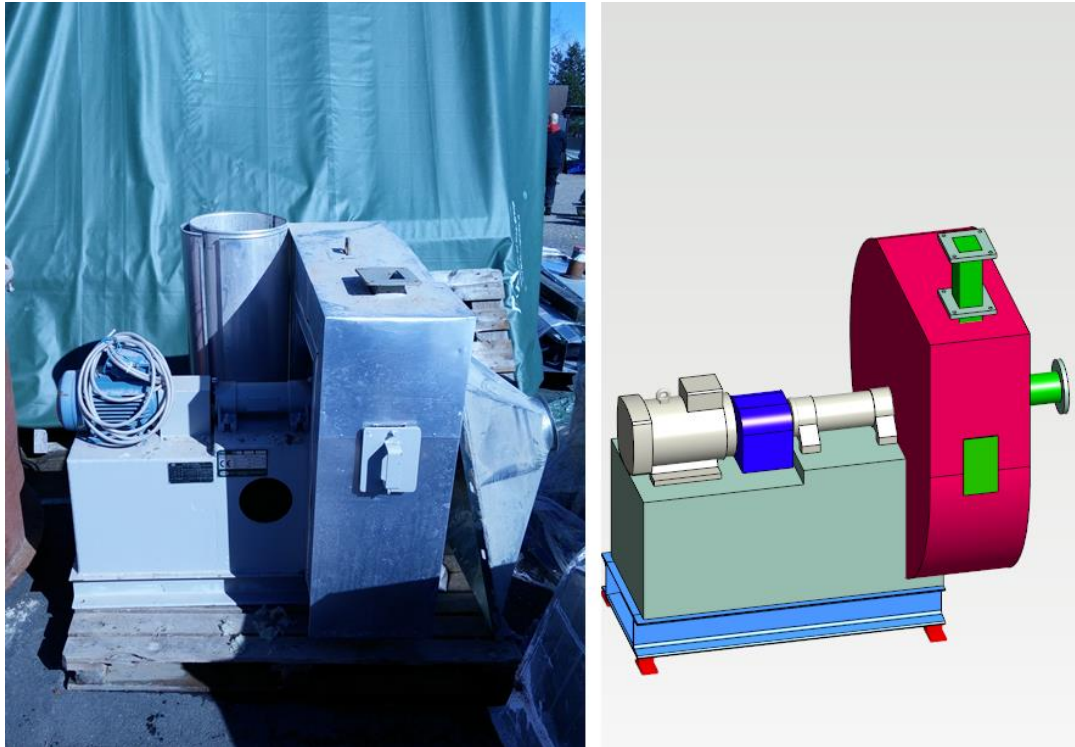
Kuvio 29. Kiertosavukaasupuhaltimen arvotaulu

Laboratoriolta löytyi vain toinen ko. puhaltimista, joten on tärkeää erottaa, kumpi tämä löytyvä puhallin on. Ulkoisesti puhaltimet ovat hyvin samanlaiset, mutta niillä on merkittävä tekninen ero. Kiertosavukaasupuhallin kestää 300 °C lämpötilan, kun taas savukaasupuhallin kestää vain 180 °C lämpötilan. Lopullinen varmistus siitä, että kumpi puhaltimista on kyseessä, saatiin Elomatic:lta saaduista tiedostoista. Dokumenteista löytyi Dust Control Systems Oy:n tekemä tarjous, jossa mainittiin kaikki puhaltimet ja niiden mallimerkinnot. Tarjouksessa kiertosavukaasupuhaltimelle annettu mallimerkintä "DCDS-08-j-k LG0" täsmäsi laboratoriolta löytyvän puhaltimen arvotaulussa olevaan mallimerkintään (ks. kuvio 29).

Tarjouksessa annettiin myös tarkkoja teknisiä tietoja. Tiedot eivät täsmänneet täysin arvotaulussa näkyviin. Esimerkiksi lämpötilakestoksi oli tarjouksessa annettu 180 °C sekä osa arvotaulussa olevista arvoista poikkeaa tarjouksen arvoihin verrattuna. Tiedetään kuitenkin Lommin ja Koposen tutkielmien perusteella, että oikea lämpötilakesto tälle laitteelle on 300 °C. Eli todennäköisesti joltain osin tarjousta on muutettu jälkepäin ja viimeisintä versiota ei tullut Elomatic:lta saatujen asiakirjojen mukana. Alla olevat tekniset tiedot on otettu laitteen arvotaulusta. Puhaltimen kokonaismassaksi on ilmoitettu noin 150 kg.

Kiertosavukaasupuhaltimen teknisiä tietoja:

- Tilavuusvirta qv_1 = 0,0406 m^3/s
- Kokonaispaine ptF = 4027 Pa
- Tiheys ρ_{o1} = 0,59 kg/m^3
- Pyörimisnopeus n = 3920 1/min
- Siipipyöräteho P_R = 0,85 kW



Kuvio 30. kiertosavukaasupuhaltimen 3D -malli sekä valokuva laitteesta

5.3.8 Keskipakopuhaltimet polttoilmoille

Laitteiston polttoilman syötölle oli varattu kaksi erillistä keskipakopuhallinta. Nämä kyseiset puhaltimet ovat ulkoisesti identtisiä. Ne erottaa helposti savukaasu- ja kiertosavukaasupuhaltimista, koska ne ovat fyysisesti huomattavasti pienempiä (ks. kuvio 31). Elomatic:lta saaduista suunnittelukuvista sekä mainitusta tarjouksesta nähtiin, että teknisesti puhaltimissa on pientä eroa. Sekundääri- ja tertiääri-ilmalle tarkoitetussa puhaltimessa on hieman korkeampi tilavuusvirta kuin primaari-ilmalle tarkoitetussa puhaltimessa. Moottorien teho molemmissa puhaltimissa on 2,2 kW.

Puhaltimien kokonaisuudessa on molemmilla noin 150 kg. Puhaltimet ovat tarkoitettu toimimaan huoneenlämpötilassa.



Kuvio 31. Puhaltimet polttoilmoille

5.3.9 Väliaikainen lämmönvaihdin

Laitteistoon kuuluu myös väliaikainen lämmönvaihdin. Tätä käytetään laitteistossa stirling -moottorin tilalla silloin, kun sitä ei ole käytössä. Alkuperäinen tarkoitus on ollut siis toimia vain jäähdyttimenä savukaasuille. Tätä on voitu hyödyntää testivaiheessa, jotta saadaan lähtöarvoja ennen kuin stirling -moottori asennetaan. (Koponen, 2010.)



Kuvio 32. Valokuva väliaikaisesta lämmönvaihtimesta

Lämmönvaihdin on kolmirivinen, ristivirtatyypinen. Laitteen kokonaismassa on noin 20 kg. Arvioitu lämmönsiirtoteho laitteelle on 40 kW_h . Kyseinen siirtoteho saavutetaan, jos vaihtimessa virtaa vettä $0,12 \text{ kg/s}$. Tällöin virtaava vesi lämpenee huoneen lämmöstä noin sataan asteeseen. (Koponen, 2010.)

5.3.10 Adsorptiokuivain

Laboratorion varastosta löytyi myös laitteistoon kuuluva adsorptiokuivan. Tämän laitteen tehtävä on poistaa kosteutta laitteistossa käytettävästä paineilmasta. Kyseinen adsorptiokuivain oli Tecalemit:n Ultrapac 2000.

5.3.11 Savukaasukanaviin liittyvät osat

Laitteistoon kuuluu myös paljon savukaasukanaviin liittyviä osia. Itse kanavistosta ei ole hirveästi osia tallella, paitsi pääkomponentteihin liittyvät osat. Laboratoriolta löy-

tyi pääkomponenttien savukaasukanaviin neljä paljetasainta, neliskanttinen kulmakappale, pyöreä kulmakappale sekä kaksi muuntokappaletta.

Paljetasainten tehtävä on kompensoida lämpöliikettä asennettavassa kohdassa. Elomatic:lta saaduista tiedostoista löytyi paljetasainten tarjouskysely sekä detalji -kuvia. Laitteistoon kuuluu asennettavaksi kaksi erilaista paljetta. Ensimmäinen palkeista tulee asennettavaksi kulmakappaleiden väliin muuntokappaleen kanssa. Toinen palkeista asennetaan luvon ja ensimmäisen ekonomaiserin (Eko 2) väliin. Molemmat palkeet ovat 200 mm pitkiä. Kulmakappaleiden väliin asennettavan palkeen materiaali on 253Ma sekä sisähalkaisija 146 mm. Luvon ja eko 2:sen väliin asennettavan materiaali on EN 1.4401 mukainen ruostumaton teräs sekä sisähalkaisija 167 mm. Palkeiden jouston määrää ei ollut merkitty viimeisimpiin dokumentteihin

. Toisaalta Elomatic:lta saaduista tiedostoista löytyi tarjous, jossa palkeiden joustoksi mainittiin ± 20 mm. Ei ole kuitenkaan varmuutta onko tämä muuttunut jossain vaiheessa, koska osa palkeittein muistakin ominaisuuksista oli muuttunut tarjouksen ja viimeisimmän detalji -kuvan välissä.



Kuvio 33. Valokuva paljetasaimesta

Kulmakappaleiden (ks. kuvio 34) tarkoitus on vain kääntää savukaasu haluttuun suuntaan. Pyöreä kulmakappale tulee asennettavaksi heti stirling -moottorin jälkeen ja neliskanttinen kulmakappale asennetaan ennen luvoa. Saaduista asiakirjoista selvi-

si materiaalit kyseisille komponenteille. Molemmissa kulmakappaleissa sisäputkien materiaali on 253 Ma ja ulkoputken/kuoren materiaali on EN 1.4401 standardin mukainen ruostumaton teräs. Kokonaismassat molemmille osille ovat noin 55 kg.



Kuvio 34. Valokuvat kulmakappaleista

Viimeisenä savukaasukanaviin liittyvinä osina varastosta löytyi kaksi muuntokappaleita (ks. kuvio 35). Näiden tarkoitus on yksinkertaisesti muuttaa kanavan muotoa pyöreästä neliskanttiseksi tai päinvastoin. Toinen muunnoskappaleista on neliö ja toinen suorakaide.

Suorakaide muuntokappale tulee kulmakappaleiden väliin palkeen kanssa (ks. kuvio 32 ja 33). Se muuntaa pyöreän DN250 kanavan 510x310 neliskanttiseksi kanavaksi. Muuntokappaleen sisävaipan materiaali on 253 Ma ja ulkovaipan EN 1.4401 standardin mukainen ruostumaton teräs. Lisäksi sen kokonaismassa on noin 27 kg.

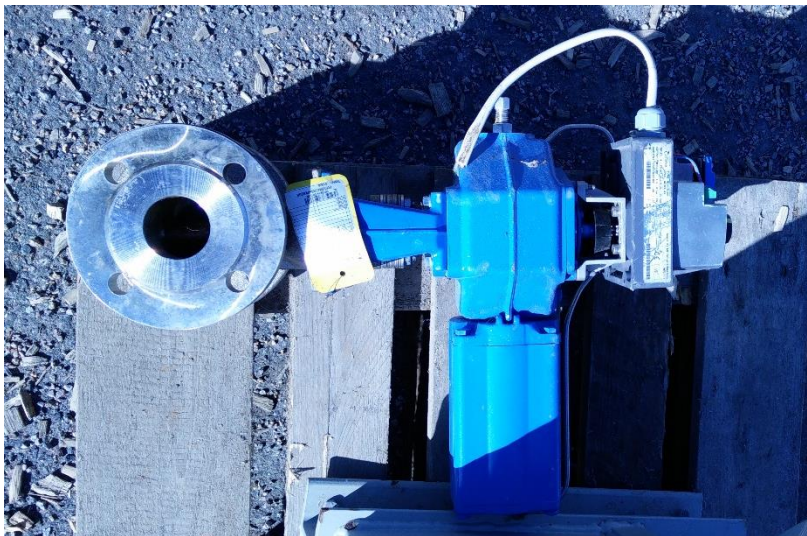
Neliö muuntokappale oli suunnittelukuvissa nimetty luvon ”pohjasuppiloksi”. Pohjasuppilo taas kiinnitetään nimensä mukaisesti luvon pohjaan. Pohjasuppilossa ulko- ja sisävaipan materiaali on EN 1.4401 standardin mukainen ruostumaton teräs. Tämä kappale muuntaa neliö 480x480 kanavan DN250 pyöreäksi kanavaksi. Pohjasuppilossa on myös DN250/PN6 hitsattava kaulus. Lisäksi sen ilmoitettu kokonaismassa on noin 26.5kg



Kuvio 35. Valokuva muuntokappaleista

5.3.12 Automaatioventtiilit

Laitteistossa on myös käytetty automaatioventtiileitä. Laboratoriolta löytyi kaksi kappaletta Metson sähköisellä toimilaitteella varustettua automaatioventtiiliä. Eломatic:lta saaduista asiakirjoista löytyi tarjous Metsolta venttiileihin liittyen. Tarjouksesta kävi ilmi että laitteistoon kuului kokonaisuudessaan kolme kappaletta automaatioventtiileitä. Kaksi laipallista DN40/PN40 kiertoistukka- ja yksi laipallinen DN50/PN40 palloventtiili.



Kuvio 36. Valokuva toisesta löytyvästä automaatioventtiilistä

Laboratoriolta löytyneet kaksi automaatioventtiiliä olivat kiertoistukkaventtiileitä. Venttiilit tunnistettiin toimilaitteen kyljessä olevasta arvotaulusta, jonka mallimerkin-tä täsmäsi Elomatic:lta saaduista arkistoista löytyneeseen Metson tarjoukseen. Joten näiden tietojen mukaan laitteistosta uupuu yksi automaatioventtiili.

5.4 Puuttuvia osia

Melkein kaikki laitteiston pääkomponentit löytyivät laboratoriolta. Silti laitteistosta puuttuu paljon tärkeitä ja olennaisia osia. Yksi tärkeimpiä puuttuvia osia on laitteis-toon kuuluva logiikka ja sen sisäiset ohjelmat. Kyseisessä laitteistossa on joskus ollut Mitsubishiin Melsec FX3U-32M -kompaktilogiikka, FX3U-64DP-M Profibus-DP -kommunikaatiomoduli, kaksi Melsec -sarjan hajautettua I/O -alusta sekä Mitsubi-shin E1071 -operointipääte. (Koponen, 2010.)

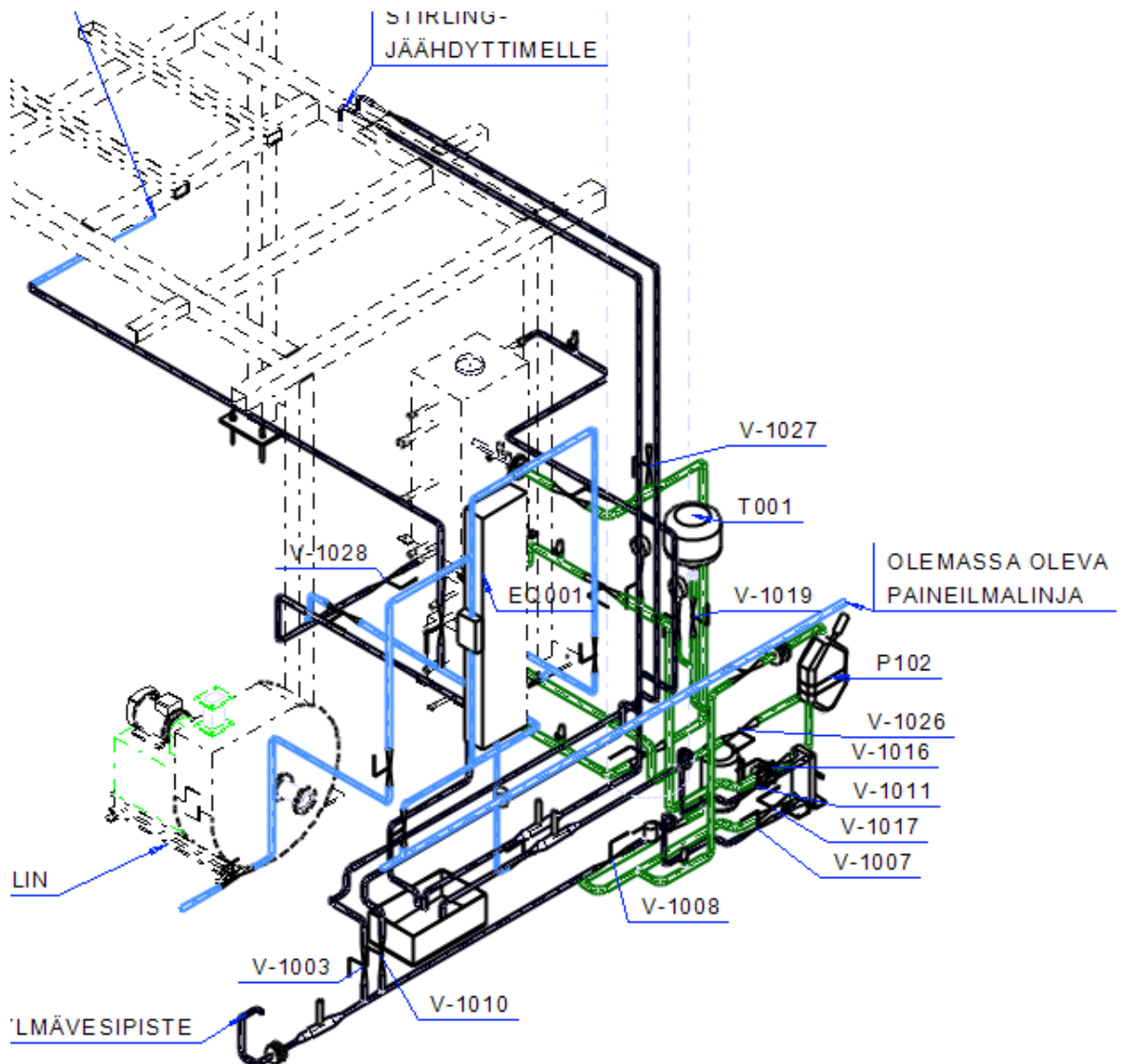
Logiikkaan liittyen myös kaikki mittausanturit, paikallismittarit sekä näytteenotot puuttuvat täysin. Laitteistoon kuuluu paine-, virtaus- ja lämpötila-antureita, vesi ja painemittareita sekä kaksi savukaasuanalysointia. Yhteensä mittalaitteita on 30 kappaletta. Lämpötilan mittaukseen kuuluu 18 mittaria/anturia, paineen mittaukseen 2 kpl, paine-eron mittaukseen 2 kpl, virtauksien mittaukseen 6 kpl sekä savu-kaasuanalysointilaitteita 2 kpl. (Koponen, 2010.)

Toinen suuri puuttuva osa on savukaasupuhallin. Puhaltimen tehtävä poistaa savu-kaasut savupiippua kohti. Tämä puhallin on hyvinkin samanlainen kuin kiertosavu-kaasupuhallin. Suurimpina eroina alhaisempi lämpötilakesto ja liityntäyhteen suunta.

Laitteistosta puuttuu myös suljetun jäähdytyspiirin kiertopumppu, käsipumppu, le-vylämmönvaihdin sekä paisunta-astia. Kiertopumppuun liittyen dokumenteista löytyi tehty tarjouskysely, muuta tarkempaa tietoa pumpusta ei löytynyt. Pumpun massa-virta on 0,5 kg/s sekä paineenkorotus 88 kPa. Paisunta-astiana laitteistossa on käy-tetty Reflexin 8N astiaa. Kyseisen astian käyttöpaine on 3 bar. Laitteistossa käytetty käsipumppu oli Nira 6B.

Laitteistoon kuuluvat jäähdytyspiirin putkistot ja niihin liittyvät osat puuttuvat koko-naan. Kaikki käsi-, takaisku-, linjasäätö, tyhjennys-, ilmaus- ja varoventtiilit sekä pai-neensäätimet puuttuvat. Venttiileistä kaikki paitsi takaiskuventtiilit ovat PN40 pai-neluokkaa. Takaiskut ovat PN6 paineluokkaa. Kaiken kaikkiaan ko. osia on yhteensä

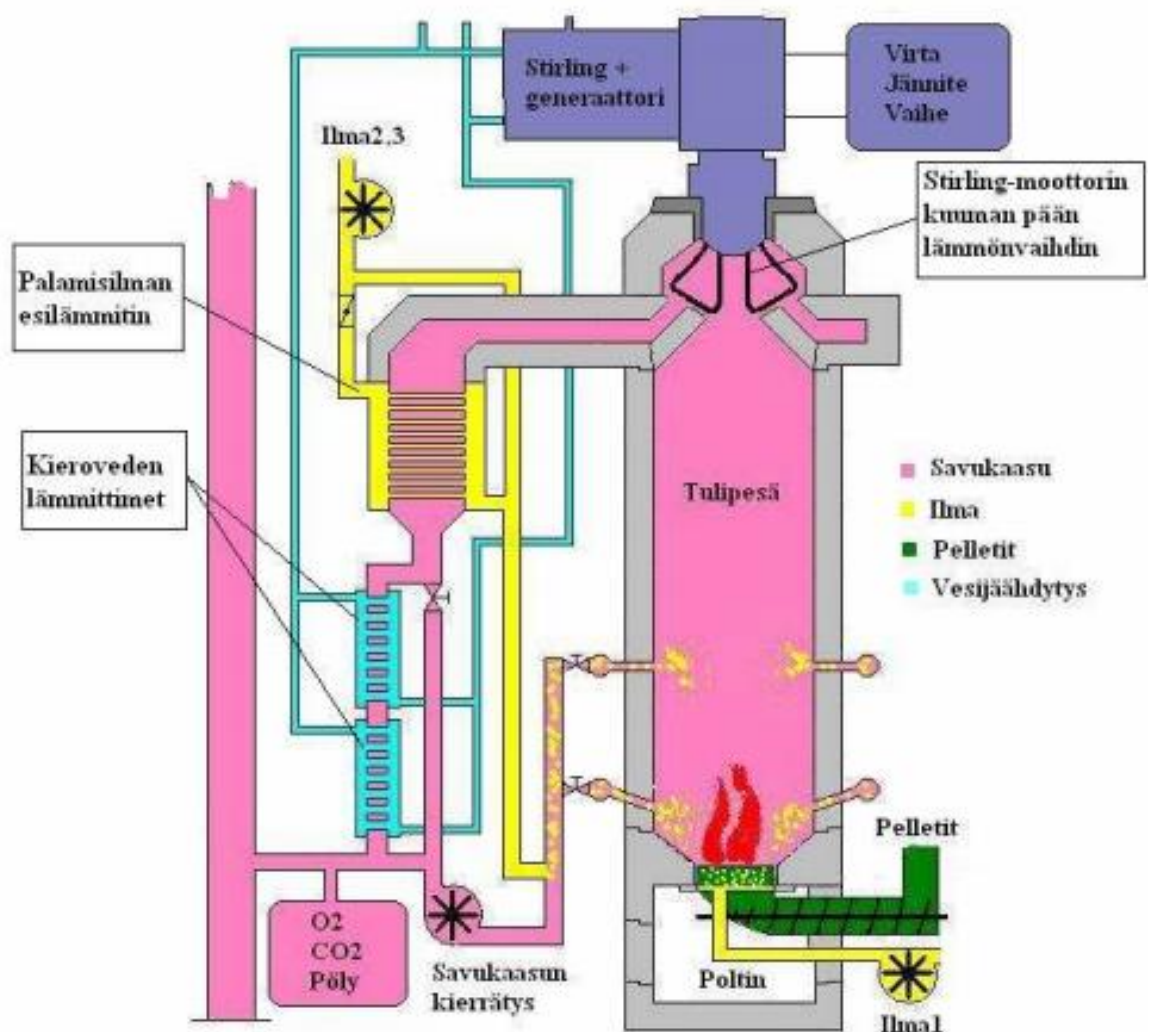
35 kpl. Myös savukaasuihin ja ilmaan liittyvät putkistot puuttuvat täysin. Lisäksi myös laitteistoon liittyvät savukaasuputkistot ja kanavat puuttuvat täysin.



Kuvio 37. 3D -malli jäähdytyspiiristä

5.5 Prosessikuvaus

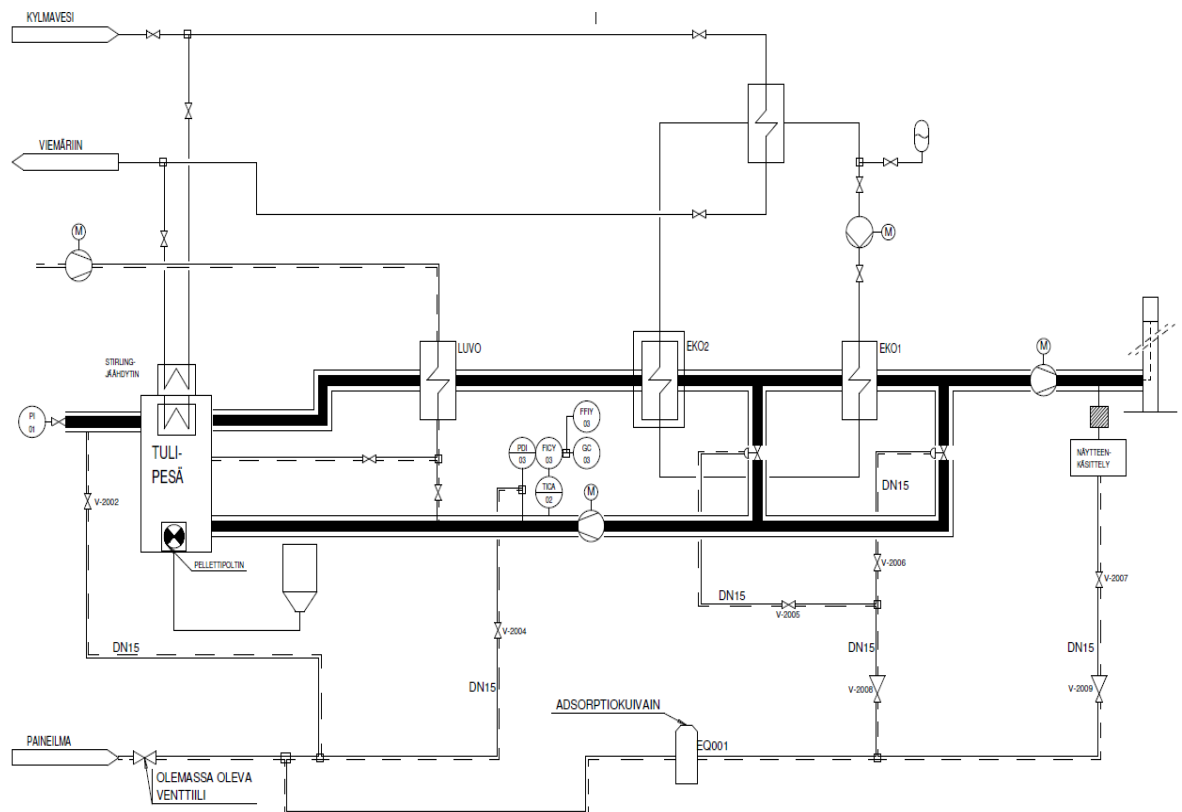
Mikroluokan CHP prosessin perimmäinen idea on tuottaa valitulla polttoaineella, joka on tässä tapauksessa pelletti, sähköä ja lämpöä. Suuri osa annetuista prosessiarvoista ovat laskennallisia ja arvioituja. Laitteella vuonna 2009 ja 2010 tehdyt koeajot, joissa anturit ja ohjelmointi oli asennettuna, kattilan lämpötila nousi parhaimmillaan n. 700 °C, sekä käytetty polttoaineteho oli maksimissaan 45 kW. (Koponen, 2010.) Joten ei ole tarkkaa tietoa miten laitteisto käyttäytyy, kun sitä ajetaan täydellä polttoaineteholla.



Kuvio 38. Prosessin periaatekuva (Lommi, 2006.)

Prosessi alkaa polttoaineesta ja polttoaineen syötöstä. Kattilaan syötetään pellettipolttimen sisältämällä ruuvilla pellettejä. Suoraan polttimeen syötetään primääri

palamisilmaa. Tulipesään syötetään myös esilämmitettyä sekundääri ja tertiääri-ilmaa sekä kierrätettyä savukaasua. Syötettävien ilmojen massasuhteet ovat primääri 40 %, sekundääri 30 % sekä tertiääri 30 %. (Koponen, 2010.) Tulipesän lämpötila halutaan nostaa 1200 - 1250 °C, jotta sähkötuotanto olisi mahdollisimman tehokasta. Joustamattomana ylärajana kuitenkin toimii 1250 °C astetta. Tämä johtuu käytettävästä polttoaineesta. Käytettävä polttoaine on puuperäinen ja sen tuhka alkaa sulaa 1250 °C. Joten tuhkan sulamisesta johtuvien ongelmien välttämiseksi savukaasun lämpötila on pidettävä alle 1250 °C. (Koponen, 2010.; Lommi, 2006.)



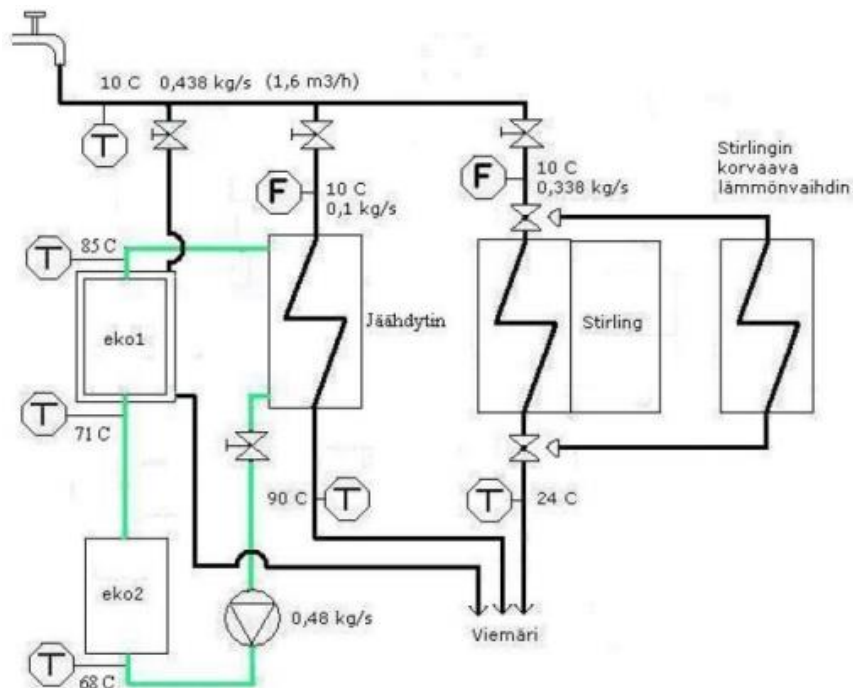
Kuvio 39. Laitteiston PI-kaavio

Kattilasta poistuva savukaasu ajetaan stirling -moottorin kuumen pään lämmönvaihtimen läpi mahdollisimman kuumana, kuitenkin alle mainitun 1250 °C. Stirling -moottorin kylmään päähän tulee noin 10 °C vettä ja se poistuu moottorilta noin 24 °C:na. Lämmönvaihtimen siirtotehon ollessa 32 kWh saataisiin tuotettua moottorin maksimi sähköteho. Todellisuudessa siirtoteho rajoittuu nykyisellä vaihtimella noin 10 kWh ja sillä saavutettu sähköteho noin 2 - 3 kW_e luokkaa. (Lommi, 2006.)

Stirling -moottorin vaihtimelta savukaasu saapuu luvolle teoreettisesti noin 850 °C. Luvon läpi mennessä savukaasu luovuttaa lämpöenergiaa esilämmittäen syötettävää sekundääri- ja tertiääri-ilmaa. Savukaasu jäähtyy 650 °C ja samalla lämmittää paloiloja huoneenlämpötilasta 600 °C:een.

Luvolta savukaasu jatkaa matkaa kiertoveden lämmittimille, joiden roolia laitteistossa ajaa ekonomaiserit. Teoreettisesti ensimmäisellä ekonomaiserilla savukaasu jäähtyy 650 °C :sta 300 °C :een ja toisella 300 °C :sta 180 °C :een. Tänä aikana ekonomaisereissa virtaava lämmitettävä vesi lämpiää noin 25 °C . Täytyy myös huomata se, että ekonomaisereiden sisällä virtaava vesi virtaa päinvastaiseen suuntaan kuin savukaasu. Vesi tulee ensin eko 1:lle ja siitä eko 2:lle. (Koponen, 2010.)

Tässä vaiheessa myös otetaan osa savukaasusta takaisin tulipesään. Savukaasua otetaan ensimmäisen ja/tai toisen ekon jälkeen. Kierrätettävää savukaasua ohjataan automaatioventtiileillä, siten että ekonomaisereiden jälkeen määritetään automaattiventtiilien avauma. Venttiilien yhteisavauma pyritään säilyttämään samana. Muuttamalla avauman suhdetta voidaan määrätä kierrätettävän savukaasun lämpötila sekä massavirta. Kiertosavukaasupuhaltimella säädetään savukaasun massavirta oikeaksi. Raja-arvona toimii kiertosavukaasupuhaltimen lämpötilakesto. Sen läpi menevä kierrätettävä savukaasu ei saa ylittää 300 °C lämpötilaa. Kierrätettävä savukaasu puhalletaan sekundääri-ilman putkistoon ja sitä kautta tulipesään. (Koponen, 2010.)



Kuvio 40. Suljetun jäähdytyskierron yksinkertaistettu PI-kaavio (Koponen, 2010.)

Lopuksi savukaasu ajetaan savupiippuun savukaasupuhaltimella. Savukaasu poistuu eko 1:sen jälkeen savupiippuun noin 180 °C:na. Savukaasukanavien loppupäässä, savukaasupuhaltimen ja savupiipun välissä, sijaitsee myös laitteiston kaksi savukaasuanalysointia. Toinen näistä mittaa hiukkaspitoisuutta sekä toinen häkä- ja happipitoisuutta. (Koponen, 2010.)

Laitteistoa jäähdyttää suljetun ja avoimenkierron yhdistelmä (ks. kuvio 40). Jäähdytyskierron suljettukierto koostuu ekonomaisereista sekä yhdestä levylämmönvaihtimesta sekä kiertopumpusta. Peruseriaate jäähdytyksessä on, että vesijohtoverkosta otetaan kylmää vettä ja se ajetaan jäähdyttimelle, eko 1:sen jäähdytysvaipalle ja stirlingin kylmään päähän. Tässä kohtaa pitää huomata, että kuvion 40 kaaviossa EKO 1:llä tarkoitetaan aiemmin kohdassa 5.3.3 mainittua EKO 2:sta. Avoimen kierron vesi virtaa vesijohtoverkon paineen avulla. Vesi virtaa lämmönvaihtimien läpi ja samalla jäähdyttää osia (ks kuvio 40). Pääsääntöisesti molemmat ekot jäähtyvät kuitenkin suljetulle kierroille. Liitteessä 1 on myös tarkempi PI-kaavio suljetusta jäähdytyksestä.

Koelaitteistossa saatava lämpöenergia ajetaan viemäriin. Mikäli kyseessä olisi vaikkapa kotitaloudessa toimiva mikroluokan CHP -laitteisto voitaisiin esimerkiksi jäähdyttimeltä saatava kuuma vesi teoreettisesti hyödyntää patteriverkostossa ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

5.6 Laitteiston käynnistäminen

Työn yhtenä tavoitteena oli miettiä seikkoja, jotka ovat laitteiston uudelleen käynnistämisen esteenä. Toimeksiantajaa myös kiinnostivat laitteiston kehittämisen kohteet, joita voitaisiin tehdä ennen laitteiston käynnistämistä. Tällöin välttyttäisiin turhalta työltä eikä tehtäisi samoja ”virheitä” mitä vuoden 2009 ja 2010 koeajoissa oli tehty.

Laitteiston ehkä jopa tärkein kehittämisen kohde, joka voidaan tehdä ennen kuin laitteistoa ruvetaan edes kasaamaan, on stirling -moottorin lämmönvaihdin. Tämän hetkinen lämmönvaihdin on yksinkertainen putkilämmönvaihdin, jota ei ole edes rivoitettu. Ongelmaksi tästä koituu sen lämmönsiirtoteho, joka on kolmanneksen siitä mitä sen tarvitsisi olla, jotta laitteistolla saataisiin tehtyä enemmän sähköä kuin se kuluttaa. Laitteiston prosessin käynnissä pitoon tarvitaan 4 kappaletta 2,2 kW puhallinta, kiertopumppu sekä muita sähköisiä laitteita. Vaikka ne eivät käy täydellä

sähköteholla kokoaika, tarvitaan silti moottorilta lähes sen maksimaalinen sähkön-
tuotantoteho, jotta sähköä saadaan tuotettua. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että
lämmönvaihtimen siirtoteho täytyy nousta nykyisestä noin 11 kWh:sta tarvittavaan
32 kWh:iin. Mikäli siirtimen rakennetta aletaan muuttamaan, tulee aiheelliseksi tutkia
ja miettiä likaantumisen aiheuttamat ongelmat lämmönsiirrolle. (Koponen, 2010.;
Lommi, 2006.)

Toinen suurempi kehittämisen kohde laitteistossa olisi kiertosavukaasupuhallin. Mi-
käli tämä komponentti vaihdettaisiin puhaltimeen joka kestäisi kuumempia lämpöti-
loja, saataisiin laitteiston sähkönhyötysuhdetta parannettua. Myös palamisen ja NO_x-
kaasujen hallinta paranisi. (Koponen, 2010.; Lommi 2006.)

Myös itse savukaasupuhallin/savukaasuimuri oli suuri ongelma laitteistossa. Koposen
gradussa mainituissa koeajoissa huomattiin suureksi ongelmaksi savukaasupuhalti-
men vaikeus pitää alipaine tulipesässä. Koeajoissa laitteistoa ajettiin maksimissaan
vain 45 kW:n polttoaineteholla ja silloinen savukaasupuhallin kävi täydellä teholla,
jotta alipaine tulipesässä saatiin pidettyä. Mikäli polttoainetehto nostetaan maksi-
miinsa, ei tämä ko. puhallin riitä. (Koponen, 2010.) Eli mikäli laitteistoa aletaan käyn-
nistämään, niin uusi hankittava savukaasupuhallin tulisi olla reilusti tehokkaampi kuin
koeajoissa käytetty puhallin. Liian tehokkaan puhaltimen hankinta nostaa laitteiston
sähkönkulutusta ja tätä kautta sähkön tuottaminen taas vaikeutuu.

Koeajoissa myös huomattiin ongelmaksi polttoaineensyötön epätasaisuus. Siilosta
polttimeen polttoainetta syöttävä spiraalikuljetin aiheutti pelletin massavirtaukseen
suhteellisen suuria heittoja. Tämä vaikeuttaa tasaisen polttoainetehon pitämistä
polttimella. (Koponen, 2010.) Joten laitteistoon tulisi miettiä tasainen polttoaineen-
syöttö varastosiilosta polttimelle.

Yhdeksi ongelmaksi voisi laskea laitteiston jäähdytyksen toteutus. Nykyisellä raken-
teella laitteisto jäähdytetään kylmällä vesijohto vedellä ja lämmennyt vesi lasketaan
suoraan viemäriin (ks. kuvio 40). Jäähdytyksen riittävyys on erittäin tärkeää, mutta
sille voitaisiin miettiä parempiakin ratkaisuja kuin ajaa vesijohto vettä hanasta viemä-
riin. Vettä kuluu tähän toteutukseen tarpeettoman paljon. Esimerkiksi koeajoissa
yhdessä kuuden tunnin ajossa vettä kului useita tuhansia litroja. (Koponen, 2010.)
Joten jäähdytykselle voisi miettiä enemmän suljettua ratkaisua, jotta viemäriin ajat-

tavan veden määrää saataisiin pienemmäksi. Näin säästyttäisiin laitteiston ajossa turhalta kuluerältä.

Mikäli laitteistoa aletaan kasaamaan ja käynnistämään, edellä mainitut muutokset olisivat aiheellisia tehdä. Osa muutoksista tulisi tehtyä samalla, kun puuttuva laite korvataan uudella. Esimerkiksi laitteistosta tällä hetkellä puuttuu kokonaan savukaasupuhallin.

Laitteiston mahdollinen käynnistys kuitenkin vaatisi paljon resursseja. Pelkästään uudet komponentit puuttuvien tilalle maksavat kymmeniä tuhansia euroja. Esimerkiksi pelkkä puuttuva savukaasupuhallin sekä levylämmönvaihdin olivat arvoltaan 6500 € ja 2200 €. Tähän päälle pitäisi tietysti käyttää paljon työtunteja, että laitteisto saadaan kasaan ja toimintakuntoon. Lisäksi, vaikka tallella olevat komponentit ovat hyväkuntoisen näköisiä, ei voida varmistua niiden toimintakunnosta ennen jokaisen komponentin testausta.

Toimeksiantajan kanssa käydyn keskustelun perusteella on hyvin epätodennäköistä, että laitteistoa aletaan käynnistämään edellä mainittujen syiden takia. Laitteiston käynnistämiseen kuluisi todella paljon työtunteja sekä rahaa. Laitteistossa on paljon hyödynnettäviä komponentteja ja niiden käyttäminen sellaisenaan kattilalaboratorion ja JAMK:n käytössä voisi olla toinen vartenotettava vaihtoehto.

5.6.1 Komponenttien hyödyntäminen

Laitteiston yksittäisiä komponentteja voitaisiin hyödyntää JAMK:n opetuskäytössä sekä kattilalaboratorion toiminnassa. Esimerkiksi laitteistoon kuuluvia puhaltimia voitaisiin käyttää hyvin hyödyksi laboratorion testikäytössä. Pienemmät puhaltimet olisivat oivallisia opetuskäyttöön JAMK:n Jyväskylän kampuksilla. Ne sopisivat opetuskäyttöön hyvin opiskelijoiden laboratoriotöihin, moottorien sekä puhaltimien ajo- ja harjoituksiin. Kattilalaboratorion voisi hyödyntää kiertosavukaasupuhaltimen polttokokeissa, joita laboratorion tehdään.

Myös Stirling -moottorin voisi hyödyntää hyvinkin semmoisenaan ja sillä voisi tehdä erilaisia koeajoja Stirling -moottoreihin liittyen ilman itse kattilaa. Tarvitaan vain lämmönlähde moottorin vaihtimelle ja sillä saadaan tuotettua sähköä. Opinnäyte-

työn teon aikana olikin tullut asiakkaan kautta kiinnostusta ajaa pelkkää moottoria. Stirling -moottorilla voisi tehdä myös hyviä opetusdemoja koulun opiskelijoille.

Poltinta ja tulipesääkin voitaisiin hyödyntää jonkin näköisissä polttokokeissa. Korkean rakenteensa ansiosta tulipesä soveltuu hyvin puuperäisten polttoaineiden testaukseen. Ekot ja luvot voitaisiin myös hyödyntää semmoisenaan lämmönvaihtimina.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön yksi päätavoitteista oli löytää laitteistoon kuuluvia dokumentteja. Näistä tuli koota tietoa laitteiston toiminnasta sekä tehdä toimeksiantajalle osaluettelo, josta nähdään mitä kaikkea laitteistoon kuuluu. Prosessin toimintaa tuli myös selvittää sen mukaan mitä laitteistosta saadaan selville.

Mielestäni työssä päästiin asetettuihin tavoitteisiin odotettuakin paremmin. Itse dokumentteja löydettiin reilusti ennakolta arvioitua enemmän. Tätä kautta laitteistosta saatiin myös ennakoitua enemmän tietoa kasaan sen toiminnasta ja toiminta-arvoista. Ainoana olennaisena jäi puuttumaan Rasin toimintakuvaus, mutta sekin voi tulla vielä toimeksiantajalle vielä opinnäytetyön loputtua.

Opinnäytetyön tekemisestä oli hyötyä työelämää ajatellen. Suunnittelutyössä ei ole mitenkään tavatonta, että laitoksessa on jokin vanha laite ja työn tilaajalla dokumentit ovat kadonneet. Tällöin joutuu tekemään juuri tämän kaltaista selvitystyötä, jotta saadaan jonkinlainen käsitys laitteesta tai laitteiston toiminnasta, jotta siihen voidaan tehdä haluttuja muutoksia tai muuta vastaavaa.

Myös toimeksiantajalle opinnäytetyö oli hyödyllinen. Toimeksiantaja sai käsityksen laitteiston toiminnasta ja muutamaan lähteeseen ripoteltu olennainen tieto laitteistosta saatiin kerättyä yksiin kansiin. Dokumenteista saatiin tarkkoja mittoja sekä muita hyödyllisiä suunnitteluarvoja komponenteille, jotka olivat tallessa. Niistä myös selvisi mitä kaikkea laitteistosta puuttuu. Mikäli toimeksiantaja lähtee laitteistoa kasaamaan, on myös tiedossa laitteiston ongelmat. Näin ei tarvitse toistaa samoja virheitä, mitä laitteiston parissa oli aikaisemmin tehty.

Opinnäytetyön haasteellisuus muodostui lähinnä saadun tiedon tutkimisesta. Materiaali oli tehty pitkällä aikavälillä ja kaikki laitteistoon tehdyt muutokset, eivät sisällyneet hallussa oleviin tiedostoihin. Monessa kohtaa löytyi tietoa mikä oli kumoutunut, mutta tarkempaa tietoa siitä mikä nykytilanne oli, ei ollut saatavilla. Esimerkiksi Eromatic:lta saaduista tiedostoista löytyi tarjous, mutta sitten tarjouksessa tehdyt tarkat tiedot eivät osittain pitäneet paikkansa viimeisimmissä löytyvissä detajli -kuvilla. Joten asioita oli ilmeisesti muuteltu sähköpostitse useassa kohtaa eikä näistä muutoksista ollut tallennettua tietoa.

Itse tietojen etsinnässä opinnäytetyötä tehdessä kävi todella hyvä tuuri. Kun tietoa alettiin etsimään, melkein umpimähkään toimeksiantajalta saaduista nimistä, niin yhteyden otot sattuivat menemään juuri oikeille henkilöille. Yhteydenottoja tuli tehtyä yllättävän vähän sekä kaikista tehdyistä yhteydenotoista saatiin vastaukseksi aina jotain, mikä vei työtä eteenpäin. Tiedonhakuvaiheessa olisi helposti voinut käydä siten, että dokumenttien sekä tiedon saanti olisi ollut todella vähäistä. Tätä kautta työn tekeminen olisi vaikeutunut todella paljon.

Työtä tehdessä tapahtui yhteensattuma suunnittelutietojen hankinnassa. Mikäli työtä olisi tehnyt joku toinen henkilö, tiedon saanti olisi voinut olla vaikeampaa. Yhteen-sattuma tässä oli se, että opinnäytetyön tekijä on töissä kyseisessä yrityksessä ja dokumenttien saanti helpottui näin hyvinkin paljon. Mikäli suunnittelu olisi tehty jossain toisessa yrityksessä, näiden tiedostojen saaminen olisi varmasti ollut paljon haasteellisempaa ja pahimmassa tapauksessa mahdotonta.

Opinnäytetyössä saadun tiedon perusteella yhdyin mielipiteeseen toimeksiantajan kanssa, että laitteistoa ei olisi järkevää käynnistämään. Mielestäni paras tapa hyödyntää laitteisto olisi käyttää yksittäisiä komponentteja hyödyksi laboratorion liiketoiminnassa sekä opetuskäytössä. Esimerkiksi stirling -moottorin ympärille voisi rakentaa hyvin laboratoriotöitä opiskelijoille.

Laitteiston kasaamisesta tulevaa hyötyä ja sen ympärille muodostuvaa mahdollista liiketoimintaa on vaikea arvioida, mutta siihen tarvittavat kulut ovat korkeat. Puuttuvien osien korvaaminen uusilla maksaisi kymmeniä tuhansia euroja ja työtuntien määrää on mahdoton arvioida. Laitteiston löytyvät osat ovat verrattain hyvässä kunnossa, mutta osa komponenteista oli purkuvaiheessa purettu todella huolimattomas-

ti. Esimerkiksi stirling -moottorista on kaikki letkut ja johdotukset ovat vedetty vain helpoimman kautta poikki.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen projekti. Opinnäytetyön tekeminen oli itsenäistä ja se tehtiin nopealla aikataululla. Erityisen mielenkiintoinen lisä olisi ollut, että laitteistoa olisi alettu käynnistämään opinnäytetyön teon aikana, mutta sitä ei olisi voitu saada sopimaan aikatauluun. Eikä myöskään laitteiston kohtaloakaan ole toimeksiantajan puolesta vielä päätetty. Mikäli laite päätetään käynnistää myöhemmin, toimii työ hyvänä apuna laitteiston käynnistyksessä.

Lähteet

Ahola, K. 2014. Dieselmoottorin venttiilikoneiston monikappalesimulointi. Diplomi-työ. Tampereen teknillinen yliopisto. Periaatekuva 4-tahtisen mäntämoottorin työkiertosta. Julkaistu 5.5.2014. Viitattu 15.4.2016
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23145/Ahola.pdf?sequence=4>

Beith, R., Burdon, I., Knowles, M. 2004. Micro energy systems. Professional engineering publishing limited london and bury St. Edmunds, UK. Viitattu 14.3.2016.
https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=OC_yU5DnO2kC&oi=fnd&pg=PA77&dq=Harri-son+J+micro+combined+heat+%26+power&ots=dFvoAezB9A&sig=uHqNuOeN3FvhBtNZgrLM_ycK_n4&redir_esc=y#v=onepage&q=Harrison%20J%20micro%20combined%20heat%20%26%20power&f=false

CHP-tuotanto. 2015. Tabletkoulu. CHP-laitoksen periaatekuva. Viitattu 9.4.2016
<https://www.thinglink.com/scene/633970247069597698>

Energiavuosi 2015. Energiateollisuus ry:n diaesitys. Energiavuosi 2015. Kaukolämpö. Julkaistu 13.1.2016. Viitattu 10.4.2016
<http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut>

Hiltunen, J., Luoma, P., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2002. Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. tekninen raportti, Gaia Group Oy, Helsinki, 2002.
<http://energia.fi/sites/default/files/hajautettuenergiantuotanto2cloppuraportti.pdf>

Hintikka, J. 2004. Biomassapohjaiset mikroluokan CHP-tekniikat. Bioenergiakeskusten julkaisusarja. Julkaistu 7/2004. Viitattu 11.4.2016
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20523/mikroluokan_CHP-raportti_nro8.pdf?sequence=3

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2012. Höyrykattilateknikka. Opetushallitus. Viitattu 10.4.2016

Huhtinen, M. Korhonen, R. & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus. Viitattu 10.4.2016

Urieli, I. 2016. Periaatekuva gamma-tyypin stirling –moottorista. Ohion yliopiston julkaisu stirling-moottoreista. Julkaistu 4.2.2016. Viitattu 12.4.2016.

<https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/gamma.html>

Kattilatestauslaboratorio. N.d. Esittely kattilatestauslaboratoriosta JAMK:n sivustolla Viitattu 9.4.2016

<http://www.jamk.fi/fi/Palvelut/Testaus-ja-analysointi/Kattilatestauslaboratorio/>

Kaukolämmityksen toimintaperiaate 2011. Kaukolämmön periaatekuva energiateollisuuden kalvosarjasta Hyvän olon energiaa. Julkaistu 09.08.2011. Viitattu 11.4.2016

<http://energia.fi/kalvosarjat/kaukolampo-hyvan-olon-energiaa-0>

Karjalainen, T. 2012. Pienemuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus – laitteet ja niiden käyttöönotto. Cemis-Oulu. Viitattu 11.4.2016

[http://www.motiva.fi/files/7436/Pienimuotoisen lammon ja sahkon yhteistuotannon tilannekatsaus laitteet ja niiden kayttoonotto.pdf](http://www.motiva.fi/files/7436/Pienimuotoisen_lammon_ja_sahkon_yhteistuotannon_tilannekatsaus_laitteet_ja_niiden_kayttoonotto.pdf)

Koponen, J. 2010. Tiedonkeruu ja –analysointi mikroluokan CHP-koelaitteistossa. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos. Julkaistu 28.9.2010 Viitattu 8.4.2016

<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/36517/URN:NBN:fi:jyu-2011072911195.pdf?sequence=1>

Korva, I. 2012 Mikroluokan CHP-voimalaitoksen käytön taloudellinen optimointi. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.4.2016

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48618/Opinnayte_korva.pdf?sequence=1

Lauhdutusvoimalaitoksen toimintaperiaate. N.d. Lauhdutusvoimalaitoksen periaatekuva energiateollisuuden sivustolta. Viitattu 11.4.2016.

<http://energia.fi/energia-ja-ymp-rist/s-hk-ntuotanto/voimalaitostyyppit>

Nieminen, H. Process & Plant ryhmän ryhmäpäällikkö. Elomatic Oy. Puhelu 13.4.2016.

Polttomoottori. 2014. Motivan internetsivut. Julkaistu 28.3.2014. Viitattu 15.4.2016

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuota

[ntotekniikka/polttotekniikka nestemaisille polttoaineille/polttomoottori](#)

Pesola, A., Vanhanen J., Hagström M., Karttunen V., Larvus L., Hakala L., Vehviläinen I. 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. Loppuraportti. Gaia Consulting Oy. Julkaistu 3.10.2014. Viitattu 11.4.2016
[https://www.tem.fi/files/41148/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyky_-_loppuraportti - final \(ID 15372\).pdf](https://www.tem.fi/files/41148/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyky_-_loppuraportti_-_final_(ID_15372).pdf)

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto. N.d. Energiateollisuus. Viitattu 9.4.2016
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/sahkon-ja-lammon-yhteistuotanto>

Savolainen, M. N.d. Diaesitys stirling -moottorista OAMK:n sivustolta. Viitattu 12.4.2016.
http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/stirlingmarkku_savolainen.pdf

Periaatekuva stirling -moottorista. 2016. Wikipedia. Julkaistu 3.4.2016 Viitattu 12.4.2016.
https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine

Vapaamännällä varustettu stirling -moottori. 2016. Kuva vapaamännällä varustetusta stirling -moottorista Energy saving advisor -sivustolta. Viitattu 13.4.2016.
<http://www.energysavingadvisor.co.uk/micro-chp/microchp-technical-stuff-further-reading-references>

Rasi, M. 2016. Toimintakuvauksen selvitys. Sähköpostiviesti 11.4.2016. Vastaanottaja M. Kallio

Liite 2. Laitteiston 3D -malli pääkomponenteista

