

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Vilja Lehtonen

PIEN-CHP-LAITOKSEN POLTTOAINEEN MARKKINAT JA
LAATUVAATIMUKSET

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Kevät 2016
Ympäristötekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 Joensuu
(013) 260 600

Tekijä
Vilja Lehtonen

Nimeke Pien-CHP-laitoksen polttoaineen markkinat ja laatuvaatimukset

Toimeksiantaja Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tulevaisuudessa hajautetun energiantuotannon lisääntyessä myös yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto pienessä kokoluokassa tulee yleistymään. Pien-CHP-laitoksissa polttoainehakkeen laadulla on suuri merkitys laitoksen toiminnan kannalta etenkin puukaasulla toimivissa CHP-laitoksissa. Polttoainehakkeen täytyy olla kuivaa, palakooltaan sopivaa sekä myös puhdasta, jotta sitä voidaan käyttää kaasutuksessa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa puukaasulla toimivan pien-CHP-laitoksen polttoainehakkeen markkinoita ja laatuvaatimuksia. Tavoitteena on selvittää hakkeen tuottajien määrää ja hakkeen tuotannon ja käytön erityispiirteitä ja ongelmia. Opinnäytetyössä käydään läpi myös yleisesti pien-CHP-laitostekniikoiden perusteet, hakkeen laatuun liittyvät ominaisuudet sekä hakkeen tuotantoketjun vaiheet.

Hakkeen markkinat ovat tällä hetkellä pienet. Niin hakkeen tuottajia kuin haketta käyttäviä CHP-laitoksia on vielä vähän. Hakkeen vähäisen saatavuuden lisäksi ongelmia käyttäjille aiheuttavat hakkeen epätasainen palakoko, liian suuri kosteus sekä hakkeen likaisuus. Tuottajille ongelmana liiketoiminnan kannalta on markkinoiden pienuus.

Edellytyksenä markkinoiden kasvulle ja hakkeen tuotannon kannattavuudelle on, että hakkeen kysyntä tulevaisuudessa kasvaa. Pien-CHP-laitosten lisäksi kuivalle ja hyvälaatuiselle hakkeelle täytyy saada uusia ostajia, joita voisivat olla esimerkiksi pienet lämpölaitokset. Hake voisi sopia myös muiden polttolaitosten priimaus- ja tukipolttoaineiksi. Jotta uusia ostajia saadaan markkinoille, täytyy hakkeen olla hinnaltaan kilpailukykyinen muihin polttoaineisiin verrattuna. Uusia ratkaisuja ja toimintamalleja hakkeen tuotannossa tulee tutkia ja kehittää, jotta hinta saadaan mahdollisimman alhaiseksi.

Kieli Suomi

Sivuja 41
Liitteitä 3

Asiasanat
pien-CHP, kaasutus, hake, laatu, hajautettu energiantuotanto



THESIS
Spring 2016
Degree Programme in
Environmental Technology
Karjalankatu 3
FIN 80200 Joensuu
(013) 260 600

Author
Vilja Lehtonen

Title The Quality Requirements and Market of Small CHP Plant's Fuel.

Commissioned by Karelia University of Applied Sciences

Abstract

In the future, as distributed energy production is increasing, the use of combined heat and power (CHP) is also bound to become more popular in the small scale. In small CHP plants, especially in those that operate on wood gas, the quality of the woodchip being used as fuel is crucial. The woodchip needs to be dry, of fitting size and clean, in order to be used as fuel in a gasifier.

The purpose of this paper was to survey the market and the quality requirements of the woodchip used in wood gasing small CHP plants. The aim was to make clear of the amount of woodchip producers and examine the characteristics and problems regarding woodchip production. This paper also reviews the fundamental small CHP plant techniques, quality features associated with woodchip and the different phases of the woodchip manufacturing chain.

At the moment the market for woodchip is small. There are only a small number of both woodchip producers and CHP plants that use woodchip. In addition to the poor accessibility to quality woodchip, woodchip users also face problems with the inconsistent size, excessive humidity and dirtiness of existing woodchip. From a business point of view woodchip producers on the other hand struggle with the small size of the current quality woodchip market.

In order for the quality woodchip market to grow and the production of woodchip to become profitable, the demand for quality woodchip needs to grow. There is a need to find new buyers for quality woodchip besides small CHP plants. These new buyers could be for example small heating plants or other power plants that could upgrade the quality of their primary fuel. To attract new buyers to the market, the price of woodchip needs to become competitive compared to alternative fuel options. Therefore there is a need to come up with and develop new models of operation in woodchip production.

Language Finnish

Pages 41
Appendices 3

Key words
Small CHP, gasification, woodchip, quality, distributed energy

Sisällys

1	Johdanto	6
2	Lämmön ja sähkön yhteistuotannon teknologiat	7
2.1	Polttomoottorit	8
2.2	Höyryturbiinit ja -koneet.....	9
2.3	Kaasuturbiinit ja mikroturbiinit.....	9
2.4	Stirling-moottorit	10
2.5	ORC-teknologia.....	11
2.6	Polttokennot	11
2.7	Puun kaasutus.....	12
2.7.1	Puun kaasutuksen vaiheet.....	13
2.7.2	Kaasutustekniikat.....	14
3	Metsähake	17
3.1	Hakkeen laatu	17
3.1.1	Energiamäärä ja lämpöarvo	18
3.1.2	Kosteus.....	20
3.1.3	Tasalaatuisuus ja palakoko.....	22
3.1.4	Tiheys ja tilavuus.....	23
3.1.5	Muut polttoaineen laatuominaisuudet.....	23
3.2	Hakkeen raaka-aine	23
3.3	Hakkeen tuotantojärjestelmät	24
3.4	Hakkurityypit.....	25
3.5	Hakkeen keinokuivaaminen ja kuivaamiseen tarvittava energia.....	27
4	Pien-CHP-laitoksen hakkeen laatuvaatimukset	29
4.1	Myötävirtakaasutukseen perustuvan pien CHP-laitoksen hakkeen laatuvaatimukset	29
4.2	Pien-CHP-laitoksen hakkeen hinnan muodostuminen ja hakkeen kuivauksen vaikutus hakkeen hintaan	31
4.3	Pien-CHP-laitoksen kannattavuus.....	36
5	CHP-hakkeen markkinatutkimus.....	36
5.1	Tutkimuksen toteutus	37
5.2	Tutkimustulokset	39
5.3	Tutkimustulosten tulkinta	42
5.4	Tutkimuksen luotettavuus.....	44
6	Pohdinta.....	44
	Lähteet.....	47

Liitteet

Liite 1. Hakkeen kuivauksen vaikutus hakkeen hintaan.

Liite 2. CHP-laitosten omistajille osoitetut haastattelukysymykset

Liite 3. CHP-hakkeen tuottajille osoitetut haastattelukysymykset

Lyhenteet

CHP	Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (Combined Heat and Power)
m ³	Kiintokuutiometri
i-m ³	Irtokuutiometri

Käsitteet

CHP-hake Tässä opinnäytetyössä CHP-hake käsitteellä tarkoitetaan haketta, jonka laatu vastaa puukaasulla toimivan pien-CHP-laitoksen polttoaineen laatuvaatimuksia.

MW_e sähkömegawatti

MWh megawattitunti

1 Johdanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto on pitkään ollut keskeinen osa Suomen energiantuotantoa etenkin suuressa kokoluokassa. Tulevaisuudessa hajautetun energiantuotannon lisääntyessä myös yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto pienemässä kokoluokassa tulee yleistymään. Pienen kokoluokan yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksen ylimmäksi nimellistehoksi katsotaan yleensä noin 10 MW, josta sähköntuotannon osuus vaihtelee 30 % molemmin puolin riippuen käytetystä tekniikasta. (Motiva 2014a.) Tällä hetkellä yleisimpiä ja kilpailukykyisimpiä yhteistuotannon teknologioita alle 10 MW:n sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa ovat kaasu- ja dieselmoottorit. Yhdistetystä sähkön- ja lämmöntuotannosta käytetään usein lyhennettä CHP (= Combined Heat and Power).

Ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi kasvihuonekaasupäästöjen määrää tulee vähentää lisäämällä uusiutuvan energian osuutta energiantuotannossa ja vähentämällä fossiilisen energian käyttöä. Suomi on asettanut tavoitteekseen vähentää vähintään 80 % kasvihuonekaasupäästöistään vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna sekä nostaa uusiutuvan energian osuus käytettävästä kokonaisenergiasta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Metsäbiomassojen käyttöä energiantuotannossa aiotaan lisätä, ja suurin kasvutavoite on annettu metsähakkeelle. On laskettu, että Suomen metsissä riittäisi potentiaalia metsähakkeen käytön kaksinkertaistamiseen nykytasosta. (Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014, 15, 30.) Ilmastonmuutoksen ehkäisemisen lisäksi puun käyttäminen polttoaineena lisää myös Suomen energiaomavaraisuutta ja luo uusia työpaikkoja haja-asutusalueille.

Pien-CHP-laitoksissa polttoainehakkeen laadulla on suuri merkitys laitoksen toiminnan kannalta etenkin puukaasulla toimivissa CHP-laitoksissa. Hakkeen kosteuden tulee olla tarpeeksi alhainen ja palakoon on oltava sopiva, jotta laitos toimisi moitteettomasti. Hakkeen on oltava myös puhdasta, eikä se saa sisältää esimerkiksi hiekkaa. Hakkeen tiukat laatuvaatimukset vaikuttavat koko hakkeen tuotantoketjuun aina raaka-aineen valinnasta käyttöpaikalle asti.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa puukaasulla toimivan pien-CHP-laitoksen polttoainehakkeen markkinoita ja laatuvaatimuksia. Työssä keskitytään etenkin alle 1 MW:n pien-CHP-laitoksiin. Tavoitteena on selvittää hakkeen tuottajien määrää sekä hakkeen tuotannon ja käytön erityispiirteitä ja ongelmia.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosasta, CHP-hakkeen tuotantohinnan laskemisesta sekä Suomen pien-CHP-markkinoita kuvaavasta kyselytutkimuksesta. Tutkimusmenetelmältään opinnäytetyö on määrällinen tutkimus. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkalan energiapuistohanke ja sen edustajana Ville Kuittinen. Opinnäytetyön ohjaajana toimii Simo Paukkunen ja tarkastajana Markus Hirvonen.

2 Lämmön ja sähkön yhteistuotannon teknologiat

Yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotantolaitoksessa tuotetaan nimensä mukaisesti samanaikaisesti lämpöä ja sähköä. Yleensä tämä tapahtuu käytännössä niin, että lämpöenergiaa muutetaan ensin liike-energiaksi, joka taas muutetaan sähköenergiaksi generaattorin avulla. Lämpö saadaan prosessissa syntyvästä hukkalämmöstä. Sähkön tuottaminen samanaikaisesti nostaa laitoksen hyötysuhdetta verrattuna pelkästään lämpöä tuottavaan laitokseen. Suurissa energiantuotantolaitoksissa yhteistuotanto on ollut pitkään Suomessa yleinen tapa tuottaa energiaa ja tällä hetkellä 80 % Suomen kaukolämmöstä ja noin 30 % sähköenergiasta tuotetaan lämmön ja sähkön yhteistuotantona (Energieollisuus; Fernandez Pales 2013, 20.)

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto voidaan toteuttaa useilla eri teknologioilla. Vaihtoehtoina ovat muun muassa kaasu- ja dieselmoottorit, mikroturbiinit, höyryturbiinit ja -koneet sekä Stirling-moottorit sekä ORC (Organic Rankine Cycle) -prosessiin perustuva teknologia. (Karjalainen 2012, 1.) Myös polttokennoja voi-

daan käyttää lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Kaasumoottoreihin ja mikro-turbiineihin perustuva tekniikka vaatii polttoaineen kaasutuksen. Höyryturbiinilla, -koneella tai Stirling-moottorilla tai ORC-tekniikalla toimiva laitos taas voi käyttää energianaan mitä tahansa polttoainetta, sillä palaminen tapahtuu erillisessä kat-tilassa. (Granö 2013, 17.)

2.1 Polttomoottorit

Polttomoottorivoimalat koostuvat polttomoottorista, joka pyörittää siihen liitettyä generaattoria. Polttomoottorit jaetaan tyypillisesti otto- ja diesel-moottoreihin. Ot-tomoottorissa sylinteriin syötetään polttoaineen ja polttoilman seos. Mäntä puris-taa seosta, joka sytytetään kipinällä, silloin kun mäntä on ylhäällä. Kun seos syt-tyy, paine kasvaa ja työntää männän alas. Diesel-moottorissa taas sylinterissä puristetaan männällä pelkkää ilmaa, jolloin paine kasvaa ja ilman lämpötila nou-see. Polttoaine syötetään sylinteriin korkealla paineella pieninä pisaroina, jolloin se syttyy kuumassa ilmassa ja paineen räjähdysmäinen kasvu työntää mäntää alas. (Motiva 2014b.) Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa hyödynne-tään myös prosessissa syntyvä ylijäämälämpö.

Polttomoottorivoimalan etuina ovat lyhyt rakennusaika, korkea sähköhyötysuhde, laaja polttoainevalikoima sekä nopea käynnistysaika. Polttoaineena voidaan käyttää muun muassa dieseliä, raskasta polttoöljyä, maakaasua, puu- ja biokaa-sua sekä myös kasvi- ja pyrolyysiöljyjä. Moottorivoimalaitoksen kokonaishyöty-suhde on yleensä noin 75 - 90 prosenttia riippuen laitoksen koosta. Sähköhyöty-suhde on yleensä noin 30 - 45 prosenttia. Voimaloiden koko vaihtelee muuta-masta 10 kilowatista yli 100 megawatin voimalaitoksiin. Pienissä CHP-laitoksissa polttomoottori soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa sähkön ja lämmön tarve on tasainen, ja joissa vaaditaan hyvää sähköntuotannon hyötysuhdetta. Polttomoot-torivoimalaitokset ovat tällä hetkellä yleisimpiä ja kilpailukykyisimpiä pien-CHP-tekniologioita. (Vartiainen, Luoma, Hiltunen & Vanhanen 2002, 17 - 18; Helynen, S., Hongisto, M. ym. 2004, 254 - 255.)

Polttomootoria, jonka polttoaineena käytetään kaasumaisia polttoaineita, sanotaan kaasumoottoreiksi. Kaasumoottorin polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi maakaasua, biokaasua tai puukaasua. (Motiva 2014c.) Puukaasulla toimivassa laitoksessa puuhake kaasutetaan puukaasuksi. Kaasu puhdistetaan ja jäähdytetään, jonka jälkeen se syötetään sylinteriin moottorin polttoaineeksi. Lämpö saadaan prosessin sivutuotteena puukaasun ja polttomoottorin jäähdytyksestä. (Volter Oy, 5.)

2.2 Höyryturbiinit ja -koneet

Höyryturbiinissa ja höyrykoneessa toiminta perustuu polttoaineen lämpöenergialla tuotettuun paineistettuun höyryyn suljetussa kierrossa. Höyryturbiinissa paineistettu höyry kulkee turbiinin siipien läpi, jolloin kuumen höyryn energia muuttuu turbiinin akselin pyörimisenergiaksi. Turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Höyrykoneessa taas paineistettu höyry liikuttaa sylinterissä mäntää, joka on kiinnitetty kampiakselilla generaattoriin. Molemmissa voidaan käyttää polttoaineena mitä vain kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta, sillä höyryntuotanto ja palaminen tapahtuvat erillisissä kattiloissa. Höyryturbiinia käytetään yleisesti suurissa voimalaitoksissa. Höyrykone taas soveltuu alle 1MW_e laitoksille. (Vartiainen, Luoma, Hiltunen & Vanhanen 2002; Heinonen 2010, 4)

2.3 Kaasuturbiinit ja mikroturbiinit

Kaasuturbiini koostuu kompressorista, polttokammioista ja turbiinista. Kompressorin tuottaa korkeapaineista ilmaa polttokammioon, jossa polttoaine poltetaan. Poltossa muodostuneet kuumat kaasut laajenevat turbiiniosassa ja pyörittävät turbiinia. Kaasuturbiiniprosessi voi olla avoin tai suljettu. Avoimessa kierrossa ilmaa imetään ulkoa ja poltossa syntyneet kuumat pakokaasut johdetaan takaisin ulos turbiinin jälkeen. Suljetussa kierrossa taas prosessissa kiertää jatkuvasti sama kaasu ja lämpö tuodaan ulkoapäin kuumentimella. Avoimessa kier-

rossa polttoaineen tulee olla kaasumaisessa muodossa, mutta suljetussa kierrossa voidaan käyttää myös kiinteitä polttoaineita, sillä syntyneet pakokaasut eivät ole kosketuksissa turbiiniin. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 204 – 207.)

Mikroturbiinit ovat noin 25 - 250 kilowatin kaasuturbiineja. Polttoaine palaa polttokammiossa, josta kaasu johdetaan suoraan kaasuturbiiniin. (Vartiainen, Luoma, Hiltunen & Vanhanen 2002, 19.) Osa poistuvan pakokaasun lämpöenergiasta voidaan varastoida rekuperaattoriin, jolloin laitoksen hyötysuhde kasvaa, sillä tätä varastoitua energiaa voidaan käyttää seuraavassa vaiheessa sisään tulevan kaasun esilämmittämiseen. Mikroturbiinilla toimivan CHP-laitoksen hyötysuhde on tavallisesti noin 75 - 85 %. Mikroturbiinivoimaloissa voidaan käyttää erilaisia kaasumaisia ja nestemäisiä polttoaineita. Tällä hetkellä yleisin polttoaine on maakaasu, mutta biokaasun käyttö on yleistymässä. (Karjalainen 2012, 4 - 5.)

2.4 Stirling-moottorit

Stirling-moottorissa lämpöenergia muutetaan männän avulla kineettiseksi energiaksi. Moottorin toiminta perustuu työkaasun lämpölaajenemiseen suljetussa kierrossa sylinterin kuumen ja kylmän pään välillä. Sylinterin lämpimässä päässä polttoaineen lämpöenergiaa siirretään työkaasuun, jolloin kaasu laajenee ja painaa mäntää. Seuraavaksi kaasu viilennetään kierrättämällä vettä sylinterin ympärillä. Tällöin kaasun tilavuus pienenee ja paine laskee. Tämän jälkeen kaasu siirtyy taas sylinterin kuumaan osaan. Työkaasuna käytetään useimmiten heliumia tai vetyä. (Stirling Power; Savolainen, 10 - 14.)

Stirling-moottorit sopivat lähinnä pieniin CHP-laitoksiin, ja niiden sähköhyötysuhde on noin 15 - 35 % ja lämpöhyötysuhde noin 50 - 60 %. Stirling-moottorin etuina esimerkiksi polttomoottoreihin verrattuna ovat moottorin hiljainen käyntiääni sekä polttoainevaihtoehtojen monipuolisuus. Polttoaineen palaminen tapahtuu sylinterin ulkopuolella ja stirling-moottorin polttoaineena voidaan käyttää niin

kiinteää, nestemäistä kuin kaasumaistakin polttoainetta. Myös aurinko- ja geoterminen energia käyvät lämpöenergian lähteeksi. (Vartiainen, Luoma, Hiltunen & Vanhanen 2002, 20 - 22.)

2.5 ORC-teknologia

ORC (Organic Rankine Cycle) -prosessilla toimiva CHP-laitos toimii lähes samalla periaatteella kuin höyryturbiinilaitos. ORC-prosessissa käytetään kiertoaaineena veden sijaan orgaanista nestettä, jolla on vettä alhaisempi höyrystymispiste, esimerkiksi öljyä. (Karjalainen 2012, 2.) Orgaanisen nesteen käyttö mahdollistaa toiminnan alhaisemmissa noin 350 °C lämpötiloissa. Toiminta jopa 100 °C:ssa on mahdollista valitsemalla sopiva kiertoaaine. Alhaisen höyrystymislämmön etuna on myös se, että neste voidaan lämmittää niin kuumaksi, että höyry tulistuu. Tällöin höyry pysyy kuivana, eikä turbiinin siiville tiivisty eroosiota aiheuttavia pisaroita. (Maaskola & Kataikko 2014, 38 - 39.)

2.6 Polttokennot

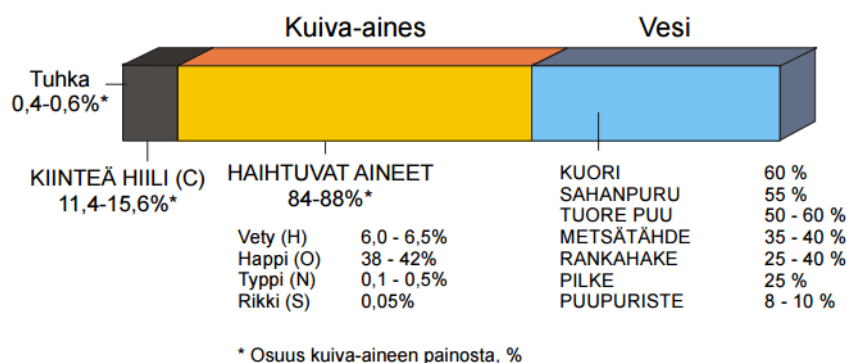
Polttokenno on sähkökemiallinen laite, joka muuttaa polttoaineen kemiallisen energian sähköksi ja lämmöksi ilman palamista hapettimen avulla. Polttoaineena käytetään yleisimmin vetyä ja hapettimena ilman sisältämää happea. Itse polttokenno muodostuu anodista ja katodista, jotka on erotettu toisistaan elektrolyytillä. Polttoaine hapettuu negatiivisesti varautuneella anodilla ja vetyatomit hajoavat elektroneiksi ja protoneiksi. Elektronit kulkevat positiivisesti varautuneelle katodille ja muodostavat hyödynnettävän sähkövirran (Nissilä & Sarsama, 11.)

Polttokennojen etuna on suuri sähköntuotannon hyötysuhde, joka on noin 40 - 50 %. Polttokennot, jotka käyttävät vetyä polttoaineena, eivät myöskään tuota hiilidioksi- tai hiukkaspäästöjä, vaan reaktiossa vapautuu energian lisäksi vettä. (Vartiainen ym. 2002, 22.) Polttokennotyyppejä on useita ja useimmiten ne luokitellaan yleensä niissä käytettävän elektrolyytin mukaan. Yleisimmät polttokennotyypit ovat polymeeripolttokennot, fosforihappopolttokennot, alkalipolttokennot,

sulakarbonaattikennot ja kiinteäoksidikennot. Elektrolyytin valinnalla voidaan vaikuttaa siihen missä lämpötiloissa polttokennot toimivat. Polttokennoja on matalan lämpötilan kennoja, jotka toimivat jo 60 - 200 asteessa, ja korkean lämpötilan kennoja, jotka toimivat 600 - 1000 asteessa. (Nissilä & Sarsama 2013, 11.) Polttokennojen uskotaan nousevan merkittäväksi teknologiaksi tulevaisuudessa, mutta tällä hetkellä ongelmana on niiden korkea hinta (Vartiainen ym. 2002, 3).

2.7 Puun kaasutus

Puu koostuu kuiva-aineesta ja puuhun sitoutuneesta vedestä. Puun kuiva-aines taas koostuu haihtuvista aineista, kiinteästä hiilestä sekä tuhkasta. Puun sisältämät hiili ja vety ovat puun palavat sekä lämpöenergiaa luovuttavat alkuaineet. (Alakangas 2000, 35.)



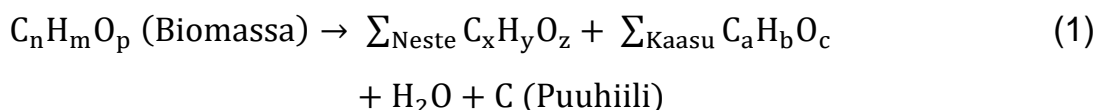
Kuva 1. Puun koostumus (Alakangas 2000, 35).

Kaasutuksella tarkoitetaan kiinteän hiilipitoisen aineen muuttamista kaasumaisiksi yhdisteiksi (Filén, Jantunen & Salo 1984, 8). Puun kaasutuksessa puuta poltetaan korkeassa lämpötilassa ali-ilmalla eli hapen saantia rajoitetaan, minkä vuoksi palaminen ei ole täydellistä. Kaasutuksessa tuotekaasuna saadaan kaasua, joka sisältää häkää, vetyä, metaania ja muita hiilivetyjä. Kaasutus noudattaa palamisen vaiheita, joita ovat kuivuminen, pyrolyysi, kaasutus ja palaminen. (Motiva 2014c.) Nämä vaiheet tapahtuvat usein osittain päällekkäin, ja niiden järjestys voi myös vaihdella riippuen kaasutustekniikasta (Basu 2010, 120).

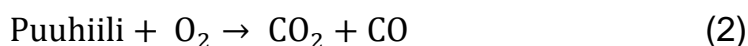
Verrattaessa suoraan polttoon kaasutuksen etuina yhdistetyssä sähkön- ja lämmön tuotannossa ovat järjestelmän edullisempi hinta sekä pienemmät hiukkaspäästöt verrattuna suoraan polttoon (Haavisto 2010).

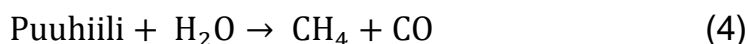
2.7.1 Puun kaasutuksen vaiheet

Aluksi puu lämpiää kuivumislämpötilaan, jonka jälkeen puun sisältämä vesi höyrystyy ja puu kuivuu. Tämän jälkeen seuraa pyrolyysivaihe, jossa puun sisältämät suuret hiilivedyt rikkoutuvat korkean lämpötilan (300 - 600 °C) vaikutuksesta pienemmiksi molekyyleiksi reaktioyhtälön 1 mukaisesti. Polttoaineen haihtuvat aineet muuttuvat kaasu- ja nestemäisiksi yhdisteiksi sekä kiinteäksi aineeksi. Muodostunut kaasu sisältää hiilidioksidia, vettä, hiilimonoksidia sekä erilaisia hiilivetyjä. Neste koostuu tervasta, raskaista hiilivedyistä ja vedestä. Kiinteäksi aineeksi jäljelle jää puuhiili. Puuhiili eroaa hiilestä, siten että se on huokoisempaa ja reaktiivisempaa ja se sisältää vielä tietyn määrän vetyä ja happea. (Basu 2010, 68 - 69, 120 - 121; Raiko 2002, 192 - 193.)



Pyrolyysin jälkeen seuraa kaasutusvaihe, joka sisältää erilaisia reaktioita polttoaineen sisältämien hiilivetyjen ja reaktorissa olevan höyryn, hiilidioksidin, hapen ja vedyn kesken. Näistä reaktioista puuhiilen kaasuuntuminen on kaikista olennaisin. Puuhiilen kaasutus vaatii toteutuakseen kaasuttavan aineen. Yleisimmin kaasuttava aineena käytetään joko ilmaa, happea, höyryä tai näiden sekoitusta. Yhtälöissä 2 - 5 on esitetty osa mahdollisista puuhiilen reaktioista kaasutuksessa. Käytettäessä ilmaa kaasuttavana aineena ilman sisältämä typpi siirtyy myös tuotekaasuun, mikä alentaa tuotekaasuun lämpöarvoa. Ilma on kuitenkin edullista ja aina saatavilla, minkä vuoksi sitä käytetään useimmiten kaasuttavana aineena. (Basu 2010, 14, 118 - 122.)





Kaasun muodostumisen edellytyksenä on, että palamisen tarvitsemaa hapen määrää rajoitetaan, jolloin palaminen on epätäydellistä. Jos happea on liikaa, kaasuttimen lämpötila nousee tarpeettoman korkeaksi, jolloin syntyy enemmän hiilidioksidia ja tuotekaasun laatu heikkenee. (Basu 2010, 119.) Lämpötila kaasutuksen aikana on yleensä noin 900 - 1100 °C (van Loo & Koppejan 2008, 10).

Kaasutuksessa saatavaa tuotekaasua voidaan käyttää, joko sellaisenaan tai sitä voidaan jalostaa metanoliksi. Sellaisenaan kaasua voidaan polttaa lämmön, höyryn ja sähkön tuottamiseksi ulkopolttokattilassa, kaasumotorissa tai käyttää kaasua kaasuturbiinissa. (van Loo & Koppejan 2008, 10.)

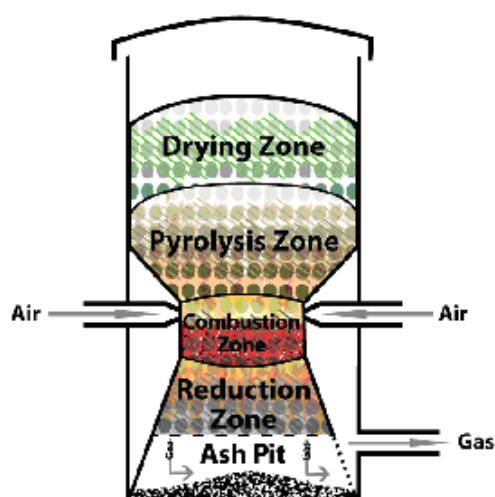
Kaasumotorissa tuotekaasu viilennetään ennen käyttöä, jolloin on suuri todennäköisyys, että kaasun sisältämä terva tiivistyy moottorin tai polttoaineensyöttöjärjestelmän sisäpinnoille, mikä heikentää laitteiston toimintaa. Terva voi tiivistyä myös ilmaan pienhiukkasiksi. Kaasumoottori ei kestä kiinteitä hiukkasia kaasussa, mikä asettaa tiukat rajat tervan määrälle ja muille pienhiukkasille. Myös kaasuturbiinissa tervan ja pienhiukkasten määrän tulee olla mahdollisimman pieni. Terva ei aiheuta ongelmia niissä tekniikoissa, joissa kaasu poltetaan suoraan viilentämättä sitä välillä. Tervan syntymistä kaasutuksessa ei voida estää, mutta sen syntymistä voidaan vähentää kaasuttimen suunnittelulla ja oikeilla kaasutusolosuhteilla. Kaasu voidaan myös puhdistaa, mutta puhdistuslaitteet nostavat laitoksen hintaa merkittävästi. (Basu 2010, 97 - 99.)

2.7.2 Kaasutustekniikat

Pienissä laitoksissa kaasutus perustuu yleensä kiinteäkerroskaasutukseen (Flyktman, Impola & Linna 2012, 18). Kiinteäkerroskaasutus taas voidaan jakaa kahteen eri kaasutustyyppiin, myötä- ja vastavirtakaasutukseen (Motiva 2014c).

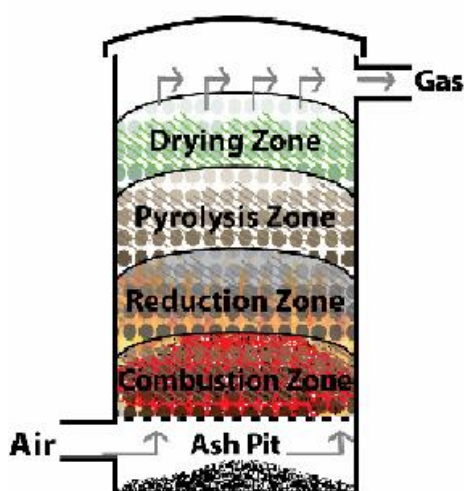
Myötävirtakaasuttimessa (kuva 2) polttoaine syötetään reaktorin yläosaan ja poltossa tarvittava ilma reaktorin keskiosaan. Polttoaine käy kaasuuntumisprosessin läpi kulkiessaan reaktorin yläpäästä alapäähän. Reaktorin yläosassa on polttoaineen kuivumisvyöhyke, jonka jälkeen reaktorissa alaspäin mentäessä seuraa pyrolyysivaihe ja tämän jälkeen poltto- ja kaasutusvaiheet. Jäljelle jäävä tuhka laskeutuu reaktorin pohjalle. Myötävirtakaasutuksen suurimpana etuna on se, että pyrolyysituotteet siirtyvät sellaisenaan suoraan polttovyöhykkeeseen syötetyn paloilman kanssa. Tällöin terva hajoaa korkean lämpötilan vuoksi pienemmiksi molekyyleiksi ja saadun tuotekaasun laatu paranee. (Filén, Jantunen & Salo 1984, 8 - 11.)

Myötävirtakaasuttimessa polttoaineen kosteuspitoisuus vaikuttaa tuotekaasun laatuun. Jos polttoaineen kosteus on liian suuri, joudutaan palamisvaiheessa käyttämään energiaa veden höyrystämiseen. Tällöin lämpötila palamisvyöhykkeessä laskee ja pyrolyysituotteet eivät hajoa kunnolla. Suuri kosteuspitoisuus lisää myös tuotekaasussa vedyn ja metaanin määrää ja vastaavasti hiilimonoksidin osuus kaasussa pienenee, mikä vähentää tuotekaasun energiasisältöä. (McKendry 2001, 56)



Kuva 2. Myötävirtakaasutin (Enggcyclopedia 2012).

Vastavirtakaasuttimessa (kuva 3) palamiseen tarvittava ilma syötetään reaktorin alapäästä. Polttoaine syötetään ylhäältä. Ylhäällä on kuivumisvyöhyke, josta polttoaine siirtyä alaspäin mentäessä pyrolyysivyöhykkeeseen. Toisin kuin myötävirtakaasuttimessa, vastavirtakaasuttimessa tulee pyrolyysivyöhykkeen jälkeen kaasutusvyöhyke. Vasta kaasutusvyöhykkeen jälkeen seuraa polttovyöhyke, sillä alhaalta syötetyn ilman vuoksi kuumin vyöhyke syntyy reaktorin alaosaan. (Filén, Jantunen & Salo 1984, 15 - 17.) Vastavirtakaasutuksen haittapuolena on tervapitoinen tuotekaasu, sillä pyrolyysikaasut siirtyvät sellaisenaan tuotekaasuun. Suuren tervapitoisuuden vuoksi tuotekaasua ei voida käyttää kaasumootorissa tai -turbiinissa puhdistamatta sitä ensin. Vastavirtakaasuttimen etuna taas on, että kaasuttimessa voidaan käyttää kosteampaa polttoainetta myötävirtakaasuttimeen verrattuna, sillä kuumat tuotekaasut kuivattavat polttoainetta kulkiessaan polttoainekerroksen läpi. Kuivumisessa syntynyt vesihöyry kulkeutuu myös tuotekaasun mukana pois kaasuttimesta. (Quaak, Knoef & Stassen 1999, 27; Carlos 2005, 19.)



Kuva 3. Vastavirtakaasutin (Enggcyclopedia 2012).

3 Metsähake

Hake on tietyn kokoisiksi palasiksi mekaanisesti hakettua puubiomassaa. Hakemat ovat suorakaiteen muotoisia, ja niiden pituus on yleensä 5 - 50 mm. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 12.) Metsähake taas on yleisnimitys kaikelle hakkeelle, jonka raaka-aine saadaan suoraan metsästä (Kuitto 2004, 9).

Metsähaketta käytetään polttoaineena Suomessa niin isoissa kuin pienissäkin lämpö- ja voimalaitoksissa. Vuonna 2015 Suomessa lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin kiinteitä puupolttoaineita yhteensä 18,3 miljoonaa kiintokuutiometriä. Merkittävin laitoksissa käytetty puupolttoaine oli metsähake, jonka kokonaiskäyttö oli 7,4 miljoonaa kuutiometriä. Jos mukaan lasketaan vielä pientaloissa poltetun hakkeen määrä, metsähakkeen kokonaiskäyttö vuonna 2015 oli 8 miljoonaa kuutiometriä. Loput noin 1,1 miljoonaa kiintokuutiometriä lämpö- ja voimalaitosten käyttämistä puupolttoaineista koostuu metsäteollisuuden sivutuottepuusta, pelletistä, briketeistä sekä kierrätyspuusta. (Luonnonvarakeskus 2016.)

3.1 Hakkeen laatu

Hakkeen laatuun vaikuttavat tärkeimmät ominaisuudet ovat hakkeen kosteus, laadun tasaisuus sekä hakkeen palakoko. Hakkeen kosteus vaikuttaa puusta saatuun lämpöenergian määrään ja hakkeen tasaisuus ja palakoko taas vaikuttavat laitoksen toimintaan ja toimintavarmuuteen etenkin pienissä laitoksissa (Alakangas 2000, 53; Bioenergiapörssi). Pienissä laitteistoissa ei myöskään ole yleensä säätöjärjestelmiä tai savukaasupuhdistimia, minkä vuoksi tarpeeksi laadukas polttoainehake on tärkeää (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 8). Suurissa voimalaitoksissa voidaan käyttää erityyppisiä hakkeita, kuten hakkuutähde- ja kantohaketta ilman, että niiden toiminta kärsii. Myöskään kostean hakkeen käyttö ei vaikuta ison laitoksen toimintaan. (Kuitto 2004, 298 - 299.)

Vuonna 2014 tuli voimaan uusi kansainvälinen kiinteiden polttoaineiden laatu-standardi SFS-EN ISO 17225. Standardi sisältää kiinteiden polttoaineiden yleiset laatuvaatimukset- ja luokat, sekä vielä erikseen tarkemmin puupellettien, puubrikettien, puuhakkeen, polttopuiden sekä ei-puupohjaisien pellettien ja ei-puupohjaisien brikettien laatuvaatimukset ja -luokat. Standardin tavoitteena on luoda kiinteille polttoaineille selkeät luokitteluperiaatteet, joita voidaan hyödyntää kansainvälisessä kaupankäynnissä. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014b, 6.)

Hakkeen laatuvaatimukset ja -luokat on ilmoitettu standardin osassa neljä. Osa sisältää luokitellun puuhakkeen, joka on valmistettu luonnon- tai istutusmetsän puusta, puunjalostusteollisuuden sivutuotteista tai kemiallisesti käsittelemättömästä käytöstä poistetusta puusta. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 10.)

Puuhakkeen laatuluokkia on neljä, A1, A2, B1 ja B2. Laatuluokkiin A1 ja A2 sisältyy luonnonpuusta ja kemiallisesti käsittelemättömistä puutähteistä valmistettu hake. B1 luokkaan sisältyy taas muun muassa lyhytkiertoviljelypuu sekä kemiallisesti käsittelemättömät teollisuuden sivutuotteet. B2 sisältää kemiallisesti käsitelystä puunjalostusteollisuuden puusivutuotteesta sekä kemiallisesti käsittelemättömästä käytöstä poistetusta puutuotteesta valmistetun hakkeen. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 14.)

Laatuluokissa A1 ja A2 laatuluokka määrittyy hakkeen alkuperän, palakoon, kosteuden, tuhkan osuuden, irtotiheyden ja tehollisen lämpöarvon mukaan. Luokissa B1 ja B2 täytyy näiden lisäksi ilmoittaa myös epäpuhtauksien (mm. rikin, typen, kloorin ja kuparin) määrät. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 18.)

3.1.1 Energiamäärä ja lämpöarvo

Lämpöarvolla tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka vapautuu polttoaineen täydellisessä palamisessa. Vapautuva energiamäärä voidaan ilmoittaa joko massa- tai tilavuusyksikköä kohden. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014c, 24.)

Lämpöarvoa, joka on ilmoitettu tilavuutta kohti, sanotaan energiatiheydeksi. Taulukossa 1. on esitetty eri polttoaineiden lämpöarvoja ja kosteuspitoisuuksia.

Kiinteiden polttoaineiden lämpöarvo voidaan ilmoittaa joko kalorimetrinen lämpöarvona, tehollisena lämpöarvona tai tehollisena lämpöarvona toimituskosteudessa. Kalorimetrinen lämpöarvo eli ylempi lämpöarvo ilmoittaa polttoaineen sisältämän lämpömäärän, kun palamisessa syntyvä ja savukaasujen mukana poistuva vesihöyry on nesteenä. Tehollinen lämpöarvo eli alempi lämpöarvo taas ilmoittaa polttoaineen energiamäärän, kun savukaasussa oleva vesi on höyrynä. Toisin sanoen kalorimetrinen lämpöarvo on siis nesteen höyrystymiseen vaadittavan energiamäärän suurempi kuin tehollinen lämpöarvo. (Alakangas 2000, 12; Alpua 2011, 7.) Kaikista alin lämpöarvo on tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa.

Teholliseen lämpöarvoon toimituskosteudessa otetaan huomioon niin puun luontaisesti sisältämän veden kuin myös palamisessa vedynpalamisreaktiossa syntyvän veden haihtumiseen vaadittava energia. Mitä enemmän vettä polttoaine sisältää, sitä pienempi lämpöarvo on. (Motiva 2013.) Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa voidaan laskea kaavaa

$$Q_{\text{net,ar}} = Q_{\text{net,d}} \times \frac{100 - M_{\text{ar}}}{100} \times 0,02441 \times M_{\text{ar}} \quad (6)$$

missä	$Q_{\text{net,ar}}$	on saapumistilaisen polttoaineen tehollinen eli alempi lämpöarvo (MJ/kg)
	$Q_{\text{net,d}}$	on kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)
	M_{ar}	on polttoaine-erän kosteus saapumistilassa (%)

0,02441 (MJ/kg) on veden höyrystämiseen kuluva lämpömäärä.

(Alakangas 2000, 29.)

Taulukko 1. Polttoaineiden lämpöarvoja ja kosteuspitoisuuksia (Motiva 2010, 2)

Polttoaine	Lämpöarvo	Kosteus %
Moottoribensiini	8,96 kWh/litra	
Dieselöljy	10,05 kWh/litra	
Nestekaasut	12,83 kWh/kg	
Kevyt polttoöljy	10,02 kWh/litra	
Raskas polttoöljy	11,42 kWh/kg	
Maakaasu	10 kWh/m ³	
Biokaasu	4,4-7,4 kWh/ m ³	
Kivihiili	7,08 kWh/kg	10
Jyrsinturve	2,7 kWh/kg	48,5
Palaturve	3,3 kWh/kg	38,9
Puupelletit	4,7 kWh/kg	9
Polttohake	700 kWh/irto-m ³	40
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1 300 kWh/pino-m ³	20
Pilkkeet (koivu)	1 700 kWh/pino-m ³	20
Ruokohelpi	4,1 kWh/kg	14
Kaura	3,6 kWh/kg	20
Oliki	3,8 kWh/kg	20

3.1.2 Kosteus

Puun kosteus määritellään yleensä painoprosenttina (X) eli vertaamalla puun sisältämän veden massaa (m_{vesi}) puun kokonaismassaan ($m_{\text{kok.}}$). Kosteus voidaan ilmoittaa myös kosteussuhteena (U), joka lasketaan vertaamalla puun sisältämän veden massaa puun kuiva-ainemassaa (m_{ka}). Puun kosteus ja kosteussuhde saadaan laskettua kaavoilla:

$$\text{Kosteus} \quad X = \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{kok}}} \quad (7)$$

$$\text{Kosteussuhde} \quad U = \frac{m_{\text{vesi}}}{m_{\text{ka}}} \quad (8)$$

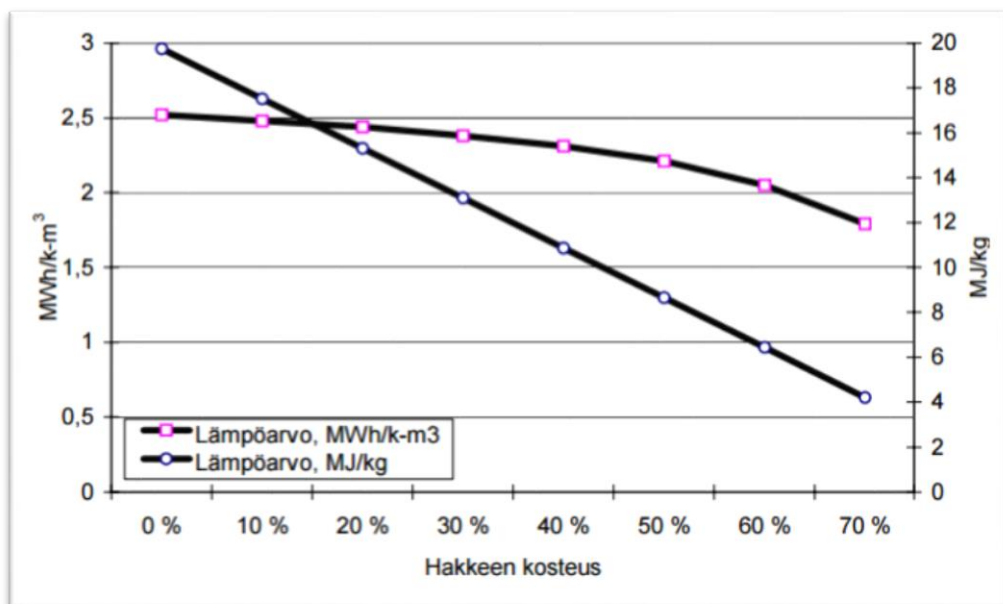
Kosteussuhteen U ja kosteuden X välinen keskinäinen riippuvuus taas on:

$$X = \frac{U}{U+1} \quad (9)$$

$$U = \frac{X}{1-X} \quad (10)$$

(Härkönen 2012, 10.)

Hakkeen kosteus vaikuttaa suoraan hakkeesta saatavaan energiamäärään (kuvio 1) ja laitoksen hyötysuhteeseen (Kuitto 2004, 299). Mitä kosteampaa hake on, sitä enemmän poltossa kuluu energiaa puuhun sitoutuneen veden höyrystämiseen. Puusta saatava pienempi energiamäärä lisää myös polttoaineen kuluusta ja heikentää laitoksen hyötysuhdetta. (Härkönen 2012, 8.) Kaatotuoreen puun kosteus on yleensä noin 50 - 60 % (Etelätalo 2013, 16.)



Kuvio 1. Hakkuutähdehakkeen tehollisen lämpöarvon riippuvuus kosteudesta (Alakangas 2000, 53).

Hakkeen kosteus aiheuttaa ongelmia myös varastoinnissa, jos haketta varastoidaan pitempiä aikoja. Hakkeen kosteuden ollessa yli 25 % alkaa hake varastoinnissa lämmetä ja maatua, mikä aiheuttaa kuiva-ainetappioita. Tämän lisäksi kosteaan hakkeeseen syntyy mikrobikasvustoja, jotka ovat haitallisia terveydelle. (Etelätalo 2013, 22.)

ISO 17225-4 – standardin (2014a, 18) mukaan luokitellun hakkeen kosteus tulee ilmoittaa painoprosenttina. Laatuluokassa A1 hake lajitellaan kahteen kosteusluokkaan. Näistä toiseen luokkaan kuuluvan hakkeen kosteuden tulee olla alle 10 p-% ja toisessa luokassa kosteuden tulee olla alle 25 p-%. Luokassa A2 kosteuden pitää olla alle 35 p-%. B1 ja B2 luokissa ilmoitetaan kosteuden suurin arvo.

3.1.3 Tasalaatuisuus ja palakoko

Hakkeen tasalaatuisuuteen sisältyvät hakkeen palakoko, tikkuisuus sekä hienoaineksen määrä (Etelätalo 2013, 44). Hakkeen tasalaatuisuus ja palakoko vaikuttavat laitoksen toimintaan ja toimintavarmuuteen, sillä epätasalaatuinen hake ja hakkeen tikkuisuus aiheuttavat ongelmia laitoksen polttoaineen kuljettimilla ja polttoaineen syöttöjärjestelmissä (Yli-Mattila 2011, 16.). Suuri hienoainespitoisuus taas aiheuttaa esimerkiksi pien-CHP-laitoksessa puun kaasutuksessa paineen vaihtelua, mikä huonontaa kaasutusprosessin toimivuutta. Mitä pienempi laitos, sitä tärkeämpää on, että hake on tasalaatuista ja palakoko on oikea. (Etelätalo 2013 44.)

Hakkeen tasalaatuisuuteen vaikuttavat hakkeen raaka-aine, raaka-aineen tuoreus, vuodenaika, hakkurityyppi, hakkurinterien säädöt ja kunto sekä seulojen reikäkoko. (Kuitto 2004, 299.) Seulalla voidaan optimoida palakokojakaumaa käyttökohteen mukaan haketuksen jälkeen. Valitsemalla seulan reikäkoot oikean kokoisiksi hake-erästä voidaan poistaa liian suuret ja pienet partikkelit. (Roitto 2014, 67.)

Hakkeen laatustandardissa hakkeen palakokoluokkia on kolme. Luokat määräytyvät pääfraktion, hienoaineksen ja karkean aineksen määrän sekä partikkelin suurimman pituuden ja suurimman poikkileikkauksen mukaan. Määrät ilmoitetaan painoprosenttina ja pääfraktion määrän tulee on vähintään 60 p-%. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014a, 16.)

3.1.4 Tiheys ja tilavuus

Puupolttoaineen tilavuusmittana käytetään kiintokuutiometriä (m^3). Käytännössä kiintotilavuuden määrittäminen on hankalaa, minkä vuoksi se lasketaan muuntokertoimen avulla polttoaineen irtotilavuudesta ($i\text{-}m^3$). Hakkeella muuntokerroin noin 0,4, jolloin 1 m^3 haketta vastaa noin 2,5 irtokuutiometriä. (Bioenergiapörssi.)

Tiheydellä (kg/m^3) tarkoitetaan polttoaineen massaa tilavuusyksikköä kohti. Tiheys riippuu kuiva-ainemäärästä sekä kosteudesta. Irtotiheydellä taas tarkoitetaan polttoaineen massaa kuormatilavuutta kohti. (Alakangas 2010, 14.) Hakkeen irtotiheyteen vaikuttaa hakkeen palakoko, hienoaineen määrä sekä hakkeen kosteus. Tuorekostean kokopuu- ja rankahakkeen irtotiheys on noin 250 - 350 $kg/i\text{-}m^3$ (Bioenergiapörssi). Puun kuiva-tuoretiheys taas ilmoittaa hakkeen kuiva-aineen massan tilavuusyksikköä kohden (kg/m^3).

3.1.5 Muut polttoaineen laatuominaisuudet

Tuhkapitoisuus ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen ovat polton kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Tuhka ja tuhkan sulaminen aiheuttavat kattilan kuonaantumista ja likaantumista. (Alakangas 2000, 31). Tuhkapitoisuuden ilmoittaminen on tärkeää etenkin kannoista ja hakkuutähteistä valmistetulle hakkeelle. Etenkin laitoksille, joiden polttoaineen laatuvaatimukset ovat tiukat, polttoaineen tuhkapitoisuuden tietäminen on olennaista. Myös kloorin, natriumin ja kaliumin pitoisuudet kannattaa tällöin selvittää, sillä niillä on vaikutusta tuhkan sulamisominaisuuksiin. (Alakangas & Impola 2014, 25.)

3.2 Hakkeen raaka-aine

Metsähakkeeseen sisältyy kokopuuhake, rankahake, hakkuutähdehake sekä kantohake. Kokopuuhakkeen raaka-aineena on käytetty karsimatonta kokopuuta, joka sisältää rungon kuorineen, oksat sekä neulaset tai lehdet. Rankahakkeen raaka-aineena on taas käytetty vain puun runko, joko kuoren kanssa tai ilman.

(Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2014c, 36, 40, 60, 68.) Hakkuutähdehakkeen raaka-aine saadaan ainespuun korjuussa jääneestä hakkuutähteestä, joka koostuu yleensä ainespuuksi kelpaamattomasta runkopuusta ja oksista. Kanto-hake on taas kannoista ja juurakoista haketettua haketta. (Kuitto 2004, 9.)

Rankahake on hakkeista tasalaatuisinta. Se soveltuu parhaiten pienen kokoluokan laitosten polttoaineeksi. Kanto ja juuripuista tehty hake soveltuu vain suuriin voimalaitoksiin sen sisältämän suuren epäpuhtauksien vuoksi. Käytettävän polttoaineiden laatuvaatimukset riippuvat lämpö- ja voimalaitosten polttoaineen käsittely- ja syöttöjärjestelmästä sekä polttoteknologiasta. (Kuitto 2004, 302 - 303.)

3.3 Hakkeen tuotantojärjestelmät

Hakkeen tuotantojärjestelmät voidaan jakaa sen mukaan, missä tuotantoketjun vaiheessa haketus tapahtuu. Nykyisin yleisimpiä hakkeen tuotantotapoja ovat palstahaketus, välivarastohaketus, terminaalihaketus ja käyttöpaikkahaketus (Kuitto 2004, 95)

Palstahaketuksessa hake tuotetaan jo hakkuupaikalla. Tämä menetelmä sopii vain, jos maasto on tasainen ja kantava, sillä palstahakkuri ei kulje metsässä yhtä hyvin kuin metsätraktori. Palstahaketuksessa myös hakekuormat ovat pieniä, jolloin menetelmä vaatii lyhyet metsäkuljetusmatkat. (Kuitto 2004, 96; Hakkila & Fredriksson 1996, 27 - 28) Etuna palstahaketuksessa on varastointitarpeen supistuminen. Biomassa saadaan myös tarkemmin talteen ja hake myös säilyy puhtaampana kuin varastohaketusmenetelmissä. (Hakkila & Fredriksson 1996, 27.)

Välivarastohaketuksessa puuraaka-aine kuljetetaan metsästä tien viereen varastokasoihin. Välivarastohaketusta voidaankin kutsua myös tienvarsihaketuksiksi. Kasoista puu haketetaan suoraan hakeautoon. (Kuitto 2004, 96.)

Terminaalihaketuksessa puuraaka-aine kuljetetaan keskitettyihin varastoihin, joissa se haketetaan. Terminaalihaketus mahdollistaa hakkeen monipuolisen

tuotannon, sillä terminaaleissa voidaan erilaatuisia hakkeita ja muita kiinteitä polttoaineita sekoittaa toisiinsa tilaajan tarpeen mukaisesti. Terminaaleissa voidaan myös käyttää erilaisia hakkureita tarpeen mukaan. (Kuitto 2004, 96 - 97.)

Käyttöpaikkahaketuksessa raaka-aine haketetaan vasta käyttöpaikalla. Käyttöpaikkahaketuksen etuina ovat pienet varastotilatarpeet ja se, että tuotantoketjun toiminnot eivät ole ajallisesti sidottuina toisiinsa ja näin vältetään niin sanottu ”kuuma ketju”. Tuotantotavan ongelmana taas on raaka-ainekuormien huono energiatiheys, jolloin välimatkat eivät saa olla liian pitkät. (Kuitto 2004, 99.)

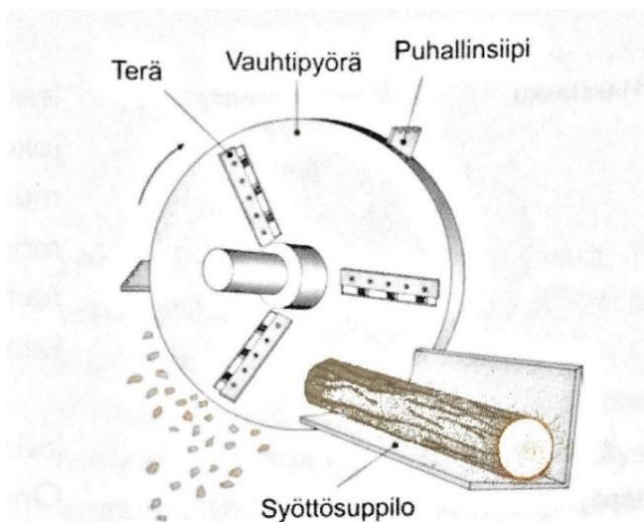
Riippuen hakkeen tuotantojärjestelmästä voidaan puu hakettaa kaatotuoreena metsässä tai antaa sen ensin kuivua luonnollisesti ja haketta vasta sitten. Jos puu haketetaan tuoreena, niin hakkeen jatkokäytön tulee tapahtua pian, sillä etenkin lämpimällä ilmalla mikro-organismit alkavat nopeasti hajottaa märkää haketta. Kaatotuoreen puun hakkeen kosteusprosentti on yleensä noin 45 - 55 %. Mikäli hakkeen loppukäyttäjä on pieni lämpö- tai CHP-laitos täytyy hake myös kuivata jälkikäteen hakekuivurilla. Tuoreen puun hakettamisen etuna on, että hakkeen tikkuisuus ja hienoaineen määrä on pienempi kuin kuivaa puuta haketettaessa. (Etelätalo 2013, 45.)

Yleisempi tapa on antaa puun kuivua ensin luonnollisesti ja haketta sen jälkeen. Tällöin hakkeen kosteus on yleensä noin 25 - 45 %. Eri toimenpiteillä, esimerkiksi optimaalisen paikan ja vuodenajan valitsemisella ja kasojen peittämisellä, saadaan puun kosteus luonnollisella kuivaamisella yleisesti noin 30 %:iin. Tällöin hakkeen keinokuivaamisessa tarvittava energiamäärä on pienempi kuin tuorepuuhakkeella. (Granö 2013, 8, 11.)

3.4 Hakkurityypit

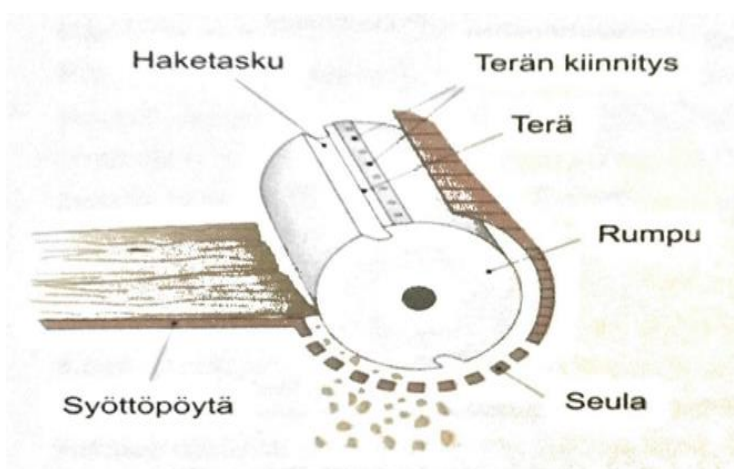
Hakkurit voidaan lajitella toimintatapansa mukaan laikka-, rumpu- ja ruuvihakureihin. Laikkahakkurissa (kuva 3) on vauhtipyörään kiinnitetty 2-6 terää säteen suuntaisesti. Laikkahakkuri on erityisen herkkä maa-ainekselle ja kiville, joten se

sopii parhaiten tasalaatuiselle raaka-aineelle. Laikkahakkurilla saadaan tasalaatuisia haketta. (Kuitto 2004, 100.)



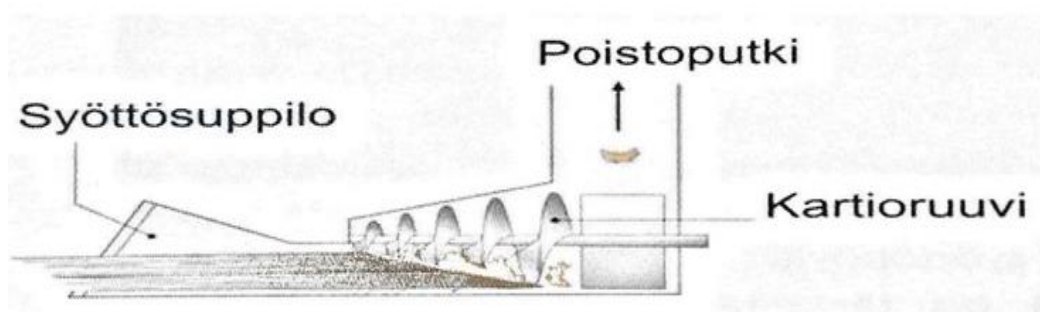
Kuva 3. Laikkahakkurin toimintaperiaate (Knuuttila 2003, 71).

Rumpuhakkuri (kuva 4) koostuu lieriömäisestä terärungosta, johon on kiinnitetty 2 - 6 terää. Rumpuhakkurit eivät ole niin herkkiä maa-ainekselle ja kiville ja soveltuvat täten paremmin kokopuun ja hakkuutähdehakkeen hakettamiseen kuin laikkahakkuri, mutta epäpuhtauksien joutumista hakkurille on silti vältettävä. (Kuitto 2004, 100, 107.) Suurtehotuotannossa rumpuhakkuri on käytetyin hakkurityppi (Etelätalo 2013, 7).



Kuva 4. Rumpuhakkurin toimintaperiaate (Knuuttila 2003, 72).

Kartioruuvihakkuri (kuva 5) koostuu vauhtipyörään kiinnitetystä ruuvista. Pyöriesään ruuvi hakettaa puun ja samalla vetää puuta sisäänpäin, jolloin erillistä puun syöttölaitetta ei tarvita. Kartioruuvihakkurilla tuotettu hake on palakooltaan tasa-laatuista. (Etelätalo 2013, 8.) Hakkurin toimintaperiaate on yksinkertainen, minkä vuoksi hakkuri on toimintavarma. Ainoa huolettava osa on teroitusta vaativa kartioterä. Parhaiten ruuvihakkuri soveltuu karsitun rangan ja sahauspintojen haketuksen. (Knuuttila 2003, 72.)



Kuva 5. Kartioruuvihakkurin toimintaperiaate (Knuuttila 2003, 72).

Hakkurin valintaan vaikuttavat hakkeen raaka-aineen lisäksi myös se, kuinka tasa-laatuista hakkeesta halutaan. Rumpuhakkurilla ei saada tuotettua niin tasa-laatuista haketta kuin ruuvi- tai laikkahakkurilla. Hakkurityypin lisäksi hakkurin terien kunto vaikuttaa merkittävästi tuotetun hakkeen laatuun. (Etelätalo 2013, 12, 47.)

3.5 Hakkeen keinokuivaaminen ja kuivaamiseen tarvittava energia

Hake voidaan keinokuivata joko kylmä- tai lämpöilmakuivurilla. Kylmäilmakuivauksella tarkoitetaan ympäristön omassa sen hetkessä lämpötilassa tapahtuvaa kuivausta (Niemitalo 2011, 3). Kylmäkuivurilla kuivattaessa ulkoilmaa joko puhalletaan tai imetään koneella hakekerroksen läpi. Kylmäkuivauksen ongelmana on, että se on aina riippuvainen säästä. Sateiset säät ja suuri ilmankosteus hidastavat kuivumista, jolloin hakkeen laatu kärsii ja mikrobit voivat alkaa lisääntyä. Kylmäilmakuivaus ei myöskään sovellu suurien hakemäärien kuivaukseen, sillä yhden hake-erän kuivaukseen voi mennä 1 - 2 viikkoa. Etuna kylmäilmakuivauksessa on kuitenkin sen edullisuus. (Etelätalo 2013, 63.)

Lämminilmakuivauksessa kuivausilma on lämmitettyä. Kuivausilman lämpötila on yleensä noin 60 - 70 astetta. Lämminilmakuivauksen etuna on kuivumisen nopeuden lisäksi se, että sen toiminta ei riipu säästä, jolloin kuivuria pystytään käyttämään ympärivuotisesti. Lämminilmakuivaus on kuitenkin huomattavasti kallimpi ratkaisu kuin kylmäilmakuivaus. (Kauppinen 2014, 13.)

Elävässä puussa vettä on soluonteloissa, soluväleissä sekä soluseinissä. Kuivussa puusta vapautuu ensin onteloissa oleva vapaa vesi ja viimeisenä niin sanottu sidottu vesi eli soluseinämässä oleva vesi. (Alakangas 2000, 39.) Soluseinissä vesi on absorboitunut hyvin tiukasti soluseinämiin ja sitoutuneen veden poistamiseen vaaditaan enemmän energiaa kuin vapaan veden poistamiseen soluonteloista. (Härkönen 2012, 12.)

Puun kosteuden ollessa yli 23 % puusta poistuu soluonteloissa olevaa vapaata vettä. Vapaan veden poistamiseen tarvittava energia vastaa veden höyrystämiseen vaadittavaa lämpöenergiaa, joka on 2,443 MJ/kg eli noin 0,68 kWh/kg. Kun kosteusprosentti on alle 23, alkaa puusta poistua soluseinämiin tiukasti sitoutunut vesi. Sidotun veden poistamiseen tarvittava lämpöenergian määrä riippuu puun kosteussuhteesta. Veden poistamiseen tarvittava lämpöenergian määrä otetaan puun palamisessa vapautuvasta lämmöstä. (Härkönen 2012, 12.)

Puun syiden kyllästymispisteellä (PKS) tarkoitetaan sitä kosteussuhteen arvoa, jolloin puun soluonteloissa ei ole enää vettä ja soluseinämien sidottu vesi alkaa poistua. Suomalaisten puiden osalta tämä kosteussuhde (U_{PKS}) on noin 0,3 eli puun kosteus on tällöin 23 %. Lämpötila vaikuttaa puun syiden kyllästymispisteeseen, mutta arvo $U_{PKS} = 0,3$ vastaa keskimääräistä arvoa lämpötilavälillä 0 - 60 °C. (Härkönen 2012, 10.)

Sidotun veden poistamiseen tarvittavan energiamäärän laskemisen helpottamiseksi usein oletetaan, että tarvittavan energiamäärän ja kosteussuhteen riippuvuus toisistaan on lineaarinen ja että tarvittava energiamäärä kosteussuhteen ollessa nolla on kolminkertainen veden normaaliin höyrystymislämpöön verrat-

tuna. Tällöin sidotun veden poistamiseen ja sen höyryttämiseen tarvittavan lämpöenergian määrän yhtä vesikiloa kohti (Q_{des} , kWh/kg) laskemiseen voidaan käyttää kaavaa:

$$Q_{des} = 2,036 - 4,524 \times U \quad (11)$$

(Härkönen 2012, 12 - 13.)

4 Pien-CHP-laitoksen hakkeen laatuvaatimukset

Hakkeen laadulla on suuri merkitys niin pienissä lämpö- kuin CHP-laitoksissa. Pienlämpölaitoksissa ja pien-CHP-laitoksissa, jossa palaminen tapahtuu erillisessä kattilassa, hakkeen laatuvaatimukset ovat suunnilleen samat (Etelätalo 2013, 43). Alle 1 MW:n lämpölaitoksessa polttoaineen kosteus ei saisi koskaan ylittää 40 %, ja yleisesti hakkeen kosteuden tulisi olla noin 25 - 30 %. Palakoon vaatimukset riippuvat lämpölaitoksen polttoaineensyöttölaitteistosta, mutta aivan kuten pien-CHP-laitoksissakin liian suuret hakepalat ja tikkuisuus aiheuttavat laitteiston toimintahäiriöitä. (Yli-Mattila 2011, 16.)

4.1 Myötävirtakaasutukseen perustuvan pien CHP-laitoksen hakkeen laatuvaatimukset

Myötävirtakaasutukseen perustuvan pien-CHP-laitoksen polttoainehakkeen laatuvaatimukset ovat tiukat. Etenkin hakkeen kosteus ja palakoko on oltava sopivat, jotta laitos toimisi moitteettomasti. Hakkeen on oltava myös puhdasta, eikä se saa sisältää esimerkiksi kiviä. Tästä kappaleesta eteenpäin opinnäytetyössä pien-CHP-laitoksella tarkoitetaan nimenomaan puukaasulla toimivaa pien-CHP-laitosta.

Hakkeen laatu vaikuttaa palamiseen ja pyrolyysiin ja tätä kautta tuotettavan savukaasun laatuun. Tuotettavan kaasun puhtaudella on suuri merkitys pien-CHP-

laitoksessa, sillä monet kaasun puhdistusmenetelmät ovat kalliita ja pienessä laitoksessa kaasun puhdistamisessa joudutaan käyttämään halvempia ratkaisuja, jotta laitoksen perustamiskustannukset eivät nousisi liian korkealle. (Etelätalo 2013, 44.) Tarpeeksi puhdasta tuotekaasua saadaan kun hakkeen kosteus on tarpeeksi alhainen ja palakoko oikea. Mikäli hake on liian kosteaa, palakoko väärä ja hienoaineksen osuus suuri, lämpötilaa pyrolyysissä ei saada pidettyä riittävän kuumana, jolloin kaasuun jää epäpuhtauksia, joista etenkin terva aiheuttaa ongelmia (Haapakoski 2016). Kaasussa oleva terva voi tiivistyä kaasuttiimeen, mikä heikentää laitteiston toimintaa (Etelätalo 2013, 44).

Volter Oy:n sähköteholtaan 40 kW:n ja lämpöteholtaan 100 kW:n CHP-laitoksen polttoaineen kosteus saa olla korkeintaan 18 % mielellään vain 15 %. Kuiva-aineesta saatava tehollinen lämpöarvo tulisi olla noin 18,7 MJ/kg. Palakokojakaumaltaan hakkeen täytyy olla myös mahdollisimman tasainen. 70 % hakkeesta tulisi olla palakooltaan 30 - 45 mm. Tätä suurempia hakepaloja saa olla vain 10 % hakkeesta ja suurin sallittu palakoko on 63 mm. Palakooltaan 16 - 30 mm:n paloja ja 3,15 - 16 mm:n paloja saa molempia olla myös korkeintaan vain 10 % hakkeesta. Hienoainesta eli alle 3,15 mm:n paloja saa olla korkeintaan prosentin osuus hakkeen määrästä. Palakokojakauman lisäksi hakkeen tulee olla tasamuotoisina lastuina, eikä hake saa sisältää pitkiä tikkuja tai säleitä. Hake ei saa sisältää epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, kiviä tai metalliseosjätteitä. Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa ei saa myöskään olla yli yhtä painoprosenttia. Typen osuus polttoainehakkeessa saa olla enintään 0,5 p-%, rikin osuus enintään 0,04 p-%, kloorin osuus alle 0,02 p-% ja kaliumin osuus alle 0,07 p-% laskettuna kuiva-aineesta. Polttoaineen raaka-aineeksi sopii koivu, kuusi, mänty tai haapa. (Volter 2015, 11.)

Hakkeen laatuvaatimukset ovat hyvin tiukat ja tarkasti määritetty. Edes kiinteiden polttoaineiden laatustandardin mukaisen laadukkaimman hakkeen määritelmät eivät vastaa näitä vaatimuksia hakkeen palakoon osalta.

4.2 Pien-CHP-laitoksen hakkeen hinnan muodostuminen ja hakkeen kuivauksen vaikutus hakkeen hintaan

Metsähakkeen käyttöpaikkahinta koostuu kantohinnasta, organisaatiokustannuksista, korjuu- ja metsäkuljetuskustannuksista, kaukokuljetuksesta aiheutuvista kustannuksista sekä haketuskustannuksista (Ihalainen & Niskanen 201, 23). Raaka-aineena pienissä laitoksissa käytetään yleensä joko ranka- tai kokopuu-haketta. Karsittu rankahake on laadukkaampaa kuin kokopuu-hake, mutta rankahakkeen tuotantokustannukset ovat suuremmat, sillä rungon karsiminen vie korjuussa enemmän aikaa. (Lappalainen 2007, 27.)

Mikäli haketta halutaan käyttää pien-CHP-laitoksen polttoaineena, kustannuksia lisää vielä hakkeen kuivatus. Alle 18 %:n kosteuteen päästään vain keinokuivamalla. Tämä nostaa hakkeen hintaa huomattavasti verrattuna tavalliseen lämpölaitoshakkeeseen. Mitä korkealaatuisempaa haketta tuotetaan, sitä korkeammat ovat yleensä valmistuskustannukset, jolloin hakkeen loppuhinta on myös korkeampi. Korkealaatuisen hakkeen tuotannossa täytyy koko tuotantoketjun olla suunniteltu hakkeen laatua silmällä pitäen raaka-aineesta lähtien aina käyttöpaikalla asti. (Etelätalo 2013, 5, 33.) Kuivan hakkeen etuna kuitenkin on suurempi energiatiheys, joka vähentää kuljetuskustannuksia.

Kuivan hakkeen tuotantokustannuslaskelman pohjana on käytetty Etelätalon (2013, 67) laskelmissaan saamia hakkeen hinta-arvioita kartioruuvihakkurilla haketetun hakkeen käyttöpaikkahinnoista, joihin on laskettu mukaan organisaatiokulut 3 €/m³ ja kantohinta 5 €/m³. Kun tuotantoketjuna on kaatotuoreen mäntyranjan kuljetus puutavararekalla ja haketus käyttöpaikalla, niin hakkeen hinta on noin 52,2 €/m³ eli 28,5 €/MWh. Muut laskelman lähtötiedot on saatu toimeksiantajalta. Laskelma on esitetty kokonaisuudessaan liitteen 1 taulukossa 2.

Laskelmassa hakkeen kuivaukseen käytetään kuivuria, jonka investointikustannukset ovat arvonlisäveron kanssa 26 500 €. Kuivurin investointi maksetaan takaisin viiden vuoden aikana ja vuosittainen korkokanta on 7 %. Kuivurin tilavuus

on 14 i-m³ ja jokaisen lavallisen kuivaukseen kuluu 3 vuorokautta. Hake kuivataan 55 %:n lähtökosteudesta 15 %:iin. Viikossa kuivataan 2 kuivurillista ja kuivuri on käytössä 35 viikkoa vuodessa. Kuivaa haketta tuotetaan vuodessa siis 980 i-m³. Kuivurin hyötysuhde on 30 % ja käytettävän lämpöenergian hinta on 42 €/MWh. Työtunteja kuluu yhden kuivauksen yhteydessä 2 tuntia ja työn tuntihinta on 20 €/h. Laskelman lähtötiedot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskelman lähtötiedot

Kuivuri-investointi	26 500 €
Korkokanta	7 %
Kuivurin koko	14 i-m ³
Työtunnit per kuivaus	2 h
Työn hinta	20 €/h
Kuivurin käyttökerrat vuodessa	70
Kuivurin hyötysuhde	30 %
Lämpöenergian hinta	42 €/MWh
Kuivatun hakkeen määrä vuodessa	980 i-m ³
Hakkeen alkukosteus	55 %
Hakkeen loppukosteus	15 %
Hakkeen hinta alkukosteudessa	52,2 €/m ³
	28,5 €/MWh

Yhdessä kuivurillisessa kuivataan 14 i-m³ kosteudeltaan 55 %:n haketta 15 %:n kosteuteen. Hakkeen tiheys alkukosteudessa on noin 350 kg/i-m³, joten yhteen kuivurilliseen menee haketta 4 900 kg (Bioenergiapörssi). Alussa hakkeessa on vettä 55 % eli noin 2 695 kg. Kuiva-ainetta on vastaavasti noin 2 205 kg. Poistuva vesi on vapaata vettä niin kauan kuin hakkeen kosteusprosentti on yli 23 %. Hakkeen kosteuden ollessa 23 % saadaan jäljellä olevan veden massa kertomalla kuiva-aineen massa hakkeen kosteussuhteella. Vettä on siis tällöin jäljellä noin 658,6 kg ja vapaata vettä poistuu siis yhteensä 2 036,4 kg. Vapaan veden poistaminen vaatii energiaa 0,68 kWh yhtä vesikiloa kohti, joten energiaa kuluu tähän vaiheeseen 1,384 MWh.

Vapaan veden haihtumisen jälkeen puusta alkaa haihtua sitoutunut vesi. Sitoutuneen veden poistamiseen tarvittava energiamäärä vesikiloa kohti saadaan käyttämällä kaavaa 11 (esitetty sivulla 29). Kosteussuhde 23 %:n kosteudessa on noin 0,3 ja 15 %:n kosteudessa kosteussuhde on noin 0,18. Kosteussuhteiden keskiarvo on 0,24. Yhtä vesikiloa kohti tarvitaan energiaa siis keskimäärin $2,036-4,524 \times 0,24$ kWh/kg, eli yhteensä noin 0,95 kWh/kg. Veden määrä hakkeessa 23 %:n ja 15 %:n kosteuksissa saadaan taas kertomalla kosteussuhteet kuiva-ai-
neen massalla ja vähentämällä ne toisistaan. Vettä poistuu siis 264,6 kg ja energiaa kuluu tähän noin 0,251 MWh.

Yhteensä veden poistamiseen 55 %:n kosteudesta 15 %:n kosteuteen kuluu energiaa siis 1,635 MWh/kuivaus. Kuivurin hyötysuhteen ollessa 30 % energiaa kuluu todellisuudessa 5,45 MWh/kuivaus. Kuivuria käytetään 2 kertaa viikossa 35 viikkona vuodessa, joten energiaa kuluu yhtenä vuotena kuivaamiseen 381,5 MWh. Taulukossa 4. on esitetty vapaan ja sidotun veden poistamiseen kuluva energia sekä kuivaukseen tarvittava kokonaisenergia kuivurin hyötysuhde huomioituna.

Taulukko 4. Hakkeessa olevan veden poistamiseen vaadittava energia

Vapaan veden määrä/kuivaus	2036,4 kg
Vapaan veden poistamiseen tarvittava energiamäärä/kuivaus	1,384 MWh
Sidotun veden määrä/kuivaus	264,6 kg
Sidotun veden poistamiseen tarvittava energiamäärä/kuivaus	0,251 MWh
Veden poistamiseen tarvittava kokonaisenergia/kuivaus	1,635 MWh
Kuivauksen energiantarve (hyötysuhde huomioituna)	5,45 MWh
Kuivauksien energiantarve vuodessa (hyötysuhde huomioituna)	381,5 MWh

Lämpöenergian hinnan ollessa 42 €/MWh kuivaukseen vuodessa tarvittava energia maksaa noin 15 940 €. Kun kuivurin kustannuksiin lasketaan mukaan työ-
kustannukset, niin kuivurin käyttökustannukseksi vuodessa saadaan 18 800 €. Kuivaamiseen kuluvan energian lisäksi rahaa kuluu kuivattavan hakkeen ostoon. Hakkeen hinta on 52,2 €/m³. Yksi kiintokuutio on noin 2,5 irtokuutiota, jolloin hakkeen hinnaksi irtokuutiota kohti saadaan 20,88 €. Haketta tarvitaan vuodessa 980

i-m³ eli hakkeen ostoon kuluu vuodessa 20 462 €. Yhteensä hakkeeseen ja kuivaukseen kuluu rahaa vuodessa noin 39 200 €. Hankitun kuivurin hinta oli 26 500 €. Vuodessa korkoa tulee 7 %, joten viiden vuoden takaisinmaksuajan aikana korkoa kertyy noin 10 670 €. Yhteensä viidessä vuodessa rahaa kuivurin ostoon ja korkoon sekä hakkeen hankintaan ja kuivaukseen kuluu yhteensä 233 190 € (taulukko 5).

Taulukko 5. Kuivauksen, hakkeen ja investoinnin kustannukset viiden vuoden aikana.

Energian, työn ja hakkeen hinta viidessä vuodessa	196 021 €
Investointi ja korko viiden vuoden aikana	37 167 €
Yhteensä viidessä vuodessa	233 189 €

Jotta investointikulut saataisiin maksettua viidessä vuodessa takaisin, tulee hakkeen myyntitulojen kattaa hakkeen ja kuivauksen kulut sekä kuivuri-investointi korkoineen. Kun viiden vuoden menot jaetaan viidessä vuodessa tuotetun kuivan hakkeen määrällä, saadaan kuivan hakkeen hinnaksi noin 47,6 €/i-m³.

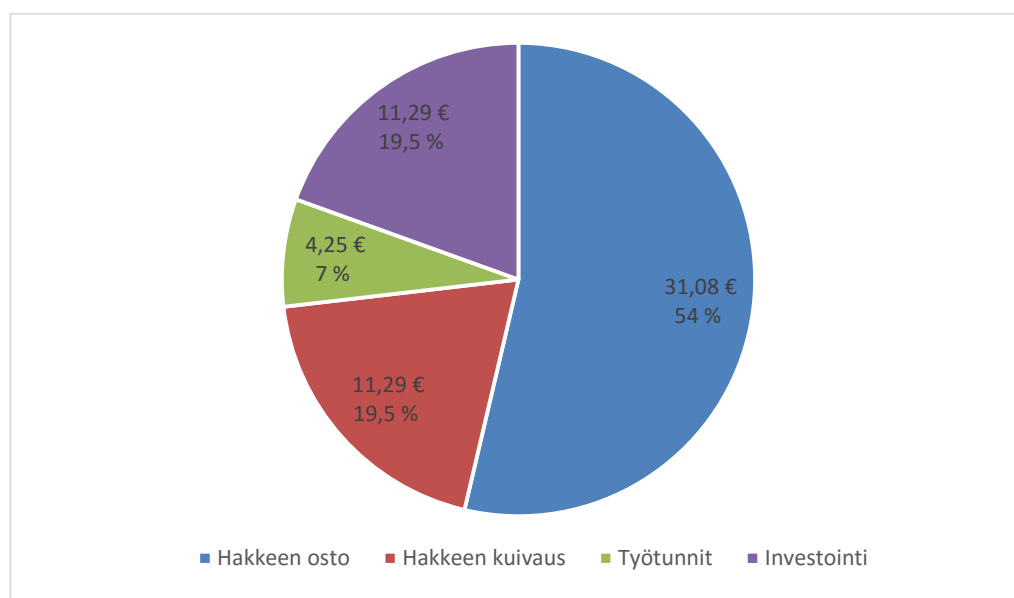
Jotta saadaan selville hakkeen hinta myös euroina megawattia kohti, täytyy selvittää hakkeen energiatiheys (kWh/i-m³) 15 %:n kosteudessa (taulukko 6). Hakkeen tehollinen lämpöarvo kilogrammaa kohti 15 %:n kosteudessa saadaan laskettua kaavalla 6 (esitetty sivulla 19). Mäntyhakkeen kuiva-aineen lämpöarvo on 19,2 MJ/kg. Hakkeen teholliseksi lämpöarvoksi 15 %:n kosteudessa saadaan 15,95 MJ/kg, joka vastaa 4,44 kWh/kg. Jotta saadaan laskettua yhden irtokuution massa 15 %:n kosteudessa, täytyy laskea hakkeen kuiva-aineen määrä irtokuutiota kohti eli hakkeen kuiva-tuoretiheys. Tämä saadaan jakamalla kuivuriin mahduttuvan hakkeen kuiva-aineen määrä kuivurin tilavuudella. Kuiva-tuoretiheydeksi tulee tällöin 157,5 kg/i-m³. Hakkeen tiheys 15 %:n kosteudessa saadaan jakamalla kuiva-tuoretiheys kuiva-aineen osuudella hakkeen kokonaismassasta eli 0,85:llä. Hakkeen tiheydeksi tulee tällöin 185,3 kg/i-m³, jolloin lämpöarvoksi irtokuutiometriä kohti saadaan 821,8 kWh/i-m³. Jakamalla tuotetun hakkeen hinta irtokuutiometriä kohti hakkeen tiheydellä saadaan hakkeen hinnaksi 57,9 €/MWh.

Taulukko 6. Hakkeen tiheys, lämpöarvo ja energiatiheys 15 %:n kosteudessa.

Hakkeen tiheys 15 % kosteudessa	185,3 kg/i-m ³
Hakkeen lämpöarvo 15 % kosteudessa	15,95 MJ/kg
	4,44 kWh/kg
Hakkeen energiatiheys 15 % kosteudessa	821,8 kWh/i-m ³

Hakkeen hinnaksi saadaan siis lopulta 47,6 €/i-m³ ja 57,9 €/MWh. Käytännössä tällä hinnalla haketta ei kuitenkaan pystyttäisi myymään, sillä voittoa näillä hinnoilla ei kerry ollenkaan. Laskelmassa saatu hakkeen hinta on myös vain suunta-antava, eikä sitä voida yleistää laajasti. Hakkeen hinta riippuu aina käytettävän kuivurin ominaisuuksista, lämpöenergian hinnasta sekä ostettavan hakkeen hinnasta.

Tässä laskelmassa suurin osuus hakkeen tuotantokustannuksista viiden vuoden aikana syntyi hakkeen hankinnasta (kuvio 2). Hakkeen kuivauksen ja investoinnin kustannukset olivat molemmat noin 20 % CHP-hakkeen tuotannon kokonaiskuluista. Työtuntien aiheuttamat kustannukset olivat 7 %. Käytännössä siis tuotettaessa 1 MWh:n verran haketta kustannuksia syntyy yhteensä 57,9 €, josta hakkeen ostoon kuluu 31,8 € ja hakkeen kuivaukseen 11,21 €. Työtuntien aiheuttamat kustannukset ovat 4,25 €, ja investoinnin kustannukset ovat 11,29 €



Kuvio 2. Yhden MWh:n kuivan hake-erän tuotantokustannukset.

4.3 Pien-CHP-laitoksen kannattavuus

Edellytyksiä pien-CHP-laitoksen kannattavuudelle ovat muun muassa laitoksen kohtuulliset investointikustannukset, teknologian toimintavarmuus sekä toimiva automaatio, joka mahdollistaa laitoksen miehittämättömän käytön. Polttoaineen hintatason pitää olla myös tarpeeksi alhainen ja vakaa. Laitoksen kannattavuus kasvaa, mitä suurempi osuus laitoksen tuottamasta energiasta pystytään käyttämään itse. (Takalo 2013, 28.) Etenkin tuotettavan sähkön käyttäminen on olennaista. Tällä hetkellä sähkön myyminen verkkoon ei ole kannattavaa, sillä myyntisähköstä ei makseta tarpeeksi ja sähköverkkoon liittyminen voi myös alueesta riippuen maksaa jopa 50 000 €/liittymä. (Pesola, Vanhanen, Hagström, Karttunen, Larvus, Hakala & Vehviläinen 2014, 22.)

Pien-CHP-laitoksen kannattavuuteen vaikuttaakin olennaisesti ostosähkön hinta, sillä itse käytettynä CHP-laitoksen sähköntuotanto korvaa verkosta ostettavaa sähköä. Ostosähkön hintaan sisältyvät sähkönhinnan ja siihen liittyvän arvonlisäveron lisäksi myös sähkönsiirtomaksut sekä siirtoon lisättävä sähkövero. Tällä hetkellä pohjoismainen markkinasähkö on varsin edullista, mikä heikentää pien-CHP-laitosten kannattavuutta. Myös muiden polttoaineiden hinta ja verotus vaikuttavat CHP-laitoksen kannattavuuteen verrattaessa sitä muihin energiamuotoihin. (Pesola ym. 2014, 15, 22.)

5 CHP-hakkeen markkinatutkimus

Vielä tällä hetkellä pien-CHP-laitokset eivät ole Suomessa yleisiä. Tarkkaa lukumäärää on vaikeaa arvioida, sillä Suomessa ei ole kattavasti tilastoitua tietoa pien-CHP kapasiteetista teknologioittain tai kokoluokittain. Kiinnostus kuitenkin etenkin puuta polttoaineena käyttäviä pien-CHP-laitoksia kohtaan on kasvussa, sillä energiaomavaraisuutta pidetään tärkeänä asiana. Kotimaiset laitostoimittajat arvioivat markkinoiden kasvavan lähivuosien aikana Suomessakin,

mutta erityisesti ulkomailla. Varsinaisen liiketoiminnan kasvun oletetaan tulevan vientimarkkinoilta. (Pesola ym. 2014, 8 - 9.)

Volter Oy on tällä hetkellä yksi harvoista kotimaisista pien-CHP-laitosten valmistajista Suomessa. Tuotekehityksen ja hajautetun energiantuotannon suosion kasvun myötä Volter Oy:n liiketoiminta on kasvanut viime vuosina merkittävästi ja vuonna 2014 liikevaihto oli 1,2 miljoonaa euroa (Kauppalehti). Tärkeimmät vientimaat ovat tällä hetkellä Iso-Britannia ja Japani ja vuonna 2015 noin 95 % liikevaihdosta meni vientiin (Taaleri tukemaan... 2016). Muita kotimaisia yrityksiä, jotka valmistavat tai ovat valmistaneet puukaasulla toimivia pien-CHP laitoksia viime vuosina, ovat Gasek Oy, Entimos Oy ja Ekogen Oy. Entimos Oy valmistamat CHP-laitokset ovat kooltaan 1-7 MW laitoksia (Entimos). Gasek Oy:llä ei tuotevalikoimassa tällä hetkellä ole ollenkaan CHP-laitoksia. Gasek Oy kuitenkin myy kaasutintaan OEM-kumppaneilleen, jotka voivat rakentaa sen ympärille CHP-laitoksen. (Gasek.) Ekogen Oy taas hakeutui konkurssiin vuonna 2014 (Lappalainen 2015).

5.1 Tutkimuksen toteutus

Markkinatutkimuksen ja haastatteluiden tarkoituksena oli kartoittaa CHP-hakkeen markkinoita. Tavoitteena oli selvittää, minkä verran Suomessa on pien-CHP-laitokseen sopivan hakkeen tuottajia ja käyttäjiä, sekä selvittää tämänhetkisiä CHP-hakkeen hintatietoja. Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää ostajien käsityksiä nykyisistä markkinoista ja siitä miten CHP-laitokset tällä hetkellä hankkivat polttoainehakkeensa.

Markkinatutkimus rajattiin käsittelemään vain kaasutukseen sopivan pien-CHP-hakkeen markkinoita. Tutkimuksessa pääpaino oli myös nimenomaan Volter Oy:n CHP-laitoksissa. Tutkimuksessa kartoitettiin vain Suomen markkinoita, mutta Suomen sisällä aluerajauksia ei ollut.

Tutkimus ja haastattelut toteutettiin keväällä 2016. Tutkimusaineiston kerääminen aloitettiin kartoittamalla Suomessa sijaitsevia pien-CHP-laitoksia. Tietoja

Suomessa sijaitsevista pien-CHP-laitoksista saatiin Karelia-ammattikorkeakoululta, Volter Oy:n toimitusjohtajalta Jarno Haapakoskelta ja Vaasan Energiainstituutin tutkimusjohtajalta Erkki Hiltuselta. Lisäksi yksi CHP-laitos löytyi Talotekniikka-lehdessä julkaistun artikkelin perusteella. Tietoja hakkeen tuottajista saatiin Karelia-ammattikorkeakoululta sekä pien-CHP-laitosten omistajilta.

Pien-CHP-laitoksien sijainteja ja yhteystietoja löytyi yhteensä neljä kappaletta. Kaikki neljä CHP-laitoksen omistajaa vastasivat haastattelukysymyksiin. Tarpeeksi hyvälaatuisen hakkeen tuottajia löytyi kaksi kappaletta, joista molemmat vastasivat haastattelukysymyksiin. Tutkimukseen osallistuneet CHP-laitokset ja hakkeen tuottajat sijaitsivat joko Pohjois-Karjalassa tai Pohjois-Pohjanmaalla.

Tutkimus toteutettiin sähköposti- ja puhelinhaastatteluina. Kysymykset lähetettiin ensin sähköpostilla, johon vastaajat vastasivat joko suoraan sähköpostilla tai puhelinhaastatteluaika sovittiin myöhemmäksi.

CHP-laitosten omistajille osoitetuissa haastattelukysymyksissä tiedusteltiin laitoksen ja hakkeen tietoja sekä myös omaa mielipidettä CHP-laitoksen kannattavuudesta. CHP-laitoksesta selvitettiin merkki ja laitteiston koko sekä kuinka kauan CHP-laitos on ollut toiminnassa ja kuinka paljon on ollut käyttökatkoja. Käytettävän hakkeen osalta selvitettiin, mistä laitoksen polttoainehake saadaan, ostetaanko suoraan kuivaa haketta tuottajalta, haketetaanko tai kuivataanko itse ja miksi ostaja päätyi juuri tähän ratkaisuun. Haastattelukysymyksissä kysyttiin myös, kuinka paljon laitoksen käyttämä polttoainehake maksaa ja minkälaisia laatuun liittyviä ongelmia on ollut. Viimeisenä kysyttiin vielä mielipidettä laitteiston kannattavuudesta verrattuna esimerkiksi johonkin toiseen energiamuotoon. CHP-laitosten omistajille osoitetut haastattelukysymykset on esitetty liitteessä 2.

Hakkeen tuottajille osoitetuissa haastattelukysymyksissä selvitettiin CHP-hakkeen tuotantomääriä ja CHP-hakkeen myyntihintaa sekä CHP-hakkeen tuotantoon liittyviä haasteita verrattaessa normaalin hakkeen tuotantoon. Haastattelussa selvitettiin myös syitä miksi vastaaja alkoi valmistaa myös CHP-haketta

sekä mielipidettä yleisesti hakkeen markkinoista nyt ja tulevaisuudessa. Hakkeen tuottajille osoitetut haastattelukysymykset on esitetty liitteessä 3.

Haastattelukysymysten määrän haluttiin pitää suhteellisen matalana, koska vähäisen haastateltavien määrän vuoksi oli tärkeää, että mahdollisimman moni vastaisi kyselyyn.

5.2 Tutkimustulokset

Kaikilla haastatelluilla CHP-laitosten omistajilla on käytössään Volter Oy:n CHP-laitteisto. Kolmella on Volterin uudempi malli, jossa sähköteho on 40 kW ja lämpöteho 100 kW. Yhdellä on käytössään vanhempi ja pienempi versio, jonka sähköteho on 30 kW ja lämpöteho 80 kW.

Vanhin laitos on asennettu syksyllä 2013, mutta se on hankittu lähinnä tutkimuskäyttöön ja ollut käytössä vain parin viikon jaksoja kerrallaan. Yhtenä ongelmana käytölle on ollut laitoksen soveltumattomuus vanhan lämmitysratkaisun yhteyteen, ja tällä hetkellä heillä on käytössä muu energiantuotantomuoto.

Yksi laitos on otettu käyttöön tammikuussa 2014. Ensimmäisenä vuonna laitos oli toiminnassa 6 100 tuntia ja toisena vuotena 7 500 tuntia. Ensimmäisenä vuonna laitteen käyttökatkoja oli enemmän johtuen kosteasta hakkeesta ja kuumasta heinäkuusta. Eräs toinen tutkimukseen sisältyneistä CHP-laitoksista otettiin käyttöön joulukuussa 2014. Käyttökatkoja on ollut useita, ja yksi niistä kesti yli viikon.

Uusin tutkimukseen osallistunut laitos on hankittu marraskuussa 2015. Laitos on hankittu pääasiassa opetus- ja tutkimuskäyttöön. Laitoksen moottorinkäyttöaika oli ollut tammikuuhun mennessä noin 1 000 tuntia. Laitteisto on ollut poissa käytöstä välillä hakkeesta johtuvien ongelmien vuoksi ja välillä ihan tarkoituksellakin.

Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevat CHP-laitoksen omistajat ostivat hakkeensa alueella sijaitsevalta energiantuotantolaitokselta, jonka toimintaa kuului energiantuotannon lisäksi myös kuivan hakkeen tuotanto. Pohjois-Karjalan alueella haketta tuottaa pienempi hakeyrittäjä, jolta Pohjois-Karjalan alueen CHP-laitokset ostavat hakkeensa. Yksi CHP-laitoksen omistaja kuivaa hakkeensa itse ja ostaa raaka-aineen ja haketuksen paikallisilta asukkailta. CHP-laitoksen omistajat, jotka ostavat hakkeen valmiiksi tarpeeksi kuivana, kertoivat hakkeen tuottajan valinnan syyksi sen, että muilta ei saa tarpeeksi laadukasta haketta.

Hakkeen hinta vaihteli 35 €/MWh ja 59,6 €/MWh välillä. Hake on Pohjois-Pohjanmaalla huomattavasti halvempaa ja maksaa noin 35 €/MWh. Pohjois-Karjalassa hake maksaa noin 59,6 €/MWh. Tilattavien hakekuormien koko vaihteli 5 - 6 tonnista 15 - 16 i-m³:in. Yksi CHP-laitoksen omistaja osti rangan ja haketuksen erikseen ja kuivasi hakkeen itse laitoksen hukkalämmöllä. Hakkeen hinta tällöin oli noin 32 €/i-m³. Hakkeen raaka-aine on karsittua rankaa jota ostetaan 1 - 150 m³ kerralla.

Kolme neljästä haastatelluista hakkeen käyttäjästä osti hakkeen valmiiksi kuivana. Kuten edellä jo mainittiin, yksi CHP-laitoksen omistajista ostaa rangan ja haketuksen erikseen ja kuivaa hakkeensa itse. Ensin hake ostettiin kuivana, mutta nyt vuoden ajan hake on kuivattu oman laitoksen hukkalämmöllä. Raaka-aine ja haketus ostetaan lähiseudun asukkailta.

Hakkeen laatuun liittyvät ongelmat johtuivat joko märästä hakkeesta, väärästä palakoosta tai sitten hakkeen likaisuudesta. Hakkeen tikkuisuus ja liian suuret hakepalat tuntuivat olevan suurempi ongelma kuin hakkeen liian suuri kosteus. Myös suuri hienoainepitoisuus hakkeessa oli aiheuttanut ongelmia yhdelle CHP-laitoksen omistajalle.

Kysyttäessä laitoksen kannattavuudesta kaksi CHP-laitoksen omistajaa sanoi, että laitos ei ole kannattava verrattaessa muihin mahdollisiin lämmitysmuotoihin. Näissä kahdessa kohteessa täytyy ottaa huomioon, että kiinteistö voisi lämmitä

myös kaukolämmöllä. Yksi CHP-laitoksen omistaja uskoi laitoksen pitkällä aikavälillä olevan kuitenkin kohtuullisen kannattava.

Haastatteluun osallistui kaksi hakkeen tuottajaa. Pohjois-Pohjanmaalla haketta tuotti suurehko energiantuotantolaitos, mutta haastatteluissa selvisi, että he ovat lopettaneet hakkeen tuottamisen maaliskuun 2016 aikana. Toinen hakkeen tuottaja on Pohjois-Karjalan alueella oleva pientuottaja.

Pohjoiskarjalalainen yrittäjä valmisti vuonna 2015 CHP-laitokseen sopivaa haketta 150 m³. Hakkeen hinta on noin 59,6 €/MWh. Tuottaja päätti aloittaa CHP-hakkeen tuottamisen olemassa olevan kuivurin tehokkaamman hyödyntämisen takia sekä myös parempilaatuisen hakkeen kysynnän vuoksi. Haastavinta hakkeen tuottamisessa oli hänen mukaansa hakkeen kosteus ja lastukoko. CHP-hakkeen tuotanto on hetkellä todella pientä, joten se ei vaikuta juurikaan liikevaihtoon. Hän toivoi kuitenkin kysynnän lisääntyvän, kun uusia laitoksia tulee.

Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva tuottaja tuotti haketta noin 1 500 MWh vuodessa. Hakkeen myyntihinta oli noin 33 €/MWh, johon lisättiin vielä noin 4 - 5 € kuljetusmaksuja. Hakkeen valmistuksen tavoitteena oli kehittää itse kuivuria ja saada kuivahakkeelle markkinoita yhteistyössä Volter Oy:n kanssa. Haasteellisimmaksi asiaksi hakkeen tuotannossa he kokivat kuivauksen ja energiankulutuksen optimoinnin. Heillä tuli herkästi liian kuivaa haketta, jolloin energiaa kuluu turhaan.

Liiketoiminnasta yleensä haastateltava oli sitä mieltä, että haketta kannattaa kuivata vain kun lämpöenergiaa on edullista tuottaa enemmän kuin normaalikaukolämpötarve on. Hukkalämmöllä kuivaus oli mahdollista vain osan aikaa vuodesta, ja silloinkin pitäisi olla kuiva ja lämmin prosessitila. Heillä ei ollut tarvittavia tiloja, eikä varastotilaa valmiille hakkeelle. Markkinoiden kehittyminen ei myöskään heidän alueellaan mahdollistanut lisäinvestointien tekemistä, joten he luopuivat hakkeen tuotannosta. Kuivuri on nyt sijoitettu muualle, ja tuotanto jatkuu toisen toimijan toimesta alueella.

5.3 Tutkimustulosten tulkinta

Haastateltavien määrän vähäisyyden takia, kovin yleistettävissä olevia johtopäätöksiä vastausten perusteella ei pystytä tekemään. Haastateltujen henkilöiden CHP-laitosten käyttötarkoituksin vaihteli. Kaksi laitosta oli hankittu pääasiassa tutkimuskäyttöön, jolloin esimerkiksi laitoksen kannattavuus ei ollut välttämättä päällimmäinen asia laitoksen hankinnassa.

Tutkimuksessa kuitenkin vahvistui käsitys siitä, että tällä hetkellä CHP-hakkeen markkinat ovat todella pienet. Tarpeeksi laadukkaan hakkeen tuottajia ei löytynyt kuin yksi Pohjois-Karjalan alueelta ja yksi Pohjois-Pohjanmaalta. Puukaasulla toimivia CHP-laitoksien omistajiakin haastateltaviksi löytyi hyvin vähän.

Oletuksena hakkeen laatuun liittyen oli, että hakkeen laadusta aiheutuvien ongelmien syinä olisi hakkeen väärä kosteus ja palakoko. Näin osittain olikin, mutta hakkeen käyttäjien vastauksista päätellen vaikuttaa siltä, että palakoko on tällä hetkellä suurempi ongelma kuin kosteus. Kosteus saattoi alkuun aiheuttaa ongelmia, mutta sitä on pystytty palakoko helpommin säätämään oikeaksi. Ainoastaan yhdelle kolmesta CHP-laitoksen omistajista palakoko ei ollut aiheuttanut ongelmia. Hakkeessa saattaa usein olla suurempia paloja ja tikkuja. Liian vanhaa puuta hakettaessa hienoaineksen määrä myös nousee liian suureksi. Yksi haastatteleistani CHP-laitoksen omistajista oli myös joutunut vaihtamaan hakkeen tuottajaa, koska hakkeen palakoko ei ollut vastannut CHP-laitteiston laatuvaatimuksia. Haastatellun hakkeen tuottajan mukaan hakkeen palakoko saataisiin paremmaksi paremmalla hakkurilla, mutta hakkuriin investointi ei kannata markkinoiden ollessa näin pienet. Kosteuden ja palakoon lisäksi hakkeessa olevat epäpuhtaudet olivat myös aiheuttaneet satunnaisia ongelmia kahdelle CHP-laitoksen omistajalle.

Yllättävää tutkimuksen tuloksissa oli se, että kolme neljästä CHP-laitoksen omistajasta ei pitänyt laitosta rahallisesti kannattavana ja se oli tiedetty jo ennen laitoksen hankintaa. Tässä kohtaa tosin täytyy huomioida, se että nämä laitokset sijaitsivat alueella, jossa kaukolämpökin olisi ollut mahdollinen ja todennäköisesti kannattavampi vaihtoehto. Yksi CHP-laitoksen omistaja uskoi kuitenkin laitteiston

osoittautuvan 15 vuoden aikana jokseenkin kannattavaksi. Vastauksista voidaan kuitenkin päätellä, että rahallinen kannattavuus ei ole syynä CHP-laitoksen hankintaan. Energiaomavaraisuus, ympäristöystävällisyys ja lähialueen talouden tukeminen ja parantaminen ovat muun muassa syitä CHP-laitoksen hankintaan.

Tuottajien mielipiteet hakkeen markkinoista erosivat hieman. Kumpikaan ei suhtautunut erittäin negatiivisesti tai epäillen markkinoiden kasvuun ja hakkeen tuotannon kannattavuuteen yleisesti, mutta suureen ja nopeaan markkinoiden kasvuun ei silti uskota. Pohjois-Karjalan alueella tuottaja totesi CHP-hakkeen osuuden liiketoiminnasta olevan vielä pientä, mutta hän uskoi kuitenkin CHP-laitosten ja CHP-hakkeen myynnin kasvavan alueella. Uuteen hakkuriin investoiminen ei kuitenkaan ollut näillä markkinoilla vielä kannattavaa. Pohjois-Pohjanmaalla taas tuottajan mukaan hakkeen markkinat eivät olleet kasvaneet niin paljon kuin ehkä olisi toivottu, jolloin tuotanto ei ollut kannattavaa ja tuotanto on nyt päätetty lopettaa. Osittain tämä johtui myös nykyisien tuotantotilojen sopimattomuudesta CHP-hakkeen varastointiin, mutta nykyiset markkinat eivät kuitenkaan heillekään mahdollistaneet lisäinvestointien tekemistä.

Hakkeen myyntihintojen ero tuottajien välillä on suuri. Pohjois-Pohjanmaalla hake maksoi noin 35 €/MWh, kun taas Pohjois-Karjalassa hakkeen hinta oli 49 €/MWh. Vaikka Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva tuottaja päättikin lopettaa CHP-hakkeen tuotannon sen kannattamattomuuden vuoksi, niin hintaerosta voisi kuitenkin päätellä, että suuremmilla tuotantomäärillä ja hukkalämpöä edes osan aikaa vuodesta hyödyntämällä hintaa saadaan laskettua alapäin. Markkinoiden pienuus ei kuitenkaan anna tällä hetkellä mahdollisuuksia hakkeen suurtuotantoon, jolloin myös CHP-hakkeen hinta on korkea.

Pohjoispohjanmaalaisen tuottajan päätös lopettaa CHP-hakkeen tuotanto kuvastaa mielestäni myös tämän hetkistä CHP-hakkeen markkinoiden epävarmuutta. Tällä hetkellä tarpeeksi hyvälaatuisen hakkeen tuottajia on vähän, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että jos hakkeen tuottaja päättää lopettaa hakkeen tuotannon, polttoaineen saaminen vaikeutuu, koska tarpeeksi hyvälaatuista haketta ei käytännössä tuota kukaan muu.

5.4 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksessa ja haastatteluissa saadut vastaukset ovat luotettavia, mutta haastateltavien pienen määrän vuoksi tuloksia ei voida yleistää. Tutkimuksen ulkopuolelle jääneiden puukaasulla toimivien pien-CHP-laitoksien sekä CHP-hakkeen tuottajien määrää on myös vaikea arvioida.

6 Pohdinta

Tällä hetkellä pien-CHP-laitoksia ja CHP-hakkeen tuottajia on Suomessa vielä todella vähän ja markkinat ovat pienet. Ongelmana onkin, että ilman paikallista CHP-hakkeen tuotantoa ei pien-CHP-laitoksiakaan voi alueella olla polttoaineen tuotannon puuttumisen vuoksi. Hakkeen tuottajan ei kuitenkaan kannata investoida hakekuivuriin ja CHP-hakkeen valmistukseen ilman varmoja ja tarpeeksi isoja markkinoita.

Hakkeen hinta on korkealla ja hintahaarukka on suuri. Uusia ratkaisuja ja toimintamalleja hakkeen tuotannossa tuleekin tutkia ja kehittää. Olennaista olisi selvittää millaisessa tilanteessa hakeyrittäjän on kannattavaa lähteä laajentamaan toimintaansa CHP-hakkeen tuotantoon ja miten CHP-hakkeen hinta saadaan mahdollisimman alhaiseksi. Yleisesti ottaen voisi olla kannattavampaa rakentaa suurempia terminaaleja, joissa voitaisiin käsitellä suurempia hake-eriä ja samalla myös muita biopolttoaineita. Isojen terminaalien perustamisen haasteina ovat kuitenkin suuret perustamiskustannukset sekä sopivan paikan löytäminen. Terminaalille sopivan paikan pitää olla tarpeeksi iso ja sen tulee olla tarpeeksi lähellä polttoaineen käyttöpaikkaa. Terminaalille tulisi olla myös hyvät liikenneyhteydet, mutta haketuksessa syntyvän melun ja pölyn vuoksi terminaali ei voi myöskään olla asutuksen välittömässä läheisyydessä. (Väkeväinen, 4 - 5.)

Erilaisia bioterminaaliselvityshankkeita on ollut vajaan kymmenen vuoden aikana useita. Hukkalämpöä hyödyntävää biopolttoaineterminaalien mahdollisuuksia tut-

kittiin Oulun seudulla vuosina 2012 - 2014 Hukkalämpöä hyödyntävä biopolttoaineterminaali -hankkeessa. Hankkeen seurauksena alueelle rakennettiinkin biopolttoaineterminaali lämpölaitoksen yhteyteen. (Pääkkönen 2015.) Myös Pohjois-Karjalan alueella on tehty Biostuli-hankkeen yhteydessä vuosina 2009 - 2010 selvitys mahdollisista paikoista biopolttoaineterminaalille (Väkeväinen). PIKES taas teki Valtimon alueelle selvityksen bioterminaalimahdollisuuksista vuonna 2011 (Seppänen 2011). Myös Keski-Suomen alueella tehtiin vuonna 2009 selvitys, minkä jälkeen Pihtiputaalle rakennettiin terminaali (Impola & Tiihonen 2011).

Kaikista paras tilanne on, jos terminaalissa pystytään hakkeen kuivauksessa hyödyntämään lähialueella sijaitsevien teollisuus-, lämpö- tai CHP-laitosten hukkalämpöä. Edellytyksenä hukkalämmön hyödyntämiselle on se, että lämmönlähteen täytyy olla lähellä, jotta lämpö on hyödynnettävissä kannattavasti (Väkeväinen, 4 - 5). Hukkalämmön hyödyntämisestä on hyötyä myös hukkalämpöä tuottavalle yritykselle. Lämmön myymisen lisäksi hukkalämmön hyödyntäminen parantaa hukkalämpöä tuottavan laitoksen energiatehokkuutta, ja suurissa laitoksissa tämä mahdollistaa myös hiilidioksidipäästöoikeuksien myynnin sellaiselle teollisuudelle, joka niitä tarvitsee. (Pääkkönen 2015, 2.)

Energiantuotannossa hukkalämpöä syntyy vain osan aikaa vuodesta, minkä vuoksi haketta ei voida tuottaa yhtä kannattavasti ympäri vuoden. Teollisuudessa monilla aloilla hukkalämpöä kuitenkin tulee vuoden ympäri yli oman lämmitystarpeen. Teollisuudessa syntyvää hukkalämpöä on kuitenkin lämpötilaltaan eriasteista ja tulevaisuudessa pitäisikin selvittää kuinka lämmintä hukkalämmön täytyy olla, jotta sitä on kannattavaa käyttää hakkeen kuivaamiseen ja pystyttäisiinkö hakkeen kuivauksessa hyödyntämään myös matalalämpöistä hukkalämpöä, joko pelkästään tai yhdistettynä lämpöpumppuun.

Oleellisimpana edellytyksenä markkinoiden kasvulle ja hakkeen tuotannon kannattavuudelle kuitenkin on, että hakkeen kysyntä tulevaisuudessa kasvaa. Puukaasulla toimivien pien-CHP-laitosten määrä tuskin voi kasvaa niin korkeaksi, että kuivan laadukkaan hakkeen tuotanto voisi rakentua sen varaan. Tämän

vuoksi onkin tärkeää löytää myös muita mahdollisia käyttäjiä kuivalle ja laadukkaalle hakkeelle, jotta hakkeen kysyntä ja tuotantomäärät kasvaisivat ja hinnat laskisivat.

Mikäli hakkeen hinta saadaan tarpeeksi alas, niin myös pienet lämpölaitokset voisivat olla kiinnostuneita ostamaan kuivaa haketta. Kuivan hakkeen lämpöarvo on parempi, jolloin laitoksen hyötysuhde nousee korkeammaksi ja haketta täytyy ostaa tilavuudeltaan vähemmän. Hinta ei kuitenkaan saisi olla paljon korkeampi kuin normaalin hakkeen, sillä ostajan ei kannata ostaa laadukkaampaa ja samalla kalliimpaa haketta, kuin mitä hän tarvitsee. (Jalovaara 2013.) Hakkeella toimivien lämpölaitosten lisäksi haketta voitaisiin käyttää myös turvetta ja biopolttoainetta käyttävissä laitoksissa, joissa se sopisi joko priimauspolttoaineeksi säätämään polttoaineseoksen kosteus kattilan suunnitteluarvoja vastavaksi tai sitä voitaisiin käyttää öljyn sijasta kattilan tukipolttoaineena. Kuivalla hakkeella voitaisiin korvata myös voimalaitosten käynnistys- ja varapolttoaineena käytettävää öljyä. Laadukas kuiva hake saattaisi sopia myös biohiilen ja pelletin raaka-aineeksi. (Jalovaara 2013; Niemitalo 2012, 2.) Kaikissa näissä vaihtoehtoissa olennaista on selvittää, kuinka paljon kenenkin kannattaa maksaa kuivemmasta hakkeesta ja pyrkiä kehittämään ratkaisuja, joilla hakkeen hinta saataisiin vastaamaan tätä hintaa.

Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>. 20.4.2014.
- Alakangas, E. & Impola, R. 2014. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT-M-0760813 – päivitys 2014. http://energia.fi/sites/default/files/paivitetty_puun_polttoaineidenlaatuohje2014_lisays_0.pdf. 16.3.2016.
- Alpua, Jussi. 2011. biopolttoaineen kuivausvoimalaitoksessa. Diplomityö. TTY. <http://docplayer.fi/8579329-Jussi-alpua-biopolttoaineen-kuivausvoim%20malaitoksessa.html>. 18.4.2016.
- Basu, P. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis - Practical Design and Theory. Elsevier.
- Bioenergiapörssi. Puu polttoaineena. <http://www.bioenergia-porssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/puu-polttoaineena>. 20.4.2016.
- Carlos, L. 2005. High temperature air/steam gasification of biomass in an up draft fixed bed batch type gasifier. Doctoral thesis. Stockholm: KHT. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:7957/FULLTEXT01.pdf> 14.5.2016.
- Energiateollisuus. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/sahkon-ja-lammon-yhteistuotanto>. 8.1.2016.
- Enggcyclopedia - Types of Gasifier. 2012. <http://www.enggcyclopedia.com/2012/01/types-gasifier/>. 8.4.2016.
- Entimos. Tuotteet. <http://www.entimos.fi/tuotteet.htm>. 25.3.2016.
- Etelätalo, E. 2013. Erilaatuisten hakkeiden käyttökohdevaatimuksista ja tuotantokustannuksista. <http://www.forestenergy.org/openfile/466>. 18.4.2016.
- Fernandez Pales, A. 2013. The IEA CHP and DHC Collaborative CHP/DHC Country Scorecard: Finland. International Energy Agency Publications. https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/FinlandScorecard_FINAL.pdf. 8.1.2016.
- Filén, H. Jantunen, M. & Salo, K. 1984. Kotimaisten polttoaineiden kaasutus. Osa 1. Vastavirtakaasutus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- Flyktman, M. Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. <http://docplayer.fi/146087-Ymparistoministerio-kotimaista-polttoainetta-kayttavien-0-5-30-mw-kattilalaitosten-tekniset-ratkaisut-seka-palamisen-hallinta.html>. 8.4.2016.
- Gasek. Tuotteet. <http://www.gasek.fi/products>. 23.3.2016.
- Granö, U-P. Hyvälaatuista raaka-ainetta biomassan kaasutukseen. 2013. http://www.ifaj.org/fileadmin/filedb/a/2013/20131007_UG_Hyv%C3%A4laatuista_raakaainetta_biomassan_kasutukseen.pdf. 7.1.2016.
- Haapakoski, J. 2016. Toimitusjohtaja. Volter Oy. Haastattelu 17.03.2016.

- Haavisto, T. 2010. Puupolttoaineisiin perustuvat pien-CHP tekniikat. http://www.karelia.fi/biostuli/materiaalit/Pien-CHP-kat_saus_raportti_v11.pdf. 28.3.2016.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. Helsinki:Gummerus.
- Heinonen, M. 2010. 2000-luvun höyryturbiinit. Kandidaatintyö. LUT Energia <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69180/nbnfi-fe201103301396.pdf?sequence=3>. 17.4.2016.
- Helynen, S., Hongisto, M. ym. 2004. Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset: Energian käytön ja tuotannon teknologiset näkymät. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. Helsinki: Otava Kirjapaino Oy.
- Härkönen, M. 2012. Puun polttoainekäyttö pienissä aluelämpölaitoksissa. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-6602-34-9>. 3.3.2016.
- Ihalainen, T. & Niskanen, A. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjussa. Metlan työraportteja. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.pdf>. 9.4.2016.
- Impola, R. & Tiihonen, I. 2011. Biopolttoaineterminaalit - Ohjeistus terminaalien perustamiselle ja käytölle. http://docplayer.fi/169895-Terminaalika_sikirja-vtt-r-08634-11-biopolttoaineterminaalit-ohjeistus-terminaalien-perustamiselle-ja-kaytolle-impola-risto-tiihonen-ismo.html. 20.4.2016.
- Jalovaara, J. 2013 Kuivan laatuhaakkeen markkinatutkimus. http://www.micropolis.fi/files/greenpolis/hankkeet/bioterm/kuivan_laatuhaakkeen_markkinatutkimus-rejlers_oy.pdf. 28.3.2016.
- Karjalainen, T. 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilan nekatseaus - laitteet ja niiden käyttöönotto. <http://www oulu.fi/sites/default/files/content/files/Pien%20CHP%20raportti.pdf>. 8.1.2016.
- Kauppalehti. Yritykset: Volter Oy. <http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/volter+oy/11061431>. 20.4.2016.
- Kauppinen, V.-P. 2014. Puupolttoaineen kuivuriopas. Suomen Metsäkeskus. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy. <http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/kuivuriopas-web.pdf>. 20.4.2016.
- Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylän Teknologiateollisuus Oy. Helsinki: Gummerus.
- Kuitto, P.-J. 2004. Metsästä polttoaineeksi - Polttohaakkeen tuotannon puoli vuosisataa. FINBIO - Suomen bioenergiayhdistys ry. Jyväskylä: ER Paino Oy.
- Lappalainen, E. 2015. Usko loppui: Nämä 8 julkista rahaa saanutta startupia tekivät viime vuonna konkurssin. Talouselämä. <http://www.talouselama.fi/kasvuyritykset/usko-loppui-nama-8-julkista-rahaa-saanutta-startupia-tekivat-viime-vuonna-konkurssin-3364220>. 24.3.2016.
- Lappalainen, I. 2007. Puupolttoaineiden pienkäyttö. Tekes. Espoo: Frenckellin kirjapaino Oy. <https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puupolttoaineet.pdf>. 17.2.2016.

- Luonnonvarakeskus. 2016. Puuenergiankäyttö 2015 (ennakko). http://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2015-ennakko_fi. 17.4.2016.
- Maaskola, I. & Kataikko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen - Lämpöpumppu- ja ORC – sovellukset. http://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu_ja_ORC-sovellukset.pdf. 29.1.2016.
- McKendry, P. 2001. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource Technology. <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMC233/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1/Energy%20production%20from%20biomass%20Part%203%20gasification%20technologies%202002.pdf> 14.5.2016.
- Motiva. 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökertoimet sekä energian hinnat. Energiatehokkuussopimukset. http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf. 20.4.2016.
- Motiva. 2014a. Pien- CHP. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/pien-chp. 6.1.2016.
- Motiva. 2014b. Polttomoottori. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/polttotekniikka_nestemaisille_polttoaineille/polttomoottori 19.4.2016.
- Motiva. 2014c. Puukaasureaktori. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/puukaasureaktori. 25.2.2016.
- Motiva. 2014d. Kaasuturbiini. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/polttotekniikka_kaasumaisille_polttoaineille/kaasuturbiini. 17.4.2016.
- Niemitalo, V. 2011. Hakkeen kuivaus; Yhteenvetoa eri koe- ja tutkimustoiminnasta. <http://docplayer.fi/385024-Hakkeen-kuivaus-yhteenvetoa-eri-koe-ja-tutkimustoiminnasta.html>. 20.3.2016.
- Nissilä, M. & Sarsama, J. 2013. Polttokennosovellusten ja vetytankkauksen turvallisuuden varmistaminen - säädöksiä ja standardeja. Espoo: VTT Technology. https://www.tekes.fi/globalassets/global/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat/polttokennot/aineistot/polttokennosovellusten_ja_vetytankkauksen_turvallisuuden_varmistaminen.pdf. 17.2.2016.
- Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea. 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050 - Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. https://www.tem.fi/files/42599/Energia-ja_ilmastotiekartta_2050.pdf. 8.1.2016.
- Pesola, A., Vanhanen, J., Hagström, M. Karttunen, V., Larvus, L., Hakala, L. & Vehviläinen, I. 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyky ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. [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). 27.3.2016.

- Pääkkönen, P. 2015. Hukkalämpöä hyödyntävä biopolttoaineterminaali. http://hankerekisteri.fi/sisalto/raportit/Hukkalampoa_hyodyntava_biopolttoaineterminaali_LR.pdf. 28.3.2016.
- Quaak, P., Knoef, H. & Stassen, H. 1999. Energy from Biomass – A review of combustion and gasification technologies. World Bank Technical Paper no. 422. Energy series. http://www-wds.worldbank.org/servelet/WDSContentServer/IW3P/IB/2000/07/08/000094946_99033105581764/Rendered/PDF/multi_page.pdf. 14.5.2016.
- Raiko, R. Saastamoinen, J. Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Roitto, J. 2014. Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen. <http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=dfcff301-0665-435e-81a2-b04daeb99593>. 20.4.2016.
- Savolainen, M. Stirling-moottori. http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/stirlingmarkku_savolainen.pdf. 29.1.2016.
- Seppänen, N. 2011. Valtimon biotermiini. Pielisen Karjalan Kehittämiskeskus Oy. http://www.pikes.fi/documents/757708/2962418/Valtimon_bieterminaali_PKBEV.pdf/83bd641e-83cc-49bf-a856-c50eb3932d28. 20.4.2016.
- Stirling Power. Technology. <http://www.sp-usa.com/technology/>. 29.1.2016
- Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2014a. SFS-EN ISO SFS-EN ISO 17225. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 4: Luokiteltu puuhake.
- Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2014b. SFS-EN ISO 17225. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 1: Yleiset vaatimukset.
- Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2014c. SFS-EN ISO 16559. Kiinteät biopolttoaineet. Terminologia, määritelmät ja kuvaukset.
- Taaleri tukemaan Volter Oy:n kasvua. 2016. <http://volter.fi/taaleri-tukemaan-volter-oy-n-kasvua/>. 25.3.2016.
- Takalo, H. 2013. Mikro- ja pien-CHP – Teknologia- ja laitekantaselvitys sekä kannattavuuden tarkastelu tapausesimerkin avulla. http://www.micropolis.fi/files/greenpolis/hankkeet/bio-term/pienchp_toukokuu2013_julkinen_versio.pdf. 27.3.2016.
- van Loo, S. & Koppejan, J. 2008. Handbook of biomass combustion & co-firing. London: Earthscan.
- Vartiainen, E., Luoma, P., Hiltunen, J. & Vanhanen, J. 2002. Hajautettu energian tuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. Helsinki: Oy Edita Ab. <http://energia.fi/sites/default/files/hajautettuenergiatuotanto2cloppuraportti.pdf>. 29.1.2016.
- Volter Oy. 2015. Käyttöohjekirja – Volter 40 omasähkölaitos SN31082016-15.
- Väkeväinen, J. Katsaus biopolttoaineterminaalien mahdollisiin sijaintipaikkoihin Pohjois-Karjalassa. <http://www.karelia.fi/biostuli/materiaalit/Katsaus%20biopolttoaineterminaalien%20mahdollisiin%20sijaintipaikkoihin.pdf>. 20.4.2016.
- Yli-Mattika, A. 2011. Laatuksikirja hakelämpöyrittäjälle. Opinnäytetyö: Metsätalouden koulutusohjelma. TAMK. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011060811500>. 18.4.2016.

Taulukko 2. Laskelma hakkeen kuivauksen vaikutuksesta hakkeen hintaan.

Hakkeen lähtöhinta	52,2	€/m ³
	20,88	€/i-m ³
Alkuosteus	Loppukosteus	
55 %	15 %	
Veden poistamiseen tarvittava energia/kuivaus	1626,7	kWh
Hakkeen määrä/kuivaus	4900	kg
Hakkeen tiheys alkukosteudessa	350	kg/i-m ³
Kuiva-tuoretiheys	157,5	kg/i-m ³
Hakkeen tiheys loppukosteudessa	185,3	kg/i-m ³
Kuiva-aineen lämpöarvo	19,2	MJ/kg
Hakkeen tehollinen lämpöarvo loppukosteudessa	15,95	MJ/kg
	4,44	kWh/kg
Hakkeen energiatiheys loppukosteudessa	821,8	kWh/i-m ³
Kuivurin koko	14	i-m ³
Kuivausaika	3	vrk
Kuivauksien krt/viikko	2	
toiminta-aika viikko/vuosi	35	
Kuivausten määrä vuodessa	70	
Ostettavan hakkeen määrä vuodessa	980	i-m ³
Ostettavan hakkeen hinta vuodessa	20462	€
Kuivan hakkeen määrä vuodessa	980	i-m ³
Hyötysuhde	30 %	
Investointikustannus	26500	€
Korko	7 %	
Investointi+korko	37167,6	€
Takaisinmaksuaika	5	vuotta
Lämpöenergian hinta	42	€/MWh
Yhden kuivauksen hinta	227,74	€/MWh
Kuivauksien hinta vuodessa	15942,0	€/MWh
Työn hinta / kuivaus	40	€
Vuodessa työn hinta vuodessa	2800	€/a
Kulut viidessä vuodessa		
Työ ja kuivaus ja hake viidessä vuodessa	196 022	€
Investointi ja korko	37 168	€
Yhteensä kaikki	233 189	€
Jaettuna takaisinmaksuajalla	46 638	€/vuosi
Hakkeen hinta	47,58	€/i-m ³
	57,90830052	€/MWh

CHP-laitosten omistajille osoitetut haastattelukysymykset

1. Minkä merkinen ja kokoinen laitteisto teillä on käytössä?
2. Kauanko laite on ollut toiminnassa? Onko ollut paljon käyttökatkoja?
3. Ostatteko hakkeen valmiiksi tarpeeksi kuivana vai kuivaatteko itse?
4. Miltä tuottajalta ostatte hakkeen ja miksi päädyitte juuri tähän hakevalmistajaan?
5. Paljonko maksatte hakkeesta tällä hetkellä?
6. Minkälaisia hakkeen laatuun liittyviä ongelmia on ollut? Oletteko olleet tyytyväisiä hinta-laatusuhteeseen?
7. Onko CHP-laitteistoon investointi mielestänne kannattanut vai olisiko ehkä kannattanut sittenkin sijoittaa muuhun energiantuotantomuotoon?

Liite 2. CHP-hakkeen tuottajille osoitetut haastattelukysymykset

1. Paljonko tuotatte CHP-haketta vuodessa?
2. Mikä on CHP-hakkeen myyntihinta?
3. Miksi päätitte aloittaa myös CHP-laitokseen sopivan hakkeen valmistuksen?
4. Mitkä asiat ovat olleet haasteellisimpia CHP-hakkeen valmistuksessa (verrattuna esimerkiksi ns. normaalin hakkeen valmistukseen)?
5. Minkälaisena liiketoimintana näette laatuhaakkeen tuotannon nyt tai tulevaisuudessa?