

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja
(BDC Publications)
Nro 45



YHDISTETTY SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANTO BIOMASSASTA MAATILAYRITYKSESSÄ

Arttu Lamminmäki

Opinnäytetyö

Toukokuu 2009



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**
Luonnonvarainstituutti

Tekijä(t) LAMMINMÄKI, Arttu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus	
Työn nimi YHDISTETTY SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANTO BIOMASSASTA MAATILAYRITYKSESSÄ		
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) VESISENAHO, Tero & ÄÄNISMAA, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu, "Mikro-CHP:n kehittäminen"-hanke		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Yrittäjä Anssi Huitula tilasi Jyväskylän ammattikorkeakoululta taloudellisen kannattavuusselvityksen puukaasun käytöstä sähkön- ja lämmöntuottamiseen hänen omalla maatilallaan. Kannattavuusselvitys toteutettiin opinnäytetyönä Jyväskylän ammattikorkeakoulun "Mikro-CHP:n kehittäminen" -hankkeelle. Kannattavuusselvityksen tavoitteena oli selvittää, olisiko työn tilaajan maatilalla taloudellisesti kannattavaa tuottaa itse sähköä ja lämpöä tietyllä puukaasutinjärjestelmällä. Vertailupohjana oli valmiiksi suunniteltu, mutta rakentamaton hakelämmitysjärjestelmä ja ostosähkö. Lisäksi työssä selvitettiin erilaisia maatilalle soveltuvia mikro-kokoluokan yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon tekniikoita ja biomassapohjaisia polttoaineita.</p> <p>Kannattavuusselvitys toteutettiin selvittämällä työn tilaajan maatilalla tarvittavat sähkö- ja lämpömäärät ja suunnitellun hakelämmitysjärjestelmän kustannuslaskelmat. Näiden perusteella tehtiin laskelmat siitä, kuinka paljon puukaasutinjärjestelmä saisi maksaa. Puukaasutinjärjestelmän valmistajalta saatujen tietojen perusteella pystyttiin tekemään herkkyyksianalyysia laskelmiin. Kannattavuusselvityksessä ei huomioitu puukaasulla tuotetun sähkön tai lämmön myymistä maatilalla ulkopuolelle.</p> <p>Kannattavuusselvityksessä havaittiin, että puukaasutinjärjestelmän kallis investointihinta teki siitä taloudellisesti kannattamattoman työn tilaajan maatilalle. Sähkön- ja lämmöntarpeet olivat maatilalla pienet puukaasutinjärjestelmän kapasiteettiin nähden. Hakelämmitysjärjestelmä ja ostosähkö olivat maatilalle taloudellisesti paremmat ratkaisut kuin puukaasutinjärjestelmä. Herkkyyksianalyysin perusteella voidaan päätellä, että sähköä puukaasulla tuottaessa olisi sivutuotteena saatava lämpö hyödynnettävä kokonaisuudessaan hyvän taloudellisen kannattavuuden aikaansaamiseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) mikro-CHP, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, puukaasu, omavaraisuus		
Muut tiedot		

Author(s) LAMMINMÄKI, Arttu	Type of Publication Bachelor's Thesis	
Title COMBINED HEAT AND POWER PRODUCTION FROM BIOMASS ON A FARM	Pages 33	Language Finnish
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries		
Tutor(s) VESISENAHO, Tero & ÄÄNISMAA, Pekka		
Assigned by "Development of micro-CHP" –project of JAMK University of Applied Sciences.		
Abstract <p>Entrepreneur Anssi Huitula assigned for an economical analysis from JAMK University of Applied Sciences about producing heat and electricity from wood gas for his farm. The analysis was made as a Bachelor's thesis for "Development of micro-CHP"-project of JAMK University of Applied Sciences. The aim of the analysis was to define if it is economically profitable to produce heat and electricity with a certain wood gasifier system for Huitula farm. An already designed, but unbuilt woodchip combustor and bought electricity were used as a comparison. The work also defined different micro-size combined heat and power production technologies and fuels made from biomass usable on a farm.</p> <p>The economical analysis was made by determining heat and electricity usage and the cost of the woodchip combustor for Huitula farm. With these values it was calculated, how much the wood gasifier system could cost. From the values given by the manufacturer of the wood gasifier system, sensitivity analysis was made for calculations. Selling heat or electricity outside the farm was not included in the analysis.</p> <p>The economical analysis revealed that the expensive investment cost of the wood gasifier system made it economically unprofitable for Huitula farm. Heat and electricity needs were small at the farm compared with the capacity of the wood gasifier system. The woodchip combustor and bought electricity were economically more profitable than the wood gasifier system for the farm. The sensitivity analysis revealed a conclusion that when producing electricity from wood gas on a farm it is essential to utilize the by-product heat as a whole to obtain a good economical profitability.</p>		
Keywords micro-CHP, combined heat and power production, wood gas, self-sufficiency		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	3
2	MIKRO-CHP MOOTTORITEKNIIKAT	4
2.1	Mikro-CHP termi	4
2.2	Mäntämoottori	4
2.3	Mikroturbiini	5
2.4	Stirling-moottori	5
2.5	Muut moottorityypit	6
3	MIKRO-CHP BIOPOLTTOAINEEN TUOTANTO MAATILALLA.....	7
3.1	Biokaasu	7
3.1.1	Biokaasu-termi.....	7
3.1.2	Biokaasun tuottaminen maatilalla.....	8
3.1.3	Biokaasutuksen taloudellinen kannattavuus maatilalla.....	9
3.2	Puukaasu.....	11
3.2.1	Puukaasu termi	11
3.2.2	Kaasutukseen sopiva puuaines	11
3.2.3	Puukaasutintekniikka	11
3.3	Biodiesel.....	14
3.3.1	Biodiesel ja sen ominaisuudet	14
3.3.2	Biodieselin tuotanto maatilalla	15
4	KANNATTAVUUSSELVITYKSEN TOTEUTUS	16
4.1	Tavoite.....	16
4.2	Lähtökohdat.....	17
4.2.1	Kohteen esittely	17
4.2.2	Puukaasutinjärjestelmä.....	19
4.3	Yhteenvedo lähtötiedoista	20
4.4	Laskelmien toteutus	21
5	KANNATTAVUUSSELVITYKSEN TULOKSET	22
6	KANNATTAVUUSSELVITYKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET	25
6.1	Tulokset.....	25
6.2	Herkkyyshanalyysi.....	26
7	POHDINTA.....	27
7.1	Mikro-CHP tekniikat.....	27

7.2	Biomassapohjaiset polttoaineet	28
7.3	Kannattavuusselvitys	29
7.4	Opinnäytetyön teko.....	30

KUVIOT

KUVIO 1.	Kaaviokuva Alfa-tyyppin stirling-moottorista	6
KUVIO 2.	Maanalainen biokaasureaktori.....	8
KUVIO 3.	Esimerkki maatilan biokaasutusjärjestelmästä.....	9
KUVIO 4.	Myötävirtakaasutin	12
KUVIO 5.	Vastavirtakaasutin.....	13
KUVIO 6.	Tilan asuinrakennus	17

TAULUKOT

TAULUKKO 1.	Kuivan puukaasun koostumus.....	11
TAULUKKO 2.	Lämmön tarve maatilalla.....	18
TAULUKKO 3.	Tasaerälainojen vuosikustannukset.....	22
TAULUKKO 4.	Hukkalämmön määrä tai lisälämmön tarve kuukausitasolla puukaasutinjärjestelmällä	23
TAULUKKO 5	Hukkalämmön kustannus vuodessa puukaasutinjärjestelmällä.....	23
TAULUKKO 6	Puukaasutinjärjestelmän vuosikustannus	24
TAULUKKO 7	Hakelämmitysjärjestelmän ja ostosähkön vuosikustannus	24

1 JOHDANTO

Sähkön hinnan nousu on aiheuttanut maataloilla lisää kustannuksia ja monet tilalliset ovat pohtineet kannattaisiko sähköä tuottaa itse menojen pienentämiseksi. Metsissä ja pelloissa olevassa biomassassa olisi paljon energiapotentiaalia, jos sen saisi jalostettua sähköksi asti. Teknologian puolesta sähköntuotanto biomassasta on täysin mahdollista, mutta sen taloudellinen kannattavuus onkin monimutkaisempi kysymys.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää onko yrittäjä Anssi Huitulan maatilalla taloudellisesti kannattavaa tuottaa itse sähköä puukaasulla ja hyödyntää prosessissa syntyvä hukkalämpö tilan kiinteistöjen lämmittämiseen. Puukaasutinjärjestelmänä sähkön- ja lämmöntuotantoon on Gasek Oy:n valmistama CHP-voimala. Vertailupohjana on valmiiksi suunniteltu ja hinnoiteltu, mutta rakentamaton hakelämmitysjärjestelmä ja valtakunnanverkosta ostettava sähkö. Työssä ei huomioida sähkön tai lämmön myymistä tilan ulkopuolelle. Lisäksi työssä kerrotaan erilaisista mikrokokoluokan yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon tekniikoista ja biomassapohjaisista polttoaineista ja pohditaan niiden soveltuvuutta työn tilaajan maatilalle.

Kannattavuus selvityksen tilasi Anssi Huitula. Työ tehdään Jyväskylän ammattikorkeakoulun ”Mikro-CHP:n kehittäminen”-hankkeelle, jonka edustajana on Jaakko Tuukia. Työn ohjaajina toimivat Tero Vesisenaho ja Pekka Äänismaa.

2 MIKRO-CHP MOOTTORITEKNIIKAT

2.1 Mikro-CHP termi

CHP on lyhenne englannin kielen sanoista combined heat and power (Wikipedia 2009a), joten mikro-CHP termi tarkoittaa mikro-kokoluokan yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa. CHP-laitteistojen valmistajat erottavat pienimuotoisen ja mikrokokoluokan siten, että pienimuotoinen CHP on sähköntuotanto teholtaan alle 500 kW ja mikro-CHP alle 50 kW. Rajat kuitenkin vaihtelevat CHP-laitteistojen valmistajien välillä. (Hintikka 2004, 2.)

2.2 Mäntämoottori

Mäntämoottori on tunnetuin polttomoottorimalli, jota käytetään suurimmassa osassa autoista. Mäntämoottorissa sylinterissä tapahtuva polttoaineen ja ilmaseoksen räjähdys aiheuttaa paineen, joka liikuttaa sylinterissä olevaa mäntää. Männen liike muutetaan kampiakselilla sähkögeneraattoria pyörittäväksi voimaksi. Mäntämoottoria voidaan käyttää kipinäsytytys mallisena sekä kaasumaisella että nestemäisellä polttoaineella. Diesel eli puristus sytytysmoottori soveltuu vain nestemäiselle polttoaineelle, mutta se voidaan muuttaa kaasumaiselle polttoaineelle soveltuvaksi.

Mikro-CHP -laitteistoissa käytetään usein sarjavalmisteista mäntämoottoria, jolla voidaan päästä hyvin pieniin muutaman kilowatin sähkön tuotanto tehoihin. Hyvä puoli mäntämoottorin käytössä mikro-CHP voimanlähteenä on sen edullisuus. Laitteiston pystyy valmistamaan osaavissa käsissä esimerkiksi vanhasta auton moottorista. Huonona puolena on verrattain suuri huollon tarve varsinkin epäpuhtailla polttoaineilla ja kova käyntiääni. (Hintikka 2004, 5.)

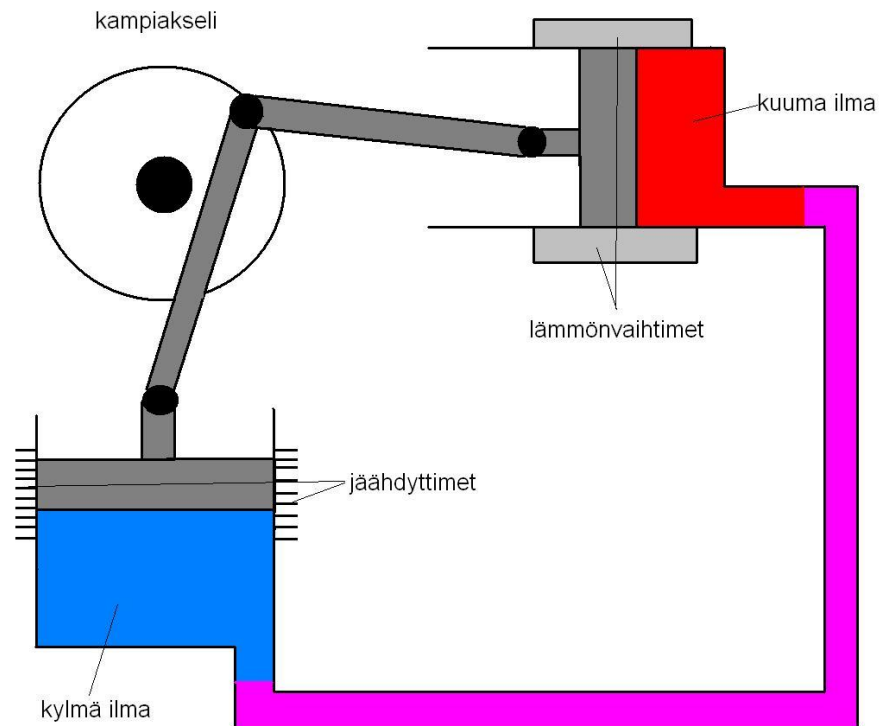
2.3 Mikroturbiini

Mikroturbiinit ovat polttomoottoreita. Sähköä tuottavassa mikroturbiinissa samassa akselissa ovat kiinni generaattori, ahdin ja turbiini. Ahdin pyörittää ilmaa palotilaan, johon johdetaan myös polttoainetta ja seoksen palamisesta aiheutuva paine pyörittää turbiinia. Mikroturbiinissa voidaan käyttää sekä nestemäistä että kaasumaista polttoainetta.

Mikro-CHP -laitteena mikroturbiini on alkuinvestointina kallis, mutta tarvitsee vähän huoltoa. Mikroturbiini on taloudellisesti parempi isommassa kuin pienessä kokoluokassa. Mikroturbiinilla päästään isoihin kierroslukuihin ja sillä saadaan tuotettua suuritaajuuksista sähköä. Polttoaineen syötön nopeuden vaihteluihin mikroturbiini sopeutuu hyvin ja se soveltuu erinomaisesti toimimaan jatkuvatoimisena. Mikroturbiinit ovat kalliita ja esimerkiksi Capstonen valmistama ja Greenviromentin maahantuoma mikroturbiini maksoi vuonna 2004 noin 100000 €(alv 0 %). Tällä saadaan tuotettua 30 kW sähköä ja 60 kW lämpöä. (Hintikka 2004, 7,10.)

2.4 Stirling-moottori

Kuumailma- eli Stirling-moottori (kuvio 1) poikkeaa useista muista mikro-CHP -moottoreista siinä, että se ei ole polttomoottori. Stirlingin toiminta perustuu moottorin ulkopuolelta tulevan lämmön aiheuttamaan paine-eroon moottorin sisällä olevassa suljetussa ilmakierrossa. Paine-ero liikuttaa sylintereissä olevia mäntiä, joiden liike muutetaan kampiakselilla generaattoria pyörittäväksi voimaksi. Stirling saadaan toimimaan pienelläkin lämmöllä, mutta tehokasta sähköntuotantoa varten lämpöä tarvittaisiin noin 1000 °C. (Paavola 2008, 18.)



KUVIO 1. Kaaviokuva Alfa-tyypin stirling-moottorista (Wikipedia 2009b)

Stirling-moottorin käyttöä mikro-CHP -laitteena haittaa sen valmistajien vähäisyys ja siitä johtuva kallis investointihinta. Teoriassa Stirling-moottorilla voidaan päästä parempaan hyötysuhteeseen kuin polttomoottoreilla. Laitteet ovat kuitenkin vielä kehityksen alla. (Paavola 2008, 5,7.)

2.5 Muut moottorityypit

Polttokennoja voidaan käyttää sähkön- ja lämmöntuotantoon. Polttokennot ovat kehittyneet nopealla tahdilla, mutta ongelmana on niiden moninkertainen hinta suhteessa tavalliseen kaasumoottoriin nähden. Wärtsilällä on Vaasassa pilottilaitteena sähkön tuotantoteholtaan 20 kW polttokennolaitos, mutta maatilan mikro-CHP -laitteeksi polttokennoissa on vielä kehitystyö kesken. (Granö 2008, 5,6.)

Kiertomäntä- eli wankel-moottori on rakenteeltaan pienikokoinen ja sillä voidaan päästä suuriin kierroslukuihin. Huonoina puolina kiertomäntämoottorissa on korkea hko polttoaineenkulutus ja se, että moottori ei ole pitkäkestoinen. (Wikipedia 2009c.)

Mikro-CHP -laitteissa käytetään vähäisissä määrin myös muunlaisia moottoreita ja kehitystyötä on tehty esimerkiksi höyryllä toimiville mäntämoottoreille. Amerikkalainen Reliable Steam Engine Co valmistaa höyryturbiineja CHP-käyttöön, mutta laitteiden tehokkuus on vaatimaton. (Hintikka 2004, 14.)

3 MIKRO-CHP BIOPOLTTOAINEEN TUOTANTO MAATILALLA

3.1 Biokaasu

3.1.1 Biokaasu-termi

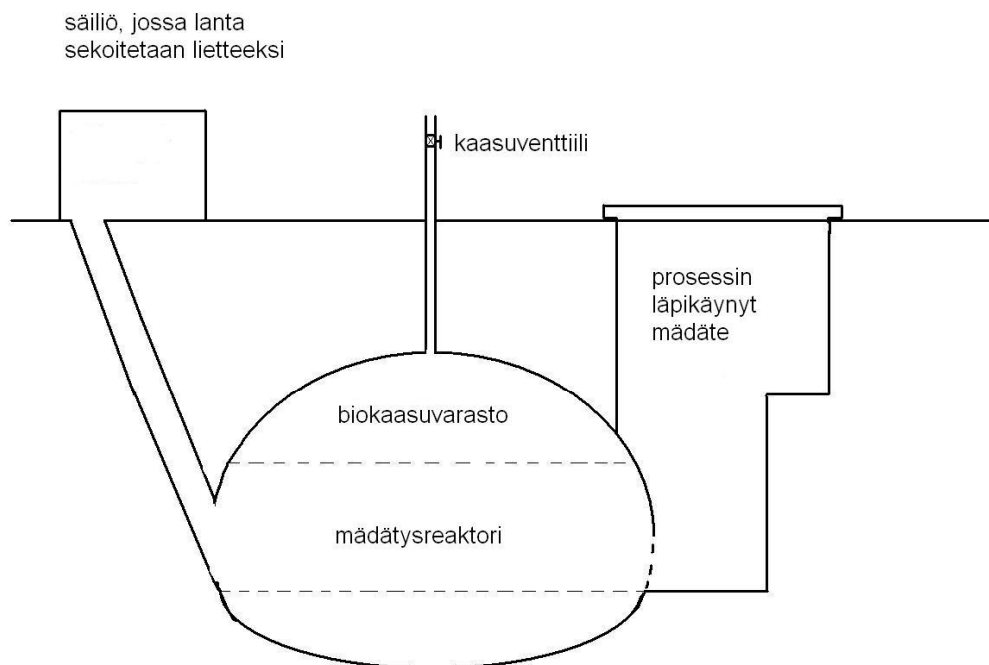
Biokaasulla tarkoitetaan hapettomissa oloissa mikrobien orgaanisen aineksen hajotustoiminnan tuloksena syntyvää kaasua. Biokaasun tärkein palava kaasu on metaani, jota on biokaasussa 45–70 %. Hiilidioksidia biokaasussa on 30–55 % (Latvala 2005, 10). Biokaasussa on pieniä määriä myös muita kaasuja esimerkiksi rikkiyhdisteitä (Metso 2006, 11). Energiaa biokaasussa on 4–7 kWh/m³ ja tämä vastaa energiasisällöltään noin 0,5 litraa polttoöljyä (Raimovaara 2004, 20).

Sähkön- ja lämmöntuottamiseen biokaasu sopii suoraan ilman käsittelyä, mutta liikennekäyttöön biokaasu pitää puhdistaa. Puhdistetussa biokaasussa on metaania 97–99 %. Puhdistettu biokaasu vastaa maakaasua ja paineistamisen jälkeen se voidaan syöttää maakaasuverkkoon. (Latvala 2005, 10,15.)

3.1.2 Biokaasun tuottaminen maatilalla

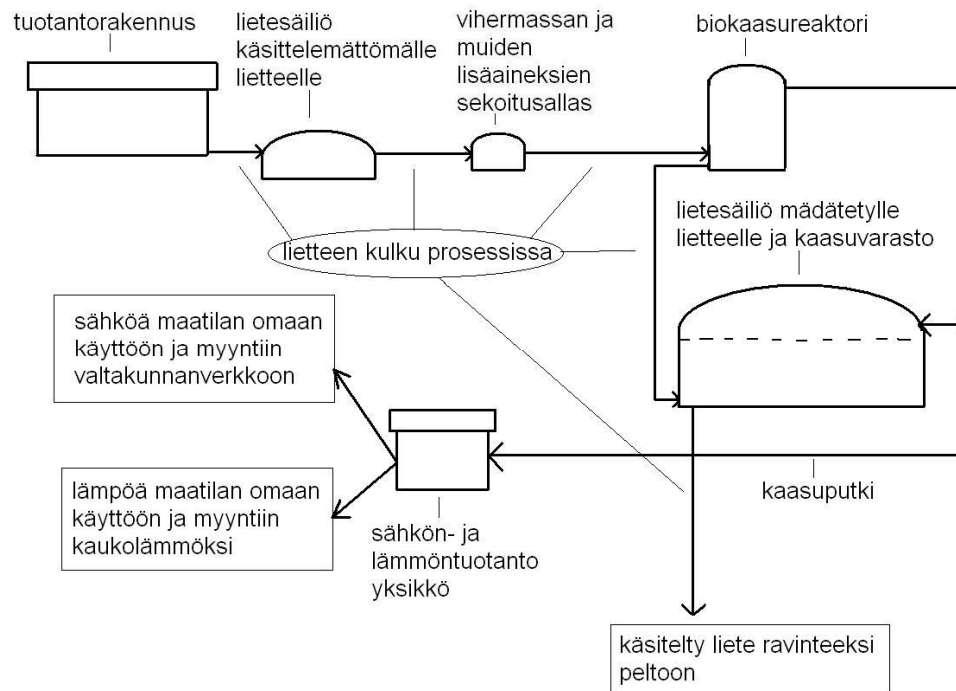
Suuresta osasta orgaanisista aineksista voidaan tuottaa biokaasua. Raaka-aineiksi sopivat niin nestemäiset kuin kiinteätkin ainekset. Merkittävän poikkeuksen soveltuvuuteen tekee puu, jonka ligniini ei hajoa biokaasun tuottamista varten. (Vilkkilä 2007, 4–5.) Yleinen harhaluulo on, että biokaasun tuottamista varten tarvitaan ulosteperäistä lietettä. Tämä ei pidä paikkaansa, koska biokaasua voidaan tuottaa suoraan esimerkiksi pelkästään vihreästä heinästä. Liete on kuitenkin hyvä lisäaine kaasuuntumisprosessille, koska se tasapainottaa happamuutta ja siten vähentää prosessin häiriöitä.

Laitteistot joilla biokaasua tehdään voivat olla hyvin yksinkertaisia ja halpoja. Intiassa on tehty jo 3,5 miljoonaa parin kuutiometrin kokoista biokaasureaktoria, joiden tuottamaa biokaasua käytetään pääasiassa ruuan kypsentämiseen. Tällaiset reaktorit (kuvio 2) sijoitetaan maan alle ja niitä voidaan valmistaa esimerkiksi tiilistä ja sementistä. (Asikainen 2007.) Suomessa tällaisen reaktorin käyttöä hankaloittaa talven kylmyys.



KUVIO 2. Maanalainen biokaasureaktori (Lawbuary 1999)

Biokaasutusjärjestelmä on mahdollista automatisoida hyvin pitkälle. Automatisointi tuo tosin investoinnille lisää hintaa ja lisää huoltokustannuksia. Esimerkkitapauksessa (kuvio 3) tarvittava päivittäinen ihmistyön määrä on erittäin vähäinen kaasutusprosessin ylläpitämiseksi.



KUVIO 3. Esimerkki maatilan biokaasutusjärjestelmästä (Metener 2009a)

3.1.3 Biokaasutuksen taloudellinen kannattavuus maatilalla

Biokaasutuslaitteiston ja CHP-yksikön rakentamisen kustannukset vaihtelevat tilakohdaisesti riippuen siitä, miten olemassa olevia rakennuksia voidaan hyödyntää. Esimerkiksi sadan lehmän maitotilalle biokaasutuslaitteiston rakentaminen voi maksaa 250000 €. Koska investointi on näin suuri, on laitoksen tuottama sähkö ja lämpö saatava tarkasti hyödynnettyä. Tuotettu sähkö kannattaa hyödyntää kokonaisuudessaan maatilalla, koska huoltovarmuusmaksua ja sähköveroä ei silloin tarvitse maksaa. Näiden vapautuksien saamiseksi sähkögeneraattorin tehon tulee olla alle 2 MVA ja sähköä ei saa myydä valtakunnanverkkoon. (Hagström, Vartiainen & Vanhanen 2005,

23,66,67.) Tuotettu lämpö olisi myös paremman taloudellisen kannattavuuden saamiseksi hyödynnettävä kokonaisuudessaan. Ihanne tilanne olisi jos kaikki lämpö saataisiin hyödynnettyä tilalla, koska lämmönsiirtoputkien hankinta ja maahan kaivaminen tekee lisää kustannuksia ja lämmönsiirrossa syntyy hukkalämpöä.

Biokaasun tuotannossa on myös mahdollista saada tuloja porttimaksuina, jos vastaanottaa muualta tulevaa biomassaa. Porttimaksun määrä voi olla esimerkiksi kiinteälle biojätteelle 58 €/t (Vilkkilä 2007, 22). Vaikka porttimaksun määrä tuntuu suurelta, pitää ottaa huomioon, että biojätettä käytettäessä biokaasureaktorin lopputuote tulee sivutuoteasetuksen valvonnan alaiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että biojäte tulee hygieniasoida kuumentamalla se 133 °C kahdeksikymmeneksi minuutiksi. Lisäksi vaaditaan lopputuotteen valvontaa esimerkiksi raskasmetallipitoisuuksien mittaamista. Sivutuoteasetus kuitenkin mahdollistaa eläinperäisen lietalannan vastaanoton muilta maatiloilta biokaasutettavaksi ilman hygieniasointi tai valvonta velvoitetta, jos lopputuote käytetään maatilan omilla pelloilla lannoitteeksi. (Hagström ym 2005, 19–20.)

Taloudellista hyötyä biokaasutuksessa saa myös lopputuotteen parempien lannoitus ominaisuuksien muodossa verrattuna raakaan lietalantaan. Mädätyksen lopputuote on tiiviimpää ja siten peltolevitykseen kuluu vähemmän aikaa. Ravinteet muuttuvat paremmin kasvien käytettäviksi ja tilan ulkopuolelta biokaasutus prosessiin tuodut ainekset muuttuvat ravinteiksi, jolloin ostolannoitteiden tarve vähenee. Hajuhaitat vähenevät, joka mahdollistaa lannoitteen käyttämisen lähempänä asutusta olevilla pelloilla ilman imagovahinkoja. (Metener 2009b.)

3.2 Puukaasu

3.2.1 Puukaasu termi

Puukaasu on palava kaasu, jota syntyy puun palaessa korkeassa lämpötilassa pienellä happimäärällä. Syntynyttä kaasua pystytään johtamaan erilliselle polttomoottorille polttoaineeksi. Puukaasua tuottavia laitteita kutsutaan puukaasuttimiksi ja yleisesti myös häkäpöntöiksi. Energiaa kuivassa puukaasussa on 4,2–5,5 MJ/m³ eli 1,2–1,5 kWh/m³. (Siermala & Tuomikoski 2007, 2,7.)

TAULUKKO 1. Kuivan puukaasun koostumus (Siermala & Tuomikoski 2007, 7)

	N ₂	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄
Tilavuus %	45–56	12–25	10–17	10–17	1–5

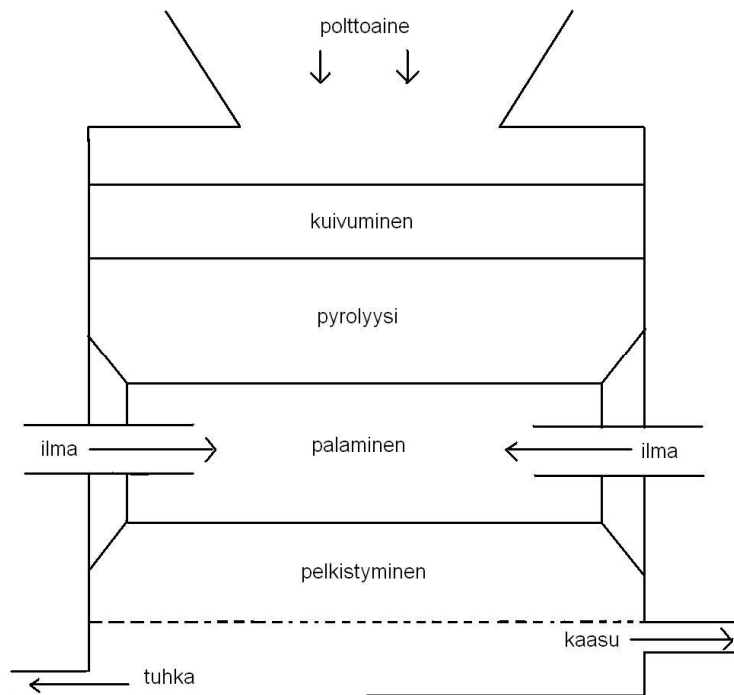
3.2.2 Kaasutukseen sopiva puuaines

Puukaasua saadaan helpoiten tehtyä metsähakkeesta, koska silloin puun käsittely kaasuttimessa voidaan helposti automatisoida. Hakkeen palakoolla on merkitystä, koska liian pieni palakoko haittaa ilmankiertoa puukaasuttimessa (CCM-Power 2009a). Hake saa olla kosteusarvoltaan 20–40 % hyvän kaasuntumisen aikaansaamiseksi (Siermala & Tuomikoski 2007, 5,9). Kaikki puulajit sopivat kaasuttamiseen ja myös muun biomassan kaasuttaminen on mahdollista samalla periaatteella (Gasek 2009a).

3.2.3 Puukaasutintekniikka

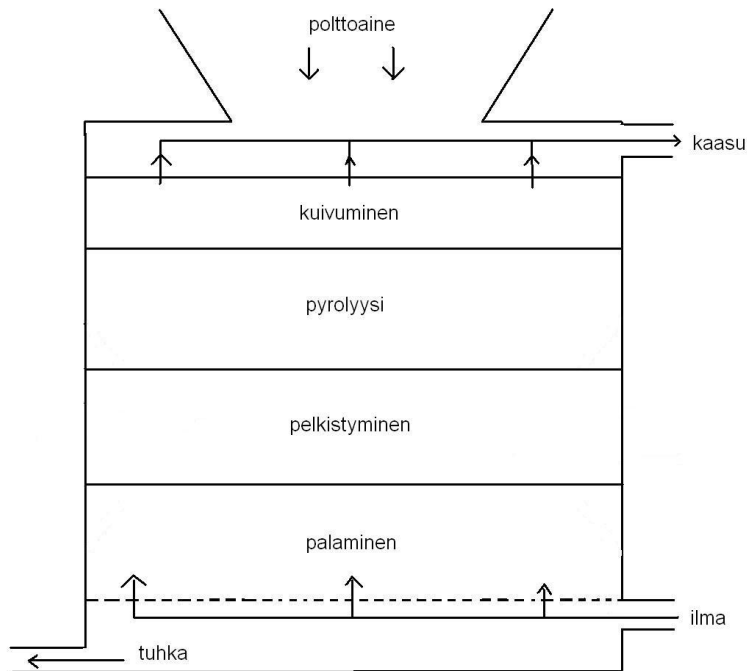
Puun kaasuttamisessa kriittistä on saada moottoria vahingoittavan tervan pitoisuus mahdollisimman alhaiseksi. Terva saadaan hajotettua jos kaasu saavuttaa yli 850 °C lämpötilan. Puukaasuttimissa on perinteisesti käytetty myötä- ja vastavirtakaasuttimia, joissa on molemmissa hyvät ja huonot puolensa.

Myötävirtakaasuttimella (kuvio 4) päästään helposti vähätervaiseen kaasuun, koska kaasut kulkevat kuuman hiilikerroksen läpi. Rakenteesta johtuen isossa kaasuttimessa prosessin lämpötilat muuttuvat epätasaisiksi ja tästä syystä myötävirtakaasuttimista ei tehdä 1–3 MW isompia. (Siermala & Tuomikoski 2007, 5.) Myötävirtakaasuttimessa on myös hankala hallita prosessin lämpötilaa (CCM-Power 2009b).



KUVIO 4. Myötävirtakaasutin (Lassi 2008, 7)

Vastavirtakaasuttimesta (kuvio 5) voidaan tehdä isompi kuin myötävirtakaasuttimesta aina 30 MW:iin asti (Lassi 2008, 8). Vastavirtakaasuttimessa kaasu kulkee kylmemmän polttoainekerroksen läpi, jolloin kaasuun voi jäädä tervaa. Tässä kaasuttimessa voi ongelmana olla paloalueen liika kuumuus, jota pystytään jossain määrin kontrolloimaan polttoaineen kostutuksella. Liika kuumuus voi vahingoittaa kaasutinta ja aiheuttaa kaasuun typpiyhdisteitä, jotka ovat vahingollisia moottorille. (CCM-Power 2009b.)



KUVIO 5. Vastavirtakaasutin (Lassi 2008, 8)

Näiden tavallisten kaasutinmallien lisäksi on olemassa ristivirtakaasuttimia ja isompaan kokoluokkaan leiju- ja kiertopetikaasuttimia. Kaasutinteknologia on alkanut kehittymään kiihtyvällä tahdilla energian hinnan kohotessa ja kehitystyötä on meneillään myös uudentyyppisille kaasutinmalleille. Esimerkiksi suomalainen CCM-Power yritys kehittää säätyvää lämpökerroskaasutinta (CCM-Power 2009c).

Ennen kuin puukaasu voidaan siirtää moottorille poltettavaksi, on siitä puhdistettava lentotuhka ja muut partikkelit ja kaasu on jäähdytettävä. Tämä onnistuu esimerkiksi kaasun vesipesulla. (Siermala & Tuomikoski 2007, 9.)

3.3 Biodiesel

3.3.1 Biodiesel ja sen ominaisuudet

Biodieselillä tarkoitetaan normaalisti kasvien tai eläinten rasvahapoista alkoholiesteröinnillä valmistettua metyyli- tai etyyliesteriä sisältävää polttoainetta. Tämä on niin sanottua ensimmäisen sukupolven biodieseliä. Esteröinnissä käytetään alkoholina yleensä metanolia sen edullisuuden vuoksi ja katalyyttinä natriumhydroksidia eli lipeää. Prosessissa syntyy biodieselin lisäksi glyserolia, joka erotetaan polttonesteestä pois. Glyseroli on myös palava neste, mutta aiheuttaa moottorissa pieninäkin määrinä karstoittumista ja suuttimien tukkeentumista. (Bioste Oy 2009a.)

Toisen sukupolven biodieselillä tarkoitetaan yleensä Fischer-Tropsch -menetelmällä valmistettua polttonestettä, jonka raaka-aineena on biomassa ja lopputuote vastaa ominaisuuksiltaan normaalia biodieseliä. Menetelmän periaatteena on, että kiinteä aine kaasutetaan, jonka jälkeen katalyyttiainetta käyttämällä kaasusta valmistetaan polttonestettä. Lähes kaikkea ainesta, jossa on hiiltä, voidaan tuottaa menetelmällä polttonesteeksi. Katalyyttiainetta vaihtamalla saadaan tuotettua erilaisia lopputuotteita. (Bioste Oy 2009b.) Esimerkiksi puusta voidaan tuottaa kaasuttimella puukaasua, joka viedään Fischer-Tropsch -reaktoriin, jossa saadaan häkä- ja vetykaasusta kemiallisessa reaktiossa kuparikatalyytin avulla tuotettua metanolia (Lassi 2008, 21). Tällainen polttonesteen tuottaminen ei ole energiatehokasta, mutta nestemäinen polttoaine on helppompaa varastoida ja siirtää kuin kaasumainen.

Biodieseliä voidaan käyttää suoraan fossiilista diesel-polttoainetta käyttävässä moottorissa. Ongelmia voi aiheuttaa biodieselin liuottavat ominaisuudet ja vanhassa dieselmoottorissa suodattimet voivat tukkeutua biodieselin tankista ja polttoainejärjestelmästä irrottamasta sakasta. Nykyään moottoreiden valmistajat ilmoittavat, toimiiko moottori 100 % biodieselillä. Ongelmien välttämiseksi vanhoissa diesel moottoreissa kannattaa käyttää fossiilisen dieselin ja biodieselin sekoitusta. On myös huomattava, että biodiesel jähmettyy pakkaskelillä. Biodieselin säilymisaika on alle vuoden.

3.3.2 Biodieselin tuotanto maatilalla

Maatilakokoluokassa tehdään käytännössä vain ensimmäisen sukupolven biodieseliä, koska Fischer-Tropsch -reaktorit ovat kalliita ja niitä ei ole tällä hetkellä myynnissä pieneen kokoluokkaan. Tällä hetkellä eniten tietoa ja valmiita laitteistoja on saatavissa rypsi- ja rapsiöljyn valmistamiseksi biodieseliksi. Suomessa ei muita öljykasveja pelloilla ole normaalisti kasvatettu. Öljyä olisi kuitenkin mahdollista tuottaa maatilalla myös muunlaisista kasveista, esimerkiksi levästä. Tosin tästä on vielä huonosti tietoa ja kokemusta. Levillä olisi kuitenkin noin kymmenkertainen öljyntuotanto potentiaali verrattuna rypsiin. Sitä voitaisiin myös valmistaa vesistöissä tai varta vasten tehdyssä altaassa, jolloin peltopinta-ala saataisiin muuhun tuotantoon. (Bioste Oy 2009a.)

Biodieseliä ei valmisteta jatkuvatoimisena vaan panosperiaatteella. Sen valmistaminen rypsiä on periaatteiltaan yksinkertaista. Rypsi puidaan ja siemenet kuivataan ja varastoidaan. Siemenistä puristetaan panokseen tarvittava määrä öljyä ja se siivilöidään epäpuhtauksista. Öljy lämmitetään 40–60 °C lämpötilaan ja siihen lisätään hiljakseen metanolin ja lipeän seos samalla sekoittaen. Tämä vaihe on kriittinen sillä, jos seosuhteet ovat pielessä tai seoksen lisää liian nopeasti, syntyy öljystä saippuaa. Sekoitusta jatketaan noin tunnin ajan. Tämän jälkeen öljyn annetaan olla paikallaan vähintään vuorokauden, tai riippuen laitteiston vesipesun laadusta, jopa parin viikon ajan. Tässä vaiheessa öljy esteröityy ja glyseroli painuu seoksen pohjaan ja biodiesel jää pintaan. Glyserolikerros poistetaan alakautta hanasta ja sen jälkeen voidaan aloittaa biodieselin vesipesu. Biodieselin päälle sumutetaan vettä ja vesi painuu biodieselin lävitse pohjalle vieden mukanaan glyseroli ja metanoli jäämiä. Vesi poistetaan alakautta hanasta ja haluttaessa vesipesu voidaan toistaa useammankin kerran. Vesipesun jälkeen biodiesel kuivataan kuumentamalla se yli 65 °C jolloin viimeisetkin metanoli-jäämät kiehuvat ilmaan ja vesijäämät haihtuvat. Tämän jälkeen biodiesel on valmista käytettäväksi polttoaineena. Glyseroli voidaan hävittää polttamalla esimerkiksi hakkeen seassa, biokaasuttamalla tai myymällä teollisuudelle. Rypsipuriste on erinomainen valkuaisrehu eläimille, mutta se voidaan hävittää myös polttamalla. (Carter, Darby, Hallé & Hunt 2005, 62–74.)

Ostettavassa biodieselin valmistuslaitteistossa on monesti suljettu kierto, joka mahdollistaa metanolihöyryjen talteen oton uudelleen käytettäväksi. Lisäksi metanolin ja lipeän sekoittaminen aiheuttaa kaasuja ja suljetussa laitteistossa niistä ei ole haittaa sisäilmalle. Valmiissa laitteessa automatiikka mahdollistaa vähäisen ihmistyön tarpeen. Biodieselin valmistuslaitteet ovat kuitenkin yksinkertaisia ja niiden rakentaminen itse on mahdollista investoinnin halventamiseksi.

Biodieseliä valmistaessa on huomattava polttoaineen valmistevero. Valmisteveroa ei tarvitse maksaa, jos biodieseliä käyttää sähköntuotantoon, lämmityskäyttöön tai työkonessa suljetulla alueella tai maataloudessa. Jos biodieseliä käyttää itse liikenneajoneuvossa, pitää maksaa valmisteveroa. Jos biodieseliä myy, tarvitsee biodieselistä tehdä myös laatuanalyysi laboratoriossa. Valmisteveroa valvoo tullilaitos. (Äänismaa 2008.)

4 KANNATTAVUUSSELVITYKSEN TOTEUTUS

4.1 Tavoite

Kannattavuusselvityksen tavoitteena on selvittää, onko yrittäjä Anssi Huitulan maatilalla taloudellisesti kannattavaa tuottaa puukaasulla sähköä ja lämpöä. Työn tilaajan toiveesta puukaasulaitteistoksi sähkön- ja lämmöntuotantoon valittiin Gasek Oy:n valmistama mikro-CHP -voimala. Vertailupohjana on valmiiksi suunniteltu, mutta rakentamaton hakelämmitysjärjestelmä ja ostosähkö. Sekä puukaasutinjärjestelmä että hakelämmitysjärjestelmä käyttävät polttoaineenaan haketta. Molemmissa lämmöntuotantomenetelmissä on tavoitteena saada tuotettua kaikki maatilán tarvitsema lämpö ilman lisälämmitysjärjestelmiä. Puukaasutinjärjestelmällä on tarkoitus tuottaa kaikki tilán tarvitsema sähkö eli saavuttaa omavaraisuus sähköntuotannossa. Kannattavuusselvityksessä ei huomioida sähkön tai lämmön myyntiä tilán ulkopuolelle.

Herkkyysanalyysissä on päätavoitteena selvittää kuinka paljon puukaasutinjärjestelmä saisi maksaa, jotta se olisi kannattavampi kuin hakelämmitys ja ostosähkö. Lisäksi

herkkyysanalyysissa tarkastellaan lähtöarvojen muutoksien vaikutusta puukaasutinjärjestelmän taloudelliseen kannattavuuteen.

4.2 Lähtökohdat

4.2.1 Kohteen esittely

Yrittäjä Anssi Huitulan maatila sijaitsee Sievissä (kuvio 6). Tila on kasvinviljelytila ja tilan peltopinta-ala on 50 hehtaaria. Metsää tilalla on noin 4 hehtaaria, joten tämän takia omaa haketta voidaan tuottaa vain vähäisiä määriä ja kannattavuusselvityksessä käytetään täyttä ostohakkeen hintaa. Tällä hetkellä tilan ainoa lämmitettävä rakennus on asuinrakennus, jossa on sähkölämmitys ja varaava takka. Lämmitettävää tilaa asuinrakennuksessa on 350 m³.



KUVIO 6. Tilan asuinrakennus

Tilalle on tulossa rakennettavaksi uudisrakennuksena konehalli, johon tulee lämmitettävä koneenkorjaustila ja toimisto. Uuden lämmitettävän tilan tilavuus on 620 m³ (taulukko 2). Konehalliin on suunniteltu sijoitettavaksi hakelämmitysjärjestelmä ja hakesiilo. Konehallilta on myös suunniteltu vedettäväksi asuinrakennukselle 46,5 metriä pitkä lämpökanaali, jonka tuomalla lämmöllä sähkölämmitys saataisiin pois käytöstä asuinrakennuksesta. Kannattavuusselvityksessä otetaan huomioon konehallin ja lämpökanaalin tuomat lisälämpövaatimukset.

TAULUKKO 2. Lämmön tarve maatilalla

	Asuinrakennus	Konehalli	Käyttövesi	Lämpökanaali
Tilavuus (m ³)	350	620		
Tehontarve (kW/m ³)	0,024	0,015		
Tehontarpeen yhteismäärä (kW)	8,4	9,3		
Laskennallinen käyttöaika vuodessa (h)	2000	1500		
Asukkaita (kpl)			2	
Lämpimän veden tarve asukkaalla vuorokaudessa (m ³)			0,06	
Lämpimän veden tarve yhteensä vuodessa (m ³)			43,8	
Energian tarve veden lämmitykseen 50 °C (kWh/m ³)			58	
Pituus (m)				46,5
Lämpöhukka (kW/m)				0,0151
Lämpöhukan määrä vuodessa (kWh/m)				132,3
Energian tarve lämmitykseen vuodessa (kWh)	16800	13950	2540	6151
Energian tarve lämmitykseen yhteensä vuodessa (kWh)	39441			

Lämmöntarpeen laskennassa on käytetty apuna Veli-Pekka Kauppisen tekemää ”Lämmityskohteen mitoitus” -laskentakaaviota (Kauppinen 2005). Asuinrakennuksen tehontarve kuutiometriä kohden on arvioitu kaksikerroksiselle rakennukselle. Konehallin tehontarve on arvioitu viileälle konehallille. Lämpökanaalin lämpöhukan määrä on arvioitu Calpex-duo 28+22/91 lämpöputkelle ja 50 °C käyttölämmölle (Brugg Pema 2009).

Sähköntarve on maatilalla tällä hetkellä vuodessa noin 17 MWh. Rakennettava konehalli lisää sähkönkulutusta maatilalla, mutta toisaalta rakennettava lämmitysjärjestel-

mä poistaa sähkölämmityksen tarpeen. Koska sähkönkulutus tasapainottuu näiden seikkojen myötä, kannattavuusselvityksessä käytetään nykyistä 17 MWh sähköntarvetta. Sähkö ostetaan Korpelan Voima -sähkøyhtiöltä ja kannattavuuslaskelmassa käytetään yhtiön hintoja sähkölle. Kannattavuusselvityksessä oletetaan, että sähkön kulutus maatilalla pysyy keskimääräisesti samansuuruisena ympäri vuoden.

4.2.2 Puukaasutinjärjestelmä

Kannattavuusselvityksessä käytettävä puukaasutinjärjestelmä on Gasek Oy:n valmistama mikro-CHP -voimala. Valmistaja ei halunnut osallistua kannattavuusselvityksen tekoon, koska laitteiston kehitystyö on vielä kesken, joten kaikkia tietoja järjestelmästä ei saatu. Järjestelmä koostuu myötävirtakaasuttimesta, vesipesurista, polttomoottorista ja generaattorista. Polttomoottorina käytetään muokattua suurikokoista auton moottoria. (Siermala & Tuomikoski 2007, 9–10.) Lisäksi järjestelmässä on kaasupoltin pelkän lämmön tuottamista varten (Gasek 2009b). Kannattavuusselvityksessä oletetaan, että puukaasutinjärjestelmä saadaan asennettua samaan tilaan konehallin sisälle, mihin on suunniteltu hakelämmitysjärjestelmä asennettavaksi.

Puukaasutinlaitteiston hintana on 95000 € ilman arvonlisäveroa. Hintaan ei sisälly hakkeensyöttölaitteita. Hintaa voidaan saada alemmaksi jopa 10000 € käyttämällä polttomoottorina halvempaa ratkaisua. (Valtonen 2009.) Puukaasutinlaitteiston hintaan kuuluu merikontti, johon laitteisto on asennettu (Gasek 2009b). Koska laitteiston valmistaja ei halunnut lähteä tarkemmin mukaan kannattavuusselvitykseen, on kohteelle suunnitellun puukaasutinjärjestelmäksi hinnaksi jouduttu arvioimaan 95000 € ilman arvonlisäveroa. Perusteluna hinnalle on merikontin tarpeettomuus, joka alentaa hintaa, mutta toisaalta hakkeensyöttöjärjestelmän hankkiminen tuo lisää hintaa.

Puukaasutinjärjestelmän maksimi tuottoteho on 50 kW sähköä, josta syntyy sivutuotteena 100 kW lämpöä (Kangasoja 2009). Teoreettisesti puukaasutinjärjestelmällä voidaan tuottaa siis sähköä 1200 kWh ja lämpöä 2400 kWh vuorokaudessa. Maatilan sähkönkulutus on vuodessa 17000 kWh, joten keskimääräinen vuorokauden sähkönkulutus on noin 47 kWh. Puukaasutinjärjestelmä on siis täysin kykenevä tehonsa puolesta tuottamaan maatilan tarvitseman sähkön. Maatilan lämmöntarve vuodessa on

noin 39441 kWh, joten keskimääräinen lämmöntarve vuorokaudessa on noin 108 kWh, joten myös lämmitysteho on puukaasutinjärjestelmässä riittävä maatilalle. Puukaasutinjärjestelmässä olevalla kaasupolttimella voidaan tuottaa pelkästään lämpöä, joten lämmitystehoa on riittävästi, vaikka sähköntuotannosta syntyvä lämpö ei riittäisiäkään kylmänä vuodenaikana lämmitystarpeeseen.

Teoriassa puukaasutinjärjestelmällä voitaisiin tuottaa 1 kWh sähköä ja 2 kWh lämpöä yhdestä kilogrammasta haketta. Käytännössä kuitenkin ottaen huomioon järjestelmän tarvitseman sähköenergian ja hukkaenergian määrän niin 1 kWh sähkön ja 2 kWh lämmön tuottamiseen kuluu 1,2 kg haketta. (Muilu 2009.) Tämän perusteella voidaan laskea, että puukaasutinjärjestelmän hyötysuhde on noin 83 %.

4.3 Yhteenveto lähtötiedoista

Lähtötietojen hinnoissa käytetään arvonlisäverollisia hintoja, koska vertailtavat sähkön- ja lämmöntuotantojärjestelmät tulevat pääasiassa yksityiskäyttöön, jolloin arvonlisäverojen vähentäminen ei onnistu. Rahoituksena molemmille sähkön- ja lämmöntuotantojärjestelmille käytetään tasaerälainaa.

Vuosikorko	5 %
Tasaerälainan maksuaika	10 vuotta
Hakelämmitysjärjestelmän kustannus (alv 22 %)	30500 €
Hakelämmitysjärjestelmän hyötysuhde	80 %
Puukaasutinjärjestelmän kustannus (alv 22 %)	115900 €
Puukaasutinjärjestelmän hyötysuhde hakkeen potentiaalienergian muuttamiseen sähköksi ja lämmöksi	83 %
Puukaasutinjärjestelmällä 1 kWh tuotettua sähköä tuottaa sivutuotteena lämpöä	2 kWh
Maatilan lämmöntarve vuodessa	39441 kWh
Maatilan sähköntarve vuodessa	17000 kWh
Hakkeen hinta (alv 22 %)	18,3 €/m ³
Hakkeen energiasisältö, kosteus 35 %	790 kWh/m ³
Sähkön perusmaksu myynnistä ja siirrosta (3X25A, alv 22 %)	7,87 €/kk
Sähköenergian kokonaishinta myynnistä ja siirrosta (alv 22 %)	0,0842 €/kWh
Sähkövero siirrosta, 1 veroluokka	0,0108 €/kWh

4.4 Laskelmien toteutus

Laskelmissa selvitetään molemmille sähkön- ja lämmöntuotantomenetelmille vuosikustannukset ja verrataan niitä keskenään. Hakelämmitysjärjestelmän ja ostosähkön vuosikustannus koostuu tasaerälainan vuosikustannuksesta, lämmityksen polttoainekustannuksesta ja ostosähkönkustannuksesta. Puukaasutinjärjestelmässä vuosikustannus koostuu tasaerälainan vuosikustannuksesta ja polttoainekustannuksesta sähkön- ja lämmöntuotantoon. Puukaasutinjärjestelmällä sähköä tuottaessa syntyy sivutuotteena lämpöä myös lämpimänä vuodenaikana ja kylmänä vuodenaikana sähköntuotannosta syntyvä lämpö ei välttämättä kata lämmöntarvetta. Tämän takia laskelmissa tehdään tarkastelu kuukausitasolla hukkalämmön tai lämpövajeen selvittämiseksi.

Laskelmat tehdään Excel-tilukkolaskentaohjelmalla. Laskelmat linkitetään lähtöarvoihin, jolloin voidaan tehdä lukuja muuttamalla johtopäätöksien havainnointia ja herkkyysanalyysia.

5 KANNATTAVUUSSELVITYKSEN TULOKSET

Tulokset ilmoitetaan siten, että laskennoissa olevat tiedot löytyvät aikaisemmista laskuista. Investointeihin tarvittavien tasaerälainojen vuosikustannuksissa on 10870 € ero hakelämmitysjärjestelmällä ja puukaasutinjärjestelmällä (taulukko 3). Ero on merkittävä, koska puukaasutinjärjestelmä kaventaa eroa investointien aiheuttamissa kustannuksissa vain sähköntuotannolla.

TAULUKKO 3. Tasaerälainojen vuosikustannukset

Vuosikorko	5 %
Tasaerälainan maksuaika	10 vuotta
Tasaerälainan maksuerät vuodessa	12 kpl
Yhteensä maksueriä	120 kpl
Hakelämmitysjärjestelmän kustannus (alv 22 %)	30500 €
Tasaerälainan maksuerän suuruus hakelämmitysjärjestelmälle	323 €
Tasaerälainan yhteiskustannus hakelämmitysjärjestelmälle	38820 €
Tasaerälainan vuosikustannus hakelämmitysjärjestelmälle	3882 €
Puukaasutinjärjestelmän kustannus (alv 22 %)	115900 €
Tasaerälainan maksuerän suuruus puukaasutinjärjestelmälle	1229 €
Tasaerälainan yhteiskustannus puukaasutinjärjestelmälle	147516 €
Tasaerälainan vuosikustannus puukaasutinjärjestelmälle	14752 €

Lämmöntarve maatilalla on vuodessa 39441 kWh ja sähkötuotannon yhteydessä syntyy hyödynnettävissä olevaa lämpöä 34000 kWh. Kuukausitarkastelun mukaan lämpimänä vuodenaikana syntyy sähkötuotannossa hukkalämpöä 7462 kWh, joten lisälämpöä puukaasutinjärjestelmällä joudutaan tuottamaan vuodessa 12903 kWh (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Hukkalämmön määrä tai lisälämmön tarve kuukausitasolla puukaasutinjärjestelmällä

Kuukaudet tammi-kesäkuu	yht.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sähkön tarve (kWh)	8500	1417	1417	1417	1417	1417	1417
Sähkötuotannosta syntyy hyödynnettävää lämpöä yhteensä (kWh)	17000	2833	2833	2833	2833	2833	2833
Suhteellinen lämmönkulutus vuodesta	59 %	15 %	14 %	13 %	9 %	6 %	2 %
Lämmöntarve kuukausittain (kWh)	23270	5916	5522	5127	3550	2366	789
Sähkötuotannon tasaisuudesta johtuva hukkalämpö/lämpövaje (kWh)	-6270	-3083	-2688	-2294	-716	467	2045
Hukkalämmön määrä (kWh)	2511	0	0	0	0	467	2045
Lisälämmön tarve (kWh)	8782	3083	2688	2294	716	0	0
Kuukaudet heinäkuu-joulukuu	yht.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Sähkötarve (kWh)	8500	1417	1417	1417	1417	1417	1417
Sähkötuotannosta syntyy hyödynnettävää lämpöä yhteensä (kWh)	17000	2833	2833	2833	2833	2833	2833
Suhteellinen lämmönkulutus vuodesta	41 %	2 %	2 %	5 %	9 %	10 %	13 %
Lämmöntarve kuukausittain (kWh)	16171	789	789	1972	3550	3944	5127
Sähkötuotannon tasaisuudesta johtuva hukkalämpö/lämpövaje (kWh)	829	2045	2045	861	-716	-1111	-2294
Hukkalämmön määrä (kWh)	4950	2045	2045	861	0	0	0
Lisälämmön tarve (kWh)	4121	0	0	0	716	1111	2294
Hukkalämmön määrä vuodessa (kWh)	7462						
Lisälämmityksen tarve vuodessa (kWh)	12903						

Sähköä ja lämpöä tuotetaan ostohakkeella puukaasutinjärjestelmässä, joten vuodessa lämpöä menee hukkaan 208 €arvosta (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Hukkalämmön kustannus vuodessa puukaasutinjärjestelmällä

Lämpimänä vuodenaikana syntyvän hukkalämmön määrä	7462 kWh
Puukaasuttimen hyötysuhde	83 %
Yhteensä hukkaenergian tuottoon kuluva energia	8990 kWh
Hakkeen energiasisältö, kosteus 35%	790 kWh/m ³
Hukkaenergiaan kuluva hakemäärä vuodessa	11 m ³
Hakkeen hinta (alv 22%)	18,3 €/m ³
Hukkaenergian tuottamisen kustannus vuodessa	208 €

Puukaasutinjärjestelmän vuosikustannus on 16535 €(taulukko 6). Tästä investoinnin tasaerälainan osuus on noin 89 %. Hakelämmitysjärjestelmän vuosikustannus on 6733 €(taulukko 7). Tästä investoinnin tasaerälainan osuus on noin 58 %. Vuodessa ostosähköllä ja hakelämmitysjärjestelmällä säästää siis 9802 € verrattuna sähkön- ja lämmöntuottamiseen puukaasujärjestelmällä.

TAULUKKO 6 Puukaasutinjärjestelmän vuosikustannus

Puukaasutinjärjestelmän tasaerälainan vuosikustannus	14752 €
Sähköntarve vuodessa	17000 kWh
Sähköntuotannosta syntyvä käytettävissä oleva lämpö	34000 kWh
Kylmän vuodenajan lisälämmitykseen tarvittava energiamäärä	12903 kWh
Maatilan tarvitsema energiamäärä sähköön ja lämpöön yhteensä	63903 kWh
Puukaasuttimen hyötysuhde	83 %
Sähkön- ja lämmöntuotantoon tarvittava energia yhteensä	76991 kWh
Hakkeen energiasisältö, kosteus 35%	790 kWh/m ³
Tarvittava hakemäärä sähkön- ja lämmöntuotantoon vuodessa	97 m ³
Hakkeen hinta (alv 22%)	18,3 €/m ³
Hakkeen oston kustannukset vuodessa	1783 €
Puukaasutinjärjestelmän vuosikustannus yhteensä	16535 €

TAULUKKO 7 Hakelämmitysjärjestelmän ja ostosähkön vuosikustannus

Hakelämmitysjärjestelmän tasaerälainan vuosikustannus	3882 €
Energian tarve lämmitykseen vuodessa	39441 kWh
Hakkeen energiasisältö, kosteus 35%	790 kWh/m ³
Hakelämmitysjärjestelmän hyötysuhde	80 %
Tarvittava hake määrä lämmitykseen vuodessa	62 m ³
Hakkeen hinta (alv 22%)	18,3 €/m ³
Hakkeen oston kustannukset vuodessa	1142 €
Sähköntarve vuodessa	17000 kWh
Sähkön perusmaksu myynnistä ja siirrosta (3X25A, alv 22%)	7,87 €/kk
Sähköenergian kokonaishinta myynnistä ja siirrosta (alv 22%)	0,0842 €/kWh
Sähkövero siirrosta, 1 veroluokka	0,0108 €/kWh
Sähkökulut vuodessa (alv 22%)	1709,44 €
Hakelämmitysjärjestelmän ja ostosähkön vuosikustannus yhteensä	6733 €

6 KANNATTAVUUSSELVITYKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Tulokset

Yrittäjä Anssi Huitulan maatilalla on taloudellisesti kannattavampaa käyttää ostosähköä ja hakelämmitysjärjestelmää kuin puukaasutinjärjestelmää sähkön- ja lämmön tuottamiseen. Merkittävin tekijä puukaasutinjärjestelmän kannattamattomuuteen on sen korkea investointihinta. Puukaasutinjärjestelmän maksimi teho on 50 kW sähköä ja 100 kW lämpöä, joten sillä olisi teoriassa mahdollista tuottaa vuodessa 438000 kWh sähköä ja 876000 kWh lämpöä. Maatilan sähköntarve on 17000 kWh ja lämmöntarve 39441 kWh, joten puukaasutinjärjestelmän teoreettisesta kapasiteetista hyödynnettäisiin sähkön osalta noin 3,9 % ja lämmön osalta noin 4,5 %. Käyttöaste olisi erittäin alhainen järjestelmän kapasiteettiin nähden, joten tämäkin osaltaan selittää huonoa taloudellista kannattavuutta.

Vuotuis kustannukset ovat puukaasutinjärjestelmällä polttoainekuluista 1783 € Hakelämmitysjärjestelmän polttoainekulut ovat 1142 € ja ostosähkön kustannukset 1709 € eli yhteensä 2851 €. Jos investointien hinnat olisivat samat hakelämmitysjärjestelmällä ja puukaasutinjärjestelmällä, vuodessa säästäisi puukaasutinjärjestelmää käyttämällä 1068 € verrattuna hakelämpöön ja ostosähköön. Tästä voidaan vetää johtopäätökseksi, että jos puukaasutinjärjestelmän investointi hinta tulisi tarpeeksi alhaiseksi, muuttuisi se taloudellisesti kannattavammaksi kuin hakelämpö ja ostosähkö.

Sähköntarve pysyy maatilalla vuodenajasta riippumatta suunnilleen samansuuruisena. Sähköntuotannossa puukaasutinjärjestelmällä syntyy aina sivutuotteena lämpöä, joten lämpimänä vuodenaikana syntyy hukkalämpöä, koska lämmöntarve on maatilalla silloin pientä. Vaikka maatilan sähköntarve on tässä tapauksessa pieni, syntyy vuodessa hukkalämpöä jo 208 € arvosta. Jos puukaasutinjärjestelmän koko 438000 kWh teoreettinen sähköntuotantokapasiteetti hyödynnettäisiin maatilalla, mutta lämpöä ei hyödynnettäisi laskelmissa olevia arvoja enempää, tuotettaisiin hukkalämpöä 23348 € arvosta vuodessa. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että sähköä puukaasulla tuotettaes-

sa olisi sivutuotteena saatava lämpö hyödynnettävä kokonaisuudessaan hyvän taloudellisen kannattavuuden aikaansaamiseksi.

6.2 Herkkyysanalyysi

Puukaasutinjärjestelmä tulisi yrittäjä Anssi Huitulan maatilalla hakelämmitysjärjestelmää ja ostosähköä kannattavammaksi, jos sen investointi hinta olisi alle 38900 € sisältäen 22 % arvonlisäveron.

Sähkön tarpeen nouseminen maatilalla lisää puukaasutinjärjestelmän suhteellista kannattavuutta. Pelkän sähköntarpeen nouseminen maatilalla ei kuitenkaan tee puukaasutinjärjestelmästä hakelämmitysjärjestelmää ja ostosähköä kannattavampaa, koska puukaasutinjärjestelmän teoreettinen sähköntuotantokapasiteetti on 438000 kWh vuodessa ja sähköntarpeen pitäisi olla tätä suurempi. Myös lämmöntarpeen nouseminen maatilalla lisää puukaasutinjärjestelmän suhteellista kannattavuutta, mutta siinäkin hakelämmön ja ostosähkön kannattavuutta ei pystytä saavuttamaan, koska vuotuinen 876000 kWh teoreettinen lämmöntuotantokapasiteetti tulee vastaan. Jos sekä lämmöntarve että sähköntarve muuttuisivat maatilalla yli 11- kertaisiksi, muuttuisi puukaasutinjärjestelmä hakelämpöä ja ostosähköä kannattavammaksi. Tällöin sähköntarpeen pitäisi olla yli 187000 kWh ja lämmöntarpeen yli 433854 kWh vuodessa. Tämä energiamäärä olisi myös mahdollista tuottaa järjestelmällä. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että puukaasutinjärjestelmä voi olla tälläkin investointihinnalla taloudellisesti kannattava, jos sähkön- ja lämmöntarpeet olisivat tarpeeksi suuret.

Lainan maksuajan pidennys ja vuosikoron laskeminen parantaa puukaasutinjärjestelmän suhteellista kannattavuutta, mutta vaikka korko olisi 0 %, niin teoriassa maksuajan pitäisi olla yli 80 vuotta hakelämmön ja ostosähkön kannattavuuden saavuttamiseksi.

Hakkeen hinnan lasku parantaa puukaasutinjärjestelmän suhteellista kannattavuutta, koska hakelämmityksessä haketta kuluu maatilalla 62 m³, mutta puukaasutinjärjestelmällä sähkön- ja lämmöntuotannossa kuluu haketta 97 m³. Hakkeen hinnalla on kuitenkin kannattavuuslaskelmassa vähän merkitystä.

Sähkön hinnan noustessa puukaasutinjärjestelmän suhteellinen kannattavuus paranee suhteessa hakelämpöön ja ostosähköön. Jos sähkön hinnan perusmaksu myynnistä ja siirrosta sekä energian hinnan myynti- ja siirtomaksu muuttuisivat yli 7,4-kertaisiksi, muuttuisi puukaasutinjärjestelmä hakelämpöä ja ostosähköä kannattavammaksi maatilalla.

7 POHDINTA

7.1 Mikro-CHP tekniikat

Mikro-CHP -laitteistot ovat nousseet esille viimeaikoina, koska energian hinta on ollut nousujohteinen pitkällä aikavälillä. Kehitystyötä on ollut paljon, mutta mikään laitteisto ei varsinaisesti ole vielä lyönyt itseään läpi markkinoilla. Suurimpana esteenä näkisin laitteistojen suuren investointi hinnan. Vähäiselle sähkön- ja lämmöntarpeelle pienet ja halvat lämmöntuotantotekniikat sekä helposti hankittava ja varmatoiminen ostosähkö ovat taloudellisesti kannattavampia kuin kalliit mikro-CHP -laitteet. Tilanteessa näen hankaluudeksi sen, että mikro-CHP -laitteistojen valmistajat haluavat kehitystyölleen katetta, joka nostaa laitteistojen hintaa. Toisaalta korkea hinta mahdollistaa laitteistojen taloudellisesti kannattavan käytön vain harvoilla kohteilla ja tämä taas vähentää laitteistojen valmistusmäärää. Pienet valmistusmäärät heikentävät tehokkaan sarjatuotannon mahdollisuutta, jolloin laitteistojen valmistuksen kustannukset pysyvät korkealla. Uskoisin, että pienen kokoluokan mikro-CHP -laitteistolle olisi suuret markkinat, jos sen hinta saataisiin tarpeeksi alhaiseksi. Markkinoille tarvittaisiin valmistaja, joka uskaltaisi lähteä valmistamaan sarjatuotantona halpaa ja yksinkertaisesta mikro-CHP -laitteistoa vähäisen sähkön- ja lämmöntarpeen kohteille.

Stirling-moottori on mielestäni merkittävin moottoritekniikka tulevaisuutta ajatellen. Koska stirling ei ole polttomoottori, on sen sovellusmahdollisuudet merkittävästi erityyppiset kuin muilla moottoreilla. Esimerkiksi kiinteää polttoainetta ei tarvitse jaloittaa vaan se voidaan polttaa suoraan ja käyttää vain lämpöä moottorin pyörittämiseen. Stirling-moottorilla voidaan teoriassa tehdä myös auringon lämpösäteilystä puhtaasti sähköenergiaa ilman ongelmajätteenä luokiteltavia akkuja tai aurinkokennoja. Stirlin-

gin kehitystyö on kuitenkin vielä kesken ja moottori vaatii tällä hetkellä tehokkaasti toimiakseen suuren lämpömäärän.

Moottoritekniikaltaan kiertomäntämoottorillisen mikro-CHP -laitteiston valmistajaa en löytänyt yhtäkään. Moottori olisi kuitenkin teoriassa täysin käyttökelpoinen mikro-CHP -laitteistossa ja pienen kokonsa ja suuren kierrosnopeutensa ansiosta soveltuisi hyvin generaattorin pyörittämiseen.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole montaa puukaasulla toimivan mikro-CHP -laitteiston valmistajaa. Kannattavuusselvityksessä tarkastellun Gasek Oy:n laitteiston lisäksi Suomessa on puukaasutinlaitteistoja valmistava CCM-Power Oy. Vertailun vuoksi yritin selvittää yrityksen valmistaman laitteiston hintaa ja tehoa, mutta lähettämäni sähköpostiin ei vastattu. Yrityksen internet-sivuilla ei ollut puhelinnumeroita, josta olisi voinut asiaa tiedustella, joten en saanut tietoja hankittua. Useita eri puukaasutin-hankkeita on kuitenkin tällä hetkellä olemassa, joten tulevaisuudessa valmistajien määrä voi lisääntyä.

7.2 Biomassapohjaiset polttoaineet

Biokaasun tuottamisesta sähkön- ja lämmöntuotantoon työn tilaajan maatilalla olisi haasteellista saada taloudellisesti kannattavaa. Biokaasutusjärjestelmän ja mikro-CHP -yksikön hinta on suuri tilan lämmön- ja sähköntarpeeseen verraten. Tilalla ei myöskään ole itsellään tarpeeksi kaasutettavaksi kelpaavia jätemääriä energian tarpeeseen, joten kaasutettavaa ainesta pitäisi viljellä pellolla tai tuoda tilan ulkopuolelta.

Biodieselin tuottaminen maatilalla voisi olla harkitsemisen arvoista. Biodiesel voitaisiin sekoittaa tilan työkoneiden polttoaineen sekaan. Jos biodieselin tuotantolaitteet hankittaisiin muutaman maatilalla yhteishankintana ja rypsipuriste saataisiin hyödynnettyä eläinten rehuna, voisi biodieselillä säästää rahaa työkoneiden polttoainekuluissa. Sähkön- ja lämmöntuotantoon biodieselillä ei kuitenkaan tilalla saada tarpeeksi tuotettua ainakaan perinteisesti raaka-aineena käytetystä rypsisistä.

Puukaasun käyttämisen maatilalla sähkön- ja lämmöntuottamiseen estää puukaasulla toimivan mikro-CHP -laitteiston korkea hinta. Maatilalla ei ole itsessään tarpeeksi metsää hakkeen tuotantoa varten, mutta haketta saa nykyään helposti ostettua tilan ulkopuolelta. Tällöin polttoainekuluissa ei tosin pysty vähentämään oman työn osuutta ja hakkeesta pitää maksaa täysi hinta. Huomattavaa on, että puukaasutinlaitteistossa voi kaasuttaa myös muuta biomassaa, esimerkiksi heinää tai tilalla syntyvää biojätettä.

7.3 Kannattavuusselvitys

Kannattavuusselvityksen teossa ei otettu huomioon lämmön tai sähkön myymistä maatilalla ulkopuolelle, koska tavoitteena laskennoissa oli omavaraisuus. Sähkön myyminen tilan ulkopuolelle aiheuttaa byrokratiaa ja kustannuksia sähköverona ja sähköyhtiön huoltomaksuina. Lisäksi sähköyhtiö maksaa tuotetusta sähköstä hyvin pientä korvausta, joten pienten sähkömäärien tuottaminen valtakunnan verkkoon ei ole järkevää. Lämmön myyminen ulkopuoliselle aiheuttaa myös byrokratiaa, mutta on paljon yksinkertaisempaa kuin sähkön myynti. Lämmön myymisessä ongelmana on lämpökanaalien vetämisen kalleus ja niissä hukkaan menevä lämpö. Esimerkiksi jo pelkästään maatilalla olevassa 42,5 metrin lämpökanaalissa hukkalämpöä syntyy vuodessa 6151 kWh. Tämä vastaa polttimen hyötysuhde mukaan lukien 178 € hakkeen hinnaksi muutettuna.

Jos tulevaisuudessa puukaasutinjärjestelmän hinta putoaisi ja se tulisi taloudellisesti kannattavaksi maatilalle, olisi kesällä sillä tuotettavalle hukkalämmölle järkevää keksiä jotain käyttöä. Hukkalämpöä kuitenkin syntyisi 208 € edestä vuodessa. Hyödyntää sitä voisi esimerkiksi halkojen tai hakkeen kuivaamiseen.

Sähkön hinnalla on yllättävän vähän merkitystä laskelmissa. Sähkön hinnan pitäisi tulla yli 7,4-kertaisiksi ennen kuin puukaasutinjärjestelmä muuttuisi taloudellisesti kannattavaksi maatilalle. Sähkön hinta on kuitenkin yleensä se asia, mikä aiheuttaa kiinnostuksen mikro-CHP -laitteen taloudellisen kannattavuuden tutkintaan. Todellisuudessa valtakunnanverkosta ostettava sähkö on kuitenkin verrattain halpaa. Isoissa voimaloissa saadaan sähköä tehokkaasti tuotettua ja sähkölinjoissa sähkö siirtyy vä-

häisellä energianhukalla. Sähkön hinta on ollut aikaisemmin halvempi, koska sen tuottamisen aiheuttamat ympäristöhaitat sivuutettiin hinnoittelussa. Kioton-sopimukseen juurensa johtava päästökauppa EU:n sisällä on kuitenkin nostanut fossiililla polttoaineilla tuotettavan sähkön hintaa. Koska sähkö on suhteellisesti halpaa ostaa valtakunnan verkosta, pitää mikro-CHP -laitosta suunnitellessa miettiä energian hyödyntämistä sekä sähkön että lämmön kannalta. Pelkän sähkön tuottamiseen mikro-CHP -laitos on tehoton. Ilman puukaasutinjärjestelmän kallista investointikustannusta sähkön tuottaminen ostohakkeesta olisi kuitenkin kannattavaa, joten valtakunnanverkosta ostettavan sähkön hinnassa on hyvin katetta sähköyhtiöille.

Merkittävä asia kannattavuusselvityksessä on ollut erilaisten tukien pois jättäminen investoinneista. Tämä johtuu sähkön- ja lämmöntuottamisesta pääasiassa yksityiskäyttöön ja tukien saamisen edellytyksien monimutkaisuudesta. Esimerkiksi TE-keskus saattaa myöntää investointitukea energiatuen muodossa enimmillään 30 % investoinnin hinnasta (TE-keskus 2009). Vaikka puukaasutinjärjestelmän investointiin saisi tämän tuen, niin hakelämmitysjärjestelmää ja ostosähköä käyttämällä säästäisi silti 5376 €vuodessa verrattuna puukaasutinjärjestelmään. On myös huomattava, että saman tuen saattaisi saada myös hakelämmitysjärjestelmälle. On olemassa myös muita lähinnä EU-rahoitteisia hankkeita joista voi saada rahoitusta bioenergian edistämiseen. Tärkeintä avustustuen hakemisessa on se, että mitään ei investoida, ennen kuin päätös tuen saamisesta on tehty.

7.4 Opinnäytetyön teko

Opinnäytetyön teko on ollut minulle hankala prosessi. Suurin yksittäinen ongelma oli laitteistonvalmistajan haluttomuus lähteä kannattavuusselvitykseen mukaan. Lisäksi puukaasutinjärjestelmän hintaluokan selviäminen teki kannattavuusselvityksen lopputuloksen selväksi jo työn alkuvaiheessa. Tämä heikensi motivaatiani tehdä kannattavuusselvitystä, koska työ tuntui turhalta. Nyt kun kannattavuusselvitys on valmis, ei se enää tunnu turhalta, koska olen saanut selvitettyä millä perusteilla puukaasutinjärjestelmä tulisi taloudellisesti kannattavaksi. Tämä on lisännyt asiantuntijuuttani bioener-

gia-alalla. Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön teko muuttui aloittamisen vaikeuden jälkeen mielenkiintoiseksi ja työn tavoitteet saavutettiin.

Opinnäytetyön teoria osuuden pyrin tekemään työn tilaajaa ajatellen. Yritin kertoa mikro-CHP -tekniikoista ja polttoaineista siten, että ne herättäisivät mielenkiinnon ja siten maatilan energiaratkaisuja pohdittaessa tiedettäisiin myös muita bioenergia mahdollisuuksia. Tämän tarkempaan teoriaan syventymiseen en nähnyt tarvetta, koska uskoisin, että siitä ei ole hyötyä työn tilaajalle. Lähteiden kautta löytyy lisää tarkempaa tietoa.

Opinnäytetyön kannattavuusselvitys osion laskelmat tein Excel – taulukkolaskentaohjelmalla. Tämä oli hyvä ratkaisu, koska näin pystyin tekemään tarkkoja herkkyysanalyyssejä. Aion myös lähettää käyttämäni Excel – pohjan työn tilaajalle, jotta hän voi myös itse tehdä herkkyysanalyysia lukuja muuttamalla. Osiota tehdessäni havaitsin, kuinka vaikeaa on näyttää tekstissä lähtöarvot ja tulokset tarkasti, mutta tarpeeksi yksinkertaisesti. Taulukon laittaminen tekstiin hävittää laskentakaavat näkyvistä, mutta toisaalta joka laskutoimituksen erikseen näyttäminen tekee taulukosta sekavan ja oleelliset asiat hukkuvat. Lopulta päädyin laittamaan jokaiseen taulukkoon arvot joiden laskutoimituksilla tulokset syntyvät ylhäältä alaspäin. Uskoisin, että taulukoista saa näin selville laskentaperusteet.

LÄHTEET

Asikainen, V. 2007. Elämä paremmaksi biokaasulla. Verkkojulkaisu. UM kehitysviestintä. Viitattu 8.4.2009.

<http://global.finland.fi/Public/default.aspx?contentid=105825&nodeid=34352&contentlan=1&culture=fi-FI>

Bioste Oy. 2009a. Biodiesel. Viitattu 11.4.2009.

http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=11.

Bioste Oy. 2009b. Fischer-Tropsch. Viitattu 11.4.2009.

http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=14

Brugg Pema. 2009. Calpex-Aluelämpöputket. Tuotekuvasto. Viitattu 20.4.2009.

<http://www.bruggpema.fi/tuotesivut/Calpex/CPX6220.pdf>

Carter, D., Darby, D., Hallé, J. & Hunt, P. 2005. How to make biodiesel. Julkaisija Low-Impact Living Initiative. Painettu Iso-Britanniassa. Lighting Source, Milton Keynes.

CCM-Power. 2009a. Kaasutusteknologia, Kaasutuksen teoriaa. Viitattu 10.4.2009.

<http://www.ccm-power.fi/>

CCM-Power. 2009b Kaasutusteknologia, Kehityksen tarve. Viitattu 10.4.2009.

<http://www.ccm-power.fi/>

CCM-Power. 2009c. Kaasutusteknologia, Uusi menetelmä. Viitattu 10.4.2009.

<http://www.ccm-power.fi/>

Gasek. 2009a. EK-kaasutin. Viitattu 10.4.2009. <http://www.gasek.fi>

Gasek. 2009b. CHP-voimala. Viitattu 20.4.2009. <http://www.gasek.fi>

Granö, U. 2008. Highbio-Interreg pohjoinen. Projekti info 05. Jyväskylän yliopisto. Kokkolan yliopistokeskus. Viitattu 5.4.2009.

https://ciweb.chydenius.fi/project_files/HighBio%20projekti%20INFO/INFO%20HighBio%20F05.pdf

Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Loppuraportti. Gaia. Viitattu 8.4.2009.

http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvoD1wwP/Biokaasun_maatilatuotannon_kannattavuusselvitys_julkinen.pdf

Hintikka, J. 2004. Biomassapohjaiset Mikro-CHP-tekniikat. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja. Viitattu 1.4.2009.

https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/43141/mikro-chp-raportti_nro8.pdf?sequence=1

Kangasoja, E. 2009. Gasek Oy. Puhelinkeskustelu 9.2.2009.

Kauppinen, V. 2005. Lämmityskohteen mitoitus. Metsäkeskus Keski-Suomi. Maaseudun bioenergianeuvoja–hanke.

Lassi, U. 2008. Puuperäisten biomassojen kaasutus – esimerkkinä Sievin kaasutin. Uudet energiaratkaisut Pohjanmaalla –seminaari. Jyväskylän yliopisto. Kokkolan yliopistokeskus. Viitattu 10.4.2009.
http://projects.gtk.fi/export/sites/projects/energiaseminaari/esitykset/08-Lassi_Ulla-Kalajoki.pdf

Latvala, M. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö. Bionova Engineering. Viitattu 5.4.2009.
http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/36f29f6f38d27b340ffe68c3eabf947d/jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyotykytto.pdf

Lawbuary, J. 1999. Biogas technology in India: More than Gandhi's dream?. Viitattu 5.4.2009.
<http://www.ganesha.co.uk/Articles/Biogas%20Technology%20in%20India.htm>

Metener. 2009a. Metenerin biokaasulaitos. Viitattu 8.4.2009. <http://www.metener.fi/>

Metener. 2009b. Biokaasun hyödyt. Viitattu 8.4.2009. <http://www.metener.fi/>

Metso, A. 2006. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon. Pöyry Energy Oy. Viitattu 5.4.2009.
http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/e24c2d740c717b0e58faa7fa0f2e0319/S%C3%83%C2%A4hk%C3%83%C2%B6n_pientuotannon_liitt%C3%83%C2%A4minen_verkkoon.pdf

Muilu, Y. 2009. Keskipohjanmaan Ammattikorkeakoulun tutkimus ja kehitysyksikkö Centrian tutkija. Puhelinkeskustelu 10.2.2009.

Paavola, M. 2008. Biopolttoaineilla toimiva Stirling-voimalaitos. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energia- ja Ympäristötekniikka. Voimalaistekniikka. Viitattu 5.4.2009.
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/42807/nbnfife200811052050.pdf?sequence=4>

Raimovaara, M. 2004. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.4.2009.
<http://www.greennetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/19264351e78bffb4327fe0f8f522694/Biokaasun+tuotanto-+ja+hy%C3%83%C2%B6tyk%C3%83%C2%A4ytt%C3%83%C2%B6mahdollisuudet>

Siermala, H & Tuomikoski, P. 2007. Puukaasusta lämpöä ja sähköä. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.

TE-keskus. 2009. Energiatuki. Viitattu 2.5.2009.
<http://www.te-keskus.fi/Public/?ContentID=1088&NodeID=10530&area=7644>

Valtonen, M. 2009. Gasek Oy. Puhelinkeskustelu 11.2.2009.

Vilkkilä, T. 2007. Keskitetyn biokaasulaitoksen kannattavuus pohjoisen Keski-Suomen biohajoavien jätteiden käsittelyssä. Opinnäytetyö. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Wikipedia. 2009a. Micro-CHP. Viitattu 1.4.2009. <http://en.wikipedia.org/wiki/Micro-CHP>.

Wikipedia. 2009b. Stirlingmoottori. Viitattu 3.4.2009.
http://fi.wikipedia.org/wiki/Stirling_moottori.

Wikipedia. 2009c. Wankel-moottori. Viitattu 25.4.2009.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Wankel-moottori>

Äänismaa, P. 2008. Biodieselin pientuotanto. Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Biopolttoaineiden tuotanto–kurssi.