

Antti Jaakola & Eeki Visuri

Perunan kuorimajätteen kuivamädätys

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma, energiatekniikka
Joulukuu 2013**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Joulukuu 2013	Tekijä/tekijät Antti Jaakola & Eeki Visuri
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma, energiatekniikka		
Työn nimi Perunan kuorimajätteen kuivamädätys		
Työn ohjaaja Yrjö Muilu		Sivumäärä 29
Työelämäohjaaja -		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia perunan kuorimajätteen hyödyntämistä kuivamädätysmenetelmällä. Työssä toteutimme oman pienen kuivamädätysreaktorin, jolla tutkimme mädätettävän perunan kuorimajätteen kaasuntuotantoa.</p> <p>Testaus oli noin kuukauden mittainen projekti, jossa tutkittiin laitteemme tuottaman kaasun määrää 50 litralla perunan kuorimajätettä.</p> <p>Laskimme myös Kotirannan Vihannesjaloste Oy:n mahdollisuuksia hyödyntää kuorimajätettä yrityksen omassa energiantuotannossa.</p> <p>Työssä kerromme yleisesti biokaasusta ja esittelemme erilaisia biokaasun hyödyntämistapoja.</p>		

Asiasanat Biokaasu, Biomassa, Kuivamädätys
--

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date December 2013	Author Antti Jaakola & Eeki Visuri
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Dry fermentation of potato waste		
Instructor Yrjö Muilu		Pages 29
Supervisor -		
<p>Our aim in this thesis was to investigate biogas from potato waste using dry fermentation technology. In our project we made our own biogas reactor which we used for potato waste fermentation. Test lasted for one month where we investigated the amount of gas which we got from 50 litres of potato waste. We also calculated possibilities for Kotirannan Vihannesjaloste Oy to exploit their biowaste.</p> <p>In our thesis we tell about biogas and show different methods where to use it.</p>		

Key words
Biogas, Biomass, Dry fermentation

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CHP = Combined Heat and Power. Yhdistetty lämmön ja sähköntuotanto.

Mäski = Perunan kuorimajäte

Ympäri = Toimivasta biokaasureaktorista saatu bakteerikanta

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 BIOKAASU	2
2.1 Biomassa	3
2.2 Biomassan kuivamädätys	3
2.3 Biokaasu Suomessa	5
2.3.1 Biokaasulaitoksia lähialueilla	6
3 OMA BIOKAASUREAKTORI	9
3.1 Laitteisto	9
3.2 Tulokset ja tavoitteet	15
3.2.1 Ongelmat	18
4 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN	19
4.1 Lämmöntuotanto	19
4.2 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto	20
4.3 Liikennepolttoaine	21
5 KOTIRANNAN VIHANNESJALOSTE OY	23
6 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	24
6.1 Biokaasulaitoksen mitoitus	25
6.2 Biokaasulaitoksen kannattavuus	25
7 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28
KUVIOT	
KUVIO 1. Mädätyksen prosessi kaavio	4
KUVIO 2. Biokaasun muodostuminen biomassasta	5
KUVIO 3. Sekoitusmoottori	10
KUVIO 4. Sekoitin	11
KUVIO 5. Kattila	12
KUVIO 6. Lämmitin	13
KUVIO 7. Jumppapallo täynnä biokaasua	14
KUVIO 8. Kokonaisuus	14
KUVIO 9. Biokaasun tuotto diagrammissa	16
KUVIO 10. Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen	19
TAULUKOT	
TAULUKKO 1. Tulosten esitys	16
TAULUKKO 2. Eri raaka-aineiden biokaasutuotto	17

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössämme perehdyimme kuivamädätysmenetelmään, jota käytetään hyödyksi biokaasun tuotannossa. Toteutimme keväällä 2013 oman reaktorin, jossa kuivamädätimme perunan kuorimajätettä ja tutkimme sen kaasuntuotto-ominaisuuksia. Aineistossa esittelemme reaktorimme laitteiston ja sen toimintaperiaatteen. Lisäksi käymme läpi kuivamädätysprosessin etenemisen, joka oli kokonaisuudessaan noin kuukauden mittainen projekti. Projekti toimi myös testinä Kotirannan Vihannesjaloste Oy:lle, jonka perunan kuorimajätettä käytimme.

Opinnäytetyössämme kerromme yleisesti biokaasusta, sen käyttömahdollisuuksista ja hyödyntämisestä tulevaisuudessa. Biokaasua tuotetaan kahdella eri menetelmällä märkä- tai kuivamädätyksellä, niiden ero on aineen kosteusprosentissa. Bakteerit tarvitsevat hapettoman, kostean ja lämpimän olosuhteen tuottaakseen kaasua. Käyttämämme perunajäte sisälsi noin 20 % vettä.

Etsiessä uusiutuvia, paikallisia energialähteitä niin biokaasu on yksi vartenotettava ratkaisu, koska tuottamamme jäte vapauttaa metaania ilmastoon, millä on moninkertainen vaikutus ilmaston lämpenemiseen verrattuna hiilidioksidiin.

2 BIOKAASU

Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Hapen puuttuessa hajoaminen tapahtuu mädäntymällä anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Hajoamisprosessin viimeisessä vaiheessa syntyy metaania metaanibakteerien hajotustoiminnan tuloksena. (Motiva 2013.)

Biokaasua saadaan biomassasta (mm. liete, lanta, jätteet ja peltobiomassat) biokaasureaktorissa tuotetusta kaasusta, sekä kaatopaikoilla muodostuvan kaasun keräyksellä. Kaasua voidaan hyödyntää lämmön- ja sähköntuotannossa ja siitä voidaan myös jalostaa ajoneuvojen polttoainetta. (Motiva 2013.)

Biokaasu on uusiutuvaa energiaa, joka on koostumukseltaan hyvin samankaltaista kuin fossiilinen maakaasu. Molemmissa metaanin osuus on suuri. Biokaasussa metaanin (CH_4) osuus vaihtelee 40-70 prosentin välillä ja hiilidioksidin (CO_2) osuus 30-60 prosentin välillä. Biokaasureaktoreissa tuotetussa kaasussa on lisäksi pieniä pitoisuuksia typpeä ja rikkivetyä ja kaatopaikkakaasuissa näiden lisäksi myös pieniä pitoisuuksia kloori- ja fluoriyhdisteitä. Rikkiyhdisteistä aiheutuu biokaasuille tyypillinen epämiellyttävä haju. Suomessa käytettävän venäläisen maakaasun metaanipitoisuus on noin 98 %. (Motiva 2013.)

Ilmastonmuutoksen kannalta biokaasu on kuitenkin maakaasua parempi vaihtoehto. Maakaasun hiilidioksidi on maan alle varastoitunutta ja hiilen kierrosta poistunutta samalla tavoin kuin kivihiilen ja öljyn hiili. Siksi maakaasu on rinnastettavissa muihin fossiilisiin polttoaineisiin. Biokaasu sen sijaan on peräisin uusiutuvista biomassoista, joiden hajotessa hiilidioksidi ja metaani vapautuvat ilmakehään joka tapauksessa riippumatta siitä, käytetäänkö se energiaksi vai ei. Biokaasun energiakäyttö ei siten lisää ilmakehän hiilidioksidin määrää, joten se on ympäristöystävällinen energiantuotantomuoto. (Motiva 2013.)

Metaani on hiilidioksidia 20-70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu. Siksi biojätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen ja kaatopaikoilta ilmaan vuotavan biometaanin talteenotto ja käyttäminen energiantuotannossa on ympäristön näkö-

kulmasta hyvin perusteltua. Biokaasun tuotannossa on selviä etuja myös jätteiden hyödyntämisen näkökulmasta, kun sijoitettavan biohajoavan jätteen määrä vähennee ja mädätys säilyttää ravinteet selvästi parhaiten biojätteen eri käsittelymuodoista. (Motiva 2013.)

2.1 Biomassa

Biomassaksi kutsutaan eloperäisiä hiilipitoisia aineita, joihin on yhteyttämisessä sitoutunut auringon energiaa. Biomassaa ovat mm. puu, puujäte, soke-ria/tärkkelystä sisältävät viljakasvit, levät ja vesikasvit, oljet, ruoho, eläinten lanta ja monet kotitalousjätteet. (Hellgren, Heikkinen, Suomalainen & Kala 1999, 30)

Biomassasta saadaan energiaa sekä polttamalla, että käyttämällä siitä alililmamääräisessä tilassa ns. biokaasua. Biomassasta saadaan valmistettua myös etanolia, jota voidaan käyttää bensiinin korvikkeena. (Hellgren 1999, 30.)

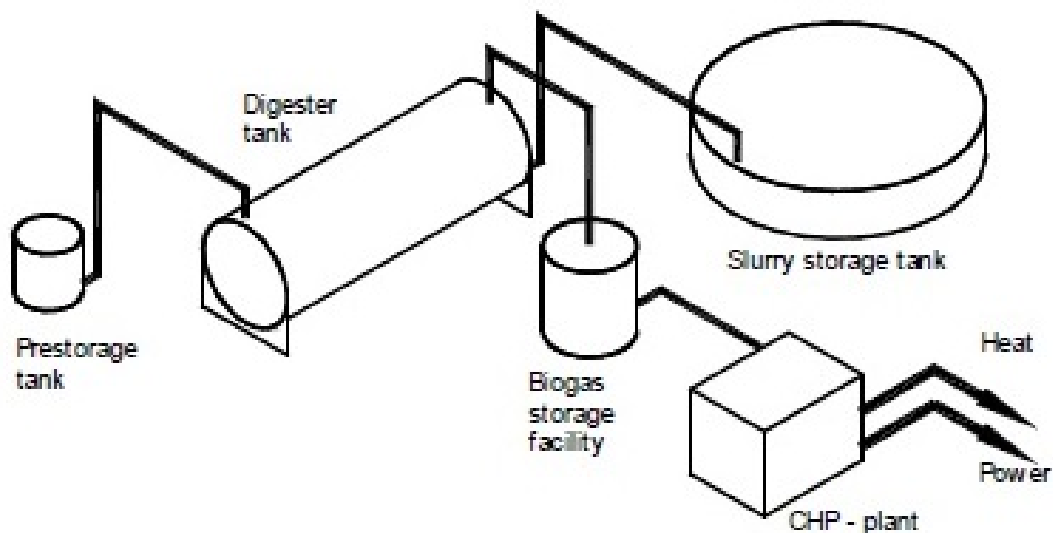
Biokaasua voidaan tuottaa periaatteessa kaikesta eloperäisestä materiaalista erityisen biokaasureaktorin avulla, jossa materiaalia käyttämällä saadaan tuotettua metaania. Metaani on polttokelpoinen kaasu, jota voidaan käyttää mm. energian tuotantoon. Biokaasun tuottamista talousjätteistä, kaatopaikoilla sekä suurten sikaloiden ja navetoiden yhteydessä on tutkittu paljon. (Hellgren 1999, 31.)

2.2 Biomassan kuivamädätys

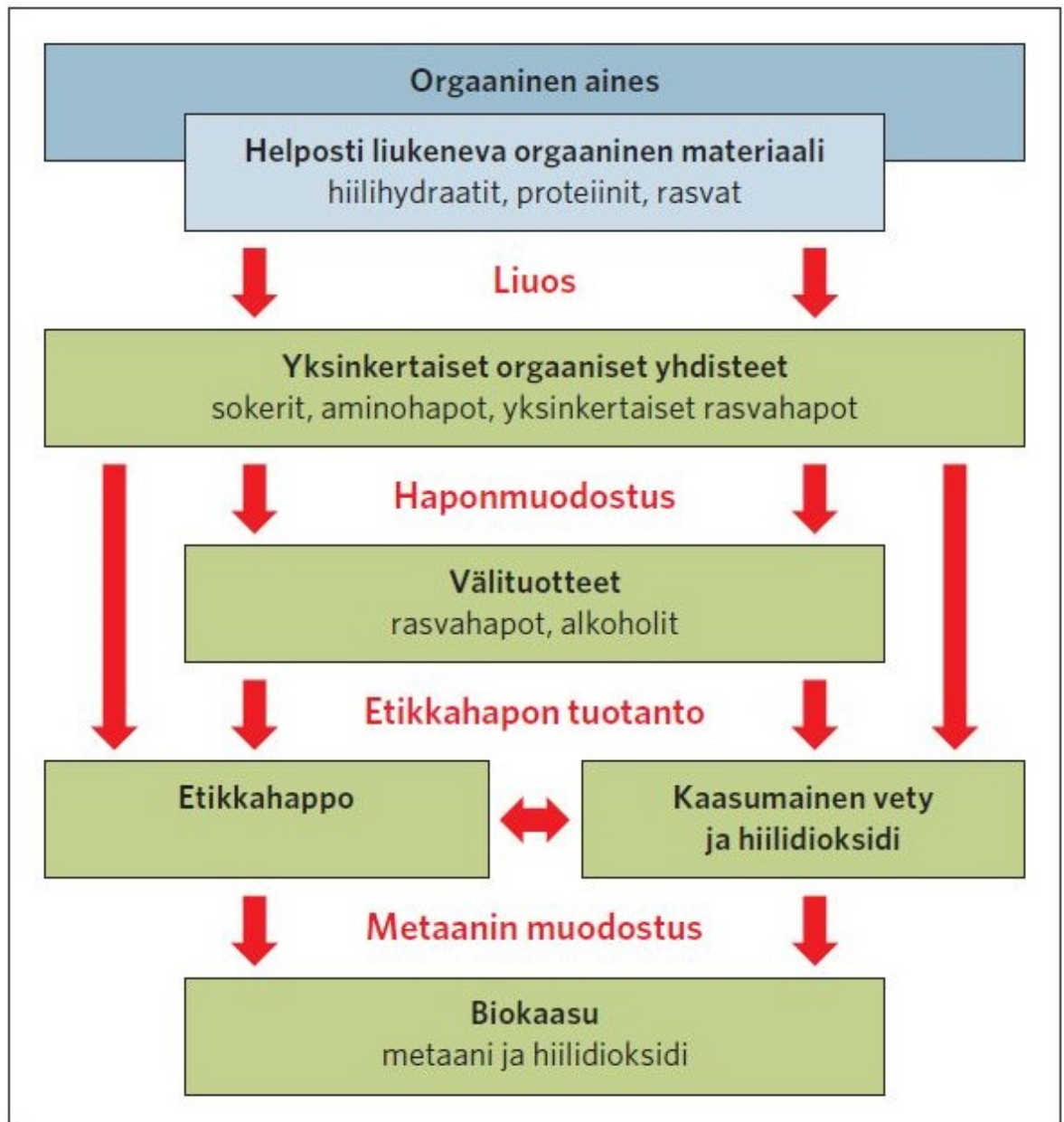
Anaerobinen mädätys on biologinen prosessi, jossa käsitellään orgaanista biomassaa. Biohajoavista jätteistä ja lannasta voidaan valmistaa lopputuotteina niin biokaasua kuin lannoitettakin ja samalla vähentää päästöjä ympäristöön. Mädätyksestä jäljelle jäänyttä ainesta (käsittelyjäännös) voidaan käyttää lannoitevalmistelain puitteissa lannoitevalmisteena. Kuivamädätyksen (dry fermentation) käsite on tekniikan nuoruuden vuoksi vielä epäselvä, parempi termi olisikin kiintoaineiden mädätys. Kuivamädätyksessä mädätettävän kuiva-aineen kosteuspro-

senti vaihtelee yleensä välillä 20-50 %. Kuiva-aineksen kosteuspitoisuuden ollessa alle 15 % puhutaan märkämädätyksestä (wet fermentation). Kuivamädätyksellä biokaasua voidaan tuottaa kiinteistä raaka-aineista, kuten maatalouden biomassasta, kunnallisesta biojätteestä ja maisemanhoidossa syntyvästä viheraluejätteestä. (Bionova 2009.)

Historiallisesta näkökulmasta katsoen, ensimmäiset biokaasulaitokset Keski-Euroopassa olivat panostoimisia ja kuivamädätystekniikalle perustuvia. Tämä johtui lietelantaa käsittelevien prosessien heikosta saatavuudesta tuolloin. Koska kuivamädätyksessä raaka-aineita ei tarvitse muuttaa nestemäiseksi (liettä), mekaaninen käsittely on yksinkertaisempaa. Siten teknologia ei ole niin altis häiriöille (esim. pumppujen rikkoontuminen), mikä parantaa käyttö- ja huoltovarmuutta. Myöhemmin 1990 –luvulla märkämädätyslaitokset yleistyivät selvästi suhteessa kuivamädätykseen, tällöin rakennettiin mm. lietelantaa ja jätevedenpuhdistamoiden lietteitä mädättäviä laitoksia. 2000 –luvulla modernimmat kuivamädätysprosessit ovat jälleen yleistyneet erityisesti biojätteiden käsittelytarpeen vuoksi. (Bionova 2009.)



KUVIO 1. Mädätyksen prosessi kaavio (Biogas handbook 2008.)



KUVIO 2. Biokaasun muodostuminen biomassasta (Motiva 2013.)

2.3 Biokaasu Suomessa

Suomessa maatalouden biokaasutuotannon lisäysmahdollisuudet ovat hyvin merkittävät. Arvioiden mukaan Suomessa muodostuu noin 20 – 25 miljoonaa tonnia lantaa ja olkia, joiden teoreettinen maksimipotentiali biokaasuntuotannossa on noin 30...140 TWh. Peltobiomassat ovat Suomessa mahdollisia biokaasutuotannon raaka-aineita, joiden hyötykäyttöä on viimeaikoina aktiivisesti alettu harjoittaa.

Arvioiden mukaan Suomessa voitaisiin tuottaa peltobiomassoista biokaasulla energiaa teknis-taloudellisesti noin 1 -6 TWh. (Suomen Biokaasuyhdistys 2010.)

Arvioiden mukaan maataloudesta voitaisiin teknis-taloudellisesti tuottaa noin 2 – 10 TWh energiaa (sisältää sekä lannat että kasvibiomassan). Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaan tavoitteena on edistää energiakasvien tuotantoa sekä maatalouden sivuvirtojen ja lannan hyötykäyttöä mm. biokaasutuotannossa siten, että saavutetaan noin 4 – 5 TWh taso. (Suomen Biokaasuyhdistys 2010.)

Biokaasulaitosrekisterin mukaan vuonna 2008 maatilalaitoksilla tuotettiin kahdeksalla laitoksella energiaa noin 0,002 TWh. Tällä hetkellä Suomessa on kymmenkunta maatalouden biokaasulaitosta, jotka käsittelevät pääosin maatalouden lietteitä ja peltobiomassoja. Muutamilla laitoksilla käsitellään myös elintarviketeollisuuden sivuvirtoja sekä yhdyskuntalietteitä. Maatalouden lietteitä käsitteleviä keskitettyjä laitoksia Suomessa on yksi ja toista laitosta rakennetaan parhaillaan. Keskitetyissä laitoksissa lannan ohella käsitellään myös muita biopohjaisia sivutuotteita. (Suomen Biokaasuyhdistys 2010.)

2.3.1 Biokaasulaitoksia lähialueilla

JUNTTILAN BIOKAASULAITOS NIVALASSA

Junttilan tilan biokaasulaitos on rakennettu vuonna 2000. Biokaasua on siis hyödynnetty tilalla jo 12 vuotta lämmön ja sähkön muodossa, tarkoituksena on tulevaisuudessa laajentaa toimintaa auton-tankkauspisteellä. Tilalla käytössä olevien kahden reaktorin yhteenlaskettu teho on noin 30 – 40 kW ja reaktorikapasiteetti on 2 x 50m³. Biokaasulaitoksen avulla lämpiävät navetan sosiaalitalat, juoma-vesi sekä pikkuvasikoiden lattialämmitys. Kaikki ylijäämäenergia käytetään tilalla sähköinä. (ProAgria Oulu 2012.)

Maitotilan 70 lypsylehmää tuottavat laitokseen polttoainetta lietelannan muodossa. Talvella, kun energiantarve on suurempaa, ajetaan laitokseen enemmän polttoainetta, muun muassa ruista. Lisäksi keväisin tulvavesien valuman takia tarvittaessa tiivistetään ainesta peltobiomassan avulla. (ProAgria Oulu 2012.)

Toiminnasta syntyvä mädätysjäännös eli rejekti sijoitetaan pellolle. Rejekti on monessa suhteessa parempilaatuista verrattuna käsittelemättömään tuotteeseen: se on notkeaa, lähes hajutonta ja kasvit pystyvät käyttämään sen paremmin hyödyksi. Kevätviljan lannoitukseen tilalla käytetään pelkästään rejektiä, eli apulantaa ei tarvita lainkaan. (ProAgria Oulu 2012.)

VIRTALAN MAITOTILA HAAPAVEDELLÄ

Virtalan tilalla on 70 lypsävää ja nuorta karjaa saman verran. Janne Vuorenmaan mukaan eläinmäärä antaisi mahdollisuuden biokaasuntuotannon kolminkertaistamiseen. Tällä hetkellä biokaasu lämmittää tilan asuinrakennuksen, korjaamon ja navetan käyttövedet. Sähköntuotannossa tarvittavalle generaattorille on varattu myös oma paikkansa. Virtalan laitoksen sähköntuotantoteho on 30-50 kilowattia. Lakiehdotus biokaasutariffista esittää sähköntuotantotehoksi vähintään 300 kilowattia. (MTK 2009.)

Virtalan tilalla kustannukset olivat noin 100 000 euroa. Jos biokaasua voisi käyttää polttoaineena, laitos maksaisi itsensä takaisin jo viidessä vuodessa. Nykyisellä käytöllä aikaa tarvitaan hyvän matkaa toistakymmentä vuotta. (MTK 2009.)

HAAPAJÄRVEN AMMATTIOPISTON BIOKAASULAITOS

Haapajärven ammattiopiston koulutilalle on rakennettu maatilamittakaavan biokaasulaitos ja jälkimädätysallas vuonna 2007. Laitoksen toimitti haapaveteläinen MetaEnergia Oy. Kaasu käytetään tällä hetkellä ammattiopiston navetan ja konehallin lämmitykseen. Myös liikennepolttoaineen tuotanto on aloitettu laitoksella vuonna 2012. (Huttunen & Kuittinen 2012.)

HANNULA, YLIVIESKA

Hannulan tilan biokaasulaitoksen 80 m³:n reaktorissa käsitellään naudun lietelantaa 3 000 m³ vuodessa. Kaasu poltetaan lämpökattilassa lämmöksi ja käytetään keskuslämmitykseen sekä käyttöveden lämmitykseen. Tilalle on hankittu varaaggregaatti, joka varmistaa laitoksen toiminnan sähkökatkosten aikana. Myös jälkikaasun talteenottoputkistot sekä kaasupumppu on uusittu.

Lietteen jälkikäsittelyssä on luovuttu kuiva-aineen erotuksesta. (Huttunen & Kuittinen 2008.)

3 OMA BIOKAASUREAKTORI

Kuivamädätykseen käytettävä biokaasureaktori on kokonaisuudessaan aika yksinkertainen rakennelma, jonka toteuttamisessa on kuitenkin monia ongelmia. Siitä kertoo jo sekin, että maailmalla ei ole onnistuttu rakentamaan kovin montaa jatkuvatoimista reaktoria.

Omavalmisteinen reaktorimme oli ns. panostoiminen reaktori, jossa mädätimme perunan kuorimajätettä. Tarkoituksena oli luoda riittävän iso, toimiva ja rahallisesti edullinen reaktori. Oman laitteemme toteuttaminen aloitettiin sillä, että etsittiin sopivat välineet kuivamädätyksen aloittamiseksi. Tarvitsimme tiiviin suljetun kattilan, sekoittimen, moottorin sekä vedenlämmittimen. Osan osista saimme CENTRIA:n energiatekniikan laboratoriosta ja osan löysimme kohtuullisella budjetilla ja testauksen toteuttaminen oli mahdollista. Laite maksoi noin 60 euroa. Toimivan bakteerikannan reaktoriimme saimme Junttilan Heikiltä Nivalasta.

Mädätysprosessimme on mesofiilinen, jolloin reaktorin lämpötila on 35-38⁰C. Tarkoituksena on tutkia kokonaiskaasumäärän tuotantoa. Prosessimme kaasun tuoton tavoitearvona pidimme kirjallisuudesta saatua arvoa, jonka suhteutimme reaktorimme kokoon.

3.1 Laitteisto

SEKOITUSMOOTTORI

Moottoria tarvittiin reaktorin sekoittimeen, jolla sekoitettiin perunan kuorimajätettä kattilan sisällä. Käytössämme oli jousipalautteinen kääntömoottori, jonka akseli kääntyi hitaasti 90 astetta aina verkkoon kytkettäessä. Moottorin akseli palautui jousen avulla aina alkuasentoon, kun se kytkettiin pois verkosta. Sekoituksen piti tapahtua hitaalla syklillä, joten moottori oli oivallinen valinta meidän käyttötarkoitukseen. Moottorin ON/OFF toiminta toteutettiin yksinkertaisesti kellokytkimen

avulla. Kellokytkin säädettiin siten, että ON/OFF sykli tapahtui 15 minuutin välein. Näin moottorin toiminnasta saatiin täysin automaattinen ja halutun mukainen.



Kuvio 3. Sekoitusmoottori

SEKOITIN

Mäskiä piti sekoittaa, jotta kaasun tuotto olisi mahdollisimman nopeaa ja tehokasta, ilman sekoitinta metaanin tuotto olisi hidasta. Sekoituksen avulla mäskin olomuoto saatiin pysymään tasaisena. Sekoitin oli haastavin osa koko projektissa, koska sen toiminta piti saada tiiviiksi ja sen piti kestää painetta. Se toteutettiin käyttämällä M8 vahvaa kierretankoa, joka pyöri mutterin varassa kannen välissä.

Kierretangon käyttö oli mahdollista, koska käytössämme oli palautuva kääntömoottori. Porasimme kanteen reiän, johon liitimme holkkitiivistein ja sen sisälle liimasimme mutterin, näin läpiviennistä saatiin tiivis. Sekoittimen lavat tehtiin kulmaraudasta, jotka kiinnitettiin kahdella mutterilla yhteen. Moottorin pyöriessä kierretanko pysyi suorassa eikä vuotanut. Ainoa pelkomme oli, että kestääkö kierretanko sekoittamaan mäskiä, koska se oli raskasta massaa mikä ei sisältänyt paljoa vettä. Projektin lopussa kierretanko olikin vähän vääntynyt, mutta kesti koko prosessin ajan.



Kuvio 4. Sekoitin

KATTILA

Kattila toimi reaktorimme säiliönä, jonka sisällä kuivamädätys ja biokaasun tuotanto tapahtui. Kattilan täytyi olla tiivis ja kestää painetta. Löysimme käyttööme Ruotsin armeijan 80 litraisien painekattilan, joka soveltui hyvin reaktoriimme kokonsa ja ominaisuuksiensa vuoksi. Kanteen meidän piti tehdä kaksi läpivientiä, yksi sekoitinta ja toinen kaasun ulostuloa varten. Lisäksi kannessa oli valmiina läpivienti varoventtiiliä varten. Kannen tiivistämiseen käytimme 5mm vahvaa kumi-mattoa ja lisäksi pursotimme silikonia kaikkiin mahdollisiin vuotokohtiin. Kattilan tiiveys testattiin ennen reaktorin käynnistämistä paineilmalla. Paineilmaa puhallet-

tiin kattilan sisään yhdestä läpiviennistä ja samalla suihkutimme saippuavettä mahdollisiin vuotokohtiin. Näin näimme selvästi, jos kattila ei jostain kohti ollut tiivis. Kattila saatiin tiiviiksi ja näin ollen reaktorimme säiliö oli valmis.



Kuvio 5. Kattila

LÄMMITIN

Lämmittimen tarkoitus oli pitää lämpötila kattilan sisällä tasaisesti 38°C asteessa, jolloin bakteerikanta saatiin pysymään toiminnassa. Kattila oli isossa paljussa, joka oli täynnä vettä ja lämmitin piti veden optimaalisessa lämpötilassa. Veteen sekoitettiin rypsiöljyä, joka esti veden höyrystymisen paljussa. Lämmitin koostui ulkoisesta vastuksesta ja pumpusta, joka kierrätti paljussa olevaa vettä. Lämmittimessä oli säätönappi, jolla ohjattiin vastuksen lämpötilaa.



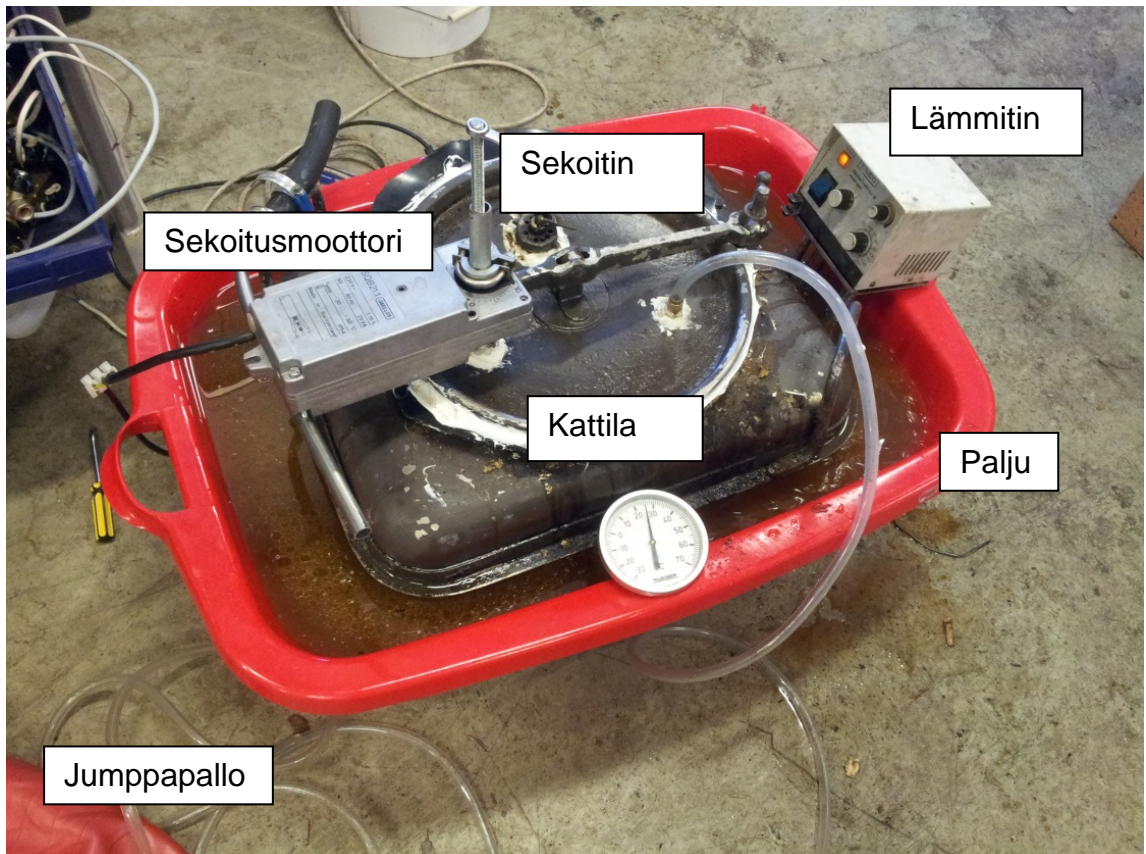
Kuvio 6. Lämmitin

JUMPPAPALLO

Jumppapallo toimi meillä säiliönä, johon kaasu kerättiin. Jumppapallo oli yhdistettynä kattilaan letkulla, jota pitkin kaasu purkautui pallon sisälle. Kun pallo oli täytynyt, se vaihdettiin uuteen ja täynnä olleesta pallosta mitattiin ympärysmitta ja ympärysmittan avulla pystyimme laskemaan pallon sisällä olevan kaasun määrän.



Kuvio 7. Jumppapallo täynnä biokaasua



Kuvio 8. Kokonaisuus

3.2 Tulokset ja tavoitteet

Tuloksissa käymme ensin läpi koko kuivamädätysprosessin etenemisen ja myöhemmin laskemme kaasun kokonaistuotannon. Lisäksi vertailemme tuloksia kirjallisuudessa annettuihin arvoihin, joita pidimme prosessimme odotuksena.

-26.3 kuivamädätys reaktori käynnistetään. Kattilassa 60 litraa perunan kuorimajätettä ja 10 litraa ymppeä.

-27.3 Prosessi keskeytyy, mäski turvonnut kannen välistä. Syynä liian korkea lämpötila n.60°C.

-2.4 Uudelleen käynnistys. Vähennettiin mäskiä 20 litraa, joten kokonaismääräksi jäi 50l.

-4.4 Palju haljennut, jonka seurauksena vesi valunut pois, lämpötila laskenut ja kaasun tuotanto loppunut. Paikattiin palju.

-7.4 Ensimmäinen pallo täynnä biokaasua. Pallon ympärysmitta 161cm.

-8.4 Palju haljennut uudestaan. Vaihdoin uuden paljun.

-10.4 Toinen pallo täynnä. Pallon ympärysmitta 159cm.

-12.4 Palju vuotanut jälleen kerran. Tällä kertaa laitoimme paljun sisään allasmuovin, joten vesi ei pääse valumaan pois, vaikka paljussa pieni halkeama onkin.

17.4 Ymppeä lisätty 5 litraa ja prosessi jatkuu.

20.4 Kolmas pallo täysi. Ympärysmitta 140cm.

24.4 Neljäs pallo puolillaan.

25.4 Neljäs pallo vuotanut melkein tyhjiin. Kattila vuotaa, lisäsimme silikonia.

29.4 Ei juuri kaasua. Epäilemme, että varoventtiili vuotaa, joten paikkasimme sitä.

3.5 Ei enempää kaasua ja prosessi lopetettiin.

Kuten prosessin etenemisestä huomaa, ei ongelmilta vältytty. Saimme kuitenkin kaasua jonkin verran tuotettua. Kokonaiskaasun määrä laskettiin pallon ympärysmittan avulla.

Ensin laskettiin pallon säde kaavalla:

$$p = 2\pi r$$

Sitten tilavuus kaavalla:

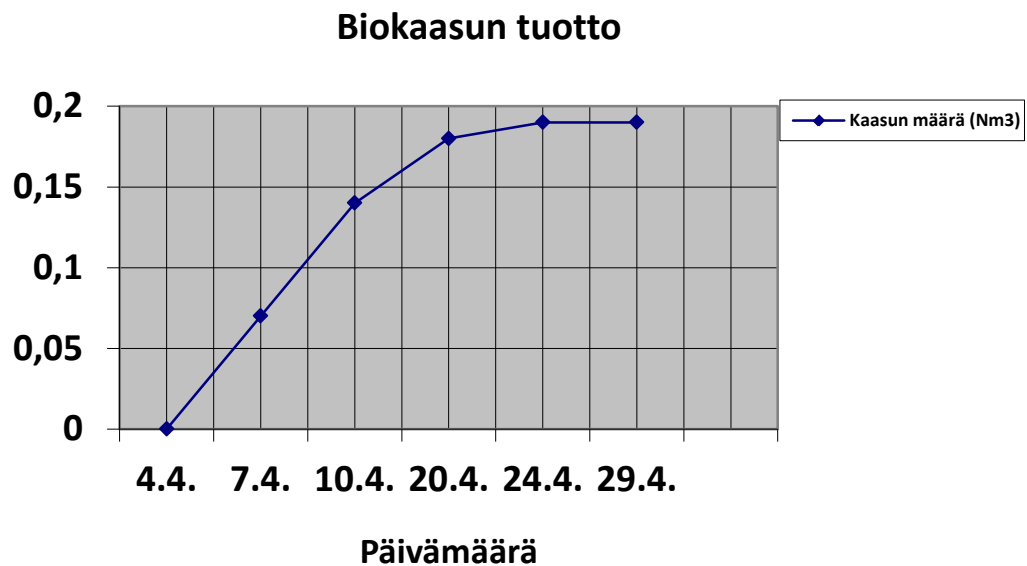
$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

Tulokset esitetään taulukon avulla:

TAULUKKO 1. Tulosten esitys

Kaasua sisältäneet pallot	Ympärysmitta (cm)	Säde (cm) $p = 2\pi r$	Tilavuus (cm ³) $V = \frac{4\pi r^3}{3}$	Biokaasun määrä (Nm ³)
1.Pallo	161	25,624	70474	0,070474
2.Pallo	159	25,305	67875	0,067875
3.Pallo	140	22,281	46333	0,046333
4.Pallo	70	11,141	5792	0,005792

Kokonaiskaasun määräksi saatiin noin 0,190474 kuutiota.



KUVIO 9. Biokaasun tuotto diagrammissa

Lähtökohtana oman biokaasureaktorimme kaasun tuotannolle pidimme kirjallisuudesta saatua arvoa, joka esitetään taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Eri raaka-aineiden biokaasutuotto (Metener Oy, 2009.)

Materiaali	Kuiva- ainepitoisuus %	Metaanintuotto Nm ³ / t	Metaanintuotto Nm ³ / t orgaanista ainetta
Naudan lietelanta	~ 7 %	14 – 16	120 – 360
Sian lietelanta	~ 7 %	16 – 18	240 – 540
Ruokohelpi	~ 23 %	53	246
Perunan kuorimajät- te	~ 20 %	60 – 80	360 – 380
Nurmisäilörehu	~ 25 %	70 – 80	290 – 310
Maissisäilörehu	~ 25 %	80 – 90	340 – 360
Roskakala	~ 22 %	90 – 100	510 – 530
Kotitalouksien biojät- te	~ 30 %	100 – 150	300 – 400
Leipomojätteet	~ 70 %	400 – 420	550 – 600
Paistorasvajäte	~ 90 %	620 – 630	690 – 700

Perunan kuorimajätteen biokaasuntuotto tonnista orgaanista ainetta on 360-380Nm³.

Se suhteutettuna meidän määrään eli 50kg (1 litra perunan kuorimajätettä = n. 1kg) saadaan:

$$360 \text{ Nm}^3 / 1000\text{kg} = 0,36 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$50\text{kg} \times 0,36 \text{ Nm}^3/\text{kg} = 18\text{Nm}^3$$

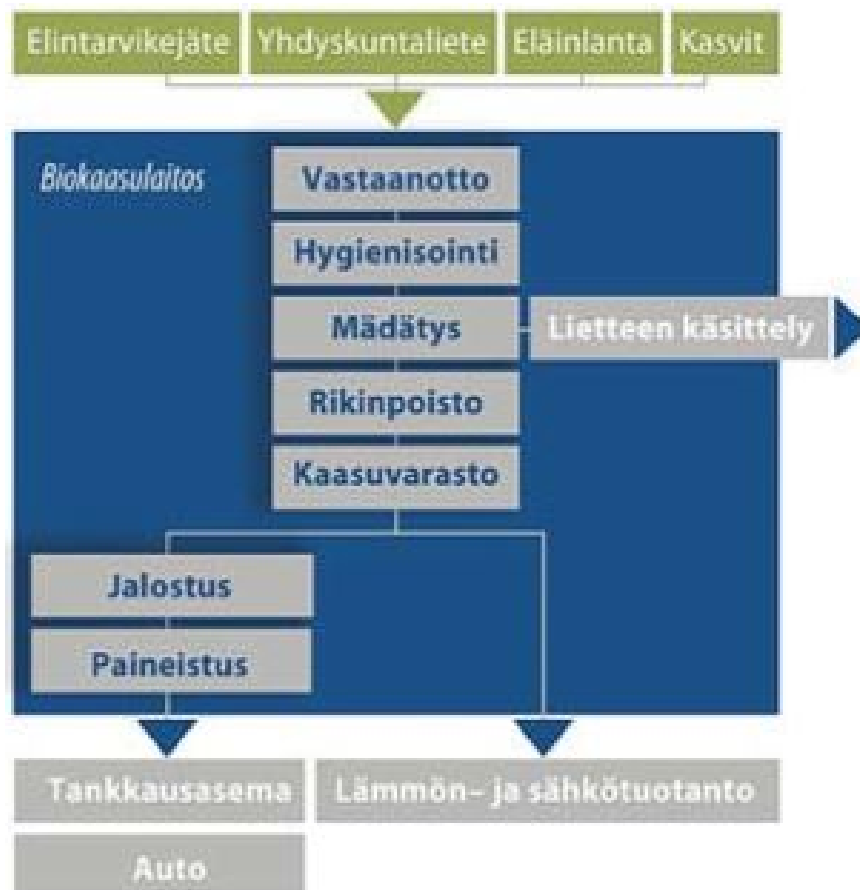
Tällä laskennalla lähtökohtana meidän oman reaktorin biokaasun tuotannolle voitiin pitää arvoa 18 Nm³. Oma reaktorimme tuotti kaasua 0,190474 Nm³, joten tavoite jäi kaukaiseksi haaveeksi. Syynä tälle voimme pitää kokeessamme esiintyneitä useita ongelmia. Toisaalta nimenomaan ongelmat edesauttavat tuotekehitystä.

3.2.1 Ongelmat

Työmme aikana kohtasimme useita ongelmia. Ensimmäisten päivien aikana käynnistyksestä veden lämpötila oli noussut 60^oC asteeseen. Tämä saattoi aiheuttaa biokaasubakteerien tuhoutumista. Lämmön nousu aiheutti myös ylipaineen, jonka vuoksi kansi oli vuotanut mäskiä ulos. Tiivistimme kannen uudestaan kumimatolla ja silikonilla ja lisäksi vähensimme mäskin määrää. Reaktorin toiminta keskeytyi kolme kertaa prosessin aikana, koska käyttämämme palju ei kestänyt veden painoa ja se halkesi, allasmuovilla saimme veden pysymään paljussa. Mädätyksessä on tärkeää, että käyminen on tasaista koko prosessin ajan, jotta bakteerikanta pysyisi tuottavana. Testin loppuvaiheessa palloon ei tullut enää kaasua vaikka reaktio oli käynnissä, puolillaan ollut pallo tyhjeni, joten syynä ei voinut olla mikään muu kuin se, että kattilan kansi oli alkanut vuotamaan todennäköisesti varoventtiilin kautta. Testin lopuksi emme saaneet kerättyä tarpeeksi kaasua, jotta olisimme voineet tehdä siitä mittauksia. Vaikkakin epäonnistuimme saamaan tavoiteltua määrää kaasua, pystyimme onnistuneesti todistamaan sen, että omalla reaktorilla saimme tuotettua kaasua perunan kuorimajätteestä.

4 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN

Biokaasu on uusiutuva energianlähde jota voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmön- tuotannossa, sekä jalostettuna liikennepolttoaineena.



Kuvio 10. Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008.)

4.1 Lämmöntuotanto

Biokaasun hyödyntäminen lämmöntuotannossa on halvin sekä yksinkertaisin ratkaisu. Kaasua ei tarvitse puhdistaa, koska se poltetaan suoraan kattilassa ja lämmitetään kiertovesijärjestelmän vettä. Palamisreaktiossa syntyy hiilidioksidia ja vettä, mikä voidaan päästää suoraan ulkoilmaan. Lämmintä vettä käytetään suoraan laitokseen tai omakotitalon lämmittämiseen. Hyvänä kohteena pelkästään lämmöntuotannossa on käyttää biokaasua kasvihuoneiden lämmitykseen, missä

talvella pystytään lämpö- ja polttoprosessissa muodostuva hiilidioksidi syöttämään suoraan kasveille ravinnoksi.

Biokaasulla tuotetun energian hyötysuhde on yleensä hyvällä tasolla. Pelkässä lämmöntuotannossa päästään 90 %:n hyötysuhteeseen. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa hyötysuhde on noin 85 %, josta sähkön osuus on 35 prosenttiyksikköä ja lämmön osuus 50 prosenttiyksikköä. Liikennepolttoaineiksi jalostettaessa häviö on vain parin prosentin luokkaa, ja lopullinen hyötysuhde riippuu ajoneuvon kulutuksesta. (Motiva 2013).

Suurin osa Suomen biokaasulaitoksista on pieniä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuottajia, eli CHP-laitoksia, joissa tuotetaan energiaa laitoksen omaan käyttöön tai muuten paikallisesti. Pienimmät laitokset tuottavat vain lämpöenergiaa. Lämpöenergian tuotannossa kaasu poltetaan lämpölaitoksen kattilassa. Yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon voidaan käyttää kaasumoottoreita tai mikroturbiinisyksiköitä. Jätevedenpuhdistamojen mädättämissä syntyvä biokaasu käytetään energiana pääasiassa puhdistamojen omissa prosesseissa. (Motiva 2013).

4.2 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto

Sähkön ja lämmön tuottaminen biokaasulla polttomoottorissa tai kaasuturbiinissa on tällä hetkellä toimivin pien-CHP-ratkaisu. Anaerobisessa biokaasureaktorissa tuotettu kaasu on helppo puhdistaa polttomoottori- tai kaasuturbiinikelpoiseksi. (Motiva 2013).

Näin toimivia erikokoisia biokaasuvoimalaitoksia on kauan ollut käytössä jätevedenpuhdistamojen lietebiokaasureaktorioiden yhteydessä. Suurimmissa jätevedenpuhdistamoissa ja kaatopaikoilla biokaasun tuotanto on tasaista, joten sähkön ja lämmön kaupallinen, tai oma hyödyntäminen on helppo ratkaista. (Motiva 2013).

Maatilojen karjanlannalla ja peltobiomassoilla tuotettu kaasenergia on melko yksinkertaisilla ratkaisuilla muunnettavissa sähköksi ja lämmöksi. Kaasun käyttö ke-

säkaudella on ongelma. Maatilan sesonkiluonteinen suuri sähkön ja lämmön kulutuksen vaihtelu vaikeuttaa biokaasulaitoksen järkevää suunnittelua. Maatilan CHP-laitoksen ongelma on lämmön hyödyntäminen. Etäisyys taajaman lämpöverkkoon on liian pitkä ja oma käyttö vähäistä. (Motiva 2013).

Kaasuturbiinilaitos mikroturbiineilla on uutta Suomessa kehitettyä teknologiaa, joka on tällä hetkellä laajemmassa käytössä Keski-Euroopassa. (Motiva 2013).

Pienet voimalat ovat etäkäyttöisiä eli miehittämättömiä. Nykyaikainen automaatio mahdollistaa yksittäisen voimalan käytön tavalla, jossa lämmöntarve ja sähkön hinta yhdistetään optimaalisesti. Voimalaan voi myös liittää lämpövaraajan, ns. lämpöakun, joka käytännössä on vesisäiliö. Tällöin voimalan käyttö voidaan ajoittaa sähkönkulutuksen huippuihin vuorokauden aikana. Myös kylmäntuotanto on mahdollista, jolloin voimalaa voidaan käyttää hyvällä teholla ympäri vuoden tuottamalla lämpöä talvella ja kylmää kesällä. (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008).

Biokaasu on teknisesti korkealaatuinen polttoaine. Biokaasulla on mahdollista ajaa pientä, miehittämätöntä lämmön- ja sähköntuotantolaitosta, mikä ei ole mahdollista esimerkiksi kiinteillä polttoaineilla kuten hakkeella. Koska biokaasua voidaan tuottaa suhteellisen pienissä tuotantolaitoksissa, voidaan myös pienemät biomassojen lähteet hyödyntää. Näin ollen voidaan yhdistää esimerkiksi paikallinen vedenpuhdistus, karjankasvatus, elintarviketeollisuuden jätteet ja pelto-biomassat tuottamaan sekä lämpöä että sähköä paikalliselle yhdyskunnalle. (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008).

4.3 Liikennepolttoaine

Kaasukäyttöiset autot kulkevat joko maakaasulla tai jalostetulla biokaasulla, jota kutsutaan biometaaniksi. Biometaani on ominaisuuksiltaan verrattavissa maakaasuun ja niitä voidaan käyttää rinnakkain, sillä molempien keskeinen ainesosa on metaani CH_4 . Ainoa olennainen ero biometaanin ja maakaasun välillä on, että biometaani on uusiutuva ja perustuu paikallisten jätteiden ja biomassojen hyödyn-

tämiseen, kun taas maakaasu on fossiilinen polttoaine. (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008.)

Biometaani ja maakaasu ovat liikennekäytössä puhtaita polttoaineita. Hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti alhaisempia kuin bensiinillä, ja hiukkas- ja typpipäästöt huomattavasti dieseliä alhaisempia. Toisin kuin maakaasu, biometaani on hiilidioksidineutraali eli sen käyttö ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Biometaani ja maakaasu ovat turvallisia polttoaineita. Molemmat ovat ilmaa kevyempiä eli haihtuvat nopeasti mahdollisen vuodon sattuessa. Tämän lisäksi biometaanin ja maakaasun syttymislämpötila on korkea (600 astetta) ja syttymisalue kapea (5–15 tilavuusprosenttia). (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008.)

Kaasukäyttöiset autot käyvät läpi samat törmäystestit kuin bensiini- ja dieselautot. Kaasusäiliöt ovat kestäviä, niiden sijoitus turvallinen, ja ne on varustettu varo- ja sulkuventtiilein, jotka mahdollisen vuodon sattuessa katkaisevat kaasun syötön. (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja 2008.)

Biokaasun liikennekäytöstä on Linköpingissä todettu olevan huomattavia hyötyjä. Paikallisten ja globaalien ympäristönäkökohtien lisäksi biokaasusta on saatu alueella kannattavaa liiketoimintaa. Paikallisen polttoainetuotannon etuina on ollut uusien työpaikkojen syntyminen, alueen osaamisen kehittyminen sekä yhteistyön parantuminen maanviljelijöiden kanssa. Uusiutuvana energiana biokaasun käyttö myös tukee EU:n tavoitteita. Biokaasun liikennekäyttö on Ruotsissa pitkälle käytännössä testattua ja hyvin toimivaa tekniikkaa. Uuden tekniikan alkuhankaluuksista on jo päästy yli ja nyt tekniikka vain odottaa puhtaammasta liikenteestä kiinnostuneita uusia toimijoita. Monet Ruotsissa koetut hyödyt voitaisiin saavuttaa myös Suomessa. (Pauliina Uusi-Penttilä 2005.)

5 KOTIRANNAN VIHANNESJALOSTE OY

Kotirannan Vihannesjaloste Oy on perustettu vuonna 1994, Ylivieskassa toimiva vihannesten jatko-käsittelyyn erikoistunut yritys. Päätuotteita on kuorittu peruna, pilkotut vihannekset ja jäävuorisalaatti. Sivutuotteena syntyy paljon hukkaan menevää orgaanista jätettä esim. perunankuorta sekä muuta ihmisravinnoksi kelpaamatonta ravintoa. Jätteet kerätään 10m³ lavalle joka kuljetetaan eläinten rehuksi lähialueen mautiloille.

Peruna kuoritaan kolme metriä pitkässä sylinterissä, jossa on kahdeksan karheaa rullaa, sylinteriin syötetään vettä jotta kuori irtoaisi helposti. Jäljelle jäävä mäski on vetistä massaa. Jätettä syntyy noin 10m³ kahdessa viikossa, veden määrä kontissa on vähäinen, koska ennen käsittelyä mäskistä puristetaan ylimääräinen vesi pois, jolloin saadaan erotettua soluneste erilleen, mikä koostuu pääasiassa tärkkelyksestä, jäljelle jää pelkästään perunankuori. Samaan konttiin laitetaan myös kaikki muu orgaaninen jäte, mitä tuotannossa syntyy.

Yrityksessä on yritetty etsiä uusia tapoja hyödyntää omia sivutuotteita omiin tarpeisiin, joka vähentäisi ostoenergian tarvetta ja samalla vähentäisi yrityksen hiilijalanjälkeä. Biokaasusta voisi tuottaa sähköä omaan ja yleiseen sähköverkkoon, lämpöä voitaisiin hyödyntää esim. esikypsennetyissä tuotteissa, jossa vesi lämmitetään sähköllä tai vaihtoehtoisesti suoraan tuotantotilojen lämmittämiseen.

6 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Biomassan hyödyntäminen Kotirannan Vihannesjaloste Oy:llä vähentäisi energian kulutusta. Biokaasua voitaisiin käyttää suoraan lämmöksi tai yhdistettynä lämmöksi ja sähköksi CHP-laitteistolla. Ohessa esittelemme eri vaihtoehtoja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia.

Tulokset ovat kirjoitettu aineistosta löytyvillä arvoilla.

Oletuksena on että biomassaa kertyy kahdessa viikossa 10m^3 tai viikossa 5m^3 Mikä tekisi vuodessa:

$$52\text{vk} \times 5\text{m}^3 = 260\text{m}^3$$

Biokaasua syntyisi vuodessa, mistä metaanin osuus on noin 65% (Motiva 2013).

$$260\text{m}^3 \times 360 \text{ Nm}^3 \times 0,65 = 60840 \text{ Nm}^3 \text{ Puhdasta metaania.}$$

Tämä suoraan muutettuna metaanin lämpöarvoksi $1\text{Nm}^3 = 10\text{kWh}$ (Motiva 2013).

$$60840 \text{ Nm}^3 * 10\text{kWh} = 608\,400 \text{ kWh} = 608 \text{ MWh}$$

Jos biokaasun energiasisältö halutaan muuttaa sähköksi, voidaan biokaasugeneraattorilla olettaa olevan noin 30 prosentin hyötysuhde. Noin 55 prosenttia energiasisällöstä muuttuu samalla lämmöksi, kun taas 15 prosenttia menee hukkaan pakokaasu- ja säteilyhävikkeinä. (Motiva 2013.)

$$\text{Sähköntuotanto} = 608 \text{ MWh} \times 30 \text{ prosenttia} = 182,520 \text{ MWh}$$

$$\text{Keskimääräinen teho} = 182\,520 \text{ kWh} / \text{vuosi} / 8\,760 \text{ tuntia} / \text{vuosi} = 20,8 \text{ kW}$$

$$\text{Lämmöntuotanto} = 608\text{MWh} \times 55 \text{ prosenttia} = 334,620 \text{ MWh}$$

$$\text{Keskimääräinen teho} = 334\,620 \text{ kWh} / \text{vuosi} / 8\,760 \text{ tuntia} / \text{vuosi} = 38,2 \text{ kW}$$

6.1 Biokaasulaitoksen mitoitus

Reaktorin koko määräytyy laitokseen syötettävän syötteen määrän sekä sen ominaisuuksien mukaan. Syötteen määrän lisäksi on tiedettävä, kuinka pitkän viipymääjan seos vaatii ja kuinka korkeaa kuormitusta voidaan käyttää. (Motiva 2013.)

Mädätysallas tarvitsee sekoittimen, sekä lämmittimen jotta biomassasta pystyisi tuottamaan mahdollisimman paljon biokaasua. Sivutuotteina syntyvä hiilidioksidi ja rikkiyhdisteet pitää erottaa toisistaan, jolloin saadaan puhdasta metaania, mikä voidaan tuottaa sähköksi ja lämmöksi. Generaattori mitoitetaan niin että se pystyy tuottamaan sähköä kulutushuippuina. (Motiva 2013.)

6.2 Biokaasulaitoksen kannattavuus

Sähkön myyminen sähköverkkoon alle 100 kilowatin laitoksissa on kannattamatonta, koska pienet laitokset eivät ole mukana syöttötariffijärjestelmässä. Tuottaja saa maksun vain sähköstä ja menettää siirron ja sähköveron osuuden. (Motiva 2013.) Tietenkin sähkö voitaisiin tuottaa oman sähkökulutuksen tasaamiseen, mutta rahallista hyötyä siitä ei olisi.

Biokaasulaitos, joka ei liity syöttötariffijärjestelmään, voi saada investointitukea, kun taas tariffijärjestelmään liittyvä laitos ei voi sitä saada. Tariffijärjestelmään liittyviä laitoksia koskee lisäksi määräys, ettei niissä saa olla käytettyjä osia. (Motiva 2013.)

Kun etsitään maksimaalista rahallista hyötyä biokaasusta, olisi sen talteenotto hyvä vaihtoehto. Biokaasua voisi myydä suoraan kaasuna esimerkiksi liikennekäyttöön, josta saisi kaksinkertaisen hinnan verrattuna sähköntuotantoon (Motiva 2013.) Tämä tosin lisää investointikustannuksia koska kaasun talteenotto tarvitsee painelaitoksen ja enemmän resursseja toimiakseen.

Paras vaihtoehto halvalle ja yksinkertaiselle järjestelmälle olisi käyttää biokaasu sähköinä ja lämpönä suoraan omaan käyttöön. Hyödyntäen sitä laitoksen lämmittämisessä esimerkiksi keittokattilan veden lämmittäminen olisi erinomainen ratkaisu, joka vähentäisi sähkönkulutusta ja kaventaisi hiilijalanjälkeä.

7 YHTEENVETO

Vaikka omarakenteinen biokaasureaktorimme ei aivan täysin ollutkaan onnistunut, oli sen rakentaminen ja sen biokaasun tuotannon seuraaminen ja tutkiminen opettavainen prosessi. Nyt, jos sen rakentaisi uudelleen, osaisi ensimmäisen reaktorin valmistuksessa esiintyneisiin ongelmiin tarttua ja kehittää siitä entistäkin paremman ja tehokkaamman.

Työssämme esitetty kuivämädätysteknologia on yksi hyvä ratkaisu biokaasun tuotannolle, jossa voidaan käyttää hyväksi kuivempaa biomassaa. Kuivämädätystekniikkaa vaatii vielä kehitystä, mutta ympäristöystävällisten ja uusiutuvien energianlähteiden etsiminen on lisännyt tämänkin tekniikan kiinnostusta ja tutkintaa. Kuivämädätys olisi toimiva ratkaisu Kotirannan Vihannesjaloste Oy:n hukkaan menevälle biomassalle. Kuten laskelmistamme näki, olisi heillä todellista hyötyä tämänkaltaiselle reaktorille, jolla tuottaa omaa sähkö- ja lämpöenergiaa.

Etsittäessä korvaavia hajautetun energian lähteitä fossiilisten polttoaineiden tilalle, voidaan biokaasua pitää potentiaalisena vaihtoehtona. Biokaasuteknologian edelleen kehittyessä saadaan sillä tuotettua runsaasti ympäristöystävällistä energiaa. Kotirannan Vihannesjaloste Oy käyttää runsaasti ostoenergiaa, joka olisi mahdollista tuottaa myös omista sivutuotteista biokaasuksi muunnettuna.

Yrityksellä on aikomus tämän opinnäytetyön pohjalta toteuttaa ja kehittää heille soveltuva biokaasulaitos.

LÄHTEET

Biogas Handbook. 2008. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

<http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>. Luettu 13.11.2013.

Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. 2008. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

http://www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf. Luettu 3.12.2013.

Bionova Engineering, Kuivamädätyslaitos Kuivaniemellä 27.2.2009. Pdf-tiedosto.

Saatavissa: http://www.bionova.fi/files/oulunkaari_kuivamadatys_julkinen.pdf. Luettu 26.11.2013.

Biovakka. Biokaasun hyödyntäminen. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.biovakka.fi/biokaasun-hyodyntaminen>. Luettu 2.12.2013.

Hellgren, M., Heikkinen, L., Suomalainen, L. & Kala, J. 1999. Energia ja ympäristö. 3., tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Huttunen, M. & Kuittinen, 2008. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 12. Pdf-

tiedosto. Saatavissa: <http://www.biokaasuyhdistys.net/media/rek12.pdf> Luettu 20.12.2013

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2012. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 16. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

<http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2012.pdf> Luettu 20.12.2013

Metener Oy, 2009. Ruokohelven biokaasutuskokeet. Loppuraportti 4.11.2009. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

http://www.oulunkaari.com/tiedostot/Uusiutuvaenergia/raportit/Metenerin%20ruoko_helpikoe.pdf. Luettu 27.11.2013.

Motiva. 20.2.2013. Biokaasu. Www-dokumentti. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu. Luettu 27.11.2013.

Motiva 24.7.2013. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto. Www-dokumentti Saatavissa:

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampo-ja_voimalaitokset/yhdistetty_sahkon-ja_lammontuotanto Luettu 4.12.2013

MTK 2009. Sähköinen lehtiartikkeli. Saatavissa:

http://www.mtk.fi/liitot/pohjoissuomi/Uutisjyvät/fi_FI/Uutisjyvät/files/84581055049520278/default/naytto-uutisjyvät209korjattu.pdf Luettu 18.12.2013.

Pauliina Uusi-Penttilä, 2005. Sähköinen lehtiartikkeli. Biokaasu liikennepolttoaineena. Pdf-tiedosto. Saatavissa: www.kesto.fi/GetItem.asp?item=file;3812. Luettu 4.12.2013.

ProAgria Oulu 12.7.2012. Uusiutuvan energian vaihtoehtoja maataloille. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www.proagriaoulu.fi/files/ymparistoagro/esimerkki_case_junttilan_tilan_biokaasulaitos_12.7.2012.pdf Luettu 18.12.2013

Suomen Biokaasuyhdistys. 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=57&Itemid=82. Luettu 26.11.2013.