

Juha Viljasalo

MAATILAN BIOKAASULAITOS

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Toukokuu 2017	Tekijä/tekijät Juha Viljasalo
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Maatilan biokaasulaitos		
Työn ohjaaja DI Yrjö Muilu	Sivumäärä 85 + 4	
Työelämäohjaaja		
<p>Työ on alustava suunnitelma maatilan biokaasulaitoksen toteuttamiseksi. Työ tehtiin maatilalle, jossa on hyvät mahdollisuudet laitoksen tekemiselle. Työn tarkoituksena on selvittää mitä rakenteellisia muutoksia laitoksen tekeminen aiheuttaa sekä mitkä ovat kustannukset laitoksen toteuttamiselle.</p> <p>Työhön liittyvät tiedot on hankittu kirjallisuudesta sekä tutustumalla vastaaviin laitoksiin.</p> <p>Työssä esitellään biokaasun teoriaan liittyviä asioita sekä lietelannan soveltamista biokaasun tuotantoon. Lisäksi selvitetään biokaasulaitoksen tarvittavat rakenteet ja laitteet sekä niiden hankintaa liittyvät kustannukset. Työssä myös lasketaan laitoksen biokaasupotentiaali sekä otetaan kantaa sähkön- ja lämmöntuotantoon. Lopussa vielä käsitellään sähkönmyyntiä, rakentamiseen liittyviä lupa-asioita sekä eri vaihtoehtoja biokaasulaitoksen toteuttamiselle.</p>		
Asiasana Biokaasupotentiaali, Biokaasun hyödyntäminen energiakäytössä, Maatila		

Unit Ylivieska	Date May 2017	Author Juha Viljasalo
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Biogas plant of the farm		
Instructor Yrjö Muilu		Pages 85 + 4
Supervisor		
<p>The work is a preliminary plan for implementing the farm biogas plant. The work was done to a farm, with good opportunities for the submission of the plant. The purpose is to find out what structural changes are the plant making cause and what are the costs of carrying out the plant.</p> <p>Information relating to the work is acquired from the literature as well as looking at similar establishments.</p> <p>The study introduces issues relating to biogas theory and application of liquid manure for biogas production. In addition, a biogas plant for explained the necessary structures and equipment, as well as the costs related to their acquisition. It was also calculated biogas potential the plant and take a stand for electricity and heat production. At the end of yet handled the sale of electricity, construction-related licensing issues, as well as various alternatives for implementing a biogas plant.</p>		
Key words		
Biogas Potential, utilization of biogas energy use, farm.		

KÄSITTEET

Absorboiminen	Sitoo ainetta itseensä
Anaerobinen bakteeri	Bakteeri, joka ei käytä kasvaessaan happea
Asetogeneesi	Hapettomissa oloissa tapahtuva etikkahapon eli asetaatin mikrobiologinen tuotto
Asidogeneesi	Happokäyminen
Biokaasupotentiaali	Vuotuinen kiintoainemäärä kertaa aineen biokaasutuottopotentiaali
Biokaasu- tuottopotentiaali	Eri aineiden metaanin tuottopotentiaali
CHP	Lämmön ja sähkön yhteistuotanto
CH ₄	Metaani
CO	Hiilimonoksidi eli häkä
CO ₂	Hiilidioksidi
Fakultatiivinen	Eliö, joka pystyy kasvamaan jonkin ympäristötekijän suhteen erilaisissa olosuhteissa
Hydrolyysi	Kemiallinen reaktio, jossa yhdiste hajoaa vettä lisättäessä takaisin lähtöaineikseen. Reaktio luovuttaa energiaa
Hygienisointi	Biokaasutuotannossa käytetyn raaka-aineen puhdistus haitallisista bakteereista eli patogeeneista
Kondensaatio	Reaktio, jossa molekyylit liittyvät toisiinsa samalla kun poistuu jokin pienimolekyylinen yhdiste (esimerkiksi vesimolekyylit).
Kryotekniikka	Fysiikan alue, joka tutkii materiaalien käyttäytymistä alle -150 °C (123 K) asteen lämpötiloissa
kW	Tehon yksikkö, etuliite k vastaa 1000 yksikköä

kWh	Energian yksikkö, joka vastaa kilowatin tehoa tunnin ajan
kWh/m ³	Kaasumaisen aineen lämpöarvo
Mesofiilinen prosessi	Lietteiden mädätysprosessi, jossa lietteen lämpötila on 33-35 astetta
Metanogeneesi	Hapettomissa oloissa tapahtuva metaanin mikrobiologinen tuotanto
Mädätys	Orgaanisen aineksen anaerobista eli hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa hajoamista
Mädätysjäännös	Biokaasuprosessin jälkeen syntynyttä nestemäistä jätettä, jota voidaan käyttää pelloilla lannoitteena
N ₂	Typpi
Nm ³	Biokaasuntuottopotentiaali (yksikkö)
Nm ³ /kg	Biokaasupotentiaali
ppm	prosentin ja promillen kaltainen suhteellinen suhdeyksikkö, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin
pH	Liuoksen happamuus arvo
Siloksaani	Polymeerisiä yhdisteitä, joiden runkona on vuorotteleva pii-happi-ketju, joka voi olla suora, haaroittunut tai syklinen
Syöttötariffi	Valtion sähkömarkkinoiden ohjauskeinoksi tarkoitettu takuuhinta sähkölle
VS	Lietteiden sisältämä orgaaninen kuiva-aine (Volatile Solids)
Termofiilinen prosessi	Lietteiden mädätysprosessi, jossa lietteen lämpötila tulee olla yli 55 astetta vähintään neljän tunnin ajan
TS	Lietteiden sisältämä kuiva-ainemäärä (Total Solids)
Viipymäaika	Mädätykseen tarvittava aika

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEET
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 BIOKAASU	10
3 LIETELANNAN KÄYTTÖ BIOKAASULAITOKSESSA	13
3.1 Biokaasun muodostuminen	13
3.2 Muut käytettävät raaka-aineet maatilalla	16
3.3 Viipymäaika	17
3.4 Lopputuotteen ominaisuudet ja laatu	19
4 BIOKAASULAITOKSEN OSAT JA NIIDEN TOIMINTAPERIAATE	20
4.1 Biojätteen esikäsittely ja esikäsittely laitteet	21
4.2 Biokaasureaktori ja jälkikaasuuntumisallas	22
4.3 Biokaasun puhdistus ja puhdistuslaitteet	26
4.4 Biokaasuvarasto	32
4.5 Biokaasumoottorit	33
4.6 Maatilan lämmitykseen tarvittavat laitteet	37
4.7 Maatilan sähköntuotantoon ja –siirtoon tarvittavat laitteet	37
5 MAATILAN BIOKAASULAITOKSEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	39
5.1 Lähtökohdat ja tarve	39
5.2 Biokaasupotentiaalin määrittäminen	40
5.3 Sähkön- ja lämmönkulutus maatilalla	43
6 NYKYISTEN RAKENTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN	46
6.1 Esisäiliö	46
6.2 Reaktori	46
6.3 Jälkikaasuuntumisallas	47
7 UUSIEN RAKENTEIDEN SUUNNITTELU	49

	6
7.1 Biokaasukattila	49
7.2 Biokaasumoottori- ja generaattori	49
7.3 Kaasuvarasto	50
7.4 Puhdistusasema	51
8 BIOKAASULAITOKSEN SUUNNITTELUN VAATIMUKSET	53
8.1 Turvallisuus määräykset	53
8.2 Lupa-asiat	54
9 BIOKAASULAITOKSEN RAKENTAMISEN KUSTANNUKSET	58
9.1 Rakenteiden kustannukset	58
9.2 Laitteiden kustannukset	60
10 CHP-LAITOS VAI LÄMPÖLAITOS	63
10.1 Sähkön- ja lämmöntuotannon yhdistelmät	63
10.2 Piensähköntuotanto ja sähkönmyynti	73
11 POHDINTA	81
LÄHTEET	83
LIITTEET	85
 KUVIOT	
KUVIO 1. Biokaasun käyttö Suomessa ja vuoden 2020 käyttötavoite	11
KUVIO 2. Biokaasun muodostumisen eri vaiheet	15
KUVIO 3. Kaasun viipymäaika	18
KUVIO 4. Yksinkertainen biokaasulaitos	20
KUVIO 5. Biokaasun tuotanto maatilalla	22
KUVIO 6. Maatilan biokaasureaktorin eristys ja lämmitys	24
KUVIO 7. Potkurisekoitin	24
KUVIO 8. Bioreaktorin ja jälkikaasuuntumisaltaan välinen pumppu	25
KUVIO 9. Bioreaktorin huoltoluukku	25
KUVIO 10. Kaaviokuva biokaasun jalostamisesta polttoaineeksi	29
KUVIO 11. Greenlane – biokaasun puhdistuslaitteiston toimintaperiaate	31
KUVIO 12. Biokaasuvarasto liikennekäyttöön, kompressoritila vasemmalla	33
KUVIO 13. Dieselöljyä sytykseen käyttävän kaasumoottorin toimintaperiaate	35
KUVIO 14. Mikroturbiinin kiertoprosessi varustettuna rekulaattorilla	37
KUVIO 15. Maitokangas Ay yhteispihattonavetta asemakaava	39
KUVIO 16. Biokaasun puhdistusasema	52
KUVIO 17. Tuotettu nettoenergia eri hyödyntämisvaihtoehdoissa	72

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus	15
TAULUKKO 2. Eri raaka-aineiden metaanipitoisuus ja kaasun saanti	16
TAULUKKO 3. Biomassojen metaanipotentiaali	41
TAULUKKO 4. Sivutuoasetuksen sivutuoteluokitukset	55
TAULUKKO 5. Vaihtoehto A1	67
TAULUKKO 6. Vaihtoehto A2	67
TAULUKKO 7. Vaihtoehto B1	69
TAULUKKO 8. Vaihtoehto B2	69
TAULUKKO 9. Vaihtoehdot C1, C2 ja C3	70
TAULUKKO 10. Yhteenveto energiankäyttövaihtoehdoista	70
TAULUKKO 11. Energianvaihtoehtojen investointikustannukset	71
TAULUKKO 12. Edellytykset sähkötariffiin	75
TAULUKKO 13. Syöttötariffin tason määräytyminen	76
TAULUKKO 14. Sähköverkkoon liittyminen, sopimukset ja sopimusosapuolet	78

1 JOHDANTO

Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa kasvaa jatkuvasti. Tuulivoimapuistoja rakennetaan ja suunnitellaan koko ajan. Lisäksi aurinkoenergian hyödyntäminen omakotitaloissa aurinkokerääjien ja aurinkopaneelien myötä kasvaa. Bioperäisten aineiden hyödyntäminen energian käytössä on myös kasvamassa. Puuta ja turvetta on käytetty jo pitkään. Niiden rinnalle on tullut peltokasvien ja muiden biojätteiden käyttö.

Nykyään biomassa joko kuivataan ja poltetaan sellaisenaan sähkön ja lämmön tuotannossa tai sitten se jalostetaan polttoaineeksi kuten bioetanoliksi tai biodieseliksi liikenteen tarpeisiin tai biokaasuksi ja puupelleteiksi lämmityksen tarpeisiin. Bioenergian osuus Suomen energiankulutuksesta on teollisuusmaiden korkein, runsaat 25 % eli 90 TWh, kun lasketaan mukaan puu, turve ja kierrätyspolttoaineet.

Bioenergia on monessa mielessä ympäristöystävällistä, koska se on hiilidioksidineutraalia. Biomassojen käytössä vapautuva hiilidioksidi ei lisääny, koska vapautuva hiili sitoutuu kasvavaan biomassaan. Käyttämällä biomassoja fossiilisten polttoaineiden sijaan voidaan myös vähentää raskasmetalli- ja rikkipäästöjä. Lisäksi kotimaisen biomassojen hyödyntäminen parantaa energiantuotannon omavaraisuutta ja huoltovarmuutta. Bioenergian tuotanto lisääminen myös lisää työpaikkoja Suomessa.

Maatiloilla, varsinkin lypsykarjatiljoilla, syntyy biojätettä sekä biomassoja. Näistä biokaasun tuottamiseksi käytetään usein karjasta syntyvää lantaa eli lietettä. Suunnittelun kohteena olevalla maatilalla on n. 150 lypsylehmää ja näiden lisäksi kymmeniä muita eläimiä, etupäässä vasikoita ja hiehoja. Näistä syntyvää lietettä

voidaan jo yksinään käyttää biokaasun tuotantoon ilman muita maatilalla syntyviä biomassoja.

Opinnäytetyössäni esittelen alustavan suunnitelman maatilan biokaasulaitoksen rakentamiseksi. Suunnitelma pitää sisällä tarvittavien rakenteiden suunnittelun, tarvittavien laitteiden esittelyn sekä niiden kustannukset. Rakenteiden kustannukset ovat tässä suunnitelmassa vielä likimääräisiä ja ne tarkentuvat, jos varsinainen suunnitelma toteutetaan. Lisäksi käsittelen biokaasun tuotantoon liittyvää teoriaa sekä sähkön- ja lämmöntuotantoa biokaasun avulla. Työn lopussa esittelen kannattavuuslaskelmat biokaasulaitoksesta sekä käsittelen laitokseen liittyviä hyötyjä ja haittoja sekä laitoksen käyttämiseen ja rakentamiseen liittyviä turvallisuusmääräyksiä ja lupa-asioita.

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 tuotetaan biokaasureaktorissa biomassasta (muun muassa liete, lanta, jätteet ja peltobiomassat) ja kaatopaikoilla kerätään jätetäytöstä muodostuvaa kaatopaikkakaasua. Biokaasua voidaan hyödyntää lämmön- ja sähköntuotannossa ja siitä voidaan myös jalostaa ajoneuvojen polttoainetta. (Motiva 2013).

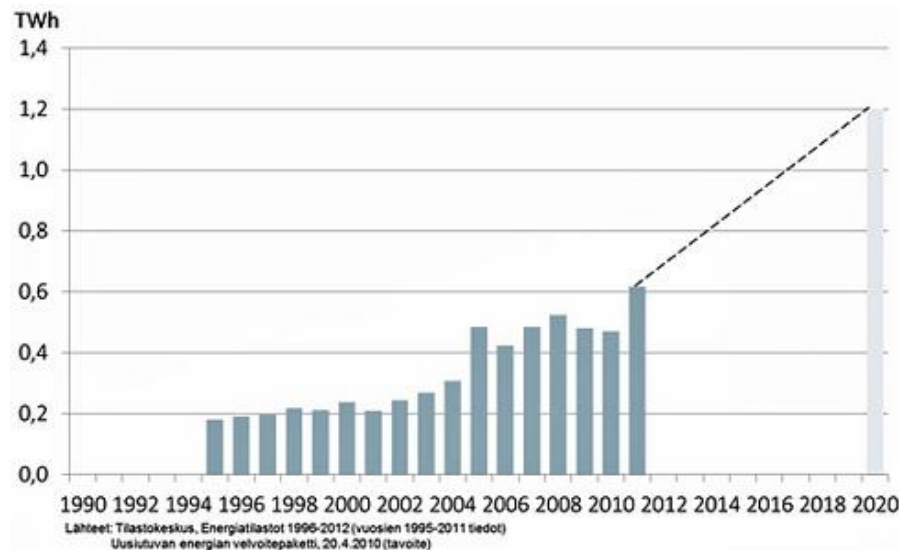
Biokaasu koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Kaasun koostumus riippuu mädätettävästä biomassasta ja mädätysprosessista. Energiakäytön kannalta biokaasun olennaisin aine on metaani, jota kaasussa on yleensä 50–70%. Hiilidioksidin osuus on vastaavasti 30–50%. Biokaasussa on myös pieniä määriä lukuisia muita aineita, kuten vettä, typpeä, happea, vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. Biokaasulaitoksella syntyvää hiilidioksidia voidaan hyödyntää esimerkiksi kasvihuoneissa. Mädätettyä biomassaa kutsutaan mädätejäänökseksi, joka on massaltaan ja ravinnekoostumukseltaan lähes syötemateriaalin kaltainen. Sen kuiva-ainepitoisuus pienenee prosessissa joitakin prosentteja, ja sen pH on lähellä neutraalia. Mädätejäänös on syötettä tasalaatuisempaa, hygieenisempää, hajuttomampaa ja siinä olevat ravinteet ovat nopeammin liukenevassa ja haihtuvassa muodossa. Näin ollen esimerkiksi lietelannan lannoitusominaisuudet paranevat mädätysprosessissa. (Motiva 2013).

Biokaasu sisältää metaania aivan kuten maakaasu ja sillä voidaan korvata maakaasua. Maakaasun metaanipitoisuus vain on biokaasua suurempi, noin 98 %. Jotta biokaasua voidaan käyttää polttomoottoreissa, siitä on poistettava vesi ja rikki. Lisäpuhdistuksella biokaasua voidaan syöttää myös maakaasuverkkoon tai käyttää

liikennepolttoaineena. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, jonka käyttäminen lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Biokaasu on uusiutuva polttoaine, jonka polttamisesta ei aiheudu hiilidioksidin nettopäästöjä ilmakehään.

Metaani on hiilidioksidia 20–70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu. Siksi biojätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen ja kaatopaikoilta ilmaan vuotavan biometaanin talteenotto ja käyttäminen energiantuotannossa on ympäristön näkökulmasta hyvin perusteltua. Biokaasun tuotannossa on selviä etuja jätteiden hyödyntämisen näkökulmasta, koska mädätys säilyttää biomassan ravinteet paremmin kuin kompostointi. (Motiva 2013).

Suomen uusiutuvan energian velvoitepaketin mukainen tavoite on lisätä biokaasun käyttöä 1,2 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä. Biokaasun käyttö on lisääntynyt vähitellen ja vuonna 2011 biokaasua käytettiin Suomessa hieman yli 0,6 TWh. (Kuvio 1).



KUVIO 1. Biokaasun käyttö Suomessa ja vuoden 2020 käyttötavoite

Reaktorilaitosten biokaasulla tuotetun sähkön ja lämmön yhteistuotannon edistämiseksi on otettu käyttöön syöttötariffijärjestelmä, joka takaa biokaasulla

tuotetulle sähkölle takuuhinnan 83,50 euroa megawattitunnilta. Kun sähkön ohella tuotetaan myös lämpöä, maksetaan lisäksi niin kutsuttua lämpöpremiota 50 euroa megawattitunnilta. (Motiva 2013).

3 LIETELANNAN KÄYTTÖ BIOKAASULAITOKSESSA

Biokaasun tuotannossa usein käytetty lietelanta sisältää eläinten ulostetta, johon on myös sekoittunut vettä sekä jonkin verran kuivikkeita (olkea ja/tai purua) ja rehunjätettä. Lietelanta sisältää jossakin määrin myös säilörehun puristusnestettä sekä pesuvesiä. Lietelannalle ominaista on, että sen käsittely pitää voida tehdä pumppaamalla. Tämän vuoksi lietelanta ei välttämättä tarvitse esikäsittelyä vaan sitä voidaan suoraan hyödyntää biokaasun tuottamiseen.

3.1 Biokaasun muodostuminen

Biokaasun muodostuminen lietelannasta perustuu anaerobiseen hajoamiseen. Lietelanta anaerobisessa prosessissa suljetaan hapettomaan reaktoriin. Sopivassa lämpötilassa, yleensä 32 – 42 °C:n lämpötilassa mutta myös 50 – 60 °C:n, prosessissa on erilaisia mikrobikantoja, jotka käyttävät ravinnokseen lietelannassa olevaa orgaanista ainetta ja sen hajoamistuotteita tuottaen biokaasua.

Biokaasun muodostuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen, joissa kussakin toimii eri pieneliöryhmät. Nämä vaiheet ovat: liukoistuminen (hydrolyysi), happokäyminen (asidogeneesi), etikkahappokäyminen (asetogeneesi), ja metaanikäyminen (metanogeneesi). (Kuvio 2). (Motiva 2013).

Liukoistumisvaiheessa mädätettävän aineen kiinteät hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat pilkkoutuvat ja liukenevat veteen yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi kuten sokereiksi, rasvahapoksi ja aminohapoiksi. Pilkkoutuminen tapahtuu mikrobien eli pieneliöiden erittämien solun ulkoisten entsyymien avulla. (Motiva 2013).

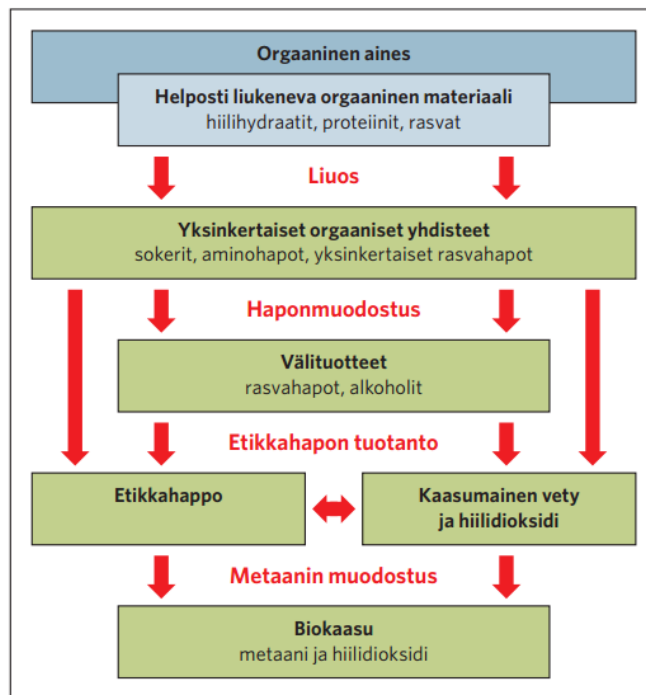
Happokäymisessä muodostuu liuenneista aineista yksinkertaisempia rasvahappoja, kuten propioni-, voi- ja etikkahappo. Nämä edelleen hajoavat etikkahapoksi ja hiilidioksidiksi. Metaani syntyy etikkahaposta sekä reaktioiden välituotteina syntyvistä vedystä ja hiilidioksidista. Käymisvaiheissa syntyvät rasvahapot ja vety ovat suurempina pitoisuuksina haitallisia pieneliöille, joten on tärkeää, että ne poistuvat metaanintuotannossa samaa tahtia kuin niitä syntyy. Biokaasutuotannon vaiheet eivät ole toisistaan erillisiä, vaan ne tapahtuvat samanaikaisina. (Motiva 2013).

Metaania muodostavat eliöt kuuluvat arkkeliöiden ryhmään ja ne ovat maapallomme vanhimpia elämänmuotoja. Ne ovat peräisin ajalta, jolloin maapallon ilmakehä oli täysin erilainen kuin tänä päivänä. Monet nykyään elävistä arkkeliöistä ovat sopeutuneet äärimmäisiin elinympäristöihin, kuten korkeisiin lämpötiloihin tai suolapitoisuuksiin. Yhteistä kaikille metaania muodostaville arkkeliöille on, etteivät ne siedä happea. (Motiva 2013).

Biokaasun tuotannon eri vaiheisiin osallistuville eliöille parhaiten soveltuvat olosuhteet poikkeavat eri ryhmien välillä happipitoisuudeltaan, lämpötilaltaan ja pH-arvoltaan hieman. Metaania muodostavia eliöitä pidetään yleisesti vaatimuksiltaan tarkimpina ja myös hitaimmin lisääntyvinä. Tämän vuoksi olosuhteet biokaasulaitoksessa pyritään sopeuttamaan metaania muodostavien bakteereiden tarpeiden mukaan. (Motiva 2013).

Metaania muodostaville eliöille happi on myrkky. Huolimatta siitä, että biokaasulaitoksen käytön yhteydessä pyritään välttämään materiaalin joutumista kosketuksiin hapen kanssa, biokaasureaktoriin pääsee pieniä määriä happea syötemateriaalin mukana ja sitä saatetaan syöttää rikin hapettamiseksi kaasutilaan. Niin kauan kuin määrät ovat pieniä, ongelmia ei synny, koska biokaasun

muodostuksen ensimmäiseen vaiheeseen osallistuvat fakultatiiviset anaerobiset bakteerit ja rikkiä hapettavat bakteerit pystyvät kuluttamaan hapen. (Motiva 2013).



KUVIO 2. Biokaasun muodostumisen eri vaiheet

Anaerobisen hajoamisen tuloksena syntyvän biokaasun koostumus riippuu käymisprosessin lämpötilasta sekä mädätettävästä aineesta. Muodostuva biokaasu sisältää metaania, hiilidioksidia, hiilimonoksidia, typpeä, vetyä ja rikkivetyä. Taulukossa 1 on esitetty keskimääräinen biokaasun koostumus.

TAULUKKO 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus

Aine	%
Metaani, CH ₄	55-75
Hiilidioksidi, CO ₂	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N ₂	1-5
Vety, H ₂	0-3
Rikkivety, H ₂ S	0,1-0,5

3.2 Muut käytettävät raaka-aineet maatilalla

Lietelannan biokaasuntuottopotentiaali on melko alhainen, mutta se on hyvä perusmateriaali anaerobiseen käsittelyyn, koska se sisältää suuren osan mikrobien tarvitsemista ravinteista ja sillä on hyvä puskurikyky. Tilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuuden kannalta on usein tärkeää, että käytettävissä on myös lisämateriaaleja. (Luoma 2006).

Kasvibiomassat soveltuvat hyvin biokaasuntuotantoon ja esimerkiksi monilla heinäkasveilla on todettu olevan hyvä biokaasuntuottopotentiaali, kun ne korjataan vihermassana. Biokaasuntuotantoa varten kasvit voidaan varastoida säilörehumenetelmällä, minkä on havaittu jopa parantavan niiden kaasuntuottoa. (Luoma 2006.)

Myös elintarviketeollisuuden jätteet ja sivutuotteet soveltuvat hyvin lisämateriaaleiksi maatilakohtaisin biokaasulaitoksiin, koska ne eivät yleensä sisällä epäpuhtauksia, taudinaiheuttajia tai raskasmetalleja. Lisäksi niiden metaanintuottopotentiaali on yleensä 2 - 4 kertaa eläinten lantaa suurempi (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Eri raaka-aineiden metaanipitoisuus ja kaasun saanti

Materiaali	Biokaasuntuotanto m ³ / tonnia määräpaino	Kaasun metaani- pitoisuus %
Teurasjäte	250	70
Biojäte	150-250	65
Peltobiomassa	50-250	55
Sianlanta	25-35	65
Naudanlanta	15-25	60

Lisämateriaalit parantavat maatilakohtaisen laitoksen energiatasapainoa ja vähentävät siten investointikustannuksia energiayksikköä kohden (Luoma 2006).

3.3 Viipymäaika

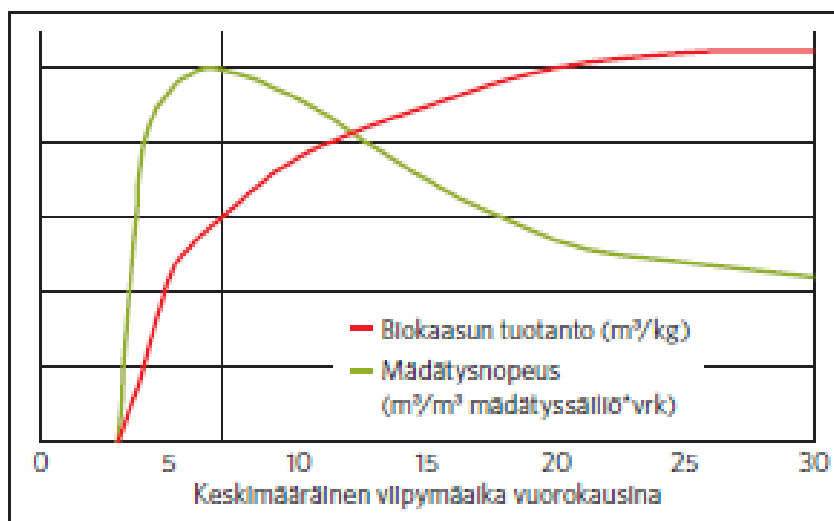
Kun rakennetaan biokaasulaitos, on tehtävä kompromisseja toisaalta investointikustannusten suuruuden ja toisaalta materiaalin mädätysasteen suhteen. Aineksen täydellinen mädättäminen vaatii materiaalin pitkää viipymäaika mädätyssäiliössä ja siten suurta säiliötilavuutta, mikä nostaa investointia ja käyttökuluja. (Motiva 2013).

Yleisimmän biokaasulaitostyyppin toiminta perustuu mädätykseen täyssekoitteisessa reaktorissa. Materiaalin jatkuvasta sekoittumisesta johtuen on mahdotonta tietää kuinka pitkään yksittäinen molekyyli on reaktorissa. Aineksen keskimääräinen viipymäaika voidaan kuitenkin laskea hyvin yksinkertaisesti. Sen viipymä biokaasulaitoksessa määritellään mädätyssäiliön tilavuudella jaettuna päivittäin poistetun aineksen tilavuudella. Kun on kyse biokaasulaitoksista, joissa on useita sarjassa toimivia reaktoreita, viipymäaika lasketaan kullekin reaktorille erikseen ja saatu summa lasketaan yhteen. Viime aikoina viipymäajat ovat kasvaneet yhä pitemmiksi ja laitosten rakentaminen on muuttunut siten, että kaksivaiheisten laitosten lisäksi rakennetaan jopa kolmivaiheisia laitoksia. (Motiva 2013).

Kun mädätetään pelkkää lantaa biokaasulaitoksessa, joissa on vain yksi reaktori, käytetään yleensä noin kuukauden viipymäaika. Energiakasvit vaativat yleensä pidemmän, jopa 80 – 120 päivän viipymäajan, jotta materiaali ehtii kunnolla hajota

eikä kuormitus kasva liian suureksi. Biojätteitä käyttävissä laitoksissa viipymä on usein tältä väliltä. Biokaasulaitoksissa, joissa on varsinaisen mädätys säiliön lisäksi myös jälkimädätys säiliö, pitkästi yli sadan vuorokauden viipymäajat ovat tavallisia. (Motiva 2013).

Mitä enemmän materiaalia syötetään reaktoriin vuorokaudessa, sitä lyhemmäksi viipymä muodostuu. Metaania muodostavat bakteerit lisääntyvät suhteellisen hitaasti. Jos mädätys säiliöön syötetään selvästi enemmän materiaalia kuin mitä sen koko edellyttää, vaarana on että metaania muodostavien pieneliöiden poishuuhtoutuminen on suurempaa kuin niiden lisääntyminen (KUVIO 3). (Motiva 2013).



KUVIO 3. Kaasun suurin tuotantonopeus (vihreä viiva) tietyllä syötteellä mädätys säiliössä saavutetaan hyvin lyhyellä viipymäajalla, kun taas lopullisen saannon maksimi saavutetaan pitkällä viipymäajalla (punainen viiva) (Motiva 2013.)

Viipymäaikaan vaikuttaa myös mädätys säiliön lämpötila. Mesofiilisen prosessin lämpötila on 35 – 38°C, jolloin sen viipymäaika on pitempi kuin termofiilisessä prosessissa, jossa lämpötila on 50 – 55 ° astetta. Vaikka termofiilisessä prosessissa

viipymäaika voi olla paljonkin lyhempi, lämmityksen tarve voi nostaa kustannuksia huomattavasti reaktorin koosta riippuen.

3.4 Lopputuotteen ominaisuudet ja laatu

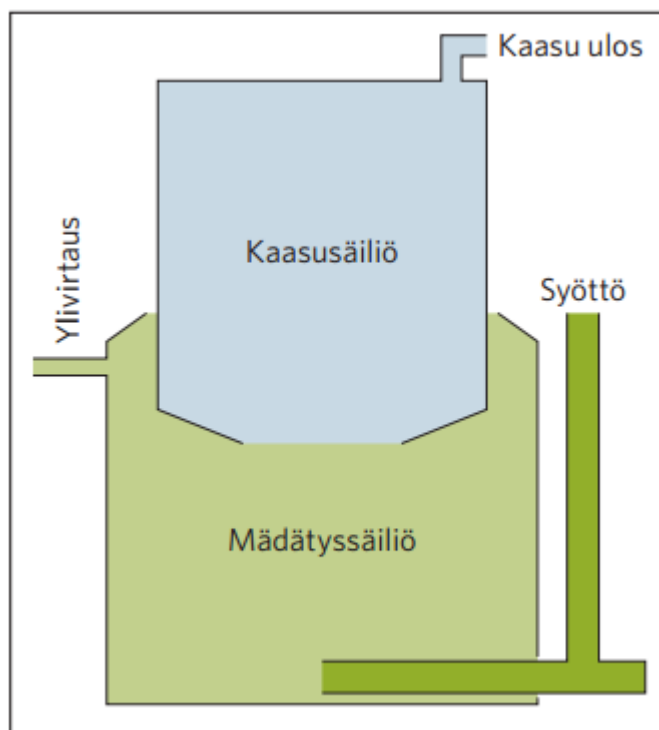
Biokaasuprosessissa käsiteltyjen materiaalien lannoitus- ja maanparannusominaisuudet ovat yleensä paremmat kuin käsittelemättömien materiaalien, joten niiden hyödyntäminen pelloilla vähentää mineraalilannoitteiden tarvetta. Anaerobisessa käsittelyssä materiaalien orgaanisesta aineesta muodostuu metaania ja hiilidioksidia, mikä laskee hiili-typpisuhdetta. Lisäksi osa orgaanisesta tyypestä muuttuu ammoniumtypeksi, joka on suoraan kasvien hyödynnettävissä. Myös muut lannoitevaikutukseltaan tärkeät aineet kuten kalium, fosfori, kalsium, magnesium ja mikroravinteet, saadaan kokonaan talteen, koska ne eivät muutu käsittelyn aikana. (Luoma 2006).

Anaerobisessa käsittelyssä materiaalien kuiva-ainepitoisuus pienenee ja viskositeetti nousee, jolloin lopputuote on tasalaatuisempaa ja juoksevampaa. Käsitellyt materiaalit imeytyvät maahan nopeammin, ja hajut katoavat nopeasti levityksen jälkeen. Orgaaniset lannoitteet lisäävät maaperän humuspitoisuutta, joten niiden käyttö ei köyhdytä maaperää samoin kuin mineraalilannoitteet. Lisäksi anaerobinen käsittely vähentää lannan fytotoksisten yhdisteiden määrää ja hajottaa joitain orgaanisia haitta-aineita, kuten fenoleita, sekä hygienisoi materiaaleja ja tuhoaa rikkakasvien siemeniä ja tuholaisia. (Luoma 2006).

4 BIOKAASULAITOKSEN OSAT JA NIIDEN TOIMINTAPERIAATE

Maailmassa on kymmeniä miljoonia pieniä, rakenteeltaan yksinkertaisia biokaasulaitoksia. Sellaisen mädätyssäiliö koostuu kahdesta kaasutiivistä astiasta, jotka on asetettu sisäkkäin. Alempi ja hieman suurempi astia on avoin ylöspäin, kun taas ylempi ja hieman pienempi astia on avoin alaspäin (KUVIO 4). (Motiva 2013).

Kahden astian pohjien välinen välitila on täytetty veden ja lannan tai ruoantähteiden sekoituksella. Materiaalin hajotessa muodostuu biokaasua, joka kertyy ylösalaisin olevan ylemmän, kaasukellona toimivan astian alle. Järjestelmä tiivistyy kaasutiiviiksi alemmaa astiaa vasten vesilukkoperiaatteella. Tuotettu kaasu johdetaan päältä letkulla esim. keittiöön, jossa sitä käytetään ruoanvalmistukseen energianlähteenä. (Motiva 2013).



KUVIO 4. Yksinkertainen biokaasulaitos

Työn kohteena olevalle maatilalle ei näin yksinkertaista biokaasulaitosta ole tarkoitus suunnitella. Alustavassa suunnitelmassa on tarkoituksena käyttää olemassa olevia rakenteita hyväksi sekä käsitellä myös laajemmin rakenteita ja niihin liittyviä laitteita. Lisäksi selvitetään mahdollisuutta käyttää biokaasun tuotannossa muitakin materiaaleja kuin pelkää lietelantaa.

4.1 Biojätteen esikäsittely ja esikäsittely laitteet

Lietelanta ei välttämättä tarvitse esikäsittelyä. Lietelannalle riittää, että sitä sekoitetaan eristetyssä biokaasureaktorissa, jolloin sen biokaasun tuotanto paranee. Jos lietelantaa ei sekoiteta, se kerrostuu siten, että pääosa eliömassasta kerääntyy mädätys säiliön pohjan läheisyyteen, kun taas pääosa syötteestä kertyy lähelle pintaa. Kuitenkin on muistettava, ettei sekoittamista tehdä liian usein eikä liian voimakkaasti.

Jos biokaasulaitoksessa käytetään muita raaka-aineita lietelannan lisäksi, niin silloin tarvitaan raaka-aineiden esikäsittelyä ja siihen soveltuvia laitteita. Tällaisia raaka-aineita maatilalla olisivat säilörehujäämät, kuivalanta sekä muu eloperäinen biokasvijäte. Biokasvijätteiden ja säilörehujäämien käsittelyssä voidaan käyttää maatilalla olevaa apevaunua, jolla kasvimassa hienonnetaan ja syötetään syöttöruuvien avulla mädätys säiliön nestepinnan alle tai syötetään erilliseen kokoamiskaivoon, josta se lietteen mukana siirtyy reaktoriin.

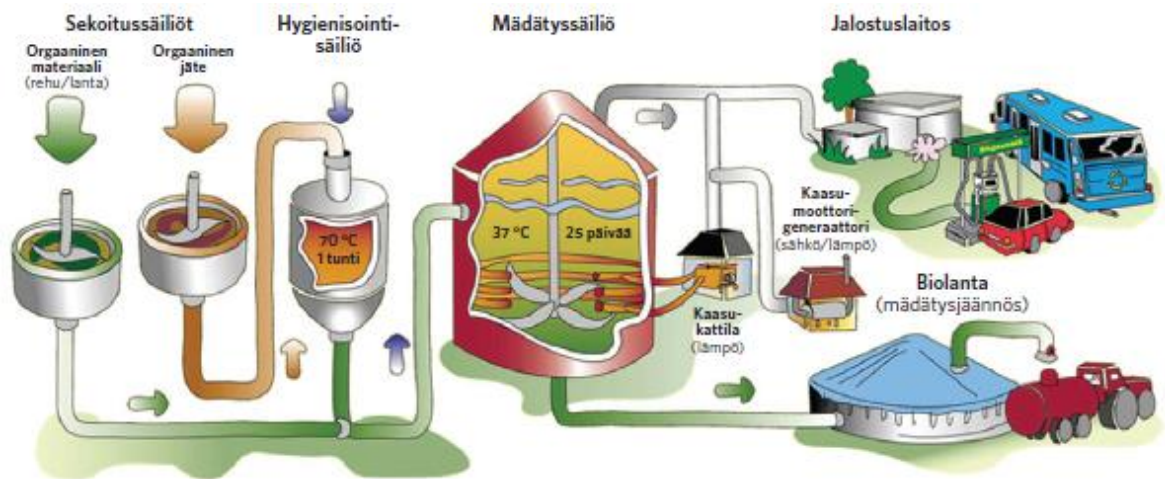
Lisäksi maatilalla voidaan käyttää biokaasutuksen materiaaleina erilaisten viherkasvien naatteja. Nämä voidaan myös hienontaa maatilalla olevalla apevaunulla tai käyttää erillistä murskainta.

Muita raaka-aineita, joita voisi myös käyttää, olisivat elintarviketeollisuuden jätteet ja biojätteet, joissa ei ole erityistä tautiriskiä. Näiden käyttö kuitenkin vaatisi lisälaitteita juuri esikäsittelyyn kuten hygienisointiin. Näiden jätteiden käyttö myös

vaatisi yhteistyötä esim. teurastamoiden kanssa. Elintarviketeollisuuden jätteiden käyttö tulisi mukaan, jos maatilalta halutaan myydä energiaa ulkopuolelle.

4.2 Biokaasureaktori ja jälkikaasuuntumisallas

Kehittynyt biokaasunvalmistustekniikka perustuu pumpattavien jakeiden jatkuvatoimisiin täyssekoitteisiin biokaasureaktoreihin (KUVIO 5). Reaktori on muodoltaan sylinterimäinen, teräksestä tai teräsbetonista valmistettu säiliö, joka on yleensä peitetty kahdella tiiviillä kalvolla. (Motiva 2013).



KUVIO 5. Biokaasun tuotanto maatilalla (Motiva 2014.)

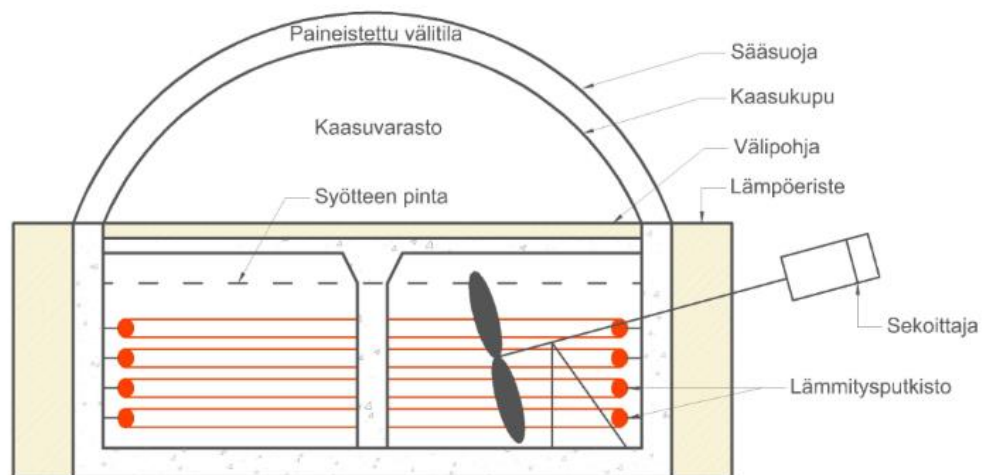
Alemman kalvon alla oleva tila toimii kaasuvarastona, kun taas ylempi kalvo toimii sääsuojana. Ylempi kalvo pidetään muodossa heikon ylipaineen avulla, mikä saadaan aikaan pienellä puhaltimella, joka puhaltaa ilmaa kahden kalvon välillä olevaan tilaan. Tämä järjestely aiheuttaa sen, että alemman kalvon alla olevan kaasun määrä voi vaihdella ja se vaikuttaa samalla mädätysäiliön lämpöeristykseen. (Motiva 2013). Suomen oloissa tämä lämpöeristys ei riitä vaan hyvä lisäeristäminen on tarpeen.

Biokaasulaitoksissa reaktori on eristetty ja varustettu sekoittimella ja lämminvesiputkilla lämmitystä varten. Koska materiaalia lisätään koko ajan, sitä täytyy myös poistaa tasaisesti reaktorista. Koska reaktorista poistuvalla materiaalilla on edelleen jäljellä osa biokaasutuotantopotentiaalia, se siirretään kaasutiiviiseen jälkikaasualtaaseen odottamaan levittämistä lannoitteena pellolle. Noin 10–25 % biokaasun kokonaistuotannosta tapahtuu yleensä mädätysjätevarastossa. (Motiva 2013).

Kuten reaktoreissa, ei jälkikaasuuntumisaltaissa käytetä lämmitystä. Kuitenkin allas peitetään kahdella tiiviillä kalvolla kuten reaktorikin ja eristetään samalla tavalla kuten reaktori, jotta lopustakin mädätysjätteestä saadaan biokaasu talteen. Ylemmän kalvon muodossa pysymiseen käytetään samaa menetelmää kuin reaktorialtaassa, kyseessä voi olla yhteinen paineistuslaitteisto.

Maatilalla on käytettävissä kaksi lietteelle tehtyä teräsbetonisäiliötä asemakaavan mukaan. Näin ollen toinen, johon navetalta pumpataan lietettä, toimisi reaktorina ja toinen jälkikaasuuntumisaltaana. Reaktorina toimiva lieteallas tulisi eristää sekä varustaa lämmityksellä. Näiden lisäksi tulisi mädätysjäännökselle tehdä kolmas allas.

Vaikka reaktorin päälle tulevien kalvojen välissä oleva ilma toimii lämpöeristeenä, ei se riitä Suomen oloissa pitämään reaktoria riittävän lämpimänä, jotta biokaasun muodostus olisi tuottavaa. Sen vuoksi mädätysäiliön ja kaasuväestön väliin pitää tehdä eristetty välipohja. Tämän lisäksi reaktorisäiliöt tulee eristää ulkopuolelta maarakenteiden osalta. Jotta lämpö mädätysäiliössä olisi tasainen ja optimaalinen reaktori pitää sisäpuolelta varustaa lämmitysvesiputkilla tai sähkövastuksilla. Sähkövastuksina voidaan käyttää lattialämmityksessä käytettävää kaapelia. (KUVIO 6).



KUVIO 6. Maatilan biokaasureaktorin eristys ja lämmitys

Eristämisen lisäksi reaktori tulee varustaa sekoittimella tai useammalla tarvittaessa. (KUVIO 7). Reaktorin ja jälkikaasuuntumisaltaan väliin pitää asentaa pumppausasema lietteen siirtämiseksi kuten myös jälkikaasuuntumisaltaan ja mädätysjäännösaltaan välille. (KUVIO 8).

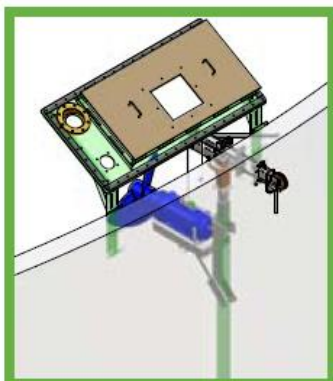


KUVIO 7. Potkurisekoitin, huoltoaukolla ja sivuohjauksella, suojakatteella peitetyille bioreaktoreille



KUVIO 8. Bioreaktorin ja jälkikaasuuntumisaltaan välinen pumppu, eristämätön malli

Bioreaktorin suojakate voidaan varustaa huoltoluukulla. Tämän voi sijoittaa juuri sivuohjauksella toimivien sekoittimien kohdalle.



KUVIO 9. Bioreaktorin huoltoluukku

Huoltoluukku voidaan myös laittaa bioreaktorin ja jälkikaasuuntumisaltaan pumppuaseman kohdalle. (KUVIO 9).

4.3 Biokaasun puhdistus ja puhdistuslaitteet

Jos biokaasua käytetään pelkästään maatalan sähkön- ja lämmöntuotantoon (CHP), niin ennen hyödyntämislaitteita siitä puhdistetaan rikkivety ja erotetaan kosteutta sekä poistetaan siloksaanit.

Jos biokaasua ei aiota käyttää ajoneuvojen polttoaineena tai syöttää maakaasuverkostoon on siitä poistettava ainoastaan rikkivety ja tarvittaessa siloksaanit niiden pitoisuuden ollessa suuri. Rikkivety H_2S on myrkyllinen ja voimakkaasti korrodoiva yhdiste, joka lyhentää biokaasua käyttävien tuotantolaitteistojen elinikää niihin joutuessaan. Rikkivetyä sisältävää biokaasua poltettaessa syntyy rikinoksiedeita, jotka aiheuttavat mm. korroosiota polttolaitteissa ja happamoittavat moottoriöljyn. Tämän takia rikkivety on poistettava biokaasusta tai sen määrä on ainakin vähennettävä. Esimerkiksi CHP-laitokselle menevän biokaasun rikkivety-pitoisuus saisi olla korkeintaan noin 100 – 500 mg/Nm³. Mahdollisimman pieni rikkivedyn pitoisuus CHP-laitoksessa poltettavassa biokaasussa pidentää luonnollisesti biokaasuvoimalan elinikää. Rikkivedyn poistamiseksi onkin olemassa useita erilaisia biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia menetelmiä. (Deuplein ja Steinhauser 2008).

Rikinpoistomenetelmistä biologinen rikinpoisto on yleisin. Biologisessa rikinpoistossa rikkivety absorboidaan ensin veteen ja sen jälkeen se hajotetaan mikrobien avulla. Hajottamiseen tarvittavat bakteerit ovat kaikkialla läsnä, joten niitä ei tarvitse kasvattaa erikseen. Biologisen rikinpoistoprosessin jälkeen biokaasussa on vielä hieman jäljellä rikkivetyä, mutta se silti sopii hyvin poltettavaksi esimerkiksi kaasumoottoreissa. Biokaasulaitoksissa, joissa

mädätetään vain biojätteitä, saadaan poistettua vain noin 50 % rikkivedystä biologisella rikinpoistolla. (Deuplein ja Steinhauser 2008).

Rikkivedyn (H_2S) pitoisuutta biokaasussa voidaan vähentää yksinkertaisimmillaan lisäämällä pientä määrää (< 4 %) ilmaa biokaasureaktorin kaasutilaan. Reaktorimassassa elää fakultatiivisia bakteereja, jotka käyttävät hapen massan pinnalla ja samalla muuntavat rikkivedyn alkuainerikiksi. Maatilalaitoksissa tämä yksin voi riittää rikin poistamiseksi biokaasusta. Ilman ja sitä kautta myös nesteeseen liukenevan hapen liiallinen lisääminen inhiboi kuitenkin voimakkaasti anaerobista prosessia ja voi aiheuttaa prosessin pysähtymisen. (Latvala 2009).

Toinen tapa vähentää rikkivetyä on lisätä prosessiin rautaa. Mikäli pitoisuudet ovat luokkaa 1 000 - 3 000 ppm (maatilalaitoksilla tyypillistä), pitoisuudet saadaan laskemaan tasolle 100 ppm. Tämä on yleisesti käytetty ratkaisu maatilalaitoksilla. Sitä voidaan käyttää myös yhdessä ilmalisäyksen kanssa varmistamaan riittävän alhainen rikkivetypitoisuus kaasussa. Rikkivedyn määrästä riippuen lisättävän raudan määrä on (rautaoksidina) yleensä noin 0,1 - 5 kg/t syötettä. Reaktoriin lisätty rauta poistuu käsittelyjäännöksen mukana. (Latvala 2009).

Rikkiyhdisteiden poistamiseen kaasusta voidaan käyttää myös rautaoksidipetiä, jolloin rikkivety sitoutuu noin 38 °C lämpötilassa rautasulfidina rautaoksidipetiin. Yksi tapa on ohjata biokaasu kolonneihin, joissa on joko rautaoksidilla käsiteltyjä puulastuja, alumiiniteollisuuden sivutuotteena saatavaa metalleja sisältävää savea tai jodipitoista aktiivihieletä. Hapetusreaktion seurauksena rautasulfidin rikki muuttuu alkuainerikiksi, jonka jälkeen rautaoksidia voidaan käyttää prosessissa uudelleen. Pitkäaikaisessa käytössä rikki kerääntyy rautaoksidin huokosiin, jonka jälkeen adsorptiopeti tulee vaihtaa. Prosessi toimii tehokkaasti ja rautaoksidipedin jatkuva käyttö on mahdollista, jos puhdistettavassa kaasussa on happea. (Latvala 2009).

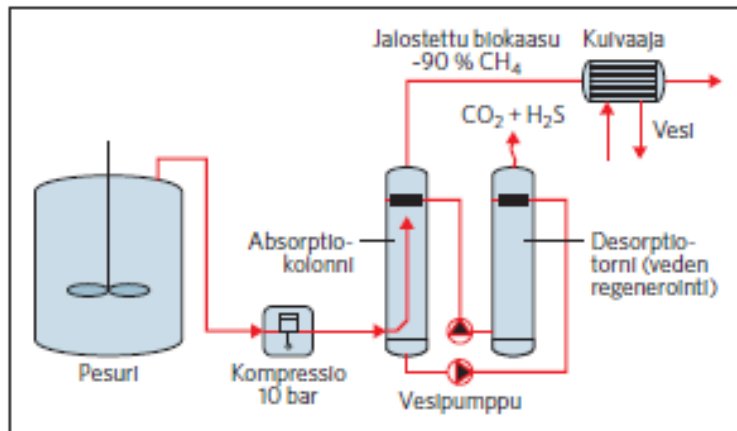
Siloksaanien poistoon biokaasusta voidaan käyttää absorptiota. Siloksaanit voidaan absorpoida aktiivihiiileen tai aktivoituun alumiinioksidiin. Yksinkertaisempi siloksaanien poistomenetelmä on jäähdytys, mutta se ei ole niin tehokas menetelmä kuin absorptio. Siloksaanien poisto kannattaa tehdä viimeiseksi, rikkidioksidin ja mahdollisen hiilidioksidin poiston jälkeen. (Deuplein ja Stenhauser 2008).

Biokaasun hyödyntäminen liikennekäytössä vaatii, että kaasu tulee puhdistaa. Maatilalla tuotettu biokaasu sisältää hiilidioksidia, vettä, typpeä, happea, vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. Biokaasun puhdistusmenetelmiä on useita, niistä yleisimpänä käytetään ns. vesipesua. Muita puhdistusmenetelmiä ovat adsorptio kiinteään aineeseen esim. aktiivihiihi, kalvoerotus (membraanisuodataus), kondensaatio: esipuhdistus kosteuden poistoon, molekyylliseula ja kryotekniikka.

Kun biokaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi tai maakaasuverkkoon syöttämistä varten, kaasu puhdistetaan ensin rikkivedystä ja hiukkasista, jonka jälkeen hiilidioksidi erotetaan kaasusta. Hiilidioksidi ei sinällään ole haitallinen ainesosa eikä sitä tarvitse poistaa kaasusta, jos kaasu poltetaan kaasukattilassa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa. Kun biokaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi, siitä pyritään poistamaan mahdollisimman paljon hiilidioksidia, koska hiilidioksidi alentaa kaasun lämpöarvoa. (Motiva 2014).

Tavallisin tekniikka hiilidioksidin erottamiseen biokaasusta perustuu siihen, että hiilidioksidi liuotetaan veteen vesipesurilla. Sekä hiilidioksidi että rikkivety liukenevat helpommin veteen kuin metaani, ja ne voidaan molemmat erottaa biokaasusta samalla pesurilla. Käytännössä vesipesu tapahtuu siten, että kaasu paineistetaan noin 10 bariin kahdessa tai useammassa vaiheessa ja johdetaan ylös täytekappaleilla täytettyyn säiliöön. Samalla vettä huuhdellaan alaspäin täytekappalealustassa, jolloin lähes kaikki hiilidioksidi ja jäljellä oleva rikkivety liukenee veteen. (KUVIO 10). Kun vesi johdetaan pesurista pois ja paine lasketaan,

kaasut vapautuvat, jonka jälkeen vesi voidaan käyttää uudelleen pesuvedenä. (Motiva 2014).



KUVIO 10. Kaaviokuva biokaasun jalostamisesta polttoaineeksi (Motiva 2014.)

Huolimatta siitä, että absorptiokolonnikoniteknikka on käytetyin biokaasun jalostusmenetelmä, sillä on myös haittansa. Haittapuolia ovat esimerkiksi, että metaani liukenee osittain veteen ja kaasun kompressoinnissa käytettävän sähkön määrä on suhteellisen korkea. Jotta metaanihävikkejä saadaan pienennetyksi, käytetään vesipesurin ja veden elvytyksen välissä väliainetta. Tässä välivaiheessa paine laskee nopeasti, jotta pääosa veteen liuenneesta metaanikaasusta vapautuu jälleen. Vapautettu kaasu johdetaan se jälkeen takaisin varsinaisiin pesureihin, kun taas vesi ja pääosa hiilidioksidista johdetaan vedenelvytyssäiliöön, desorptiokolonnein, jossa hiilidioksidi vapautetaan vesiliuoksesta. Poistettavassa jätekaasussa metaania on yleensä noin 1-3 prosenttia. Pesureissa voidaan veden lisäksi käyttää myös erityisiä liuotusaineita, joiden avulla hiilidioksidin erotus tapahtuu tehokkaammin, mikä mahdollistaa matalamman paineen käytön sekä pienemmät metaanihävikit. (Motiva 2014).

Biokaasun jalostuksen toinen tekniikka, joka ei edellytä kaasun voimakasta paineistusta, perustuu liuottimella (amiini) pesemiseen, joka regeneroidaan lämmön avulla. Tekniikka mahdollistaa lämpöenergian käytön sähkön asemasta jalostuksessa ja lisäksi menetelmällä on pienempi metaanihävikki. (Motiva 2014).

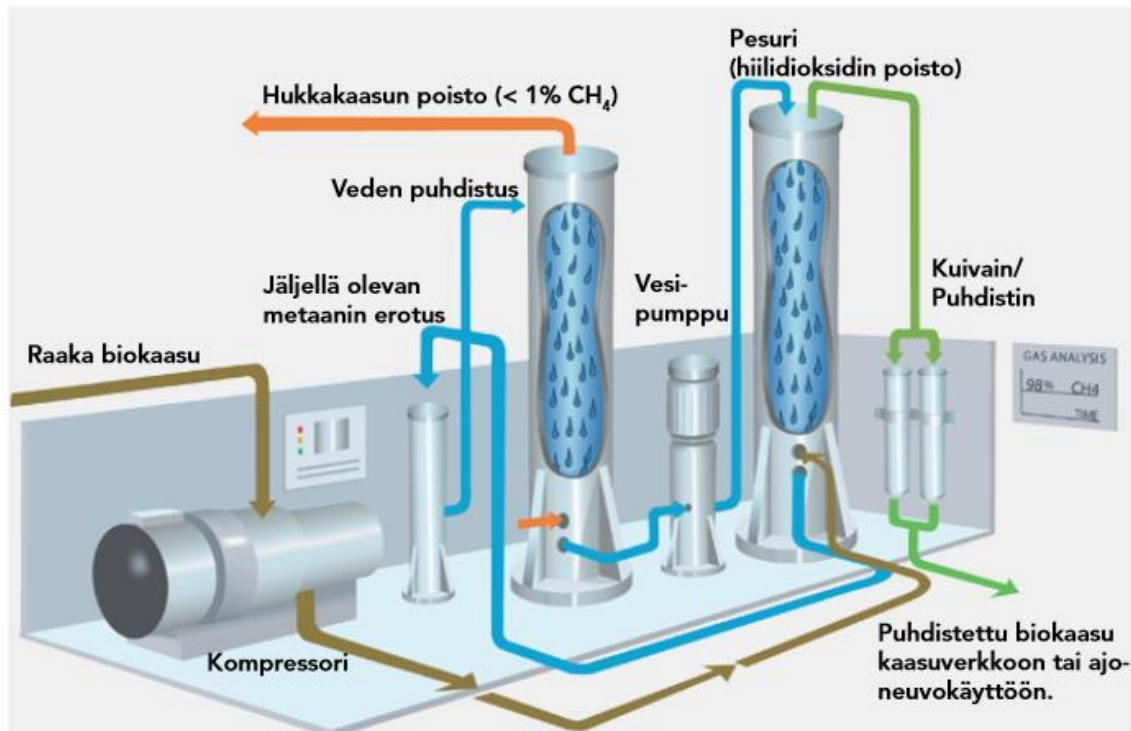
Biokaasunpuhdistuslaitteita markkinoilla on useita ja perustuvat yleensä vesipesuun. Metener Oy on erikoistunut biokaasun vesipesutekniikkaa eri painealueilla. Yritys toimittaa konttirakenteisia biokaasun puhdistus- ja tankkausasemia kokoluokissa 10 m^3 - 100 m^3 raakabiokaasua / tunti.

Yrityksen jalostuslaitteilla biokaasu jalostetaan liikennekäytön vaatimukset täyttäväksi polttoaineeksi, nk. biometaaniksi ja edustamalla maa- ja biokaasun jakelulaitteilla biometaani saadaan luotettavasti auton tankkiin. Yrityksellä on myydyistä laitteista yli kymmenen vuoden käyttökokemus ja luotettavuus on testattu miljoonilla ajokilometreillä. Tällä hetkellä biometaania myydään 100 MWh/kk , mikä vastaa $140\,000$ ajokilometriä kuukaudessa (kulutuksella $5 \text{ kg}/100 \text{ km}$). (Metener Oy 2015).

Greenlane®-biokaasun puhdistuslaitteistot ovat ympäristöystävällistä teknologiaa. Greenlane Biogas kuuluu Flotech Groupiin, joka on maailman johtava biokaasun puhdistusteknologian kehittäjä ja toimittaja. Flotechilla on yli 20 vuoden maailmanlaajuinen kokemus biokaasun puhdistamisesta ja jalostamisesta. Greenlane puhdistusjärjestelmissä käytetään Flotechin kehittämää teknologiaa, jossa biokaasu puhdistetaan tavallisella vedellä. Tällä menetelmällä on vähemmän ympäristövaikutuksia kuin millään muulla puhdistusteknologialla. Teknologiaa käytetään myös maailman suurimmassa biokaasun puhdistuslaitoksessa Güstrowissa Saksassa, jossa käsitellään tunnissa $10\,000 \text{ Nm}^3$ raakaa biokaasua. (Greenlane 2015).

Greenlane -biokaasun puhdistuslaitteistot on standardoitu. Standardointi ja se, että laitteistot ovat pääosin tehdasasennettuja nopeuttaa asennusta ja vähentää kustannuksia. Kaasun puhdistuksen viimeistelee patentoitu prosessi, joka poistaa loput epäpuhtaudet kaasusta; H_2S , öljyhöyryt ym. Tuotesarjaan kuuluu kuusi eri mallia kapasiteetiltaan $0 \dots 2700 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Kolme pienintä mallia ($0 \dots 300 \text{ m}^3/\text{h}$)

toimitetaan valmiiksi konttiin asennettuna, suuremmat mallit on mahdollista saada joko konttiin tai jalaksille asennettuna (KUVIO 11).



KUVIO 11. Greenlane -biokaasun puhdistuslaitteiston toimintaperiaate (Greenlane 2015.)

Tässä laitteiston etuja:

- Patentoitu ja koeteltu teknologia sekä alansa markkinajohtaja.
- Alhaisemmat asennuskulut kuin paikalla rakennettavissa laitoksissa.
- Helppo hankkia – standardilaitteistot.
- Ympäristöystävällinen; puhdistuksen pääprosessissa käytetään vettä.
- Prosessi kuluttaa vähän energiaa.
- Puhdistetun ja jalostetun biokaasun laatu on tyypillisesti 98 % ± 1 %.
- Myös paljon rikkivetyä sisältävä biokaasu voidaan puhdistaa.

4.4 Biokaasuvarasto

Biokaasureaktorin välipohjan yläpuolinen tila toimii kaasuvaramona (KUVIO 6). Täältä biokaasu ohjataan, rikin ja kosteuden poiston jälkeen, biokaasupolttimelle tai biokaasumootorille. Rikin poisto tapahtuu hapen avulla ja kosteuden poisto voidaan järjestää kaasuputkistojen kallistuksilla.

Biokaasureaktorin rakenteen vuoksi voidaan kaasu ohjata ja varastoida erillisiin kaasusäkkeihin. Kaasusäkkien päällä olevien painojen avulla saadaan kaasu virtaamaan joko biokaasupolttimelle tai biokaasumootorille ilman erillistä pumppausta.

Jos maatilalla biokaasua tullaan käyttämään myös liikennekäytössä, lähinnä traktoreissa, niin pitää se puhdistuksen jälkeen varastoida. Tällaiseen biokaasun varastointiin ja liikennekäyttöön liittyy lupa- ja käyttömääräyksiä, jotka tulee täyttää ennen kuin biokaasua voidaan hyödyntää liikennekäytössä.

Suosittelava varastotyyppi on kaasupullo. Pullot voidaan ryhmitellä ns. pullopankiksi, Kaasuvarasto voi koostua yhdestä tai useammasta pullopankista.



KUVIO 12. Biokaasuvarasto liikennekäyttöön, kompressoritila vasemmalla

Kaasuvaraston maksimipaine on 300 bar. Kaasuvarasto sijoitetaan ulos tai tilaan, joka on katettu ja eristetty kompressoritilasta. Ulkona sijaitseva varasto eristetään lisäksi aidalla tai kevyellä seinällä. (KUVIO 12).

4.5 Biokaasumoottorit

Biokaasun hyödyntämiseksi käytettäväksi sähköksi tai lämmöksi, täytyy se muuttaa koneiden ja laitteiden avulla vastaavaan energiamuotoon. Tähän tarkoitukseen on olemassa biokaasumoottoreita ja biokaasupolttimia.

Biokaasumoottoria käytetään pyörittämään generaattoria ja näin muuttamaan biokaasu sähköenergiaksi. Markkinoilla on useita biokaasumoottoreita, mutta myös käytössä olevista bensiini- ja dieselmoottoreista voidaan muutosten avulla saada biokaasumoottoreita.

Arviolta puolet nykypäivän biokaasulla toimivista lämmön ja sähkönyhteistuotantolaitoksista käyttää ottomoottoritekniikka hyödyntävää kaasumoottoria ja puolet dieselmoottorin tekniikka hyödyntäviä kaksoispolttoainemoottoreita (dual-fuelmoottori). Myös mikroturbiinit ovat alkaneet yleistyä pienen kokoluokan lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa olisi myös mahdollista käyttää Stirling-moottoria tai polttokennoa. (Deuplein ja Stenhauser 2008).

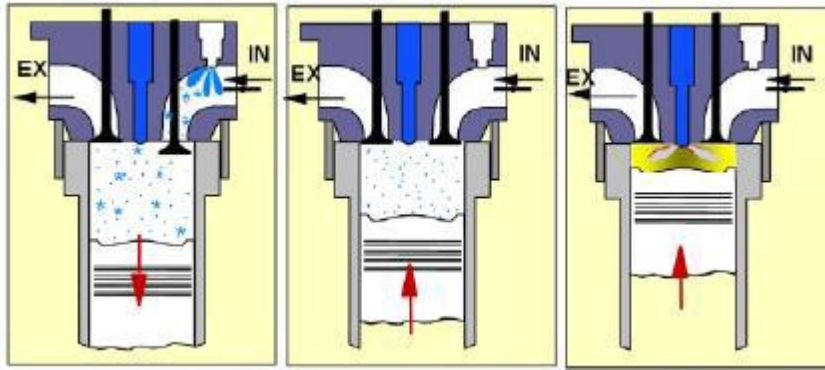
Biokaasumoottorina voidaan käyttää nelitahtista ottomoottoria. Puristussuhde moottorissa biokaasua käytettäessä voi olla 11 – 12,5, joka on hieman suurempi kuin normaalin bensiinikäyttöisen otto-moottorin puristussuhde. Puristussuhteen korkeamman arvon ansiosta voidaan saavuttaa hieman korkeampi moottorin hyötysuhde.

Otto-moottoritekniikkaa käyttävän kaasumoottorin sylinterissä biokaasu sytytetään kipinän avulla. Reaktorissa tuotetun biokaasun metaanipitoisuuden vaihtelun takia ovat biokaasua käyttävät otto-moottorit yleensä varustettu automaattisella sytytyksen säädöllä. Tällä saadaan sytytyksen ajoitus säädettyä kaasun koostumukselle sopivaksi moottoriin syötetyn biokaasun metaanipitoisuusmittauksen ja nakutustunnistimen perusteella.

Nelitahti-ottomoottoria käytettäessä on moottoriin menevä biokaasun ja ilman seos hyvä ahtaa turboahtimen avulla. Käyttämällä turboahdinta ja välijäähdytintä, jossa ahdettu ilma jäähdytetään, voidaan moottorin suorituskyky nostaa jopa 1,5-kertaiseksi. (Deuplein ja Stenhauser 2008).

Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena myös diesel-moottorissa. Metaanin korkean syttymislämpötilan takia dieselmoottorilla ei voida kuitenkaan saavuttaa tarpeeksi suurta puristussuhdetta, jotta biokaasu syttyisi. Tästä johtuen biokaasun ja ilman seokseen ruiskutetaan sytytyshetkellä diesel-öljyä, jotta puristussytytys olisi mahdollista. Tätä tekniikkaa hyödyntävää moottoria kutsutaan kaksoispolttoainemoottoriksi. Biokaasun metaanipitoisuudesta riippuen on ruiskutettavan dieselöljyn määrä oltava polttoaineessa noin 10 %.

Kuviossa 13 on esitetty dieselöljyä sytytykseen käyttävän kaksoispolttoainemoottorin toimintaperiaate. Ensimmäisessä vaiheessa sylinteriin imetään biokaasun ja ilman seos. Toisessa vaiheessa biokaasun ja ilman seosta puristetaan männän liikkeessä kohti yläkuolokohtaansa. Yläkuolokohdassa sylinteriin ruiskutetaan dieselöljyä, jolloin polttoaineseos syttyy ja muodostuneen paineen ansiosta mäntä lähtee liikkumaan jälleen alaspäin.



KUVIO 13. Dieselöljyä sytytykseen käyttävän kaasumoottorin toimintaperiaate (Larjola 2008)

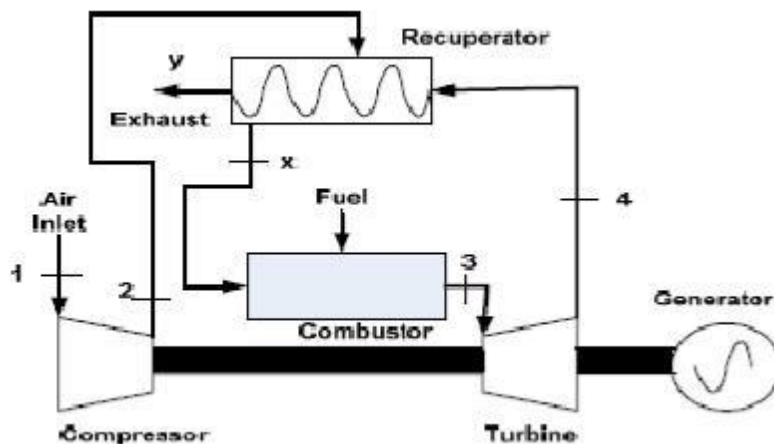
Pienen kokoluokan kaasumoottoissa Dieselmoottorin tekniikkaa käyttävä kaksoispolttoainemoottori on taloudellisesti kannattavampi sekä sillä saavutetaan pienessä kokoluokassa suurempi hyötysuhde kuin otto-moottorissa. Tästä johtuen se onkin yleisempi ratkaisu pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon käytettäessä kaasumoottoria. (Deuplein ja Stenhauser 2008).

Mikroturbiinit ovat pienen kokoluokan kaasuturbiineita. Valtaosa mikroturbiineista on yksiakselisia eli kompressorin, turbiinin sekä generaattorin on usein kytketty samalle akselille. Kompressorin ja turbiinin ovat rakenteeltaan tavallisesti radiaalisia. Sähköteholtaan mikroturbiinit ovat yleisesti 25-350 kWe, joten ne soveltuvat hyvin pienen kokoluokan energiantuotantoon. Mikroturbiinien pyörimisnopeus on 90 000-120 000 rpm. Generaattorin pyöriessä turbokoneiden edellyttämällä suurella pyörimisnopeudella, tuottaa se suurtaajuuksista sähköä. Tämä suurtaajuuksinen sähkö saadaan muunnettua taajuusmuuntajan avulla verkon taajuuteen. Lämpöä prosessista saadaan ottamalla turbiinin jälkeisistä savukaasuista hukkalämpöä talteen. (m-CHP instructional module 2005).

Mikroturbiinissa voidaan laakeroinnissa käyttää ilmalaakerointia, joka on voiteluvapaa ja näin kunnossapito on helppoa. Mikroturbiinien suurena etuna on

pitkä huolto- ja kuluvien osien vaihtoväli, 40 000 h, ja ensimmäinen huolto vaaditaan vasta 8000 tunnin, eli käytännössä aikaisintaan yhden vuoden jälkeen. (m-CHP instructional module 2005).

Mikroturbiinit ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin isomman kokoluokan kaasuturbiinit. Biokaasua käytettäessä kaasu poltetaan ulkoisessa polttokammiossa, johon syötetään paineistettua ilmaa kompressorilta. Syntyvä savukaasu johdetaan turbiiniin joka pyörittää sekä kompressoria, että generaattoria. Savukaasuihin jäävällä lämmöllä lämmitetään yleensä palamisilmaa, sillä ilman rekuperaattoria mikroturbiinin hyötysuhde jäisi alhaiseksi. Rekuperaattorin jälkeen savukaasuissa on vielä lämpöä, joka voidaan ottaa talteen. Kuviossa 14 on esitetty mikroturbiinin kiertoprosessi.



KUVIO 14. Mikroturbiinin kiertoprosessi varustettuna rekuperaattorilla

Ilman rekuperaattoria jää mikroturbiinin sähköntuottohyötysuhde noin 15 %:iin ja rekuperaattorilla varustetun mikroturbiinin sähköntuottohyötysuhde vaihtelee välillä 20 - 30 %. Suuri ero hyötysuhteissa johtuu siitä, että palamisilman esilämmitys vähentää polttoaineen tarvetta. Kokonaishyötysuhteeksi voidaan saada sähkön ja lämmön yhteistuotannossa jopa 85 % otettaessa savukaasuista hukkalämpöä hyötykäyttöön. (m-CHP instructional module).

Etuina kaasumoottoriin verrattuna mikroturbiinilla on sen alhaisemmat päästöt. Esimerkiksi typen oksidipäästöt ovat vain noin 20 ppm kun ne vastaavasti ovat pienen kokoluokan kaasumoottorilla noin 1100 ppm. Lisäksi käyttökustannukset ovat mikroturbiinilla edullisemmat kuin kaasumoottoreilla sen helpon huollettavuuden ansiosta. Myös käyntiääni on mikroturbiinilla huomattavasti hiljaisempi kuin kaasumoottorilla. (Hintikka 2004).

4.6 Maatilan lämmitykseen tarvittavat laitteet

Biokaasua voidaan käyttää lämmityskäytössä polttamalla se kaasupolttimella normaalissa öljykattilassa. Tällöin hyötysuhde on 90 %. Kaasupolttimia on tarjolla runsaasti eri kokoluokissa, muutaman kilowatin polttimia aina kymmenien megawattien polttimiin.

Kaasupolttimen lisäksi lämmitykseen tarvitaan lämmityskattila. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää öljypolttimelle tarkoitettuja lämmityskattiloita vaihtamalla öljypolttimen tilalle biokaasulle sopiva kaasupoltin. Kattilan koon määrää maatilalla lämmitykseen tarvittavan energian määrä, lämpimän käyttöveden kulutus sekä bioreaktorin lämmittäminen.

4.7 Maatilan sähköntuotantoon ja –siirtoon tarvittavat laitteet

Suurin osa mautiloille rakennetuista biokaasulaitoksista ovat CHP-laitoksia. Tällöin osa biokaasusta saadusta energiasta tuotetaan lämmöksi ja osa sähköksi. Maatilan CHP-laitos koostuu kaasumoottorista ja kaasulämmityskattilasta. Kaasumoottoria käytetään suoraan generaattorin pyörittämiseen sähköntuotannossa.

Generaattorin lisäksi sähköntuotannossa tarvitaan laitteita, joiden avulla sähkö saadaan tasalaaatuiseksi, jotta sitä voidaan käyttää tilan sähkölaitteissa. Sähkön laadun varmistamiseksi käytetään sähkön suodattimia sekä taajuusmuuttajia. Sähkön suodattamisessa tarvitaan laitteita yliaaltojen suodattamiseen sekä loistehon kompensointiin. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää sähkölaitteille menevän sähkön taajuutta tarpeen vaatiessa.

Sähkön siirrossa sähköyhtiön verkkoon joudutaan em. lisäksi hankkimaan laitteita generaattorin verkkoon tahdistamiseen sekä voimalaitoksen suojaukseen. Voimalaitoksen suojauksessa käytetään relesuojausta, kun on tarve esimerkiksi irrottaa voimalaitos verkosta.

Energiaomavaraisuus tämän kokoluokan pihattonavetoissa olisi kannattavaa ja lisäsi sen tuottavuutta. Mahdollinen energian myyminen sekä biokaasun jalostaminen liikennekäyttöön olisivat hyvä lisä kannattavuuteen ja omavaraisuuteen.

Lähtökohtana olisi käyttää pelkästään lietettä biokaasun tuotantoon, jos sen käyttö pelkästään on kannattavaa. Kuitenkin mahdollisuus muiden biomassojen käyttöön otetaan suunnittelussa huomioon, jos lietteen käyttö ei yksi riitä tilan energian tarpeeseen. Muiden biomassojen käytöllä olisi myös mahdollisuutta myydä energiaa ulkopuolelle.

5.2 Biokaasupotentiaalin määrittäminen

Laskennallinen biokaasupotentiaali määritetään sekä pelkän lietteen määrästä että myös lisänä käytettyjen biomassojen määrästä eli liete + muut biomassat. Biokaasupotentiaalin laskenta aloitetaan määrittämällä tilan tuottaman vuotuisen lietteen kiintomäärä. Tämän jälkeen vuotuinen biokaasupotentiaali voidaan laskea, kun saatu vuotuinen kiintoainemäärä kerrotaan biokaasutuottopotentiaalilla.

Vuotuinen lietteen kuiva-ainemäärä voidaan laskea, kun tiedetään lietteen kuiva-aine pitoisuus, lietteen tilavuuspaino ja lietteen määrä vuodessa. Tilalla ei ole tehty analyysia lietteen kuiva-ainepitoisuudesta, joten alustavassa suunnittelussa käytetään kuiva-ainepitoisuutena 8.1 % / 1000 kg. Lietteän ominaispainoksi voidaan ottaa 1000 kg/ m³. Lietteän määrän laskemiseksi voidaan käyttää lehmillä 24 m³ lantaa vuodessa, hiehoilla 15 m³ ja alle 6 kuukauden ikäisillä 4 m³ vuodessa. Tilalla olevien eläimien määrä on 145 lehmää, 76 hiehoa ja 35 vasikkaa. Näistä saadaan lietteän määräksi vuodessa 4760 m³ vuodessa.

Lietteen sisältämä kuiva-ainemäärä TS (Total Solids) lasketaan seuraavasti: lantamäärä vuodessa (kg/a) x kuiva-ainepitoisuus % x tilavuuspaino kg/m³. Kiintoainemäärä (TS) vuodessa = 4760 m³/a x 0,081 x 1000kg/m³ = 385560 kg/a. Lietteen sisältämä orgaaninen kuiva-aine VS (Volatile Solids) on biokaasuprosessin oleellinen arvo. Biokaasun sisältämä metaani muodostuu syötteen sisältämän orgaanisen aineksen hajotessa. Lietteen orgaanisen kuiva-aineen määrä on tyypillisesti noin 80 – 90 % lietteen kuiva-aineesta. Oletetaan orgaanisen aineen pitoisuudeksi 90 % kuiva-aineesta, joten vuotuisen orgaanisen kiintoaineen määrä on 0,9 x 385560 kg/a = 347004 kg/a.

Erilaisilla biomassaraaka-aineilla on koostumuksesta, fyysisestä olomuodosta ja vesipitoisuudesta johtuvia eroja tuottaa metaania. Seuraavassa taulukossa on esitetty muutamien biomassojen metaanipotentiali haihtuvien yhdisteiden massaa kohden ja tuorepainoa kohden. Yksi kuutio metaania vastaa noin yhtä litraa kevyttä polttoöljyä eli noin 10 kilowattituntia. (Motiva 2015).

TAULUKKO 3. Biomassojen metaanipotentiali

Raaka-aine	Metaanin tuotanto	Biokaasun tuotanto	Metaanipitoisuus
	m ³ CH ₄ / tonnia tuorepaino	m ³ / tonnia märkäpaino	%
Teurastamojäte	150	250	70
Biojäte	100-150	150-250	65
Kasvibiomassat	30-150	50-250	55
Puhdistamoliete	41978		
Sian lietelanta	17-22	25-35	65
Lehmän lietelanta	41821	15-25	60

Lehmänlannalle biokaasuntuottopotentialiksi ilmoitetaan 0,2 – 0,5 Nm³ / kg VS. Tuottopotentialin vaihtelut johtuvat käytettävästä prosessista sekä viipymääjasta. Biokaasupotentialin laskemisessa tuottopotentialiksi valitaan 0,35 Nm³ / kg VS. Tämän avulla vuotuinen biokaasupotentiali lasketaan seuraavasti:

$$0,35 \text{ Nm}^3 / \text{kg} \times 347004 \text{ kg} / \text{a} = 121451 \text{ Nm}^3.$$

Vuotuinen biokaasutuottopotentialiaali on 121451 Nm³. Biokaasu sisältää metaania 55 – 75 % ja kun tunnetaan metaanin energiasisältö, voidaan laskea biolaitoksen tuottama teoreettinen energiamäärä vuodessa. Metaanin sisältämä energia on noin 36 MJ / Nm³ eli 10 kWh / Nm³. Näiden avulla voidaan laskea vuotuinen kaasun energia. Metaanipitoisuudeksi valitaan 60 %, jolloin vuotuiseksi energiaksi saadaan:

$$E = 0,6 \times 10 \text{ kWh} / \text{Nm}^3 \times 121451 \text{ Nm}^3 / \text{a} = 728708 \text{ kWh} / \text{a}$$

Teoreettisesti laskettuun energiamäärän laskemiseen on käytetty pelkästään lietelantaa. Kun biokaasuntuotannossa käytetään peltobiomassoja, niin orgaanisen kiintoaineen määrä kasvaa ja näin ollen energiamäärä kasvaa. Jos tilalla voidaan kerätä peltobiomassoja käytettäväksi biokaasuntuotantoon vuodessa 100 000 kg, niin biokaasutuottopotentialiksi saadaan:

$$0,35 \text{ Nm}^3 / \text{kg} \times 447004 \text{ kg} / \text{a} = 156451 \text{ Nm}^3$$

jolloin vastaava energiamäärä olisi:

$$E = 0,6 \times 10 \text{ kWh} / \text{Nm}^3 \times 156451 \text{ Nm}^3 = 938708 \text{ kWh} / \text{a}.$$

Lasketuista energiamääristä osa kuluu biokaasutuotantoon, jolloin käytettävä energiamäärä on pienempi.

Biokaasun tuotannon kannattavuuslaskuri on maatilojen käyttöön tarkoitettu apuväline biokaasulaitosten suunnittelun tueksi. Laskurin avulla on mahdollista

arvioida tilakohtaisia biokaasun tuotantomääriä, siitä saatavan energian käyttöä ja biokaasulaitoksen kannattavuutta. Laskuriin syötettyjä arvoja muuttamalla nähdään muuttujien vaikutus biokaasulaitosten kannattavuuteen. (BIOG 2015).

Kannattavuuslaskurilla saatiin biokaasun määräksi 68628 m³ vuodessa. Mädätysprosessilla aikaan saadun biokaasun energiasisältö on keskimäärin 6,4 kWh / m³. Tästä voidaan laskea energiamäärä kannattavuuslaskurilla saadulla biokaasumäärällä:

$$E = 68628 \text{ m}^3 / \text{a} \times 10 \text{ kWh} / \text{m}^3 = 686280 \text{ kWh} / \text{a}.$$

Kannattavuuslaskurilla saatu energiamäärä on pienempi kuin edellä laskettu. Syynä voi olla aikaisemmin lasketuissa energiamäärissä käytetty kaasutuottopotentiaalinen arvo. Kaasutuottopotentiaalinen arvolla 0.33 Nm³ / kg päästään samaan tulokseen kuin kannattavuuslaskurilla.

Jos lisätään lietteeseen nurmisatoa tai kasvibiomassaa, niin kannattavuuslaskurilla saadaan vuotuisesti metaaninmääräksi 100 tonnin nurmisadon lisäyksellä 75128 m³ /a ja kasvibiomassalla 78628 m³ /a. Näistä saadut energiamäärät ovat nurmisadolle 751280 kWh /a ja kasvibiomassalle 786280 kWh / a. Edellä laskettu arvo on suurempi, joten orgaaniseen kiintoaineeseen ei voida suoraan lisätä peltobiomassan painoa vaan on käytettävä kerrointa, sillä kaikki peltobiomassasta ei ole orgaanista kiintoainetta.

5.3 Sähkön- ja lämmönkulutus maatilalla

Taustaselvityksessä tulee myös kartoittaa kohteen sähkön- ja lämmönkulutukset, joita verrataan laitoksella tuotettuun energiamäärään. Kaasu voidaan hyödyntää

suoraan energiantuotannossa laitoksella tai johtaa lyhyitä matkoja esim. tilan omiin tuotantorakennuksiin. Lämpö ja sähkö voidaan hyödyntää tilalla ja tarvittaessa sähköä voidaan myydä myös verkkoon. Tulee huomioida, että jaettaessa käsiteltävä materiaali tasaisesti vuoden jokaiselle päivälle, muodostuu laskennallinen jatkuva teho (lämpö tai lämpö ja sähkö), joka voi tilanteesta riippuen olla joko yli tai alle tilan tarvitseman tehon. Esimerkiksi, jos jatkuva sähköteho on 20 kW, joudutaan sähköä myymään verkkoon sinä aikana, kun tilan kulutus on alle 20 kW. Vastaavasti tehopiikkien aikana joudutaan sähköä ostamaan verkosta. Yleensä laitoksilla syntyy yli- tai alijäämää, sillä kaasun varastointitilaa ei ole kannattavaa tehdä kovin suureksi. Jos laskenta toteutetaan siten, että lietteen tuotto jaetaan vuoden jokaiselle päivälle, tulee huomioida, että kevät- kesä- ja syksyaikaan lämmön tarve on alhaisempi, joten tätä kautta määritettävä tuotto jää laskennassa todellisuutta alhaisemmaksi. (Taavitsainen 2006).

Maatilan lämpöenergiantarve koostuu lähinnä käyttöveden kulutuksesta. Käyttöveden lämmitykseen käytetään sähkövastuksia 300 litran varaajassa. Sähkönkulutus oli 150 000 kWh, tähän sisältyy myös käyttöveden lämmitykseen käytetty energia. Suurin osa sähkönkulutuksesta vievät lypsyrobotit ja maidon jäähdyttäminen. Lopun kulutuksen muodostavat valaistus, toimistotilojen lämmitys, jyvähun jauhatus sekä valvomon tietokoneet. Lypsyrobotin sähkönkulutus lehmää kohden on noin 215 kWh vuodessa (Rehnström 2010, 38 – 41). Näin ollen 150 lehmän lypsäminen kuluttaa noin 32250 kWh vuodessa, joka on melkein kolmasosa sähkönkulutuksesta.

Koska suoran lämpöenergian tarve tilalla on melko vähäistä, niin biokaasu kannattaa jalostaa sähköksi. Biokaasun sähköntuotannossa muodostuu paljon lämpöenergiaa. Kannattavuuslaskurin mukaan sähköntuotannon hyötysuhde on noin 35 % ja lämmöntuotannon hyötysuhde noin 52 %. Sähköntuotannossa

muodostuva lämpö voidaan käyttää melkein kokonaan biokaasureaktorin lämmitykseen.

Kaikki tuotettu biokaasu voidaan jalostaa sähköksi, jolloin saadaan sähköä kannattavuuslaskurin arvoilla 240 198 kWh ja lämpöä 356 866 kWh vuodessa. Koska maatilan sähkönkulutus on melko tasaista koko vuoden, niin lämpöenergia voidaan kokonaan käyttää biokaasuprosessin ylläpitämiseen. Osa lämpöenergiasta voidaan käyttää eläinten juomaveden lämmitykseen varsinkin talvisin.

Tämän laskelma mukaan sähköenergian määrä ylittää maatilan kulutuksen, joten sitä on mahdollista myydä tilan ulkopuolelle. Sähkönmyynti ulkopuolelle vaatii viranomaisluvut ja sähkön tulee olla sähkönjakeluverkkoon sopivaa.

6 NYKYISTEN RAKENTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN

Maatilalla on kaksi 2500 m³ betonista lietesäiliötä. Niistä toiseen johdetaan navetalta tuleva liete kokoojakaivon kautta kuten asemakuvasta käy ilmi. Asemakuvaa on merkitty, että kokoojakaivolta lähtisi toinen putki toiselle lietesäiliölle, mutta näin käytännössä ei ole. Liete toiseen säiliöön pumpataan traktorin perään asennettavalla pumpulla.

6.1 Esisäiliö

Tilan kokoojakaivo soveltuisi hyvin esisäiliöksi, jossa esim. peltobiomassat voitaisiin sekoittaa lietteeseen. Tätä varten kaivoa pitäisi hieman suurentaa sekä varustaa lämmityksellä. Tarvittava lämpö tuotettaisiin biokaasulla kuten bioreaktorinkin lämmitys. Lämmityksen lisäksi kaivoon tulisi asentaa sekoitin biomassojen sekoitusta varten sekä tarkoitukseen soveltuva pumppu, jos nykyinen pumppu ei ole riittävä tehokas pumppaamaan sitä reaktorialtaaseen.

Peltobiomassojen käyttö tässä tapauksessa edellyttää, että ne ovat hyvin hienojakoisessa muodossa. Tämä tarkoittaa, että ne pitää hienontaa hyvin käyttäen joko erillistä murskainta tai tilalla olevaa apevaunua, jotta ne eivät tuki reaktorille menevää putkea. Tukkeumien varalta siirtoputkeen huuhtelujärjestelmä tulisi rakentaa samassa yhteydessä.

6.2 Reaktori

Maatilan toinen lietesäiliö soveltuu biokaasureaktoriksi. Jotta lietesäiliöstä saadaan tehokas biokaasureaktori, pitää siitä muokata. Aluksi säiliö pitää eristää sivuiltaan. Lietesäiliön sivun korkeus on 3 m, josta pieniosa on maapinnan yläpuolella.

Lietesäiliön halkaisija on hieman yli 35 m. Jotta eristyksen voi tehdä ulkosivuille, pitäisi koko säiliön ympäristö kaivaa auki. Eristys ulkopuolelle voitaisiin tehdä joko irtoeristeistä tai valamalla esim. polyuretaanilla. Halvempi ja helpompi vaihtoehto on tehdä eristys säiliön sisäpuolelle. Tällöin eristyksen yhteyteen voitaisiin asentaa säiliön sivuille ja pohjalle tarvittava lämmitysputkisto. Näin myös lämmityksen teho ja säätö olisi paremmin hallittavissa. Säiliön sivujen eristyksen lisäksi siihen pitää tehdä eristävä välipohja.

Eristämisen lisäksi reaktorialtaaseen pitää asentaa sekoittimia, jotta mädätysprosessi saadaan toimimaan optimaalisesti. Sekoittimet voidaan asentaa säiliön sivuille, kuten aikaisemmassa kappaleessa on esitetty tai ne voidaan asentaa eristettyyn välipohjaa. Eristettyyn välipohjaan asennettaessa on huomioitava etteivät sekoittimien moottorit jää kaasutilaan räjähdysvaaran vuoksi. Sivulle asennettavissa sekoittimissa moottorit jäävät lietteeseen, jolloin vastaavaa vaaratilannetta ei tule.

Mädätysprosessin toiminnan kannalta oli reaktoriin hyvä asentaa lämpöantureita, joilla voidaan seurata altaan lämpötilaa ja automatiikan avulla säätää prosessilämpötila optimaaliseksi.

6.3 Jälkikaasuuntumisallas

Maatilan toisesta lietesäiliöstä voidaan tehdä jälkikaasuuntumisallas. Tämä kuitenkin mahdollisesti edellyttää kolmannen lietesäiliön rakentamista. Kolmanteen säiliöön sijoitettaisiin mädätysjäännös, josta se voidaan levittää pelloille. Olemassa olevien säiliöiden väliin olisi hyvä tehdä kiinteä mädätysaineen siirtoputki.

Jälkikaasuuntumisaltaana toimiva säiliö eristetään kuten reaktori ja tehdä välipohjaa. Lämmitystä jälkikaasuuntumisaltaaseen ei tehdä. Säiliö myös varustetaan kahdella kalvolla kuten reaktoriallaskin, jotta biokaasu voidaan ottaa talteen.

7 UUSIEN RAKENTEIDEN SUUNNITTELU

Uusien rakenteiden ja rakennusten suunnittelu kohdistuu lähinnä biovoimalaitokseen ja kaasuväaraastoon. Biovoimalaitos koostuu sähköä tuottavasta biokaasumoottorista sekä bioreaktorin lämmitykseen tarvittavasta lämmityskattilasta. Lisäksi uusina rakennettavina kohteina ovat kaasuväarasto ja mahdollinen puhdistusasema, jos biokaasua halutaan hyödyntää liikennekäytössä sekä hygienisointiyksikkö, jos käytetään eläinperäisiä raaka-aineita kasvipoijaisten raaka-aineiden lisäksi. Puhdistusaseman yhteyteen tulisi myös oma kaasuväarasto sekä tankkausasema.

7.1 Biokaasukattila

Bioreaktorin lämmitykseen voidaan käyttää biokaasukattilaa. Kattilan lämmitys voidaan tehdä joko kaasupolttimella tai käyttämällä biokaasumoottorin savukaasuja hyödyksi. Mahdollista on myös toteuttaa näiden yhdistelmä, jolloin parhaiten turvataan bioreaktorin lämmitys ja tarvittaessa lämpöenergiaa voidaan käyttää maatilalla muissa kohteissa esimerkiksi käyttöveden ja karjan juomaveden lämmityksen.

Lämmityskattilana voidaan käyttää tavallista omakotitalossakin käytettävää kattilaa. Kattilan teho tulee kuitenkin ensin selvittää, mutta kattiloita on saatavissa laajalla skaalalla, joten kattilan valinnan ei pitäisi tuottaa ongelmia.

7.2 Biokaasumoottori- ja generaattori

Biokaasumoottorin valinnassa on useita vaihtoehtoja. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää maatilalla olevan generaattoria ja sen voimakonetta sähkön tekemiseen.

Toisaalta olemassa olevaa generaattoria voidaan pitää varalla kuitenkin sitten, että voimakone toimisi biokaasulla. Koska kyseessä on dieselmoottori, niin se pitäisi modifioida biokaasulle sopivaksi. Jos päädytään tähän vaihtoehtoon, niin silloin lämmitykselle pitäisi kuitenkin rakentaa oma rakennus ja sille oma kaasupoltin lämmityskattiloineen.

Toisena vaihtoehtona on käyttää valmista biokaasumoottoria. Kyseeseen tulisi biokaasulla toimiva nelitahtiottomoottori tai kaksoispolttoainetekniikalla toimivaa dieselmoottoria. Tämä vaihtoehto vaatisi oman rakennuksen, johon voidaan yhdistää lämmityskattila kaasupolttimeen. Biokaasumoottorin ja lämmitykseen tarvittavat tilat on hyvä eristää toisistaan paloturvallisuuden takia. Biokaasumoottorin yhteyteen pitää hankkia toinen generaattori, jos olemassa olevaa generaattoria käytetään varageneraattorina biolaitoksen vikatilanteissa.

Biokaasumoottorin sekä lämmityskattilan kaasupolttimeen voidaan sijoittaa esim. räätälöityihin merikontteihin. Konttien käyttämisellä säästettäisiin rakennuskustannuksissa ja lisäksi ne voidaan tehdä helposti paloturvallisiksi.

7.3 Kaasuvarasto

Biokaasureaktorin yläpuolinen tila toimii kaasuvarastona. Täältä kaasu voidaan johtaa pumpuilla biokaasunpolttoon. Kaasuputkistojen kallistuksen avulla voidaan kaasussa oleva kosteus poistaa ennen kaasun polttoa.

Biokaasu voidaan myös johtaa reaktorista erilliseen kaasuvarastoon. Kaasuvarastona voi olla tähän tarkoitukseen tehty kaasusäkki. Kaasusäkkille tai –säkeille pitää tehdä omat rakenteet ja niiden sijainti olisi hyvä olla lähellä biokaasunpolttoon tarkoitettua rakennusta. Kaasusäkkien korkeussijainti reaktoriin nähden olisi sellainen, että biokaasun kosteuden poistoon voisi käyttää

painovoimaa hyväksi. Biokaasun räjähdysvaara vuoksi, kaasusäkkien alue tulisi aidata, jotta ulkopuoliset eivät pääse sinne.

Liikennekäyttöön tehdyn biokaasun varastointi tapahtuisi kaasupulloilla. Tähän tarkoitukseen puhdistuslaitteistojen toimittajilta löytyy sopiva ratkaisu.

7.4 Puhdistusasema

Jos maatilalla halutaan käyttää biokaasua liikennekäytössä lähinnä traktoreissa, on biokaasu puhdistettava erillisessä puhdistusasemassa. Markkinoilla on myynnissä eri tekniikoilla toimivia puhdistusasemia, mutta yleisin menetelmä on vesipesuun perustuva puhdistus. Vesipesuun perustava puhdistusasema olisi tilalle paras ratkaisu senkin vuoksi, että pesuvedenä voidaan käyttää tavallista juomavettä.

Puhdistusasemat toimitetaan valmiina yksikköinä yleensä konttiin rakennettuna (KUVIO 16). Näin ei tarvitse rakentaa erillistä rakennusta, vaan riittää pelkkä perustuksen teko puhdistusasemalle.



KUVIO 16. Biokaasun puhdistusasema

Puhdistusaseman yhteyteen voidaan myös rakentaa tarvittava kaasuvarasto. Kaasuvaraston rakentamisessa voidaan myös hyödyntää konttiratkaisua.

8 BIOKAASULAITOKSEN SUUNNITTELUN VAATIMUKSET

Biokaasulaitoksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon muitakin näkökohtia kuin pelkän laitoksen rakentamiseen liittyvät vaatimukset. Muita huomioonotettavia vaatimuksia ovat ympäristövaatimukset, turvallisuus määräykset sekä näihin liittyvät lupa-asiat.

8.1 Turvallisuus määräykset

Maatilalla tuotettava biokaasu sisältää metaania, joka on räjähdysherkkä kaasu, kun sitä on ilmassa 5–15 % ja lämpötila on 20° C. Tämän vuoksi tilalle pitää laatia räjähdysuojasiasiakirja. Räjähdysasiakirja on laadittava ennen biokaasulaitoksen käyttöönottoa ja sen sisältö antaa yleiskuvan laitosta koskevista suojaustoimenpiteistä ja vaaran arvioinnista. Räjähdysasiakirja on tarkistettava jos tehdään muutoksia työtiloihin, työvälineisiin, laitteisiin tai muutetaan työjärjestelyitä.

Räjähdysuojasiasiakirjan lisäksi turvallisuuteen liittyvänä asiana on myös pelastussuunnitelma. Jos tilalla on ennestään tehty pelastussuunnitelma navetalle, voidaan sitä täydentää biokaasulaitoksen osalta.

Pelastussuunnitelman lisäksi on tehtävä ilmoitus pelastusviranomaisille vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista. Ilmoitusraja-arvo biokaasulle on tonni biokaasua. Jos biolaitoksessa ylitetään hetkellisesti viiden tonnin biokaasumäärä, niin ilmoitus ei enää riitä, vaan laitokselle on hankittava lupa vaarallisten kemikaalien laajamittaiseen teolliseen käsittelyyn ja varastointiin.

8.2 Lupa-asiat

Kun perustetaan biokaasulaitosta, tarvitsee maatilalle hakea ympäristölupa ympäristölainsäädännön mukaisesti. Riippuen siitä käsitelläänkö biokaasulaitoksessa muitakin jätejakeita kuin lietettä, käsitetään biokaasulaitos jätteen laitospäätteeksi käsitelijäksi, jolloin biokaasulaitokselle pitää hakea oma ympäristölupa. Pelkän lietteen käsittelemisellä ympäristölupa voidaan tapauskohtaisesti liittää eläinsuojan ympäristöluvan yhteyteen.

Kun biokaasulaitoksen suurin polttoaineteho on yli 5 megawattia, kattilalaitoksen toiminta on ympäristösuojeluasetuksen mukaan luvanvaraista, mutta maatilamittakaavan biokaasulaitokset eivät yleensä yllä ympäristöluvan vaatimalle tasolle, jolloin luvanvaraisuus ja lupaviranomainen määräytyvät eläin- ja jätemäärän perusteella (Mika Heikkinen 2012).

Rakennuslupa biokaasulaitoksen tarvitsemille rakennuksille sekä maankäytölle on normaali kunnalta haettava lupa. Luvan myöntää kunnan rakennusvalvonnasta vastaava viranomainen. Lupahakemukseen tulee liittää mukaan tarvittavat piirustukset laitoksesta. Rakennuslain mukaan myös biokaasulaitoksen rakennuksille tehdään lain mukaiset katselmukset rakennuksien eri valmistusvaiheissa. Ennen laitoksen käyttöönottoa tehdään loppukatselmus, johon osallistuu myös pelastusviranomainen.

Muita asioita, jotka voivat tulla esille biokaasulaitoksen käytössä ovat elinkeinoilmoitus ja laitoshyväksyntä.

Elinkeinoilmoitus tulee tehdä Eviralle vahvistetulla lomakkeella. Ilmoitus on tehtävä, kun käsitellään 3-luokan sivutuotteita (taulukko 4.), tilan ulkopuolisia maataloudessa syntyviä jätteitä (esimerkiksi teurastamolanta), ympäristölupaa vaativasta toiminnasta syntyviä jätteitä, yhdyskuntajätevesilietettä, teollisuuden

lietteitä tai vastaavia ulkopuolisia jätteitä ja kun lopputuote saatetaan markkinoille lannoitevalmisteena (Venelampi 2010).

TAULUKKO 4. Sivutuoteasetuksen sivutuoteluokitukset (Maa- ja metsätalousministeriö: Kasvintuotannon tarkastuskeskus)

Luokka	Sisältää	Käyttäminen biokaasu- tai kompostilaitoksessa
1. Luokka	-Eu:n ulkopuolinen ruokajäte - Eläinperäiset sivutuotteet, joissa on TSE-taudin riski, joku muu tuntematon riski tai jotka sisältävät ympäristömyrkyjä tai kiellettyjä aineita	- Ei saa käyttää
2. Luokka	- Eläinperäiset sivutuotteet, joissa ei ole TSE-taudin riskiä, mutta muiden tautien tai eläinjäämien riski - Lanta	- Hygienisointi 133 °C asteessa 20 minuuttia, 3 bar:n paineessa, partikkelikoon ollessa 50 mm - Eläinperäisen raaka-aineen koko ei saa ylittää 50 mm - Lanta ei tarvitse mitään esikäsittelyä
3. Luokka	-Ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä saadut eläinperäiset tuotteet, joita ei enää käytetä elintarvikkeena tai sen raaka-aineena	- Voidaan käsitellä ja tuotteistaa lannoitevalmisteiksi hyväksytyissä laitoksissa - Ei vain lannan käsittelyyn soveltuvissa laitoksissa

Laitoshyväksyntä on tuotantolaitos- tai tuotantolinjakohtainen ja se perustuu lannoitevalmistelakiin ja eläimistä saatavien sivutuotteiden osalta lisäksi sivutuoteasetukseen.

Sivutuoteasetuksen mukainen hyväksyntämenettely koskee kaikkia laitoksia, jotka käsittelevät eläinperäisiä sivutuotteita - mukaan lukien lanta - lannoitevalmisteeksi tai sen raaka-aineeksi. Laitoshyväksyntää ei tarvita jos lantaa käsitellään ainoastaan omaan käyttöön.

Maatilalla omaan käyttöön valmistettaessa hyväksyntävaatimus koskee

- tilalla syntyvän sivutuoteasetuksen luokkaan 3 kuuluvan teurasjätteen käsittelyä
- tilan ulkopuolisten asumisjätevesien käsittelyssä syntyneiden lietteiden, yhdyskuntalietteiden ja ruokajätteiden käsittelyä.

Laitoshyväksyntä haetaan Eviran lomakkeella. Hyväksynnän saamisen edellytyksenä on, että laitoksen toiminta täyttää lannoitevalmistelaisissa asetetut vaatimukset. Eläimistä saatavia sivutuotteita käsittelevien laitosten on täytettävä lisäksi sivutuoteasetuksen vaatimukset.

Hyväksynnän hakijan on osoitettava, että laitoksella syntyy turvallista ja käyttöön soveltuvaa lannoitevalmistetta tai sen raaka-ainetta.

Hakemuksessa on kuvattava

- hygienisoituminen prosessissa
- raaka-aineen ja hygienisen aineksen erillään pito laitoksella
- laitoksen puhtaanapito
- omavalvonnan toteutus ja jäljitettävyys.

Hyväksyntäasian käsittelyn yhteydessä tarkastetaan muun muassa tuotantotilat, prosessin toiminta, omavalvonnan toteutus ja kirjanpito. (EVIRA 2016).

Kun biokaasulaitoksessa tuotetaan sähköä, tarvitsee sähköntuotantoyksikkö sähköverkkoa tahdistamiseen. Tällöin pitää liittyä sähköverkkoon, vaikka sähköä ei siirretä verkkoon. Seuraavat sopimukset voidaan tehdä ja tarkistaa, kun biokaasulaitoksessa tuotettua sähköä myydään ulkopuolisille:

Liittymissopimus: Sopimus tulee tarkistaa liitettäessä biokaasulaitosta verkkoon. Sopimukseen joudutaan tekemään muutoksia, jotka koskevat mm. johdotuksia ja noususulakkeen kokoa voidaan joutua suurentamaan.

Verkkosopimus: Sopimus tehdään paikallisen jakeluverkonhaltijan kanssa ja siinä sovitaan sähkön verkkoon siirrosta ja sähkön ostosta.

Myyntisopimus: Sopimus tehdään sähkön tuottajan ja sähkön myyntiyhtiön kesken. Tuottaja voi kilpailuttaa myyntiyhtiöt ja myydä sähköään valitsemalleen yhtiölle. Myyntiyhtiö toimii tilalla tuotetun sähkön ostajana ja sähkön myyjänä tilalle. Myyntisopimuksen voi tehdä vain yhden sähkön myyntiyhtiön kanssa. (Taavitsainen 2006).

9 BIOKAASULAITOKSEN RAKENTAMISEN KUSTANNUKSET

Tilalle tehtävän biokaasulaitoksen kustannukset koostuvat uusista rakenteista sekä olemassa olevien rakenteiden muokkaamisesta biokaasulaitokselle sopiviksi. Alustavassa suunnittelussa näiden rakenteiden kustannukset ovat arvioita varsinkin olemassa olevien rakenteiden kustannukset.

Laitteiden osalta kustannukset saadaan selvitettyä tarkemmin laitetoimittajien kautta. Jos alustavan suunnittelun jälkeen päätetään aloittaa laitoksen rakentaminen, niin laitteiden kustannukset voivat vielä muuttua kilpailuttamisen kautta.

9.1 Rakenteiden kustannukset

Nykyisten rakenteiden kustannukset koostuvat lähinnä maatilán kokoojakaivon sekä biokaasureaktoriksi tehtävän lietesäiliön muokkaamisesta. Lisäksi nykyisten rakenteiden muokkaamisesta johtuvia kustannuksia sisältyisi myös jälkikaasuuntumisaltaan rakennustöihin.

Kokoojakaivon kustannukset koostuisivat kaivon suurentamisesta, lämmityksen rakentamisesta sekä uudesta pumpusta ja sekoittimesta ja niiden asentamisesta. Lämmityksen asentaminen voidaan tehdä yhdessä muun lämmitykseen liittyvän rakentamisen yhteydessä, jolloin kustannukset voivat kokoojakaivon osalta pienemmät.

Biokaasureaktoriksi tehtävän lietesäiliön kustannukset sisältävät eristyksen ja lämmityksen rakentamisen sekä välipohjan rakentamisen. Lisäksi tulisi kustannuksia kaasukuvusta, kaasukuvun asentamiseen tarvittavista kiinnikkeistä ja niiden asennuksesta sekä maanalaisen putkiyhteyden tekemisestä

jälkikaasuuntumisaltaaseen. Paineilmakompressori kaasukupujen paineistamiseen voi olla yhteinen. Jälkikaasuuntumisaltaan kustannukset olisivat vastaavat, kuitenkin ilman lämmitystä.

Muita nykyisiin rakenteisiin kohdistuvia kustannuksia olisivat putkistojen vetäminen käyttöveden lämmittämiseen biokaasulla sekä mahdollinen navetan lämmittäminen biokaasulla talviaikaan. Kyseessä olisi putkistojen kannatukset ja eristäminen. Ulkopuolella navettaa putkistot tulisi maahan ja ne pitäisi myös eristää. Nämä kustannukset olisivat uusia, jotka voidaan sisällyttää muuhun kaivuutyöhön.

Uusia kustannuksia biokaasulaitoksen rakenteiden osalta tulisi lämpö- ja sähköntuotannon tiloista. Parhaan ratkaisuna näiden tekemiseen on käyttää valmiiksi räätälöityjä merikontteja. Tällöin niille tarvitsee tehdä ainoastaan perustukset, joiden päälle ne voidaan asentaa. Merikonttien käyttö on tällaisissa tapauksissa hyvin yleistä eikä niiden hintakaan ole kovin suuri verrattuna perinteisesti rakennettuihin tiloihin.

Uusien sähkö-, liete- ja kaasulinjojen rakentaminen tilalle lisäävät kustannuksia, jotka kuitenkin voidaan toteuttaa muun rakentamisen yhteydessä. Kaasu- ja sähkölinjojen rakentamisen laajuus riippuu paljolti siitä, otetaanko tilalla käyttöön sähkömyyntiä ja/tai biokaasun liikennekäyttöä. Näiden lisäksi kaasun varastointi lisää kustannuksia, jos kaasulle tehdään erillinen kaasusäkkivarasto.

Jos tilalla halutaan jalostaa biokaasua liikennekäyttöön, niin silloin myös biokaasunpuhdistuslaitokselle, biokaasuvarastolle sekä tankkausasemalle pitää rakentaa tilat. Biokaasunpuhdistuslaitokset voidaan myös rakentaa perustuen kontteihin, jolloin tilalla sille pitää tehdä vain perustukset, johon se voidaan kiinnittää. Samalla tavalla voidaan toimia kaasuväestön ja tankkausaseman kanssa eli pelkät perustukset tarvitsee rakentaa ja loppu tulee laitteiden toimittajalta.

Biokaasulaitoksen lisäksi lisäkustannuksia tulee kolmannen lietesäiliön rakentamisesta lopputuotteen varastoinnille. Tietenkin voidaan myös tehdä kokonaan uusi biokaasureaktori, jolloin tilalla olevista lietesäiliöistä toinen olisi jälkikaasuuntumisallas ja toinen lopputuotteen säilytysallas. Jos päädytään rakentamaan uusi biokaasureaktori, niin lietteen kuljetusputki joudutaan siirtämään uudelle reaktorille ja mahdollinen tuorekasvisyöttö voitaisiin sijoittaa uuden biokaasureaktorin yhteyteen kokoojakaivon sijasta.

Uuden biokaasureaktorin rakentamista kannatta myös harkita biokaasulaitoksen energiankulutuksen takia. Ison lietealtaan lämmittäminen voi viedä ison osan biokaasulaitoksen energiantuotosta, joten pienemmän reaktorin rakentaminen voisi olla järkevää. Lisäksi pienemmässä reaktorissa voitaisiin käyttää termofiilistä prosessia mesofiilisen prosessin sijaan. Isomassa reaktorissa termofiilisen prosessin käyttö ei olisi kannattavaa.

9.2 Laitteiden kustannukset

Melkein kaikki biokaasulaitokseen tarvittavat laitteet joudutaan hankkimaan tilalle, kun biokaasulaitos päätetään rakentaa. Vain tuorekasvien hienontamiseen käytettävän tilan apevaunu ja varageneraattori voimakoneineen voidaan vähentää tarvittavien laitteiden listalta.

Aikaisemmissa luvuissa on kerrottu biokaasulaitokseen tarvittavista laitteista. Tämän perusteella tilalle voidaan kustannukset huomioon ottaen hankkia erilaisia laitekokonaisuuksia käyttötarkoituksista riippuen.

Tässä lista laitteista, joita yhdistämällä saadaan erilaisia vaihtoehtoja biokaasulaitokselle. Usein ratkaisevana tekijänä biokaasulaitoksen laajuudelle ovat kustannukset ja järkevä käyttötarkoitus:

- kaasukuvut laitteistoinen, 2 kappaletta
- sekoittimet, 4 – 6 kappaletta
- pumput, 2 – 3 kappaletta
- tarvittavat instrumentit, automaatio
- generaattori
- voimakone generaattorille
- kaasupoltin
- lämmityskattila
- puhdistuslaitos, biokaasun liikennekäyttöön
- tankkausasema, jakelupiste
- hygienisointiyksikkö, eläinperäisen jätteen käyttöön
- soihtu

Yllä olevia laitteita yhdistelemällä tilalle saadaan kustannuksiltaan erilaisia ratkaisuja. Edullisin ratkaisu varmaan olisi pelkkä sähkön tuotanto, kuitenkin sillä edellytyksellä, että sähkön tuotannosta muodostuma lämpöenergia voidaan käyttää biokaasureaktorin lämmitykseen. Tässä tapauksessa ylimääräinen sähkö myytäisiin ulkopuolelle.

Jos pelkän sähkön tuotannon avulla ei saa riittävästi tuotettua lämpöenergiaa reaktorin lämmitykseen, niin silloin kannattaa tehdä biokaasulaitoksesta CHP-laitos eli sähkön- ja lämmöntuotantolaitos. Tällöin laitoksen tuottamaa lämpöenergiaa käytettäisiin myös kaikkialla tilalla. Ylimääräinen sähkö myytäisiin tässäkin tapauksessa ulkopuolelle.

Kolmantena ratkaisuna on CHP-laitoksen yhteydessä ottaa mukaan biokaasun puhdistus. Puhdistettua biokaasua voidaan käyttää tilalla liikennekäyttöön, joka vaatisi biotraktoreiden hankintaa tai jos mahdollista, niin nykyisten traktoreiden muuttamista biokaasulla toimiviksi. Tämä vaatisi erillisen tankkausaseman (jakelupisteen) hankkimisen.

Liitteissä 1 - 3 on koottu rakentamisen ja laitehankintojen kustannuksia. Niissä näkyy kustannukset eri kokoluokan biokaasureaktoreille.

10 CHP-LAITOS VAI LÄMPÖLAITOS

Biokaasulaitoksen energiatuotannonmuodoksi voidaan valita joko lämpölaitos tai CHP-laitos eli yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto. Näiden rinnalle voidaan ottaa kaasun puhdistus, jolloin osa kaasusta puhdistettaisiin tilalle liikennekäyttöön. Eri hyödyntämismallit vaikuttavat tuotetun lämmön ja sähkön määrään ja sitä kautta myös biokaasulaitoksen sähkön- ja lämmönkulutukseen. Tämäkin on otettava huomioon, kun valitaan laitoksen energiatuotantomuotoa.

10.1 Sähkön- ja lämmöntuotannon yhdistelmät

Luonnonvarakeskus on tehnyt tutkimuksen maatalojen biokaasulaitosten kannattavuudesta ja kasvihuonekaasujen päästövähennyksestä. Tutkimuksessa on tutkittu eri energiatuotantovaihtoehtojen kannattavuutta biokaasun hyödyntämisen osalta tilojen yhteisellä biokaasulaitoksella.

Tutkimuksessa luotiin kolme vaihtoehtoa kaasun hyödyntämiselle ja näille kolme erilaista toimintavaihtoehtoa. Näiden avulla saadaan tarkempaa tietoa, mikä vaihtoehto olisi kannattavaa tilalla.

Tutkimuksen vaihtoehdot olivat:

A. CHP + biokaasun puhdistus

- 1) biokaasusta puhdistetaan vain viiden osakastilan liikennekaasukäyttöön menevä osuus, loput lämmön ja sähkön tuotantoon, sekä lämpöä että sähköä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen
- 2) biokaasusta puhdistetaan biokaasulaitoksen ja päätilan sähköntarpeen ylittävä osuus, lämpöä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen

- 3) liikennekaasun minimimyyntimäärä, jotta biokaasun puhdistus liikennekaasuksi on kannattavaa

B. Lämpökattila + biokaasun puhdistus

- 1) biokaasusta puhdistetaan vain viiden osakastilan liikennekaasukäyttöön menevä osuus, loput lämmön tuotantoon, lämpöä tuotetaan yli biokaasulaitoksen ja päätilan tarpeen
- 2) biokaasusta puhdistetaan biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä osuus
- 3) liikennekaasun minimimyyntimäärä, jotta biokaasun puhdistus liikennekaasuksi on kannattavaa

C. CHP (ei biokaasun puhdistusta)

- 1) sähkön myyntihintana nykyinen myyntihinta pientuottajalle (57,90 €/MWh)
- 2) sähkön myyntihintana nykyinen tariffihinta + lämpöpremio yli 100kVA laitoksille (133,50 €/MWh)
- 3) sähkön myyntihinta / tariffihinta, jotta sähköntuotanto olisi kannattavaa

Tuotettu liikennekaasu myytiin laitoksen yhteydessä olevalla jakeluasemalla. Vaihtoehdoissa A1 ja B1 sitä myytiin vain viiden osakastilan käyttöön. Kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että tilat sitoutuvat biokaasulaitoksen toimintaan hankkimalla kaasuauto, joilla taataan alustava kysyntä laitoksen tuottamalle liikennekaasulle. Viisi henkilöautoa, joilla liikennöidään keskimäärin 18 000 kilometriä vuodessa (Autoliitto 2010) kuluttavat kaasua arviolta 52 MWh (58 kWh/100 km \approx 6,5 l bensiiniä/100km). Päätilan käyttöön hankittiin lisäksi biokaasutraktori, joka vuotuisina 600 käyttötuntinaan kuluttaa 72 MWh:a.

Vaihtoehdoissa A2, A3, B2 ja B3 liikennekaasua myytiin myös muille lähiseudun kaasuautoille.

Osa tuotetusta sähköstä meni biokaasulaitoksen omaan sähkönkulutukseen. Loppu tuotetusta sähköstä myytiin päätilalle ja verkkoon. Vaihtoehdossa B, jossa sähkön tuotantoa ei ollut, biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta. Vastaavasti osa tuotetusta lämmöstä meni biokaasulaitoksen omaan lämmönkulutukseen. Loppu tuotetusta lämmöstä myytiin päätilalle. Kun lämpöä syntyi enemmän kuin biokaasulaitos ja päätila tarvitsivat, ylijäämälämmölle joko oletettiin löytyvän muuta hyötykäyttöä tai se meni hukkaan.

Yllä esitetyt eri hyödyntämisvaihtoehdot vaikuttavat tuotetun lämmön ja sähkön määrään sekä laitoksen omaan sähkönkulutukseen (Taulukot 5 - 9). Kaikille vaihtoehdoille yhteinen biokaasulaitoksen oma sähkönkulutus on esitetty liitteessä 4. Suurin yksittäinen sähkönkulutus aiheutui reaktori- ja jälkikaasualtaiden sekoituksesta (60 %). Seuraavaksi eniten sähköä kulutti biokaasun paineenkorotuspuhallin (16 %, sisältyy kaikkiin vaihtoehtoihin). Lisäksi sähköä kului osassa vaihtoehtoja biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteiden sähkönkulutukseen (arvio sähkönkulutuksesta: Metener Oy). Ensimmäisen vaiheen paineenkorotus (0 -> 10 bar) kulutti lähes yhtä paljon sähköä kuin puhdistetun biometaanin paineistus (10 -> 200 bar). Suhteessa eniten sähköä kului varsinaiseen puhdistukseen biometaaniksi. (Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

Tutkimukseen liittyvät taulukot (5 - 9), joista nähdään eri vaihtoehtojen kaasuntuotto ja laitoksen energiankulutus. Vaihtoehdoissa A1, A2 ja A3 biokaasulaitokselle hankittiin sekä CHP-yksikkö että biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteisto. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty tuotetun biokaasun energiasisällön jakautuminen eri hyödyntämis- ja käyttökohteisiin. Kaikille

vaihtoehdoille yhteiset arvot (tuotetun biokaasun energiasisältö sekä biokaasulaitoksen ja päätilan lämmönkulutus) on taulukoissa tummennettu. Vaihtoehdossa A1 biokaasusta puhdistettiin liikennekaasua vain tilojen oman käytön verran (124 MWh, Taulukko 5). Loppu johdettiin CHP-yksikölle sähkön ja lämmön tuotantoon (1979 MWh). CHP yksikön hyötysuhteeksi arvioitiin 87 %, josta sähkön osuus oli 32 % ja lämmön 55 %. Biokaasulaitoksen sähköntarpeen ylittävä sähköntuotanto myytiin verkkoon. Vastaavasti biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä lämmöntuotanto joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Päätila sitoutui ostamaan biokaasulaitokselta tarvitsemansa lämmön.

Vaihtoehdossa A2 sähköä tuotettiin CHP-yksiköllä vain biokaasulaitoksen ja päätilan kulutuksen verran (461 MWh, Taulukko 6). Laskennallisesti biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta ylijäävä sähkö myytiin verkkoon, josta päätila osti sen takaisin. Käytännössä on mahdollista myydä sähkö suoraan päätilalle, kunhan maksetaan sähkövero ja sähkön siirtohintaa. CHP tuotti samalla lämpöä (792 MWh), jota tuotettiin enemmän kuin mitä biokaasulaitos ja päätila tarvitsivat. Ylijäämälämpö joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Kaikki loppu biokaasu puhdistettiin liikennekaasuksi (662 MWh).

Vaihtoehdossa A3 (CHP:n ja liikennekaasun tuotannon yhdistelmä) tarkasteltiin mikä liikennekaasun minimimyyntimäärän tulisi olla, jotta toiminta ei olisi tappiollista. Biokaasun puhdistuslaitteisto on investointina kallis eikä sitä kannata hankkia, jos tuotetulle liikennekaasulle ei löydy riittävästi ostajia. Kannattavuuden break-even saavutetaan tilanteessa, jossa kokonaistuotot ovat yhtä suuret kuin kokonaiskustannukset. Käytännössä laskelma tehtiin siten, että vaihtoehdon A3 kate (muuttuvien tuottojen ja kulujen erotus) asetettiin samansuuruiseksi kuin investoinnin tuettu annuiteetti (Taulukot 10 ja 11) ja liikennekaasun myyntimäärä ratkaistiin tämän perusteella. (Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 5. Vaihtoehto A1: Sähkön ja lämmön tuotanto CHP:lla + biokaasun puhdistus liikennekaasuksi vain osakastilojen käyttöön

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	CHP tuotan- toon (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	62	6200	993	318	546
Kesä	1048	62	6200	986	316	542
Yht. (MWh)	2103	124	12400	1979	633	1088
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päättilä	Myyntiin / hukkaan
Talvi	73		245	199	71	276
Kesä	72		243	147	24	371
Yht. (MWh)	145		488	346	95	648

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 6. Vaihtoehto A2: Sähkön ja lämmön tuotanto CHP:lla vain biokaasulaitoksen ja päättilan käyttöön + lopun biokaasun puhdistus liikennekaasuksi

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	CHP tuotan- toon (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	333	33260	722	231	397
Kesä	1048	329	32940	719	230	395
Yht. (MWh)	2103	662	66200	1441	461	792
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päättilä	Myyntiin / hukkaan
Talvi	98		133	199	71	128
Kesä	97		133	147	24	224
Yht. (MWh)	195		266	346	95	352

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

Vaihtoehtoisissa B1, B2 ja B3 biokaasulaitokselle hankittiin lämpökattila sekä biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteisto.

Vaihtoehdossa B1 biokaasusta puhdistettiin liikennekaasua vain tilojen oman käytön verran (124 MWh). Loppu poltettiin lämpökattilassa (1979 MWh, Taulukko 7). Lämpökattilan hyötysuhteeksi oletettiin 85 %. Lämmöstä hyödynnettiin biokaasulaitoksen ja päätilan tarvitsema lämpö. Ylijäämälämpö joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta. Päätilan sähkönkulutusta ei huomioitu kannattavuuslaskuissa, koska tarkastelu tehtiin vain biokaasulaitoksen kannalta.

Vaihtoehdossa B2 biokaasua poltettiin lämpökattilassa vain biokaasulaitoksen ja päätilan kulutuksen verran. Energiasisällöltään 518 MWh biokaasua johdettiin lämpökattilaan, josta lämpönä saatiin hyödynnettyä 440 MWh (hyötysuhde 85 %). Kaikki loppu biokaasu puhdistettiin liikennekaasuksi (1584 MWh, Taulukko 8). Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ostettiin verkosta.

Vaihtoehdossa B3 tarkasteltiin mikä liikennekaasun minimimyyntimäärän tulisi olla hyödyntämistavassa B (lämpökattila + biokaasun puhdistus), jotta toiminta ei olisi tappiollista. (Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 7. Vaihtoehto B1: Lämmön tuotanto lämpökattilassa + biokaasun puhdistus liikennekaasuksi vain osakastilojen käyttöön

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	Kattilaan (MWh)	Sähkö (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	62	6200	993	-	844
Kesä	1048	62	6200	986	-	838
Yht. (MWh)	2103	124	12400	1979	-	1682
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	73		-	199	71	574
Kesä	72		-	147	24	667
Yht. (MWh)	145		-	346	95	1241

^aKattilan hyötysuhde 85 %.

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 8. Vaihtoehto B2: Lämmön tuotanto lämpökattilassa vain biokaasulaitoksen ja päätilan käyttöön + lopun biokaasun puhdistus liikennekaasuksi

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	Kattilaan (MWh)	Sähkö (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	738	73750	317	-	269
Kesä	1048	847	84690	201	-	171
Yht. (MWh)	2103	1584	158440	518	-	440
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	135		-	199	71	-
Kesä	145		-	147	24	-
Yht. (MWh)	280		-	346	95	-

^aKattilan hyötysuhde 85 %.

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

Vaihtoehtoisissa C1, C2 ja C3 biokaasulaitokselle hankittiin vain CHP-yksikkö (Taulukko 9). Kaikki tuotettu biokaasu johdettiin CHP-yksikölle sähkön ja lämmön tuotantoon. Biokaasulaitoksen sähköntarpeen ylittävä sähköntuotanto myytiin verkkoon. Vastaavasti biokaasulaitoksen ja päätilan lämmöntarpeen ylittävä lämmöntuotanto joko saatiin myytyä tai se meni hukkaan. Vaihtoehtojen C1, C2 ja C3 erona oli sähkön myyntihinta:

C1: nykyinen myyntihinta pientuottajalle (57,90 €/MWh)

C2: nykyinen tariffihinta + lämpöpremio yli 100 kVA laitoksille (133,50 €/MWh)

C3: sähkön myyntihinta / tariffihinta, jotta sähköntuotanto olisi kannattavaa

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 9. Vaihtoehdot C1, C2 ja C3: Kaikki tuotettu biokaasu sähkön ja lämmön tuotantoon CHP:lla, vaihtoehtojen erona eri sähkön myyntihinnat

Kaasuntuot- to	Energia (MWh)	Liikenne- kaasu (MWh)	Liikenne- kaasu (Nm ³)	CHP tuotan- toon (MWh)	Sähkö ^a (MWh)	Lämpö ^a (MWh)
Talvi	1055	-	-	1055	337	580
Kesä	1048	-	-	1048	335	576
Yht. (MWh)	2103	-	-	2103	673	1156
Energian- kulutus	SÄHKÖNTARVE		SÄHKÖ	LÄMMÖNTARVE		LÄMPÖ
	Biokaasu- laitos		Myyntiin	Biokaasu- laitos	Päätila	Myyntiin / hukkaan
Talvi	67		270	199	71	311
Kesä	67		269	147	24	406
Yht. (MWh)	134		539	346	95	716

^aCHP-yksikön hyötysuhde 87 %, josta sähköä 32 % ja lämpöä 55 %

(Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).

TAULUKKO 10. Yhteenvedo tarkasteltujen energiankäyttövaihtoehtojen muuttuvista kuluista, joissa ylijäämälämpö joko myydään tai se menee hukkaa

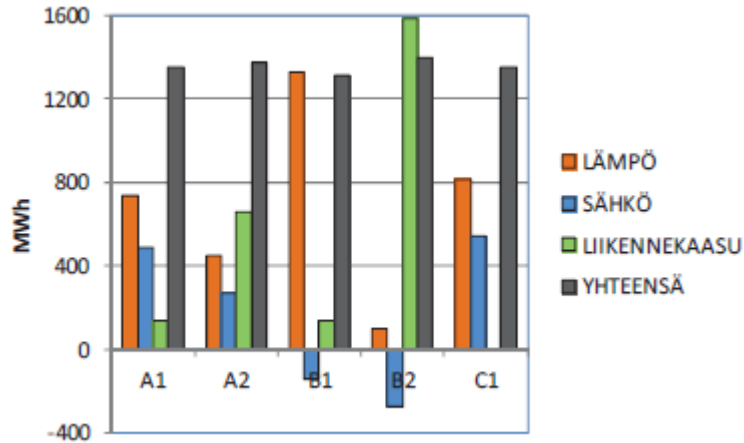
A: CHP-tuotanto + liikennekaasun puhdistus					
	A1: liikennekaasun oma kulutus		A2: sähkön tuotannosta ylijäävä kapasiteetti		A3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteet + työ	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622
energia	82 541	45 795	96 922	78 257	93 772
muuttuvat yht.	42 919	6 174	57 300	38 635	54 151
B: lämmön tuotanto + liikennekaasun puhdistus					
	B1: liikennekaasun oma kulutus		B2: lämmön tuotannosta ylijäävä kapasiteetti		B3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteet + työ	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622
energia	75 984	3 016	112 536	89 958	89 958
muuttuvat yht.	36 363	-36 606	72 914		50 336
C: CHP-tuotanto					
	C1: nykyinen hinta		C2: tariffihinta		C3: break-even
	myydään	hukkaan	myydään	hukkaan	myydään
syötteet + työ	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622	-39 622
energia	79 215	38 313	119 947	52 107	97 029
muuttuvat yht.	39 593	-1 308	80 326	12 485	57 408

TAULUKKO 11. Energiantuotantovaihtoehtojen investointikustannukset sekä annuiteetit

	A) CHP + kaasun puhdistus	B) Kattila + kaasun puhdistus	C) CHP (ei kaasun puhdistusta)
Investointikustannus	798 602	760 809	583 602
Tuettu investointikustannus (tuki 35 %)	519 091	494 526	379 341
Annuiteetti	-85 251	-79 382	-57 408
Tuettu annuiteetti	-54 151	-50 336	-36 052

Kuviossa 17 on esitetty yhteenveto biokaasun eri hyödyntämisvaihtoehdoissa tuotetusta energiasta. Lämmön ja sähkön tuotannosta on vähennetty laitoksen oma kulutus. Vaihtoehdoissa B1 ja B2, joissa ei ollut sähkön tuotantoa, ostosähkö näkyy negatiivisena.

Huolimatta CHP-yksikön, lämpökattilan ja biokaasun puhdistuksen erilaisista hyötysuhteista kaikissa vaihtoehdoissa tuotettiin yhteensä lähes sama määrä energiaa. CHP-yksikön kokonaishyötysuhteena käytettiin 87 %, lämpökattilan 85 % ja biokaasun puhdistuksen sähkönkulutuksena 0,92 kWh / Nm³ CH₄. Korkeimpaan kokonaisenergian tuottoon (1400 MWh) pääsi vaihtoehto B2, jossa biokaasun puhdistuksen osuus oli suurin. Alhaisin energiantuotto oli vaihtoehdolla B1 (1315 MWh), jossa suurin osa kaasusta poltettiin lämpökattilassa. (Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015).



KUVIO 17. Tuotettu nettoenergia eri hyödyntämismuutoksissa (vaihtoehtoilla B1 ja B2 laitoksen sähköntarve ostosähköinä negatiivinen) (Luonnonvarakeskus, LUKE, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2015.)

Kun katsotaan tutkimuksen tuloksia tilan biokaasulaitoksen kannalta, niin useampi vaihtoehto olisi mahdollista ottaa käyttöön. Kustannusten kannalta vaihtoehto C olisi kuitenkin paras, koska ylittävä kaasuntuotanto tilan ympäristössä on helpompi tuottaa sähköksi. Tilan alueella lämpöä ei voida siirtää muiden hyödynnettäväksi ilman suuria investointeja ja liikennekäyttöön jalostettu biokaasun käyttö vaatisi kaasuautojen yleistymisen alueella, jossa niitä ei nykyisin taida olla paljoakaan.

Paras vaihtoehto tilalle olisi CHP-laitos, jossa kaasun avulla tuotetaan tilalla tarvittava sähkö- ja lämpöenergia ja ylittävä osuus myydään sähköinä ulkopuolelle. Sähkön myynti kuitenkin pitää olla kannattavaa. Liikennekaasunkäyttöä ei pidä kuitenkaan kokonaan unhoittaa. Nykyisten käytössä olevien liikennepolttoaineiden hinnan nousu voi saada kaasun käytöstä kannattavaa, jolloin varasuunnitelmaa biokaasun puhdistamiseksi kannattaa varautua.

10.2 Piensähköntuotanto ja sähkönmyynti

Pienimuotoiselle sähköntuotannolle on useita määritelmiä. Määritelmät pohjautuvat usein voimalaitoksen nimellis- tai maksimitehoon, mutta myös liittymäverkon mukaista rajausta käytetään yleisesti. Pienimuotoisesta tuotannosta voidaan myös käyttää nimitystä hajautettu tuotanto. Nimitys perustuu voimalaitosten sijaintiin käyttökohteiden lähellä ja sähkön tuotantoon paikallista tai alueellista tarvetta varten yleensä suoraan jakeluverkon kautta. Pienimuotoinen sähköntuotanto on teholtaan tyypillisesti muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja tai korkeintaan muutamia megawatteja. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähkön pientuotanto on yleistynyt Suomessa. Sitä tuotetaan pienimuotoisesti yleisemmin aurinkoenergialla, tuulivoimalla ja pienvesivoimalla, mutta myös pienimuotoisella yhdistetyllä sähkön ja lämmöntuotannolla käyttäen esimerkiksi biokaasua. Suurin kasvu on ollut aurinkoenergialla tuotetussa piensähkötuotannossa, koska kuka tahansa talon tai kiinteistön omistaja voi hankkia aurinkopaneeleita ja tehdä niiden avulla sähkö omaan tarpeeseen ja myydä ylimääräisen tuotannon sähkönmyyjälle. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähkön tuottaminen on Suomessa ydinvoimaa lukuun ottamatta kaikille vapaata toimintaa. Lisäksi kaikki voimalaitokset voivat liittyä yleiseen sähköverkkoon ja myydä sähköä avoimilla sähkömarkkinoilla. Tosin voimalaitoksen tulee täyttää viranomaisten ja jakeluverkonhaltijoiden voimalaitoksille asettamat vaatimukset kuten ympäristövaatimukset ja tekniset vaatimukset. Sähköntuottaja on velvollinen varmistamaan, että hänen voimalaitoksensa täyttää jakeluverkonhaltijan sille asettamat vaatimukset. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Voimalaitoksen rakentaminen edellyttää viranomaisen lupaa ja koosta riippuen ilmoitusta Energiamarkkinavirastolle, tullille ja Fingridille. Pienvoimalaitoshankkeessa tulee ensimmäiseksi varmistaa suunnitellun sijoituspaikan kaava ja siten mahdollisuus sijoittaa voimalaitos kyseiseen paikkaan. Pienvoimalaitokselta vaadittavat luvat vaihtelevat laitostyypeittäin ja riippuvat laitoksen ominaisuuksista, kuten koosta ja sijoituspaikasta. Rakennuslupa- ja ympäristölupakysymyksissä paras tietolähde on pienvoimalaitoksen sijaintikunnan rakennusviranomainen. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Usein pienvoimalaitokselle tarvittavat luvat rajoittuvat rakennuslupaan ja siihen liittyviin liitteisiin. Ympäristönsuojelulainsäädäntö sisältää poikkeuksia, joiden perusteella ympäristölupa tai ympäristövaikutusten arviointi (YVA) voidaan vaatia voimalaitokselta, jonka teho tai toiminta ei ylitä normaalisti sovellettuja rajoja. Jos polttoaineena on esimerkiksi biokaasu, tarvitaan ympäristölupa, mikäli kyseessä on jätteen ammattimainen tai laitostyöhyödyntäminen tai käsittely. Ympäristövaikutusten arviointia vaaditaan, jos biokaasulaitoksessa syötevirta on yli 20 tonnia. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähköverovelvollisia ovat yleensä verkonhaltijat ja sähköntuottajat, ja heidän on tehtävä ilmoitus rekisteröitymistä varten sijaintipaikkansa tullipiirille. Sähköntuottajien kohdalla sovelletaan kuitenkin helpotuksia pientuottajille. Sähköverovelvollisuudella viitataan sekä sähkön valmisteveron, että huoltovarmuusmaksun suorittamiseen. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähköverovelvollisuudesta on poikkeuksia sähkön pientuotannolle. Valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa sähköstä, joka tuotetaan enintään 50 kilovolttiampeerin tehoisessa generaattorissa tai useiden sähköntuotantolaitteistojen muodostamalla enintään 50 kilovolttiampeerin

nimellistehoisella kokonaisuudella. Tämän lisäksi valmisteveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse maksaa sähköstä, joka on tuotettu alle kahden megavolttiampeerin tehoisessa generaattorissa eikä sitä siirretä sähköverkkoon, eikä sähköstä, joka on tuotettu aluksessa, autossa, junassa tai muussa kuljetusvälineessä kulkuneuvon omiin tarpeisiin. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Uusiutuvaa sähköntuotantoa edistetään Suomessa syöttötariffeilla. Syöttötariffia myönnetään metsähakkeella, puupolttoaineella, biokaasulla tai tuulivoimalla tuotetulle sähkölle. Jotta voimalaitos pääsee syöttötariffin piiriin, on täytettävä laissa asetetut vaatimukset, jotka vaihtelevat tuotantomuodoittain ja energialähteittäin (Taulukko 5). (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

TAULUKKO 12. Edellytykset syöttötariffin pääsevälle tuotannolle (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012.)

Syöttötariffi	Voimalaitoksen ikä	Rajat nimellisteholle	Lämmöntuotanto	Valtiotuki
Metsähake	-	≥0,1 MVA	-	-
Puupolttoaine	voimalaitoksen on oltava uusi	0,1-8 MVA	Kyllä, hyötysuhteen oltava 50 %, tai 75 % jos yli 1 MVA:n laitos	ei ole saanut valtioneuvoston tukea
Tuulivoima	voimalaitoksen on oltava uusi	≥0,5 MVA	ei vaatimuksia	ei ole saanut valtioneuvoston tukea
Biokaasu	voimalaitoksen on oltava uusi	≥0,1 MVA	ei vaatimuksia	ei ole saanut valtioneuvoston tukea

Lisäksi kaikkia syöttötariffeja koskee vaatimus voimalaitoksen sijainnista. Voimalaitoksen on sijaittava Suomessa tai Suomen aluevesillä ja liityttävä sähköverkkoon siellä. Tämä vaatimus sulkee pois Ahvenanmaalla sijaitsevan sähköntuotannon. Kaikkien voimalaitosten on täytettävä toiminnalliset ja

taloudelliset edellytykset tuen saamiselle. Energiamarkkinavirastolta voi pyytää ennakkotietoa siitä, täyttyvätkö taloudelliset ja toiminnalliset edellytykset. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Tuulivoiman, biokaasun ja puupolttoaineen syöttötariffille on myös määritetty maksimimäärä tuotantokapasiteettia, joka järjestelmän piiriin yhteensä hyväksytään. Raja on tuulivoimalaitoksille 2500 megavoltiampeeria ja biokaasuvoimalaitoksille 19 megavoltiampeeria. Puupolttoainevoimalaitoksia hyväksytään syöttötariffin piiriin, kunnes niitä on enemmän kuin 50 ja niiden generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho ylittää 150 megavoltiampeeria. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Syöttötariffia maksetaan tuotetusta sähköstä 12 vuotta, ja sen suuruus vaihtelee tuotantomuodon ja energialähteen mukaan. Tuulivoimalaitosten, biokaasun ja puupolttoainevoimalaitosten syöttötariffin suuruus riippuu sähkön tukkumarkkinahinnasta ja metsähakkeen syöttötariffin suuruus päästöoikeuden hinnasta. Syöttötariffin tasoon vaikuttavat tekijät on lueteltu tarkemmin taulukossa 13. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

TAULUKKO 13. Syöttötariffin tason määräytyminen (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012.)

Syöttötariffi	Tuen muoto	Perustuki	Lisätuki	Lisätuen ehdot
	syöttötariffi vähenee lineaarisesti päästöoikeuden hinnan kasvaessa	18 € kun EUA ≤ 10 €/t CO ₂ 0 € kun EUA ≥ 23 €/t CO ₂	-	-
Puupolttoaine	tavoite- ja markkinahinnan erotus	83,5 €/MWh:n ja markkinahinnan erotus. Max 750 000 €/12 kk.	20 €/MWh lämpöpremio	Hyötysuhde po. 50 %, tai 75 % jos yli 1 MVA
Tuulivoima	tavoite- ja markkinahinnan erotus	83,5 €/MWh:n ja markkinahinnan erotus	105,30 €/MWh:n ja markkinahinnan erotus	Maksetaan 31.12.2015 asti, enintään 3 vuotta
Biokaasu	tavoite- ja markkinahinnan erotus	83,5 €/MWh:n ja markkinahinnan erotus	50 €/MWh lämpöpremio	Hyötysuhde po. 50 %, tai 75 % jos yli 1 MVA

Syöttötariffin piiriin pääseminen edellyttää, että tukea myös haetaan lain vaatimalla tavalla. Tuulivoiman, biokaasun ja puupolttoainevoimalaitosten kohdalla on tehtävä Energiemarkkinavirastolle ennakoilmoitus syöttötariffijärjestelmään hakeutumisesta kuukauden kuluessa investointipäätöksestä. Ennakoilmoituksen tekeminen on ehdoton edellytys tukijärjestelmään pääsemiseksi. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Kun tuottaja on päässyt mukaan syöttötariffijärjestelmään, itse tariffin myöntäminen edellyttää, että tuotantoa ja polttoaineiden käyttöä on seurattu vaaditulla tavalla. Syöttötariffia on haettava 3-12 kuukauden välein riippuen energialähteestä sekä tuottajan omasta valinnasta. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviin energiaratkaisuihin on mahdollista saada energiatukea, jonka suuruus voi olla enimmillään 40 % investoinnista. Energiatuki eroaa syöttötariffista siten, että sen myöntäminen harkitaan tapauskohtaisesti. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Energiatukea haetaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksilta silloin, kun kyseessä on alle kolmen miljoonan euron investointi, ja työ- ja elinkeinoministeriöltä, kun investoinnin suuruus on yli kolme miljoonaa euroa. On kuitenkin huomattava, että syöttötariffia ei voida myöntää puupolttoainelaitokselle, tuulivoimalaitokselle tai biokaasuvoimalaitokselle, joka on saanut valtiontukea. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Biokaasuvoimalaitokselle voi olla mahdollista saada maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalan piiriin kuuluvaa tukea. Maatiloilla toimivat biokaasulaitokset ovat maatalouden investointitukirahoituksen piirissä. Tuen tarkoituksena on tuottaa energiaa ensisijaisesti maatilojen omaan käyttöön. Investointitukea voi hakea maaseutuvirastolta. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Kenellä tahansa on oikeus syöttää sähköä verkkoon, kun voimalaitoksen liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset, ja tuottajalla on ostaja verkkoon syöttämälleen sähkölle. Tuotantolaitteistoa ei saa kuitenkaan kytkeä verkkoon ilman sähköverkkohaltijan lupaa. Verkkoon liittymisestä tehdään verkonhaltijan kanssa tuotannon liittymissopimus, ja sähkön siirtoon liittyvistä asioista sovitaan verkonhaltijan kanssa verkkosopimuksessa. Kun sähkö myydään sähkömarkkinoille, tuottaja sopii sähkönmyyjän kanssa myynnistä (taulukko 14). (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

TAULUKKO 14. Sähköverkkoon liittymiseen tarvittavat sopimukset ja sopimusosapuolet (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012.)

Lupa/Sopimus ja sopijaosapuoli	Sisältö	Huomautukset
Liittymissopimus/ Jakeluverkkoyhtiö	Sovitaan liittämiskohdasta, liittymismaksusta, sähköntuotantolaitteistolle asetettavista vaatimuksista, sähköntuotantolaitteiston käytöstä ja suojauksesta, teho- ja energia-arvojen rajoista jne.	Jakeluverkonhaltijoiden hinnoittelumenetelmien on perustuttava Energiamarkkinaviraston määrittämiin sääntöihin.
Verkkopalvelusopimus/ Jakeluverkonhaltija	Verkkosopimuksen tehnyt voimalaitos saa toimia rinnan jakeluverkon kanssa. Sopimuksessa käsitellään mm. mittauksen järjestämistä, kustannusten korvaamista ja sähköturvallisuutta, suojausta ja sähkön laadun turvaamista. Verkkopalvelusopimus voidaan tehdä, kun kyseistä sähköntuotantopaikkaa koskeva liittymissopimus on voimassa.	Sopijapuolten välinen verkkosopimus voi myös kattaa sähköntuottajan sähkönhankinnan.
Sähkönmyyntisopimus/ Sähkön ostaja	Sähköntuottaja sopii tuottamansa sähköenergian myynnistä muun muassa seuraavaa: <ul style="list-style-type: none"> • sähkön hinta • toimituksen määrä • tasesähkö 	Sähköntuottajan ja myyjän tulee myös sopia miten tasehallinta hoidetaan.

Sähköntuottaja voi myydä sähköä joko sähköpörssikauppaa käyvälle sähköyhtiölle tai sähkömarkkinameklarille tai pörssin ulkopuolelle vaikkapa toiselle pienkäyttäjälle. Jokaisella verkkoon sähköä siirtävällä sähköntuottajalla on oltava niin sanottu avoin sähköntoimittaja. Syynä tähän on, että jokaisen sähkömarkkinoilla toimivan osapuolen, esimerkiksi sähköntuottajan, on jatkuvasti huolehdittava sähkötaseestaan eli osapuolen on ylläpidettävä sähkön

tuotannon/hankinnan ja kulutuksen/myynnin välinen tehotasapaino. Käytännössä sähkömarkkinoiden osapuolet eivät pysty tähän ja siksi niillä on oltava avoin toimittaja, joka tasapainottaa osapuolen sähkötaseen. Avoimella toimittajalla puolestaan on oltava tasevastaava, jonka taseessa sähköntuottajalta ostettu sähkö käsitellään. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähkön hinta ja sopimuksen pituus ovat täysin sovittavissa myyjän ja ostajan välillä ja ostotarjouksia kannattaa pyytää useammalta yhtiöltä. Jos sähköntuotanto on suunniteltavissa pitkälle ajalle, voidaan solmia useampivuotinen sopimus ennalta sovitulla myyntihinnalla. Sopimuksen sisällön kohdalla pientuottajan kannattaa kiinnittää huomiota muun muassa siihen, mitä sovitaan sähkömarkkinavelvoitteen hoitamisesta. Sähkön ostava yritys voi myös toimia sähkön pientuottajan sähkön myyjänä, mikäli tuotannon yhteydessä on myös sähkön kulutusta. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Sähköstä saatavaan hintaan vaikuttavat myös kustannukset, jotka aiheutuvat sähkön hallinnasta sähkömarkkinoilla, sekä tilanne sähkömarkkinoilla. Myyntisopimusta laadittaessa on hyvä myös tarkistaa, liittyykö tuotantoon vihreitä arvoja tai muita lisäarvoja. Myyntisopimus on täysin vapaasti laadittavissa myyjän ja ostajan välillä. Myyjän on muistettava tarkistaa, onko kyseessä verotettava sähkönmyynti. (Motiva 2017, Opas sähkön pientuottajalle 2012).

Edellä olevan tekstin perusteella voidaan tilalla tapahtuva sähköntuotantoa pitää sähkön pientuotantoa. Pientuotannon nimellisteho tilalla voisi olla 50 kVA:sta aina 250 kVA:iin. Tilan sähköntuotannon nimellisteho määräytyy hankittavan generaattorin koosta sekä sitä pyörittävän voimakoneen tehosta. Tämän lisäksi nimellistehoon vaikuttaa maatilán itse kulutettavan energiantarve.

Jos sitten mietitään, mitä tukimuotoa kannattaa tilalle hankea. Syöttötariffi on suunnattu yli 100 kVA:n voimalaitoksille ja tarkoituksena on tehdä pelkästään sähköä myyntiin. Koska maatilán biokaasulaitoksen ensisijainen tehtävä on tuottaa

energiaa omaan käyttöön, niin silloin soveliaain tukimuoto olisi maatilojen rakentamisinvestointi tuki. Energiatuki ei tule kyseeseen, koska sitä ei myönnetä asuinkiinteistölle, maatilalle tai näihin liittyvälle laitokselle.

Aikaisempaan tukimuotona on ollut kiinteän biokaasusähkön tuotantotuki. Sitä on saanut biokaasulaitoksille, jotka syöttävät sähköä sähköverkkoon Suomessa ja jotka eivät ole kuuluneet biokaasun syöttötariffin piiriin. Tässä on saanut tukea verkkoon myydystä sähköstä 4,2 euroa megawattitunnilta ja tukea on saanut vain rekisteröitymällä Energiamarkkinavirastoon. Tämä tuotantotuki on kuitenkin loppunut jo vuoden 2012 alussa.

11 POHDINTA

Kun aloitin tekemään tätä opinnäytetyötä, niin nopeasti huomasin, kuinka vähän maataloilla hyödynnetään biokaasua energian tuottamiseen. Suomessa on biokaasulaitosrekisterin mukaan vuonna 2014 vain 12 maatilan biokaasulaitosta, mutta biokaasulaitosten rakentaminen on maataloille vilkastumassa.

Opinnäytetyöni tavoitteena oli käsitellä alustavasti sitä, mitä biokaasulaitoksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon ja minkälaisia eri vaihtoehtoja energiantuotannossa biokaasulla voidaan saavuttaa.

Biokaasun tuotannolla on hyvät edellytykset monillakin maataloilla. Mikä sitten vaikeuttaa biokaasulaitosten yleistymistä maataloilla? Uusia isoja navettoja rakennetaan, mutta niiden yhteyteen ei tehdä samalla biokaasulaitoksia. Yhtenä syynä tähän voi olla suuret investoinnit jo maatilan navetan kohdalla, koska nykyään kannattavuuden vuoksi navettojen koko pitää olla suuri, n. 100 – 300 lehmän navetat tulevat kysymykseen. Toisena syynä on taloudellinen tilanne. Maidon tuottajahinta on laskenut ja kansainvälisen politiikan pakotteet ovat heikentäneet maidontuottajien asemaa. Nämä syyt ovat osaltaan vaikuttaneet investointihakkeisiin maataloilla.

Biokaasulaitoksen alustavalla suunnitelmalla voidaan kartoittaa rakentamisen mahdollisuudet sekä tehdä alustava kustannusarvio laitokselle. Työssäni olen pyrkinyt antamaan eri mahdollisuuksia rakentamiselle ja tuonut esiin erilaisia laitekoostumuksia ja niiden kustannuksia. Tämän kaltainen suunnitelma kannattaisi tehdä uusien navettojen suunnittelun yhteydessä. Silloin voisi ottaa huomioon biokaasulaitoksen vaikutukset rakentamiseen, jolloin myöhemminkin investoitu laitos tulisi kustannuksiltaan halvemmaksi.

Tulevaisuudessa suuntaus biokaasulaitosten kohdalla on maatalojen yhteisillä laitoksilla. Tällä hetkellä Valio on aikeissa rakentaa Nivalaan biokaasulaitosta, jonka yhteydessä lietelannasta tehdään lannoitetta. Tällaisella laitoksella Valio haluaa tukea maidontuottajia tarjoamalla keskitettyä lietelannan käsittelyä.

Mutta voivatko maidontuottajat itse investoida Valion tapaisiin laitoksiin, sillä kyse on miljoonien eurojen investoinnista. Kuitenkin 50 000 kuution lietelannan käsittelyssä, biokaasua tulisi vuodessa n. 7000 MWh sekä lannoitetta 12 miljoonaa kiloa tiivistä fosforilannoitetta ja n. 5,5 miljoonaa kiloa typpilannoitetiivistettä. Näiden avulla investointien takaisinmaksu onnistuisi.

Tällaisesta laitoksesta ei olisi pelkästään taloudellista hyötyä vaan myös ympäristön puoleen sillä olisi positiivinen vaikutus.

LÄHTEET

Anttonen, Kari 2010. Biokaasu pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Saatavissa:
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67043/nbnfi-fe201101141053.pdf>.
Luettu 2.4.2017

BIOG 2012. Biokaasun kannattavuuslaskuri. Saatavissa:
<http://www.oamk.fi/hankkeet/bioenergia/biog/laskuri/index.php>. Luettu 2.4.2017

Deublein Dieter & Steinhauser Angelika. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN 978-3-527-31841-4.

Evira, 2017. Laitoshyväksyntä. Saatavissa:
<https://www.evira.fi/kasvit/viljelyjatuotanto/lannoitevalmisteet/laitoshyvaksynta/>.
Luettu 2.4.2017

Greenlane biokaasun puhdistuslaitteistot. Saatavissa:
http://www.sarlin.com/sarlin_products/Biokaasun-puhdistus-ja-jalostuslaitokset/tcxkbgfx/2a12e6e6-e2e0-4eb1-a63f-9399f4ca1b25. Luettu 2.4.2017

Haverinen, Tiina 2014. Maatilojen omatoimirakennetut biokaasulaitokset. Saatavissa:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83234/Haverinen_Tiina.pdf?sequence=1. Luettu 2.4.2017

Heikkinen, Mika 2012. Maatilan biokaasulaitokseen tarvittavat luvat. Saatavissa:
<http://docplayer.fi/1340741-Mika-heikkinen-maatilan-biokaasulaitokseen-tarvittavat-luvat.html>. Luettu 2.4.2017

Hintikka Jaakko. 2004. Biomassapohjaiset mikro-chp-tekniikat, [verkkojulkaisu]. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/43141/mikro-chp-raportti_nro8.pdf?sequence=1. Luettu 2.4.2017

Larjola, Jaakko. 2008. Energianmuuntoprosessit. Opetusmoniste, syksy 2008. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, LUT Energia.

Latvala, Markus 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009 Suomen ympäristökeskus Edita Prima Oy, Helsinki. ISBN 978-952-11-3497-5. Saatavissa:

http://www.bionova.fi/files/sy_24_2009.pdf. Luettu 2.4.2017

Luoma, Hanna 2006. Maatilyrityksen bioenergian tuotanto. Keuruu: Kirjapaino Otava Oy.

Luonnonvarakeskus, LUKE 2015. Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. Helsinki. Luonnonvarakeskus.

m-CHP instructional module. 2005. micro- Cooling, Heating, and Power (m-CHP) Instructional Module, [verkkojulkaisu]. United States Department of Energy (DOE). Mississippi State, MS 39762. Saatavissa:
<http://microchp.msstate.edu/pdf/m-CHP%20Instructional%20Module.pdf>. Luettu 2.4.2017

Maa- ja metsätalousministeriö: Kasvintuotannon tarkastuskeskus. 2005. Lannan käsittely ja käyttö maataloilla. Saatavissa:
http://www.evira.fi/attachments/elaimet_ja_terveys/sivutuote/sivutuote_lanta.pdf. Luettu 2.4.2017

Metener Oy 2017. Biokaasuteknologiaa. Saatavissa:
<http://www.metener.fi>. Luettu 2.4.2017

Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/maatalous/biokaasun_tuotanto_maatilalla.10755.shtml. Luettu 2.4.2017

Motiva 2012. Opas sähkön pientuottajalle 2012. Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/opas_sahkon_pientuottajalle.9236.shtml. Luettu 2.4.2017

Rehnstöröm, K 2010. Suuria eroja lypsyrobottien sähkön- ja veden kulutuksessa. Käytännön maamies 1/2010

Taavitsainen Toni 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Saatavissa:
<http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/Mallraportti2452006.pdf>. Luettu 2.4.2017

Venelampi, V. 2010. Jätevesilietteen hyödyntäminen biokaasulaitoksessa ja lopputuotteen turvallinen käyttö. Saatavissa:
http://www.mtk.fi/liitot/varsinaissuomi/tarmokas/fi_FI/Materiaalipankki/files/84489306156909138/default/Jatevesiliete%20biokaasulaitoksessa.pdf. Luettu 2.4.2017

LIITTEET

- Liite 1. Maatilan biokaasulaitoksen kustannukset 2500 m³ reaktorilla
- Liite 2. Maatilan biokaasulaitoksen kustannukset 500 m³ reaktorilla
- Liite 3. Maatilan biokaasulaitoksen kustannukset 1000 m³ reaktorilla
- Liite 4. Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus

Prosessivaihe	laite	Hinta
Syöttölaitteet	Koonta kaivon isontaminen ja eristys Huuhteluputket pumppauslinjaa Reaktorille syöttösuppilo ja -ruuvi sekoitin esisäiliöön sekoittimen asennus Pumppu esisäiliöön (paineviemäri) Pumpuun asennus	Laskettu Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy yht. 32 500 €
Biokaasureaktori	Lieteallas 2500 m ³ Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpö- keskukseen Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Paineilma kompressori kaasuhupuille Sekoittimet 4 kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jälkikaasualtaaseen	valmiina tilalla Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 96 800
Jälkikaasuallas	Lieteallas 2500 m ³ Eristys Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Sekoittimet 4kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jäännösaltaaseen	valmiina tilalla Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 64 500
Jäännösallas	Lieteallas 2500 m ³ Asennustyö Kate lietealtaaseen	Laskettu Laskettu Laskettu yht. 35 000
Intrumentointi	Automaatio	yht. 35 000
Hygienisointiyksikkö		yht. 85 000
Kaasun käyttölaitteet	Generaattori 60kW - 100 kW Voimakone, ottomoottori kaasulla 100kW Kaasupoltin 70kW Kaasukattila, 200 kW Kaasun puhdistin maatilalla, jakelupiste Merikontit teknisenä tiloina Kaasun mittaus ja analysointi Asennustyöt	11 600 5600 6000 20 000 250 000 9500 30 000 20 000
Sähkö- ja kaasulinjat linjat		Materiaalit Asennustyö yht. 31 500
ilman hygienisointia ja kaasun puhdistusta		yht. 398 000 (alv 0%)

Prosessivaihe	laite	Hinta
Syöttölaitteet	Koonta kaivon isontaminen ja eristys Pumppauslinja uudelle Reaktorialtaalle syöttösuppilo ja -ruuvi sekoitin esisäiliöön sekoittimen asennus Pumppu esisäiliöön (paineviemäri) Pumpuun asennus	Laskettu Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy yht. 32 500
Biokaasureaktori	Lieteallas 500 m ³ Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpö- keskukseen Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Paineilma kompressori kaasuhupuille Sekoittimet 2 kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jälkikaasualtaaseen	Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 75 500
Jälkikaasuallas	Lieteallas 2500 m ³ Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpö- keskukseen Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Sekoittimet 4kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jäännösaltaaseen	valmiina tilalla Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 64 500
Jäännösallas	Lieteallas 2500 m ³ Olemassa oleva allas	ei kustannuksia
Intrumentointi	Automaatio	yht. 35 000
Hygienisointiyksikkö		yht. 85 000
Kaasun käyttölaitteet	Generaattori 60kW - 100 kW Voimakone, ottomoottori kaasulla 100kW Kaasupoltin 70kW Kaasukattila, 200 kW Kaasun puhdistin maatilalla, jakelupiste Merikontit teknisenä tiloina Kaasun mittaus ja analysointi Asennustyöt	11 600 5600 6000 20 000 250 000 9500 30 000 20 000
Sähkö- ja kaasulinjat linjat		Materiaalit Asennustyö yht. 31 500
ilman hygienisointia ja kaasun puhdistusta		yht. 341 700 (alv 0%)

Prosessivaihe	laite	Hinta
Syöttölaitteet	Koonta kaivon isontaminen ja eristys Pumppauslinja uudelle Reaktorialtaalle syöttösuppilo ja -ruuvi sekoitin esisäiliöön sekoittimen asennus Pumppu esisäiliöön (paineviemäri) Pumpuun asennus	Laskettu Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy yht. 32 500
Biokaasureaktori	Lieteallas 1000 m ³ Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpö- keskukseen Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Paineilma kompressori kaasuhupuille Sekoittimet 3 kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jälkikaasualtaaseen	Laskettu Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 122 400
Jälkikaasuallas	Lieteallas 2500 m ³ Eristys, lämmitysputket ja liittymä lämpö- keskukseen Välikate ja hupun kiinnitysura Kaasuhuppu Sekoittimet 4kpl (upposekoitin 7.5 kW) Sekoittimien asennus Asennustyö Pumppauslinja jäännösaltaaseen	valmiina tilalla Laskettu Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Metener Oy Laskettu yht. 64 500
Jäännösallas	Lieteallas 2500 m ³ Olemassa oleva allas	ei kustannuksia
Intrumentointi	Automaatio	yht. 35 000
Hygienisointiyksikkö		yht. 85 000
Kaasun käyttölaitteet	Generaattori 60kW - 100 kW Voimakone, ottomoottori kaasulla 100kW Kaasupoltin 70kW Kaasukattila, 200 kW Kaasun puhdistin maatilalla, jakelupiste Merikontit teknisenä tiloina Kaasun mittaus ja analysointi Asennustyöt	11 600 5600 6000 20 000 250 000 9500 30 000 20 000
Sähkö- ja kaasulinjat linjat		Materiaalit Asennustyö yht. 31 500
ilman hygienisointia ja kaasun puhdistusta		yht. 388 600 (alv 0%)

Liite 5: Tilojen yhteisen biokaasulaitoksen sähkönkulutus

	Teho (kW)	Käyttöaika (h / vrk)	Sähkönkulutus (kWh / vrk)	Vuosikulutus (kWh / vuosi)	%	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
Esisäiliö							
Sekoitin	2,6	0,8	2,2	800	0,6	436	363
Pumppu				701	0,5	383	319
Syöttölaitteet							
Apesekoitin ^a				3 798	2,8	1 899	1 899
Syöttösuppilo- ja ruuvi				983	0,7	491	491
Biokaasureaktori							
Kiertovesipumppu	0,5	24	13	4 642	3,5	2 321	2 321
Alasekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Keskisekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Yläsekoitin	2,8	24	67	24 289	18,1	12 145	12 145
Paineilmapuhallin	0,1	24	1,9	701	0,5	350	350
Jälkikaasuallas							
Sekoitin	0,8	24	19	6 925	5,2	3 462	3 462
Paineilmapuhallin	0,1	24	2,1	779	0,6	389	389
Separointi^b							
Lanta				2 736	2,0	1 492	1 244
Käsittelyjäänös				2 625	2,0	1 432	1 193
Käsittely- nesteajae							
Pumppu				827	0,6	451	376
Muut							
Paineenkorotus ja kaasukattilan poltin				21 025	15,7	10 545	10 480
Automaatiikka ja mittalaitteet yms.			40	14 600	10,9	7 300	7 300
Yhteensä				134 009	100,0	67 387	66 622

^a Apesekoittimen sähkönkulutus: Vuorentola (2013).

^b Separoinnin sähkönkulutus: Kässi ym. (2013).

Arvot laitteiden sähkönkulutuksesta perustuvat Luke Maaningan biokaasulaitoksella tehtyihin mittauksiin.

Biokaasun puhdistuksen vaihtoehtoiset sähkönkulutukset	Vuosikulutus (kWh / vuosi)	%	Talvi (marras – huhti)	Kesä (touko – loka)
Vain tilojen oma käyttö (A1 ja B1):				
Biokaasun puhdistus (95 %)	9 920		4 960	4 960
Biometaanin paineistus (200 bar)	1 488		744	744
Yhteensä	11 408		5 704	5 704
Sähköntuotosta ylijäävän kaasun puhdistus (A2):				
Biokaasun puhdistus (95 %)	52 960		26 608	26 352
Biometaanin paineistus (200 bar)	7 944		3 991	3 953
Yhteensä	60 904		30 599	30 305
Lämmöntuotosta ylijäävän kaasun puhdistus (B2):				
Biokaasun puhdistus (95 %)	126 752		59 000	67 752
Biometaanin paineistus (200 bar)	19 013		5 580	10 163
Yhteensä	145 765		67 850	77 915