

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Uusiutuva energia
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Johanna Nieminen

KANNATTAVUUDEN ELEMENTIT BIOKAASUN TUOTANNOSSA

Opinnäytetyö
Elokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2015
Uusiutuvan energian koulutusohjelma
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6900

Tekijä
Johanna Nieminen

Nimeke
Kannattavuuden elementit biokaasun tuotannossa

Toimeksiantaja
ProAgria Keskusten Liitto

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasulaitoksen tuotantokonseptin ja investoinnin merkitystä biokaasun tuotannon kannattavuudessa. Työssä tutkittiin 3 000–90 000 tonnia vuodessa käsitteleviä laitoksia. Tavoitteena oli vastata kysymykseen, mitkä asiat tai kustannukset ovat sellaisia, jotka ratkaisevimmin parantavat tai heikentävät tuotannon kannattavuutta ja kuinka paljon.

Opinnäytetyöllä oli kaksi hyödyntämistarkoitusta. Ensimmäisenä tarkoituksena oli luoda biokaasun kannattavuuslaskentatyökalu ProAgrian energianeuvontatyöhön. Toisena tarkoituksena oli selvittää kyseisellä laskentatyökalulla syötteiden ja niiden yhdistelmien, tuotteiden ja fyysisen investoinnin kustannus/tuottorakenteen vaikutusta biokaasun tuotannon kannattavuuteen.

Työ muodostui neljästä osasta: 1) teoreettinen kirjallisuusosa, 2) kustannus- ja volyymitietojen kerääminen käytännössä toimivilta laitoksilta, 3) laskentatyökalun rakentaminen esimerkkilaitosten ja referenssitietojen perusteella sekä 4) kannattavuuslaskenta erilaisilla tuotantokonsepteilla.

Työn menetelmiksi valittiin tapaustutkimus ja palvelumuotoilu. Aineisto koostui neljältä biokaasulaitokselta saaduista tiedoista sekä kannattavuuslaskennan ja herkkyysanalyysin tuloksista.

Tiedot biokaasulaitoksista kerättiin kyselylomakkeen ja haastattelujen avulla. Aineisto analysoitiin kannattavuuslaskentatyökalun avulla vakioituilla syötteen ja tuotteen hinnoilla. Lisäksi tutkittiin investoinnin kannattavuuden herkkyyttä kriittisten tekijöiden muutoksille. Pienen otannan vuoksi tuloksia ei voitu analysoida tilastollisin menetelmin eikä tuloksia voida yleistää koskemaan kaikkia biokaasulaitoksia. Tuloksista voidaan kuitenkin saada suuntaa antavia tietoja siitä, mitkä tekijät vaikuttavat erilaisten biokaasulaitosten kannattavuuteen.

Kieli

Suomi

Sivuja 83

Liitteet 3

Liitesivumäärä 9

Asiasanat

Biokaasu, kannattavuus, investointianalyysi, herkkyysanalyysi



THESIS
August 2015
Degree Programme in Renewable Energy
UAS Master's Degree
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 (0)13 260 6900

Author
Johanna Nieminen

Title
The Elements of Profitability in Biogas Production

Commissioned by
Association of ProAgria Centres

Abstract

The goal of this thesis was to research the biogas plant production concept and the importance of investments in the profitability of biogas production. Biogas plants processing 3 000-90 000 tons of organic waste per year were examined in this thesis. The aim of this study was to find out the critical factors and costs that affect the profitability of the production, and to which extent.

This study had two utilization purposes. The first aim was to create biogas profitability calculation tool for ProAgria's energy advisory work. Another purpose was to use the calculation tool to find out how feeds and their combinations, products and investment cost / income structure effects on the profitability of biogas production.

The work consisted of four parts: 1) theoretical literature review, 2) data gathering of costs and volumes from functioning biogas plants, 3) development of the profitability calculation tool based on the example of the reference enterprises and data, 4) profitability calculation of different production concepts.

This work is based on case study and service design methods. The research data consisted of information received from four different biogas plants as well as of the results from the profitability calculation and sensitivity analysis.

The information of biogas plants was collected by questionnaires and interviews. The data was analyzed by a profitability calculation tool using fixed input and product prices. In addition, the sensitivity of the return on investment was examined by using variables in the critical factors. Due to the small sampling size, the results could not be analyzed by statistical methods and the results cannot be generalized to cover all biogas plants. However, the results can be used as indicative information on the factors affecting the profitability of various types of biogas plants.

Language

Finnish

Pages 83

Appendices 3

Pages of Appendices 9

Keywords

Biogas, profitability, investment analysis, sensitivity analysis

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Biokaasulaitosten kannattavuus	7
2.1	Biokaasu	7
2.2	Biokaasutilastoja ja jäteperäinen biokaasun tuotantopotentiaali Suomessa.....	8
2.3	Katsaus biokaasulaitostutkimuksiin ja biokaasulaitosten talouteen ...	11
2.4	Biokaasulaskuri.....	14
2.5	Biokaasulaitosten tukimuodot	15
2.6	Syötteen ja porttimaksut	17
2.7	Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.....	17
2.8	Biokaasulaitosten kannattavuutta kuvaavat analyysimenetelmät	19
2.8.1	Annuiteettimenetelmä	20
2.8.2	Nykyarvomenetelmä ja nettonykyarvomenetelmä.....	21
2.8.3	Sisäisen korkokannan menetelmä	22
2.8.4	Korollisen takaisinmaksuajan menetelmä	23
2.9	Riskit ja herkkyysanalyysi	24
3	Biokaasun tuotanto ja käyttö	25
3.1	Biokaasun tuotannon etuja sekä biokaasun käyttömahdollisuuksia...	26
3.2	Esikäsitteilytekniikat.....	27
3.3	Erlaisia mädätysprosesseja ja reaktoreita.....	28
3.3.1	Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi.....	28
3.3.2	Panos- ja jatkuvatoimiset prosessit.....	29
3.3.3	Yksi- ja monivaiheiset prosessit.....	30
3.3.4	Märkä- ja kuivaprosessit sekä osavirtämädätys.....	30
3.4	Anaerobinen hajoaminen	32
3.4.1	Hydrolyysi ja asidogeneesi	33
3.4.2	Asetogeneesi ja metanogeneesi	34
3.5	Prosessiolosuhteiden ja ravinteiden vaikutus biokaasun valmistusprosessiin.....	35
3.5.1	Lämpötila, viipymäaika ja kuormitus	35
3.5.2	Sekoitus ja hiili-typpe-suhde.....	37
3.5.3	pH, inhibiittorit ja ammoniakki	38
3.5.4	Ravinteet, vety, raskasmetallit ja klooriyhdisteet.....	38
3.5.5	Haihtuvat rasvahapot ja pitkäketjuiset rasvahapot	39
3.6	Biokaasun puhdistaminen ja jalostaminen	40
3.6.1	Adsorptio.....	42
3.6.2	Absorptio.....	43
3.6.3	Membraanitekniikka ja kryotekniikka.....	43
4	Työn tausta ja tavoite.....	44
5	Aineisto ja menetelmät.....	45
5.1	Aineisto.....	45
5.2	Lähestymistavat ja menetelmät	46
5.2.1	Tapaustutkimus.....	47
5.2.2	Palvelumuotoilu.....	47
5.2.3	Haastattelu.....	48
5.2.4	Aivoriihityöskentely	49
6	Työn toteutus	49

6.1	Kannattavuuslaskentatyökalu	50
6.2	Kannattavuuslaskentatyökalussa ja testauksessa käytettyjen arvojen määrittäminen	53
6.3	Investointianalyysi.....	57
6.4	Herkkyysanalyysi	58
7	Tulokset	58
7.1	Investointianalyysi.....	58
7.2	Herkkyysanalyysi	62
	7.2.1 Maatilamittakaavan biokaasulaitos	62
	7.2.2 Pieni biokaasulaitos	64
	7.2.3 Keskisuuri biokaasulaitos.....	65
	7.2.4 Suuri biokaasulaitos.....	67
7.3	Kannattavuuslaskentatyökalu	68
8	Pohdinta.....	70
8.1	Tulosten luotettavuus.....	71
8.2	Tulosten tarkastelu opinnäytetyön tavoitteita ja viitekehystä vasten ..	72
8.3	Ehdotus kannattavuuslaskentatyökalun kehittämiseksi tulevaisuudessa	75
8.4	Oppiminen ja ammatillisen kasvun ja kehityksen kuvaus	76
9	Yhteenveto.....	78
	Lähteet.....	79

Liitteet

Liite 1	Saatekirje
Liite 2	Haastattelu- ja kyselylomake
Liite 3	Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin

1 Johdanto

Biokaasua muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa mikro-organismien vaikutuksesta hapettomissa olosuhteissa (Goyal, Babu & Patel 2013, 334). Luonnossa sitä muodostuu mm. soilla, riisipelloilla ja märehitijöiden pötsissä. Teollisesti biokaasua tuotetaan biokaasulaitoksilla jätevesilietteistä, karjanlannasta, erilliskeräystä ja teollisuuden biojätteistä sekä kaatopaikoilta kerätystä kaasusta, jota muodostuu mätänevistä jätteistä. (Ben, Kennes & Veiga 2013, 321.)

Suomessa ei ole kahta samanlaista biokaasulaitosta. Reaktorityypin ja -koon lisäksi vaihtelua on syötteiden laadussa ja määrässä, tuotteissa ja prosessiolosuhteissa. Siksi biokaasun tuotannon kannattavuutta on vaikea kuvata yksiselitteisesti.

Biokaasutuotannon kannattavuuden eri tekijöitä voidaan tarkastella teoreettisten kannattavuusmallien avulla. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan biokaasutuotannon taloudellista kannattavuutta sekä kannattavuuden herkkyyttä kriittisten tekijöiden muutoksille testaamalla opinnäytetyössä kehitettävää kannattavuuslaskentatyökalua. Laskentatyökalun tarkoituksena on palvella ProAgrian energianeuvontaa. ProAgria Keskusten Liitto osallistuu työn tavoitteiden määrittelyyn, rajauksiin, toteutuksen suunnitteluun sekä sovelluksen rakentamiseen ja arviointiin.

Opinnäytetyössä hyödynnetään tapaustutkimuksen, palvelumuotoilun ja aivoriihen keinoja. Tarvittavat tiedot tapauksista kerätään esitietokyselyllä ja sitä täydentävällä haastattelulla. Tietoja kerätään myös biokaasulaitosten ympäristöluvista. Tämän opinnäytetyön tulokset helpottavat tunnistamaan biokaasulaitosten kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden painoarvoa, alueellista potentiaalia syötelaatujen näkökulmasta sekä tarkoituksenmukaista jalostusastetta suhteessa laitoksen investointiin ja tuotantomääriin.

2 Biokaasulaitosten kannattavuus

Biokaasulaitoksen kannattavuus muodostuu monista tekijöistä. Biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuutta, riskejä ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä voidaan tarkastella erilaisilla investointi- ja herkkyyssanalyysillä.

2.1 Biokaasu

Energian kasvava kysyntä, huoli fossiilisten polttoaineiden ehtymisestä sekä ilmasto- ja ympäristövaikutuksesta ovat johtaneet vaihtoehtoisten polttoaineiden intensiiviseen tutkimiseen viime vuosina. Liikenne käyttää noin 58 % fossiilisista polttoaineista. Orgaaninen jäte on potentiaalinen kasvihuonekaasujen lähde. Siksi biokaasun tuottaminen orgaanisesta jätteestä on ollut mielenkiinnon kohteena. (Ben ym. 2013, 321.) Orgaanisen jätteen anaerobinen käsittely vähentää maanviljelyn ja teollisuuden saastuttavaa vaikutusta sekä tarjoaa vaihtoehdon fossiilisille polttoaineille maanviljelyssä ja teollisuudessa (Chen, Cheng & Creamer 2008, 4044).

Biokaasu on hiilidioksidineutraali, puhdas ja uusiutuva polttoaine, jonka palaessa syntyy vain vähän hiukkaspäästöjä (Weiland 2009, 849). Biokaasusta valmistettava biometaani on Goyalin ym. (2013, 336) mukaan puhtain uusiutuva polttoaine. Biokaasulla voidaan korvata fossiilista polttoainetta lämmön ja sähkön tuotannossa sekä liikennepolttoaineena. Lisäksi biokaasusta valmistettavalla biomeetaanilla voidaan korvata maakaasua kemikaalien ja materiaalien valmistuksessa. (Weiland 2009, 849.)

Hallitulla biokaasun valmistusprosessilla voidaan vähentää maatalouden kielteisiä ympäristövaikutuksia. Lisäksi biokaasun valmistuksessa muodostuvaa mädätysjännöstä voidaan hyödyntää peltojen lannoittamisessa tai siitä voidaan valmistaa lannoitevalmisteita. Biokaasuprosessissa käsitellyn materiaalin lannoite-

ominaisuudet paranevat käsittelyn aikana: typpiyhdisteet muuttuvat kasveille käyttökelpoisempaan muotoon ja hajuhaittoja aiheuttavat yhdisteet vähentyvät lantaan verrattuna. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 2.)

Biokaasusta 53–70 % on metaania (CH₄) ja 30–47 % hiilidioksidia (CO₂). Mädätysprosessin syötteet ja olosuhteet vaikuttavat typen, vedyn, hiilimonoksidin, ammoniakkin, rikkivedyn (H₂S) sekä muiden epäpuhtauksien määrään. (Persson, Jönsson & Wellinger 2006, 6–7; Panwar, Jugran & Joshi 2013, 159–160.) Mikäli reaktorissa käytetään *in situ*¹ -puhdistustekniikkaa, voidaan tuotteessa päästä jopa 80–90 %:n metaanipitoisuuteen (Panwar ym. 2013, 160).

Orgaanisen aineksen mädättämisellä hallituissa oloissa ja biokaasun keräämisellä kaatopaikoilta on monia etuja. Metaani on yli 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Lisäksi orgaanisen aineksen mädättäminen lähellä sen syntypaikkaa vähentää kaatopaikoille vietävää jätemäärää ja on luontoystävällisempi tapa käsitellä orgaanisia jätteitä kuin läjittäminen kaatopaikoille. (Goyal ym. 2013, 334.) Tiukentuvien jätehuoltomääräysten vuoksi se on myös kiellettyä. Goyalin ym. (2013, 334) mukaan mädättämällä saatu biokaasu ja siitä edelleen jalostettu biometaani on vaihtoehto fossiilisille polttoaineille sekä maa-kaasulle. Näin biometaanin valmistaminen ja käyttö vähentävät kasvihuonekaasuja sekä ovat osa kestävästä energiataloudesta. Lisäksi etuina voidaan pitää tuotannon kohtuullisen alhaisia investointikustannuksia ja prosessin helppoutta. (Goyal ym. 2013, 334.)

2.2 Biokaasutilastoja ja jäteperäinen biokaasun tuotantopotentiaali Suomessa

Suomessa oli vuoden 2013 lopussa 82 laitosta, joissa tuotettiin biokaasua orgaanisesta aineksesta tai kerättiin biokaasua kaatopaikoilta. Niissä tuotettiin tai kerättiin yhteensä 153,9 milj. m³ biokaasua, josta saatiin 404,4 GWh lämpöä ja 151,3 GWh sähköä. Biokaasua ylijäämäpolletettiin eli soihdutettiin 29,3 milj. m³,

¹ Paikallaan tapahtuva, reaktorin sisällä oleva.

mikä vastaa 126,4 GWh:a energiaa. Biokaasureaktorilaitoksista saatavan biokaasun metaanipitoisuus oli 40–71 %, kun kaatopaikoilta kerättävän biokaasun metaanipitoisuus oli 28–64 %. (Huttunen & Kuittinen 2014, 27, 31–46; Taulukko 1.)

Taulukko 1. Vuoden 2013 lopussa toimivien biokaasureaktorilaitteiden määrä sekä tuotetun biokaasun ja energian määrä. (Huttunen & Kuittinen 2014, 31–32, 34, 35–36, 41–42, 45–46.)

	Laitosten määrä	Tuotettu biokaasun määrä	Tuotettu energiamäärä	Metaanipitoisuus
Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset	16	29,79 milj. m ³ (hyödynnetty 27,584 milj. m ³)	38,7 GWh sähköä 87,2 GWh lämpöä	40–70 %
Teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset	3	1,233 milj. m ³ (hyödynnetty 1,166 milj. m ³)	6,9 GWh lämpöä	65–68 %
Maatilanmittakaavan biokaasulaitokset	12	0,972 milj. m ³ (hyödynnetty 0,965 milj. m ³)	1,108 GWh sähköä 2,972 GWh lämpöä	55–71 %
Yhteismädätyslaitokset	11	27,058 milj. m ³ (hyödynnetty 24,010 milj. m ³)	24,6 GWh sähköä 91,3 GWh lämpöä 8,1 GWh mekaanista energiaa	60–70 %
Kaatopaikat	40	94,847 milj. m ³ (hyödynnetty 70,827 milj. m ³)	86,9 GWh sähköä 208,0 GWh lämpöä	28–64 %
Yhteensä	82	153,9 milj. m ³ (hyödynnetty 124,552 milj. m ³)	151,308 GWh sähköä 396,372 GWh lämpöä 8,1 GWh mekaanista energiaa =555,78 GWh	
Ylijäämäpoltto		29,348 milj. m ³	126,4 GWh	

Suomeen on rakenteilla tai suunnitteilla 11 maatilojen biokaasulaitosta (Taulukko 2) ja 12 yhteismädätyslaitosta (Taulukko 3). Uusia biokaasulaitoksia ei ole suunnitteilla kaatopaikoille, teollisuuden tai yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoille. (Huttunen & Kuittinen 2014, 40, 43.)

Taulukko 2. Suomeen rakenteilla tai suunnitteilla olevat maatilojen biokaasulaitokset. (Muokattu lähteestä Huttunen & Kuittinen 2014, 40.)

Maatila	Aloitus / ympäristölupa haettu	Reaktorikapasiteetti (m ³)
Emomylly Oy, Huittinen	y-lupa	800
Hulmi, Alastaro	y-lupa	
Jahotec Oy, Ahola, Liminka	2014	
Kiipun Biovoima Oy, Jokioinen	y-lupa	
Kouvo, Punkalaidun	y-lupa	
Leppihalme, Jämijärvi	y-lupa	750
Myrskylän lihasikala	y-lupa	750
Oulun seud. amm.opisto, Koivikon opetustila, Muhos	-	360/750
Pirilä, Kalanti	y-lupa	180
Rantelli Oy, Taivassalo	y-lupa	550
Viiman Bioenergia Oy, Salo	y-lupa	600–1 000

Taulukko 3. Suomeen rakenteilla tai suunnitteilla olevat yhteismädätyslaitokset. (Muokattu lähteestä Huttunen & Kuittinen 2014, 43.)

Laitos	Aloitus / ympäristölupa haettu	Reaktorikapasiteetti (m ³)
BioHauki Oy, Mikkeli Haukivuori	y-lupa	
Biolaari Oy, Karijoki	y-lupa	1 500
Biotehdas Oy (VamBio Oy), Honka- joki	y-lupa	2 x 2 700
Envor Biotech Oy, Outokumpu	y-lupa	2 700
Evibio Oy, Evijärvi	y-lupa	1 780
Kantohake LTH Oy, Kärsämäki	y-lupa	
Kymen Vesi Oy, Kotka	y-lupa	
LABIO Oy (Kujalan Komposti Oy)/Gasum, Lahti	2014	
Lillby Biogas Ab, Pedersöre	y-lupa	2 x 1 500
St1 Biofuels Oy, Hämeenlinna	y-lupa	2 150
VamBio Oy, Kuopio	y-lupa	2 x 2 700
VRJ Pohjois-Suomi Oy, Vasikka- suo, Oulu	y-lupa	

Taulukosta 4 nähdään, että Suomen jäteperäinen biokaasupotentiaali on 13,8 TWh:a energiaa vuodessa (Lampinen 2003, 31–34). Vuonna 2013 Suomessa tuotettiin biokaasulla energiaa 0,556 TWh (Huttunen & Kuittinen 2014, 27).

Taulukko 4. Jäteperäisen biokaasumetaanin vuosituotantopotentiaali Suomessa (Muokattu lähteestä Lampinen 2004, 7).

Metaanin lähde	Jätteen massa (1000 t)	Metaanin tuotto (m ³ /t)	Energia (TWh)
Kaatopaikkakaasu			1,5
Yhdyskuntien biojäte	360 (tuorepaino)	100	0,36
Yhdyskuntien jätevesi	160 (kiintoaine)	200	0,32
Eläinten lanta	21 500 (tuorepaino)	20	4,3
Maatalouden kasvijätteet	4 000 (tuorepaino)	170	6,8
Elintarviketeollisuuden jätteet	960 (tuorepaino)	50	0,48
Teollisuuden jätevesi	22,3 (kiintoaine)	200	0,04
Yhteensä			13,8

2.3 Katsaus biokaasulaitostutkimuksiin ja biokaasulaitosten talouteen

Taavitsainen (2011) on tutkimuksessaan tarkastellut kolmen erilaisen itsenäisesti toimivan maatilamittakaavan biokaasulaitosvaihtoehdon kannattavuutta. Tutkimuskohteina olivat kaksi maatilamittakaavan biokaasulaitosta, joista toisen syötteinä olivat maatalouden lietteet sekä nurmimassa ja toisen syötteinä oli edellä mainittujen lisäksi sakokaivo- ja yhdyskuntalietteitä. Lisäksi tutkittavana oli keskittetty biokaasulaitos, jonka syötteinä olivat mukana olevien maatilojen maatalouslietteet ja nurmimassa. Tässä tutkimuksessa tultiin johtopäätökseen, että kannattava biokaasun tuotanto edellyttää porttimaksullisia syötteinä.

Huovari, Rautanen ja Wihersaari (2008) vertailivat tutkimuksessaan kolmenlaisia biokaasulaitoksia. Ensimmäisessä laitoksessa, jossa reaktorin koko oli 150 m³, tuotettiin biokaasua lannasta ja muualta tuodusta raaka-aineesta. Biokaasusta tuotettiin lämpöä ja sähköä sekä puhdistettiin ja paineistettiin biometaania. Toisessa laitoksessa reaktorin koko oli 320 m³. Siellä tuotettiin lämpöä ja sähköä lannasta ja muusta ulkopuolisesta raaka-aineesta valmistetusta biokaasusta. Kolmannen laitoksen reaktori oli 6 700 m³. Tässä laitoksessa syntyvästä biokaa-

susta tuotettiin sähköä ja lämpöä usealta maatilalta tuodusta lannasta ja teollisuuden biohajoavista jätteistä. Tässä tutkimuksessa todettiin, että biokaasulaitosten vertailu keskenään oli haasteellista: jokainen biokaasulaitos oli yksilöllinen syötteiltään, prosessiltaan ja tuotteiltaan.

Kalmari (2006) tutki omassa pro gradu -tutkielmassaan kolmen erilaisen maatalamittakaavan biokaasulaitosvaihtoehdon kannattavuutta investointi- ja herkkyysanalyysillä. Vaihtoehdot erosivat toisistaan syöttömateriaaleiltaan. Ensimmäinen vaihtoehto käytti syötteenä vain sikatilan sianlantaa. Toisen vaihtoehdon syötteenä olivat sianlannan lisäksi sokerijuurikkaan naatit. Kolmas vaihtoehto otti vastaan ulkopuolista orgaanista materiaalia. Myös tässä tutkimuksessa tultiin tulokseen, että biokaasulaitos tarvitsee energian myynnin lisäksi myös muita tulonlähteitä, kuten syötteiden porttimaksuja tai mädätysjäännöksestä valmistettujen lannoitevalmisteiden myynnistä saatuja tuloja.

Gebrezgabher, Meuwissen ja Prins (2010a) tutkivat Pohjois-Tanskaan vuonna 2007 perustettua noin 70 000 tonnia sianlantaa, siipikarjanlantaa, energiamaissia ja ruokatähteitä vuodessa käsittelevää biokaasulaitosta. Laitos tuotti syntyneestä biokaasusta sähköä ja lämpöä CHP-yksikössä ja sai tukea myymästään sähköstä. Tuottamansa lämmön laitos käytti prosessin lämmittämiseen ja mädätysjäännöksen kuivaamiseen. Laitoksen kokonaisinvestointikustannus oli 6 750 000 €. Biokaasulaitos sai 15 % investointitukea. Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin erilaisten syöteskenaarioiden avulla. Laskentamenetelminä käytettiin nettonykyarvomenetelmää ja sisäisen korkokannan menetelmää. Tutkimuksessa todettiin, että tuilla, syötteiden hinnoilla ja porttimaksuilla sekä syötteiden laadulla on vaikutusta biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Myös mädätysjäännöksen hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa biokaasulaitoksen kannattavuuteen myönteisesti. (Gebrezgabher ym. 2010a, 109–115.)

Gebrezgabher, Meuwissen ja Oude Lansink (2010b) tekivät tutkimuksen 23 biokaasulaitoksesta Alankomaissa. Biokaasulaitokset käsitelivät 5 000–63 000 tonnia orgaanista materiaalia vuodessa. Tutkimuksessa todettiin, että investointikustannus, tuet, biokaasun saanto, syötteiden porttimaksut tai kustannukset sekä

mädätysjäännöksestä aiheutuvat kustannukset tai tulot ovat tärkeimpiä biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. (Gebrezgabher ym. 2010b, 29–30, 33–34.)

Biokaasulaitoksen investointikustannukset ja biokaasun jalostuskustannukset laskevat tuotettua biokaasumäärää kohden laitosten koon kasvaessa (Smyth, Smyth ja Murphy 2010, 4). Biokaasulaitoksen koon kasvaessa myös muut käyttökustannukset laskevat suhteessa tuotetun biokaasun määrään. Tämä johtaa biokaasun tuotantokustannusten laskemiseen. Toisaalta suurissa biokaasulaitoksissa kuljetuskustannusten osuus nousee. Kuljetuskustannukset ovat biokaasulaitosten suurin yksittäinen kustannuserä. Kriittinen etäisyys jätteen synty paikasta biokaasulaitokselle on 14 km. Tämän jälkeen kuljetuskustannukset nousevat liian korkeiksi. (Jacobsen, Laugesen & Dubgaard 2014, 137–138, 141). Kuljetuskustannukset vaikuttavat oleellisesti biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Biokaasulaitoksille maksullisten syötteiden, kuten säilörehun, ruokohelven, oljen ja maissin, kustannuksista suuri osa tulee kuljetuskustannuksista. Lisäksi mädätysjäännökseen levittäminen pelloille aiheuttaa biokaasulaitoksille kustannuksia. Mädätysjäännöksestä aiheutuvat kustannukset riippuvat kuljetusetäisyyksistä, biokaasulaitoksen koosta, lannan määrän osuudesta syötteenä ja käytetystä mädätysjäännökseen prosessointitekniikasta. (Delzeit & Kellner 2011, 1–2, 13.)

Delzeitin ja Kellnerin (2011) tutkimuksessa tutkittiin lannan osuutta syötteistä ja mädätysjäännökseen käsittelyä suhteessa kuljetuskustannuksiin ja biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Suuret biokaasulaitokset, 500 ja 1 000 kW:n laitokset, hyötyivät taloudellisesti mädätysjäännökseen käsittelystä seulontarumputekniikkaa käytettäessä kaikilla syötteiden lannan osuuksilla. Pieni 150 kW:n biokaasulaitos hyötyi mädätysjäännökseen käsittelystä seulontarumputekniikalla vasta lannan osuuden noustessa 35 %:iin käsiteltävistä syötteistä. (Delzeit & Kellner 2011, 15–16.)

Balussou, Kleyböcker, McKenna, Möst, & Fichtner (2012) tutkivat kolmen erilaisen biokaasulaitoksen kannattavuutta Saksassa. Ensimmäinen laitoksista käsitteli 15 000 m³ biojätettä ja 41 000 tonnia puhdistamolietettä vuodessa. Toinen laitos käsitteli 9 160 tonnia energiakasveja, joista 95 % oli säilömaissirehua ja 5

% vehnää. Kumpikin laitoksista tuotti syntyneestä biokaasusta sähköä ja lämpöä CHP-yksiköissä. Ensimmäisen laitoksen investointikustannus oli 6 020 000 €, takaisinmaksuaika oli 11,56 vuotta ja nettonykyarvo 20 vuoden aikana oli 2 370 000 €. Toisen biokaasulaitoksen investointikustannus oli 2 000 000 €, takaisinmaksuaika oli 6,7 vuotta ja nettonykyarvo oli 20 vuoden aikana 2 270 000 €. Kolmas biokaasulaitos käsitteli 19 000 tonnia energiakasveja, josta 88 % oli säilömaissirehua ja 12 % vehnärehua. Laitos jalosti syntyneestä biokaasusta biometaaniamia ja syötti sen maakaasuverkkoon. Biokaasulaitoksen investointikustannus oli 4 170 000 €, takaisinmaksuaika oli 9,4 vuotta ja nettonykyarvo oli 20 vuoden aikana 2 560 000 €. (Balussou ym. 2012, 28–37.)

2.4 Biokaasulaskuri

Biokaasulaskuri (www.biokaasulaskuri.fi) on internetissä avoimesti käytettävissä oleva verkkosovellus biokaasulaitoksen alustavan kannattavuuden arviointiin. Biokaasulaskurilla voidaan vertailla erilaisten syötteiden vaikutusta energiantuotantoon ja biokaasun käyttömuotojen kannattavuuteen. Biokaasulaskuri kehitettiin Maaseuturahaston rahoittamassa Biokaasulaitosinvestoinnin laskentatyökalu-hankkeessa maaliskuun 2012 ja kesäkuun 2014 välisenä aikana. Kehitystyöhön osallistuivat Ukipolis Oy, MTT, Satafood Kehittämisyhdistys ry, MaaHal viestintä ja Turun AMK Liiketalous, ICT- ja bioalat -yksikkö ja yhteistyökumppaneina toimivat BOKU Universität für Bodenkultur Wien ja ARGE kompost & biogas.

MTT:n erikoistutkija Sanna Marttinen ja MTT:n Tietohallintoryhmä toteuttivat laskurin ja internetsovelluksen. Hanketta koordinoi Markku Riihimäki Ukipolis Oy:stä. Biokaasulaskurin kehittämiseen on käytetty MTT:n tutkimuksia, itävaltalaisien asiantuntijoiden ja heidän käytännön kokemukseensa perustuvaa tietoa sekä kansainvälisten tutkimuslaitosten kirjallisuustietoja. (Ukipolis 2014.)

Biokaasulaskurissa on kahdeksan alisivustoa: perustiedot, syötteet, tekniikka, energia, investoinnit, tuotot ja kulut, kannattavuus sekä raportit ja yhteenveto. Eri alalehdille voidaan täyttää tietoja, joiden pohjalta laskuri tekee yhteenvetorapor-

tin. Raportti kertoo tarvittavan laimennusveden määrän, reaktorin ja jälkimädätysreaktorin koot, reaktorin orgaanisen kuorman ja tarvittavan varastointitilavuuden. Lisäksi se kertoo laitoksen energiankulutuksen ja syntyvän biokaasun määrän sekä biokaasusta valmistettavan energian määrän energialajikohtaisesti valittujen tietojen pohjalta. Yhteenvetoraportti ilmoittaa arvion investoinnin suuruudelle. Syötettyjen kulujen ja tulojen pohjalta raportti laskee biokaasulaitoksen nettotuotot sekä tekee investointianalyysin biokaasulaitoksen kannattavuudesta 20 vuoden investointiajanjaksolla. Kannattavuuden tunnuslukuina laskuri käyttää nykyarvoa, takaisinmaksuaikaa, annuiteettia sekä sisäistä korkokantaa.

Biokaasulaskuri ei suoraan tee herkkyysanalyysiä. Sitä voidaan kuitenkin käyttää herkkyystarkasteluun. Herkkyysanalyysin tekeminen Biokaasulaskurilla vaatii jonkin verran työtä ja tietojen siirtämistä esimerkiksi Excel-tiedostoon.

2.5 Biokaasulaitosten tukimuodot

Valtion myöntämillä tuilla ja veropäätöksillä on suuri merkitys biokaasulaitoksen kannattavuudelle (Luste, Soininen, Ranta-Korhonen, Seppäläinen, Laitinen & Tervo 2012, 19). Suomessa maatalouden investointituella voidaan rahoittaa maatilamittakaavan biokaasulaitoksia. Edellytyksenä rahoituksen saamiselle on, että vähintään puolet käytettävistä raaka-aineista on peräisin osakkaiden maailoilta sekä yli puolet tuotetusta energiasta käytetään osakkaiden tiloilla. (Marttinen, Lehtonen, Luostarinen & Rasi 2013, 11.) Maatilamittakaavan biokaasulaitokset voivat saada enimmäismäärältään lämmön tai sähköntuotantotehoon sidottua investointitukea 35 % hyväksytyistä kustannuksista (Valtioneuvoston asetus maatalon investointituen kohdentamisesta 241/2015).

Suomi saa EU:lta maaseuturahastoon varoja, joilla voidaan rahoittaa mm. maaseudun mikroyritysten investointeja. Yrityksen pitää tuottaa tuloja esimerkiksi energian myynnistä tai porttimaksuina. Investointiavustus on 20–35 % kokonaisinvestoinnista. (Marttinen ym. 2013, 11.)

Maatalouden ulkopuolisiin selvitys- ja investointihankkeisiin on mahdollista saada energiatukea. Tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä, edistää uusien energiateknologioiden käyttöönottoa ja energiantuotantoa sekä vähentää ympäristöhaittoja. Ehtona energiatuen saamiselle on, että hankkeen pitää olla yritystoimintaa eli tuotteita on myytävä myös yrityksen ulkopuolelle sekä hankkeella on oltava myönteisiä ilmasto- ja ympäristövaikutuksia. (Marttinen ym. 2013, 12.)

Sähkön tuotantotuki tarkoittaa, että sähköntuottajalle maksetaan enintään 12 vuoden ajan sähkön takuuhinnan ja markkinahinnan välinen erotus (Marttinen ym. 2013, 12). Tämä tukimuoto perustuu järjestelmään, jossa sähkön tuottajalle maksetaan verkkoon syötetylle sähkölle 83,5 €/MWh takuuhintaa. Biokaasuvoimala voidaan liittää sähkön tuotantotukijärjestelmään vain, jos

1. se ei ole saanut valtiolta investointitukea
2. se on uusi voimala eikä sen rakentamiseen ole käytetty käytettyjä osia
3. sen generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho on vähintään 100 kVa
4. sen polttoaineena käytetään sellaisessa biokaasulaitoksessa tuotettua biokaasua, joka ei ole saanut valtiontukea, on uusi ja ei sisällä käytettyjä osia. (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010.)

Tämän lisäksi biokaasulaitoksen on mahdollista saada myös ns. lämpöpreemiota sähkön ja lämmön yhteistuotannolle. Tällöin tuotetun sähkön takuuhinta on 133,5 €/MWh. Ehtona lämpöpreemion saamiselle on, että

1. voimalan kokonaishyötysuhde on suurempi kuin 50 % ja yli 1 MVa:n laitoksella yli 75 %
2. voimala tuottaa sähkön tuotannon yhteydessä lämpöä hyötykäyttöön. (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010.)

Investointituki ja sähkön tuotantotuki ovat toisensa poissulkevia tukimuotoja. Molempia tukimuotoja ei voida käyttää samanaikaisesti.

2.6 Syötteet ja porttimaksut

Biokaasua voidaan tuottaa anaerobisella prosessilla erilaisista orgaanisista lähtöaineista. Kaikkea biohajoavaa materiaalia voidaan mädättää. Syöte voi olla kiinteää, lietettä, laimeaa tai konsentroitua nestettä. (Deepanraj, Sivasubramanian & Jayaraj 2014, 86.) Tällaisia materiaaleja ovat yhdyskuntien jätevesilietteet, yhdyskuntajätteet ja teollisuusjätteet, biojätteet, kasvit ja kasvinosat, karjanlanta, bioperäinen jäteöljy, teurasjätteen rasvat, orgaanisia aineita sisältävät teollisuuden jätevedet, puutarhajätteet ja lahoavat puut sekä maanviljelyksen jätteet. Maissia, ruohoa, poppelia, apilaa ja pajua viljellään biokaasutuotantoa varten. (Panwar ym. 2013, 162–163.)

Erilaisilla syötteillä on erilainen soveltuvuus anaerobiseen hajottamiseen. Syötteiden tuottaman biokaasun määrä vaihtelee suuresti. Siksi syötteiden laadulla on suuri vaikutus biokaasun tuoton kannalta. Myös syötteiden määrällä on suora yhteys biokaasun tuottoon. Osa käytettävistä syötteistä on biokaasulaitokselle maksullista. Syötteinä voidaan käyttää myös jätteitä, jolloin biokaasulaitos voi kerätä porttimaksuja käytetyistä syötteistä. (Latvala 2009, 13.) Porttimaksut tuovat merkittävän osan biokaasulaitoksen tuloista ja vaikuttavat siten suoraan myös biokaasulaitoksen kannattavuuteen.

2.7 Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat tekijät

Investointilaskelmalla selvitetään investoinnin taloudellinen kannattavuus. Sen avulla voidaan päättää investoinnin toteuttamisesta. (Vilkkumaa 2010, 217.) Monet tekijät vaikuttavat Kinnusen ym. (2007, 132) mukaan investointipäätökseen ja investoinnin kannattavuuteen. Heidän mukaansa taloudellisessa tarkastelussa tärkeimpiä tekijöitä ovat

1. hankintameno
2. tulot, kustannukset ja nettotulo eli nettokassavirta
3. investoinnin pitoaika eli investointiajanjakso
4. jäännösarvo
5. laskentakorkokanta.

Hankintamenolla tarkoitetaan investointikustannusta eli investoinnin perushankintakustannusta. Se tarkoittaa investoinnista maksettavaa hintaa. (Vilkkumaa 2010, 217.) Investointikustannus sisältää kaikki investointiin liittyvät kustannukset, joita voivat olla laitteiston hankinta, kiinteistön rakentaminen, markkinatutkimus, laitteiston asennus, henkilökunnan koulutus, uudet informaatiojärjestelmät, laitteiston käynnistäminen ja liitäntäinvestoinnit (Ikäheimo, Lounasmeri & Walden 2009, 210) sekä kehitystyöstä ja markkinoinnista aiheutuvat kulut (Puolamäki & Ruusunen 2009, 215).

Investoinnista aiheutuu vuosittain tuloja ja menoja. Tulot muodostuvat investoinnin avulla aikaansaadusta myynnistä tai uuden tuotantoteknologian aikaansaamista kustannussäästöistä. Menot muodostuvat investoinnin käytöstä aiheutuvista kustannuksista: tuotannon raaka-aineet, polttoaineet, henkilöstön palkkamenot, laitteiston korjaukset ja huolto, epäonnistuneiden tuotteiden virheiden selvitys ja kuljetus. Tulojen ja menojen erotus on investoinnin nettotulo eli nettokassavirta. (Ikäheimo ym. 2009, 210; Kinnunen ym. 2007, 132.)

Investoinnin pitoajalla eli investointiajanjaksolla tarkoitetaan investoinnin ennakoitua käyttöikää eli ajanjaksoa, jonka investointi on tuottavassa toiminnassa ja jolta vuotuisia nettotuottoja arvioidaan syntyvän. Pitoaika voi tarkoittaa ennustettua fyysistä, taloudellista tai teknistä käyttöikää. Fyysinen käyttöikä tarkoittaa ajanjaksoa, jonka aikana investoinnin kohdetta voidaan käyttää kohtuullisin korjaus- ja huoltotoimenpitein. Tekninen ikä tarkoittaa sitä ikää, jonka laitteisto on teknisesti riittävän hyvä tuotantokäyttöön. Investoinnin tekninen käyttöikä voi lyhentyä, kun markkinoille tulee vastaava kone, jonka suorituskyky on nykyistä investointia parempi tai kun esimerkiksi varaosien saanti vaikeutuu. (Ikäheimo ym. 2009, 211; Kinnunen ym. 2007, 132–133.) Investoinnin elinkaarta voidaan pidentää korjauksilla ja modernisoinneilla. Siksi usein puhutaan investoinnin teknis-taloudellisesta iästä. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 217.)

Jäännösarvolla tarkoitetaan hankinnan myyntituloa, joka saadaan, kun hankinta myydään eteenpäin käyttöajanjakson päätyttyä (Vilkkumaa 2010, 218.) Laskelmissa jäännösarvo voi olla positiivinen, nolla tai negatiivinen. Jos investoinnin kohde voidaan myydä käyttöajan jälkeen, on jäännösarvo positiivinen. (Kinnunen

ym. 2007, 133.) Yleensä jäännösarvo oletetaan nollassa, koska jäännösarvoa on hankala määrittää tai sen arvo on mitätön. Joissakin harvinaisissa tapauksissa jäännösarvo voi olla negatiivinen. Tällöin yritykselle syntyy kustannuksia esimerkiksi investointikohteen hävittämisestä tai pilaantuneen maa-alueen puhdistamisesta. (Ikäheimo ym. 2009, 210; Kinnunen ym. 2007, 133; Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 218.)

Laskentakoron avulla investoinnin määrä muutetaan vertailukelpoiseksi eri ajan-kohtina. Sen avulla saadaan selville, kuinka paljon arvokkaampi nyt saatu euro on tietyn ajanjakson päästä saatavaan euroon verrattuna. (Kinnunen ym. 2007, 133.) Mitä suurempi riski tai epävarmuus investointiin liittyy, sitä korkeampi on investoinnin tuottovaatimus. Rahan aika-arvona käytetään yrityksen investointien tuottovaatimusta, joka muodostuu rahoitusmarkkinoiden määräämästä riskikorjasta rahan hinnasta. Hintaan vaikuttavat yrityksen rahoitusrakenne, investointiin liittyvä pääomarahoitus sekä pääomarahoituksen hinta. (Ikäheimo ym. 2009, 211–212).

Yritys päättää itse tuottovaatimuksensa tason. Yleensä yrityksissä käytetään 10–15 %:n laskentakorkokantaa. Käytetyn laskentakorkokannan tulee olla järkevällä tasolla investointiin nähden. Liian korkealla tuottovaatimuksella voidaan yrityksen kannalta järkevät investoinnit hylätä, koska ne ovat laskennallisesti kannattamattomia. Toisaalta liian alhainen tuottovaatimus johtaa kannattamattomien investointien hyväksymiseen. (Vilkkumaa 2010, 218.)

2.8 Biokaasulaitosten kannattavuutta kuvaavat analyysimenetelmät

Epäonnistunut, väärä tai väärin ajoitettu investointi voi kaataa yrityksen talouden. Investoinnin huolellinen suunnittelu sekä kannattavuuden ja riskien arviointi ovat tärkeitä vaiheita. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 199–201.) Investointilaskelmien tarkoituksena on ohjata päätöksentekoa. Investoinnin suunnittelua ei kannata jatkaa ilman riittävää kannattavuutta investointilaskelmissa. Jokaisen investoinnin tulee tuottaa enemmän rahaa kuin se vie. (Vilkkumaa 2010, 217–219.)

Investointilaskelmia voidaan tehdä erilaisilla tavoilla. Investointilaskelmien tekemistä edeltää mitattavien tekijöiden määrittäminen. Investointilaskelma lähtee liikkeelle investoinnin tuottaman vuotuisen käyttökateen lisäyksen selvittämisellä. (Vilkkumaa 2010, 220.) Investointilaskelmien tavoitteena on selvittää, paljonko investointi tuottaa lisää käyttökateetta vuodessa. (Vilkkumaa 2010, 220.) Täydellisessä investointilaskelmassa pyritään vertailemaan kaikkia tuottoja ja kustannuksia, joita investoinnin arvioidaan aiheuttavan. (Andersson, Ekström & Gabrielsson 2001, 135.)

2.8.1 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investoinnin hankintamenot jaetaan yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi pitoaikana. Näitä pääomakustannuksia kutsutaan vuosieriksi eli annuiteeteiksi. Annuiteetit muodostuvat poistoista² ja korkokustannuksista. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 220; Tevä-Helminen 2013, 17–18.)

Annuiteettimenetelmässä käytettävän annuiteettitekijän selvittämiseksi pitää ensin määrittää investoinnin pitoaika ja laskentakorkokanta. Laskentakorkokanta voi olla joko lainan korko tai korko, jonka yritys menettää käyttämällä omia varojaan investointiin. Jos investoinnin tuottojen ja kustannusten arviointiin liittyy epävarmuustekijöitä eli riskejä, voidaan laskentakorkoa nostaa. Laskentakorko voidaan määrittää myös sellaiselle tasolle, jollaista tuottoa yritys odottaa investoinnista saavansa. Investoinnin tuotto lasketaan jakamalla investoinnin nettotuotto³ investointiin sidotulla pääomalla. Annuiteettitekijän määrittämisen jälkeen lasketaan vuotuinen pääomakustannus kertomalla annuiteettitekijä investoinnin määrällä. Näin saatu vuotuinen pääomakustannus koostuu sekä poistoista että koroista. (Andersson ym. 2001, 137.)

² Hankintamenon kirjaaminen kuluiksi vaikutusaikana

³ Investoinnin seurauksena syntyvien tuottojen ja kustannusten erotus

Annuiteetti voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\text{Annuiteetti } i = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * P \quad (1)$$

P = perushankintakustannus, investointi

i = laskentakorkokanta

n = investointiajanjakso vuosina. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 220.)

Annuiteettimenetelmä kertoo, millaisen yli- tai alijäämän investointi tuottaa. Jos investointi tuottaa riittävän suuren ylijäämän, voidaan investointia pitää kannattavana. (Andersson ym. 2001, 138.) Toisin sanoen investointi on kannattava, jos tuloannuiteetti on vähintään yhtä suuri kuin menoannuiteetti (Pulkkinen & Holopainen 2006, 177). Tuloannuiteetti tarkoittaa investoinnin jäännösarvoa vastaavan annuiteetin ja vuotuisen bruttotuoton summaa. Menoannuiteetti on investoinnin perushankintakustannuksesta lasketun annuiteetin ja vuotuisten kustannusten summa. (Karjalainen 2001, 107.)

2.8.2 Nykyarvomenetelmä ja nettonykyarvomenetelmä

Nykyarvolla tarkoitetaan tulevaisuudessa suoritettavien maksujen arvoa tarkasteluhetkellä. Kaikki investoinnista kertyvät tuotot ja syntyvät kulut diskontataan⁴ nykyarvomenetelmässä nykyhetkeen laskentakoron avulla. (Jyrkkiö & Riistama 2004, 211; Vilkkumaa 2010, 227–228.) Diskonttauksen jälkeen investoinnin kannattavuutta ja erilaisia vaihtoehtoja voidaan vertailla keskenään (Vilkkumaa 2010, 228).

Nettonykyarvo eroaa nykyarvosta siten, että siinä otetaan huomioon myös ensimmäisen vuoden kassavirta. Nettonykyarvo lasketaan Knüpferin ja Puttosen (2009, 103) mukaan kaavalla 2:

⁴ Tulevaisuudessa tapahtuvan tuoton siirtämistä tarkasteluhetkeen korjaten sitä vuosittaisella korolla

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

CF_0 = ensimmäisen vuoden kassavirta
 CF_t = investoinnin synnyttämät nettotuotot vuonna t
n = investointiajanjakso vuosina
i = laskentakorkokanta.

Nettonykyarvo voidaan laskea kahdella menetelmällä. Ensimmäinen vaihtoehto on laskea ensin nettotuottojen nykyarvosumma laskemalla nettotuottojen nykyarvot yhteen. Nettotuottojen nykyarvosummasta vähennetään tämän jälkeen investointikustannus. Näin saadaan tulokseksi investoinnin nettonykyarvo, NPV. (Kaava 2.) Toinen vaihtoehto on laskea nettonykyarvo tuottojen nykyarvon ja kustannusten nykyarvon erotuksena (Vaasan yliopisto 2015, 1). Investoinnin nettonykyarvon on täytettävä kaksi kriteeriä, jotta investointi olisi hyväksyttävissä: 1) nettonykyarvon on oltava positiivinen ja 2) investoinnin nettonykyarvon on oltava suurempi kuin vaihtoehtoisen investoinnin nettonykyarvo. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 229.)

Nettonykyarvomenetelmää pidetään parhaana kannattavuuslaskentamenetelmänä, koska se ilmaisee investoinnista syntyvän arvonlisän. Menetelmän antama tulosta on helppo tulkita. Tulokset ovat yhteenlaskettavia: investointien nykyarvot voidaan laskea yhteen. Näin saadaan esille investoinnin kokonaisvaikutus. (Järvenpää, Länsiluoto, Partanen, & Pellinen 2010, 347.)

2.8.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Annuiteettimenetelmää voidaan käyttää sisäisen korkokannan selvittämiseen. Ensin määritetään investoinnin pääomakustannukset, joilla investointi tulee vuosittain katetuksi. Annuiteettitekijä saadaan jakamalla pääomakustannukset perusinvestoinnilla. Tämän jälkeen määritetään sisäinen korkokanta annuiteetti-
taulukon avulla. (Andersson ym. 2001, 143.)

Sisäinen korkokanta voidaan määrittää myös nykyarvomenetelmän avulla (Andersson ym. 2001, 143). Sisäisen korkokannan menetelmällä selvitetään se

laskentakorko, jota käyttämällä nettonykyarvo on nolla. Näin saatua sisäistä korkoa verrataan tavoitteeksi asetettuun laskentakorkokantaan. (Kinnunen, Laitinen, Laitinen, Leppiniemi & Puttonen 2007, 137.)

Sisäinen korkokanta i voidaan laskea Knüpferin ja Puttosen (2009, 103) mukaan kaavalla 3:

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (3)$$

NPV = nettonykyarvo

CF_0 = ensimmäisen vuoden kassavirta

CF_t = investoinnin synnyttämät nettotuotot vuonna t

n = investointiajanjakso vuosina

i = sisäinen korkokanta, kun NPV on 0.

Sisäisen korkokannan ollessa suurempi tai yhtä suuri kuin investoinnin laskentakorkokanta, voidaan investointia pitää kannattavana. Mikäli sisäinen korkokanta jää alle investoinnin laskentakorkokannan, ei investointi ole kannattava käynteillä laskentakorkokannalla. Käytetyn korkokannan tulee olla suhteessa suunnitellun investoinnin riskien kanssa. Jos laskentakorkokanta on liian suuri, aiheutuu investoinnille liian suuri tuottovaatimus. Tämä saattaa johtaa kannattavan investoinnin hylkäämiseen. Toisaalta liian alhainen korkokanta saa huonon investoinnin näyttämään kannattavalta. (Vilkkumaa 2010, 218.)

2.8.4 Korollisen takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä määritetään, kauanko kestää investoinnin perushankintakustannuksen takaisinmaksu (Vilkkumaa 2010, 220). Takaisinmaksuajan menetelmässä määritetään koroton takaisinmaksuaika eli aika, jossa hankintakustannus saadaan maksettua takaisin ilman korkoja (Jrkkio & Riistama 2004, 214). Korotonta takaisinmaksuajan menetelmää käytetään lähinnä pienten investointien arviointiin. Se suosii investointeja, joilla on lyhyt pitoaika ja korkea nettotuotto. (Andersson ym. 2001, 134–135.) Koroton takaisinmaksuaika n voidaan laskea Jyrkkiön ja Riistaman (2004, 214) mukaan kaavalla 4:

$$n = P/S, \quad (4)$$

n = koroton takaisinmaksuaika vuosina

P = Investointikustannus, perushankintakustannus

S = vuotuinen investoinnin nettotuotto.

Koroton takaisinmaksuaika ei ota huomioon laskennallista korkokantaa, jonka korollinen takaisinmaksuajan menetelmä ottaa huomioon. Korollisessa takaisinmaksuajassa tuotot diskontataan korkokannan mukaan nykyhetkeen eli investoinnin alkuhetkeen. (Tevä-Helminen 2013, 22.) Korollisen takaisinmaksuajan menetelmän takaisinmaksuaika n voidaan laskea Tevä-Helmisen (2013, 22) mukaan kaavalla 5:

$$n = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (5)$$

n = takaisinmaksuaika

S = vuotuinen nettotuotto

H = hankintakustannus, investointi

i = laskentakorko.

Korollisen takaisinmaksuajan menetelmällä saadaan vastaukset kysymyksiin, kuinka pitkä aika menee, että investointi maksaa itsensä takaisin sekä missä ajassa investoinnin nettotuotot ylittävät perushankintakustannukset. (Tenhunen 2013.)

2.9 Riskit ja herkkyyshanalyysi

Investointiin liittyy useita epävarmuustekijöitä eli riskejä. Tämä johtuu investointihankkeen pitkästä vaikutusajasta. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 218; Pulkkinen & Holopainen 2006, 187.) Tulevaisuudessa vaikuttavia tekijöitä on vaikea ennustaa:

1. Korko saattaa muuttua nopeastikin ja se vaikuttaa investoinnin tuottoon.
2. Tuottojen ja kustannusten suuruuteen vaikuttavat markkinatilanne sekä ostohinnat ja palkkakustannukset.
3. Pitoaika on riippuvainen taloudellisista ja laatutekijöistä sekä teknisestä kestävydestä. (Andersson ym. 2001, 148.)

Investointikustannukset sen sijaan voidaan arvioida tarkasti. Laskelmiin liittyviä riskejä voidaan pienentää selvittämällä hankkeeseen liittyvät riskit ja niiden todennäköisyydet tai tekemällä vaihtoehtoisia laskelmia. Vaihtoehtoisten laskelmien tekeminen on yleisempi tapa selvittää investointiin liittyvät riskitekijät ja niiden vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Tätä kutsutaan herkkyysanalyysiksi. Tavallisesti herkkyysanalyysi tehdään kolmella vaihtoehdolla: pessimistinen, optimistinen ja todennäköinen vaihtoehto. (Pulkinen & Holopainen 2006, 187–189.) Herkkyysanalyysin tarkoituksena on varmistaa, että investoinnin kannattavuus on riittävä, mahdolliset haittatekijät on tunnistettu ja kannattavuuden uhkatekijöiden torjuntaan on varauduttu. Analyysi syventää näkemystä investoinnin kannattavuudesta. (Vilkkumaa 2010, 236–237.)

Herkkyysanalyysillä tutkitaan, kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu, jos yhtä tai useampaa kannattavuuteen vaikuttavaa tekijää muutetaan. Jokaisen muutoksen jälkeen tutkitaan muutoksen vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, 218; Tevä-Helminen 2013, 24, Yritystulkki 2014, 10.) Herkkyysanalyysin yhteydessä lasketaan usein eri tekijöiden kriittiset arvot, joilla investointi on vielä kannattava (Ikäheimo ym. 2009, 219). Yksinkertaisimmin tämä tehdään tutkimalla investoinnin nykyarvon herkkyyttä muutoksille tulevaisuuden tuotoissa ja kustannuksissa. Herkkyysanalyysin avulla päätöksentekijä näkee, mitkä tekijät vaikuttavat kriittisimmin investoinnin kannattavuuteen. (Knüpfer & Puttonen 2009, 103.)

3 Biokaasun tuotanto ja käyttö

Anaerobisella orgaanisen jätteen käsittelyllä ja biokaasun käytöllä saavutetaan monenlaisia hyötyjä. Biokaasulla on paljon erilaisia käyttömahdollisuuksia ja prosessivaihtoehtoja on paljon. Hyvin monet tekijät vaikuttavat biokaasun valmistusprosessin toimivuuteen.

3.1 Biokaasun tuotannon etuja sekä biokaasun käyttömahdollisuuksia

Mädättäminen on ekologisesti kestävä tapa käsitellä biohajoavia jätteitä ja tuottaa energiaa (Huovari ym. 2008, 6). Biokaasua voidaan käyttää energianlähteenä monenlaisissa sovelluksissa: lämmön, höyryn ja sähkön tuottamisessa sekä kuluneuvojen polttoaineena. Kemianteollisuus pystyy hyödyntämään biometaania kemikaalien valmistuksen raaka-aineena. Biokaasua voidaan käyttää lähes kaikissa sovelluksissa, joissa voidaan käyttää maakaasua. (Appels, Baeyens, Degrève & Dewil 2008, 773–774.)

Anaerobisessa hajoamisessa lannan hajuhaitat (Huovari ym. 2008, 6) ja kasvi-huonepäästöt vähenevät, kun eläinten lanta mädätetään (Lehtomäki 2006, 18). Syntynyt mädätysjäännös on juoksevampaa ja levitettäessä pelloille se imeytyy nopeammin kuin käsittelemätön liete. Mädätysjäännöksessä typpi on kasveille paremmin hyödynnettävässä muodossa kuin käsittelemättömässä lannassa. Tyypen paremman mobilisaation ansiosta ostolannoitepanosten tarve pienenee, kun käytetään mädätysjäännöstä peltojen lannoittamiseen. (Huovari ym. 2008, 6.) Typpi on helpommin haihtuvassa muodossa, mikä pitää ottaa huomioon mädätysjäännöksen levitystekniikassa typpihäviöiden välttämiseksi (Kapuinen 1996, 10–13).

Uusiutuvista lähteistä ja kaatopaikoilta saatava biokaasu ja siitä valmistettava biometaani ovat uusiutuvaa polttoainetta. Biometaani vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista korvaamalla maakaasun käyttöä. Biokaasun tuotanto luo paikallisesti uutta liiketoimintaa ja työpaikkoja. Biometaanin kuljetuksessa voidaan hyödyntää olemassa olevaa maakaasuverkostoa. Biokaasun ja biometaanin valmistus edistävät orgaanisten jätteiden käyttöä uusiutuvana energianlähteenä. (Goyal ym. 2013, 337–338). Käytettäessä biokaasusta valmistettua biometaania liikennepolttoaineena, tippuvat hiilidioksidipäästöt 95 % dieseliin verrattuna (Appels ym. 2008, 773–774) ja 88 % bensiiniin verrattuna (Goyal ym. 2013, 338).

Mädättäminen on anaerobinen prosessi. Suurin osa rikkaruohon siemenistä ja mikrobeista kuolevat mädättämisen aikana. Usein mikrobien tuhoutuminen varmistetaan mädätysjäännöksen lämmittämällä 70 °C:n lämpötilaan tunnin ajaksi. Mädättäminen vähentää orgaanisen jätteen hajoamisessa syntyviä hajuhaittoja. (Khan & Islam 2011, 27.)

Tulevaisuudessa voidaan käyttää polttokennoja sähkön tuotantoon pienen mitta-kaavan voimalaitoksissa. Polttokennojen etuina ovat pienet päästöt sekä suurempi sähkön hyötysuhde kuin perinteisessä kaasua käyttävässä sähkögeneraattorissa. Erityisesti kuumapolttokennot ovat suuren mielenkiinnon kohteena. Niissä hiilidioksidi on lämmönsiirtoaineena eikä inhiboi elektrokemiallista prosessia. (Appels ym. 2008, 773–774.)

3.2 Esikäsittelytekniikat

Syötteen esikäsittely parantaa biokaasun saantoa. Esikäsittely rikkoo orgaanisten yhdisteiden rakenteita yksinkertaisempiin muotoihin ja tekee niistä alttiimpia mikrobiselle hajoamiselle. Esikäsittelytekniikoita on useita, kuten mekaaninen, terminen, kemiallinen ja biologinen käsittely. (Deepanraj ym. 2014, 84.)

Mekaaninen käsittely voidaan tehdä jyrsimillä tai ultraäänellä. Mekaanisen käsittelyn tarkoituksena on pienentää syötteen partikkelikokoa. Pieni partikkelikoko nopeuttaa mätänemistä, koska bakteerien toimintapinta-ala on isompi. Ultraäänikäsittely hajottaa partikkeleita, luo suotuisat olosuhteet biologiselle hajoamiselle ja edistää biokaasun tuotantoa. (Deepanraj ym. 2014, 84.)

Terminen esikäsittely tehdään yleensä termisellä hydrolyysillä⁵, mikroaaltolämpökäsittelyllä tai höyryräjäytyksellä⁶. Lämpökäsittely lisää biokaasun tuottoa parantamalla orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden liukoisuutta. Kemiallinen

⁵ Kuumennus 130–190 °C:n lämpötilaan, jolloin orgaaninen aines hajoaa ja taudinaiheuttajat kuolevat

⁶ Käsittely paineistetulla höyryllä, jota seuraa nopea paineen alennus

esikäsitteily tehdään hapoilla, emäksillä, hapetuksella ja otsonikäsitteilyllä. Selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin liukoisuus ja biohajoavuus paranevat. (Deepanraj ym. 2014, 84.)

Biologinen esikäsitteily tehdään mikrobeilla, kuten rusko-, valko- ja katkolahosienillä. Niiden tuottamat entsyymit⁷ hajottavat ligniiniä, selluloosaa ja hemiselluloosaa. Ruskolahosienet pystyvät hajottamaan selluloosaa ja hemiselluloosaa. Valkolahosienet ja katkolahosienet hajottavat pääsääntöisesti selluloosaa ja ligniiniä. (Deepanraj ym. 2014, 84.)

3.3 Erilaisia mädätysprosesseja ja reaktoreita

Biokaasua voidaan valmistaa useilla erilaisilla prosesseilla: mesofiilinen tai termofiilinen lämpötila-alue, panos- tai jatkuvatoiminen reaktori, yksi- tai monivaiheinen prosessi, märkä- tai kuivaprosessi sekä jälkimädätys tai ilman jälkimädätystä. Hygienisointi voidaan suorittaa mädätystä ennen tai jälkeen. Erilaisia prosessiratkaisuja voidaan yhdistää keskenään hyvin erilaisilla tavoilla. Ratkaisuilla on vaikutusta prosessin toimivuuteen, energian kulutukseen ja biokaasulaitoksen kannattavuuteen.

3.3.1 Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi

Prosessin oikea lämpötila on tärkeää biokaasun tuotannossa. Kun prosessin lämpötila nousee, nousee myös metaanin tuottotaso. Liian korkea lämpötila nostaa vapaan ammoniakin määrää, mikä johtaa metaanin muodostumisen inhibitioon. (Panwar ym. 2013, 161.) Biokaasun muodostumisella on kaksi optimilämpötila-alueita: mesofiilinen lämpötila, 24–40 °C, ja termofiilinen lämpötila, 50–60 °C (Khan & Islam 2011, 26). Myös psykfrofiilinen prosessi on mahdollista. Psykfrofiilisen prosessin lämpötila on 15–25 °C. Bakteerit ovat kuitenkin aktiivisimpia mesofiilisissä tai termofiilisissä olosuhteissa. (Khan & Islam 2011, 26.)

⁷ Proteiineja, jotka toimivat kemiallisten reaktioiden katalyytteinä.

Termofiilisissä olosuhteissa orgaaninen materiaali liukenee paremmin ja kiintoainesta hajoaa enemmän, reaktio on nopeampi, biokaasun tuotto on parempi ja patogeenit sekä rikkaruohot tuhoutuvat paremmin kuin mesofiilisissä olosuhteissa. Termofiiliset bakteerit ovat herkempiä olosuhteiden vaihteluille kuin mesofiiliset bakteerit. (Appels ym. 2008, 759.) Mesofiilinen prosessi on helpommin hallittavissa: mesofiilinen prosessi ei ole niin herkkä lämpötilan ja pH:n muutoksille eikä inhibiittoreiden, kuten ammoniakkin, vaikutuksille. (Lehtomäki ym. 2007, 31–32.) Metaania tuottavat bakteerit ovat erittäin herkkiä lämpötilavaihteluille. Jo 5 °C:n lämpötilavaihtelu pudottaa biokaasun tuottoa huomattavasti. (Khan & Islam 2011, 26.)

Koska biomassa hajoaa termofiilisessä prosessissa nopeammin, on prosessin viipymä lyhempi ja siten myös prosessin vaatima reaktoritilavuus on pienempi kuin mesofiilisessä prosessissa. Tämä pienentää rakennuskustannuksia. Toisaalta prosessi vaatii enemmän energiaa. (Lehtomäki ym. 2007, 31–32.) Ammoniakin määrä lisääntyy korkeissa prosessilämpötiloissa. Tällä on inhiboiva vaikutus biokaasun tuottoon. (Appels ym. 2008, 759.)

3.3.2 Panos- ja jatkuvatoimiset prosessit

Mädättäminen voi tapahtua panos- tai jatkuvatoimisesti. Yleisemmin käytössä on jatkuvatoiminen prosessi. Etuna tässä prosessissa on kaasuntuoton tasaisuus ja toisaalta prosessi voidaan automatisoida, jolloin prosessin hoito on yksinkertaisempaa ja vaatii vähemmän työtä. (Lehtomäki ym. 2007, 34.) Jatkuvatoimisessa prosessissa syötettä lisätään ja mädätysjäännöstä poistetaan reaktorista koko ajan yhtä paljon. Tuloksena on jatkuva ja tasainen biokaasun tuotto. (Deepanraj ym. 2014, 88.)

Yleisimmin käytetty reaktorityyppi on jatkuvatoiminen ja -sekoitteinen CSTR-reaktori. Kaikkien CSTR-reaktoreiden rakenne on samanlainen. Jokaisen CSTR-reaktorissa täytyy olla 1) täyttöaukko, josta syöte syötetään reaktoriin, 2) sekoittaja, joka sekoittaa reaktorin sisältöä ja 3) poistoaukko, josta mädätysjäännös

poistetaan reaktorista. Sisääntulo- ja ulostulonopeudet ovat yhtä suuret, jotta tilavuus reaktorin sisällä pysyy vakiona. Biometaanin tuottomäärät, pH ja haihtuvien rasvahappojen määrä ovat indikaattoreita, joita seurataan prosessin aikana. Niiden pitoisuudet kertovat prosessin tilasta. (Wang 2010, 6.)

Panosprosessissa reaktori täytetään kerralla. Reaktio annetaan mennä loppuun, minkä jälkeen reaktori tyhjenetään ja täytetään uudelleen uutta panosta varten. Jos biokaasun tuotto halutaan saada panosprosessissa tasaiseksi, täytyy käyttää useampaa reaktoria yhtä aikaa. Tällöin pyritään siihen, että kaikki reaktorit ovat biokaasun tuoton kannalta eri vaiheissa.

3.3.3 Yksi- ja monivaiheiset prosessit

Biokaasun valmistusprosesseissa käytetään yksi- ja monivaiheisia prosesseja. Monivaiheista prosessia käytetään, kun halutaan erottaa biokaasun muodostumisen eri vaiheet toisistaan tai kun halutaan pidentää viipymäaika. Monivaiheisen prosessin tarkoituksena on tehostaa hajotusta ja lisätä kaasuntuottoa. Biokaasun muodostumisen eri vaiheiden erottaminen toisistaan takaa optimiolosuhteet kunkin vaiheen mikrobeille. (Lehtomäki ym. 2007, 34–35, Wang 2010, 8–9.)

Kaksivaiheisessa prosessissa prosessia jaksotettaessa käytetään kahta reaktoria, joista toinen on päämädätysreaktori ja toinen jälkimädätysreaktori. Pääreaktorissa voidaan käyttää lyhempää viipymäaika kuin yksivaiheisessa prosessissa, koska jälkimädätysreaktorissa mätäneminen ja biokaasun muodostuminen jatkuu. (Lehtomäki ym. 2007, 34–35, Wang 2010, 8–9.) Pidempi viipymäaika vähentää syötteen ohivirtauksen riskiä. (Lehtomäki ym. 2007, 35.)

3.3.4 Märkä- ja kuivaprocessit sekä osavirtamädätys

CSTR-reaktori on yleisimmin käytetty reaktorityyppi mädätettäessä nestemäisiä syötteitä, joiden kuiva-ainepitoisuus on 2–8 %. CSTR-reaktoria voidaan kuitenkin käyttää myös syötteille, joiden kuiva-ainepitoisuus on 16–22 %. (Wang 2010, 6.)

Näitä prosesseja kutsutaan märkäprosesseiksi. Niiden syöte ja mädätysjäännös ovat helposti pumpattavissa ja sekoitettavissa. Mekaaninen sekoittaminen, kaasukuplien tai lietteen kierrätys ovat yleisimpiä sekoitusvaihtoehtoja. (Lehtomäki ym. 2007, 32.)

Märkäprosessi on automatisoitavissa ja hallittavissa, mutta sen kaasuntuotto on alhaisempi reaktoritilaavuutta kohden kuin kuivaprosessin. Kaasuntuottoa voidaan lisätä käsittelemällä kuivempia materiaaleja märkäprosessin syötteiden joukossa. Tällöin kiinteä syöte kuljetetaan esimerkiksi ruuvikuljettimilla reaktoriin. (Lehtomäki ym. 2007, 32–33.)

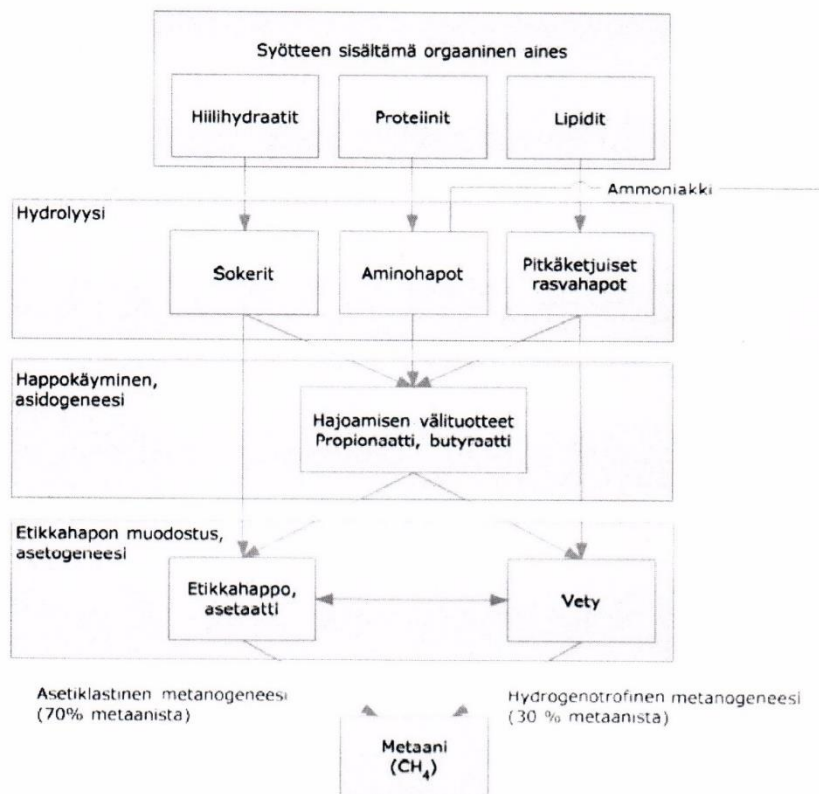
Kuivaprosessissa eli kiinteämädätyksessä kuiva-ainepitoisuus on noin 20–40 % (Deepanraj ym. 2014, 88). Kuivaprosessin biokaasuntuotto on korkeampaa reaktiivilavuutta kohden kuin märkäprosessissa. Kiinteämädätys on usein suotopeti-prosessi. Suotopetiprosessissa suotovettä kierrätetään takaisin käsiteltävään materiaaliin. Tämä edistää mikrobien, ravinteiden ja hajoamistuotteiden jakautumista tasaisesti käsiteltävään massaan. Kuivaprosessin haittana on alhainen puskurikapasiteetti. Siksi valvonnan ja prosessin ohjauksen tarve ovat suurempia kuin märkäprosessissa. Lisäksi syötteen kuljetustekniikka on kalliimpaa kuin märkäprosessissa. Kiinteämädätyksen lämmitystarve on märkäprosessia pienempi, koska kiinteämädätyksessä muodostuu enemmän lämpöä. (Lehtomäki ym. 2007, 33.)

Osavirtamädätyksessä osa biohajoavasta aineesta mädätetään ja osa sekoitetaan mädätysjäännöksen sekaan ja ohjataan suoraan kompostointiin. Mädättämätön biohajoava aines sisältää kompostointiin tarvittavan määrän energiaa. Osavirtamädätyksessä ei synny viemäriin johdettavia jätevesiä. (Rautio 2014, 21–23.)

3.4 Anaerobinen hajoaminen

Biokaasun valmistuksessa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta tuottaen samalla biokaasua hapettomassa reaktorissa. Mädätysprosessiin osallistuvat mikro-organismit ovat anaerobeja tai fakultatiivisesti anaerobeja⁸. Bakteerien lisäksi jotkut fermentatiiviset alkueläimet, sienet ja muut organismit saattavat osallistua mädättämiseen. (Khan & Islam 2011, 23.)

Anaerobinen hajoaminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen: 1) hydrolyysi, 2) asidogeneesi, 3) asetogeneesi ja 4) metanogeneesi (kuvio 1). Mädättämiseen osallistuu pääsääntöisesti kolmeen ryhmään kuuluvia bakteereita: fermentatiiviset bakteerit, asetogeeniset bakteerit sekä metanogeeniset bakteerit. Fermentatiiviset bakteerit osallistuvat sekä hydrolyysiin että asidogeneesiin. (Khan & Islam 2011, 23.)



Kuvio 1. Syötteen anaerobinen hajoaminen. (Latvala 2009, 30.)

⁸ Voivat kasvaa sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa

3.4.1 Hydrolyysi ja asidogeneesi

Anaerobisen hajoamisen ensimmäinen vaihe on hydrolyysi. Tässä vaiheessa monimutkaiset orgaaniset yhdisteet hajotetaan yksinkertaisiksi liukoiksi yhdisteiksi. (Deepanraj ym. 2014, 82.) Hydrolyysivaiheessa hydrolyyttiset bakteerit, joita kutsutaan myös fermentatiivisiksi bakteereiksi, erittävät solunsa ulkopuolelle entsyymejä (Panwar ym. 2013, 160–161). Tällaisia entsyymejä ovat sellulaasit, amylaasit, pektinaasit, proteaasit ja lipaasit. Sellulaasit, amylaasit ja pektinaasit pilkkovat pitkiä hiilihydraattiketjuja eli polysakkarideja, kuten selluloosaa, tärkkelystä ja pektiiniä, monosakkarideiksi. Proteaasit pilkkovat proteiineja peptideiksi ja aminohapoiksi ja lipaasit pilkkovat lipidejä pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. (Deepanraj ym. 2014, 81–82.)

Hydrolyysivaiheeseen osallistuvat bakteerit ovat anaerobeja tai fakultatiivisesti anaerobeja (Panwar ym. 2013, 162). Hiilihydraattien hajottamiseen osallistuvat *Clostridium*, *Staphylococcus* ja *Bacteriodes*. Proteaaseja tuottavia bakteereita ovat *Clostridium*, *Bacillus*, *Bacteriodes* ja *Proteus vulgaris*. Rasvojen hajottamiseen osallistuvat *Clostridium*, *Micrococcus* ja *Staphylococcus*. (Deepanraj ym. 2014, 81.)

Toisessa vaiheessa orgaaniset yhdisteet, sokerit, peptidit, aminohapot ja rasvahapot, muuntuvat happokäymisessä orgaanisiksi hapoiksi, alkoholeiksi, ketoneiksi, asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Päätuote on etikkahappo. Myös muita orgaanisia happoja, kuten propionihappoa, muurahaishappoa ja maitohappoa, muodostuu. Tätä vaihetta voidaan kutsua monella nimellä: happokäyminen eli happofermentaatio, asidogeneesi ja mätäneminen. (Deepanraj ym. 2014, 82, Goyal ym. 2013, 343.) *Lactobacillus*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Streptococcus* ja monet rikkiä kuluttavat bakteerit osallistuvat aminohappojen hajotukseen. Sokereita hajottavat *Clostridium* ja *Streptococcus*. (Deepanraj ym. 2014, 81.) Nämä bakteerit kuluttavat happea ja hiilidioksidia etikkahapon muodostamiseen. Tämä tuottaa anaerobeille otolliset olosuhteet metaanin tuottamiselle. (Panwar ym. 2013, 162.)

3.4.2 Asetogeneesi ja metanogeneesi

Asetogeeniset eli asetoklastiset bakteerit tuottavat mädättämisen kolmannessa vaiheessa karboksyylihapoista asetaatteja, etikkahappoa, hiilidioksidia ja vetykaasua (Lampinen 2004, 4–5). Tähän vaiheeseen osallistuvia bakteereita ovat *Arcoxydotherrnus hydrogenoformans*, *Morella thermoacetica* ja *Pelotomaculum thermopropionicum* (Panwar ym. 2013, 162).

Metanogeneesi eli metaanin muodostuminen on prosessin viimeinen vaihe. Metanogeneesiin osallistuu metanogeenisiä bakteereita, jotka voidaan jakaa kahteen luokkaan. Metanogeenisistä bakteereista 70 % ovat asetoklastisia. (Goyal ym. 2013, 343.) Tällaisia bakteereita ovat *Methanosarcina barkeri* ja *Methanosarcina acetivorans* (Panwar ym. 2013, 162). Ne tuottavat metaanin asetaatista. Loput 30 % metanogeenisistä bakteereista ovat hydrogenotrofisia. Ne tuottavat metaanin vedystä ja hiilidioksidista. (Goyal ym. 2013, 343.) Tällaisia bakteereita ovat *Methanoculleus marisnigri*, *Methanoregula boonei*, *Methanosphaerula palustris*, *Methanospirillum hungatei*, *Methanoplanus petrolearius* ja *Methanocorpusculum labreanum*. (Panwar ym. 2013, 162.) Vain harvat metanogeeniset bakteerit pystyvät tuottamaan metaania. Sen sijaan kaikki metanogeeniset bakteerit pystyvät tuottamaan vetyä metaanista. (Weiland 2009, 850.) Kaikki metanogeeniset bakteerit ovat anaerobeja ja ovat siksi erittäin herkkiä hapelle (Panwar ym. 2013, 162).

Liian korkea vetypitoisuus inhiboi asetogeneesiä. Metanogeenit kuluttavat asetogeenien tuottamaa vetyä. Näiden vedyntuottajien ja kuluttajien välillä vallitsee tasapaino eli asetogeenit ja metanogeenit elävät symbioosissa keskenään. (Appels ym. 2008, 768–769.)

3.5 Prosessiolosuhteiden ja ravinteiden vaikutus biokaasun valmistusprosessiin

Anaerobisen hajoamisprosessin toimivuuden kannalta sopivat olosuhteet eri hajoamisvaiheissa ovat välttämättömät. Olosuhteiden ollessa suotuisat prosessi toimii hyvin ja raaka-aine hajoaa. Inhiboivat tekijät häiritsevät anaerobista hajoamista. Inhibiittoreita ovat muun muassa ammoniakki, rikki, raskasmetallit ja syntyvät rasvahapot. Inhibiittoreiden toimintaan vaikuttavat olosuhteet, kuten lämpötila ja pH. (Chen ym. 2008, 4044–4058.)

Khanin ja Islamin (2011, 24) mukaan biokaasulaitoksen käynnistysvaihe on kaikista ongelmallisista vaiheista; oikean mikrobipopulaatiotasapainon löytymiseen voi mennä pitkä aika. Siksi heidän mukaan on suositeltavaa käyttää ymppeä⁹ nopeuttamaan alkuvaihetta. Aloitussvaiheen aikana kaikenlaiset bakteerit ottavat osaa hajoamiseen. Anaerobiset olosuhteet luovat anaerobisille bakteereille otolliset olosuhteet ottaa ylivalta prosessissa. Ravinteita tulee lisätä sekä pH:ta ja lämpötilaa säätää optimaaliselle alueelle. (Khan & Islam 2011, 24–25.)

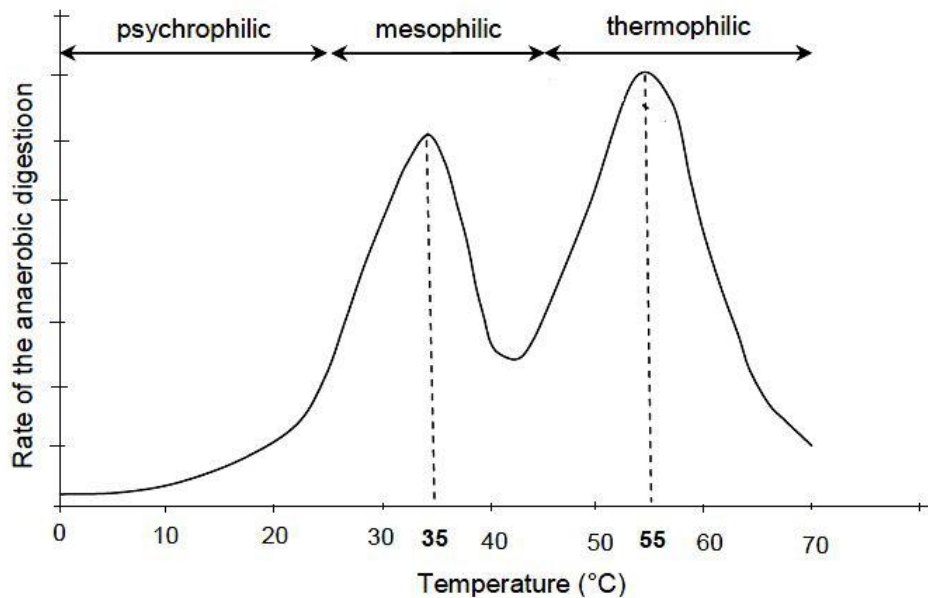
3.5.1 Lämpötila, viipymäaika ja kuormitus

Lämpötila on tärkein biokaasun muodostumiseen vaikuttava olosuhdetekijä. Korkeammissa lämpötiloissa etuna on biokemiallisten reaktioiden reaktionopeuden kasvu. Tämä johtaa anaerobisen hajoamisen nopeutumiseen ja biokaasun tuotannon tehokkuuden kasvuun lämpötilan noustessa. (Appels ym. 2008, 759.) Anaerobinen hajoaminen päättyy lämpötilan laskiessa alle 10 °C:n. Siksi käytössä on pääsääntöisesti mesofiilisiä ja termofiilisiä prosesseja. (Deepanraj ym. 2014, 83.)

Syötteen tarvitsema viipymäaika lyhenee lämpötilan noustessa. Kun prosessin lämpötila nousee, nousee solunulkoisten entsyymien aktiivisuus. Tämä johtaa ravinteiden kulutukseen kasvuun. Syötettä lisätään, jotta prosessi saa riittävästi

⁹ Lisäys, jossa on toivottuja mikrobeja. Mikrobit lisääntyvät uudessa ympäristössä.

ravinteita. Mikrobikasvu kaksinkertaistuu jokaista 10 °C:n lämpötilannousua kohden kunnes saavutetaan optimaalisen lämpötila-alueen lakipiste. Tämän jälkeen biokaasutuotanto romahtaa nopeasti. (Khan & Islam 2011, 25.) Kuvio 2 näyttää, kuinka lämpötila vaikuttaa orgaanisen aineksen hajoamiseen.



Kuvio 2. Lämpötilan vaikutus anaerobiseen hajoamiseen. (Deepanraj ym. 2014, 83.)

Viipymäaika vaikuttaa siihen, miten hyvin raaka-aine ehtii hajota prosessissa. Kiintoaineen viipymäaika on aika, jonka kiintoaine on prosessissa. Hydraulinen viipymäaika on aika, jonka neste on prosessissa. Jatkuvatoimisessa ja -sekoitteisessä prosessissa mädätysjäännöstä poistetaan reaktorista sitä mukaa, kun syötettä syötetään reaktoriin. Osa mädätykseen osallistuvista bakteereista, myös metanogeenisistä bakteereista, poistuu mädätysjäännöksen mukana. Alle 5 päivän viipymä johtaa haihtuvien rasvahappojen konsentraation kasvuun metanogeenisten bakteereiden vähäisyyden takia. Reaktorissa on 5–8 päivän viipymän jälkeen vielä epätäydellistä hajoamista. Rasvat alkavat pilkkoutua 8–10 päivän viipymän aikana, ja yli 10 päivän jälkeen hajoaminen on merkittävästi edennyt. Kiintoaineen viipymä on tärkeä tekijä mädätysprosessissa. (Appels ym. 2008, 759.) Viipymäajan pituuteen vaikuttavat käytetty raaka-aine, reaktoryyppi sekä reaktiolämpötila.

Orgaanisen kuorman määrä, kg VS/m³, kertoo, kuinka paljon vuorokaudessa syötetään biomassaa reaktoriin suhteessa reaktorin kokoon. Käytetyt raaka-aineet eli syötteet vaikuttavat orgaanisen kuorman määrään. (Babae & Shayegan 2011, 411.)

Biokaasua voidaan valmistaa syöttömateriaaleista, joiden kuiva-ainepitoisuus on 1–30 %. Optimaalinen kuiva-ainepitoisuus biokaasun tuotannolle on 6–12 %. (Khan & Islam 2011, 25.) Orgaanisen aineksen määrä on tärkeä mädättämiseen vaikuttava tekijä. Orgaanisen aineksen ylikuormitus lisää happamuutta prosessissa. Optimaalinen kuiva-ainemäärä on 0,5–2 kg/m³ vuorokaudessa syötteestä viipymääjan ja prosessilämpötilan mukaan. (Deepanraj ym. 2014, 83.)

3.5.2 Sekoitus ja hiili-typpe-suhde

Hyvä sekoittaminen takaa bakteereiden ravinnon saannin, lämpötilaerojen tasoittamisen ja bakteereiden levittämisen tasaisesti biomassaan. Sekoittaminen vapauttaa biokaasukuplat käsiteltävästä materiaalista ja estää pintalietteen muodostumista ja laskeutumista. (Deepanraj ym. 2014, 84, Khan & Islam 2011, 26.) Sekoittaminen voidaan tehdä mekaanisesti sekoittajalla, kaasukuplien tai lietteen kierrätyksen avulla. (Deepanraj ym. 2014, 84, Lehtomäki ym. 2007, 32.)

Raaka-aineen hiili-typpe-suhde vaikuttaa prosessin toimivuuteen. Kaikki organismit tarvitsevat hiiltä energiaksi ja typpeä rakennusaineeksi. Hiiltä mikrobit tarvitsevat 30 kertaa enemmän kuin typpeä, jotta ne voivat käyttää typpeä proteiinien rakennusaineena. Siksi on tärkeää, että hiili-typpe-suhde on oikea. (Deepanraj ym. 2014, 84, Khan & Islam 2011, 25.) Jos hiili-typpe-suhde on liian korkea, ottavat metanogeenit vallan prosessissa. Tämä johtaa matalaan biokaasun tuotantoon. Matala hiili-typpe-suhde johtaa ammoniakkin muodostumiseen ja pH:n nousuun. Tämä on myrkyllistä metanogeeneille. (Deepanraj ym. 2014, 84.) Hiilen ja typen lisäksi mikrobit tarvitsevat kasvaakseen hivenaineita, kuten rikkiä, fosforia, magnesiumia ja kalsiumia. (Khan & Islam 2011, 25.)

3.5.3 pH, inhibiittorit ja ammoniakki

Anaerobisen hajoamisen eri prosessivaiheilla on erilainen pH-optimi. Metanogeenisten bakteereiden pH-optimi on 6,5–7,2. Ne ovat erittäin herkkiä pH:n vaihtelulle. Fermentatiiviset bakteerit sietävät paremmin pH:n vaihtelua kuin metanogeeniset bakteerit. Niiden pH-optimi on 4,0–8,5. (Appels ym. 2008, 759.) Substraatin muuttuminen orgaaniseksi hapoiksi alentaa pH:ta. Metaania tuottavat bakteerit pilkkovat happoja, jolloin pH palautuu neutraaliksi. (Khan & Islam 2011, 26.)

Biokaasureaktorin epästabiilisuus johtuu pääsääntöisesti happoja ja metaania tuottavien mikro-organismien epätasapainosta. Inhibiittoritekijät ovat suurin syy epätasapainoon. (Chen ym. 2008, 4045.) Inhibiittoreita ovat ammoniakki, ravinteet, raskasmetallit, klooriyhdisteet, haihtuvat rasvahapot ja pitkäketjuiset rasvahapot.

Ammoniakkia syntyy tyypeä sisältävien materiaalien, kuten virtsan ja proteiinien, hajotessa (Appels ym. 2008, 766). Ammoniakki aiheuttaa solunsisäistä pH:n muutosta, lisää huoltoon tarvittavaa energiaa ja spesifisten entsyymireaktioiden inhiboitumista. Pääsääntöisesti vesiliuoksessa esiintyy ammonium-ioneja ja vapaa ammoniakkia. (Chen ym. 2008, 4045.) Vapaa ammoniakki läpäisee soluseinän. Siksi oletetaan, että vapaa ammoniakki vaikuttaa pääasiallisesti inhiboitumisen. (Appels ym. 2008, 766.) Chenin ym. (2008, 4045) mukaan inhibiittori-vaikutus on suurempi asetoklastisten metanogeenien toimintaan kuin hydrogentrofisten metanogeenien toimintaan.

3.5.4 Ravinteet, vety, raskasmetallit ja klooriyhdisteet

Liian korkeat kationipitoisuudet voivat olla myrkyllisiä bakteereille. Tällaisia katiooneita ovat natrium ja kalium. Ne ovat välttämättömiä bakteereiden toiminnalle, mutta niiden liian korkeat pitoisuudet ovat haitallisia bakteereille. (Appels ym. 2008, 768; Khan & Islam 2011, 26.)

Vetyä muodostuu anaerobisen hajoamisen välituotteena. Rasvahappojen ja muiden aineenvaihduntatuotteiden asetogeneesi voi toimia vain, jos vetyä ei kerry liikaa reaktoriin ja metanogeenit pystyvät käyttämään muodostuneen vedyn. (Appels ym. 2008, 768–769.)

Raskasmetallit ja klooriyhdisteet voivat pieninäkin pitoisuuksina olla myrkyllisiä bakteereille. (Khan & Islam 2011, 26.) Teollisuuden epäpuhtaudet sisältävät mm. sinkkiä, kuparia, kromia, nikkeliä, kadmiumia ja lyijyä. Raskasmetallit aiheuttavat ongelmia nitrifikaatio¹⁰- ja denitrifikaatiovaiheille¹¹. Monet entsyymit ja koentsyymit¹² tarvitsevat toimiakseen pieniä määriä raskasmetalleja. Suurina määrinä ne inhiboivat bakteereiden toimintaa ja voivat olla myrkyllisiä bakteereille. Raskasmetallien myrkyllisyys johtuu siitä, että ne sitoutuvat entsyymeihin ja häiritsevät niiden toimintaa. (Appels ym. 2008, 766.)

3.5.5 Haihtuvat rasvahapot ja pitkäketjuiset rasvahapot

Haihtuvia rasvahappoja muodostuu anaerobisen hajoamisen välituotteena. Ne hajoavat asetogeenisten ja metanogeenisten bakteereiden yhteistyöllä. Haihtuvien rasvahappojen muodostuminen voi olla myrkyllistä erityisesti metanogeenille. Haihtuvien rasvahappojen liiallinen muodostuminen on seurausta esimerkiksi lämpötilanvaihtelusta, liian suuresta orgaanisen aineksen määrästä reaktorissa tai myrkyllisistä yhdisteistä. Tällaisissa tapauksissa metanogeenit eivät pysty käyttämään vetyä ja haihtuvia rasvahappoja riittävän nopeasti. Tämä aiheuttaa pH:n laskun sellaiselle tasolle, että hydrolyysi ja asetogeneesi estyvät. Tämä lopettaa biokaasun muodostumisen. (Appels ym. 2008, 769.)

¹⁰ Pelkistyneet typpi yhdisteet, kuten ammoniakki, hapettuvat nitriitin kautta nitraatiksi.

¹¹ Nitraatti- ja nitriitti-ionit pelkistyvät typpikaasuksi, joka vapautuu ilmakehään.

¹² Orgaaninen yhdiste, joka yhdessä entsyymin proteiiniosan kanssa muodostaa toimivan entsyymin.

Pitkäketjuiset rasvahapot syntyvät rasvojen ja lipidien hajotessa asetaatiksi ja vedyksi β -oksidaatiossa asetogeenien vaikutuksesta. Pitkäketjuiset rasvahapot inhiboivat Gram-positiivisia¹³ bakteereita pieninä pitoisuuksina. Pitkäketjuisten rasvahappojen inhiboiva vaikutus johtuu niiden kyvystä tunkeutua soluseinän tai solukalvon lävitse. Tämä häiritsee solujen puolustusjärjestelmää tai niiden kykyä kuljettaa aineita solun sisään ja ulos solusta. Asetoklastiset metanogeenit ovat herkempiä pitkäketjuisten rasvahappojen vaikutukselle kuin hydrogenotrofiset metanogeenit. Termofiiliset bakteerit eivät ole yhtä herkkiä pitkäketjuisten rasvahappojen vaikutukselle kuin mesofiiliset bakteerit. Nämä erot johtuvat bakteereiden erilaisesta solukalvorakenteesta. (Appels ym. 2008, 769.)

3.6 Biokaasun puhdistaminen ja jalostaminen

Biokaasua puhdistetaan kolmesta syystä: kaasulaitevaatimusten täyttäminen, lämpöarvon nostaminen ja kaasun laadun standardoiminen. Biokaasu sisältää kaasumaisten aineiden lisäksi vettä. Vesi voidaan adsorboida esimerkiksi silikaageeliin tai absorboida glykoliin tai hygroskooppiin suoloihin. (Appels ym. 2008, 774–775.)

Biokaasu saattaa sisältää pieniä määriä fluoria, ammoniakkia ja öljyä. Näistä ei ole haittaa biokaasulaitoksen toiminnalle eikä biokaasun käytölle. (Latvala 2009, 41–43.) Jos ammoniakkipitoisuus nousee korkeaksi, kuten eläinten lantaa mädätettäessä, voidaan ammoniakki poistaa hapettamalla katalyyttisesti tai hajottamalla biologisesti (Lopez, Rene, Veiga & Kennes 2013, 307). Jätevedenpuhdistamoilla käytetään rautasulfaattia fosforin saostamiseen. Rikkivedyn muodostuminen estyy, kun rauta sitoutuu lietteeseen. (Latvala 2009, 41–43.)

Hiilidioksidin poisto lisää biokaasun lämpöarvoa. Biokaasua poltettaessa hiilidioksidia ei tarvitse poistaa. Hiilidioksidi täytyy poistaa polttoainekäytössä ja syö-

¹³ Bakteeri, jonka soluseinä koostuu peptidoglykaanikerroksista ja yhdestä solukalvosta. Gram-positiivinen bakteeri värjäytyy violetiksi Gram-värjäyksessä.

tettäessä biokaasua runkokaasuverkkoon. Hiilidioksidin poistotekniikoita käytettäessä on tärkeää pitää metaanihukka mahdollisimman pienenä ympäristöllisistä ja taloudellisista syistä. Vaihtoehtoisia hiilidioksidin poistotekniikoita ovat adsorptio, absorptio, kalvosuodatus ja kryotekniikka. (Appels ym. 2008, 774–775.)

Rikkivety aiheuttaa korroosiota ja muita ongelmia energiantuotantolaitoksissa ja autojen moottoreissa. Biokaasun sisältämät rikkiyhdisteet saattavat nostaa rikki-dioksidipäästöjä ja johtaa happosateiden lisääntymiseen. (Lopez ym. 2013, 293.) Siksi rikkivety poistetaan aina ennen biokaasun käyttöä. Yksinkertaisimpia rikkivedyn poistomenetelmiä ovat alkuainerikkiä tuottavien bakteereiden käyttö reaktorin yläosassa ja pienen ilmamäärän lisäys biokaasureaktorin kaasutilaan. Tällöin alkuainerikkiä tuottavat bakteerit käyttävät hapen ja muuttavat rikkivedyn alkuainerikiksi. (Latvala 2009, 41–42.). Alkuainerikkiä tuottavia bakteereita esiintyy yleisesti mädätettävässä aineksessa (Appels ym. 2008, 775). Tällaisia bakteereita ovat *Thiobacillus*, *Thiomonas*, *Thiomicrospira*, *Xanthomonas*, *Rhodobacter*, *Halothiobacillus* ja *Sulfolobales* (Gabriel, Deshusses & Gamisans 2013, 541). Rikkivetyä poistetaan myös vesipesulla eli absorptiolla veteen (Lampinen 2004, 7), adsorptiolla aktiivihiiileen, natriumhydrokisdipesulla ja lisäämällä rautaa biokaasuprosessiin. (Appels ym. 2008, 775.)

Liian suuri rautapitoisuus inhiboi biokaasun muodostumista. (Appels ym. 2008, 775.) Rauta poistuu käsittelyjäännöksen mukana. Raudan poistoon voidaan käyttää myös rautaoksidipetiä tai kolonnia, joka sisältää esimerkiksi rautaoksidilla käsiteltyjä puulastuja. Rauta sitoutuu rautaoksidipetiin rautasulfidina. (Latvala 2009, 43.)

Siloksaaneja käytetään yleisesti erilaisissa teollisuusprosesseissa, ja niitä lisätään monenlaisiin kulutustarvikkeisiin, kuten saippuihin, vaippoihin ja kosteuspyyhkeisiin. Mädätysprosessin aikana siloksaanit vapautuvat lietteestä biokaasuun. (Appels ym. 2008, 775.) Siloksaanit hapettuvat piidioksidiksi. Se reagoi muiden yhdisteiden kanssa. (Lopez ym. 2013, 293.) Yhdisteitä kerääntyy kaasumoottoreiden sytytystulppiin, mäntiin ja sylinterirenkaisiin. Niitä sitoutuu myös öljyyn. Tämä aiheuttaa käyntiongelmia, ns. nakutusta, joka vaurioittaa mäntää.

(Latvala 2009, 42.) Adsorptio aktiivihileen on eniten käytetty siloksaanien poistotekniikka. Myös absorptiota veteen ja kemikaaleihin sekä kryotekniikkaa käytetään siloksaanien poistamiseen. Kryotekniikka on hyvä mutta kallis tapa poistaa siloksaaneja biokaasusta. (Appels ym. 2008, 776.)

Biokaasun jalostustekniikat voidaan jakaa neljään ryhmään: 1) adsorptio, 2) absorptio, 3) kalvoerotus ja 4) kryoerotus. Adsorptiossa kaasu johdetaan kiinteään aineen läpi, johon poistettavat yhdisteet kiinnittyvät. Aktiivihili, silikageeli ja zeoliitit ovat hyviä adsorptioaineita. Absorptiossa puhdistettava kaasu syötetään nestepatsaan tai sumun läpi. Poistettavat yhdisteet liukenevat nesteeseen. Kalvoerotus perustuu puoliläpäisevään kalvoon. Tyypillisiä kalvoja ovat neste-, metalli- ja polymeerikalvot sekä keraamiset kalvot. Kryotekniikassa käytetään hyödyksi aineiden erilaista kiehumispistettä.

3.6.1 Adsorptio

Kaikista yleisin adsorptiotekniikka on paineenvaihteluadsorptio eli PSA, Pressure Swing Adsorption. Siinä kaasumolekyylit johdetaan kiinteään aineen läpi, esimerkiksi aktiivihileen, johon hiilidioksidi, happi- ja typpimolekyylit kiinnittyvät. Näiden kaasujen adsorptio vaihtelee huomattavasti ympäröivän paineen mukaan. Ne adsorboituvat kiinteään aineeseen korkeassa paineessa paineenvaihtelun vaikutuksesta. Paineenvaihteluadsorptiossa normaali paine on 3–7 baaria. Myös vakuumiadsorptio eli VSA, Vacuum Swing Adsorption, perustuu paineen vaihteluun. Siinä toimitaan lähellä normaali-ilmanpainetta. Kaasu vedetään vakuumpumpun avulla adsorboivan aineen lävitse. Normaali lämpötila on 50–60 °C ja syklin pituus on 3–5 minuuttia. (Bailón Allegue & Hinge 2012, 31–33.)

Lämpötila-adsorptio perustuu lämpötilanvaihteluun. Tämä tekniikka on yleensä liitetty kaasun kuivaamiseen. Siinä kaasu ensin adsorboidaan 40 °C:n lämpötilassa ja sitten lämpötila nostetaan yli 120 °C:seen. (Bailón Allegue & Hinge 2012, 31–33.)

3.6.2 Absorptio

Vesipesutekniikka eli absorptio veteen poistaa hyvin hiilidioksidin, rikkivedyn ja ammoniakkin biokaasusta. Tämä perustuu kaasujen liukoisuuden vaihteluun nesteisiin lämpötilan ja paineen muuttuessa. Kun paine nousee ja lämpötila laskee, kaasujen liukoisuus veteen lisääntyy. Vesipesutekniikka erottelee biokaasun metaaniksi ja hiilidioksidiksi vesisäiliössä. Vesisäiliön paine on 5–7 baaria. Kun painetta lasketaan, vapautuu hiilidioksidi vedestä. Tämä mahdollistaa saman veden käytön useampaan kertaan. Vesipesutekniikka on yleisin käytössä oleva absorptioon perustuva biokaasun puhdistustekniikka. (Bailón Allegue & Hinge 2012, 33–36.)

Biokaasun epäpuhtauksia voidaan poistaa veden lisäksi myös kemikaaleilla, kuten polyetyleeniglykolilla tai alkoholiamiineilla. Tekniikkaa nimitetään fysikaaliseksi tai kemialliseksi absorptioksi. Tämänkin tekniikka perustuu kaasujen liukoisuuden vaihteluun nesteisiin paineen ja lämpötilan mukaan. Tämä tekniikka ei poista typpeä eikä happea biokaasusta. Fysikaalinen absorptio toimii 50 °C:n lämpötilassa ja kemiallinen absorptio 120–160 °C:n lämpötilassa paineen ollessa 4–8 baaria. Tällä tekniikalla saannot ovat korkeita, mutta taloudellisesti tämä tekniikka ei kannata pienen mittakaavan biokaasulaitoksissa. (Bailón Allegue & Hinge 2012, 37–38; Greer 2010, 30.)

3.6.3 Membraanitekniikka ja kryotekniikka

Membraanitekniikka perustuu puoliläpäisevään kalvoon ja kalvon eripuolilla olevaan paine-eroon. Biokaasu johdetaan polymeerikalvolle korkeassa paineessa. Hiilidioksidi ja vesihöyry läpäisevät kalvon; metaani ei läpäise kalvoa. Ennen kalvoerotusta rikkivety, kosteus ja muut epäpuhtaudet poistetaan biokaasusta. (Uusi-Penttilä 2004, 19.)

Metaanin kiehumispiste on $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ normaalissa ilmanpaineessa. Hiilidioksidi kiehuu $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Hiilidioksidi nesteytyy ja se voidaan poistaa nestemäisessä muodossa biokaasusta. Metaani voidaan erottaa joko kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa. Typen kiehumispiste on vielä matalampi kuin metaanilla, joten typpi voidaan erottaa biokaasusta metaanin nesteytyessä. Ennen prosessia rikkivety ja vesi poistetaan biokaasusta jäätyksen välttämiseksi. (Persson ym. 2006, 21.)

4 Työn tausta ja tavoite

ProAgria tarjoaa palveluja ja osaamista maatalouden ja maaseudun yritystoiminnan kilpailukyvyyn kehittämiseen. Maatalouden ja maaseudun energianeuvonta on yksi neuvonnan osa-alue. ProAgrian palvelujen tavoitteena on tuottaa lisäarvoa, kilpailukykyä ja kannattavuutta asiakkaiden prosesseihin. ProAgria Keskusten Liitto on osa ProAgria-ryhmää, johon kuuluu ProAgria Keskusten Liiton lisäksi alueelliset ProAgria Keskukset, ruotsinkieliset ProAgria Keskukset, Faba, ProAgria Maatalouden Laskentakeskus Oy, ProAgria Svenska Lantbrukssällskapetens Förbund ja Valio Oy Alkutuotanto. (ProAgria, 2015.)

ProAgria Keskusten Liiton energianeuvonnassa olennaisena prosessina on kartoittaa maatalojen energiankulutuksen määrää, jakaumaa ja kehittämiskohteita. Energiasuunnitelma-palvelussa kartoitetaan karkeasti myös tilojen energiapotentiaaleja kuivista ja vesipitoisemmista biomassoista. Suunnitelman osana arvioidaan myös mahdollisuuksia lisätä omavaraisten polttoaineiden käyttöä tilan energialähteenä. Biokaasun tuotanto kiinnostaa monia viljelijäasiakkaita.

Tässä opinnäytetyössä kehitetty kannattavuuslaskentatyökalu tehtiin ProAgria Keskusten Liitolle. Laskentatyökalun tarkoituksena oli kehittää ProAgrian energianeuvontaa tiloilla, maaseudun yrityksissä sekä maaseudun yritysten kanssa yhteistyönä. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biokaasutuotannon kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä erisuuruisissa biokaasulaitoksissa. Tavoitteena oli vastata kysymyksiin, miten paljon syötteen kustannus tai porttimaksu,

määrä ja laatu, investoinnin suuruus, tuotteen hinta ja tuen suuruus vaikuttavat biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Näiden lisäksi kannattavuuteen vaikuttaa mädätysjäännöksen hyödyntäminen, mutta tämä aihe on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

5 Aineisto ja menetelmät

5.1 Aineisto

Kiinnostusta tutkimukseen osallistumisesta kysyttiin kuudelta biokaasulaitokselta, joista viidestä saatiin myönteinen vastaus. Kannattavuustutkimuksen tekemiseen saatiin riittävästi tietoa neljältä biokaasulaitokselta. Opinnäytetyön tutkimuskohteina olivat kolme yhteiskäsittelylaitosta sekä yksi maatilamittakaavan biokaasulaitos. Työn ulkopuolelle rajattiin jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset sekä mädätysjäännöksestä valmistettavat maanparannusaineet ja lannoitevalmisteet. Mukana tutkimuksessa oli neljänlaisia biokaasulaitoksia: 1) maatilamittakaavan biokaasulaitos, 2) pieni biokaasulaitos, 3) keskisuuri biokaasulaitos ja 4) suuri biokaasulaitos.

Käsiteltävät biomassamäärät vaihtelivat noin 3 000–90 000 tonnia/vuosi. Maatilamittakaavan ja pieni biokaasulaitos käsittelivät alle 4 000 tonnia orgaanista jätettä vuodessa. Keskisuuri biokaasulaitos edustaa kokoluokkaa, jonka ei tarvitse tehdä ympäristövaikutusten arviointia. Kaikki yli 20 000 tonnia vuodessa biomassaa käsittelevät laitokset joutuvat tekemään ympäristövaikutusten arvioinnin. Suuri biokaasulaitos voi käsitellä biomassaa 90 000 tonniin asti vuodessa.

Kaikissa tutkimuksessa mukana olleissa biokaasulaitoksissa oli mesofiillinen prosessi. Laitosten prosessilämpötilat vaihtelivat 37–40 °C ja pH vaihteli 7,6–8,7. Viipymä laitoksilla oli 23 vuorokaudesta lähes 200 vuorokauteen. Viipymään vaikutti suuresti se, oliko laitoksessa käytössä jälkimädätystä. Biokaasun metaanipitoisuus oli 55–70 %. Biokaasua laitoksilla muodostui noin 300–10 000 m³ vuorokaudessa. Laitoksissa käsiteltiin erilaisia syötteitä: kotitalouksien, elintarvike-

teollisuuden sekä kaupan biojätettä, naudon-, sian- ja turkiseläinten lantaa, rasvakaivo- ja puhdistamolietettä, säilörehua sekä peltobiomassoja.

Joissain laitoksissa valmistettiin vain puhdistettua biokaasua sekä puhdistettua ja paineistettua liikennebiokaasua. Toisissa laitoksissa biokaasusta tuotettiin sähköä ja lämpöä CHP-laitteistolla. Osassa laitoksista valmistettiin kaikkia edellä mainittuja.

5.2 Lähestymistavat ja menetelmät

Opinnäytetyö toteutettiin haastattelemalla erilaisten biokaasun tuotantoyritysten edustajia. Koska erilaiset biokaasun tuotantoyritykset ovat hyvin erityyppisiä, yritysten tuotannon kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on vaikea verrata toisiinsa. Siksi tässä opinnäytetyössä erilaisia biokaasun tuotantoyrityksiä tutkittiin tapaus-tutkimuksen keinoin.

Haastatteluissa saatujen tietojen avulla tehtiin investointianalyysi vastaavanlaisen uuden laitoksen rakentamisesta. Investointianalyysin menetelmistä käytettiin annuiteettimenetelmää, nettonykyarvomenetelmää ja sisäisen korkokannan menetelmää. Lisäksi herkkyysanalyysillä tutkittiin, mitkä tekijät vaikuttavat biokaasun tuotannon kannattavuuteen erilaisilla tuotantokonsepteilla. Investointianalyysimenetelmistä kerrotaan tarkemmin luvussa 2.7 ja herkkyysanalyysistä luvussa 2.9.

Palvelumuotoilua käytettiin tässä opinnäytetyössä kannattavuuslaskentatyökalun kehittämiseen yhdessä ProAgria Keskusten Liiton kanssa. Kannattavuuslaskentatyökalun valmistuttua työkalun käytettävyyttä testattiin etukäteen suunnitellun tehtävän avulla. Testauksen jälkeen aivoriihityöskentelyn keinoin ideoitiin kannattavuuslaskentatyökalun kehittämistä tulevaisuudessa.

5.2.1 Tapaustutkimus

Tapaustutkimuksen kohteena on tapahtumien kulku tai ilmiö. Siinä tarkastellaan pientä määrä tapauksia tai vain yhtä tapausta. (Laine, Bamberg & Jokinen 2007, 9.) Tarkoituksena on kerätä mahdollisimman monipuolinen, syvälinen ja yksityiskohtainen aineisto tutkittavasta kohteesta ja kuvata kohde mahdollisimman perusteellisesti kannattavuuden kannalta olennaisilta osin. Tarkoituksena on ymmärtää tutkittavaa tapausta ja sen olosuhteita. (Laine ym. 2007, 10; Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2014, 52–53.) Tapaustutkimus on yleisesti tunnettu menetelmä, jota on kuvattu tarkemmin lähteissä Laine ym. (2007), Ojasalo ym. (2014) ja Hirsijärvi, Remes & Sajavaara (2005).

Opinnäytetyön kohteena olevat biokaasulaitokset valittiin mukaan niiden erilaisien syötteiden ja tuotteiden takia. Koska biokaasun tuotantoprosessit näissä laitoksissa ovat hyvin erilaiset, tuloksia ei voida yleistää. Siksi opinnäytetyössä kukin biokaasulaitosta tutkittiin omana tapauksena, jonka antamia tietoja voidaan hyödyntää vastaavanlaisen biokaasulaitoksen toiminnan kehittämisessä tai perustamisessa.

Biokaasulaitoksia on Suomessa vielä vähän ja laitokset ovat hyvin erilaisia. Siksi niitä on vaikea verrata toisiinsa. Hyvin monet tekijät vaikuttavat biokaasulaitosten toimivuuteen ja siten myös niiden kannattavuuteen. Tapaustutkimuksen avulla saatiin riittävästi tietoja biokaasulaitoksista kannattavuuslaskentatyökalun tekemistä varten.

5.2.2 Palvelumuotoilu

Palvelumuotoilussa oleellista on käyttäjäkeskeisyys ja kokemuksellisuutta korostava ajattelu- ja toimintamalli. Sitä voidaan käyttää palvelun kehittämiseen yrityksen eri vaiheissa ja tasoilla, kuten liiketoimintamallin, strategian, prosessien ja asiakaskontaktien kehittämiseen. Palvelumuotoilun tarkoituksena on luoda helpokäyttöisiä ja hyödyllisiä palvelukokemuksia ja palveluorganisaation kannalta

tehokkaita ja erottuvia palvelukonsepteja. Se pyrkii luomaan käyttökelpoisia tulevaisuuden tarpeita vastaavia käytännön ratkaisuja. (Ojasalo ym. 2014, 38.)

Monet palvelut sisältävät hiljaista tietoa. Siksi joidenkin palveluiden tehtävänä onkin kehittää asiakkaiden innovaatioita olematta itse innovatiivisia. (Rilla & Saari-
nen 2007, 32.) Palvelumuotoilu tähtää palvelukokemusten optimointiin. Palvelumuotoilun tavoitteena on esimerkiksi parempi toimivuus, taloudellisuus, kestävyys, ekologisuus ja esteettömyys. Tavoitteena on myös, että palvelua kehitetään kaikilla tasoilla, kuten yrityksen strategiassa, liiketoimintamalleissa, prosesseissa, palveluympäristössä ja asiakaskontakteissa. Käyttäjäkeskeisyys on palvelumuotoilun tärkein ominaispiirre. (Ojasalo ym. 2014, 71–72.)

5.2.3 Haastattelu

Haastattelu sopii hyvin moniin kehittämistehtäviin ja tutkimustyöhön. Sen avulla saadaan kerättyä syvällistä tietoa kehittämiskohteesta. Haastattelulla on mahdollista saada kerättyä uusia näkökulmia vähän tutkittuun aiheeseen. Se yhdistetään usein toisiin tutkimusmenetelmiin. Haastattelun tehtävänä on selvittää tai syventää asioita. (Ojasalo ym. 2014, 106.)

Haastattelussa ollaan suorassa vuorovaikutussuhteessa tutkittavan toimijan kanssa. Haastattelut vievät paljon aikaa. Niiden teko vaatii huolellista valmistautumista, suunnittelua ja kouluttautumista. Myös virhelähteiden määrä on suuri haastatteluissa. Haastatteluaineisto on konteksti- ja tilannesidonnaista. (Hirsijärvi ym. 2005, 193–196.)

Haastattelu tehdään yksilöhaastatteluna, parihaastatteluna tai ryhmähaastatteluna. Puhelinhaastattelut ja tietokoneohjatut haastattelut ovat vaihtoehto kasvotusten tapahtuvalle haastattelulle (Hirsijärvi ym. 2005, 199.) Haastattelun apuna voidaan käyttää erilaisia virikkeitä, kuten kuvakortteja tai valokuvia. Se voidaan tehdä paikkaan sidottuna tai täysin irrallaan asiayhteydestä. (Ojasalo ym. 2014, 108.)

5.2.4 Aivoriihityöskentely

Uusien ideoiden, näkökulmien ja ratkaisujen kehittämisessä käytetään apuna luovuusmenetelmiä ja -työkaluja. Palvelumuotoilussa niitä käytetään apuna erityisen paljon. Myönteinen ja avoin ilmapiiri edesauttavat luovaa ongelmanratkaisua. Myös kiireettömyyden ja avoimuuden tuntu ovat tärkeitä luovan ilmapiirin luomiseksi. Kielteisyys tappaa luovuuden. Pyrkimyksenä on poistaa ajattelun rajoituksia, motivoida jatkamaan huonoiltakin tuntuvia ideoita toisten kanssa ja kehittämään muiden ideoita. (Ojasalo ym. 2014, 158–160.)

Aivoriihien avulla tuotetaan ideoita ryhmässä. Yleensä 6–12 hengen ryhmä pyrkii löytämään ratkaisun ongelmaan tai ideoimaan uusia ideoita tai lähestymistapoja. Aivoriihessä voidaan käyttää monenlaisia tekniikoita. Niissä ryhmän jäsenet keksivät ideoita, joita jatkojalostetaan muiden ryhmän jäsenten toimesta tai avustuksella. (Ojasalo ym. 2014, 161–162.)

6 Työn toteutus

ProAgria Keskusten Liitolle tehtiin Excel-pohjainen kannattavuuslaskentatyökalu. ProAgrian energianeuvonta pystyy hyödyntämään työkalua maaseudun biokaasulaitosinvestointien neuvonnassa ja kannattavuuden arvioinnissa.

Kiinnostusta tutkimukseen osallistumisesta kysyttiin kuudelta biokaasulaitokselta, joista viidestä saatiin myönteinen vastaus. Investointi- ja herkkyysanalyysien tekemiseen saatiin riittävästi tietoja neljältä biokaasulaitokselta. Biokaasulaitoksilta selvitettiin tietoja laitosten prosesseista, syötteistä ja syötteiden määristä, investointikustannuksista sekä syntyvän biokaasun määrästä ja laadusta haastatteleamalla laitosten edustajia ja täyttämällä kyselylomake. Kannattavuuslaskentatyökalun toimivuutta testattiin biokaasulaitoksilta ja ympäristöluvista saatujen tietojen perusteella tekemällä biokaasulaitosinvestoinneista investointi- ja herkkyysanalyysi.

6.1 Kannattavuuslaskentatyökalu

Kannattavuuslaskentatyökalun kehittäminen alkoi ProAgria Keskusten Liiton kehityspäällikön Maarit Karin kanssa käydyllä keskustelulla. Keskustelussa kartoitettiin neuvontatyön tarpeita biokaasun tuotannon osalta. Prosessin aikana käytiin useita keskusteluja työkalun kehittämisen etenemisestä. Maarit Kari kommentoi työkalun rakentamisen edistymistä ja kertoi energianeuvojien toiveista prosessin aikana.

Kannattavuuslaskentatyökalun toimivuutta testattiin biokaasulaitosten edustajien haastatteluista, kyselylomakkeesta ja ympäristöluvista saatujen tietojen perusteella tekemällä laitoksista investointi- ja herkkyysanalyysit. Tämän lisäksi laskentatyökalun luotettavuutta testattiin vertailemalla keskisuuren biokaasulaitosinvestoinnin investointi- ja herkkyysanalyysien tuloksia 20 vuoden investointiajanjaksolla Biokaasulaskurin antamiin tuloksiin.

Työkalun valmistuttua järjestettiin testaustilaisuus, jossa neljä henkilöä perehdytettiin työkalun käyttöön. Neljästä koekäyttäjistä kolmelle kannattavuuslaskentatyökalu oli tuntematon ja biokaasun tuotantoon liittyvät termit ja seikat suhteellisen tuntemattomia. Perehdytyksen lisäksi testattiin työkalun käytettävyyttä. Testauksen jälkeen aivoriihimäisesti pohdittiin kannattavuuslaskentatyökalun kehittämisideoita ja -kohteita. Näiden pohjalta työkalun ulkonäköön tehtiin pieniä muutoksia. Nämä muutokset paransivat työkalun käytettävyyttä. Osa toivotuista muutoksista päätettiin jättää toistaiseksi tekemättä. Ne on kirjattu lukuun 8.3.

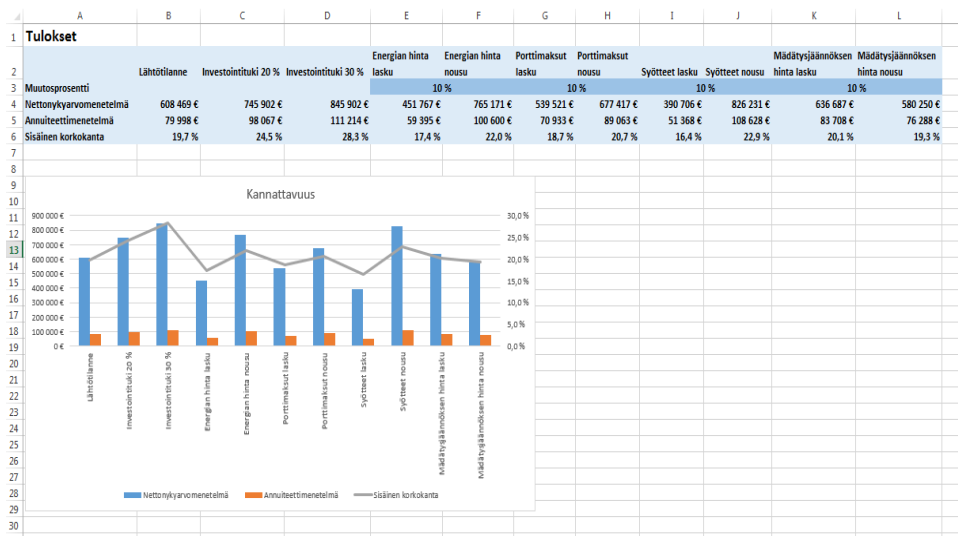
Kannattavuuslaskentatyökalu käyttää biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuden arviointiin nettonykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmiä. Nettonykyarvon laskemiseen työkalu käyttää Excelin NNA-funktiota, annuiteettimenetelmässä hyödynnetään Maksu-funktiota ja sisäisen korkokannan laskemiseen kannattavuuslaskentatyökalu käyttää Sisäinen.korko-funktiota. Työkalu laskee herkkyysanalyysin energian hinnalle, mädätysjäännöksen hinnalle, syötteiden määrälle ja porttimaksuille.

Työkaluä käytettäessä käyttäjä kirjaa laskurin lähtöarvot-välilehdelle tarvittavat tiedot: investointikustannus, investointituki, investointiaika, korkokanta, energioiden hinnat €/kWh, työntekijöiden määrä, mädätysjäännöksestä aiheutuvat kulut tai tulot, syötteen määrät, prosenttiosuudet tuotetuista energialajeista sekä porttimaksut. (Kuvio 3.) Laskentapohjassa on oletusarvot kyseisille muuttujille.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Lähtötiedot											
2	Investointien tiedot		%				Lähtötiedot, tulokset					
3	Investointikustannukset	1000000					Kannattavuuslaskelma			Arvioitettujen tulot		
4	Investointituki	0	0%				Investointikust.	1000000		Investointituki	312286	
5	Investointinopeuttamiskorjaus	1000000					Tuottovuosi	312286		Monasuhteet	232288	
6	Investointinopeuttamiskorjaus (s)	15					Kustannusvuosi	100000		Investointiaika	79981	
7	Korkokanta	10%					Korkokanta	10%		Jäännös	0,001	
8	Jäännös	0,001					Jäännös	0,001		Tuottojen nykyarvo	2375270	
9										Kustannusten nykyarvo	1764001	
10	Tulot - vastaavat tulot		€/kWh	kWh/vuosi			Investointien s	689469		Nettotuotto	1608469	
11	Lämpö, myynti	32441	0,070593	181776						Investointi	1000000	
12	Lämpö, omakäyttö	37471	0,070593	539902			Nettotuotto	689469		Nettotuotto	1608469	
13	Sähki, myynti	240941	0,1338	195469								
14	Sähki, omakäyttö	19497	0,0892	218566								
15	Liikennealustainen, myynti	92041	0,1943	89974								
16	Liikennealustainen, myynti	32741	0,0528	593250								
17	Parttimaksut	954201										
18	Mädätysjäännöksestä aiheutuvat tulot	0	0,001	5300								
19	Tulot yhteensä	312286										
20												
21	Kulut - vastaavat kulut											
22	Kiinteät kulut		työntekijät									
23	Henkilöstökulut	319001	0,5	638001								
24	Kunnasvirkastokulut	15641		5%								
25	Aluekulut	20001		0,21%								
26	Puhdasvesi, taimien ja kirjainpalkat	20001		0,20%								
27	Vakuutukset	20001		0,20%								
28												
29	Muuttuvat kulut		litra	litra								
30	Mädätysjäännöksestä aiheutuvat kulut	370001	7,00	5300								
31	Rajakivien kirkittely	0										
32	Makrellitrypötteet	100001										
33												
34	Kulut yhteensä	1000000										
35												
36	Nettotuotto											
37	Puhdasvesi	1000	20%	70%	300	42000						
38	Biopöytä, kuitu	0	27%	90%	400	0						
39	Biopöytä, alintarvikkeiden, oliivipöytä	200	40%	90%	600	43200						
40	Biopöytä, alintarvikkeiden, karvipöytä	100	11%	92%	400	4080						
41	Biopöytä, kappi	0	27%	90%	400	0						
42	Lenta 1, nautalenta	3500	32%	80%	200	179200						
43	Lenta 2, nautalenta	0	7%	80%	200	0						
44	Lenta 3, riantenta	0	5%	81%	300	0						
45	Rarokavilenta	0	40%	90%	800	0						
46	Falkimara 1, riantenta	300	35%	91%	350	33480						
47	Falkimara 2, ruokahelpi	200	30%	90%	250	13500						
48	Falkimara 3, alkii	0	85%	91%	230	0						
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56	OHP	85%	40%			106604						
57	Lämpö	52%				647579						
58	Sähki	33%	39%	OHP		410026						
59	Liikennealustainen	95%	30%			89974						
60	Nettoenergiat	95%	20%			593250						
61	Säädöt		10%			312237						
62												
63	Energia yhteensä					2856965						
64	Nettoenergiat					265401						
65	Biokasvatuksen kokonaisenergian tuotto (kWh)					3122346						
66	Biokasvatuksen lämmön kulutus (kWh/s), % kokonaisenergian tuot					17%						
67	Biokasvatuksen sähkön kulutus (kWh/s), % kokonaisenergian tuot					7%						
68	Biokasvatuksen yhteensä					195469						
69	Biokasvatuksen yhteensä					195469						
70												
71	Parttimaksut											
72	Jaa	€/hinta (s)	Määrät	yhteensä								
73	Puhdasvesi	67,001	1000	670001								
74	Biopöytä, kuitu	71,401	0	0								
75	Biopöytä, alintarvikkeiden, oliivipöytä	71,401	200	142801								
76	Biopöytä, alintarvikkeiden, karvipöytä	71,401	100	71401								
77	Biopöytä, kappi	85,701	0	0								
78	Lenta 1, nautalenta	2,001	3500	70001								
79	Lenta 2, nautalenta	2,001	0	0								
80	Lenta 3, riantenta	2,001	0	0								
81	Rarokavilenta	61,501	0	0								
82	Parttimaksut			954201								
83	Makrellitrypötteet											
84	Falkimara 1, riantenta	20,001	300	60001								
85	Falkimara 2, ruokahelpi	20,001	200	40001								
86	Falkimara 3, alkii	20,001	0	0								
87	Makrellitrypötteet			100001								
88												
89												
90												
91												
92												
93												

Kuvio 3. Kannattavuuslaskentatyökaluä aloitussivu. Aloitussivun sinisiin soluihin käyttäjä kirjaa laskelman lähtöarvot.

Kannattavuuslaskentatyökalussa jokaiselle herkkyyssanalyysissä laskettavalle tekijälle on oma välilehti. Välilehtien tulokset linkittyvät Tulokset-välilehdelle automaattisesti. Tämä helpottaa työkalun käyttöä. Tulokset välilehdeltä käyttäjä näkee suoraan investoinnin nettonykyarvon, annuiteettimenetelmän tuloksen ja sisäisen korkokannan herkkyyssanalyysin eri vaihtoehdoilla: porttimaksut, syötteiden määrä, mädätysjäännöksen hinta ja energian hinta nousevat tai laskevat valitun prosentiosuuden verran. Työkalun käyttäjä voi itse muuttaa herkkyyssanalyysissä käytettyjä prosentteja kirjaamalla Tulokset-välilehden Muutosprosentti-riville tutkittavan tekijän muutosprosentin. Kannattavuuslaskentatyökalu laskee automaattisesti uudet tulokset. (Kuvio 4.)



Kuvio 4. Kannattavuuslaskentatyökalun Tulokset-välilehti. Muutosprosentti-riville käyttäjä kirjaa herkkyyssanalyysissä käytettävät muutosprosentit.

Kannattavuuslaskentatyökalu eroaa Biokaasulaskurista siten, että laskentatyökalu ottaa huomioon työntekijöistä aiheutuvat kulut ja laskee biokaasulaitoksen oman sähkön ja lämmön kulutuksen tulona. Biokaasulaskuri ei huomioi näitä ollenkaan. Energiantuotantolaitteiden käyttökustannuksia ei ole kannattavuuslaskentatyökalussa huomioitu ollenkaan.

Investointi- ja herkkyyssanalyysien tuloksia verrattiin Biokaasulaskurin antamiin tuloksiin tekemällä investointi- ja herkkyyssanalyysit keskisuuren biokaasulaitos-

investoinnin kannattavuudelle. Koska Biokaasulaskuri käyttää laskelmissa 20 vuoden investointiajanjaksoa, jouduttiin kannattavuuslaskentatyökalulla tekemään laskelmat uudelleen 20 vuoden investointiajanjaksoa käyttäen. Biokaasulaskurilla ja kannattavuuslaskentatyökalulla 20 vuoden investointiajanjaksolla lasketut tulokset ovat liitteessä 3.

6.2 Kannattavuuslaskentatyökalussa ja testauksessa käytettyjen arvojen määrittäminen

Vakuutusmaksujen, laitoksen oman energiankulutuksen ja eri syötteiden biokaasupotentiaalin viitelukuina käytettiin biokaasulaskurissa käytettyjä lukuja. Vakuutusmaksut kaikissa tapauksissa laskettiin 0,2 % investoinnin suuruudesta. Sähkön kulutuksena käytettiin biokaasulaskurin mallin mukaan 7 % ja lämmön kulutuksena 17 % kokonaisenergiatuotosta. Biokaasupotentiaali laskettiin biokaasulaskurin antamien syötteiden TS¹⁴-%, VS¹⁵-%/TS-% sekä metaanintuottotilavuus¹⁶ VS-tonnia kohden -viitearvojen avulla. (Biokaasulaskuri; Taulukko 5.) Biokaasupotentiaalin avulla laskettiin kokonaisenergiantuottopotentiaali, kun tiedettiin, että metaanin energiasisältö on 36 MJ/Nm³ eli 9,9 kWh/m³ (Suomen Kaasuyhdistys 2014, 9).

¹⁴ TS eli total solids tarkoittaa kuiva-ainetta. Se ilmoitetaan yleensä prosenttiosuutena märkäpainosta.

¹⁵ VS eli volatile solids tarkoittaa orgaanista kuiva-ainetta eli biohajoavaa ainetta.

¹⁶ Metaanintuotto ilmoitetaan usein metaanintuottona lisättyä orgaanista kuiva-ainetta kohden eli m³ CH₄/tVS.

Taulukko 5. Laskelmissa käytetyt arvot.

Muuttuja	Arvo	Lähde
Kaukolämmön hinta, sis. verot	0,07073 €/kWh	Tilastokeskus 2015c.
Kaukolämmön hinnan sisältämät verot	0,137 €/MWh = 0,000137 €/kWh	Tilastokeskus 2015b.
Kaukolämmön hinta ilman veroja	0,070593 €/kWh	Laskettu edellisistä.
Sähkön hinta, sis. verot	0,1432 €/kWh	Tilastokeskus 2015a.
Sähkön hinnan sisältämät verot	0,054 €/kWh	Tilastokeskus 2015b.
Sähkön hinta ilman veroja	0,0892 €/kWh	Laskettu edellisistä.
Sähkön myyntihinta lämpöpreemion kanssa	0,1335 €/kWh	Energiamarkkinavirasto 2013, 3.
Liikennebiokaasun hinta	0,1043 €/kWh	Gasum 2015.
Muu biokaasu, esim. maakaasuverkkoon	55,20 €/MWh = 0,0552 €/kWh	Torri 2015. Tilastokeskus 2015c.
Työntekijän työvoimakustannukset	63 800 € ¹⁷	Finlex 2013, 18; Elinkeinoelämän keskusliitto 2010, 16.
Laskentakorkokanta	10 %	Jacobsen ym. 2014, 138; Vilkkumaa 2010, 218.
Investoinnin kestoaika	15 vuotta	Arvio.
Kunnossapitokustannus	5 % liikevaihdosta	Laine 2010, 30.
Lämmönkulutus	17 % tuotetusta energiamäärästä	Biokaasulaskuri 2015.
Sähkönkulutus	7 % tuotetusta energiamäärästä	Biokaasulaskuri 2015.
Markkinointi-, matkustus-, koulutus- ja edustuskulut	0,21 % investoinnista	Arvio.
Puhtaanapito, toimisto- ja kirjanpito- ja edustuskulut	0,21 % investoinnista	Arvio.
Vakuutusmaksut	0,2 % investoinnista	Biokaasulaskuri 2015.
Mädätysjäätännöksestä aiheutuvat kustannukset	7 €/t	Arvio.
Investointituet	0 %, 20 % ja 30 % investoinnista	Työ- ja elinkeinoministeriö 2015.

Syötteistä saatavien porttimaksujen hintoina käytettiin Forssassa sijaitsevan Envor Biotechnin porttimaksuja, jotka löytyivät yrityksen internetsivuilta (Envor 2015; Taulukko 6). Ruokohelven (Pahkala, Isolahti, Partala, Suokannas, Kirkkari, Peltonen, Sahramaa, Lindh, Paappanen, Kallio & Flyktman 2005, 22) ja säilörehun hintoina käytettiin 20 €/1 000 kg (Taavitsainen 2011, 16–17). Lannoille ei

¹⁷ Laskettu palkkatasoluokan 8 mukaisesti. Sisältää 70 % palkan sivukuluja.

ollut saatavilla viitearvoja porttimaksuista, siksi laskelmissa käytettiin arvioituja porttimaksuja. Taulukossa 6 on esitetty laskelmissa käytettyjen syötteiden porttimaksut ja kustannukset.

Taulukko 6. Laskelmissa käytetyt syötteiden TS-%, VS-%/TS-%, metaanintuotto, porttimaksut ja kustannukset.

Syöte	TS-%	VS-%/ TS-%	Metaanin- tuotto m ³ CH ₄ /t VS	Lähde	Porttimaksu	Porttimak- sun lähde
Puhdistamoliete	20	70	300	Biokaasulas- kuri 2015.	67,00 €	Envor 2015.
Biojäte, kotitalous	27	90	400	Biokaasulas- kuri 2015.	71,40 €	Envor 2015.
Biojäte, elintarvi- keteoll., eläinper.	40	90	600	Biokaasulas- kuri 2015.	71,40 €	Envor 2015.
Biojäte, elintarvi- keteoll., kasviper.	11	92	400	Biokaasulas- kuri 2015.	71,40 €	Envor 2015.
Biojäte, elintarvi- keteoll., leipomo	66	90	400	Biokaasulas- kuri 2015.	71,40 €	Envor 2015.
Biojäte, kauppa	27	90	400	Biokaasulas- kuri 2015.	85,70 €	Envor 2015.
Rasvakaivoliete	40	90	800	Biokaasulas- kuri 2015.	64,50 €	Envor 2015.
Naudanlanta	32	80	200	Biokaasulas- kuri 2015.	2 €	Arvio.
Sianlanta	5	81	300	Biokaasulas- kuri 2015.	2 €	Arvio.
Turkiseläinten lanta	39	78	200	Biokaasulas- kuri 2015.	2 €	Arvio.
Mahalanta	7	80	200	Biokaasulas- kuri 2015.	2 €	Arvio.
Säilörehu	35	91	350	Biokaasulas- kuri 2015.	-20 €	Taavitsai- nen 2011.
Ruokohelpi	30	90	250	Biokaasulas- kuri 2015.	-20 €	Pahkala ym. 2005.

Sähkön myyntihintana laskelmissa käytettiin sähkön tuotantotukea, jossa on lämpöpremio eli 0,1335 €/kWh (Energiamarkkinavirasto 2013, 3) ja sähkön ostohintana käytettiin Tilastokeskuksen (2015a) lokakuun 2014 hintaa 0,1432 €/kWh, josta vähennettiin sähkön hinnan sisältämät verot 0,054 €/kWh (Tilastokeskus 2015b). Näin saatiin sähkön ostohinnaksi 0,0892 €/kWh. Tätä samaa hintaa käytettiin sähkön myyntihintana laskelmissa, joissa laitos sai investointitukea tai ei saanut tukia lainkaan. Kaukolämmön myynti- ja ostohintana käytettiin Tilasto-

keskuksen (2015c) tammikuun 2014 hintaa 0,07073 €/kWh, josta vähennettiin kaukolämmön sisältämät verot 0,137 €/MWh eli 0,000137 €/kWh (Tilastokeskus 2015b; Taulukko 5.)

Maakaasuverkkoon tai muulle toimijalle myydyn biokaasun hinta on hetkellisesti Torrin (2015) mukaan noin 10 % korkeampi kuin metaanin hinta. Maakaasun hinta oli 50,18 €/MWh syyskuussa 2014 (Tilastokeskus 2015d.) Näin päädyttiin käyttämään laskelmissa biokaasun hintana 55,20 €/MWh. (Taulukko 5.)

Liikennebiokaasun hintana laskelmissa käytettiin Gasumin 12.3.2015 vertailuhintaa bensiinille. Se oli 0,928 €/l. Bensiinin energiasisältö on 32 MJ/l (Direktiivi 2009/33/EY; Gasum 2015) eli 8,9 kWh/l. Tämän tiedon avulla voitiin laskea biokaasun hinta kilowattitunteina jakamalla biokaasun vertailuhinta bensiinin energiasisällöllä. Näin saatiin biokaasun hinnaksi 0,1043 €/kWh. (Taulukko 5.)

Laskelmissa oletettiin, että mädätysjäännöksestä syntyy kuluja 7 €/1 000 kg mädätysjäännöstä. Tämä hinta arvioitiin biokaasulaitoksilta saatujen arvojen perusteella. Markkinointi-, matkustus-, koulutus- ja edustuskuluihin sekä puhtaanapito, toimisto- ja kirjanpitokuluihin käytettiin laskelmissa 0,21 % investoinnista. Tämä luku perustui laskelmissa arvioon. (Taulukko 5.)

Yritysten investoinneissa käytetään laskentakorkokantaa, joka vaihtelee välillä 10–15 %. Käytetyn korkokannan tulee olla suhteessa suunnitellun investoinnin riskien kanssa. (Vilkkumaa 2010, 218.) Tällä hetkellä korkotaso on alhainen: 8.5.2015 12 kuukauden Euribor oli 0,169 % (Suomen Pankki 2015). Biokaasulaitosinvestointeihin liittyy kuitenkin riskejä ja sijoittajat haluavat saada hyvän tuoton riskialttiille sijoitukselle (Jacobsen ym. 2014, 138). Näistä syistä tässä opinäytetyössä käytettiin 10 %:n laskentakorkokantaa.

Herkkyysanalyysillä laskettiin investoinnin kannattavuus ilman tukia, 20 ja 30 %:n investointituilla ja sähkön tuotantotuella, jossa on lämpöpremio. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015.) Investointianalyysissä biokaasulaitosinvestointien kannattavuutta tutkittiin laskemalla kannattavuus siten, että lähtötilanteessa kaikissa

biokaasulaitoksissa syntyvästä biokaasusta 40 %:sta oletettiin tuotettavan sähköä ja lämpöä CHP-laitteistolla, 30 %:sta oletettiin valmistettavan liikennebiokaasua ja 20 %:sta oletettiin tuotettavan muuta biokaasua. CHP-vaihtoehdossa laskelmissa oletettiin, että 90 % syntyneestä biokaasusta käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon CHP-laitteistolla ja liikennebiokaasuvaihtoehdossa 90 % syntyneestä biokaasusta käytetään liikennebiokaasun valmistukseen. Kaikissa vaihtoehdoissa biokaasusta 10 % oletetaan poltettavan soihdussa. Suuren biokaasulaitoksen kannattavuuslaskelmissa käytettiin syötteiden määrinä noin 80 % ympäristöluvassa ilmoitetuista syötemääristä. Muiden biokaasulaitosten laskelmissa käytettiin todellisia syötteiden määriä.

6.3 Investointianalyysi

Investointi on kannattava, jos nettonykyarvo on positiivinen. Vastaavasti jos nettonykyarvo jää negatiiviseksi, on investointi kannattamaton. Nettonykyarvomenetelmä ottaa huomioon käytetyn korkokannan. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 229.)

Annuiteettimenetelmän tulos kertoo, millaisen yli- tai alijäämän investointi tuottaa. Tuloannuiteetti tarkoittaa investoinnin jäännösarvoa vastaavan annuiteetin ja vuotuisen bruttotuoton summaa. Menoannuiteetti on investoinnin perushankintakustannuksesta lasketun annuiteetin ja vuotuisten kustannusten summa. Investointi on kannattava käytetyn laskentakorkokannan mukaan, jos tuloannuiteetti on vähintään yhtä suuri kuin menoannuiteetti. (Karjalainen 2001, 107.)

Sisäisen korkokannan ollessa suurempi tai yhtä suuri kuin investoinnin laskentakorkokanta, voidaan investointia pitää kannattavana. Mikäli sisäinen korkokanta jää alle investoinnin laskentakorkokannan, ei investointi ole kannattava käynteillä laskentakorkokannalla. (Vilkkumaa 2010, 218.)

Investointianalyysissä käytettiin investointikustannuksina todellisia arvoja niille laitoksille, joissa oli valmiiksi investoitu CHP-laitteisto, biokaasun puhdistus- ja paineistuslaitteistot sekä biokaasun tarkkausasema. Niissä laitoksissa, joissa

näitä investointeja ei ollut tehty, lisättiin investointikustannuksiin vastaavien laitteistojen hinnat Luostarisen (2015) arvion mukaisesti. Tämä tehtiin, jotta biokaasulaitosten identiteetti pystyttiin häivyttämään.

6.4 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin avulla laskettiin jokaiselle tärkeälle muuttujalle kannattavuuspiste. Kannattavuuspiste on arvo tai muutos, jolla investointi on vielä kannattava 15 vuoden investointiajalla ja 10 %:n korkokannalla.

Energian hinnan, syötteiden määrän, mädätysjäännöksen hinnan ja porttimaksujen vaikutusta biokaasulaitosinvestointien kannattavuuteen testattiin nostamalla ja laskemalla näiden tekijöiden arvoja 10 %. Lisäksi näille tekijöille etsittiin kannattavuusraja-arvot. Energian hintoja nostettiin ja laskettiin samalla prosenttiosuudella osto- ja myyntisähkön, osto- ja myyntilämmön, liikennebiokaasun myynnin sekä muun biokaasun myynnin hintojen osalta. Myös kaikkien porttimaksujen hintoja nostettiin ja laskettiin samalla prosenttiosuudella.

7 Tulokset

7.1 Investointianalyysi

Keskisuuri ja suuri biokaasulaitos ovat kannattavia sähkön tuotantotuella ja lämpöpreemiolla, koska sekä nettonykyarvot että annuiteettimenetelmän tulos ovat positiivisia ja sisäinen korkokanta on suurempi kuin käytetty laskentakorkokanta. Koska maatilamittakaavan ja pienen biokaasulaitoksen nimellistehot ovat alle 100 kVa, näille laitoksille ei voida maksaa sähkön tuotantotukea ja lämpöpreemiota. (Taulukko 7.)

Taulukko 7. Keskisuuren ja suuren biokaasulaitoksen kannattavuus sähkön tuotantotuella ja lämpöpreemiolla nettonykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmillä laskettuna.

	Keskisuuri laitos	Suuri laitos
Investointikustannus, €	8 000 000 €	11 500 000 €
Tuottojen nykyarvo	16 626 930 €	25 475 572 €
Kustannusten nykyarvo	11 541 849 €	19 076 936 €
Nettonykyarvomenetelmän tulos	5 085 081 €	6 398 636 €
Tuloannuiteetti, €/v	2 186 005 €	3 349 370 €
Menoannuiteetti, €/v	1 517 450 €	2 508 117 €
Annuiteettimenetelmän tulos, €/v	668 555 €	841 253 €
Sisäinen korkokanta	20,1 %	18,9 %

Kaikki tutkitut biokaasulaitokset ovat kannattavia 20 ja 30 %:n investointituilla. Näillä tuilla nettonykyarvot ja annuiteettimenetelmän tulokset ovat positiivisia ja sisäiset korkokannat ovat käytettyä laskentakorkokantaa korkeampia. (Taulukko 8; Taulukko 9.)

Taulukko 8. Biokaasulaitosten kannattavuus 20 %:n investointituella nettonykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmillä laskettuna.

	Maatilanmittakaavan laitos	Pieni laitos	Keskisuuri laitos	Suuri laitos
Investointikust. investointituen jälkeen, €	515 200 €	1 408 800 €	6 400 000 €	9 200 000 €
Tuottojen nykyarvo	1 120 963 €	2 529 546 €	16 293 541 €	24 755 451 €
Kustannusten nykyarvo	1 092 210 €	2 507 549 €	9 925 179 €	16 740 930 €
Nettonykyarvomenetelmän tulos	28 753 €	21 997 €	6 368 362 €	8 014 521 €
Tuloannuiteetti, €/v	147 377 €	332 569 €	2 142 173 €	3 254 693 €
Menoannuiteetti, €/v	143 597 €	329 677 €	1 304 901 €	2 200 993 €
Annuiteettimenetelmän tulos, €/v	3 780 €	2 892 €	837 272 €	1 053 699 €
Sisäinen korkokanta	11,0 %	10,3 %	25,3 %	23,6 %

Taulukko 9. Biokaasulaitosten kannattavuus 30 %:n investointituella netto nykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmillä laskettuna.

	Maatilamitta- kaavan laitos	Pieni laitos	Keskisuuri laitos	Suuri laitos
Investointikust. investointituen jälkeen, €	450 800 €	1 232 700 €	5 600 000 €	8 050 000 €
Tuottojen nykyarvo	1 120 963 €	2 529 546 €	16 293 541 €	24 755 451 €
Kustannusten nykyarvo	1 027 810 €	2 331 449 €	9 125 179 €	15 590 930 €
Nettonykyarvomenetelmän tulos	93 135 €	198 097 €	7 168 362 €	9 164 521 €
Tuloannuiteetti, €/v	147 377 €	332 569 €	2 142 173 €	3 254 693 €
Menoannuiteetti, €/v	135 130 €	306 524 €	1 199 722 €	2 049 799 €
Annuiteettimenetelmän tulos, €/v	12 247 €	26 045 €	942 452 €	1 204 894 €
Sisäinen korkokanta	13,5 %	12,7 %	29,3 %	27,4 %

Taulukossa 10 on biokaasulaitosten kannattavuuden tunnuslukuja ilman tukia. Verrattaessa taulukon 10 tuloksia taulukoiden 7, 8 ja 9 tuloksiin huomataan, että tuilla on suuri merkitys biokaasulaitosten kannattavuuteen. Esimerkiksi suuren biokaasulaitoksen netto nykyarvo ilman tukia on 5 714 521 €, sähkön tuotantuella ja lämpöpremiolla 6 398 636 €, 20 %:n investointituella 8 014 521 € ja 30 %:n investointituella 9 164 521 €.

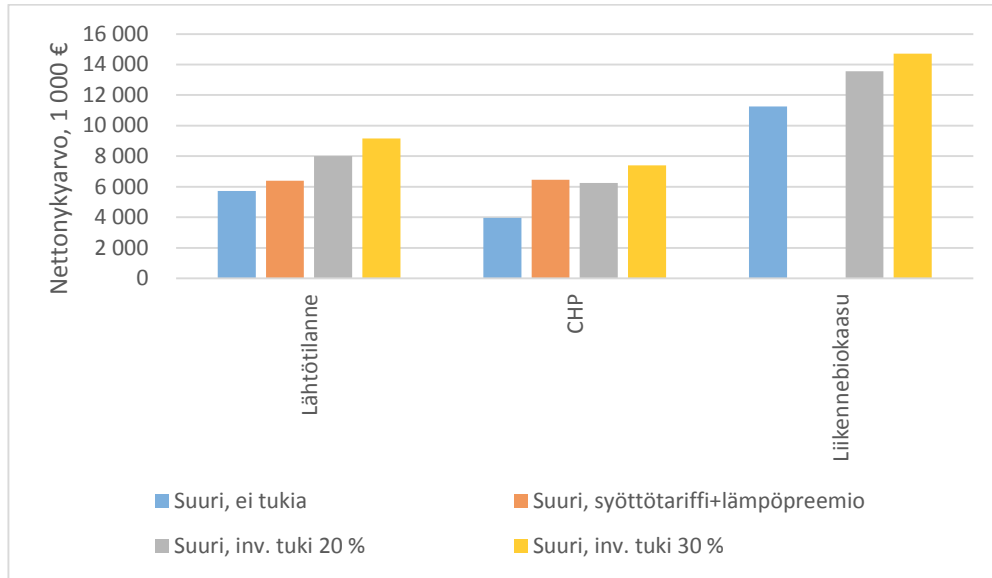
Taulukko 10. Biokaasulaitosten kannattavuus ilman tukia netto nykyarvo-, annuiteetti- ja sisäisen korkokannan menetelmillä laskettuna.

	Maatilamitta- kaavan laitos	Pieni laitos	Keskisuuri laitos	Suuri laitos
Investointikustannus, €	644 000 €	1 761 000 €	8 000 000 €	11 500 000 €
Tuottojen nykyarvo	1 120 963 €	2 529 546 €	16 293 541 €	24 755 451 €
Kustannusten nykyarvo	1 221 010 €	2 859 749 €	11 525 179 €	19 040 930 €
Nettonykyarvomenetelmän tulos	-100 047 €	-330 203 €	4 768 362 €	5 714 521 €
Tuloannuiteetti, €/v	147 377 €	332 569 €	2 142 173 €	3 254 693 €
Menoannuiteetti, €/v	160 531 €	375 982 €	1 515 259 €	2 503 383 €
Annuiteettimenetelmän tulos, €/v	-13 154 €	-43 413 €	626 915 €	751 310 €
Sisäinen korkokanta	7,2 %	6,6 %	19,5 %	18,0 %

Sähkön tuotantotuella ja lämpöpreemiolla on merkittävä vaikutus sekä keski-suuren että suuren biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuteen verrattuna tilanteeseen, ettei laitos saisi tukea ollenkaan. Kuitenkin 30 %:n investointituki nostaa biokaasulaitosten kannattavuutta sähkön tuotantotuki ja lämpöpremio -vaihtoehtoa paremmaksi. (Kuvio 5; Kuvio 6.) Biokaasulaitos ei voi saada sähkön tuotantotukea ja lämpöpreemiota, jos se tuottaa vain liikennebiokaasua.



Kuvio 5. Sähkön tuotantotuen ja lämpöpreemion, 20 ja 30 % investointituen vaikutus keski-suuren biokaasulaitoksen nettonykyarvoon tuotettaessa sähköä ja lämpöä CHP-laitteistolla tai jalostettaessa liikennepolttoainetta.

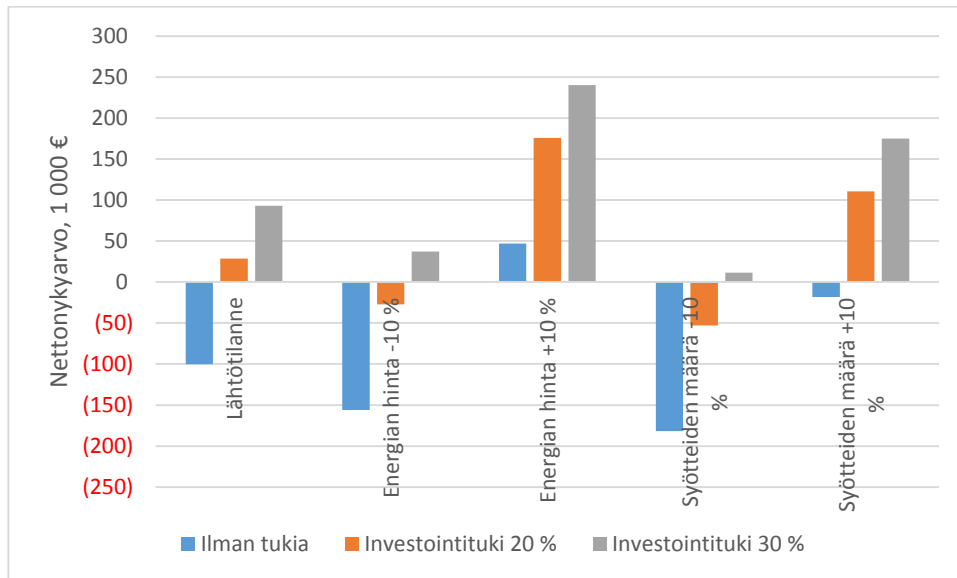


Kuvio 6. Sähkön tuotantotuen ja lämpöpreemion, 20 ja 30 % investointituen vaikutus suuren biokaasulaitoksen nettonykyarvoon tuottaessa sähköä ja lämpöä CHP-laitteistolla tai jalostettaessa liikennepolttoainetta.

7.2 Herkkyysanalyysi

7.2.1 Maatilamittakaavan biokaasulaitos

Maatilamittakaavan biokaasulaitoksen kannattavuus on erittäin herkkä muutoksille. Energian hinnan tai syötteiden määrien lasku 10 %:lla saa maatilamittakaavan biokaasulaitosinvestoinnin kannattamattomaksi ilman tukia ja 20 %:n investointituella. Energian hintojen noustessa 10 %, on maatilamittakaavan biokaasulaitos kannattava ilman tukia sekä 20 ja 30 %:n investointituilla. Syötteiden määrien laskiessa 10 %, on maatilamittakaavan biokaasulaitos kannattava sekä 20 että 30 %:n investointituilla. (Kuvio 7.)



Kuvio 7. Maatilamittakaavan biokaasulaitoksen herkkyyksanalyysin tulokset.

Porttimaksuilla ja mädätysjäännöksen hinnalla on vain pieni vaikutus tutkitun maatilamittakaavan biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Porttimaksujen vähäinen vaikutus selittyy sillä, että tutkittu maatilamittakaavan biokaasulaitos käyttää porttimaksullisina syötteinä sellaisia syötteitä, joiden porttimaksut ovat pieniä. Porttimaksujen muutokset vaikuttaisivat enemmän biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuteen, jos laitos käyttäisi sellaisia syötteitä, joista voisi periä korkeampia porttimaksuja. Tutkittu maatilamittakaavan biokaasulaitos on lähellä kannattavuutta energian hintojen ja syötteiden määrien laskiessa 10 %, kun käytetään 20 %:n investointitukea. Näissä tapauksissa tutkittu maatilamittakaavan biokaasulaitos saattaisi olla kannattava investointi, jos ollaan valmiita tinkimään tuotto-odotuksista.

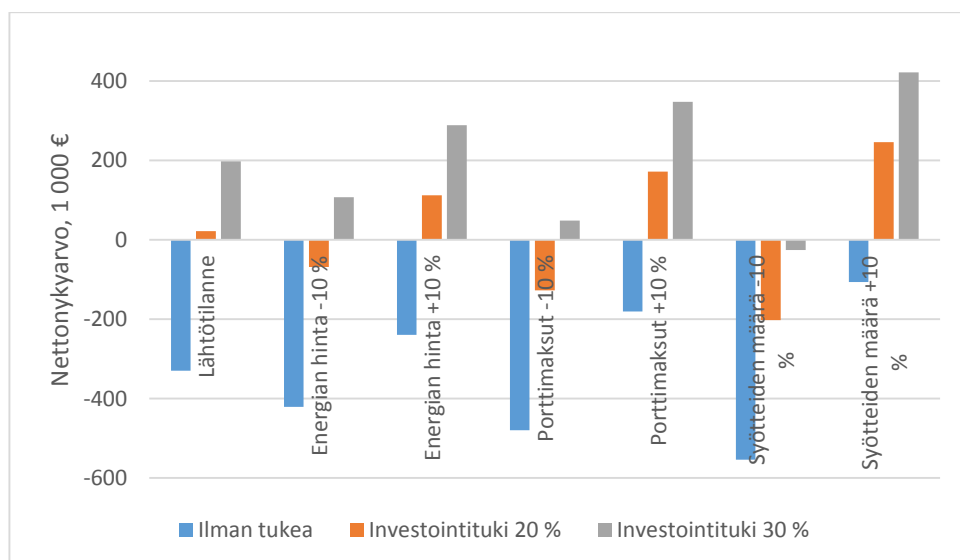
Energian hintojen kannattavuuden raja-arvo saavutetaan ilman tukia, kun energian hinnat nousevat 5,4 %. Raja-arvo saavutetaan 30 %:n investointituella energian hintojen laskiessa 13,7 % ja syötteiden määrien tippuessa 11,4 %. Jotta maatilamittakaavan biokaasulaitos olisi kannattava ilman tukia, täytyisi syötteiden määrän nousta 12,2 %. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Maatilanmittakaavan biokaasulaitoksen kriittiset arvot tai muutokset tärkeille muuttuville tekijöille. Luvut kertovat, millä tekijän arvolla maatilanmittakaavan biokaasulaitos olisi juuri ja juuri kannattava tai kuinka suuri muutos tekijässä täytyy tapahtua, jotta biokaasulaitos olisi kannattavuuden rajalla.

	Porttimaksut	Energian hinnat	Syötteen määrä	Mädätysjäätöksen hinta	Investointiaika
Maatilanmittakaava, ilman tukia	+197,8 %	+5,4 %	+12,2 %	-3,54 € (meno)	24,2 vuotta
Maatilanmittakaava, investointituki 20 %	-56,8 %	-7,3 %	-3,5 %	-7,99 € (meno)	13,4 vuotta
Maatilanmittakaava, investointituki 30 %	-100 %	-13,7 %	-11,4 %	-10,22 € (meno)	10,4 vuotta

7.2.2 Pieni biokaasulaitos

Myös pienen biokaasulaitoksen kannattavuus on herkkä muutoksille. Syötteiden määrällä on suurin vaikutus pienen biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Kun syötteiden määrä laskee 10 %, on pieni biokaasulaitos kannattamaton kaikilla lasketuilla tuilla. Syötteiden määrän noustessa 10 %, on pieni biokaasulaitos kannattava sekä 20 että 30 %:n investointituilla. Myös porttimaksujen ja energian hinnanmuutoksilla on merkittävä vaikutus pienen biokaasulaitoksen kannattavuuteen. (Kuvio 8.)



Kuvio 8. Pienen biokaasulaitoksen herkkyysoanalyysin tulokset.

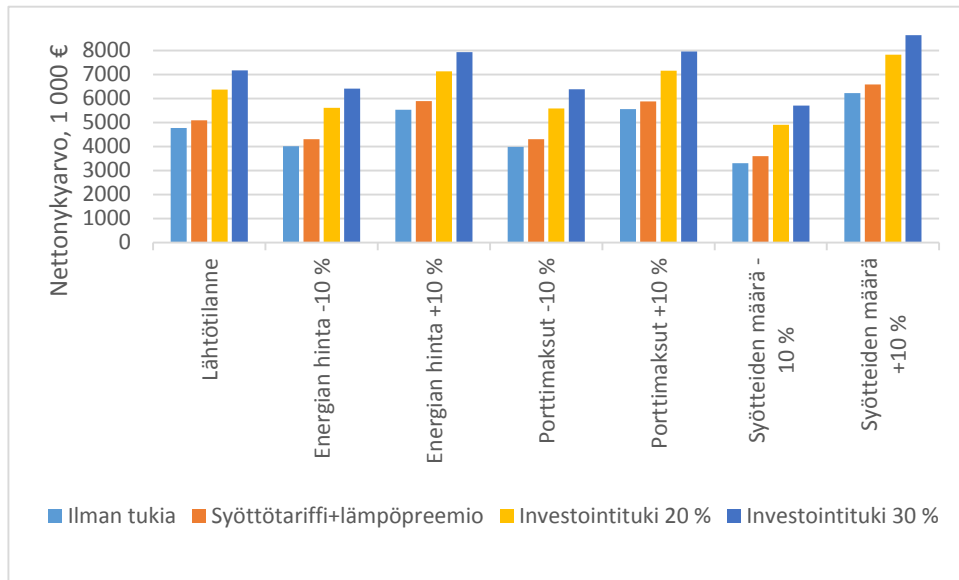
Pieni biokaasulaitos on kannattamaton ilman tukia kaikilla tutkituilla energian hinnoilla, porttimaksuilla ja syötteiden määrillä. Jotta pienestä biokaasulaitoksesta tulisi kannattava ilman tukia, täytyisi energian hintojen nousta vähintään 36,5 %, syötteiden määrän nousta 28,9 % ja porttimaksujen nousta 22,1 %. Pieni biokaasulaitos on kannattava 30 %:n investointituella kaikilla lasketuilla energian hinnoilla ja porttimaksuilla. Raja-arvo kannattavuudelle saavutetaan, jos energian hinnat laskevat 21,9 % ja porttimaksut laskevat 13,2 %. Syötteiden määrän laskevissa vähintään 8,8 %, on pieni biokaasulaitos kannattamaton 30 %:n investointituella. (Taulukko 12.)

Taulukko 12. Pienen biokaasulaitoksen kriittiset arvot tai muutokset tärkeille muuttuville tekijöille. Luvut kertovat, millä tekijän arvolla pieni biokaasulaitos olisi juuri ja juuri kannattava tai kuinka suuri muutos tekijässä täytyy tapahtua, jotta biokaasulaitos olisi kannattavuuden rajalla.

	Porttimaksut	Energian hinnat	Syötteen määrä	Mädätysjäätöksen hinta	Investointiaika
Pieni, ilman tukea	+22,1 %	+36,5 %	+28,9 %	+7,33 € (tuloa)	28,9 vuotta
Pieni, investointituki 20 %	-1,5 %	-2,4 %	-1 %	-7,95 € (meno)	14,5 vuotta
Pieni, investointituki 30 %	-13,2 %	-21,9 %	-8,8 %	-15,60 € (meno)	11,2 vuotta

7.2.3 Keskisuuri biokaasulaitos

Syötteiden määrällä on suurin vaikutus keskisuuren biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Myös energian hinnoilla ja porttimaksuilla on merkittävää vaikutusta keskisuuren biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Tutkittu biokaasulaitos on kannattava ilman tukia, sähkön tuotantotuella ja lämpöpreemiolla sekä 20 ja 30 %:n investointituella kaikilla tutkituilla muutoksilla. (Kuvio 9.)



Kuvio 9. Keskisuuren biokaasulaitoksen herkkyyssanalyysin tulokset.

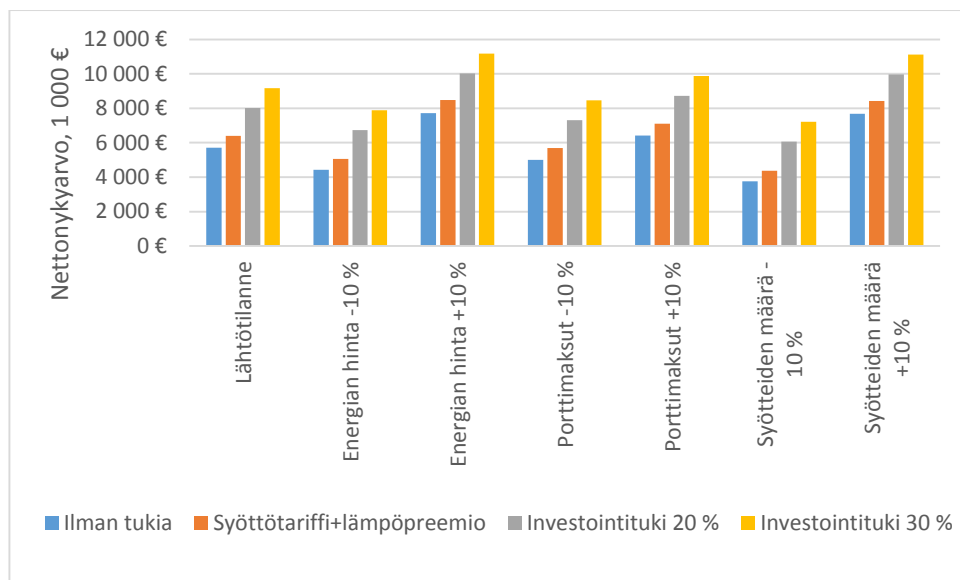
Kriittisten tekijöiden suuretkaan muutokset eivät saa keskisuurta biokaasulaitosinvestointia kannattamattomaksi. Porttimaksut, energian hinnat ja syötteiden määrät voivat laskea kymmeniä prosentteja sekä mädätysjännöksestä voi aiheutua kuluja kymmeniä euroja tuhatta kilogrammaa kohden kaikissa tukivaihtoehdoissa, että tutkittu keskisuuri biokaasulaitos saavuttaa kannattavuuden raja-arvot. (Taulukko 13.)

Taulukko 13. Keskisuuren biokaasulaitoksen kriittiset arvot tai muutokset tärkeille muuttuville tekijöille. Luvut kertovat, millä tekijän arvolla keskisuuri biokaasulaitos olisi juuri ja juuri kannattava tai kuinka suuri muutos tekijässä täytyy tapahtua, jotta biokaasulaitos olisi kannattavuuden rajalla.

	Porttimaksut	Energian hinnat	Syötteen määrä	Mädätysjännöksen hinta	Investointiaika
Keskisuuri, ilman tukia	-60,6 %	-62,6 %	-32,7 %	-45,04 € (meno)	6,8 vuotta
Keskisuuri, sähkön tuotantotuki+lämpöpreemio	-64,7 %	-64,1 %	-34,1 %	-47,57 € (meno)	6,6 vuotta
Keskisuuri, investointituki 20 %	-81 %	-83,6 %	-43,6 %	-57,81 € (meno)	5 vuotta
Keskisuuri, investointituki 30 %	-91,2 %	-94,1 %	-49,1 %	-64,19 € (meno)	4,3 vuotta

7.2.4 Suuri biokaasulaitos

Suurin vaikutus tutkitun suuren biokaasulaitoksen kannattavuuteen on syötteiden määrien muutoksilla. Energian hintojen ja porttimaksujen muutoksilla on myös merkittävä rooli suuren biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Suuri biokaasulaitos on kannattava kaikilla tutkituilla muutoksilla ilman tukea ja kaikilla tukimuodoilla. (Kuvio 10.)



Kuvio 10. Suuren biokaasulaitoksen herkkyyksanalyysin tulokset.

Myös suuri biokaasulaitos pysyy kannattavana kriittisten tekijöiden suurillakin muutoksilla. Tutkittu suuri biokaasulaitos pysyisi kannattavana ilman tukia sekä kaikilla tutkituilla tukimuodoilla, vaikka porttimaksut, energian hinnat ja syötteiden määrät tippuisivat useita kymmeniä prosentteja ja mädätysjäännöksestä aiheutuiksi kuluja yli 13 €/1 000 kg. (Taulukko 14.)

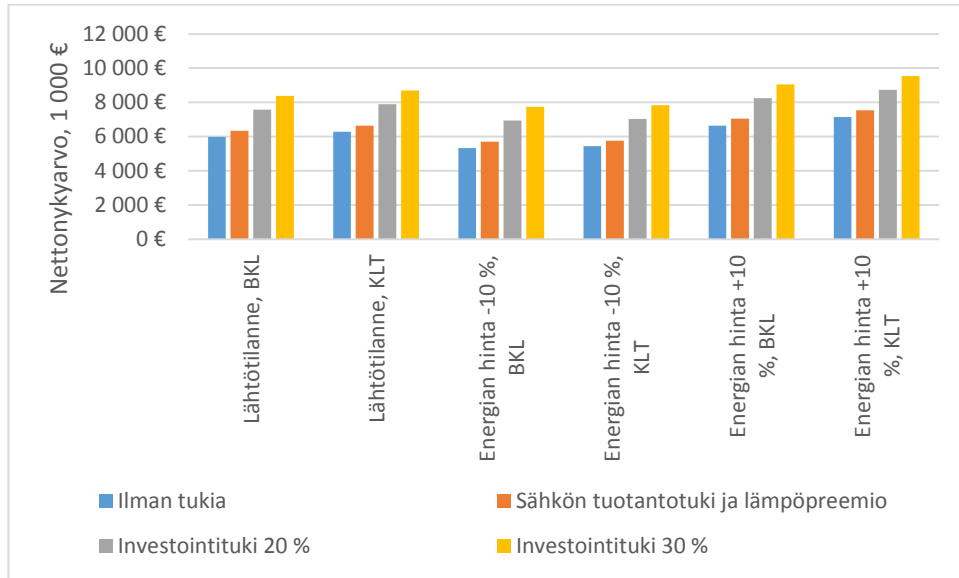
Taulukko 14. Suuren biokaasulaitoksen kriittiset arvot tai muutokset tärkeille muuttuville tekijöille. Luvut kertovat, millä tekijän arvolla suuri biokaasulaitos olisi juuri ja juuri kannattava tai kuinka suuri muutos tekijässä täytyy tapahtua, jotta biokaasulaitos olisi kannattavuuden rajalla.

	Porttimaksut	Energian hinnat	Syötteen määrä	Mädätysjäätöksen hinta	Investointiaika
Suuri, ilman tukia	-80,9 %	-37,0 %	-23,4 %	-13,34 € (meno)	8,6 vuotta
Suuri, sähkön tuotantotuki +lämpöpreemio	-90,5 %	-39,5 %	-26,3 %	-15,56 € (meno)	8,1 vuotta
Suuri, investointituki 20 %	-113,4 %	-50,9 %	-36,5 %	-18,43 € (meno)	6,2 vuotta
Suuri, investointituki 30 %	-129,7 %	-57,9 %	-43,0 %	-20,47 € (meno)	5,2 vuotta

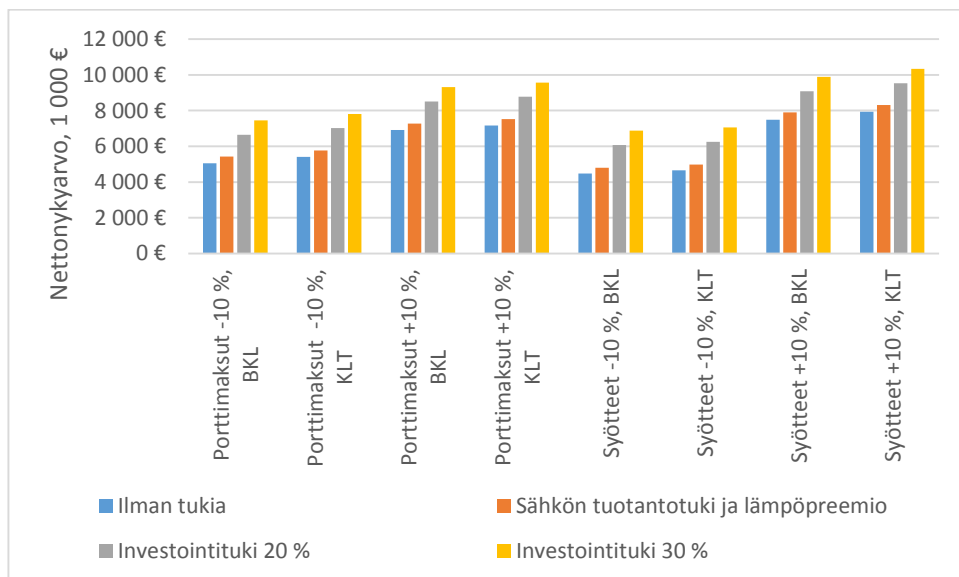
7.3 Kannattavuuslaskentatyökalu

Investointi- ja herkkyyssanalyysien lisäksi kannattavuuslaskentatyökalua testattiin vertaamalla työkalun antamia tuloksia Biokaasulaskurin antamiin tuloksiin. Testauksessa käytettiin 20 vuoden investointiajanjaksoa ja 10 %:n laskentakorkokantaa. Kuvioissa kannattavuuslaskentatyökalusta käytetään lyhennettä KLT ja Biokaasulaskurista lyhennettä BKL.

Kuvioista 11 ja 12 nähdään, että kannattavuuslaskentatyökalulla tehty herkkyyssanalyysi antaa samaa suuruusluokkaa olevat tulokset kuin Biokaasulaskurilla tehty herkkyyssanalyysi. Kannattavuuslaskentatyökalun tekemän herkkyyssanalyysin tulokset eroavat Biokaasulaskurin tuloksista 0,97–6,95 %. Suurin ero kannattavuuslaskentatyökalun ja Biokaasulaskurin antamien tulosten välillä oli energian hintojen 10 %:n nousulla ilman tukia. Pienin ero tulosten välillä oli energian hintojen 10 %:n laskulla sähkön tuotantotuki ja lämpöpreemio -vaihtoehdolla laskettaessa. Liitteessä 3 on kannattavuuslaskentatyökalun antaman herkkyyssanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskuriin antamiin tuloksiin.



Kuvio 11. Biokaasulaskurilla ja kannattavuuslaskentatyökalulla tehtyjen herkkyyksianalyysien tulosten vertailu: lähtötilanne sekä energian hintojen 10 %:n nousu ja lasku.



Kuvio 12. Biokaasulaskurilla ja kannattavuuslaskentatyökalulla tehtyjen herkkyyksianalyysien tulosten vertailu: porttimaksujen ja syötteiden määrien 10 %:n nousu ja lasku.

ProAgria Keskusten Liiton henkilöt, jotka yhtä lukuun ottamatta tutustuivat työkaluun ensimmäistä kertaa, testasivat kannattavuuslaskentatyökalua perehdytyksen jälkeen. Työkalu sai myönteisen vastaanoton. Testaajat totesivat, että ”on hyvä, kun kannattavuuslaskentatyökalu tekee suoraan herkkyysanalyysin ja näkee nopeasti, mitkä tekijät vaikuttavat kannattavuuteen eniten”. Lisäksi työkalua pidettiin helppokäyttöisenä.

Yksi arvioitsija kuvaili työkalua näin:

Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysanalyysillä voidaan tuotannon monisäikeisyyteen nähden suhteellisen helposti ja nopeasti tarkastella investoinnin kannattavuutta ja siihen vaikuttavien seikkojen suhteellista painoarvoa. Työkalulla pystyy arvioimaan myös investoinnin maksimikustannuksen niin, että investointi on edelleen kannattava.

Lisäksi hän totesi, että energiasuunnitelmaan kuuluu lähtötietojen kirjaaminen, kulutukseen vaikuttavien tietojen hyödyntäminen, kulutuksen laskenta ja tulosten arviointi. Hän lisäsi, että ”biokaasun tuotannon kannattavuuslaskentatyökalulla voidaan jatkaa laskelmaa eteenpäin hyödyntäen tilan kartoitettuja biomassavirtoja”.

Testauksen osallistujat löysivät myös kehitettävää kannattavuuslaskentatyökalusta. Näitä ehdotuksia on koottu lukuun 8.3.

8 Pohdinta

Kannattavuuslaskentatyökalulla voidaan tarkastella investoinnin kannattavuutta ja siihen vaikuttavia asioita kohtuullisen helposti. Kannattavuuslaskentatyökalun antamaa tulosta voidaan käyttää energianeuvonnan tukena. Tulokset ovat suuntaa-antavia eivätkä absoluuttisia. Siksi niistä ei pidä tehdä liian pitkälle vietyjä johtopäätöksiä.

Palveluprosessina ProAgria Keskusten Liiton energiasuunnitelmaan kuuluu lähtötietojen kirjaaminen, energiankulutukseen vaikuttavien tarkentavien tietojen hyödyntäminen, energiankulutuksen laskenta ja tulosten arviointi kehittämisen

kannalta palveluun kehitetyn työkalun avulla. Biokaasun tuotannon kannattavuuslaskentatyökalulla voidaan jatkaa laskelmaa eteenpäin. Energiasuunnitelmassa on jo valmiiksi kartoitettu tilan omat biomassavirrat tonneina. Kannattavuuslaskentatyökalu on tarkoitettu kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden tarkasteluun. Se ei tuota automaattisesti raporttia vaan esimerkiksi tuotettua kaaviokuvaa voidaan hyödyntää työn raportoinnissa.

Biokaasulaitokset eivät pysty hyödyntämään kaikkea tuottamaansa biokaasua energiaksi. Tässä opinnäytetyössä kannattavuuslaskentatyökalua testattaessa oletettiin, että biokaasulaitos pystyy myymään tai hyödyntämään 90 % tuottamastaan energiasta. Eri biokaasulaitoksissa hyödyntämisaste vaihtelee eikä biokaasulaitos pysty välttämättä hyödyntämään myyntituotteena tuottamaansa biokaasua näin tehokkaasti. Siksi investointianalyysissä saadut kannattavuuslaskennan tulokset ovat parempia kuin todellisuudessa. Investointianalyysin ja herkkyyssanalyysin tarkoituksena tässä opinnäytetyössä oli testata työkalun toimivuutta ja selvittää biokaasulaitosinvestointien kannattavuuteen vaikuttavia muuttuvia tekijöitä ja niiden vaikutusta.

Kaikissa biokaasulaitosvaihtoehdoissa ei ole järkevää investoida kaikkiin mahdollisiin energiantuotantotapoihin. Jokainen biokaasulaitos on erilainen. Biokaasulaitoksen toimivuuteen ja siten myös sen kannattavuuteen vaikuttavat monet tekijät. Biokaasun valmistusprosessiin vaikuttavia tekijöitä on kuvattu luvussa 3.5.

8.1 Tulosten luotettavuus

Biokaasulaskurilla suoritettua herkkyyssanalyysiä varten jokaisen tutkitun kriittisen muuttuvan tekijän arvoja muutettiin saman verran kuin kannattavuuslaskentatyökalulla tehdyssä herkkyyssanalyysissä. Biokaasulaskurilla tehty herkkyyssanalyysi vaati huomattavasti enemmän työtä kuin tässä opinnäytetyössä kehitetyllä kannattavuuslaskentatyökalulla tehty herkkyyssanalyysi.

Investointianalyysin ja herkkyyssanalyysin antamat tulokset olivat kummallakin työkalulla laskettuna samaa suuruusluokkaa. Sekä Biokaasulaskurin että opinnäytetyössä kehitetyn kannattavuuslaskentatyökalun tulokset ovat suuntaantavia. Laskentatyökalun ja Biokaasulaskurin antamien tulosten vertailun perusteella voidaan todeta, että kannattavuuslaskurin antamat tulokset ovat riittävän luotettavia energianeuvonnan käyttöön. Kannattavuuslaskentatyökalun ja Biokaasulaskurin antamien tulosten vertailun tulokset on kirjattu lukuun 7.3 sekä liitteeseen 3.

8.2 Tulosten tarkastelu opinnäytetyön tavoitteita ja viitekehystä vasten

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää kannattavuuslaskentatyökalu biokaasulaitosinvestointien kannattavuuden ja riskien arviointia varten. Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena kannattavuuslaskentatyökalun kehittämisen lisäksi oli selvittää biokaasutuotannon kustannusrakenteita erilaisilla tuotantokonsepteilla haastatteleamalla biokaasulaitosten edustajia. Haastatteluista ei saatu riittävästi tietoa kustannusrakenteiden selvittämiseen. Siksi opinnäytetyössä päädyttiin selvittämään muuttuvien tekijöiden vaikutusta biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuuteen kannattavuuslaskentatyökalua testaamalla.

Luvussa *8.1 Tulosten luotettavuus* todetaan, että tässä opinnäytetyössä kehitetyllä kannattavuuslaskentatyökalulla saadaan samaa suuruusluokkaa olevat tulokset investointi- ja herkkyyssanalyysissä kuin Biokaasulaskurilla tehtäessä. Voidaan siis todeta, että kannattavuuslaskentatyökalu toimii ja tulokset ovat riittävän luotettavia. Opinnäytetyössä tutkittujen biokaasulaitosten kannattavuuteen vaikuttavat tekijät olivat pitkälti samoja kuin aikaisemmissa tutkimuksissa.

Tässä opinnäytetyössä todettiin, että mädätysjäännöksen hinnan 10 %:n muutoksilla ei ole suurtakaan merkitystä biokaasulaitosten kannattavuuteen. Gebrezgabher ym. (2010a, 112, 114) huomasivat, että mädätysjäännöksestä aiheutuvat kulut tai tulot voivat kuitenkin vaihdella huomattavasti ja vaikuttavat siten suuresti biokaasulaitoksen taloudelliseen tuottavuuteen. Mädätysjäännöksen

hintaerot tulivat ilmi myös haastateltaessa biokaasulaitosten edustajia tätä opinnäytetyötä varten. Ennen biokaasulaitoksen perustamista pitäisikin huolella miettiä, löytyykö mädätysjäännökselle järkevää ja kohtuuhintaista käyttöä tai voisiko mädätysjäännöksestä saada jopa tuloja lannoitevalmisteiden tai maanparannusaineiden valmistuksen muodossa.

Luste ym. (2012, 19) totesivat, että erilaisilla tuilla ja veropäätöksillä on suuri merkitys biokaasulaitosinvestointien kannattavuuteen. Keskisuuri ja suuri biokaasulaitos ovat kuitenkin tämän opinnäytetyön tulosten valossa kannattavia ilman tukia, mutta investoinnin riskit pienenevät huomattavasti tukien ansiosta. Myös Gebrezgabher ym. (2010a, 113) ja Jacobsen ym. (2014, 138) tulivat johtopäätökseen, että tuilla on myönteinen vaikutus biokaasulaitoksen kannattavuuteen ja tukien pois jääminen pienentää biokaasulaitoksen kannattavuutta. Toisaalta Jacobsen ym. (2014, 138) totesivat, että biokaasulaitoksen pitäisi pystyä toimimaan ilman tukia. Jotta tähän päästäisiin, täytyy investointiin, biokaasulaitokseen ja biokaasun tuotantoprosessiin liittyvät asiat suunnitella huolella ennen investointipäätöksen tekemistä. Myös uudessa hallitusohjelmassa kannustus bioenergiaan perustuu laskevaan tukeen (Valtioneuvosta 2015, 21).

Gebrezgabher ym. (2010a, 113–114) huomasivat tutkimuksessaan, että erilaisilla syötteillä on erilainen vaikutus biokaasulaitoksen tuottoisuuteen. Tämä johtui syötteiden erilaisesta määrästä, hinnasta ja kyvystä tuottaa biokaasua. Tässä opinnäytetyössä syötteiden määrien muutoksilla todettiin olevan merkittävää vaikutusta biokaasulaitosten kannattavuuteen: syötteiden määrien muutokset aiheuttavat muutoksia syntyvän biokaasun määrään ja porttimaksuista saataviin tuloihin.

Taavitsainen (2011, 72) totesi, että maatilamittakaavan biokaasulaitos voidaan saada kannattavaksi porttimaksujen avulla. Lisäksi hän ehdotti liikennebiokaasun tuotantoa myös pienemmän kokoluokan laitoksille. Myös Kalmari (2006, 54–55) kertoi omassa pro gradu -tutkielmassaan, että porttimaksut lisäävät biokaasulaitosten kannattavuutta. Gebrezgabher ym. (2010a, 114) havaitsivat omassa tutkimuksessaan, että maksullisten syötteiden hinnalla on selvä yhteys biokaasulaitoksen kannattavuuteen.

Gebrezgabher ym. (2010b, 33–34) totesivat, että investointikustannus, tuet, biokaasun saanto, syötteiden porttimaksut tai kustannukset sekä mädätysjäännöksestä aiheutuvat kustannukset tai tulot ovat tärkeimpiä biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tässä opinnäytetyössä todettiin, että myös energian hinnalla on oleellinen vaikutus biokaasulaitoksen taloudelliseen kannattavuuteen.

Smyth ym. (2010, 4) totesivat, että biokaasulaitoksen investointikustannus tuotettua biokaasumäärää kohden laskee, kun biokaasulaitoksen koko kasvaa. Jacobsen ym. (2014, 138) kirjoittivat, että biokaasulaitoksen koon kasvaessa, biokaasun tuotantokustannukset laskevat tuotettua biokaasumäärää kohden. Tämä johtui alhaisemmista käyttökustannuksista suhteessa tuotetun biokaasun määrään. (Jacobsen ym. 2014, 138.) Myös tässä opinnäytetyössä huomattiin, että biokaasulaitoksen koko vaikuttaa suuresti investoinnin kannattavuuteen ja biokaasulaitoksen koon kasvaessa kannattavuus paranee.

Biokaasulaitoksen pitäisi sijaita lähellä syötteen syntypaikkaa. Jacobsenin ym. (2014, 141) mukaan 14 km on kriittinen etäisyys syötteen syntypaikasta biokaasulaitokselle. Tämän jälkeen kuljetuskustannukset nousevat liian korkeiksi. He totesivat, että jos biokaasulaitos ei tuota itse sähköä ja lämpöä, se voi myydä puhdistamattoman biokaasun lähellä sijaitsevalle CHP-laitokselle. Tällöin biokaasulaitos välttyy kalliilta biokaasun jalostamiselta. Jos biokaasulaitos sijaitsee kaukana CHP-laitokselta eikä sillä ole omaa CHP-laitosta, biokaasulaitoksen täytyy puhdistaa biokaasu maakaasuverkkoon syöttämistä varten tai jalostaa biokaasu liikennebiokaasun myymiseksi. Puhdistaminen ja jalostaminen ovat kalliita prosesseja. (Jacobsen ym. 2014, 138.)

8.3 Ehdotus kannattavuuslaskentatyökalun kehittämiseksi tulevaisuudessa

Maatilamittakaavan biokaasulaitokset tuottavat lämpöä ja sähköä omalle maatilalle eivätkä välttämättä myy niitä ulkopuoliselle. Biokaasulaitoksen lämmön ja sähkön kulutukseen vaikuttaa esimerkiksi se, millainen on laitoksen biokaasun tuotantoprosessi. Kannattavuuslaskentatyökalussa biokaasulaitoksen lämmön ja sähkön kulutus lasketaan kiinteiden prosenttiosuuksien avulla. Kannattavuuslaskentatyökalun toimivuutta voidaan parantaa muuttamalla kiinteät prosenttiosuudet muutettaviksi. Biokaasulaitoksen energiankulutus vaikuttaa oleellisesti myös laitoksen kannattavuuteen. Siksi energiankulutuksen vaikutusta biokaasulaitoksen kannattavuuteen voisi tutkia herkkyyksianalyysiin avulla.

Kannattavuuslaskentatyökalusta puuttuu ominaisuus reaktorikoon laskentaan ja arvioimiseen. Tarvittavan reaktorin koko on helppo määrittää viipymän, syötteiden ja laimennusveden määrien avulla. Lisäksi laskuri voisi laskea reaktorin orgaanisen aineen kuormituksen reaktorikuutiometriä kohti vuorokaudessa. Myös energiantuotantolaitteiden käyttökustannukset olisi hyvä huomioida biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuutta arvioitaessa.

Kannattavuuslaskentatyökalun testaajat toivoivat, että työntekijöistä aiheutuvia kustannuksia voisi muuttaa. He myös toivoivat, että kustannukset voisi ilmoittaa vuosikustannusten sijaan kuukausipalkkana ja työkalu laskisi vuosittaiset työntekijäkustannukset. Tämä muutos olisi helposti toteutettavissa. Lisäksi testaajat toivoivat, että työkalulle annettaisiin parempi nimi.

Testaajien kanssa pidetyssä aivoriihessä pohdittiin, olisiko tarpeellista lisätä työkaluun ominaisuus, joka ottaisi huomioon syötteiden kuljetukseen tarvittavan matkan. Todettiin, että tämä on otettu huomioon jo syötteiden porttimaksuissa ja kustannuksissa eikä tällaista ominaisuutta tarvita vielä tässä vaiheessa. Asiaa on toki hyvä pohtia. Toisaalta mahdollisesta mädätysjäätymisen kuljettamisesta ja levittämisestä aiheutuvat kulut vaikuttavat oleellisesti biokaasulaitoksen kannat-

tavuuteen. Siksi biokaasulaitosinvestointia suunniteltaessa nämä kulut olisi syytä pystyä laskemaan tarkemmin kuin tässä opinnäytetyössä tehdyllä kannattavuuslaskentatyökalulla on mahdollista.

Kannattavuuslaskentatyökalun käytettävyyteen liittyvät muut kehittämiskohteet ilmenevät vasta suuremman käyttäjäkunnan käytössä. Työkalua voidaan tulevaisuudessa kehittää käyttäjäystävällisemmäksi käyttäjien antaman palautteen perusteella. Visuaalinen ilme on suorassa yhteydessä käytettävyyden kanssa: käytettävyyttä kehitettäessä paranee myös työkalun visuaalisuus ja päinvastoin.

Kannattavuuslaskentatyökalusta voidaan pieniä muutoksia tekemällä tehdä työkalu myös pelletti- ja hakelaitoksen investoinnin kannattavuuden ja riskien arviointiin. Tämä helpottaisi energianeuvontatyötä.

8.4 Oppiminen ja ammatillisen kasvun ja kehityksen kuvaus

Aloittaessani opinnäytetyön suunnitelman työstämistä, en tiennyt juuri mitään investointilaskelmista, menetelmistä tai herkkyysanalyyseistä. Suunnitelman kirjoittamisen ja viimeistään opinnäytetyöhön kuuluvan kannattavuuslaskentatyökalun suunnittelu- ja toteutusvaiheissa opin valtavasti investointien kannattavuuteen ja herkkyysanalyysiin liittyviä asioita. Tietämykseni myös biokaasusta, biokaasun tuottamisesta ja jalostamisesta sekä kannattavuudesta ja kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä lisääntyi valtavasti matkan varrella.

Opinnäytetyön tulosten kirjoittamisen aikana ymmärsin kirjoittaneeni viitekehystä vääristä lähtökohdista: biokaasun tuotantoprosessista, biologiasta ja jalostamisesta kirjoittamisen sijaan minun olisi pitänyt kirjoittaa enemmän biokaasun tuotannon kannattavuudesta. Päätin kuitenkin jättää aikaisemmin kirjoittamani osuudet opinnäytetyöhön, koska kyseisillä tekijöillä on suuri vaikutus biokaasun tuottoon ja sitä kautta biokaasulaitosten kannattavuuteen.

Kehittämistoiminnan osaaminen -kurssi ja opinnäytetyön tekemiseen liittyvät luennot olivat erittäin hyviä ja mielenkiintoisia. Näiltä kursseilta ja luennoilta sai erittäin hyviä ideoita opinnäytetyön tekemiseen ja kirjoittamiseen. Ne tulivat kohdallani kuitenkin liian myöhään: opinnäytetyöhön liittyvien luentojen aikaan olin kirjoittanut lähes koko opinnäytetyön viitekehyksen ja kehittämistoiminnan osaaminen -kurssin loputtua olin tehnyt lähes koko opinnäytetyön kirjallisen osuuden. Opinnäytetyön loppumetreillä päätin kehittämistoiminnan osaaminen -kurssin inspiroimana pitää aivoriihen energianeuvojen kanssa. Totesin, että testikäyttö ja aivoriihi ProAgria Keskusten Liiton henkilöiden kanssa oli hyödyllinen. Lisäksi sain tehtyä vielä viimeiset käytettävyyteen vaikuttavat korjaukset kannattavuuslaskentatyökaluun.

Suoritin opinnot yhdessä vuodessa normaalin kahden vuoden sijaan. Opinnäytetyöpaikan löytämisessä oli haasteita ja tein paljon työtä työpaikan löytämiseksi. Pääsin tekemään opinnäytetyötä liian myöhään. Tämä aiheutti kiireisen aikataulun opinnäytetyön tekemiselle. En ehtinyt pitää opinnäytetyön toteutus- ja raportointivaiheissa luovia taukoja. Tauot olisivat auttaneet huomaamaan paremmin työssä tehdyt virheet ja puutteet sekä auttanut uusien ideoiden luomisessa. Pieni tauko kirjoittamisessa olisi tehnyt hyvää erityisesti työn loppupuolella. Tiukka aikataulu rajoitti myös lähestymistapojen ja menetelmien valintaa.

Uskon, että opinnäytetyön tekemisen aikana luodut uudet kontaktit auttavan minua myöhemmin työelämässä. Sain tutustua mukaviin ja ammattitaitoisiin ihmisiin. Myös opinnäytetyön ohjauksella oli suuri merkitys. Sain hyviä ohjeita, vinkkejä ja ideoita ProAgria Keskusten Liiton ohjaajaltani kehityspäällikkö Maarit Karilta ja Karelia ammattikorkeakoulun opinnäytetyön ohjaajiltani lehtori Juha Kilpeläiseltä ja projektipäällikkö Ville Kuittiselta.

9 Yhteenveto

Biokaasun tuotannon kannattavuuteen vaikuttavat monet asiat, joita voidaan tarkastella teoreettisten kannattavuuslaskelmien avulla. Tässä opinnäytetyössä kehitettiin kannattavuuslaskentatyökalu biokaasun tuotannon taloudellisen kannattavuuden arvioimiseksi erilaisilla muuttujilla sekä tarkasteltiin kannattavuuden herkkyyttä kriittisten tekijöiden muutoksille. Laskentatyökalu tehtiin palvelemaan ProAgrian energianeuvontaa ja ProAgria Keskusten Liitto osallistui työn tavoitteiden määrittelyyn, rajauksiin, toteutuksen suunnitteluun sekä sovelluksen rakentamiseen ja arviointiin.

ProAgria Keskusten Liiton arvioijat olivat tyytyväisiä kannattavuuslaskentatyökaluun ja työkalun helppokäyttöisyyteen. He katsoivat, että työkalun antama apu biokaasulaitosinvestointia suunnittelevan asiakkaan neuvonnassa oli myönteinen asia.

Lähteet

- Andersson, J-O., Ekström, C. & Gabrielsson, A. 2001. Kannattavuussuunnittelu ja -laskenta. Juva: Tietosanoma.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreève, J. & Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34, 755–781.
- Babae, A. & Shayegan, J. 2011. Effect of organic loading rate (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste. *World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden*. http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol1/055/ecp57vol1_055.pdf. 20.1.2015.
- Bailón Allegue, L. & Hinge, J. 2012. Biogas and bio-syngas upgrading. Aarhus: Danish Technological Institute.
- Balussou, D. Kleyböcker, A., McKenna, R., Möst, D. & Fichtner, W. 2012. An economic analysis of three operational co-digestion biogas plants in Germany. *Waste and Biomass Valorization*, Vol 3, 23-41.
- Ben, M., Kennes, C. & Veiga, M.C. 2013. Biogas. Teoksessa Kennes, C. & Veiga, M.C. *Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy*. USA: John Wiley & Sons, 321–344.
- Chen, Y., Cheng, J.J. & Creamer, K.S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* Vol. 99, 4044–4064.
- Deepanraj, B., Sivasubramanian, V. & Jayaraj, S. 2014. Biogas Generation through Anaerobic Digestion Process – An Overview. *Research Journal of Chemistry and Environment* Vol. 18, 80–93.
- Delzeit, R. & Kellner, U. 2011. How location decisions influence transport costs of processed and unprocessed bioenergy digestates: The impact of plant size and location on profitability of biogas plants in Germany. *Kiel Working Papers*, No. 1730.
- Direktiivi puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä 2009/33/EY. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0033&qid=1426165190071&rom=FI>. 12.3.2015.
- Elinkeinoelämän keskusliitto. 2010. Palkkatilastokatsaus 2009. http://pda.ek.fi/www/fi/tutkimukset_julkaisut/2010/5_touko/PalkkatilastoKatsaus_2009.pdf. 10.2.2015.
- Elinkeinoelämän keskusliitto. 2014. Palkkatilasto: Tuntipalkkatilasto 4. neljännekseltä 2013. http://ek.fi/wp-content/uploads/Tuntipalkkatilasto-4_neljannes-2013-net1.pdf. 10.2.2015.
- Energiamarkkinavirasto. 2013. Maksatusohje: Uusiutuvilla energialähteillä tuotettavan sähkön tuotantotuen maksatuksen hakeminen – ohje sähkön tuottajille. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Maksatusohje+1+2+2013.pdf/197d7946-ae7e-4fed-ad52-9675983db7e8>. 25.2.2015.
- Envor. 2015. Biojätehinnasto. 1.1.2015. http://envor.fi/UserFiles/envor/File/hinnasto/2015/EB_Biojate%201.1.2015.pdf. 10.2.2015.
- Finlex. 2013. Energiateollisuuden toimihenkilöiden työehtosopimus. 28.11.2013. <http://finlex.fi/data/tes/stes4785-TT14Energith1410.pdf>. 10.2.2015.

- Gabriel, D., Deshusses, M.A. & Gamisans, X. 2013. Desulfurization of biogas in biotrickling filters. Teoksessa Kennes, C. & Veiga, M.C. Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy. USA: John Wiley & Sons, 513–544.
- Gasum. 2015. <http://www.gasum.fi/Puhtaampi-liikenne/Liikennekaasun-hinta/>. Liikennekaasun hinta tankkausasemilla. 12.3.2015.
- Gebrezgabher, S.A., Meuwissen, M.P.M., Prins, B.A.M. & Oude Lansink, A.G.J.M. 2010a. Economic analysis of anaerobic digestion – A case of Green power biogas plant in The Netherlands. Alankomaat: NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 57, 109–115.
- Gebrezgabher, S.A., Meuwissen, M.P.M. & Oude Lansink, A.G.J.M. 2010b. Costs of Producing Biogas at Dairy Farms in The Netherlands. Alankomaat: International Journal on Foodsystem Dynamics, 26–35.
- Goyal, R., Babu, V. & Patel, G. 2013. Biomethane Production. Teoksessa Scrivener, M. & Carmical, P. (toim.). Biofuels Production. USA: John Wiley & Sons, 333–356.
- Greer, D. 2010. Fundamentals of Biogas Conditioning and Upgrading. Bio-Cycle. Vol. 51, 27–30
- Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2005. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Huovari, N., Rautanen, J. & Wihersaari, M. 2008. Biokaasulaitosten energiatase maatilojen biomassoja hyödyntävissä laitoksissa. Motiva Oy. http://www.motiva.fi/files/4005/Biokaasulaitosten_energiatase_maatilojen_biomassoja_hyodyntavissa_laitoksissa.pdf. 4.12.2014.
- Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2014. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17. Tiedot vuodelta 2013. Itä-Suomen yliopisto. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 19. Joensuu: Grano Oy.
- Ikäheimo, S., Lounasmeri, S. & Walden, R. 2009. Yrityksen laskentatoimi. 3. uudistettu painos. Juva: Ws Bookwell Oy.
- Jacobsen, B.H., Laugesen, F.M. & Dubgaard, A. 2014. The economics of biogas in Denmark: a farm and socioeconomic perspective. International Journal of Agricultural Management. Vol 3, 135–144.
- Jyrkkiö, E. & Riistama, V. 2004. Laskentatoimi päätöksenteon apuna. Porvoo: WSOY.
- Järvenpää, M., Länsiluoto, A., Partanen, V. & Pellinen J. 2010. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. Porvoo: WSOY.
- Kalmari, J. 2006. Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Pro gradu –tutkielma. <http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Selv42.pdf>. 3.6.2015.
- Kapuinen, P. 1996. Lannan levitys kasvustoon, osa 2: Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen. Vakolan tutkimusselostus 73. Vihti: Maatalouden tutkimuskeskus.
- Karjalainen, L. 2001. Optimi. Matematiikkaa talouselämän ammattilaisille. Jyväskylä: Pii-Kirjat Ky.
- Khan, M. & Islam, M.R. 2011. Potential of Biogas in the Zero-Waste Mode in the Cold-Climate Environment. Teoksessa Daniels, J.A. (toim.). Advances in Environmental Research, Vol. 18. USA: Nova Science Publishers, Inc, 21–37.
- Kinnunen, J., Laitinen, E.K., Laitinen, T., Leppiniemi, J. & Puttonen, V. 2007. Avain laskentatoimeen ja rahoitukseen. Keuruu: KY-Palvelut Oy.

- Knüpfer, S. & Puttonen, V. 2009. Moderni rahoitus. Helsinki: WSOYpro.
- Laine, H.S. 2010. Tehokas kunnossapito: tuottavuutta käynnissäpidolla. Helsinki: KP-Media Oy.
- Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. 2007. Tapaustutkimuksen taito. Helsinki: Gaudeamus.
- Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010 10 §.
- Lampinen, A. 2003. Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. Kuntatekniikka 1/2003.
- Lampinen, A. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. Dimensio 3.
- Latvala, M. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). ss. 29–43. Suomen ympäristökeskus 24/2009.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues. Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House.
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä Innovation Oy.
- Lopez, M.E., Rene, E.R., Veiga, M.C. & Kennes, C. 2013. Biogas Upgrading. Teoksessa Kennes, C. & Veiga, M.C. Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy. USA: John Wiley & Sons, 293–318.
- Luostarinen, J. 2015. Hintatietoja opinnäytetyöhön. johanna.h.niemi-nen@edu.karelia.fi. 26.3.2015.
- Luste, S., Soininen, H., Ranta-Korhonen, T., Seppäläinen, S., Laitinen, A. & Tervo, M. 2012. Biokaasulaitos osana omavaraista maatilaa. Tutkimuksia ja raportteja 75. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Marttinen, S., Lehtonen, H., Luostarinen, S. & Rasi, S. 2013. Biokaasuyrittäjän toimintaympäristö Suomessa: Kokemuksia MMM:n investointiavustusjärjestelmästä 2008–2010. <https://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/481097/mttraportti103.pdf?sequence=1>. 8.1.2015.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2007. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 1999. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2014. Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, A. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Jokioinen: MTT.
- Panwar, A.S., Jugran, J. & Joshi, G. 2013. Production of Biofuels. Teoksessa Scrivener, M. & Carmical, P. (toim.). Biofuels Production. USA: John Wiley & Sons, 147–166.
- Persson, M., Jönsson, O. & Wellinger, A. 2006. Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection. IEA Bioenergy.
- ProAgria. 2015. ProAgria: Tietoa ProAgriasta. <http://www.proagria.fi/tietoa-proagriasta>. 27.5.2015.

- Pulkkinen, P. & Holopainen, M. 2006. Talous- ja rahoitusmatematiikka. Helsinki: WSOY.
- Puolamäki, E. & Ruusunen, P. 2009. Strategiset investoinnit: Johtaminen, prosessit ja talouden ohjaus. Helsinki: Tietosanoma.
- Rautio, E. 2014. Suuri kuivamädätyslaitos Espoon Ämmässuolle. Biokaasu-lehti. http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasu_lehti_2_2014.pdf. 4.12.2014.
- Rilla, N. & Saarinen, J. 2007. Tutkimusmatka innovaatioihin. Helsinki: Tekes.
- Smyth, B.M., Smyth, H. & Murphy, J.D. 2010. Can grass biomethane be an economically viable biofuel for the farmer and the consumer? Irlanti: Biofuels, Bioproducts & Biorefining.
- Suomen Kaasuyhdistys. 2014. Maakaasu käsikirja – Helmikuu 2014. Suomen Kaasuyhdistys ry.
- Suomen Pankki. 2015. Suomen Pankki eurojärjestelmä. http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/korot/pages/tilastot_markkina- ja_hallinnolliset_korot_euriborkorot_pv_chrt_fi.aspx. 11.5.2015.
- Taavitsainen, T. 2011. Biokaasuteknologian edistäminen Pohjois-Savossa – Kestävä uusiutuvan energian tuotanto ja ravinteiden kierrätys (BIOTILA –hanke) Liiketoimintaosa-alueen loppuraportti. Envitecpolis – Ympäristöliiketoiminnan ammattilaiset.
- Tenhunen, M-L. 2013. Johdon laskentatoimi eri laskentatilanteissa. Tilisanomat. <http://tilisanomat.fi/content/johdon-laskentatoimi-eri-laskentatilanteissa>. 9.12.2014.
- Tevä-Helminen, V. 2013. Investointilaskenta ja päätöksen teko – Opetusmoniste. http://users.metropolia.fi/~mikalem/investointilaskenta/Opetusmoniste_InvLask_280813.pdf. 9.12.2014.
- Tilastokeskus. 2015a. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=050_ehi_tau_105_fi&ti=S%E4hk%F6n+hinta+kuluttajatyypeitt%E4in%2C+snt%2FkWh+%28Hinat+sis%E4lt%E4v%E4t+s%E4hk%F6nergian%2C+siirtomaksun+ja+verot%2E%29&path=../Database/StatFin/ene/ehi/&lang=3&multilang=fi. 12.3.2015.
- Tilastokeskus. 2015b. Valmiste- ja arvonnäisäverot sekä veroluonteiset maksut eri energialähteiden kuluttajahinnoissa. http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=100_ehi_tau_110_fi&ti=Valmiste%2D+ja+arvonnis%E4verot+sek%E4+veroluonteiset+maksut+eri+energial%E4hteiden+kuluttajahinnoissa&path=../Database/StatFin/ene/ehi/&lang=3&multilang=fi. 12.3.2015.
- Tilastokeskus. 2015c. Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin. http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=080_ehi_tau_108_fi&ti=Kaukol%E4mm%F6n+hinta+kuluttajatyypeitt%E4in&path=../Database/StatFin/ene/ehi/&lang=3&multilang=fi. 12.3.2015.
- Tilastokeskus. 2015d. Maakaasun hinta kuluttajatyypeittäin. http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=070_ehi_tau_107_fi&path=../database/StatFin/ene/ehi/&lang=3&multilang=fi. 12.3.2015.
- Torri, P. 2015. Gasum Oy. Suullinen tiedoksianto 10.3.2015.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015. 3.2.2015. Tuen enimmäismäärät. http://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara. 22.2.2015.

- Ukipolis. 2014. 4.7.2014. Kannattaisiko rakentaa biokaasulaitos? <http://www.ukipolis.fi/uutiset.html?172>. 13.5.2015.
- Uusi-Penttilä, P. 2004. Biokaasun liikennekäyttö Jyväskylän seudulla – Esiselvitys. Jyväskylä: Jyväskylä Science Park.
- Vaasan Yliopisto. Investoinnin kannattavuuden mittarit. http://lipas.uwasa.fi/~mla/orms1030avoin/orms1030s09_avoinIKM.pdf. 3.6.2015.
- Valtioneuvosto. 2015. Ratkaisujen Suomi – Neuvottelutulos strategisesta hallitusohjelmasta. http://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1427398/Hallitusohjelma_27052015.pdf/75d94d8d-15c9-405a-8a9b-eca4987b635e. 3.6.2015.
- Valtioneuvoston asetus maatalan investointituen kohdentamisesta 241/2015 16 §.
- Vilkkumaa, M. 2010. Yrityksen menestyksen mittarit – Tunnusluvut, yrityksen hinnan määrittäminen & tilinpäätösanalyysi. Helsinki: Yrityskirjat Oy.
- Wang, G. 2010. Biogas Production from Energy Crops and Agriculture Residues: a review. Denmark: Technical University of Denmark.
- Weiland, P. 2009. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology Biotechnology 85: 849–860.
- Yritystulkki. 2014. YT22 Investoinnin laskentaopas. http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf. 8.12.2014.

Saatekirje

Liite 1

Tämä kysely on osa Karelia ammattikorkeakoulun ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyötä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää erilaisten tuotantokonseptien omaavien biokaasulaitosten tuotannon kannattavuutta ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tämä opinnäytetyö tukee ProAgrian energianeuvontaa jäsentämällä biokaasun tuotannon kustannusrakenteen eroja erilaisilla tuotantokonsepteilla lähellä suuren maatilaa kokoluokkaa ja auttaa biokaasun tuottajia kehittämään toimintaansa kannattavampaan suuntaan.

Tutkimuksen kohteiksi on valittu neljä erilaista biokaasun tuotantolaitosta. Jokaisella laitoksella on erilaiset syötteet, tuotantoprosessit ja tuotteet.

Liikesalaisuuksia ei paljasteta julkisessa opinnäytetyössä. Kaikki laskelmat tehdään vertailtavuuden vuoksi ja liikesalaisuuksien varjelemiseksi samoilla energian ja porttimaksujen hinnoilla.

Pienen otannan takia tässä tutkimuksessa ei käytetä tilastollisia menetelmiä. Tarkoituksena on tehdä investointianalyysi vastaavanlaisista uusista laitoksista. Lisäksi tehdään herkkyysanalyysi riskien tutkimiseksi.

Kiitos yhteistyöstä!

Johanna Nieminen

Tuotantolaitos

	m ³	investointi, Eur	Sähkön kulutus, kWh/v	Lämmön kulutus, kWh/v	Energiankulutus yht. kWh/v	Energian lähde/pääpolttoaine	Laitteen nimellisiitäntäteho (W)
Kiinteän massan varastot yhteensä							
Liettevarastot							
Vastaanottoyksikkö 1, mikä?							
Vastaanottoyksikkö 2, mikä?							
Vastaanottoyksikkö 3, mikä?							
Murskaus (kapasiteetti tn/vrk)							
Erottelutekniikka 1 (kapasiteetti tn/vrk)							
Erottelutekniikka 2 (kapasiteetti tn/vrk)							
Metallin erottelu (kapasiteetti tn/vrk)							
Reaktori 1							
Reaktori 2							
Sekoitus reaktorissa							
Jälkimädätys							
Esihygienisointi							
Jälkihygienisointi							
Kaasun puhdistus m ³ /vrk							
Kaasun paineistus m ³ /vrk							

Prosessi

		Yksikkö	Huom.
Lämpötila		°C	
pH			
Viipymä, pääreaktori		vrk	
Viipymä, jälkimädätys		vrk	
Täyttöaste, pääreaktori		%	
Syötteen määrä		tn/vrk	
VS määrä		tn/vrk	
TS määrä		tn/vrk	
Prosessiin palautettava rejektiveden määrä		m ³ /vrk	
Prosessiin käytettävän puhtaan veden määrä		m ³ /vrk	
Syntyvän mädätteen määrä		tn/vrk	TS-%
Kiinteää mädätettä		tn/vrk	TS-%
Rejektivettä		m ³ /vrk	TS-%
Syntyvän biokaasun määrä		m ³ /vrk	
Kaasun CH ₄ -pitoisuus		%	
Saanto		%	

Tuotteet

Tuote	Määrä	Yksikkö
Lämpö, kaikki		kWh/v
Lämpö, oma prosessi		kWh/v
Lämpö, myynti		kWh/v
Sähkö, kaikki		kWh/v
Sähkö, oma prosessi		kWh/v
Sähkö, myynti		kWh/v
Liikennepolttoainetta, myynti		m ³ /v
Mädätysjäännöksen käyttö		

Käyttökulut

Käyttökulu	h/a	€/a
Käyttötyöt (sis. huollot)		
Varaosat, laitteet ja tarvikkeet		
Kuljetukset		
Muu, mikä		
Muu, mikä		

Muuta:

Liityntäteho (A):

sisään

ulos

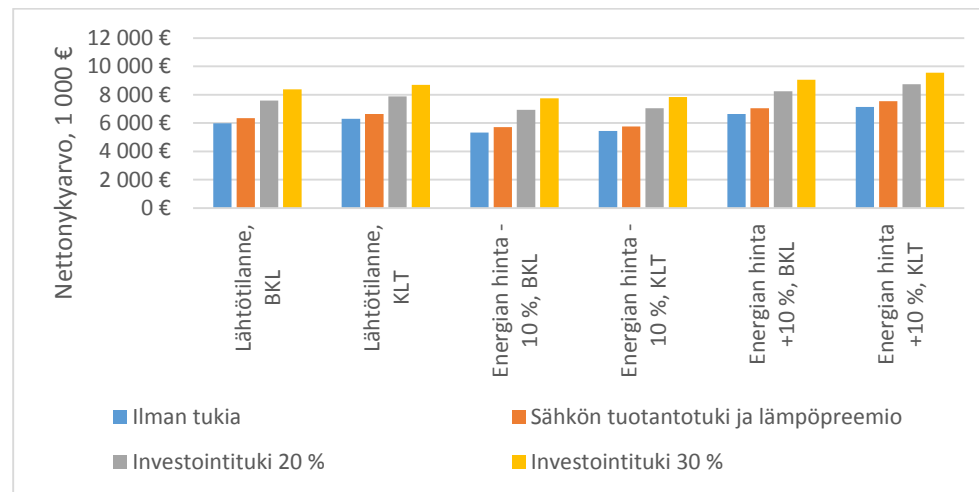
Käyttäjäkokemuksia laitoksesta:

1. Mitä tekisit toisin, jos nykyisellä kokemuksella rakentaisit vastaavan laitoksen?
2. Onko lähtömateriaalin vastaanotto ja varastointi mielestäsi toimiva? Mikä on hyvää? Mitä tekisit toisin?
3. Toimiiko mädätysprosessi hyvin? Onko kehitettävää?
4. Mädatteestä saatavat tulot / menot?
5. Muita huomionarvoisia asioita:

Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin

Taulukko 1. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: lähtötilanne ja energian hinnan muutokset.

	Lähtötilanne, BKL	Lähtötilanne, KLT	Lähtötilanne, ero	Energian hinta -10 %, BKL	Energian hinta -10 %, KLT	Energian hintojen -10 % ero	Energian hinta +10 %, BKL	Energian hinta +10 %, KLT	Energian hintojen +10 % ero
Ilman tukia	5 977 652 €	6 291 760 €	4,99 %	5 337 747 €	5 439 329 €	1,87 %	6 647 914 €	7 144 190 €	6,95 %
Sähkön tuotantotuki ja lämpöpreemio	6 348 322 €	6 646 267 €	4,48 %	5 702 572 €	5 758 386 €	0,97 %	7 051 533 €	7 534 148 €	6,41 %
Investointituki 20 %	7 577 652 €	7 891 760 €	3,98 %	6 937 747 €	7 039 329 €	1,44 %	8 247 914 €	8 744 190 €	5,68 %
Investointituki 30 %	8 377 652 €	8 691 760 €	3,61 %	7 737 747 €	7 839 329 €	1,30 %	9 047 914 €	9 544 190 €	5,20 %

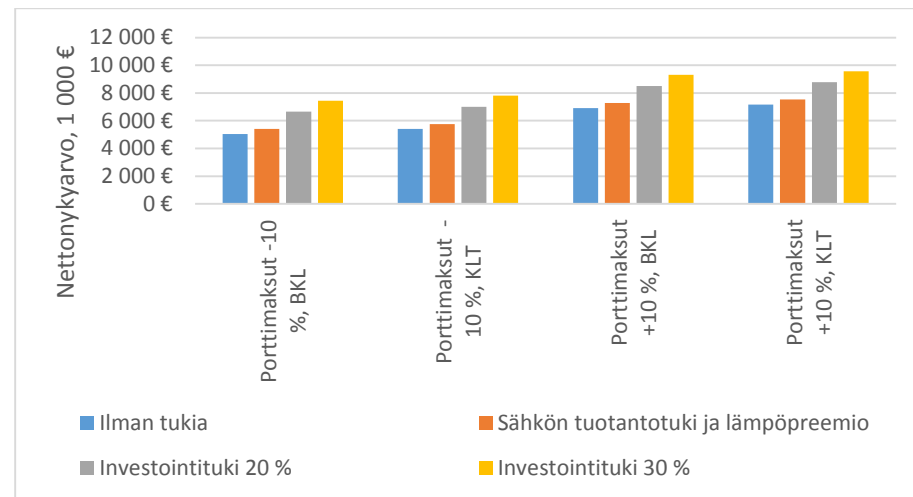


Kuvio 1. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: lähtötilanne ja energian hinnan muutokset.

Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyyssanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin

Taulukko 2. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyyssanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: porttimaksujen muutokset.

	Porttimaksut -10 %, BKL	Porttimaksut -10 %, KLT	Porttimak- sut -10 % ero	Porttimak- sut +10 %, BKL	Porttimaksut +10 %, KLT	Porttimak- sut +10 % ero
Ilman tukia	5 051 213 €	5 411 625 €	6,66 %	6 904 091 €	7 171 895 €	3,73 %
Sähkön tuotantotuki ja lämpöpreemio	5 420 427 €	5 766 132 €	6,00 %	7 272 982 €	7 526 402 €	3,37 %
Investointituki 20 %	6 651 213 €	7 011 625 €	5,14 %	8 504 091 €	8 771 895 €	3,05 %
Investointituki 30 %	7 451 213 €	7 811 625 €	4,61 %	9 304 091 €	9 571 895 €	2,80 %

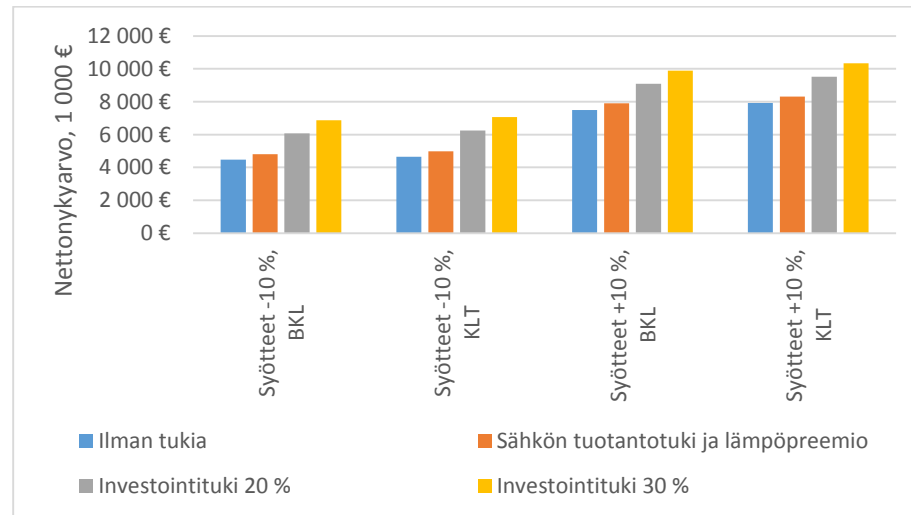


Kuvio 2. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyyssanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: porttimaksujen muutokset.

Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin

Taulukko 3. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: syötteiden määrien muutokset.

	Syötteet -10 %, BKL	Syötteet -10 %, KLT	Syötteet -10 % ero	Syötteet +10 %, BKL	Syötteet +10 %, KLT	Syötteet +10 % ero
Ilman tukia	4 469 552 €	4 657 407 €	4,03 %	7 485 760 €	7 926 113 €	5,56 %
Sähkön tuotantotuki ja lämpöpremio	4 803 155 €	4 976 464 €	3,48 %	7 893 497 €	8 316 071 €	5,08 %
Investointituki 20 %	6 069 552 €	6 257 407 €	3,00 %	9 085 760 €	9 526 113 €	4,62 %
Investointituki 30 %	6 869 552 €	7 057 407 €	2,66 %	9 885 760 €	10 326 113 €	4,26 %



Kuvio 3. Kannattavuuslaskentatyökalun herkkyysoanalyysin tulosten vertailu Biokaasulaskurilla saatuihin tuloksiin: syötteiden määrien muutokset.