

Ari Tolonen

RAAKAKAASUSTA KÄYTTÖÖN

Tapaustutkimus maatalan vaihtoehtoisista biokaasun jalostusmahdollisuuksista

RAAKAKAASUSTA KÄYTTÖÖN

Tapaustutkimus maatalan vaihtoehtoisista biokaasun jalostusmahdollisuuksista

Ari Tolonen
Opinnäytetyö
Syksy 2020
Master-tutkinto
Maaseudun kehittäminen
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Master tutkinto, Maaseudun kehittäminen

Tekijä: Ari Tolonen

Opinnäytetyön nimi: Biokaasusta käyttöön - Tapaustutkimus maatilan vaihtoehtoisista biokaasun jalostusmahdollisuuksista

Työn ohjaaja: Pekka Kokkonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 11/2020

Sivumäärä: 60

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää maatilamittakaavassa toimivan biokaasua tuottavan yrityksen kannalta kannattavin tapa tuotetun biokaasun hyödyntämiseen. Toimeksiantajana hankkeessa toimi CircVol-hanke ja kohdeyrityksenä oli Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva Maitoparta Oy:n karjatilän biokaasulaitos.

Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena biokaasutuotannon ja sen hyödyntämisen kannalta. Tämä loi tutkimuksen raamin. Yhtenä vaihtoehtona työssä tarkasteltiin kuitenkin ”biokaasumeijeri”-vaihtoehtoa, jossa biokaasua tuottavat tilat toimittaisivat raakakaasun yhteiseen jalostusyksikköön, joka vastaisi tuotteen jakelusta ja markkinoinnista. Tämä tutkimus keskittyy biokaasun jalostamisen kustannusten tarkasteluun ja lopputuotteen hinta on osin saatu markkinoilta ja osin arvioimalla hintaa kaasun sisältämän energiasisällön kannalta.

Työ muodostui neljästä osasta: 1) teoreettinen kirjallisuusosa, 2) kustannus- ja volyymitietojen kerääminen kohdelaitoksesta, 3) kustannusten laskeminen eri tuotantotavoilla, 4) markkinahinnan määrittäminen eri jalostusasteille 5) kannattavuuslaskenta erilaisilla tuotantokonsepteilla.

Tutkimus osoitti, että kohdeyrityksen nykyinen toimintamalli, vähäisesti puhdistetun kaasun muuntaminen lämmöksi ja sähköksi CHP-yksikössä on taloudellisesti kannattavin vaihtoehto. Keskitetyn tuotannon osalta tuotantokustannukset jäivät merkittävästi maatilatason laitteistoa edullisemmaksi, mutta raakakaasun siirtokustannus ja riittävän raaka-ainemäärän turvaaminen isolle jalostusyksikölle ovat toiminnan ja talouden kannalta avainkysymyksiä.

Tutkimus luo näkymää vaihtoehtoisista toimintamalleista tulevaisuuden biokaasutuotannon investointeja suunnitteleville yrityksille. Yhteistyön kautta on saavutettavissa kustannustehokkaampi tapa jalostamiselle, mutta kokonaiskannattavuuden arvioinnin kannalta raakakaasun siirtämiseen liittyvistä kustannuksista ei ollut riittävästi luotettavaa tietoa saatavana.

Hiilineutraalisuuden tavoite luo oman uhkakuvansa vähäisesti puhdistetun biokaasun käytölle. Ohjauksena on esitetty mm. valmisteveroa tulevaisuudessa. Jatkossa on arvioitava nykyisten ja tulevien laitosten prosesseista vapautuvan hiilidioksidin talteenoton merkitys, ja on kartoitettava talteen otetun hiilidioksidin markkinoita sekä sen mahdollisuuksia raaka-aineena biokaasun tuotantoon.

Asiasanat: Biokaasu, jalostus, biopolttoaineet, hiilineutraalius, maatila, kannattavuus, vaihtoehdot

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master's Degree, Rural Development

Author: Ari Tolonen

Title of thesis: Raw Biogas for Use – Case Study of Alternative Biogas Processing Options on a Farm

Supervisor: Pekka Kokkonen

Term and year when the thesis was submitted: 11/2020

Number of pages: 60

The goal of this thesis was to find out the most profitable way to utilize the produced biogas from the point of view of a biogas company operating on a farm scale. The client in the project was CircVol project and the example company was Maitoparta Oy livestock farm biogas plant in North-east-Ostrobothnia.

The study was a case study on biogas production and utilization. This formed the research framework of the study. One option considered in the work was a centralized processing option where biogas plants supply raw gas to a joint processing unit responsible for the distribution and marketing of the product. This study focuses on the cost of biogas treatment, and the price of the final product. The price of biogas has been estimated partly from the market price and partly by estimating the market price based on the energy content of the gas.

The work consists of four parts: 1) theoretical literature review, 2) data gathering of costs and volumes from functioning biogas plants, 3) calculating costs for different production methods, 4) pricing for different stages of processing 5) profitability calculation of different production concepts.

The study showed that the company's current operating model, the conversion of low-purity gas into heat and electricity in a CHP-unit, is the most profitable option. In the case of centralized production, production costs remain significantly lower than at farm level, but the cost of transporting raw gas and securing a sufficient amount of raw materials for a large processing unit are key operational issues.

The study creates a view of alternative operating models for companies planning investments in biogas production. A more cost-effective way of processing can be achieved through co-operation, but there was not enough reliable information on the costs of transporting raw gas to assess the overall profitability.

The pursuit of carbon neutrality creates its own threat to the use of low-purity biogas. For example, future excise duties have been proposed as a control tool. With regard to the capture of carbon dioxide emissions from existing and new refining processes, consideration should be given to finding a market for captured carbon dioxide or the possibility of converting it into biogas.

Keywords: Biogas, refining, biofuels, carbon neutrality, farm, profitability, refining options

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	METODOLOGIA.....	9
	2.1 Lähestymistapa ja tutkimusmenetelmät.....	9
	2.2 Kohdeyrityksen kuvaus.....	10
	2.3 Rajaukset.....	12
3	BIOKAASU JA SEN PUHTAUSASTEeseen PERUSTUVA JAOTTELU.....	14
	3.1 Biokaasun määrittely.....	14
	3.2 Biokaasun käyttötapoja.....	15
	3.3 Raakabiokaasu ja sen käyttökohteita.....	15
	3.4 Raakabiokaasun vähäinen puhdistaminen ja vähäisesti puhdistetun kaasun käyttökohteet.....	16
	3.5 Standardin ISO 15403 mukaisen biokaasun tuottaminen ja käyttökohteet.....	17
4	BIOKAASUN JALOSTUSPROSESSIT JA NIIDEN KUSTANNUKSET.....	20
	4.1 Kohdeyrityksen nykyinen jalostusprosessi ja sen kustannukset.....	20
	4.2 Kohdeyrityksen jalostusprosessin kehittäminen standardin mukaisen biokaasun tuotantoon ja sen kustannus.....	22
5	ERILLISEN STANDARDIN MUKAISTA BOKAASUA JALOSTAVAN YKSIKÖN PERUSTAMINEN.....	24
	5.1 Yksikön vaihtoehtoiset jalostusprosessit.....	24
	5.2 Tarkasteltavan vaihtoehdon valinta ja perustelut valinnalle.....	27
	5.2.1 Keskitetyn yksikön kapasiteetin määrittely.....	27
	5.2.2 Keskitetyn yksikön teknologian vaihtoehdot.....	28
	5.2.3 Toiminnassa tarvittavat luvat.....	29
	5.3 Valittu prosessi ja sen kustannus.....	30
	5.4 Jalostukseen toimitettavan raakabiokaasun toimitusvaihtoehdot ja kaasun siirtokustannus.....	31
6	JALOSTETUN BOKAASUN TOIMITTAMINEN MARKKINOILLE.....	34
	6.1 Raakabiokaasu.....	34
	6.2 Vähäisesti puhdistettu biokaasu.....	35
	6.3 Standardin mukainen biokaasu.....	35
7	BIOKAASUN MARKKINAHINNAN MÄÄRITTÄMINEN.....	36

7.1	Raakabiokaasu.....	36
7.2	Vähäisesti puhdistettu biokaasu.....	36
7.3	Standardin mukainen biokaasu.....	37
8	ERI JALOSTUSASTEEN BIOKAASUJEN TUOTANNON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI.....	38
8.1	Raakabiokaasu.....	38
8.2	Vähäisesti puhdistettu biokaasu.....	38
8.3	Standardin mukainen biokaasu.....	39
8.4	Hiilidioksidin talteenotto prosessista ja sen vaikutus kannattavuuteen	40
8.4.1	Hiilidioksidin talteen ottamisen merkitys.....	40
8.4.2	Talteen otetun hiilidioksidin markkinat	41
8.4.3	Hiilidioksidista saatavan hinnan määrittely.....	43
8.4.4	Hiilidioksidin talteenoton kustannus ja sen vaikutus kannattavuuteen	45
8.5	Jalostusprosessin ympäristövaikutusten merkitys kannattavuuteen	47
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
9.1	Tulosten tarkastelu ja yhteenveto	50
9.2	Jatkotoimenpiteet	51
9.3	Johtopäätökset	52
10	POHDINTA.....	53
10.1	Tutkimuksen luotettavuus ja käytettävyys	53
10.2	Tutkimuksen eteneminen ja työmenetelmät	54
10.3	Tutkimuksen perusteella tehtävät toimet.....	55
10.4	Ajatuksia jatkotutkimuksista ja huomioita niiden osalta	55
	LÄHTEET	58

1 JOHDANTO

Suomella on viimeaikaisten hallitusten (Sipilä 29.5.2015 – 6.6.2019, Rinne 6.6.2019 – 10.12.2019, Marin 10.12.2019 -) hallitusohjelmien mukaan yhtenäinen tavoite saavuttaa maassamme hiilineutraalisuus. Tavoitteen saavuttamiselle asetetut arviot liikkuvat vuodesta 2030 vuoteen 2050. Suomen hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että Suomen hiilinielut sitoisivat ilmasta yhtä paljon hiilidioksidia kuin mitä kansakunnan toiminnasta hiilidioksidia ympäristöön vapautuu. Taustalla tässä tavoitteessa on huoli ilmastomuutoksesta ja sitä kautta maapallon tulevaisuudesta. Ilmastomuutoksen taustalla nähdään kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvu ilmakehässä. Merkittävimpiä kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidin lisäksi mm. metaani ja dityppioksidi.

Metaani kasvihuonekaasuna on 23 kertaa vaarallisempi kuin hiilidioksidi, hiilidioksidin merkitys kasvihuonekaasuna nähdään merkittävänä siksi, että sen häviäminen ilmakehästä on hyvin hidasta. Hiilidioksidi on maapalloa lämmittävistä kasvihuonekaasuista merkittävin. Sen osuus on noin 80 prosenttia. (Ihatsu 2018.)

Hiilineutraalisuus edellyttää energian tuotantomme ja energian käytön suhteen merkittäviä muutoksia. Yhteiskunnassamme emme ole oppineet hyväksymään energiaköyhyyttä, vaan lähtökohteisesti energiaa on myös tulevaisuudessa oltava saatavilla tarvittava määrä. Tästä syystä hiilineutraalius edellyttää energiatehokkuutta parantavien ratkaisujen ja uusiutuvien energialähteiden entistä laajempaa hyödyntämistä.

Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportissa Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 kuvailusivulla esitetään toimenpide-ehdotus kohti hiiletöntä liikennettä. Yhtenä toimenpiteenä oli nestemäisten biopolttoaineiden osuuden kasvattaminen kaikista polttoaineista 30 %:iin vuonna 2030 ja 100 %:iin vuonna 2045 kotimaisessa liikenteessä. Raportissa todetaan myös, että nestemäisten biopolttoaineiden lisäksi kasvatetaan voimakkaasti kotimaassa tuotetun biokaasun käyttömääriä liikenteessä. (Särkijärvi, Jääskeläinen & Lohko-Soner 2018, 27.) Kun tiedämme, että jo nykyisin teollisuudessa on siirrytty korvaamaan öljyn käyttöä kaasulla mm. erilaisissa lämmön- ja höyryntuotantoon liittyvissä prosesseissa, voidaan arvioida kaasun ja siten myös biokaasun kysynnän kasvavan nykyisestä tasostaan merkittävästi.

Viime aikoina on julkisuuteen noussut myös maatilojen ja ehkä painotetusti karjatilojen kasvihuonekaasupäästöt. Suomessa on jo muutamia karjatiloja, jotka ilmoittavat toimivansa hiilineutraalisti. Maatilan kannalta katsottuna vuonna 2001 maatilojen osuus kasvihuonepäästöistä oli 9% koko Suomen päästöistä (Perälä, Regina & Esala 2004,3). Kasvihuonekaasupäästöjä muodostuu maasta vapautuvasta hiilidioksidista, kotieläinten ruoansulatuksesta, kotieläinten lannasta sekä maatilan energian käytöstä (Perälä, Regina & Esala 2004,4). Toisaalta maatilojen kasvipeitteiset pellot ja useimpien maatilojen metsät toimivat vastaavasti hiilinieluina. Peltojen kasvukunnosta huolehtiminen, tarpeenmukainen lannoitus ja tuotantoeläinten ruokinta ovat maatilojen keinoja vaikuttaa kasvihuonepäästöihin. Lisäksi energiankulutusta vähentämällä, siirtymällä biopohjaisiin polttoaineisiin ja metaanin talteen ottamisella maatilat voivat vaikuttaa oman tilansa ympäristövaikutuksiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella mautiloilla syntyvän metaanin talteenoton jälkeen tapahtuvaa metaanin jalostamista käyttöön joko maatilan omaan energiantuotantoon tai ISO 15403- standardin vaatimukset täyttävän moottoribiokaasun tuotantoon tuotantotilalla tai keskitehtyissä jalostusyksikössä. Tutkimusongelmana on selvittää eri vaihtoehtojen kannattavuutta raaka-kaasua tuottavan maatilan näkökulmasta. Hiilidioksidin talteenottoa prosessissa tarkastellaan ai-noastaan keskitetyn jalostusyksikön yhteydessä. Tarkastelua tehdään sekä kustannusten että ympäristövaikutusten osalta.

2 METODOLOGIA

2.1 Lähestymistapa ja tutkimusmenetelmät

Biokaasun tuottamisesta ja käyttämisestä on viime vuosien aikana tehty monia erilaisia tutkimuksia, hyvinkin erilaisista näkökulmista. Tämän työn tavoitteena on tarkastella maatilalla tuotetun biokaasun vaihtoehtoisia jalostus- ja käyttömahdollisuuksia. Näkökulma on puhtaasti maatilalla kannattavimman toimintamallin löytäminen. Koska biokaasun tuotanto maataloilla on alkuvaiheessa keskittynyt pääsääntöisesti karjatilalle, oletettavasti luontaisesti syntyvän lietelannan biokaasupotentiaalin vuoksi, toteutetaan tämä tutkimus tapaus tutkimuksena yhden maatilalla biokaasun jalostusvaihtoehtojen tarkasteluna.

Periaatteessa on kaksi erilaista tapaa aloittaa tapaus tutkimus. Yhtäältä voidaan lähteä liikkeelle kiinnostavasta tapauksesta ja pohtia, mitkä käsitteet sopivat sen analysointiin ja mistä tapaus kertoo, eli mikä on tutkimuksen kohde. Toisaalta tutkimuksen kohde voi jo olla selvillä. Tällöin etsitään tapaus, jossa päästään käyttämään ja kehittämään tiettyjä käsitteitä. Käytännössä tapaus tutkimus on jostain näiden kahden ääripään välillä. Tapaus vaikuttaa käsitteiden valintaan, ja käsitteet vaikuttavat tapaukseen. (Laine, Banberg & Jokinen 2007, 11.) Tapaukseksi soveltuu myös prosessin lopputuloksen tehokkuuden arviointi tai prosessissa tarvittavien resurssien arviointi. Myös reaali maailman osien väliset suhteet voivat olla tapaus tutkimuksen tutkimuskohteina. Teoreettiset kategoriat tapauksina taas tuottavat käsitteanalyysien kautta niin tutkimukselle kuin käytännöllekin hyödyllistä tietoa. (Vilka, Saarela, & Eskola 2018, 162.) Tässä tapaus tutkimuksessa siis tarkastellaan biokaasua tuottavan maatilalla kannattavinta vaihtoehtoa tuotettavan biokaasun hyödyntämiselle.

Tutkimuksessa ei tarkastella erilaisten teknologioiden vaikutusta kannattavuuteen, vaan arvioidaan kannattavuutta kolmella eri vaihtoehdolla. Vaihtoehdot ovat maatilalla tuotetun hiilidioksidia sisältävän, muista epäpuhtauksista pääosin puhdistetun kaasun käyttö tilalla, kaasun jalostaminen standardin ISO 15403 vaatimukset täyttäväksi liikennebiokaasuksi joko maatilakokoluokan jalostuslaitoksessa tai keskitetyssä suuremmissa jalostusyksiköissä, johon raakakaasua toimitetaan usealta maatilalta.

Kannattavuustarkastelussa näkökulma on yksittäisen maatilan näkökulma, jossa eri tuotantovaihtoehtojen kannattavuutta arvioidaan tapaustutkimuksen keinoin, kohteena olevan maatilan näkökulmasta. Maatilalla on nyt käytössä CHP-yksikkö, jonka osalta laskelmat perustuvat kohteena olevan maatilan laitteiston valmistajalta saatuihin käyttö- ja ylläpitokustannusten tietoihin. Investointikustannus perustuu budjettihintatiedusteluun. Investoinnin pääomakustannus jaksotetaan annuiteettimenetelmällä. Maatilalla tuotetun standardin mukaisen biokaasun tuotannon osalta investointina tarkastellaan koko jalostusprosessin vaatimaa investointia huomioimatta tilalla nyt olevia suodattimia. Käyttökustannuksissa huomioidaan tilalta saadut kustannukset niiltä osin, kun niitä laskelmassa voidaan soveltaa. Muuten kustannuksina käytetään laitetoimittajan antamaa arviota. Suuremman jalostusyksikön kustannukset perustuvat toimittajan antamaan kustannusarvioon. Maatilamittakaavan standardin mukaista biokaasua tuottavassa yksikössä investointiin lasketaan mukaan biokaasun paineistukseen tarvittavan korkeapainepumpun hinta. Kaasun pakkaamiseen, säilytykseen ja siirtämiseen tarkoitetut investoinnit eivät kuulu laskennan piiriin.

2.2 Kohdeyrityksen kuvaus

Vierailin kohdeyrityksessä maaliskuussa 2020 tutustuen kohdeyrityksen toimintaan. Haastattelin Maitoparrat Oy:n osakasta Jussi Salosta tilan toiminnasta ja biokaasun tuotannosta. Tässä luvussa oleva kohdeyrityksen kuvaus perustuu minun ja Jussi Salosen välisestä keskustelusta tekemiini muistiinpanoihin.

Kohdeyrityksenä on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva maatila, jossa on noin 140 lypsävää lehmää ja noin 210 muuta nautaa, joista osaa kasvatetaan lehmiksi maidontuotantoon ja loppuja lihakarakiksi. Navetoita tilalla on kolme kappaletta ja syntyvän lietteen kokonaismäärä on noin 6 000 m³.

Tilalla käytetään syötteinä lietelantaa ja ruokintaan kelpaamatonta rehua sekä ruokintapöydiltä kerätyvää syömättä jäänyttä rehua. Lisäsyötteen määrää ei suunnitella etukäteen vaan lisäsyöte määräytyy kussakin tilanteessa ruokinnasta ylijääneen tai ruokintaan kelpaamattoman rehun määrästä.

Tilan biokaasuntuotanto on nykyisin keskimäärin noin 650 Nm³ vuorokaudessa, joka vuosituotantona on noin 240 000 Nm³. Syötteen määrän lisäämisellä voidaan tuotantoa kasvattaa arviolta 840 m³:n vuorokaudessa, jolloin vuosituotanto olisi noin 300 000 Nm³. Tilalla tuotetaan tällä hetkellä

biokaasua, joka jo reaktorissa suodatetaan biologisen suodattimen läpi rikkivedyn suodattamiseksi. Reaktorista tullut biokaasu jäädytetään lämmönvaihtimessa ja kondensoitunut vesi erotetaan kaasusta. Tämän jälkeen kaasu ajetaan aktiivihiilisuodattimen läpi, joka suodattaa kaasusta lopun rikkivedyn ja siloksaanit, jonka jälkeen kaasu ohjataan polttomoottoriin. Polttomoottori pyörittää maksimikapasiteetiltaan 50 kWh:n generaattoria.

Polttomoottorissa käytettävä kaasu sisältää noin 66% metaania, noin 32% hiilidioksidia sekä pienen määrän typpeä ja muita jakeita. Generaattori tuottaa sähköä ja lämmöntuotannossa hyödynnetään moottorin käymisestä syntyvää lämpöä (jäähdytysvesi) sekä pakokaasuja jäädyttämällä pakosarjaa lämmitykseen käytettävän veden avulla ja pakoputkessa olevalla lämmönvaihtimella. Yksikköä, joka tuottaa sekä sähköä että lämpöä, kutsutaan CHP-yksiköksi. CHP on lyhenne sanoista Combined heat and power eli yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (Sandberg 2017, 3). Investointi on valmistunut vuonna 2017.

Tila ei ole vielä täysin omavarainen sähköntuotannon osalta, vaan sähköä ostetaan sähköverkosta tasaamaan kulutuspiikkejä keskimäärin 2 000 kWh kuukaudessa. Samalla verkkoon kuuluminen toimii myös oman sähköntuotannon ”varavoimanlähteenä” generaattorin mahdollisen käyntihäiriön aikana.

Lämmöntuotannon osalta tilalla on lisä- ja varalämmönlähteenä biokaasulla lämpöä tuottava kaasupolttimella varustettu lämpökattila ja hakelaitos. Hakkeen vuosittainen kulutus on ennen biokaasulaitosinvestointia ollut noin 700 m³.

Tilalla on biokaasuntuotantoyksikön huoltosopimus laitoksen toimittajan Demeca Oy:n kanssa. Tilan sähkön kulutus on noin 240 000 kWh vuodessa, josta oma tuotanto kattaa noin 216 000 kWh. Lämmöntuotannon osalta ei vastaavia kulutuslukemia ole saatavissa, mutta kun arvioidaan kulu- tusta aikaisemmin käytetyn hakkeen kulutuksen kautta, on lämpöenergian tuottamiseen tarvittavan energian määrä noin 490 000 kWh. Tilan sähkön- ja lämmöntuotantoon tarvitaan biokaasulaitoksen lisäksi rinnakkaisratkaisu kulutuspiikkien tasaamiseksi. Tilalla tuotetaan kovimpina pitkinä pakkas- jaksoina lisälämpöä hakkeella ja oman tuotannon ylittävä sähkön tarve katetaan verkosta saata- valla sähköllä. Täydennystarvetta syntyy, koska kaasuntuotannon määrä on suhteelliseen vakaa, eikä esimerkiksi nurmen viljely kaasuntuotannon lisäämistä varten ole Salosen kokemuksen mu- kaan kannattavaa.

Hakkeen hankintahinta Kuntaliiton (2018, 16) tietoja pienistä lämpölaitoksista vuodelta 2017 - julkaisussa on ollut keskimäärin 18,99 €/l-m³. Lämmöntuotannon taloudellisena arvona esimerkiksi tilalla voidaan siten pitää 700 l-m³ x 18,99 €/ l-m³ = 13 293 euroa. Sähkönkulutuksen osalta sähkön hankintahinta tilalla on Salosen mukaan (2020) siirtomaksuineen ja veroineen 10 snt / kWh, joten oman sähköntuotannon arvo saadaan 21 600 euroa vuodessa. Biokaasulaitoksen tuottaman energian arvo tilalla on yhteensä 34 893 euroa.

Osan biokaasulaitosinvestoinnin hyödyistä tila on saanut myös lietelannan tasaisempaa laatuna ja parempaa lannoitustuloksena. Näitä hyötyjä ei tässä opinnäytetyössä arvioida tarkemmin.

2.3 Rajaukset

Tässä työssä ei oteta kantaa biokaasun tuotantomenetelmiin maatilalla eikä siten myöskään tuotannon tehokkuuteen tai tuotettavan kaasun laatuun vaikuttamiseen. Työssä kuitenkin käytetään työn perustana tilannetta, jossa jokainen maatila, tai muu biokaasuntuottaja, vastaa omasta biokaasulietteestään ja sen käsittelystä, eikä siten synny tilannetta, jossa olisi riskiä biokaasulietteen kautta syntyvään viljelymaan kontaminaatioon. Koska työssä biokaasun tuotanto rajataan maatilalla tapahtuvaksi, työssä tarkastellaan eri vaihtoehtoja raakakaasun siirtämiseksi jalostettavaksi. Vaihtoehtojen paremmuutta arvioidaan syntyvien kustannusten kautta.

Yksittäisen maatilan energian tuotantokustannuksia tarkistellaan tapaustutkimuksen periaatteen mukaan kohdeyrityksessä käytössä olevan teknologian kautta. Vaihtoehtokustannus (hiilidioksidia sisältävä / moottoribiokaasu) tuotetaan tilan lukuihin perustuen laskennallisesti, niiltä osin, kun tieto on sovellettavissa. Muilta osin käytetään laitetoimittajien antamia arvioita kustannuksista.

Biokaasun tuotantoon käytettävien laitteistojen osalta käytettävä teknologia rajataan sellaisiin laitteistoihin, joihin on saatavana käytön tuki ja huoltopalvelu suomen kielellä. Rajaus on tehty siitä syystä, että laitoksen käytönaikaisiin häiriöihin ja korjauksiin on saatavissa palvelu yrittäjien hyvin ymmärtämällä kielellä.

Biokaasun tuotannon kannattavuutta tarkastellaan pääasiallisesti kustannuslaskennan kautta. Jalostetun tuotteen arvo määritellään vastaavan markkinoilla olevan energian markkinahintaa käyttämällä. Investointikustannusten laskennassa ei huomioida mahdollisten investointitukien vaikutusta kannattavuuteen.

Pohdinnassa huomioidaan yksittäisillä maatiloilla tuotetun biokaasun kannattavuutta. Lisäksi tilalla tuotettavan biokaasun käyttöä arvioidaan eri tuotantosuuntien vaatimalla energian tarpeella niin määrän kuin kausivaihteluidenkin kannalta.

Tässä työssä ei oteta kantaa keskitetyn jalostusyksikön käytännön toimintojen rakentamiseen tai osakkaiden välisiin sopimuksiin eikä muihin käytännön järjestelyihin. Toimintaa tarkastellaan ainoastaan raakakaasun toimittamisen tekniikkaa ja kustannuksia käsittelemällä sekä isomman yksikön tuotantokustannuksia tarkastelemalla. Hankittavan raakakaasun hinnoitteluun tutkimuksessa käytetään mallia, jossa hinnoittelu perustuu toimitetun metaanin energiasisällön hinnoitteluun. Talteen otettavan hiilidioksidin merkitystä tarkastellaan pohdinnassa ja siitä tuotetaan suuntaa antavia lukuja, mutta varsinaisessa kustannusten vertailussa sitä ei huomioida.

3 BIOKAASU JA SEN PUHTAUSASTEeseen PERUSTUVA JAOTTELU

3.1 Biokaasun määrittely

Biokaasulla tarkoitetaan biologisesta materiaalista tuotettua kaasua. Biokaasua voidaan tuottaa mädättämällä kaikesta orgaanisesta jätteestä paitsi puusta ja muusta paljon ligniiniä sisältävästä aineksestä. Suomessa biokaasua tuotetaan nykyään kaupunkien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitoksilla, eri kokoisilla yhteiskäsittelylaitoksilla sekä maatilojen biokaasulaitoksilla. Lisäksi biokaasua kerätään kaatopaikoilta biokaasupumppaamoilla. (Biokierto 2020.)

Raakabiokaasu sisältää pääosin metaania (50–75%) hiilidioksidia (25 – 50%) sekä pieniä määriä happea, typpeä, ammoniakkia, rikkivetyä, halogenoituja hiilivetyjä, siloksaaneja sekä muita epäpuhtauksia (Leikas 2015, 30–31). Biokaasun koostumus riippuu pääosin keräyspaikasta ja kaasuntuotannon syötteistä. Metaanipitoisuuden ollessa alle 80 % biokaasu katsotaan raakakaasuksi (puhdistamattomaksi kaasuksi) (Tukes 2017, 1).

Biokaasu voi syötteistä riippuen sisältää myös pieniä määriä fluoria, ammoniakkia, öljyä, pölyä, mutaa tai muita kaasujäämiä. Näistä ei kuitenkaan yleensä ole haittaa biokaasun käytölle tai muulle toiminnalle. Kaasun hyödyntämisestä riippuen edellä mainitut epäpuhtaudet tulee kuitenkin poistaa ennen käyttöä. Merkittävimmät epäpuhtaudet biokaasussa ovat rikkivety ja siloksaanit, jotka yleensä poistetaan kaasusta. (Latvala 2009, 41.) Tässä työssä erotellaan raakakaasu kahteen eri osaan: puhdistamattomaan biokaasuun ja biokaasuun, josta on puhdistettu merkittävimmät epäpuhtaudet (vesi, rikkivety, siloksaanit) ennen käyttöä (vähäisesti puhdistettu biokaasu).

Biokaasua myydään Suomessa yleisesti kilohinnalla. Biokaasun kuutiopaino on 0,73 kg (Gasum 2017, 5), eli kilo biokaasua vastaa 1,37 Nm³ biokaasua.

3.2 Biokaasun käyttötapoja

Biokaasun eri käyttökohteita ovat lämmöntuotanto, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, mekaaninen energia ja liikennekäyttö (Latvala 2009, 24). Pelkkä lämmöntuotanto edellyttää laitoksen yhteydessä olevan kohteen, joka tarvitsee runsaasti lämpöä ympäri vuoden. Biokaasulla tuotettua lämpöä käytetään lähes jokaisella laitoksella ensisijaisesti reaktorin lämmitykseen. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto on vakiintunut biokaasun hyödyntämistapa, koska monien laitosten yhteydessä on sähköä ja lämpöä tarvitsevia toimintoja. (Latvala 2009, 44.)

Biokaasulla tuotetaan mekaanista energiaa lähinnä jätevedenpuhdistamoilla, jotka tarvitsevat sitä esimerkiksi ilmastukseen jäteveden käsittelyprosessissa. Biokaasu ohjataan vedenerottimen jälkeeseen kaasumoottorille, kuten CHP-ratkaisussakin, mutta sähköä tuottavan generaattorin sijaan moottorin energia ohjataan jäteveden ilmastuskompressorille. (Latvala 2009, 44.)

Biokaasua voidaan jalostaa myös liikennekäyttöön soveltuvaksi. Tällöin siitä poistetaan hiilidioksidi sekä mahdolliset rikkiyhdisteet. Jäljelle jää lähes puhdas metaani ja tuote voidaan rinnastaa maakaasuun (Latvala 2009, 44). Liikennekäyttöön soveltuvaa maakaasua voidaan käyttää liikenteen lisäksi teollisuudessa kiinteistöjen lämmitykseen, höyryntuotantoon ja muihin teollisuuden prosesseihin öljyn tai maakaasun korvaajaksi.

3.3 Raakabiokaasu ja sen käyttökohteita

Raakabiokaasu on käsittelemätöntä suoraan tuotannosta tulevaa kaasua, joka tuotannon syötteistä riippuen sisältää metaania 50–75%, joka on kaasun energiaa sisältävä arvokas osa.

Polttomoottorissa ei kannata käyttää täysin puhdistamatonta biokaasua, sillä se saattaa lyhentää moottorin käyttöikää. Haasteena osin puhdistetun biokaasun käytössä onkin löytää oikea puhdistustaso, joka riippuu raakakaasun laadusta ja polttomoottorin optimaalisesta elinkaaresta. (Kapuraju & Rintala 2013, 404–407.) Mäntämoottorin kunnossapitokustannukset lisääntyvät rikkivetypiitoisuuden kasvaessa, joten rikkivedyn poistaminen on välttämätöntä lähes aina. Rikkivedyn määrä

ei saisi ylittää 1 000 ppmV. Tämä tarkoittaa, että kuutiossa biokaasua pitää olla rikkivetyä vähemmän kuin 20 mg / Nm³. (Kaparaju & Rintala 2013, 408.) Myös Käytännön Maamiehen artikkelissa (2015) todetaan, että pahin ongelma syntyy rikkivedystä, jota raakabiokaasu sisältää käytännössä aina. Syövyttävä ja myrkyllinen rikkivety on haitallista etenkin moottorin kuparia sisältäville osille, se myös happamoittaa moottoriöljyä ja aiheuttaa rikkipäästöjä. Lisäksi raakabiokaasun sisältämä hiilidioksidi vähentää palotilaan saatavan metaanin määrää.

Käytännön maamiehen artikkelin mukaan kaasun paineistamisen esteeksi nousee raakabiokaasun sisältämä hiilidioksidi ja vesi. Paineen noustessa vesi jäätyy ja hiilidioksidi nesteytyy. (Käytännön maamies 2015.) Paineistamista tarvitaan, kun kyse on liikkuvasta moottorista ja polttoaineelle varattu tila on rajallinen.

Lämmöntuotanto on ratkaisu raakabiokaasun hyödyntämiseksi. Se on varsin yksinkertainen toteuttaa, käyttää ja valvoa. Näin ollen se ei myöskään vaadi suuria investointeja. Käytännössä kaasu poltetaan sellaisenaan kaasupolttimella lämmöksi. Kaasupolttimilla saadaan hyödynnettyä jopa 95 % raakabiokaasun sisältämästä energiasta. (Leikas 2015, 20.)

Poltossa hiilidioksidille ei tapahdu oikeastaan mitään, vaan se vapautuu ilmaan. Rikkivety muodostaa yhdessä veden kanssa rikkihappoa, joka aiheuttaa korroosiota. Korroosion vaikutuksia arvioitaessa on huomioitava, että raakabiokaasu sisältää myös vettä. Mikäli rikkivetyä sisältävää biokaasua poltetaan, syntyy rikkihappopäästöjä. Rikkivety on hyvin myrkyllistä ja aiheuttaa vakavia terveysriskejä. (Hiitola 2016, 24.) Poltossa suurin osa rikkivedystä muuttuu rikkidioksidiksi.

Lämmöntuotannon lisäksi muita vaihtoehtoja raakabiokaasun laajamittaiselle hyötykäytölle ei tällä hetkellä ole tarjolla.

3.4 Raakabiokaasun vähäinen puhdistaminen ja vähäisesti puhdistetun kaasun käyttökohteet

Merkittävimmät epäpuhtaudet biokaasussa ovat rikkivety ja siloksaanit, jotka yleensä poistetaan kaasusta (Latvala 2009, 41). Raakabiokaasun vähäisellä puhdistamisella tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan veden, rikkivedyn ja siloksaanien poistamista biokaasusta ennen käyttämistä.

Vähäisesti puhdistetun raakabiokaasun käyttökohteet ovat raakabiokaasua laajemmat. Polton osalta veden, rikkivedyn ja silikaattien poistaminen estävät rikkihapon (vesi ja rikkivety) aiheuttaman korroosion, eikä rikkihappoja muodostu. Siloksaanien poistamisesta ei polton kannalta ole merkittävää hyötyä.

Maatilamittakaavassa yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon osalta kaasumootoriin yhdistetty generaattori on yleisin sähköntuotannon tapa. Sähköntuotantoon käytetään myös kaasuturbiinimootoreita. Biokaasusta voidaan tuottaa sähköä myös polttokennolla, mutta se teknologia ei ole korkeiden hankinta- ja ylläpitokustannuksien sekä lyhyen käyttöiän takia yleistynyt (Koli 2016, 23).

Kaasumootorin toiminta edellyttää metaanipitoisuudeksi 38 % (Heikkinen 2008, 37), joten jo matalahkot metaanipitoisuudet biokaasussa mahdollistavat sen käytön CHP-tuotannossa. Kaparaju ja Rintala (2013, 408) toteavat, että hiilidioksidin määrä kaasussa voi olla 30–50%. On kuitenkin huomioitava, että runsas hiilidioksidin määrä biokaasussa vähentää palotilaan saatavan metaanin määrää ja voi rajoittaa moottorista saatavaa tehoa.

Kaasumootoreiden käytön kannalta veden, rikkivedyn ja silikaattien poistaminen estää rikkihapon (vesi ja rikkivety) aiheuttaman korroosion eikä rikkihappopäästöjä muodostu. Siloksaanien poistolla estetään poltossa syntyvän piioksidin muodostuminen. Piioksidi aiheuttaa haittoja kaasumootorin käytössä. (Leikas 2015, 31.) Koska mekaaninen käyttö perustuu myös kaasumootorin hyödyntämiseen, ovat käyttämisen edellytykset vastaavat kuin CHP-tuotannossa. Liikennepolttoaineeksi tai muuhun vastaavaan käyttöön vähäisesti puhdistettu kaasu ei sovellu hyvin.

3.5 Standardin ISO 15403 mukaisen biokaasun tuottaminen ja käyttökohteet

Suomessa biokaasulle ei ole omaa standardia, vaan biokaasuun sovelletaan maakaasun ISO 15403 mukaisia laatuvaatimuksia. Kaikki liikennemetaanimootorit toimivat, kun biokaasun metaanipitoisuus on vähintään 95%, joka on Ruotsin liikennebiokaasustandardin SS155438:1999 mukainen. Nämä vaatimukset koskevat tehdasvalmisteisia ajoneuvoja ja työkoneita. (Kymäläinen & Paikarinen 2015, 135.)

TAULUKKO 1. Raan biokaasun koostumuksia sekä Ruotsin liikennebiokaasustandardin mukainen jalostetun biokaasun koostumus (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 128).

Yhdiste	Raaka reaktorikaasu	Raaka kaatopaikkakaasu	Jalostettu biokaasu (SS 155438:1999)
Metaani (CH ₄) [til-%]	45–75	20–60	95–99
Korkeammat hiilivedyt (etaani ym.)	0	0	0
Hiilidioksidi (CO ₂) [til-%]	20–55	25–50	1–5
Typpi (N ₂) [til-%]	0–2	4–35	0–4
Hiilimonoksidi (CO) [til-%]	0–0,2	0–0,2	
Happi (O ₂) [til-%]	0–1	0,5–5	< 1
Vety (H ₂) [til-%]	0–0,5	0–0,5	
Rikkivety (H ₂ S) [til-%]	< 0,8	< 3	
Rikki yhteensä [mg (Nm ³) ⁻¹]	< 8000	< 30000	≤ 23
Ammoniakki (NH ₃) [mg (Nm ³) ⁻¹]	0–3	0–1	< 20
Siloksaanit [mg (Nm ³) ⁻¹]	0–5	0–25	
Halogenoidut hiilivedyt [mg (Nm ³) ⁻¹]		0,2–7	
Vesi [mg (Nm ³) ⁻¹]			< 32
Suhteellinen kosteus [%]	100 %	< 100 %	kastepiste: käyttölämpötila - 5 °C

Kun verrataan Ruotsin biokaasustandardin vaatimusta Suomessa käytettävään maakaasun standardiin, metaanin vähimmäispitoisuus 95% on yhtäläinen molemmissa maissa. Liikennekäyttöön soveltuvan biokaasun metaanin osuutena on tämän työn laskelmissa käytetty 95%:a.

Suomessa myytävä maakaasu sisältää noin 98 % metaania, loput kaksi prosenttia ovat lähinnä etaania ja typpeä. Hiilidioksidipitoisuus saa olla maksimissaan 1,5 mol-%, mikä vaatii biokaasun puhdistamisen (Mutikainen, Sormunen, Paavola, Haikonen & Väisänen 2016, 26). Oulussa 17.10.2019 järjestetyn biokaasuseminaarin puheenvuoroissa esitettyjen alustavien käyttäjäkokeusten mukaan on metaanipitoisemman (parempilaatuisen) biokaasun kulutus vähäisempää kuin mitä 3%:n metaanipitoisuuden ero antaisi olettaa.

Standardin mukaisella biokaasulla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita useissa eri käyttökohteissa, kuten teollisuuden lämmön- ja höyryntuotannossa, erilaisten koneiden ja laitteiden polttomootoreissa sekä liikenteen polttoaineena autoissa. Koska erilaisia käyttökohteita on paljon, määrittävät standardin mukaisen biokaasun käyttökohteet kysynnän ja kannattavuuden perusteella. Oletettavaa on, että kannattavinta käyttäminen on moottoribiokaasuna. Raakabiokaasun tai vähäisesti puhdistetun biokaasun kanssa kilpaileminen yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa tai pelkässä lämmön tuotannossa ei puhdistamisesta syntyvien kustannuksien vuoksi ole kannattavaa.

Kotimaan liikenteen osuus on noin viidennes Suomen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä ja noin 40 % ei-päästökauppasektorin päästöistä. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaan kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä 50 % vuoteen 2030 mennessä (vertaamalla vuoteen 2005). Päästövähennystoimenpiteet kohdistetaan erityisesti tieliikenteeseen. (liikennejärjestelmä.fi.) Tällä perusteella on oletettavaa, että voimakkain kasvu standardisoidun biokaasun markkinoilla kohdistuu liikennebiokaasuun. Tätä ajatusta tukee myös se tosiasia, että biokaasu liikenteen polttoaineena korvaa ensisijaisesti bensiiniä, joka markkinahinnaltaan on käytössä olevista fossiilisista liikennepolttoaineista kalleinta. Lisäksi myös vanhempien bensiiniautojen konvertointi biokaasulla käytettäväksi on suhteellisen yksinkertaista.

4 BIOKAASUN JALOSTUSPROSESSIT JA NIIDEN KUSTANNUKSET

4.1 Kohdeyrityksen nykyinen jalostusprosessi ja sen kustannukset

Kohdeyrityksen jalostusprosessin tuotantokustannusten laskennassa käytetään kohdeyrityksen laitetoimittajalta saatua päivitettyä hintaa sekä investointien että käyttökustannusten osalta. Tällä ratkaisulla muodostuvat vertailulaskelmat investointien ja käyttökustannusten osalta lähtötiedoilla mahdollisimman yhdenmukaisiksi, eikä kannattavuuden arvioinnissa tarvitse huomioida mahdollisen teknologian yleistymisestä johtuvan laiteinvestointien kustannustason alenemisen vaikutusta kannattavuuteen. Myös käyttökustannusten osalta toimittajalta saatua tietoa voidaan pitää luotettavana, koska tilan laitteisto kuuluu huoltosopimuksen piiriin, ja tieto laitteiston toiminnasta siirtyy automaattisesti myös laitetoimittajalle. Budjettihintatiedustelu yritykselle lähetettiin 18.3.2020.

Tilalla on käytössä Demeca Oy:n valmistama kokonaisuus, jossa on g600s reaktori, gFeed15 kivihiiliväsyttölaite ja gPover 50 biokaasumoottorilla varustettu CHP-yksikkö. Budjettihinta investoinnille on 590 000 euroa. Lisäksi varajärjestelmänä tilalla on biokaasupoltin, jolla generaattorin käyntihäiriötilanteessa voidaan syntyvä biokaasu polttaa lämmöksi, kustannus varajärjestelmästä kuuluu investointien kokonaiskustannukseen. (Vinkki, 2020.)

Valmistajan antama arvio laitoksen taloudellisesta käyttöiästään on 30 vuotta ja laskelmassa käytetään korkokantana 5%:a. Investoinnille ei ole laskettu jäännösarvoa.

Pääomakustannuksen jakaminen käyttöiälle on tehty tässä työssä annuiteettimenetelmällä. Annuiteettimenetelmä on vastakkainen nettonykyarvomenetelmälle. Hankintahinta jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi, vuosieriksi eli annuiteeteiksi. Ne muodostuvat poistoista ja käytettävän laskentakorkokannan mukaisista korkokustannuksista. Jos nettotuotot ovat vähintään yhtä suuret kuin vuotuiset annuiteetit, on investointi kannattava. Mikäli investointiin sisältyy jäännösarvo, diskontataan se hankintahetkeen ja vähennetään hankintamenosta. (Laakkonen 2016, 10.)

Annuiteetilaskelmassa edellä esitetyillä luvuilla (korko 5%, pitoaika 30 vuotta, jäännösarvo 0 €) investoinnin vuotuiseksi kustannukseksi muodostuu 38 007 euroa. Vuosittaiset ylläpitokustannukset (huolto, varaosat, niihin liittyvä työ) ovat valmistajan ilmoituksen (Vinkki, 2020) mukaan 20 000 €. Yhteensä pääoma- ja huoltokustannus ovat 58 007 euroa / vuosi.

Kohdeyrityksen vuosittainen tuotantomäärä on 240 000 Nm³ vähäisesti puhdistettua biokaasua. Salosen (2020) mukaan biokaasun metaanipitoisuus oli keskimäärin 66% ja hiilidioksidin osuus 32%. Koska vähäisesti puhdistetulle biokaasulle ei ole määriteltävissä markkinahintaa, kohdistetaan pääoma- ja huoltokustannukset kaasun määrälle, josta on laskennallisesti vähennetty hiilidioksidin osuus (32%).

Nykyisellä kapasiteetilla hiilidioksiditonta kaasua syntyy vuositasolla $240\,000\text{ Nm}^3 \cdot 68\% = 163\,200\text{ Nm}^3$. Kun muutetaan puhdas metaani 95%:seksi biokaasuksi, saadaan metaanin vuosittaiseksi tuotantomääräksi 171 800 Nm³. Kun pääoma- ja ylläpitokustannus 38 007 euroa jaetaan 171 800 Nm³:lla saadaan hiilidioksidittoman vähäisesti puhdistetun biokaasun hinnaksi 0,22 snt/ Nm³. Laitoksen sähköenergian kulutusta ei laskelmassa ole huomioitu.

Ville Kaleva (2018, 22) toteaa kandidaatin työssään ”Mikäli laitospakettina ei hankita valmiina laitospakettina, voidaan investoinnin eri osa-alueiden osuuksia kokonaisinvestoinnista tarkastella IRENA:n selvityksessä ilmoitettujen tietojen avulla.” IRENA:n selvityksessä CHP-järjestelmän osuus CHP-biokaasulaitoksen kokonaisinvestoinnista oli 10,8%. Laskennallisesti kokonaisinvestointi ilman CHP-yksikköä alenisi 63 720 euroa ollen 526 280 euroa. Kun tämä kustannus lasketaan annuiteettimenetelmällä 30 vuoden pitoajalla ja 5%:n korolla jäännösarvon ollessa 0 euroa, saadaan vuotuiseksi pääomakustannukseksi 33 902 euroa.

CHP-yksikkönä toimivan ottomoottorin keskimääräinen käyttöikä on noin 7 vuotta. Säännöllisellä huollolla ja määräajoin tehtävällä peruskorjauksella tätä pystytään kuitenkin pidentämään. (Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018,24.) Koska CHP-yksikkö pitää uusia 3–4 kertaa suunnitellun 30 vuoden käyttöajan puitteissa, voidaan arvioida valmistajan ilmoittaman vuosittaisen käyttö- ja huoltokustannuksen 20 000 euron summasta merkittävän osan kuluvan CHP-yksikön huoltoon ja korjaamiseen. Pyykkönen, Rasi ja Virkkunen (2018,24) esittävät taulukossa 7 Yhdysvalloissa olevien CHP-yksiköiden käyttökustannuksiksi (huoltosopimus + kulutusosat, snt/kWh) maakaasupolttoaineella 100 kW teholla 1,7–1,9 senttiä / kWh. Vähän puhdistetulle biokaasulle kustannus on todennäköisesti korkeampi. Jos arvioidaan, että vuosittaisesta huolto- ja korjauskustannuksesta puolet

(50%) kohdistuisi CHP-yksikön huolto-, korjaus- ja peruskorjauskustannuksiin, muodostuisi vähäisesti puhdistetun raakakaasun tuotantokustannukseksi 18 senttiä / Nm³, ja vastaavasti puhtaalle biokaasulle (95% metaania) 26 senttiä/ Nm³.

TAULUKKO 2. Vähäisesti puhdistetun kaasun tuotantokustannusten erot CHP-yksikön sisältävän investoinnin ja ilman CHP-yksikköä olevan investoinnin välillä.

Biokaasun tuottamisen kustannus CHP yksikön kanssa ja ilman CHP-yksikköä.	Tuottaminen+ CHP yksikkö	Tuottaminen ei CHP-yksikköä
Käsiteltävä raakakaasun määrä Nm ³	240000	240000
Metaanin osuus %	68	68
Metaanin määrä (95%) Nm ³	171800	171800
Investointikustannus €	590000	526280
Pitoaika vuosia	30	30
Laskentakorko %	5	5
Investointikustannus / vuosi	38 007 €	33 902 €
Käyttökustannukset / vuosi	20 000 €	10 000 €
Investointikustannus / Nm ³ raakakaasua	0,16 €	0,14 €
Käyttökustannukset / Nm ³ raakakaasua	0,08 €	0,04 €
Kustannus yhteensä / Nm³ raakakaasua	0,24 €	0,18 €
Investointikustannus / Nm ³ biokaasua	0,22 €	0,20 €
Käyttökustannukset / Nm ³ biokaasua	0,12 €	0,06 €
Kustannus yhteensä / Nm³ biokaasua	0,34 €	0,26 €

4.2 Kohdeyrityksen jalostusprosessin kehittäminen standardin mukaisen biokaasun tuotantoon ja sen kustannus

Tässä tutkimuksessa päädyttiin pyytämään tarjous standardin mukaisen biokaasulaitoksen investointi-, käyttö- ja ylläpitokustannuksista samalta laitetoimittajalta, joka on toimittanut kohdeyritykseen myös nykyisen laitteistokokonaisuuden. Perusteena valinnalle olivat käytettävä puhdistusteknologia, joka on maatilalaitoksissa yleisimmin käytetty vesiabsorptio, sekä laitetoimittajan kohdeyrityksen tunteminen aikaisemman asiakassuhteen perusteella. Lisäksi kohdeyritys pystyy hyödyntä-

mään laskelmaa osaltaan omassa toiminnassaan, jos biokaasun tuotantoa päätetään tulevaisuudessa tehostaa syötteiden määrää kasvattamalla. Budjettihintatiedustelu yritykselle lähetettiin 18.3.2020.

Demeca Oy:n standardin mukaisen biokaasun valmistamiseen tarkoitettu yksikkö on prototyyppi-vaiheessa ja ensimmäisen yksikön arvellaan olevan tuotannossa 2021. gFueliksi nimetyn yksikön investointikustannus budjettihintana on 300 000 € ja vuosittainen ylläpitokustannus (huolto, varaosat, niihin liittyvä työ) ovat valmistajan ilmoituksen (Vinkki, 2020) mukaan 15 000 €.

Annuiteetilaskelmassa käytetään 5%:n korkokantaa, 20 vuoden pitoaikaa ja jäännösarvona 0 €. Näillä arvoilla vuosittainen pääomakustannus on 23 758 €. Kun lasketaan vuosittainen pääoma- ja ylläpitokustannus yhteen, saadaan summaksi 38 758 €. Kun tämä summa jaetaan vuosittaisella kaasuntuotannon määrällä, josta hiilidioksidin osuus on laskennallisesti poistettu (171 800 Nm³) saadaan kustannukseksi 23 senttiä / Nm³. Laitoksen sähköenergian kulutusta ei laskelmassa huomioitu.

5 ERILLISEN STANDARDIN MUKAISTA BIOKAASUA JALOSTAVAN YKSIKÖN PERUSTAMINEN

5.1 Yksikön vaihtoehtoiset jalostusprosessit

Kun tarkastellaan yleisellä tasolla eri teknologioita, joilla hiilidioksidi puhdistetaan biokaasusta, on tarjolla kuusi erityyppistä teknologiaa: fysikaalinen adsorptio aktiivihiiileen (Pressure Swing Adsorption PSA), fysikaalinen absorptio vesipesulla (Pressurized water scrubbing PWS), fysikaalinen absorptio kemikaalipesulla (Genosorb), kemiallinen absorptio amiinipesulla (Amine washing), membraanijalostus (Membrane separation), kryojalostus (Cryogenic separation). Fysikaalinen absorptio vesipesulla on Suomessa yleisin käytössä oleva teknologia, varsinkin kun puhutaan maatilamittakaavan laitteistoista.

Wienin teknologiayliopiston raportissa vuodelta 2012 (Biogas to Biomethane Technology Review 2012, 13) on eroteltu erilaisten puhdistustekniikoiden investointi- ja käyttökustannuksia. Raportin perusteella voidaan todeta, että investointikustannukset eri puhdistusteknologioiden välillä eivät ole merkittäviä. Kustannukset jäävät ilman pääoman korkokustannusta jo 4 vuoden takaisinmaksuajalla 0,3–1 senttiin, laitoksen kokoluokan ollessa 100–500 m³ biokaasua/tunti. Käyttökustannusten osalta kokoluokalla ja kustannuksilla on merkittävä ero. Käyttökustannukset samassa kokoluokassa ovat 6,5–14 senttiä /m³. Tästä syystä valittavassa jalostusprosessissa painotetaan käyttökustannuksia investointikustannuksia enemmän.

Koska tutkimuksen yhtenä tavoitteena on selvittää myös hiilidioksidin talteenoton mahdollisuus ja sen mahdollinen markkina-arvo, on perusteltua pyrkiä selvittämään, onko markkinoilla tarjolla jalostusteknologioita, joissa osana prosessia hiilidioksidi erotetaan omaksi jakeeksi. Kemiallisessa absorptiossa ja fysikaalisessa painenvaihdunta-absorptiossa (PSA) sekä myös membraani- eli kalvojalostuksessa hiilidioksidi tulee prosessista eroteltuna (Hoyer 2016, 15). Myös kryojalostuksessa saadaan hiilidioksidi puhtaana erilleen. Kryojalostuksen osalta useissa yhteyksissä todetaan sen olevan muita puhdistustapoja enemmän energiaa kuluttava vaihtoehto. Teknologia ei ole nopeasti yleistynyt vaikkakin Scandinavian GtS:n koelaitoksesta saadut investointi- ja käyttökustannukset eivät merkittävästi poikkea muiden teknologioiden kustannuksista (Öhman 2009, 45). On myös huomattava, että kryojalostuksessa saadaan sekä metaani että hiilidioksidi nestemäisessä

muodossa. Metaanin osalta tämä tarkoittaa käytännössä energian tiivistymistä siten, että samaan tilavuusyksikköön mahtuu 600-kertainen määrä energiaa. Tämä tarkoittaa kustannussäästöjä valmiin tuotteen siirtokustannuksissa.

Seuraavassa taulukossa on koottu eri biokaasun jalostusteknologioiden kustannuksia eri kokoluokissa (mukaellen Öhman 2009 ja Biogas to Biomethane Technology Review 2012).

TAULUKKO 2. Eri puhdistusteknologioiden kustannukset (mukaellen Öhman 2009 ja Biogas to Biomethane Technology Review 2012).

Parametri	Fysikaalinen absorptio vesipesu	Organic physical scrubbing	Kemiallinen absorptio amiinipesu	Fysikaalinen adsorptio aktiivihiiheen (PSA)	Membraanijalostus	Kryojalostus
tyypillinen metaanin määrä biometaanissa %	95,0 - 99,0	95,0 - 99,0	>99,0	95,0 - 99,0	95,0 - 99,0	99,99
metaanin talteenotto %	98,0	96,0	100,0	98,0	95,0 - 99,0	100
metaanin hävikki %	2,0	4,0	0,0	2,0	20 - 0,5	0
tyypillinen prosessin paine bar(g)	4 - 8	4 - 8	0	4 - 7	4 - 7	
energian tarve kWh sähköä/m ³ biometaania	0,46	0,49 - 0,67	0,27	0,46	0,25 - 0,43	
lämmöntarve ja lämpötila	-	keskitasoa 70 - 80 C	korkea 120 - 160 C	-	-	
rikinpoistovaatimus	sisältyy prosessiin	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	
Tarvittavat aineet	likaantumista estävä aine kuivausaine	orgaaninen liuotin (ei vaarallinen)	amiiniliuokset (vaarallinen, syövyttävä)	aktiivihiihi (ei vaarallinen)		
Kuormitus alue %	50 - 100	50 - 100	50 - 100	85 - 115	50 - 105	
Referenssien määrä	korkea	matala	keskimääräinen	korkea	matala	
Investointikustannukset						
Tyypillinen investointikustannus €/m ³ /h biometaania						
100 m ³ /h biometaania	10100	9500	9500	10400	7300 - 7600	
250 m ³ /h biometaania	5 500	5000	5000	5400	4700 - 4900	
500 m ³ /h biometaania	3500	3500	3500	3700	3500 - 3700	
1000 m ³ biometaania						5500
Käyttökustannukset						
Tyypilliset käyttökustannukset senttiä/m ³ biometaania						
100 m ³ /h biometaania	14,0	13,8	14,4	12,8	10,8 - 15,8	
250 m ³ /h biometaania	10,3	10,2	12,0	10,1	7,7 - 11,6	
500 m ³ /h biometaania	9,1	9,0	11,2	9,2	6,5 - 10,1	
1000 m ³ /h biometaania						8,6 - 14,6

5.2 Tarkasteltavan vaihtoehdon valinta ja perustelut valinnalle

Vaihtoehdon valinnan tulee perustua taloudellisiin näkökohtiin ja rajauksessa mainittuihin käytön tuen ja huoltopalveluiden saamiseen suomen kielellä. Laitoksen kapasiteetilla on suora vaikutus sekä investointi- että käyttökustannuksiin.

Tarkasteltavaksi vaihtoehdoksi valittiin Finess Energy Oy:n toimittama Bright Membrani -puhdistuslaitteisto, jossa käytetään membraanitekniikkaa. Finess Energy Oy toimii hollantilaisen Bright Biomethane -yrityksen agenttina Suomessa (Penttinen 2020).

Laskelma on tehty budjettihintatiedustelun pienempitehoisella (100 Nm³ /h) laitteella, koska sen kapasiteetin käyttöasteen nostaminen 90%:iin edellyttää usean esimerkkitalan kokoisen biokaasuntuottajan yhteistyötä ja hyvin matalalle jäävä käyttöaste vääristää kustannuslaskelmaa.

5.2.1 Keskitetyn yksikön kapasiteetin määrittely

Kun tarkastellaan suunnitelmaa kustannusperusteisesti, on perusteltua rakentaa kapasiteetiltaan mahdollisimman suuri yksikkö. 500 m³/h kapasiteetti tarkoittaa kuitenkin vuosikapasiteettina 4 380 000 m³. Kun lasketaan käyttöasteeksi 85%, muodostuu vuosikapasiteetiksi 3 723 000 m³. Tämän määrän tuottamiseen tarvittaisiin 15 esimerkkitalan kokoisen karjatilan koko biokaasun tuotanto. Vaikka biokaasua tuottavat tilat pyrkisivät kasvattamaan kaasuntuotantoaan lisäsyötteillä, niin sillä ei olisi olennaista merkitystä tilojen määrään. 250 m³/h kapasiteetti vaatisi vastaavasti 85%:n käyttöasteella lähes 1 900 000 m³ raakakaasua, joka vaatisi noin kahdeksan esimerkkitalan kaasuntuotannon. Laskelmissa esitetty pienin kapasiteetti 100 m³/h, 744 600 m³/a vaatisi sekin vielä kolmen esimerkkitalan yhteistyötä 85% käyttöasteen ylläpitämiseksi.

Kokoluokan määrittämiseen antaa suuntaa myös seuraava taulukko, jossa on muutaman Suomessa nykyisin tuotannossa tai rakennusvaiheessa olevan laitoksen kapasiteetin kuvaus (Purta- nen 2019, 31).

TAULUKKO 3. Biokaasun tuotantomääriä suomalaisilla biokaasulaitoksilla (Purtanen. 2019, 31).

Yritys	Biokaasun tuotantomäärä Nm ³ /a	Biokaasun energiamäärä GWh
Stormossen Oy	2 563 200	16
Jeppo Biogas Oy	4 300 000	23 - 26,7
Metener Oy	256 320 - 326 469	1,6 - 1,75
Mustankorkea Oy	1 063 696	5,7 - 6,6
BioSairila Oy (suunniteltu)	2 220 000	11,9

Kun tarkastellaan taulukon laitosten kapasiteettia, voidaan todeta, että tässä työssä suunnitellun keskitetyn jalostusyksikön kapasiteetti on Suomen olosuhteissa merkittävä, varsinkin kun periaatteen on, ettei yksikkö tuota itse kaasua lainkaan.

5.2.2 Keskitetyn yksikön teknologian vaihtoehdot

Koska yhtenä työn tavoitteena on tarkastella myös hiilidioksidin talteenottoa, on perusteltua tarkastella niitä teknologisia vaihtoehtoja, joissa hiilidioksidi saadaan prosessista ainakin pääosin omana jakeena. Kryojalostus on teknologisesti vielä uutta ja ainakin toteutettujen laitosten osalta kapasiteettivaatimus ei ole käytännön tasolla helppoa toteuttaa. Myöskään suomen kielellä tarjottavia tukia ja ylläpitopalveluita ei tutkimuksen tekohehkellä ole saatavilla. Vaihtoehtoisiksi jalostusteknologioiksi jäävät Fysikaalinen adsorptio aktiivihilleen (PSA), kemiallinen adsorptio amiinipesulla ja membraanijalostus.

Kun tarkastellaan internetin avulla saatavilla olevia tekniikoita, löytyy membraanitekniikkaan perustuvaa puhdistamista Sarlin Oy:ltä, Finess Energy Oy:ltä. EcoProTech tarjoaa membraanitekniikan lisäksi optiona hiilidioksidin talteenottoa ja nesteyttämistä. PSA-tekniikkaan perustuvaa teknologiaa on tarjonnut aikaisemmin BioGTS, mutta sen toiminta on loppunut syksyllä 2018. Lisäksi vaihtoehtoisista teknologiaa selvitettiin kysymällä asiaa 18.3.2020 sähköpostilla Watrec Oy:ltä ja chatin kautta Nivos Oy:ltä.

Joonas Purtaasen (2019, 29) kandidaatin työssä on selvitetty viiden suomalaisen biokaasua laajemmassa mittakaavassa liikennekäyttöön jalostavan laitoksen puhdistustekniikkaa. Hänen mukaansa erotusmenetelmiä on käytössä monenlaisia. Hiilidioksidin erotuksen kannalta kahdella toimijalla on PSA-tekniikkaan perustuva suodatus, kahdella vesipesu ja kahdella aktiivihiilisuodatus. Yhtä tiettyä suosittua erotusmenetelmää ei näyttäisi olevan. Sinänsä tämä tieto on Internet-hakupalvelun avulla selvitettyyn tarjontaan suhteutettuna yllättävä tulos, koska näyttäisi, ettei PSA-tekniikkaan perustuva teknologiaa ole Suomessa tarjolla. Purtaanen (2019, 21) nostaa esille puhdistustapana myös aktiivihiilipuhdistamisen, mutta tekniikkana se on kuitenkin kalvoerotus (membraani), jossa käytetään aktiivihiiltä kalvomateriaalina. Myös PSA-teknologiassa hyödynnetään aktiivihiiltä.

5.2.3 Toiminnassa tarvittavat luvat

Kun biokaasun metaanipitoisuus ylittää 80% koskee biokaasua maakaasuasetuksen (551/2009) 9§:n mukaiset vaatimukset. Seuraavassa taulukossa on esitetty maakaasuasetuksen (551/2009) 9§:n mukaiset, Tukesille tehtävän ilmoituksen ja rakentamislupahakemuksen rajat sekä Seveso-direktiivin mukaisen toimintaperiaateasiakirjan ja turvallisuusselvityksen rajat. (Tukes 2017,1.)

TAULUKKO 4. Yli 80% metaania sisältävän biokaasun ilmoitus- ja rakentamisluparajat (Tukes. 2017,1).

Vaarakategoria	Ilmoitus Tukesille (t)	Lupa (t)	MAPP (t)	TS (t)
Maakaasu ja siihen rinnastettava biokaasu	0,2	5	50	200

Kaasun määrällä tarkoitetaan kaasun määrää laitteistossa. On huomioitava, että määrät koskevat kaikkien toiminnassa tarvittavien vaarallisten aineiden kokonaismäärää. Biokaasun tiheys on 0,7 kg/m³. Kun tästä lasketaan suunniteltua keskitetyn jalostusyksikön toimintaa, voidaan arvioida, että 100 m³/h tai 250 m³/h kapasiteetin laitteistossa tunnissa käsiteltävä kilomäärä on 700 kg tai 1 750 kg. Lisäksi määrään on huomioitava laitteistoon kiinnitetty (purkamista tai pakkaamista varten) siirtoon tai valmiin tuotteen pakkaamiseen tarkoitettu pullopatteristo, on rakentamislupahakemuksen jättäminen perusteltua. Rakentamislupaa haetaan Tukesilta. Lisäksi on muistettava tehdä ilmoitus biokaasuntuotannosta pelastusviranomaiselle.

Maakaasun (biokaasun) varastoinniksi ei katsota maakaasun säilytystä maakaasuputkistoissa tai kaasupulloissa. Maakaasupullot tarkoittavat tässä yhteydessä pääasiassa metaania sisältäviä kaasupulloja, joita ei ole kytketty käyttöön. (Tukes 2015, 11.)

Ympäristöluvan osalta kannattaa epäselvissä tilanteissa aina olla yhteydessä ELY-keskukseen tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaiseen. Ympäristöhallinnon verkkopalvelussa olevan ryhmittelyn perusteella biokaasulaitos on oletettavasti energiantuotantolaitos. Lupa tarvitaan ympäristöhallinnon mukaan: ympäristönsuojelulain liitteessä 2 tarkoitetun asfalttiaseman, energiantuotantolaitoksen ja jakeluaseman toimintaan, jos toiminta sijoitetaan tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueelle. Lisäksi lain liitteessä 1 ja 2 tarkoitettuun, mutta niitä vähäisempään toimintaan ja liitteessä 2 tarkoitettuun kemiallisen pesulan toimintaan on oltava ympäristölupa, jos toiminta sijoitetaan tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueelle ja toiminnasta voi aiheutua pohjaveden pilaantumisen vaaraa. (YSL 28 § & ympäristö.fi.) Koska ympäristölupa biokaasulaitoksilla yleisesti perustuu käsiteltävän karjanlannan tai erilaisten jätejakeiden käsittelyyn, on ympäristölupa edellytys toiminnan käynnistämiseksi. Jalostusyksikön osalta lupa tarvitaan ainoastaan silloin, kun kyseessä on tärkeä tai muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue.

Biokaasulaitokselle tulee hakea maankäyttö- ja rakennuslain mukainen rakennuslupa. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määritelmät lupamenettelystä ja lupaharkinnasta. Rakennuslupaa haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta.

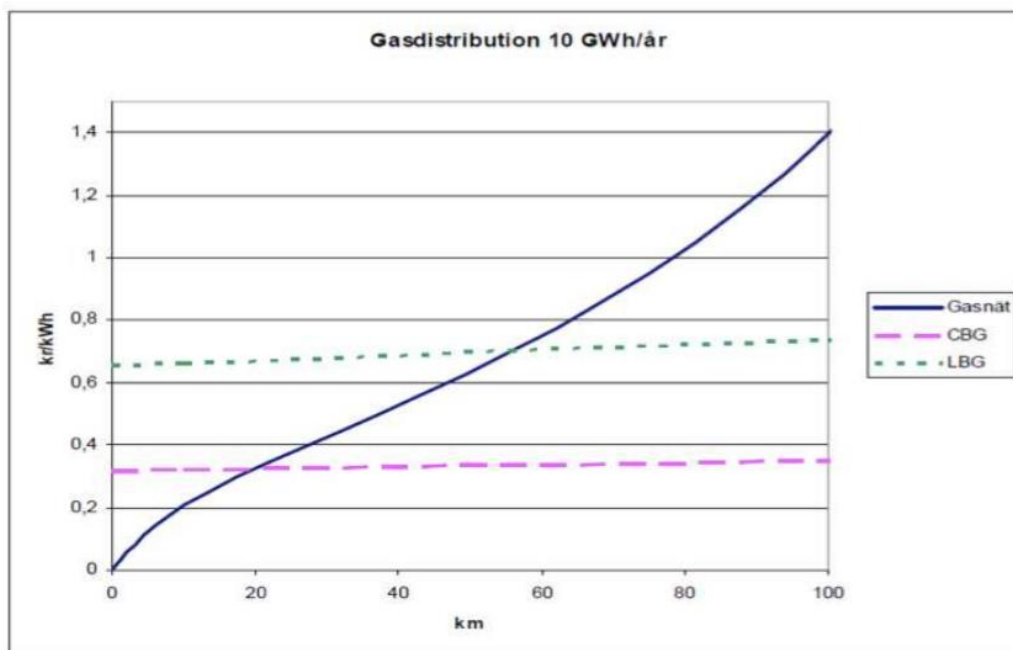
5.3 Valittu prosessi ja sen kustannus

Koska pienimuotoisessa selvityksessä tarjolla olevista vaihtoehtoisista teknologioista fysikaalinen adsorptio aktiivihiileen (PSA), kemiallinen adsorptio amiinipesulla ja membraanijalostus, oli tarjolla työn rajauksen mukaisia laitetoimittajia ainoastaan membraanijalostukseen, valitaan tarkasteltavaksi prosessiksi membraanijalostus. Taulukossa 3 esitettyjen kustannusten mukaan membraanijalostus on myös investointi- ja käyttökustannuksiltaan täysin kilpailukykyinen muiden teknologioiden kanssa. Budjettihintatiedustelu lähetettiin 19.3.2020 Finess Oy:lle, joka tarjoaa membraanijalostusyksikön lisäksi myös hiilidioksidin talteenottomahdollisuutta.

5.4 Jalostukseen toimitettavan raakabiokaasun toimitusvaihtoehdot ja kaasun siirtokustannus

Kaasun siirtämiseen voidaan periaatteessa käyttää joko kiinteää kaasuverkkoa tai sitten erilaisia kaasun kuljetuksen ja varastointiin soveltuvia pakkauksia. Materiaaleja tarkasteltaessa muovi materiaalina soveltuu putkistoon, jossa biokaasua siirretään. Valtioneuvoston asetuksessa VNa 551/2009 todetaan, että jakeluputkiston tulee olla joko muovia tai terästä.

Kaasun siirtämiseen käytettävä tekniikka riippuu siirron välimatkasta. Kaasu jaellaan joko linjassa (gasnät), puristetussa muodossa (200 bar) CBG: nä tai nestemäisessä muodossa LBG: nä. Seuraavassa kuvassa verrataan eri vaihtoehtojen kustannuksia jakeluetäisyydestä riippuen, kun kaasun kulutus pisteessä on 10 GWh vuodessa. (Roth, Johansson & Benjaminsson 2009, 29.) Kustannukset pystyakselilla on esitetty SEK / kWh ja vaaka-akselilla on etäisyys kilometreinä.



KUVA 1. Kaasun siirtokustannus eri tekniikoilla toimitusmatkan kasvaessa (Roth, Johansson & Benjaminsson 2009, 29).

Kaasun jakelu kaasuverkossa perustuu siihen, että kaasuverkko vedetään 90 % pellolle ja 10% putkistosta risteää teiden kanssa. Kaasuputken kustannuksiin sisältyy maanmittaus, satovahingot

ja maan rikkomisen korvaus, kaivaminen ja täyttäminen, tiealueiden kunnostus, putkistot, kaasunmittauslaitteet, palkkiot kaasuvälvontaviranomaisille sekä pääoma- ja käyttökustannukset komponenttien osalta. Kaasuputken hinta riippuu suurelta osin olosuhteista kyseisessä paikassa ja sen epävarmuus on noin $\pm 30\%$. (Roth, Johansson & Benjaminsson 2009, 28.) Kaasuputken osalta kustannus ei ole lineaarinen johtuen painehävikistä ja välipumppausasemien tarpeesta.

Paineistetun kaasun (CBG) kustannuksiin sisältyy paineistus, kaasun liikkuvan varastoinnin kustannukset ja kuljetus huoltoasemalle. Nestekaasun (LBG) hintaan sisältyy lauhdutuslaitos kaasulle, LBG-perävaunun kustannukset ja kuljetuskustannukset. (Roth, Johansson & Benjaminsson 2009, 28.)

Nm³ standardinmukaista biokaasua sisältää energiaa 9,7 kWh (Stormossen 2020). Kuviossa 1 esitetyn 10 GWh:n tuottamiseen tarvitaan 1 030 928 Nm³, joka raakakaasun tuotantomääränä vastaa 66%:n metaanipitoisuudella 1 562 000 Nm³ raakakaasua. Kun määrä suhteutetaan kohdeyrityksen vuosittaiseen tuotantomäärään, tarvitaan kuuden samankokoisen yksikön tuotantomäärä eikä sitenkään aivan ylletä tavoitteena olevaan tuotantomäärään. Kun katsotaan kuvan 1 paineistetussa muodossa olevan kaasun kuvaajaa, voidaan todeta, ettei kustannus etäisyyden kasvaessa muutu olennaisesti. Sen sijaan voidaan olettaa, että kun käsiteltävän kaasun määrä laskee, nousevat pääomakustannukset jonkin verran taulukossa esitettyä suuremmiksi.

Esimerkkiyritys sijaitsee noin 70 km päässä Oulun kaupungista ja siirtokustannus kuvioista 1 katsottuna olisi noin 0,33 kr/kWh. Tämän päivän (18.9.2020) kurssilla se tarkoittaisi noin 3 (3,17) senttiä/kWh. Metaanin energiasisältö on 10 kWh/ Nm³ (Vilkkilä 2007, 4). Kun 3,17 senttiä / kWh muutetaan kustannukseksi senttiä / biokaasukuutio, saadaan kustannukseksi 0,003 snt/ Nm³.

Räty ja Kaikkonen (2020, 53) esittävät opinnäytetyössään Paineistetun biokaasun käytön pilotointi lämmitysjärjestelmässä liitteessä 1 biokaasukontin ja kaasupullojen investointikustannukseksi 192 000 euroa. Kontin kapasiteetiksi työssä oli määriteltä 5000 kg. Annuiteettimenetelmää käyttäen 15 vuoden käyttöajalla ja 5%:n korkokannalla kyseisen laitteiston vuosikustannus olisi 24 000 euroa.

Kontissa olevan biokaasun oletetaan olevan 250 bar paineessa. Biokaasun tiheys 250 barin paineessa on 218 kg/m³ (Perälä 2019,6). Kapasiteetiltaan 5 000 kg konttiin mahtuu 250 bar paineis-

tettuna noin 6900 Nm³ biokaasua. Biokaasun kuutiopaino on 0,73 kg (Gasum 2017, 5). Tällä kapasiteetilla esimerkkirytyksen vähäisesti puhdistetun raakakaasun jalostettavaksi kuljettamisen pääomakustannus olisi 10 senttiä / Nm³. Vuosittaisen vähäisesti puhdistetun biokaasun tuotannon (240 000 Nm³) siirtäminen jalostukseen edellyttäisi noin 35 kuorman ajamista, joka tarkoittaa kontin tyhjentämistä noin 1,5 viikon välein.

Jos konttilaitteilla varustetun kuorma-auton rahtikustannukseksi arvioidaan 1,60 eur/ km ja esimerkkirytyks sijaitsee 70 km päässä isosta taajamasta, olisi kaasun siirtokustannus noin 6 senttiä/ Nm³.

6 JALOSTETUN BIOKAASUN TOIMITTAMINEN MARKKINOILLE

6.1 Raakabiokaasu

Metaanikaasun siirto tuotantolaitokselta jakelupaikalle tapahtuu joko putkiston kautta tai kuljettamalla maanteitä pitkin. Maantiekuljetus onnistuu siirrettävillä tankkausasemilla tai pullopatteristoilla, joissa kaasu on noin 200 bar paineessa. Kaasua voidaan siirtää maantiekuljetuksissa myös nestemäisenä. (Marttinen 2015, 29.)

Koska raakabiokaasu sisältää suuren määrän muita energiaköyhiä ainesosia metaanin lisäksi, on raakabiokaasun siirtäminen lähellä sijaitsevaan käyttökohteeseen kannattavinta kiinteää putkilinjaa pitkin. Polyeteenistä valmistettua kiinteää putkilinjaa käytettäessä on investointikustannus kertaluonteinen, eikä tarvita erillisiä paineistukseen liittyviä laitteita ja välineitä. Lisäksi siirtämiseen tarvittava paine on niin alhainen, ettei kaasun koostumukseen tule paineen aiheuttamia muutoksia.

Raakabiokaasua voidaan toimittaa markkinoille myös paineistettuna. Paineistuksessa on kuitenkin huomioitava, että kaasun sisältämä hiilidioksidi muuttuu paineen kohotessa ensin nesteeksi ja myöhemmin fluidiksi. Hiilidioksidi alkaa nesteytyä jo 5,2 baarin paineessa. Veden olomuotoon ei nykyisissä biokaasun kuljetuspakkauksissa käytettävillä paineilla ole vaikutusta.

Raakabiokaasun siirtämisessä merkittävin kustannustekijä onkin kuljetettavan kaasun energiasisältö. Raakabiokaasun joskus jopa alle 50%:n metaanin osuus nostaa kuljetuskustannukset lähes kaksinkertaiseksi puhdistettuun 95 %:seen biokaasuun verrattuna. Lisäksi kaasun paineistamiseen tarvittava välineistö ja kaasun kuljetuskontit nostavat kustannuksia. Aikaisemmin luvussa 3.2 esitetyt muut haittavaikutukset heikentävät raakabiokaasun markkinoita.

Tutkimuksen ajankohtana ei ole tiedossa, että Suomessa olisi tarjolla mahdollisuutta toimittaa raakabiokaasua edelleen jalostettavaksi.

6.2 Vähäisesti puhdistettu biokaasu

Vähäisesti puhdistettua biokaasua voidaan toimittaa käyttöön tai markkinoille samalla tavalla kuin luvussa 6.1 esitettyä raakabiokaasuakin. Merkittäviä eroja kaasun toimittamisessa markkinoille ei ole. Myöskään kuljetuskustannusten osalta ei voida puhua olennaisesta erosta, vaikka kaasusta onkin poistettu haitallisia aineita. Merkittävämpää on molemmissa kaasutyypeissä kaasun sisältämän metaanin määrä. Haitallisten aineiden poistamisessa saadaan kuitenkin poistettua ylimääräinen vesi ja rikkivety, jotka yhdessä muodostavat rikkihappoa, joka aiheuttaa korroosiota. (Hiitola 2016, 24.) Koska paineistetun biokaasun kuljetukseen käytetään myös metallista valmistettuja kuljetusastioita, on perusteltua poistaa vesi ja rikkivety ennen pakkaamista ja siirtämistä. Prosessinäkökulmasta voidaan veden ja rikkivedyn poistaminen kaasusta nähdä myös esikäsittelynä, koska vesiabsorptiota lukuun ottamatta kaikki muut jalostusteknologiat edellyttävät näiden komponenttien erottamista ennen varsinaista käsittelyä.

6.3 Standardin mukainen biokaasu

Standardin mukaisen biokaasun toimittaminen markkinoille ei merkittävästi eroa raaka- tai vähäisesti puhdistetun biokaasun toimittamisesta markkinoille. Keskeisin ero on standardin mukaisen biokaasun siirtämisen kustannus kaasun energiasisältöön verrattuna. Alempi kustannus johtuu siitä, että lähes koko siirrettävä massa on metaania. Lisäksi veden tai hiilidioksidin paineistukseen liittyviä aineen olomuodon muutoksia ei tarvitse huomioida. Paineistetun kaasun käyttökohdetta ei tarvitse ennakkoon tietää, sillä paineistettu standardin mukainen biokaasu soveltuu käytännössä kaikkiin eri biokaasun käyttökohteisiin. Käytännössä käyttöä ohjaa kaasun hinta.

7 BIOKAASUN MARKKINAHINNAN MÄÄRITTÄMINEN

7.1 Raakabiokaasu

Raakabiokaasun markkinahinnan määrittäminen on haastavaa. Raakabiokaasulla ei ole markkinaehtoista kysyntää tai tarjontaa siinä määrin, että muodostuisi markkinahintaa. Jos sen hinta lasjetaan samalla tavalla kuin vähäisesti puhdistetun biokaasun hinta, puhtaasti energiasisällön perusteella, antaa se mielestäni väärän kuvan raakakaasun arvosta. Raakakaasussa on vielä mukana haitallisia ainesosia, jotka heikentävät raakakaasun käyttöominaisuuksia. Esimerkkinä on rikkivety, joka muodostaa yhdessä raakakaasun sisältämän veden kanssa rikkihappoa, joka aiheuttaa korroosiota (Hiitola 2016, 24). Myös mäntämoottorin kunnossapitokustannukset lisääntyvät rikkiveitypitoisuuden kasvaessa, joten rikkivedyn poistaminen on välttämätöntä lähes aina (Kaparaju & Rintala 2013, 408).

Näistä syistä raakabiokaasun arvon määrittäminen on vaikeaa. Lämmöntuotantoon se soveltuu parhaiten, mutta silloinkin raakakaasun korroosiota aiheuttavat ainesosat laskevat sen käyttöarvoa. Jos haittojen arvoksi arvioidaan 15% puhdistetun raakakaasun hinnasta, saadaan raakakaasulle verottomaksi hinnaksi 0,303 € / Nm³ raakabiokaasua. Tämä hinta perustuu puhtaasti arvioon, eikä sen perusteella voida tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Missään tapauksessa raakakaasun hinta ei voi olla samalla tasolla vähäisesti puhdistetun biokaasun kanssa.

7.2 Vähäisesti puhdistettu biokaasu

Vähäisesti puhdistetun biokaasun hinnan määrittäminen markkinoiden perusteella on haastavaa, koska vähäisesti puhdistetulle biokaasulle ei ole yleisesti kysyntää tai tarjontaa. Vähäisesti puhdistetun biokaasun markkinahinta määritellään tässä työssä sen sisältämän metaanin määrän perusteella.

Metaanin määränä käytetään esimerkkiyrityksen keskimääräistä metaanin määrää 66%:a raakakaasun kokonaismäärästä. Biokaasun arvonlisäverollinen hinta 17.9.2020 Gasumin sivuilta katsotuna on 0,917 €/ kg. Kun tästä vähennetään arvonlisävero 24%, on kaasun veroton hinta 0,740

€/kg. Tämä muutetaan kuutiohinnaksi jakamalla kilohinta 1,37 Nm³:lla, joka vastaa kiloa biokaasua. Biokaasun Nm³ hinnaksi saadaan 0,530 €/ Nm³.

Kun Nm³ vähäisesti puhdistettua biokaasua sisältää 66% metaania, saadaan vähäisesti puhdistetun biokaasun Nm³ hinnaksi (0,530 € * 66/100) 0,356 €. Biokaasusta ei peritä valmisteveroa (Klemetti 2020, 10).

7.3 Standardin mukainen biokaasu

Standardin mukaisen biokaasun hinta perustuu Gasumin verkkosivuilta saatavaan biokaasun hintaan. Biokaasun arvonlisäverollinen hinta 17.9.2020 Gasumin sivuilta katsottuna on 0,917 €/ kg. Kun tästä vähennetään arvonlisävero 24%, on kaasun veroton hinta 0,740 €/kg. Tämä muutetaan kuutiohinnaksi jakamalla kilohinta 1,37 Nm³:lla, joka vastaa kiloa biokaasua. Biokaasun Nm³ hinnaksi saadaan 0,530 €/ Nm³. Biokaasusta ei peritä valmisteveroa (Klemetti 2020, 10).

8 ERI JALOSTUSASTEEN BIOKAASUJEN TUOTANNON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

8.1 Raakabiokaasu

Kohdeyrityksen kannalta katsottuna raakabiokaasu soveltuisi parhaimmin lämmöntuotantoon. Lämmöntuotannon taloudellisena arvona esimerkkitilalla esitettiin tässä työssä aikaisemmin 13 293 euroa. Lämmönkulutuksen suhteen tila on ollut lauhempina talvina omavarainen ja hakkeella on tuotettu lisälämpöä ainoastaan kylmimpien talvien pidempien kovien pakkasjaksojen aikana (Salonen 2020). Lämmönkulutus muodostaa kohdetilalla 38 % saavutetusta energian ostamisen kokonaissäästöstä. Raakakaasun käytössä noin kolmasosa kohdeyrityksessä syntyvästä kaasusta jäisi hyödyntämättä ja samalla jäisi saavuttamatta sähkön tuotannon kautta syntyvä 21600 euron säästö.

Tässä ratkaisussa investointikustannus alenisi CHP-yksikön verran, mutta noin kolmasosa syntyvästä kaasusta pitäisi polttaa soihdussa. Investoinnista saavutettu säästö ei kata tilan ulkopuolelta ostettavan energian kustannusta näillä reunaehdoilla. Investointi ei olisi kannattava. Raakabiokaasun myyntiä ei voida pitää todellisena vaihtoehtona, koska raakabiokaasulle ei ole olemassa toimivia markkinoita.

8.2 Vähäisesti puhdistettu biokaasu

Vähäisesti puhdistetun biokaasun arvoa voidaan tarkastella laskennallisesti sen sisältämän energiamäärän mukaan. Kohdeyrityksessä tuotetaan vähäisesti puhdistettua biokaasua 240 000 Nm³ vuodessa ja luvussa 7.2 vähäisesti puhdistetun biokaasun hinnaksi energiasisällön perusteella määriteltiin 0,356 € / Nm³. Tällä tavalla laskettuna biokaasun arvoksi muodostuu 85 440 €.

Vähäisesti puhdistetun biokaasun tuotantokustannukset ovat kohdeyrityksessä 58 007 euroa. Erotukseksi muodostuu 27 433 euroa, joka jää alhaisemmaksi kuin nykyisin tilalla itse tuotetun energian kautta syntyvä säästö 34 893 euroa.

Jos tarkastellaan luvussa 4.1 esitetyn arvion kautta tuotannon kannattavuutta ilman CHP-yksikköä, muodostuu vuotuiseksi kustannukseksi 43 902 euroa. Kun verrataan tuottoa 85440 euroa tähän arvioituun kustannukseen jää tuotoksi 41 538 euroa, joka ylittää nykyisen tuoton. Huomioitaessa raakakaasun toimitukseen liittyvät pääoma ja kuljetuskustannukset, voidaan arvioida, ettei kannattavuus nouse nykyistä toimintamallia korkeammaksi. On myös merkittävää huomata, että nykyisellä toimintamallilla ei kaasuntuotannossa ole lainkaan markkinariskiä (Salonen 2020).

8.3 Standardin mukainen biokaasu

Standardin mukaisen biokaasun hinta tankkausvalmiina liikennepolttoaineena on 0,740 € / Nm³. Karkeasti laskettuna 240 000 Nm³:sta raakakaasusta syntyy 66%:n metaanipitoisuudella noin 171 800 Nm³ 95%:sta standardin mukaista biokaasua. Laskennallinen tuotto vuositasona on 127 132 €. Biokaasun jalostus- ja tankkausyksikön vuosittaiset pääoma- ja ylläpitokustannukset ovat 38758 € ja lisäksi bioreaktorin sekä CHP-yksikön vastaavat kustannukset 58 007 €, yhteensä 96 765 euroa. Erotukseksi jää 30 367 euroa, joka alittaa nykyisen toimintamallin kautta saatavan tuoton.

Kun tarkastellaan luvussa 4.1 esitetyn arvion kautta tuotannon kannattavuutta ilman CHP-yksikköä, laskennallinen tuotto vuositasona säilyy 127 132 eurossa. Biokaasun jalostus ja tankkausyksikön vuosittainen pääoma- ja ylläpitokustannus on 38 758 euroa ja bioreaktorin vuosikustannukset ilman CHP-yksikköä 43 902 euroa. Vuosikustannukset yhteensä ovat 82 661 euroa. Erotukseksi jää 44 471 euroa. Kun huomioidaan raakakaasun toimitukseen liittyvät kuljetuskustannukset, voidaan arvioida, ettei kannattavuus nouse nykyistä toimintamallia korkeammaksi.

Seuraavassa taulukossa 6 on vertailtu eri jalostusvaihtoehtojen tuottoja, kustannuksia ja kannattavuutta. Vertailukohtana on ollut kohdeyrityksen nykyisen toimintamallin kautta säästyvän energian arvo eli tuotto 34 893 euroa. Raakakaasun osalta investointikustannusta voidaan arviolta vielä jonkin verran alentaa. Alentaminen ei muuta olennaisesti laskelman tulosta. Taulukossa pitoaika 20/30 tarkoittaa 20 vuotta tankkausasemalle ja 30 vuotta muulle laitokselle.

TAULUKKO 5. Biokaasutuotannon kannattavuuden vertailu.

Biokaasun tuotannon kannattavuuden vertailu	Raakakaasu	Tuottaminen+ CHP yksikkö	Tuottaminen ei CHP-yksikköä	Tuottaminen+ CHP yksikkö + tankkausyksikkö	Tuottaminen ei CHP-yksikköä + tankkausyksikkö
Käytettävän kaasu	Raakakaasu	Vähäisesti jalostettu	Vähäisesti jalostettu	Sertifioitu kaasu	Sertifioitu kaasu
Käytettävä määrä Nm ³	240 000	240 000	240 000	171 800	171 800
Arvioitu hinta €/Nm ³	0,303	0,356	0,356	0,740	0,740
Tuotto / vuosi	72 720 €	85 440 €	85 440 €	127 132 €	127 132 €
Investointikustannus €	526 280	590 000	526 280	890 000	826 280
Pitoaika vuosia	30	30	30	20/30	20/30
Laskentakorko %	5	5	5	5	5
Investointikustannus / vuosi	33 902 €	38 007 €	33 902 €	61 765 €	57 661 €
Käyttökustannukset / vuosi	10 000 €	20 000 €	10 000 €	35 000 €	25 000 €
Kustannukset / vuosi	43 902 €	58 007 €	43 902 €	96 765 €	82 661 €
Laskennallinen tuotto / vuosi	28 818 €	27 433 €	41 538 €	30 367 €	44 471 €
Tilan nykyisen toiminnan tuotto	34 893 €	34 893 €	34 893 €	34 893 €	34 893 €
Vertailu laskennallisen ja nykyisen toiminnan välillä	- 6 075 €	- 7 460 €	6 645 €	- 4 526 €	9 578 €

8.4 Hiilidioksidin talteenotto prosessista ja sen vaikutus kannattavuuteen

8.4.1 Hiilidioksidin talteen ottamisen merkitys

Hiilidioksidin talteenotolla ja hyötykäytöllä (CCU, Carbon Capture and Utilisation) tarkoitetaan prosesseja, joissa hiilidioksidi otetaan ensin talteen – joko pistelähteistä tai suoraan ilmasta – ja käytetään sitten lisäarvoa tuottavien prosessien raaka-aineena. Toisin sanoen kyse on siis hiilidioksidin näkemisestä raaka-aineena eikä haitallisena kasvihuonekaasuna. (Kärki, Hurskainen, Mäki-kouri, Melin, Tsupari, Bajamundi, Vehmas, Thomasson, Suomalainen, Lehtonen & Alakangas 2018,3.)

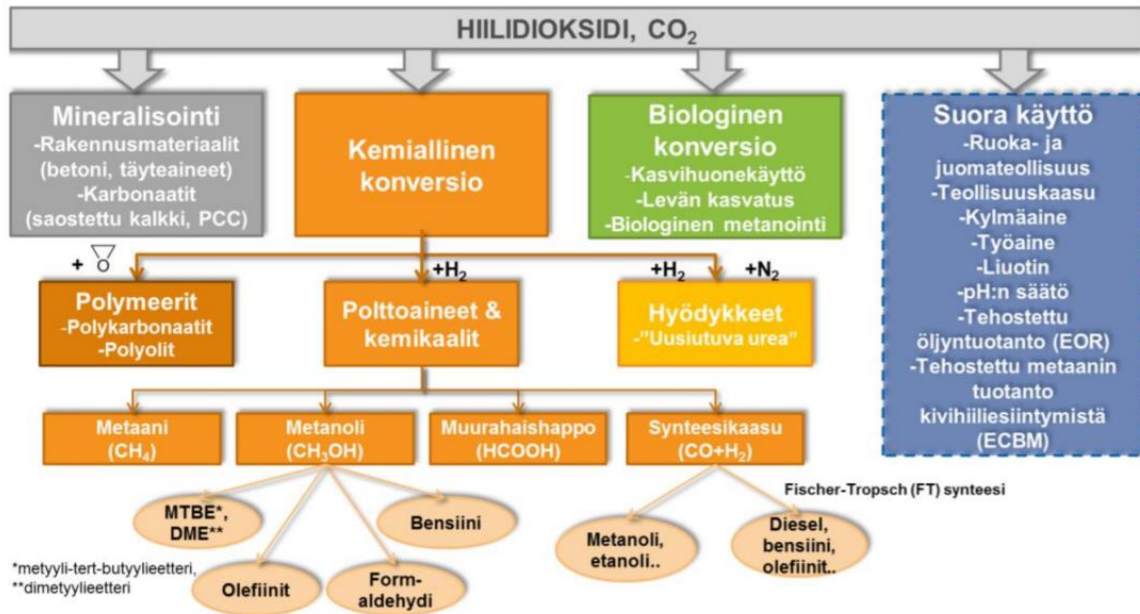
Määrällisesti hiilidioksidin saatavuus ei siis ole hyötykäyttöä rajoittava tekijä, mutta hiilidioksidin talteenoton kustannusten kannalta mahdollisissa hiilidioksidin lähteissä on merkittäviä eroja. Talteenoton kustannuksiin vaikuttavat lähinnä talteenoton kokoluokka ja hiilidioksidin pitoisuus poistokaasuissa. Lisäksi hyötykäytön kannattavuuden näkökulmasta tärkeitä tekijöitä ovat etäisyys hyötykäyttökohteeseen sekä hyötykäyttövasta riippuvat puhtausvaatimukset. (Tsupari, Hurskainen & Bajamundi 2018, 7.)

8.4.2 Talteen otetun hiilidioksidin markkinat

Talteen otetun bioperäisen hiilidioksidin hyötykäytön suuruusluokka tällä hetkellä Suomessa oletettavasti 0,1 Mt/a. Suomen nykymerkkinä on pienempi kuin yhden keskisuuren CHP-laitoksen tai pienen sellutehtaan CO₂ –päästöt. CO₂:n keskihinta on noin 84 €/t. (Kärki 2017, 3.)

Yksi Euroopan suurimmista hiilidioksidin tuotantolaitoksista sijaitsee Kilpilahdessa, Porvoossa. Laitos on Linde Gas AGA:n omistuksessa, ja se tuottaa 0,4 Mt CO₂:a vuosittain ottamalla hiilidioksidia talteen Neste Oilin vedyntuotantoprosessista. Vetyä valmistetaan Kilpilahdessa maakaasusta höyryreformaamalla. Tuotetusta hiilidioksidista 120 000 t käytetään Suomessa ja loput myydään Pohjoismaihin sekä Baltiaan, Venäjälle ja Puolaan. (Teir, Tsupari, Koljonen, Pikkarainen, Kujanpää, Arasto, Tourunen, Kärki, Nieminen & Aatos 2009, 55.)

VTT:n Bio-CO₂-hankkeessa selvitettiin liiketoimintamahdollisuuksia, jotka pohjautuvat bioperäisen hiilidioksidin hyödyntämiseen. Bioperäisiä raaka-aineita käyttävistä teollisuuslähteistä talteen otettu hiilidioksidi voidaan hyödyntää esimerkiksi nestemäisten ja kaasumaisten polttoaineiden tuotannossa tai kemikaalien raaka-aineena. Alla olevassa kuviossa on Bio-CO₂-hankkeen tuottama havainnollinen kaavio bioperäisen hiilidioksidin päähyödyntämisreiteistä ja yleisimmistä käyttökohteista. (Kärki ym. 2018,3.)



KUVA 2. Bio-CO₂-hankkeen tuottama havainnollinen kaavio bioperäisen hiilidioksidin päähyödyntämisreiteistä ja yleisimmistä käyttökohteista (Kärki ym. 2018, 3).

Suomessakin useat eri tahot ovat selvittäneet viime vuosina bioperäisen hiilidioksidin hyödyntämisen osalta uusia käyttömahdollisuuksia. Bio-CO₂ hankkeen tuottamaa kaaviota tarkasteltaessa huomaa, että hiilidioksidia käytetään eri kohteissa. Tunnetuimpia hyötykäyttökohteita ovat elintarviketeollisuus ja veden käsittely. Elintarviketeollisuudessa hiilidioksidia käytetään suojakaasuna ja virvoitusjuomien hapotukseen. Hiilidioksidia käytetään myös jäähdytysaineena sekä pakastamisessa. Uimahalleissa taas veden happamuutta säädetään hiilidioksidin avulla (Kutuniva 2012, 11). Myös hitsauksen suojakaasuna ja tietyn tyyppisten käsisammuttimien täyteaineena hiilidioksidi on useille tuttu. Kasvihuoneviljelyssä kasveille annetaan hiilidioksidilannoitusta. Tämä mahdollistaa kasvien tehokkaamman yhteyttämisen (Östergård 2018, 2.) Viime vuosina on herännyt kiinnostus sitoa keinotekoisesti hiilidioksidia takaisin betonirakenteisiin saostamalla osa sementin kalsiumista sekoitusprosessin yhteydessä kalsiumkarbonaatiksi. Muodostunut kalsiumkarbonaatti kiihdyttää betonin lujuudenkehitystä ja reagoi osittain muodostaen kalsiumkarboalumiinaatteja. (Vehmas & Mäkikouri 2018,9.)

Hiilidioksidin uudeksi käyttökohteeksi on teknologian kehityksen myötä nousemassa hiilidioksidin hyödyntäminen metaanin tuotannossa, niin kutsutussa metaanireaktorissa. Reaktiossa hyödynnetään mikrobeja sekä vetyä. Prosessi on kehitetty Suomessa ja sitä kaupallistetaan parhaillaan. Yksi

haaste metaanireaktorin yleistymisessä on prosessissa vedyn erottamiseen tarvittava suhteellisen suuri energiamäärä. (Energiauutiset 2015, Qvidja 2020 & Energiatalous.fi 2020.)

8.4.3 Hiilidioksidista saatavan hinnan määrittely

Hiilidioksidista saatavan markkinahinnan määrittely yksiselitteisesti on lähes mahdotonta. Hinnoittelun perusteena on tietenkin kysynnän ja tarjonnan tasapaino sekä hiilidioksidin käyttötarkoitus. Ei myöskään voida jättää huomioimatta päästökauppaa, jonka hinnan heilahtelut on kuvattu seuraavassa kuvassa. Tässä mekanismissa tarjonnan ja kysynnän laki määrittelee hiilidioksidin hinnan.

Päästöoikeuden hinta EU:ssa (euroa / co²-tonni)

Lähde: Intercontinental Exchange



KUVA 3. Ylen toimittajan Antti Koistisen artikkelissa Saastuttaminen on nyt kalliimpaa kuin kertaakaan 11 vuoteen oleva kaavio hiilidioksidin päästökaupan tonnihinnan vaihtelusta. (Koistinen 2019)

Vuonna 2011 Yhdysvalloissa elintarvikelaadun hiilidioksidin hinta tehtaalle toimitettuna oli 20–25 USD / tonni, kun hiilidioksidin puhtausaste on yli 96% (Doty Energy 2011).

Monteiro ja muut raportissaan Post-capture CO₂ management: options for the cement industry, arvioivat hiilidioksidin hallintavaihtoehtoja sementtiteollisuudessa. Raportissa arvioidaan mm. vaihtoehtoisia hiilidioksidin käyttötapoja, mahdollista hintaa sekä vuosittaista volyymiä. TRL tarkoit-

taa teknologian kehitystasetta luvuilla 1–9, jossa 9 edustaa testattua toimivaa järjestelmää. (Monteiro, Goetheer, Schols, van Os, Calvo, Francisco, Hoppe, Bharadwaj, Roussanaly, Khakhar, Feenstra, & de Jong 2018, 87.)

TAULUKKO 6. Yhteenveto erilaisten CCU-tuotteiden ominaisuuksista erilaisten mittareiden kautta. (Monteiro ym. 2018, 87)

Product	Price (€/ton)	Market (Mt/year)	CO ₂ uptake (Mt/year)	CEMCAP cement plants	TRL	Oxidation state
CaCO ₃ (GCC)	50	75	33	39	7	4
CaCO ₃ (PCC)	400	14	6,16	7	7	4
Aggregates	20	53200	3600	4235	9	4
Carbonated concrete	25	16500	1650	1941	9	4
Methanol	250	80	110	129	9	-2
DME	350	8	7,65	9	9	-2
Methane	330	1100	3025	3559	9	-4
Ethanol	630	86,8	166	195	5	-2
Isopropanol	1500	2	4,33	5	3	-2,33
Biodiesel	860	20	30	35	5	-3,29
PPC	3400	6	3	4	9	3
Polyols	1500	10	2	2	9	3
Cyclic carbonates	2000	0,1	0,04	0,05	4	4
Formic acid	600	0,7	0,67	0,8	5	2
CO ₂ (food-grade)	115	17	17	20	9	4
CO ₂ (greenhouses, NL)	65	5	5	6	9	4

Voidaankin päätellä, että hiilidioksidin hinta määräytyy käyttötarkoituksen mukaan. Elintarviketeollisuuden suojakaasuna, sammuttimien täyteaineena, hitsauskaasuna, sementtituotannon lisäaineena tai päästökaupassa määritellyt hiilidioksidin hinnat ovat kaikki erilaisia. Hiilidioksidin hinnan muodostukseen vaikuttavat käyttökohteen lisäksi mm. käytettävä määrä ja hiilidioksidia sisältävän lopputuotteen hinta. Yksiselitteistä hinnoittelua hiilidioksidille ei ole olemassa. Kannattavuuden arvioinnissa onkin huomioitava mahdolliset markkinat tuotannossa syntyvälle hiilidioksidille sekä kyseisillä markkinoilla saatava hinta.

Uusi metaanireaktoriteknikka voi tarjota mahdollisuuden hiilidioksidin hyödyntämiselle bioenergian lähteenä. Tässä vedystä ja hiilidioksidista mikrobien avulla tuotettavasta metaanista (Energiateollisuus.fi 2020) voi kehittyä hiilidioksidin hyödyntämiselle uusi merkittävä tuotannonala, joka voi kasvattaa hiilidioksidin hyötykäyttöä merkittävästi. Tällä hetkellä vedynerotusprosessi tarvitsee suuren

määrän sähköenergiaa, joka nostaa tuotettavan standardinmukaisen biokaasun tuotantokustannusta, ja siten oletettavasti vaikuttaa teknologian yleistymiseen.

On myös huomioitava, että paine hiilidioksidin tehokkaampaan talteenottoon ilmastonäkökulmasta kasvaa jatkuvasti. Tämä luo epävarmuutta hiilidioksidin markkinahinnan kehittymiselle. Jos hiilidioksidin markkinat eivät kehity samassa suhteessa kuin kasvava tarjonta, saattaa ylitarjonta romahduttaa hiilidioksidin hinnan

8.4.4 Hiilidioksidin talteenoton kustannus ja sen vaikutus kannattavuuteen

Hiilidioksidin talteenottoon tarvittavan laitteiston kustannustietoa pyydettiin Finess Energy Oy:ltä, joka toimii hollantilaisen Bright Biomethane-yrityksen agenttina Suomessa (Penttinen 2020).

Bright biokaasun puhdistusyksikkö perustuu Mebrani-kalvotekniikkaan. Puhdistuksessa ei tarvita kemikaaleja eikä vettä eikä lämpöenergiaa. Energiankulutus on sähköä, josta on mahdollisuus saada jopa 80% talteen lämmön talteenottoyksikön avulla. Laitosten käyttö on erittäin helppoa ja käynnistys ei vaadi erityistoimenpiteitä ja tapahtuu 10–15 minuutissa. (Penttinen 2020.)

Bright biokaasun puhdistusyksikön käyttökustannukset ovat edullisia, laitoksen kokonaisenergiankulutus on n. 0,28 kWh/ Nm³. Metaanikaasun paine prosessissa on noin 14 bar. Jos on tarkoitus tuottaa liikennekaasua ja pakata se 250 bar paineeseen, niin membraanipuhdistuksessa lähtöpaine on korkeampi kuin muissa menetelmissä ja paineistuksessa säästetään energiaa. (Penttinen 2020.)

Bright biokaasun puhdistusyksikön OPEX-kustannukset (käyttö, arvioitu huolto ja kunnossapito ja energiankulutus) 500 Nm³ /h laitokselle ovat 0,025 eur/ Nm³ (biokaasua), kun lämmön talteenotto huomioidaan laskelmaan. Bright Membrani -puhdistuslaitteistosta on mahdollista ottaa talteen myös hiilidioksidia. Talteen otetun hiilidioksidin puhtausaste on korkea. Hollannissa on mitattu puhtausastetta ja se vastaa elintarvikelaatua. (Penttinen 2020.)

Taulukossa 2 esitetään 100 Nm³ /h laitoksen käyttökustannukseksi 10,8 – 15,8 senttiä / Nm³ biokaasua. Koska taulukossa 2 käyttökustannus nousee 500 Nm³/h laitosta verrattaessa 100 Nm³/h

laitokseen kaksinkertaiseksi, käytetään laskemissa OPEX-kustannusten keskihintana 5 senttiä / Nm³ biokaasua.

Bright Membrane biokaasun puhdistusyksikön karkeaksi budjettihinnaksi ilmoitetaan pyydetyillä 100 Nm³/h kapasiteetilla 600 000 € ja 250 Nm³/h kapasiteetilla 900 000 €.

Pääomakustannus lasketaan annuiteettimenetelmällä. Valmistajan antama arvio laitoksen taloudellisesta käyttöiästä on 20 vuotta ja laskelmassa käytetään korkokantana 5%:a. Investoinnille ei ole laskettu jäännösarvoa. Vuosittaiseksi pääomakustannukseksi muodostuu 47 517 euroa.

Laitoksen käyttökustannuksen (OPEX kustannus) valmistaja ilmoittaa eur/ Nm³. Jotta laskelma saadaan vertailukelpoiseksi vuosikustannukseksi muiden laskelmien kanssa, käyttökustannus muutetaan vuosikustannukseksi kertomalla käsiteltävän biokaasun määrä 0,05 eurolla. Kustannukseksi muodostuu täten 8 160 euroa.

Vuosittain tuotettavan standardinmukaisen biokaasun tuotantokustannus olisi 55 677 €, ja kustannus tuotettua Nm³ kohti olisi 0,32 €.

Koska kyseessä on kapasiteetiltaan kohdeyritykselle ylimitoitettu laitos, tarkastellaan vastaavaa investointia viiden saman suuruisen tilan yhteistyöyksikkönä. Pääomakustannus laskisi 6 senttiin Nm³ ja käyttökustannus säilyisi ennallaan 5 senttiä / Nm³. Tuotantokustannukseksi muodostuisi 11 senttiä / Nm³. Tämä teoreettinen laskelma osoittaa selkeästi mikä merkitys biokaasun jalostamisessa on yksikön kapasiteetin nostamisella. Lisäksi käyttökustannukset Nm³ kohti yleensä nousevat, kun kapasiteetti laskee.

Tässä laskennassa on huomioitava, että kustannus sisältää biokaasun puhdistamisen ja hiilidioksidin erottamisen samassa prosessissa.

Taulukossa 8 on esitetty standardinmukaisen biokaasun tuotantokustannuksia kahdella eri tuotantovaihtoehdolla. Kuvion laskelmissa on huomioitava, että keskitetyn yksikön osalta kustannuksista puuttuu tankkausaseman ja kaasun paineistukseen tarvittavan pumpun kustannus. Maatilakokoluokan yksikössä ne kuuluvat investointiin. Maatilakokoluokan investointi sisältää myös muun teknologian, jossa raakakaasusta voidaan jalostaa standardinmukaista kaasua. Investointisuunnitelmissa kustannukset on selvitettävä tarkemmalla tasolla.

TAULUKKO 7. Biokaasun jalostamisen kustannus eri vaihtoehtoilla ja volyymeillä.

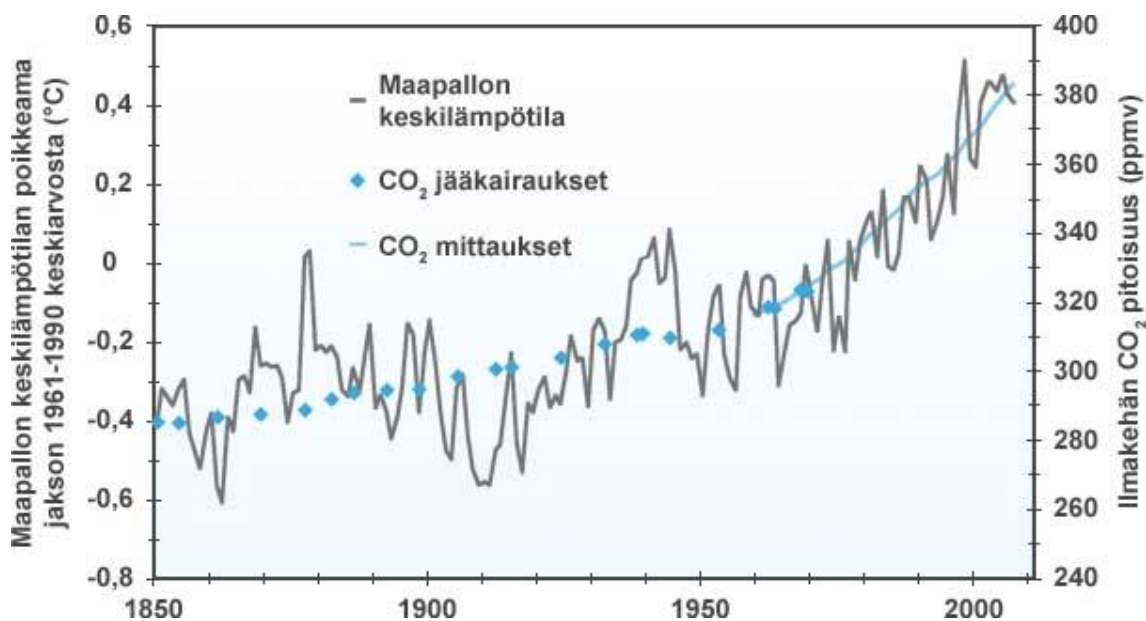
Biokaasun jalostamisen kustannus eri yksiköissä ja volyymitasoissa	Maatila kokoluokan yksikkö	Keskitetty yksikkö maatilavolyymi	Keskitetty yksikkö kokovolyymi
Tuotettavan biokaasun määrä Nm ³	171 800	171 800	830 000
Metaanin osuus %	95	95	95
Investointikustannus €	300 000	600 000	600 000
Pitoaika vuosia	20	20	20
Laskentakorko %	5	5	5
Investointikustannus / vuosi	23 759 €	47 517 €	47 517 €
Käyttökustannukset / vuosi	15 000 €	8 160 €	41 500 €
Kustannus yhteensä	38 759 €	55 677 €	89 017 €
Investointikustannus / Nm ³ biokaasua	0,14 €	0,28 €	0,06 €
Käyttökustannukset / Nm ³ biokaasua	0,09 €	0,05 €	0,05 €
Kustannus yhteensä / Nm³ biokaasua	0,23 €	0,32 €	0,11 €

8.5 Jalostusprosessin ympäristövaikutusten merkitys kannattavuuteen

Kun verrataan eri jalostusprosesseja, nousee hyvin ympäristömyönteisen kuvan saaneen biokaasun tuotannosta esille hiilidioksidi, joka määrällisesti raakakaasusta muodostaa metaanin (55–75%) jälkeen seuraavaksi suurimman yksittäisen jakeen (25 – 45%), muiden jakeiden yhteensä jäädessä yleensä alle 3%:iin. (Motiva 2013, 3.)

Hiilidioksidipäästöjen osuus on 80 % kaikista maapallon lämpenemistä aiheuttavista kaasuista. Hiilidioksidipäästöistä noin 75 % on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Lisäksi päästöjä tulee metsien hävittämisestä ja teollisuudesta. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on noussut esiteollisen ajan noin 280 miljoonasosasta (ppm) noin 370:een, eli 0,037 %:iin. Pitoisuuden vuotuinen kasvuvauhti on ollut viime vuosikymmeninä vajaa puoli prosenttia vuodessa. (CO₂-raportti 2020.)

Hiilidioksidin elinikä ilmakehässä on pitkä - vaikka päästötaso jäädytettäisiin nykyiselle tasolle, ei ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvu pysähtyisi. Ilmakehän, biosfäärin ja merien tasapainotilan saavuttaminen vie pitkän ajan. (CO₂-raportti 2020.)



KUVA 4. Maapallon keskilämpötilan muutoksia

Kuva 4 esittää maapallon keskilämpötilan muutoksia havaintotietojen perusteella: harmaa käyrä esittää poikkeamia jakson 1961-90 keskiarvosta. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet, jotka on analysoitu Etelämantereen jäätikkökairauksista, on merkitty sinisillä neliöillä. Sininen yhtenäinen viiva kuvaa suoraan ilmakehästä mitattuja hiilidioksidipitoisuuksia. (Ilmatieteenlaitos 2020.)

Ilmaston lämpenemisen rajoittaminen Pariisin sopimuksen mukaisesti alle 2°C:een verrattuna esiteolliseen aikaan tarkoittaa, että tulevaisuuden hiilidioksidipäästöt ovat rajalliset. Tämän niin sanotun hiilibudjetin suuruuteen vaikuttavat kuitenkin hiilidioksidin lisäksi myös muiden, lyhyemmän aikaa vaikuttavien aineiden, kuten mustan hiilen ja metaanin päästöt. (Partanen, 2018.)

Hiilibudjetti tarkoittaa sitä hiilidioksidipäästöjen määrää, jonka voimme vielä päästää ja samalla rajoittaa lämpenemisen 2°C:een, verrattuna esiteolliseen ilmastoon. Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) viidennen arviointiraportin ja viime vuosien päästökehityksen perusteella hiilibudjettia olisi vuoden 2018 alussa jäljellä vain noin 270 gigatonnia hiilidioksidia, mikä tarkoittaisi nykypäästöillä (noin 41 gigatonnia hiilidioksidia vuodessa) vain noin seitsemän vuoden päästöjä. (Partanen, 2018.)

Hiilidioksidipäästöjen kustannustehokas vähentäminen edellyttää, että päästöille asetetaan päätökohteesta tai sen sijainnista riippumaton yhtenäinen hinta hiilidioksidiveron tai päästömaksujen avulla. Lisäksi hiilidioksidipäästöjen hinnan tulisi olla riittävän korkealla tasolla, jotta se kattaisi päästöjen aiheuttamat yhteiskunnalliset kustannukset ja kannustaisi päästöjen vähentämiseen.

(Koljonen, Lehtilä, Koreneff, Lindroos, Pursiheimo, Rämä, Siikavirta, Laukkanen, Kyritsis, Ollikka, Eerola & Ollikainen 2019,17.)

Kuten edellä on todettu, hiilidioksidin merkitys maapallon lämpenemiseen on huomattava ja sen ilmakehää kuormittavan määrän leikkaaminen on välttämätöntä. Tällä hetkellä esimerkiksi polttoaineissa hiilidioksidiverosta on vapautettu erilaiset biomassasta valmistetut polttoaineet (Veronmaksajat 2020).

Jos biokaasun energiaverotuksessa siirrytään nykyisestä polttoaineen sisältämän hiilidioksidin verotuksen sijasta valmisteverotuksen suuntaan, jolla pyritään vähentämään hiilidioksidin päästöjä, muuttuu eri biokaasuprosessien kustannusten vertailu. Mahdollisen tulevaisuudessa tulevan valmisteveron määrästä riippuen saattavat prosessit, joissa on jo nyt hiilidioksidin talteenoton mahdollisuus, synnyttää teknisen kilpailuedun verrattuna prosesseihin, joissa tätä mahdollisuutta ei ole. Tätä työtä kirjoitettaessa syksyllä 2020, ei kuitenkaan edellä esitettyä teknistä kilpailuetua ole.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Tulosten tarkastelu ja yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kohdeyrityksen vaihtoehdot tuotettavan biokaasun hyödyntämiseksi. Tilan nykyinen malli, jossa biokaasu puhdistetaan vähäisesti ja muutetaan tilalla hyödynnettäväksi sähköksi ja lämmöksi, osoittautui eri osatekijät huomioon ottaen kannattavimmaksi vaihtoehdoksi.

Laskennallisesti paras tuotto tilalla saataisiin vähäisesti puhdistetun biokaasun tuottamisesta. Laskelmassa käytetty hinta perustuu kaasun energiasisältöön ja standardin mukaisen kaasun markkinahintaan, eikä kyseiselle kaasulle ole olemassa nykyhetkellä markkinaa, jonne se voitaisiin myydä. Myös standardinmukaisen kaasun tuotto oli laskennallisesti kannattavampaa kuin nykyinen käyttö. Edellytys kannattavalle toiminnalle olisi, että kaikki kaasu tankattaisiin tilalta suoraan ajoneuvoihin, mikä kohdeyrityksen sijainti huomioiden olisi epätodennäköistä. Kohdeyrityksessä käytössä keskustelussa (Salonen 2020), käytiin läpi myös mahdollisuus yhteistyöhön isomman kuljetusyrityksen kanssa, joka sitoutuisi käyttämään kohdeyrityksen palveluita. Raskaan kaluston biokaasujärjestelmät Suomessa perustuvat nykyisin pääosin nesteytetyn biokaasun käyttöön, joka taas vaatisi lisäinvestointeja ja söisi kannattavuuden.

Tilakohtaisen standardinmukaisen biokaasuyksikön pääoma- ja käyttökustannus vuodessa oli 38785 euroa. Markkinakelpoista biokaasua valmistuisi vuosittain 171 800 Nm³. Valmistuskustannukseksi muodostuisi 23 senttiä / Nm³. Keskitetyn laitoksen pääomakustannus on 47 517 euroa vuodessa ja käyttökustannus 0,05 eur/ Nm³. Kun laitoksen ilmoitettu kapasiteetti on 100 Nm³/h. Oletuksella, että laitosta käytettäisiin 90%:n teholla (8760h x 100 Nm³/h x 90%), saadaan kapasiteetiksi noin 830 000 Nm³. Vastaava kustannus keskitetyssä yksikössä ilman tankkauspistettä olisi 0,11 eur/ Nm³. Keskitetyssä yksikössä on valmius hiilidioksidin talteenottoon.

Keskitetyn yksikön kautta saatava raakakaasun jalostamisen kustannustehokkuus edellyttää laajaa biokaasuntuotannon käynnistävien yritysten yhteistyötä. Kohdeyritys on Pohjois-Pohjanmaan mitakaavassa iso karjatila ja yhden 100 Nm³/h kapasiteetin omaavan laitoksen 90% käyttöasteen

saavuttamiseen tarvittaisiin viiden samankokoisen tilan biokaasutuotanto. Voisikin ajatella, että bio-kaasun tuottaminen on maatilan näkökulmasta yksi uusi tuotantosuunta. Lisäksi keskitetyn jalostusyksikön sijainnissa kannattaa huomioida tuotettavan kaasun käyttäjäryhmä ja sijainti. Kun raakakaasua siirretään jo prosessiin, pitäisi kaasun markkinoille saaminen pystyä pääosin järjestämään ilman uutta pakkaamista ja maanteitse siirtoa. Lyhyt siirtomatka kiinteää putkea pitkin ei syö merkittävästi toiminnan kannattavuutta pitkällä aikajänteellä.

Suora kannattavuuden vertaaminen erilaisten teknisen ratkaisujen ja riittävän yksityiskohtaisten laskelmien tekemisen kautta budjettihintamenettelyllä on osoittautunut haastavaksi. Laskelmien vertaaminen antaa kuitenkin riittävän tiedon ohjeellisella tasolla päätöksen teon perusteeksi eri vaihtoehtoja tarkasteltaessa. Lisäksi teknologian yleistyessä laitteistojen hinnat ja käyttökustannukset muuttuvat jatkuvasti.

9.2 Jatkoimenpiteet

Kohdeyrityksen osalta nykyinen toimintamalli on osoittautunut yritystoiminnan riski huomioon ottaen kannattavimmaksi vaihtoehdoksi. On kuitenkin seurattava, miten hiilineutraaliuden tavoite vaikuttaa tulevaisuudessa prosesseista vapautuvan hiilidioksidin mahdolliseen verotukseen.

Jos haluaa ennakoida mahdollista muutosta, tulee selvittää teknologian tarjoamat vaihtoehdot hiilidioksidin talteen ottamiseksi nykyisestä prosessista ja tulee selvittää myös talteen otetun hiilidioksidin taloudellisesti kestävä käyttötapa. Voidaan kuitenkin todeta, että kyseinen muutos verotuksessa voisi rapauttaa merkittävästi nykyisen toiminnan kannattavuutta ja asettaisi uusienkin investointien kannattavuuden uuteen harkintaan.

Euroopan komission käynnistämä vihreän kehityksen ohjelma eli Green Deal, tarjoaa taloudellisia resursseja mm. maatalouteen ja energia-alaan liittyen. Green Dealin keskeinen tavoite on tukea toimia, jotka johtavat ilmastoneutraaliin Eurooppaan vuonna 2050. (eurooppatiedotus.fi 2020.) Bio-kaasutuotannon teknologiaan liittyvään kehitystyöhön on esimerkiksi tämän ohjelman kautta mahdollisuus saada tukea.

9.3 Johtopäätökset

Kuten jo aikaisemmin on todettu, ovat keskitetyn jalostusyksikön investointi- ja käyttökustannukset käsiteltäviä biokaasukuutiota kohden huomattavasti edullisemmat verrattuna maatilakoon yksikköön. Koska keskitetty jalostaminen vaatii kaasun siirtämistä, jää lopullisen kannattavuuden arviointi kaasun siirtokustannuksista riippuvaiseksi, mutta sen selvittäminen on jo uuden tutkimuksen aihe.

Kohdeyrityksen kanssa käydyissä keskusteluissa (Salonen 2020) nousi keskeisesti esille biokaasun markkinat. Minne toimittaa syntyvä biokaasu, jos sitä ei pysty itse käyttämään? Mielestäni tähän tiivistyy osaltaan tämän tutkimuksen ydin, ollaan niin sanotussa ”muna-vai-kana”-tilanteessa. Pitääkö ensin olla jalostusyksikkö, joka ottaa vastaan syntyvän raakakaasun vai pitääkö ensin olla tuotantoa tai ainakin tuotantovalmius, ennen kuin keskitettyä yksikköä aletaan rakentaa? Yhtenä ratkaisuna voisi olla ”biokaasumeijerin” perustaminen, jossa osakkaat toimittaisivat raakakaasun edelleen jalostettavaksi ja markkinoitavaksi.

Hiilidioksidipäästöt ovat ehkä lähitulevaisuudessa merkittävin alan toimintaa ja teknologiaa muokkaava tekijä. Jo nyt se on kasvattanut biokaasun käyttöä mm. liikennepolttoaineena. Yhteiskuntamme hiilineutraaliuden tavoite asettaa kuitenkin biokaasuntuotannolle uhan ja mahdollisuuden jalostusprosesseista vapautuvan hiilidioksidin talteenoton ja energiaksi hyödyntämisen kautta.

10 POHDINTA

10.1 Tutkimuksen luotettavuus ja käytettävyys

Tutkimuksen luotettavuus tutkimuksen kohteena olevalla tilalla on nykyhetkessä totuuden mukainen. Tuotantolaitteiden ja energian hintakehitys muokkaavat kuitenkin kannattavuutta jo lyhyelläkin aikajänteellä. Tuotantolaitteiden yleistyessä hinta yleensä laskee ja energian hinnan osalta ei ole odotettavissa merkittävää hinnan alenemista. Todennäköisemmin energian hinta tulee jatkamaan nousuaan. Myös poliittiset tavoitteet ilmaston lämpenemisen ja fossiilisten polttoaineista luopumisen suhteen voivat vaikuttaa eri raaka-ainelähteistä tuotetun energian verotukseen sekä käytön rajoituksiin. Tältäkin osin muutokset on huomioitava tarkasteltaessa tutkimuksen tuloksia.

Tutkimusta voidaan hyödyntää biokaasun tuottamista suunnittelevien maatalojen yhtenä tiedon lähteenä suunniteltaessa maatilalla tuotetun biokaasun taloudellisesti kannattavinta käyttökohdetta. Sinänsä tutkimus ei ota kantaa laajemmin, mitä raaka-aineita biokaasun tuotantoon käytetään, tästä näkökulmasta raakakaasun tuottaminen on mahdollista niin karjatililla, joilla energiankulutus on tasaisempaa, kuin esimerkiksi kasvinviljelytiloilla, joilla energiankulutus on enemmän kausimaista (mm. sadonkorjuu aika). Niillä tiloilla, joilla kulutus on kausiluonteista, on ratkaistava vaihtelevaan tarpeeseen vastaaminen joko varastoimalla kaasua tilalle tai hyödyntämällä markkinoita myymällä ja ostamalla kaasua.

Tutkimus antaa tosiasiallista tietoa kohdeyrityksen vaihtoehtoisista biokaasun hyödyntämismalleista tarkasteltavan yrityksen osalta. Koska tässä tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää myös biokaasun tuottajien yhteisen jalostusyksikön kannattavuutta tilakoon jalostusyksikköön verrattuna, antaa tutkimus tietoa myös keskitetyn biokaasun jalostusyksikön kannattavan toiminnan edellytyksistä, kuitenkin ainoastaan tässä työssä käsitellyn kokoluokan osalta.

Keskitetyn biokaasun jalostamisen osalta tutkimus tarkastelee vaihtoehtoisista toimintamallia biokaasun jalostamiseksi keskitetysti isommassa jalostusyksikössä ja antaa tietoa kustannuseroista maatilamittakaavan laitoiksiin verrattuna. Lisäksi tutkimus antaa tietoa jalostusprosessista talteen otettavan hiilidioksidin talteenoton kustannuksista sekä avaa lyhyesti näkymää talteen otetun hiilidioksidin markkinoista.

Ajatus siitä, että keskitetyllä tuotannolla saadaan tuotantokustannukset kilpailukykyisemmäksi, on mielestäni tullut tässä työssä osoitetuksi, osaltani olin yllätynyt kaasun kuljetuskustannusten alhaisuudesta, vaikkakin ne tässä työssä nojautuivat yhteen selvitykseen. Toisaalta Rätty ja Kaikkonen opinnäytetyössään Paineistetun biokaasun käytön pilotointi lämmitysjärjestelmässä nostavat esille kaasun siirtämiseen tarvittavan kontin investointikustannuksen sekä siirtokustannuksen. Mainitussa opinnäytetyössä esitetyt kustannukset sovitettuna esimerkkiyrityksen toimintaan antavat taas hyvin erilaisen kustannuksen kaasun siirtämiselle.

10.2 Tutkimuksen eteneminen ja työmenetelmät

Tapaustutkimus tutkimusmenetelmänä osoittautui työn etenemisen ja rajaamisen kannalta oikeaksi menetelmäksi. Tutkimuksen aihe, johon itse tunnen suurta mielenkiintoa, muodosti sekä motivoivatietekijän että myös työtä viivästyttävän tekijän. Syynä työn viipymiseen olivat useat harhapolut, jotka veivät syvälle siirto- ja kuljetuskustannusten tarkasteluun, hiilidioksidin vaikutukseen ilmastoon ja siihen liittyviin nykyisiin ja tuleviin rajoituksiin sekä taloudellisen käytön ohjaamiseen, sekä muille houkutteleville poluille. Tutkimusaiheen määrittelyn tarkastelu ”pelasti” usein näiltä harharetkiltä takaisin varsinaisen tutkimuskysymyksen tarkasteluun. Toki näillä retkillä kertyi paljon taustasaamista ja ymmärtämystä, joka osaltaan loi uusia kysymyksiä aiheen ympärille.

Vaikka tutkimuskysymyksen asettelu kohdeyrityksen kannattavimmasta vaihtoehdosta tuntui tutkimuksen lähtövaiheessa suhteellisen yksiselitteiseltä, on tutkimuksen aikana käynyt ilmi, että Suomessa vielä vahvassa kehitysvaiheensa alussa oleva liiketoiminnan alue antaa enemmän kysymyksiä kuin vastauksia. Laskennallisesti pystymme arvioimaan eri vaihtoehtojen kannattavuutta nykyisten investointien ja käyttökustannusten perusteella ja pystymme myös määrittämään loppu-tuotteelle hinnan osin suoraan markkinoilta, osin energiasisältöä markkinahintaan peilaten. Hinnan määrittäminen raaka-aineelle, jolle ei ole olemassa toimivia markkinoita, perustuu kuitenkin enemmän teoreettiseen laskelmaan kuin konkreettisesti siitä saatavaan hintaan.

Kohdeyrityksen kanssa käyty keskustelu oli sujuvaa ja tähän tutkimukseen suhtauduttiin hyvin avoimesti. Laitetoimittajien osalta budjettihintatiedustelu viivästyi Covid-19 virusepidemian vaikutuk-

sesta. Aluksi viivästyin itse budjettihintakyselyn lähettämistä, koska yllättäen syntyneessä tilanteessa halusin antaa yrityksille aikaa suunnata omaa toimintaansa yllättäen muuttuneen tilanteen vaatimalle tasolle. Budjettihintatiedusteluihin sain vastaukset kiitettävästi ja viive vastauksissa oli ymmärrettävä. Muutamia tarkentavia kysymyksiä jäi avoimeksi, mutta tutkimuksen luotettavuuteen ei niillä ollut merkitystä. Haluankin kiittää työhön osallistuneita tahoja yhteistyöstä.

10.3 Tutkimuksen perusteella tehtävät toimet

Toiminnan jatkaminen nykyisellä toimintatavalla on tällä hetkellä kannattavin vaihtoehto. Vaikka kohdeyrityksen haastattelussa (Salonen 2020) kävikin ilmi, että kokemuseräisesti lisäsyötteen käyttö prosessissa ei ole kannattavaa, jos syötteestä joudutaan maksamaan. Jos laitteiden kapasiteetti mahdollistaa suuremman biokaasumäärän hyödyntämisen, voisi harkita kaasuntuotannon määrän kasvattamista. Tämä vaatii mm. ympäristöluvan laajentamista ja mahdollisten porttimaksujen kautta uusien, tilan ulkopuolelta vastaanotettavien, syötteiden käyttöä. Toimintamallissa, jossa osa syötteestä tulee tilan ulkopuolelta, kasvaa riski biolietehygienian osalta.

Varautumista tulevaan olisi myös selvittää teknologian tarjoamat vaihtoehdot hiilidioksidin talteen ottamiseksi nykyisestä prosessista ja talteen otetun hiilidioksidin taloudellisesti kestäväen käytön selvittäminen. Hiilineutraalisuuden tavoite voi tuoda prosessissa vapautuvalle hiilidioksidille veroluonteisia maksuja, jotka voivat vaikuttaa toiminnan kannattavuuteen.

Laajemmin tutkimusta hyödynnettäessä on laitoksen suunnitteluun ja valittavien teknologioiden tarkasteluun varattava runsaasti aikaa. Ensivaiheen jälkeen kannattaa valita potentiaaliset toimittajat ja sitouttaa nämä toimittajat suunnitteluun mukaan. Tämä on mielestäni tärkeää todenmukaisten investointi- ja kannattavuuslaskelmien saamiseksi investointipäätöksen tueksi.

10.4 Ajatuksia jatkotutkimuksista ja huomioita niiden osalta

Suuremman kapasiteetin tuoma kustannustehokkuus tuotettua yksikköä kohti on tämän tutkimuksen mukaan selvää. Laskelma on tehty keväällä 2020 saaduilla hinnoilla. Tuloksien yleistämisessä on käytettävä harkintaa. Laitteistojen hinta ja arviot käyttökustannuksista muuttuvat teknologian

kehittyessä ja yleistyessä, lisäksi käyttökustannusten osalta saadut kustannukset olivat osin vuosisatasolla osin tuotettua yksikköä kohti. Kuriositeettina voisi mainita, miten käyttökustannusten toimitamisessa ollut pilkkuvirhe oli vähällä kääntää koko työn lopputuloksen pääläelleen.

Kun halutaan hakea kustannustehokkuutta jalostusprosessiin kapasiteettia kasvattamalla, nousevat esille siirtokustannukset. Kannattaako kaasun siirtäminen kiinteää putkiyhteyttä pitkin, vaiko kuljettaen pakattuna? Siirtokustannusten tarkastelua tulisi tehdä erilaisten soveltuvien teknisien ratkaisujen, eri kokoisten ja eri etäisyyksillä sijaitsevien yksiköiden kaasun siirtämisestä. Tutkimuksesta saatu tieto olisi keskeinen arvioitaessa keskitetyn jalostusyksikön toiminnan edellytyksiä.

Siirtokustannuksia voidaan arvioida myös vertaamalla hajautetun kaasuntuotannon raakakaasun siirtokustannusta keskitettyyn kaasun tuotantoon ja jalostukseen. Saadaanko keskitetyn raakakaasun tuottamisen investointi- ja käyttökustannuksista niin suuri etu, että on kannattavampaa siirtää mädätysprosessin raaka-aineet prosessiin ja prosessissa syntyvä biokaasuliete takaisin sijoituspaikkaan? Kaasuntuotannon kannalta esitetty tutkimus toisi keskeistä tietoa hajautetun ja keskitetyn kaasuntuotannon kannattavuuden eroista.

Hiilidioksidin merkitys maapallon lämpenemiseen on yleisesti tunnustettu. Tässä työssä on esitelty lyhyesti eri biokaasun jalostusprosesseja. Hiilidioksidin osalta yksi keskeinen ero jalostusprosesseissa on hiilidioksidin talteenotto-prosessin mahdollisuus. Koljonen ym. (2019,17) esittävät julkaisussaan Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa, yhtenä vaihtoehtona hiilineutraalisuuteen kannustavana tekijänä siirtymistä polttoaineen verotuksesta valmistuksen verotukseen. Jos tällainen siirtymä tulee osittainkin tapahtumaan, on tarve selvittää tulevien investointien suhteen investointi- ja käyttökustannuksia eri jalostustekniikoiden välillä. Onko kannattavampaa maksaa tuleva valmistevero vai investoida kalliimpaan tekniikkaan? Myös hiilidioksidin talteenoton mahdollisuus fysikaalinen absorptio vesipesulla prosessista on yksi selvítettävä asia.

Talteen otetun hiilidioksidin muuntaminen metaaniksi metaanireaktorissa on suomalainen innovaatio, josta ollaan tekemässä kaupallista tuotetta. Yhtenä selvítettävänä asiana on tämän uuden prosessin kustannukset metaanin tuotannossa ja tarkastelu, millainen kapasiteetti suunnitellulle prosessille on taloudellisesti kannattava. Samalla olisi hyvä arvioida mahdollisen hiilidioksidin valmisteveron vaikutusta kannattavuuteen.

Lähinnä biokaasua tuottavilla kasvinviljelytiloilla, joissa kaasun kulutus on kausiluonteista, on ratkaistava tuotetun kaasun varastointi tilalla. Tämän asian selvittäminen auttaisi myös niitä biokaasua hyödyntäviä karjatilajoja, joiden energiatarve esimerkiksi kesäisin, on pienempi kuin tuotettavan biokaasun määrä.

LÄHTEET

Biogas to Biomethane Technology Review 2012. Vienna university of technology. Austria. Haettu 18.2.2020. https://www.membran.at/downloads/2012_BioRegions_BiogasUpgradingTechnology-Review_ENGLISH.pdf

Biokierto 2020. Suomen biokierto & biokaasu ry:n Biokierto.fi verkkosivusto. Haettu 29.1.2020. <https://biokierto.fi/biokaasu/tuotanto/>

CO2-raportti 2020. Ilmastonmuutos. Mayorsindicators verkkosivusto Haettu 27.9.2020 <https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>

Doty Energy 2011. Commercial CO2 Market Today. Haettu 22.4.2020. http://dotyenergy.com/Economics/Econ_Physical_CO2_Market.htm

Energialous.fi 2020. Suomen vanhimmassa kartanossa ratkotaan maailman suurimpia haasteita. Haettu 18.9.2020. <https://www.energiatalous.fi/?p=1863>

Energiautiset.fi 2015. Metaanireaktorilla puhdasta energiaa. Energiateollisuus ry. 16.6.2015. Haettu 18.9.2020 <https://www.energiautiset.fi/etusivu/metaanireaktorilla-puhdasta-energiaa.html>

Eurooppatiedotus.fi 2020 Mikä EU:n Green Deal. Haettu 16.10.2020 <https://eurooppatiedotus.fi/2020/03/04/mika-eun-green-deal/>

Gasum 2017. Maakaasun ja biokaasun käyttöturvallisuustiedote 12.12.2017. Haettu 17.2.2020. <https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/maakaasu.pdf>

Gasum 2020. Polttoaineiden tankkaushinnat. Haettu 17.9.2020 <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>

Heikkinen, J. 2008. Majasaaren biokaasun hyödyntäminen tulevaisuudessa. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala, rakennustekniikka. Insinööriyö. Haettu 19.2.2020. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10863/TRT4S.JoniH.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hiitola, M. 2016. Biokaasun käyttö polttomoottorissa. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto. Kandidaatintyö. Haettu 20.2.2020. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201604281574.pdf>

Hurtig, M., Brundin, C., Vestner, R., Larsdotter, L., Gårdbro, G., Larsson, R., Lindström, F. & Kristoffersson, S. 2014. Framtiden för förnybara energigaser i Botniaområdet. Umeå Universitet. Haettu 19.7.2020. http://biofuelregion.se/wp-content/uploads/Rapport-UmU-Projekt-2014_01_17-liten.pdf

Ihatsu, K. 2018. Hiilidioksidin määrä ilmakehässä nousi uuteen ennätyslukemaan – "Aika toiminnalle on loppumassa". Hämeen sanomat verkkolehden artikkeli. Haettu 20.3.2020. <https://www.ha-meensanomat.fi/uutiset/hiilidioksidin-maara-ilmakehassa-nousi-uuteen-ennatyslukemaan-aika-toiminnalle-on-loppumassa-383874/>

Ilmatieteenlaitos 2020. Kuva maapallon keskilämpötilan muutoksesta. Viitattu CO2-raportin sivustolla. Haettu 27.9.2020. <https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>

Kaleva, V. 2018. Biokaasun tuottamis- ja hyödyntämismahdollisuudet suomalaisella lypsykarjatilalla. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö ja energiatekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. Haettu 30.9.2020. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27005/kaleva.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Kaparaju, P. & Rintala, J 2013. Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. Wellinger, A., Murphy J. & Baxter D (toim.). The biogas handbook. Cambridge, UK, Woodhead Publishing Limited: 404-426.

Koistinen, A. 2019. Saastuttaminen on nyt kalliimpaa kuin kertaakaan 11 vuoteen – hiilivoima ajautui pulaan Keski-Euroopassa, kiitos kuuluu päästökaupalle. Ylen uutissivut. Haettu 22.4.2020 <https://yle.fi/uutiset/3-10886059>

Koli, L. 2016. Biojalostamon energiatuotantovaihtoehdot. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Haettu 21.2.2020 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130998/Koli_Lauri.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Koljonen, T., Lehtilä, A., Koreneff, G., Lindroos, T.J., Pursiheimo, E., Rämä, M., Siikavirta, H., Laukkanen, M., Kyritsis, E., Ollikka, K., Eerola, E. & Ollikainen, M. 2019. Energiantuotannon valmiste-erotuksen kehittäminen Suomessa. VTT technology sarjan julkaisu 359. VTT, Helsinki 2019. Haettu 27.9.2020. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2019/T359.pdf>

Kuntaliitto 2018. Tietoja pienistä lämpölaitoksista vuodelta 2017. Haettu 12.3.2020. <https://www.kuntaliitto.fi/sites/default/files/media/file/Tietoja%20pienist%C3%A4%20l%C3%A4mp%C3%B6laitoksista%202017.pdf>

Kutuniva, J. 2012. Uusiutuvat energiat – hiilidioksidin hyödyntäminen ja kuivamädätys. Jyväskylän yliopisto, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius. Haettu 25.3.2020. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/38260/978-951-39-4803-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry:n oppikirja. HAMK:n julkaisuja 17/2015. Haettu 30.9.2020. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kärki, J, Hurskainen, M., Mäkikouri, S., Melin, K., Tsupari, E., Bajamundi, C., Vehmas, T., Thomason, T., Suomalainen, M., Lehtonen, J. & Alakangas, E. Uutta kestävää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Keski-Suomen liitto. 7-9 Haettu 23.3.2020. <https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>

Käytännön maamies 2015. Metaania moottoriin. Käytännön maamiehen verkkolehti. Haettu 20.2.2020. <https://kaytannonmaamies.fi/metaania-moottoriin/>

Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009. Suomen ympäristökeskus Edita Prima Oy, Helsinki 2009. ISBN 978-952-11-3498-2. Haettu 21.2.2020. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1

Laine, M., Banberg, J. & Jokinen, P. (toim.) 2007. Tapaustutkimuksen taito. Helsingin yliopistopaino. Gaudeamus.

Leikas, T. 2015. Biokaasun koostumus ja rikkivetytitoisuuden hallinta. Vaasan ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö. Haettu 19.2.2020 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90984/Leikas_Timo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liikennejärjestelmä.fi 2020. Liikennejärjestelmä.fi verkkoportaali. Haettu 3.3.2020. <http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot/>

Marttinen, I. 2015. Uusi biokaasun tankkausasema ja sen logistiikka. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala, logistiikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Haettu 30.9.2020. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94226/Marttinen_Ilkka.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Monteiro, J., Goetheer, E., Schols, E., van Os, P., Calvo, J., Francisco P., Hoppe, H., Bharadwaj, H., Roussanaly, S., Khakharia, P., Feenstra, M. & de Jong, A 2018. D5.1 revision 1 Post-capture CO2 management: options for the cement industry. Haettu 22.4.2020. https://www.sintef.no/globalassets/project/cemcap/presentasjoner/d5.1-final_rev1.pdf

Motiva 2013. Biokaasuntuotanto maatilalla. Haettu 24.9.2020 https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Mutikainen, M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T., Väisänen, M., Ramboll Finland 2016. Biokaasusta kasvua – Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitran selvitys 111. Haettu 30.9.2020. <https://media.sitra.fi/2017/02/27175150/Selvityksia111-2.pdf>

Partanen, A. 2018. Hiilidioksidipäästöjen leikkauksia ei voi korvata muilla toimilla. Blogi kirjoitus Sitran verkkosivuilla. Haettu 27.9.2020. <https://www.sitra.fi/blogit/hiilidioksidipaastojen-leikkauksia-ei-voi-korvata-muilla-toimilla/>

Perälä, P., Regina K. ja Esala, M. (toim.) 2004. Viljelijä ja ilmastonmuutos. MTT:n julkaisu. Haettu 30.9.2020 https://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/02/MTT_Ilmastonmuutos_SUO.pdf

Petersson, A. 2009. Sammanställning från två seminarier: "Kryoteknik för biogasbranschen" and "LBG – andra generationens fordonsbränsle. Rapport SGC 202. 183 p. Svenskt Gastekniskt Center AB 2009. www.sgc.se

Purtanen, J. 2019. Kandidaatin työ: Biokaasun puhdistusprosessit Suomalaisissa yrityksissä tuottaessa biometaanua liikenteen polttoaineeksi. Oulun yliopisto. Prosessiteknikka. Kandidaatintyö. Haettu 16.3.2020 <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201911203110.pdf>

Pyykkönen, V. & Rasi, S. 2017. Biokaasulaitoksen hankinnassa ja tarjouspyynnöissä huomioitavia asioita, Biokaasuliiketoimintaa ja -verkostoja Keski-Suomeen (BiKahanke). Euroopan maaseudun kehittämisrahasto: Eurooppa investoi maaseutualueisiin. 2017.

Pyykkönen, V., Rasi, S. & Virkkunen, E. 2018. Biokaasulaitoksen hankinta ja tarjouspyyntö. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2018. Haettu 30.9.2020. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543255/luke-luobio_60_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Qvidja Gord 2020. Bioenergia. Haettu 18.9.2020 <https://www.qvidja.fi/meista/bioenergia/>

Roth, L., Johansson, N. & Benjaminsson J. 2009. Mer biogas! Realisering av jordbruksrelaterad biogas. Grontmij, 2009. Haettu 30.9.2020. <http://gasefuels.se/documents/3/mer-biogas-realisering-av-jordbruksrelaterad-biogas.pdf>

Räty, J. & Keikkonen, T. 2020. Paineistetun biokaasun käytön pilotointi lämmitysjärjestelmässä. Karelia ammattikorkeakoulu. Energia ja ympäristötekniikan koulutus. Opinnäytetyö Haettu 24.9.2020. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/334061/R%C3%A4ty_Jere_Keikkonen_Teemu_2020_03_20.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sandberg, A. 2017. Sähkön ja lämmön tehokkaan yhteistuotannon sekä kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen raportoinnin suunnittelu. Aalto-yliopisto. Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma Diplomityö. Haettu 30.9.2020. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/29384/master_Sandberg_Alexi_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Stormossen 2020. Biokaasu liikennepolttoaineena. Haettu 15.8.2020 <https://www.stormossen.fi/li-satietoa-biokaasusta/>

Särkijärvi, J., Jääskeläinen, S. & Lohko-Soner, K. (toim.) 2018. Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti. Haettu 30.9.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bittream/hadle/10024/161210/LVM_13_18_Toimepieh-jelma%20hiiletmaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryh-man%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Teir, S., Tsupari, E., Koljonen, T., Pikkarainen, T., Kujanpää, L., Arasto, A., Tourunen, A., Kärki, J., Nieminen, M. & Aatos, S. 2009. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). [Carbon capture and storage (CCS).] Espoo 2009. VTT Tiedotteita 2503.

Tsupari, E., Hurskainen, M. & Bajamundi, C. 2018. Artikkelejä Mahdollisia CO₂:n lähteitä Keski-Suomessa ja Suomessa. Kärki, J., Hurskainen, M., Mäkikouri, S., Melin, K., Tsupari, E., Bajamundi, C., Vehmas, T., Thomasson, T., Suomalainen, M., Lehtonen, J. & Alakangas, E. Uutta kestävää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Keski-Suomen liitto. 7-9 Haettu 23.3.2020. <https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>

Tukes 2015. Tukes ohje 7/2015, maakaasun käsittelyn turvallisuus. Haettu 20.3.2020. <https://tukes.fi/documents/5470659/6373024/Tukes-ohje+-+Maakaasun+k%C3%A4sittelyn+turvallisuus/ca791766-bf7e-4cf8-8460-555911debbdc/Tukes-ohje+-+Maakaasun+k%C3%A4sittelyn+turvallisuus.pdf>

Tukes 2017. Muistio Maakaasu- ja biokaasukohteiden valvonta. Haettu 19.2.2020. <https://tukes.fi/documents/5470659/6373024/Maakaasu-+ja+biokaasukohteiden+valvonta/ceb9ae6a-1bc2-4d22-ae97-f6107e94001a/Maakaasu-+ja+biokaasukohteiden+valvonta.pdf>

Vehmas, T. & Mäkikouri, S. 2018. Artikkelejä Hiilidioksidin hyötykäyttö betonin valmistuksessa. Kärki, J., Hurskainen, M., Mäkikouri, S., Melin, K., Tsupari, E., Bajamundi, C., Vehmas, T., Thomasson, T., Suomalainen, M., Lehtonen, J. & Alakangas, E. Uutta kestävää liiketoimintaa bioperäisestä hiilidioksidista - Kooste projektin päätuloksista. Keski-Suomen liitto. 9 - 11 Haettu 23.3.2020.

<https://projectsites.vtt.fi/sites/BioCO2/www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/BioCO2%20kooste.pdf>

Veronmaksajat 2020. Energiaverot suomessa. Haettu 27.9.2020. <https://www.veronmaksajat.fi/luvut/Tilastot/Kulutusverot/Energiaverot/#11d46d76>

Vilkkä, H., Saarela, M. & Eskola, J. 2018. Riittääkö yksi? Tapaustutkimus kuvaajana ja selittäjänä. Teoksessa Valli, R (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. 5. painos. Jyväskylä: PS-kustannus, 161 – 171.

Vilkkilä, T. 2007. Biokaasulaitos esimerkkimaatilalle, esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja 28.

Ympäristö.fi 2020. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Haettu 24.3.2020. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Tarvitaanko_lupa

Öhman, A. 2009. Pettersson, A. (toim) Sammanställing från två seminarier: "Kryoteknik för biogasbranschen" and "LBG – andra generationens fordonsbränsle. Raportti SGC 202. 183 p. Svenskt Gastekniskt Center AB 2009. Haettu 13.3.2020 <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC202.pdf>

Östergård, L. 2018. Hiilidioksidin tuotanto kasvihuoneessa kalkin ja typpihapon neutralointireaktiolla. Hämeen ammattikorkeakoulu. Puutarhatalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Haettu 24.9.2020. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141436/Ostergard_Linda.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luentomateriaalit:

Hoyer, K. 2016. Biogas upgrading – a technical review – kalvosarja. Kuala Lumpur 26.5.2016. Haettu 10.3.2020 <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/BAPF2016Hoyer+Energiforsk.pdf>

Klemetti, V. 2020. Maakaasun ja biokaasun valmisteverotus vuonna 2020 luentomateriaali kaasumarkkinainfossa 6.11.2019. Haettu 17.9.2020 https://energia.fi/files/4183/Gas-market_seminar_V.Klemetti_Verohallinto.pdf

Kärki, J. 2017. Bioperäisestä hiilidioksidista kestävää liiketoimintaa-luennon kalvosarja. Biotalous ja energiamurros – mitä vuonna 2030- seminaarissa 26.1.2017. Haettu 8.3.2020. <https://www.vtt.fi/sites/BioCO2/PublishingImages/tiedotteet/Biotalous%20ja%20Energiamurros-esitys%2026.1.2017.pdf>

Laakkonen, J. 2016. Luentomateriaali: Investointilaskelmat - laskentamenetelmät ja toteuman seuranta luennon esitysmateriaali 3.11.2016 esityksessä. Haettu 17.9.2020 <https://opinahjo.fi/wp-content/uploads/2016/10/20161103-Investointilaskelmat-laskentamenetelm%C3%A4t-ja-toteuman-seuranta.pdf>

Perälä, S. 2019. Luentomateriaali: Biokaasun käyttö teollisuudessa - tarvittavat luvat Tukesilta ja esimerkkejä käyttökohteista 17.10.2019 Oulu. Viitattu 14.10.2020 <https://www.ouka.fi/documents/18161254/0/Biokaasutilaisuus+TUKES/00a3e47d-cdf5-4dc4-aecf-bf173f1ab714>

Haastattelut, keskustelut ja seminaarit

Biokaasun uudet käyttömahdollisuudet – seminaari 17.10.2019. Järjestäjät CircVol ja CANEMURE hankkeet. Ari Tolosen seminaarimuistiinpanot.

Penttinen, J. 2020. Finess Energy Oy:n laitteistoja koskevat yksityiset sähköpostiviestit.

Salonen, J. 2020. Maitoparta Oy toimintaan ja biokaasulaitokseen tutustuminen ja toimintaa koskeva haastattelu yrityksessä 11.3.2020.

Vinkki, S. 2020. Demeca Oy:n laitteistoja koskevat yksityiset sähköpostiviestit.