



BGCNordic Oy:n biokaasureaktori- innovaation integrointi maatilalle

Henri Viiru

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Viiru Henri

BGCNordic Oy:n biokaasureaktori-innovaation integrointi maatilalle

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 56 sivua

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Biokaasun potentiaalista puhutaan paljon, mutta toistaiseksi Suomessa hyödynnetään vain pieni osa tämän energiamuodon mahdollisuudesta. Biokaasu on metaanin ja hiilidioksidin seos. Metaani on voimakas kasvi-huonekaasu, jota muodostuu spontaanisti luonnossa orgaanisen aineen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Biokaasulaitos mahdollistaa tämän puhtaan energian hallitun tuottamisen ja hyödyntämisen eri sovelluksissa. Suomen olemassa olevilla laitoksilla käytetään syötteenä pääosin jätteitä, mutta hyödyntämätöntä biokaasulaitoksen syötteenä soveltuvaa biomassaa löytyy eniten maataloilta, syötteenä soveltuu esimerkiksi lanta ja nurmi. Laitosten rakentamista on jarruttanut investointien huono kannattavuus etenkin pienen kokoluokan laitoksissa, mutta maataloilla tekniikalle on kysyntää, mikäli takaisinmaksuaika saadaan järkeväksi tasolle.

Työssä arvioidaan biokaasulaitoksen kannattavuuteen liittyviä seikkoja kuten tekniikkaa, lainsäädäntöä, sekä tukipolitiikkaa ja miten nämä vaikuttavat pienen laitospoluokan kannattavuuteen. Lisäksi tavoitteena oli löytää toteutettavissa oleva prosessikytkentä työn esimerkkinä toimivalle maatilalle ja tehdä koeajosuunnitelma toimeksiantajan tuotekehittämälle biokaasureaktori-innovaatiolle. Työ on toimeksiantajan kanssa tehtävän kehittämistyön ja tutkimuksen yhdistelmä.

Työssä on esitetty reaktori-innovaation pilotointiin liittyvä prosessikytkentä ja kaksi tulppavirtausprosessille soveltuvaa koeajosuunnitelmaa. Koeajosuunnitelmien yhteydessä on tuotu esille syöttestä saatava energiamäärä ja miten nurmen osuuden suurentaminen, sekä kuiva-ainepitoisuuden nosto vaikuttavat tuotantoon. Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on tuotu konkreettisesti esille eri näkökulmista ja miten laitoksen kokoluokka vaikuttaa muun muassa verotukseen ja lainsäädäntöön.

Maataloille biokaasuntuotanto on luonnollinen vaihtoehto ja laitos integroituu tähän ympäristöön kaikin puolin erittäin hyvin. Maataloilla on usein suuri energian kulutus ja nouseva energian hinta syö kotimaisen ruuantuotannon kannattavuutta. Oikein suunniteltu biokaasulaitos tuo maatilalle vakauden energian hinnannoususta huolimatta ja mahdollistaa parhaillaan energiaomavaraisuuden. Energian lisäksi taloudellista hyötyä tulee syötteen ravinnearvon parantumisesta ja rejektistä separoitavasta kuivikkeesta. Työssä käydyn tietoperustan perusteella BGCNordicin reaktori-innovaatio edustaa korkeaa teknistaloudellisuutta ja tämän varmistamiseksi tuotekehityksen selkeä seuraava vaihe on pilotoida reaktori maatalon kokoluokassa.

Avainsanat (asiasanat)

Biokaasu, Pilotointi, Tulppavirtaus, Kuivämädätys, Syöte, Metaanintuottopotentiaali

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Ei ole

Henri Viiru

Integration of BGCNordic Oy biogas reactor innovation for the farm

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 56 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

There is a lot of talk about the potential of biogas, but only a small part of the potential of this form of energy is being exploited in Finland. Biogas means a mixture of methane and carbon dioxide. Methane is a powerful greenhouse gas that is formed when organic matter decomposes under anaerobic conditions. The biogas plant enables the controlled production and utilization of this clean energy as an energy source. The existing plants in Finland utilized mainly waste as feed material. But suitable unused biomass feed material to the biogas plant can be found most on farms, like as manure and grass. The construction of biogas plants has been hampered by the poor return on investment, especially in small-scale plants. However, there is a demand for technology on farms if the repayment period is brought to a profitable level.

The work evaluates the profitability of a biogas plant and the issues that affect it, such as technology, legislation and support policy, and how these affect the profitability of a small biogas plant size. In addition, the aim was to find a process connection to be implemented an example for a farm and make a test run plan for the biogas reactor innovation. Work is a combination of development work and research with the client.

The work presents a pilot plan for a reactor innovation and two test run plans suitable for the plug flow process. The test run plans provide an understanding of the amount of energy available from the feed material and how increasing the relation of grass, as well as increasing the dry matter content, will affect the production. Factors affecting profitability have been concretely highlighted from different perspectives and how the size category of the biogasplant affects example taxation and legislation.

Environment like a farm, biogas production integrates very well in all respects. Farms often have high energy consumption and rising energy prices are undermining the profitability of home-grown food production. A properly designed biogas plant will bring stability to the farm despite rising energy prices and can enable energy self-sufficiency. the economic benefits also come from the improvement in nutrient value and the litter to be separated. Based on the literature, BGCNordic's reactor innovation represents a high level of technical economy and to ensure this, The reactor must be piloted on an industrial scale.

Keywords/tags (subjects)

Biogas, Piloting, Plug flow, Dry digestion, Feed, Methane production potential

Miscellaneous (Confidential information)

No

Sisältö

Lyhenteet ja käytetyt termit.....	7
1 Johdanto	9
1.1 Biokaasun tuotanto Suomessa ja aiheen valinta	9
1.2 BGCNordic Oy esittely	10
1.3 Tavoitteet	10
1.4 Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus.....	11
1.5 Tiedonhaku.....	12
2 Biokaasun tuotantoprosessi.....	12
2.1 Biokaasun tuotannon raaka-aineet.....	12
2.2 Prosessi- ja reaktortyyppit.....	15
2.2.1 Märkäprosessi ja täyssekoitteinen reaktori	15
2.2.2 Kuivaprosessi tulppavirtaus- sekä panosreaktorissa.....	17
2.3 Biokaasuprosessi ja sen hallinta.....	20
2.3.1 Anaerobinen hajoaminen	20
2.3.2 Lämpötila	22
2.3.3 Reaktorin kuormitus ja viipymä.....	24
2.3.4 pH, alkaliniteetti ja haihtuvat rasvahapot	26
2.3.5 Inhibitiot.....	28
2.3.6 Biokaasuprosessin optimointi.....	28
3 BGCNordic Oy uusien ratkaisujen biokaasureaktori	30
3.1 Reaktori-innovaation suunnittelun lähtökohdat	30
3.2 Reaktorin rakenne ja toteutus	30
4 Pilotointi	33
4.1 Kohdemaatilan esittely	33
4.2 Laitteiston prosessikytkentä ja pilottireaktori	35
4.3 Koeajosuunnitelmat ja syötteistä saatava energia	37
4.3.1 Koeajosuunnitelma 1	37
4.3.2 Koeajosuunnitelma 2	39
4.4 Koeajojen kesto aika ja tarvittavat analyysit	41
4.5 Raakakaasun hyödyntäminen ja tuotannon optimointi	42
4.5.1 CHP-laitos sähkön ja lämmön tuotantoon.....	42
4.5.2 Kaasun jalostaminen biometaaniksi liikennekäyttöön.....	44
4.6 Maaseudun julkinen tuki ja lainsäädäntö	47
4.6.1 Biokaasulaitokseen liittyvä lainsäädäntö.....	47

4.6.2	Biokaasulaitosten tuet maataloilla	49
5	Tulokset	50
5.1	Kannattavuuden tarkastelu.....	50
5.1.1	CHP-tuotanto	51
5.1.2	Jalostus biometaaniksi	52
5.2	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	53
6	Pohdinta	55
6.1	Luotettavuus ja eettisyys	55
6.2	Johtopäätökset.....	55
	Lähteet	57

Kuviot

Kuvio 1	Materiaalin rakenne (TP), (TS), (VS).....	15
Kuvio 2	Havainnekuva täyssekoitteisesta reaktorista	16
Kuvio 3	Täyssekoitteisen märkäprosessin sekoitus- ja lämmitysjärjestelmä	16
Kuvio 4	Havainnekuva panostoimisesta prosessista perkolaattinesteen kierrätyksellä	18
Kuvio 5	Havainnekuva pitkittäisellä sekoittimella varustetusta tulppavirtausreaktorista	19
Kuvio 6	Havainnekuva poikittäisillä sekoittimilla varustetusta tulppavirtausreaktorista	20
Kuvio 7.	Orgaanisen aineen hajoamisvaiheet biokaasuprosessissa	21
Kuvio 8.	Metanogeenien kasvunopeus suhteessa lämpötilaan.....	23
Kuvio 9	BGCNordic reaktorin rakenne	31
Kuvio 10	Reaktorin tehon- ja lämpötilan vaiheistus	32
Kuvio 11	Pilotoinnin prosessikytkentä	36
Kuvio 12	Sähkön hinnan vaihtelu tuntitasolla 4/2022.....	43
Kuvio 13	Raakaöljyn hintakehitys	45

Taulukot

Taulukko 1	Eri materiaalien metaanintuottopotentialit.....	14
Taulukko 2.	Anaerobisen mädätyksen optimiolosuhteet	24
Taulukko 3	Syötteen minimi viipymäaika suhteessa prosessin lämpötilaan	25
Taulukko 4	Esimerkkejä kuiva-ainepitoisuuden ja prosessilämpötilojen vaikutuksesta reaktorin tilavuuteen	26
Taulukko 5	Koeajosuunnitelman 1 syötemäärät ja orgaaninen kuormitus.....	38
Taulukko 6	Koeajosuunnitelma 1 syöteseoksen laskennallinen energiamäärä	39

Taulukko 7 Koeajosuunnitelma 2 syötemäärät ja orgaaninen kuormitus.....	40
Taulukko 8 Koeajosuunnitelma 2 syöteseoksen laskennallinen energiamäärä	40
Taulukko 9 Sähkötuotannon optimoinnin vaikutus kannattavuuteen	44
Taulukko 10 Biometaanin myynti ja käyttö maatilalla	46

Lyhenteet ja käytetyt termit

Biokaasu	Anaerobisessa mädätyksessä syntyvä kaasuseos
Anaerobinen	Hapeton, biokaasuntuotantoon liittyen tarkoitetaan hapettomissa oloissa tapahtuvaa orgaanisen materiaalin mädätystä
Syöte	Biokaasureaktoriin syötettävä orgaaninen materiaali
Metaani (CH ₄)	Kasvihuonekaasu, jota voidaan käyttää energiantuotannossa polttoaineena
pH	Liuoksen happamuus
Vety (H)	Alkuaine, joka reagoiessaan hiilidioksidin kanssa tuottaa metaania
Biomassa	Orgaaninen aine, jota voidaan käyttää biokaasureaktorin syötteenä
Inhibiittori	Estäjä, joka aiheuttaa mikrobitoiminnan hidastumista tai estää sen
Kuivaprosessi	Kuiva-ainepitoisuudeltaan yli 15 % syötteen anaerobinen käsittelyprosessi
Märkäprosessi	Kuiva-ainepitoisuudeltaan alle 15 % syötteen anaerobinen käsittelyprosessi
Mesofiilinen prosessi	Normaalissa ilmanpaineessa ja noin +37°C:n lämpötilassa tapahtuva anaerobinen hajoaminen
Termofiilinen prosessi	Normaalissa ilmanpaineessa ja noin +55°C:n lämpötilassa tapahtuva anaerobinen hajoaminen
Ympäri	Biokaasureaktorista poistettu rejekti, jota voidaan käyttää bakteeriviljelmänä uuden reaktorin ylösajossa
TS	Total solids, syötteen kuiva-ainepitoisuus
VS	Volatile solids, kuiva-aineen sisältämä orgaaninen aine
BMP	Biochemical methane potential, metaanintuottopotentiaali, joka syöttestä on enimmillään mahdollista saada
Sedimentoituminen	Aineen laskeutuminen ja kerrostuminen
Pilotointi	Tuotekehitysvaiheen viimeinen askel ennen sarjatuotannon aloittamista

Aktiivitulavuus	Hyödynnettävissä oleva tilavuus, esimerkiksi biokaasureaktorissa aktiivitulavuudeksi lasketaan niin sanottu nestetilavuus
Rejekti	Biokaasureaktorista poistettava käsittelyjäännös
VFA	volatile fatty acids, haihtuvat rasvahapot
HRT	Hydraulic retention time, syötteen keskimääräinen viipymä biokaasureaktorissa

1 Johdanto

1.1 Biokaasun tuotanto Suomessa ja aiheen valinta

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui biokaasuntuotanto, tarkemmin biokaasuprosessin tuotannon optimointi kannattavalle tasolle, nykyisiä olemassa olevia ratkaisuja pienemmissä yksiköissä. Biokaasu tulee olemaan yksi välttämättömistä tulevaisuuden hajautetuista energiamuodoista muun muassa tuuli- ja aurinkoenergian rinnalle. Pakarisen (2016) mukaan Suomessa hyödynnetään ainoastaan neljä prosenttia käytössä olevasta potentiaalista ja Keski-Suomessa biokaasun tuotantopotentiaalista käytössä on enintään kymmenen prosenttia. Yksi merkittävä tapa hukata energiaa on orgaanisen aineen spontaani hajoaminen luonnossa, kun sen voisi tehdä hallitusti biokaasuprosessissa. Samalla orgaanisen aineen hajoaminen muutettaisiin energiaksi, eli tässä tapauksessa metaaniksi. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu ja biokaasuprosessi mahdollistaa hallitun metaanin talteen ottamisen ja käyttämisen energiaksi. Prosessin myötä kasvihuonepäästöt pienenevät ja biokaasun käyttö energian tuotannossa luokitellaan hiilineutraaliksi menetelmäksi. (Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013; Winqvist, Rikkonen & Varho 2018.)

Suomessa biokaasulaitosten raaka-aineena käytetään pääosin jätteiksi luokiteltuja jakeita, kuten jätevesilietteitä ja biojätettä. Suurin potentiaali syötteenä käytettävästä biomassasta on kuitenkin maatiloilla, kuten nurmessa, oljessa ja lannassa. Winqvistin ja muiden (2018, 10) mukaan edellä mainittujen syötteiden osuus on jopa 86 % potentiaalista. Biokaasu tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia kiertotalousajatteluun ja lisää energiaomavaraisuutta sekä huoltovarmuutta. Lisäksi maatilalla on moninainen syötevalikoima ja mahdollisuus toteuttaa suljettu ravinnekierto oman tilan puitteissa. Myös mädätejäännöksen myynti luomulannoitteeksi voi tulevaisuudessa tuoda lisää tuotantolähteitä maatilakohtaiselle biokaasulaitokselle. Nykyisin ihmisten tietoisuus biokaasusta on lisääntynyt merkittävästi ja tuotannolle olisi kysyntää, mikäli investointien takaisinmaksuajat saadaan kannattavalle tasolle ja laitosten toiminta luotettavaksi. (Winqvist ym. 2018.)

Vallitseva tilanne biokaasumarkkinoilla on ollut pitkään laitosinvestointien kannattamattomuus etenkin pienen kokoluokan laitoksissa. Biokaasualan kehittyminen maatiloilla vaatii oikeita poliittisia päätöksiä ja riittävän tasoista investointitukea. Maatalouden investointituet (n.d.) mukaan vuonna 2022 maatilan investoimalle biokaasulaitokselle on mahdollista saada 50 %:n tukitaso. Nykyinen korkeahko tukitaso, nouseva energian hinta ja kilpailutilanne biokaasulaitostoimittajien

kesken parantaa myös pienemmän maatilakohtaisen laitoksen kannattavuutta. Lisäksi suurempien liikennepolttoaineeksi jalostavien yksiköiden kannattavuutta saattaa nostaa vuoden 2021 lopulla voimaan tullut laki jakeluelvoitteesta, jonka myötä jakeluelvoite koskee myös biokaasun jakelua. Suomessa biokaasualan tavoite on saada kasvatettua tuotantoa nykyisestä yhden terawattitunnin vuosituotannosta aina neljään terawattituntiin vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaa merkittävää positiivista askelta biokaasusektorille ja tuo uusia työpaikkoja energia-alalle. (Energiavirasto julkaissut ohjeen lämmön ja jäähdytyksen alkuperätakuista. 2022; Winquist ym. 2018.)

1.2 BGCNordic Oy esittely

BGCNordic Oy on nuori yritys, joka on perustettu syksyllä 2020 uuden biokaasureaktori-innovaation ympärille. Yritys on kehittänyt menetelmän biokaasuntuotantoon, mikä on skaalattavissa maatilojen lisäksi teolliseen kokoluokkaan ja menetelmä soveltuu myös jätevesien käsittelyyn. Kehitystyö sai alkunsa olemassa olevien jatkuvatoimisten reaktoreiden tyypillisimmistä ongelmista ja niiden ratkaisemisesta. Tyypillisiksi ongelmiksi oli havaittu mm. käsiteltävän aineen sedimentoituminen ja huono lämmönsiirtyminen biomassaan, tästä seuraten epävakaa prosessi ja lopulta syötteen kaasuntuottopotentialin tehoton hyödyntäminen. Kehitystyön alkuaikoina keksinnön käyttökelpoisuutta selvitettiin tutustumalla biokaasulaitoksiin ja haastatteleamalla niiden käyttäjiä. Taustaselvitysten perusteella yritys sai varmuuden innovaation tarjoavan ratkaisun lähes kaikkiin reaktoreiden ongelmiin niin teknisesti kuin taloudellisestikin. Opittua hyväksikäyttäen BGC kehitti kyseisen ratkaisun biokaasureaktoriksi. Tuotekehitystä tehtiin noin neljän vuoden ajan rakentamalla erilaisia testausreaktoreita ja prototyyppejä. Näiden pohjalta on päädytty nykyiseen patentoituun reaktoriratkaisuun. Reaktori-innovaatiosta on tehty prototyyppi, joka on testattu puolueettoman tahon toimesta Jyväskylän Ammattikorkeakoulun biotalousinstituutissa, Luonnonvarakeskuksen tekemän tutkimussuunnitelman mukaisesti. Tulokset olivat rohkaisevia ja tuotekehityksen seuraava askel on pilotoida reaktoritekniikka maatilakokoluokassa. (Kolehmainen & Mäkinen 2021.)

1.3 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kustannustehokasta vaihtoehtoa pilotoinnin toteutukseen ja tehdä alustava suunnitelma koeajoista pilottireaktorilla. Työssä verrattiin uutta reaktoritekniikkaa

jo markkinoilla oleviin kilpailijoihin, tarkasteltiin eri rahoituskanavat sekä saatavilla olevat tukimuodot ja mietittiin kustannustehokas prosessikytkentä esimerkkinä olevalle maatilalle. Lisäksi arvioitiin läpi eri vaihtoehdot käyttää, jalostaa tai myydä tuotettu kaasu. Työssä sivuttiin myös biokaasun tuotannon tehostamisen eri vaihtoehtoja. Lisäksi tavoitteena oli, että opinnäytetyön tulosta voidaan hyödyntää tietopakettina biokaasulaitosta harkitseville tahoille sekä tuoda BGCNordic Oy ihmisten ja yritysten tietoisuuteen. Esimerkkinä työssä oli niin sanottu yhden lypsyrobotin maatila, missä lypsävien lehmien määrä asettuu 65–70 välille, tämä edustaa olemassa olevista laitoksista pienempää kokoluokkaa. Valmiin työn pohjalta maatila voisi nopeasti arvioida laitoksen kannattavuutta omalle tilalleen ja saisi selkeän kuvan saatavilla olevista tukivaihtoehdoista, sekä askelmerkit miten lähteä etenemään esimerkiksi investointitukien hakemisen suhteen. Työssä käytiin läpi innovaation teknistaloudellista arviointia ja biokaasulaitoksen käytön optimointia, tavoitteena parantaa laitoksen kannattavuutta. Työn tavoitteena oli löytää vaihtoehtoja saada tuotanto kannattavaksi myös pienemmän kokoluokan laitoksissa hyödyntämällä BGCNordic Oy:n reaktori-innovaatiota. Mikäli riittävä kannattavuus saavutetaan, tarkoittaa se käytännössä uutta markkina-aluetta biokaasualalle. Opinnäytetyön tavoitteet asetettiin yhdessä toimeksiantajan Kolehmaisena ja Mäkisen (2021) kanssa.

1.4 Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus

Opinnäytetyö toteutettiin pääosin laadullisilla, kvalitatiivisilla menetelmillä ja oli kehittämistyön sekä tutkimuksen yhdistelmä, eli kehittämistutkimus. Aihe oli rajattu koskemaan koko biokaasulaitosta kokonaisyhteyttä ja kannattavuutta tarkastellessa. Työssä käsiteltiin myös biokaasuprosessin hallintaa tulppavirtausreaktorissa. BGCNordic oli käynyt keskustelua pilottilaitoksen toteuttamisesta tietyn maatilalla kanssa ja kyseistä maatilaa käytettiin esimerkkikohteena työssä. Tietoperusta koostui kirjallisuudesta ja toteutuksen suunnittelu vaati haastatteluja sekä käynnin kohdemaatilalla yhdessä toimeksiantajan kanssa. Tavoitteena oli saada yhtenäinen näkemys maatilayrittäjien ja toimeksiantajan kesken, miten he haluaisivat kohteen toteutettavan ja mitä muita etuja biokaasulaitos toisi tuotetun kaasun lisäksi. Aiheen rajaus asetettiin yhdessä toimeksiantajan Kolehmaisena ja Mäkisen (2021) kanssa.

1.5 Tiedonhaku

Opinnäytetyön aiheesta löytyi paljon materiaalia ja tietoperustaa kasattaessa valikoitiin löydetystä lähteistä mahdollisimman hyvin työn tutkimuskysymyksiä palvelevaa lähdeaineistoa. Biokaasuun liittyvän perustiedon lisäksi painotin aineiston valintaa koskemaan tulppavirtausprosessia ja kuivempien syötteiden käsittelyä. Lähteiden tulee olla myös luotettavia ja puolueettomia, näitä ominaisuuksia arvioin tekijöiden ja organisaatioiden perusteella. Tietoperustaa koostuu lähinnä tutkijaorganisaatioiden julkisista materiaaleista.

Opinnäytetyön tavoitteena ei ole toimia syvällisenä biokaasuprosessin mikrobiologisen toiminnan tietolähteenä. Kuitenkin tutkimuskysymyksiin vastaaminen vaati kohtalaisen tarkkaa perehtymistä syötteiden ominaisuuksiin ja anaerobisen hajoamisen periaatteisiin. Koeajosuunnitelmien laadinnassa hyvänä perustana toimi Pyykkösen (2019) tekemä tutkimussuunnitelma BGCNordicin reaktorin prototyyppin koeajoille. Ja julkisen tuen, sekä lainsäädännön osalta Luonnonvarakeskus oli tehnyt ajantasaisista selvitystä aiheesta, josta oli hyvä lähteä liikkeelle (Pyykkönen, Seppänen, Markkanen, Rasi, Luostarinen, Virkkunen & Järvinen 2021.) Itse pilotointiin ja reaktoriin liittyvään selvitykseen sain laadukasta tietoa työn toimeksiantajalta, sekä työn esimerkkikohteena toimivalta tilalta.

Haastavammaksi osuudeksi tiedonhankinnan osalta osoittautui biokaasulaitosten kannattavuuden tarkastelu. Tämä johtui lähinnä Venäjän hyökkäyksestä Ukrainaan ja sen vaikutuksista energian- ja materiaalien hintoihin. Lisäksi tilannetta edeltänyt koronapandemia on tuonut mukanaan komponenttipulan, joka vaikuttaa osaltaan laitteiden saatavuuteen ja hintatasoon.

2 Biokaasun tuotantoprosessi

2.1 Biokaasun tuotannon raaka-aineet

Biokaasua muodostuu kaikesta orgaanisesta aineesta, kun se hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Kymäläisen ja Pakarisen (2015, 21) mukaan biokaasuprosessin syötteenä soveltuu parhaiten paljon rasvoja, hiilihydraatteja ja proteiineja sisältävät aineet, koska niillä on kyky hajota nopeasti lopputuotteeksi, eli tässä tapauksessa biokaasuksi. Esimerkiksi puu ei täytä näitä vaatimuksia, eikä sovellu syötteenä biokaasuprosessiin. Luostarinen (2013, 13) täsmentää vielä puun sopimattomuutta

biokaasuprosessin syötteeksi, koska syötteen ei tule sisältää korkeita määriä ligniiniä. Yleinen käytäntö on löytää saatavilla olevista syötteistä sopiva seos, jolloin syötteiden ominaisuudet tukevat toisiaan. Tämän tavoitteena on saada aikaan vakaa ja taloudellisesti kannattava prosessi. Tätä kutsutaan yhteiskäsittelyksi ja se mahdollistaa sellaisten syötteiden käytön, jotka yksistään olisi mahdotonta hyödyntää biokaasuntuotannossa. Raaka-aineiden ja seosten soveltuvuuden arvioinnissa otetaan huomioon ainakin metaanintuottopotentialiaali (BMP), kuiva-ainepitoisuus (TS), orgaanisen aineen määrä (VS), sekä hiilen ja typen suhde (C/N), lisäksi voidaan arvioida ravinne- ja hiivenainekoostumuksia. Biokaasuprosessissa käytettävät syötteen vaikuttavat oleellisesti myös lopputuotteeseen, eli mädätysjäännöksen laatuun ja sen jatkokäytön mahdollisuuksiin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 21–23; Luostarinen 2013, 13.)

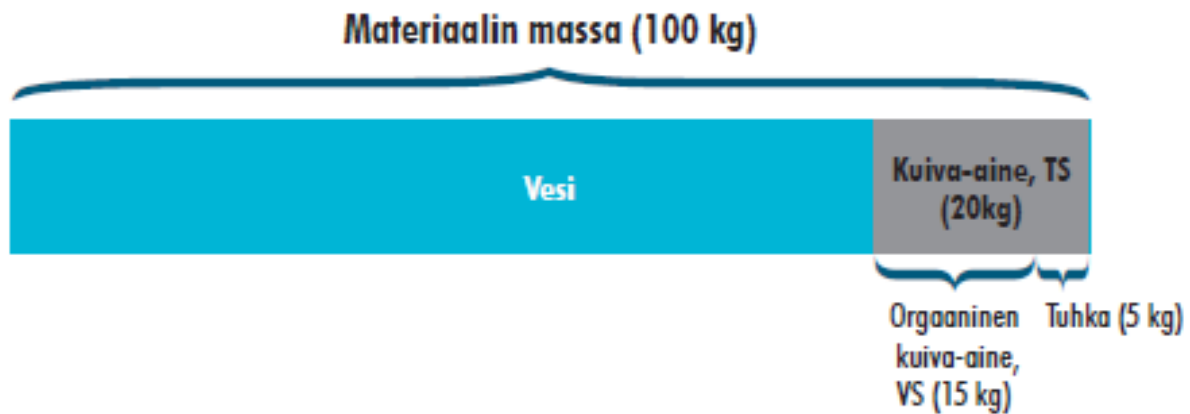
Laitoksen kannattavuutta kaasuntuotannon näkökulmasta mietittäessä on metaanintuottopotentialiaali (BMP, Biochemical Methane Potential) merkittävin syötteen ominaisuus. BMP ilmaisee kyseisen materiaalin biokaasun tuoton, joka siitä on mahdollista enimmillään saada. Metaanintuottopotentialiaali eli materiaalin biohajoavuus ilmoitetaan yleensä yksikössä $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$, eli normaalikuutio metaania orgaanisen aineen tonnia kohti. (Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018, 8.)

Taulukossa 1 on esimerkkejä tunnetuista biokaasuprosessissa käytetyistä syötteistä. Taulukossa on kerrottu kyseisen syötteen metaanintuottopotentialiaali (BMP) puhtaasta orgaanisesta aineesta (VS) sekä tuorepainosta (TP).

Taulukko 1 Eri materiaalien metaanintuottopotentialit (Luostarinen 2013, 13 - 14)

Raaka-aine	BMP Nm ³ CH ₄ /tVS	BMP Nm ³ CH ₄ /tTP
Naudan lietalanta	120 – 300	10 - 20
Naudan kuivalanta	126 – 250	24 - 55
Sian lietalanta	180 – 490	12 - 24
Sian kuivalanta	162 – 270	33 - 39
Kanan kuivalanta	150 – 300	42 - 156
Nurmi (timotei-apila)	370 – 380	72 - 85
Säilörehu	306 – 372	72 - 104
Ruokohelpi	253 – 351	47 - 116
Puna-apila	280 – 300	41 - 68
Ruokajäte	300 – 500	130
Puhdistamoliete	220 – 430	10 - 32
Lihanjalostuksen sivutuotteet	500 – 900	100 - 300
Metaanintuottopotentiali, BMP Normaalikuutio metaania, Nm ³ CH ₄ Tonni orgaanista ainetta, tVS Tonni tuorepainona, tTP		

Kuten taulukosta 1 voidaan todeta, poikkeaa eri syötteiden BMP toteuma merkittävästi toisistaan ja etenkin kun niitä tarkastellaan tilassa missä ne yleensä esiintyvät, eli toteuma tuorepainoa kohti. Orgaaninen aine sisältää aina tietyn verran epäorgaanista ainesta, tuhkaa ja biokaasua muodostuu siis vain orgaanisesta aineesta. Kuviossa 1 on havainnollistettu lisää tuorepainon (TP), kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen aineen (VS) rakennetta syötteessä. Esimerkin tapauksessa materiaalin kokonaisuudessa on 100 kg, josta 80 kg on vettä, orgaanista ainetta 15 kg ja tuhkaa 5 kg. (Kymäläinen & Pakarinen 2015. 23–24.)



Kuvio 1 Materiaalin rakenne (TP), (TS), (VS). (Kymäläinen & Pakarinen 2015.)

Käytettävissä oleva syöte siis vaikuttaa oleellisesti käsiteltävyyteen biokaasulaitoksessa. Esimerkiksi taulukon 1 mukaan naudan- ja sian lietelannat, sekä puhdistamoliete ovat matalan kiintoainepitoisuuden syötteitä, niitä on helppo siirtää pumppaamalla ja sekoittaa reaktorissa. Näin ollen puhutaan hyvin märkäprosessiin soveltuvasta syötteestä. Al Seadi ym. (2008) mukaan yleisesti puhutaan märkäprosessista, kun syötteen tai syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus on alle 15 % ja kuivaprozessista kuiva-ainepitoisuuden ollessa alueella 20 - 40 %. Taulukon 1 mukaan kuivamädätykseen puolestaan sopisi hyvin kuivalannat, säilörehu ja ruokajäte.

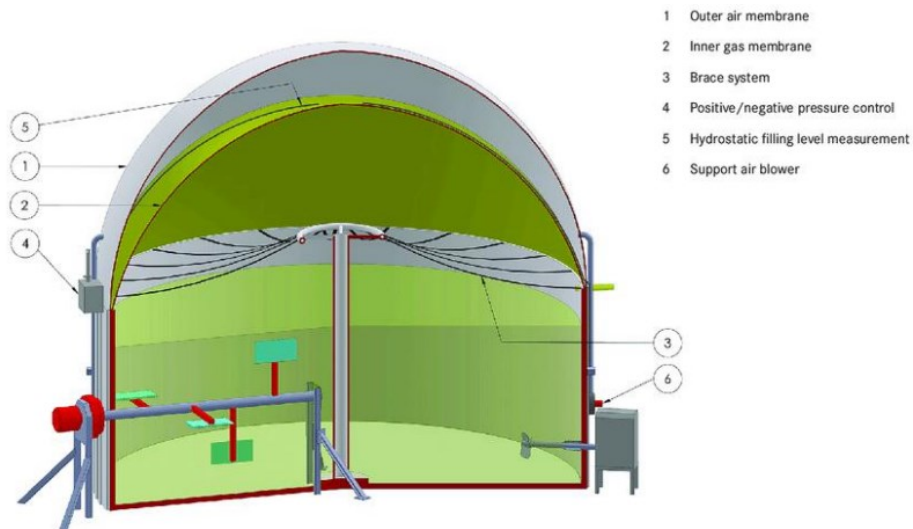
2.2 Prosessi- ja reaktortyytit

2.2.1 Märkäprosessi ja täyssekoitteinen reaktori

Märkäprosessi täyssekoitteisella reaktorilla (CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor) on jatkuvatoiminen prosessi ja on nykyisellään yleisin reaktortyyppi. Kyseinen menetelmä voi toimia vain märkämädätysprosessina, koska kuiva-ainepitoisuuden tulee olla alle 15 %, jotta täydellinen sekoittuminen on mahdollista. Yleensä kuiva-ainepitoisuus on kuitenkin alhaisempi noin 2–12 %.

(Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018, 8–9.) Kyseinen reaktori on tyypillisesti toteutettu kuvion 2 mukaisesti. Perusrunko voi olla esimerkiksi betonista tai teräksestä valmistettu pystyyn nostettu lieriö, joka on peitetty kahdella kalvolla. Alempi kalvo on kaasutiivis, joka muodostaa kaasuväras-
ton ja ylempi peite toimii sääsuojana. Kalvojen väliin tehdään pieni ylipaine esimerkiksi puhaltimella, jolloin kaasuväras-
tona toimiva kalvo voi elää kaasumäärän mukaisesti sääsuojan pysyessä

kireällä muodossaan. Kaasukalvon alapuolelle on rakennettu kannakkeet, jotta kalvo ei pääse laskeutumaan lietteen päälle. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 15–16.) Kuviossa 3 esitettynä reaktorin sekoitus- ja lämmitysjärjestelmä, lämmityspotket kiertävät reaktorin seinällä.



Kuvio 2 Havainnekuva täyssekoitteisesta reaktorista (Hollmen 2019)

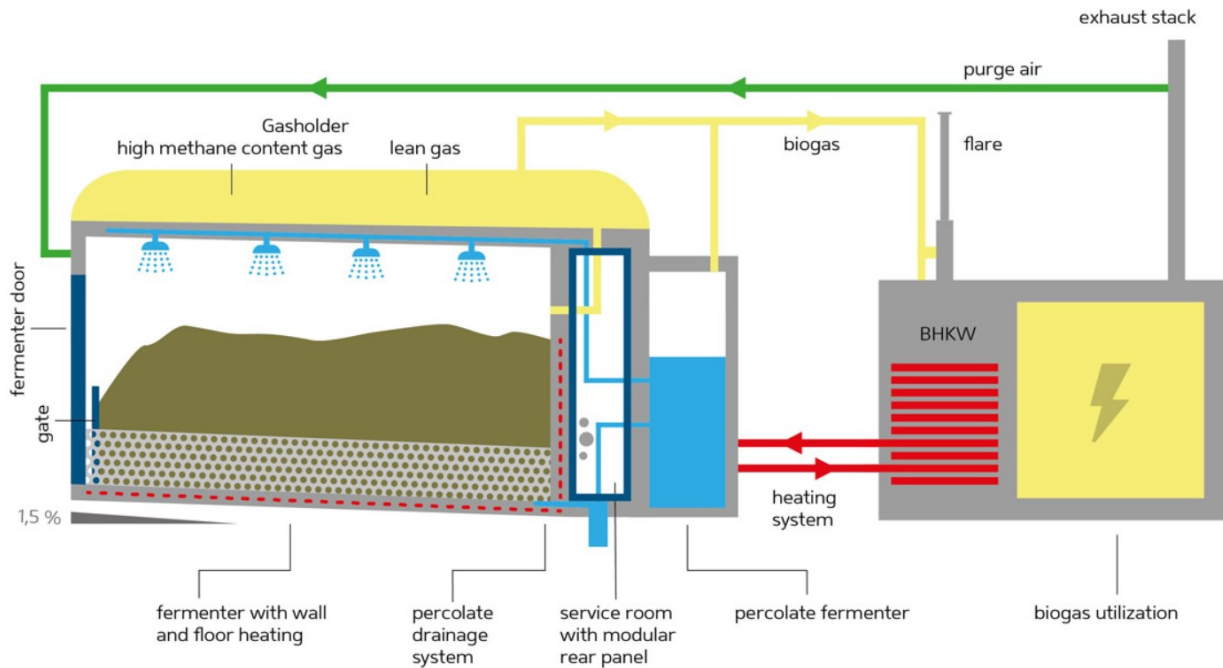


Kuvio 3 Täyssekoitteisen märkäprosessin sekoitus- ja lämmitysjärjestelmä (Al Seadi ym. 2008, 81.)

Kaasuntuotantoa maksimoidessa ja kasvihuonepäästöjä minimoidessa vaatii täyssekoitteinen reaktori käytännössä jälkimädätysaltaan, koska jälkimädätysvarastossa muodostuu noin 10–25 % koko prosessin biokaasuntuotannosta. Jälkimädätysaltaan tarve tulee märkäprosessin alhaisesta kuiva-ainepitoisuudesta ja siitä johtuvasta oikovirtauksesta, jolloin lisätty syöte voi pienelläkin aikavälillä poistua reaktorista. Täyssekoitteisessa reaktorissa syötteelle määritetään siis keskimääräinen viipymäaika. Tämän prosessin haasteita ovat tiettyjen syötteiden kelluminen ja käsiteltävän massan sedimentoituminen, esimerkiksi nurmi voi jäädä kellumaan lietteen pinnalle. Sedimentoituminen vaikuttaa heikentävästi lämmitysjärjestelmän tehoon ja pienentää reaktorin aktiivilavuutta. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 15–16; Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018, 8–9.)

2.2.2 Kuivaprozessi tulppavirtaus- sekä panosreaktorissa

Panosreaktori on selkeästi kuiville jakeille tarkoitettu vaihtoehto. Sen rakentaminen ja käyttö on yksinkertainen toteuttaa, koska reaktorin sisällä on vähän mekaanisesti kuluvia tai rikkoutuvia osia. Nimensä mukaisesti reaktoriin ladataan tietty määrä syötettä, sekä mädätysjäännöstä edellisestä panoksesta ympiksi prosessin käynnistämiseksi. Lisäksi kaasuntuotantoa voidaan tehostaa kuvion 4 mukaisesti kierrättämällä oikeaa mikrobistoa sisältävää perkolaattinestettä, tätä voidaan kutsua myös perkolaattiprozessiksi. Al Seadi ym. (2008) mukaan prosessin lämpötilaa säädetään lämmittämällä perkolaattinestettä. Tämän lisäksi reaktori voidaan varustaa esimerkiksi lattialämmityksellä. Toiminnallisesti suurin ero on, ettei itse syötettä sekoiteta, lisätä tai poisteta reaktorissa. Kun syöte on mädätetty loppuun reaktori avataan ja vaihdetaan uusi syöte tilalle. Prosessin käynnistyminen vie kohtalaisen pitkän ajan syötteestä riippuen ja tasaisen kaasuntuotannon varmistamiseksi tarvitaan useita rinnakkaisia reaktoreita, joiden tyhjennys ja täyttösyklit porrastetaan. (Deublein & Steinhauer 2008, 305–308; Al Seadi ym. 2008, 75–76.)

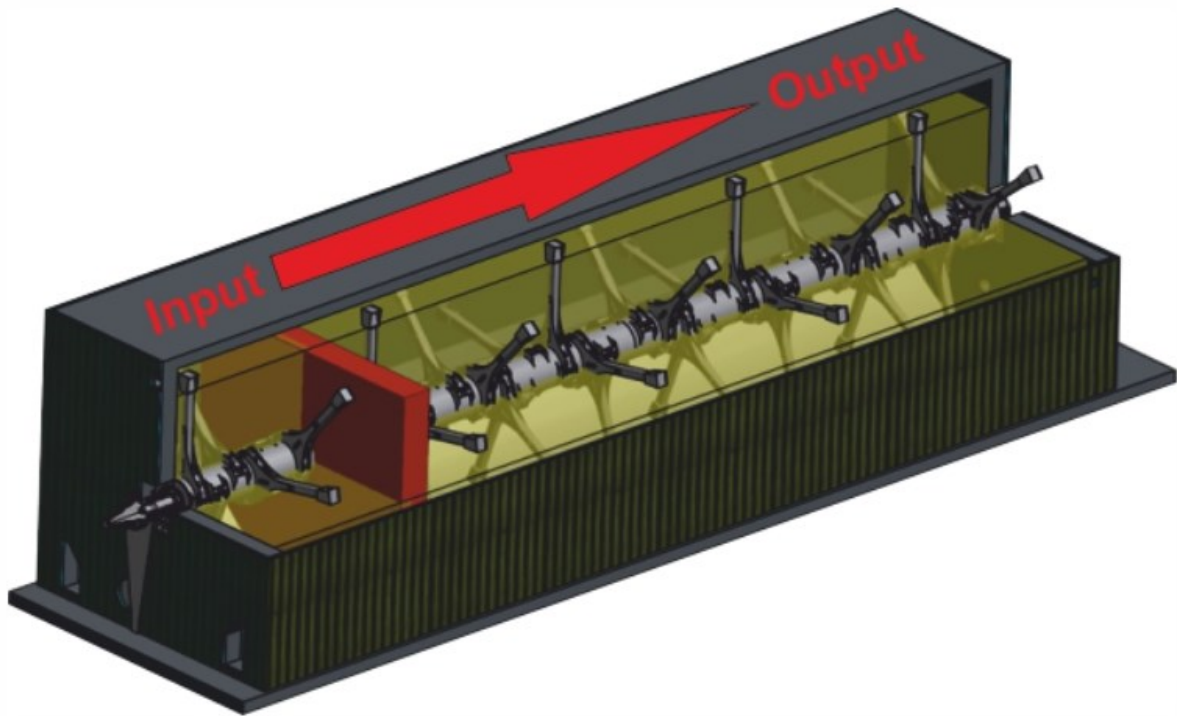


Kuvio 4 Havainnekuva panostoisesta prosessista perkolaattinesteen kierrätyksellä (Bekon GMBH 2022)

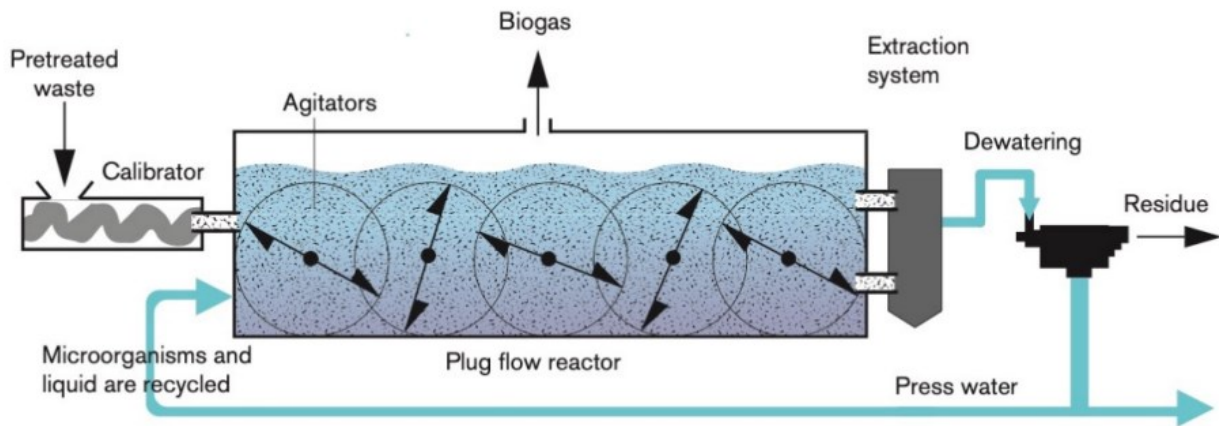
Tulppavirtausreaktori

Tulppavirtausreaktori puolestaan mahdollistaa jatkuvatoimisen kuiville syötteille tarkoitetun prosessin. Prosessi toimii nimensä mukaisesti, eli lisätty syöte etenee tulppana eteenpäin kohti rejektin poistopäätä, jolloin kaikki lisätty syötemateriaali viipyy reaktorissa suunnitellun viipymääjan. Korkean kuiva-ainepitoisuuden vuoksi ei oikovirtauksia ole siis mahdollista esiintyä, kuten täyssekoitteisessa märkäprosessissa. Reaktori voi olla esimerkiksi vaakatasossa makaava lieriö, joka on varustettu pitkittäisellä sekoittimella, tekniikkaa havainnollistettu kuviossa 5. Yksi sovellus tulppavirtausprosessista ovat poikittain sijoitetut sekoittajat suorakulmion mallisessa reaktorissa, tätä tekniikkaa on havainnollistettu kuviossa 6. Mädätettä siis poistetaan vastaava määrä kuin syötettä lisätään, tavoitteena on pitää mädätettävän materiaalin pinta vakiona reaktorissa. Mädätettävä materiaali liikkuu eteenpäin materiaalin lisäyksen- ja poiston ansiosta, sekä sekoittimien voimalla. Tulppavirtausprosessin ominaisuuksina ovat muun muassa tasainen kaasuntuotanto ja korkea kuormitettavuus reaktorin tilavuutta kohti. Korkea kuormitus edellyttää mädätteen kierrättämistä syötteen sekaan riittävän mikrobikannan ylläpitämiseksi. Persson, Westerholm, Schnürer, Nordin,

Tamm & Nordberg (2019, 12) täydentävät vielä, että tavoiteltaessa hyvää mikrobiaktiivisuutta tulisi orgaanisen aineen olla alle 35 % kuiva-ainepitoisuudessa reaktorissa. Tämän prosessin ongelmia ovat orgaanisen aineen sedimentoituminen, joka heikentää lämmitysjärjestelmän tehoa ja pienentää reaktorin aktiivitulavuutta. Lisäksi tasainen lämmönjohtuminen kuivassa jakeessa edellyttää hyvin toteutettua sekoitusta ja laajaa lämmönsiirtopinta-alaa. (Luostarinen 2013, 16; Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018; Persson ym. 2019.)



Kuvio 5 Havainnekuva pitkittäisellä sekoittimella varustetusta tulppavirtausreaktorista (Martin GMBH 2022)

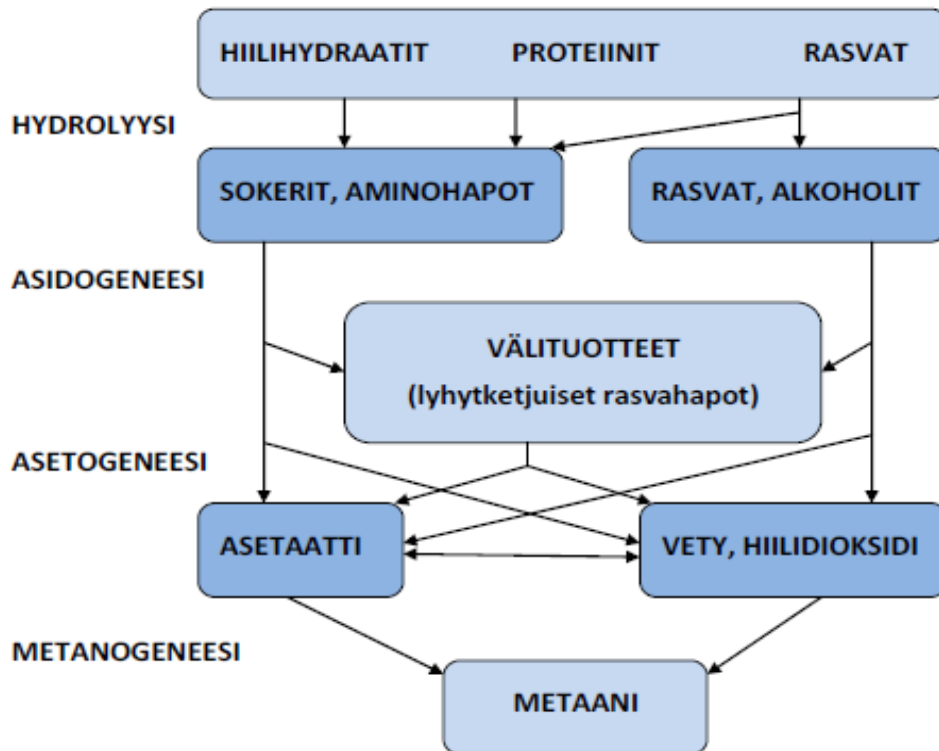


Kuvio 6 Havainnekuva poikittaisilla sekoittimilla varustetusta tulppavirtausreaktorista (Persson ym. 2019, 12)

2.3 Biokaasuprosessi ja sen hallinta

2.3.1 Anaerobinen hajoaminen

Biokaasuntuotanto tapahtuu anaerobisissa olosuhteissa, jolla tarkoitetaan orgaanisen aineen hajoamista hapettomissa olosuhteissa. Anaerobinen mädätys on mikrobiologinen prosessi, jossa orgaaninen aine muuttuu pääosin metaaniksi ja hiilidioksidiksi, näiden seosta kutsutaan raakakaasuksi. Raakakaasu sisältää myös pieniä määriä muita kaasuja esimerkiksi rikkiyhdisteitä riippuen syötemateriaalista. Raaka biokaasu sisältää keskimäärin 55 – 75 % metaania ja 25 – 45 % hiilidioksidia. Mikrobiologinen prosessi jakautuu neljään eri vaiheeseen, jotka ovat prosessijärjestyksessä hydrolyysi (liukoistuminen), asidogeneesi (happokäyminen), asetogeneesi (etikkahappokäyminen) ja metanogeneesi (metaanikäyminen). (Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013.) Lisäksi Luostarinen (2013, 10) tuo esille hajoamisketjun eri vaiheiden riippuvuuden toisistaan. Vaikka tietyn vaiheen mikrobit pyrkivät luomaan juuri itselleen mahdollisimman optimaaliset olosuhteet, ovat ne elinehto muille mikrobeille. Kun tietty mikrobiryhmä on tehnyt tehtävänsä ja jakautunut lopputuotteeksi voi seuraava mikrobisto toimia, koska lopputuotteet toimivat seuraavan vaiheen mikrobiston ravinnonlähteenä, eli substraattina. Kuviossa 7 esitettyä yksinkertaistettuna anaerobisen prosessin hajoamisvaiheet, jonka jälkeen vaiheet avataan tarkemmin.



Kuvio 7. Orgaanisen aineen hajoamisvaiheet biokaasuprosessissa (Luostarinen 2013.)

Hydrolyysi

Hajoamisen ensimmäisessä vaiheessa hydrolyysissä hydrolyyttisten bakteerien erittämät entsyymit hajottavat orgaanisen materiaalin sisältämät yhdisteet. Hydrolyysissä suuret molekyylit, kuten proteiinit, hiilihydraatit ja rasvat liukoistuvat, eli pilkkoutuvat osikseen. Hydrolyysissä solut tuottavat entsyymejä hoitamaan hajotustyötä, koska tässä vaiheessa syötteen sisältämät molekyylit ovat liian isoja mikrobisolujen ravinnoksi. Kyseisiä entsyymejä tuottavia bakteereja kutsutaan hydrolyyttisiksi bakteereiksi. Tyypillisesti osa hydrolyyttisistä bakteereista osallistuu anaerobisen prosessin seuraavaan vaiheeseen asidogeneesiin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 61.)

Asidogeneesi

Prosessin seuraava vaihe on happokäyminen asidogeneesi, jonka tuloksena syntyy erilaisia orgaanisia happoja, kuten etikka-, propioni-, voi- ja maitohappoja. Yleisesti näitä kutsutaan yhteisellä

nimellä haihtuvat rasvahapot, eli VFA (volatile fatty acids). Lisäksi asidogeneesi vaiheessa syntyy myös alkoholeja, ammoniakkia, hiilidioksidia ja vetyä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 62.)

Asetogeneesi

Kolmannessa vaiheessa asetogeenisissä tuotetaan metaanin raaka-aineita: vetyä, hiilidioksidia ja asetaattia edellisen vaiheen tuotteista, kuten rasvahapoista. Kyseessä on anaerobinen hapettuminen. Asetogeenit käyttävät esimerkiksi karbonaattia, sulfaattia ja nitraattia pelkistysreaktiossa elektronien vastaanottajina. Asetogeeniset bakteerit toimivat synkronissa metanogeenien kanssa, jotka kuluttavat vetyä ja tuottavat metaania, tällöin vedyn muodostus ja kulutus ovat tasapainossa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 62.)

Metanogeneesi

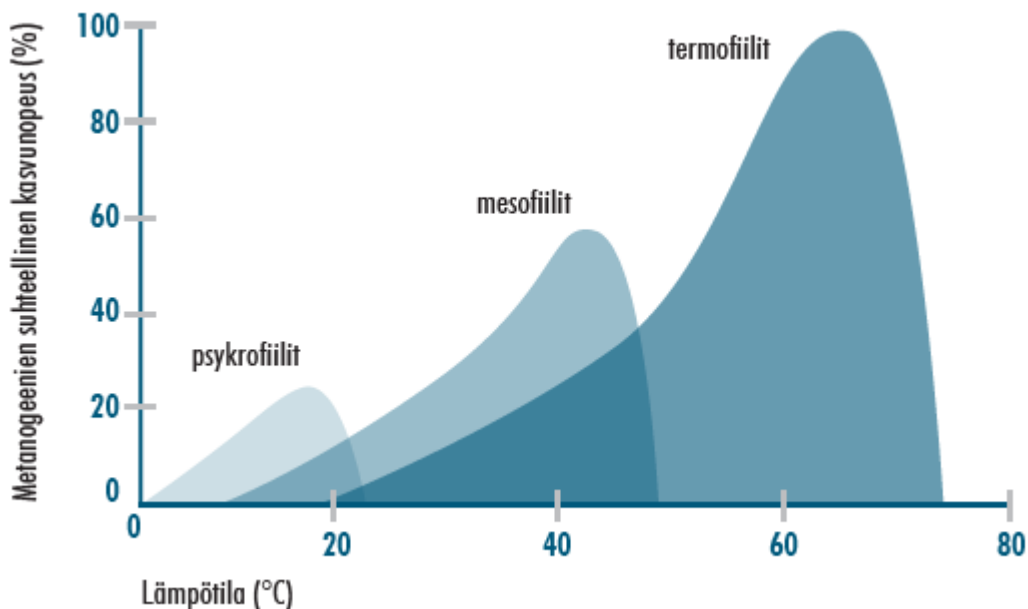
Haluttu lopputuote syntyy prosessin viimeisessä vaiheessa. Metanogeenit tuottavat metaania ja hiilidioksidia asetaatista, vedystä ja hiilidioksidista. Tätä kaasuseosta kutsutaan biokaasuksi. Asetaatin on arvioitu tuottavan noin 70 % metaanista. Huomion arvoista on asetotrofisten metanogeenien kasvuvauhti, joka voi vaihdella 2-12 vrk:n välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että liian korkealla kuormituksella metanogeenia voidaan poistaa reaktorista ennen metaanin muodostumista. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 62 - 63.)

2.3.2 Lämpötila

Useiden tutkijoiden mielestä anaerobisen mädätyksen prosessinhallinnan näkökulmasta lämpötila ja sen tarkka hallinta on tärkein hallittava parametri biokaasuntuotannossa (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 63; Deublein & Steinhauser 2008, 100). Biokaasuprosessi voi toimia kolmella tunnetulla lämpötila-alueella, joista käytetään nimitystä psykofiilinen (10-20°C), mesofiilinen (35-43°C) tai termofiilinen (50-60°C). Tyypillisimpänä prosessilämpötilana käytetään mesofiilistä tai termofiilistä lämpötilaa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64.) Schnürer ja Jarvis (2010, 32) täsmentävät vielä mesofiilisen lämpötilan optimialueen olevan 35°C - 37°C ja termofiilisen 50°C -55°C. Biokaasua muodostuu siis isolla lämpötila-alueella ja tärkein asia on saada pidettyä lämpötila mahdollisimman vakaana reaktorissa, termofiilisessa prosessissa muutos tulisi pysyä alle +/- 0,5°C. Mesofiilisellä lämpötila-alueella tapahtuva mädätys kestää hieman isompia lämpötilavaihteluita noin +/-

2,0°C ilman merkittävää metaanin tuoton vähenemistä ja on muutenkin vähemmän herkkä prosessiolosuhteiden muutokselle. Mesofiilinen prosessi on tällä hetkellä esimerkiksi maataloilla käytettyin lämpötila suhteellisen helpon prosessin hallittavuuden nimissä. Toisaalta alhaisemmassa lämpötilassa mikrobitoiminta on hitaampaa, kuin termofiilisellä alueella toimiva prosessi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 63 – 64.)

Kuvio 8 havainnollistaa metanogeenien kasvunopeuden suhteessa lämpötilaan. Kuten kuvioista voi päätellä, myös Schnürer ja Jarvis (2010, 34) kertovat mesofiilisen prosessin sisältävän hieman termofiilisiä mikrobeja, keskimäärin noin 10 %. Tämä mahdollistaa siirtymisen mesofiilisestä prosessista termofiiliseen kunhan se tehdään riittävän hitaasti, jotta mikrobikasvusto ehtii muodostua. Heidän mukaansa sopiva nousunopeus on noin yksi aste vuorokaudessa. Todennäköisesti muutos termofiilisestä prosessista mesofiiliseen on haastavampaa, koska termofiilisen prosessin korkeampi lämpötila on tappanut mesofiilisessä lämpötilassa toimivat mikrobit. Yli 42°C lämpötilassa useimmat mesofiilit kuolevat. Muutettaessa mädätyslämpötilaa on ensisijaisesti otettava huomioon vakaa tilanne prosessissa ennen lämpötilan muutosta (Schnürer & Jarvis. 2010, 34).



Kuvio 8. Metanogeenien kasvunopeus suhteessa lämpötilaan (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64)

Lisäksi Deublein ja Steinhauser (2008, 100) kertovat taulukossa 2 oman näkemyksensä optimiolosuhteista anaerobisessa mädätyksessä. Tämän mukaan siis eri mädätysvaiheissa vallitsee eri optimiolosuhteet. Olosuhteiden hallitseminen eri mikrobiologisissa vaiheissa on käytännössä mahdollista esimerkiksi tulppavirtausprosessissa. Täyssekoitteisissa reaktoreissa märkämädätyksessä tämä on mahdollista hoitaa useammalla sarjaan kytketyllä reaktorilla.

Taulukko 2. Anaerobisen mädätyksen optimiolosuhteet (Deublein & Steinhauser 2008, 100.)

Parametri	Hydrolyysi/asidogeneesi	Metanogeneesi
Lämpötila	25 – 35 °C	Mesofiilinen 32 - 42 °C Termofiilinen 50 - 58 °C
pH	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
C:N suhdeluku	10 – 45	20 – 30
Kuiva-aine pitoisuus	< 40%	< 30%
Redox potentiaali	+400 300mV	< 250 mV
C:N:P:S suhdeluku	500:15:5:3	600:15:5:3
Hivenainevaatimukset	Ei vaatimuksia	Ni, Co, Mo, Se

Huomionarvoista on tuoda esille Kymäläisen ja Pakarisen (2015, 64) mainitsema anaerobisen hajoamisen tuottama vähäinen lämpö. Hapettomassa mädätyksessä ei juuri vapaudu lämpöä vaan tuotettu energia saadaan talteen metaanin muodossa. Tämän vuoksi biokaasuprosessi vaatii lähes poikkeuksetta ulkopuolisen lämmönlähteen nostamaan lämpötilaa ja pitämään sen halutussa arvossa. Tasainen lämpötila reaktorissa saavutetaan hyvin suunnitellulla lämmitysjärjestelmällä ja biomassan hyvällä sekoituksella. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64.)

2.3.3 Reaktorin kuormitus ja viipymä

Kuormitus ja viipymä ovat toisistaan riippuvia parametrejä. Jatkuvatoimisessa prosessissa reaktorin kuormituksella tarkoitetaan kuinka paljon orgaanista ainetta lisätään keskimäärin vuorokaudessa ja viipymästä puhuttaessa tarkoitetaan kokonaissyöttemäärää. Orgaanisen aineen osuus syötteessä on käyty tarkemmin läpi luvussa 2.1. Kun uutta syötettä lisätään, tulee reaktorista poistua riittävä määrä mädätettä, tarkoituksena pitää reaktorin täyttöaste vakiona, joka liittyy suoraan viipymään. Viipymästä käytetään yleisesti termiä HRT (hydraulic retention time), se määritetään

yksinkertaisesti jakamalla reaktorin aktiivitasavuus lisättyllä syötemäärällä vuorokaudessa, molemmista parametreista käytetään niiden nestetasavuutta. Tällä laskukaavalla saadaan syötteen viipymä reaktorissa vuorokausina. (Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018, 8 – 9.)

Sopivaa viipymäaika arvioitaessa tulee ottaa huomioon syötteen laatu ja millaista lopputuotetta tavoitellaan, eli kuinka paljon mädätysjännös saa sisältää hajoamatonta orgaanista ainesta. Esimerkiksi nurmi ja muut kasvit vaativat pidemmän käsittelyajan, kuin puhdistamoliete ja biojätteet, joiden viipymä on yleisesti noin 10 – 25 vuorokautta. Pyykkönen, Rasi & Virkkunen (2018, 8) tarkentavat vielä, että viipymän tulee olla pidempi, kuin hajotusprosessiin osallistuvien mikrobien tuplaantumisaika. Muutoin mädätysjännöksen mukana poistuu enemmän mikrobeja kuin uusia syntyy. Tämä voi aiheuttaa lopulta prosessin toiminnan loppumisen. Mikäli tavoitellaan energia-kasvien lähes täydellistä hajoamista anaerobisessa prosessissa voi viipymä olla jopa 100 vuorokautta. Pidemmällä viipymällä saavutetaan tarkempi syötteen metaanintuottopotentialin hyödyntäminen. Täydellisen hajoamisen tavoittelu ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa, mutta toisaalta kaikki hyödyntämätön potentiaali aiheuttaa kasvihuonepäästöjä vapautuessaan ilmakehään. Optimaaliseen viipymäaikaan vaikuttaa oleellisesti syötteen laadun lisäksi käytetty mädätyslämpötila. Termofiilisessa prosessissa viipymä on pienempi suhteessa mesofiiliseen prosessiin, koska mikrobien aktiivisuus lisääntyy korkeammassa käsittelylämpötilassa. Taulukossa 3 on kerrottu minimi viipymäajat suhteessa lämpötilaan. (Schnürer & Jarvis 2010, 38 – 40, 88.)

Taulukko 3 Syötteen minimi viipymäaika suhteessa prosessin lämpötilaan (Al Seadi ym. 2008, 23.)

Thermal stage	Process temperatures	Minimum retention time
psychrophilic	< 20 °C	70 to 80 days
mesophilic	30 to 42 °C	30 to 40 days
thermophilic	43 to 55 °C	15 to 20 days

Reaktoreiden orgaaninen kuormitus voi vaihdella merkittävästi riippuen käytetystä reaktoritekniikasta, syöttestä ja prosessilämpötilasta. Orgaaninen kuormitus ilmoitetaan yksikössä kgVS /m³vrk, eli orgaaninen aine kiloina reaktorin aktiivitasavuutta kohti vuorokaudessa. Perinteisillä maatilasyötteillä ja märkämädätysalueella toimivaa mesofiilistä prosessia kuormitetaan keskimäärin noin 1 - 4 kgVS /m³vrk, kun tulppavirtausreaktorin kuormitus voi olla jopa 10 kgVS /m³vrk (Pyykkönen 2019.) Li, Li, Wang & Wang (2017) mukaan ruokajätteellä prosessi voi toimia vakaasti

jopa 30,2 kgVS /m³vrk kuormituksella termofiilillä alueella, tällöin viipymä on 3 vuorokautta. Käytännössä siis reaktorin orgaanista kuormitusta voidaan lisätä vaikuttamatta viipymäaikaan ai-noastaan nostamalla syötteen kuiva-ainepitoisuutta. Ja haluttaessa yhtenäiseen lopputulokseen syötteen metaanintuottopotentiaalain hyödyntämisessä, viipymäaika voidaan tiputtaa vain nostamalla prosessin lämpötilaa.

Edellisen tiedon pohjalta taulukkoon 4 on sovellettu esimerkkejä, miten kuiva-ainepitoisuuden ja prosessilämpötilan muutos vaikuttaa reaktorin fyysiseen kokoon, kun kaikissa esimerkeissä käsiteltävä syötemäärä on sama 1715 tonnia vuodessa. Syötemäärä vastaa tässä työssä esimerkkinä käytettyä ns. yhden lypsyrobotin tilaa lietelannan osalta ja lietelannan kuiva-ainepitoisuudeksi on arvioitu 7 %. Kuiva-ainepitoisuus vastaa BGCNordicin reaktoriproton koeajojen todellisten pitoisuuksien keskiarvoa.

Taulukko 4 Esimerkkejä kuiva-ainepitoisuuden ja prosessilämpötilojen vaikutuksesta reaktorin tilavuuteen

Esimerkki nro.	Syötteen määrä vuodessa ja kuiva-ainepitoisuus (TS) alkutilanteessa	Syötteen määrä vuorokaudessa (kg) ja kuiva-ainepitoisuus	Prosessilämpötila	Viipymä vuorokausina	Orgaaninen kuormitus kgVS/m ³ vrk	Tarvittava reaktorin aktiivitulavuus m ³
1	1715 t/a, TS 7%	4700 kg/vrk, TS 7%	Mesofiilinen 37°C	35	1,5	170
2	1715 t/a, TS 7%	2750 kg/vrk, TS 14%	Mesofiilinen 37°C	35	2,5	99
3	1715 t/a, TS 7%	1450 kg/vrk, TS 23%	Mesofiilinen 37°C	35	4,7	53
4	1715 t/a, TS 7%	1450 kg/vrk, TS 23%	Termofiilinen 55°C	17,5	9,3	27

Kuten taulukko 4 osoittaa, vaikuttaa kuiva-ainepitoisuuden nostaminen ja prosessilämpötilan muutos merkittävästi tarvittavaan reaktorin aktiivitulavuuteen. Reaktorin fyysinen koko vaikuttaa luonnollisesti myös investointikustannuksiin ja lämpöhäviöihin.

2.3.4 pH, alkaliniteetti ja haihtuvat rasvahapot

Metaanin muodostus eli anaerobisen hajoamisen viimeinen vaihe toimii vakaimmin pH-alueen ollessa lähellä neutraalia. Useimmille metanogeeneille suotuisin pH alue on 7 – 8. Prosessin alkupää, eli hydrolyysi- ja asidogeneesivaiheet vaativat puolestaan alemman pH-alueen toimiakseen optimaalisesti. Kymäläisen ja Pakarisen (2015, 65) mukaan edellä mainitun haponmuodostusvaiheen

optimaalinen alue on välillä pH 4,5 – 6,5. Vakaasti toimivassa reaktorissa pH-arvo pysyy melko stabiilina ja nopeat muutokset enteilevät ongelmia prosessissa. Kymäläinen ja Pakarinen (2015, 65) mainitsevat yhdessä vaiheessa toteutettavan prosessin olevan kompromissi eri hajoamisvaiheiden optimaalisista arvoista, prosessi siis toimii, vaikka ei olekaan aivan optimiolosuhteissa. Seadin ym. (2008, 24) mukaan täyssekoitteisessa mesofiilisessä prosessissa optimaalinen pH-arvo asettuu välille 6,5 – 8 ja sen tulee pysyä yli 6 ja alle 8,3. Mikäli näistä arvoista poiketaan, voi mikrobi prosessi vaurioitua vakavasti ja metaanin muodostuminen loppua. Prosessin optimaalinen pH-alue riippuu käytettävistä syötteistä ja niiden ominaisuuksista. Paljon hiilihydraattia sisältävät syötteet alentavat pH:ta, koska hajoamisessa syntyy happoja. Proteiinipitoiset syötteet puolestaan nostavat pH:ta hajoamisessa syntyvän ammoniakkin johdosta. Optimaalinen pH-arvo ei siis ole yksiselitteinen ja vertailun vuoksi Persson, Westerholm, Schnürer, Nordin, Tamm, & Nordberg (2019, 35) kertovat toteutuneen biojätteen kuivamädätyksen pH-alueen olevan 7,9 – 8,4, korkein arvo oli termofiilisellä alueella toimivassa reaktorissa. (Seadi ym. 2008, 25 – 26; Kymäläinen & Pakarinen 2015, 65.)

Alkaliniteetistä puhuttaessa tarkoitetaan prosessin kykyä puskuroida pH:n muutoksia. Käytännössä tämä tarkoittaa prosessin kykyä neutraloida muodostuvia happoja ja estää niiden vaikutus pH-arvoon. Mitä suurempi alkaliniteetti arvo on, sen paremmin se hillitsee pH-vaihteluita, joka voisi olla haitallista mikrobitoiminnalle. Puskurointikyky johtuu pääosin bikarbonaatista, jota muodostuu hiilidioksidin liuutessa veteen muodostaen hiilihappoa, joka ionisoituu bikarbonaatiksi. Mikäli happoja ei kuluteta samassa suhteessa, kuin niitä muodostuu, eli neutraloivia bikarbonaatti-ioneja ei ole riittävästi, alkaa VFA-arvo kohota ja alkaliniteetti laskea, joka johtaa pH-arvon laskemiseen. Hiilidioksidin huonompi liukenevaisuus korkeammassa lämpötilassa johtaa siihen, että termofiilisen lämpötilan prosessissa on yleensä korkeampi pH-alue. Edellä kuvatun mukaisesti prosessin vakauden kannalta on tärkeää, että alkaliniteettiä on riittävästi suhteessa muodostuviin happoihin ja vakaan prosessin varmistamiseksi tulisi VFA:n ja alkaliniteetin suhteen olla alle 0,3. Kymäläisen ja Pakarisen (2015, 79) mukaan suhdeluvun noustessa yli 0,5 on merkittävä riski epästabiiille prosessille. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 65 – 66, 79.)

Haihtuvia rasvahappoja, joista käytetään nimitystä VFA, muodostuu toisessa hajoamisvaiheessa, asidogeneesissä. Näitä erilaisia orgaanisia happoja ovat muun muassa etikka-, propioni-, voi- ja maitohapot. Hajoamisen kolmas vaihe käyttää näitä tuotteita hyväkseen tuottaessaan metaanin tuotannon raaka-aineita, joten haihtuvat rasvahapot ovat välttämättömiä prosessin kannalta.

Tästä prosessijärjestyksestä johtuen on VFA:n seuranta etenkin laitoksen ylösajossa ja korkealla kuormituksella ajaessa keskeinen seurattava parametri, koska haihtuvien rasvahappojen määrä reagoi nopeasti muutoksiin. VFA-pitoisuus riippuu monesta eri tekijästä ja tärkeintä onkin löytää kullekin prosessille ominainen VFA-taso, johon voidaan verrata esimerkiksi kuormitustasoa muutettaessa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 62, 76, 78 - 79.)

2.3.5 Inhibitiot

Inhibitiolla tarkoitetaan negatiivista vaikutusta prosessiin ja inhiboivia aineita voi tulla suoraan syötteen mukana tai syntyä hajoamisprosessin seurauksena. Syötteen mukana haitallisia aineita ovat esimerkiksi desinfiointiaineet, pestisidit ja antibiootit, sekä raskasmetallit. Syöte voi sisältää korkeita määriä eri aineita, jotka johtavat hajoamisprosessin seurauksena erilaiseen inhibitioon, joita ovat muun muassa:

- Typpi, seurauksena ammoniakki-inhibiatio
- Rikki, seurauksena rikkivetyinhibiatio
- Rasva, seurauksena LCFA-inhibiatio (Long Chain Fatty Acids)

Tietyt metallit ja hivenaineet ovat välttämättömiä prosessille, mutta korkeissa pitoisuuksissa ne ovat inhiboivia. Näitä ovat esimerkiksi rauta, sinkki, kupari, kromi, mangaani, molybdeeni, nikkeli ja seleeni. Suoraan inhiboivia raskasmetalleja ovat lyijy, elohopea ja kadmium. Lisäksi korkeat suolapitoisuudet tunnetusti heikentävät mikrobitoimintaa. Yhdistävä tekijä näille aineille on, että niille ei voi suoraan kertoa raja-arvoa milloin ne ovat inhiboivia. Aineiden vaikutus prosessiin riippuu lämpötilasta, pH-arvosta ja missä muodossa aine esiintyy, eli liukoisuudesta. Lisäksi mikrobeilla on eri syötteistä riippuen erilainen kyky adaptoitua, eli sopeutua haitallisiin aineisiin. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 67 – 71, 78 - 79.)

2.3.6 Biokaasuprosessin optimointi

Biokaasuprosessia voidaan optimoida prosessin vakauden ja/tai tehokkaan kaasuntuotannon näkökulmasta. Kuten aiemmin on todettu, käsiteltävällä syötteellä ja syöteseoksella on merkittävä vaikutus vakaasti ja tehokkaasti toimivaan prosessiin. Mädätettävä orgaaninen raaka-aine määrää

lähtökohdan, kuinka paljon syötteenä on esimerkiksi metaanintuottopotentiaalia, kuiva-ainepitoisuutta ja mikä on hiilen ja typen suhde, sekä hivenainekoostumus. Syöte voi sisältää myös inhibitoivia sisältäviä aineita. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 22 – 25.)

Yleisin keino tehostaa biokaasuprosessia ja nopeuttaa esimerkiksi heinän hajoamista metaaniksi on syötteen hyvä esikäsitely. Esikäsitely on useimmiten syötteen palakoon murskaaminen tai silppuaminen mahdollisimman pieneksi. Pienempi palakoko hajoaa prosessissa tehokkaammin parantaen materiaalin metaanintuottoa ja lyhentää tarvittavaa viipymäaikaa. Haittapuolena fysikaalisessa käsittelyssä on sen korkea energian kulutus. Pyykkösen, Rasin ja Virkkusen (2018, 7) esimerkissä heinän metaanintuottoa on mahdollista parantaa kymmenenprosenttia, kun noin 25 mm palakoossa oleva nurmi pienennetään 0.5 millimetrin palakokoon. Sopiva palakoko tulee aina tarkastella syötteen, sekä käytettävissä olevien laitteiden näkökulmasta ja hakea taloudellisesti kannattavin esikäsitelymenetelmä. (Pyykkönen, Rasi & Virkkunen 2018, 7 – 8.)

Mekaanisen käsittelyn lisäksi prosessia voidaan stabiloida ja nopeuttaa erilaisilla kemiallisilla ja biologisilla käsittelyillä. Haluttaessa nostaa ja tasapainottaa emäksisyyttä prosessissa on bikarboonaattien lisäys luonnollinen vaihtoehto, koska niitä syntyy prosessissa itsessään, eikä sitä ei voi kovin helposti yliannostella. Prosessiin voidaan annostella myös muita alkaansia aineita säätämään pH:ta ylöspäin, kuten lipeää, ammoniakkia ja kalkkia. Mikäli alkaansisuus on liian korkea, sitä voidaan alentaa lisäämällä esimerkiksi rautakloridia tai sitraattia. Erilaisten stabilisaattoreiden annosteluun vaikuttavat monet asiat kuten käytettävän syötteen ominaisuudet ja mädätyslämpötila. Tämän vuoksi stabilisaattoreiden annostelu tulee aina aloittaa hiljalleen seuraten niiden vaikutusta prosessiin. Pyykkönen (2019, 11 – 12) antaa esimerkin lisättävän liuoksen vahvuudesta ja sen vaikutuksesta biokaasun tuottoon. Jotta mikrobeja ei vaaranneta kemikaalin yliannostamisella tulee lipeäliuoksen vahvuus olla 1 mol/litra tai alle. Tämän vahvuista liuosta on käytetty panoskokeessa, jossa mädätettävä panos oli 19 kiloa siipikarjan lantaa laimennettuna 19 litralla vettä. Tähän seokseen lisättiin 380 ml 1 mol/l vahvuista lipeäliuosta, joka nosti seoksen pH lukeman 5,9:stä 7,6:een. Tässä reaktorissa oli 10 % suurempi biokaasuntuotto, kuin ilman lipeäkäsittelyä olleessa vertailureaktorissa. (Schnürer & Jarvis, 2010, 91 – 92; Pyykkönen, 2019, 11 – 12.)

3 BGCNordic Oy uusien ratkaisujen biokaasureaktori

3.1 Reaktori-innovaation suunnittelun lähtökohdat

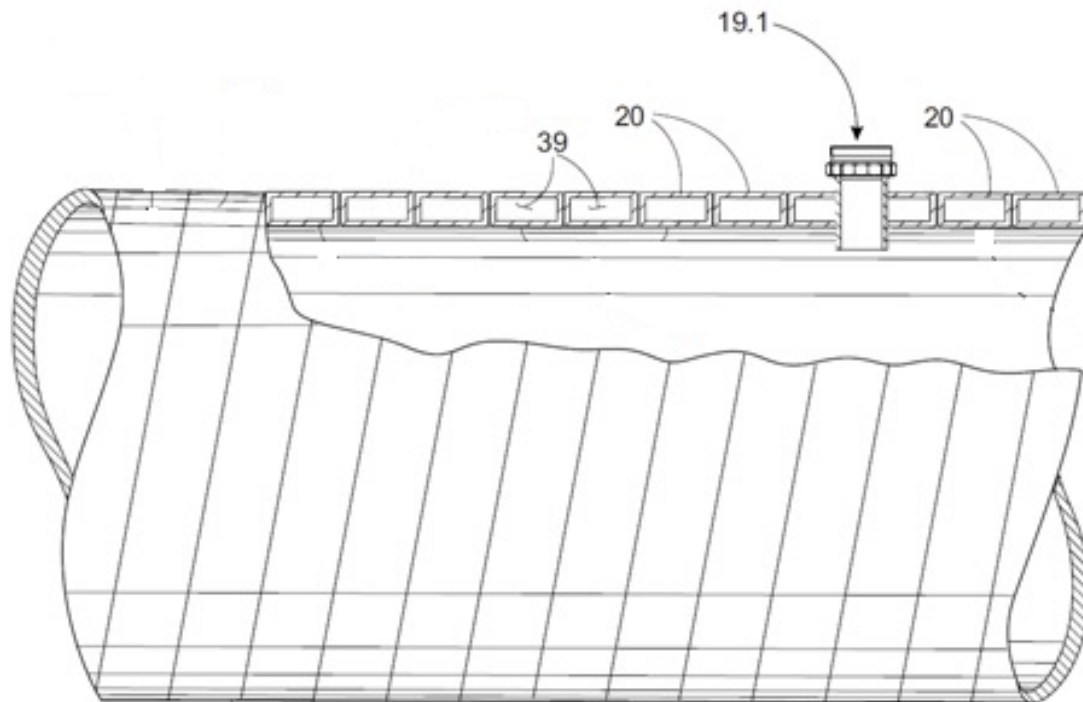
Suunnittelun lähtökohtana oli olemassa olevien reaktoreiden tyypillisimmät ongelmat ja niiden ratkaiseminen, kun puhutaan jatkuvatoimisesta prosessista. Yksi tyypillinen ongelma on biomassan sedimentoituminen, jonka seurauksena kiintoaines kivistyy reaktorin kulmiin ja nurkkiin, jolloin käytettävä aktiivivilavuus pienenee vähitellen. Sedimentaatiota ja kerrostumista voi esiintyä myös biomassaa lämmittävien lämmönsiirtimien pinnoilla, tämä johtaa lopulta huonoon lämmönsiirtymiseen. Huonon lämmönsiirtymisen vuoksi lämmitysnesteen lämpötilaa joudutaan nostamaan, jotta mädätettävä biomassa saadaan pidettyä halutussa lämpötilassa. Tämä puolestaan johtaa huonoon energiatehokkuuteen ja pahimmillaan aiheuttaa suuria pistemäisiä lämpötilaeroja biomassassa, joka ei ole eduksi tehokkaan mikrobitoiminnan kannalta.

Edellä mainitut asiat tekevät prosessista epävakaan, eikä mikrobeilla ole mahdollista toimia parhaalla mahdollisella tavalla. Näin ollen syötteen kaasuntuottopotentiaalia jää hyödyntämättä, eikä reaktorin aktiivivilavuus ole tehokkaasti käytössä, nämä asiat vaikuttavat suoraan investointien kannattavuuteen. Reaktorin materiaalin tulisi myös kestää hyvin korroosion vaikutuksia ja mahdollisia kemikaaleja, joilla optimoidaan biokaasuprosessia. (Kolehmainen & Mäkinen. 2021. Haastattelu.)

3.2 Reaktorin rakenne ja toteutus

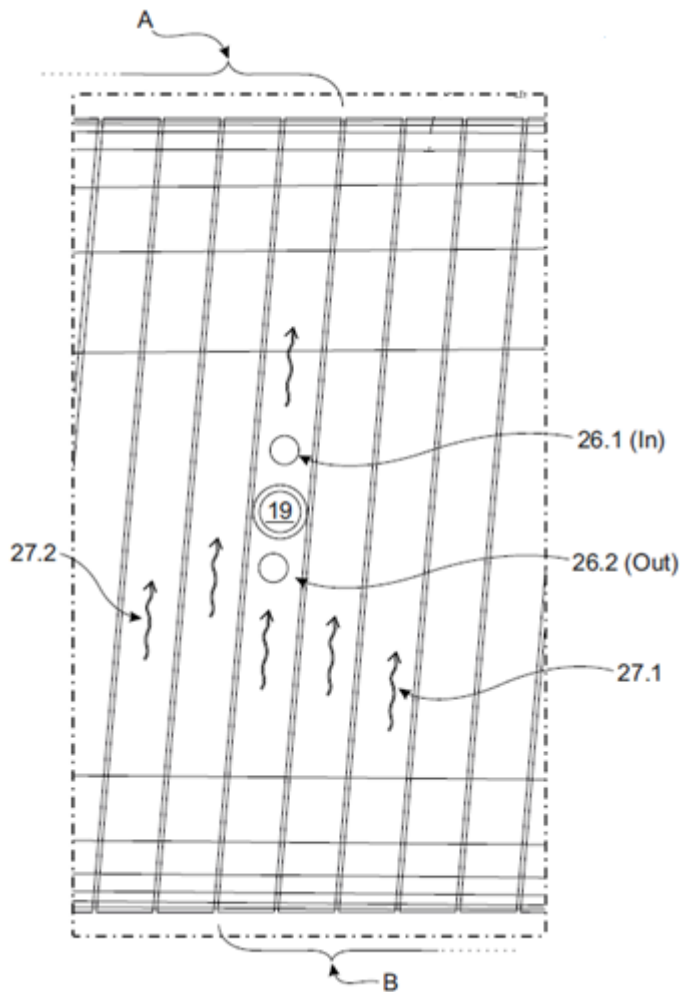
Suunnittelun lähtökohtana oli löytää ratkaisu reaktorin tehokkaaseen ja tasaiseen lämpötilan hallintaan, sekä sedimentaation ehkäisyyn. Reaktorin rakenteessa on painotettu yksinkertaisuutta, laajaa skaalautuvuutta ja kustannustehokkuutta. Reaktorin perusrunko on valmistettu kuvion 9 mukaan kierrekäämimällä putkiprofiilia spiraalimaiseen asetelmaan, josta itse reaktoritila muodostuu. Putkiprofiili (kuviossa 9 numero 20) muodostaa ontelotilan (kuviossa 9 numero 39) lämmitysnestettä varten, joka mahdollistaa erittäin tarkan prosessin lämpötilanhallinnan ilman erillisiä lämmönvaihtimia. Koska koko reaktorin runko toimii lämmönvaihtimena tarkoittaa se mahdollisimman suurta lämmönsiirtopinta-alaa varmistaen tehokkaan lämmön siirtymisen. Tästä johtuen lämpötilaero biomassan ja lämmitysneesteenvälillä on hyvin pieni. Esimerkiksi reaktori-innovaatiosta rakennetussa prototyypissä lämmitysneesteeseen meno- ja paluulämpötilojen ero oli 1,25 astetta. Reaktorin suuri lämmönsiirtopinta-ala ja pieni lämpötilaero lämmitysneesteeseen ja biomassan

välillä tarkoittaa pienempää tarvetta sekoitukselle, kun tavoitellaan tasaista biomassan lämpötilaa. Tämä puolestaan säästää prosessin omakäyttöenergiaa. Suuri lämmönsiirtopinta-ala varmistaa kuivankin jakeen tasaisen lämpötilahallinnan. Kuviossa 9 oleva yhde 19.1 on tarkoitettu tuotetun biokaasun poistamiseksi reaktoritilasta.



Kuvio 9 BGCNordic reaktorin rakenne (Kolehmainen & Mäkinen. 2021.)

Rakenteella voidaan toteuttaa myös reaktorin jakaminen useampaan lämmitysvyöhykkeeseen kuvion 10 mukaisesti. Tämä antaa mahdollisuuden jakaa lämmitystehoa halutusti biomassaan tulppavirtauksen aikana, tehoa voidaan esimerkiksi jakaa suhteessa enemmän syötteen lisäyspäähän tarkoituksena tasata syötteen lämpötila heti lisäyksen jälkeen. Toinen tarkoitus eri lämmitysvyöhykkeillä on hakea taulukon 2 mukaiset anaerobisen mädätyksen optimiolosuhteet, jolla voidaan edelleen tehostaa reaktorin aktiivitelavuuden hyödyntämistä. Kuviossa 10 lämmitysnesteen kierto on tulpattu kaasunpoistoyhteellä 19. Näin ollen A ja B vyöhykkeissä voidaan lämmitysneuste kierrättää eri lämpötiloissa tai eri virtausnopeuksilla. (Kolehmainen & Mäkinen 2021.)



Kuvio 10 Reaktorin tehon- ja lämpötilan vaiheistus (Kolehmainen & Mäkinen 2021.)

Reaktorissa käytetty materiaali on täysin korroosiovapaa ja se kestää kaikki tunnetut biokaasuntuotannon yhteydessä käytetyt kemikaalit. Materiaali on erittäin liukas ja tämä ominaisuus yhdessä pituus suuntaisen sekoittumisen kanssa estää sedimentoitumisen muodostumisen. Materiaalilla on myös sopiva lämmönjohtavuus, joka edelleen estää pistemäisten lämpötilojen muodostumista biomassaan. Reaktoria voidaan käyttää mesofiilisellä ja termofiilisellä lämpötila-alueilla, sekä erittäin laajalla kuiva-ainepitoisuuden alueella. Kuivemmalle massalle, jonka kuiva-ainepitoisuus on yli 12 % eli niin sanottuun tulppavirtausprosessiin käytetään pituussuuntaista sekoitinta. (Kolehmainen & Mäkinen. 2021.)

Lietereaktori

Menetelmällä voidaan valmistaa myös nestemäisille syötteille tarkoitettu reaktori, jolloin orgaanisen materiaalin syöttö, sekoitus ja poisto voidaan tehdä pumppaamalla. Vaihtoehtoisesti sekoitus voidaan toteuttaa kaasusekoitteisesti. Lietereaktori on tekniikaltaan yksinkertaisempi, sekä edullisempi valmistaa, mutta ei mahdollista yli 12 %:n kuiva-ainepitoisuuksia. Tämä reaktorityyppi sopii hyvin esimerkiksi jätevesilietteille tai lietelannalle. Lietereaktori on mahdollista sijoittaa maan alle ja sillä voidaan korvata muutoinkin välttämättömiä rakenteita lietteen siirrossa ja varastoinnissa. Tämä mahdollistaa biokaasuntuottamisen mahdollisimman nopeasti lietteen syntymisen jälkeen. (Kolehmainen & Mäkinen 2021.)

4 Pilotointi

4.1 Kohdemaatilan esittely

Paavolan maitotila sijaitsee Karstulassa ja keskittyy nimensä mukaisesti maidontuotantoon. Kyseessä on yhden lypsyrobotin tila ja lypsävien lehmien määrä vaihtelee 65 - 70 välillä. Tilalla kasvatetaan pienessä mittakaavassa myös teurashiehoja. Sonnivasikat lähtevät välitykseen 4 – 6 kuukauden ikäisinä.

Tilalla on tehty eläinten hyvinvointiin ja energiatehokkuuteen tähtääviä investointeja aiemminkin vuosien varrella. Merkittävimmät panostuksen ovat olleet teholtaan 32 kW aurinkovoimala ja akkutekniikalla toimivat apevaunu ja pienkuormaajat. Tilalla on luovuttu turpeen käytöstä kuivituksessa ja siirrytty loppumattomaan resurssiin, eli lannan separointiin hyvin tuloksin. Tästä johtuen tilan reunaehtona pilotoinnille onkin korkealaatuisen kuivikkeen riittäminen biokaasuprosessista huolimatta. Tilalla on ollut jo pidempään suunnitelmissa investoida biokaasulaitos, mutta se on jäänyt toteutumatta riittämättömän kannattavuuden ja taloudellisten reunaehtojen tullessa vastaan.

Paavolan maitotila olisi kokoluokkansa puolesta sopiva kohde pilotoida uusi reaktoritekniikka ja erityisesti aiempi kokemus kokeellisesta toiminnasta ja oma tavoite hiilijalanjäljen pienentämiseen ovat merkittäviä asioita uuden tekniikan pilotoinnissa. Esiteltäessä ajatusta Paavolan tilalle tuli esiin juuri oikeanlaista pioneerihenkeä ja halua kehittää jotain uutta, joka olisi tulevaisuudessa

hyödynnettävissä muillakin suomalaisilla maataloilla. Aiempien kannattavuusselvitysten perusteella on biokaasuun liittyvät ratkaisut tulleet tutuiksi ja prosessin perusosaaminen on hallinnassa. Tilan lantamäärä ja peltopinta-ala vastaisivat hyvin ensimmäisen maatilakokoluokan uuden mallisen reaktorin tarpeita. Lietelantaa tilalla syntyy noin 1700 kuutiometriä vuodessa. Lisäksi tilalla syntyy biokaasuntuotannossa syötteenä käytettäviä sivuvirtoja, kuten suojavyyöhykkeiltä kerättävä nurmi, pilaantuneet aumat ja rehut, sekä ylivuoteiset ja ylimääräiset säilörehut. (Lahtinen 2021.)

Suojavyöhykenurmet

Suojavyöhykenurmet ovat jonkin verran yleistyneet vesistöjen varsilla. Niitä ei saa lannoittaa, mutta sato on kerättävä joka vuosi. Vuosien saatossa tapahtuu kuten ajatuksena onkin, maaperästä loppuvat ravinteet. Lopputuloksena on korjattavaa rehua, joka on energiasisällöltään melko huonoa. Se on toki hyödynnettävissä emo- tai umpilehmille, mutta toinen käyttökohde voisi hyvin olla biokaasulaitos. (Lahtinen 2021.)

Pilaantuneet aumat

Säilörehua säilötään aumoissa ja joskus näitä pilaantuu kokonaan tai osittain, vaikka sitä yritetään tietysti kaikin keinoin välttää. Etenkin sadekesinä vastaan saattaa tulla tilanne, jossa rehun sokerit eivät riitä siihen, että maitohappokäyminen tekisi rehusta tarpeeksi stabiilia säilyäkseen. Tällaisen rehun ammoniakkityppipitoisuus nousee korkealle. Pahimmillaan mukana on myös voi happokäymistä, jolloin mukana on myös voi happoitiöitä. Eläimet eivät mielellään tällaista rehua syö ja on olemassa riski siihen, että edellä mainitut aromit siirtyvät maitoon. Tällaisen rehun luonnollinen kohde voisi olla biokaasureaktori. (Lahtinen 2021.)

Pilaantuneet viljat ja teolliset rehut

Myös teollisia rehuja ja viljoja homehtuu aika ajoin. Joskus syynä voi olla vaikkapa rehutehtaalta liian kuumana siiloon tuotu rehuerä. Tällainen tavara jämähtää siilon seiniin ja homehtuu, eikä sitä voi sellaisenaan enää eläimille syöttää. Myös viljasiiloissa tapahtuu joskus vahinkoja, siilon luukku voi vuotaa, kuivuserä on jäänyt liian kosteaksi tai jäänyt jäädyttämättä. Yleistyneessä tuoresäilönässä pilaantumisen riskejä on myös paljon. Energiasisältöä edellä mainituilla viljoilla ja rehuilla

on vielä valtavasti jäljellä, joten se toimisivat vielä erinomaisena syötteenä biokaasuprosessiin. Nykyisellään ne ajetaan useasti tunkioon ja levitetään aikanaan pellolle. (Lahtinen 2021.)

Ylivuoteiset ja ylimääräiset säilörehut

Huoltovarmuus näyttelee merkittävää osaa ruoantuotannossa. Karjatiloilta pyritään usein pitämään säilörehua reilusti varastossa, jopa yli puolen vuoden tarve. Sade- tai poutakesinä iskevä rehupula on äärimmäisen vaikeasti taklattava ongelma. Yleensä rehua ei ole lähialueilla sääolosuhteista johtuen tullut muillakaan, joten kaukaa rahtaaminen on yleensä ainoa vaihtoehto. Muutama vuosi sitten oli tilanne, jolloin säilörehua vietiin Vaasasta laivalla Uumajaan. Vastaavasti usean hyvän vuoden sattuessa peräjälkeen saattaa rehua kertyä huomattavia määriä varastoon. Tällöin olisi kannattavaa valita parhaat rehuerät syöttöön, kun taas heikompilaatuisten rehujen kohteena olisi biokaasutus. (Lahtinen 2021.)

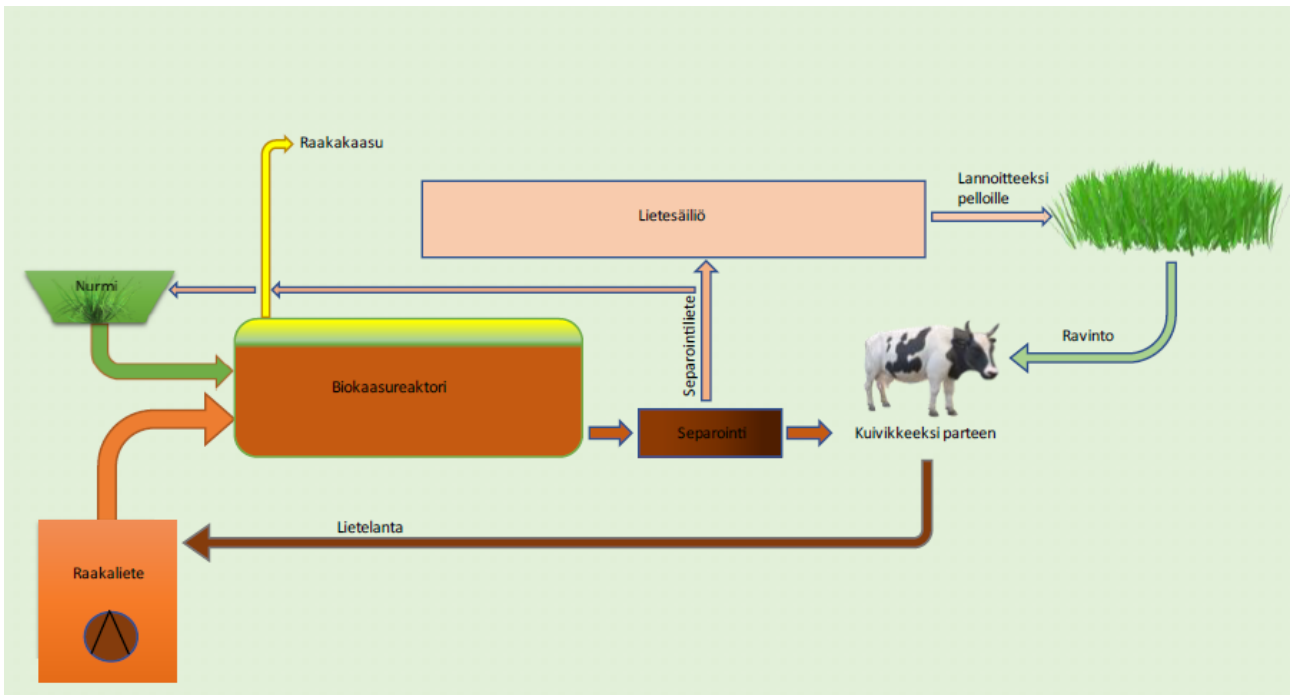
4.2 Laitteiston prosessiyhteydet ja pilottireaktori

Pilotoinnin suunnittelussa tavoitellaan kustannustehokasta ratkaisua, jossa hyödynnetään mahdollisimman kattavasti tilalla olemassa olevaa laitteistoa. Reunaehtona Paavolan tilan puolesta on, että kuivikkeet tulee jatkossakin saada lietteestä separoimalla. Paavolan tilalla lietelantaa syntyy vuorokaudessa noin $4,7\text{m}^3$, jonka kuiva-ainepitoisuudeksi arvioitiin lähtötilanteessa 7 % ja orgaanisen aineen osuudeksi 75 %. Prosessi suunnitellaan ajettavaksi pienellä viipymällä reaktorin läpi, koska kuiva-aine kiertää edelleen sisäisesti prosessiin. Tällä ajotavalla saadaan varmistettua separoitavan kuivikkeen laatu, sekä pienennettyä tarvittavan reaktorin kokoa, jonka tarkoituksena on parantaa järjestelmän kokonaistehokkuutta ja tilan omavaraisuutta. Prosessiyhteydet on tehty kustannustehokkaan biokaasureaktorin integroinnin- ja tuotettavan raakakaasun näkökulmasta. Raakakaasun käyttömahdollisuuksia käsitellään erikseen luvussa 4.5.

Pilotointivaiheessa prosessiyhteydet toteutettaisiin kuviossa 11 olevan kaavion mukaisesti. Jolloin lietelannan sisältämän kuiva-aineen kierto prosessissa olisi seuraava:

- Raakaliete pumpataan navetan kuilusta biokaasureaktoriin
- Biokaasuprosessin jälkeen mädätysjännös separoidaan kuivikkeeksi

- Separoitu kuivike palaa yhdessä lietelannan kanssa navetan kuiluun, josta se lähtee uudelle käsittelykierrokselle



Kuvio 11 Pilotoinnin prosessikytkentä

Separointiprosessista puristuva alhaisen kuiva-ainepitoisuuden liete ohjataan lietesäiliöön ja edelleen lannoitteeksi pelloille. Toisessa koeajosuunnitelmassa osa alhaisen kuiva-ainepitoisuuden lieteestä ohjataan takaisin prosessiin, jonka tarkoituksena on stabiloida mikrobitoimintaa. Reaktorissa on myös nurmen syöttömahdollisuus. Nurmen lisäksi säädetään kuiva-aineen määrää kierrossa, jolla varmistetaan riittävä kuivikemäärä jo ensimmäisessä koeajovaiheessa. Koeajosuunnitelmat sisältävät raakalietteen kuiva-ainepitoisuuden noston, joten tähän tarkoitukseen lienee kustannustehokkain vaihtoehto vuokrata separaattori koeajojen ajaksi. Kokonaistehokkuuden kannalta tulisi lisäksi miettiä lietesäiliön muuttamista jälkimädätysreaktoriksi ja kaasuvarastoksi. Tämä olisi kohtalaisen pieni lisäinvestointi ja toisi mukanaan monia hyötyjä, kuten pitkän viipymääajan ja tulppavirtausreaktorista poistettavan rejektin lämmön tehokkaan hyödyntämisen.

Pilotreaktori

Reaktorin koko on suunniteltu siten, että sillä voidaan käsitellä Paavolan maitotilalla ja vastaavan kokoluokan maatilalla syntyvä lietelanta ja tietty osuus nurmea. Koeajosuunnitelmat puolestaan on suunniteltu antamaan dataa optimaalisen nurmen määrän selvittämiseksi syöteseoksessa kyseisellä reaktorityypillä. Reaktorin tyyppi on pitkittäisellä sekoittimella varustettu tulppavirtausreaktori, jonka halkaisija on 3 metriä ja pituus 11 metriä, tällä saavutetaan noin 70 m³ aktiivivilavuus täyttöasteesta riippuen. Tulppavirtausreaktori toimii laajalla kuiva-ainepitoisuuden alueella ja mahdollistaa monipuoliset koeajot.

4.3 Koeajosuunnitelmat ja syötteistä saatava energia

Koeajosuunnitelmien tekoa ohjasi kohtalaisen korkea reaktorin kuormitettavuuden testaaminen ja esimerkkinä käytetyn maatilalan ominaisuudet esimerkiksi käytössä olevien syötteiden osalta. Suunnitelmat pyrittiin tekemään realistiseksi ja toteuttamiskelpoisiksi, edellä käydyn tutkimusosuuden tukemana. Hyvänä pohjana ja tukena suunnitelmille oli Luonnonvarakeskuksen laatima tutkimussuunnitelma reaktorin prototyypin koeajoihin.

Suunnitelmien on tarkoitus antaa hyvä pohja reaktorin ominaisuuksien testaamiseen ja niitä voidaan päivittää kohteen mukaiseksi, kun ensimmäinen biokaasulaitosinvestointi varmistuu. Suunnitelmat antavat lukijalle kuvan energiamääristä, joita lietelannasta ja rehusta on mahdollista saada tuotettua. Ja miten lietelannan separointi ja rehunosuuden muutokset vaikuttavat laskennallisesti biokaasun tuotantoon. Luvussa 4.5 käydään läpi biokaasun eri hyödyntämismahdollisuuksia ja niistä saatavia etuja, sekä tuottoja. Molemmat koeajosuunnitelmat on tehty pilottireaktorin mukaiselle noin 70 kuutiometrin aktiivivilavuudelle.

4.3.1 Koeajosuunnitelma 1

Ensimmäisen koeajojakson tarkoituksena on varmistaa laitekomponenttien toimivuus ja tehdä tarvittavia virityksiä esimerkiksi automaatioon. Lietteen ja nurmen seoksen metaanintuottopotentiaaliksi on arvioitu kirjallisuudesta löytyvä keskiarvo 220 m³CH₄/t vs. Taulukon 5 mukaisesti rehun osuus orgaanisesta kuormituksesta olisi 29 % ja tuorepainosta 8 %, kyseisen rehumäärän lisäyksen arvioitiin varmistavan kuivikkeiden riittävyys. Lietelannan kuiva-ainepitoisuutta nostettaisiin 9

%,iin ja rehun kuiva-ainepitoisuuden arvioitiin olevan 33 %. Näillä arvoilla laskettuna keskimääräiseksi kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan 11 % ja viipymäksi 16 vrk. Koeajo tehtäisiin mesofiilisellä lämpötila-alueella.

Taulukko 5 Koeajosuunnitelman 1 syötemäärät ja orgaaninen kuormitus

	Lietelanta	Rehu	Mädäte	Syöteseos
Reaktorin aktiivivilavuus, m ³	-	-	-	69
Syötettä tuorepainona vuorokaudessa, kgTP/vrk	3700,0	340,0	0	4040
Kuiva-ainepitoisuus, TS %	9,0	33,0	0	11,0
Orgaanisen aineen osuus, VS %	6,8	30,4	0	8,7
VS/TS-suhde	0,75	0,92	0	0,79
Syötteen tiheys, kg/m ³	-	-	-	950
Viipymä, HRT (vrk)	-	-	-	16,2
Orgaaninen kuormitus, OLR (kgVS/m ³ vrk)	3,6	1,5	0	5,1
Rehun osuus OLR:sta (%)	-	-	-	29
Rehun osuus TP:sta (%)	-	-	-	8

Taulukon 5 arvoilla laskettuna on syöteseoksesta mahdollista saada energiaa taulukon 6 mukaisesti enimmillään 282 MWh vuodessa, joka tekisi 772 kWh vuorokaudessa. Raakakaasun metaanipitoisuudeksi on arvioitu 60 %. Energiamäärän suuruusluokkaa ajatellessa tämä tarkoittaisi, että vuorokautisella tuotolla ajaisi 1253 kilometriä normaalilla henkilöautolla. Energiamäärää tarkastellessa ei ole otettu huomioon metaanintuottopotentialin toteutumista mädätysprosessissa, vaan nämä ovat maksimissaan syötteestä saatavia määriä, joihin koeajojen tuloksia voidaan verrata.

Taulukko 6 Koeajosuunnitelma 1 syöteseoksen laskennallinen energiamäärä

Syöte		Energia	
Syötemäärä vuorokaudessa KgTP	4040	CH ₄ lämpöarvo kWh/m ³	10
Kuiva-ainepitoisuus TS %	11	kWh/vrk	772
VS/TS-suhde	79 %	MWh/a	282
Orgaanisen aineen osuus, VS %	8,69	Kaasua m ³ /h	5,4
Orgaanisen aineen määrä, VS kg/vrk	351	Kaasua m ³ /a	46986
Metaanintuottopotentiaali m ³ CH ₄ /t vs	220	Kaasua kg/vrk	56
Orgaaninen kuormitus, kgVS/m ³ vrk	5,1	Km/vrk (kulutus 4.5 kg/100 km)	1253
Viipymä, HRT (vrk)	16		
Tiheys, kg/m ³	950		
Syötettä vuodessa, t/a	1474		
Raakakaasun metaanipitoisuus, CH ₄ %	60 %		

4.3.2 Koeajosuunnitelma 2

Koeajosuunnitelmassa 2 tavoitellaan kaasuntuotannon tehostamista nurmella ja siirrytään selkeästi kuivamädätysalueelle. Lietelanta on separoitu kuiva-ainepitoisuuteen 23 % ja rehun osuus orgaanisesta kuormituksesta on nostettu 54 %:iin, lisäksi rejektin separoimisprosessissa erotettu neste kierrätetään osittain takaisin prosessiin, takaisinkierrätys on 30 % syöteseoksesta. Nostaessa merkittävästi nurmen osuutta, arvioitiin syöteseoksen metaanintuottopotentiaaliksi 280 m³CH₄/t vs. Taulukon 7 mukaisesti lietalannan ja rehun yhteinen kuiva-ainepitoisuus on 27 % ja kierrätettävän rejektinesteen kanssa kokonaiskuiva-ainepitoisuudeksi muodostuu 23 %. Näillä arvoilla lasketuna viipymäksi tulee 21 vuorokautta. Koeajo aloitettaisiin mesofiilisellä lämpötila-alueella ja prosessin tasoituttua, sekä varmistuttua sopivista ravinnesuhteista siirrytään termofiiliselle lämpötila-alueelle. Termofiilisellä lämpötila-alueella voidaan saavuttaa huomattavasti suurempi metaanintuottopotentiaalini toteutuminen, kuten luvuista 2.3.2 ja 2.3.3 voidaan päätellä. Siirtyminen koeajojen välillä tulee tehdä rauhallisesti prosessia seuraten ja muistettava kuivikkeen laaduntarkkailu.

Taulukko 7 Koeajosuunnitelma 2 syötemäärät ja orgaaninen kuormitus

	Lietelanta	Rehu	Mädäte	Syöteseos
Reaktorin aktiivivilavuus, m ³	-	-	-	70
Syötettä tuorepainona vuorokaudessa, kgTP/vrk	1450,0	1000,0	735,0	3185
Kuiva-ainepitoisuus, TS %	23,0	33,0	10,0	23,1
Orgaanisen aineen osuus, VS %	18,0	30,4	4,0	18,7
VS/TS-suhde	0,78	0,92	0,40	0,81
Syötteen tiheys, kg/m ³	-	-	-	950
Viipymä, HRT (vrk)	-	-	-	20,9
Orgaaninen kuormitus, OLR (kgVS/m ³ vrk)	3,7	4,3	0,4	8,5
Rehun osuus OLR:sta (%)	-	-	-	54
Rehun osuus TP:sta (%)	-	-	-	41
Lietelannan ja rehun yhteinen TS %	-	-	-	27,1
Lietelannan ja rehun yhteinen OLR	-	-	-	8,1

Taulukon 7 arvoilla laskettuna on syöteseoksesta mahdollista saada energiaa taulukon 8 mukaisesti enimmillään 606 MWh vuodessa, tämä tekisi 1661 kWh vuorokaudessa. Raakakaasun metaanipitoisuudeksi on edelleen arvioitu 60 %. Energiamäärän suuruusluokkaa ajateltaessa tämä tarkoittaisi, että vuorokautisella tuotolla ajaisi 2695 kilometriä normaalilla henkilöautolla. Samoin kun koeajojaksossa 1 ei energiamäärää tarkasteltaessa ei ole otettu huomioon metaanintuottopotentialin toteutumista mädätysprosessissa, vaan nämä ovat maksimissaan syötteestä saatavia määriä, joihin koeajojen tuloksia verrataan.

Taulukko 8 Koeajosuunnitelma 2 syöteseoksen laskennallinen energiamäärä

Syöte		Energia	
Syötemäärä vuorokaudessa KgTP	3185	CH ₄ lämpöarvo kWh/m ³	10
Kuiva-ainepitoisuus TS %	23	kWh/vrk	1661
VS/TS-suhde	81 %	MWh/a	606
Orgaanisen aineen osuus, VS %	18,63	Kaasua m ³ /h	11,5
Orgaanise aineen määrä, VS kg/vrk	593	Kaasua m ³ /a	101070
Metaanintuottopotentiaali m ³ CH ₄ /t vs	280	Kaasua kg/vrk	121
Orgaaninen kuormitus, kgVS/m ³ vrk	8,5	Km/vrk (kulutus 4.5 kg/100 km)	2695
Viipymä, HRT (vrk)	21		
Tiheys, kg/m ³	950		
Syötettä vuodessa, t/a	1163		
Raakakaasun metaanipitoisuus, CH ₄ %	60 %		

4.4 Koeajojen kesto aika ja tarvittavat analyysit

Koeajojen tulee olla kestoaltaan riittävän pitkiä, jotta voidaan varmistua saatujen tulosten laadusta. Lähtökohtana koeajojen kestoalle voidaan pitää prototyypin tutkimussuunnitelmassa Pyykkösen (2019, 3) asettamaa 3x hydraulinen viipymä. Tämä tarkoittaisi ensimmäisen koeajojakson kestoajaksi 48 vuorokautta ja toiselle jaksolle tulisi pituutta 63 vuorokautta. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon koeajojen välinen siirtymäjakso ja reaktorin ylösajoaika, joka riippuu pitkälti käytetystä ympästä. Jos ympä saadaan vastaavalla syöteseoksella ja lämpötila-alueen omaavasta reaktorista, voidaan prototyypin tutkimussuunnitelmaan nojaten ensimmäisen kokeen syöttö nostaa nopeasti suunnitelman mukaiselle tasolle. (Pyykkönen 2019, 3.)

Koeajojen edetessä tulee seurata syötteiden kuiva-ainepitoisuutta (TS), orgaanisen aineen osuutta kuiva-aineessa (VS) ja pH-arvoja. Mikäli mahdollista niin haihtuvia rasvahappoja (VFA) ja alkaliniteetin suhdetta olisi myös hyvä analysoida etenkin muutosvaiheessa siirryttäessä koeajovaiheeseen 2. Tämä suhde kertoo mahdollisista prosessin häiriöistä jo ennen pH-tason muutosta. Syötteiden TS, VS ja pH-arvoja tulee seurata vähintään kerran viikossa, jotta voidaan varmistua koeajosuunnitelman mukaisesta etenemisestä. pH-arvot olisi hyvä mitata syötteestä, reaktorista ja rejektistä, reaktorissa tulee olla vähintään kaksi mittauspistettä, jotta pH-arvon kehitystä on mahdollista seurata tulppavirtauksen edetessä.

Koeajojen aikaisen seurannan lisäksi tulee näytteitä kerätä talteen kerran viikossa syötteestä ja rejektistä, näytteet tulee säilöä hyvin esimerkiksi pakastamalla. Näytteistä voidaan koeajojakson loputtua muodostaa kokoomanäyte tai useampia näytteitä, mikäli halutaan laboratorioanalyysia tiheämmällä otannalla. Näistä näytteistä voidaan määrittää jälkikäteen esimerkiksi metaanintuottopotentiaali (BMP) ja tehdä ravinneanalyysi. Metaanintuottopotentiaalimääritys on välttämätön toimenpide, jotta tiedetään kuinka paljon syötteen potentiaalista saadaan reaktorissa talteen. Ravinneanalyysien perusteella puolestaan saadaan tieto rejektin lannoiteominaisuuksista. Kymäläisen ja Pakarisen (2015, 94 – 95) mukaan kaikki ravinteet ja hivenaineet kulkeutuvat koko prosessin läpi aina rejektiin asti ja anaerobisessa hajoamisessa tapahtuu typen liukoistumista. Liukoinen tyyppi on paremmin kasvien käytettävissä ravinteena ja prosessi parantaa rejektin ravinnearvoa syötteeseen verrattuna. (Pyykkönen 2019, 11 – 15.)

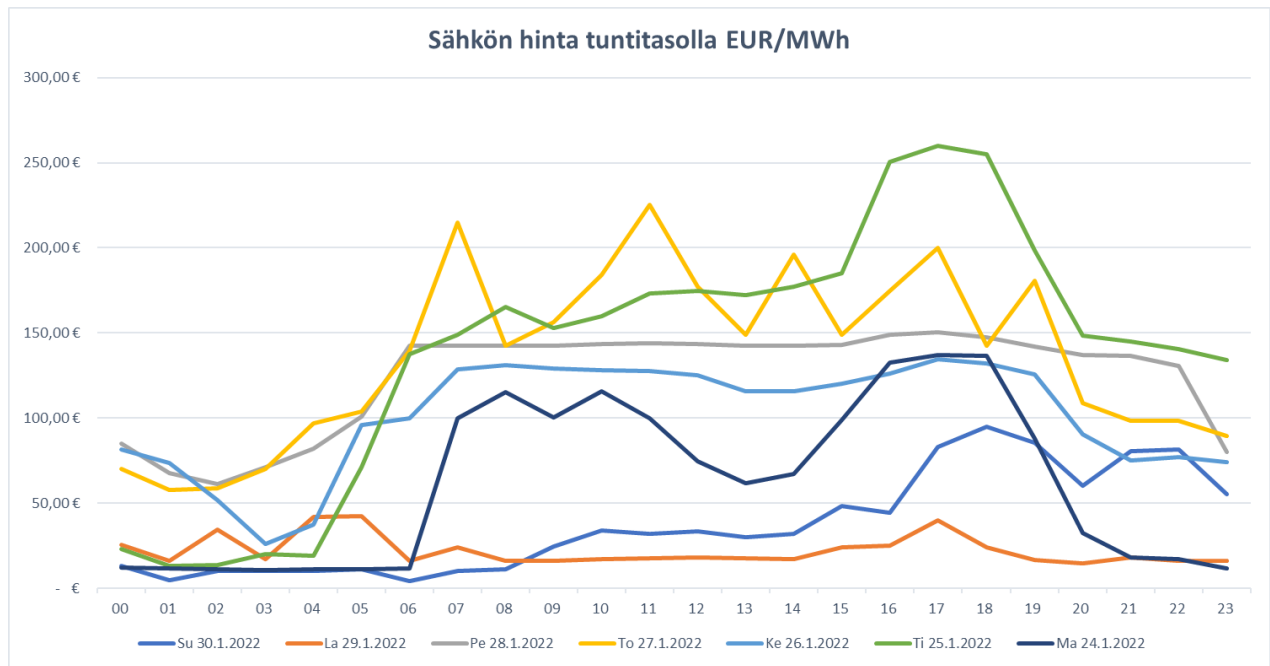
4.5 Raakakaasun hyödyntäminen ja tuotannon optimointi

4.5.1 CHP-laitos sähkön ja lämmön tuotantoon

CHP-laitos on yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon tarkoitettu laitos, joita on tarjolla useilla eri tekniikoilla ja monelle eri polttoainevaihtoehdolle. Opinnäytetyötä varten selvitin sopivaa laitetta pilotointia vastaavaan kokoluokkaan neljältä eri toimittajalta ja selvityksen kohteena oli perinteinen mäntämoottorilla oleva laitos. Melko pian selvisi, että pienimmät sähkön nimellisteholtaan olevat laitokset ovat pääasiassa tarkoitettuja puhtausasteeltaan liikennekäyttöön tarkoitettulle metaanille. Nyt kuitenkin on tarkoituksena käyttää reaktorista saatava raakakaasu mahdollisimman pienellä käsittelyllä polttoaineeksi laitokselle, koska kaasun käsittely tuo lisäkuuja. Tähän vaatimukseen löysin laitteita 20 kW – 30 kW kokoluokasta. Lisäksi työn toimeksiantaja toivoi referenssikohteen löytymistä Suomesta. Lopulta tarkemman tarkastelun alle otettiin Tedom-merkkinen 30 kW CHP-laitos.

CHP-laitoksen kokonaiskannattavuutta arvioidessa tulee laitehankinnan lisäksi ottaa huomioon huoltokustannukset koko laitteen elinkaaren ajalla, sekä optimaalinen käyttö koneen ominaisuuksien ja sähkön hinnan mukaan. CHP-laitoksen hyötysuhde on parhaimmillaan laitoksen käydessä nimellistehollaan, eli täydellä teholla ja osatehoille mentäessä alenee sähköntuotannon hyötysuhde koneen tuottaessa enemmän lämpöä. Myös huoltokulut kasvavat osatehoilla suhteessa tuotettuun energiaan, koska huollot tehdään koneen käyntituntien perusteella. Nyt valittu 30 kW laitos on liian iso yhtäjaksoiseen tuotantoon, mutta se antaa mahdollisuuksia optimoida tuotantoa sähkön hinnan mukaan. Laitoksella tuotetun lämpöenergian kannattavin hyödyntäminen tulee mieltä jokaisen kohteen kannalta erikseen.

Sähkön pörssihinta vaihtelee merkittävästi lyhyelläkin aikavälillä ja on kalleimmillaan yleisesti arkipäivinä ja päiväsaikaan. Kuviossa 12 on otettu esimerkki vuodelta 2022 viikolta 4 sähkön hinnan vaihtelusta tuntitasolla. Kuvioista näkee selvästi, kuinka hinnat lähtevät kohoamaan pääsääntöisesti klo 05:00 jälkeen ja palaavat matalalle tasolle klo 19:00 jälkeen. Tämä toistuu arkipäivinä, mutta viikonloppuna hinta pysyy matalalla tasolla koko vuorokauden ajan. Esimerkkinä käytetyn ajanjakson alhaisin hinta megawattitunnille löytyy sunnuntailta, jolloin hinta oli 4,01 €/MWh, vastaavasti korkein hinta löytyy tiistailta 259,95 €/MWh. (Nord pool AS. 2022.)



Kuvio 12 Sähkön hinnan vaihtelu tuntitasolla 4/2022 (Nord pool AS. 2022.)

Taulukkoon 9 on tehty esimerkkilaskelma tuotantoajankohdan vaikutuksesta sähköstä saatavaan tuottoon. Raakakaasun määränä on käytetty koeajosuunnitelman 2 mukaista kaasumäärää ja metaanintuottopotentialin (BMP) toteumaksi on arvioitu 80 % syötteestä. Jos sähköä tuotettaisiin tasaisesti koko viikon ajan olisi siitä saatava hinta keskimäärin 88,88 € megawattitunnilta. Paras kannattavuus tuotetusta sähköstä saataisiin keskittämällä tuotanto kello 6:00 – 19:00 välille ja arkipäiville, jolloin sähköstä saataisiin keskimäärin 144,82 € megawattitunnilta. Tässä tilanteessa tuotannon optimoinnilla saavutetaan noin 63 prosenttia parempi tuotto sähkön myynnistä ja lisäksi laitokselle kertyy käyttötunteja ainoastaan noin 43 prosenttia verrattuna jatkuvaan tuotantoon. Optimoinnin toteuttaminen vaatii hieman suurempaa alkuinvestointia johtuen isomman kaasuvaramon ja lämpövaraajan tarpeesta. Mutta sillä voidaan saavuttaa taloudellisesti merkittäviä positiivisia vaikutuksia tuotantoon.

Taulukko 9 Sähkön tuotannon optimoinnin vaikutus kannattavuuteen

Sähkön hinta € / MWh 2022, viikko 4		Raakakaasua m ³ vuorokaudessa (BMP80%)	CHP-laitoksen kaasun kulutus nimellisteholla Nm ³ /h	Laitosta voidaan ajaa täydellä teholla (h)	CHP-laitoksen nimellisteho MW	Sähköstä saatava tuotto vuorokaudessa	Sähköstä saatava tuotto 30 vrk
Keskiarvo koko viikko	88,88 €	221	15,2	14,5	0,03	38,7 €	1 162 €
Keskiarvo klo. 6 - 19	112,17 €					48,9 €	1 467 €
Keskiarvo klo. 6 -19 arkipäivät	144,82 €					63,1 €	1 893 €
Vuoden 2021 keskiarvo	72,34 €					31,5 €	946 €

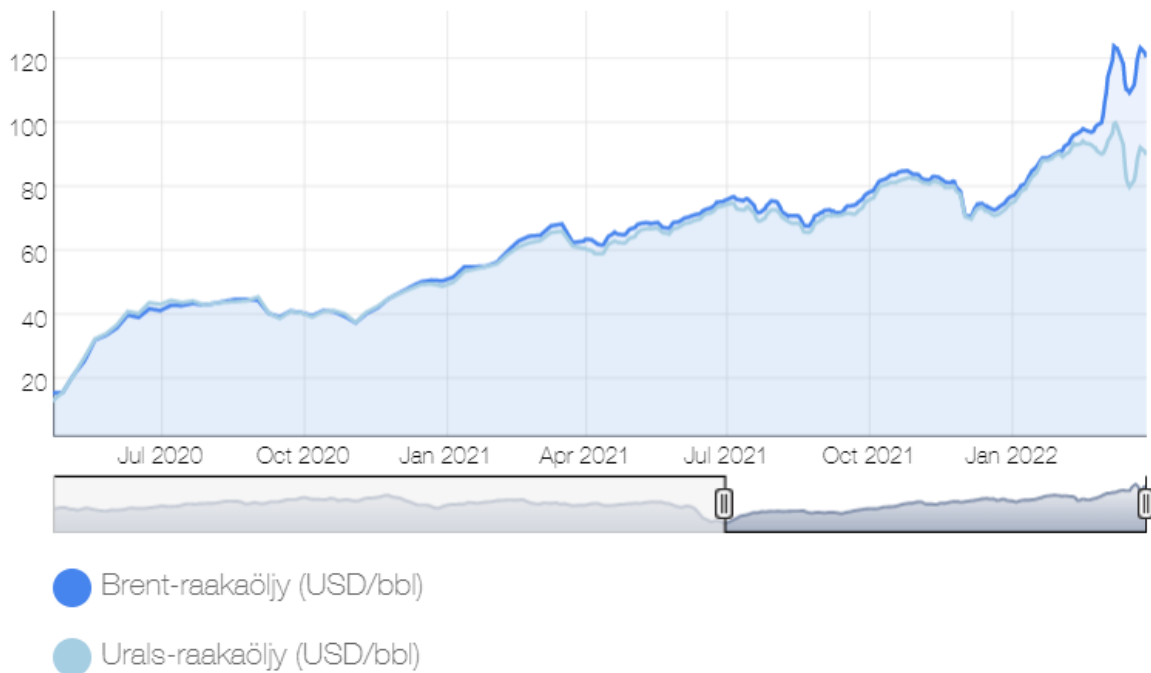
CHP-laitoksen liittämistä julkiseen sähköverkkoon sovitaan jakeluverkon haltijan kanssa ja sähkön myynnistä sovitaan myyjäyhtiön kanssa. Sähkön myyjäyhtiö voi olla esimerkiksi Fortum Oyj ja heiltä löytyy pientuotantolaitoksille tarkoitettu sopimus nimeltään Fortum lähisähkö. Tämä sopimus mahdollistaa oman sähkön myynnin pörssisähkön tuntihinnalla Fortumille. Sopimukselle ei ole asetettu toistaiseksi perusmaksua, mutta sähkön myynnistä otetaan välityspalkkio 0,24 c/kWh. Eri sähkönmyyjillä on olemassa erilaisia sopimusmalleja ostaa ylijäämäsähköä pientuottajilta, joista voi valita itselleen sopivan vaihtoehdon. Lisäksi sähköverkon haltijoilla tulee varmistaa kunkin alueen vaatimukset julkiseen verkkoon liittyessä. Sähkön pientuottajaksi luetaan yleisesti nimellisteholtaan alle 100 kVA tuotantolaitokset, kyseiset laitokset eivät ole verovelvollisia. (Fortum 2022; Fortum energiapalvelu 2022.)

4.5.2 Kaasun jalostaminen biometaaniksi liikennekäyttöön

Tilalla tuotettu biokaasu on mahdollista jalostaa biometaaniksi. Jalostaminen tarkoittaa kaasun puhdistusta ja metaanipitoisuuden nostoa liikennekäyttöön sopivalle tasolle. Kaasun jalostamiseen on tarjolla monia eri tekniikoita, jotka soveltuvat eri kokoluokkiin, myös raakakaasun ominaisuudet vaikuttavat tekniikan valintaan. Käytettävistä tekniikoista löytyy paljon tietoa kirjallisuudesta, joten tässä työssä keskitytään antamaan selvitys biometaanin mahdollisuuksista maatilalla yleisellä tasolla.

Kuviossa 13 on trendi raakaöljyn hintakehityksestä kesästä 2020 aina 29.3.2022 asti, suunta on ollut pääsääntöisesti kasvava ja käynyt vuoden 2022 alkupuolella yli 120 USD (Yhdysvaltain dollaria) tynnyriltä. Hintaennätys on vuodelta 2008, jolloin hinta kävi 147,50 dollarissa. Nouseva öljyn hinta näkyy melko nopeasti kuluttajilla asti pumppuhinnoissa. Kuviossa näkyvä Brentin ja venäläisen Urals-raakaöljyn hinnan erkaantuminen selittyy maailmalla olevan geopoliittisen tilanteen takia.

Samasta syystä myös maakaasun ja muun energian hinta on noussut jyrkästi viime aikoina. (Pantsu & Hiilamo 2022.)



Kuvio 13 Raakaöljyn hintakehitys (Neste 2022.)

Moottoripolttoöljyn kulutus poikkeaa eri mautilojen kesken paljonkin riippuen onko kyseessä esimerkiksi maitotila vai lihakarjaa kasvattava tila ja kasvatetaanko lisäksi viljaa merkittävässä määrin. Polttoaineen tarpeesta riippuen raakaöljyn voimakkaat hintamuutokset voivat vaikuttaa maatalouden kannattavuuteen lyhyelläkin aikavälillä. Taulukossa 10 on käyty läpi tilannetta, kun kaikki bio-kaasu jalostetaan biometaaniksi. Esimerkissä tilan polttoöljyn kulutus on arvioitu olevan 12000 litraa vuodessa. Tarkastelussa käytetään edelleen koeajosuunnitelman 2 mukaista kaasumäärää, kun metaanintuottopotentialin (BMP) toteumaksi on arvioitu 80 % syöttestä.

Taulukko 10 Biometaanin myynti ja käyttö maatilalla

Tuotettu raakakaasu (BMP 80%, CH ₄ 60%)	222	m ³ /vrk
Metaanin hävikki jalostimessa	1 %	
Sähkönkulutus	0,35	kWh/Nm ³ (raakakaasua)
Vedenkulutus	35	l/h
Jalostimen kapasiteetti	15	m ³ /h
Käyttötunnit vuorokaudessa	14,8	h/vrk
Tuotettu biometaani	132	m ³ /vrk
Tuotettu biometaani	96,5	kg/vrk
Energiaa vuorokaudessa	1322	kWh
Energiaa vuodessa	482474	kWh
Tilan polttoöljyn kulutus vuodessa	12000	litraa
Polttoöljyn hinta (pö.fi 28.3.2022)	1,90 €	l
Polttoöljy vuodessa	22 800 €	a
Energiaksi muutettuna vuodessa (lämpöarvolla 10kWh/litra)	120000	kWh/a
Ylijäämä kaasu	362474	kWh/a
Ylijäämä kaasu kiloina	26461	kg/a
Biokaasun tankkaushinta (Polttoaine.net 28.3.2022 keskiarvo)	1,63 €	kg
Kuvitteellinen jakelalta saatava hinta biokaasusta	1,00 €	kg
Myytävän kaasun arvo vuodessa	26 461 €	a
Kunnossapitokustannus	4 500 €	a
Sähkön hinta	0,135 €	kwh
Veden hinta (7,5 € / m ³)	1 418 €	a
Käyttö ja kunnossapito yhteensä	9 738 €	a
(Polttoöljyn korvaus + myynti) - (käyttö ja kunnossapito)	39 523 €	a

Esimerkilaskennassa käytetyn jalostimen kapasiteetti on 15m³ raakakaasua tunnissa ja se perustuu vesipesutekniikkaan. Metaanin hävikin prosessissa on arvioitu olevan 1 % ja jalostimen sähkön- ja vedenkulutukseksi on otettu budjettitarjouskyselyssä arvioitu keskiarvo. Yksinkertaisuuden vuoksi laskelmassa on oletettu, että kaikki tilalla käytetty polttoöljy korvattaisiin biometaanilla. Näin ollen polttoöljyn korvaamisesta voidaan laskea 22 800 euron säästö ja ylijäämäkaasu myytäisiin hintaan 1 €/kg. Polttoaine.net sivuston mukaan biokaasun hinta tankkausasemilla 28.3.2022 oli 1,63 €/kg, joten laskelman mukainen euron kilohinta on realistinen saada. Näin ylijäämäkaasun arvoksi saadaan 26 461 euroa. Tämä hinta-arvio perustuu kaasun jakelijalta saatavaan hintaan. Mikäli tilalle investoidaan oma tankkauspiste on kaasusta mahdollista saada korkeampi korvaus. Jalostuslaitoksen käytön- ja kunnossapidon kustannukset jäävät alle 10 000 euron vuodessa ja tuottoa kaasusta saadaan 49 000 euroa. Katetta toiminnalle jäisi siis 39 523 euroa.

Laskelmassa on keskitytty ainoastaan kaasun myyntiin, sekä polttoöljyn korvaamiseen. Anaerobisen käsittelyn tuloksena saatavaa lietteen ravinnearvon parantumista ei ole otettu huomioon, mutta toisaalta reaktorin lämmitystäkään ei tehdä kaasulla vaan jollain muulla energialla. Lisäksi on otettava huomioon tarvittavat investoinnit, jotta esimerkiksi traktorin tekniikka saadaan päivitettyä biometaanilla toimivaksi. Kasari Machineryn (2022) mukaan nykyinen hintataso traktorin konversiolle on noin 15 000 euroa tai enemmän, traktorimallista riippuen. He tekevät asennukset avaimet käteen periaatteella ja asennus on mahdollista tehdä lähes kaikkiin dieselmootoreihin dual fuel tekniikalla. Taulukon 10 esimerkistä voi tehdä yhteenvedon, että biometaaniksi jalostaminen tässä kokoluokassa on kannattavinta sellaisissa kohteissa, joissa on riittävästi omaa polttoaineen kulutusta. Riittävän suurella omalla käytöllä varmistetaan kaasun tehokas hyödyntäminen ja paras kannattavuus sille saadaan korvaamalla polttoöljy.

Verotus ja alle 1 GWh vuosituotanto

Biokaasun verotus on muuttunut 1.1.2022, muutos koskee sekä tuottajia että käyttäjiä. Valmistevero muodostuu liikennekäytössä ominaisuuksien mukaan energiasisältö- ja hiilidioksidiverosta, sekä huoltovarmuusmaksusta. Mikäli tuotettu biokaasu täyttää kestävästi tuotetun kaasun kriteerit putoaa verotaso noin puoleen maakaasuun verrattuna. Lisäksi kestävästi tuotettu ja lämmitykseen käytetty biokaasu on verotonta. Tärkeä huomio biokaasun verotuksessa on alle 1 GWh kalenterivuodessa tuottavat laitokset. Nämä laitokset eivät rekisteröidy biokaasun tuottajaksi vaan biokaasun pientuottajaksi. Pientuottajan ei tarvitse osoittaa kaasun kestävyttä ja kaasu on verovapaata paikallisessa käytössä. Tämän opinnäytetyön esimerkit jäävät siis reilusti alle tuon rajan. (Maakaasun, biokaasun, polttoturpeen, kivihiilen ja mäntyöljyn valmistevero 2022.)

4.6 Maaseudun julkinen tuki ja lainsäädäntö

4.6.1 Biokaasulaitokseen liittyvä lainsäädäntö

Biokaasulaitoksen rakentamiseen ja kaasuntuottamiseen liittyy useita eri lakia ja asetuksia, nämä voivat muuttua nopeallakin aikataululla ja ajantasainen tilanne tulee tarkistaa heti investointisuunnitelmien alkuvaiheessa ja tarvittavien lupahakemusten yhteydessä.

Ympäristölupa

Ympäristölupaan liittyvää toimintaa ohjaa:

- Ympäristönsuojelulaki 527/2014
- Ympäristösuojeluasetus 713/2014

Selkeitä ympäristöluvan vaatimia biokaasulaitoksia ovat jätteenkuormitettuja massoja käsittelevät laitokset. Maatiloilla puolestaan tilannetta arvioidaan tapauskohtaisesti ja mikäli toiminnasta aiheutuvat ympäristövahingot arvioidaan vähäisiksi voi asia hoitua yleisellä ilmoitusmenettelyllä. Ympäristölupaa haetaan aluehallintoviranomaiselta ja ilmoitusmenettely hoidetaan kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen kanssa. (Pyykkönen, Seppänen, Markkanen, Rasi, Luostarinen, Virkkunen & Järvinen 2021, 17.)

Laitteisto- ja rakennusluvut, sekä työturvallisuus

Biokaasulaitoksen rakentamista ja siihen liittyviä laitteistoja ohjaa:

- Rakennuslaki 132/1999
- Asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009
- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005
- Laki eräistä naapurussuhteista 26/1920
- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016
- Painelaitelainsäädäntö 1144/2016
- Mittauslaitelaki 707/2011
- Työturvallisuuslaki 738/2002
- Pelastuslaki 379/2011
- ATEX työolosuhdesäädös, EU-direktiivi 99/92/EY

Laitoksen toimittajan vastuu on huolehtia turvallisista työolosuhteista ja jokaisen biokaasulaitoksen laitteiston tulee olla turvallisia käyttää. Niiden tulee täyttää esimerkiksi työturvallisuus-, pelastus- ja sähköturvallisuuslain ja painelaitelainsäädännön mukaiset vaatimukset. Mikäli laitos sisältää tankkausaseman tulee jakelumittarin täyttää mittauslaitelain vaatimukset. Rakennusluvan puolesta on enemmän vaihtelua, joka tulee lähinnä laitoksen kokoluokasta. Käytännössä pienemmän kokoluokan laitokset menevät kevyemmällä lupaprosessilla ja vastaavasti suuret biometaania tuot-

tavat laitokset vaativat rakennusluvan turvallisuus- ja kemikaalivirastolta. Tukesin luvan alla toimivat laitokset tulee tarkastuttaa käyttöönotto vaiheessa ja joka kahdeksas vuosi, tarkastuksen suorittaa hyväksytty tarkastuslaitos. Ilmoitusmenettelyllä voi toimia alle 5 tonnia puhdistamatonta metaania varastoivat laitokset, ilmoitus tehdään paikalliselle pelastuslaitokselle. (Pyykkönen ym. 2021, 17 - 18.)

Lannoitelainsäädäntö

Myös lannoitelainsäädäntöä sovelletaan laitoskohtaisesti, tähän vaikuttavat muun muassa käytetty syöte ja rejektin loppusijoitus. Lainsäädäntöä ohjaa:

- Laki eläimistä saatavia sivutuotteista 517/2015
- EU-asetus 1509/2009
- Lannoitevalmistelaki 539/2006
- Maa ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteasetukset 24/2011, 12/2012 ja 7/2013
- Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014
- Euroopan komission toimeenpanoasetus 834/2007

Mikäli biokaasulaitoksella käytetään ainoastaan omalta tilalta peräisin olevia syötteitä ja rejektiä ei kuljeteta pois tai jalosteta myytäväksi tuotteeksi, ei lannoitelainsäädäntö koske kyseisen tilan biokaasulaitosta. Käytännössä tilan ulkopuoliset syötteet ja niiden laatu luovat vaateen Ruokavirastolta saatavalle hyväksynnälle. Jos mädätysjäännöstä myydään tai jatkojalostetaan tilan ulkopuolelle, on kyseessä lannoitevalmistus, joka tuo mukanaan oman lainsäädännön ja asetukset. Lisäksi luomutuotantoon kelpaavat lannoitteet vaativat tietyt soveltuvuudet, joiden tietokantaa ylläpitää Ruokavirasto. (Pyykkönen ym. 2021, 19.)

4.6.2 Biokaasulaitosten tuet maataloilla

Maatilakohtaiselle biokaasulaitokselle voi käytännössä hakea kolmea eri tukimuotoa, jotka ovat käytettävissä suoraan biokaasulaitosinvestointiin. Nämä ovat maatalouden investointituki, maa-seudun yritysrahoitus ja energiatuki.

Jos tuotetusta kaasusta saatu energia käytetään ainoastaan maatalouden tarpeisiin, on oikea tukimuoto maatilain investointituki. Tämä edellytys tulee täyttää kolmen vuoden ajan, jonka jälkeen energiaa voisi halutessa myydä tilalta ulos. Tuen suuruus on nykyisellään 50 % ja tulee jatkumaan ainakin vuoden 2022 loppuun. Tukea voi saada maatilakohtaisesti enintään 1 500 000 euroa yhteensä kolmen verovuoden aikana. Jos maatila tai useamman maatilain yhteisyritys perustaa biokaasulaitoksen, joka myy tuotetusta energiasta yli 80 % ulos, vaihtuu haettava tukimuoto maaseudun yritysrahoitukseen. Myös tämän tuen suuruus on 50 % ja perustuu maaseuturahaston elpymisvälineeseen. Korotettu 50 % tuki on voimassa vuoden 2022 loppuun saakka. Energiatukea on myös mahdollista käyttää biokaasulaitosinvestointiin, jos tuotetusta energiasta yli 80 % myydään tilan ulkopuolelle. Tähän ei ole määritelty tarkkaa tuen suuruutta biokaasulaitokselle vaan se määritetään hankkeen mukaan, minimissään tuki on 20 %. (Pyykkönen ym. 2021, 22 – 23.)

Tuen lisäksi tarvitaan omarahoitus, joka on usein ainakin osittain velkarahaa. Investoinnin rahoitukselle voidaan myöntää valtion takaus helpottamaan pankkien riskinsietokykyä. Valtiontakaus on pääsääntöisesti enimmillään 30 % kokonaisrahoituksesta. Enimmäismäärä valtiontakaukselle on 500 000 euroa investointia kohden. Toinen takauksia myöntävä taho on Finnvera, jonka takausta voidaan käyttää vakuutena pankkilainalle. Finnvera myöntää myös lainotusta esimerkiksi biokaasulaitoksen kaltaisiin hankkeisiin ja se voi olla osittainen laina pankin myöntämään kokonaisrahoitukseen. (Pyykkönen ym. 2021, 23.)

5 Tulokset

5.1 Kannattavuuden tarkastelu

Kokonaishyödyistä huolimatta biokaasulaitosinvestointeja pidättää edelleen pelko laitoksen kannattavuudesta ja investointikustannuksia täytyisi saada alaspäin suhteessa tuotettuun energiaan. BGCNordic on tehnyt tätä kehitystyötä reaktorin osalta, jotta laitokset olisi mahdollista investoida tunnettua tasoa pienemmälle tilalle. Nykytasolla olevat tukimahdollisuudet helpottavat osaltaan investointipäätösten tekemistä ja biokaasuala onkin ottanut viime aikoina askeleen eteenpäin, sama suuntaus tulisi jatkua tulevaisuudessakin. Lisäksi alalle täytyy saada pitkäjänteinen näkymä biokaasulla tuotetusta energiasta saatavaan tuottoon. Tämä lisäisi uskallusta tehdä päätöksiä maatilakokoluokan investoinneista.

Opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä oleva geopoliittinen tilanne Venäjän hyökättyä Ukrainaan vaikuttaa merkittävästi energian-, sekä lannoitteiden hintaan. Lisäksi tilannetta edeltänyt koronapandemiasta johtuva komponenttipula on rajoittanut laitteiden saatavuutta ja nostanut laitteiden hintoja. Laitteiden- ja energian hinnat tulevat heilumaan pitkään, eikä ole saatavilla arvioita mihin hinnat voisivat tasaantua näiden kriisien jälkeen. Tämän vuoksi työssä ei esitetä tarkkoja laskelmia esimerkkilaitoksista, vaan annetaan suuntaa antavat takaisinmaksuajat kullekin laitoskonaisuudelle. Energiämääränä on käytetty koeajosuunnitelman 2 mukaista määrää ja metaanintuottopotentiaalin toteumaksi on edellisten esimerkkien tapaan arvioitu 80 % syötteestä.

5.1.1 CHP-tuotanto

Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon kannattavuutta tarkasteltaessa nousee lämpöenergian hyödynnettävyys merkittävään rooliin. CHP-tuotannosta on laskettu kolme esimerkkiä, kun korvattavia lämmitysmuotoja ovat hake-, sähkö- ja öljylämmitys. Korvattavan lämmön energiamäärä vastaa kutakuinkin esimerkkimaatilan tarpeita ja lämpöenergian tarve maatilojen kesken voi vaihdella erittäin paljon, joka vaikuttaa merkittävästi kannattavuuteen. Tarkastelussa sähkön hinta on asetettu keskiarvoksi korvattavan ostosähkön hinnasta ja myytävän pörssisähkön hinnasta. Myytävä sähkö on ajateltu tuotettavan taulukon 9 mukaisesti optimoimalla tuotantoa. Laitoksen sähkön nimellisteho on 30 kW ja sähkön hyötysuhde 31 %. Kaikissa laskelmissa on seuraavat perusarvot:

• Sähkön ostohinta	0,12 € / kWh
• Korvattava lämpöenergiämäärä	100 000 kWh / vuodessa
• Ravinnehöyry	4000 € / vuodessa
• Huollot ja korjaukset kokonaisinvestoinnista	2 %
• Korkokulut keskimäärin laina-ajalta	2,5 %
• Vakuutukset	1500 € / vuodessa

Biokaasulaitosinvestoinnille on laskettu 50 % tuki, investointi koostuu seuraavasti:

- BGCNordic biokaasureaktori
- Kaasuväkä
- CHP-laitos 30 kW
- Rikinpoistoyksikkö
- Lämmityskattila
- Tarvittavat perustukset ja rakenteet
- Lämmönjakokanaalia 300 metriä
- Pientarvikkeet ja luvat

Ensimmäiseksi on tarkasteltu tilannetta, jossa tilan vaatima lämpö on aiemmin korvattu hakelämmityksellä. Hakkeen hinnaksi on annettu laskelmissa 30 €/MWh. Toisessa tarkastelussa lämpöenergia on tuotettu sähköllä 0,12 €/kWh hinnalla ja kolmannessa öljyllä, jonka litrahinnaksi on asetettu 1,7 €/l. CHP-laitokselle kertyy käyttötunteja tällä kaasumäärällä ja ajotavalla 5300 tuntia vuodessa ja esimerkiksi Tedom T30 laitteelle on annettu 60 000 tunnin käyttötuntiraja, jonka jälkeen suoritetaan laitoksen tehdastarkastus ja kunnostus GO (General overhaul). Tällä ajotavalla saavutetaan siis noin 11 vuoden käyttöikä ennen tehdaskunnostusta. Kaikki kolme tarkastelua poikkesivat merkittävästi toisistaan. Korkein takaisinmaksuaika muodostui korvattaessa hakkeella tuotettua lämpöenergiaa, asettuen noin 10 vuoteen. Korvattaessa sähkölämmitys takaisinmaksuaika putosi 6 - 7 vuoden välille. Ja korkean öljyn hinnan vuoksi öljylämmitystä korvattaessa takaisinmaksuaika jäi ainoastaan hieman yli viiteen vuoteen. Tuotetun lämpöenergian määrästä jäi ylijäämää vielä 160 000 kWh vuodessa syötteiden lämmityksen ja reaktorin lämpöhäviöiden jälkeenkin. Joten oikein hyödynnettynä tällä voidaan saavuttaa selkeä parannus laitoksen kannattavuuteen.

5.1.2 Jalostus biometaaniksi

Sähkön- ja lämmöntuotantoon verrattuna biometaaniksi jalostaminen vaatii suuremman alkuinvestoinnin laitoskokonaisuuden osalta. Mutta toisaalta kaikki tuotettu kaasu saadaan jalostettua saman arvoiseksi lopputuotteeksi tuotantoajankohdasta riippumatta. Tämän kannattavuuslaskelman mukainen jalostuslaitos pitää sisällään paikalliseen käyttöön tarkoitetun tankkauspisteen, eikä sovellu sellaisenaan julkiseen käyttöön. Kannattavuutta tarkasteltiin kahdella eri mallilla, ensimmäisessä laskennassa korvataan tilan nykyinen 12 000 litran moottoripolttoöljyn vuosikulutus ja ylijäämä myydään jakelijalle. Toinen laskenta on tehty erityyppiselle tilalle, jolla on paljon koneotyötä ja kaikki tuotettu biometaani menisi omaan käyttöön. Molemmissa laskelmissa on käytetty seuraavia arvoja:

• Sähkön ostohinta	0,12 € / kWh
• Ylijäämäkaasun arvo jakelijalle myytynä	1 €/kg
• Moottoripolttoöljyn hinta	1,7 €/l
• Ravinnehyöty	4000 € / vuodessa
• Huollot ja korjaukset kokonaisinvestoinnista	2,5 %
• Korkokulut keskimäärin laina-ajalta	2,5 %
• Vakuutukset	1500 € / vuodessa

Biokaasulaitosinvestoinnille on laskettu 50 % tuki, investointi koostuu seuraavasti:

- BGCNordic biokaasureaktori
- Kaasuvarasto
- Jalostuslaitos, kapasiteetti 15 m³/h
- Lämmityskattila
- Tarvittavat perustukset ja rakenteet
- Pientarvikkeet ja luvat
- Traktorin konversio dual fuel tekniikkaan 2 kpl

Tarkastelussa prosessin vaatima lämpöenergia on tuotettu kaasukattilalla 90 % hyötysuhteella ja metaanihävikki jalostimessa on 1 %. Mikäli 12 000 litraa polttoöljyä korvataan biometaanilla ja ylijäämä myydään hintaan 1 €/kg on kokonaisuuden takaisinmaksuaika lähes 10 vuotta. Mutta tilanne muuttuu merkittävästi tilan suuremmalla omalla käytöllä. Jos kaikki tuotettu biometaani menisi omaan käyttöön ja sillä korvataan nimenomaan moottoripolttoöljyä jää takaisinmaksuaika vain hieman yli neljään vuoteen. Jos biometaania tuottava tila sijaitsee hyvien kulkuyhteyksien lähetyvillä, kannattaisi arvioida panostamista julkiseen tankkausasemaan, jolloin ylijäämäkaasulle voidaan laskea parempi arvo. Tarkasteluissa tulee huomioida biokaasun sekä polttoöljyn voimakas hintaheilunta, joka voi muuttaa tilannetta nopeasti molempiin suuntiin.

5.2 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Työssä tehtiin selvitystä ja haettiin vastauksia melko laajasti liittyen reaktori-innovaation pilotointiin ja biokaasulaitoksen kannattavuuteen. Työn aikana löydettiin kustannustehokas prosessikenttä integroida reaktori esimerkkimaatilalle, joka olisi realistisesti toteutettavissa ja on sovellettavissa muillekin tiloille. Käytännössä reaktori asennetaan lietekuilun ja olemassa olevan separaattorin väliin, olemassa olevat pumput ja linjat käytetään hyväksi. Koeajosuunnitelmien pe-

rusteella on myös helppo arvioida oman tilan kaasuntuottopotentiaali, kun tiedetään käytössä olevien syötteiden määrä. Ja parasta raakakaasun hyödyntämistapaa omalle tilalle voi pohtia työn esimerkkien kautta. Koeajosuunnitelmat antavat myös hyvän pohjan tulppavirtausprosessin ylösajolle ja hallinnalle. Työssä sivuttiin biokaasuprosessin optimointia ja syötteen esikäsittelyn tärkeyttä, sekä näiden vaikutusta tuotantoon. Tämän kautta investointia suunnitteleva tila voi jo alustavasti miettiä olisiko syötteen esikäsittelyyn tarvittavat laitteet jo ainakin osittain olemassa tilalla. Kemiallisen- tai biologisen käsittelyn tarpeen arvioinnin jättäisin laitostoimittajalle.

Työn tavoitteena oli myös toimia tietopakettina laitosta harkitsevalle taholle. Mielestäni tässä onnistuttiin ja työ antaa perustietämyksen eri reaktorityypeistä, prosessin mikrobiologisesta toiminnasta, erilaisten syötteiden ominaisuuksista, sekä kuormituksen, viipymän ja kuiva-ainepitoisuuden välisestä suhteesta. Yksi tärkeimmistä asioista oli tuoda esille lupaprosessiin ja julkiseen tukeen liittyvät asiat. Työn perusteella selviää mitä lupia hankkeessa mahdollisesti tarvitaan ja miten laitoksen kokoluokka, sekä käytetyt syötteen vaikuttavat siihen. Samoin verotukseen ja haettavaan tukeen liittyvät asiat vaihtelevat laitoksen koon ja tuotetun energian mukaan, myös näihin haettiin työssä ajantasainen vastaus.

Työn toimeksiantajaa kiinnosti erityisesti saada vastaus laitoksen kannattavuuteen liittyviin tekijöihin esimerkkinä käytetyn maatilan kokoluokassa. Kannattavuuteen saatiin laskettua budjettitason takaisinmaksuaika, koska geopoliittisen tilanteen takia tarkempaa tarkastelua ei nähty järkeväksi. Alla lueteltuna kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä:

- Reaktori-innovaatiolla saavutettu pienempi prosessitilavuuden tarve, periaate on esitetty taulukossa 4. Tällä saavutetaan pienempi investointihinta suhteessa tuotettuun energiaan ja lämpöhäviöt pienenevät.
- Tuotanto ja käyttö on verovapaata, kun puhutaan sähköntuotannossa nimellisteholtaan alle 100kVA tai kalenterivuodessa alle 1 GWh energiaa tuottavista laitoksista.
- Lainsäädäntö tukee omia syötteitä ja rejektiä hyödyntävää maatilan laitosta, joka käyttää tuottamansa energian pääsääntöisesti itse.
- CHP-tuotannossa lämmön hyödyntämisen lisäksi, sähkön tuotantoajankohdan optimointi vaikuttaa oleellisesti kannattavuuteen.
- Biometaanin tuotannossa pienessä maatilamittakaavassa parantaa suuri omakäyttö kannattavuutta polttoöljyä korvattaessa.

6 Pohdinta

6.1 Luotettavuus ja eettisyys

Biokaasuntuotantoon liittyvistä laitteista ja mikrobiologisesta perustasta löytyi paljon materiaali monista eri lähteistä. Tietoperustaa kasattaessa on noudatettu selkeää linjaa lähdekriittisyyden osalta. Työssä on käytetty lähteenä lähinnä julkisien tahojen materiaalia, koska näiden oletetaan olevan puolueettomia ja tietoa voidaan pitää luotettavana. Materiaalit on pyritty valitsemaan mahdollisimman tarkasti palvelemaan juuri tämän opinnäytetyön tarpeita ja lähdeviittaukset on tehty hyvän tieteellisen käytännön periaatteiden mukaisesti.

Asioita varmistettiin vertaamalla lähteitä toisiinsa ja tekstissä on tuotu esille eri lähteiden vuoropuhelua. Tietoperustaa voidaan pitää luotettavana ja se palvelee tutkimuskysymyksiin liittyvää selvitystyötä. Työssä läpikäyty kirjallisuuskatsaus ja sen perusteella laadittu koeajosuunnitelma antavat toimeksiantajalle selkeän pohjan suorittaa pilottireaktorin koeajoja, sekä jatkokehittää suunnitelmaa tarkasteltavan kohteen mukaiseksi.

6.2 Johtopäätökset

Biokaasu ei ole vastaus kaikkiin globaaleihin energiantuotantoon liittyviin haasteisiin, mutta esimerkiksi maatilat ovat yksi selkeä kohderyhmä, kenelle biokaasuntuotanto on luonnollinen vaihtoehto. Biokaasulaitos on monella tapaa synergiassa maatalan kanssa. Laitoksen syötteen tulevat maatalan omista tarpeista ja rejektin hyötykäyttö ei ole ongelma. Anaerobisessa käsittelyssä saadaan syötteen sisältämät ravinteet liukuisempaan muotoon, jonka myötä voidaan vähentää väkilannoitteiden käyttöä ja saavuttaa rahallisia säästöjä. Prosessin seurauksena myös hajuhaitat pienenevät. Maatiloilla on kohtalaisen suuri kokonaisenergiankulutus ja se voi jakaantua hyvinkin epätasaisesti sähkön-, lämmön tai työkoneiden polttoainetarpeiden välillä. Tämän vuoksi jokainen kohde tulee tarkastella erikseen ja laskea kannattavin raakakaasusta jalostettava tuote tai tuotteet. Oikein suunniteltu biokaasulaitos parantaa kotimaisen ruuantuotannon kannattavuutta ja mahdollistaa maatilalle energiaomavaraisuuden, sekä hiilineutraalin tuotannon.

Tässä työssä keskityttiin tuottamaan joko biometania tai sähköä ja lämpöä. Se on perusteltua vielä nykyisillä laitteiden hinnoilla suhteessa energian hintaan. Todennäköisesti maatalan omavaraisuus nousee tulevaisuudessa yhä tärkeämmäksi asiaksi ja tieto tuotantokustannusten vakaudesta toisi maatalojen toimintaa pitkänäköisyyttä ja luottamusta. Biokaasulaitoksen pitäisi skaalautua lähes jokaiseen kokoluokkaan tuottamaan pääosa työkoneiden polttoaineesta, sekä tilan vaatimasta sähköstä ja lämmöstä. Esimerkiksi kesäaikaan sähkö on halvimmillaan, eikä lämmityksellekään ole juuri tarvetta, jolloin tuotettaisiin biometania työkoneiden tarpeisiin. Vastaavasti talviaikaan työkoneiden käyttö vähenee, sähkön hinnat nousevat ja lämmöllekin on kysyntää, jolloin kaasun hyödyntäminen painottuisi CHP-laitokseen. Tällä tavoin varmistettaisiin kaiken tuotetun energian tehokas hyötykäyttö, myös paikallisessa käytössä ja paras tuotto laitoksen omistajalle.

Nousevat rakennuskustannukset ja vaatimukset korkeasta energiatehokkuudesta johtavat kasvavaan kysyntään korkeaa kuiva-ainepitoisuutta käsitteleville reaktoreille ja termofiiliselle prosessille. Molemmilla ominaisuuksilla tavoitellaan tehokkaampaa orgaanisen aineen käsittelyä ja korkeampaan energian tuottoa suhteessa reaktorin tilavuuteen. BGCNordicin reaktori-innovaatio vastaa tähän haasteeseen osaltaan ja pilotointi maatalakokoluokassa tulisi suorittaa nopealla aikataululla. Pilotoinnilla saataisiin varmuus innovaation teknistaloudellisuudesta. Nykyisellään kannattavuusrajana pidetään yleisesti noin 200 lypsävän lehmän maatilaa, jolle laitos olisi investoitavissa. Tämän työn esimerkkilaitos edustaa selkeästi pienempää kokonaisuutta ja kannattavuusarvioiden perusteella näyttää, että riittävä kannattavuus on mahdollista saavuttaa, myös 50 – 200 lypsävän lehmän tiloilla.

Lähteet

Al Seadi, T. Rutz, D. Prassl, H. Köttner, M. Finsterwalder, T. Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas handbook. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg. Viitattu 15.12.2021. <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>.

Bekon prosessi. N.d. Bekon GMBH. Viitattu 18.1.2022. <https://www.bekon.eu/en/technology/>.

Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013. Helsinki: Motiva Oy. Viitattu 15.12.2021. https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf.

Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Germany: WILEY-WHC Verlag GmbH & Co. Viitattu 8.1.2022

Fortum. 2022. Myy ylimääräinen uusiutuva sähkösi meille. Viitattu 29.3.2022 <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/uusiutuva-energia/oman-tuotannon-myynti-lahi-sahko?vtab=accordion-item-97739>.

Fortum energiapalvelu. 2022. Puhelu asiakaspalveluun. Viitattu 29.3.2022.

Kolehmainen, P & Mäkinen, S. 2021. BGCNordic Oy. Haastattelu 1.12.2021.

Kasari Machinery. 2022. Puhelu. 28.3.2022

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.12.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Lahtinen, T. 2021. Paavolan maitotila. Haastattelu 10.1.2022.

Luostarinen, S. 2013. Biokaasuteknologiaa maatiloilla 1. Helsinki: MTT Jokioinen. Viitattu 11.1.2022. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481263/mttraportti113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Li, Q. Li, H. Wang, G. & Wang, X. 2017. Effects of loading rate and temperature on anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge in a high frequency feeding system, looking in particular at stability and efficiency. Artikkel. Viitattu 28.1.2022. http://www.awrcenter.net/publication/uploadfiles/file/20170521/20170521101420_8380.pdf

Kuivamädätys teknologia. N.d. MARTIN GMBH. Viitattu 18.1.2022. <https://www.marting-mbh.de/en/dry-digestion-technology.html>.

Maakaasun, biokaasun, polttoturpeen, kivihien ja mäntyöljyn valmistevero. 16.2.2022. Vero. Viitattu 5.4.2022. https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/Maakaasu_biokaasu_polttoturpe_kivihiili_mantyoiljyn_valmistevero/.

Maatalouden investointituet. N.d. Ruokavirasto. Viitattu 27.1.2022. https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/tukikohteet_2021.pdf

Hollmen, M. 2019. Biokaasun syötteet, tuotantotekniikka ja haasteet. ProAgria Länsi-Suomi. 18.4.2022. <https://energiayrittajyys.fi/sites/energiatehokkaasti/files/biokaasuesitys-manuhollmen-rantasalmi-3.9.2019.pdf>.

Neste. 2022. Raakaöljyn hinta. Viitattu 29.3.2022 <https://www.neste.fi/konserni/sijoittajat/markkinatietoa/raakaoljyn-hinta>

Nord pool AS. Viitattu 27.3.2022 <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Monthly/?view=table>

Pakarinen, O. 2016. Kesi-Suomen biokaasuekosysteemi. Keski-Suomen liitto. Viitattu 15.12.2021. <https://www.pikes.fi/documents/89847/4595395/Keski-Suomen+biokaasuekosysteemi,%20Outi+Pakarinen.pdf/318d8570-93ca-4cb2-b0fa-31d6a6528644>.

Pantsu, P. Hiilamo, E. 2022. Öljyn hinta lähestyy jo ennätyslukemia. Uutinen Ylen sivustolta. Viitattu 29.3.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-12347213>.

Persson, E. Westerholm, M. Schnürer, A. Nordin, A. Tamm, D. & Nordberg, U. 2019. Dry anaerobic digestion of food waste. Stockholm: Energiforsk AB. Viitattu 18.1.2022. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552221/FULLTEXT01.pdf>.

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

Pyykkönen, V. Seppänen, A. Markkanen, J. Rasi, S. Luostarinen, S. Virkkunen, E. & Järvinen, M. 2021. Pohjois-Savon maakunnalliset erityispiirteet biokaasun tuotannossa ja ravinteiden kierrätyksessä. Helsinki: Luonnonvarakeskus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/547639/luke-luobio_45_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Pyykkönen, V. 2019. Biokaasureaktorin tutkimussuunnitelma. Jyväskylä: Luonnonvarakeskus.

Schnürer, A. & Jarvis, Å. 2010. Microbiological Handbook for Biogas Plants. Swedish Gas Centre Report 207. Malmö: Swedish gas centre. Viitattu 8.1.2022 http://www.offgrid-ding.com/uploads/1/0/1/5/10150858/microbiologicalhandbook_biogas.pdf.

Energiavirasto julkaissut ohjeen lämmön ja jäähdytyksen alkuperätakuista. 2022. Suomen bio-kierto ja biokaasu ry. Viitattu 27.1.2022 <https://biokierto.fi/energiavirasto-julkaissut-ohjeen-lammon-ja-jaahdytyksen-alkuperatakuista/>.

Winqvist, E., Rikkonen, P. & Varho, V. 2018. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Helsinki: Luonnonvarakeskus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542787/luke-luobio_47_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y