

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Biotekniikka

2013

Antti Väilä

PELTOBIOMATERIAALIEN KÄYTTÖ BIOKAASUN TUOTANNOSSA

– prosessin seuranta ja tehostaminen



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Bio- ja elintarviketekniikka | Biotekniikka

Huhtikuu 2013 | 55 sivua

Ohjaaja: Juha Nurmio, projektipäällikkö

Antti Väilä

PELTOBIOBOMATERIAALIEN KÄYTTÖ BIOKAASUN TUOTANNOSSA – PROSESSIN SEURANTA JA TEHOSTAMINEN

Tämän opinnäytetyön aiheena on peltobiomassojen käyttö biokaasuprosessin raaka-aineena. Tavoitteena oli selvittää, mitä raaka-aineita kannattaa hyödyntää ja miten prosessia voidaan parantaa tuoton ja materiaalitehokkuuden kannalta.

Käytännön osuuden alussa tutustuttiin prosessiin, laadittiin seuranta-kaavake sekä määriteltiin tarvittavat analyysit prosessin seurantaan. Suunniteltiin kaksi neljän viikon koejaksoa. Ensimmäisen jakson aikana määritettiin jo aiemmin käytetyllä syötekoostumuksella prosessin nykytilanne, ns. nollataso. Viikoittainen kaasuntuotto oli tasaista vaikka vuorokausitasolla tuotto vaihtelikin merkittävästi. Typpipitoisuudet, VFA, alkaliteetti sekä pH ja kuiva-aineksen sekä orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat tasaisia.

Toisen koejakson aikana käytettiin erilaista syötekoostumusta sekä alettiin syöttää myös viikonloppuisin. Koejaksojen välisenä aikana, jolloin jouduttiin vähentämään lietesyöttöä, kaasuntuotto laski jonkin verran, mikä vaikutti toisen koejakson alun kaasuntuottoon. Trendi oli kuitenkin nouseva ja kaasuntuotto johdonmukaista. Prosessiparametrit pysyivät muuttumattomina. Erityisesti pieni VFA-pitoisuus viittaa siihen, että prosessia voitaisiin kuormittaa enemmän.

Viikonloppusyöttöjen vaikutus kaasuntuottoon on selvä; prosessin kaasuntuotto tasaantuu ja toisen jakson tuotto on noususuuntaista. Kaikki prosessia kuvaavat muut parametrit pysyivät lähes ennallaan muutoksista huolimatta. Tämän kokoista prosessia tulisi kuitenkin tarkkailla pidempiä aikoja kuin opinnäytetyön puitteissa on mahdollista. Jatkossa kuormituksen maltillinen nostaminen on suositeltavaa, seuraten samalla prosessin tilaa. Laitoksen maksimikapasiteetti on varmasti suurempi kuin tämänhetkinen kaasuntuotto, optimointi vaatii kuitenkin suurempia raaka-ainevirtoja, prosessin seuranta- ja systemaattisia työtapoja ja -menetelmiä.

ASIASANAT:

biokaasu, peltobiomassa, maatilamittakaavan biokaasuntuotanto, energiakasvit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and Food Technology | Biotechnology

April 2013 | 55 pages

Instructor: Juha Nurmio, Project Manager

Antti Väilä

USE OF AGRICULTURAL WASTE MATERIAL IN BIOGAS PRODUCTION – PROCESS CONTROL AND OPTIMIZATION

This Bachelor's Thesis studies the use of agricultural waste materials as feed in a biogas process. The aim was to determine which feed materials would be optimal in terms of biogas production and material efficiency.

The experimental part began by studying the process, creating a process monitoring form and determining the necessary analyses for process control. Two test periods were carried out: during the first one a feed procedure that had been used earlier was applied in order to determine the process baseline. The weekly gas production was stable although the daily values differed greatly. The nitrogen concentration, the volatile fatty acids concentration, pH, and the digestate total solids and volatile solids concentrations remained stable throughout the first test period.

During the second test period a different feed mixture was applied and weekend feeding was included. The time between the test periods had caused a decline in the gas production which affected the results of the second test period as well. Nevertheless, the production trendline was ascending and the weekly production curves were consistent. The process parameters remained practically constant. Especially the low VFA concentration implies that the process could withstand a higher organic loading rate.

The effect of weekend feeding on the biogas production is obvious and the second test period resulted in increasing biogas amounts. All the process parameters remained nearly constant throughout the experimental part of the thesis. A process of this scale should be monitored for substantially longer periods in order to obtain viable data. In the future a conservative, stable increase in the organic loading rate should be applied while constantly monitoring the state of the process. The maximum biogas production capacity of the plant is surely greater than the current production level. Optimization would require higher feeding volumes, process monitoring, and systematic working methods and procedures.

KEYWORDS:

biogas, agricultural biomass, farm scale biogas production, energy crops

SISÄLTÖ

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	6
1 Johdanto	7
2 Biokaasun tuotanto mesofiilisellä mädätysprosessilla	9
2.1 Mesofiilinen anaerobinen mädätys	9
2.2 Prosessiparametrejä	10
3 Maatilamittakaavan biokaasuntuotanto	13
3.1 Prosessin suunnittelu ja toteutus	14
3.2 Prosessien tehostaminen	16
3.3 Maatalouden materiaalivirrat energianlähteenä	17
3.3.1 Peltobiomassojen esikäsittely	18
3.3.2 Ruokohelpi	19
3.3.3 Lietelanta	20
3.3.4 Sokerijuurikas	20
3.3.5 Heinäkasvit	21
4 Livian biokaasulaitos	23
4.1 Syötemateriaalit ja syötteen käsittely	24
4.2 Reaktorit ja mädätteen jälkikäsittely	25
4.3 Kaasun hyödyntäminen	26
5 Kokeiden suunnittelu, toteutus ja tulokset	27
5.1 Ensimmäisen koejakson suunnittelu, toteutus ja tulokset	29
5.2 Toisen koejakson suunnittelu, toteutus ja tulokset	31
6 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	36
6.1 Johtopäätökset	36
6.2 Prosessin kehittämisehdotuksia	39
LÄHTEET	42

LIITTEET

- Liite 1. Prosessihenkilön käsikirja Livian biokaasulaitokselle
- Liite 2. Päivittäinen seurantadata 1. koejaksolta
- Liite 3. Päivittäinen seurantadata 2. koejaksolta

KUVAT

Kuva 1. Anaerobisen mädätyksen mikrobiologiset vaiheet [4]	9
Kuva 2. Livian biokaasuprosessin vuokaavio	24
Kuva 3. Ensimmäisen koejakson kaasuntuottokuvaaja	30
Kuva 4. Toisen koejakson kaasuntuottokuvaaja	33
Kuva 5. Toisen koejakson kaasuntuottokuvaaja, koeviikkojen vuorokausikeskiarvot sekä metaanipitoisuus	33
Kuva 6. Online-kaasuntuottokuvaaja viikkoakselilla	38
Kuva 7. Online-kaasuntuottokuvaaja vuorokausiakselilla	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Viipymän ja VS-reduktion suhde [4]	11
Taulukko 2. Biokaasuteknologian edut maataloille ja yhteisöille [15]	14
Taulukko 3. Esimerkkejä biokaasuntuotantoon käytettävistä raaka-aineista [15]	19
Taulukko 4. Joidenkin biomassojen ominaisuuksia [7]	19
Taulukko 5. Esimerkkejä viljeltävien kasvien metaanintuottopotentiaaleista [15]	22
Taulukko 6. Syöttemateriaalit	28
Taulukko 7. Koejaksojen tulokset, kaasuntuotto ja kuormitus	35
Taulukko 8. Koejaksojen tulokset, mädäte ja kaasunkoostumus	36

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
CHP	Combined heat and power. Polttoprosessin avulla biokaasusta saadaan lämpöä ja sähköä jatkokäyttöön.
TS	Total solids, kuiva-ainepitoisuus (%).
VS	Volatile solids, haihtuvan kuiva-aineen pitoisuus (%). Kuvaa orgaanisen, eli mikrobien käytettävissä olevan, aineksen määrää. Käytetään joskus myös lyhennettä ODM.
VFA	Volatile fatty acids, haihtuvien rasvahappojen määrä (g/L, mol/L). Mikrobiologisen metaanintuottoketjun väli tuotteina syntyy rasvahappoja, joita kertyy mädätteen prosessin ollessa epätasapainossa.
(yhteis)mädätys	Mädätys on mikrobiologinen, anaerobinen eli hapeton prosessi, jossa useat eri mikrobit muodostavat hapettomissa olosuhteissa reaktioketjun. Tämän ketjun lopputuotteena on biokaasu, jonka pääkomponentti on metaani. Yhteismädätys on vastaava prosessi, mutta pääraaka-aineen lisäksi syötteenä käytetään samanaikaisesti muitakin materiaaleja, kuten peltobiomassoja tai glyserolia.
alkaliteetti	Puskurointikapasiteetti; miten hyvin mädäte vastustaa pH-muutosta.
ligniini	Kasvien, erityisesti puiden, solukkoa tukeva vahvasidoksinen polyfenoli.

1 JOHDANTO

Biokaasun tuotanto on Suomessakin nopeasti kasvava energiamuoto. Raaka-ainetta on runsaasti ja koko tuotantoprosessi on usein alusta loppuun erittäin ekologinen. Tyypillisesti biokaasua saadaan teollisuuden, maatalouden ja yhdyskunnan sivu- ja jätevirroista. Yleisimpiä raaka-aineita ovat jätevesipuhdistamoiden lietteet, maatilojen peltobiomassat, teollisuuden orgaanista ainesta sisältävät jätteet sekä karjatalouden lietteet. Raaka-aineista saadaan mikrobiologisen mädätysprosessin kautta metaania, samalla saadaan lannoitteeksi soveltuvaa materiaalia jätteenä – kaikki aines päättyy siis hyötykäyttöön.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä ammattiopisto Livian sekä Susbio-projektin kanssa. Piikkiössä sijaitseva Livian Maaseutuopiston Tuorlan yksikkö järjestää koulutusta peruskoulun käyneille, ylioppilastutkinnon suorittaneille ja aikuisille. Opetusaloina ovat maatalous, puutarhatalous sekä luonto- ja ympäristöala. [17]

Tuorlassa käynnistettiin keväällä 2012 biokaasulaitos, jonka tarkoituksena on käsitellä opiston maataloustoiminnasta syntyvä kotieläinliete sekä peltobiomassa lannoitemuotoon. Samalla tuotetaan biokaasua, josta tehdään CHP-prosessin kautta lämpöä ja sähköenergiaa. CHP:n maksimiteho on noin 150 kW, lisäksi soihukattilan avulla voidaan tuottaa noin 80 kW lämpöenergiaa. Tuorlan yksiköllä on peltopinta-alaa 145 hehtaaria (ohra, kaura, vehnä, rypsi ja rapsi) ja noin sadan sian sikala sekä emolehmänavetta, joista saadaan raaka-aineet biokaasuprosessiin. [17]

Susbio on EU-rahoitteinen projekti, jossa työskentelee toistakymmentä työntekijää Turun ammattikorkeakoulussa sekä Tallinnan teknillisessä yliopistossa. Susbion tarkoituksena on tutkia teollisuuden ja yhdyskunnan jätevirtojen hyödyntämistä biokaasun tuottamisessa. Lisäksi projekti tutkii teollisuuden elintarvikkeelpoisten sivuvirtojen proteiinisisältöä sekä proteiinien eristämistä ja puhdistamista.

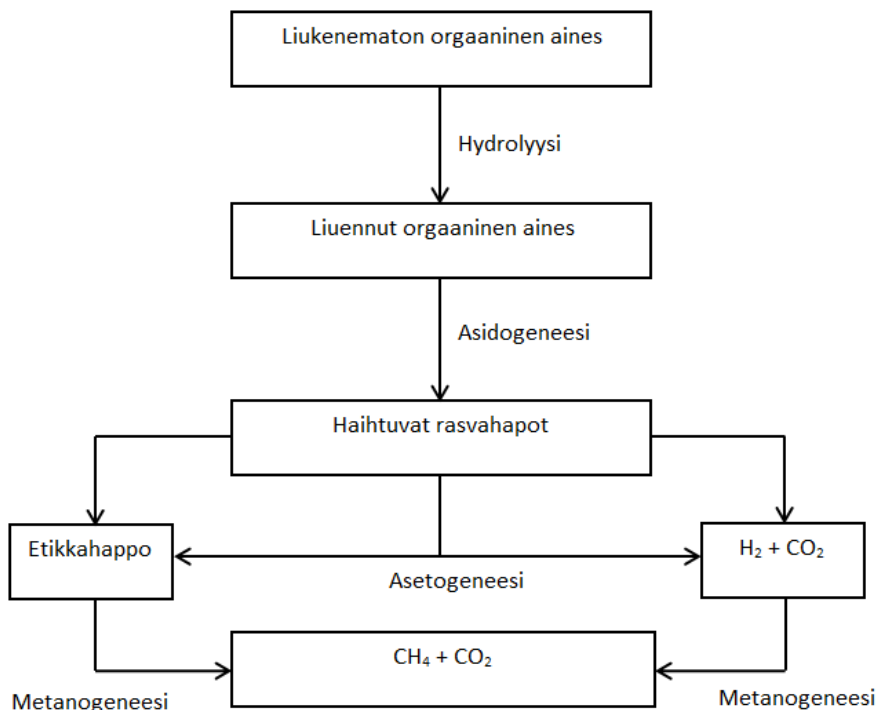
Tämän opinnäytetyön aiheena on peltobiomassojen käyttö yhteismädätysprosessin raaka-aineena – miten eri raaka-aineita kannattaa hyödyntää ja miten prosessia voidaan parantaa tuoton ja materiaalitehokkuuden kannalta. Tavoitteena oli selvittää prosessin tila sekä suunnitella laitokselle seurantajärjestelmä. Samalla laadittiin laitokselle käyttäjän käsikirja, joka helpottaa opetusta ja yhdenmukaistaa toimintatapoja laitoksen hoidossa.

Käytännön osuus koostuu kahdesta neljän viikon koejaksosta: ensimmäisen jakson aikana määritettiin jo käytetyllä syötekoostumuksella prosessin nykytilanne, ns. nollassa. Jaksosta saatujen tulosten sekä kirjallisuusvertailun avulla tehtiin johtopäätöksiä, joiden pohjalta suunniteltiin toinen koejakso eri syötekoostumuksella. Vertailemalla koejaksoista saatuja tuloksia kaasuntuoton, kaasukoostumuksen ja prosessin vakauden suhteen voidaan päätellä, mitä kannattaa tehdä, jotta tuotannosta saadaan tehokkaampaa.

2 BIOKAASUN TUOTANTO MESOFIILISELLÄ MÄDÄTYSPROSESSILLA

2.1 Mesofiilinen anaerobinen mädätys

Mesofiilinen anaerobinen mädätys on yleinen biokaasun tuotantotapa erityisesti vedenpuhdistamo- ja maatalouslietteitä käytettäessä. Se tarkoittaa 35-37 °C lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa mikrobiologista prosessia. Erikoistuneet mikrobikannat käyttävät syötemateriaalin orgaanista ainesta ravinnokseen ja tuottavat metaanikaasua. Orgaanisen materiaalin digestio eli hajottaminen sisältää neljä päävaihetta; hydrolyysi, happokäyminen, asetogeneesi ja metanogeneesi [4] [11].



Kuva 1. Anaerobisen mädätyksen mikrobiologiset vaiheet.[4]

Hydrolyysi on vaihe, jossa mikrobit hajottavat suuria orgaanisia polymeerimolekyylejä. Esimerkiksi lipidit, polysakkaridit ja proteiinit pilkkoutuvat pienemmiksi, liukeneviksi molekyyleiksi, kuten amino- ja rasvahapoiksi. [11][15]

Asidogeneesi eli happokäymisen aikana hydrolysoituneet molekyylit hajotetaan vielä pienemmiksi osiksi. Haihtuvat rasvahapot muodostuvat tässä vaiheessa, lisäksi asidogeneettiset bakteerit tuottavat mm. ammoniakkia, hiilidioksidia, alkoholeja ja rikkivetyä. [4]

Kolmas vaihe on asetogeneesi. Happokäymisen tuotteita pilkotaan pääosin asetaatiksi, lisäksi syntyy hiilidioksidia ja vetykaasua. [15]

Viimeisessä vaiheessa eli metanogeneesissä metaania tuottaa kaksi metanogeenistä bakteeriryhmää; ensimmäinen ryhmä hajottaa etikkahapon metaaniksi ja hiilidioksidiksi, toinen yhdistää vetyä ja hiilidioksidia metaaniksi. Sulfaattipitoisista raaka-aineista syntyy mädätyksessä myös pahanhajuista, myrkyllistä ja syövyttävää rikkivetykaasua. [15]

2.2 Prosessiparametrejä

Anaerobisissa olosuhteissa monella eri tekijällä, kuten pH:lla ja lämpötilalla on vaikutusta prosessin tuottoon ja tasapainoon. Jokaisella mikrobiryhmällä on oma optimaalinen pH-alueensa – eri mikrobiryhmät säätelevät jatkuvasti pH:ta välituotteiden konsentraatiolla. Esimerkiksi hieman liian alhainen pH nostaa metanogeneettisten bakteerien aktiivisuutta ja ne alkavat tuottaa emäksisiä yhdisteitä kuten ammoniakkia. Koko systeemin pH:ta ohjaavat pääosin hapan hiilidioksidikaasu sekä puskurointikapasiteettia nostava vetykarbonaatti. [4]

Lämpötilalla on suuri merkitys reaktorimädätteen eri komponenttien ominaisuuksille (mm. liukoisuus), kemiallisten reaktioiden nopeudelle sekä mikrobien aineenvaihdunnalle ja lisääntymiselle. Mesofiilisessä prosessissa mikrobikanalle suotuisin lämpötila on noin 37 °C. Termofiilisissä prosesseissa korkea lämpötila, 50-55 °C, estää prosessille haitallisten mikrobien kasvua. Nopeita

lämpötilanmuutoksia tulee välttää, rajana voidaan pitää noin $\pm 0,5$ °C/vrk. [4]
[11]

Hydraulinen retentioaika eli viipymä tarkoittaa aikaa, jossa koko mädätetilavuus vaihtuu uuteen tyhjennyksen ja syötön kautta. Lyhyt viipymä aiheuttaa nopeasti tuoton romahtamisen, mikäli mikrobien kasvunopeus ei kompensoi reaktioseoksen vaihtuvuutta. Lisäksi metanogeneettisten bakteerien väheneminen johtaa rasvahappojen kertymiseen. [4]

Taulukko 1. Viipymän ja orgaanisen aineen hajoamisnopeuden suhde. [4]

Viipymä (vrk)	Orgaanisen aineen hajoaminen (%)
30	65,5
20	60,0
15	56,0

Taulukosta 1 nähdään viipymän sekä VS-reduktion eli orgaanisen aineen hajoamisnopeuden suhde. Hyvänä viipymänä voidaan pitää noin kolmea viikkoa, jolloin saadaan paras hyöty orgaanisesta aineksestä ajan suhteen. Livian tapauksessa käytetään kuitupitoista kasviainesta, joten viipymän tulee olla pidempi.

VFA-konsentraatio on yksi tärkeimmistä prosessin tilaa kuvaavista parametreista. Haihtuvien rasvahappojen kertyminen mädätteeseen kertoo tyypillisesti liian suuresta kuormituksesta; viipymä on liian lyhyt ja uutta syötettä lisätään reaktoriin liikaa. Rasvahappojen kertyessä mädätteen pH alkaa laskea, mikä heikentää pH-vaihteluille herkkien mikrobien toimintaa ja näin vähentää kaasuntuottoa. [11]

TS/VS –määritys on erittäin tyypillinen biokaasulaitoksen seurantamääritys. Sillä voidaan tarkkailla syötelietteen sekä muiden raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuutta ja orgaanisen kuiva-aineen pitoisuutta. Myös mädätteen TS/VS

–pitoisuuksia on järkevää seurata, jotta havaitaan mahdolliset muutokset prosessin tasapainossa. Pumpattavuuden ja sekoituksen kannalta TS-pitoisuuden tulisi olla alle 10 %. [21]

Mikrobit tarvitsevat mm. orgaanisen hiililähteen (hiilihydraatit ym.), typpeä, fosforia, kalsiumia ja kaliumia. Lisäksi tarvitaan metalleja, kuten rautaa, sinkkiä, seleeniä jne. Yhdenkin aineen liian suuri tai pieni konsentraatio usein inhiboi prosessia, joten tarvitaan säännöllistä seuranta. Biokaasutuotannon tyypillisimmät raaka-aineet, kuten jätevesilietteet sekä maatalouden jätevirrat, sisältävät yleensä itsessään riittävästi ravinteita mikrobikasvulle ja tehokkaalle kaasuntuotolle. [8]

3 MAATILAMITTAKAAVAN BIOKAASUNTUOTANTO

Kiinnostus uusiutuviin energianlähteisiin, kuten biokaasuun, on kasvanut viime vuosina. Energian hinta on nousussa ja paineet kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ovat korkeat. Maataloussektori on tärkeässä roolissa uusiutuvien resurssien tuottamisessa, niinpä on luontevaa hakea raaka-aineita biokaasun tuottamiseen maatalouden sivu- ja jätevirroista. Biokaasu on erinomainen energianlähde; yksi kilogramma liikennekäyttöön valmista paineistettua metaania sisältää noin 50 MJ eli 13,9 KWh energiaa. 1 m³ metaania sisältää saman energiamäärän kuin 1 l polttoöljyä. Biokaasu soveltuu siis erittäin hyvin paitsi sähkön- ja lämmönlähteeksi myös liikennepolttoaineeksi, jolloin kaasu puhdistetaan noin 98 % metaaniksi ja paineistetaan. [2][6]

Maatilamittakaavaa voidaan hyödyntää keskitetysti, jolloin suurehkot biokaasulaitokset keräisivät raaka-aineita lähialueen maataloilta. Biokaasuprosessi voi hyödyntää lähes mitä tahansa orgaanista raaka-ainetta, joka sisältää mikrobien tarvitsemia ravinteita ja ravintoa. Toinen vaihtoehto on keskittyä pienempiin maatilakohtaisiin laitoksiin, mikä saattaa pitkien välimatkojen vuoksi olla usein järkevää. Tarvitaan kuitenkin rahallista tukea, ohjeistusta ja kannustusta myös valtiotasolta. Biokaasulaitoksen hankintamotiivina on usein jätteidenkäsittely, eikä prosessin seurantaan ja tuottavuuteen kiinnitetä tarpeeksi huomiota. [2]

Biokaasuteknologia tarjoaa runsaasti hyötyjä sekä maataloille että yhteisölle ja teollisuudelle. Maatilojen energiaomavaraisuus kasvaa uusiutuvan energian muodossa ja itsetuotetun lannoitteen laatu paranee. Jäte- ja sivuvirtojen ympäristökuormitusta saadaan vähennettyä. Vihreän energian avulla voidaan luoda myös imagoa sekä työpaikkoja.

Taulukko 2. Biokaasuteknologian etuja maataloille ja yhteisöille. [15]

EDUT TILALLE:	EDUT YHTEISÖLLE:
<ul style="list-style-type: none"> • Energiaomavaraisuus • Orgaanisen lannoitteen laadun paraneminen • Kemiallisten lannoitteiden tarpeen pieneminen • Kasvitoksisten yhdisteiden väheneminen • Tuholaistorjunnan tarpeen väheneminen • Maaperän laadun paraneminen ja maaperän köyhtymisen estyminen • Lannan hygienisoituminen • Jätteiden/sivutuotteiden ympäristövaikutusten väheneminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Uusiutuvan energian tuotto • Huoltovarmuuden paraneminen (hajautettu energiantuotanto) • Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen • Hajuhaittojen pieneminen • Raaka-aineiden säästyminen • Kesantomaan hyödyntäminen • Monipuolinen tuotantorakenne • Työllistävä vaikutus

3.1 Prosessin suunnittelu ja toteutus

Biokaasulaitoksen suunnittelu ja rakentaminen on monimutkainen prosessi. Tarvitaan runsaasti alkuinformaatiota ennen kuin voidaan tehdä ratkaisuja esimerkiksi laitoksen koosta ja kannattavuudesta. Tyypillisesti ensimmäinen vaihe on selvittää laitoksen mahdolliset syötteet ja niiden saatavuus sekä paras sijainti mm. syötevirtojen hallinnan sekä jätevirran käytön suhteen. Pitää huomioida myös mahdollisten lisäyksikköprosessien, kuten hygienisoinnin, tarve. [3]

Lähtökohtana ovat usein parhaiten saatavilla olevat syötemateriaalit; onko käytössä pelkkää kasvibiomassaa vai sekä lietettä että kasvibiomassaa. Märkäprosessi on mahdollinen, jos saatavilla on lietettä ja mädätteen kuiva-ainepitoisuus saadaan pysymään alle 10 %:n. Kuivaprosessit ovat merkittävästi erilaisia sekoituksen ja muiden teknisten ratkaisujen suhteen. Voidaan käyttää esimerkiksi ruuvi- tai mäntätyyppistä reaktoria, jossa biomassa liikkuu reaktorin pituussuunnassa. Esimerkkilaitos Saksassa käyttää kasvibiomassojen mädättämiseen 25 m x 8,5 m sylinterimäistä reaktoria, jonka alaosassa sekoitetaan mädätettä uuteen kuivasyötteeseen. Seos siirretään reaktorin päälle, josta se syötetään sisälle. Tulppavirtausperiaatteella toimiva prosessi ei vaadi sekoittimia ja massa

liikkuu painovoimalla. Aktiivisin biokaasun muodostus tapahtuu reaktorin yläosassa, ja alaosaa voidaan pitää ns. jälkikaasutusosana. Orgaaninen kuormitus on $9,7 \text{ kgVS/m}^3\text{d}$, viipymä 29 vuorokautta ja lämpötila $54 \text{ }^\circ\text{C}$. Syötteen kuiva-ainepitoisuus on noin 30 % ja mädätteen 16 %. Kaasuntuotto on $5,8 \text{ m}^3$ jokaista reaktorin tilavuuskuutiometriä kohti vuorokaudessa. [21]

Biokaasulaitos kannattaa sijoittaa lähelle kaukolämpöverkkoa tai esimerkiksi kasvihuonetta, jotta tuotettu lämpöenergia voidaan hyödyntää helposti jos kaasusta ei tuoteta sähköä. Tilanteesta riippuen kuormitusta ja tuottoa voidaan vähentää kesäaikaan, kun lämmönkin tarve on pienempi. Kaasun varastointi on ongelmallista eikä pitkäkestoista varastokapasiteettia ole järkevää mitoittaa. Taloudellisesti kannattava varastointitila on noin 1-2 vuorokauden kaasuntuottoa vastaava tilavuus. [16]

Maatilakohtainen biokaasulaitos koostuu tyypillisesti navetasta tai sikalasta, raakalietealtaasta, biokaasureaktorista sekä jälkivarastosta. Tapauksesta riippuen voidaan tarvita myös hygienisointiprosessi, murskauslaitteisto kasvibiomassaa tai vastaavaa varten, sekä syötteen esisekoitussäiliö (samalla hydrolyysisäiliö). [15]

Kun alkukartoitus on tehty, voidaan siirtyä varsinaisen prosessin suunnitteluun. Tarvitaan tietoa kaasun ominaisuuksista sekä tuotantokapasiteetista, jotta voidaan määritellä kuinka suuri reaktori on järkevää hankkia. Näiden avulla voidaan edelleen mitoittaa kaasun hyödyntämiseen tarvittava laitteisto, kuten puhdistus-, paineistus- tai CHP-prosessi. Pitää myös päättää, käytetäänko mesofiilistä vai termofiilistä mädätystä ja rakennetaanko jälkikaasutusallas vai ei. Jokainen mädätysprosessi vaatii tarkoituksenmukaisen sekoitus-, lämmitys- ja pumppauslaitteiston. Kannattaa myös huomioida mahdolliset muut yksikköprosessit, kuten kaasun puhdistaminen, konsentrointi sekä paineistaminen. Lopulta kyse on liiketoiminnasta, joten tarvitaan myös kustannuslaskelmat, jotta tiedetään, onko laitoksen perustaminen ylipäättään kannattavaa. [3] [16]

3.2 Prosessien tehostaminen

Maatalouden tuottamat raaka-aineet ovat tyypillisesti joko kotieläinlietteitä tai korkean kiintoainepitoisuuden peltobiomassaa, kuten sokerijuurikasjätettä. Maatilamittakaavan tutkimusten mukaan esimerkiksi sianlannan metaanintuottopotentialiaali on noin 0,2-0,5 m³/kgVS, lehmänlannan 0,2-0,3 m³/kgVS jne. [2]

Tyypillisesti kotieläinlietteitä käyttävien biokaasulaitosten viipymä on 20-30 vuorokautta. Lietteiden metaanipotentialista jopa 25 % on sitoutuneena lannan biokuituihin ja on siten vaikeammin saatavilla. Prosessin hyötysuhteen parantamiseen käytettäviä keinoja ovat viipymääjan pidentäminen (syötemäärän pienentäminen), syötteen esikäsitely (esimerkiksi hygienisoimalla) ja muiden syötemateriaalien käyttö eli ns. yhteismädätys. Peltobiomassat ovat usein hitaasti hajoavia mm. korkean ligniini- ja selluloosamäärän vuoksi, joten niitä hyödyntävien biokaasulaitosten viipymääjan tulisi olla tavanomaista pidempi. Käytetty mädäte voidaan varastoida jälkikaasutusreaktoriin, jolloin se jatkaa metaanin tuottamista. Jälkikaasutus on varteenotettava lisä biokaasulaitokseen myös lainsäädännön kannalta, sillä maataloilta vaaditaan yhä suurempaa käytetyn mädätteen varastointikapasiteettia. [2] [11]

Peltobiomassojen käyttö lietteen lisänä paitsi stabiloi prosessia mm. pH:n suhteen, myös tasapainottaa ammoniakkin kertymistä. Liian korkea ammoniakkipitoisuus inhiboi mädätysprosessia. Lisäksi biomassojen käyttö on maatilalle materiaalitehokasta – saadaan prosessiin lisää hiililähteitä ja samalla käsitellään jäte lannoitteeksi. Pitää huomioida, että lietteen ja peltobiomassan oikeanlainen suhde sekä tarpeeksi pieni partikkelikoko ovat erittäin tärkeitä tekijöitä prosessin tehokkuuden kannalta. [2]

Peltobiomassa on tyypillisesti suurirakeista ja erittäin kuitupitoista. Metaanintuottopotentialiaali saadaan parhaiten hyödynnetyksi esikäsittelemällä syöte murskainlaitteistolla. Tärkeää on hajottaa lignoselluloosakuituja, pehmentää raaka-ainetta ja helpottaa bakteerikannan työskentelyä kasvattamalla reaktiopinta-alaa. Pienempi raekoko helpottaa prosessia myös pumppaamisen ja suhteen ja näin vähentää pumppujen ja sekoittimien huoltotarvetta. [2]

3.3 Maatalouden materiaalivirrat energianlähteenä

Tärkkelys- ja sokeripitoiset raaka-aineet soveltuvat bioetanolintuotantoon, lisäksi on mahdollista tuottaa biodieseliä kasviöljyistä vaihtoesteröinnin avulla. Biodieselin lisäksi biomassaa voidaan käyttää mm. Fischer-Tropsch –dieselin, biometanolin sekä dimetyylieetterin valmistukseen. Viljelyn sivutuotteet, kuten oljet, öljy- ja palkokasvien varret sekä juurikasvien naattiosat, ovat käyttökelpoista materiaalia myös biokaasun tuotantoon vaikka iso osa niistä hyödynnetään vielä polttoprosessien kautta. [5]

Kun tarkastellaan metaanintuottopotentiaalia märkämpainon suhteen, parhaita raaka-aineita ovat viljojen oljet (200–260 m³/t), ruokohelpi (100–170 m³/t) sekä sokerijuurikas ja timotei-apilanurmi (noin 80 m³/t). [15]

Eri raaka-aineiden tarkkaa metaanintuottopotentiaalia on kuitenkin vaikeaa määrittää, sillä prosessin tehokkuus johtuu aina useasta tekijästä, kuten lämpötilasta, pH:sta, raaka-aineen laadusta ja hiili/typpisuhteesta. Tuotto määritellään aina tapauskohtaisesti, sillä tyypillisesti biokaasua tuotetaan alueellisesti saatavilla raaka-aineilla. [6]

Metaanintuotto kasvibiomassan ja lietelannan yhteismädätyksessä on kuitenkin suurempi verrattuna pelkkään lietelannan mädättämiseen – syynä tähän pidetään jo aiemmin mainittua hiili/typpi –suhdetta sekä kasvibiomassan suurempaa metaanintuottopotentiaalia. Yhteismädätyksen tavoitteena on saavuttaa suurempi metaanintuotto kuin erillisten materiaalien metaanintuottopotentiaalien summa. Hiili vähentää ammoniakkin aiheuttamaa inhibitiota, toisaalta hiilen liiallinen lisäys tekee typestä rajoittavan ravinteen. Kasvimassan osuutta syöttestä ei pidä nostaa liian suureksi. Tällöin ongelmana ovat usein myös syötteen sedimentoituminen ynnä muut prosessitekniset haitat. Hienontaminen sekä tehokas sekoittaminen auttavat mädätteen pitämistä mahdollisimman homogeenisena. [15]

3.3.1 Peltobiomassojen esikäsittely

Energiakasvien hajoaminen ja ravinnon saatavuus mikrobeille on yksi haasteista, kun halutaan käyttää peltobiomassoja biokaasun tuottamiseen. Kasvin sulavuus heikkenee, kun ligniinin ja selluloosan määrä kasvaa. Kemiallisilla ja mekaanisilla esikäsittelyillä voidaan edesauttaa biomassan hajoamista. Voidaan käyttää esimerkiksi entsyymejä tai happoja jo varastointivaiheessa, lisäksi yksikertainen tapa helpottaa mikrobien työtä on hajottaa kasvimassaa mekaanisella silppurilla tai muulla ratkaisulla, jolloin partikkelikoko saadaan merkittävästi pienemmäksi. Silppuamisella saavutetaan suurempi reaktiopinta-ala – pienempi partikkelikoko on eduksi paitsi mikrobiologisessa mielessä, se myös helpottaa prosessilietteiden pumpattavuutta ja sekoittumista. [9]

Peltobiomassoja voidaan esikäsitellä kemikaaleilla, jotka parantavat niiden säilyvyyttä. Varastointilisäaineiden käytön nurmiheinän ja sokerijuurikasnaattien säilytyksessä on havaittu lisäävän metaanintuottopotentiaalia noin 20 %:lla tuoreeseen kasvimateriaaliin verrattuna. Mikäli varastoinnissa ei käytetä lisäaineita, säilötyn nurmiheinän metaanintuottopotentiaali saattaa heiketä jopa 20–40 %. [9]

Kasvibiomassa voidaan sekoittaa lietteeseen jo ennen varsinaista mädätystä. Esisekoituksen avulla anaerobisen mädätyksen hitain vaihe, hydrolyysi, voidaan suorittaa etukäteen. Biokaasulaitosta suunniteltaessa kannattaa toki huomioida esisekoitussäiliöön tarvittava alkuinvestointi sekä käyttökustannukset mm. sekoittimen energiantarpeen osalta. [9]

Taulukko 3. Esimerkkejä biokaasuntuotantoon käytettävistä raaka-aineista ja niiden metaanintuottopotentiaalit. [15]

Materiaali	Metaanintuottopotentiaali	
	m ³ CH ₄ / tonni orgaanista ainetta	m ³ CH ₄ / tonni märkäpaino
Teurasjäte	570	150
Biojäte	500–600	100–150
Kasvibiomassa	300–450	30–150
Jätevedenpuhdistamon liete	200–400	5–15
Lehmänlanta	100–250	7–14
Sianlanta	300–400	17–22

1 m³ metaania ~ 1 l öljyä ~ 10 kWh

Taulukko 4. Joidenkin biomassojen ominaisuuksia. [7]

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

3.3.2 Ruokohelpi

Vuonna 2009 ruokohelven viljelyala Suomessa on noin 20 000 hehtaaria ja energiantuotantoarvio on 230 GWh. Ruokohelppiä käytetään lähes yksinomaan polttolaitoksissa, mutta hyvänä vaihtoehtona pidetään biokaasuntuotantoa mädätysprosessin avulla. [7]

Metener Oy:n tekemän tutkimuksen perusteella ruokohelven orgaanisen aineen pitoisuus on noin 21 %, joka on lähellä Liviinkin käyttämien peltobiomassojen

VS-pitoisuutta. Ruokohelven energiapotentiaaliksi on määritetty noin 530 kWh/tonni; tämä tarkoittaa noin 160 kWh sähköä ja 265 kWh lämpöä CHP-prosessilla tuotettuna. Vastaavasti kyseinen kaasumäärä liikennepolttoaineeksi puhdistettuna liikuttaisi biokaasuautoa lähes 700 km. [7]

Ruokohelven energiantuottopotentiaali on siis merkittävä, mutta alhaisempi kuin rehukäyttöön tarkoitetuilla nurmilajikkeilla. Prosessijäännös, eli lannoitekäyttöön soveltuva mädäte, on kuitenkin hyvälaatuista ravinteiden suhteen. [7]

3.3.3 Lietelanta

Lietelanta sisältää runsaasti nestettä, joten se soveltuu erityisesti märkäprosesseihin pumpattavuutensa vuoksi. Se sisältää monipuolisesti mikrobien tarvitsemia ravinteita ja sillä on ammoniakkipitoisuutensa ansiosta hyvä puskurointikapasiteetti. Mikäli kyseessä on yhteismädätysprosessi lietelannan ja kasvimaan kanssa, voidaan käyttää erillistä sekoitussäiliötä, johon liete- ja kuivasyötet sekoitetaan. Kasvimassa hienonnetaan tyypillisesti < 50 mm partikkelikoon ennen syöttämistä reaktoriin. [9]

Lietelanta on metaanintuottopotentiaaliltaan vaatimatonta verrattuna esimerkiksi peltobiomassoihin. Kuutiometristä lietelantaa saadaan noin 25 m³ biokaasua, kun taas esimerkiksi kuutiometristä esikuivattua säilörehua saadaan noin 150 m³ biokaasua. Metaanintuotto orgaanisen aineksen määrään suhteutettunakin on lietelannalla huonompi verrattuna kasvibiomassoihin. Lietelantaa saadaan kuitenkin maataloudesta runsaasti, ja siitä on helppo ottaa biokaasuhyöty irti ennen jatkokäyttöä [10].

3.3.4 Sokerijuurikas

Sokerijuurikkaasta saatava metaanintuotto on erittäin hyvä, yhdeltä hehtaarilta kerätystä kasvimassasta saadaan noin 5000-7000 m³ metaania. Verrattuna esimerkiksi heinäkasveihin sen vaatimukset viljelyn suhteen ovat kuitenkin korkeammat. [15]

Sokerijuurikastehtaan jalostusprosessista syntyvä sivutuotemassa yleensä kuivataan eläinrehuksi. Wienin yliopiston tutkimuksen mukaan sokerijuurikasjätettä käyttävän yksivaiheisen mädätysprosessin tuottamalla biokaasulla voitaisiin korvata noin 40 % koko sokeritehtaan tarvitsemasta lämpöenergiasta. [12]

Säilytyksen aikana sokerijuurikasmassan metaanintuottopotentiaali kasvaa käymisen ja alkoholimuodostuksen ansiosta. Primäärisillä alkoholeilla on paitsi suurempi metaanintuottopotentiaali kuin hiilihydraateilla, niillä voidaan saavuttaa jopa 75 % metaanipitoisuus biokaasuun. Korkea hiilihydraattipitoisuus on selkeä etu, toisaalta sokerijuurikkaan tuotanto on Suomessa laskussa – EU:n maatalouspoliittisten uudistusten myötä viljely saattaisi vähentyä jopa kolmanneksella. [13][14]

3.3.5 Heinäkasvit

Tyypillisesti rehukäytössä olevat monivuotiset heinäkasvit soveltuvat erinomaisesti biokaasun tuottamiseen niiden hyvän hajoavuuden vuoksi. Ne ovat helppoja sekä viljellä että varastoida. Yhden peltohehtaarin sadosta on mahdollista saada jopa 2000-4000 m³ metaania vuodessa, energiasisällöltään tämä vastaa noin 20-40 MWh:a. [15]

Kasvimassan rakenne muuttuu sitä heikommin hajoavaksi mitä vanhemmaksi kasvi tulee; biokaasuntuotantoa ajatellen sadonkorjuu kannattaa suorittaa varhaisessa kasvuvaiheessa. Sato voidaan tällöin myös korjata useita kertoja kasvukauden aikana. Säilöntä voidaan suorittaa joko kuivaamalla tai kemiallisilla menetelmillä. Esimerkiksi muurahaishappokäsittely varastoinnin yhteydessä saattaa nostaa metaanintuottopotentiaalia jopa 20 %. [15]

Taulukko 5. Esimerkkejä viljeltävien kasvien metaanintuottopotentiaaleista. [15]

Materiaali	Metaanintuottopotentiaali		
	m ³ CH ₄ / tonni orgaanista ainetta	m ³ CH ₄ / tonni kuiva-ainetta	m ³ CH ₄ / tonni märkäpaino
Ruokohelpi	340–430	330–420	100–170
Timotei-apila- nurmi	370–380	340–360	70–90
Maa-artisokka	360–370	340	90–110
Virna-kaura	400–410	370	60–100
Nokkonen	210–420	170–360	20–60
Lupiini	310–360	290–330	40
Rehukaali	310–320	280–290	30–40
Apila	280–300	260–270	40–70
Sokerijuurikas, juurikas + naatit	450	400	80
Sokerijuurikas, naatit	340	290	30–40
Olki	240–320	220–290	200–260

1 m³ metaania ~ 1 l öljyä ~ 10 kWh

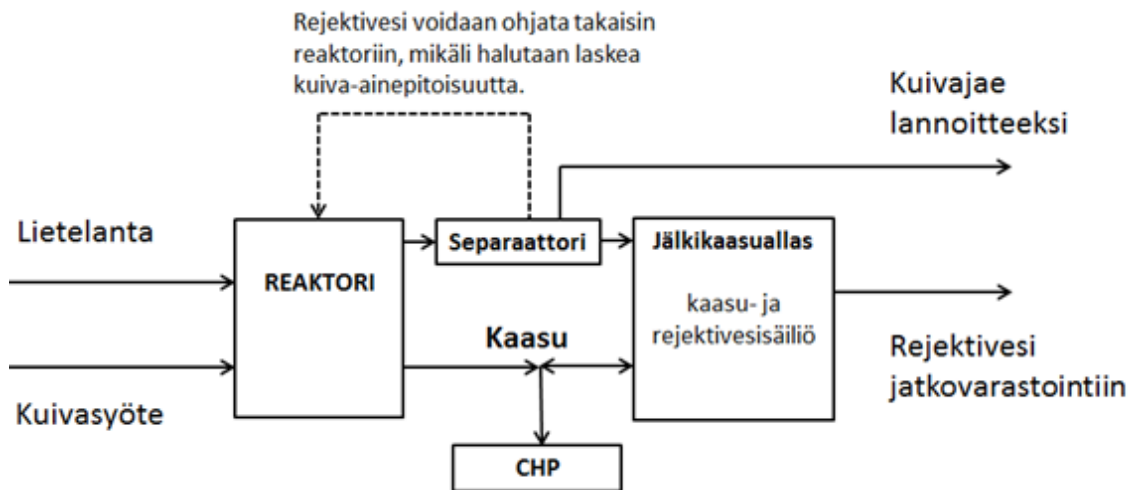
Taulukoissa 3,4 ja 5 on käsitelty erilaisia syötemateriaaleja biokaasun tuotantoon. Tyypillisesti maatilamittakaavan märkäprosessi käyttää lietelantaa tai jätevedenpuhdistamolietettä yhdessä kuivasyöttemateriaalin kanssa. Parhaina pelto- ja nurmibiomassoina biokaasuntuotannossa voidaan pitää ruokohelpeä, olkea ja nurmisäilörehua. Toisaalta kuivasyötevalinta perustuu aina maatilasta ja alueen raaka-ainetarjontaan.

4 LIVIAN BIOKAASULAITOS

Ammattiopisto Livian biokaasulaitos valmistui keväällä 2012. Laitos käyttää opiston toiminnasta sekä yhteistyökumppaneilta saatavia materiaaleja kaasuntuotantoon. Prosessijäte käytetään lannoitteeksi opiston pelloille. Kyseessä on yhteismädätysprosessi; nestefaasi syntyy kotieläinlannasta, kuivasyötteenä käytetään peltobiomassoja.

Laitoksen alkuinvestointi on noin miljoona euroa, josta Maa- ja metsätalousministeriön myöntämää investointitukea on noin 300 000 euroa. Ylläpitokustannukset muodostuvat henkilökunnan palkoista, logistiikasta, huoltotoimenpiteistä sekä materiaalihankinnoista. Tavoitteena on ylläpitää prosessia tasolla, jolla voidaan kattaa noin 15 % koko maaseutuopiston lämmön- ja sähköntarpeesta.

Livian biokaasuprosessi koostuu yksinkertaistettuna kotieläinlietteen lietesäiliöstä, kuivasyötettä pilkkovasta apevaunusta ja kuivasyötteen reaktoriin ajavasta ruuvikuljettimesta, separaattorista sekä kahdesta bioreaktorista. Toinen on päämädätysreaktori ja toinen ns. jälkikaasutusreaktori, joka toimii separoidun mädätteen sekä tuotetun biokaasun välivarastona tuottaen edelleen jonkin verran biokaasua.



Kuva 2. Livian biokaasuprosessin vuokaavio.

Molempien reaktorien lietetilavuus on 360 m^3 ja kaasunvarastointitilavuus tämän lisäksi 440 m^3 . Pääreaktorin aktiivinen tilavuus on noin 300 m^3 , jälkikaasualtaan aktiivinen tilavuus on tilanteesta riippuvainen.

Pääreaktorin lietepintaa säädellään pumpaamalla lietettä jälkikaasutusaltaseen separaattorin kautta; kuivajae erotetaan lietteestä ja rejktivesi pumpataan edelleen joko jälkikaasutusreaktoriin tai takaisin pääreaktoriin, mikäli halutaan laskea kuiva-ainepitoisuutta.

4.1 Syötemateriaalit ja syötteen käsittely

Biokaasulaitoksen pääraaka-aineina ovat sikalaliete ja lehmänlantaliete sekä erinäiset peltobiomassat. Nykyisellään lietettä tuotetaan prosessin käyttöön noin 1300 m^3 vuodessa, mikä mahdollistaa $3,5 \text{ m}^3$:n vuorokausisyötön.

Kokonaispeltoalaa Livialla on 145 hehtaaria, joista 15 hehtaaria on muiden tajojen käytössä. Prosessiin syötettävän biomassan ja emolehmien rehu tulee samalta, noin 25 hehtaarin, nurmikasvustolta. Muu biokaasulaitoksen käyttämä biomassa kerätään Livian yhteistyökumppaneilta, lisäksi vesialueiden järviruokoa käytetään raaka-aineena. Tulevaisuuden tavoitteena on saada kasvibio-

massaa prosessin käyttöön noin 1000 tonnia vuodessa sekä alkaa kasvattaa uusia kasvilajeja kuten maissia.

Kasvibiomassat säilötään laakasiiloihin; tärkeimpiä raaka-aineita tällä hetkellä ovat säilörehu sekä järviruoko. Lisäksi käytetään muoviin käärittyä esikuivattua säilörehua, jota saadaan alueen viljelijöiltä.

Livialla on 200 litran panostoiminen biodieselprosessi, josta sivutuotteena syntyvää glyserolia käytetään biokaasulaitoksen lisäravintona 25-50 litraa vuorokaudessa.

4.2 Reaktorit ja mädätteen jälkikäsittely

Livian biokaasuprosessin pääreaktori on kokonaismädätetilavuudeltaan 360 m³ ja sen aktiivinen tilavuus on 300 m³. Reaktoriin on sijoitettu kaksi sekoitinta eri korkeuksille. Sekoittimet ovat erikseen säädettävissä nopeuden ja sekoitussekvenssin mukaan. Pinnan tuntumassa olevaa sekoitinta säädellään tyypillisesti sen mukaan, kuinka kuivasyöttö muodostaa pinnalle kerrostuman. Kuori saadaan hajotetuksi ja sekoitetuksi nostamalla sekoitusnopeutta noin kaksinkertaiseksi.

Reaktorin lämpötila pyritään pitämään mahdollisimman tasaisesti 37±1°C:ssa. Lämmitys toimii lämminvesikierrolla eli reaktorin kautta kulkee putkisto, jossa kiertävän veden lämpö johtuu reaktorilietteeseen.

Reaktorin pintaa lasketaan pumpaamalla lietettä ruuviseparaattoriin, joka erottelee kuiva-ainetta nestefaasista. Rejektivesi pumpataan yleensä jälkikaasutusreaktoriin – sitä voidaan myös pumpata takaisin reaktoriin, jos halutaan laskea reaktorilietteen kuiva-ainepitoisuutta. Mädätteestä separoitu kuivajae kuljetaan varastotilasta traktorilla pois jatkovarastointiin ja lannoitekäyttöön.

Jälkikaasutusaltaassa on sekoitus, muttei lämmitysjärjestelmää. Jälkikaasutusaltaan sisältämää rejektivettä pumpataan altaan täytyessä jatkovarastointiin, josta se on käytettävissä lannoitteeksi.

4.3 Kaasun hyödyntäminen

Livian biokaasu hyödynnetään kahdella eri tavalla: polttamalla kaasu kattilassa lämmöksi tai sähköenergiaksi ja lämmöksi CHP-laitteistolla.

CHP eli "combined heat and power" on prosessi, jossa biokaasua poltetaan generaattorin avulla sähkö- ja lämpöenergiaksi. Näitä voidaan johtaa yleiseen sähkö- ja kaukolämpöverkkoon tai käyttää paikallisesti.

Livian CHP-prosessi kattaa noin 15 % koko ammattiopiston energiantarpeesta riippuen prosessin tuotosta, vuodenajasta ym. Kattilan hyötysuhde on noin 90 % ja lämpöteho 80 kW. CHP-yksikön hyötysuhde on 85 % ja kokonaisteho noin 100 kW. Generaattori on tulpaton, joten kaasu sytytetään biodieselin avulla. [22]

CHP-yksikkö on pääasiallinen biokaasun käyttökohde, sillä sähköntuotanto on pienten siirtohävikkien vuoksi järkevämpää.

5 KOKEIDEN SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TULOKSET

Ennen käytännön osuuden aloittamista tutustuttiin laitoksen toimintaan, kartoitettiin mahdolliset syötevirrat, päätettiin seurattavat parametrit ja suunniteltiin seurantataulukko (Liite 2) datankeruuta varten. Laitokselle haluttiin standardisoidut työtavat ja menetelmät, jotta prosessia voitaisiin operoida helpommin ja saadut tulokset olisivat luotettavia. Sovittiin vakioita, joihin pyrittäisiin molemmissa koejaksoissa:

1. Lietettä pumpataan syötteeksi joka päivä kolmessa erässä.
2. Kuivasyötettä jauhetaan 30 minuuttia ennen syöttämistä. Kuivasyötön yhteydessä lisätään reaktoriin glyseroli.
3. Reaktorin pinta pidetään arvossa 155 cm ja online-mittariin perustuva TS-pitoisuus välillä 6-7 %.
4. Seurantataulukko täytetään aina ennen työpäivän alkua, kaikki toimintatavat on kuvattu Liitteessä 1.
5. Viikoittaisten analyysien näytteet kerätään ennen kuivasyöttöä, syöte-näytteet otettiin jauhatuksen jälkeen. Laitoksen suunnittelusta johtuen sekä raakalietesäiliön voimakkaasta kuorettumisesta johtuen raakaliet-teestä ja rejektivedestä ei saatu edustavia näytteitä.

Päätettiin toteuttaa kaksi yhden kuukauden mittaista koejaksoa. Ensimmäisen koejakson aikana haluttiin selvittää prosessin nollassa kaasuntuoton ja parametrien suhteen käyttämällä aiempaa syötekoostumusta. Toiseen koejaksoon otettiin käyttöön erilainen syötekoostumus ja nostettiin laitoksen kuormitusta sekä alettiin syöttää kuivasyötettä myös viikonloppuisin.

Ensimmäinen koejakso suoritettiin 26.11.2012 – 21.12.2012 ja toinen koejakso 28.1.2013 – 24.2.2013. Viikonlopuksi määriteltiin aikaväli lauantai klo 9 – maanantai klo 9.

Kaikki opinnäytetyöhön liittyvien määrytyksien sekä päivittäisten mittausten raakadata ovat liitteissä 2 ja 3.

Laadittiin myös opinnäytetyön liitteenä 1 oleva ”Prosessioperaattorin käsikirja”, jossa on kuvattu kaikki oleelliset prosessin ajamiseen ja mittauksiin kuuluvat vaiheet sekä dokumentointi. Laitoksen seuranta jatkossa helpottaa huomattavasti, kun työtavat ovat järjestelmällisiä ja data kerätään helposti käsiteltävään taulukkomuotoon.

Kaasuntuoton ja materiaalitehokkuuden kannalta tärkeimpinä parametreinä voidaan pitää myös reaktorin kuormitusta ja viipymää – nämä tekijät määrittelevät metaania muodostavien mikrobien ravinnon määrän, eli miten paljon ja missä suhteessa uutta raaka-ainetta lisätään reaktoriin. Voidaan myös laskea, paljonko yksi kuutiometri reaktorimädätettä tuottaa biokaasua, ja paljonko kaasua saadaan tonnista syötettä ja orgaanista ainetta. Kuormituksena käytetään prosessista riippuen arvoja 3-9 kgVS/m³d. [11]

Taulukko 6. Syötemateriaalit. Lyhenne sr = säilörehu. Suluisissa olevat luvut ovat viikonloppujen syöttömääriä.

	Koejakso 1		Koejakso 2	
	Määrä/vrk	VS-%	Määrä	VS-%
Raakaliete	4,5 m ³	arvio: 5 %	3 m ³	arvio: 5 %
Säilörehu	1 400 kg	19,6 %	4 000 kg	16,9 %
Esikuivattu sr.	600 kg		-	-
Sokerijuurikas	1 000 kg		-	-
Glyseroli	50 L	-	25 L	-
YHT. /arki (vkl)	7,5 t (4,5 t)	590 kg (225 kg)	7,0 t (5,0 t)	830 kg (490)

Tulosten laskennan helpottamiseksi tehtiin oletus, että raakalietteen VS-pitoisuus on 5 %. Tämä perustuu tuloksiin eräästä toisesta biokaasuprosessista, joka käyttää syötteenä samankaltaista lietettä.

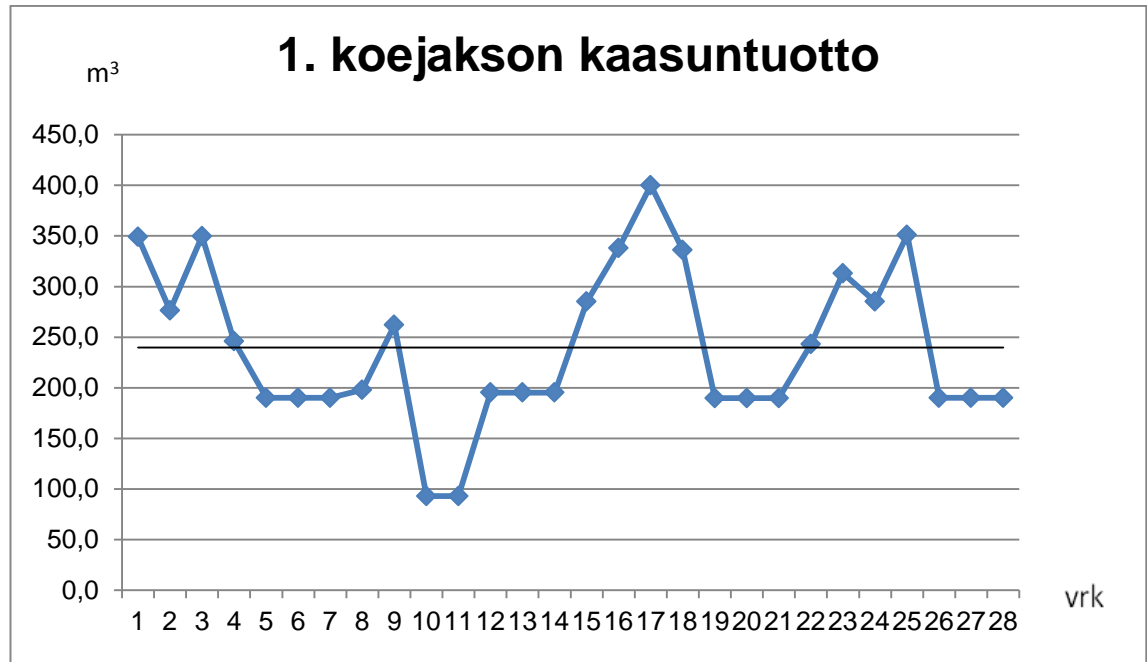
5.1 Ensimmäisen koejakson suunnittelu, toteutus ja tulokset

Ensimmäisen koejakson tarkoituksena oli siis stabiloida prosessi ja selvittää mitattavien parametrien nollatasot. Seuranta ei oltu aikaisemmin tehty kuin aivan perusparametrien osalta. Lisäksi haluttiin selvittää laitoksen online-mittauksien paikkansapitävyys. Käytettiin järjestelmällisesti Liitteessä 1 kuvattuja työtapoja ja täytettiin seurantataulukkoa.

Päätettiin käyttää jo ennen opinnäytetyötä käytössä ollutta kuivasyöteseosta: 1400 kg säilörehua, 600 kg esikuivattua säilörehua, 1000 kg sokerijuurikasjätettä ja 50 litraa glyserolia. Kuivasyöte jauhettiin kahdessa erässä, jotka syötettiin reaktoriin peräkkäin. Kuivasyöttö tehtiin aina arkipäivisin noin klo 9-12.

Raakalietepumppu oli huollossa 4.12. – 13.12. Tällä aikavälillä syötettiin ainoastaan kuivasyötettä sekä glyserolia.

Tiedot ensimmäisen koejakson syötteestä on koottu taulukkoon 6.



Kuva 3. Ensimmäisen koejakson kaasuntuottokuvaaja.

Tilavuutena glyserolilisäyksellä ei ole merkittävää vaikutusta, mutta glyserolilla on erittäin korkea metaanintuottopotentiaali, noin $500 \text{ m}^3/\text{tonni}$. Tämän arvon perusteella lisäys tuottaa noin 25 m^3 kaasua. Lisäksi glyseroli on helppokäyttöinen ravintoaine mikrobeille, ja lisäys erityisesti viikonlopun jälkeen saattaa auttaa elvyttämään mikrobien tuottavuutta. [20]

Kuvaan 3 piirretty trendisuora näyttää, että kaasuntuotto on kuukausitasolla tasaista. Voidaan siis todeta, että nollataso on saavutettu.

Mädätteestä tehdyt VFA-analyysit kertoivat reaktorilietteen rasvahappopitoisuuden olevan toistuvasti alle määritysrajan. Tämä kertoo siitä, että reaktoria ei ylikuormiteta ja mikrobipopulaation toiminta on tasapainossa.

Reaktorilietteen alkaliteetti sekä typpipitoisuudet pysyivät koko koejakson ajan samalla tasolla, mikä kertoo prosessin tasaisuudesta tai ainakin hitaasta vasteajasta (suuri tilavuus reagoi hitaasti muutoksiin). Näiden parametrien suhteen ei siis tarvinnut tehdä toimenpiteitä.

Kuivasyötemateriaaleista sekä reaktorimädätteestä määritettiin TS/VS-arvot laboratoriossa kerran viikossa. Oletettavasti syötteet ovat niin homogeenisiä kuin peltobiomassa voi olla, TS/VS-arvot vaihtelevatkin jonkin verran. Karkeajakoisen ja käytännön syistä kohtalaisen heterogeenisen syötteen TS/VS on hankalaa mitata pienellä näytetilavuudella.

Kaasunkoostumus vaihteli koejakson aikana melko paljon. Anaerobisuus toteutui hyvin eli happipitoisuus oli lähellä nollaa koko koejakson ajan, tosin teknisen vian vuoksi kaasukuvut pääsivät kerran aukeamaan. Tämä johti metaanipitoisuuden romahtamiseen ja happipitoisuuden nousuun.

Ensimmäisen koejakson aikana Turun AMK:n kalibroidulla, kannettavalla mittarilla mitattu biokaasun metaanipitoisuus oli keskimäärin 59 %, joka on kirjallisuuslähteidenkin mukaan tyypillinen pitoisuus [1][4]. Laitoksen online-mittari näytti toistuvasti yli 70 % lukemia, mistä nousi epäilyjä sen luotettavuudesta. Mittari kalibroitiin ja viritettiin laitetoimittajan toimesta, ja lukema laskikin vastaamaan kannettavan mittarin lukemia.

Rikkivetypitoisuus vaihteli online-mittarin mukaan välillä 20-100 ppm. Arvo laski huomattavasti aina kuivasyötön yhteydessä. Joitakin poikkeuksia lukuunottamatta kannettava kaasuanalysointilaitteisto antoi rikkivetypitoisuudeksi alle 20 ppm. Olisi järkevää kalibroida myös laitoksen rikkivety- ja happianturit. Joka tapauksessa rikkivetypitoisuus on hyvällä tasolla, sillä prosessin epävakauden kannalta ylärajana voidaan pitää 200 ppm:ää. Kaasun poltto-ominaisuuksia ajatellen ylärajana on 1000 ppm. [4]

5.2 Toisen koejakson suunnittelu, toteutus ja tulokset

Ensimmäisen koejakson tulosten perusteella ei voitu vielä vetää johtopäätöksiä mihin suuntaan syötettä kannattaisi muuttaa. Kuormitus oli melko pieni eikä VFA:ta kertynyt. Ajatuksena oli saada kaasuntuotto selvästi korkeammalle nostamatta kuormitusta liian nopeasti liian ylös. Vaikkei opinnäytetyön puitteissa tuottoa voikaan optimoida riittävästi, pitkän tähtäimen tavoite on maksimoida

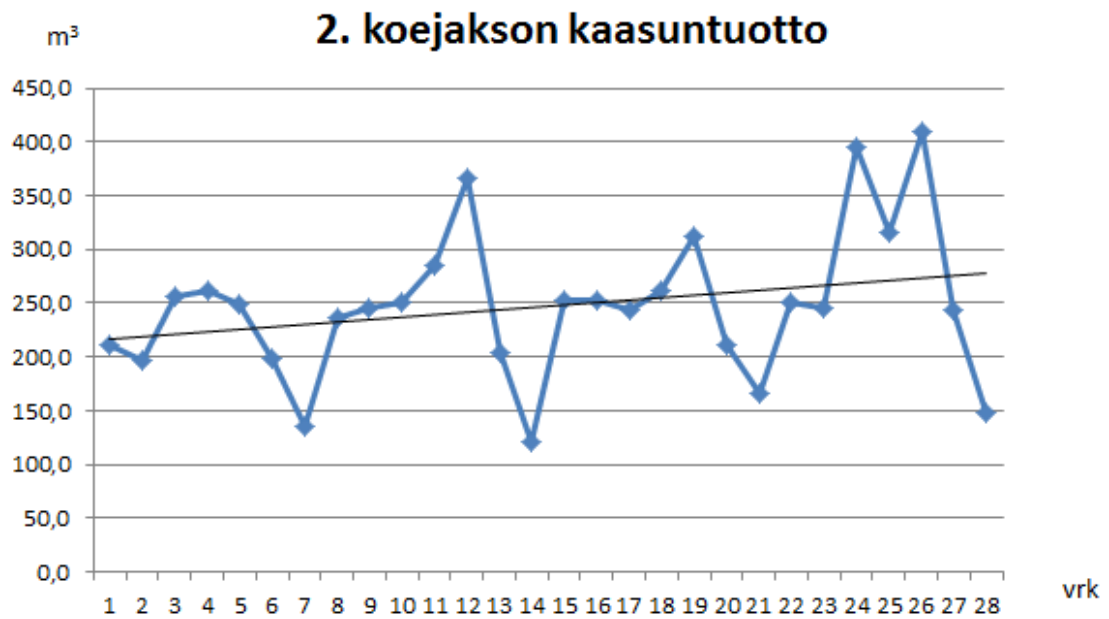
prosessin kaasuntuotto sekä tehdä raaka-ainehankintoja ja kaavoittaa viljely kapasiteetin mukaan.

Kuormitus oli ensimmäisessä koejaksossa $2,0 \text{ kgVS/m}^3\text{d}$. VFA-arvon pysytellessä alhaalla päätettiin nostaa kuivasyötteen määrää 3 tonnista 4 tonniin, mikä nosti kuormitusta $0,6 \text{ kgVS/m}^3\text{d}$.

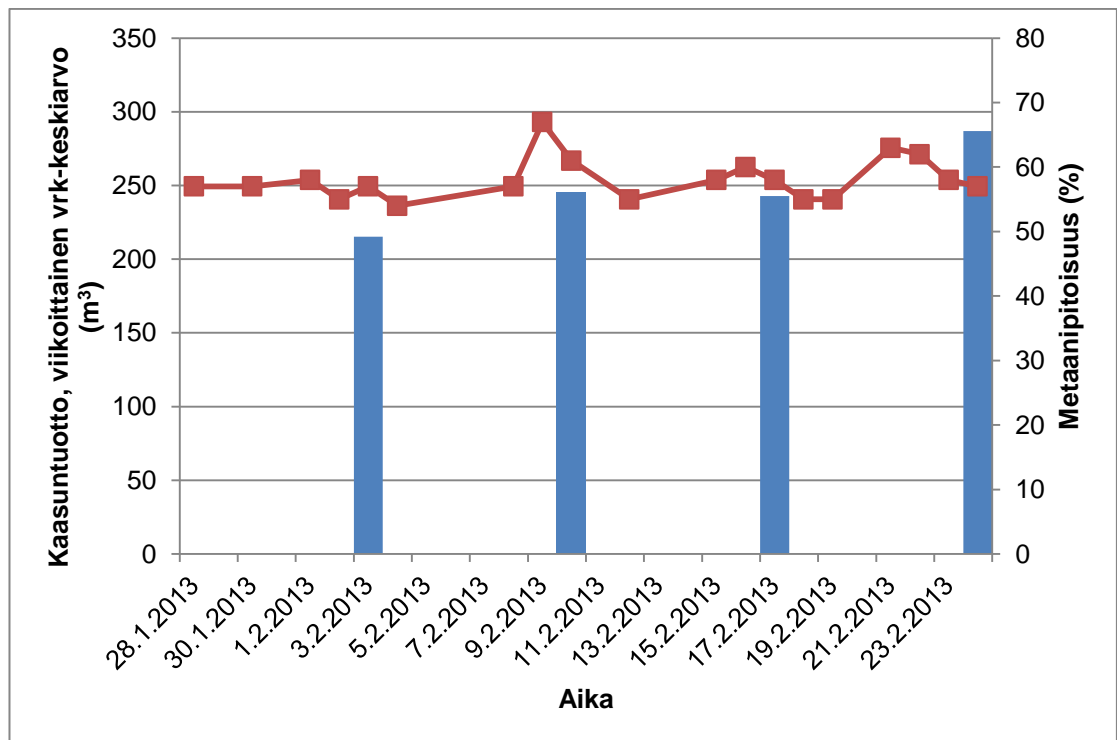
Toisen koejakson lietesyöttömäärän nostoa rajoitti jälkikaasutusreaktorin jälkeisen varastoaltaan täytyminen, joten lietesyöttöä piti vähentää 3 m^3 :iin. Myös biodieselprosessista saatava glyseroli uhkasi loppua kesken, joten sen määrä päätettiin laskea 25 litraan. Näin varmistettiin, että voidaan jatkaa samalla syötekoostumuksella koko koejakson ajan.

Toisen koejakson kuivasyöttömateriaaliksi valittiin pelkkä säilörehu; sitä oli saatavilla tasalaatuisena koko koejakson ajaksi. Lisäksi sen vuotuinen saatavuus on Livian tapauksessa paras sekä kirjallisuuden perusteella metaanintuottopotentiaali on hyvä verrattuna muihin saatavilla oleviin materiaaleihin.

Arkipäivien (maanantai klo 9 – perjantai klo 16) kuivasyöttö jaettiin kahteen 2000 kg erään, koska haluttiin tasaisempaa kaasuntuotantoa. Lietesyöttö toteutettiin automatisoidusti kolmessa 1 m^3 erässä, syöttöajat suunniteltiin niin ikään tasaista kaasuntuottoa ajatellen. Kuivasyötön yhteydessä lisättiin joka päivä 25 L glyserolia. Lauantaina ja sunnuntaina syötettiin 2000 kg säilörehua yhdellä kertaa. Tiedot toisen koejakson syötteestä on koottu Taulukkoon 6.



Kuva 4. Toisen koejakson kaasuntuotto.



Kuva 5. Toisen koejakson kaasuntuotto. Siniset palkit ovat kunkin koeviikon ajalta (maanantai klo 9 – maanantai klo 9) otettuja kaasuntuoton vuorokausikeskiarvoja, punainen käyrä kuvaa metaanipitoisuutta.

Kuvassa 4 näkyvät minimiarvot ovat sunnuntaipäivien kaasuntuottoja. Kaasuntuoton tasaisuuden kannalta kaksi vuorokausisyöttöä sekä kuivasyötöt myös viikonloppuisin ovat selkeä parannus, vaikka kaasuntuotto kuukausitasolla onkin lähes sama kuin ensimmäisessä koejaksoissa. Syynä tähän saattaa olla koejaksojen välissä ollut aika, jonka aikana syötettiin vähemmän lietettä tai prosessi heikkeni muista syistä. Kuvasta 5 nähdään, että kaasuntuotto nousi koko koejakson ajan ja metaanipitoisuus pysyi tasaisena. Koetta olisi pitänyt jatkaa huomattavasti kauemmin, jotta olisi saavutettu tasaantunut tilanne myös toisen koejakson parametreilla. Kuormitus oli toisessa koejaksoissa 2,6 kgVS/m³d, eli sitä voitaisiin vielä jatkossa nostaa.

Kuormituksen nostoa jatkossa voidaan perustella ennen kaikkea nollassa pysyttelöllä VFA-pitoisuudella. Myös typpipitoisuudet, alkaliteetti, TS/VS, pH ja lämpötila olivat tasaisia sekä viikkotasolla että koejaksoja verrattaessa.

Taulukko 7. Koejaksojen kaasuntuotto ja kuormitus.

	Koejakso 1	Koejakso 2
Viipymäaika (vrk)	40	43
Kuormitus (kgVS/m ³ d)	2,0	2,6
Kaasuntuotto (m ³ /t kuivasyöte)	83,5	70
Kaasuntuotto (m ³ /t VS)	570	410
Kaasuntuotto (m ³ /m ³ reaktolietettä)	0,7	0,8

Taulukko 8. Koejaksojen tulokset; mädäte ja kaasunkoostumus.

	Koejakso 1	Koejakso 2
Mädäte-TS	5,6 %	6,2 %
Mädäte-VS	3,1 %	3,6 %
Liuk. kokonaistyyppi (g/L)	1700	1780
Liuk. ammoniumtyppi (g/L)	1220	1290
Alkaliteetti (CaCO ₃ mg/L)	8500	8700
VFA (g/L)	0	0
pH	7,5	7,6
Lämpötila (°C)	38	37,5
CH ₄ -pitoisuus	58,9 %	58,1 %
CO ₂ -pitoisuus	43,9 %	43,3 %
O ₂ -pitoisuus	0 %	0,1 %
H ₂ S -pitoisuus	14 ppm	23 ppm

Taulukoiden 7 ja 8 arvot perustuvat koejaksojen aikana viikottain mitattuihin keskiarvoihin. Minkään parametrin suhteen ei ole juurikaan vaihtelua, mikä tarkoittaa sitä, että muutokset eivät olleet liian suuria ja prosessi säilyi tasapainossa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

6.1 Johtopäätökset

Kaikki esitetyt tulokset perustuvat Turun ammattikorkeakoulun laboratorioissa tehtyihin sekä kannettavan kaasunkoostumusmittarilla suoritettuihin mittauksiin. Kaasuntuotot on laskettu vuorokausikeskiarvoina koko koejaksojen ajalta. Syötteiden VS-arvot määritettiin viikoittain, mutta kuormituslaskelmissa on käytetty kuukausittaisia keskiarvoja.

Reaktorin TS/VS –lukemat pysyivät molempien koejaksojen aikana samalla tasolla, toisaalta kuiva-ainepitoisuutta säädeltiin haluttuun arvoon päivittäin separoimalla mädätettä; ilman säätöä TS/VS olisi varmasti noussut, sillä liete-kuivasyötesuhde oli toisessa koejaksossa huomattavasti enemmän kuivasyötteen puolella.

Kaasuntuotot syötetonnin kohden vastaavat hyvin nurmibiomassan kaasuntuotopotentiaalia. Toisen koejakson syötteen kaasuntuotto on hieman pienempi mikä saattaa johtua useasta seikasta, kuten pienemmästä glyserolimäärästä jota ei huomioitu kuormituslaskuissa, erilaisesta liete-kuivasyötesuhteesta sekä tietysti erilaisesta kuivasyötekoostumuksesta. Voidaan tehdä oletus, että lietteen ja glyserolin vaikutukset kaasuntuottoon ovat pieniä ja suurin osa kaasusta muodostuu kuivasyötteestä.

Toisen koejakson kaasuntuottoon varsinkin alussa vaikutti varmasti myös jaksojen välissä ollut aika, jolloin syöttö pidettiin pienempänä ja kaasuntuotto pääsi laskemaan. Kaiken kaikkiaan tarvittaisiin mielellään kahden viipymän pituinen mittausaika vakio-olosuhteilla, jotta eri tilanteiden kaasuntuotot olisivat vertailukelpoisia. Kaasuntuottoja on siis monen muuttujan vuoksi erittäin vaikeaa vertailla koejaksojen välillä. Tyypillinen tilanne biokaasuprosessissa on se, että reaktorista poistettua mädätettä ei johdeta takaisin. Joidenkin teknisten ongelmien vuoksi oli jaksoja, jolloin syöteliettä ei pumpattu reaktoriin lainkaan, eikä jälkikaasuallas ollut kytkettynä pääkaasulinjaan ja tuottomittariin.

Toisessa koejaksossa huomattiin selkeästi suuremman kuivasyötemäärän ja pienemmän lietemäärän aiheuttavan pumpattavuusongelmia. Mädätteestä erotettua rejektivettä jouduttiin pumpaamaan entistä enemmän takaisin reaktoriin mädätteen laimentamiseksi – TS-pitoisuuden noustessa online-anturin mukaan yli 7,5 %:n alkoi tulla ongelmia pumpattavuuden suhteen. Laboratoriomittakaavan testien perusteella on todettu, että kuivasyötteestä saatavan VS-määrän pitäisi olla noin 30 % koko syötteen VS-määrästä parhaan kaasuntuoton kannalta [9]. Prosessiteknisestä näkökulmasta, pumpattavuuden ja sekoituksen kannalta, paras kuivasyöte-liete –suhde tulisi määritellä tapauskohtaisesti.

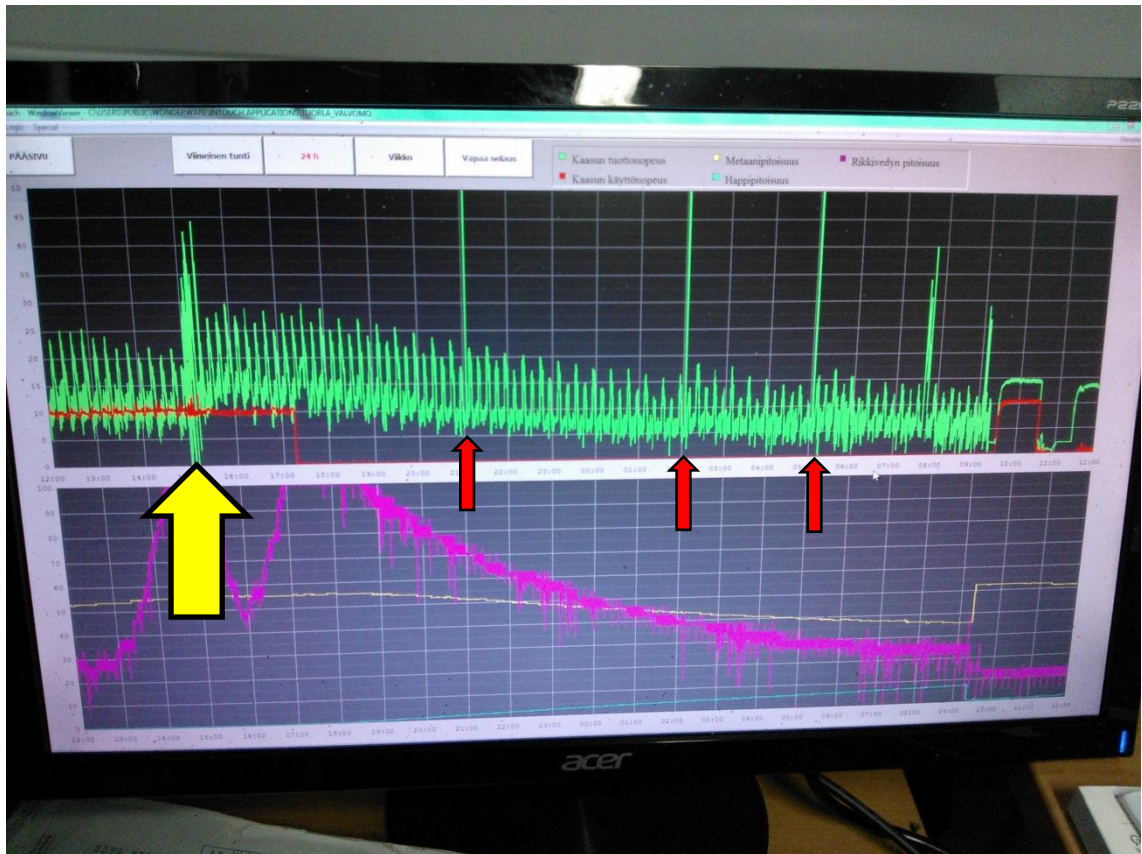
Koska prosessi säilyi seurattujen parametrien suhteen tasaisena, on perusteltua lähteä nostamaan kuormitusta. Kuormituksen nostossa kannattaa tarkkailla erityisesti mädätteen VFA-pitoisuutta. Biokaasuprosessia tulisi jatkuvasti kehittää ja uusien, materiaalitehokkuudeltaan parempien raaka-aineiden tutkiminen olisi kannattavaa.

Kuvista 6 ja 7 on nähtävissä kaasuntuoton kasvu lähes välittömästi syötön yhteydessä. On mahdotonta sanoa, mikä on orgaanisen aineksen hajoamisprosentti lyhyellä aikavälillä. Voidaan kuitenkin tehdä oletus myös tuottokuvaajan perusteella, että prosessi kestäisi suurempaa kuormitusta ja esimerkiksi kuuden tunnin välein tapahtuvia kuivasyöttöjä.

Ensimmäisessä koejaksossa oli käytössä kolme eri kuivasyötettä, kun taas toisessa koejaksossa käytettiin vain säilörehua kuivasyötteenä. Yksiselitteisiä johtopäätöksiä parhaan kuivasyötemateriaalin suhteen on siis mahdotonta tehdä. Taulukosta 5 nähdään, että kasvibiomassojen orgaanisen aineen metaanintuottopotentiaaleissa ei ole merkittäviä eroja. Voidaan olettaa, että kuivasyötteen VS-pitoisuuksien ollessa samaa luokkaa myös niistä tuotettu biokaasumäärä on samaa luokkaa. Toisen koejakson nouseva kaasuntuotto johtuu siis todennäköisesti vain suuremmasta orgaanisesta kuormituksesta, ei niinkään materiaalivalinnoista.



Kuva 6. Kaasuntuottokuvaaja viikkoakselilla. Vihreä kuvaa tuottoa, punainen kaasupolttimen ja kattilan käynnissäoloa. Alemmassa kuvaajassa violetti kuvaa kaasun rikkivetypitoisuutta ja keltainen metaanipitoisuutta. Viikonlopun yksittäisyötöt on merkitty keltaisilla nuolilla.



Kuva 7. Kaasuntuottokuvaaja vuorokausiakselilla. Ylemmässä kuvaajassa kii-
vastyttö on tapahtunut keltaisen nuolen kohdalla. Ohuet tuottopiikit ovat lie-
tesyöttöjä (punaiset nuolet).

6.2 Prosessin kehittämisehdotuksia

Kun biokaasuprosessia pyritään optimoimaan ja kehittämään, muutokset tulee tehdä hallitusti ja kärsivällisesti, yksi muuttuja kerrallaan. Kun prosessin mahdollisuudet ovat selvillä, voidaan alkaa tekemään hankintoja raaka-aineiden suhteen – viljelyalan lisääminen, uusien biokaasutuotantoon soveltuvien kasvilajien hankkiminen ja keskustelu lähialueen muiden tahojen kanssa materiaaliyhteistyöstä.

Nykytilassaan laitos toimii kaasuntuoton kannalta melko tasaisesti, ottaen huomioon poikkeavan syötön viikonloppuisin. Tarvittaisiin kahden hydraulisen vii-

pymän mittainen jakso, jonka aikana syöttö ja muut parametrit pidettäisiin vakiona päivittäin, jotta voitaisiin määritellä kaasuntuoton tasaisuus ja kapasiteetti. Kuormituksen nosto tulee tehdä pienin askelin. Samalla tulisi seurata erityisesti VFA-pitoisuutta, jonka perusteella voitaisiin nähdä mahdollinen ylikuormitus ja prosessin epätasapainoisuus. Lietteen ja kuivasyötön suhde kannattaisi pitää mahdollisimman samana eli nostaa kummankin määrää samanaikaisesti.

Kirjallisuus ei anna yksiselitteisiä rajoja kuivasyöte-liete –suhteelle, mutta reaktorin kuiva-ainepitoisuus tulisi ehdottomasti pitää välillä 6-8 %, jotta tehokas sekoitus ja mädätteen pumpattavuus säilyvät. Tyypillisesti, kuten Livian laitoksella, kuiva-ainepitoisuutta säädellään laimentamalla mädätettä rejektivedellä. Saksassa käytetään paljon peltobiomassoja biokaasun tuottamiseen, esimerkkilaitoksessa kasvimassa on pääasiallinen syöte, sen osuus kokonaissyötteestä on 70 %. Tämänkaltaisissa laitoksissa syötettävän raakalietteen pääasiallinen tarkoitus on stabiloida prosessia sekä biologisessa, kemiallisessa että prosessiteknisessä mielessä. Reaktorin mädätteen laimentamiseen eli kuiva-ainepitoisuuden säätelyyn voitaisiin käyttää kuivasyötesiloista tihkuvaa huuhdetta. [21]

Optimointi tulee suorittaa yksi muuttuja kerrallaan, jotta voidaan vetää luotettavia johtopäätöksiä. Optimoinnissa pitää muistaa antaa tarpeeksi aikaa olosuhteiden tasaantumiselle ennen seuraavaa muutosta, sillä suurehkon mittakaavan prosessi reagoi melko hitaasti.

1. Kuormitusta tulisi nostaa, sopiva nopeus olisi $0,5 \text{ kgVS/m}^3\text{d}$ viikossa. Nostoprosessin aikana seuranta tulisi tehdä jo koejaksoissa käytettyjen parametrien osalta eli viikoittaisilla mittauksilla. Tärkein mittari maksimikuormituksen hakemisessa on VFA-pitoisuus, jonka nousu kertoisi liiallisesta kuormituksesta. Nosto kannattaisi tehdä niin, että esimerkiksi joka toisen noston jälkeen kuormitus pidettäisiin vakiona kahden viikon ajan, jotta saadaan lisää reagointi-aikaa muutosten havaitsemiseen.
2. Laitokselle tulisi laatia ennaltaehkäisevä huoltosuunnitelma, joka kattaisi ainakin tärkeimmät ja helposti huollettavissa olevat toimilaitteet eli pumput, sähkömoottorit sekä kaasunkoostumus- ja lämpötila-anturit.

3. Järjestelmällistä seurantaa tulisi jatkaa. Seurantadatan siirto valmiiseen sähköiseen keruujärjestelmään helpottaisi tulosten analysointia ja päätöksentekoa prosessin suhteen.
4. Sekoitukseen tulisi hakea optimiarvoja. Parasta olisi lähteä suuresta sekoitusnopeudesta (esimerkki: ykkössekoittimen hidas vaihe 25 Hz, kakko-sekoittimen hidas vaihe 25 Hz, molempien sekoittimien nopea vaihe 45 Hz) ja tarkkailla silmämääräisesti mädätettä vaahtoamisen ja kuoretumisen varalta. Nopeuksia tulisi pitää samoina vähintään pari vuorokautta ennen nopeuksien laskemista. Kun sekoitusnopeuksia on voitu laskea niin alas, että reaktioseos ei enää sekoitu kunnolla, voidaan nopeudet nostaa edellisiin arvoihin.
5. Raaka-aineita tarvitaan lisää, mikäli halutaan nostaa prosessin kaasuntuottoa. Kuormituksen nosto kannattaa toteuttaa vakioidulla liete-peltobiomassa –suhteella.
6. Peltobiomassojen esikäsittely jo varastointivaiheessa olisi suotavaa; happokäsittely tai muun kaupallisen säilöntäaineen käyttö parantaa kasvimassan säilyvyyttä ja nostaa metaanisaantoa mädätysvaiheessa [21].
7. Reaktioseoksesta saataisiin homogeenisempaa, mikäli kuivasyöte lisätäisiin repijäpumpun avulla. Repijäpumpun läpi pumpattaisiin sekä lietettä että hienonnettua kuivasyötettä, seos olisi tasalaatuinen ja sekoittuisi tehokkaammin.
8. Reaktorin, separaattorin ja jälkikaasualtaan välisen putkiston rakennetta tulisi muuttaa siten, että erillisestä näytteenottohanasta voitaisiin ottaa edustava näyte kierrätettävästä mädätevirrasta. Tällä hetkellä kiinteästi reaktorin kyljessä olevasta hanasta otettu näyte edustaa vain yhtä ja samaa lohkoa reaktorin sisällöstä. Erilainen putkistoratkaisu mahdollistaisi myös jälkikaasualtaan käytön mädätevarastona, mikäli reaktoriin pitäisi tehdä huoltotyötä ja mädäte halutaan säilyttää elinvoimaisena huollon ajan.
9. Opetuskäytössä olevan prosessin hahmottamista helpottaisi, mikäli liete- ja kaasulinjat merkittäisiin nuolitarroilla.

LÄHTEET

[1] Clemens, Joachim. How to Optimize the Biogas Process according to Process Control Monitoring Data in Biogas Plant. Saksa.

[2] Kaparaju, Prasad. 2003. Enhancing Methane Production in a Farm-scale Biogas Production System. Jyväskylän yliopisto.

[3] Fischer, Torsten & Krieg, Andreas. Farm-scale Biogas Plants. Krieg&Fischer Ingenieure GmbH. Viitattu 7.1.2013

[4] Appels, Lise.; Baeyens, Jan; Degreève, Jan & Dewil, Raf. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science 2008.

[5] Pahkala, Katri; Hakala, Kaija, Kontturi, Markku & Niemeläinen, Oiva. 2009. Peltobiomassat globaalina energialähteenä. MTT.

[6] Teittinen, Samuli. 2005. Biokaasuenergian ja orgaanisten jätteiden hyötykäytön mahdollisuudet Kärppälän kylissä -esiselvitys. Tampereen AMK.

[7] Luostarinen, Juha. 2009. Ruokohelven biokaasutuskokeet. Metener Oy.

[8] Parameters and Process optimisation for Biogas. Energypedia.info 2013.

https://energypedia.info/index.php/Parameters_and_Process_Optimisation_for_Biogas

[9] Mykkänen, Eeli. 2008. Biokaasun tuottaminen säilörehusta lehmänlantaa käsittelevällä biokaasulaitoksella. Jyväskylän yliopisto.

[10] Vilkkilä, Tuomo. 2007. Biokaasulaitos maatilalle, esiselvitys. Jyväskylän AMK.

[11] Latvala, Markus. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristökeskus.

[12] Brooks, L.; Parravicini, V.; Svardal, K.; Kroiss, H. & Prendl, L. 2008. Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories. Pubmed 2012.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18957765>

[13] Wagner, Andrea; Auerbach, Horst; Herbes, Casrsten & Weissbach, Friedrich. 2011. Preservation of sugar beets for bigas production. Progress in Biogass Stuttgart-Hohenheim.

[14] MTT 2011. Suomen sokerijuurikkaan viljely on vaarassa. Viitattu 12.1.2013

<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/ajankohtaista/Uutisarkisto/2011/Suomen%20sokerijuurikkaan%20viljely%20on%20vaarassa>

[15] Lehtomäki, Annamari; Paavola, Teija; Luostarinen, Sari & Rintala, Jukka. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja tuotteet. Jyväskylän yliopisto.

[16] Taavitsainen, Toni; Kapuinen, Petri & Survo, Kyösti. 2002. Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu.

[17] Ammattiopisto Livian kotisivut 2013. <http://www.livia.fi/fi/opistot/maaseutuopisto-tuorla>

[18] Dohányos, Zábranská 2001. Anaerobic digestion. Spinosa & Vesilind, Sludge into biosolids. Viitattu 16.1.2013.

[19] Biomass Energy 2013. Biogas typical components.

<http://www.biomassenergy.gr/en/articles/technology/biogas/102-xhmikh-systasi-bioaeriu-biogas-typical-components>

[20] Santibáñez, Claudia; Varnero, María Teresa & Bustamante, Mauricia. Residual Glycerol From Biodiesel Manufacturing, Waste or Potential Source of Bioenergy: A Review. Chilean Journal of Agricultural Research 2011, vol. 71.

[21] Braun, Rudolf; Weiland, Peter. & Wellinger, Arthur. Biogas from Energy Crop Digestion. IEA Bioenergy. Viitattu 4.3.2013.

[22] Metener Oy:n kotisivut. Viitattu 6.3.2013. <http://www.metener.fi/5>

Prosessioperaattorin käsikirja

Ammattiopisto Livian biokaasulaitos



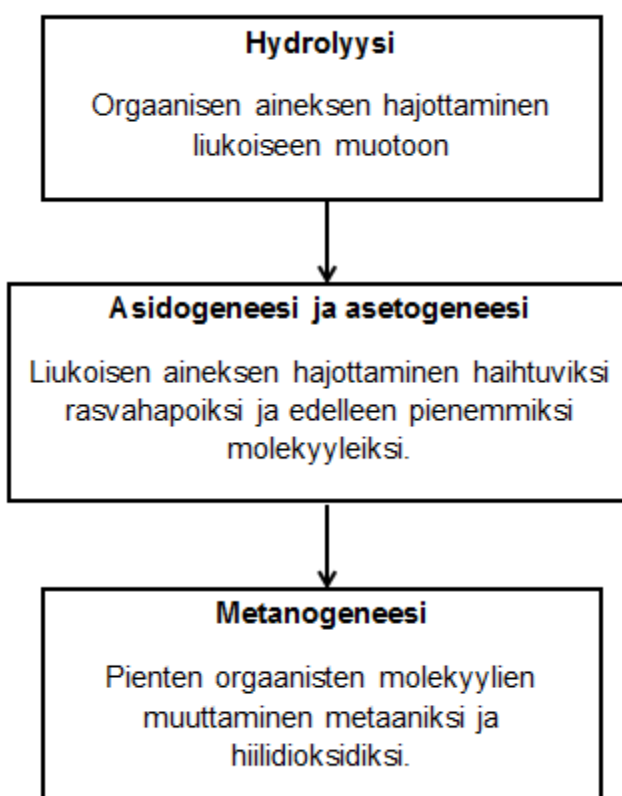
Antti Vävilä

Turun ammattikorkeakoulu

10.4.2013

Biokaasun tuotanto mädätysprosessilla

Anaerobinen eli hapettomissa olosuhteissa tapahtuva biokaasuntuotanto perustuu mikrobien aineenvaihduntaan; nelivaiheisen ketjun lopputuotteena syntyy metaanikaasua sekä hiilidioksidia. Kaasun koostumus ja tuottomäärä vaihtelevat syötteen koostumuksesta sekä prosessin yleistilasta riippuen. Prosessi voi olla joko mesofiilinen (noin 37 °C) tai termofiilinen (noin 55 °C), ja syötteenä käytetään tyypillisesti eläin- ja yhdyskuntaperäisiä lietteitä, rasvalietteitä tai peltohiomassoja. Yhteismädätyksessä voidaan käyttää erilaisia yhdistelmiä. Syötteen pitää kuitenkin täyttää tiettyjä vaatimuksia mm. orgaanisen aineksen (mikrobien ravintoa), typen ja muiden ravinteiden suhteen.



Kuva 1. Mikrobiologinen metaanintuottoketju

Taulukko 1. Biokaasun ominaisuuksia sekä mahdollisten syötemateriaalien metaanintuottopotentiaaleja.

Biokaasu	
Energiasisältö normaali-paineessa	1 m ³ puhdasta metaania = 10 kWh = 1 litra polttoöljyä
Metaanipitoisuus	55-70 %
Hiilidioksidipitoisuus	30-45 %
Lisäksi pieniä määriä rikkivetyä, happea, typpeä ja kosteutta	
	Metaanintuottopotentiaali (m ³ metaania / tonni syötettä)
Syötteet	
Vedenpuhdistamoliete	5-15
Lietelanta	7-22
Biojäte	100-150
Ruukohelpi	100-170
Rehukaali	30-40
Olki	200-260
Maissisäilörehu	80-90
Teurasjäte	150

Lähteet:

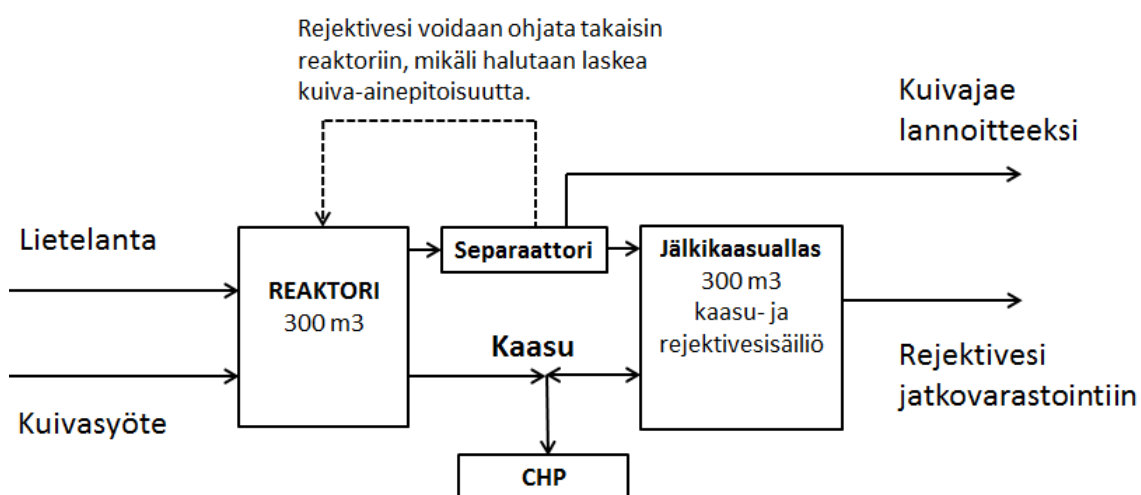
Luostarinen, Juha. 2009. Ruukohelven biokaasutuskokeet. Metener Oy.

Lehtomäki, Annimari; Paavola, Teija; Luostarinen, Sari & Rintala, Jukka. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja tuotteet. Jyväskylän yliopisto.

Prosessia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon joitakin perustekijöitä: onko kyseessä märkä- vai kuivaprosessi, tarvitaanko syönteille esikäsitteilylaitteisto esimerkiksi hienontamista ja esisekoitusta varten, minkälainen reaktori mitoitetaan eli kuinka suuri kaasuntuottokapasiteetti on mahdollista saavuttaa olemassa olevilla resursseilla, miten järjestetään logistiset ratkaisut kuten lietteiden kuljetus sekä miten tuotettu kaasu hyödynnetään. Tyypillinen biokaasulaitos koostuu muutamasta pääelementistä: raaka-aineiden välivarasto sekä esikäsitteily (siilot, esisekoitussäiliöt), varsinainen reaktori toimilaitteineen (pumput, putkistot, lämmitysjärjestelmä, sekoitus, separointi jne.) sekä kaasun käyttölaitteisto (kaasun puhdistaminen, polttoprosessi, kaasun paineistaminen).

Livian biokaasuprosessin toiminta

Kyseessä on jatkuvatoiminen märkäprosessi, jossa biokaasua tuotetaan yhteismädätyksellä. Raaka-aineina käytetään lietelantaa sekä peltobiomassoja ja biodieselprosessista saatavaa glyserolia.



Kuva 1. Livian biokaasuprosessi. Reaktorin aktiiviseksi tilavuudeksi on arvioitu 300 m³. Lietetilavuudet ovat 360 m³ lietteitä varten sekä 440 m³ kaasun varastointiin.

Lietelanta pumpataan sikalasta esisäiliöön, josta se on automaattisesti pumpattavissa reaktoriin haluttuina aikoina ja määrättyinä tilavuuksina. Kuivasyöte kuormataan ensin apevaunuun, jossa se hienonnetaan helpommin käsiteltäväksi. Hienontaminen rikkoo kasvisolukkoa ja lisää näin reaktiopinta-alaa, jolloin ravinto on paremmin mikrobien käytettävissä. Hienonnettu kuivasyöte siirretään elevaattorin avulla ruuvikuljettimelle, joka vie syötteen reaktorilietteen sekaan. Reaktorissa on kaksi sekoitinta molemmilla puolilla ja eri syvyyksissä - sekoitusnopeuksia voidaan säätää kullekin sekoittimelle erikseen.

Reaktorista poistetaan ennen syöttöä vastaava määrä vanhaa lietettä pumpun avulla. Mädäte pumpataan ruuviseparaattorin kautta, joka erottaa tehokkaasti kiinteän jakeen nestejakeesta. Kiinteä jae putoaa varastotilaan, josta se voidaan kuljettaa jatkovarastointiin. Nestejae pumpataan edelleen jälkikaasualtaaseen. Jälkikaasualtaan pääasiallinen tarkoitus on toimia rejektiveden sekä biokaasun välivarastona. Lopulta sekä kuivajae että rejektivesi käytetään lannoitteeksi.

Mädätysprosessin tilaa voidaan seurata useilla erilaisilla määrittäyksillä. Päivittäisiin rutiinimittauksiin kuuluvat pH:n ja lämpötilan mittaukset. Lisäksi tulee tarkkailla pinnankorkeutta, kuiva-ainepitoisuutta eli TS-prosenttia ja kaasuntuottoa. Kaasunkoostumus kertoo paljon prosessin toimivuudesta; tyypillinen metaanipitoisuus on välillä 55-70 % ja happipitoisuus välillä 0-0,5 %. Rikkivedyn eli H₂S:n pitoisuuden tulisi olla välillä 0-200 ppm.

Korkea happipitoisuus viittaa kaasuvuotoon, joka on vakava ongelma; metaania tuottavat bakteerit toimivat vain hapettomissa olosuhteissa. Poikkeavat kaasunkoostumuslukemat voivat myös johtua antureiden kaasuletkuihin tiivistyneestä vedestä.

Reaktorin pintaa tulee tarkkailla sekä korkeuden suhteen että vaahtoamisen tai kuorettumisen varalta. Tehoton sekoitus aiheuttaa kuivasyötteen kerrostumisen pinnalle, eivätkä mikrobit pääse siihen käsiksi. Kuori estää myös kaasun nousumisen mädätteestä. Liian tehokas sekoitus kuluttaa tarpeettomasti sähköä. Se myös aiheuttaa vaahtoamista, joka ei ole hyväksi prosessille. Pinnankorkeuden tulisi olla välillä 150-160, jotta ylempi sekoitin toimisi optimaalisesti.

voidaan säätää sekä hitaan että nopean vaiheen suhteen. Lisäksi sekoitusvaiheiden kestoja voidaan vaihtaa.

- ”Hälytykset” –välilehti: ylä- ja alarajojen asettaminen useille eri parametreille, kuten reaktorin pinnankorkeudelle. Arvojen mennessä asetusrajojen ulkopuolelle järjestelmä lähettää hälytyksen.
- ”Prosessikuvaajat” –välilehti: mm. kaasunpaineiden kuvaajia.

Prosessin ajo

1. Täytä seurantataulukkoon kellonaika, laske kaasuntuotto ja –käyttö sekä merkitse ylös muut kaasuarvot.
2. Käynnistä apevaunu ja lastaa etukuormaajalla syötettävä biomassa. Raaka-aineesta riippuen 30-60 minuutin hienonnus riittää, hyvä partikkelikoko on noin 50 mm.



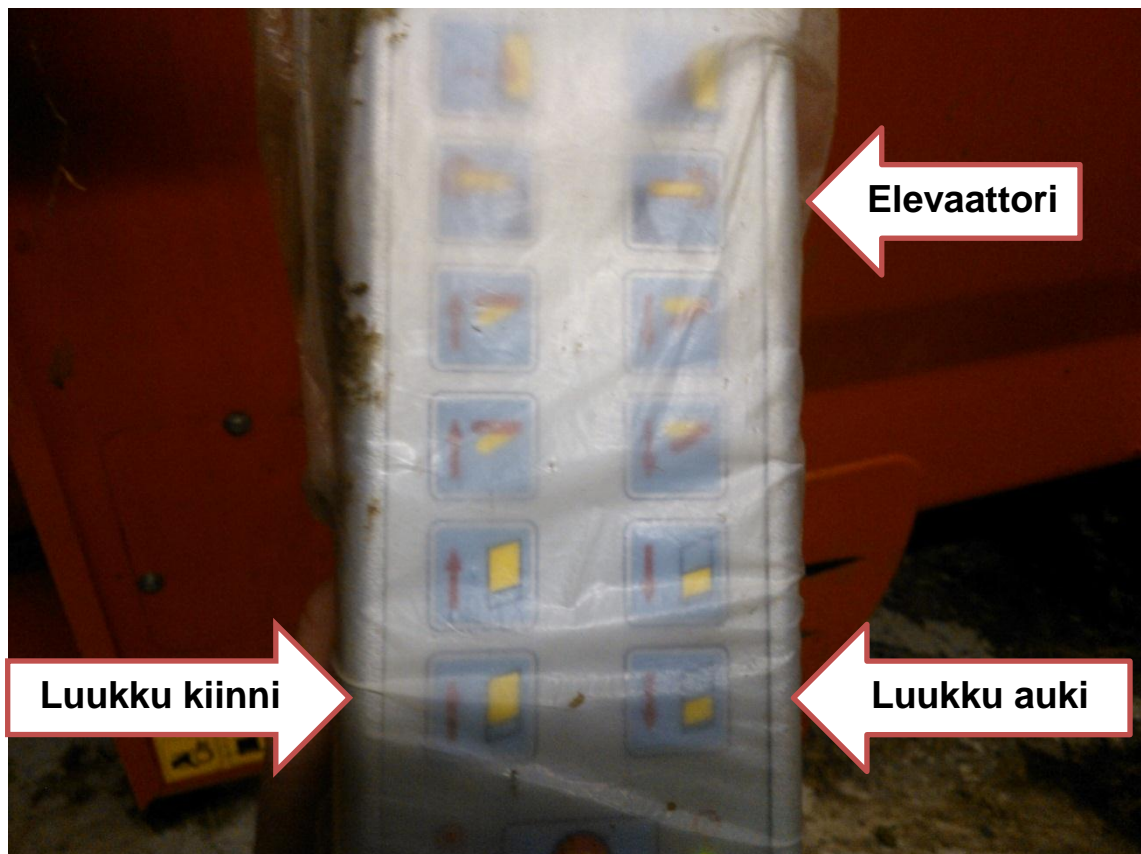
Kuva 3. Apevaunu. Lastaa syöte etukuormaajalla laitteen yläosasta.

3. Apevaunun käydessä separoi vanhaa lietettä jälkikaasualtaaseen; vaihda käyttöliittymä manuaalille, avaa venttiili ja käynnistä pumppu ja separaattori. TS-pitoisuus alkaa muuttua, kun lietettä virtaa anturin läpi. Lue ja merkitse lukema ylös, kun se on tasaantunut. Pinnankorkeuslukeman tulee separoinnin jälkeen olla noin 150 cm ja TS-pitoisuuden 6-7 %.
4. Mittaa pH ottamalla näytteenottohanasta noin 10 L lietettä ja tämän jälkeen valuttamalla näyteastiaan noin 0,5 L lietettä. Lue samalla reaktorin lämpötila. pH-mittauksen jälkeen lietteen voi kaataa ruuvikuljettimen suppiloon.



Kuva 4. Online-anturit sisältävä kaappi, jonka vasemmasta yläkulmasta näet reaktorilietteen tarkan lämpötilan.

5. Kun kuivasyöte on hienonnettu, aloita syöttö käynnistämällä ruuvikuljetin (katkaisijan asento 1). Käynnistä elevaattori. Avaa vähän kerrallaan syöteluukkua niin, että syötettä kulkee tasaisesti ruuville. Tarkkaile ruuvia ympäröivää syöttösuppiloa; liian nopea syöttö aiheuttaa syötemassan holvautumisen ruuvin päälle. Syötä samalla glyseroli ja muut mahdolliset apuaineet ja lisäsyötteet.



Kuva 5. Syöttölaitteiston ohjaussäädin.



Kuva 6. Kuivasyöte kulkeutuu elevaattoria pitkin ja putoaa sen yläpäästä syöttöruuvien suppiloon.

6. Tarkista syöttösuppilon vieressä olevasta ikkunasta, miltä reaktorin pinta näyttää. Suuri määrä kuivasyötettä ja tehon sekoitus johtavat reaktoripinnan kuorettumiseen, joka heikentää prosessin toimintaa. Tarvittaessa nosta reaktorin sekoitusnopeutta esimerkiksi 50 Hz:iin (syötön ajaksi).
7. Apevaunuun kiinnitetystä näytöstä nähdään vaa'an lukema, jonka perusteella voidaan keskeyttää syöttö, kun haluttu määrä syötettä on ajettu reaktoriin. Sulje apevaunun syöttöluukku ja sammuta elevaattori. Syötön päätteeksi sammuta apevaunu ja säädä reaktorin sekoitusnopeus takaisin normaaliksi. **Tarkista, että kaikki seurantalomakkeen kohdat on täytetty.**

Päivittäinen seurantadata ensimmäiseltä koejaksolta

PVM 2013	AIKA	TUOTTO	KÄYTTÖ	TS % alku	TS % sep.	O ₂	H ₂ S	CH ₄	PINTA alku	PINTA sep.	pH	T (°C)	HUOM
26.11.	9:15	349	240	5,8	-	0	24	58	125	-	-	38	100 L glyserolia
27.11.	9:00	276	238	6,0	-	0	6	65	14	-	7,6	38	
28.11.	8:50	350	88	6,4	-	0	14	61	151	-	7,5	38	kuorta pinnassa
29.11.	14:25	246	0	5,4	-	0	8	58	160	-	7,5	38	
30.11.	10:45	190	0	5,9	-	-	-	-	156	-	7,4	39	
1.12.	-	190	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.12.	-	190	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.12.	9:00	198	145	5,0	-	-	-	-	151	-	7,5	39	kaasumittarin nollaus
4.12.	8:45	262	207	5,8	-	-	-	-	163	-	7,4	39	raakalietepumppu rikki
5.12.	9:00	93	236	5,9	-	0	6	58	151	-	7,5	39	raakalietepumppu rikki
6.12.	-	93	236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	raakalietepumppu rikki
7.12.	8:55	195	11	5,8	-	-	-	-	154	-	7,5	39	vaahtoa pinnassa
8.12.	-	195	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	raakalietepumppu rikki
9.12.	-	195	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	raakalietepumppu rikki
10.12.	-	285	140	6,6	-	-	-	-	152	-	7,5	39	raakalietepumppu rikki
11.12.	9:00	338	108	6,7	-	-	-	-	155	-	7,6	39	raakalietepumppu rikki
12.12.	10:00	400	349	6,3	-	-	-	-	156	-	7,4	40	raakalietepumppu rikki
13.12.	9:00	336	268	6,1	-	0	8	54	150	-	7,5	40	raakalietepumppu OK
14.12.	8:40	188	148	6,1	-	0	6	58	154	-	7,4	40	
15.12.	-	190	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16.12.	-	190	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17.12.	9:30	243	158	6,0	-	0	6	59	153	-	7,5	39	
18.12.	9:00	313	212	6,0	-	-	-	-	154	-	7,6	39	
19.12.	9:10	285	192	6,1	-	-	-	-	150	-	7,6	39	
20.12.	9:15	351	0	6,6	-	0	36	60	158	-	7,5	39	
21.12.	8:40	190	0	6,2	-	0	22	58	159	-	7,5	39	
22.12.	-	190	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23.12.	-	190	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Päivittäinen seurantadata toiselta koejaksolta

PVM 2013	AIKA	TUOTTO	KÄYTTÖ	TS % alku	TS % sep.	O ₂	H ₂ S	CH ₄	PINTA alku	PINTA sep.	pH	T (°C)	HUOM
28.1.	8:50	211	188	6,4	6,1	0	4	57	160	157	7,7	37,7	
29.1.	8:30	197	101	6,2	6,1	-	-	-	163	157	7,6	37,8	
30.1.	8:50	256	143	6,4	6,2	0	54	57	163	157	7,7	37,6	Sekoituksen nopea vaihe 120s →240s
31.1.	8:40	261	107	6,8	6,5	-	-	-	163	157	7,6	37,6	
1.2.	8:30	249	186	7,8	7,6	0	2	58	164	157	7,7	37,6	
2.2.	10:00	198	103	-	-	1	42	55	162	162	7,6	37,6	Lietepumppu jumissa
3.2.	13:40	135	64	-	-	0	58	57	164	164	7,6	37,7	Lietepumppu jumissa
4.2.	8:20	237	-	7,7	7,2	0,2	4	54	166	157	7,5	37,8	
5.2.	8:15	246	24	8,0	7,0	-	-	-	165	160	7,8	38	
6.2.	7:35	250	181	7,7	6,9	-	-	-	165	160	7,7	38	
7.2.	8:50	286	192	8,0	7,1	-	-	-	166	158	7,9	38	JK-allas tyhjäksi
8.2.	9:00	366	15	8,1	7,5	0,2	2	57	157	155	7,6	38	
9.2.	11:00	204	0	-	-	0	20	67	155	155	7,6	35,2	
10.2.	13:30	121	0	-	-	0	12	61	160	160	7,7	36,1	Lietepumppu jumissa
11.2.	8:30	253	48	7,8	7,3	-	-	-	165	158	7,7	36,5	
12.2.	8:25	252	264	7,8	7,2	0	4	55	163	156	7,4	37,4	
13.2.	8:40	244	166	8,1	7,3	-	-	-	160	156	7,4	37,5	
14.2.	8:35	262	176	7,8	7,3	-	-	-	162	157	7,5	37,5	
15.2.	8:30	312	214	8,1	7,2	0	4	58	162	156	7,5	37,6	
16.2.	11:30	211	102	7,8	7,6	0	70	60	160	157	7,5	37,6	Vaahtoa
17.2.	13:45	166	4	-	-	0	96	58	162	162	7,5	37,6	Lietepumppu jumissa
18.2.	8:45	251	179	7,5	7,0	0	4	55	165	155	7,5	37,6	
19.2.	8:05	245	215	7,2	7,1	0,5	0	55	161	157	7,5	37,6	
20.2.	8:20	395	210	7,6	7,2	-	-	-	162	156	7,6	37,6	Vaahtoa
21.2.	9:00	316	283	7,7	7,6	0	64	63	164	156	7,5	37,6	
22.2.	8:30	410	317	7,6	7,2	0	50	62	161	156	7,5	37,6	
23.2.	11:00	244	272	7,5	7,5	0	4	58	160	156	7,5	37,6	
24.2.	13:30	148	55	7,5	7,4	-	-	-	161	156	7,5	37,6	