

# **Selvitys maatalan biokaasulaitoksen toiminnasta ja hyödyistä**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka  
2025  
Simo Ahola

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Simo Ahola	Julkaisun laji	Valmistumisaika
	Opinnäytetyö, AMK	2025
	Sivumäärä	
	44	
Työn nimi <b>Biokaasulaitoksen hyötyjen selvitys</b>		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio MTY Lantta Atte, Eeva ja Lasse		
Tiivistelmä <p>Työssä selvitettiin Demecan kiintomädätysteknologiaa hyödyntävän biokaasulaitoksen etuja, toimintaa ja sen tuottamia hyötyjä maatalousyhtymä Lantan maatilalle. Lisäksi vertailtiin käynnissä olevan prosessin mukaisten tietojen pohjalta tehtyjä laskelmia Envitecpolisin tekemiin aikaisempiin laskelmiin. Tehdyillä laskelmilla ja vertailulla selvitettiin, toimiiko biokaasulaitoksen prosessi odotetulla tavalla ja voiko reaktorin sisäistä prosessia mahdollisesti tehostaa. Samalla selvitettiin, onko MTY Lantta jo energiaomavarainen.</p> <p>Laskelmiin kerättiin tietoa biokaasulaitoksen järjestelmästä kuukauden ajalta. Kerätyn datan pohjalta laskettiin paljonko sähköä ja lämpöenergiaa vuodessa tuotetaan. Koko maatilan vuotuinen sähkönkulutus ja maatilan lyhyeen esittelyyn käytetyt tiedot kysyttiin työntilaajalta haastattelemalla.</p> <p>Työn tuloksista selviää, että MTY Lantta on energiaomavarainen ja säästää lämmityksen ja sähkötulot biokaasulaitoksen tuotannon ansiosta. Tilalle jää ylijäämäenergiaa myytäväksi, vaikka laitos ei vielä toimikaan täydellä tuotantopotentiaalilla. Laitoksen reaktorin sisäisen mädätysprosessin tehostaminen vaatii laitospohtaisen selvityksen reaktorin sisällöstä, jonka perusteella voidaan ehdottaa prosessia mahdollisesti tehostavia toimia.</p>		
Asiasanat Biokaasulaitos, kiintomädätys, kuivamädätys, märkämädätys		

## Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Simo Ahola	Thesis, UAS	2025
	Number of Pages	
	44	
Title of Publication		
<b>Investigation of the benefits of a biogas plant</b>		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Energy and Environmental Engineering		
Organisation of the client		
Agricultural group Lantta Atte, Eeva ja Lasse		
Abstract		
<p>The study investigated the way how Demeca's solid-state anaerobic digestion technology using biogas plant operates and the benefits the biogas plant produces for its owner agricultural group Lantta. The calculations based on data from the ongoing process were compared with the estimation calculations made earlier by Envitecpolis. The calculations and comparison were used to determine whether the biogas plant is operating as expected and whether the reactors internal biogas producing process could potentially be enhanced somehow. Simultaneously it was investigated if the agricultural group Lantta is already energy self-sufficient.</p> <p>The data for calculations was collected from the biogas plants own computer system for time period of one month. Based on collected data, it was calculated how much electricity and heath energy the biogas plant produces annually. The annual electricity consumption of the whole farm and information used in shortly introducing the farm were obtained by interviewing the commissioner of the study.</p> <p>The results of the study show that agricultural group Lantta is energy self-sufficient and saves the whole costs of electricity and heating thanks to the biogas plant's production. Even though the biogas plant is not operating in full production potential, after own usage the farm has surplus electricity, which they can sell for the electric network. Enhancing the reactor's microbiological fermenting process requires analysis of the reactor's biomatter. Possible ways to enhance the efficiency of the microbiological fermenting process can be found with the results of the analysis.</p>		
Keywords		
Biogas plant, solid-state anaerobic digestion, dry anaerobic digestion, wet anaerobic digestion		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	MTY Lantta tilan esittely.....	2
3	Biokaasu.....	3
3.1	Biokaasun muodostuminen .....	3
3.2	Biokaasun käyttö.....	3
3.3	Sivutuotteiden käyttö .....	3
4	Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet .....	5
4.1	Hydrolyysi.....	5
4.2	Asidogeneesi.....	5
4.3	Asetogeneesi .....	5
4.4	Metanogeneesi.....	6
5	Ideaaliset olosuhteet.....	8
5.1	Lämpötila.....	8
5.2	PH-taso ja puskurikyky .....	9
5.3	Hivenaineet ja ravinteet .....	11
5.4	Häiritsevät ja prosessille haitalliset aineet.....	11
5.4.1	Ammoniakki.....	12
5.4.2	Rikkiyhdisteet .....	13
5.4.3	Rasvahapot .....	14
5.4.4	Metallit.....	14
5.4.5	Suolat .....	15
5.4.6	Antibiootit ja desinfiointiaineet.....	15
5.4.7	Metanogeenien kilpailijat .....	15
6	Biokaasulaitosten mädätysmenetelmät.....	16
6.1	Yleistä .....	16
6.2	Kuivamädätys.....	16
6.3	Märkämädätys.....	17
6.4	Kiintomädätys.....	18
7	Toimeksiantajan laitoksen yleisinformatio .....	20
7.1	Laitekokonaisuus.....	20
7.1.1	Syöttöpumppauslaitteisto.....	20
7.1.2	Puristenestekaivo .....	21
7.1.3	Lisäsyötin kuiville syötteille, gMix sekoitusallas ja homogenisointiyksikkö.....	21
7.1.4	Reaktori.....	24

7.1.5	Hygienisointi .....	25
7.1.6	Varastoaltaat .....	26
7.1.7	Kaasunkäsittely ja CHP-laitteistot .....	26
7.2	Automaatiojärjestelmä ja käyttöjärjestelmä .....	27
8	Laskelmat ja kaavat .....	29
8.1	Pörssisähkön ja energiapuun hinnat .....	29
8.2	Energiantuotto biokaasusta ja sen rahallinen arvo .....	30
8.3	Laitoksen muut hyödyt .....	35
9	Tulosten vertailu, analysointi ja pohdinta .....	38
9.1	Taustatietoa molemmista laskelmista .....	38
9.2	Laskelmien tulosten vertailu .....	38
9.3	Täysi tuotantopotentiaali .....	39
9.4	Prosessin tehostaminen .....	40
10	Yhteenveto .....	42
	Lähteet .....	44

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä selvitetään maatalousyhtymä Lantan lypsykarjatilalla sijaitsevan biokaasulaitoksen toimintaa ja sen tuottamia hyötyjä. Kyseessä on suomalaisen yrityksen, Demeca Oy:n tuottama kiintomädätysteknologiaa hyödyntävä biokaasulaitos. Kiintomädätys on biokaasun tuotantomenetelmä, jossa saavutetaan kuivamädätyksen sekä märkämädätyksen edut energiatehokkain ratkaisuin. Maatilalle oli tehty aiemmin alustavat laskelmat siitä, millaista tuotantopotentiaalia biokaasulaitoksella olisi. Biokaasulaitoksen käynnissä olevasta prosessista otetaan ylös saatavilla olevat tiedot ja niiden perusteella lasketaan saavutetut hyödyt vuotta kohden. Uusien laskelmien tuloksia verrataan vanhojen laskelmien tuloksiin ja niiden avulla analysoidaan, onko mahdollisesti olemassa keinoja tehostaa prosessia.

## **2 MTY Lantta tilan esittely**

Maatalousyhtymä (MTY) Lantta sijaitsee Haminassa ja on yksi Kymenlaakson suurimmista maataloutta harjoittavista maatilayrityksistä. Tilalle on rakennettu Demeca Oy:n kiintömädätysteknologiaa käyttävä biokaasulaitos, jonka toteutussuunnitelma valmistui vuonna 2022. Kiintömädätysbiokaasulaitos on nyt toiminnassa, mutta ei vielä toimi täydellä tuotantopotentiaalillaan. Laitokseen syötetään lietelantaa ja pellolta peräisin olevaa kasvimateriaalia syötteenä. Tilalla on yhteensä 250 lehmää, joista 120 on lypsäviä. Peltoa tilalla on noin 200 hehtaaria ja lisäksi viideltä yhteistyössä olevalta tilalta kerätään nurmirehut. (Lantta 2025.)

## 3 Biokaasu

### 3.1 Biokaasun muodostuminen

Biokaasu on mikrobien tuottamaa kaasujen seosta. Sitä syntyy, kun monet erilaiset mikrobityytit ruokailevat biomassassa niille parhaiten sopivissa hapettomissa olosuhteissa hajottaen eloperäisiä aineita. Tätä prosessia kutsutaan mätänemiseksi. Ennen kuin anaerobinen mätäneminen voi alkaa, on aerobisten bakteerien kulutettava happi loppuun. Biomassa voi koostua karjan lannasta, lietteestä ja peltojen biomassasta sekä jätteistä. Biokaasua tuotetaan biokaasulaitoksien reaktoreissa. (Motiva 2020.)

Biokaasulaitosten reaktoreiden lisäksi anaerobista hajoamista tapahtuu muun muassa maaperässä suoalueilla, yhdyskuntien jäteasemilla ja eliöiden ruuansulatuksessa. Biokaasu koostuu suurimmaksi osaksi metaanista ja hiilidioksidista, mutta siihen voi sisältyä vähäisissä määrin useita muita aineita. Niitä aineita ovat muun muassa rikki, vety, rikkivety, happi, typpi ja ammoniakki sekä vesi. Normaalisti biokaasussa on 50–70 % metaania ja 30–50 % hiilidioksidia. (Motiva 2020.)

### 3.2 Biokaasun käyttö

Metaani on noin 20–70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Ainesten määrät ja tyypit vaihtelevat suuresti riippuen käytettävästä mädättämismenetelmästä, joka vaikuttaa tuotettavan energian määrään. Biokaasua voidaan käyttää lämmön ja sähkön tuotannossa. (Motiva 2020.)

Lisäksi biokaasusta voidaan jatkojalostaa maakaasua vastaavaa polttoainetta, jota voidaan käyttää muun muassa ajoneuvojen polttoaineena. Tällöin biokaasun metaanipitoisuus on oltava vähintään 98 % ja vesi sekä rikki on poistettava, että se kelpaisi polttomoottoreiden polttoaineeksi. Mikäli biokaasu on tarpeeksi puhdasta metaania, sitä voidaan syöttää myös maakaasuverkkoon. (Motiva 2020.)

### 3.3 Sivutuotteiden käyttö

Biokaasulaitoksen hiilidioksidia voidaan muun muassa hyödyntää kasvihuoneiden lämmitämiseen ja kasvit hyödyntävät hiilidioksidin muuttaen sitä hapeksi. Määdetejäännös on hajomatonta biomassaa, joka on käynyt koko mädätysprosessin läpi. Sen koostumus ja massa ovat lähes samoja kuin mädätysprosessiin syötettävän aineksen. Siitä poistuu kuiva-aineita muutamia prosentteja ja sen pH-arvo on lähes neutraali. (Motiva 2020.)

Mädätejäännös on paljon hajuttomampaa ja hygieenisempää sekä tasaisempaa kuin syötemateriaali. Sen ravinteet ovat paremmin haihtuvassa ja liukenevassa muodossa, joka tekee siitä todella hyvän ja tehokkaan lietelannoitteen. Lannan mädättäminen siis parantaa sen ominaisuuksia. (Motiva 2020.)

## 4 Biokaasun muodostumisprosessin vaiheet

### 4.1 Hydrolyysi

Biokaasun muodostumisen prosessissa on neljä päävaihetta, joista ensimmäinen vaihe on hydrolyysi. Se on mädätysprosessin kannalta hitain vaihe, mutta se voidaan aloittaa jo syöteen murskauksen yhteydessä kastelemalla sitä vedellä. Nimensä mukaisesti hydrolyysissä vesi toimii tärkeässä roolissa prosessin aloittamisessa. Mädätettävää biomassaa sekoitetaan veteen, jolloin vedessä olevat mikro-organismit alkavat hajottaa entsyymeillään suurempia yhdisteitä, kuten hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja pienemmiksi osiksi. (Kymäläinen 2015, 61.)

Hydrolyysissa toimivat entsyymit ovat amylaasi entsyymi, lipaasi ja proteaasi. Proteaasit hyödyntävät proteiineja tuottaen aminohappoja ja amylaasientsyymit muodostavat sokeita hyödyntämistään hiilihydraateista. Rasvahappoja ja glyserolia muodostuu lipaasien toimesta rasvojen hajotessa. Useat hydrolyyttiset mikro-organismit voivat osallistua myös asidogeneesiin, joka on seuraava päävaihe biokaasun tuotannossa. (Kymäläinen 2015, 61.)

### 4.2 Asidogeneesi

Asidogeneesi on biokaasun muodostumisen seuraava vaihe. Hydrolyysissä muodostuneet amino- ja rasvahapot sekä glyseroli muodostavat asidogeenisten bakteerien toiminnan seurauksena alkoholeja ja haihtuvia rasvahappoja. Haihtuvia rasvahappoja ovat muun muassa voi happo, etikkahappo ja maitohappo. Niistä käytetään nimitystä VFA eli volatile fatty acids. (Kymäläinen 2015, 62.)

Lisäksi tässä vaiheessa muodostuu asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia sekä ammoniakkaa. Prosessin mikrobilajit, syöte ja mädätettävän massan pH arvo vaikuttavat asidogeenisissä syntyvien aineiden koostumukseen ja ominaisuuksiin suuresti. Suurimmaksi osaksi hapot ovat anioneita eli negatiivisesti varautuneita ioneita. Anionit muodostavat herkästi suoloja metallien kanssa. (Kymäläinen 2015, 62.)

### 4.3 Asetogeneesi

Asetogeneesi on kolmas päävaihe biokaasun tuotannossa ja siitä käytetään myös nimeä anaerobinen hapettuminen. Siinä asetogeeniset mikro-organismit hyödyntävät haihtuvia rasvahappoja ja hapettuneita yhdisteitä muodostaen etikkahappoa, vetyä ja hiilidioksidia. Asetogeenisten mikrobien käyttämiä hapettuneita yhdisteitä ovat muun muassa nitraatti,

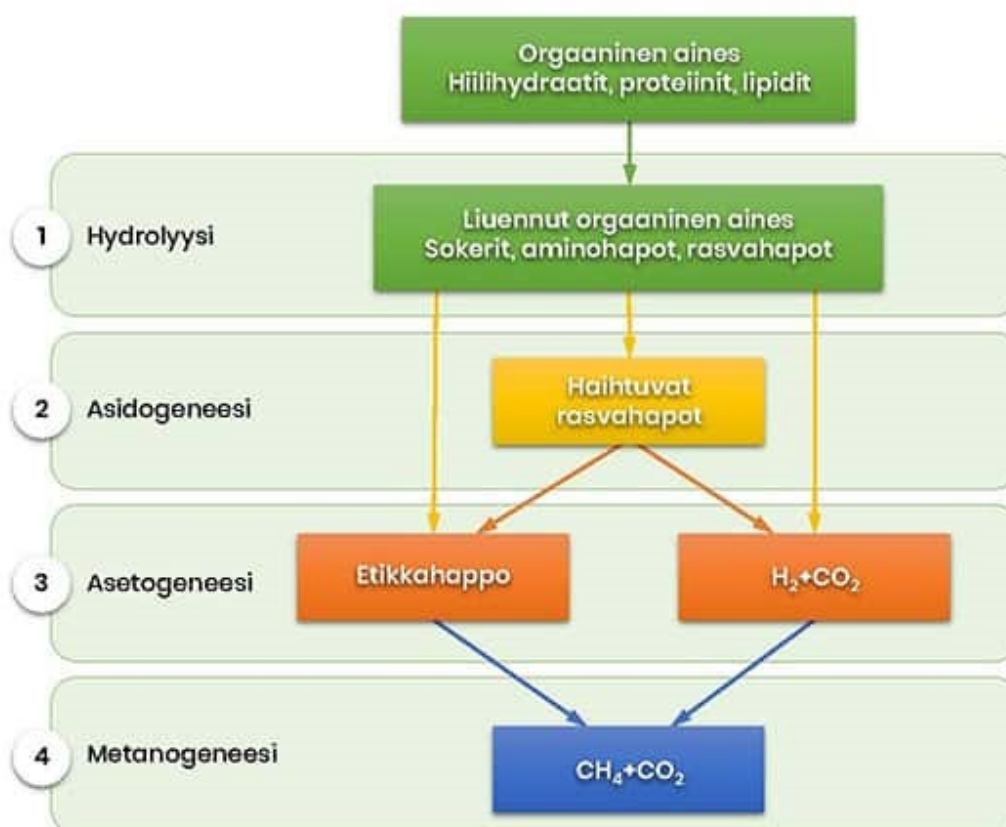
karbonaatti ja sulfaatti. Koska kyseessä on anaerobinen hapettuminen, ei happea ( $O_2$ ) esiinny reaktioissa. Asetaatista uskotaan muodostuvan 70 % metaanista ja loput muodostuvat hiilidioksidista ja vedystä metanogeneesin aikana. Asetaattia syntyy asetogeneesin aikana pienissä vetypitoisuuksissa, jonka vuoksi asetogeneesi on tärkein edellytys kunnolla toimivan metanogeneesin kannalta. (Kymäläinen 2015, 62.)

Vetyä kuluu ja syntyy asetogeneesin reaktioissa. Asetogeneesin mikrobeiden toimintaa häiritsevä inhibitio tapahtuu, jos vetypitoisuus on liian korkea. Tämän takia kaksivaiheisissa märkämädätyslaitoksessa asetogeneesi ja metanogeneesi tapahtuvat samassa reaktorissa, koska metanogeneesi kuluttaa vetyä pitäen sen pitoisuuden sopivana asetogeenisille. Kyseessä on eräänlainen symbioosi metanogeenien ja asetogeenien välillä. (Kymäläinen 2015, 62.)

#### 4.4 Metanogeneesi

Mädätyksen neljäs eli viimeinen vaihe tunnetaan nimellä metanogeneesi. Nimensä mukaan siinä muodostetaan suurimmaksi osaksi metaania asetogeneesin tuottamista aineista. Metanogeeniset mikro-organismit hyödyntävät asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia muodostaen metaania ja sivutuotteena hiilidioksidia. Metanogeenijä on kahdenlaisia, asetotrofisia ja hydrotrofisia. Hydrotrofiset metanogeenit käyttävät vetyä ja hiilidioksidia metaanin muodostamiseen ja asetotrofiset metanogeenit kuluttavat asetaattia ja hiilidioksidia metaanin tuotossa. Metanogeeniset mikrobit pystyvät käyttämään enintään kaksihiiliatomisia yhdisteitä. Sen vuoksi hydrolyysi, asidogeneesi ja asetogeneesi ovat välttämättömän tärkeitä vaiheita metaanin tuotantoprosessin kannalta. (Deublein & Steinhauser 2008, 99; Kymäläinen 2015 62–63.)

Kuten biokaasun muodostumisprosessista käy ilmi ja kuvioista 1 voidaan huomata, edellisen vaiheen tuottamat aineet ovat seuraavan vaiheen tarvitsemat raaka-aineet. Tästä syystä nämä neljä vaihetta toimivat normaalisti lähes samanaikaisesti tasapainossa, jolloin aineita ei pääse kertymään liikaa. Normaalista poikkeavassa häiriötilassa joitain ainetta on liian paljon. Liian vähäinen ainemäärä voi myös aiheuttaa häiriötilan prosessiin. Pienikin inhibitio eli häiriö voi vaikuttaa suuresti tuotetun biokaasun määrään negatiivisesti. Pahimmillaan inhibitio kykenee lopettamaan metanogeenien metaanin tuottamisen kokonaan. Taulukosta 1 voidaan tarkastella eri vaiheiden ideaalisia olosuhteita. (Kymäläinen 2015, 59–61.)



Kuvio 1. Hapettoman metaanin tuotantoprosessin päävaiheet (Biovoima Oy 2020)

Taulukko 1	Hydrolyysi ja asidogeneesi	Asetogeneesi ja metanogeneesi
Lämpötila	25–35°C	Mesofiilinen: 32–43°C Termofiilinen: 50–60°C
pH	4,5–6,5	6,7–7,5
Kuiva-ainepitoisuus	< 40 %	< 30 %
Hivenainevaatimukset	Hydrolyysi vaatii: Zn, Cu ja Mn	Metanogeneesi vaatii: Ni, Co, Mo, Fe, Se ja Wo
C:N suhdeluku	10–45	20–30
C:N:P:S suhdeluku	500:15:5:3	600:15:5:3
Redox potentiaali	+400 – -300mV	<-250mV

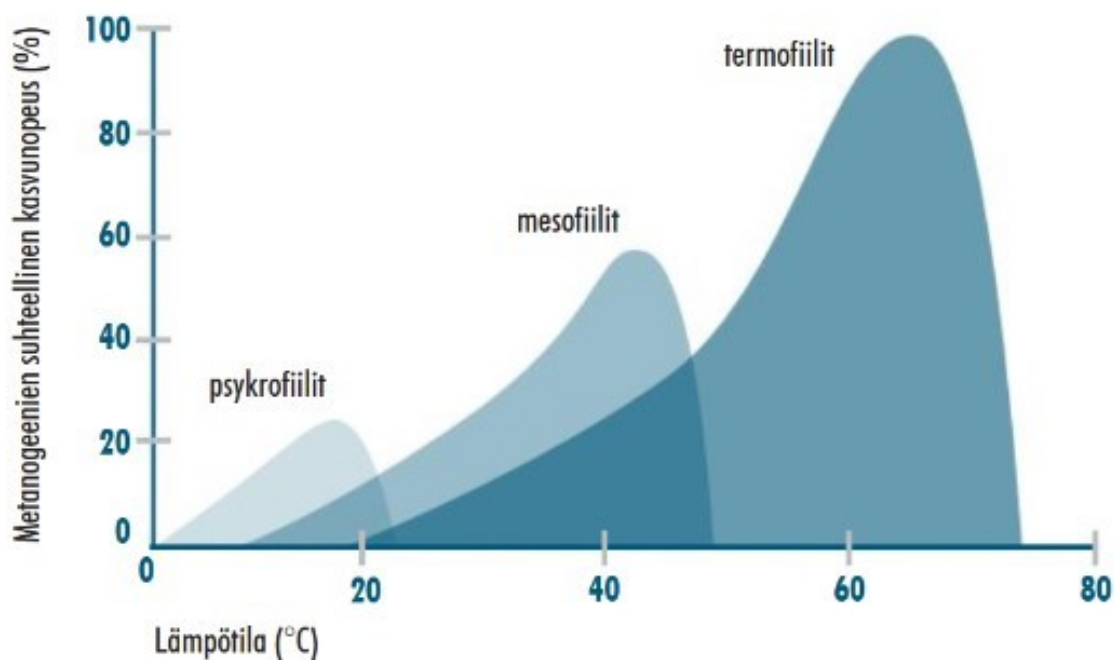
Taulukko 1. Prosessin vaiheiden ideaaliset olosuhteet (mukailtu Deublein & Steinhauser 2008, 100; Kymäläinen 2015, 27, 64–67)

## 5 Idealiset olosuhteet

### 5.1 Lämpötila

Biokaasun tuotannon kannalta prosessin aikana vallitsevat olosuhteet vaikuttavat voimakkaasti prosessin vaiheisiin ja erityisesti metanogeneesiin. Metanogeeniset mikro-organismit ovat herkimpiä mikrobeita olosuhteiden vaihteluille. Lämpötilavaihtelua tapahtuu prosessin aikana, mutta se on tarkoitus pitää mahdollisimman vähäisenä. Lämpötilavaihtelun muutos voi olla +0,5 °C tai -0,5 °C, kun taas suurin sallittava lämpötilan muutos on enintään +2 °C tai -2 °C ideaalisesta lämpötilasta. Termofiiliset mikrobit kasvavat mesofiilisiä ja psykrofiilisiä mikrobeita nopeammin, mutta ne ovat myös alttiimpia inhibitioille. Anaerobisia metaania tuottavia mikro-organismeja toimii kolmella eri ideaalisella lämpötila-alueella, joita voi tarkastella kuvioista 2. Tämän takia biokaasua voidaan tuottaa psykrofiilisella, mesofiilisella ja termofiilisella prosessilla. Psykrofiilisessä prosessissa metaania muodostuu hitaasti alle 25 °C lämpötilassa. Mesofiilisessä prosessissa lämpötila pidetään 32–43 °C asteen välillä ja termofiilisessä prosessissa 50–60 °C asteen välillä. Termofiilinen prosessi voi parhaimmillaan mahdollistaa kaksinkertaisen tehon mesofiiliseen verrattuna, mutta se on myös alttiimpi häiriöille ja käyttää paljon enemmän energiaa. (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 5–6.)

Suurimmaksi osaksi biokaasua muodostetaan mesofiilillä ja termofiilillä prosesseilla biokaasulaitosten reaktoreissa, mutta psykrofiiliseen prosessiin voi törmätä muun muassa soilla ja kaatopaikoilla. Soiden psykrofiilisten metanogeenisten mikrobeiden lisäksi metaania muodostavia mikro-organismeja on löydetty luonnossa Islannista kuumasta lähteestä. Nämä metanogeeniset mikrobit ovat termofiilisiä, mutta biokaasulaitosten termofiilisten mikrobeiden 50–60 °C:een sijaan ne toimivat korkeammilla lämpötiloilla 63–97 °C:een välillä. Tästä huomataan, että metaania voi syntyä luonnossa suurella lämpötila-alueella. Kuumasta lähteestä löytynyt metanogeeni tunnetaan nimellä "*Methanothermus fervidus*" (Bitton 2005, 355). Sitä ei käytetä biokaasun tuotannossa muun muassa sen vaatiman korkean lämpötilan vuoksi, sillä sen ylläpito vaatii erittäin paljon energiaa ja on normaalia termofiilistä prosessia enemmän häiriöille alttiimpi.



Kuvio 2. Biokaasulaitoksissa käytettävien metanogeenisten mikro-organismien kasvunopeus lämpötilojen suhteen. Kuviossa ei ole otettu huomioon *Methanothermobacter fervidus*:ta, joka toimii 63–97 °C lämpötiloissa. (Kymäläinen 2015)

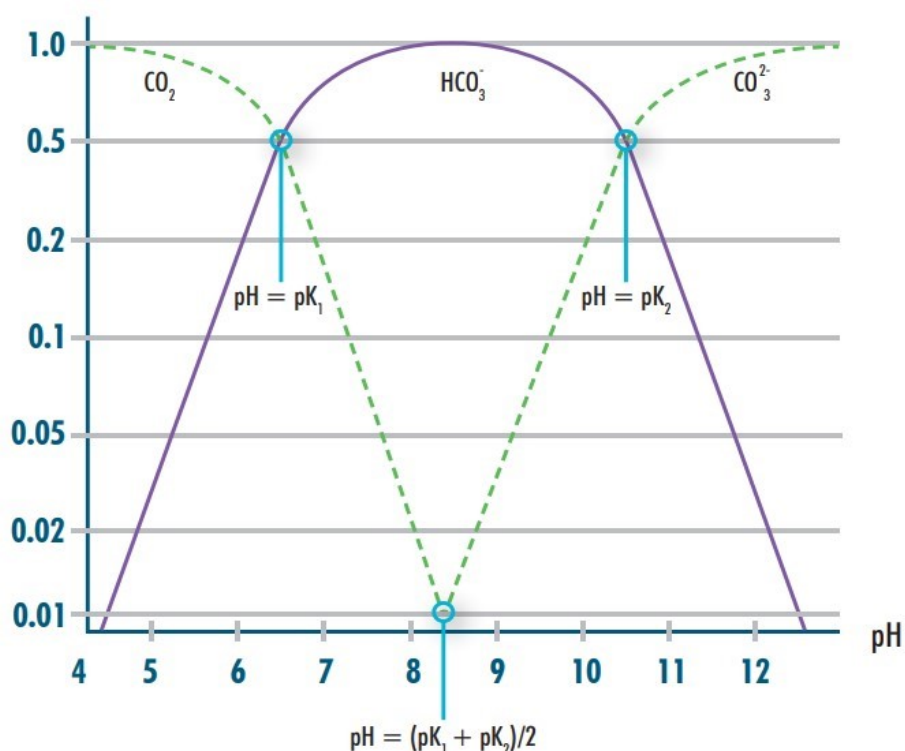
## 5.2 PH-taso ja puskurikyky

Biokaasun tuotannon prosessin vaiheilla on omat ideaaliset pH-arvot. Kaksi vaiheisessa prosessissa ensimmäisessä reaktorissa tapahtuvat hydrolyysi ja asidogeneesi, joiden optimaalinen pH-alue on 4,5–6,5. Seuraavassa reaktorissa tapahtuu asetogeneesi ja metanogeneesi optimaalisella pH-alueella 6,7–8,5. Yksivaiheiselle prosessille on löydetty toimiva kaikille vaiheille soveltuva lähes neutraali pH-alue, 6,7–7,5. Tällä pH-alueella yksikään vaihe ei ole optimaalisissa olosuhteissa pH:n kannalta, mutta prosessin vaiheet toimivat tasaisesti. Happamuutta eli pH-arvoa säätelee alkaliniteetti. Alkaliniteetti eli puskurikyky pystyy neutraloimaan tietyn verran happamuuden vaihtelua. Alkaliniteetin ollessa korkea puskurikyky on vahva ja pH-muutokset pysyvät pieninä, kun niitä tapahtuu. (Kymäläinen 2015, 65.)

Jos puskurikyky ei pysty pitämään pH-arvoa prosessin vaiheille sopivilla alueilla, tapahtuu inhibitio. Se voi äärimmäisessä tapauksessa lopettaa anaerobisen mätänemisprosessin kokonaan ja estää biokaasuntuotannon. Näin voi tapahtua, kun pH-arvo on liian hapan. Liian alhainen pH muodostaa nopeammin etikkahappoa ja vetyä kuin mikrobit pystyvät niitä kulluttamaan. Liiallinen vety häiritsee mikrobeiden toimintaa ja hidastaa etikkahapon käsittelyä. Mitä enemmän vetyä on, sitä happamammaksi mädätysmassan pH muuttuu.

Mädätysmassan alkaliniteetin saa aikaan suurimmaksi osaksi bikarbonaatti-karbonaattipuskurisysteemi. Hiilidioksidin liuetessa mädätysmassan veteen muodostuu hiilihappoa, joka ottaa bikarbonaattimuodon ionisoituessaan. (Kymäläinen 2015, 65.)

Muun muassa ammoniumbikarbonaatti on puskurikykyä vahvistava yhdiste ja sitä syntyy ammoniakkin ja hiilidioksidin reagoidessa mädättemassassa. Hiilidioksidi liukenee veteen paremmin lämpötilan ollessa mesofiilisella alueella kuin termofiilisella. Se selittää, miksi termofiilinen prosessi on alttiimpi inhibitiolle kuin mesofiilinen pH:n muutosten osalta. Hiilidioksidin on pystyttävä liukenemaan mädättemassan veteen, jotta bikarbonaatteja voidaan muodostaa ylläpitämään puskurikykyä. Prosessin toimiessa normaalisti tämä tapahtuu automaattisesti ja silloin ei ole tarvetta säädellä prosessin toimintaa. Häiriön tapahtuessa happamuuden säätö voi korjata inhibition. Syötettyjen raaka-aineiden kanssa on hyvä olla tarkkana, sillä ne vaikuttavat käymisreaktioihin. Seuraavassa kuviossa 3 esitetään bikarbonaatti-karbonaattipuskurisysteemin tasapainosuutta pH:n suhteen. (Kymäläinen 2015, 65.)



Kuvio 3.  $\text{HCO}_3^-$  (vetykarbonaatti),  $\text{CO}_3^{2-}$  (karbonaatti) ja  $\text{CO}_2$  (hiilidioksidi) tasapaino pH:n suhteen. (Kymäläinen 2015)

### 5.3 Hivenaineet ja ravinteet

Hivenaineet ja ravinteet ovat mikrobeiden kasvuun tarvittavia aineita ja energianlähteitä. Tärkeimpinä ravinteina toimivat fosfori, hiili, typpi ja rikki. Niiden lisäksi tarvitaan vitamiineja ja hivenaineita, jotta välttämättömät entsyymit voivat toimia. Karjanlannasta normaalisti saadaan prosessiin kaikki tarvittavat ravinto- ja hivenaineet, jolloin ei ole tarvetta ravintoainelisäyksille kesken prosessin. Mikäli ravinnelisäyksille on tarvetta, olisi hyvä sekoittaa ravinnelisät syötteeseen oikeissa suhteissa tasalaatuisen prosessin takaamiseksi. Useiden mittausten tuloksista on päätelty, että sopiva hiilen ja typen suhde on 10–30 ja parhain (C/N) suhde olisi 15–25 välillä. (Deublein & Steinhauser 2008, 100).

Matalassa suhteessa on vähemmän hiiltä suhteessa typpeen ja korkeassa suhteessa hiiltä on typpeä enemmän. Liian matala suhdearvo voi johtaa häiriön aiheuttavaan tilaan, jossa typen päähajoamistuotteen eli ammoniakkin pitoisuus on liian korkea. Jos suhdearvo on liian korkea, ei typpeä välttämättä ole riittävästi reaktioita varten. Prosessi voi toimia kuitenkin matalalla- tai korkealla suhdearvolla, koska hiili ja typpi voivat olla hajoavissa tai hajoamattomissa muodoissa sekä niiden välisissä muodoissa. (Deublein & Steinhauser 2008, 100).

Liian yksipuolinen syöte voi johtaa ravinteidenpuutokseen, jolloin ravinnelisäys on hyvä suorittaa prosessia parantavana korjaustoimenpiteenä. Hivenaineiden pitoisuuksien raja-arvojen määrittäminen on haasteellista, koska metallit voivat olla sitoutuneita toisiin aineisiin. Ravinne- ja hivenaineanalyysin tekeminen on mahdollista näytteestä, joka otetaan reaktorin mädätysmassasta. Kuten taulukosta 1 huomataan, on useita välttämättömiä hivenaineita prosessin eri vaiheille. Ne tehostavat prosessin kuormitusta ja tuottoa. (Kymäläinen 2015, 26, 66.) Fosforin (P) ja rikin (S) suhdearvot ovat myös otettava huomioon hiilen (C) ja typen (N) suhdearvon lisäksi. Sopivaksi (C:N:P:S) arvoksi on todettu 600:15:5:3 metaanin tuoton osalta ja hydrolyysin sekä asidogeneesin kannalta pääravinteiden suhdearvona on todettu sopivaksi 500:15:5:3. (Deublein & Steinhauser 2008, 100).

### 5.4 Häiritsevät ja prosessille haitalliset aineet

Mätänemisprosessiin vaikuttavia haitta-aineita ja häiritseviä aineita syntyy prosessin aikana ja niitä voi kulkeutua reaktoriin syöteaineksen mukana. Prosessille haitallisia vaikutuksia on havaittu useilla pitoisuuksilla, jotka vaihtelevat suuresti. Vallitseva pH, lämpötila ja reaktorin mädättemassan sisältämät aineet vaikuttavat inhibitioon ja haitallisuuteen.

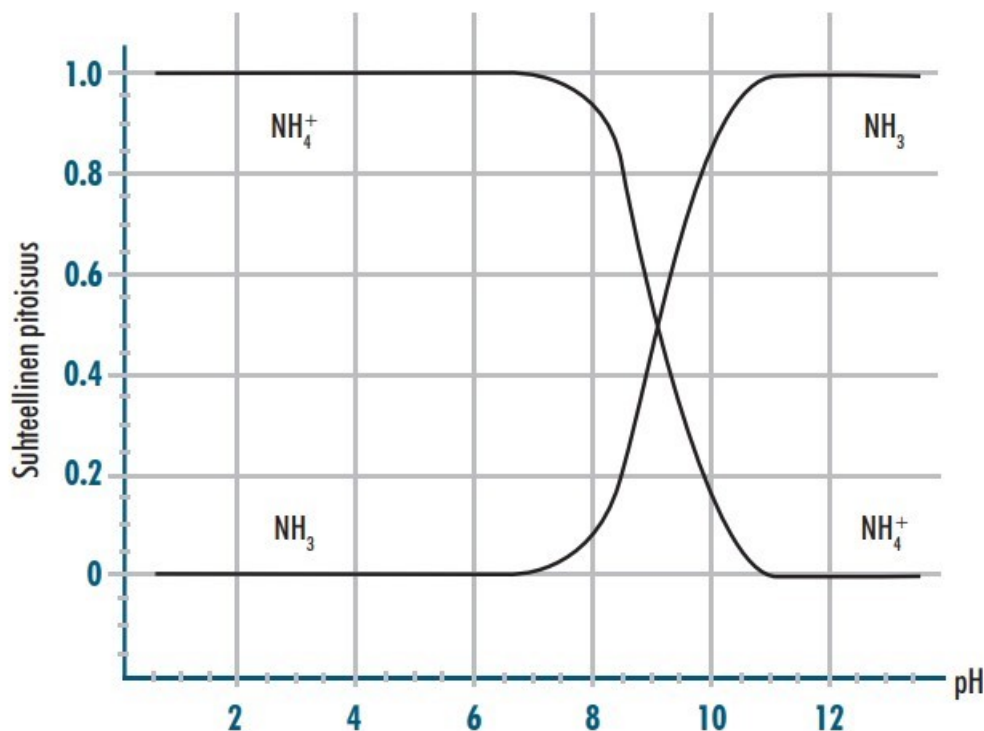
Raja-arvojen selvittäminen on haasteellista, sillä osa haitta-aineista ei liukene hyvin, kun taas osa reagoi varsin herkästi. Raja-arvojen määrittämistä vaikeuttaa myös mikrobeiden

adaptoitumis- eli sopeutumiskyky haitallisten ja inhiboivien aineiden pitoisuuksien kasvaessa, kuten muun muassa suolojen pitoisuuksien noustessa. (Kymäläinen 2015, 67.)

#### 5.4.1 Ammoniakki

Typhen päähajoamistuote on ammoniakki. Se on mikro-organismeille tärkeä typpiperäinen ravinne, joka on peräisin suurimmaksi osaksi proteiinirikkaasta syötteestä ja karjan ulosteista. Mahdollisuus ammoniakkin aiheuttamalle inhibitiolle kasvaa erityisesti syöteaineiden typpipitoisuuden ollessa korkea. Korkean typpipitoisuuden omaavia syöteaineita ovat erityisesti teurasjätteet sekä sian ja siipikarjan lanta. Reaktorin sisällä lietemäisessä massassa ammoniakkia voi olla ammoniumioni muodossa ( $\text{NH}_4^+$ ) ja liuenneessa muodossa ( $\text{NH}_3$ , aq). Vallitseva lämpö ja pH vaikuttavat ammoniakkin muotojen suhteellisiin pitoisuuksiin. Kuten kuvioista 4 huomataan, pH:n noustessa seitsemää korkeammalle  $\text{NH}_3$ :a alkaa muodostua ja  $\text{NH}_4^+$  määrä alkaa vähentyä. Kun pH on yhdeksän, ammoniakkin ja ammoniumionin määrät ovat lähes yhtä suuret. Noin pH-arvon 11 kohdalla kaikki  $\text{NH}_4^+$  on ottanut muodon  $\text{NH}_3$ . Happamuus taso olisi hyvä pitää 6,5–7,5 välillä inhibitioiden välttämiseksi. (Kymäläinen 2015, 67–68.)

Lämpötilan noustessa ja pH:n kasvaessa kasvaa myös  $\text{NH}_3$ :n pitoisuus mädättemassassa. Ionisoitumaton liuenneen ammoniakkin varaukseton muoto kykenee kulkeutumaan solujen sisälle helpommin kuin varauksellinen ionisoitunut muoto. Ionisoitumaton muoto on erityisesti metanogeenisille mikro-organismeille inhiboiva eli häiritsevä aine. Häiriöitä aiheuttavista ammoniakkipitoisuuksista on lukuisia tutkimuksia, joiden tulokset ovat esiintyneet 150–1000  $\text{mgNH}_4\text{-N}$  (litra)<sup>-1</sup> ja 30–100  $\text{mgNH}_3$  (litra)<sup>-1</sup> pitoisuuksien välillä. Useimmin jälkimmäisen raja-arvona pidetään 80  $\text{mgNH}_3$  (litra)<sup>-1</sup>, vaikka tulosten arvot ovat hyvin vaihtelevia. Kuten aiemmin mainittiin, mikrobit pystyvät sopeutumaan nousseisiin ainepitoisuuksiin, jonka takia raja-arvot voivat vaihdella. Sopeutuminen on kuitenkin hidasta, jonka vuoksi äkkinäisiä typpipitoisuuden kasvuja olisi hyvä välttää inhibitioiden ehkäisemiseksi. Prosessin toiminnassa tasaisesti ammoniakkin pitoisuus on normaalisti alueella 30–50  $\text{mgNH}_4\text{-N}$  (litra)<sup>-1</sup>. (Kymäläinen 2015, 68.)



Kuvio 4. Ammoniakin liuennon ja ionisoituneen muodon pitoisuuksien tasapainon funktio pH:n osalta (Kymäläinen 2015)

#### 5.4.2 Rikkiyhdisteet

Biokaasun tuotantoprosessissa rikillä ja sen yhdisteillä on suurin häiriöpotentiaali. Rikin sulfidien haitallisuus riippuu suuresti pH:sta, koska ionisoitumaton rikkivety ( $\text{H}_2\text{S}$ ) kulkeutuu diffuusiona solukalvon läpi ionisoituneita muotoja ( $\text{HS}^-$ ) ja ( $\text{S}^{2-}$ ) nopeammin. Rikkivetyä syntyy jo ennen metanogeneesiä, joka tekee siitä ongelmia aiheuttavan yhdisteen. Neutraalin pH:n alueella 20–50 % rikkivedystä ( $\text{H}_2\text{S}$ ) on sulfidimuodossa. Rikkivedyn pitoisuutta kannattaa tarkkailla, koska siihen voidaan vaikuttaa muun muassa kaustisella soodalla ( $\text{NaOH}$ ) ja rautasuolalla. Happamuusarvon kasvaessa hajoamattoman liuennon sulfidin määrä lisääntyy. Hajoamaton liuennut sulfidi toimii solumyrkkinä jo pienissäkin pitoisuuksissa. Sulfidien haitallisuuspitoisuuden yläraja raja-arvo on 150–200 mg/litra välillä metanogeenien kannalta.

Metanogeenit ovat herkempiä rikkiyhdisteille kuin asetogeenit ja metanogeenistä asetotrofiset ovat resistentimpiä kuin hydrotrofiset. Sulfidien lisäksi inhibitoita voivat aiheuttaa elektroneja vastaanottavat sulfaattit ja sulfaattia vähentävät mikrobit. Sulfaattia käyttävät mikrobit voivat päätyä kilpailemaan metanogeenien kanssa molempien tarvitsemista reaktioaineista. Sulfaattit eivät välttämättä tarvitse symbioottista paria hajoamiseen, ja ne käyttävät

toiminnassaan metanogeenejä vähemmän energiaa. (Bitton 2005, 358–359; Deublein & Steinhauser 2008, 119–121; Kymäläinen, 68–69.)

### 5.4.3 Rasvahapot

Pitkäketjuiset rasvahapot (Long chain fatty acids, LFCA) ovat hapettoman mädätysprosessin hajoamisaineita, joita syntyy rasvapitoisen syötteen hajotessa reaktorissa. Pitkäketjuisissa rasvahapoissa on vähintään 14 hiiliatomia ketjussa. Hydrotrofiset metanogeenit hajottavat rasvahappoja syntrofisesti ja muodostavat metaania. Jos rasvapitoista ainesta kertyy paljon mädätettävään massaan, voi aiheutua inhibitio. Suurten rasvapitoisten syöteannosten lisäystä on hyvä välttää, jotta äkillistä rasvahappojen kasvua ei tapahtuisi. Korkeissa pitoisuuksissa pitkäketjuiset rasvahapot häiritsevät mikrobeita ja etenkin metanogeenejä. Rasvapitoisella aineksella on suuri metaanintuotto potentiaali, mutta sen syöttöä on säännösteltävä tarkasti inhibitioiden välttämiseksi. Mesofiilinen prosessi kohtaa LFCA:sta aiheutuvaa häiriötä harvemmin kuin häiriöille alttiimpi termofiilinen prosessi. (Kymäläinen 2015, 69–70.)

Haihtuvissa rasvahapoissa (VFA, volatile fatty acids) on vähemmän kuin 18 hiiliatomia ketjussa ja ne ovat pitkäketjuisten rasvahappojen hajoamistuotteita. Jotta VFA voi hajota edelleen pienemmiksi yhdisteiksi, on vetypitoisuuden oltava sopiva. Liian suuri pitoisuus estää VFA:ta hajoamasta, jolloin sitä kertyy reaktoriin. Tästä johtuen metanogeenien on pystyttävä kuluttamaan vetyä sen verran, että sen pitoisuus pysyy kurissa. PH-arvon laskiessa 4,5 asti asidogeeniset mikrobit tuottavat VFA:ta. Kun pH-arvo on alle 6 ionisoitumattomia soluille haitallisia VFA-happoja on enemmän kuin ionisoituneita, josta voidaan päätellä VFA-happojen inhiboinnin alkavan alhaisissa pH-olosuhteissa. Kohonneesta VFA:n ja vedyn pitoisuudesta voi päätellä jonkin häiriön tapahtuneen, joka vaatii toimia inhibition korjaamiseksi. Tällaisessa tilanteessa on tarkkailtava muiden aineiden pitoisuuksia. Niiden pohjalta on pääteltävä mistä häiriö on johtunut ja millä toimilla prosessi voidaan palauttaa tasaisesti toimivaksi. VFA-pitoisuus toimii siis hyvänä mittarina mädätysprosessin jokaisessa vaiheessa ja etenkin prosessin käynnistämisessä sekä häiriöiden tarkkailussa. (Deublein & Steinhauser 2008, 121; Kymäläinen 2015, 69–70, 78–79.)

### 5.4.4 Metallit

Osa metalleista ovat tärkeitä hivenaineita anaerobisessa mätänemisprosessissa, mutta liian suurissa pitoisuuksissa nämäkin metallit voivat potentiaalisesti aiheuttaa häiriötä prosessiin. Tällaisia metalleja ovat rauta, sinkki, kupari, kromi mangaani, molybdeeni, nikkeli

ja seleeni. Välttämättömien metallien lisäksi on raskasmetalleista lyijy, elohopea ja kadmium aiheuttavat häiriöitä prosessiin. (Deublein & Steinhauser 2008, 125; Kymäläinen, 70.)

Toisaalta osa metalleista voi pienissä pitoisuuksissa stimuloida metanogeeniä. (Bitton 2005, 358). Kuten tarvittavien hivenaineiden raja-arvojen määrittäminen, myös inhiboivien arvojen määrittäminen metalleille on vaikeata. Tutkimuksista on päätelty osan metalleista voivan vaikuttaa muiden metallien inhiboivaan vaikutukseen joko heikentämällä tai vahvistamalla sitä. (Deublein & Steinhauser 2008, 125; Kymäläinen 2015, 70.)

#### 5.4.5 Suolat

Suoloja päätyy mädätysmassaan suolaisten syötteiden mukana. Tällaisia ovat muun muassa alkalimuotoiset kemikaalit ja elintarvikeperäiset aineet. Ruokasuola (NaOH) on tyypillinen suolasyöte prosessiin, sillä sen avulla on voitu säätää esimerkiksi mädätysmassan pH-arvoa optimaalisemmaksi. Liian suurissa pitoisuuksissa suolat häiritsevät mikro-organismien toimintaa. (Kymäläinen 2015, 70.)

Osmolyytit ovat solujen vesitasapainoa ylläpitäviä aineita. Niitä lisäämällä prosessiin voidaan edistää mikrobeiden hyvinvointia suolapitoisessa massassa luonnollisen adaptoitumisen lisäksi. Natriumin inhiboivia aiheuttavat raja-arvopitoisuudet ovat 5000–15000 mg(litra). Muille suoloille pitoisuudet ovat myös monia tuhansia milligrammoja litraa kohden. (Kymäläinen 2015, 70.)

#### 5.4.6 Antibiootit ja desinfiointiaineet

Antibiootit ovat tehty heikentämään ja tappamaan mikro-organismeja. Desinfiointiaineet ovat puolestaan tehty estämään mikrobeiden leviämistä. Ne ovat siis ilmeisiä haitta-aineita biokaasuntuotannossa joutuessaan reaktorin sisään. Hyvin pienistä pitoisuuksista näitä aineita hapetonmädätysprosessi kykenee selviämään. Hapettoman prosessin on myös huomattu kykenevän hajottamaan joitakin antibiootteja. (Kymäläinen 2015, 70–71.)

#### 5.4.7 Metanogeenien kilpailijat

Metanogeenisten mikrobeiden kilpailijoita ovat mikro-organismit, jotka reagoivat nitraattien ja sulfaattien kanssa pelkistäen niitä. Kilpailevien mikrobeiden pitoisuudet kasvavat, kun nitraatin ja sulfaatin pitoisuudet nousevat. Näiden mikrobeiden tuottamia aineita ovat nitraatista muodostuvat dityppioksidi ( $N_2O$ ), typpi (N) ja sulfaatista muodostuva rikkivety ( $H_2S$ ). (Bitton 2005, 100, 356; Deublein & Steinhauser 2008, 99, 129; Kymäläinen 2015, 71.)

## 6 Biokaasulaitosten mädätysmenetelmät

### 6.1 Yleistä

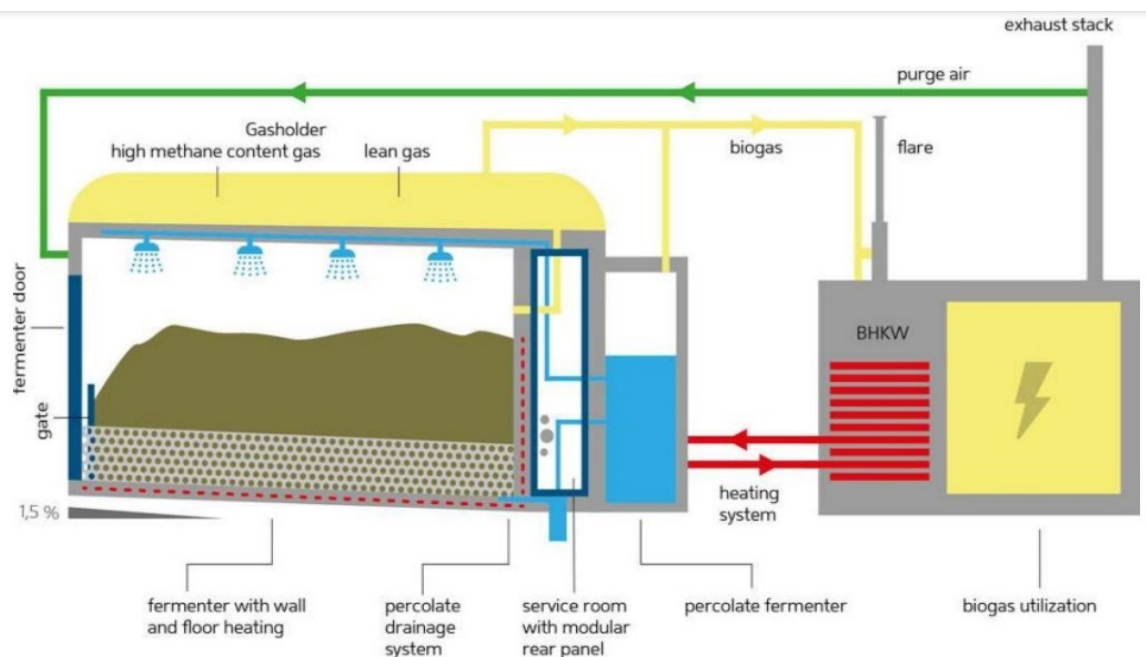
Kuivamädätysprosessin biomassassa on kiinteämmässä muodossa kuin märkämädätysprosessin biomassassa. Tästä johtuvat molempien mädätysmenetelmien nimitykset. Kuivamädätyksessä vedenkierto on yksi tärkeimmistä prioriteeteista prosessin toiminnan kannalta, joten nimitys voi antaa väärän mielikuvan. (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 17.)

Vettä käytetään jokaisessa mädätysprosessissa. Märkämädätyksessä syöte on valmiiksi hyvin vesipitoinen ja tarvitsee sekoitusta mädätyksen aikana. Kuivamädätyksessä vettä kierrätetään prosessin läpi useita kertoja, mutta massaa ei erikseen sekoiteta. Kiintomädätyksessä kuivasyöte murskataan ja siihen sekoitetaan vettä tai prosessista saatua neste-jaetta syötemassan ideaalisen laadun saavuttamiseksi. Sekoitettu syöte pumpataan reaktoriin ja reaktorissa massaa sekoitetaan säännöllisesti.

### 6.2 Kuivamädätys

Kuivamädätyslaitoksen reaktori on suurikokoinen ilmatiivis halli. Sen lattialle kasataan mädätettävä massa pyöräkuormaajalla. Kammion katossa on vesiputkia, joista suihkutetaan vettä lattialla olevan mädätettävän massan päälle, kuten kuvasta 1 huomataan. Vesi kulkee massan läpi liuottaen aineita ja jatkaa matkaa takaisin vesisäiliöön, josta se pumpataan jälleen mädätettävän massan päälle. Vedenkierto mahdollistaa biokaasun tuotannon kuivamädätystä hyödyntävässä biokaasulaitoksessa. Hallin katossa tai seinässä on putki, joka kerää tuotetun kaasun säiliöön. Säiliöstä voidaan pumpata kaasua muun muassa kaasukäyttöiseen moottoriin, jolla voidaan tuottaa sähköä ja lämmittää kuivamädätyslaitosta tarpeen mukaan. (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 17.)

Kuivamädätyslaitokset voivat olla jatkuvatoimisien sijaan myös panossyötteisiä. Panossyötteisyys tarkoittaa, että kammio täytetään kerralla ja prosessin aikana ei lisätä mädätettävää massaa. Jatkuvatoimiseen laitokseen lisätään ja poistetaan mädätettävää massaa säännöllisesti tai jatkuvasti, jotta mädätysmassan määrä säilyy samana. (Kymäläinen 2015, 83, 87.)



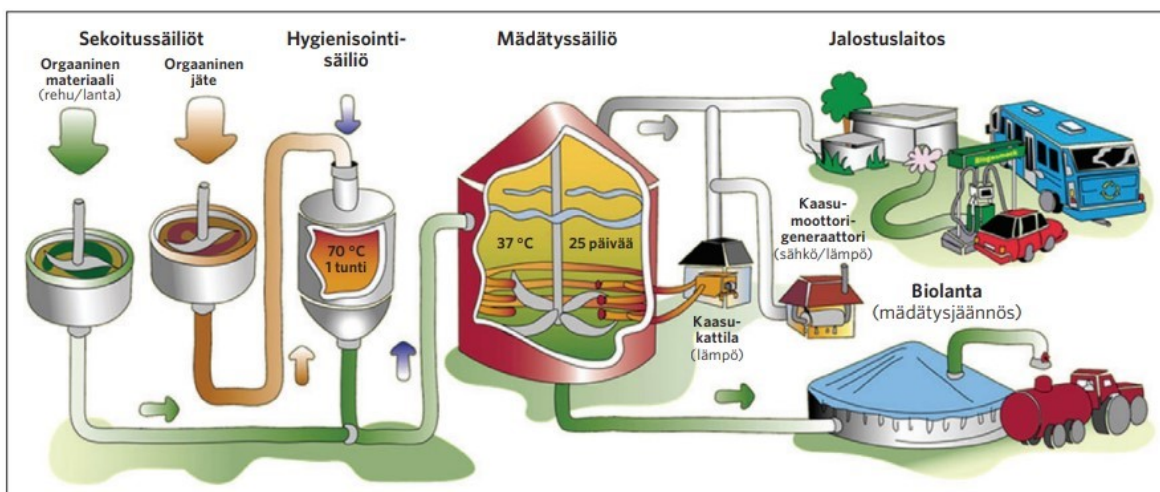
Kuva 1. Panossyötteistä suotopetiprosessia hyödyntävän kuivämädätysbiokaasulaitoksen toimintaa havainnollistava periaatekuva. (Bekon GmbH 2016)

### 6.3 Märkämädätys

Märkämädätyslaitoksen reaktori on lieriömäinen suuri täyssekoitteinen säiliö. Kehittyneemmissä laitoksissa kahden kalvon lisäksi reaktori on hyvin eristetty ja reaktorissa on sisäänrakennettu biomädätysmassan sekoitin sekä vesiputkilämmitys, kuten kuvassa 2. Syöttö tapahtuu kahden sekoittimen kautta. Toiseen syötetään orgaaninen materiaali ja toiseen jäte. Sekoituksen jälkeen orgaaninen jäte kulkee hygienisointisäiliön läpi, jossa se viipyy tunnin ajan 70 °C lämpötilassa. Siitä hygienisoitu orgaaninen jäte kulkee mädätys säiliöön. Orgaaninen materiaali menee suoraan mädätys säiliöön sekoituksen jälkeen. Mädätys säiliössä ylläpidetään 37 °C lämpötilaa ja massaa sekoitetaan siellä 25 päivän ajan. Mädätettävää massaa lisätään jatkuvatoimisesti ja siksi myös mädätettyä massaa on poistettava tasaisin väliajoin. Poistuva materiaali eli mädätysjäännös on biolantaa ja se ohjataan jälkikaasualtaaseen odottamaan pellolle levitystä. Jälkikaasuallas kerää vielä siinä muodostuneen kaasun talteen. Kaasu voidaan ohjata kaasumootorigeneraattorille ja kaasukattilaan, joiden avulla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 15–16.)

Prosesseja voi olla yksi- tai kaksivaiheisia. Kaksivaiheisessa prosessissa on kaksi erillistä mädätysreaktoria, joista ensimmäisessä tapahtuu hydrolyysi ja asidogeneesi niille optimaalisissa olosuhteissa. Seuraavassa reaktorissa tapahtuu metaanin muodostaminen asetogeenisille sekä metanogeenisille optimaalisissa olosuhteissa. Kaksivaiheista prosessia

käyttävä biokaasulaitos on paljon monimutkaisempi kokonaisuus. (Kymäläinen 2015, 88–89.) Märkämädätyslaitokset voivat käyttää kaksivaiheista prosessia yksivaiheisen sijaan, mutta se vaatii enemmän tilaa ja automatiikkaa.

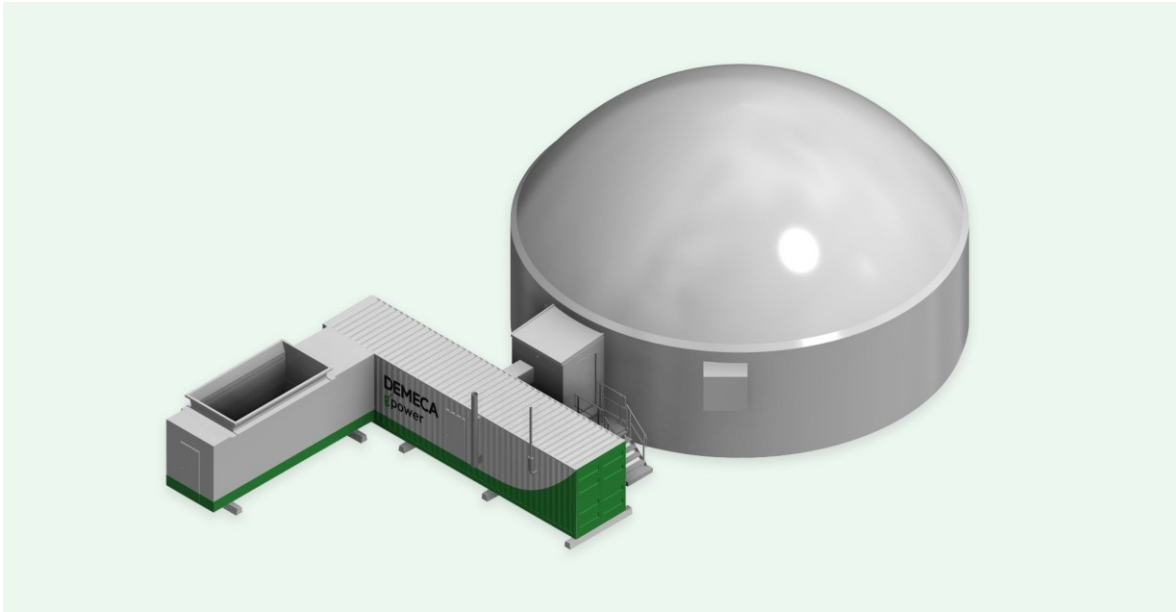


Kuva 2. Märkämädätyslaitoksen toiminta yksinkertaistettuna periaatekuvana. (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013)

#### 6.4 Kiintomädätys

Kiintomädätys on kuiva- ja märkämädätyksen välimuoto, jolla saavutetaan molempien mädätysmenetelmien edut energiatehokkain menetelmin. Mädätettävä materiaali syötetään ruuvityöntimellä ja kiinteämmät materiaalit kulkevat murskaimen läpi ennen syöttöä mädätys-säiliöön. Mädätysreaktori koostuu kahdesta säiliöstä, joista alemmassa tasaisin väliajoin sekoitetaan biomassaa. Alemmassa säiliössä muodostuva kaasu kerätään ylempään säiliöön, josta se voidaan ohjata kaasukäyttöiselle moottorille ja mahdollisesti myös muuhun käyttöön. Kiintomädätyksen energian kulutus on pienempi kuin märkämädätyksen, sillä se vaatii vähemmän lämmitystä ja sekoitus ei ole jatkuvasti käynnissä.

Kiintomädätysmenetelmä-käyttöinen biokaasulaitos on myös pienempi sekä yksikertaisempi rakentaa kuin märkämädätyslaitos ja siksi sen rakennuskustannukset ovat halvemmat. Kuvassa 3 on mallikuva kiintomädätysbiokaasulaitoksesta. Kiintomädätyksen hajuhaitat ovat paljon vähäisemmät kuin märkämädätyksen ja lopputuotteena on hajutonta lietettä, joka on helppolevitteinen ja tehokas nopeasti imeytyvä lannoite. Kiintomädätys voi käyttää monipuolisempia raaka-aineita syötteenään kuivamädätykseen verrattuna. Kiintomädätys tuottaa enemmän biokaasua kuin kuivamädätys, sillä kosteusolosuhde pidetään optimaalisena mikrobeiden tehokkaampaa toimintaa varten.



Kuva 3. Esimerkkikuva Demeca Oy:n kiintomädätysbiokaasulaitoksesta. (Demeca Oy)

## 7 Toimeksiantajan laitoksen yleisinformaatio

### 7.1 Laitekokonaisuus

Demecan kiintomädätystä hyödyntävä biokaasulaitos koostuu useista päälaitteista ja laiteistokokonaisuuksista. Päälaitteita ovat syöttöpumppauslaitteisto, puristenestekaivo, lisäsyötin kuiville syötteille, homogenisointiyksikkö, reaktori, hygienisointi ja varastoaltaat sekä kaasunkäsittelylaitteistot. (Vinkki ym. 2023, 12.)

#### 7.1.1 Syöttöpumppauslaitteisto

Syöttöpumppauslaitteiston toiminta alkaa, kun säiliön laitteiston pinnanmittausanturi ilmoittaa pinnan tason olevan alarajalla. Syöttöpumppu toimii työ/tauko-periaatteella. Siinä pinnan korkeus määrittää milloin pumppaus käynnistyy ja loppuu. Se on osana järjestelmää, joka ylläpitää reaktorin sisällä olevan massan määrän muutokset tasaisina verrattuna poistuvaan aineen määrään. Taulukosta 2 voidaan tarkastella syöttöpumppauslaitteiston toimintaa. (Vinkki ym. 2023, 12–14.)

Lietemäisen syötteen putkistot ovat muovista valmistettua paineviemäriputkea, joiden irrotettavissa liitoksissa on käytetty laippa- ja puserrusliittimiä ja kiinteät liitokset ovat sähköhittejä. Samaan järjestelmään liittyy muun muassa puristenestekaivo, kuivien syötteiden lisäsyötin ja pinnan mittauslaitteet. Massan syöttäminen tapahtuu saman aikaisesti, kun reaktorista tai hygienisoinnista poistetaan prosessin läpi käynyttä massaa. Samanaikainen massan virtaus optimoi syötteen lämmönvaihtimen toimintaa. (Vinkki ym. 2023, 12–14.)

Asetukset	Asetuksen kuvaus
Kaivon minimipinta	Syöttökaivon minimipinnankorkeus, jota kohden pinnan laskiessa tauko aika pitenee. Sen alapuolella käytetään pisintä tauko aikaa.
Kaivon maksimipinta	Syöttökaivon maksimipinnankorkeus, jota kohden pinnan noustessa tauko aika lyhenee. Sen yläpuolella käytetään lyhyintä tauko aikaa.
Pumppauksen minimi-tauko	Pumppauksen lyhyin tauko aika. Käytössä kun kaivon pinnankorkeus on korkeimmillaan.
Pumppauksen maksimi-tauko	Pumppauksen pisin tauko aika. Käytössä kun kaivon pinnankorkeus on matalimmillaan.
Pumppaus aika	Pumppauksen pituus tauon loputtua.
Kierrätyksen tauko aika	Lietekuulun kierrätyksen tauko aika.
Kierrätyksen työ aika	Lietekuulun kierrätykseen kuluva aika tauon loputtua.

Taulukko 2. Syöttökaivon asetukset ja asetusten kuvaukset (mukailtu Vinkki ym. 2023, 24)

### 7.1.2 Puristenestekaivo

Puristenestekaivoa käytetään tarpeen mukaan kuivien syötteiden notkistamiseksi. Sen sisältä saadaan erittäin nestemäistä syötettä prosessiin. Homogenisointiyksikkö vastaa puristenestekaivon syötteen käytöstä. (Vinkki ym. 2023, 12–13.)

### 7.1.3 Lisäsyötin kuiville syötteille, gMix sekoitusallas ja homogenisointiyksikkö

Lisäsyöttimelle lastataan kattosuppilon kautta esimerkiksi kauhalla varustetulla traktorilla tai pyöräkoneella kuivemmat syötteet, kuten lanta ja peltojen kasvimassa. Syötin annostelee lastatun syötemassan homogenisointiyksikköön siirtoruuvia pitkin. Ennen suppiloon syöttämistä kuivasyötteet kannattaa hajottaa pieniksi osiksi traktorin tai pyöräkoneen avulla, koska syöttösuppilossa ei ole murskainta. Murskain sijaitsee lisäsyöttimen ja homogenisoinnin välissä osana annostelua. Sekoitusaltaan potkurisekoitus ei välttämättä kykene hajottamaan suurta kiinteää möykkyä. Konevoiman käytöstä on hyötyä kuivasyötteiden ollessa suurehkoja paakkuja, sillä niiden hajottaminen parantaa kuiva- ja nestemassan sekoittumista. Lisäsyöttimen ja homogenisoinnin toimintaa on tarkemmin selitettynä taulukossa 3. (Vinkki ym. 2023, 12–14, 26.)

Homogenisointiyksikkö rikkoo kuivat massat pienempiin osiin ja poistaa biohajoamattomat ainekset massan seasta. Sillä hienonnetaan syöte optimaaliseksi biokaasun tuotantoa

varten. Samalla ehkäistään prosessiin kuulumattomien aineiden pääsyä reaktoriin. Esimerkkinä prosessiin kuulumattomista asioista toimii muun muassa lantaan tarttuneet pienet kivet. Kiviä ja muita kiinteitä partikkeleja varten on tietyin annosvälein aktivoituva kiviruuvi, joka kuljettaa ne hiljattain ulos säiliöstä. Syötteitä voidaan lisätä prosessiin kolmella eri tavalla syötteenkäsittelykontin eli homogenisoinnin läpi (Vinkki ym. 2023, 30):

- Mädetettä pumpataan reaktorista syötteiden homogenisointiyksikköön. Mädatteeseen sekoitetaan kuivaa syötemassaa, joka johdetaan murskaimen kautta lämmönvaihtimeen. Kun syötemassan lämpötila on sopiva, syöteseos pumpataan biokaasureaktoriin. Tätä kutsutaan rejektihuuhteluksi.
- Puristenestekaivosta pumpataan nestettä homogenisointiyksikköön, jossa se sekoitetaan kuiviin syötteisiin.
- Reaktoriin suoraan pumpattavaa raakalietettä voidaan käyttää nesteosana kuivan syötteen notkistamisessa.

Homogenisointisäiliöön syötetään ensin nesteosa syötteestä annoksen painoon perustavana annoksena. Tämän jälkeen annostellaan mukaan kuivasyöte painon perusteella, jonka jälkeen neste- ja kiinteämassa sekoitetaan toisiinsa. Sekoituksen ansiosta kuivasyöte hienontuu sopivaksi reaktorissa tapahtuvaan mädatysprosessiin. Sekoituksen jälkeen seos siirretään pumpuilla reaktoriin mätänemään biokaasuksi ja lietteeksi. (Vinkki ym. 2023, 12–13.)

Pääkomponentit	Tehtävä
Lisäsyötemurskain ja säiliö	Mallista riippuen kuivan syötteen syöttösäiliö voi olla 8 tai 15m <sup>3</sup> .
Homogenisointiyksikkö, säiliö ja turvakytkimet	Nesteannoksen vastaanotto säiliöön ja syöteseoksen mittaus. Turvakytkimet sijaitsevat yksikön välittömässä läheisyydessä.
Homogenisointiyksikön sekoitin	Laparuuvisekoitin hajottaa syötteen möykyt.
Ylivuotoputki ja ylivuodon tunnistusanturi	Murskaimesta mahdollisesti yli valuvan nesteen ylivuotoputki. Anturi tunnistaa ylivuototilanteen ja antaa hälytyksen.
Homogenisoinnin pullistumisanturi	Mittaa säiliön laipiolevyn pullistumista ja toimii varorajana, kun säiliö täyttyy muista varotoimista huolimatta.
Homogenisointiyksikön lietteen/rejektin lisäyssarja	Homogenisoitavan syöteseoksen nesteosan lisäyslinja.
Homogenisointipumppuyksikkö	Pumppu, joka hienontaa syöteseoksen rikkomalla materiaalin rakenteen ja pilkkoen korret jne. mahdollisimman kaasua tuotetaan muotoon.
Homogenisointiyksikön kiviruuvi	Poistaa kivet ja metallin kappaleet syötteestä estäen niiden pääsyn pumppuyksikköön, mikäli niitä on joutunut syötteeseen lastaajan huomaamatta.
Reaktorin syöttöpumppu	Pumppaa homogenisoidun syötteen lämmönvaihtimen läpi reaktoriin.
Homogenisointiyksikön kansi	Huuhteluventtiilillä varustettu ikkunamainen kansi homogenisointitilan tarkistamiseen.
Homogenisointiyksikön punnitusrunko ja vaaka	Säiliön painon mittaava kallistuva ripustusrunko vaaka-anturilla.
Lisäsyötteen syöttöputki	Murskaimen ja homogenisoinnin yhdistävä putki, jota pitkin kuivasyöte johdetaan homogenisointiin syöttöruuvilla.
Murskaimen syöttöruuvi	Sekoittaa ja siirtää halutun määrän kuivaa syötettä homogenisointiin.
Murskaimen apuruuvi	Sekoittaa ja siirtää kuivaa syöteseosta säiliöissä.

Taulukko 3. Lisäsyötemurskaimen ja homogenisointiyksikön osat tehtävineen (mukailtu Vinkki ym. 2023, 28)

#### 7.1.4 Reaktori

Reaktori on ilmatiivis lämpöeristetty ja vesikiertoisella HST-teräsputkilämmityksellä varustettu säiliö. Syöte mätänee reaktorissa noin 30–50 päivää 37–40°C:n lämpötilassa, jolloin mikrobit pilkkovat syötetyn biomassan muodostaen siitä biokaasua. Reaktorissa mädättemassaa sekoitetaan ajastetusti säännöllisin väliajoin, jolloin massan ravinteet sekoittuvat tasaisesti massassa optimoiden biokaasun tuotantoa ja vähentäen inhibitioiden riskiä.

Biokaasu nousee mädättemassasta ja kulkee aktiivihiihillä varustetun biofilterivälipohjan läpi kaasuhuppuun. Biofilteriin kasaantuu muun muassa rikkivetykiteitä. Kaasuhupusta biokaasua ohjataan kaasuputkilla esikäsittelylaitteille ja sieltä CHP-laitteiston käytettäväksi. CHP-laitteita ovat kaasupoltin ja kaasumoottori, joka pyörittää generaattoria luoden sähköä. Reaktorin toimintaa ja rakennetta voidaan tarkastella taulukosta 4. (Vinkki ym. 2023, 12–13.)

Osan nimi	Tehtävä
Sääsuojahuppu	Sääsuojahuppu suojaa kaasutilaa ja reaktoria sääolosuhteilta. Se pidetään pyöreänä ilmaa puhaltamalla ja ylipaineventtiilin avulla.
Kaasuhuppu	Reaktorin sisällä olevan kaasuhupun ja lietteen pinnan väliin kertyy biokaasua. Hupun korkeus riippuu kertyneen kaasun määrästä.
Biofiltterivälipohja	Suodattaa rikkivedyn pois sen läpi kulkevasta biokaasusta ja toimii lämmöneristeenä.
Keskimasto	Kannattelee haarustusta ja biofiltterivälipohjaa. Alipainetilanteessa välipohjan yläpuolinen osa estää kaasuhupun painumisen välipohjaa vasten.
Lämmitysputkisto	Reaktorin sisäseinissä sijaitseva teräksinen lämmitysvesiputkisto.
Lapasekoitin ja huoltokiskot	Suurilapainen sekoitin pyörii hitaasti ja sekoittaa reaktorin massan pinnasta pohjaan. Huoltokiskon ansiosta lapasekoitin on huollettavissa ilman reaktorin tyhjennystä.
Lattia ja routasuojaus	Lattian ja seinän sauma ovat tiiviisti yhdistetyt ja toimivat alustana sekoittimien kiskorakenteille ja seinät lämmitysputkistoille. Routasuojaus eristää reaktoria ja vähentää lämmityksen tarvetta.
Reaktorin laitetilä	Laitetilassa sijaitsee turvallisuuden ja valvonnan osalta tarpeelliset laitteet ja kaasun esikäsitteilylaitteet.
Reaktorin seinä	Seinän runko on teräselementti. Se on hitsattu ja pultattu reaktorin liette-tilan ulkopuolelta laippaliitoksien. Seinärakenteen sisäpuolella on liete- ja kaasutiivis PVC-kalvo ja ulkopuolella on eristetty ja tuulisuojattu pinnoitettu poimupelti.

Taulukko 4. Reaktorin rakenne ja osien tehtävät (mukailtu Vinkki ym. 2023, 32–33)

### 7.1.5 Hygienisointi

Hygienisointisäiliössä syöte tai reaktorista poistuva massa sekoitetaan ja lämmitetään 70°C lämpötilaan vähintään tunniksi, jotta tietyt mikrobit ja viruskannat kuolevat. Kun syöte tai massa on ollut tarpeeksi kauan kuumassa säiliössä, se on hygienisoitu standardien

mukaiseksi. Korkean lämpötilan vuoksi hygienisoinnin jälkeen on käytetty HST-teräsputkistoa, joissa on puristusliitokset.

On laitospoista, tapahtuu hygienisointi etu- vai jälkikäsitteilynä. MTY Lantan biokaasulaitoksessa hygienisointi tapahtuu jälkikäsitteilynä, jolloin reaktorin poistopumppu ohjaa mädätysjäätännöksen hygienisointiin. Hygienisoinnin jälkeen mädätejäätännös ohjataan varastoaltauksiin lämmönvaihtimen läpi. Taulukosta 5 voidaan tarkastella hygienisointiyksikön toimintaa. (Vinkki ym. 2023, 12–13.)

Hygienisointiyksikön osa	Tehtävä
Sekoitin	Sekoittaa hygienisoitavan ainesta hygienisoinnin ajan.
Hygienisointisäiliö	Lämmittää hygienisoitavaa massaa tunnin ajan 70°C lämpötilassa.
Ohjauskeskus	Kahdennetulla valvonnalla varustettu ohjausyksikkö lämpötilan, täytön ja tyhjennyksen tarkkailuun hygienisointisäiliössä. Ohjauskeskus tallentaa myös lämpötiladataa.
Täyttö ja tyhjennysventtiilistö	Hygienisointi lämpötilaan lämmitettävä venttiili-putkisto. Venttiilistö on kahdennettu.
Poistopumppu	Hygienisoinnin tyhjentävä pumppu, joka pumpkaa massan lämmönvaihtimen kautta varastoaltauksiin.

Taulukko 5. Hygienisointiyksikön rakenne ja osien tehtävät (mukailtu Vinkki ym. 2023, 43)

#### 7.1.6 Varastoaltauksi

Biokaasun tuotantoprosessin jälkeen mädätejäätännös ohjataan varastoaltauksiin. Altauksiin massaa voidaan tankata säiliövaunuihin, joista lietettä voidaan levittää lietelannoitteena pelloille. (Vinkki ym. 2023, 12.)

#### 7.1.7 Kaasunkäsitteily ja CHP-laitteistot

Reaktorin kaasuväestön täyttöaste ohjaa kaasun kulutusta CHP-kontissa (Combined heat and power) säädetyn mukaisesti automaation avulla. Normaalisti kaikki tuotettu kaasu hyödynnetään CHP-laitteistoon kuuluvalla sähköä tuottavalla kaasumoottorilla, mutta ylijäämäkaasun kertyessä sitä voidaan polttaa kattilassa. Kattilaa jäähdytetään tarpeen mukaisesti

nestejäähdytin avulla ulkoilmaan. Järjestelmän kaasunpaine pidetään noin 5 mbar suuruisena. Kaasua siirrettäessä reaktorista CHP-laitteistolle paine nostetaan 100 mbar suuriseksi sivukanavapuhaltimen avulla. (Vinkki ym. 2023, 13–14.)

Reaktorissa sijaitsevalla paineenhallintalaitteella estetään paineen liiallinen lasku ja nousu, jolloin ei pääse syntymään liian suurta yli- tai alipainetta. Ylipainetta voi syntyä kaasun yli-tuotantotilanteessa ja vastaavasti alituotantotilanteessa paine voi alentua vähäisen biokaasun muodostumisen vuoksi. Poikkeustilanteessa vesilukon kautta purkautuva kaasu ohjataan ulos purkausputkesta. Laitoksen kaasutilavuus on noin 480 m<sup>3</sup>, kun mukaan lasketaan myös putkistot reaktorin lisäksi. Se vastaa noin 580 kg verran biokaasua, jonka metaanipitoisuus on 60 %. Kaasunsiirto putkisto on HST-teräsputkistoa ja niiden liitoskohdissa on käytetty kaasukäyttöön tarkoitettuja puristusliitoksia. (Vinkki ym. 2023, 13–14.)

## 7.2 Automaatiojärjestelmä ja käyttöjärjestelmä

Automaatiojärjestelmä ohjaa laitoksen toimintaa lähes kokonaan itsenäisesti. Se tarkkailee määritettyjä arvoja sensoreiden ja mittauslaitteiden avulla alkaen syöttöpumppauksesta kaasun lopulliseen käyttöön asti. Järjestelmä mittaa muun muassa reaktorin sisällä vallitsevaa lämpötilaa, kaasun virtaaman määrää ja tuotettua sähköä. Kun järjestelmä ilmoittaa sensoreiden havainneen minkä tahansa hälytysrajan ylityksen tai alituksen, se käynnistää hälytystilan ohjausohjelmistolle. Samalla tapaa järjestelmä tunnistaa vikatilanteet ja asettaa ohjauksen vikatilaksi aktiiviseksi. Automaatiojärjestelmä ilmoittaa laitoksen omistajalle viestillä hälytyksistä ja vikatiloista.

Laitoksen toimenpiteitä, joita itse on suoritettava, ovat muun muassa kaasun ja syötteen laadun mittaukset, parametrien säätämiset sekä häiriöiden valvonnat ja poistot. Kaasun laadun mittaamisessa on noudatettava laitoksen käyttöohjeen turvallisuus toimenpiteitä. Mittari on kalibroitava ennen mittaustilaan menoa raittiissa ilmassa. Ennen mittaushuoneeseen menoa on tarkistettava hapen ja kaasujen pitoisuuksien olevan turvallisella tasolla. Kaasunäytettä otettaessa ovi on vähintään pidettävä auki, sillä tilaan virtaa kaasua. Lisäksi on suositeltavaa käyttää kaasunaamaria lisäturvallisuusvarusteena. Kaasun laadun mittaus on suoritettava vähintään kerran viikossa. Suurin osa edellä mainituista toimenpiteistä voidaan myös suorittaa etänä niiden ihmisten toimesta, joille on annettu riittävät käyttöoikeudet laitokseen. Etäkäyttö voi olla ongelmallista kolmesta syystä (Vinkki 2016, 16):

- Pitää huomioida mahdolliset kunnossapito- ja huoltotoimien ajankohdat ja onko sellainen käynnissä. Etäkäyttöä harkittaessa on oltava tietoinen sen hetkisestä tilanteesta kunnossapidon suhteen.

- Manuaaliset toimenpiteet voivat katkaista etäyhteyden ja aiheuttaa esimerkiksi pumppun päälle jäämisen. Etäkäyttöyhteys voi katketa, joten sitä ei suositella käytettäväksi käsin hoidettavissa toimenpiteissä.
- Etäkäyttäjä ei kuule ja näe mitä laitoksella tapahtuu, joten laitoksen tilanteesta ei välttämättä ole varmuutta. Etäkäyttö edellyttää tarkkaa harkintaa.

Tiedonkeruujärjestelmä tallentaa sensoreiden ja mittauslaitteiden keräämät arvot, tiedot ja niiden muutokset laitoksen sisäisistä tapahtumista. Näitä tietoja voidaan tarkastella käyttöliittymän sivulta ja pidemmän aikavälin tietoja pystytään tarkkailemaan Demeca Biogasdata™ -järjestelmästä. (Vinkki ym. 2023,13–16.)

## 8 Laskelmat ja kaavat

### 8.1 Pörssisähkön ja energiapuun hinnat

Laskelmien sähkön hintana on käytetty pörssisähkön keskihintaa vuodelta 2024, jolloin koko vuoden keskihinta oli 4,56 c/kWh eli 45,6 €/MWh. Lisäksi on laskettu paljonko pörssisähkön päivän hinnan keskiarvolla hinnan ollessa korkealla ja toiselta päivältä matalan hinnan keskiarvolla omavaraisesta sähköstä ja lämmityksestä hyötty. Pörssisähkön hintapiikki vuoden 2024 alussa ylitti 200,00 c/kWh verollisella hinnalla. Pörssisähkön hinta muun muassa kesäkuussa saattoi olla lähes 0,00 c/kWh verollinen hinta pois luettuna. Negatiivisia hintojakin esiintyi. Poikkeavia hintoja siis voi olla ajoittain, mutta niitä ei oteta huomioon näissä hyötylaskuissa. Laskuihin valitaan yleisimmin esiintyviä pörssisähkönhintoja.

Kalliimman pörssihinnan osalta valittiin päivän 10.2.2025 korkein hinta, joka oli 18,95 c/kWh. Tätä korkeampia hintoja esiintyi vuonna 2024. Silloin erään päivän keskihintana oli 18,95 c/kWh eli 189,50 €/MWh ja se toimii pörssisähkön kalliimpana hintana tulevissa laskuissa. Tällaisia hintoja esiintyy tuulettomina ja pilvisinä päivinä, kun aurinkopaneeleilla ja tuulivoimaloilla ei voida tuottaa sähköä. Sään ollessa aurinkoista ja tuulista pörssisähkön hinnat ovat matalat ja usein yhden ja kuuden c/kWh välillä. Halvempana sähkön pörssihintana käytetään 1,15 c/kWh eli 11,5 €/MWh. Seuraavaksi kaavat (1) ja (2), joista kaava (1) muunnetaan suure €/kWh muotoon €/MWh ja kaava (2) tekee päinvastoin.

$$\frac{c/kWh}{100} * 1000 = €/MWh \quad (1)$$

$$€/MWh * 1000 = \frac{c/MWh}{1000} = c/kWh \quad (2)$$

joissa

€/kWh = sähkön hinta euroa kilowattituntia kohden

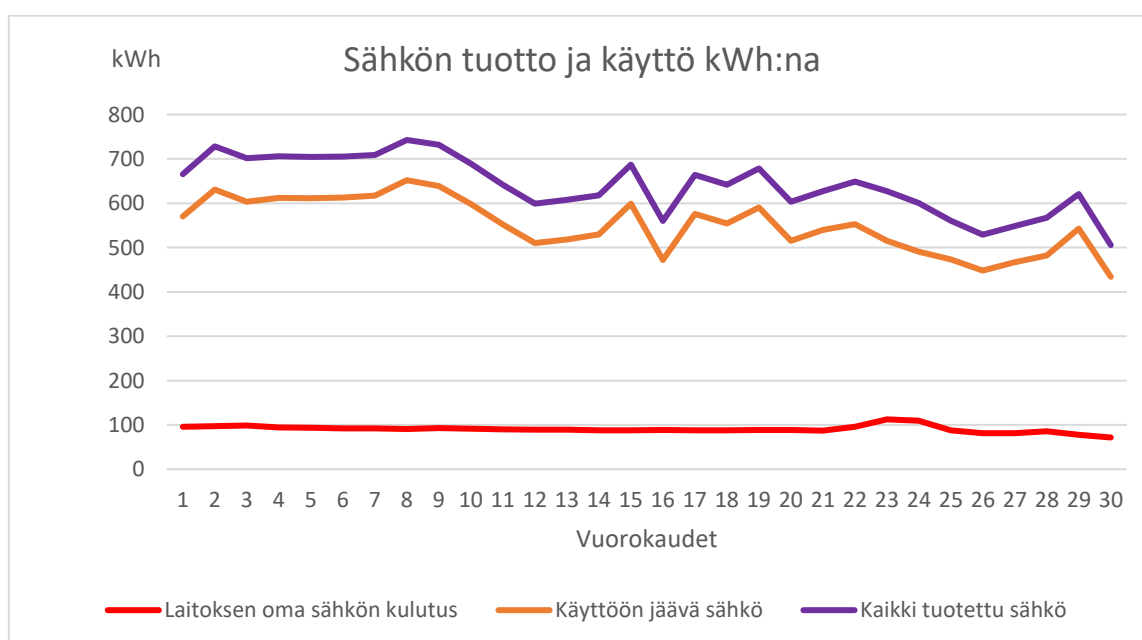
€/MWh = sähkön hinta euroa megawattituntia kohden.

Energiapuuta on monia eri laatuja. Hintaan vaikuttaa muun muassa puulaji, mikä osa puusta haketetaan, puun kosteus, paikkakunta muut tekijät. Normaalisti käytetään lähinnä kuivia rankapuu tukkeja. Envitecpolisissä laskuissa oli laskettu hinnat kahdella tavalla. Ensimmäisenä laskettiin hakkeelle hinta niin, että osto puuta oli 50 % ja omaa puuta oli 50 %. Toisessa laskussa kaikki puu oli osto puuta. 50/50 suhteessa kaiken hakkeen hinnaksi tuli 15,4 €/MWh ja täysin ostopuuna hakkeen hinnaksi jäi 30 €/MWh.

Energia puun hintaa mitataan yksikössä €/m<sup>3</sup>, joten se piti selvittää ja muuntaa yksikköön €/MWh. Tähän tarvitsi tietää oman vuotuisen käyttötarpeen 240 MWh lisäksi myös ennen kuluneen hakkeen määrä vuotta kohden, joka on 300 m<sup>3</sup> tai kylmempinä vuosina 350 m<sup>3</sup>. Kuiviaisten hinta nykyään on noin 48 €/m<sup>3</sup>. Hinta on elävä ja siihen vaikuttaa myös muun muassa ulkomaiden puukauppa. Hinta on noussut viimevuosien aikana huomattavasti. 100 % osto puusta tehdyn hakkeen hinnaksi laskettiin 60 €/MWh. 50 % osto puusta ja 50 % omasta puusta tehdyn hakkeen hinnaksi laskettiin 45 €/MWh. MTY Lantta haketutti energiapuunsa omalla tilallaan ja haketuksen hoiti Hake Uro OY. Hinnaksi tuli vuodessa 300 m<sup>3</sup>:lle 1934,4 € ja 350 m<sup>3</sup>:lle 2256,8 €, kun ALV on 24 %. Ilman arvolisäveroa hinnat olivat 1560 € ja 1820 €, kun hinta oli 5,2 €/m<sup>3</sup>.

## 8.2 Energiantuotto biokaasusta ja sen rahallinen arvo

Biokaasulaitoksen tuotannon tietoja kerättiin 30 päivän ajalta, 6.1.2025 - 4.2.2025, josta on tehty kuvio 5 ja kuvio 6. Kuvio 5 voi tarkastella biokaasulaitoksen sähkön tuotantoa ja laitoksen omaa sähkön käyttöä kuukauden ajalta. Kuvio 6 voi tarkastella tuotettua lämpöä ja sen käyttöä kuukauden ajalta. Kerätyn tiedon pohjalta tehtiin arvio vuoden energian tuotannosta sähkön ja lämmön kannalta. Niiden avulla laskettiin tuotettuja hyötyjen arvoja saatavilla olevien tietojen mukaisesti. Laitoksen järjestelmästä näki, paljonko kaasua virtaa kaasumoottorille, paljonko laitos itse käyttää energiayksikössä kWh ja paljonko laitos tuottaa energiaa sähkönä pois lukien laitoksen oma sähkön käyttö tarve. Laitoksen mitaamat ja lasketut arvot ovat vuorokautta kohden yhteenlaskettuna joka tunti mitatuista tiedoista.



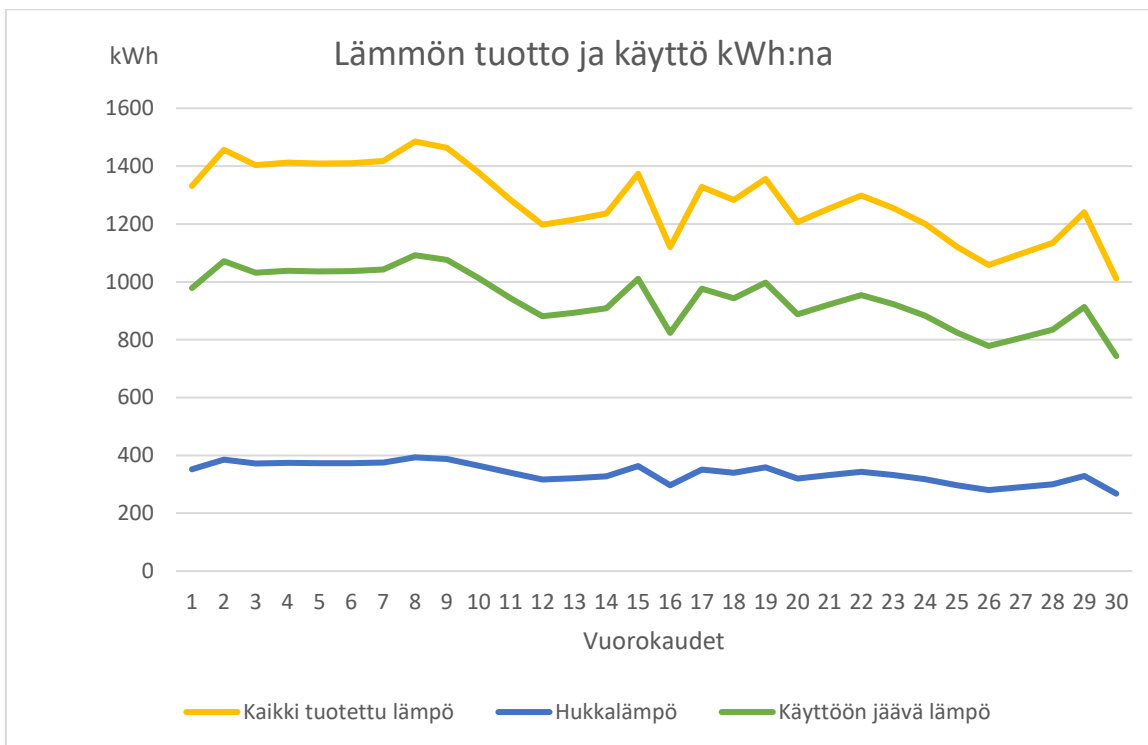
Kuvio 5. Biokaasulaitoksen sähkön tuotanto ja laitoksen oma sähkönkulutus kuukauden tarkkailuajalta.

Tuotetun lämmön laskemiseen käytetään samaa hyötysuhdetta kuin aikaisempiin laskelmiin laitoksen kannattavuudesta, jonka on tehnyt T. Taavitsainen Envitecpolisilta. Energian tuotannosta noin 2/3 on lämpöenergiaa ja sähköä noin 1/3. Sähköä ja lämpöä mitataan energiayksikössä kWh, joten voidaan laskea tuotettu lämpö kaavalla (3). Kun tiedetään vuorokaudessa tuotettu määrä sähköä, voidaan nyt laskea vuorokaudessa tuotettu lämmön määrä hyötysuhteen 2/3 avulla. Koska lämmön hyötysuhde on kaksinkertainen sähkön hyötysuhteeseen, kaava (3) on kertolasku.

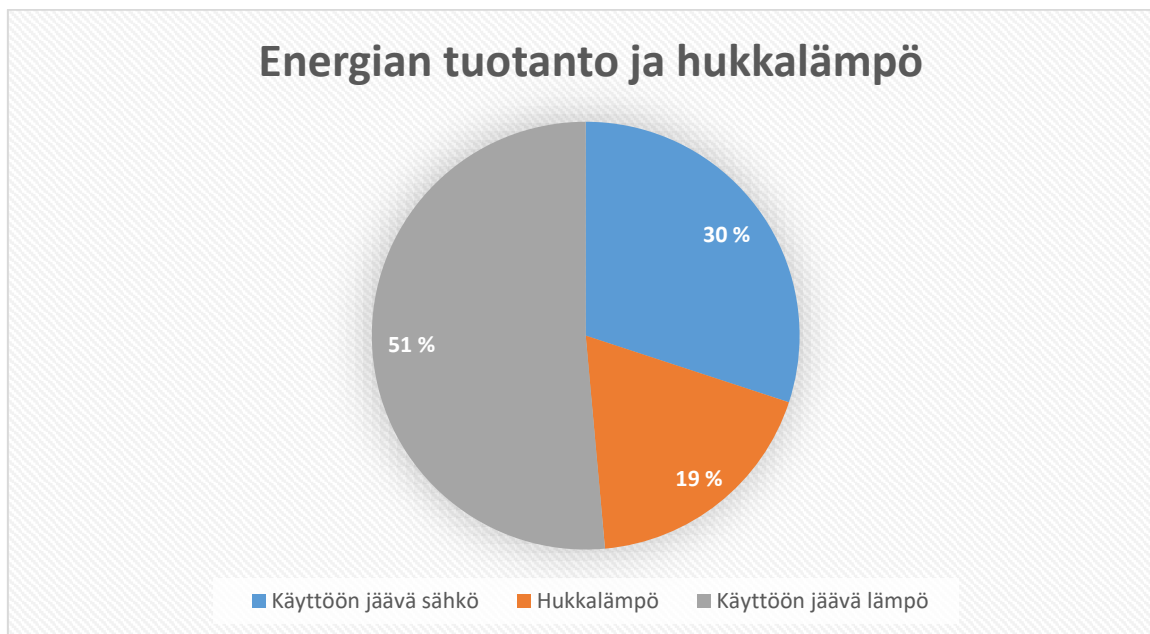
Hukkalämpöä syntyy noin 15 % kaikesta tuotetusta energiasta, joten hukkalämpö voidaan laskea yhteenlaskemalla tuotettu lämpö ja sähkö jakamalla se 85 % ja kertomalla sen tulos 15 %:lla (Motiva, Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 24). Kaavalla (4) lasketaan hukkalämpö ja sitä sekä tuotannosta käytettäväksi jäävää energiaa voi tarkastella kuvioista 7 ja 8 prosentuaalisesti. Motivan mukaan hukkalämpöä syntyy noin 15 % kaikkeen energiaan verrattuna ja kuvioista 8 huomataan, että hukkalämpöä syntyy 16 %. Hukkalämmönlaskennan tulos on siis todenmukainen, sillä poikkeama on hyvin pieni.

$$kWh \text{ sähkö}/vrk * 2 = kWh \text{ tuotettulämpö}/vrk \quad (3)$$

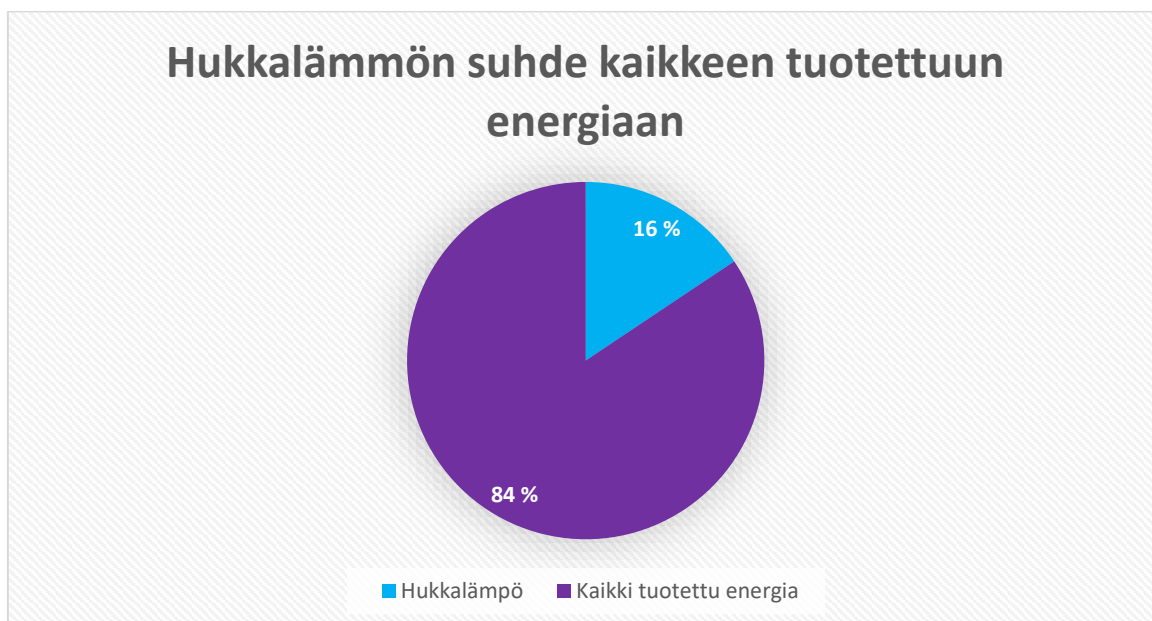
$$\left( \frac{kWh \text{ sähkö} + kWh \text{ lämpö}}{0,85} \right) * 0,15 = \text{hukkalämpö} \quad (4)$$



Kuvio 6. Biokaasulaitoksen lämpöenergian tuotanto kuukauden tarkkailuajalta.



Kuvio 7. Biokaasulaitoksen tuotannosta käyttöön jäävät sähkö- ja lämpöenergia sekä hukkalämpö prosentuaalisesti suhteessa käytettäväksi jäävään lämpöön ja sähköön. Tuotetun energian ja hukkalämmön määrät ovat laskettu vuotta kohden.



Kuvio 8. Hukkalämmöksi muuttuvan energian määrä suhteessa laitoksen tuottamaan energiaan, jota laitos ei itse käytä.

Järjestelmästä kerättiin kuukauden ajalta vuorokausidataa, joten vuotuisen energia määrän laskemiseksi tarvitsee laskea vuorokausien tuottamien energiamäärien summat lämmön ja sähkön osalta erikseen ja kertoa ne kuukausien määrällä eli luvulla 12. Koska energiamääriä tarkastellaan vuotta kohden muodossa MWh, tarvitsee vielä muuntaa vuodessa tuotettu energiamäärä kWh:sta MWh:ksi kaavan (5) avulla.

$$\frac{x \cdot \text{kWh}}{1000} = x * \text{MWh} \quad (5)$$

Jossa

kWh = energian määrä kilowattitunteina

MWh = energian määrä megawattitunteina.

Envitecpolisin tekemän biokaasuinvestoinnin toteutussuunnitelman mukaan sähköä pitäisi pystyä tuottamaan 300–400 MWh, josta laitos kuluttaa arviolta 40–50 MWh vuodessa. Lämmön osalta tuoton pitäisi olla 500–700 MWh, josta laitos kuluttaa 200–210 MWh vuodessa. (Taavitsainen 2022b, 10.) MTY Lantan maatilan isännän mukaan laitoksen prosessi on varhaisessa vaiheessa ja laitos on vielä ylösajossa eli starttivaiheessa. Kerättyjen tietojen pohjalta lasketuista tuloksista päätellen väite pitää paikkansa, sillä lasketut arvot ovat alempana kuin toteutussuunnitelmassa on mainittu. Uudempien laskelmien tiedot ovat kuitenkin vain yhdeltä kuukaudelta, joten todellinen vuoden tuotanto ja kulutus voi poiketa laskelmien tuloksista. Laitoksen sähkön kulutus vuodessa on laskelmien mukaan 32,5 MWh. Sähkön

tuotanto vuodessa pois lukien laitoksen oma käyttämä sähkö on 198,09 MWh ja sähkön kokonaistuotanto on 230,6 MWh, kun ei huomioida biokaasulaitoksen omaa käyttöä. Lämpöä laitos tuottaa vuodessa 339,16 MWh verran, kun hukkalämpö on huomioitu laskuissa. Lantan maatila käyttää vuodessa noin 190 MWh edestä sähköä, joten myytäväksi jäävää sähköä kertyy vuodessa noin 8,09 MWh.

Laitoksen järjestelmästä ei näy paljonko laitos ja tila käyttää lämpöä. Envitecpolisin kannattavuustarkastelu ja alustavien laskelmien yhteenvedossa mainitaan maatalouden ja yksityiskäytön lämmönkulutukset, joten tässä tarkastelussa käytetään samoja lukuja yli jäävän lämpöenergian laskemiseksi. Koko maatila käyttää lämpöä yhteensä 240 MWh vuodessa tuotetusta 339,16 MWh, jolloin jää käyttämättä 99,16 MWh verran lämpöä. Lämmöstä 216 MWh menee maatalouskäyttöön ja 24 MWh yksityiskäyttöön. (Taavitsainen 2022a, 2.)

Lämmityskuluihin ennen käytetty summa säästetään kokonaan biokaasulaitoksen lämmön-  
tuotannon ansiosta. MTY Lantta on siis energiaomavarainen, vaikka biokaasulaitos ei vielä  
toimikaan täydellä tuotantopotentiaalillaan. Laitoksen tuottamaa ja käyttämää energiaa voi  
tarkastella taulukosta 6 muodossa MWh/vuosi.

Tuotettu energia ja energian tarve MWh/vuosi	
Kaikki tuotettu sähkö	230,63
Laitoksen oma sähkön käyttö	32,53
Käyttöön jäävä sähkö	198,09
Käyttämättä jäävä sähkö	8,09
Kaikki tuotettu lämpö	461,26
Hukkalämpö	122,10
Käyttöön jäävä lämpö	339,16
Käyttämättä jäävä lämpö	99,16

Taulukko 6. Biokaasulaitoksen vuotuinen energiantuotto ja -kulutus.

Vuoden 2024 sähkön pörssihinnan keskiarvolla 45,6 €/MWh laskettuna MTY Lantta säästi sähkönkäytössä 10147,58 € ja hakkeen hinnalla 45 €/MWh lämmityskuluissa noin 10800 €. Käyttämättä jäävän sähkön myyminen olisi tuottanut samalla pörssisähkön keskihinnalla 369,18 €, joten biokaasulaitoksen tuottama hyöty olisi energian kannalta ollut yhteensä 21316,76 €. Energiasta kertyviä tuloja ja säästöjä voi tarkastella taulukoista 7 ja 8. Vuodessa oikeasti säästetty summa voi erota lasketusta, koska pörssisähkön hinta voi vaihdella tunneittain ja hakkeen hinta voi myös muuttua. Tämä on muistettava tarkasteltaessa seuraavia taulukkoja.

Sähkö	MWh	Tulot ja säästöt vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla 45,6 €/MWh	
Tuotto	230,63		-
Koko maatilan ja laitoksen käyttö	222,53		10147,58 €
Ylijäämä	8,09		369,18 €

Taulukko 7. Sähköntuotannosta kertyvät säästöt ja tulot vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla laskettuna.

Lämpö	MWh	Kulut euroina kun 100 % osto puuta. Hinta 60 €/MWh	Kulut euroina kun 50 % osto puuta ja 50 % oma puuta. Hinta 45 €/MWh
Tuotto	339,16	-	
Maatalous- käyttö	216	-	
Yksityiskäyttö	24	-	
Käyttö yh- teensä	240	14400 €	10800 €
Ylijäämä	99,16	-	

Taulukko 8. Laitoksen lämmön tuotanto MWh:na ja hake lämmityksestä kertyvät säästöt.

### 8.3 Laitoksen muut hyödyt

Biokaasulaitos tuottaa poistuvana aineena mädätejäännöstä eli lietettä ja kuiva-ainetta. Kuiva-ainetta voidaan käyttää eläinten kuivikkeena maataloudessa, jolloin kuivikkeita tarvitsee ostaa vähemmän tai ei ollenkaan.

Lietettä voidaan käyttää lannoitteena pelloilla. Prosessin läpi käynyt liete toimii lannoitteena paremmin kuin tuore lanta, koska sen ravinteet imeytyvät helpommin ja nopeammin pellon kasveihin. Lietteestä syntyy myös vähemmän hajuhaittoja, sillä se on hajutonta laitoksen käsittelyn jälkeen. Liete on myös helpompi levittää kuin lanta ja levittyikin tasaisesti levitettävälle alueelle. MTY Lantta on luomumaatila, joten keinotekoisia lannoitteita ei osteta eikä käytetä. Envitecpolislin laskelmien yhteenvedon mukaan lietteen ravinnehyöty vuotta kohden on noin 13125 €. (Taavitsainen 2022a, 11–12.)

Taulukosta 9 voidaan tarkastella biokaasulaitoksen tuottamien energiahöyryjen rahallista arvoa erilaisilla pörssisähkön keskihinoilla. Lisäksi taulukosta näkee hyötyjen yhteenlasketun arvon mukaan lukien lietteen ravinnehyödyn. Vuodessa oikeasti säästetty summa ja tulot voi erota lasketusta, koska pörssisähkön hinta voi vaihdella tunneittain. Tämä on miuis-tettava tarkasteltaessa taulukkoa 9. Tämä näkyy erityisesti, kun lasketaan kalliilla

pörssisähkön hinnalla 189,5 €/MWh vuotuiset säästöt sähkön käytössä. Taulukosta 10 voi tarkastella kuivikkeen ostosta säästyviä kuluja. Kutterin eli kuivikkeen ja kuljetuksen hinnat ovat laskettu verottomina ja verollisina. Biokaasulaitos tuottaa kuiva-ainetta yli 900 m<sup>3</sup> edestä ja tila käyttää vuodessa 900–1000 m<sup>3</sup>. Kuiviketta ei siis enää osteta välttämättä ollenkaan riippuen biokaasulaitoksen kuiva-aineen tuotannosta.

Tulon ja säästön lähde	Tulojen ja säästöjen määrä		
Sähkön hinnat	45,6 €/MWh	189,5 €/MWh	11,5 €/MWh
Säästyvät sähkökulut	10 147,58 €	42 170,31 €	2 559,15 €
Myytävän sähkön tulot	369,18 €	1534,19 €	93,10 €
Säästyvät lämmityskulut hakkeen hinnalla 45 €/MWh	10 800,00 €	10800,00 €	10800,00 €
Säästyvät lämmityskulut hakkeen hinnalla 60 €/MWh	14400,00 €	14400,00 €	14400,00 €
Lietteen ravinneyödyt	13 125,00 €	13 125 €	13 125 €
Yhteensä hake 45 €/MWh	34441,76 €	67629,5 €	26577,25 €
Yhteensä hake 60 €/MWh	38041,76 €	71229,50 €	30177,25 €

Taulukko 9. Tulojen ja säästöjen määrät lähteittäin laskettuna sähkölle ja lämmölle vuotta kohden vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla 45,6 €/MWh, kalliin päivän hinnalla 189,5 €/MWh ja halvan päivän hinnalla 11,5 €/MWh. Lämmitys laskettiin hakkeen hinnoilla 45 €/MWh ja 60 €/MWh. (mukailtu Taavitsainen 2022b, 3)

MCM Timber Oy:n kutteri m <sup>3</sup>	Tarve 900 m <sup>3</sup>	Tarve 1000 m <sup>3</sup>
MCM Timber Oy:n hinta verollinen	3571,2 €	3571,2 €
MCM Timber Oy:n hinta veroton	2880 €	2880 €
Rekallisen määrä vuodessa 160 m <sup>3</sup>	6 kpl	7 kpl
Vuodessa verollinen hinta	21427,2 €	24998,4 €
Vuodessa veroton hinta	17280 €	20160 €
Kuljetuksen hinta verollinen	232,5 €	232,5 €
Kuljetuksen hinta veroton	187,5 €	187,5 €
Verollinen kuorman ja kuljetuksen hinta	3803,7 €	3803,7 €
Veroton kuorman ja kuljetuksen hinta	3067,5 €	3067,5 €
Kuorma ja kuljetus verollinen vuodessa	22822,2 €	26625,9 €
Kuorma ja kuljetus veroton vuodessa	18405 €	21472,5 €

Taulukko 10. Kuivikkeen eli kutterin hinnat vuotta kohden laskettuna MCM Timber Oy:lta. Kuivikehyöty on laskettu verottomana ja verollisena sekä kuljetuksella ja ilman kuljetusta.

## 9 Tulosten vertailu, analysointi ja pohdinta

### 9.1 Taustatietoa molemmista laskelmista

Envitecpolisin mukaan maatilalla yljäämänä sähköä jää myytäväksi 61 MWh/vuosi. (Taavitsainen 2022b, 2). Prosessista kerätyn tiedon perusteella tehtyjen uudempien laskelmien mukaan, sähköä jää myytäväksi 8,096 MWh/vuosi. Tästä voidaan todeta, että Envitecpolis laskelmissa on oletettu laitoksen toimivan ongelmitta täydellä tuottopotentiaalilla.

Kun tarkastellaan energiaomavaraisuuden tuottamia energiakulusäästöjä ja verrataan uusia tuloksia vanhoihin taulukossa 11, huomataan kertyvien säästöjen määrässä ero. Tämä ero johtuu laskuissa käytetyn vuoden energian kulutuksen määrän vaihtelusta vuosikohtaisesti. Eron voi myös vaikuttaa, että uusiin laskelmiin kerätty data on vain kuukauden ajalta. Tähän työhön ei saatu Envitecpolis laskuria käytettäväksi, jonka vuoksi erojen tarkkaa selvitystä ei voida tehdä.

Laitos tuottaa enemmän lämpöä kuin käyttötarvetta on, joten hake lämmitykseen kuluva summa säästetään kokonaan laitoksesta saatavalla itse tuotetulla lämmöllä. Mahdollisesti voimassa olevaa sähkösopimusta ei ole huomioitu sähkösäästöjen laskemisessa.

### 9.2 Laskelmien tulosten vertailu

Verrattaessa taulukon 11 säästyviä sähkökuluja huomataan vanhempien laskelmien säästöjen määrän olevan paljon suurempi kuin uusien laskelmien mukaisen määrän. Kun verrataan lämmityskuluista säästettyä määrää, huomataan vanhempien laskelmien säästön määrän olevan paljon pienempi kuin uusien laskelmien mukaan sen pitäisi olla. Yhteenlasketun energiankulutuksen määrä on lähes sama molemmissa laskelmissa. Siitä voidaan todeta eron johtuvan hieman eri suuruista energiankulutuksista laskennoissa käytettyjä vuosia kohden ja sähkön hinnasta. Työn laskelmissa tilan vuotuisena sähkön kulutuksena käytettiin arvoa 190 MWh ja Envitecpolis laskelmissa käytettiin arvoa 180 MWh. Logistiikkahyödyt, lietteen ravinnehyödyt ja vuotuiset laitoksen ylläpitokustannukset on otettu mukaan uusiin laskelmiin Envitecpolis laskelmista, jotta voitaisiin selvittää kaikkien hyötyjen tuottama rahallinen arvo vuotta kohden tarkemmin kuin ilman niitä.

Taulukosta 11 huomataan myytävän sähkön tulojen eroavan toisistaan paljon. Uusien laskelmien mukaan myydystä 8,096 MWh kertyisi 396,18 € vuotta kohden, jos se myytäisiin vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla 45,6 €/MWh. Envitecpolis laskelmien sähkön myynnistä kertyvät tulot ovat 61 MWh:lle 7946 € sähkön hinnalla 13 c/kWh eli 130 €/MWh. Vuodessa oikeasti säästetty summa voi erota lasketusta, koska pörssisähkön hinta voi

vaihdella tunneittain. Tämä on muistettava tarkasteltaessa taulukkoa 11. Taulukosta 12 voidaan tarkastella koko maatilan energian tarvetta ja myytäväksi jäävää ylijäämää sähköä. Biokaasulaitokseen investointiin voi mahdollisesti saada investointitukea jopa 50 % ruokavirastolta. (Demeca Oy)

Taulukko 11	Uudet laskelmat	Envitecpolis laskelmat 2022
	Vuoden 2024 pörssisähkön-hinta 45,6 €/MWh, lämpö (hake) 45 €/MWh	Sähkö 130,26 €/MWh, lämpö (hake) 15,4 €/MWh
Säästävät sähkökulut	10 147,58 €	18 000,00 €
Myytävän sähkön tulot	369,18 €	7 946,00 €
Säästävät lämmityskulut	10 800,00 €	3 750,00 €
Logistiikkahyödyt	7 737,00 €	7 737,00 €
Kuivikehyödyt	18 405,00 €	13 150,00 €
Lietteen ravinehyödyt	13 125,00 €	13 125,00 €
Yhteensä	60 583,74 €	63 708,00 €
Energia säästöt yhteensä	20947,57 €	21 750,00 €
Ylläpitokustannukset	22 576,00 €	22 576,00 €
Tulot kulujen jälkeen	38 007,74 €	41 132,00 €
Tulot pois lukien myyty sähkö	32 527,57 €	33 186,00 €

Taulukko 11. Vertailutaulukko säästöille ja tuloille (mukailtu Taavitsainen 2022b, 3.)

Taulukko 12	Uudet laskelmat MWh	Envitecpolis MWh
Oma sähkön käyttötarve	190	180
Hake lämmitys	240	243
Energian tarve yhteensä	430	423
Ylijäämä sähkö	8	61

Taulukko 12. Vertailutaulukko energialle MWh:na.

### 9.3 Täysi tuotantopotentiaali

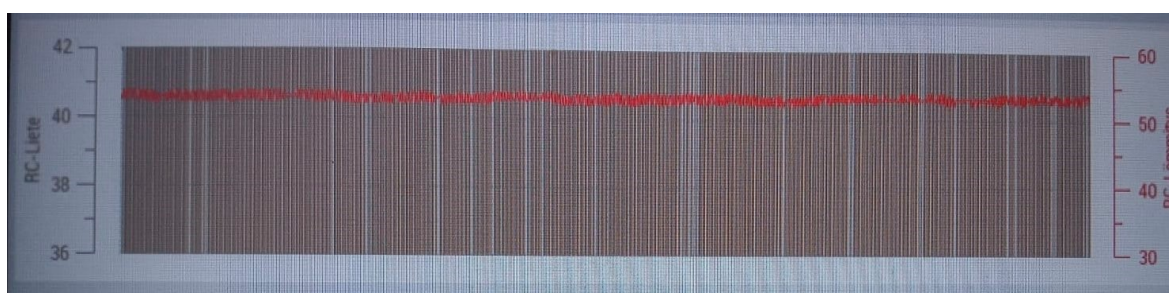
Jos biokaasulaitos toimisi täydellä tuottopotentiaalilla se tuottaisi 61 MWh vuodessa. Vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla 45,6 €/MWh, se tuottaisi sähkön myyntituloa 2781,6 € kertyneiden energiasäästöjen lisäksi. Menojen jälkeen säästöä on kertynyt yhteensä 40420 € vuodessa.

Kuten aiemmin on mainittu, uusien laskelmien data on otettu vain kuukauden ajalta talvella. Tämän takia laskelmissa ei ole voitu huomioida kesälämpötilojen aiheuttamaa laitoksen pienempää energiankulutustarvetta. Se olisi näkynyt muun muassa kasvaneena energian tuotantona ja pienempänä laitoksen energian kulutuksena sekä korkeampana ylijäämäsihkon määränä. Kesällä tallennettu data ladattiin Demeca Biogasdata- järjestelmään, josta voi tarkkailla pidemmän aikavälin muutoksia. Laskelmat ovat siis vain karkeasti suuntaa antavia tuloksia talviajalta laskettuna vuodelle.

#### 9.4 Prosessin tehostaminen

Laskelmien perusteella voidaan todeta, ettei laitos vielä toimi täydellä tuottopotentialilla. Mikrobiologinen mädätysprosessi ei pääse toimimaan vielä optimaalisimmissa olosuhteissa. Siihen voi olla useita syitä, kuten prosessia häiritsevien aineiden joutuminen reaktoriin, jonkin prosessille tärkeän aineen puute tai liiallinen määrä. Puutetta voidaan korjata ravinneaineen lisäyksellä. Ravinnelisän annostelussa on oltava tarkkana, ettei päädytä liian suuriin pitoisuuksiin.

Prosessin toimintaan vaikuttaa erityisesti pH-alue, jolla mädätysprosessi tapahtuu. Happamuustaso vaikuttaa mikrobien kykyyn mädättää syötemateriaalia. Happamuustaso vaikuttaa myös siihen, mitä aineita saatavilla olevista aineista muodostuu prosessin toiminnan seurauksena. Laitos ylläpitää määritettyjen maksimi- ja minimilämpötilaparametrien välistä lämpötilaa tasaisesti automaation avulla, joka osittain vaikuttaa pH-arvon tasaisena pysymiseen. Lämpötilan tasaisena pysymistä voi tarkkailla kuvan 4 seurantakäyrästä. Yksivaiheisessa prosessissa pH-arvon alue 6,7–7,5 sopii prosessin joka vaiheelle, mutta se ei ole optimaalinen pH-alue millekään vaiheelle. Happamuuden arvoa voidaan säädellä kaustisella soodalla ja rautasuolalla.



Kuva 4. Biokaasulaitoksen reaktorin lietemassan lämpötilan seurantakäyrä 24 tunnin ajalta.

Biokaasulaitosten mikrobiologinen prosessi ja sen tuottamat sekä käyttämät ainekset ovat laitospkohtaisia. Tämän takia aineiden pitoisuudet ja arvot on selvitettävä ennen muutosten tekoa prosessin säätöihin. Eri laitoksen mädättemassan ainekoostumus, mikrobit ja pH-arvo voivat poiketa toisen laitoksen massan sisällöstä suuresti. Muun muassa tämän vuoksi ei

ole suositeltavaa ottaa toisesta laitoksesta reaktorin mädätemassaa ja lisätä sitä toiseen reaktoriin yrityksenä tehostaa prosessia, sillä se voi päätyä tuottamaan inhibitioita prosessin tehostumisen sijaan.

## 10 Yhteenveto

Työssä selvitettiin kiintomädätysbiokaasulaitoksen toimintaa, etuja ja hyötyjä laitoksen omistajalle. Biokaasulaitoksen mikrobiologisen prosessin osalta kerrottiin useista prosessiin toimintaan vaikuttavista aineista ja olosuhteista. Lisäksi selvitettiin, kuinka niitä voidaan säätää prosessin toiminnan optimoimiseksi ja tuotannon tehostamiseksi. Uusiin karkeasti suuntaa antaviin hyötylaskelmiin tiedot kerättiin laitoksen omasta järjestelmästä yhden kuukauden pituiselta ajanjaksolta talviajalta. Laitoksen oma sähkönkäyttötarve mitatulta ajanjaksolta oli suurempi kuin se olisi ollut kesällä, mikä johtuu kesäajan vähäisemmästä lämmitystarpeesta. Mitattujen tietojen pohjalta laskettiin, kuinka paljon laitos tuottaisi tuloja ja säästöjä energiahyötyinä laitoksen omistajalle vuodessa.

Biokaasulaitoksen järjestelmästä pystyttiin keräämään käytetyn ja tuotetun sähkön määrät kWh:na sekä kaasunvirtaus m<sup>3</sup>:nä vuorokautta kohden. Tietojen pohjalta laskettiin paljonko laitos tuottaa lämpöä ja kuinka suuri osuus siitä on hukkalämpöä. Tämän jälkeen laskettiin paljonko koko maatalan energian käyttötarpeen jälkeen jää ylimääräistä energiaa sähkön suhteen myytäväksi. Myytävällä sähkön määrällä ja pörssisähkön keskihinnalla laskettiin, paljonko tuloja kertyisi sähkön myynnistä vuodessa. Tulojen määrä laskettiin kolmella eri pörssisähkön hinnan arvolla, joita olivat koko vuoden pörssisähkön keskihinta, kalliin päivän ja halvan päivän pörssisähkön keskihinnat. Vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnan säästöjen, tulojen ja biokaasulaitoksen ylläpitokulujen perustella saadusta summasta selvitettiin paljonko olisi mahdollista maksaa kuukausieränä biokaasulaitoksen investointilainaa. Tämän jälkeen selvitettiin lainalaskurilla kauanko kyseisellä kuukausierällä kestäisi kuolettaa koko laina. Lainan kuolettamisen vertailu on tarkemmin esitetty erillisessä toimeksiantajalle tehdyssä sisäisessä laskentaraaportissa.

Uusien hyötylaskujen tuloksia verrattiin Envitecpolisin tekemiin hyötylaskelmiin. Vanhempien laskelmien yhteenvedosta selvisi, että Envitecpolisin laskelmissa on oletettu laitoksen toimivan täydellä tuotantopotentiaalilla. Laitoksen omistaja totesi, ettei laitoksen mikrobiologinen prosessi vielä toimi täysin optimaalisesti. Laskujen perusteella todettiin väitteen pitävän paikkansa. Lisäksi laskettiin vuoden 2024 pörssisähkön keskihinnalla paljonko sähkön myyntituloja olisi kertynyt vuodessa, jos biokaasulaitos toimisi täydellä tuotantopotentiaalilla.

Työn kannalta haasteitakin oli. Laskelmien tekoon ei saatu Envitecpolisin laskuria. Laskujen tuloksissa voi olla eroja, koska on laskettu mahdollisesti eri menetelmillä ja kaavoilla. Laitoksesta kerättyä dataa on vain kylmältä ajanjaksolta kuukauden verran ja lämpimältä ajanjaksolta sitä ei voitu kerätä. Näistä syistä laitoksen energiantuotannon tulokset voivat poiketa todellisuudesta. Tulokset ovat siis vain suuntaa antavia. Prosessin tehostamisen keinojen selvittäminen osoittautui haasteelliseksi. Biokaasulaitosten prosessit ovat laitostyypillisiä. Toisen laitoksen reaktorin sisäiset olosuhteet eivät välttämättä käy toiselle laitokselle poikkeavista mikrobeista ja aine määristä sekä pH-arvosta johtuen.

Laskujen ja vertailun tuloksista huomataan MTY Lantan olevan energiaomavarainen, vaikka biokaasulaitos ei vielä toimikaan täydellä tuotantopotentiaalillaan. Kuukauden pituiselta ajanjaksolta kerätyn datan perusteella laitos tuottaa noin 8 MWh vuodessa ylimääräiseksi jäävää sähköä, jonka MTY Lantta voi myydä valtionverkkoon. Siitä saatavien tulojen määrä riippuu myyntihetken pörssisähkön hinnasta ja myydystä määrästä sähköä. Biokaasulaitoksen reaktorissa käyvää prosessia voidaan tehostaa, mutta oikeiden tehostusmenetelmien tunnistamiseksi tarvitsee ensin tehdä tarkka selvitys reaktorinsisäisen biomassan ainesisällöstä ja huomioida vallitseva pH-arvo. Esimerkiksi kaustisella soodalla

voidaan nostaa happamuustasoa, rautasuolalla sitä voidaan laskea ja ravinnelisäyksillä voidaan vaikuttaa puutteelliseen aineen määrään. Erityisesti talviaikaan lisäämällä nurmea syötteeseen voidaan tehostaa energian tuotantoa. Lietemäistä mädätejäännöstä käytetään normaalia tehokkaampana ja paremmin imeytyvänä hajuttomana luomulannoitteena.

## Lähteet

Bekon gmbh. 2022. The Bekon process. Viitattu 21.12.2024. Saatavissa <https://www.bekon.eu/en/technology/>

Biovoima. 2020. Biokaasusanasto – Hydrolyysi. Viitattu 11.12.2024. Saatavissa <https://biovoima.com/biokaasulaitokset/biokaasusanasto>

Bitton. 2018. Wastewater microbiology. John Wiley & Sons Inc. Viitattu 10.12.2024. Saatavissa [https://sannhiquangngai.com/uploads/page/2018\\_11/wastewatermicrobiologygabrielbitton.pdf](https://sannhiquangngai.com/uploads/page/2018_11/wastewatermicrobiologygabrielbitton.pdf)

Demeca Oy, Biokaasulaitos. Viitattu 21.3.2025. Saatavissa <https://demeca.fi/biokaasulaitos/>

Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VHC. Viitattu 9.12.2025. Saatavissa [https://chemistry.pixel-online.org/files/ed\\_pack/04/further03/Deublein%20D.%20Steinhauser%20A.-Biogas%20from%20Waste%20and%20Renewable%20Resources.pdf](https://chemistry.pixel-online.org/files/ed_pack/04/further03/Deublein%20D.%20Steinhauser%20A.-Biogas%20from%20Waste%20and%20Renewable%20Resources.pdf)

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. E-kirja. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Viitattu 9.12.2024 Saatavissa [https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk\\_biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja](https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja)

Lantta, L. 2025. Maatilan Isäntä. MTY Lantta Atte, Eeva ja Lasse. Haastattelu 9.1.2025.

Motiva Oy. 2020. Ratkaisut – Biokaasu. Viitattu 3.11.2024. Saatavissa [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/biokaasu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu)

Motiva Oy. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Viitattu 5.11.2024. Saatavissa [https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf)

Taavitsainen. 2022a. Envitecpolis Oy. MTY Lantta Biokaasuinvestoinnin toteutussuunnitelma. Toteutussuunnitelma. Ei saatavissa.

Taavitsainen. 2022b. Envitecpolis Oy. MTY Lantta Biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelut – Alustavien laskelmien yhteenveto. Kannattavuuslaskelmien yhteenveto. Ei saatavissa.

Vinkki, T., Penninkangas, L. & Tokola, J.-J. 2023. Demeca Maatilat kuntoon™. Biokaasulaitoksen käyttö- ja huolto-ohje versio 1.3. Käyttö- ja huolto-ohje. Ei saatavissa.