VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Meri Malkki

BIOKAASULAITOKSEN PROSESSIN OPTIMOINTI

Case Jepuan Biokaasu Oy

Tekniikka
2022

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Energiatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Meri Malkki
Opinnäytetyön nimi	Biokaasulaitoksen prosessin optimointi
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	38 + 1 liite
Ohjaaja	Adebayo Agbejule

Biokaasu on alati kasvava ja yhä kiinnostavampi energiantuotantoala Suomessa ja maailmalla. Biokaasulaitoksien suurin haaste on niiden kannattamattomuus. Sen takia laitoksen prosessi tulee optimoida hyvin, jotta kokonaismetaanintuotto olisi mahdollisimman korkea ja laitos kannattava. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka Jepuan Biokaasu Oy:n märkämädätys prosessia pystytään optimoimaan.

Tutkimukseen pureuduttiin kirjallisuuskatsauksen, laitosvierailun ja haastattelun avulla. Tutkimusaineistona käytettiin erilaisia tieteellisiä artikkeleita.

Opinnäytteen tuloksena on, että Jepuan biokaasulaitoksen prosessi voitaisiin optimoida paremmin, jos pH-arvon, sekä C:N- ja C:N:P:S-suhteen tehtäisiin tarkempia laskelmia ja ne optimoitaisiin laitoksen parametreihin sopivaksi.

Avainsanat Biokaasu, optimointi, ja energiantuotanto

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Energiatekniikka

ABSTRACT

Author	Meri Malkki
Title	Optimization of the Biogas Plant
Year	2022
Language	Finnish
Pages	38 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Adebayo Agbejule

Biogas is a growing industry when it comes to energy production. Even when the potential is big, there are still some challenges regarding poor profitability. That is why the biogas process should be optimized well. When the plant is optimized the methane potential is higher and the plant is more profitable. The aim for this thesis was to determine optimization possibilities of the biogas production at Jepua biogas plant.

The literature survey, and the case study research method were used, and plant visit, and interview were conducted.

The result of the study shows that the monitoring of the pH-value, C:N- and C:N:P:S-ratio can improve the optimization process of the biogas production at Jepua.

Keywords Biogas, optimization, and energy production

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO ... 8

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA, TARKOITUS JA TAVOITTEET ... 9

3 BIOKAASU ... 10

3.1 Anaerobisen mädätyksen prosessi ... 11

3.2 Prosessin vaiheet ... 12

3.3 Prosessin olosuhteet ... 13

4 TAPOJA BIOKAASULAITOKSEN PROSESSIN OPTIMOIMISEKSI ... 15

4.1 Reaktorin suunnitteluun vaikuttavat tekijät ja operaation olosuhteet ... 15

4.1.1 Substraatit ... 15

4.1.2 Prosessin vaiheet ... 17

4.1.3 Prosessin lämpötila ... 17

4.1.4 Sekoitus ... 18

4.1.5 Biokaasulaitoksen energiapotentiaali ... 20

4.2 Olosuhteet reaktorin sisällä ... 20

4.2.1 Happi ... 20

4.2.2 PH ... 21

4.2.3 Kuiva-aineen pitoisuus raaka-aineessa ... 21

4.2.4 Orgaanisen aineen syöttönopeus ... 22

4.2.5 Hydraulinen viipymäaika ... 22

4.2.6 Ravinteet ... 23

4.3 Prosessin hidastajat ... 23

4.4 Biokaasulaitoksen operaation olosuhteitten seuranta ... 24

5 TUTKIMUSMENETELMÄT ... 25

6 JEPUAN BIOKAASULAITOKSEN PROSESSI ... 27

7 TUTKIMUS JA TULOKSET ... 30

8 JOHTOPÄÄTÖKSET 33
LÄHTEET 34
LIITTEET 39

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Biokaasun tuotanto laitostyypeittäin Suomessa vuonna 2020 10

Kuva 2. Anaerobisen mädätyksen yksinkertaistettu prosessikaavio..... 12

Kuva 3. Jepuan biokaasulaitos 27

Kuva 4. Jepuan biokaasuprosessin raaka-aineet vuonna 2020 28

Kuva 5. Märkäfermentoinnin yksinkertaistettu prosessikaavio 29

Taulukko 1. Tapaustutkimuksen ominaisuudet ja tiedonkeruuta koskevat kysymykset sekä niiden vastaukset 25

Taulukko 2. Vertailua optimaalisten ja Jepuan prosessin parametrien välillä. 30

LIITELUETTELO

LIITE 1. Esitetyt kysymykset Jepuan Biokaasu Oy:n toimitusjohtajalle Kurt Stenvallille.

1 JOHDANTO

Biokaasun tuotanto on alati kasvava toimiala, jonka potentiaalia tulisi hyödyntää enemmän kysynnän kasvaessa. Kiristyvät ilmastotavoitteet ja fossiilisista polttoaineista luopuminen nostaa alan kasvupotentiaalia. Tuotantopotentiaalin arvio on 25 TWh, mutta tällä hetkellä siitä pystytään hyödyntämään vain noin 10 TWh. Kasvua voitaisiin biokaasun tuotannon lisäksi saada myös esimerkiksi maatalouden sivuvirtojen hyödyntämisestä raaka-aineena. Kuitenkin investointien esteenä on usein kannattavuuteen liittyvät seikat (Biokaasu ry 2020). Tämän takia on tärkeää optimoida biokaasun tuotantoprosessia, jotta biokaasulaitoksen kannattavuus olisi maksimaalinen. Optimointi tukee Suomen Hallituksen Biokaasuohjelmaa, jonka mukaan tekniikkaa ja hallintaa tulee optimoida niin, että esimerkiksi vajaakäyttö saadaan hillintään (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020).

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, miten Jepuan biokaasulaitoksen märkäfermentoinnin prosessia pystyttäisiin optimoimaan ja parantamaan entisestään. Aiheeseen perehdytään teoriaosuuden kautta, joka koostuu kirjallisuuskatsauksesta biokaasuprosessiin ja sen optimointiin liittyen. Tämän jälkeen selvitetään, kuinka tutkimuksien mukaan optimaalisena pidetty prosessi eroaa Jepuan biokaasulaitoksen prosessista.

Työ on tehty tapaustutkimuksena, jonka kohteena oli Jepuan Biokaasu Oy. Jepuan Biokaasu Oy on Uudessakaarlepyyssä, Jepuan kylällä, toimiva biokaasuyhtiö. Yrityksen toiminnan tarkoituksena on olla osana ravinteiden kierrätystä ja uusiutuvan energian tuotantoa. Yritys tuottaa biokaasua teollisuus- ja liikennekäyttöön, sekä lannoitevalmisteita. Biokaasulaitoksen toiminta on alkanut vuonna 2013 ja se työllisti vuonna 2019 viisi työntekijää.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA, TARKOITUS JA TAVOITTEET

Tutkimus perustuu biokaasulaitoksen prosessin optimointiin, joten on tärkeää tietää millaiset olosuhteet biokaasulaitoksessa vallitsevat. Siksi ensimmäinen tutkimuskysymys on:

Mitkä ovat prosessin olosuhteet biokaasulaitoksessa?

Teoriaosuus alkaakin kattavalla kirjallisuuskatsauksella biokaasun muodostumisesta aina tärkeisiin prosessiin vaikuttaviin parametreihin. Itse kysymykseen saadaan vastaus kappaleessa kuusi, jossa käsitellään tutkimuksen kohteena olevan Jepuan biokaasulaitoksen prosessia.

Seuraavaksi haetaan vastausta kysymykseen:

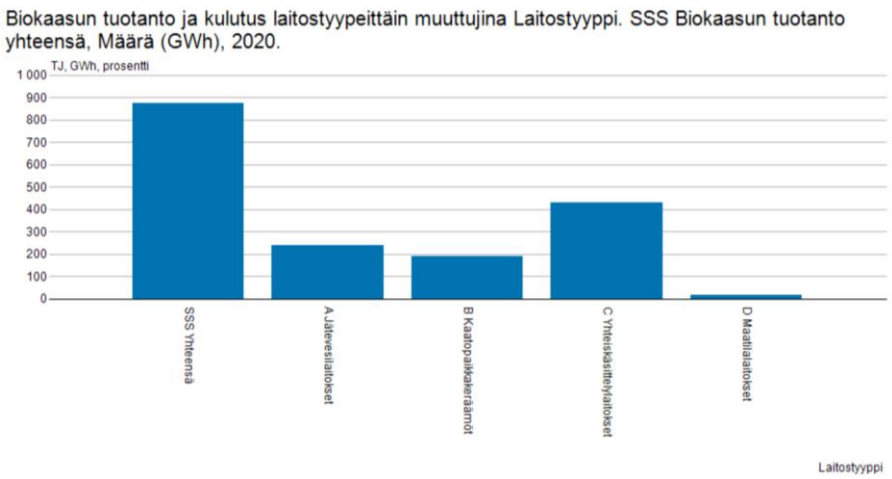
Miten parantaa anaerobista mädätysprosessia?

Tähän kysymykseen saamme vastauksen kappaleessa kahdeksan, jolloin syvennytään itse tutkimukseen ja sen tuloksiin. Tutkimuksessa tarkastellaan kappaleessa kuusi esiintyvien tietojen perusteella ratkaisuja siihen, miten prosessia voitaisiin parantaa.

3 BIOKAASU

Biokaasu on tulenarka seos, jota muodostuu orgaanisen aineen eli biomassan kuten eläimen lannan, ruoan jätteiden tai jätevesilietteen mätänemisessä. Seos koostuu suurimmaksi osaksi metaanista ja hiilidioksidista, sekä muista kaasuista raaka-aineesta riippuen. Biokaasulla on hyvä lämmöntuottoarvo, jonka takia sitä voidaan käyttää polttoaineena, sekä lämmön ja sähkön tuotantoon. (Abbasi, Tauseef & Abbasi 2012)

Biokaasua voidaan tuottaa monin eri tavoin, esimerkiksi anaerobisen mädättämisen kautta biokaasulaitoksissa, kaatopaikoilla tai vesienpuhdistuslaitoksissa. Yhä tarkempien ympäristö- ja päästömääräyksien, sekä orgaanisen jätteen kasvun myötä, biokaasun tuotto anaerobisen mädättämisen kautta on nostanut suosiotaan (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008). Suomessa vuonna 2020 biokaasua tuotettiin yhteensä 876 GWh (kuva 1) (Tilastokeskus 2022).



Kuva 1. Biokaasun tuotanto laitostyypeittäin Suomessa vuonna 2020 (Tilastokeskus 2022).

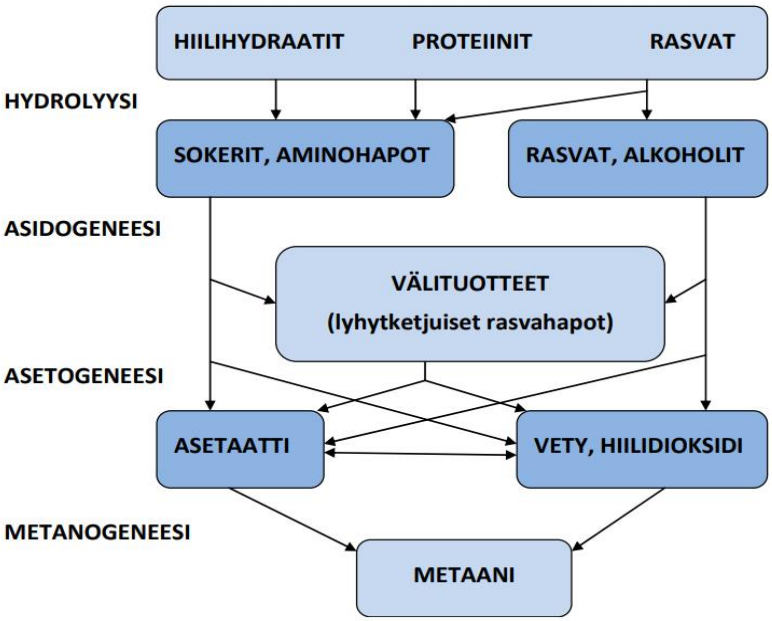
Biokaasun eittämättä isoin hyöty on sen raaka-aineen eli biomassojen uusiutuvuus. Biokaasu on siis hyvä tapa korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Korvaamalla fossiilisia polttoaineita biokaasulla, vähennetään myös

kasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasun poltossa vapautuu hiilidioksidia, mutta hiilidioksidin kierto on niin sanotusti suljettu, sillä biomassojen, kuten kasvien avulla, vähennetään hiilidioksidin määrää ilmakehästä fotosynteesin avulla. Muita biokaasun hyötyjä ovat esimerkiksi energiaomavaraisuuden ja työpaikkojen lisääntyminen, sekä jätteen väheneminen. (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008)

3.1 Anaerobisen mädätyksen prosessi

Anaerobinen mädätys on biokemiallinen prosessi, jossa ilman happea mikrobien avulla muodostuu pääasiassa biokaasua ja lannoituslietettä (Gómez, Ramos-Suárez, Fernández, Munoz, Tey & Romero-Guiza 2019). Prosessin neljä päävaihetta ovat hydrolyysi, happokäyminen eli asidogeneesi, etikkahapon muodostus eli asetogeneesi ja metaaninmuodostus eli metanogeneesi (BMELV

2010). Kuvassa 2 näkyy yksinkertaistettu anaerobisen mädätyksen prosessikaavio kaikkine vaiheineen.



Kuva 2. Anaerobisen mädätyksen yksinkertaistettu prosessikaavio (Luostarinen, Paavola, Ervasti, Sipilä & Rintala).

3.2 Prosessin vaiheet

Hydrolyysi on teoreettisesti prosessin ensimmäinen vaihe. Kuitenkin eri vaiheet ovat käynnissä rinnakkain (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008). Anaerobisessa prosessissa orgaaninen biomassa koostuu hiilihydraateista, rasvoista ja proteiinista. Hydrolyysin avulla nämä polymeereiksikin kutsutut aineet hajoavat pienemmiksi, yksinkertaisemmiksi osiksi mikro-organismien avulla sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Yleisesti hydrolyysiprosessille optimaalisin lämpötila on 30–50 ja pH 5–7. (Meegoda, Li, Patel & Wang 2018)

Asidogeneesi on prosessin nopein vaihe (Wu, Yao & Zhu 2010). Asidogeneesin aikana hydrolyysin läpikäyneet sokerit, aminohapot ja rasvahapot muuntuvat käymistä aiheuttavien bakteerien myötä asetaateiksi, hiilidioksidiksi, vedyksi, haihtuviksi rasvahapoiksi ja alkoholiksi (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008). Prosessin hidastava tekijä voi olla

aminohappojen hajoamisesta syntyvä ammoniakki. Tämä syntyy ongelmalliseksi, jos ammoniakin konsentraatio on korkea (Park, Park & Kim 2014).

Asetogeneesissä substraatit, jotka eivät suoraan voi muuntautua metaaniksi metanogeenisten bakteerien avulla, muuntautuvat metaanogeenisiksi asetogeneesissä. Tällaisia substraatteja ovat haihtuvat rasvahapot ja alkoholit, jotka oksidoituvat metanogeenisiksi substraateiksi niin kuin asetaateiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi (Hansen & Cheong 2019). Asetogeneesissä vedyn muodostuma liiallinen osapaine on todettu vahingolliseksi mikrobeille (Dinopoulou, Rudd & Lester 1988). Kuitenkin vety käytetään hyväksi metanogeneesissä, jolloin osapaineet jäävät prosessille sopivalle tasolle (Stams & Plugge 2009).

Metanogeneesi on anaerobisen mädätyksen viimeinen vaihe, jossa metanogeeniset bakteerit tuottavat välituotteista metaania ja hiilidioksidia. Metaanista 70 % on peräisin asetaateista ja loput 30 % ovat peräisin vedystä ja hiilidioksidista (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008). Metaaninmuodostus on kriittisin vaihe koko prosessissa, sillä se on kaikista vaiheista hitain. Metanogeneesi kestää noin 5–16 päivää (Deublein & Steinhauser 2011). Metaaninmuodostus on myös herkin operaation olosuhteille ja se tarvitsee esimerkiksi korkeamman pH-arvon kuin muut vaiheet (Wolfe 2011).

Prosessin kesto määräytyy prosessin hitaimman vaiheen mukaan. Jos biokaasulaitoksessa hyödynnetään esimerkiksi kasviksia, substraatti koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Tällöin prosessin keston määrittää hydrolyysi. Myös hydrolyysissä muodostuu hieman biokaasua, mutta suurin osa biokaasusta muodostuu metaaninmuodostus vaiheessa. (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008)

3.3 Prosessin olosuhteet

Koska operaation olosuhteet vaikuttavat prosessin mikro-organismeihin, tulee olosuhteiden olla optimaaliset prosessin onnistumiseksi. Mikro-organismien kasvu

ja aktiivisuus riippuvat esimerkiksi hapen puutteesta, lämpötilasta, pH-arvosta ja sekoituksen intensiteetistä (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008). Näitä prosessin olosuhteita käydään läpi seuraavassa luvussa, joka käsittelee biokaasulaitoksen prosessin optimointia.

4 TAPOJA BIOKAASULAITOKSEN PROSESSIN OPTIMOIMISEKSI

Erilaiset operaation olosuhteet vaikuttavat merkittävästi biokaasun potentiaaliseen tuotantoon. Jotta biokaasun tuotanto voitaisiin pitää mahdollisimman optimaalisena ja kustannukset vähäisinä, biokaasulaitoksen suunnittelussa tulee huomioida optimointi tiettyjen tarpeiden ja potentiaalin mukaan. Kriteerit tulee huomioida jo suunniteltaessa biokaasulaitosta. Toisaalta joitakin parametrejä tulee seurata ja kontrolloida, jotta ongelmia ei ilmene prosessin aikana. (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020)

4.1 Reaktorin suunnitteluun vaikuttavat tekijät ja operaation olosuhteet

Jotta biokaasulaitoksen reaktorin muotoilu voitaisiin suunnitella mahdollisimman optimaaliseksi, tulisi ottaa huomioon kuiva-aineen pitoisuus substraatissa, materiaalin syöttönopeus, prosessin vaiheiden lukumäärä ja prosessin lämpötila (BMELV 2010). Seuraavaksi käydään läpi tarkemmin edellä mainittuja tekijöitä ja muita vaikuttavia olosuhteita, jotka ovat tärkeitä prosessin kannalta.

4.1.1 Substraatit

Euroopassa biokaasua tuotetaan lähinnä anaerobisessa mädätyksessä maatalousjätteestä, energiakasveista ja lannasta. Muita vaihtoehtoja raakaa-aineeksi ovat esimerkiksi liete jätevedenpuhdistus laitoksista, orgaaninen osa yhdyskuntajätteestä tai kiinteä jäte kaatopaikoilla. (Sarker, Lamb, Hjelme & Lien 2019)

Substraatin fermentointitapa riippuu käytetystä substraatista. Kun biohajoavan substraatin kuiva-aineen osuus on alle 12–15 %, voidaan käyttää märkäfermentointia. Muussa tapauksessa käytetään kuivafermentointia (Daniel-Gromke, Rensberg, Denysenko, Stinner, Schmalfuss, Scheftelowitz, Nelles & Liebetrau 2017). Suomessa märkäfermentointi on käytetyin substraatin fermentointitapa (Huttunen, Kuittinen & Lampinen 2018).

Raaka-aineen määrä ja koostumus voivat vaikuttaa anaerobisen mädätykseen. Esimerkiksi sekoitusteknologia on riippuvainen kuiva-aineen koostumuksesta, sekä biohajoavan raaka-aineen viskositeetistä. Raaka-aineen rakenne taas määrittää haihtuvat kuiva-aineet, sekä ammoniakin konsentraation reaktorin sisällä. Raaka-aineen laadun ja määrän mukaan sakkaantumista ja kelluvia pintakerroksia voi ilmentyä. Epäpuhtauksien suuret määrät johtavat sakkaantumiseen. Sakkaantumiseen vaikuttavat lisäksi substraatin koko ja sen biohajoavuus. Pinta-aktiiviset aineet taas voivat tuottaa pintakerrostumia. (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020)

Anaerobinen mädätys on riippuvainen raaka-aineesta, sen kemiallisten ja fyysisten ominaisuuksien takia. Tämän takia sopiva syöttö on tarvittava, jotta se mahdollistaa anaerobisen mädätyksen. Teknologia, jota käytetään anaerobisessa mädätyksessä, niin kuin myös mädätyssäiliön koko ja muoto, määrittyvät raaka-aineen ominaisuuksien, kuiva-aineen ja orgaanisen kuiva-aineen koostumuksen, biokaasun muodostumisen, kuin myös hiilen ja typen suhteesta. (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020)

Sekoitus erilaisia substraatteja lisää ravintoaineiden, lisäravintoaineiden ja fosforin määrää, sekä tasapainottaa hiilen ja typen suhdetta. Hiilen ja typen suhteen (C:N-suhteen) kasvamisen tuloksena mädätyksessä typpi kuluu aiemmin kuin hiili. Näin ollen metaanipotentiaali laskee. Kuitenkin C:N-suhteen laskeminen johtaa mikro-organismien inhibitoitumiseen ja tuloksena on ammoniakin kertyminen (Al-Addous, Alnaief, Class, Nsair, Kuchta & Alkasrawi 2017). Optimaalinen C:N-suhde on noin 20–30:1 erilaisille substraateille ja lämpötilaolosuhteille (Riya, Suzuki, Terada & Hosomi 2016). Kuitenkin jopa 9–50:1 suhdetta on ehdotettu (Guarino, Carotenuto, Cristofaro, Papa, Morrone & Minale 2016). Substraatin biohajoavuus on toinen tekijä, joka vaikuttaa biohajoavuuden liikkeisiin ja näin ollen mädätyssäiliön kokoon (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020).

4.1.2 Prosessin vaiheet

Biokaasulaitoksen anaerobinen prosessi voi toimia yksivaiheisesti tai monivaiheisesti. Kustannuksiltaan monivaiheinen järjestelmä on kalliimpi kuin yksivaiheinen (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020). Sen lisäksi järjestelmässä pitää olla vaativammat olosuhteet eri vaiheiden takia. Kuitenkin erottelun myötä prosessi on kontrolloidumpi ja vakaampi kuin yksivaiheinen. Monivaiheisessa järjestelmässä suorituskyky on korkeampi sen tehokkaan kiintoaineen poiston ja siten biokaasun laadun paranemisen takia (Mata-Alvarez 2003). Kaikesta huolimatta yksivaiheinen järjestelmä on kaikkein käytetyin sen yksinkertaisuuden takia.

4.1.3 Prosessin lämpötila

Anaerobisessa mädätyksessä lämpötilat voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: psykofiiliseen (alle 25℃), mesofiiliseen (25℃–45℃) ja termofiiliseen (45℃–70℃). Lämpötila on suoraan verrannollinen hydrauliseen viipymään eli aikaan, jossa prosessi tapahtuu, sekä sitä kautta itse biokaasun tuotantoon. Sopiva lämpötila valitaan raaka-aineen mukaan ja sen tulee olla mahdollisimman vakaa. Lämpö taataan mädätyssäiliössä olevan seinä- tai lattialämmityksen avulla. (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008)

Lämpötila reaktorin sisällä on tärkeä muuttuja, koska sillä on suora vaikutus mikrobien toimintakykyyn. Biokaasulaitos voi toimia psykofiilisessä, mesofiilisessä tai termofiilisessä olosuhteissa, joka riippuu mikro-organismeista, joita käytetään prosessissa (IEA Bioenergy 2013). Metanogeenit ovat kaikista herkimpiä mikro-organismeja ympäristön olosuhteille (Adekunle & Okolie 2015). Selkeää erottelua ei ole eri lajien elossa eri lämpötila skaalojen välillä, mutta eniten mikrobeja elää optimaalisesti mesofiilisissä olosuhteissa 37 ℃ lämpötilassa (Jablonski, Rodowicz & Lukaszewicz 2015).

Ei pelkästään mikro-organismit, vaan myös reaktion liikenopeus vaikuttuvat reaktorin lämpötilasta (Mondal & Biswas 2013). Optimaalisen lämpötila skaalan välillä,

lämpötilan nousu johtaa entsyymien aktiivisuuden lisääntymiseen. Kuitenkin optimaalisten lämpötilojen suuri ylitys voi johtaa entsyymien aktiivisuuden estymiseen. 37 ℃ on optimaalinen lämpötila suurimmalle osalle mesofiilisistä entsyymeistä (Jablonski, Rodowicz & Lukaszewicz 2015).

Termofiilinen skaala on taas parempi hajoaville substraateille. Tämä johtaa biokaasun tuotannon lisääntymiseen ja reaktion nopeutumiseen. Sitä paitsi lyhyempi lähtöaika tarvitaan uusille käytössä oleville biokaasulaitoksille termofiilisissä olosuhteissa. Jotta voidaan taata vakaa biokaasun tuotto, lämpötilan tulisi olla vakaa. Jos lämpötila vaihtuu päivittäin termofiilisissä olosuhteissa, kun lämpötila on yli 60 ℃, on sillä epäsuotuisat vaikutukset hydrolyysin ja haponmuodostuksen vaiheissa ammoniakin korkean konsentraation takia (El-Mashad, Zeeman, Loon, Bot & Lettinga 2004). Tutkimuksien mukaan lämpötilan vaihtelun ei tulisi olla enempää kuin ±3 ℃ d (päivässä)$^{-1}$ mesofiilisissä olosuhteissa ja enempää kuin ±1 ℃ d^{-1} termofiilisissä olosuhteissa (Gerardi 2003).

4.1.4 Sekoitus

Sekoitusjärjestelmä on erittäin tärkeä anaerobisen prosessin kannalta (Nsair, Bade & Kuchta 2018). Sekoitus pitää esimerkiksi huolen siitä, että seos on homogeenistä sen substraattien, pH:n ja lämpötilan osalta. Näin uudet raaka-aine-erät sekoittuvat hyvin vanhoihin jo olemassa oleviin aineksiin mädätyssäiliössä. Sekoittaminen myös lisää mikro-organismien aineenvaihduntaa ja parantaa anaerobisen prosessin vakautta (Weiland 2010).

Sekoitus vähentää kiintoaineen muodostumista mädätyssäiliön pohjaan. Tällöin säiliön koko tilavuus voidaan hyödyntää ja säästytään ylimääräiseltä säiliön puhdistukselta. Tämän lisäksi sekoittaminen rikkoo vaahtomaisen kerroksen substraatin pinnalta. Tämä kerros voi estää biokaasun muodostamista jopa 20–50 %, vaurioittaa laitteistoa, aiheuttaa häiriöitä prosessissa ja aiheuttaa rahallista menetystä. (Nandi, Saha, Huda & Alam 2017)

Isoissa biokaasulaitoksissa on käytössä yleensä mekaaninen, pneumaattinen tai hydraulinen sekoitusteknologia (Mir, Hussain & Verma 2016). Pneumaattinen sekoitus on riippuvainen muodostuneesta biokaasusta, jotta se voi liikuttaa biohajoavaa substraattia. Pneumaattisia sekoitustyyppejä on kolmea erilaista: vapaa kaasun nosto, rajoitettu kaasun vapautus reaktorin pohjasta ja mäntäpumpun avulla kuplien muodostaminen. Pneumaattisen järjestelmän hyöty on se, että siinä ei ole liikkuvia osia mädätyssäiliön sisällä. Tällöin koko säiliön tilavuus voidaan hyödyntää. Toisaalta huoltokulut lisääntyvät teknologian monimutkaisuuden vuoksi. Isoin haitta on kuitenkin se, että tämän sekoitusteknologian avulla koko säiliötä ei voida sekoittaa. Erityisesti ylä- ja alaosat säiliöstä jäävät vaille sekoitusta, joka lisää kelluvien kerrosten muodostamista. Pahimmassa tapauksessa kolmasosa säiliöstä voi olla huonosti sekoitettua (Thorin, Nordlander, Lindmark & Dahlquist 2012).

Hydraulinen sekoitus tarvitsee pumpun sekoittaakseen biohajoavan substraatin säiliön sisällä. Tämän teknologian hyvä puoli on se, että sekoitettavat osat asennetaan säiliön ulkopuolelle. Huonona puolena taas on se, että teknologia on sopiva vain pienikokoisiin mädätysreaktoreihin, ja kelluvia kerroksia, saostumia, sekä muuten huonosti sekoitettuja alueita voi ilmetä. (BLMV 2010)

Mekaaninen sekoitus on johtava teknologia esimerkiksi Saksassa (Lemmer, Naegele & Sondermann 2013). Mekaanisia sekoittajia on erilaisia kuten vedenalainen sekoitin, aksiaalinen sekoitin, pitkäakselinen sekoitin ja siipisekoitin (BLMV 2010). Erilaiset mekaaniset sekoittajat eroavat juoksupyörän nopeuden, koon ja käytetyn tehon mukaan (Lemmer, Naegele & Sondermann 2013). Säiliön muoto ja koko, kuten myös käytetty substraatti ovat tärkeimpiä tekijöitä, kun valitaan oikeanlainen sekoitus teknologia. Jos biohajoavan substraatin viskositeetti on suuri, tarvitaan hidasta ja isoa sekoittajaa. Kun taas viskositeetti on alhainen, käytetään nopeaa ja pientä sekoittajaa (Nsair, Cinar, Qdais & Kuchta 2019).

Optimaalista sekoitus järjestelmää ja olosuhteita on tutkittu pitkään. On todettu, että termofiilisissä olosuhteissa on tehokkaampaa sekoittaa vain 2 tuntia päivässä kuin jatkuvasti. Optimaalinen sekoitus riippuu mädätyssäiliön koosta, vallitsevasta

lämpötilasta, käytetystä sekoitusteknologiasta, sekä käytetystä raaka-aineesta ja sen kuiva-aineen pitoisuudesta. (Hashimoto 1982)

4.1.5 Biokaasulaitoksen energiapotentiaali

Energiapotentiaali riippuu biokaasulaitoksen operaation muuttujista. Biokaasulla on keskimääräinen alhainen lämpöarvo (LCV) 10 MJ kg-1 (Ioelovich 2015) ja keskimääräinen korkea lämpöarvo on 20–21 MJ kg-1, kun metaanipitoisuus on 55 % (Agrahari & Tiwari 2013), jossa metaanin NCV on 50 MJ kg^{-1} (Jaber, Probert & Williams 1998). Selvää vastausta biokaasulaitoksen energiatehokkuudesta ei ole, sillä tutkimuksien laskutoimituksissa ei ole käytetty yksiselitteistä tapaa selvittää tulosta.

Tutkimuksissa on saatu selville, että sisäinen sähkön kulutus vaihtelee asteikon 4.9–9.3 % välillä (Frey, Grussning, Nägele & Hans 2013). Sähkön kulutukseen vaikuttaa sekoitus- ja syöttöjärjestelmä, yhdistetty lämpö- ja tehoyksikkö, sekä lämmitysjärjestelmä. Jotta sähkön kulutus voitaisiin optimoida, tulisi sekoitusjärjestelmää parantaa, muuttaa lämpötilaa säiliön sisällä tai optimoida energian tuottoyksikköä. Biokaasun tuottoa voidaan optimoida substraatin sekoituksen optimoinnilla, mikro-organismien ympäristöolosuhteilla ja valvontajärjestelmällä (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020).

4.2 Olosuhteet reaktorin sisällä

Seuraavaksi käsitellään erilaisia parametrejä reaktorin sisällä ja kuinka ne vaikuttavat prosessiin.

4.2.1 Happi

Pienikin happivuoto voi vaikuttaa mikro-organismien kuten asetogeenien ja metanogeenien toimintaan. Bothejun tekemän tutkimuksen mukaan, kun hapen konsentraatio on 0.1 mg L^{-1}, aiheuttaa se metanogeenien toiminnan estymisen. Tämä

tarkoittaa, että lisääntynyt happi vähentää metaanin potentiaalia. Toisaalta mikroilmaus voi parantaa hydrolyysin tehokkuutta anaerobisessa prosessissa. (Botheju & Bakke 2011)

4.2.2 PH

PH-arvot vaikuttavat metanogeenisten mikro-organismien kasvuun ja joidenkin yhdisteiden, kuten ammoniakin, sulfidin ja orgaanisten happojen, hajoamiseen. PH-arvoa säädellään reaktorissa bikarbonaatti puskurijärjestelmällä. Tämän takia mädätyssäiliön pH-arvo riippuu hiilidioksidin osapaineesta, sekä emäksen ja hapon konsentraatiosta, jonka mukaan puskurijärjestelmä pyrkii pitämään pH-arvon vakaana. (Al Saedi, Rutz, Prassl, Köttner, Finsterwalder, Volk & Janssen 2008)

Erilaisilla mikrobiryhmillä on erilaiset optimaaliset pH-arvot. Esimerkiksi asidogeeneillä sopiva pH on 5.0–6.0 ja 6.5–8.0 on parempi pH metanogeeneille (Tabatabaei & Ghanavati 2018). Sibyan ja ym. tekemän tutkimuksen mukaan korkein tehokkuus saavutettiin, kun lämpötila oli 45 ℃ ja pH 6.5 (Sibiya, Muzenda & Tesfagiorgis 2014). PH-arvo on yleisesti ottaen biokaasulaitoksissa jotain 6.5 ja 8.4 välillä (Zhang, Su, Baeyens & Tan 2014). PH-arvo on todella riippuvainen haihtuvista rasvahapoista, ammoniakin pitoisuudesta, ja emäksisyyden konsentraatiosta. Jos haihtuvat rasvahapot lisääntyvät, pH-arvo laskee. Toisaalta emäksisyyden noustessa, pH-arvo nousee.

4.2.3 Kuiva-aineen pitoisuus raaka-aineessa

Kuiva-aineen pitoisuus biohajoavassa substraatissa on hyvin paljon kytköksissä raaka-aineeseen. Nämä arvot vaikuttavat fermentointi teknologian valintaan, mädätyssäiliön suunnitteluun ja sekoitusteknologian valintaan.

Märkämädätysprosessi otetaan käyttöön, kun kuiva-aineen osuus on vähemmän kuin 15 %, kun taas kuivafermentointi käytetään muissa tapauksissa. Sekoitusteknologia ja sen kesto riippuvat myös kuiva-aineesta. Se on kriittinen tekijä, kun puhutaan viskositeetistä ja myötölujuudesta (Baudez, Markis, Eshtiaghi & Slatter

2011). Näiden lisäksi biokaasun tuottopotentiaali voi olla kytköksissä kuiva-aineen pitoisuuteen (Aboudi, Álvarez-Gallego & Romero-García 2015).

Suurimmassa osassa biokaasulaitoksissa käytetään märkäfermentointia, kun kuiva-aineen pitoisuus on vähemmän kuin 12 % ja se oli vuonna 2019 käytetyin fermentointi teknologia. (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020)

4.2.4 Orgaanisen aineen syöttönopeus

Jotta biokaasun tuotto voidaan pitää optimaalisella tasolla ja kustannukset järkevinä, tulee orgaanisen aineen syöttönopeuden olla hyvin suunniteltu (BMLEV 2010). Jos syöttönopeus on alhainen, se voi laskea biokaasuntuotannon tehokkuutta (Li, Liu, Mi, Li, Yuan, Yan & Liu 2015). Toisaalta korkea syöttönopeus voi olla syy prosessin keskeytymiselle. Jotta optimaalisissa olosuhteissa pysyttäisiin, tulee syöttönopeus suhteuttaa syötettävän substraatin mukaan. Tutkimuksen mukaan lisäämällä mikrolevän syöttönopeutta 1.0 kg tCOD (total chemical oxygen demand = kemiallinen kokonaishapenkulutus) m^{-3} d^{-1}:sta 2.5 kg tCOD m^{-3} d^{-1}:een, prosessi ei hidastunut, vaan metaanin tuotto lisääntyi (González-Fernández, Sialve, Bernet & Steyer 2013).

4.2.5 Hydraulinen viipymäaika

Hydraulinen viipymäaika (HRT) määrittää mädätyssäiliön tilavuutta, joka taas määrittää ajan, jolloin raaka-aine on virrannut läpi prosessissa (BMLV 2010). Optimaalinen viipymä on substraatista riippuen 16–60 päivää (Dareioti & Kornaros 2015; Shi, Dong, Yu, Yin, Hu, Huang & Yuan 2017). Sen tulee myös aina olla vähintään 10–25 päivää, sillä tässä ajassa tarvittavat mikro-organismit eivät ehdi huuhtoutua pois (Schmidt, Ziganshin, Nikolausz, Scholwin, Nelles, Kleinsteuber & Pröter 2014). Maksimaalinen metaanin muodostus saavutettiin 20. päivässä (Krakat, Schmidt & Scherer 2010).

4.2.6 Ravinteet

Ravinteet tasapainottavat mikro-organismien toimintaa anaerobisessa mädätyksessä. Ravinteita on kahta eri tyyppiä: mikro- ja makroravinteita. Makroravinteiden suhde hiileen, typpeen, fosforiin ja rikkiin (C:N:P:S) 600:15:15:1 on sopiva vakaaseen prosessiin. Tämän lisäksi mikroravinteita kuten rautaa, nikkeliä ja kobolttia tarvitaan mikrobien kasvuun ja niitä tulisi lisäravinteina prosessissa, jos puutteita ilmenee raaka-aineessa (Weiland 2009).

4.3 Prosessin hidastajat

Prosessin hidastajina pidetään ammoniakkia, rikkiä, eloperäistä ainesta, sekä kevyt ja raskasmetalleja. Ammoniakin optimaalisella konsentraatiolla on kriittinen rooli anaerobisessa mädätyksessä. Mikro-organismit tarvitsevat ammoniakkia ravintoaineekseen. Kuitenkin korkea ammoniakki pitoisuus hidastaa prosessia ja sen mikrobien toimintaa. Tutkimuksien mukaan mädätykselle hyödyllisin ammoniakki pitoisuus on alhaisempi kuin 200 mg L^{-1}. Kuitenkin jos konsentraatio on 1.7–14.0 mg L^{-1} metaanin muodostus laskee. Tehokkuuden lasku voi olla jopa 50 % riippuen substraatista ja ympäristön olosuhteista (Chen, Cheng & Creamer 2008).

Rikki on yksi epäorgaanisista prosessin hidastajista (Chen, Ortiz, Steele & Stuckey 2014). Rikki on yleensä peräisin rikkiä tuottavien bakteerien toiminnasta. Nämä bakteerit ovat rikin muodostumisen lisäksi vastuussa emäksisyyden muutoksista, orgaanisten aineiden hapettumisen kiihtymisestä, metanogeenisen prosessin tehokkuuden lisääntymisestä ja metaanin muodostumisen vähentymisestä (McCartney & Oleszkiewicz 1991).

Kevyet metallit kuten natrium, kalium ja alumiini, sekä raskasmetallit kuten esimerkiksi rauta, kupari ja sinkki vaikuttavat anaerobisen mädätykseen. Näitä metalleja tarvitaan prosessissa erinäisiin vaiheisiin, mutta niitä pitäisi myös kontrolloida, sillä liiallisina määrinä ne vaikuttavat negatiivisesti. Optimaalinen rautojen

konsentraatio vaihtelee mädätyssäiliön lämpötilasta riippuen (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020).

Prosessi voi myös hidastua huonosti liukenevien orgaanisten seosten myötä tai sellaisten orgaanisten seosten myötä, jotka voivat absorboitua biohajoavaan raaka-aineeseen. Tällaisia seoksia voivat olla esimerkiksi alkoholit, eetterit, alkyylibentseeni ja alkaanit (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020).

Anaerobista mädätystä pidetään hyvänä keinona tuottaa biokaasua ruoan tähteistä, sen korkean kosteus pitoisuuden ja orgaanisuuden takia. Kuitenkin kasvit sisältävät komponentteja kuten makuaineita, jotka voivat vaikuttaa prosessiin (Nsair, Cinar, Alassali, Qdais & Kuchta 2020). Kasvien sekundaariset aineenvaihdunnan tuotteet kuten karotenoidit, terpeenit ja fenolit, voivat hidastaa metaanin muodostumista ja anaerobisten bakteerien toimintaa (Mohamed 2014).

4.4 Biokaasulaitoksen operaation olosuhteitten seuranta

Anaerobisessa mädätyksessä on neljä eri vaihetta. Jotta prosessi kulkisi vakaasti ja tehokkaasti, olosuhteitten seuranta on välttämätöntä. Seuranta mahdollistaa ongelmien ja häiriötekijöiden havaitsemisen aikaisin ja osoittaa tarvittavat säädökset erinäisille muuttujille. Seurantaa tehdään koneiden välityksellä automaattisesti, suoraan paikan päällä ja laboratorioissa (Refai 2017; IEA Bioenergy 2013).

Tämänhetkisen teknologian avulla ei pystytä seuraamaan kaikkia biokaasulaitoksen operaatioon vaikuttavia tekijöitä. Tämän takia joudutaan keräämään esimerkiksi näytteitä, joita sitten analysoidaan laboratorioissa. Tämä on aikaa vievää, jonka takia tarvitaan myös koneiden tuottamaa dataa reaaliajassa. Kaikki data on arvokasta ja mahdollistaa laitoksen joustavuuden, esimerkiksi operaation mahdollisen optimoinnin (IEA Bioenergy 2013).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus toteutetaan kvalitatiivisena tapaustutkimuksena. Kvalitatiivinen tutkimus ei nojaudu statistiikkaan tai tilastoihin vaan tutkii tutkimusongelmaa sen luonteen perusteella. Tapaustutkimus (case study) antaa holistisen tavan lähestyä tutkimusta. Sillä tavoin tutkimusta on helpompi kuvata, ymmärtää ja selittää tutkimuskysymystä (Baskarada 2014).

Taulukko 1. Tapaustutkimuksen ominaisuudet ja tiedonkeruuta koskevat kysymykset sekä niiden vastaukset. (Mukailtuna: Creswell 1998)

Ominaisuudet	**Tiedonkeruuta koskevat kysymykset**	**Case Jepua**
Tapaus, kuten prosessi, aktiviteetti tai tapahtuma, on tutkittavana.	Mitä tutkitaan?	Biokaasulaitoksen prosessin optimointia.
Pääsy tietoihin ja apua on saatavilla.	Mitkä ovat huolenaiheita liittyen tietoihin pääsyyn ja avun saantiin?	Aikataulujen yhteen sopiminen.
Tapaus tai tapaukset tarkennetaan.	Mitä tai ketä tutkitaan?	Jepuan Biokaasu Oy:n märkämädätys prosessia.
Kerätty tieto kootaan.	Minkälaista dataa kerätään?	Artikkeleja ja muita luotettavia tutkimuksia.
Erilaisia tapoja kerätä dataa käytetään.	Miten data kootaan?	Data kootaan haastattelulla ja kirjallisuuskatsauksella.

Huolia, joita voi tulla dataan keräämiseen liittyen.	Onko datan kerääminen vaikeaa?	Luotettavien sivujen etsiminen voi tuottaa haasteita.
Suuri määrä dataa kerätään.	Miten data säilytetään?	Data on heti kirjattu lähteineen opinnäytetyöhön.

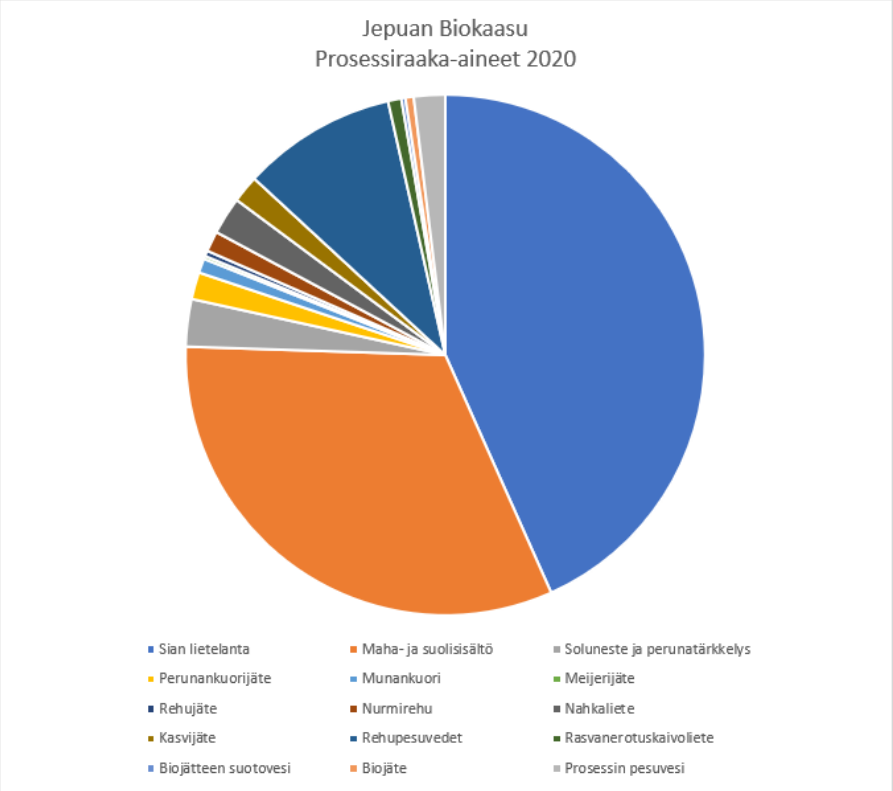
Tutkimuksessa on käytetty apuna haastattelua. Haastattelu tehtiin Jepuan biokaasulaitoksella 10.2.2022 ja haastattelu kesti noin kaksi tuntia. Haastateltavana oli Jepuan Biokaasu Oy:n toimitusjohtaja Kurt Stenvall. Haastattelun jälkeen Jepuan biokaasulaitoksen prosessia tutkittiin paikan päällä laitosvierailun merkeissä. Liitteessä 1 on esitettyjä kysymyksiä.

6 JEPUAN BIOKAASULAITOKSEN PROSESSI

Jepuan Biokaasu Oy tuottaa biokaasua lämmitykseen ja liikennepolttoaineeksi. Biokaasun tuotannon lisäksi sivutuotteena saadaan hygienisoitua lannoitetta EKO-viljelyyn. Biokaasulaitos (kuva 3) sijaitsee nimensä mukaisesti Jepualla, Uudessakaarlepyyssä. Isoimpina osakkaina toimivat Jeppo Kraft Andelslag, Snellman Ab, Jeppo Potatis Ab, Nyko Frys Ab ja Torp Frys Ab.

Kuva 3. Jepuan biokaasulaitos.

Jepuan biokaasulaitokselle tulee päivittäin noin kaksikymmentä autolastillista raaka-ainetta. Vuonna 2020 suurin osa syötteistä oli sian lietelantaa, sekä maha- ja suolisisältöä (kuva 4). Muita käytettyjä raaka-aineita olivat esimerkiksi perunankuori-, meijeri-, kasvi- ja rehujäte. Vuonna 2018 käsiteltyjä syötteitä oli noin 117 000 kg ja raakaa biokaasua tuotetaan vuosittain noin 4,5 miljoonaa m^3.



Kuva 4. Jepuan biokaasuprosessin raaka-aineet vuonna 2020.

Jepualla on käytössään märkä- ja kuivamädätyslaitokset. Märkämädätyksessä on käytössä kolme Weltec Biopower -reaktoria, Fornovogas-kaasukompressori ja Malmberg-vesipesuri. Reaktorien tilavuus on 3 500 m^3 ja niissä tuotetaan 550 Nm^3 raakaa biokaasua tunnissa. Märkämädätys tapahtuu mesofiilisesti 39 °C, pH:n ollessa 8.0–8.5 ja hydraulinen viipymä on 30 päivää. Märkäreaktorit tuottavat biokaasua 30 GW.

Prosessi alkaa, kun jätteet kerätään ja kuljetetaan laitokselle (kuva 5). Sen jälkeen ne esikäsitellään ja syötetään mädätysreaktoriin. Mädätyksen jälkeen alkaa jälkimädätys ja -kaasuuntuminen. Kun substraatti on käynyt läpi koko mädätysprosessin, se separoidaan kiintoaineeksi, rejektivedeksi ja biokaasuksi. Kiintoaines ja osa rejektivedestä hygienisoidaan, jonka jälkeen se kuivataan ja varastoidaan tai käy-

tetään lannoitteena sekä maanparannusaineena. Loput rejektivedestä palautetaan prosessin kiertoon ja osa menee lannoitekäyttöön. Muodostunut biokaasu puhdistetaan ja sen jälkeen se menee käytettäväksi tai varastoitavaksi.

Kuva 5. Märkäfermentoinnin yksinkertaistettu prosessikaavio.

Kuivamädätys on vielä testausvaiheessa, mutta prosessille sopivaksi lämpötilaksi on todettu 55℃ termofiilinen lämpötila ja prosessi tapahtuu 21 päivän viipymällä. Hardferm-kuivareaktoreita on kaksi ja ne tuottavat noin 15 GWh biokaasua eli puolet märkäreaktorin tuottamasta määrästä.

Kokonaisuudessaan vuonna 2018 kaasua tuotettiin 22 200 MWh, josta omaan lämmitystarpeeseen meni 3 400 GWh. Kaasua tuotetaan lähinnä lämmöksi, sillä liikennepolttoaineen osuus tuotannosta on vain noin 1 %. Biokaasun metaanisisältö on 66,8 %.

7 TUTKIMUS JA TULOKSET

On vaikea antaa yksiselitteisiä vastauksia siitä, mikä on optimaalisin arvo jokaisesta parametristä. Esimerkiksi valittu substraatti vaikuttaa paljon minkälaiset olosuhteet reaktoriin olisivat optimaalisimmat. Kuitenkin tutkimusten mukaan joitakin universaaleja parametrejä löytyi, joita pystytään yleistämään paremmin kuin toisia.

Valitut parametrit ovat C:N- ja C:N:P:S-suhde, sekoitus, pH-arvo, hydraulinen viipymä sekä mesofiilisen prosessin lämpötila ja sen vaihtelu. Näiden parametrien optimaaliseksi pidettyjä arvoja verrataan Jepuan märkämädätysprosessin arvoihin taulukossa 2.

Taulukko 2. Vertailua optimaalisten ja Jepuan prosessin parametrien välillä.

Parametri	**Optimaalinen**	**Jepua**
Mesofiilinen lämpötila	37 ℃	39 ℃
Lämpötilan vaihtelu	±3 °C d^{-1}	± 0.5 °C d^{-1}
Sekoitus	2 tuntia/päivä	15 min/tunti = 6 h/päivä
pH	6.5–8.4	8.0–8.5
Hydraulinen viipymäaika	16–60 päivää	30 päivää
C:N	20–30:1	?
C:N:P:S	600:15:15:1	?

Mesofiilisiä bakteereja elää eniten, kun lämpötila on 37 ℃, mutta kuitenkin Jepuan prosessissa lämpötilaksi on valikoitunut 39 ℃. Tämä voi johtua siitä, että prosessin hydraulista viipymää on haluttu nopeuttaa. Kuitenkin lämpötilan nosto

voi aiheuttaa joidenkin mikrobien inhiboitumisen, jolloin on perusteltua alentaa lämpötilaa. Kuitenkaan yksiselitteistä oikeaa vastausta lämpötilalle ei ole, ja se riippuu reaktorista, syötöstä sekä esi- ja jälkikäsittelyistä (Sarker, Lamb, Hjelme & Lien 2019).

Lämpötilan vaihtelu on Jepuan prosessissa ± 0.5 °C d^{-1} päivässä ja optimaalinen raja on alle ± 3 °C d^{-1} päivässä mesofiilisessä prosessissa (Gerardi 2003). Jepuan prosessin lämpötilan vaihtelu on erittäin hyvällä tasolla, sillä mitä vähemmän vaihtelua on, sen parempi. Prosessin lämpötilan vaihtelua tuskin on mahdollista saada edes alemmalle tasolle, sillä se on jo nyt erittäin alhainen.

Sekoitusta päivätasolla on 15 minuuttia tunnissa eli kokonaisuudessaan kuusi tuntia päivässä. Optimaalinen sekoitus aste on 2 tuntia päivässä (Hashimoto 1982). Kuitenkin tämä sekoitusaste on laskettu termofiiliselle lämpötilalle ja Jepuan laitoksella on käytössä mesofiilinen lämpötila. Sen takia on vaikeaa todeta, onko käytössä oleva sekoitusaika sopiva vai ei. Kuitenkaan sekoitusta ei ole yhtä jaksoisesti, joka on todettu tarpeettomaksi. Sekoitusta on kuitenkin sen verran, että kerrostumat pystytään välttämään. Kysymykseksi jää, jos sekoitusta pystyttäisiin vähentämään. Sekoituksen vähentämisen avulla syntyisi rahallista säästöä.

Jepuan laitoksen pH-arvo 8.0–8.5 on ajoittain hiukan optimaalisen 6.5–8.4 rajan yläpuolella, joka voi johtua orgaanisen kuormituksen keskeytymisestä tai häiriöistä syötössä (Latvala 2009). Korkea pH-arvo voi myös selittyä lämpötilalla, joka on mesofiilisellä asteikolla korkea. Toisaalta laitoksen käyttämät teurastamojätteiden sisältämät proteiinit ja rasvat tai myrkylliset yhdisteet voivat nostaa pH:ta. PH-arvon nousua voidaan kontrolloida automaattisen pH-kontrolloinnin avulla, joka lisää neutraloivaa ainetta tarvittaessa. Toinen tapa on muuttaa esimerkiksi hydraulista viipymää tai substraatin koostumusta ja vaikuttaa prosessiin sitä kautta (Sarker, Lamb, Hjelme & Lien 2019).

Hydraulinen viipymäaika on 30 päivää, joka on optimaalisten viitearvojen (16–60 päivää) rajoissa (Dareioti & Kornaros 2015; Shi, Dong, Yu, Yin, Hu, Huang & Yuan

2017). Se on myös yli 20 päivää, jolloin saavutetaan maksimaalinen metaanintuotto (Shi, Dong, Yu, Yin, Hu, Huang & Yuan 2017). Prosessissa ei myöskään huuhtoudu mikro-organismeja pois, koska viipymäaika on yli 10–25 päivää (Schmidt, Ziganshin, Nikolausz, Scholwin, Nelles, Kleinsteuber & Pröter 2014). Hydraulista viipymäaikaa pystytään tutkimaan helposti ja se voidaan laskea niin, että se on moitteettomalla tasolla laitoksessa.

C:N- ja C:N:P:S-suhteet eivät ole tiedossa, sillä niitä ei ole laskettu Jepuan biokaasulaitoksessa. Suhteiden laskeminen auttaisi prosessin optimoinnissa. C:N-suhteen ollessa epätasapainossa metaanipotentiaali voi laskea. Makroravintoainesuhde eli C:N:P:S-suhde on tärkeä kestävän prosessin aikaansaamiseksi, sillä se tasapainottaisi mikro-organismien toimintaa. Suositeltavaa olisi laskea molemmat suhteet ja optimoida ne prosessin mukaisiksi.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa saatiin selville, että Jepuan Biokaasu Oy:n märkämädätysprosessia voitaisiin parantaa, jos C:N- ja C:N:P:S-suhteet laskettaisiin ja pH-arvoon kiinnitettäisiin hieman huomiota. Tällöin metaanipotentiaalia voitaisiin kasvattaa ja prosessin kannattavuus nousisi.

Tutkimuksen aikana selvisi, että optimaalisia parametrejä on suhteellisen haastava tutkia, sillä ne riippuvat niin monista eri tekijöistä. Testaamalla prosessin toimivuutta saataisiin paremmat tulokset ja tiedot, jotta pystyttäisiin antamaan luotettavaa dataa. Yksiselitteisiä vastauksia ei ole, joten laskelmien ja testauksien teko on välttämätöntä.

Tutkimuksen teko on tärkeää, jotta biokaasulaitoksista saataisiin kannattavampia. Suomessa on tutkittu jonkin verran vedenpuhdistamoiden yhteydessä olevien biokaasulaitosten toimintaa, mutta yhteiskäyttölaitokset ovat jääneet vaille tarkempaa tutkimusta. Tutkimus on siis vasta alkutaipaleella ja vaatii paljon lisäselvitystä, jotta tarkempia vastauksia saataisiin selville, kuinka optimointia voitaisiin parantaa biokaasulaitoksissa.

LÄHTEET

Abbasi, T., Tauseef, S. M. & Abbasi, S. A. 2012. Biogas Energy. Springer Sciences + Business Media, LLC.

Adekunle, K. & Okolie, J. 2015. A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. Advances in Bioscience and Biotechnology, 6, 205-212.

Agrahari, R. & Tiwari, G. 2013. The Production of Biogas Using Kitchen Waste. International Journal of Energy Science 3, 6, 408–413.

Al Saedi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas Handbook. Esbjerg. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10 DK-6700.

Al-Addous, M., Alnaief, M., Class, C., Nsair, A., Kuchta, K. & Alkasrawi, M. 2017. Technical Possibilities of Biogas Production from Olive and Date Waste in Jordan. BioResources, 12, 4, 9383–9395.

Baskarada, S. 2014. Qualitative Case Study Guidelines. The Qualitative Report. TQR 19, 40, 1–18.

Bioenergia Ry. 2018. Bioenergian Teknologia- ja Palveluvienti Nyt Ja Tulevaisuudessa. MS Advisor. GreenStream. Viitattu 9.3.2022. https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/03/bioenergian-teknologia-ja-palveluvienti-nyt-ja-tulevaisuudessa.pdf

BMELV. 2010. Guide to Biogas from Production to Use. Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV). Gulzow. 5.

Chen, J., Ortiz, R., Steele, T., Stuckey, D. 2014. Toxicants inhibiting anaerobic digestion: A review. Biotechnology Advances, 32, 8, 1523-1534.

Chen, Y., Cheng, J. J. & Creamer, K. S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresource Technology, 99, 10, 4044-4064.

Creswell, J. W. 1998. Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions. Thousand Oaks, California. Sage.

Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Stinner, W., Scmalfuss, T., Scheftelowitz, M., Nelles, M. & Liebetrau J. 2017. Chemie Ingenieur Technik, 90, 1–2, 17–35.

Dareioti, M. A. & Kornaros, M. 2015. Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time, 175, 553-562.

Deublein, D. & Steinhauser, A. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Dinopoulou, G., Rudd, T. & Lester, J. 1988. Anaerobic acidogenesis of a complex wastewater: I. The influence of operational parameters on reactor performance. Biotechnology and Bioengineering, 31, 9, 958-968.

Drosg, B. 2013. Process monitoring in biogas plants. IEA Bioenergy. Vienna. 12, 2013.

El-Mashad, H. M., Zeeman, G., van Loon, W. K. P., Bot, G. P. A. & Lettinga, G. 2004. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. Bioresource Technology, 95, 2, 191-201.

Gerardi, M. H. 2003. The Microbiology of Anaerobic Digesters. John Wiley & Sons, Inc. Print ISBN:9780471206934.

Gómez, D., Ramos-Suárez, J. L., Fernández, B., Munoz, E., Tey, L., Romero-Guiza, M. & Hansen, F. 2019. Development of a Modified Plug-Flow Anaerobic Digester for Biogas Production from Animal Manures. Energies, 12, 13, 2628.

González-Fernández, C., Sialve, B., Bernet, N. & Steyer, J. P. 2013. Effect of organic loading rate on anaerobic digestion of thermally pretreated Scenedesmus sp. biomass. Bioresource Technology, 129, 219-223.

Guarino, G., Carotenuto, C., Cristofaro, F., Papa, S., Morrone, B. & Minale, M. 2016. Does the C/N ratio really affect the Bio-methane Yield? A three years investigation of Buffalo Manure Digestion. Chemical Engineering Transactions, 49, 463-468.

Hansen, C., Cheong, D. 2019. Agricultural Waste Management in Food Processing. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering, 673-716.

Hashimoto, A. 1982. Effect of mixing duration and vacuum on methane production rate from beef cattle waste. Biotechnology and Bioengineering, 24, 1, 9–23.

Huttunen, M., Kuittinen, V. & Lampinen, A. 2018. University of Eastern Finland (UEF). Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences. Suomen Biokaasulaitosrekisteri N:O 21. Grano Oy. Jyväskylä.

Ioelovich, M. 2015. Recent Findings and the Energetic Potential of Plant Biomass as a Renewable Source of Biofuels – A Review. BioResources 10, 1, 1879–1914.

Jaber, J., Probert, S.D., Williams, P.T. 1998. Gaseous fuels (derived from oil shale) for heavy-duty gas turbines and combined cycle power generators. Applied Energy 60, 1, 1-20.

Jablonski, S., Rodowicz, P. & Lukaszewicz, M. 2015. Methanogenic archaea database containing physiological and biochemical characteristics. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 65.

Krakat, N., Schmidt, S. & Scherer, P. 2010. Mesophilic Fermentation of Renewable Biomass: Does Hydraulic Retention Time Regulate Methanogen Diversity? Applied and Environmental Microbiology 76, 6322–6326.

Latvala, M. 2009. Paras käytössä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Suomen Ympäristö 24:2009. Edita Publishing Oy.

Lemmer, A., Naegele, H.-J. & Sonderman J. 2013. How Efficient are Agitators in Biogas Digesters? Determination of the Efficiency of Submersible Motor Mixers and Incline Agitators by Measuring Nutrient Distribution in Full-Scale Agricultural Biogas Digesters. Energies 6, 12, 6255–6273.

Li, D., Liu, S., Mi, L., Li, Z., Yuan, Y., Yan, Z. & Liu, X. 2015. Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and pig manure. Bioresource Technology 187, 120–127.

Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Sipilä, I. & Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT Jokioinen. Viitattu 23.4.2022. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/438229/mttraportti27.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mata-Alvarez, J. 2003. Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. IWA Publishing.

McCartney, D. M. & Oleszkiewicz, J. A. 1991. Sulfide inhibition of anaerobic degradation of lactate and acetate. Water Research 25, 2, 203–209.

Meegoda, J., Li, B., Patel, K. & Wang, L. 2018. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. International Journal of Environmental Research and Public Health 15, 10, 2224.

Mir, M. A., Hussain, A. & Verma, C. 2016. Design considerations and operational performance of anaerobic digester: A review. Cogent Engineering 3, 9.

Mohamed, S.D.Y. 2014. Influence of Oregano (Origanum vulgare L.), Fennel (Foeniculum vulgare L.) and Hop cones (Humulus lupulus L.) on Biogas and Methane Pro-duction; Universitat Giessen Germany. Viitattu 18.4.2022. https://core.ac.uk/download/pdf/56351539.pdf

Mondal, C. & Biswas, G. 2013. Effect of Temperature on Kinetic Constants in Anaerobic Biodigestion. Chitkara Chemistry Review 1, 1, 19-28.

Nandi, R., Saha, C. K., Huda, M. S. & Alam, M. M. 2017. Effect of Mixing on Biogas Production from Cow Dung. Eco-friendly Agril. 10, 2, 7–13.

Nsair, A., Bade, O. & Kuchta, K. 2018. Development of Velocity Sensor to Optimize the Energy Yield in a Biogas Plant. Environmental Research and Technology 1, 1, 51–56.

Nsair, A., Cinar, S. Ö., Qdais, H. A. & Kuchta, K. 2019. Optimizing the performance of a large scale biogas plant by controlling stirring process: A case study. Energy Conversion and Management, 198.

Nsair, A., Cinar, S., Alassali, A., Qdais, H. & Kuchta, K. 2020. Operational Paramenters of Biogas Plants: A Review and Evaluation Study. Energies 13, 15, 3761.

Park, J., Park, S. & Kim, M. 2014. Anaerobic degradation of amino acids generated from the hydrolysis of sewage sludge. Environmental Technology 35, 9, 1133-1139.

Refai, S. 2017. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Development of efficient tools for monitoring and improvement of biogas production. Viitattu 18.4.2022. https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/7114

Riya, S., Suzuki, K., Terada, A. & Hosomi M. 2016. Influence of C/N Ratio on Performance and Microbial Community Structure of Dry-Thermophilic Anaerobic Co-Digestion of Swine Manure and Rice Straw. Journal of Medical and Bioengineering, 5, 1.

Sarker, S., Lamb, J., Hjelme, D. & Lien, K. 2019. A Review of the Role of Critical Parameters in the Design and Operation of Biogas Production Plants. Applied Sciences 9, 9, 1915.

Schmidt, T., Ziganshin, A. M., Nikolausz, M., Scholwin, F., Nelles, M., Kleinsteuber, S. & Pröter, J. 2014. Effect of the reduction of the hydraulic retention time to 1.5 days at constant organic loading in CSTR, ASBR, and fixedbed reactors – Peformance and methanogenic community composition 69, 241-248.

Shi, X., Dong, J., Yu, J., Yin, H., Hu, S., Huang, S. & Yuan, X. 2017. Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Wheat Straw in the Semicontinuous Continuous Stirred-Tank Reactors. BioMed Research International, 2017.

Sibiya, N., Muzenda, E. & Tesfagiorgis H. 2014. Effect of Temperature and pH on the Anaerobic Digestion of Grass Silage. [konferenssi]. Cape Town, South Africa. International Conference on Green Technology, Renewable Energy & Environmental Engineering, 27-28.11.2014.

Stams, A. & Plugge, C. 2009. Electron transfer in syntrophic communities of anaerobic bacteria and archaea. Nat Rev Microbiol 7, 568-577.

Stenvall, K. 2022. Toimitusjohtaja. Jepuan Biokaasu Oy. Haastattelu 10.2.2022.

Thorin, E., Nordlander, E., Lindmark, J., Dahlquist, E. & Yan, J. 2012. Modeling of the Biogas Production Process - A Review. [esitelmä]. Suzhou, Kiina. International Conference on Applied Energy ICAE 2012, 5-8.7.2012.

Tilastokeskus. Biokaasun tuotanto ja kulutus laitostyypeittäin, 2017–2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki. Tilastokeskus. Viitattu 20.4.2022. http://www.stat.fi/til/ehk/meta.html

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. 2020:3.

Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology 85, 849–860.

Wolfe, R. 2011. Chapter one – Techniques for Cultivating Methanogens. Methods in Enzymology 494, 1–22.

Wu, X., Yao, W. & Zhu, J. 2010. Effect of pH on continuous biohydrogen production from liquid swine manure with glucose supplement using an anaerobic sequencing batch reactor. International Journal of Hydrogen Energy, 35, 13, 6592–6599.

Zhang, C., Su, H., Bayens, J. & Tan, T. 2014. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 38, 383–392.

LIITTEET

Esitetyt kysymykset Jepuan Biokaasu Oy:n toimitusjohtajalle Kurt Stenvallille:

- Mikä on märkämädätysprosessin pH reaktorissa?
- Mikä on märkämädätysprosessin lämpötila reaktorissa?
- Kuinka paljon lämpötilan vaihtelua reaktorissa tapahtuu päivätasolla? Esimerkiksi ±3.0 °C d^{-1}.
- Mikä on märkämädätysprosessin hydraulinen viipymä?
- Miten paljon sekoitusta on päivätasolla? Esimerkiksi 2 tuntia/päivä.
- Mikä on C:N-suhde?
- Entä C:N:P:S-suhde?