

TILAKOHTAINEN BIOKAASULAITOS PORSASTUOTANTOTILALLA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Mustiala, maaseutuelinkeinot

Kevät, 2020

Teemu Heilä, Niko Andersson

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Mustiala

Tekijä Teemu Heilä, Niko Andersson **Vuosi** 2020

Työn nimi Tilakohtainen biokaasulaitos porsastuotantotilalla

Työn ohjaaja/t Timo Teinilä

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä selvitetään tilakohtaisen biokaasulaitoksen merkitystä porsastuotantotilalle. Opinnäytetyö on laadittu porsastuotantotilan näkökulmasta, hyödyntämällä tilalla syntyvää lietelantaa biomassana. Työn tavoitteena on saada porsastuotantotilalle suunnitelma ja laskelma biokaasulaitoksen rakentamisesta tulevaisuuden päästöttömämpään ja energia-
tehokkaaseen tuotantoon.

Työssä hyödynnetään toiminnassa olevan porsastuotantotilan toteutuneita energiankulutuksia, sekä kannattavuutta katsellaan eri toimijoiden toteutuneiden ja tarjouksien perusteella saatujen lukujen kautta.

Työn tarkoituksena on selvittää mitä hyötyjä biokaasulaitos toisi porsastuotantotilalle, niin talouden kuin ympäristön kannalta.

Avainsanat biokaasu, biomassa, ympäristö

Sivut 35 sivua, joista liitteitä 3 sivua

Degree Programme in Agricultural and Rural Industries
Mustiala

Author	Teemu Heilä, Niko Andersson	Year 2020
Subject	Farm-specific biogas plant for a piglet production farm	
Supervisors	Timo Teinilä	

ABSTRACT

The importance of a farm-specific biogas plant for a piglet production farm is investigated in the thesis. The thesis has been prepared from the perspective of a piglet farm, utilizing the slurry generated on the farm as biomass. The aim of the work is to get a plan and a calculations for the piglet production farm from the construction of a biogas plant for more emission-free and energy-efficient production in the future.

The work utilizes the actual energy consumption of the operating piglet production farm, and the profitability is examined through the figures realized by different actors and received on the basis of offers.

The purpose of the work is to find out what benefits the biogas plant would bring to the piglet production farm, both economically and environmentally.

Keywords biogas, biomass, environment

Pages 35 pages including appendices 3 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BIOKAASUN TUOTANTO SUOMESSA.....	2
3	BIOKAASULAITOSTYYPIT	5
3.1	Mesofiilinen ja termofiilinen	5
3.2	Märkäprosessi	7
3.3	Yksi- ja kaksivaiheinen prosessi.....	8
3.4	Kuivaprosessi.....	8
4	TYÖN LÄHTÖKOHDAT	11
5	BIOKAASULAITOS ESIMERKKITILALLA.....	13
5.1	Biokaasulaitoksen toimintaperiaate	13
5.2	Biokaasulaitoksen mitoittaminen	18
5.3	Biokaasulaitoksen rakennekokonaisuus	19
5.4	Raaka-aine ja mädätysjäännös.....	19
6	ENERGIAN TUOTTO	23
7	INVESTOINNIN KUSTANNUSARVIO JA KANNATTAVUUS.....	25
7.1	Kustannusarvio.....	25
7.2	Investoinnin kannattavuus.....	25
7.3	Mädätysjäännöksen taloudellinen puoli.....	26
7.4	Kannattavuuden yhteenveto	27
8	YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	29
8.1	Maatalouden kasvihuonepäästöt	29
8.2	Päästöt esimerkkitalalla	30
8.3	Biometaani tieliikennekäyttöön.....	31
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	32
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen ja maatalouden päästöjen ollessa kuumana puheenaiheena politiikassa ja mediassa, on maatalojen pidettävä yllä hyvää imagoa ja lähdettävä kokeilemaan uusia ratkaisuja tuotannon kehittämisessä, ja samalla päästöjen vähentämisessä. Energian kulutuksen ratkaisuja on monia, kuten aurinkosähkö ja tuulivoima. Suurimmalla osalla maataloista on kuitenkin käytössään erilaisia raaka-aineita, kuten eläinten lanta ja muut peltobiomassat, joita hyödyntämällä voi mahdollistaa tilan energiomavaraisuuden, ja ravinteiden tehokkaan kierron samalla tuomalla ympäristöhyötyjä.

Tämän työn tarkoituksena on käsitellä tilakohtaisen biokaasulaitoksen merkitystä porsastuotantotilalla. Työssä pohditaan soveltuvien biokaasulaitoskokonaisuuksien porsastuotantotilan tarpeisiin, käsitellään mahdollista energiapotentiaalia ja lasketaan kannattavuuspuolta. Työ on porsastuotantotilan näkökulmasta tehty, huomioiden ainoastaan tilalla syntyvän lannan potentiaali.

Alueilla joissa on runsaasti eläintiloja ja lietalantaa paljon, voitaisiin biokaasulaitosten myötä saada ravinteiden kierrätys huomattavasti tehokkaammaksi, ja ympäristöystävällisemmäksi, samalla kun sivuvirtana syntyvästä lietalannasta kyettäisiin ottamaan energia talteen.

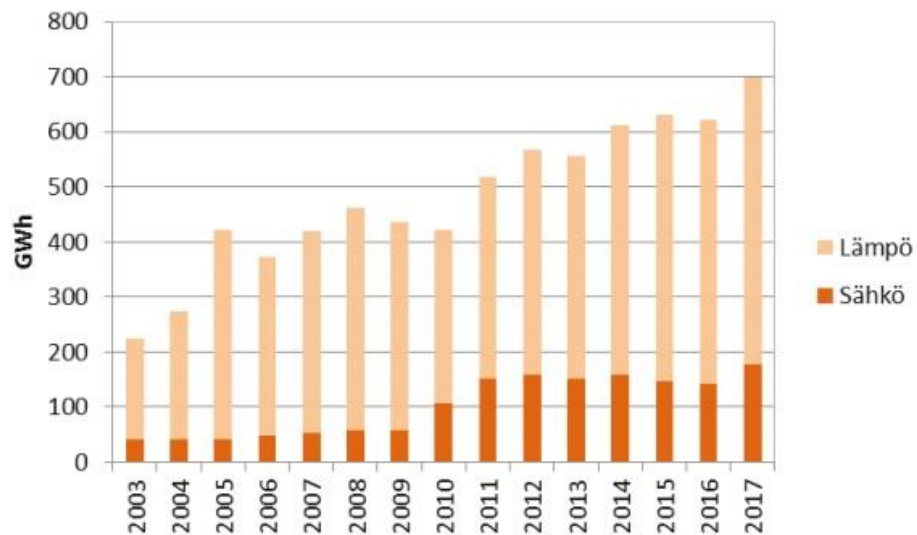
Suomessa biokaasun tuotannolla on valtavasti kasvupotentiaalia, kun verrataan vaikka Ruotsiin tai Saksaan, jossa biokaasun tuotanto on moninkertainen verrattuna Suomeen. Saksassa biokaasusta tuotettu sähkön määrä vastaa lähes kaksinkertaisesti Suomen ydinvoimaloissa tuotetun sähkön määrää. (Gasum 2020)

2 BIOKAASUN TUOTANTO SUOMESSA

Biokaasun tuotanto on tulevaisuudessa merkittävä energiantuotannon ala, jonka mahdollisuuksia eivät kaikki ole vielä tiedostaneet. Tuotantolaitokset ovat kuitenkin yleistymässä sekä suurina laitoksina että pieninä maatilakohtaisina yksikköinä.

Vuonna 2014 biokaasusta tuotettiin 454,7 GWh lämpöä ja 158,6 GWh sähköä, joka on Suomen mittakaavalla noin puoli prosenttia uusiutuvasta energiasta. Hukkaan meni 101 GWh.

Suomessa oli 2017 hieman yli 100 biokaasulaitosta, jotka yhteensä tuottivat noin 1 TWh (1000 GWh) joista 61 % käytettiin lämmön tuotannossa, 21 % sähkön tuotannossa, 4 % liikennekäytössä ja 14 % meni hukkaan. 41 % tuotetusta biokaasusta kerättiin kaatopaikolta ja 58 % prosenttia reaktorilaitoksista.



Kuva 1. Lämmön ja sähkön tuotanto biokaasusta 2003-2017. (Luke.fi)

Koko Suomen energiankulutus oli vuonna 2018 noin 380 TWh, joten pelkästään biokaasun voimalla ei koko maan energian tarvetta pystytä millään kattamaan.

Tulevaisuudessa biokaasun tuotannonpotentiaalin arvioidaan nousevan noin 10 TWh vuoteen 2030 mennessä. Maatalouden biokaasupotentiaali tälläkin hetkellä on noin 4 TWh, johon sisältyy lantaa 17,3 miljoonaa tonnia ja ylijäämänurmia 1,5 miljoonaa tonnia, joissa on 83 000 tonnia typpeä ja 22 000 tonnia fosforia. Tämän lisäksi on myös suunnitelmassa käyttää muita peltobiomassoja energian tuotantoon, mikä lisäisi useita terawattitunteja tulokseen. (Kymäläinen, 2015)



Kuva 2. Suomen Biokaasulaitokset (Biokierto.fi)

Biokaasu koostuu metaanista 55-70 % (CH₄), hiilidioksidista 30-45 % (CO₂) ja pienistä pitoisuuksista rikkiyhdisteistä. Biokaasu muodostuu orgaanisen aineksen hajoamisen yhteydessä anaerobisissa olosuhteissa ja sen jäännöksestä saadaan hyvää lannoitetta. Biokaasun koostumus riippuu paljon siitä, millaista ainesta mädätetään. Metaani on väritön ja hajuton kaasu. (Willman, 2012)

Biokaasulaitoksissa käytetään monenlaisia raaka-aineita, jotka valikoituvat laitospöytäisesti sopivuuden ja saatavuuden perusteella. Soveltuvuutta arvioidaan hajoavan orgaanisen aineen määrän, metaanintuottopotentialin, kuiva-ainepitoisuuden, hiili/typpi-suhteen, ravinnekoostumuksen ja hivenainekoostumuksen perusteella. Saatavuus puolestaan on alueellisesti

rajoittava tekijä, jotta biokaasulaitos voi toimia kannattavasti, häiriöttä ja keskeyttämättä ympäri vuoden.

Taulukko 1. Erilaisten materiaalien metaanintuottopotentiaaleja orgaanista ainetta ja märkápainoa kohden. (Mutikainen 2016)

Materiaali	m ³ CH ₄ /t (orgaanista ainetta)	m ³ CH ₄ /t (märkápaino)
Ruokohelpi	340-430	97-167
Timotei-apila-nurmi	370-380	72-85
Nokkonen	210-420	25-60
Lupiini	310-360	40-41
Apila	280-300	41-68
Sokerijuurikas (juuri+naatit)	450	80
Sokerijuurikas (naatit)	340	34
Olki	240-320	199-260
Teurasjäte	570	150
Biojäte	500-600	100-150
Puhdistamoliete	200-400	5- 1 2
Sianlanta	300-400	17-22
Lehmánlanta	100-250	7- 1 4

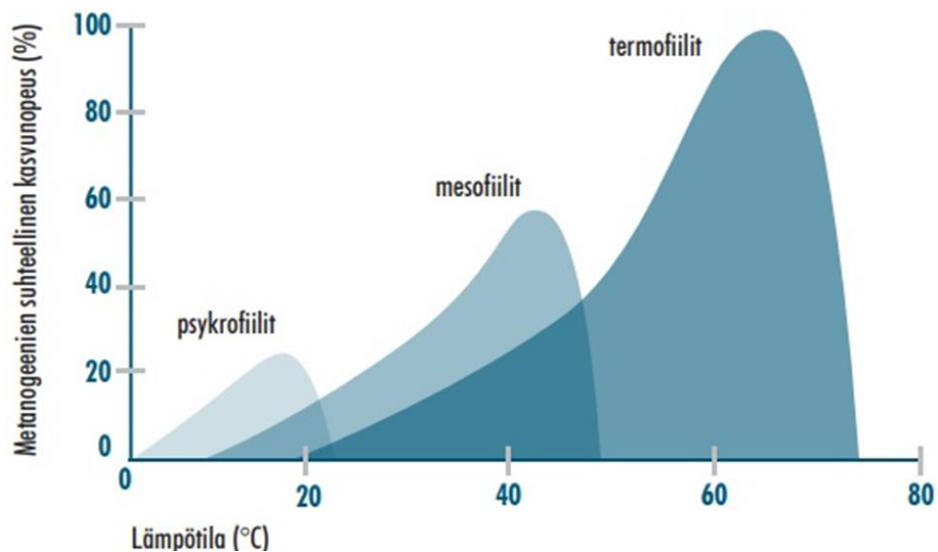
Myös biokaasuprosessista syntyvän mädätysjäännöksen hyötykäytön vaatimukset rajoittavat syötteen valitsemista. Esimerkiksi syötteessä olevat raskasmetallit konsentroituvat, kun muu kuiva-aine muuntuu biokaasuksi, joten tarkat lisäselvitykset ovat tarpeen. Nämä ongelmat ovat yleisiä etenkin jättepohjaisilla syötteillä. Biokaasu syntyy kuiva-aineen orgaanisen osuuden hajotessa, joten mädätysjäännökseen jää hajoamaton orgaaninen aine ja vesi.

3 BIOKAASULAITOSTYYPIT

3.1 Mesofiilinen ja termofiilinen

Biokaasun tuotantoon vaaditaan tietyt toimintaolosuhteet, kuten hapettomuus, sopiva lämpötila ja pH. Yksi merkittävimmistä on lämpötila. Käytännössä prosessit ovat joko termofiilisiä tai mesofiilisiä, mutta lämpimissä maissa on käytössä myös psykrofiilinen prosessi, jossa lämpötila pidetään 10-15 asteessa, jolloin reaktorin lämmitystä ei vaadita. Tässä mikrobien toiminta on melko hidasta, joten käsittelyajat ovat pitkiä ja vaativat suuria reaktoreita.

Mesofiilisessa prosessissa lämpötila vaihtelee 35-43°C, mutta optimaalinen alue on hieman alempi 35-38 °C. Termofiilisen prosessin käyttölämpötila on 50-75 °C, mutta tässäkin käytetty optimilämpötila on 50-55°C. Lämpötilan korkeus ei kuitenkaan ole tärkeintä vaan lämpötilan tasaisuus. Lämpötilan vaihtelu tulisi pitää mahdollisimman pienenä, mielellään +/- 0.5 °C ja maksimissaan +/-2 °C.

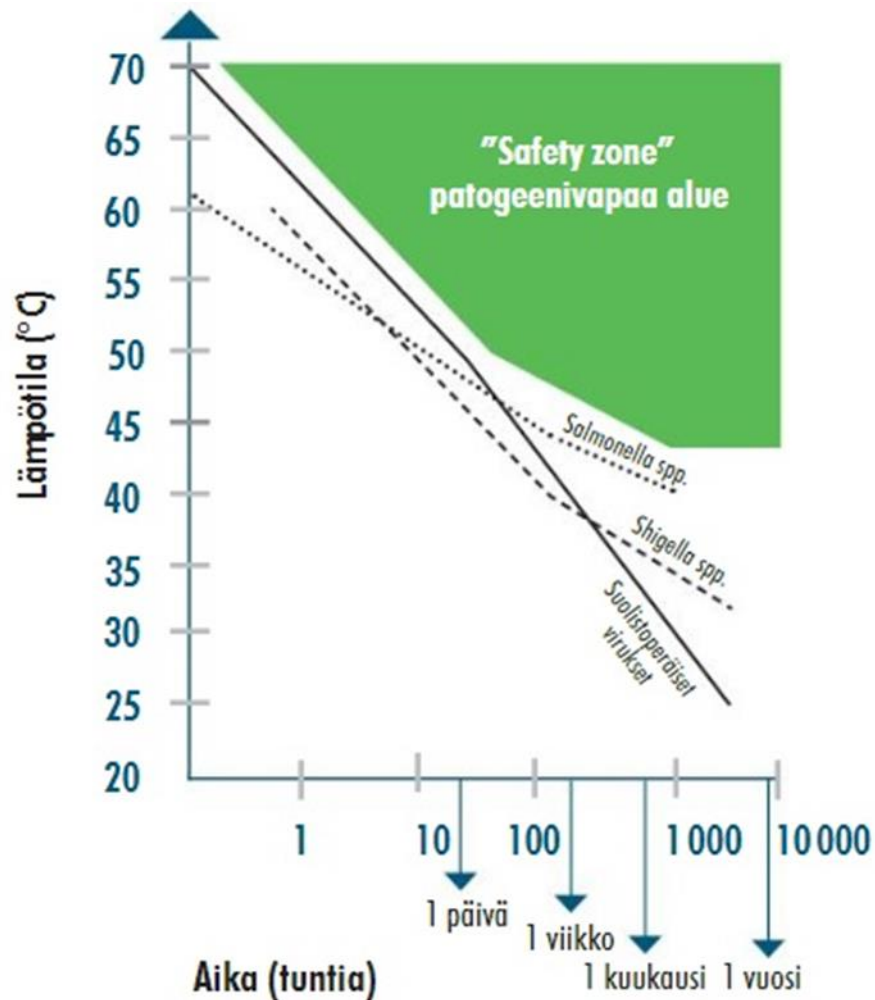


Kuva 3. Metanogeenien kasvunopeus eri lämpötiloissa. (Kymäläinen M, 2015)

Biokaasua tuottavat metanogeenit ovat mikrobeja herkempiä lämpötilavaihtelulle, joista termofiiliset metanogeenit ovat vielä mesofiilisiä herkempiä vaikkakin kasvunopeus on suurempi. Termofiilisessä prosessissa syötteen hajoaminen on nopeampaa ja siten viipymä lyhyempi, mutta hallinta tarkempaa ja vaatii enemmän lämmitystä. Termofiilinen prosessi on myös selvästi mesofiilistä prosessia tehokkaampi hygienisoija, mikä on hyvin tärkeää erillisiä jätteitä käsittelevissä biokaasulaitoksissa tai tiloilla, jotka luovuttavat tuotetta tilan ulkopuolelle, jolloin hygienisointi on

pakollista. Hygienisointikäsitteily tarkoittaa lämpökäsittelyä hygienisointiyksikössä alle 12 mm palakoossa tunnin ajan vähintään 70 asteen lämpötilassa.

(Kymäläinen, 2015)



Patogeenien tuhoutuminen lämpötilan ja ajan funktiona. Kuvio mukaeltu lähteestä Car-rington, 2001.

Kuva 4. Hygienisointiin tarvittava aika suhteessa lämpötilaan. (Kymäläinen, 2015)

Jokaisessa biokaasulaitoksessa on yleisesti ottaen tietyt pääprosessit mit-takaavasta ja tuotantomenetelmästä riippumatta. Usein syöte varastoi-daan kullekin materiaalille soveltuvaan varastoon ennen varsinaista bio-kaasureaktoria, jossa voidaan tehdä tietynlaisia esikäsitteilyjä. Reaktorin jälkeen mädätysjäännös menee varastoon tai jälkikaasualtaaseen, josta taas jäännös siirretään varsinaiseen varastoon tai suoraan jatkokäyttöön. Useissa laitoksissa mädätysjäännöstä halutaan kehittää tehokkaammin hyödynnettävään muotoon. Kuivaprosessissa yleisin toimintatapa on mä-dätysjäännöksen sekoittaminen multa ja sen kompostoiminen.

Märkäprosessissa yleisin tekniikka on kuiva- ja nestejakeen erottaminen toisistaan, jolloin mädätysjäännöksen hyödyntäminen jatkossa tehostuu.

Biokaasutuottoprosessit toimivat yleisesti joko märkä- tai kuivaprosesseina. Märkäprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 5-12% mutta maksimissaan 15%. Kuivaprosessissa maksimi kuiva-ainepitoisuus on noin 45% mutta yleensä 30-40% eli biokaasun synnyttävä biologinen mikrobitoiminta tarvitsee paljon kosteutta. Kuivaprosesseja on sekä panostoimisia että jatkuvatoimisia kun taas märkäprosessit ovat jatkuvatoimisia. (Willman, 2012)

3.2 Märkäprosessi

Biokaasuprosesseista tällä hetkellä suosituin on jatkuvatoiminen märkäprosessi, jota sekoitetaan jatkuvasti. Kuiva-ainepitoisuudeltaan maksimissaan 15 % syöte pystytään pumppaamaan reaktoriin sisään ja sieltä ulos sekä jatkuva mekaaninen sekoittaminen varmistaa reaktorimassan tasaisen laadun. Jatkuvatoimisuus taas tarkoittaa, että syötettä pumpataan reaktoriin ja sieltä pois tasaisin väliajoin, jolloin biokaasun tuotto pysyy mahdollisimman tasaisena.

Syötettä on helppo säädellä lisäämällä kuivia syöttömateriaaleja joko erillisellä syöttölaitteella tai sekoittamalla kuiva materiaali syötteeseen ennen reaktoriin pumppaamista. Märkäprosessi pystytään mahdollistamaan laimentamalla kuivaa syöttömateriaalia jollakin saatavilla olevalla nesteellä kuten mädätysjäännöksestä erotetulla nesteellä tai siitä puhdistetulla prosessivedellä, tosin tämä ei ole kannattavaa pienemmissä mittakaavoissa.

Jatkuvatoimisen märkäprosessin reaktori on yleensä sylinterimäinen ja sitä sekoitetaan lapasekoittimilla tai vastaavilla tai jopa kaasusekoituksella, jossa biokaasua hyödynnetään pumppaamalla kaasua reaktorin pohjaan asennetuista venttiileistä, mikä sekoittaa reaktorin massaa. Sekoituksen tarkoitus on varmistaa, että massa pysyy tasalaatuisena, tasalämpöisenä sekä varmistaa hyvä kontakti mikrobiston ja syötemateriaalin välillä. Tämä varmistaa, että muodostuva biokaasu vapautuu reaktorin yläosan kaasutilaan ja että syöttömateriaalit hajoavat halutusti.

Lämpötilaa pidetään halutulla tasolla yleensä hyödyntämällä laitoksen itse tuottamaa lämpöenergiaa kierrättämällä lämmitettyä vettä reaktorin vai-passa tai erillisissä putkissa. Lämpöä voidaan kierrättää myös ottamalla talteen mädätysjäännöksen lämpöä lämmönvaihtimilla ja ohjaamalla se takaisin reaktoriin tai reaktorin syöttöön.

Prosessin orgaaninen kuormitus ja viipymä riippuvat syöttömateriaalin hajoamisnopeudesta. Lantaa käsittelevien reaktorien viipymä on yleensä 20-30 vuorokautta ja kasvien usein 30 vuorokautta tai yli. Jatkuvan sekoituksen seurauksena syntyy ns. oikovirtausta, jossa juuri syötetty ja kauemmin viipynyt materiaali sekoittuvat ja tätä myötä myös keskimääräistä

viipymää lyhyemmän aikaa reaktorissa ollutta materiaalia poistuu prosessista. Tämä täytyy ottaa huomioon laitoksen mitoituksessa, koska liian pieni reaktori ja siten liian lyhyt viipymä vähentävät toiminnan tehoa, koska suurempi osa syöttömateriaalista ei ehdi hajota riittävästi, jolloin menetetään biokaasuntuottopotentiaalia ja saadaan huonompilaatuista mädätysjäännöstä. (Willman, 2012)

3.3 Yksi- ja kaksivaiheinen prosessi

Suurin osa biokaasulaitoksista on yksivaiheisia, eli laitoksessa on yksi biokaasureaktori, jossa suurin osa raaka-aineiden hajoamisesta ja biokaasun tuotannosta tapahtuu. Kaksivaiheinen prosessi tarkoittaa, että varsinaisen reaktorin jälkeen mädätysjäännös menee jälkikaasualtaaseen, jossa kerätään reaktorin jäännöksestä edelleen muodostuva biokaasu hallitusti talteen ja hyödynnetään yhdessä reaktorikaasun kanssa. Jos mädätysjäännös johdetaan vain avoimeen altaaseen reaktorin jälkeen, se tuottaa vielä metaania, joka voi pilata laitoksen ympäristövaikutukset. Jälkikaasuallasta suositellaan jokaiseen jatkuvatoimiseen laitokseen.

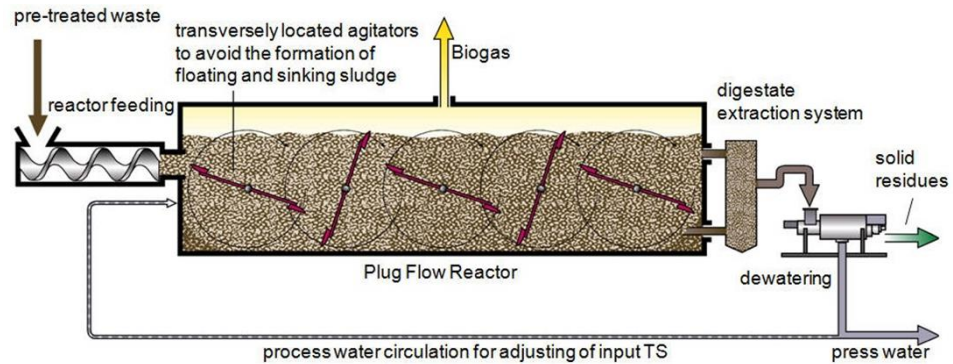
Varsinainen kaksivaiheinen prosessi taas tarkoittaa, että prosessi optimoidaan niin että hajoamisen eri vaiheet tapahtuvat erillisissä reaktoreissa niille optimaalisissa olosuhteissa. Kaksivaiheiset prosessit eivät ole yleistyneet, koska ne vaativat lisääntyvän automatiikan, massojen siirtojen sekä vieläkin tarkempaa operointia onnistumisen takaamiseksi. Yksivaiheinen on helpompi ja kustannuksiltaan edullisempi eivätkä saadut hyödyt ole olleet riittäviä.

(Willman, 2012)

3.4 Kuivaprosessi

Kuivaprosesseissa reaktorit täytyy mitoittaa suuremmiksi, koska syötteen on lisättävä merkittävässä määrin jo kertaalleen prosessin läpikäynyttä mädätysjäännöstä tai siitä suodattuvaa nestettä tai erotettua nestettä mikrobiympiksi prosessin käynnistämiseen.

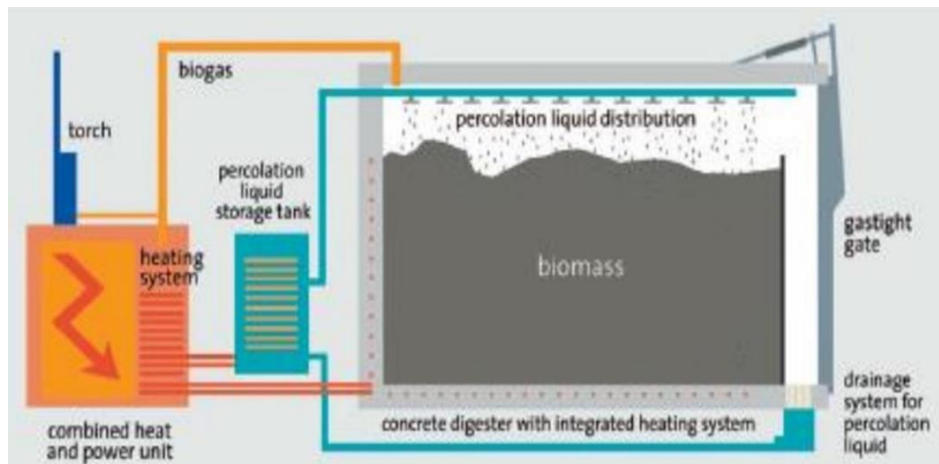
Jatkuvatoiminen kuivaprosessi toteutetaan yleensä sylinterimäisellä vaakatasossa makaavalla reaktorilla, jossa materiaalin liikkuvuus perustuu tulppavirtaukseen, jossa syöttö tapahtuu toisesta päästä ja mädätysjäännös tyhjennetään reaktorin toisesta päästä. (Willman, 2012)



Kuva 5. Esimerkki jatkuvatoimisesta kuivaprosessista. (enermac.com)

Jatkuvatoimisen kuivaprosessin mädätysjäännös voi olla lietemäistä eikä pysy kasalla, jolloin mädätysjäännös on sellaisenaan soveltumatonta lannoitekäyttöön, koska se ei sovellu markkinoilla oleville lietelannan tai kuivalannan levityslaitteille. Sekoitusvaikeuksien vuoksi se voi olla myös epätasalaatuista, vaihtelevasti hajonnutta sekä hankalasti varastoitavaa, joten jatkokäsittely on välttämätöntä. Mädätysjäännös on joko mekaanisesti separoitava kuiva- ja nestejakeeseen tai sekoitettava tukiaineeseen ja jälki-kompostoitava, jolloin lopputuote on kompostia eikä vastaa ominaisuuksiltaan biokaasuprosessin jäännöstä. Kompostoinnissa menee helposti hukkaan arvokasta tyypeä. Jatkuvatoimiset kuivaprosessit ovat yleisimpiä yhdyskuntien biojätteiden ja vastaavien materiaalien käsittelyssä suurissa laitoksissa.

Panostoimisessa kuivaprosessissa taas reaktori täytetään, suljetaan ja jätetään hajoamaan halutuksi ajaksi tuottamaan kaasua, joka vähitellen lisääntyy ja loppuaikaa kohden vähentyen, kunnes reaktori lopuksi tyhjenetään täysin ja aloitetaan alusta. Tässäkin prosessissa on syöttömateriaaliin lisättävä aiempaa mädätysjäännöstä ympiksi. Prosessissa voidaan myös hyödyntää massan läpi suodattuvaa nestettä keräämällä neste ja sumuttamalla se panosmassan päälle, jolloin kierrätetään mikrobistoa, sekä säädetään prosessin kosteustasapainoa, hajoamista ja kaasuntuottoa. Panostoimisten reaktorien epätasaista kaasuntuottoa voidaan tasata useammalla panosreaktorilla, jolloin eri asteissa olevat reaktorit tasaavat kaasuntuotantoa.



Kuva 6. Esimerkki panostoimisesta kuivaprosessista. (Willman T. 2012)

Panosprosesseja on pidetty tehottomina eivätkä ne ole vielä yleistyneet. Hajoamisprosessia on myös vaikeampi hallita ja kuten jatkuvatoimisessa-kin prosessissa on mädätysjäännös toisinaan heikosti hajonnutta ja epäta-salaatuista, joten kompostointi on myös suositeltavaa, jolloin osa biokaa-suprosessin hyödystä menee hukkaan ja aiheutetaan haitallisia ammoni-akkipäästöjä. (Willman, 2012)

4 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työn suunnittelumallin porsastuotantotilan tiedot perustuvat tuotannossa olevan porsastuotantotilan edellisvuosien toteutuneisiin tietoihin. Työn suunnittelumallin tiedot perustuvat opinnäytetyön kirjoituksen hetkellä oleviin toteutuneisiin tietoihin ja tarjouksiin, joten jatkossa tiedot voivat muuttua.

Suunnittelumallin porsastuotantotilalla on 1100 emakkopaikkaa. Tila sisältää porsastuotantotilat sekä välikasvatustilat. Porsastuotantotila koostuu neljästä kokonaisuudesta; porsitus-, siemennys- joutilas- sekä välikasvatustuosastoista. Tilalla kasvatetaan kaikki vieroitetut porsaas noin kolmenkymmenen kilon painoon asti, jolloin ne lähtevät välitykseen lihasikatiiloille. Porsastuotantotila tuottaa keskiarvoltaan 31 vieroitettua porsasta per emakko vuodessa. Tilalta lähtee porsaita välitykseen noin 33 000 kappaletta per vuosi.

Porsastuotannon sivutuotteena syntyy lietelantaa tai kuivikelantaa. Suunnittelumallin tilalla syntyvä lanta on lietelantaa. Tilalla syntyvän lietelannan määrä on noin 15 000 m³ vuodessa. Tila sijaitsee alueella, jossa kotieläimiä on paljon ja viljelijöillä on lantaa saatavilla, jolloin myös viljelijöiden maksuhalu lantaa kohden on hyvin alhainen.

Taulukko 2. Taulukosta näkee ympäristöministeriön ohjetilavuudet lannanvarastointiin m³/eläinpaikka vuodessa, huomioimatta sadevettä.

Eläin	Lantatyyppi	Lantamäärä m ³ /eläin/a (ilman sadevettä)
Lihasika	Lietelanta	2,4
	Kuivikelanta	3,8
Emakko ja porsaas	Lietelanta	9,3
	Kuivikelanta	13,4
Joutilas emakko	Lietelanta	3,9
	Kuivikelanta	6,1
Karju	Lietelanta	4,9
	Kuivikelanta	7,6

Porsastuotantotilan sähköenergia hankitaan valtakunnan verkosta, sekä tilalla on varavoimageneraattori häiriötilanteita varten. Sähköenergiaa käytäviä kohteita tilalla on muun muassa ilmanvaihto, valaistus, ruokintajärjestelmät sekä yleinen rakennustekniikka.

Tilan tarvitsema lämpöenergia tuotetaan kahdella öljykattilalla. Lämpöenergiaa tuotetaan siis käyttäen fossiilisia polttoaineita. Tilalla eniten lämpöenergiaa tarvitsevat osastot ovat porsitusosastot sekä välikasvatusosastot.

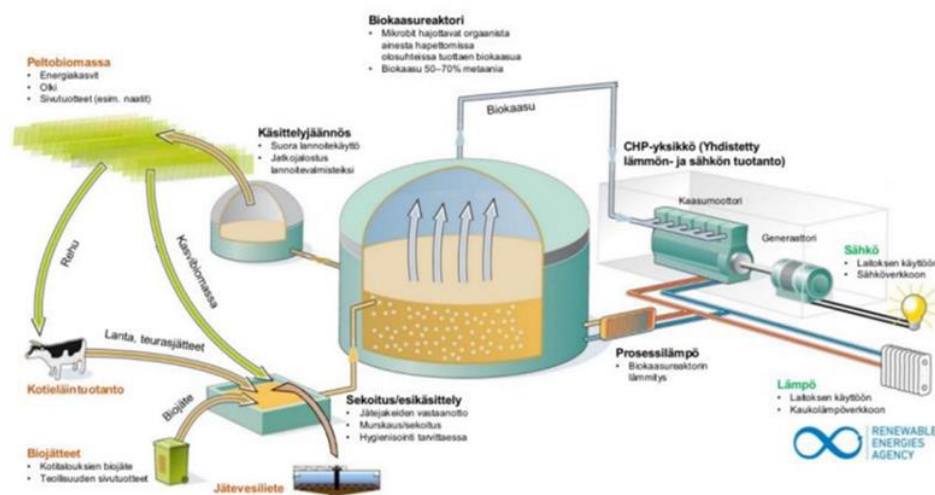
Taulukko 3. Esimerkkitalan toteutuneet energiankulutukset vuosina 2013-2016.

Taulukko toteutuneista energiankulutuksista vuosina 2013-2016					
Vuosi		2013	2014	2015	2016
Polttoöljy	Litra	74282	61092	80900	62000
Sähkö	kWh	550014	539812	533711	507046
Keskiarvo vuosilta 2013-2016					
Polttoöljy	Litra	69569			
Lämmitys	kWh	695690			
Sähkö	kWh	532646			

5 BIOKAASULAITOS ESIMERKKITILALLA

5.1 Biokaasulaitoksen toimintaperiaate

Pohjatietoihin perustuen tämän työn suunnittelumalliin valikoitui jatkuva-toiminen, kaksivaiheinen, märkämädätteenen laitoskokonaisuus. Laitoskokonaisuus valikoitui syötemateriaalin eli lietelannan ja sen tasaisen syntyyvirran vuoksi. Märkämädätteenen laitoskokonaisuus käyttää pääasiassa liettemäisiä syöttömateriaaleja, joiden kuiva-ainepitoisuus on maksimissaan 15 %. Biokaasuprosessi on mesofiilinen, jolloin operointilämpötila on n. 35-38 °C, mikrobien optimilämpötilojen alueella. Biokaasun syntyprosessi on kerrattu tässä työssä aiemmin. Metaani on biokaasulaitoksessa syntyvää energiaa, jota biokaasu sisältää noin 60-65 %. Biomassan viipymäaika reaktorissa on 21-33 päivää, riippuen käytettävistä massoista. Lietelannalla viipymäaikana pidetään noin 30-33 päivää. Reaktoriin syötetään ja poistetaan biomassaa jatkuvasti, jolloin saadaan mahdollisimman tasainen biokaasuntuotto, jatkuvatoiminen prosessi. Syöttöjen yhteydessä reaktorista poistetaan mädätysjännös, jolloin saadaan reaktorissa olevan massan tilavuus pysymään vakiona. Laitostyyppin valinta muodostui pääbiomassan, porsastuotannon sivutuotteena syntyvän lietelannan mukaan. (Luostarinen, 2015, s.84; Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala, 2007, s.31)



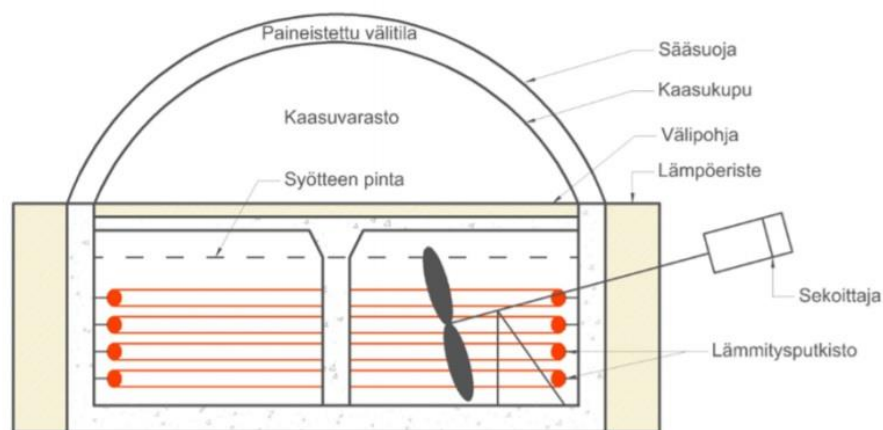
Kuva 7. Biokaasulaitoksen toimintaperiaate.

Lietelanta syntyy siis tuotantotiloissa, joista se ajetaan varastointi-/esikäsittelyaltaaseen. Käytettäessä lietelantaa laitoksen biomassana, ei sitä tarvitse yleensä esikäsittää ennen biokaasuprosessia. Mikäli laitoksessa käsiteltäessä lisäksi myös esimerkiksi peltobiomassoja eli kuivia biomassoja, esikäsittelyvaiheessa on välttämätöntä käyttää murskausta. Kuivia biomassoja hienontamalla taataan laitoskokonaisuuden toiminta, sekä se edesauttaa massojen hajoamista prosessissa. Kuivia biomassoja käytetään tehostamaan laitoksen energiantuotantoa. Murskaukseen on olemassa

asennettavia koneistoja, tai maatilamittakaavalla kuivan biomassan voi hienontaa, vaikka apevaunun avulla. Tässä työssä käsitellään laitospoko-naisuutta, jonka biomassana toimii lietelanta. Esikäsittelyaltaassa liete-lanta sekoitetaan ennen syöttämistä reaktorille, tasalaadun varmistamiseksi. (Luostarinen, 2015, s.48)

Esikäsittelyaltaasta lietelanta pumpataan biokaasureaktorille. Biokaasureaktorissa muodostuu syötteiden anaerobinen hajoaminen, jonka lopputuloksena syntyy biokaasua ja jäljelle jää hajoamatonta ainesta, mädätysjäännöstä. (Kymäläinen, 2015, s.59)

Biokaasureaktori on teräksinen tai betoninen säiliö, joka voidaan rakennuttaa niin maan päälle, kuin osittain sen alle. Reaktori on yleensä peitetty kahdella ilmatiiviillä kalvolla. Ylempi kalvo toimii sääsuojana ja alemman kalvon alapuolella oleva tila kaasuvälikamari. Reaktori tulee lämpöeristää ulkosivuilta. Reaktoriin voidaan rakennuttaa mädätysaltaan ja kaasuvälikamariin eristävä välikamari, jolla kyetään ylläpitämään syötteiden lämpötilaa. Eristävä välikamari ei kuitenkaan saa estää biokaasun nousemista kaasuvälikamariin. Välikamariin puhalletaan ilmaa, joka tuottaa ylipaineen kalvojen väliin. Yleisemmin isomman kokoluokan reaktoreissa kyseinen ilma-tila riittää yläpohjan eristeeksi. (Motiva, 2013, s.15)



Kuva 8. Biokaasureaktorin leikkauskuva (Haverinen, 2014)

Syötemassan lämmitykseen käytetään lämminvesiputkistoa, joka asennetaan reaktorin sisäseinämille sekä pohjavaluun. Syötemassan tasaisen lämmön ja laadun takaamiseksi tarvitaan sekoitusta. Sekoitus voidaan toteuttaa eri sekoitusmenetelmin, mutta yleisempänä pidetään pysty- tai sivusuunnassa asennettavaa lapasekoitinta. Syötemassan sekoittaminen edistää myös kaasunmuodostamista ja biokaasun nousemista reaktorissa. (Haverinen, 2014, s.4)

Reaktorista mädätysjäännös syötetään katettuun jälkikaasualtaaseen. Lämpöhävikin pienentämiseksi reaktorista tuleva mädätysjäännös kulkee lämmönvaihtimen läpi. Lämmönvaihtimella kerätään poistuvasta jäännöksestä lämpöä, joka siirretään esikäsitteilyaltaasta tulevan syötteen esilämmitykseen.

Reaktorista poistuva jäännösmassa sisältää hajoavaa orgaanista ainesta, joka muodostaa vielä biokaasua, niin sanottua jälkikaasua. Jälkikaasusallasta mahdollistaa tämän kaasun talteen otton. Maatiloilla jälkikaasualtaassa jäännöksestä syntyvä biokaasun osuus voi olla 15-20 %. Jälkikaasualtaasta suositellaan käytettäväksi kaikissa jatkuvatoimisissa laitoksissa. Mikäli jälkikaasualtaasta ei ole ja johdetaan reaktorista poistuva mädätysjäännös suoraan kätteettomaan altaaseen, tuottaa se vielä metaania, jolloin hukataan osa laitoksen positiivisista ympäristövaikutuksista ja metaanienergiasta. (Haverinen, 2014, s.4)

Jälkikaasuallas on rakenteeltaan reaktorin kaltainen katettu ilmatiivis allas, jossa säiliön yläpuolella oleva kalvon sisäpuoli toimii kaasuvarastona. Jälkikaasuallas on eristämätön ja jatkuva sekoitteinen.

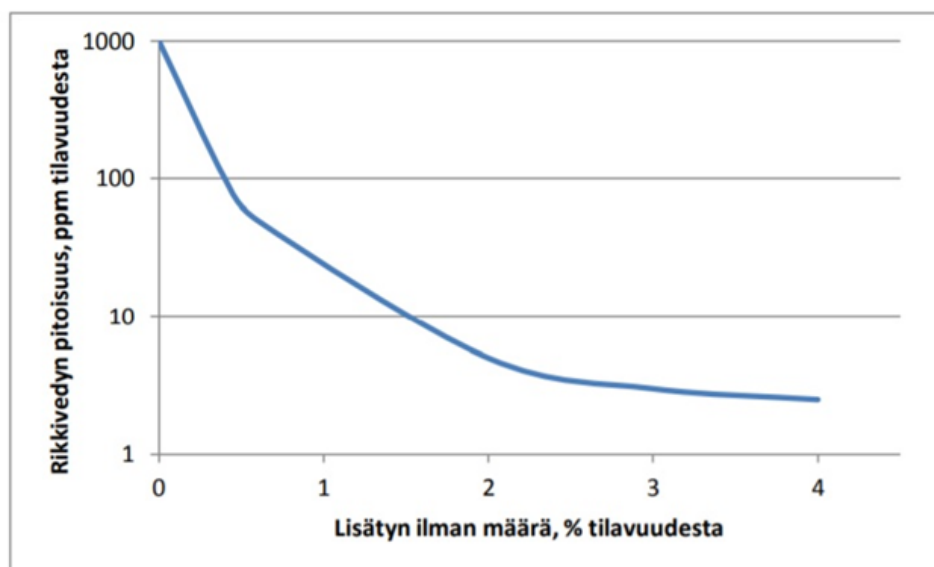
Jälkikaasualtaasta jäännösmassa syötetään erotteluprosessiin. Erotteluprosessin tehtävänä on erotella jäännösmassasta kuiva- ja nestejake erilleen. Erotteluprosessi toteutetaan mekaanisesti, separointijärjestelmän avulla. Erotteluprosessista syntyvien jakeiden ominaisuuksia ja käyttökohteita käsitellään myöhemmin tässä työssä. Separattorilta kuivajake siirretään kuljetinta pitkin kuivajake varastoon ja nestejake pumpataan putkea pitkin nestejakeen varastoaltaaseen. Nestejakeesta käytetään yleisemmin nimitystä rejektivesi. Erotteluprosessissa syntyviä jakeita kyettäisiin jatkokäsittelyä varten erilaisin menetelmin. Tässä työssä ei keskitytä jatkokäsittelymahdollisuuksiin. (Paavola, 2015, s.99)

Sähköntuotantoon, lämmöntuotantoon, liikennepolttoainetuotantoon sekä muihin tarkoituksiin hyödynnettävä biokaasu on normaaliolosuhteissa puhdistettava. Biokaasu sisältää epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa ongelmia energiantuotantolaitteissa ja tuottavat haitallisia päästöjä.

Raakakaasu sisältää aina vesihöyryä sekä rikkivetyä, jotka muodostavat yhdessä rikkihappoa. Prosessissa puhdistetaan aina vähintään tämä yhdiste. Puhdistusprosessi toteutetaan yleensä käsittelyketjun eri vaiheissa eikä yksittäisellä puhdistuslaitoksella. Toteutettava puhdistusteknologia tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti, perustuen käytettäviin laitekoneistuksiin sekä raakakaasun koostumukseen. (Lampinen, 2015, s.132)

Tässä työssä rikinpoisto on suunniteltu toteutettavaksi biologisesti. Biologisessa rikinpoistossa reaktoriin syötetään pieni määrä ilmaa. Syötettävä ilma tuottaa prosessin, jossa SulFOBakter oxydans –bakteeri hapettaa rikkivedyn alkuainerikiksi, joka poistuu mädätysjäännöksen mukana reaktorista. Biologisessa rikinpoistossa haasteena on liiallinen hapen syöttö, joka

heikentää reaktorissa syntyvää hajotusprosessia. (Leikas, 2015; Motiva 2013)

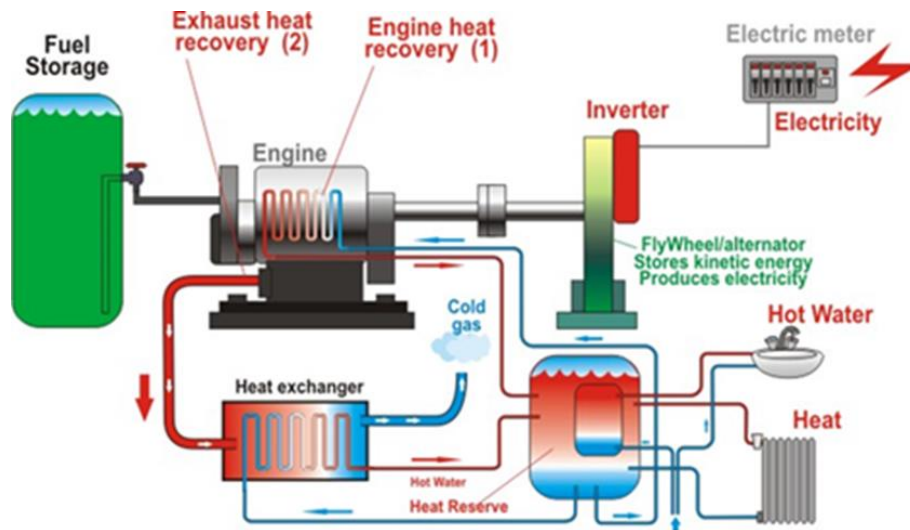


Kuva 9. Rikkivedyn pitoisuus suhteessa lisätyn ilman määrään. (Leikas, 2015)

Yleisemmin biokaasulaitoksissa, jotka käyttävät puhdistusmenetelmänä biologista rikinpoistoa, syötetään 1-3 % happea, riippuen laitevalmistajien vaatimuksista. (Motiva, 2013)

Biokaasureaktorista sekä jälkikaasutusaltaasta muodostunut puhdistettu biokaasu syötetään energiantuotantoon. Tässä työssä biokaasusta tuotetaan lämpö- ja sähköenergiaa. Biokaasu saadaan muutettua sähkö- ja lämpöenergiaksi CHP (combined heat and power) -yksikön avulla.

Yleisimmin käytettäviä teknisiä ratkaisuja ovat biokaasusta voimansa saavat kaasukäyttöiset polttomoottorit tai kaasukäyttöisiksi muunnetut dieselmoottorit. Biokaasusta voimansa saava moottori pyörittää sähköverkkoon tahdistettua generaattoria. CHP-yksikön toiminta perustuu siis polttomoottorilla pyöritettävään generaattoriin. Generaattori tuottaa sähköenergiaa. Lämpöenergiaa saadaan tuotettua keräämällä generaattoria pyörittävästä polttomoottorin jäähdytysvedestä, pakokaasuista pakokaasukattilan avulla, sekä pakosarjoista lämmönvaihtimen avulla lämpö talteen.



Kuva 10. CHP-Yksikön toimintaperiaate

CHP-yksikköä käytettäessä hyötysuhteet ovat sähköllä noin 25-35 % ja lämmöllä noin 50 %. Yhteishyötysuhteissa voidaan siis päästä 85 %. Lämmön- ja sähkön tuotannossa kyetään tuottamaan kaksinkertaisesti lämpöä suhteessa sähköntuotantoon, mutta yleisenä kaavana pidetään, että yhtä monta kilowattia kyetään lämpö- ja sähköenergiasta hyödyntämään laitoksen ulkopuolella. Tämä perustuu syötemassan lämmittämiseen ja reaktorissa olevan lämpötilan ylläpitämiseen tarvittavan merkittävän lämpöenergian kattamiseen. (Motiva, 2013)

CHP-yksikön tuottaessa lämpöenergiaa, kun lämpöenergiankulutus on tuotantoa pienempää, tarvitaan nesteen jäähdytystä. Nesteen jäähdytys kyetään toteuttamaan kuivajähdytyksenä, tai märkäjähdytyksenä. Kuivajähdytys perustuu lämmönvaihtimen läpi puhallettavaan ilmaan, jolloin vaihtimessa kiertävä neste jäähtyy. Märkäjähdytyksessä taas sumutetaan vettä kennorakenteisen vaihtimen päälle, jolloin vesi haihtuessaan sitoo lämpöä mukanaan. Työn laitossuunnitelmassa käytetään nesteen kuivajähdytystä. (Tenhunen, 2014, s.32)

Biokaasulaitoksessa on varauduttava metaanikaasun hävittämiseen. Seisokeissa, vikatilanteissa tms. kun kaasun kulutusta ei ole, täytyy laitoksessa olla varajärjestelmä kaasun hävittämiseen, varastokapasiteettien lisäksi. Kaasua ei saa päästä sellaisenaan suoraan ympäristöön metaanin kasvihuonekaasuvaikutuksen takia. Kaasun hävittämiseen käytetään soihtupoltinta. Metaanikaasu poltetaan soihtupolttimessa, jolloin vältytään metaanin päästöiltä. Soihtupolttamisessa muodostuu yleensä vähäisiä hajupäästöjä kaasun rikkipitoisuuden takia, jonka vuoksi kaasun soihtuttaminen pyritään minimoimaan. (Tammisto, 2014, s.9)

5.2 Biokaasulaitoksen mitoittaminen

Porsastuotantotiloista syntyy vuositasolla noin 15 000 m³ lietettä. Suunnittelumallin biokaasulaitoksessa lietalannan viipymäaikana pidetään 30-33 päivää. Vuositasolla, jotta saadaan 15 000 m³ lietalantaa käsiteltyä, täytyy reaktori mitoittaa sopivaksi. Reaktori kyetään mitoittamaan, kun tiedetään syntyvä lietemäärä ja viipymäaika reaktorissa. Vuotuinen lietemäärä (15 000 m³) jaetaan vuodessa olevien päivien lukumäärällä (365), jolloin saadaan vuorokaudessa liikkuvan lietteen määrä.

$$15000 \text{ m}^3 / 365 \text{ d} = 41,1 \text{ m}^3/\text{d}$$

Vuorokaudessa liikkuu siis 41,1 m³ lietettä. Kun tiedetään vuorokaudessa reaktoriin siirtyvän lietteen määrä, kerrotaan se lietteen viipymäajalla.

$$41,1 \text{ m}^3/\text{d} \times 33 \text{ d} = 1356 \text{ m}^3$$

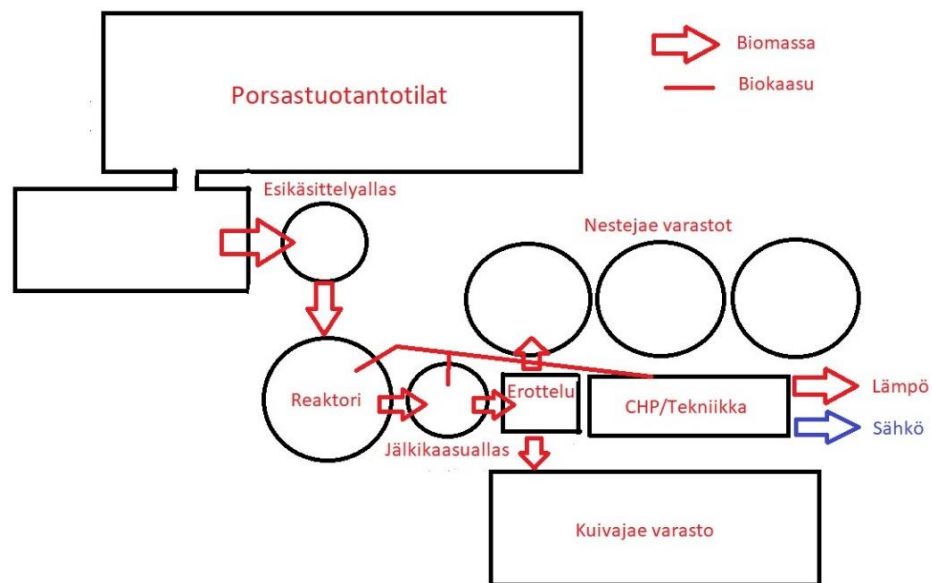
Näin ollen reaktorin tulee olla vähintään 1356 m³, mikäli pidetään lietteen viipymäaikana 33 päivää ja käsiteltävää lietettä 15 000 m³ vuodessa. Reaktorin kokoa mietittäessä on hyvä huomioida myös rakennekokonaisuus, mahdolliset erilaiset muutokset toiminnassa sekä tilan tulevaisuuden näkymät. Suunnittelumallin reaktori tulee olemaan tilavuudeltaan tämän laskelman pohjalta 1500 m³.

Jälkikaasutusaltaan mitoitus tapahtuu vastaavalla tavalla.

$$41,1 \text{ m}^3/\text{d} \times 21 \text{ d} = 863 \text{ m}^3$$

Kun viipymäaikana pidetään 21 päivää, vaaditaan jälkikaasualtaalta 1000 m³ tilavuutta.

5.3 Biokaasulaitoksen rakennekokonaisuus



Kuva 11. Suunnitelumallin laitoskokonaisuus

Yllä olevassa kuvassa näkee suunnitelumallin biokaasulaitoksen rakennekokonaisuuden. Kuva on laitoskokonaisuutta kuvaava kuva, jonka mittasuhteet eivät täsmää todellisuuteen.

Suunnitelumallin laitoskokonaisuudessa esikäsittelyallas on tilavuudeltaan 1200 m^3 , joka toimii reaktorin puskurina, sekä on mitoitettu biokaasulaitoksen vikatilanteet huomioon ottaen. Suunnitelumallissa esikäsittelyaltaana käytetään tilalla olevaa lietelantataa, muut varastotilat ajatellaan investoitavaksi. Reaktorin tilavuus on 1500 m^3 , jälkikaasualtaan 1000 m^3 . Nestejakeen varastoaltaita on kolme kappaletta, jokainen tilavuudeltaan 3000 m^3 , sekä katettuja. Kuivajaevarastona toimii katettu asfalttikenttä, joka ympäröidään nesteeneräysputkistolla, mahdollisen irtoavan nesteosan keräämiseksi talteen. Näin saadaan tuotantotilojen kuilukapasiteetti ja kuivajaevarasto mukaan luettuna varastoitua 12 kuukauden, eli vuoden lannat tarvittaessa.

5.4 Raaka-aine ja mädätysjäännös

Lietelantaa käsiteltäessä katseet kohdistuvat useimmiten kahteen pääarvinteeseen, typpeen ja fosforiin. Typpi on useimmille kasveille keskeisin satoon vaikuttava ravinne. Lannat sisältävät orgaanista ja epäorgaanista eli liukoista typpeä. Orgaaninen typpi on eloperäiseen ainekseen sitoutunut, joka vapautuu yleensä hitaasti. Olosuhteista riippuen orgaaninen typpi mineralisoituu ajan mittaan, pieneliötoiminnan aikaansaannoksena. Jotta typpi on kasveille käyttökelpoisessa muodossa, tulee sen olla

liukoisen typen muodossa. Väkilannoitteissa typpi on epäorgaanisessa, eli liukoisessa olomuodossa. Sian lietelanta käsittelemättömänä sisältää taulukon mukaan orgaanista typpeä noin 1,2 kg/t ja liukoista typpeä noin 2,2 kg/t. (Virtanen, 2017)

Taulukko 4. Ympäristöministeriön taulukkoarvot eri lantalajeille.

LANTALAJI	Kok. N kg/m ³		
	Kok. P kg/m ³	Liuk. N kg/m ³	Kok. N kg/m ³
Naudan kuivikelanta	1,0	1,1	4,0
Naudan lietelanta	0,5	1,7	2,9
Naudan virtsa	0,1	1,5	2,5
Sian kuivikelanta	2,8	1,2	4,6
Sian lietelanta	0,8	2,2	3,4
Sian virtsa	0,2	1,3	2,0
Lampaan ja vuohen	1,3	1,0	4,9
Hevosen kuivikelanta	0,5	0,4	2,6
Kanan kuivikelanta	5,6	4,2	9,4
Broilerin kuivikelanta	3,6	2,7	8,7
Kalkkunan kuivikelanta	4,4	3,2	8,0
Ketun kuivikelanta	12,3	2,1	8,2
Minkin kuivikelanta*	16,5	1,4	5,0

Fosfori on tärkeä ravinne kasveille, mutta useimmiten rajoittava tekijä lietelannan käytössä. Korkeat fosforipitoisuudet pelloilla rajoittavat lietelannan käyttöä, joten lietelantaa joudutaan kускаamaan paikoitellen pitkiäkin matkoja. Sian lietelanta sisältää fosforia taulukon mukaan noin 0,8 kg/t.

Tässä työssä mädätysjännös suunnitellaan käytettäväksi pelloilla kasvilannoitteena. Biokaasuprosessissa muodostuu aina biokaasun lisäksi myös mädätysjännöstä. Mädätysjännös koostuu biokaasulaitokseen syötetyistä raaka-aineista. Biokaasuprosessissa kuiva-ainetta muuntuu ja hajoaa biokaasuksi. Märkäprosessoinnissa vettä on reaktorin kokonaismassasta vähintään 85 %, jolloin mädätysjännöstä syntyy karkeasti sama määrä kuin reaktoriin on syötettykin, vaikka osa kuiva-aineesta hajoaakin. Yleisesti ottaen mädätysjännöksen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuus on siis alhaisempi verrattuna laitoksen syötemateriaaliin. Syöttömateriaaliin verrattuna mädätysjännös on tasalaatuisempaa ja juoksevampaa, mikä parantaa sen käytettävyyttä lannoitekäytössä. Biokaasuprosessi myös tuhoaa taudin aiheuttajia ja rikkakasvin siemeniä, eli hygienisoi materiaaleja. (Paavola, 2015, s.94)

Biokaasulaitokseen syötettävien raaka-aineiden pää- ja hivenravinteet säilyvät prosessissa, jolloin laitoksesta tuleva mädätysjännös sisältää kaikki raaka-aineissa olevat ravinteet. Ravinteiden kokonaispitoisuus ei siis muutu prosessin edetessä, mutta anaerobisen hajoamisen yhteydessä tapahtuu ammonifikaatiota. Ammonifikaatio tarkoittaa typen liukoistumista, mineralisaatiota, eli osa raaka-aineiden orgaanisesta tyyppistä hajoaa

ammoniumtypeksi. Ammoniumtyppi on liukoista typpeä. Mineralisaation määrä riippuu monista tekijöistä, muun muassa raaka-aineista, prosessointiteknologiasta sekä viipymästä. (Paavola, 2015, s.95)

Taulukko 5. Luken tutkimus (Luke, 2016)

Taulukko 20. Laskentavaihtoehtojen massamäärät, energiasisältö ja -teho, syöteseoksen TS-pitoisuus sekä ravinnemäärät biokaasuprosessiin sisään (IN) ja ulos (OUT) (vertailuna alueen kaikki lannat).

Vaihtoehto	A) Sika	B) Sika+lisälannat	C) Sika+kasvibiomassa	Kaikki lannat
Massamäärä (t/a)	137 315	184 945	177 315	343 687
Energiasisältö (MWh/a)	45 000	53 900	80 100	80 380
Teho (MWh)	5,2	6,3	9,3	9,3
TS IN (%)	11,5	14,0	15,7	10,9
Nkok IN=OUT (t/a)	706	1 093	986	1 731
Pkok IN=OUT (t/a)	285	377	323	477
Nliuk IN (t/a)	366	444	368	750
Nliuk OUT (t/a)	498	607	638	996
Levityspinta-ala (12 kgP/ha*)	23 750	31 420	26 920	39 750

*Fosforin levitysmäärä on laskettu vuositasolla, koska 5 vuoden tarkastelujaksolla fosforin tasaustakin käytetäessä tämä hehtaarimäärä tarvitaan per vuosi.

Yllä oleva taulukko on Luken teettämästä tutkimuksesta. Taulukon vasemmassa reunassa näkyy sian lietteen mineralisaatio kyseisessä kokeessa. Raakalannassa liukoista typpeä on 52 % kokonaistypestä ja biokaasutuksen jälkeen 71 % kokonaistypestä, prosentuaalinen lisäys siten 36 % liukoisen typen määrässä.

Biokaasuprosessi nostaa käsiteltävän materiaalin pH:ta, joka lisää typen haihtumisriskiä. Mädätysjäännöksen varastoinnissa, sekä sitä hyödynnettäessä pelloilla lannoitteena, tuleekin kiinnittää huomioita, ettei hyviä ympäristövaikutuksia heikennetä loppuvaiheessa. Lannoitteena pelloille levitetäessä tulee mädätysjäännös mullata huolella, millä edesautetaan typen pysyminen maassa, kasvin hyödynnettävissä. Biokaasuprosessin on todettu myös poistavan hajua aiheuttavia yhdisteitä yli 90 %, jolloin hajuhaitoista aiheutuvia komplikaatioita pystytään välttämään. (Paavola, 2015, s.95)

Tässä työssä mädätysjäännöksen lopputuotteena erottelun jälkeen on kiviainevajae ja nestejäte. Erottelu suunniteltiin tehtäväksi mekaanisesti, separaattorin avulla.

Taulukko 6. Luken tutkimus (Luke, 2016)

Taulukko 13. Tarkastelussa käytetyn sian liettelannan ominaisuudet ennen varastointia ja varastoinnin jälkeen, sekä neste- ja kuivajakeiden ominaisuudet varastoinnin jälkeen. Varastoitujen massojen ominaisuuksissa on huomioitu varastoinnin aikaiset pitoisuusmuutokset.

	Lietelanta eläin- suojasta (perustilanne ja separointivaih- toehto)	Lietelanta lanta- varastosta (perustilanne)	Nestejäte lanta- varastosta (separointi- vaihtoehto)	Kuivajäte lanta- varastosta (separointi- vaihtoehto)
TS (%)	5,9	4,9	0,8	22,0
N (kg/t)	3,7	3,22	1,4	6,4
NH ₄ -N (kg/t)	2,4	2,09	1,1	2,8
P (kg/t)	1,0	0,96	0,05	4,3
K (kg/t)	1,7	1,57	1,1	1,1
C (kg/t)	28,1	23,3	4,0	104,7

Taulukosta käy ilmi tutkimuksessa mekaanisesti erotellun sian raakalielannan ravinnepitoisuudet. Ravinnepitoisuudet vaihtelevat tilakohtaisten ratkaisuiden välillä. Biokaasuprosessin läpi käynyt lietelanta eroaa typpipitoisuuksiltaan taulukon arvoihin nähden.

Erottelyn päätarkoituksena on jakaa mädätysjännös kahteen eri pääravinnelannoitteeseen, typpi- ja fosforilannoitteisiin. Nestejäte sisältää pääravinteena typpeä, mutta hyvin vähän fosforia, jolloin nestejätettä voidaan pitää typpilannoitteena. Kuivajäte taas sisältää fosforia huomattavasti enemmän, jolloin kuivajäkeestä saadaan fosforilannoitetta. Mikäli tilakokouksen läheisyydessä olevalla viljelymaalla on ylimäärä fosforia, mahdollistaa erottelu nestejätteen hyödyntämisen näillä mailla kuitenkin. Kuivajätettä kyetään hyödyntämään tehokkaammin fosforivajailta mailla, sekä erottelyn jälkeen sitä kyetään logistisesti kustannustehokkaammin ajattamaan myös pidempiä matkoja. Mädätysjännöksen hyödyntämiseen lannoitteena pätee samat määräykset kuin muihinkin lannoitteisiin.

Yhteenvedona biokaasuprosessin läpäissyt eroteltu mädätysjännös tuo seuraavia hyötyjä lannoitukseen verrattuna raakalielantaan;

- Typeä enemmän kasveille käyttökelpoisessa muodossa
- Hajuhaitat pienenevät
- Tasalaatuisempaa lannoitetta
- Typpi- ja fosforilannoite
- Ekologisempi ja taloudellisempi levitys

6 ENERGIAN TUOTTO

Suunnittelumallin tilalla syntyy vuositasolla 15 000 m³ lietelantaa. Sian lietalannan metaanintuottopotentiaali on 14-22 Nm³/1000kg. Potentiaaliin vaikuttaa merkittävästi muun muassa lannan ominaisuudet sekä käsittely- ja varastointitavat ennen prosessointia. Käytettäessä 16 m³ CH₄/tn tilalla syntyy vuositasolla 240 000 m³ metaania. 1 m³ metaania sisältää 10 kWh energiaa. Biokaasu sisältää 60-65 % metaania, jolloin käytettäessä 60 % tilalla syntyy vuositasolla 400 000 m³ biokaasua.

Lähde	Metaani, Nm ³ / 1 000 kg	Laatu
Jätevesiliete, esikuivattu	33 Nm ³	Jäte
Biojäte	123 Nm ³	Jäte
Teurastamojätteet	150 Nm ³	Jäte
Sian lietalanta	16 Nm ³	Jäte
Vihreä biomassa	52 Nm ³	Raaka-aine

Kuva 12. Metaanintuotto potentiaali eri massoilla (Biokaasun hyödyntämisen käsikirja)

Suunnittelumallin CHP-yksikön hyötysuhteena pidetään sähköntuotannossa 25-35 % ja lämmöntuotannossa noin 50 %. Sähköntuotannossa käytettäessä 30 % hyötysuhdetta, kyetään tilalla vuositasolla tuottamaan 720 000 kWh sähköä.

Energiasisältö
 1 m³ metaanikaasua = 10 kWh = 1 litra öljyä
 1 m³ biokaasua = 6 kWh
 1 m³ biokaasua = 1.8 kWh sähköä

Lämmöntuotannossa käytettäessä 50 % hyötysuhdetta, kyetään tilalla vuositasolla tuottamaan 1 200 000 kWh lämpöenergiaa.

Energiasisältö
 1 m³ metaanikaasua = 10 kWh = 1 litra öljyä
 1 m³ biokaasua = 6 kWh
 1 m³ biokaasua = 3 kWh lämpöä

Biokaasulaitoksen avulla kyetään tilalla syntyvästä lietalannasta tuottamaan 1 920 000 kWh = 1,92 GWh energiaa.

Suunnittelumallin biokaasulaitos itsessään tarvitsee lämpöenergiaa 440 000 kWh ja sähköenergiaa 155 000 kWh pyöriäkseen.

Taulukko 7. Energiantuotanto ja -kulutus biokaasulaitoksessa

	Sähkö	Lämpö
Vuotuinen tuotto kWh	720 000	1 200 000
Laitoksen tarvitsema	155 000	440 000
Energiaa käytettävissä kWh	565 000	760 000

Tällä laskelmalla biokaasulaitoksella tuotettua energiamäärää verrattaessa suunnittelumallin porsastuotantotilan toteutuneisiin energiankulutuksiin, kyettäisiin biokaasulaitoksen avulla tuottamaan tilan tarvitsema vuotuinen energiamäärä. Tarvittava energiamäärä kuitenkin vaihtelee radikaalisti, johtuen ulkolämpötilavaihteluista, eli lämpöenergian tarpeesta. Aivan talven huippupakkasilla laitoksen tuottama energiamäärä lietalantaa käyttämällä ei yksinään riitä. Energiamäärää voidaan talvella nostattaa käyttämällä esimerkiksi nurmea lisäsyötettävänä massana, jolloin metaanintuotto kasvaa. Kesällä taas lämpimämpään aikaan joudutaan lämpöenergiaa jäähdyttämään, jolloin muodostuu energiahukkaa. Porsastuotantotilan sähkönkulutus on ympäri vuoden suhteellisen vakio, eli tilan tarvitseman sähköenergian laitos kykenee tuottamaan kokonaisuudessaan. Tämän mallin lämpöhukkana pidetään n. 10 – 20 %, tässä laskelmassa käytetään 15 %.

Taulukko 8. Porsastuotantotilan toteutunut energiankulutus ennen biokaasulaitosta.

Keskiarvo vuosilta 2013-2016		
Polttoöljy	Litra	69569
Lämmitys	kWh	695690
Sähkö	kWh	532646

7 INVESTOINNIN KUSTANNUSARVIO JA KANNATTAVUUS

7.1 Kustannusarvio

Investoinnin kustannusarvio perustuu todellisiin tarjouksiin, ja erilaisissa hankkeissa toteutuneisiin kustannuksiin. Laitoskokonaisuus on suunniteltu rakennettavaksi kokonaisuutena, ainoastaan hyödyntämällä yhtä vanhaa lieteallasta esikäsittelyaltaana. Kustannusarvio on rakennettu avaimet käteen periaatteella.

Taulukko 9. Kustannusarvio

Kustannusarvio	
Laitoskokonaisuus	1 050 000
Mädätteen varastointi	400 000
Yhteensä	1 450 000

7.2 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kustannusarvioksi muodostui 1 450 000 euroa. Investointitukea on työn laatimishetkellä mahdollista saada kyseiseen investointiin 40 %. 40 % Investointitukea on mahdollista saada kyseiseen investointiin, kun tuotetaan itselle energiaa, eikä myyntiin.

Taulukko 10. Kustannusarvio tuen jälkeen

Kustannusarvio	1 450 000
Investointituki 40%	580 000
Kustannus tuen jälkeen	870 000

Investoinnista muodostuu vuotuisia kuluja. Vuotuiset kulut koostuvat yleisistä ylläpito- ja korjauskustannuksista. Useat laitetoimittajat tarjoavat huoltosopimusta laitteistolle. Huoltosopimus sisältää vuotuiset huollettavat kohteet sekä korjausavustusta. Tässä laskelmassa on laskettu huoltosopimukselle 10 000 €, sekä muuttuville kustannuksille 20 000 €.

Taulukko 11. Vuotuiset kulut

Vuotuiset kulut	
Muuttuvat kustannukset	20 000
Huoltosopimus	10000
Yhteensä	30 000

Investoinnin tuotot koostuvat sähkö- ja lämpöenergiasta. Laskennassa on käytetty sähkön hintana 0,1 €/kWh ja lämmön, eli öljyn hintana 0,07 €/kWh. Tuotoissa käytetään suunnittelumallin toteutuneita keskiarvo energiankulutusmääriä, huomioiden 15 % lämpöenergiarahan.

Taulukko 12. Tuotot

	kWh	€	Tuotto
Sähkö	532 646	0,1	53265
Lämpö	591 337	0,07	41394
Yhteensä			94658

Tällä tuotto- ja kulurakenteella saadaan investoinnin takaisinmaksuajaksi noin 13,46 vuotta.

Taulukko 13. Kannattavuus

Kannattavuus	
Tuotot	94658
Vuotuiset kulut	30000
Tuotto/v	64658
Investoinnin kustannus	870000
Tuotto/v	64658
Takaisinmaksuaika	13,46

7.3 Mädätysjäätännöksen taloudellinen puoli

Kuten työssä aikaisemmin on mainittu, biokaasuprosessissa tapahtuu ammonifikaatiota, jossa orgaanisesta tyyestä vapautuu liukoista

ammoniumtyyppiä. Liukoinen typpi on nopeammin kasvin saatavilla, joten lietteen liukoistumisella on rahallinen arvo. Liukoisen typen rahalliseen arvoon vaikuttaa määrän ja hinnan lisäksi sen käytettävyys. Käyttökelpoisuuteen vaikuttaa muun muassa peltomaan ominaisuudet, kasvi, kasvuajan kohta, levitystapa, sääolosuhteet.

Liukoistumisen rahallinen arvo voidaan laskea kaavalla; Mädätteen N * käyttökelpoisuus / 100 * typen hinta – Syötteen N * käyttökelpoisuus / 100 * typen hinta. (Pyykkönen, 2017, s.12)

Laskelma koostuu Luken teettämän tutkimuksen typen liukoistumisen prosentuaalisesta lisäyksestä 36 %, lietalannan taulukkoarvojen pitoisuuksista, liukoisen typen hinnasta, sekä jäännöksen käyttökelpoisuudesta. Typpikilon hinta voidaan määrittää väkilannoitteen hinnan perusteella. Tässä laskelmassa liukoisen typen hintana käytetään 0,92 €/kg. Ohran viljelyssä mädätysjäännöksen liukoisen typen käyttökelpoisuus väkilannoitteen verrattuna on ollut 98 %, kun raakalietteen liukoisen typen kelpoisuus on ollut 85 %.

$(2,992 \text{ kgN} * 98 \% / 100 * 0,92 \text{ €/kgN}) - (2,200 \text{ kgN} * 85 \% / 100 * 0,92 \text{ €/kgN}) = 0,98 \text{ €/t lietalantasyötettä.}$

Kun lietalantaa syötettiin vuorokaudessa 41,1 m³, prosessoidun jäännöksen tuottama lisäarvo typpilannoitteena ohralla on vuorokaudessa 40,28 € ja vuodessa 14 702 €.

Mädätysjäännös tuo siis viljelyssä, typpilannoitteena, selvän rahallisen hyödyn verrattuna raakalietteen. Eroteltu kuivajae voidaan ajattaa suhteellisen pitkiäkin matkoja maille, jotka tarvitsevat fosforia, logistisen kustannustehokkuuden ansiosta. Nestejaje kyetään taas hyödyntämään lähialueille suurempina m³ / ha määrinä.

7.4 Kannattavuuden yhteenveto

Tämä malli perustuu uudisrakentamiseen, avaimet käteen periaatteella, perustuen toteutuneisiin lukuihin sekä eri toimijoiden tarjouksiin. Kannattavuuslaskelma toteutettiin ainoastaan huomioimalla omasta lannasta syntyvät energiantuotannon säästöt. Useilla tiloilla tämänkaltaiseen investointiin ryhtyessään, olisi mahdollista hyödyntää jo olemassa olevia kokonaisuuksia, jolloin rakentamiskustannukset voisivat olla huomattavasti alhaisemmat. Tälläkin mallilla laitokselle on takaisinmaksuaika olemassa, sekä laitospöytäsuudella on mahdollista tuottaa myös energiaa muuhun tarkoitukseen, pienillä lisäinvestoinneilla. Tilan sijainnista riippuen tämän työn kokoluokan tilalle voi mädätysjäännöspuolelta saada huomattavan tuoton vielä lisää, mikäli tilanne saadaan optimoitua.

Esimerkkinä, jos mädätysjäännöksen lannoitearvolle ja kustannustehokkaammalle levitykselle lasketaan 30 000 € tuottoa vuodessa verrattuna raakalietteeseen, on takaisinmaksuaika noin neljä vuotta lyhyempi.

Taulukko 14. Esimerkki kannattavuus, kun lasketaan mädätysjäännökselle 30 000 € tuotto.

Kannattavuus	
Tuotot	124658,19
Vuotuiset kulut	30 000
Tuotto/v	94 658
Investoinnin kustannus	870 000
Tuotto/v	94 658
Takaisinmaksuaika	9,19

Suurempien biokaasulaitosten kannattavuus koostuu porttimaksuista. Porttimaksut perustuvat jätteen toimittamiseen tilan ulkopuolelta. Käytännössä jätteen toimittajat maksavat biokaasulaitokselle siitä, että pääsevät oman tuotantonsa ylijäämästä tai sopimattomasta tavarasta eroon. Tilan ulkopuolisia jätteitä ei huomioitu tässä työssä yhtään. Ulkopuolisia jätteitä vastaanotettaessa muuttuvat lupa-asiat, sekä työn kaltaiselle tilalle, joka sijaitsee eläintieheällä alueella, on lisäjäännökselle järkevän sijoituspaikan etsiminen taloudellisesti haasteellista. Työn kaltainen tila ei tarvitse energiantuotantoon omasta tuotannosta syntyvän lietelannan lisäksi ulkopuolisia massoja, paitsi mahdollisesti suurilla pakkasilla pieniä määriä.

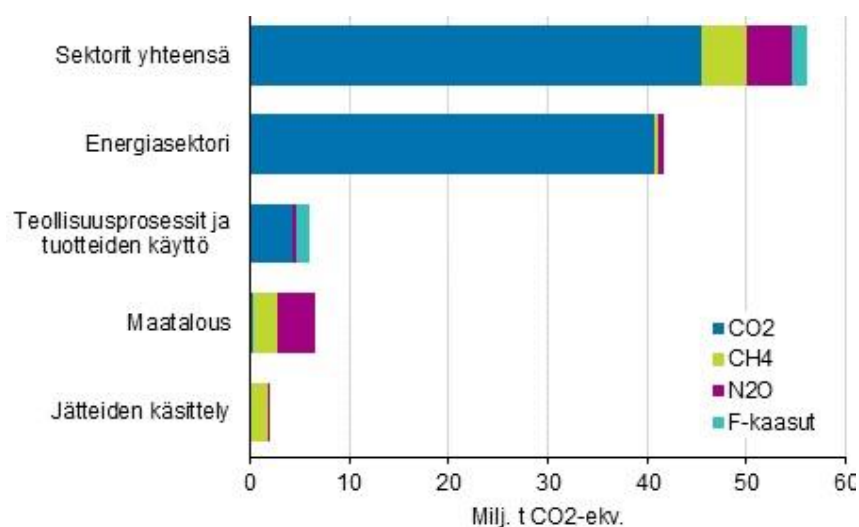
8 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ovat lisääntyneet merkittävästi viimeisten vuosikymmenien kuluessa fossiilisten polttoaineiden ja biomasan polton seurauksena. Esiteolliseen aikaan verrattuna ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet ovat kasvaneet 40 %, typpioksiduulipitoisuudet 20 % ja metaanipitoisuudet jopa 150 %. Hiilidioksidin ja typpioksiduulin päästöt kasvavat edelleen, mutta metaanin päästöjen kasvu tasaantui 2000-luvun alussa. Ilmasto lämpenee kaasujen kerääntyessä ilmakehään muodostaen niin sanotun maailmanlaajuisen kasvihuoneen, jossa lämpö ei pääse poistumaan ilmakehästä tuottaen monenlaisia ongelmia. Ilmastonmuutoksen estämiseksi on tehtävä maailmanlaajuisia muutoksia, joissa pyritään estämään kasvihuonekaasujen päästöjä.

Maatalouden uskotaan kärsivän kehitysmaissa, joissa kuivuus aiheuttaa jo nyt ruokapulaa. Satotasojen uskotaan taas nousevan erityisesti pohjoisilla leveysasteilla pidempien kasvukausien ja korkeamman lämpösumman myötä. Toisaalta taas sään ääri-ilmiöiden mahdollisuudet kasvavat sekä tuholaisten ja tautien lisääntyminen suurentavat satoriskiä tulevaisuudessa, joten lopputulos voikin olla negatiivinen. Ilmastonmuutoksen hallitseminen on siis hyvin tärkeää niin Suomessa kuin muualla maailmassakin. (Luke 2016)

Saksassa on jo vuosia tuettu uusiutuvia energiamuotoja useilla kannustimilla, kuten syöttötariffeilla ja rahoituksilla. Saksassa on yli 10 000 biokaasulaitosta, mikä on reippaasti yli puolet Euroopan noin 17 000 laitoksesta. Suurin osa kaasusta menee sähkön tuotantoon ja sitä tuotetaan biokaasulla Saksassa noin 40 terawattituntia, joka on tuplasti sen mitä Suomen ydinvoimalat tuottavat. (Gasum)

8.1 Maatalouden kasvihuonepäästöt



Kuva 13. Suomen kasvihuonekaasupäästöt (Ilmase.fi)

Vuonna 2017 Suomen maatalouden kasvihuonekaasupäästöt olivat 12 % koko maan päästöistä. Maatalouden suorista päästöistä 61 % tulee maaperästä, 27 % eläinten ruoansulatuksesta ja 12 % lannankäsittelystä. Lannankäsittelyn päästöt ovat lisääntyneet, kun on siirrytty lietelantajärjestelmiin, joissa metaanipäästöt ovat kymmenkertaisia kuivalantajärjestelmiin verrattuna. (Ilmase.fi)

Merkittävimmät keinot maatalouden kasvihuonepäästöjen vähentämisessä liittyvät parannettuun viljelys- ja laidunmaan hoitoon, kuten viljelytekniikan kehittämiseen, lannoitteiden käytön hallitsemiseen ja maatalouden tähteiden käsittelyyn. Kotieläimistä tulevat päästöt muodostavat 40 % maatalouden kokonaispäästöistä ja niiden päästöjä on mahdollista vähentää parantamalla lannankäsittelymenetelmiä ja säätelällä erityisesti nautojen ruokintaa. Biokaasutuksen avulla voidaan mahdollisesti vähentää lannankäsittelyn metaanipäästöjä jopa yli 50 %.

8.2 Päästöt esimerkkitalalla

Sähkönkulutuksen päästökerroin on viiden vuoden liukuvana keskiarvona 164 kg CO₂/MWh ja kevyen polttoöljyn päästökerroin 261 kg CO₂/MWh. Nykyiset päästöt ja kulutukset on laskettu keskiarvojen mukaan vuosilta 2013-2016.

Taulukko 15. Esimerkkitalan laskennalliset päästöt.

Päästölähteet	MWh	kg CO ₂ /MWh	CO ₂ päästöt
Sähkö	532	164	87248 kg
Lämmitys (kevyt polttoöljy)	695	261	181395 kg

Biokaasulaitoksessa tuotettu kaasu lasketaan uusiutuvaksi energialähteeksi, jonka laskennallinen päästökerroin on 0, optimitilanteessa toimiesaan koko tuotantolaitoksen energiakulutuksen laskennalliset päästöt loppuisivat kokonaan.

Biokaasulaitos tuottaa muutenkin nettomääräisesti vähemmän ilmastomuutosta kiihdyttäviä päästöjä, mutta riski rehevöitymistä, happamoitumista ja hiukkasvaikutusta aiheuttaviin ammoniakkipäästöihin kasvaa, kun lantatyyppi liukoistuu prosessissa. Ammoniakkipäästöjä on kuitenkin helppo vähentää kuin kasvihuonepäästöjä. Esimerkiksi lietesäiliöiden kattaminen vähentää ammoniakkipäästöjä kymmeniä prosentteja.

Suurin hyöty biokaasulaitoksesta tulee metaanipäästöjen vähentyessä jälkivarastoinnissa merkittävästi verrattuna lietteen raakavarastointiin. Tämä kuitenkin vaatii riittävän pitkän viipymän reaktorissa ja mahdollisesti

jälkikaasualtaan. Lisäksi hyötyjä saadaan korvaamalla mineraalilannoitteiden levittämistä pellolle. (Luke 2016)

8.3 Biometaani tieliikennekäyttöön

Biokaasusta saa hiilidioksidin erottamalla valmistettua autoihinkin sopivaa biometaania, mutta tällä hetkellä kaasuautojen vähäinen määrä ja kaasujen erottamiseen tarvittavien laitteiden todella korkea hinta eivät ole kannattavia investointeja.

Suomessa on kuitenkin laitettu tavoitteeksi kasvattaa kaasuautojen määrää 50 000 autoon vuoteen 2030 mennessä. Esimerkiksi tässä on otettu Ruotsi, jossa on jo yli 50 000 kaasuautoa ja yli 200 kaasun tankkausasemaa, kun Suomessa asemien määrä on vain 50.

Biokaasun käytön ja kysynnän lisääntyessä on mahdollista harkita lisälaitteistojen asentamista ja biometaanin myymistä ja käyttämistä omisakin työajoneuvoissa. Sillä saadaan vähennettyä fossiilisten polttoaineiden käyttöä vielä entisestään. (Sitra 2016)

Epävarmuutta biokaasun käytöstä polttoaineena lisää vielä Volkswagen-konsernin päätös luopua kaasuautojen kehittämisestä ja keskittyä sähköistettyihin autoihin, joiden rekisteröintimäärä on kasvanut jo kymmenkertaiseksi kaasuautoihin verrattuna. Kaasuautojen kysyntä Euroopassa oli huipussaan vuonna 2009 mutta sen jälkeen rekisteröintimäärä on laskenut 58 prosenttia. Volkswagen-konserni jatkaa kyllä kaasuautojen tuotantoa, mutta muutkin autovalmistajat, kuten Opel, ovat jo lopettaneet kaasuautojen valmistuksen. (Nieminen, 2020)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Ympäristöasiat tulevat jatkossa korostumaan entisestään. Tätä myötä myös kotieläintuotannon saralla täytyy pyrkiä löytämään erilaisia ratkaisuja asiaa edistämään. Tilakokoluokat alkavat olemaan suhteellisen suuria ja kasvua on odotettavissa, jolloin myös paikalliset lanta- ja eläinmäärät ovat suuria. Työssä esitellyn kaltainen biokaasulaitosmalli mahdollistaisi energiantuotannossa fossiilisista polttoaineista luopumisen, samalla kun vähennettäisiin tilalta syntyviä metaanipäästöjä. Biokaasulaitoksen läpäiseellä lannalla on parempi lannoitearvo, sekä eroteltuna kyettäisiin tarkempaan lannoitukseen fosforin ja typen osalta. Näin välttyttäisiin entistä enemmän yllannoittamiselta, sekä valumapäästöiltä.

Vaikka työn biokaasulaitosmalli lasketaan ainoastaan energiantuotannon puolelta muodostuvista tuotoista, uudisrakentamalla, löytyy sille kohtalainen takaisinmaksuaika. Mädätysjäännös eroteltuna tuo mahdollisuuden ajattaa fosforia enemmän sisältävä kuivajae taloudellisemmin pidemmällekin, kun taas nestejakeelle löytyy tilan lähetyviltä enemmän levityspinta-alaa raakalietteeseen verrattuna. Todellinen taloudellinen vaikutus työn kaltaiselle tilalle muodostuu energiantuotannon tuotoista, sekä siitä miten tila kykenee optimoimaan mädätysjäännöksen hyödyn.

Johtopäätöksenä voidaan pitää, että työnkaltainen biokaasulaitos tuo lisää mahdollisuuksia yritystoimintaan, sekä vähentää tilalta muodostuvaa ympäristöarastetta. Kuitenkin biokaasulaitos vaatii tilalta lisää ammattitaitoa, perehtymistä ja työvoimaa, sekä Suomessa on hyvin vähän työn kaltaisia toiminnassa olevia laitoksia. Nämä asiat jättävät monella tilalla biokaasulaitoksen vain pohdinnan tasolle.

LÄHTEET

Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. (2008) Raisio: Newprint Haettu 21.2.2020 osoitteesta <https://issuu.com/enjaoy/docs/biokaasunkasikirja>

Gasum (2020) haettu 24.2.2020 osoitteesta <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/>

Haverinen, T. (2014) Maatilojen omatoimirakennetut biokaasulaitokset. Oulun ammattikorkeakoulu Oy. Haettu 20.2.2020 osoitteesta https://www.oamk.fi/hankkeet/bioelogia/docs/materiaalit/Biokaasu_selvityksen_raportti_Tiina_Haverinen.pdf

Ilmase.fi Haettu 19.2 2019
(<https://www.ilmase.fi/site/tag/kasvihuonekaasupaastot/>)

Jyväskylän yliopisto. Haettu 20.2.2020 osoitteesta <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/47694/978-951-39-3075-2.pdf?sequence>

Kymäläinen, M. (2015) Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 20.2.2020 osoitteesta https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja

Kymäläinen, M. Pakarinen, O. (2015) BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Haettu 24.2.2020 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lampinen, A. (2015) Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 20.2.2020 osoitteesta https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja

Lehtomäki, A. Paavola, T. Luostarinen, S. & Rintala, J. (2007) Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/47694/978-951-39-3075-2.pdf?sequence=1>

Leikas, T. (2015) Biokaasun koostumus ja rikkivetytitoisuuden hallinta. Vaasan ammattikorkeakoulu. Haettu 20.2.2020 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90984/Leikas_Timo.pdf?sequence=1

- Luke (2016) Lantaravinteiden kestävä hyödyntäminen tiloilla ja keskite-
tyssä biokaasulaitoksessa. Haettu 21.2.2020 osoitteesta [http://ju-
kuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/535836/luke-
luobio_33_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/535836/luke-luobio_33_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Luke/ Luostarinen Sari, Pyykkönen Ville, Erika Winqvist, Kässi Pellervo,
Grönroos Juha, Manninen Kaisa, Rankinen Katri (2016) Maatilojen biokaa-
sulaitokset. Haettu 24.2.2020. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/han-
dle/10024/532222/luke-luobio_11_2016.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532222/luke-luobio_11_2016.pdf?sequence=1)
- Luostarinen, S. (2015) Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja
lopputuotteiden hyödyntäminen. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu.
Haettu 20.2.2020 osoitteesta [https://is-
suu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja](https://is-suu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja)
- Mutikainen, M. Sormunen, K. Paavola, H. Haikonen, T. Väisänen, M
(2016) Biokaasusta kasvua. Haettu 24.2.2020 osoitteesta
<https://media.sitra.fi/2017/02/27175150/Selvityksia111-2.pdf>
- Motiva. (2013) Biokaasun tuotanto maatilalla. Helsinki: Motiva. Haettu
20.2.2020 osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun tuo-
tanto_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuo-tanto_maatilalla.pdf)
- Nieminen, J. (2020) Tekniikan maailma: Suomessa uskotaan vahvasti kaa-
suautoihin, mutta valitettavasti muualla Euroopassa usko hiipuu. Haettu
9.3.2020 osoitteesta [https://tekniikanmaailma.fi/suomessa-uskotaan-
vahvasti-kaasuautoihin-valitettavasti-autovalmistajien-usko-hiipuu/](https://tekniikanmaailma.fi/suomessa-uskotaan-vahvasti-kaasuautoihin-valitettavasti-autovalmistajien-usko-hiipuu/)
- Paavola, T. (2015) Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lop-
putuotteiden hyödyntäminen. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu. Ha-
ettu 20.2.2020 osoitteesta [https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk bio-
kaasun_tuotanto_2015_ekirja](https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_bio-kaasun_tuotanto_2015_ekirja)
- Pyykkönen (2017) Mädätysjäännöksen ominaisuudet, käsittely ja hyödyn-
täminen viljelyksessä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haettu 21.2.2020
osoitteesta [https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--re-
search-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/bika/materi-
aalit/bika_julkaisu_28.11.2017_madatyssaannoksen-ominaisuudet-kasit-
tely-ja-hyodyntaminen.pdf](https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--re-search-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/bika/materi-aalit/bika_julkaisu_28.11.2017_madatyssaannoksen-ominaisuudet-kasit-tely-ja-hyodyntaminen.pdf)
- Suomen biokierto & Biokaasu Ry. Haettu 24.2.2020
<https://biokierto.fi/biokaasu/tuotanto/>
- Tammisto, S. (2014) Biokaasulaitosten hajupäästöt. Hämeen ammattikor-
keakoulu. Haettu 24.3.2020 osoitteesta
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78664/Tam-
misto_Sari.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78664/Tam-misto_Sari.pdf?sequence=1)

Tenhunen, S. (2014) Kaasumoottori- ja kaasuturbiinikäyttöisten CHP-laitosten ja absorptiokylmäkoneiden väliset kytkennät. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 24.3.2020 osoitteesta <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22401/Tenhunen.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Virtanen, J. (2017) Perusteita karjanlannasta ja sen käytöstä. Ylä-Savon ammattiopisto. Haettu 21.2.2020 osoitteesta http://ravinnejaenergia.fi/site/wp-content/uploads/2017/06/Separointi_yleistietoa-karjanlannasta.pdf

Willman T. (2012) Laboratorion mittakaavan biokaasureaktorin käyttöönotto ja testaus. Haettu 24.2.2020 osoitteesta <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58066/insinorityo.pdf?sequence=1>

Winquist, E. Rikkonen, P. Vilja, V. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Haettu 4.4.2020 osoitteesta http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542787/luke-luobio_47_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y