

Riku Holopainen

Selvitys kuivamädätysteknologiatoimittajista Euroopan alueella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

27.4.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Riku Holopainen Selvitys kuivamädätysteknologiatoimittajista Euroopan alueella 26 sivua + 4 liitettä 27.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Seuranen Toimitusjohtaja Simo Rantanen
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli kartoittaa kuivamädätysteknologiatoimittajia Euroopasta ja kerätä tietoa erilaisista kuivamädätysprosesseista. Työ tehtiin Envor Protech Oy:lle.</p> <p>Työ sisältää teoriaosuuden, jossa käsitellään biokaasun muodostumiseen ja tuottamiseen liittyviä olennaisia asioita. Lisäksi teoriaosuudessa tutustuttiin erilaisiin biokaasuprosesseihin.</p> <p>Työhön koottiin eurooppalaisia kuivamädätyslaitteistojen toimittajia ja esiteltiin heidän prosessejaan. Selvityksen lisäksi tehtiin yleissuunnitelma kuivamädätyslaitoksesta. Suunnitelmaa varten kuviteltiin realistinen tapaus, joka vaatisi kapasiteetiltaan 55 000 tonnia jätettä vuositason käsittelyä kuivamädätyslaitoksen.</p> <p>Insinöörityön lopputuloksena saatiin kattava lista suurimmista eurooppalaisista kuivamädätyslaitteistojen toimittajista ja monipuolista tietoa heidän kuivamädätysprosesseistaan.</p>	
Avainsanat	biokaasu, kuivamädätys, teknologia

Author(s) Title Number of Pages Date	Riku Holopainen Survey of the different dry digestion technology suppliers in Europe 26 pages + 4 appendices 27.4.2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Operation and Design
Instructor(s)	Timo Seuranen, Senior Lecturer Simo Rantanen, CEO
<p>The aim of this thesis was to conduct a survey of different European dry digestion plant manufacturers and their processes. This thesis was done for Envor Protech.</p> <p>The thesis covers the basic information of the biochemical processes behind the biogas production. Different anaerobic digestion technologies used to produce biogas are also described in this thesis.</p> <p>As a result of this survey, a comprehensive list of different European dry digestion plant manufacturers and information on their biogas processes was collected. Based on the information gathered during the survey, a preliminary design of a dry digestion plant was designed. The drafted biogas plant was designed to treat 55 000 metric tons of waste per year.</p>	
Keywords	biogas, dry digestion, technology

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Biokaasu	2
3	Biokaasun tuotanto	3
3.1	Anaerobinen hajoaminen	3
3.1.1	Hydrolyysi	4
3.1.2	Asidogeneesi	4
3.1.3	Asetogeneesi	5
3.1.4	Metanogeneesi	5
4	Olosuhteiden vaikutus prosessiin	5
4.1	Lämpötila	5
4.2	pH	7
4.3	C/N-suhde	7
4.4	Viipymäaika, HRT	8
4.5	Inhibitoivat aineet	9
4.6	Raaka-aineet	9
5	Biokaasuprosessit	11
5.1	Kuiva- ja märkäprosessit	11
5.2	Jatkuvatoiminen mädätys	13
5.3	Jatkuvatoiminen märkämädätys	13
5.4	Jatkuvatoiminen kuivamädätys	14
5.5	Panostoiminen kuivamädätys	14
6	Teknologiatoimittajia	15
6.1	Jatkuvatoimiset prosessit	15
6.1.1	OWS - Dranco	15
6.1.2	Hitachi Zosen INOVA - Kompogas	16
6.1.3	Thöni – High Solids AD (TTV)	17
6.2	Panostoimiset prosessit	18
6.2.1	Bekon	18

6.2.2	Zorg Biogas	20
6.2.3	Herhorf Gmhb	20
7	Kuivamädätysprosessin yleissuunnittelu	21
8	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

Liite 1. Virtauskaavio

Liite 2. Lohkokaavio

Liite 3. Layout-suunnitelma

Liite 4. Laiteluettelo

1 Johdanto

Biokaasua voidaan tuottaa luonnollista biologista hajoamisprosessia hyödyntäen. Teollisessa mittakaavassa biokaasua voidaan tuottaa anaerobisissa oloissa märkä- tai kuivamädätyksellä. Kuivamädätyslaitoksissa käsitellään korkeamman kuiva-ainepitoisuuden omaavia raaka-aineita biokaasun tuottamiseen. Orgaanisia jätteitä hyödyntävä ja uusiutuvana energianlähteenä toimiva biokaasu on kasvattanut suuresti mielenkiintoa ympäri maailmaa.

Vuonna 2015 Euroopassa oli yhteensä 17 376 biokaasulaitosta [1]. Luku on ollut kasvussa jo useamman vuoden ajan. EU:n tavoitteena on vähentää nykyisiä kasvihuonepäästöjä 40 %:lla vuoteen 2030 mennessä. Biokaasun käytön lisääminen energiantuotannossa ja polttoaineena voisi olla yksi askel kohti tavoitteiden saavuttamista. Biokaasun oletetaan kasvattavan suosiotaan erityisesti liikennepolttoaineena.

Tämä insinööri työ tehtiin Envor Protech Oy:lle. Työn tarkoituksena oli tehdä selvitystä eurooppalaisista kuivamädätyslaitosten toimittajista ja heidän prosesseistaan. Kriteerinä oli etsiä yrityksiä, joilla oli jo toiminnassa olevia referenssilaitoksia.

Envor Protech Oy on suomalainen yritys, joka suunnittelee ja toimittaa märkämädätykseen perustuvia biokaasulaitoksia. Yritys on toimittanut useita heidän omaan EPAD-prosessiin (Envor Protech Advanced Digestion) perustuvia laitoksia ympäri maailmaa. Biokaasulaitosten kasvaneen kysynnän vuoksi, Envor Protech on kiinnostunut laajentamaan toimintaansa myös kuivamädätyslaitosten suunnitteluun ja toimittamiseen.

2 Biokaasu

Biokaasua syntyy luonnollisen biologisen hajoamisprosessin kautta. Biokaasua syntyy hapettomissa olosuhteissa, kun orgaaninen aines hajoaa mikrobien vaikutuksesta. Jos prosessissa on mukana happea, hajoaminen tapahtuu kompostoinnin kautta. Biologista hajoamista tapahtuu luonnossa esimerkiksi järvien ja soiden pohjasedimentissä, kaatopaikoilla ja eläinten suolistossa. [2; 3; 4.]

Biokaasu on usean eri aineen seos. Kaksi suurinta komponenttia ovat metaani (CH_4) ja hiilidioksidi (CO_2). Kaasusta 50—70 % on metaania, joka onkin energiakäytön kannalta kaasuseoksen olennaisin aine. Hiilidioksidia seoksessa on 30—50 %. Kaasussa on myös pieniä määriä hiilimonoksidia (CO), typpeä (N_2), vetyä (H_2), rikkivetyä (H_2S) ja vettä (H_2O). [2; 3.]

Biokaasu on uusiutuva luonnonvara ja sitä voidaan käyttää lämmön ja sähkön tuottamiseen, liikennepolttoaineena ja kotitalouksien kaasuna. Lämmöntuotannossa biokaasulla saavutetaan jopa 90% hyötysuhde. Myös sähköntuotannossa ja liikennekäytössä päästään loistaviin hyötysuhteisiin. Jos biokaasua halutaan käyttää polttoaineena polttomootoreissa, on siitä poistettava vesi, hiilidioksidi ja rikkiyhdisteet. [3.]

Biokaasulla voidaan korvata fossiilinen maakaasu, sillä kummankin seoksen pääkomponenttina on metaani. Biokaasu on maakaasua ympäristöystävällisempää, koska biokaasun polttamisesta ei synny lisää hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Syntyvä hiilidioksidi on sitoutuneena biomassaan, josta se vapautuisi joka tapauksessa ilmakehään. [3.]

Teollisesti biokaasua voidaan tuottaa biokaasureaktoreilla. Reaktoreihin syötetään biomassaa, joka voi koostua esimerkiksi teurastamojätteestä, biojätteestä, rehusta tai lannasta. Biomassaa mädätetään, minkä seurauksena syntyy biokaasua. Luonnostaan helposti hajoavat materiaalit sopivat parhaiten biomassaksi. Biomassan kuiva-ainepitoisuus vaihtelee ja vaikuttaa siten käytettävään reaktorimalliin ja mädätysprosessityyppiin. [2; 3; 4.]

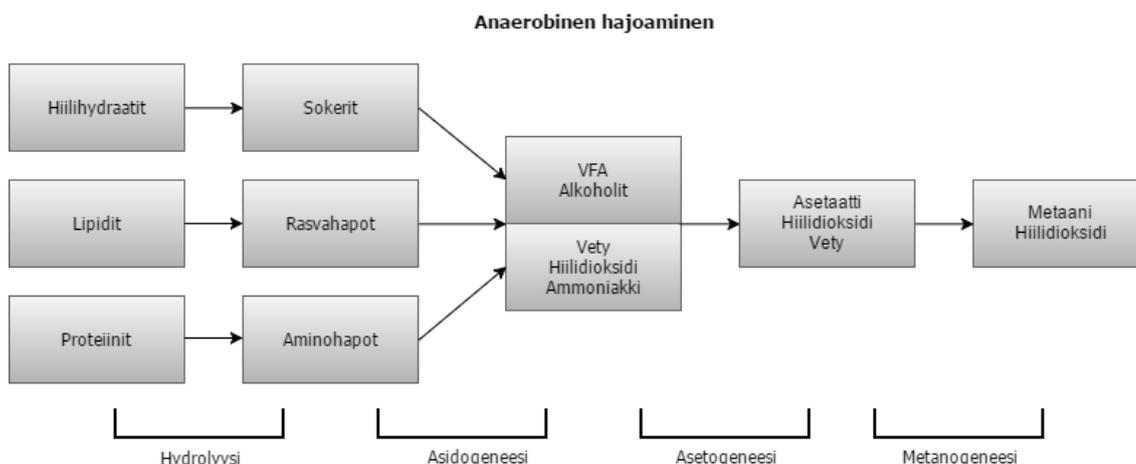
3 Biokaasun tuotanto

3.1 Anaerobinen hajoaminen

Anaerobinen hajoaminen eli mätäneminen on mikrobiologinen prosessi, jossa orgaaninen aine hajoaa hapettomissa olosuhteissa useiden eri mikrobien vaikutuksesta. Prosessin tuloksena syntyy biokaasua ja orgaanisesta aineesta jäljelle jäävä mädätysjännös. Mädätysjännös sopii erinomaisesti lannoitteeksi, sillä se sisältää suuria määriä ravinteita. [2; 5, s. 21.]

Biokaasun koostumukseen, eli metaanin ja hiilidioksidin pitoisuuteen, voidaan jossakin määrin vaikuttaa teollisessa tuotannossa. Koostumukseen vaikuttaa esimerkiksi pitkäketjuisten hiilivetyjen määrä syötteessä. Mitä enemmän pitkäketjuisia hiilivety-yhdisteitä syötteessä on, sitä enemmän metaania muodostuu. Anaerobinen hajoaminen tapahtuu tehokkaammin, jos syöte on tasaisesti sekoitettua. Tällöin myös viipymäaika voi olla lyhyempi. [6, s. 53-54.]

Biokaasun muodostuminen voidaan jakaa neljään eri päävaiheeseen. Jokaisessa vaiheessa toimii oma mikrobiryhmä. Vaiheet ovat toisistaan riippuvaisia, sillä edellisen vaiheen tuote toimii seuraavan vaiheen lähtöaineena. Anaerobisen hajoamisen neljä päävaihetta ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi. Anaerobisen hajoamisen nopeus määräytyy hitaimman vaiheen mukaan. Kuvassa 1 on koottuna anaerobisen hajoamisen päävaiheet. [5, s. 219; 7, s. 60.]



Kuva 1. Anaerobisen hajoamisen päävaiheet. [5, s. 21]

3.1.1 Hydrolyysi

Hydrolyysissa suurimmat orgaaniset polymeerit hajoavat pienemmiksi osiksi. Hajoavia polymeerejä ovat hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat eli lipidit. Polymeerien pilkkoutuessa pienemmiksi osiksi muodostuu glyserolia, rasvahappoja, sokereita ja aminohappoja. [5, s. 22.]

Hajoaminen tapahtuu erilaisten entsyymien toimesta. Entsyymit muodostuvat monien hydrolyyttisten mikrobin toiminnan seurauksena. Esimerkiksi hiilihydraatin pilkkoutuminen tapahtuu amylaasi-entsyymin johdosta, proteiinit hajoavat proteaasien toimesta ja rasvat pilkkovat lipaasit. [5, s. 22.]

3.1.2 Asidogeneesi

Hydrolyysin jälkeistä vaihetta kutsutaan asidogeneesiksi. Hydrolyysissä muodostuneet molekyylit hajoavat bakteerien vaikutuksesta hiilidioksidiksi, vedyksi, alkoholeiksi ja haihtuviksi rasvahapoiksi (volatile fatty acids, VFA). Haihtuvia rasvahappoja on esimerkiksi etikka-, maito-, propioni- ja voi happo. Asidogeneesiin osallistuu monia eri bakteereita, jotka ovat osittain samoja, kuin hydrolyysissä. [7, s. 62.]

3.1.3 Asetogeneesi

Hajoamisen kolmannessa vaiheessa, asetogeneesissa, haihtuvat rasvahapot (VFA) ja alkoholit hapettuvat asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Vedyn muodostuessa vedyn osapaine kasvaa. Asetogeeniset bakteerit pystyvät toimimaan vain pienillä vetypitoisuuksilla. Metanogeenit taas kuluttavat vetyä ja tuottavat siitä metaania. Tämän seurauksena vetyä kuluttavat metanogeenit ja asetogeeniset bakteerit toimivat symbioosisa keskenään. [5, s. 22-23; 6, s. 97; 7, s. 62.]

3.1.4 Metanogeneesi

Metanogeneesi on hajoamisen viimeinen vaihe. Metanogeenit tuottavat asetogeneesissä muodostuneesta asetaatista ja vedystä metaania. Metaanin lisäksi syntyy hiilidioksidia. Noin 70 % metaanin tuotosta on peräisin asetaatista ja noin 30 % tapahtuu vedyn kautta. Metaanin muodostuminen häiriintyy herkästi olosuhteiden, kuten pH:n, lämpötilan tai syöttönopeuden muutoksen seurauksena. Metanogeenit toimivat vain anaerobisessa ympäristössä eivätkä siten siedä hapen läsnäoloa. [5, s. 23; 6, s. 98; 7, s. 62-63.]

4 Olosuhteiden vaikutus prosessiin

Biologiset prosessit toimivat parhaiten tasaisissa olosuhteissa ja ovat siten herkkiä olosuhteiden muutoksille. On tärkeää anaerobisen hajoamisen kannalta, että oikeat olosuhteet saavutetaan. Epäedulliset muutokset olosuhteissa voivat pysäyttää metaanintuotannon kokonaan. Suunniteltaessa biokaasuprosessia on siis otettava huomioon monia eri parametrejä. [6, s. 100.]

4.1 Lämpötila

Lämpötila on yksi merkittävimmistä olosuhdetekijöistä biokaasuntuotannossa. Biokaasuprosessit voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään, sen mukaan missä lämpötiloissa ne tapahtuvat. Psykrofiilisessä prosessissa lämpötila on alle 25 °C, mesofiilisessä lämpötila on välillä 32—42 °C ja termofiilisessä lämpötila on 48—55 °C. [2, s. 5; 5, s. 23; 6, s. 112; 7, s. 63-64.]

Metaania tuottavat metanogeenit ovat herkkiä nopeille lämpötilan muutoksille. Lämpötilavaihtelu tulisi pitää $\pm 0,5$ °C:n sisällä. Maksimia lämpötilavaihtelulle pidetään 2—3 °C. Anaerobinen hajoamisprosessi ei vapauta lämpöä, jolloin biokaasureaktoreissa on oltava ulkoinen lämmitys. Lämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi syötteen esilämmityksellä ja/tai reaktorin lämmönvaihtimella. Lisäksi reaktorit ovat yleensä eristettyjä, varsinkin pohjoisen ilmasto-olosuhteissa. [2, s. 5; 5, s. 25; 6, s. 113; 7, s. 64.]

Psykrofiilisessä prosessissa, jossa metaania muodostuu alle 25 °C:n lämpötilassa, metaanin muodostuminen on hidasta ja melko vähäistä. Alhaisissa lämpötiloissa metaania voi muodostua luonnossa. Laboratoriokokeissa pientä metaanin muodostumista on havaittu jopa alle 0 °C:n lämpötiloissa. Psykrofiilinen prosessi ei ole tyypillinen teollisessa tuotannossa. [2, s. 5; 6, s. 113.]

Mesofiilinen prosessisin etuna termofiiliseen prosessiin on sen vähäinen lämmitysenergian tarve. Energiaa säästämällä säästetään myös ylläpitokustannuksissa. Lisäksi mesofiilinen prosessi ei ole niin herkkä lämpötilan vaihteluille. Mesofiilissä olosuhteissa inhibitoivan ammoniakkin vaikutus on myös vähäisempi. [5, s. 24; 6, s. 113.]

Patogeenit tuhoutuvat vain korkeissa lämpötiloissa. Tästä syystä mesofiilisen prosessin mädätysjäännös on hygienisoitava. [6, s. 113.]

Termofiilisen prosessin etuna on tehokkaampi hajoaminen ja sitä kautta korkeampi biokaasun tuotto. Lisäksi viipymäaika on lyhyempi mesofiiliseen prosessiin verrattuna. Korkean lämpötilan takia patogeenit tuhoutuvat, joten mädätysjäännös on mesofiiliseen prosessiin verrattuna hygienisempää. Mikrobeille myrkyllisen hapen liukoisuus on korkeissa lämpötiloissa vähäisempi, jolloin anaerobiset olosuhteet saavutetaan nopeammin. [5, s. 24; 6, s. 113; 8, s. 34.]

Korkeassa lämpötilassa toimiva termofiilinen prosessi on kuitenkin herkkä pH:n ja lämpötilan muutoksille. Lisäksi se kestää huonosti inhibitoivia tekijöitä. Lämmitysenergian tarve termofiilisessä prosessissa on suuri, syötteen lämmityksen ja lämpöhäviöiden seurauksena. [2, s. 6; 8, s. 34.]

4.2 pH

Biokaasuprosessin eri vaiheen mikrobeilla on eri pH-alueet, joissa ne toimivat. Alkuvaiheen hydrolyysissä ja asidogeneesissä mikrobien toiminnan kannalta optimi pH on 4,5—6,5 [7, s. 65]. Alkuvaiheen mikrobit pystyvät kuitenkin selviytymään myös neutraaleissa pH lukemissa. [2, s. 6]

Loppuvaiheen metanogeeneille optimi pH on 6,7—7,5 [6, s. 114]. Yksivaiheisen biokaasureaktorin pH pyritään pitämään lähellä neutraalia, yleensä välillä 7—8. Tällöin saavutetaan kompromissi alkuvaiheen ja loppuvaiheen mikrobien optimi pH:n välillä. Jos prosessin pH nousee yli 8,3 tai laskee alle 6,0, metaanin muodostuminen vähenee huomattavasti ja voi pysähtyä jopa kokonaan. [5, s. 25-26; 7, s. 65.]

Reaktorin pH-lukemaan vaikuttaa syötteen koostumus. pH-lukema voi nousta, jos syötteessä on paljon proteiinipitoista ainetta. Proteiinipitoista ainetta hajottaessa syntyy ammoniumtyyppiä, jolla on pH-lukemaa nostava vaikutus. Korkeammassa lämpötilassa hiilidioksidi liukenee huomattavasti veteen, jolloin pH-arvo on myös korkeampi. Hiilidioksidin liuetessa veteen muodostuu hiilihappoa. [2, s. 6; 5, s. 26.]

Biokaasureaktorin pH pyritään pitämään tasaisena. Tämä saavutetaan hyvällä puskurointikyvyllä. Alkaliniteetti kertoo syötteen puskurointikykyä, eli kykyä vastustaa pH:n muutoksia. Mitä korkeampi alkaliniteetti, sitä parempi puskurointikyky. [7, s. 65.]

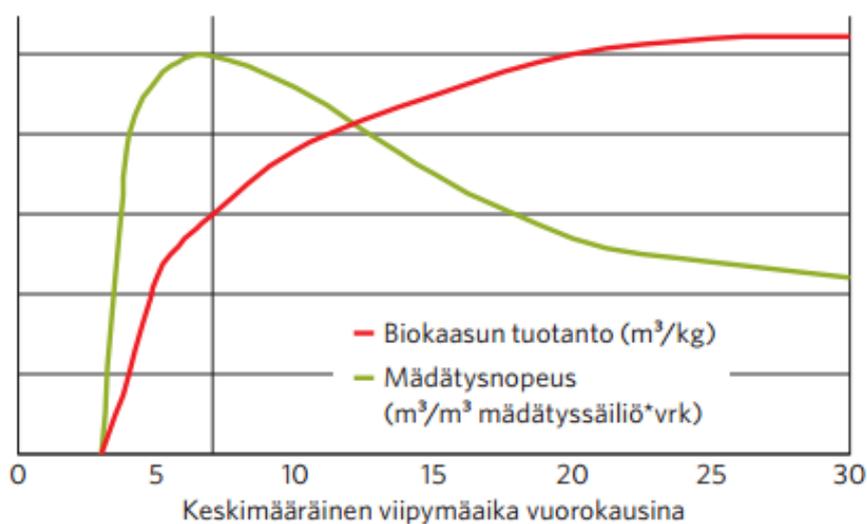
4.3 C/N-suhde

C/N-suhteella tarkoitetaan hiilen ja typen suhdetta syötteessä. Liian pieni C/N-suhde johtaa liialliseen ammoniakkin muodostumiseen, mikä taas hidastaa metaanin muodostumista. Syötteen liian suuri hiilipitoisuus, eli suuri C/N-suhde johtaa epäedulliseen mikrobitoimintaan. C/N-suhteeseen voidaan vaikuttaa raaka-aine valinnalla. Hiilipitoista ja tyypitoista syötettä voidaan sekoittaa keskenään optimiolosuhteiden saavuttamiseksi. Optimi C/N-suhteena pidetään 16—20. [2, s. 6-7; 6, s.116.]

4.4 Viipymäaika, HRT

Biokaasuprosessin viipymäaika (Hydraulic Retention Time, HRT) on tärkeä parametri reaktoria suunniteltaessa. Viipymäajalla tarkoitetaan aikaa, jonka syöte keskimäärin viipyy reaktorissa. HRT voidaan laskea jakamalla reaktorin tilavuus syötteen tilavuusvirralla. [6, s. 28.]

Pitkällä viipymäajalla saavutetaan tehokkaampi hajoaminen eli siten myös parempi metaanin tuotto. Viipymäajan pituus on riippuvainen syötteen hajoavuudesta. Mitä helpommin syötettävä materiaali hajoaa, sitä lyhyempi viipymäaika riittää. Kasvit vaativat yleensä pidemmän käsittelyajan verrattuna lantaan ja biojätteeseen. Termofiilisessä prosessissa viipymäaika on mesofiilistä lyhyempi. Tyypillisesti viipymäaika suomalaisilla biokaasureaktoreissa on 12–30 vrk. Kuvasta 2 nähdään, että biokaasun muodostuminen jatkuu koko viipymäajan verran, hidastuen kuitenkin loppua kohden. Mädätysnopeus saavuttaa huippunsa ensimmäisten päivien aikana, hidastuen pitemmällä aikavälillä. [2, s. 11; 7, s.74; 8, s. 35.]



Kuva 2. Biokaasun tuotannon ja mädätysnopeuden suhde. [2, s.11]

4.5 Inhibitoivat aineet

Biologinen hajoamisprosessi voi häiriintyä monen eri aineen seurauksena. Inhibitoivia aineita voi päätyä reaktoriin syötteen kautta, tai ne voivat muodostua mikrobien aineenvaihdunnan seurauksena. Tyypillisiä prosessissa syntyviä inhibitoivia aineita ovat ammoniakki, rasvahapot ja rikkivety. Syötteen mukana prosessiin voi päätyä antibiootteja, desinfiointiaineita, kasvimyrkkyjä, suoloja ja raskasmetalleja. Osa syötteen mukana tulevasta ainesta voivat haitata hajoamisprosessia, jo pienillä pitoisuuksilla. Taulukossa 1 on koottuna eri inhibitoivia aineita. [2, s. 7; 5, s. 27; 7, s. 67.]

4.6 Raaka-aineet

Raaka-aineena biokaasun tuottamiselle voidaan käyttää periaatteessa kaikkea orgaanista ainesta, mutta luonnostaan hajoava materiaali soveltuu anaerobiselle hajoamiselle parhaiten. Syötteenä voidaan käyttää esimerkiksi maatalouden, yhdyskunnan ja teollisuuden tuottamia sivutuotteita ja jätteitä. Syötteitä voidaan sekoittaa keskenään, jolloin voidaan saavuttaa raaka-aineelle optimaalisemmat ominaisuudet biokaasun tuotantoa varten. [2, s. 8; 7, s. 21-22.]

Biokaasun muodostuminen riippuu käytettävästä raaka-aineesta. Eri raaka-aineille on määritetty erilaisia metaanin tuottomääriä. Taulukossa 1 on koottuna eri raaka-aineiden metaanintuottoja.

Taulukko 1. Eri raaka-aineiden metaanintuottoja ja mahdollisia epäpuhtauksia. [5, s. 19]

Type of feedstock	Organic content	C:N ratio	TS%	VS% of TS	Biogas yield m ³ * kg ⁻¹ VS	Unwanted physical impurities	Other unwanted materials
Pig slurry	Carbonhydrates, proteins, lipids	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	Wood shavings, bristles, sand, straw, water, cords,	antibiotics, disinfectants
Cattle slurry	Carbonhydrates, proteins, lipids	6-20	5-12	80	0,20-0,30	Bristles, soil, water, straw, wood	antibiotics, disinfectants, NH ₄ ⁺
Poultry slurry	Carbonhydrates, proteins, lipids	3-10	10-30	80	0,35-0,60	grit, sand, feathers	antibiotics, disinfectants, NH ₄ ⁺
Stomach/intestine content	Carbonhydrates, proteins, lipids	3-5	15	80	0,40-0,68	animal tissues	antibiotics, disinfectants
Whey	75-80% lactose 20-25% protein	-	8-12	90	0,35-0,80	transportation impurities	-
Concentrated whey	75-80% lactose 20-25% protein	-	20-25	90	0,8-0,95	transportation impurities	-
Flotation sludge	65-70% proteins 30-35% lipids	-	-	-	-	animal tissues	heavy metals, disinfectants, organic pollution
Ferment, slops	Carbonhydrates	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78	non-degradable fruit remains	-
Straw	Carbonhydrates, lipids	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	sand, grit	-
Garden wastes	-	100-150	60-70	90	0,20-0,50	soil, cellulosic components	pesticides
Grass	-	12-25	20-25	90	0,55	grit	pesticides
Grass silage	-	10-25	15-25	90	0,56	grit	-
Fruit wastes	-	35	12-20	75	0,25-0,50	-	-
Food remains	-	-	10	80	0,50-0,60	bones, plastic	disinfectants

5 Biokaasuprosessit

Biokaasuprosessi voidaan toteuttaa yksi- tai monivaiheisena. Anaerobinen hajoaminen tapahtuu useassa eri jaksossa. Tätä voidaan hyödyntää ajamalla biokaasuprosessi monivaiheisena. Esimerkiksi kaksivaiheisessa prosessissa, missä kaksi reaktoria on kytketty sarjaan, voidaan anaerobisen hajoamisen vaiheet toteuttaa niille optimaalisissa olosuhteissa. Kaksivaiheisessa prosessissa hydrolyysi ja asidogeneesi tapahtuvat ensimmäisessä reaktorissa ja asetogeneesi sekä metanogeneesi ajetaan toisessa reaktorissa. [5, s. 63.]

Kuten aiemmin todettiin, biokaasuprosessi voi tapahtua alhaisemmassa lämpötilassa mesofiilisellä lämpötila-alueella tai korkeammassa lämpötilassa termofiilisellä lämpötila-alueella. Mesofiilinen prosessi ei ole yhtä herkkä olosuhteiden vaihteluille, joten se on parempi vaihtoehto, jos raaka-ainesyötössä on paljon vaihtelua. Jos raaka-aineena käytetään vain muutamaa eri tyyppiä, voidaan tällöin valita termofiilinen prosessi. [9, s. 34.]

Biokaasuprosessin reaktori vaatii vähintäänkin ylläpitolämmitystä. Lämmitys voidaan toteuttaa vaipassa kierrätettävällä vedellä tai reaktorin seiniä kiertävällä lämmitysputkistoilla. Lämmitysenergia voidaan tuottaa laitoksen tuottamasta biokaasusta. Lisäksi mahdollisen esi- tai jälkikäsittelyssä tarvittava lämpö voidaan kierrättää reaktorin tarpeisiin. [7, s. 83.]

5.1 Kuiva- ja märkäprosessit

Biokaasuprosessit jaetaan tyypillisesti syötteen kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa oleellisesti prosessin suunnitteluun ja reaktorityyppiin. Mädätyslaitteistoista puhuttaessa, prosessit jaetaan tyypillisesti kuivamädätykseen ja märkämädätykseen. Kuivamädätyksessä kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 20—40 % ja raaka-aineena voi toimia esimerkiksi kuivalanta ja viherjäte. Märkämädätyksessä kuiva-ainepitoisuus on pienempi, yleensä alle 15 %. Raaka-aineita märkämädätykselle ovat esimerkiksi lietalanta ja jätevesilaitoksen lietteet. [6, s. 74-75.]

Kuivamädätyksen korkean kuiva-ainepitoisuuden johdosta reaktorin koko on pienempi verrattuna märkäprosessiin. Rejektivettä syntyy myös vähemmän pienemmän kosteuspitoisuuden johdosta. Kuivamädätyslaitos kuluttaa pääsääntöisesti vähemmän energiaa märkämädätyslaitokseen verrattuna. Tyypillinen kuivamädätyslaitos kuluttaa alle 15 % energiaa omasta energiantuotannosta. Märkämädätyslaitokselle tyypillinen kulutus on 30-45 %. [6, s. 225; 8, s. 32.]

Korkea vesipitoisuus mahdollistaa toisaalta paremman sekoituksen märeille prosessille. Hyvän sekoituksen ansioista metaanin muodostuminen ja lämmönsiirto ovat tehokkaampaa. Lisäksi märkämädätykseen sopii useampia raaka-aineita ja prosessin pH-arvoa ja NH_3 -pitoisuuksia on helpompi hallita. [6, s. 225.]

Taulukko 2. Kuiva- ja märkäprosessin eroavaisuudet. [8, s. 33]

Kriteerit	Kuivaprosessi (jatkuvatoiminen)	Kuivaprosessi (panostoiminen)	Märkäprosessi
Raaka-aineen vaatimukset	Kuiva-aine pitoisuus 20 - 40 %	Kuiva-aine pitoisuus enintään 50 %	Kuiva-ainepitoisuus enintään 15 %
Syötteen käsittely	Homogenisointi	Esisekoitus, tihkutus- ja kiertotekniikka	Homogenisointi
Tyypilliset häiriöt	Murksaimen tukkeutuminen	Sprinklerin sekä siivilöiden ja seulojen tukkeutuminen	Vaahtoaminen, uppoava kerros ja kelluva kerros
Laitos	Jatkuvatoiminen, voidaan laajentaa lisäämällä moduleja	Moduleista koostuva, panostoiminen	Yksi- tai monivaiheinen, jatkuvatoiminen
Käyttöhäiriön vaikutus	Ei suurta vaikutusta	Yksi panos	Koko prosessi
Prosessiin vaadittu energia	Enemmän	Vähemmän	Enemmän (Homogenisointitarve)
Päästöt	Vähemmän	Vähemmän	Enemmän
Tyypilliset syötteen	Kiinteä biojäte, kuivalanta, energiakasvit	Kuivalanta, kiinteä biojäte, energiakasvit	Lietelanta, teollisuus- ja yhdyskuntalietteet
Hygieenisuus	Ei ongelmallinen	Ei ongelmallinen	Ongelmallinen

5.2 Jatkuvatoiminen mädätys

Jatkuvatoimisessa prosessissa syötettä lisätään säännöllisesti reaktoriin ja mädätysjäännöstä poistetaan reaktorista säännöllisesti. Jatkuvatoimisuuden seurauksena biokaasun tuotto on tasaista. Reaktorit voivat olla pysty- tai vaaka-asennossa. Jatkuvasti sekoitettavat reaktorit (CSTR) ovat tyypillisesti pystyasennossa ja tulppavirtausreaktorit taas vaaka-asennossa. [5, s. 76; 7, s. 83.]

Jatkuvatoimisessa prosessissa voidaan käyttää sekoitinta, jolloin syötetty materiaali ja mädäntynyt syöte sekoittuvat keskenään. Tällöin mädätysjäännökseen voi päätyä reaktorissa lyhyen aikaa ollutta syötettä. Tämä tulee ottaa huomioon viipymäaikaa ja reaktorin tilavuutta suunniteltaessa. [7, s. 83-84.]

Mädätysjäännöstä voidaan mädättää jälkikaasutusaltaissa. Tämän avulla saavutetaan paras biokaasun tuotto. Noin 10—25 % kaasun tuotannosta tapahtuu jälkikaasutusaltaissa. Jälkikaasutusallas vähentää myös laitoksen metaanipäästöjä. [2, s. 15.]

Lietemäiset raaka-aineet voidaan syöttää reaktoriin pumpun avulla. Kuivemmat raaka-aineet syötetään reaktoriin esimerkiksi ruuvi- tai hihnakuljettimien avulla. Mädätysjäännös voidaan poistaa edellä mainituilla tavoilla, tai vaihtoehtoisesti painovoimaisesti. [6, s. 241; 7, s. 83.]

5.3 Jatkuvatoiminen märkämädätys

Märkämädätys toteutetaan yleensä jatkuvatoimisena CSTR-reaktorissa. Reaktori on tyypillisesti lieriönmuotoinen ja reaktorin sisällä on mekaaninen sekoitin. Mekaaninen sekoitus voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yhtenä vaihtoehtona voidaan käyttää lapa-sekoitinta, joka pyörii joko pysty- tai vaakasuorassa. [7, s. 83; 10, s.117.]

Reaktorissa voi olla myös käytössä kaasusekoitus. Kaasusekoituksessa biokaasu puhalletaan reaktorin pohjasta biomassan läpi. Kaasun virtauksen seurauksena biomassa sekoittuu. Sekoituksella saavutetaan massan homogeenisuus, tasainen lämpötila ja suuri reaktiopinta-ala mikrobien ja biomassan välille. CSTR on yleisin käytössä oleva reaktorityyppi. [7, s. 83; 10, s. 117.]

5.4 Jatkuvatoiminen kuivämädätys

Tyypillinen jatkuvatoiminen kuivämädätysreaktori on tulppavirtausreaktori. Tulppavirtausreaktori toimii yleensä vaakasuorassa, mutta myös vertikaalinen on mahdollinen. Reaktoriin syötetään materiaalia toisesta päästä sisään ja mädätysjäännös poistetaan toiselta puolelta. Syöttöön lisätään ymppiä, joko reagoineen mädätysjäännöksen tai prosessista erotettua nesteen muodossa. Näin varmistetaan mädätykseen osallistuvien mikrobien toiminta. [5, s. 76; 7, s. 86; 10, s. 118.]

Biomassa kulkee reaktorin läpi ja biokaasu kerätään talteen reaktorin yläosasta. Ideaalisessa tulppavirtausreaktorissa ei ole sekoitusta, mutta kaasun kulkeminen biomassan läpi ja seinien kitka aiheuttaa sekoittumista. Lisäksi biomassan liikuttamiseen reaktorin sisällä voidaan käyttää ruuvikuljetinta, joka toimii itsessään sekoittimena. [8, s. 32; 10, s. 118.]

5.5 Panostoiminen kuivämädätys

Panostoimisia reaktoreita käytetään tyypillisesti vain kuivämädätykseen. Reaktoriin lisätään syötettä ja sen annetaan reagoida reaktorissa, jonka jälkeen reaktori tyhjennetään. Koko panosta ei välttämättä tyhjennetä kerrallaan, vaan osa vanhasta panoksesta saatetaan jättää ympiksi seuraavaan prosessiin. Ymppinä voidaan käyttää myös reaktorista kerättävää nestettä, jota sumutetaan biomassan päälle. Tämän avulla voidaan säätää prosessin kosteustasapainoa ja metaanin muodostumista. [5, s. 75; 7, s. 87; 10, s. 116.]

Etuna panostoimisissa prosesseissa on niiden yksinkertaisuus. Syöte voidaan käsitellä vasta reagoimisen jälkeen, sillä panosreaktorissa ei ole liikkuvia osia, kuten sekoitinta. Panosreaktoreita kytketään usein sarjaan, jolloin varmistetaan tasainen kaasuntuotto. Syöttö, kaasuntuotto ja mädätteen poisto voidaan toteuttaa sarjaan kytkettäessä samaan aikaan. [5, s. 75; 7, s. 87; 10, s. 116.]

Haittapuolena panostoimisessa prosessissa on sen vaikea hallittavuus ja mädätysjäännöksen epätasainen hajoaminen, eli metaanin tuottoa ei pystytä maksimoimaan. Mädätysjäännös vaatii useasti jälkimädätyksen, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kompostomalla. [7, s. 87; 8, s. 67; 10, s. 116.]

6 Teknologiaoimittaja

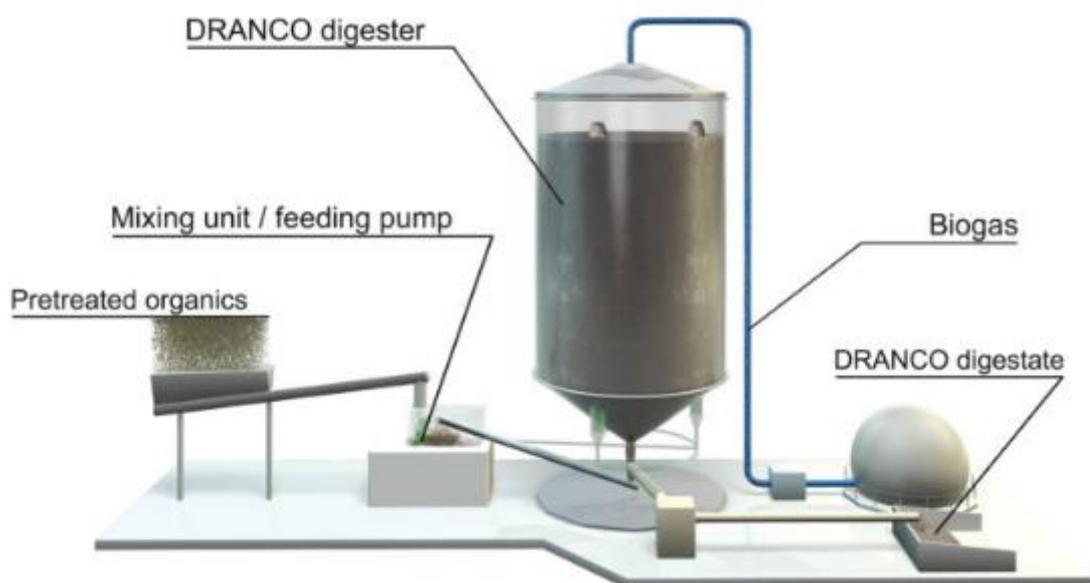
6.1 Jatkuvat oimittajat

6.1.1 OWS - Dranco

OWS on belgialainen yritys, joka toimittaa jatkuvatoimista kuivamädätyslaitteistoa. OWS kutsuu teknologiaansa nimellä Dranco. Dranco-prosessissa reaktori on pystysuorassa oleva sylinterimäinen reaktori, jossa on kartion muotoinen pohja. Reaktori ei sisällä sekoitinta. Esikäsitelty syöte syötetään reaktorin yläpäähän. Syötteeseen sekoitetaan esialtaassa jo mädäntynyttä tuotetta, jota poistetaan reaktorin alaosasta. Sekoitussuhde raaka-aineen ja mädätysjäännöksen välillä on 1:6—8. Syöte tulee esikäsitellä 40 mm tai sitä pienempään partikkelikokoon. [11; 12, s. 1-2.]

Prosessi on yksivaiheinen ja toimii jopa 50 %:n kuiva-ainepitoisuudella. Riippuen kuitenkin raaka-aineesta, syöteen tyyppillinen kuiva-ainepitoisuus on 20—35 %. Dranco-prosessia voidaan ajaa sekä mesofiilisenä, että termofiilisenä. Valmistaja ilmoittaa keskimääräiseksi viipymäajaksi 20 päivää. [11; 12, s. 3.]

Dranco-prosessista on 27 referenssilaitosta, jotka on rakennettu vuosina 1992–2017. Laitoksista neljä sijaitsee Aasiassa ja loput Euroopassa. [11.]



Kuva 3. Dranco-prosessin periaatekuva. [11]

OWS on kehittänyt myös Dranco-prosessiin perustuvan Dranco-Farm-tekniikan. Dranco-Farm on suunniteltu käsittelemään erityisesti kasviperäisiä raaka-aineita kuten ruohoa, maissia ja energiakasveja. Dranco-Farm-tekniikkaan perustuvia laitoksia on ainoastaan yksi Saksassa. [12, s. 8.]

6.1.2 Hitachi Zosen INOVA - Kompogas

Hitachi Zosen Inova on sveitsiläinen yritys, joka toimittaa Kompogas-tekniikkaan perustuvaa prosessia. Kompogas-prosessissa on vaakasuora tulppavirtausreaktori, jonka sisällä on sekoitin. Sekoittimen akseli on pitkittäissuunnassa reaktorin sisällä. Raaka-aineena prosessiin voidaan käyttää monia eri aineita, kuten viherjätettä ja biojätettä. Syöte esikäsitellään omassa altaassa ja se murskataan 60 mm:n raakokoon. Esikäsitelty aines siirretään ruuvikuljettimen avulla reaktoriin. Prosessi toimii termofiilisellä lämpötila-alueella ja valmistaja ilmoittaa viipymääjäksi 14 päivää. [13.]

Jälkikäsitteily voidaan toteuttaa HZ Inovan omalla menetelmällä. Mädätysjännös voidaan ajaa Kom-press-puristimen läpi. Puristin erottaa mädätysjännöksen kiinteään ja nestemäiseen faasiin. Biokaasu voidaan myös jalostaa yrityksen omalla tekniikalla. [13.]

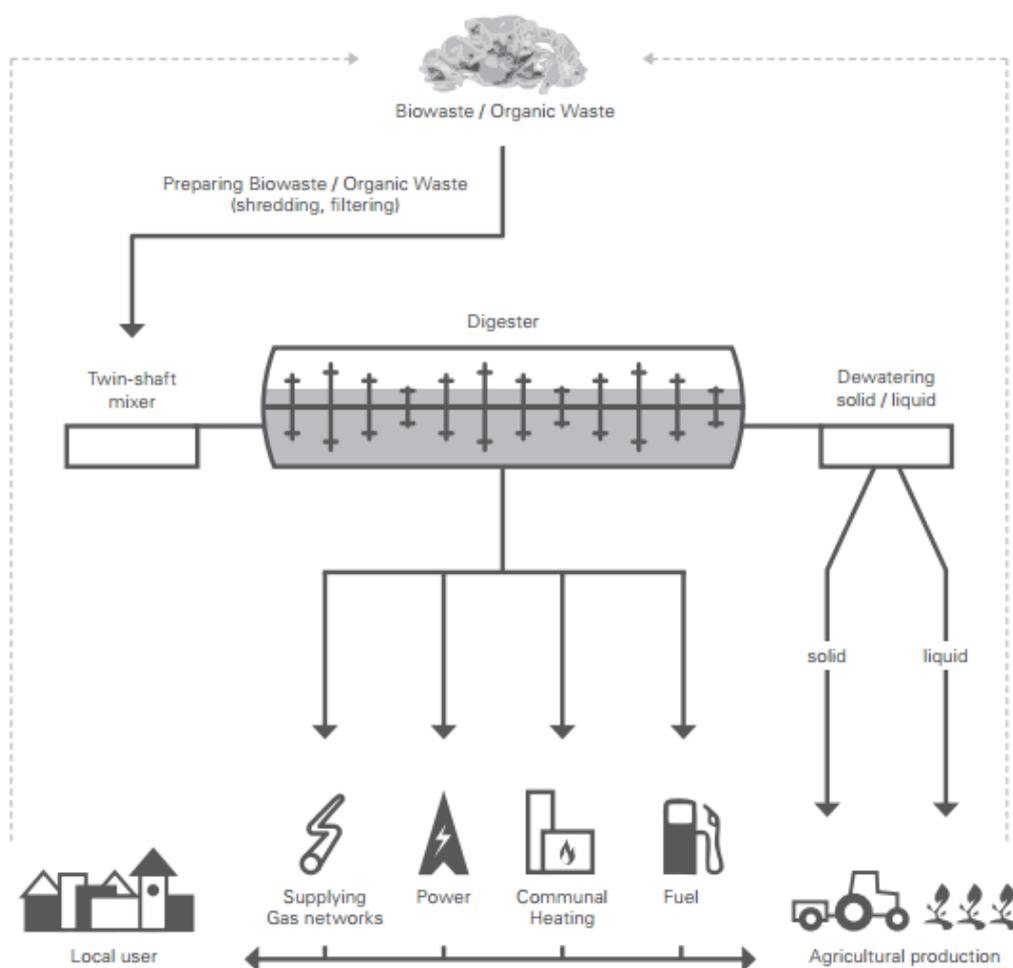
Kompogas-prosessiin perustuvia laitoksia on rakennettu 75 kappaletta ympäri maailmaa. Ensimmäinen laitos rakennettiin vuonna 1991, ja se on toiminnassa edelleen. [13.]

6.1.3 Thöni – High Solids AD (TTV)

Teknologiatoimittaja Thönin markkinoima TTV-kuivamädätysprosessi on jatkuvatoiminen ja jatkuvasekoitteinen. Prosessissa on vaakasuora tulppavirtausreaktori, jonka sisällä on vaakasuora sekoitin. Sekoitin pyörii hitaasti, noin 0,3 kierrosta minuutissa. Syöte esikäsitellään poistamalla metallit ja murskaamalla ennen reaktoriin syöttämistä. Raaka-aineeksi soveltuu esimerkiksi viherjäte ja biojäte. Kuvassa 4. on esitettyä Thönin prosessin toimintaperiaate. [14.]

Referenssilaitoksista ainakin kolme (Roppen, Brandholz ja Ekogas) toimivat termofiilisellä lämpötila-alueella. [15; 16; 17] Reaktorin lämmitys toteutetaan lämmönvaihtimen avulla. Mädätysjäännöksestä osa sekoitetaan syöttöön ympiksi. Loput jäännöksestä voidaan käsitellä erottamalla neste- ja kiinteäfaasi toisistaan Thönin valmistamalla Thöni TSP 350C-ruuvipuristimen avulla. Lopputuote voidaan hyödyntää lannoitteena. Prosessin biokaasu voidaan muuttaa lämmöksi ja sähköksi CHP-laitoksella. [14.]

Thönillä on neljä toiminnassa olevaa referenssilaitosta, jotka perustuvat TTV-prosessiin. Ensimmäinen niistä on rakennettu vuonna 2013. Lisäksi yrityksellä on kaksi laitosta rakenteilla, joiden on tarkoitus valmistua vuoden 2017 aikana. [18.]



Kuva 4. Thöniin prosessin periaatekuva. [14] Kompogas-prosessin reaktori toimii samalla periaatteella.

6.2 Panostoimiset prosessit

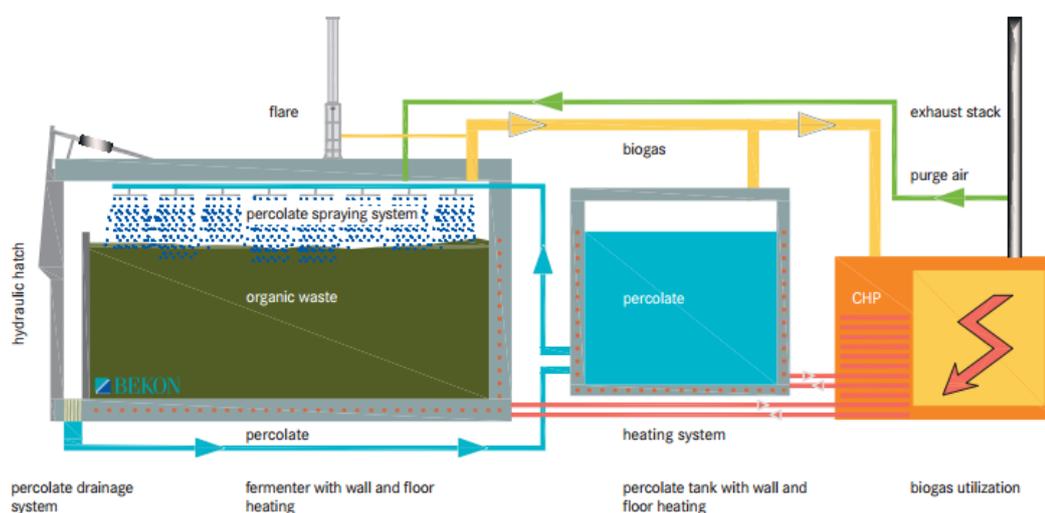
6.2.1 Bekon

Saksalainen yritys Bekon toimittaa panostoimisia kuivämädätyslaitteistoja. Bekonilla on 24 referenssilaitosta Euroopassa, kaksi laitosta Yhdysvalloissa ja yksi laitos Meksikossa. Ensimmäinen laitos on aloittanut toimintansa vuonna 2003. Bekon toimittaa myös pienemmän mittakaavan Bekon Mini -laitoksia. Kyseiset laitokset on suunniteltu käsittelemään 3—10 tonnia raaka-ainetta vuodessa. [19; 20.]

Reaktori on valmistettu betonista ja rakenteeltaan se on autotallityyppinen, eikä se sisällä sekoitinta. Bekon-prosessissa raaka-aine syötetään ja poistetaan pyöräkuormaajan avulla. Osa mädäntyneestä aineesta jätetään reaktoriin tyhjentämisen yhteydessä. Syötettä ei tarvitse esikäsitellä. [19.]

Prosessin on yksivaiheinen, ja sitä voidaan ajaa, joko mesofiilisenä tai termofiilisenä. Lämmitys on toteutettu lattia- ja seinälämmityksellä. Reaktorin pohjalla on viemäriverkosto, jonka avulla biomassasta irtoava neste kerätään talteen. Neste sumutetaan biomassan päälle katossa olevien sumuttimien avulla. Tämän avulla biomassa pystytään pitämään tasaisen kosteana. Nesteen kierrättämisellä varmistetaan myös ympin toiminta. [19.]

Koko Bekonin prosessi on täysin automatisoitu. Prosessin toimintaa voidaan seurata internetin välityksellä tabletin ja älypuhelimien avulla. Reaktorissa on Bekonin oma turvajärjestelmä. Järjestelmän tarkoituksena on estää räjähtävän ilman ja metaanin seoksen muodostumisen reaktoria täyttäessä ja tyhjentäessä. Kuvassa 5. on esitettyä Bekonin prosessin toimintaperiaate. [19.]



Kuva 5. Bekonin laitoksen toimintaperiaate. [19]

6.2.2 Zorg Biogas

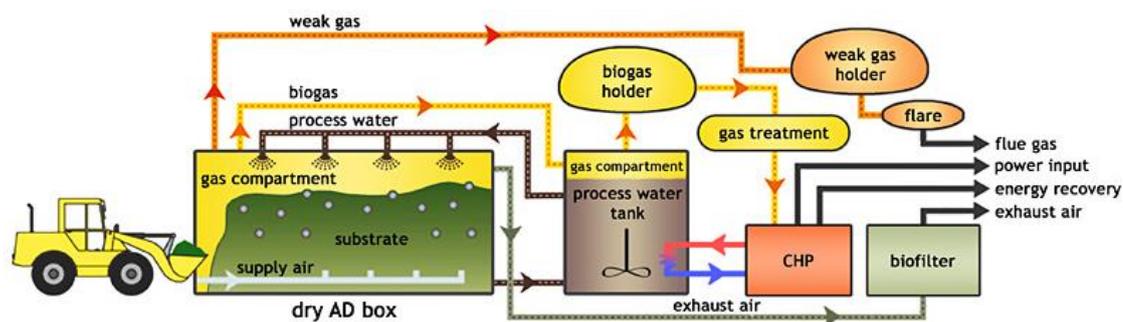
Zorg Biogas on itävaltainen yritys, joka toimittaa yksivaiheisia panostoimisia biokaasulaitoksia. Heidän prosessinsa on hyvin samankaltainen kuin Bekonin prosessi. Reaktori on kummassakin autotallityyppinen ja lämmitys on toteutettu lattia- ja seinälämmityksen avulla. Kuten Bekonin prosessissa, reaktorin pohjasta kerätty neste sumutetaan biomassan päälle. Zorg Biogas on myös huolehtinut reaktorin turvallisuudesta ottamalla huomioon ilman ja metaanin räjähtävän seoksen muodostumisen. [21.]

Suurimpana erona Bekonin prosessiin on prosessin toiminta mesofiilisellä lämpötila-alueella. Zorg Biogas on toimittanut yli 65 biokaasulaitosta 18 valtioon. Lukemaan on laskettu kuivamädätyslaitosten lisäksi heidän märkämädätyslaitokset. [21; 22.]

6.2.3 Herhorf Gmhb

Herhorf GmbH toimittaa panostoimisia kuivamädätyslaitoksia. Yritys sijaitsee Saksassa, ja kuivamädätyksellä toimivia laitoksia yritys on toimittanut 15 kappaletta. Laitokset sijaitsevat Euroopassa, ja ensimmäinen laitos on otettu käyttöön vuonna 2003. [23.]

Prosessin reaktori on rakenteeltaan autotallityyppinen ja syöte syötetään reaktorin ovesta sisään pyöräkuormaajan avulla. Reaktorissa on viemäriverkosto, joka kierrättää reaktorin pohjalta kerättyä vettä ensiksi varastosäiliöön, mistä se syötetään sumuttamalla reaktoriin. Näin saavutetaan optimikosteus biomassalle, sekä varmistetaan ympin tasainen leviävyys. Ennen tyhjentämisvaihetta reaktorista poistetaan metaani, jotta vältetään metaanin räjähdykseltä. Kuvassa 6. on esitettyä Herhorf GmbH:n prosessin toimintaperiaate. [24.]



Kuva 6. Herhorf GmbH:n toimittaman kuivamädätysprosessin toimintaperiaate. [24]

7 Kuivamädätysprosessin yleissuunnittelu

Teknologiatoimittajien kartoituksen pohjalta tehtiin yleissuunnitelma kuivamädätysprosessista. Suunnittelun tarkoituksena oli luoda Envor Protechille alustava suunnitelma mahdollisia tulevaisuuden kuivamädätysprojekteja varten.

Suunnitelmaan valittiin jatkuvatoiminen vaakatasossa olevalla reaktorilla varustettu termofiilinen kuivamädätysprosessi, jota Kompogas- ja TTV-prosessitkin edustavat. Jatkuvatoiminen prosessi todettiin panostoimista toimivammaksi vaihtoehdoksi. Vaakasuo- raan reaktorityyppiin päädyttiin suuren referenssilaitosten määrän takia.

Prosessista tehtiin lohko- ja virtauskaavio, sekä layout-suunnitelma. Virtauskaavioon merkittiin päälaitteet ja niiden pohjalta muodostettiin laiteluettelo. Lisäksi tehtiin taselaskenta Envor Protechin omalla taselaskurilla. Taselaskurilla määritettiin myös reaktorien tilavuudet. Taseiden arvot ovat merkittynä lohko- ja virtauskaavioon. Virtauskaavion laajuus rajattiin syötteen esilämmitykseen ja hygienisointiin, sekä kuivamädätysreaktoreihin. Syötteen esikäsittely ja biokaasun sekä mädätteen jälkikäsittely rajattiin virtauskaaviosta pois. Virtauskaavio, lohko- ja virtauskaavio, layout-suunnitelma ja laiteluettelo ovat liitteinä 1–4.

Työssä tehtyä suunnitelmaa varten keksittiin tapaus, jossa mädätettäisiin jätevesilaitoksen lietettä, biojätettä ja biokaasulaitoksen lähiseutujen maatalojen viherjätteitä yhteensä 55 000 tonnia vuodessa. Lietteen ja viherjätteen osuus kokonaismäärästä olisi 35 000

tonnia ja biojätteen osuus olisi 20 000 tonnia vuodessa. Taselaskennan (liite 2) perusteella laitos tuottaisi biokaasua noin 4 800 000 m³ vuodessa. Energiämääränä tämä vastaa noin 3,5 MW/a. Mädatettä taas syntyisi noin 52 800 tonnia vuodessa.

Prosessikuvaus

Prosessikuvaus on tehty virtauskaavion (liite 1) pohjalta. Esikäsitelty biojäte syötetään ruuvikuljettimelle, josta se jakautuu kahteen hygienisointisäiliöön. Esikäsitellyn biojätteen kuiva-ainepitoisuudeksi oletettiin 26 %. Hygienisointisäiliöissä biojäte lämmitetään 73 °C:seen ja lämpötila pidetään ylhäällä tunnin ajan. Lämmitys hygienisointisäiliössä toteutetaan syöttämällä tankkiin höyryä suuttimien läpi. Hygienisoinnin tarkoituksena on tuhota biojätteestä taudin aiheuttajat. Hygienisointisäiliöissä on hihnakuljettimet, jotka syöttävät biojätteen tasaisesti tankin pohjalle. Hihnakuljettimien pyörimissuuntaa voidaan säätää.

Hygienisointisäiliöt ovat panostoimisia. Kaksi säiliötä nopeuttaa hygienisointia, sillä niitä voidaan ajaa porrastetusti. Lisäksi toista tankkia voidaan huoltaa, koko prosessia pysäyttämättä. Tankkien pohjalla on ruuvikuljettimet, jotka siirtävät biojätteen samalle ruuvikuljettimelle, johon liete ja viherjäte syötetään. Lietteen ja viherjätteen kuiva-ainepitoisuudeksi oletettiin 22 %.

Biojäte, liete ja viherjäte syötetään ruuvikuljettimien avulla syötteen valmistussäiliöihin, jossa syötemateriaalit sekoitetaan keskenään tasaiseksi massaksi. Säiliöissä syöte myös esilämmitetään 55 °C:seen mädätystä varten. Syötteen valmistussäiliöitä on kaksi ja molemmissa on kaksi hitaasti pyörivää sekoitinta. Esilämmitetty syöte poistetaan säiliöistä ruuvikuljettimen avulla. Ruuvikuljetin kuljettaa syötteen syöttöpumpulle.

Syöttöpumppuna toimii mäntäpumppu, joka syöttää raaka-aineen kuivamädätysreaktoireihin. Taselaskennan perusteella (liite 2) raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus on 22 % ja reaktorien tilavuudet ovat 2 000 m³. Reaktoreissa on hitaasti pyörivät vaakasuorassa olevat sekoittimet, jotka tehostavat mädäntymistä. Reaktorien sisällä massa kulkee tulpavirtauksena. Viipymääjaksi oletettiin 21 päivää. Reaktoreissa on vaippalämmönsiirrin lämpötilan ylläpitoa varten. Lämmitys on toteutettu höyryn avulla.

Mädäte poistetaan reaktorin pohjasta ja osa mädätteestä kierrätetään syötteeseen ympiksi. Loput mädätteestä johdetaan mädätteen jälkikäsittelyyn. Mädätteen kuiva-ainepitoisuus on taselaskennan (liite 2) perusteella noin 14 %. Biokaasu kerätään reaktorin päällä olevaan kaasuvaraan, josta se johdetaan myöhemmin kaasun jälkikäsittelyyn.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä tehtiin selvitystä eurooppalaisista kuivamädätyslaitosten toimittajista ja heidän prosesseistaan. Tavoitteena oli kerätä perustietoa yrityksistä ja heidän prosesseistaan. Kerätyn tiedon pohjalta Envor Protechilla on tulevaisuudessa mahdollisuus laajentaa toimintaansa kuivamädätysprosesseihin, jos se niin haluaa.

Jatkuvatoimisista prosesseista Kompogas ja TTV vaikuttavat toimivimmilta ratkaisuilta. Kompogas-prosessiin perustuvia laitoksia on ollut toiminnassa jo pidemmän aikaan, mikä on itse prosessin toimivuuden kannalta lupaava asia. Toisaalta Dranco-prosessikin vaikuttaa toimivalta ratkaisulta ja sen reaktorirakenne onkin samankaltainen Envor Protechin omaan EPAD-prosessiin verrattuna. Panostoimisissa prosesseissakin on myös omat hyvät puolensa.

Työn alussa asetetut tavoitteet saavutettiin ja työ onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Työhön saatiin koottua lista suurimmista kuivamädätystoimittajista ja myös tietoa erilaisista kuivamädätysprosesseista. Kuivamädätyslaitosten toimittajia on olemassa enemmänkin, mutta osalla niistä ei ole yhtään toiminnassa olevaa referenssilaitosta. Ennen työn aloittamista suuria laitostoimittajia oletettiin kuitenkin olevan enemmän.

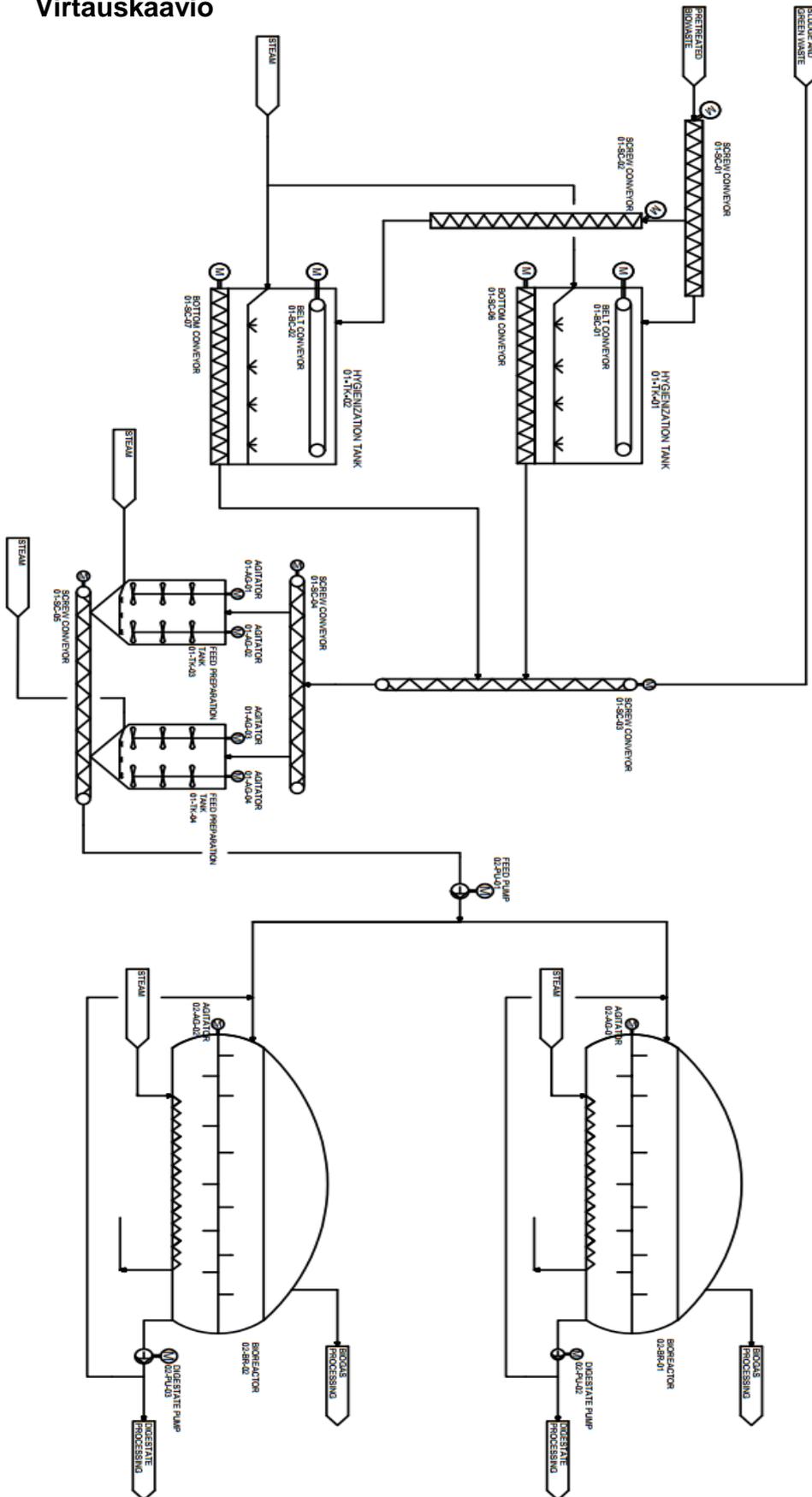
Lähteet

1. EBA launches 6th edition of the Statistical report of the European Biogas Association, 21.12.2016. Verkkodokumentti, European Biogas Association. <<http://european-biogas.eu/2016/12/21/eba-launches-6th-edition-of-the-statistical-report-of-the-european-biogas-association/>> Luettu 10.4.2017.
2. Biokaasun tuotanto maatilalla. Verkkodokumentti, Motiva. <http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf> Luettu 23.1.2017.
3. Biokaasu. Verkkodokumentti, Motiva. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu> Luettu 23.1.2017.
4. Mitä on biokaasu? Verkkodokumentti, Biokaasufoorumi. <<http://www.biokaasufoorumi.fi/index.asp?init=1&initID=18163>> Luettu 23.1.2017.
5. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. 2008. Biogas handbook. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark.
6. Deublein, D. & Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
7. Kymäläinen, M. & Pakarinen O. 2015. BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
8. Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Edita Prima Oy.
9. Pullen, T. 2015. Anaerobic digestion – making biogas – making energy, New York: Routledge.

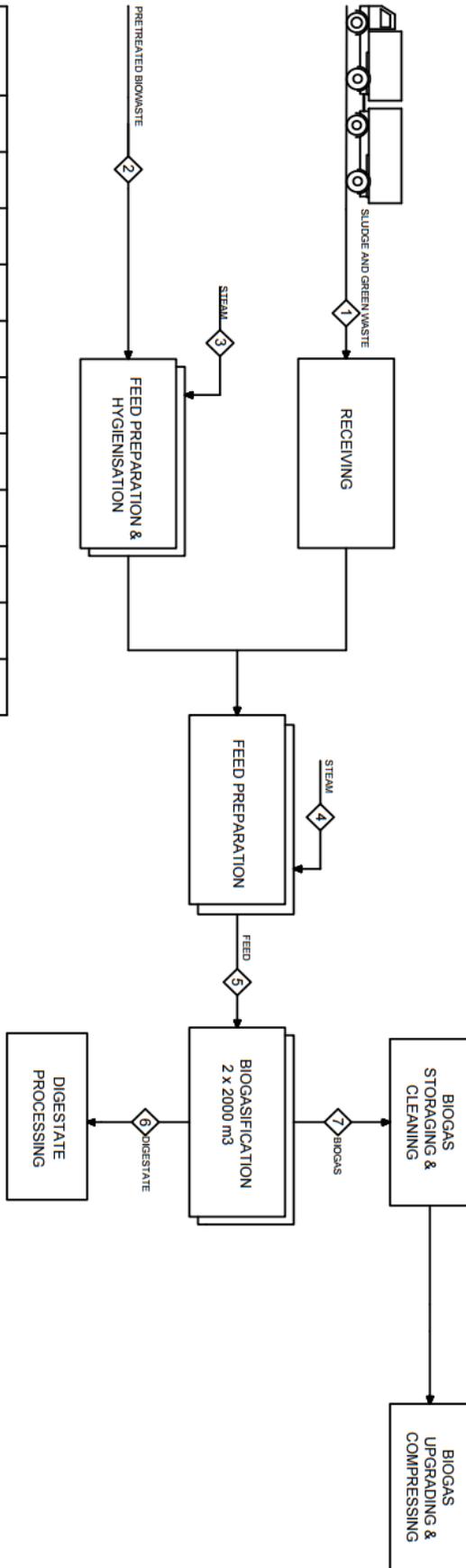
10. Baxter, D., Murphy, J., Wellinger, A. 2013. The Biogas Handbook, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
11. Dranco, 2017. Verkkodokumentti. Ows. <[http://www.ows.be/hou-
sehold_waste/dranco/](http://www.ows.be/hou-
sehold_waste/dranco/)> Luettu 20.2.2017.
12. Baere, L. 2010. THE DRANCO TECHNOLOGY: A UNIQUE DIGESTION TECHNOLOGY FOR SOLID ORGANIC WASTE. Verkkodokumentti <<http://www.ows.be/wp-content/uploads/2013/02/The-DRANCO-technology-2012.pdf>> Luettu 21.2.2017.
13. Kompogas® dry anaerobic digestion, 2015. Verkkodokumentti. Hitachi Zosen Inova. <http://www.hz-inova.com/cms/wp-content/uploads/2015/06/HZI_Kompogas_10_engl_RZ_3_WEB.pdf> Luettu 23.2.2017.
14. High solids anaerobic digestion from Thöni (TTV), 2015. Verkkodokumentti. Thöni. <http://www.thoeni.com/UserFiles/thoeni/Dokumente/Umwelt/Downloads-english/ttv_folder_gb.pdf> Luettu 24.2.2017.
15. TTV Reference Brandholz, 2016. Verkkodokumentti. Thöni. <http://www.thoeni.com/UserFiles/thoeni/Dokumente/Umwelt/Downloads-english/ttv_reference_brandholz_gb.pdf> Luettu 24.2.2017.
16. TTV Reference Ekogas, 2016. Verkkodokumentti. Thöni. <http://www.thoeni.com/UserFiles/thoeni/Dokumente/Umwelt/Downloads-english/ttv_reference_ekogas_gb.pdf> Luettu 24.2.2017.
17. TTV Reference Roppen, 2016. Verkkodokumentti. Thöni. <http://www.thoeni.com/UserFiles/thoeni/Dokumente/Umwelt/Downloads-english/ttv_reference_roppen_english.pdf> Luettu 24.2.2017.
18. References, 2017. Verkkodokumentti. Thöni. <<http://www.thoeni.com/en/references.html>> Luettu 9.3.2017.

19. Energy for the future, 2016. Verkkodokumentti. Bekon. <<http://www.bekon.eu/wp-content/uploads/2016/02/Brochure-BEKON-english1.pdf>> Luettu 1.3.2017.
20. Recovery Energy From Biomass, 2016. Verkkodokumentti. Bekon. <<http://www.bekon.eu/wp-content/uploads/2016/10/Brochure-BEKON-MINI-EN.pdf>> Luettu 1.3.2017.
21. Dry fermentation, 2017. Verkkodokumentti. Zorg Biogas. <http://www.zorg-biogas.com/biogas-plants/dry_fermentation?lang=en> Luettu 1.3.2017.
22. About Zorg Biogas, 2017. Verkkodokumentti. Zorg Biogas. <<http://www.zorg-biogas.com/about?lang=en>> Luettu 1.3.2017.
23. Biogas plants, 2017. Verkkodokumentti, Herhof GmbH. <<http://www.herrhof.com/en/reference/biogas-plants.html>> Luettu 9.3.2017.
24. Biogas, 2017. Verkkodokumentti. Herhof GmbH. <<http://www.herrhof.com/en/products/biogas-system.html>> Luettu 8.3.2017.

Virtauskaavio

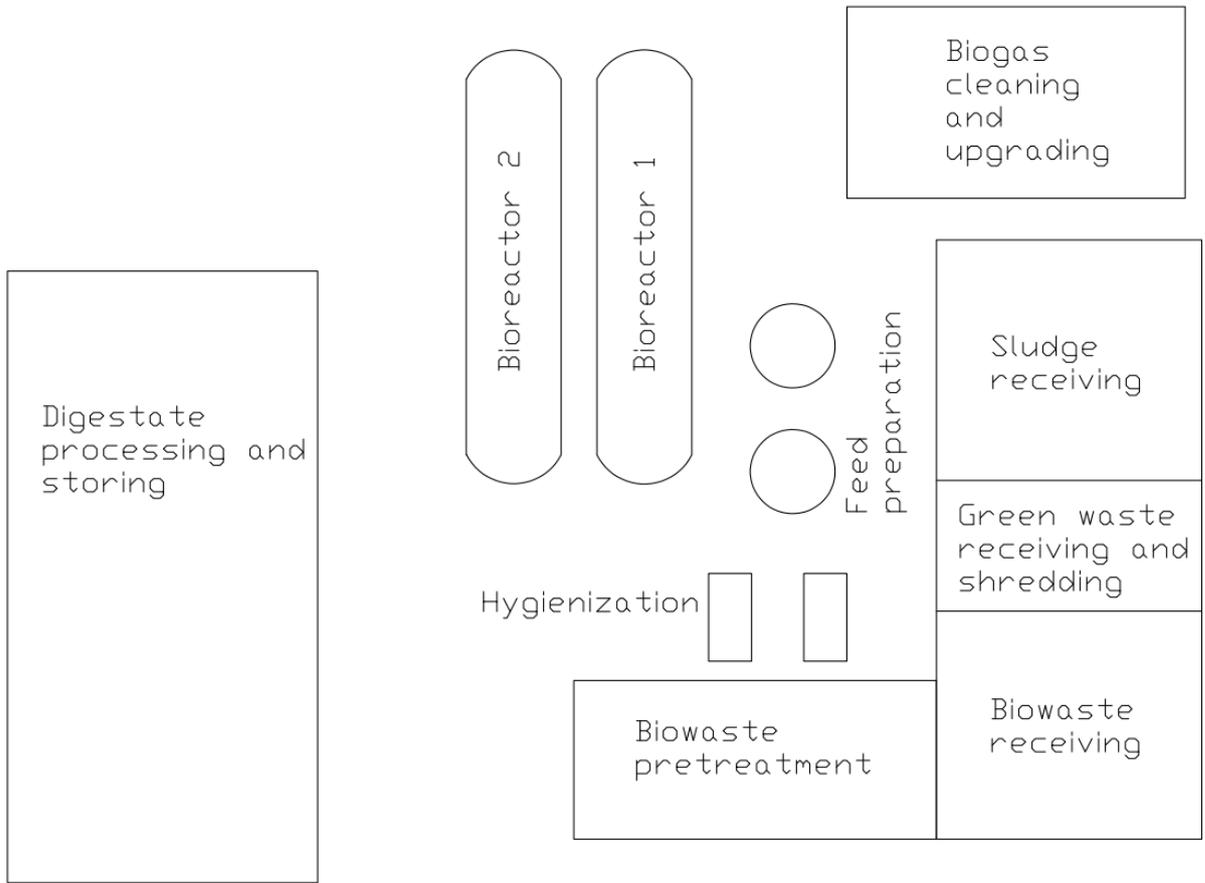


Lohkokaavio



Average	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
m. tpa total	30 000	25 000	1 741	1 800	58 541	52 763	5 778				
m. tpa H2O											
Q, MW/ha							3,5				
c. TS-%	22	26			22,0	13,9					
V, m3/a							4,8*10 ⁶				

Layout-suunnitelma



Laiteluettelo

LIST OF EQUIPMENT		Dry Digestion plant						
Revision date	Equipment no.	Equipment type	Name and duty of equipment	Capacity	m ³ /h, m ² /h etc.	Main dimension	mm, m Pa, kg etc.	Motor kW
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 01	Screw Conveyor	Feeder Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 02	Screw Conveyor	Feeder Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 03	Screw Conveyor	Conveyor	8	t/h			5,5
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 04	Screw Conveyor	Feeder Conveyor	8	t/h			5,5
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 05	Screw Conveyor	Conveyor	8	t/h			5,5
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 06	Conveyor	Bottom Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - SC - 07	Conveyor	Bottom Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - BC - 01	Conveyor	Belt Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - BC - 02	Conveyor	Belt Conveyor	3	t/h			4
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - TK - 01	Tank	Hygerization Tank	6	m ³			
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - TK - 02	Tank	Hygerization Tank	6	m ³			
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - TK - 03	Tank	Feed Preparation Tank	4	m ³			
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - TK - 04	Tank	Feed Preparation Tank	4	m ³			
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - AG - 01	Agitator	Feed Preparation Tank Agitator					15
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - AG - 02	Agitator	Feed Preparation Tank Agitator					15
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - AG - 03	Agitator	Feed Preparation Tank Agitator					15
rev 2 18.4.2017 RHO	01 - AG - 04	Agitator	Feed Preparation Tank Agitator					15
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - PU - 01	Feed Pump	Reactor Feed Pump	7	m ³ /h			70
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - AG - 01	Agitator	Reactor Agitator					
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - AG - 02	Agitator	Reactor Agitator					
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - BR - 01	Reactor	Bioreactor	2000	m ³	d=10 000 l= 35 000	mm mm	
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - BR - 02	Reactor	Bioreactor	2000	m ³	d= 10 000 l= 35 000	mm mm	
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - PU - 02	Pump	Digestate Pump	3,5	m ³ /h			40
rev 2 18.4.2017 RHO	02 - PU - 03	Pump	Digestate Pump	3,5	m ³ /h			40