

Biokaasusta lannoitetta ja energiaa (A32641) loppuraportti

Yhteenveto

Biokaasusta energiaa ja lannoitetta-hanke alkoi vuoden 2012 alussa ja sitä hallinnoi Jokilaaksojen koulutuskuntayhtymä. Hankkeen yhtenä osana tutkittiin lisäsyötteiden vaikutusta biokaasuntuottoon, kun perussyöte on lehmän lietelanta. Tutkittuja lisäsyötteitä olivat perunajalosteiden tuotannossa syntyvä perunajäte ja säilörehu. Keväällä 2014 tutkittiin reaktorin sekoitusajojen vaikutusta kaasun tuotantoon. Rejektin lannoitevaikutuksia tutkittiin kesällä 2014. Tässä loppuraportissa käsitellään koejakson tuloksia.

Reaktorivaurio joulukuussa 2014 keskeytti reaktorin toiminnan. Reaktorin korjaus suoritetaan touko – kesäkuussa 2015. Suunnitelmassa ollut murskaavan pumpun ja lämmönvaihtimen alustavat asennukset tehtiin kesällä 2014 mutta reaktorin vaurioituminen esti lopullisen asentamisen.

Biokaasureaktoriin syötettiin lehmän lietelantaa n. 5 m³/vrk. Lietteen keskimääräinen viipymäaika biokaasureaktorissa oli noin 20 vrk. Biokaasureaktori tuotti biokaasua koejakson aikana keskimäärin 4,8 m³/h.

Sisällys

Yhteenveto	2
1. Johdanto	4
2. Yleistä koejaksoista.....	5
2.1 Näytteet.....	5
2.2 Biokaasureaktorin syötteet	5
2.3 Tuotetun biokaasun analysointi	5
3. Lannoituskokeet	6
Nurmen lietalannoituskoe.....	6
Keskiarvot koekäsittelyittäin	7
Koekäsittelyiden väliset tilastollisesti merkitsevät erot	7
Tulosten tarkastelua	7
4. Sekoitusintervallikokeet	8
5. Perunalisäsyöte	9
6. Kiintomädätyskokeet.....	10
6.1 Laitteisto	10
6.2 Kuormitustesti, ruokajätesyöte ja säilörehu	11
6.3 perunasyöte.....	11
6.3.1 Metaanipitoisuus.....	12
6.3.2 Rikkivetypitoisuus.....	12
6.3.3 Kaasuntuotto	12
6.4 Olkilisäsyöte.....	13
6.4.1 Metaanipitoisuus.....	13
6.4.2 Rikkivetypitoisuus.....	13
6.4.3 Kaasuntuotto	13
6.5 Kuivikkeen vaikutus kaasuntuotantoon	14
7 Suositukset ja havainnot.....	14

1. Johdanto

Biokaasusta energiaa ja lannoitetta projektin yhtenä osana oli tutkia lisäsyötteiden vaikutusta biokaasuntuottoon sekä neste- että kuivamädätysprosesseilla, perussyötteen ollessa lehmän lietelanta. Lisäksi projektissa tutkittiin biokaasuprosessissa muodostunutta lietteen/rejektin lannoiteominaisuuksia. Hankkeen kokeellinen tutkimustoiminta toteutettiin 1.6.2013–30.6.2015. Ensimmäisen koejakson aikana biokaasureaktoriin syötettiin pelkästään lehmän lietelantaa ja kokeiltiin erilaisten sekoitusaikojen vaikutusta biokaasuntuottoon. Toisen koejakson aikana biokaasureaktoriin syötettiin lehmän lietelannan ohella peruna tuotteiden valmistuksessa syntyvää perunajätettä. Kolmannella koejaksolla lisäsyötteenä käytettiin puristenestettä. Kesällä 2014 tehtiin rejektin lannoitevaikutuksia tutkiva koe. Kokeessa testattiin raakaa lietelantaa, rejektiä biokaasureaktorista sekä kaupallista lannoitetta.

Metaenergia Oy on suorittanut kuivamädätyskokeita 400 l koereaktorilla. Reaktorilla on tutkittu mm. ruokajätteellä, säilörehulla, perunajätteellä, sekä oljella. Lisäksi tutkittiin reaktorin kuormitusta sekä erilaisten kuivikkeiden vaikutuksia kaasun tuottoon ja laatuun.

Haapajärven ammattiopiston yhteydessä oleva biokaasulaitos valmistui vuonna 2007 (kuva 1). Laitostoimittajana oli Metaenergia Oy. Biokaasulaitos koostuu biokaasureaktorista (nestetilavuus ~120 m³) ja jälkimädätysaltaasta (nestetilavuus ~300 m³). Biokaasulaitoksen perussyötteenä on lietelanta. Lietelanta kerätään navetasta lantaraapalla kouruun, josta liete valuu kokoojakaivoon (~30 m³). Kokoojakaivosta lietelanta pumpataan biokaasureaktoriin, josta se sitten ohjataan jälkimädätysaltaaseen ja sieltä aikanaan lietevarastoon. Tuotettu biokaasu käytetään tällä hetkellä biokaasulaitoksen ja ammattiopiston tilojen lämmittämiseen sekä liikennepolttoaineen tuottamiseen.

Reaktorin käyttö keskeytyi joulukuussa 2014 reaktorivaurioon. Reaktorin korjaustoiminta on ollut menestyksekkäs ja reaktori on nyt käyttöönottovaliheessa.

Metaenergia Oy on suorittanut kuivamädätyskokeita 400 l koereaktorilla. Reaktorilla on tutkittu mm. ruokajätteellä, säilörehulla, perunajätteellä, sekä oljella. Lisäksi tutkittiin reaktorin kuormitusta sekä erilaisten kuivikkeiden vaikutuksia kaasun tuottoon ja laatuun.

2. Yleistä koejaksoista

2.1 Näytteet

Biokaasureaktoriin syötettävästä lietelannasta, biokaasureaktorista poistuvasta rejektistä ja jälkimädätysreaktorin rejektistä otettiin näytteitä noin viikon välein neljännen koejakson aikana. Näytteiden lämpötila ja pH mitattiin heti näytteenoton jälkeen, minkä jälkeen näytteet pakastettiin. Pakastetuista näytteistä analysoitiin myöhemmin orgaaninen aines, kuiva-ainepitoisuus, typpi (kokonaismäärä ja ammonium), fosfori, kemiallinen hapenkulutus ja haihtuvat rasvahapot. Biokaasureaktoriin syötetyistä lisäsyötteistä otettiin myös näytteitä, jotka pakastettiin. Näistä näytteistä analysoitiin myöhemmin kuiva-ainepitoisuus, orgaaninen aines, typpi (kokonaismäärä ja ammonium) ja kemiallinen hapenkulutus.

2.2 Biokaasureaktorin syötteen

Navetalta tuleva liete varastoidaan kokoojasäiliöön, josta se pumpataan biokaasureaktoriin (lietteen pumppausaika 1 min; pumpun taukoaikaa vaihdellaan). Navetalta kokoojasäiliöön tulevan lietteen määrä vaihtelee päivittäin, sillä se riippuu navetalla tehtyjen pesujen määrästä (pesuvedet päätyvät lietelannan sekaan). Lietteiden määrä pyritään pitämään samana kokoojasäiliössä, minkä takia pumppauksen taukoaikaa jouduttiin muuttamaan koejaksojen aikana. Pesuvesien määrä vaikuttaa lietteen kuiva-ainepitoisuuteen ja sen virtaavuuteen. Liete virtaa sitä helpommin, mitä alhaisempi kuiva-ainepitoisuus on. Lietteiden virtaus vaihteli merkittävästi jopa vuorokauden aikana. Vuoden 2014 aikana lietettä pumpattiin biokaasureaktoriin keskimäärin 5,4 m³/vrk (mitattu ABB FSM400-virtausmittarilla). Koejaksojen keskimääräinen lietteen syöttömäärä vaihteli koejaksoilla 4,7–6,0 m³/vrk, joten lietteen + lisäsyötteiden keskimääräinen viipymäaika biokaasureaktorissa vaihteli 21 vrk:sta 27 vrk:een. Biokaasureaktorin toiminnan katsotaan vakiintuneen, kun sen nestetilavuus on vaihtunut kolme kertaa. Näin ollen biokaasureaktorin toiminnan katsottiin vakiintuneen 60 vrk:n kuluttua, kun lietteen viipymäaika oli 20 vrk:ta. Koejaksojen pituus vaihteli 84 vrk:sta 94 vrk:een.

Syötteiden viipymäaika jälkimädätysreaktorissa on pari kuukautta. Näin ollen koejakson tulisi kestää noin puoli vuotta, jotta myös jälkimädätysreaktorissa saavutettaisiin stabiilit tuotto-olosuhteet. Tämän takia jälkimädätysreaktori rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, jotta koejaksojen pituus ei olisi kohtuuttoman pitkä.

Perunajäte punnittiin ennen syöttöä kokoojakaivon kautta biokaasureaktoriin. Samoin puristeneste pumpattiin puristenestekaivosta lietteen kokoojakaivoon.

2.3 Tuotetun biokaasun analysointi

Kaasun virtausmäärät ilmoitetaan usein normikuutiometreinä. Tällöin kaasun lämpötila on 0 °C ja paine 1,013 bar. Reaktorista poistuvan biokaasun lämpötilaa arvioitiin mittaamalla kaasuputken lämpötilaa (mittausalue oli lämpöeristetty ympäristöstä) juuri ennen virtausmittaria. Virtausmittarille virtaavaan biokaasun lämpötilan oletettiin olevan sama kuin lämpöeristetyn kaasuputken lämpötila. Kaasuputken lämpötila ja oletettavasti myös kaasuputkessa virtaavan biokaasun lämpötila on ollut koejaksojen aikana noin 30 °C. Muutettaessa tuloksissa esitetyt mitatut biokaasun virtausmäärät (m³/h) normikuutiometreiksi (Nm³/h) virtausmäärien arvot pienenisivät noin 10 %. Molemmissa reaktoreissa on pieni ylipaine (alle 10 mbar), mutta

sen vaikutus kaasun tilavuusvirtaukseen on erittäin pieni (10 mbar muuttaa kaasun tilavuusvirtausta ~1 %) ja jätetään tässä tarkastelussa huomioimatta.

Tuotetun biokaasun metaani-, hiilidioksidi ja rikkivetypitoisuutta seurattiin koejaksojen aikana kannettavalla kaasumittarilla (Dräger X-am 7000). Mitattava biokaasu laimennettiin ilmalla ennen rikkivetypitoisuuden mittausta, mikäli biokaasun rikkivetypitoisuus oli yli 1000 ppm:ää (kannettava kaasumittari kykenee mittaamaan rikkivetypitoisuutta 1000 ppm:ään asti). Lisäksi varsinaisessa biokaasureaktorissa tuotetun biokaasun metaanipitoisuutta seurattiin kiinteästi asennetulla jatkuvatoimisella metaanimittarilla (Oldham OLCT IR).

3. Lannoituskokeet

Haapajärven ammattiopisto toteutti yhteistyössä MTT Ruukin kanssa lannoituskokeen säilörehunurmella. Nurmilohko (timotei, nurminata) oli 2. vuoden nurmi. Kevätsato oli lannoitettu 100kg N/ha ja 1.sato korjattiin 9.6. Toisen säilörehusadon lannoitus tehtiin 24.6. . Koejäseninä oli lietelanta, biokaasulaitos rejekti, väkilannoite ja 0-ruutu. Lannoitus toteutettiin n. 70 kg N/ ha pohjalta.

Lietelanta 35 tn/ha, kokonaistyyppi 68 kg N/ha

Rejekti 35 tn/ha, kokonaistyyppi 70 kg N/ha

Väkilannoite (Suomen salpietari) 260 kg/ha, kokonaistyyppi 70 kg N/ha

0-ruutu jätettiin lannoittamatta.

Lietelanta ja rejekti levitettiin peltoon urakoitsijan Vredo lannanlevityskalustolla + multaimella. Väkilannoite levitettiin keskipakolevittimellä.

Koeruutujen korjuu toteutettiin 6.8.2014. MTT Ruukki ajoi ensin koeruudut ns. pituussuuntaan kolmesta eri kohdasta. Sen jälkeen kaistat niitettiin 8 cm sänkeen ja pyöröpaalattiin. Paalit merkattiin lohkoittain ja marraskuussa otetaan säilörehuanalyysinäytteet.

Nurmen lietelannoituskoe

Nurmen lannoituskokeen toteutti Haapajärven ammattiopisto. He tilasivat MTT:n Ruukin toimipisteestä koealan sadonmittauksen. Sato mitattiin nurmirehusatojen korjuuseen ja sadonmittaukseen kehitetyllä korjuukoneella (Haldrupp) 06.08.2014. Niitto tehtiin kaistoittain eri koekäsittelyille. Oheisessa raakadata listauksessa näkyy kunkin koekäsittelyn kultakin kerranteelta korjatun sadon määrä ja sen keruuseen tarvittu ajomatka. Sadosta on otettu edustavat näytteet kuiva-ainepitoisuuden määrittämistä varten. Koetuloksissa on laskettu sadon kuiva-ainepitoisuus ja tuore- sekä kuiva-ainesadon määrä. Korjuun yhteydessä mitattiin lisäksi kasvuston pituus.

Keskiarvot koekäsittelyittäin

	0-ruutu	Liete	Rejeki	Väkilanta
	N=3	N=3	N=3	N=3
Kasvuston korkeus, cm	63	49	58	81
Kuiva-aine, g/kg	293	289	276	261
Tuoresato, kg/ha	9 131	6 206	9 434	19 062
Kuiva-ainesato, kg/ha	2 696	1 803	2 537	4 978

Taulukko1. Lannoitekokeiden tulokset

Koekäsittelyiden väliset tilastollisesti merkitsevät erot

Väkilannoitus tuotti muita suuremman kuiva-ainesadon ($P>0,05$). Väkilannalla tuotti molempia lietelannoituksia suuremman sadon. Rejeki tuotti käsittelemätöntä lietelantaa suuremman sadon.

Tulosten tarkastelua

Tulokset poikkeavat aiemmin saaduista vastaavista tutkimustuloksista erityisesti lietekäsittelyillä saatujen satojen osalta. Käsittelemätön liete näytti vähentävän satomäärää. Väkilannoituksella saatu satomäärä edusti käypää tasoa. Koekäsittelyjen sisäinen vaihtelu voimakasta, mikä kertoi voimakkaasti epätasaisesta kasvustosta. Kokeen muu tulosaineisto voi mahdollisesti selittää edellä tehdyt huomiot.



Kuva 1. Koeruutujen niitto.

4. Sekoitusintervallikokeet

Reaktorin sekoituksen vaikutuksia tutkittiin käyttämällä neljää erilaista sekoitus/tauco – asetusta. Sekoituksen tarkoitus on pitää reaktorissa oleva liete homogeenisena estäen lietteen kerrostuminen. Samalla sekoitus irrottaa lietteeseen syntyvät metaanikuplat lietepartikkelien pinnalta, parantaen prosessissa toimivien bakteerien työskentelyolosuhteita. Liiallinen sekoitus saattaa johtaa lietteen vaahdottamiseen ja siten kaasuntuoton heikkenemiseen. Liian vähäinen sekoitus aiheuttaa kerrostumista, joka puolestaan vähentää kaasuntuottoa.

Testatut sekoitusintervallit olivat (työaika: lepoaika): **1:20 perusaika, 2:20, 1:10 ja 2:5**. Koeaika jokaisessa sekoituskokeessa oli 192 tuntia.

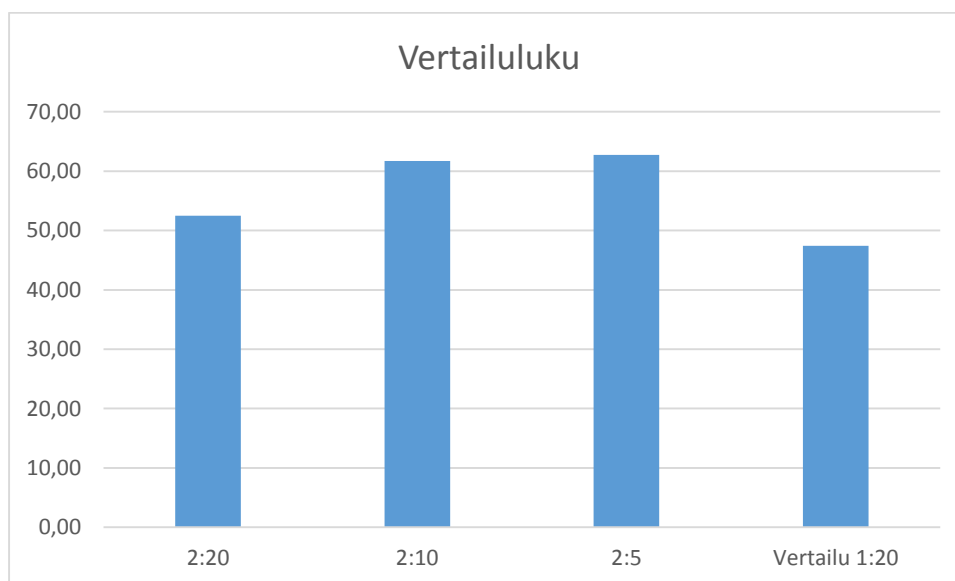
Koska lietteensyöttö ja lisäsyötteen määrät vaihtelivat kokeen aikana, kaasuntuotto normalisoitiin lietteensyötön ja lisäainesyötön mukaan.

Sekoitussuhteilla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta kaasun laatuun. Metaanipitoisuus oli kokeiden aikana 60 – 62 %.

Koe	Kaasua/liete m3	kaasua / lisäsyötetonne	vertailuluku
1:20 Vertailu	16,00	3,57	57,20
2:20	15,93	3,29	52,47
2:10	18,50	3,34	61,72
2:5	17,58	3,57	62,72

Taulukko 2. Sekoituksen vaikutus kaasuntuottoon.

Kuten taulukosta 2 nähdään sekoituksen lisääminen parantaa kaasuntuottoa. paras tuotto saatiin tiheimmällä sekoitussuhteella (2:5). Sekoitussuhteen vaikutusta kaasuntuottoon tulisikin tutkia enemmän tulevaisuudessa tutkimusjaksoissa. Sekoitussuhteella 2:5 saatiin noin 10 % suurempi kaasuntuotto kuin vertailu sekoitussuhteella (1:20). Koska reaktorin sekoittimen laakerit ovat huonossa kunnossa, niiden säästämiseksi on palattu vertailusekoitussuhteeseen 1:20.



Kuva 2. Sekoituskokeiden tulokset

5. Perunalisäsyöte

Perunalisäsyötteenä käytettiin Pyhäjärvisen perunanviljelijän toimittamaa perunatuotteiden valmistuksessa syntyvää perunalietettä. Perunaliete toimitettiin noin 1500 litran erissä. Normaalisti yksi noin 1000 litran muovikontti sekä kaksi 200 litran pienempää säiliötä. Perunaliete kaadettiin pienkuormaajalla lietekaivoon. Lietekaivossa perunaliete sekoitetaan normaaliin sekoitusrytmiin navetasta tulevan lietelantaa. Sekoituksen jälkeen lietteet pumpataan ajastimen ohjaamana reaktoriin. Sekoitusmenetelmästä johtuen ei aivan tarkkaa kuormitusta pystytä määrittämään.

Kokeiden aikana perunalisäsyötettä syötettiin yhteensä 12575 kiloa oheisen taulukon mukaan.

Päiväys	Lisätty perunan määrä [kg]
13.maalis	845
18.maalis	800
31.maalis	1560
10.huhti	750
14.huhti	850
22.huhti	800
25.huhti	780
5.touko	850
8.touko	570
13.touko	1800
19.touko	1370
27.touko	1600

Taulukko 2. Perunalisäsyöte, syöttömäärät.

Perunalisäsyötteellä saavutettiin noin 15% - 20 % kaasuntuotannon lisäys verrattuna aikaisempiin perussyötteellä tehtyihin kokeisiin verrattuna. Koska perunalisäsyötteen annostelu lietekaivon kautta on epämääräistä, on seuraavissa kokeissa kehitettävä tarkempi lisäsyötteen syöttömenetelmä.

Kaasun laatu perunalisäsyötettä käytettäessä oli hyvää. Metaani pitoisuus vaihteli 62 – 64 % välillä. Rikkivety pitoisuudet pysyttelivät matalina koko kokeen suorituksen ajan, vaihdellen 22 – 50 ppm välillä.

Kaasunlaatu

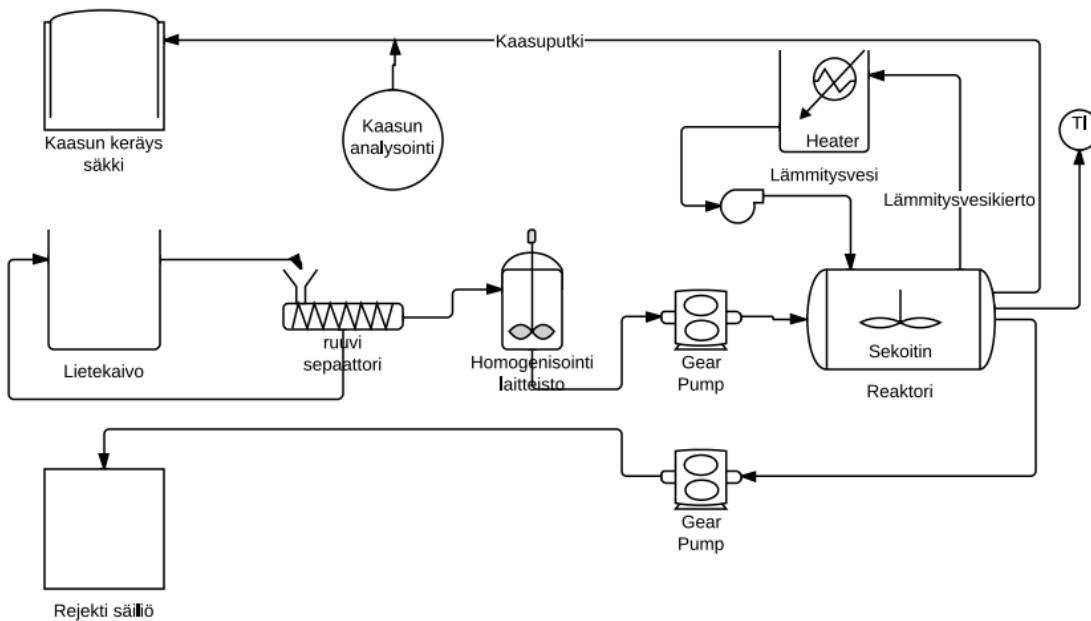
Koe	2:20	2:10	2:5	1:20
CH4 til. %	62	62	-	64
CO2 til. %	39	39	-	40
H2S ppm	34	22	-	50
O2 til. %	0,5	0,5	-	2,7

Taulukko 3. Kaasunlaatu perunalisäsyötekokeiden aikana.

6. Kiintomädätyskokeet

6.1 Laitteisto

Koelaitteisto koostui separaattorista, homogenisointiyksiköstä, pumppuyksiköistä, reaktorista, reaktorin sekoittimesta, rejekti säiliöstä, ohjauksyksiköstä sekä reaktorin lämmityslaitteistosta. (Kuva 1)



Kuva 1. Koelaitteisto

Ensimmäisessä vaiheessa lietelanta pumpattiin separaattorin läpi, jotta lietelannan kuiva-ainepitoisuutta saatiin nostettua. Homogenisointi yksikköön syötetty lietelanta oli kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 15 %. Perunat syötettiin homogenisointilaitteistoon ruuvikuljettimen avulla.

Homogenisointilaitteistosta lietelannan ja perunan seos pumpattiin reaktoriin (lietetilavuus n. 400l). Samalla toisella pumpulla reaktorista poistettiin lietettä rejektisäiliöön. Pumppuja ohjattiin taajuusmuuttajalla ja lietettä syötettiin reaktoriin tasaisissa erissä ympäri vuorokauden.

Reaktoria sekoitettiin tasaisin väliajoin, jotta reaktorissa ei pääsisi tapahtumaan ns. lauttautumista eli kiintoaineen nousua lietteen pinnalle. Tasaisella sekoituksella voidaan myös estää lietteen vaahtoamista reaktorissa.

Reaktorin lämpötila pidettiin koko kokeen ajan noin 38-39 °C. Lämmitys tapahtui reaktorin vaipassa olevan vesikiertoisen putkiston avulla.

Kaasun pitoisuuksia mitattiin Dräger X-am 5600 infrapuna kaasuanalysointilaitteella ja kaasun tuottoa mitattiin 200l kaasu säkillä, jonka täyttymisaikaa seurattiin.

Reaktorin käynnistämiseen käytettiin Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitoksen rejektiä.

6.2 Kuormitustesti, ruokajätesyöte ja säilörehu

Käytetyn lietteen kuiva-ainepitoisuus säädettiin testeissä noin 15%. Syötteen kuiva-ainepitoisuutta säädeltiin lisäämällä syötteeseen lietteen separoinnista saatavaan löysää lietettä. 15 % kuiva-ainepitoisuudessa liete on vielä pumpattavassa muodossa. Kun käytetään korkean kuiva-ainepitoisuuden omaavaa lietettä, voidaan reaktorista saada irti enemmän tehoja suhteessa saman kokoiseen reaktoriin, missä käytetään pienemmän kuiva-ainepitoisuuden omaavaa lietettä. Kiintomädätystä käytettäessä voidaan käyttää saman lietemäärä mädättämiseen pienempää reaktoria, jolloin laitoksen perustamiskustannukset pienenevät.

Kuormitus testissä pyrittiin saavuttamaan maksimaalinen kaasuntuotto suhteessa reaktorin kokoon. Reaktorin kuormitusta nostettiin pikkuhiljaa 8 kgVs/m³r/d:sta jopa 16,5 kgVs/m³r/d. Reaktori toimi stabiilisti myös korkeilla kuormituksilla, mutta kaasuntuotannossa ei juurikaan etua kaikkein korkeimmista kuormituksista saatu. Suurilla kuormituksilla orgaanisen aineen viipymä reaktorissa on niin lyhyt että iso osa orgaanisesta aineesta jää reaktorissa hajoamatta. Kaasua kokeessa kertyi noin 2,7 kertaa reaktorin lietetilavuuden verran vuorokaudessa, josta voidaan todeta, että reaktori toimi varsin tehokkaasti. Kaasun metaani pitoisuus kokeen aikana oli keskimäärin noin 62%. Rikkivetyä kokeessa syntyi keskimäärin 560 ppm, mikä on huomattavasti alhaisempi määrä verrattuna perinteiseen märkämädätykseen.

Kuormituskokeen loppuessa reaktoriin alettiin syöttää separoidun lietteen lisäksi säilörehua. Rehun osuutta syötteessä lisättiin ja lopuksi reaktoriin syötettiin pelkää säilörehua. Syötteen kuiva-ainepitoisuutta säädeltiin lisäämällä syötteeseen lietteen separoinnista saatavaan löysää lietettä, reaktorin rejektiä ja vettä. Veden ja rejektin määrää lisättiin kokeen kuluessa ja löysän lietteen määrää vähennettiin. Kaasuntuotto kokeen aikana oli keskimäärin 2,8 kertaa reaktorin lietetilavuuden verran vuorokaudessa. Testissä pyrittiin saavuttamaan maksimaalinen kaasuntuotto suhteessa reaktorin kokoon. Kaasun keskimääräinen metaani pitoisuus oli 58%, kun reaktoriin syötettiin pelkästään rehua. Reaktori toimi stabiilisti myös rehun ollessa ainoa syöte. Vasta kokeen lopussa kun rejektin kierrätys nostettiin 100% ja veden lisääminen syötteeseen lopetettiin niin reaktori kaatui. Tämä johtui luultavasti typenkertymisestä reaktoriin, mikä johti ammoniakki myrkytykseen.

Rikkivetypitoisuudet kaasussa vaihtelivat kokeen aikana 570ppm-0ppm välillä. Rikkivedyn pitoisuus kaasussa laski sitä mukaa kun rehun määrä syötteessä kasvoi. Kokeen loppuosassa rikkivedyn pitoisuudet menivät jopa 0 ppm:ään. Syöttämällä rehua reaktoriin voidaan rikkivety pitoisuuksia tuotekaasussa laskea.

Alhaisempi rikkivety määrä tarkoittaa suoraan alhaisempia kaasun puhdistus kustannuksia ja polttimen pidempää käyttöikää. Jos kaasua käytetään liikennepolttoaineena, niin kaasusta täytyy poistaa rikkivety kokonaisuudessaan. Näin ollen reaktorin kuormituksen kasvattaminen rehulla on edullista, kun tavoitteena on tuottaa liikennepolttoainetta.

Kolmannessa mädätys kokeessa testattiin lisäsyötteenä ruokajätettä. Testissä lietelannan sekaan syötettiin ruokajätettä ja pieniä määriä paistorasvaa. Ruokajäte testeissä selvisi ruokajätteen korkea potentiaali lisäsyötteenä. Kun ruokajätettä lisättiin separoidun lietteen sekaan, saatiin kaasua noin 4 kertaa reaktorin lietetilavuuden verran vuorokaudessa.

6.3 perunasyöte

Ensimmäisessä testijaksossa reaktoriin syötettiin perunaa 3kg/vrk ja separoitua lietelantaa (TS 30%),8kg/vrk. Seokseen lisättiin myös lietteen separoinnista saatavaa nestemäistä jaetta, jonka avulla

syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus saatiin säädettyä noin 15%:iin , jolloin se oli vielä helposti pumpattavassa muodossa. Reaktorin kuormitus oli 5 kgVs/m³r/d. Lietteen viipymä reaktorissa oli 24 päivää. Päivittäin Reaktoriin syötetty lietemäärä oli noin 16,7 l.

Toisessa testijaksossa reaktoriin syötettiin perunaa 4,5kg/vrk ja separoitua lietelantaa (TS 30%) 4,5kg/vrk. Seokseen lisättiin myös lietteen separoinnista saatavaa nestemäistä jaetta, jonka avulla syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus saatiin säädettyä noin 15%:iin, jolloin se oli vielä helposti pumpattavassa muodossa. Todellinen syötteen kuiva-ainepitoisuus kuitenkin nousi testijakson lopussa noin 17%. Reaktorin kuormitus oli 5 kgVs/m³r/d. Reaktorin kuormitus nousi kuitenkin testijakson lopussa noin 6 kgVs/m³r/d, koska kuiva-ainepitoisuus oli haluttua korkeampi. Lietteen viipymä reaktorissa oli 26 päivää. Päivittäin Reaktoriin syötetty lietemäärä oli noin 16,3 l.

Kolmannessa testijaksossa syötteenä käytettiin pelkkää perunaa. Perunaa syötettiin reaktoriin noin 10kg/vrk. Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus oli noin 23 %. Tässä testijaksossa syöteseoksen kuiva-ainepitoisuutta ei lähdetty pienentämään, koska tahdottiin kokeilla perunan mädätystä ilman mitään lisäaineita. Homogenisoinnissa murskattu peruna oli myös erittäin juoksevaa ja sen pumppaaminen onnistui helposti vaikka kuiva-aine pitoisuus oli korkea. Reaktorin kuormitus oli 5 kgVs/m³r/d. Lietteen viipymä reaktorissa oli 40 päivää. Päivittäin Reaktoriin syötetty lietemäärä oli noin 10 l/vrk.

Koska perunassa orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta on suurempi kuin lietelannalla, niin perunan osuuden noustessa syötteenä pumpattavan lietteen määrä laskee ja viipymä reaktorissa kasvaa, reaktorin kuormituksen pysyessä kuitenkin samalla tasolla.

6.3.1 Metaanipitoisuus

Kaasun metaanipitoisuus vaihteli ensimmäisen testijakson aikana 56% ja 62% välillä, keskiarvon ollessa 59%. Kaasun metaanipitoisuus vaihteli toisen testijakson aikana 56% ja 65% välillä, keskiarvon ollessa 59%. Kaasun metaanipitoisuus vaihteli toisen testijakson aikana 54% ja 62% välillä, keskiarvon ollessa 56%. Kaasun metaanipitoisuus oli kahden ensimmäisen testijakson aikana hyvin samoissa lukemissa. Kolmannen testijakson aikana, jolloin reaktoriin syötettiin pelkkää perunaa, niin kaasun metaani pitoisuus oli hiukan alhaisemmalla tasolla. Myös kaasun metaanipitoisuus pysyi tasaisempana kolmannen testijakson aikana.

6.3.2 Rikkivetypitoisuus

Kaasun rikkivetypitoisuus vaihteli kokeen aikana 590ppm ja 12ppm välillä. Kokeissa huomattiin, että perunan osuuden lisääntyminen syötteenä vähensi rikkivedyn määrää kokeen aikana. Perunaa voidaankin pitää erinomaisena syötteenä jos tavoitteen on tieliikennekäyttöön sopivan kaasun jalostaminen.

6.3.3 Kaasuntuotto

Ensimmäisen testijakson kaasuntuotto vaihteli 960-1476l/vrk välillä. Keskimääräinen kaasuntuotto ensimmäisen testijakson aikana oli 1320 l/vrk ja puhdasta metaania syntyi 779 l/vrk. Tällöin biokaasua syntyi noin 3,3 kertaa reaktorin lietetilavuus vuorokaudessa. Puhdasta metaania suhteessa syötettyyn orgaaniseen aineeseen syntyi 156 l CH₄/kgVs. (kuormitus 5 kgVs/m³r/d)

Toisen testijakson kaasuntuotto vaihteli 830-1476l/vrk välillä. Keskimääräinen kaasuntuotto toisen testijakson aikana oli 1220 l/vrk ja puhdasta metaania syntyi 720 l/vrk. Tällöin biokaasua syntyi noin 3 kertaa reaktorin lietetilavuus vuorokaudessa. Puhdasta metaania suhteessa syötettyyn orgaaniseen aineeseen syntyi 120 l CH₄/kgVs (kuiva-aineen nousun johdosta kuormitus ollut 6 kgVs/m³r/d, joka on otettu huomioon laskennassa).

Kolmannen testijakson kaasuntuotto vaihteli 768-1745l/vrk välillä. Jos huonoin yksittäinen tulos testijakson alussa jätetään huomioimatta, niin keskimääräinen kaasuntuotto ensimmäisen testijakson aikana oli 1516 l/vrk ja puhdasta metaania syntyi 848 l/vrk. Tällöin biokaasua syntyi noin 3,8 kertaa reaktorin lietetilavuus

vuorokaudessa. Puhdasta metaania suhteessa syötettyyn orgaaniseen aineeseen syntyi 170 l CH₄/kgVs. (kuormitus 5 kgVs/m³r/d)

Suurimmat kaasumäärät saatiin kun syötteenä käytettiin pelkästään perunaa. Syynä tähän on luultavasti perunan korkea kuiva-ainepitoisuus ja orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta, jolloin kuormituksen pysyessä samana viipymä reaktorissa pitenee huomattavasti kahteen ensimmäiseen testijaksoon verrattessa. Myös perunan tehokas hajoaminen reaktorissa varmasti vaikuttaa tuloksiin.

6.4 Olkilisäsyöte

Kokeen alussa reaktoriin syötettiin pelkästään separoitua lietelantaa ja separoinnista saatavaa nestemäistä jaetta siinä suhteessa että seoksen kuiva-aine pitoisuus oli noin 15%. Syöteseokseen alettiin lisätä (24.11.2014) olkea ensin pieniä määriä ja pikkuhiljaa sen osuutta lisäämällä päästiin lopulliseen syöteseokseen.

Lopullisen syöteseoksen suhteet olivat 2kg olkea 4.9kg separoitua lietelantaa (TS 30%). Eri syötteiden suhteet syöteseoksessa olivat tällöin 71% lietelantaa ja 29 % olkea. (kuva 2.) Syöteseosta pumpattiin reaktoriin keskimäärin noin 15l (15,6 kg) vuorokaudessa, jolloin reaktorin viipymäksi saadaan 26 vuorokautta. Reaktorin kuormitus tällaisella syötemäärällä on 3,9 kgVs/m³r/d.

6.4.1 Metaanipitoisuus

Kaasun metaanipitoisuus pysyi koko kokeen ajan varsin tasaisesti 56% ja 63% välissä mikä näkyy myös kuvaajasta. Keskimääräinen metaani pitoisuus oli koko koejakson aikana noin 59%. Oljen lisääminen lietelannan sekaan ei näyttänyt vaikuttavan metaanipitoisuuteen juuri millään tavalla, verrattuna aikaisempiin kiintomädätyskokeisiin lietelannalla.

6.4.2 Rikkivetyypitoisuus

Kaasun rikkivetyypitoisuus laski kokeen alussa, ja syöteseoksen vakiinnuttua rikkivetyypitoisuus asettui noin reilun 100 ppm tietämille. Kun syöteseoksen kuiva-aineesta 29% oli olkea, keskiarvoinen rikkivetyypitoisuus oli noin 129 ppm. Aikaisemmissa kokeissa, missä syötteenä on ollut pelkkää separoitua lietelantaa, niin rikkivetyypitoisuudet ovat asettuneet noin 500ppm tienoille. Eli voidaan todeta, että olki syöteseoksessa pienentää rikkivedyn muodostumista. Tämä johtuu luultavimmin siitä, että olki ei sisällä niin paljon rikkiä kuin lietelanta ja toisaalta oljen mukana reaktoriin kulkeutuu jonkin verran happea mikä vähentää rikkivedyn muodostumista.

6.4.3 Kaasuntuotto

Kun syöteseos koostui 29% oljesta ja 71% lietelannasta niin kaasumäärä asettui noin 680 l/vrk tienoille. Metaanipitoisuuden ollessa noin 59 % saadaan 100 % metaanin saannoksi noin 401 l/vrk. Kaasun mittaus säkistä löytyi kuitenkin pieni vuoto noin kuukausi ennen testin loppua. Kun säkin vuoto oli tukittu, niin kaasun tuotanto nousi jonkin verran. Testin viimeisen kuukauden aikana kaasua saatiin noin 820 l/vrk. Tämä tarkoittaa 483 l metaania.

Keskiarvoinen biokaasun saanti koko testin aikana oli 724 l/vrk ja 427 litraa 100 % metaania.

Kirjallisuudesta löytyy lukemia noin 220 litrasta hieman alle 300 litraan CH₄/kg Vs. Joten varsinkin viimeisen kuukauden aikana sadut tulokset ovat erittäin hyviä. Testissä saatuihin hyviin tuloksiin vaikuttaa varmasti se, että olki esikäsiteltiin murskaavalla pumpulla erittäin pieniksi jakeiksi (alle 10mm).

Myös se, että kyseessä oli lietalannan ja oljen yhteismädätys, parantaa oljesta saatavan kaasun määrää verrattuna siihen, että olkea olisi mädätetty yksinään. Olki tehostaa myös varmasti jonkin verran lannan mädätystä, koska syöteseoksen C/N-suhde on lähempänä optimia kuin lietalannalla yksinään. Lannalla yksinään C/N suhde jää helposti alle 20 kun tässä testissä C/N suhde oli 22,6 (25 on optimi mädätykseen).

6.5 Kuivikkeen vaikutus kaasuntuotantoon

Laboratoriokokeissa testattiin mädätystä kahdesta eri navetasta saadulla lietteellä. Toisessa navetassa kuivikkeena käytettiin turvetta ja toisessa purua. Ensimmäinen testijakso tehtiin lietteellä joka tuli navetasta, jossa oli kuivikkeena käytetty turvetta ja toisessa testijaksossa käytettiin lietettä joka tuli purua käyttävästä navetasta.

Metaania per syötetty kg orgaanista ainetta (VS) saatiin ensimmäisen jakson aikana keskimäärin 167 l/kgVS. Toisen jakson aikana metaania saatiin 129 l/kgVS. Tulokset eivät ole kuitenkaan täysin vertailukelpoisia eri kuormituksesta johtuen. Noin 22 % korkeampi metaanin saanto per syötetty kg orgaanista ainetta selittyy nimenomaan pienemmällä kuormituksella (3,8 kgVs/m³r/d vs. 6.1 kgVs/m³r/d) ja pidemmällä viipymällä (18,7 vrk VS 14,1 vrk), jolloin suhteessa vähemmän orgaanista ainetta jää hajoamatta. Kirjallisuudesta löytyy esimerkkejä, joissa samansuuruisella erolla kuormituksessa on saatu noin 19 % ero saadussa metaanin määrässä verrattuna syötetyn orgaanisen aineen määrään. Tämän testin perusteella ei voida vetää johtopäätöksiä siitä, onko toinen kuivike toista parempi, kun tarkastellaan metaanin saantoa.

Laboratorio analyysit osoittivat, että orgaaninen aines hajosi tehokkaammin kun liete sisälsi purua.

Metaanipitoisuus oli toisen testijakson aikana hiukan korkeammalla tasolla kuin ensimmäisessä jaksossa (61% vs. 63,5%) eli voidaan todeta, että turve kuivikkeena hiukan alentaa metaanipitoisuutta. Toisaalta ensimmäisessä testijaksossa myös rikkivety pitoisuudet olivat huomattavasti alhaisemmalla tasolla (286 ppm vs. 856 ppm). Eli voidaan todeta, että turve luultavammin sitoo rikkiyhdisteitä itseensä ja näin vähentää rikkivety pitoisuuksia kaasussa.

Syötteissä ei havaittu suuria eroja myöskään laboratorio analyyseissä. Ainoastaan alkaliniteetti oli selkeästi korkeampi purua sisältävässä lietteessä (6180 mg CaCO₃/l vs. 13800 mg CaCO₃/l). Tällä on vaikutusta lietteen puskurointikykyyn. Periaatteessa tämä tarkoittaa sitä, että korkeamman alkaliniteetin omaavalla lietteellä on parempi puskurointikyky Ph:n alenemista vastaan ja se kestää siis suurempia rasvahappopitoisuuksia (VFA). Näin ollen reaktoria voidaan ajaa suuremmalla kuormituksella kun lietteellä on hyvä puskurointikyky.

7 Suositukset ja havainnot

Lisäsyötteillä saadaan nopeasti ja helposti tehostettua kaasuntuotantoa. Samalla, kun kaasun tuotos paranee, on myös mahdollista parantaa kaasun laatua. Oikeilla lisäsyötteillä voidaan vaikuttaa alentavasti kaasun rikkivety pitoisuuksiin. Tutkitut lisäsyötteet (peruna, ruokajäte) paransivat kaasun laatua sekä lisäsivät kaasuntuotantoa n. 30 % verrattuna perussyötteeseen..

Kiintomädätysprosessissa, jossa kiintoaineen pitoisuus on korkeampi kuin normaalissa märkämädätysprosessissa, mutta alhaisempi kuin kuivämädätysprosessissa, voidaan yhdistää molempien prosessien hyviä puolia. Biokaasureaktion vaatima syöte on yhä pumpattavissa ja käsiteltävissä normaaleilla prosessitekniiikan välineillä. Toisaalta energiatehokkuus on parempi kuin enemmän vettä sisältävässä märkäprosessissa. Tämä yhdessä tarvittavan laitteistokoon pienemisen kanssa parantaa kaasuntuotannon kannattavuutta.

Kuivikkeena käytetyn turpeen ja sahanpurun vaikutuksia tulisi tutkia tarkemmin pidemmillä koesarjoilla. Samoin rejektin käyttöä lannoitteena tulisi tutkia uusilla kokeilla, sillä nyt tehdyt kokeet antoivat epämääräiset tulokset. Syynä tähän on luultavasti käytetyn lohkon ominaisuuksien ja vallinnan sään aiheuttama yhteisvaikutus.

Sekoituskokeiden jatkoa tulisi myös harkita. Sekoitussuhde on kuitenkin aina reaktorimallille ominainen ja tulisi optimoida kullekin reaktorille ja syötteelle erikseen.