
PILOT-BIOKAASUREAKTORI MAITOTILALLE



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka

Visamäki, syksy 2016

Toni Haavisto

HÄMEENLINNA

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Ympäristötekniikka

Tekijä	Toni Haavisto	Vuosi 2016
Työn nimi	Pilot-biokaasureaktori maitotilalle	

TIIVISTELMÄ

Ravinteiden kierrätys ja ravinnevalumiin vähentäminen vesistöön ovat keinoja Itämeren tilan parantamiseksi. Käytännön toimenpiteitä näiden saavuttamiseksi ovat muun muassa biokaasun tuotanto ja kerääjäkasvien käyttö ravinteiden sitoijina. Näitä aiheita tutkitaan HAMK:n vetämässä Ravinneresurssi-hankkeessa (RaRe), jota rahoitetaan ympäristöministeriön RaKi-ohjelmasta. Tämä opinnäytetyö tehtiin osana RaRe-hanketta. Tavoitteena oli saada HAMK:n Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilalle valmiudet tutkia kerääjäkasvien käyttöä biokaasutuotannossa.

Tässä työssä kunnostettiin ja koeajettiin käytöstä poistettu pilot-biokaasureaktori, joka siirrettiin HAMK:n Visamäen yksiköstä Mustialaan. Reaktorin ylösajo ja testivaihe tehtiin kesällä 2016. Bioreaktoria tullaan käyttämään biokaasukokeissa, joissa kerääjäkasveja käytetään syöteseoksessa lannan kanssa. Tähän liittyen tehtiin maatilatason metaanienergiatuottolaskenta, jossa käytettiin syöteseoksena Mustialan lietelantaa ja italianraihinä-olki-seosta.

Bioreaktorin kunnostukseen liittyi uusien reaktoriosien ja osalaitteiden hankintaa ja testausta, muun muassa biokaasutuoton mittausta ja seurantaan varten. Reaktorikokonaisuus todettiin toimivaksi noin kuukauden mittaisella lantakokeella. Reaktorikuormitus oli noin $2,8 \text{ kgVS m}^{-3} \text{ vrk}^{-1}$ ja viipymä noin 30 vrk. Biokaasua muodostui keskimäärin noin 110 litraa vrk^{-1} ja metaanituotto syötteen orgaanista ainesta kohti oli noin 155 litraa kgVS^{-1} .

Laskennallisessa tarkastelussa syöteseoksen, jonka kuiva-ainejakauma oli 70 % lietelantaa ja 30 % viherbiomassaa, metaanintuottopotentialiksi saatiin 262 litraa $\text{CH}_4 \text{ kgVS}^{-1}$, mikä oli lähes kaksinkertainen tässä työssä mitattuun pelkästä lietelannasta saatuun metaanituottoon. Tätä verifioidaan säilötyn kerääjäkasvin ja lietelannan yhteismädätyskokeissa, jotka toteutetaan osana RaRe-hanketta tammi-maaliskuussa 2017.

Avainsanat Kerääjäkasvit, lietelanta, biokaasu, ravinteet.

Sivut 41 s. + liitteet 24 s.

HÄMEENLINNA

Degree Programme Biotechnology and Food Engineering
Environmental Engineering

Author	Toni Haavisto	Year 2016
Subject of Bachelor's thesis	Pilot biogas reactor on a dairy farm	

ABSTRACT

The recycling of nutrients and prevention of runoff nutrients to the water system are ways to improve the state of the Baltic Sea. Practical measures to do this are biogas production and the use of catch crops as nutrient binders. These subjects are studied in the project of Ravinneresurssi (RaRe) run by HAMK and funded by the Ministry of the Environment. This Bachelor's thesis was carried out as part of the project. The goal was to obtain some means for the Mustiala education and research farm of HAMK to study the use of catch crops as a part of the biogas production.

A pilot disused bioreactor was restored and test driven. The bioreactor was moved from Visamäki to Mustiala unit of HAMK. The start-up and test phases took place in summer 2016. The bioreactor will be used in 2016-2017 in biogas tests where catch crops are to be used as part of a feed mixture along with liquid manure. A farm level yield calculation of methane energy was made related to this by using a feed mixture of Mustiala's manure slurry, Italian ryegrass and straw.

The restoration of the bioreactor included an acquisition and testing of the new reactor parts and devices for measuring and monitoring the biogas production. The reactor was found out to be functional with a month long period of manure slurry testing. The reactor load was about $2,8 \text{ kgVS m}^{-3} \text{ vrk}^{-1}$ and the retention 30 days. The rate of a biogas formation was an average of 110 litres per day and the methane production was about 155 litres per kilogram of organic matter of the feed mixture.

The computational analysis of the feed mixture whose dry matter distribution consisted of 70 % manure slurry and 30 % green biomass produced a yield potential methane of 262 litres $\text{CH}_4 \text{ kgVS}^{-1}$. The calculated yield potential was almost double compared to the measured methane yield from manure slurry. This will be verified in a co-digestion experiment of catch crops and manure in winter 2017 as part of the RaRe project.

Keywords Catch crops, liquid manure, biogas, nutrients.

Pages 41 p. + appendices 24 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	RAVINTEIDEN TALTEENOTTO JA KIERRÄTYS MAATILALLA	2
2.1	Fosfori ja typpi maatalan ravinnetaloudessa.....	2
2.2	Kerääjä- ja aluskasvit ravinteiden hallinnassa	5
2.2.1	Kerääjäkasvit	5
2.2.2	Aluskasvit	6
2.2.3	Kerääjä- ja aluskasvien hyödyntäminen	7
2.3	Biokaasun tuotanto ja mädätysjäännös maatalan ravinnekierrossa	7
3	BIOKAASUPROSESSI – JA RAVINNETARKASTELU.....	9
3.1	Syöteseoksen valinta	9
3.1.1	Yleistä.....	9
3.1.2	Mustiala – tarkastelu.....	11
3.2	Prosessityypit	12
3.2.1	Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi	12
3.2.2	Märkä- ja kuivaprosessi.....	13
3.3	Anaerobinen hajoaminen.....	16
3.4	Mädätysjäännös.....	17
3.4.1	Mustiala – tarkastelu.....	17
3.5	Biokaasu	18
3.5.1	Mustiala – tarkastelu.....	19
4	BIOKAASUREAKTORIN KUNNOSTUS	21
4.1	Bioreaktori.....	21
4.1.1	Rakenne ja keskeiset osat	21
4.1.2	Prosessiseuranta, online mittaukset ja näytteenottovalmiudet	23
4.2	Komponentit ja laitteet	23
4.3	Kunnostus.....	26
5	BIOKAASUREAKTORIN YLÖSAJO.....	28
5.1	Reaktorin täyttö	28
5.2	Biokaasuprosessin hallinta ja prosessiajo	28
5.2.1	Kuormitus	29
5.2.2	Viipymä	29
5.2.3	Syöttö ja sekoitus.....	30
5.2.4	Lämpötila.....	30
5.3	Biokaasuprosessin tuottoarvot.....	31
5.4	Poiste	32
5.4.1	pH	33
5.4.2	Kuiva-aine ja orgaaninen kuiva-aine.....	33
5.4.3	Ammonium- ja kokonaistyyppi	34
5.4.4	Liukoinen COD	35
5.4.5	Alkaliteetti ja VFA	36
5.5	Muut huomiot.....	36

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	36
LÄHTEET	39

Liite 1	Lanta-viherbiomassa-syöteseos
Liite 2	Ravinteet syöteseoksessa
Liite 3	Biokaasureaktori
Liite 4	Komponenttiluettelo
Liite 5	Ohjeet bioreaktorin päivittäiseen syöttöön
Liite 6	Reaktorin syötemäärä ja lämpötila ennen syöttöä
Liite 7	Biokaasun viikkokohtaiset pitoisuuskäyrät
Liite 8	Koeajojakson pitoisuuskäyrät
Liite 9	Biokaasun tuotto
Liite 10	Maituhuone ja kaasujärjestelmä

1 JOHDANTO

Vesien ja vesistöjen rehevöityminen johtuu usein liiallisista ravinnemääristä kuten fosforista ja typestä. Vesiin kulkeutuvat ravinteet ovat lähtöisin muun muassa maataloudesta ja suurilta osin pelloille levitettävistä lannoiteista, jotka ovatkin yksi suurimmista vesistöjen kuormittajista. Maataloudelle arvokkaat ravinteet huuhtoutuvat pelloista jokiin pääosin sadevesien aiheuttamien vesivirtojen mukana. Maatalouden ravinnepestöt aiheuttavat varsinkin lähijokien ja järvien rehevöitymistä. Ravinteiden huuhtoutumista tapahtuu pääosin kasvukauden ulkopuolella, jolloin peltomaa on ilman kasvavaa satokasvia. (Pietola 2011.)

Itämeri on yksi esimerkeistä, johon vesien rehevöityminen voi lopulta johtaa, sillä Itämerestä on tullut yksi maailman saastuneimmista meristä. Suomen hallitus onkin ryhtynyt toimenpiteisiin vesien rehevöitymistä vastaan ja on sitoutunut teho toimiin saaristomeren tilan saamiseksi hyväksi vuoteen 2020 mennessä. Valtakunnallisella tasolla pyritään tehostamaan ravinteiden kierrätystä ja ehkäisemään niiden valumista vesistöihin. Ympäristöministeriön ns. RaKi-ohjelma, eli ”Ravinteiden kierrätyksen edistäminen ja Saaristomeren tilan parantamista koskeva ohjelma” pyrkii juuri tähän. Ohjelma toteutettiin vuosina 2012–2015 erilaisilla hankkeilla, joista parikymmentä on edelleen käynnissä. Hankkeet ovat käsitelleet muun muassa maatalouden vesiensuojelutoimenpiteitä lannan, lietteiden ja biojätteiden hyötykäytön tehostamista, kierrätyslannoitevalmisteiden kehittämistä, jätevedenkäsittelyn tehostamista sekä ravinteiden keräämistä vesistöistä. Tällä hetkellä jatko-ohjelman ns. RaKi2:en tavoitteet on päivitetty ja hanke tullaan toteuttamaan vuosina 2016–2019. (Ympäristöministeriö 2014; WWF 2014.)

Hämeen ammattikorkeakoulu, Luonnonvarakeskus, Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema ja Etelä-Suomen Salaojakeskus toteuttavat ”Ravinteet pellossa vaan ei vesistöön” eli Ravinneresurssi-hanketta (RaRe-hanke). RaRe-hanke liittyy olennaisesti RaKi-ohjelman tavoitteisiin maatalouden vesiensuojelun tehostamisen osalta. Tarkoituksena RaRe-hankkeessa on tutkimustiedon tuonti käytännön tasolle, menetelmien teknistaloudellisen toteutettavuuden tarkastelu ja tiedonjako menetelmien toimivuudesta. Hämeen ammattikorkeakoulun Mustialan opetus- ja tutkimusmaatila on hankkeen tutkimuspaikkana ravinteiden keräyksessä. Yksi hankkeen toimenpiteistä on kerääjäkasveihin liittyvät tutkimukset. Mustialan alueen pelloille viljeltävien kerääjä- ja aluskasvien tehtävänä on pitää pelto kasvipeitteisenä satokasvin korjuun jälkeen sekä kerätä maassa olevia ravinteita. Kerääjäkasvi-toimenpiteessä tutkitaan ravinteiden sitoutumista ko. kasveihin rehukäyttöä ja potentiaalia biokaasutuotannon raaka-aineena. (Ravinneresurssi n.d.)

Tässä työssä tutkitaan lietalannan metaanintuottoa biokaasureaktorissa, jonka lisäksi lasketaan maatilatason mittakaavassa teoreettinen metaanintuottopotentiaali lietalannan ja kerääjäkasvien yhteiskäytölle syöteseoksessa. Työssä tarkastellaan myös ravinteiden erityisesti typen ja fosforin sitoutumista kerääjä- ja aluskasveihin sekä biokaasuprosessin lopputuotteen, mädätysjäännöksen ravinne sisältöä ja laatua.

2 RAVINTEIDEN TALTEENOTTO JA KIERRÄTYS MAATILALLA

Tällä hetkellä maataloudessa satokasvien ravinteiden saantia edesautetaan lannoitteilla, jotka sisältävät kasvien tarvitsemia ravinteita ja hivenaineita. Kasvukauden alussa lannoitteet levitetään pelloille kasvien hyödynnettäväksi. Kasvukauden loputtua käyttämättä jääneet ja kasveista vapautuneet ravinteet ovat vaarassa huuhtoutua pelloista sadevesien mukana puroihin ja jokiin. On myös riskinä, että ravinteet huuhtoutuvat myös meriin asti. Seuraavalla kasvukaudella lannoituksella korvataan menetetyt ravinteet.

Ravinteiden talteenotolla pyritään sitouttamaan peltomaassa olevat hyödynnettömät ja vapautuneet ravinteet aluskasvustoon tai erilaisiin kerääjäkasveihin. Näin saadaan minimoitua ravinteiden huuhtoutumisriskiä pelto- maista ojiin ja kulkeutumista eteenpäin. Lisäksi ravinteita sitoneet kasvit voidaan kierrättää ja hyödyntää maatilalla esimerkiksi rehuna tai viherlannoitteena. Ravinteiden talteenotolla on siis sekä ympäristöllisiä että taloudellisia etuja, talteenotolla säästää lannoitekustannuksissa käyttämällä uudelleen pellon ravinteita ja samalla ravinteiden mahdolliset vaikutukset vesistöjen rehevöittäjinä vähenevät.

Ravinteiden talteenottoa varten on olemassa monenlaisia tekniikoita kuten erilaiset saostus- ja kiteytysmenetelmät, joita käytetään muun muassa fosforin talteenottoon valuma- ja jätevesistä (Hirvelä 2015). Tässä työssä ei käsitellä talteenottomenetelmiä, vaan keskitytään typpi- ja fosforiravinteiden talteenottoon kerääjäkasvien avulla. Tällöin tarkoituksena on pitää pelto- maan kasvipeitteisenä satokasvin korjuun jälkeen viljelemällä alus- ja kerääjäkasveja, joihin maassa jäljellä olevat ravinteet sitoutuvat.

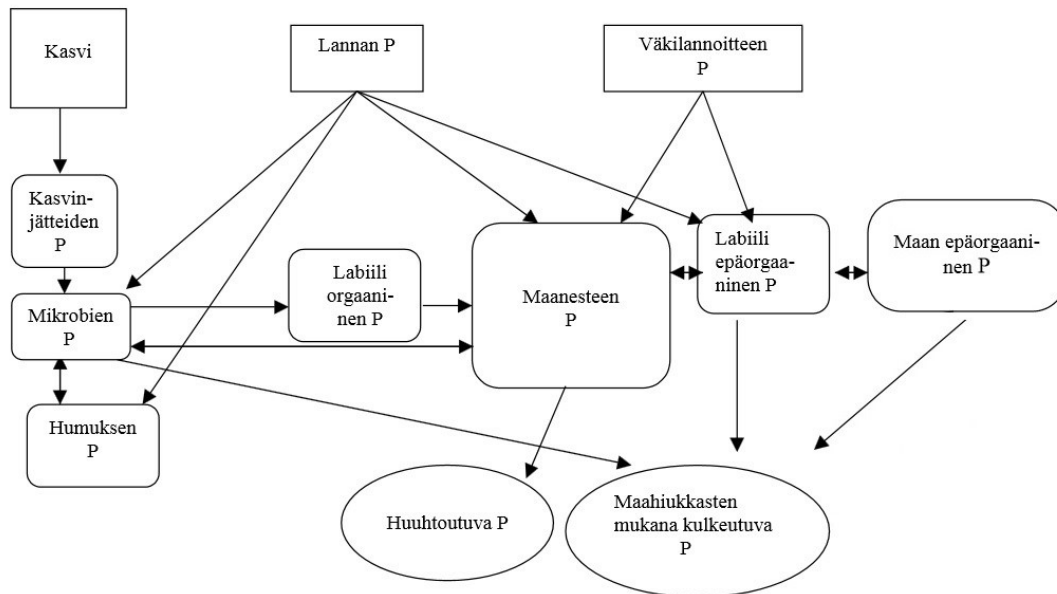
2.1 Fosfori ja typpi maatalan ravinnetaloudessa

Maan kasvukunto vaikuttaa peltomaan viljelykelpoisuuteen. Tähän vaikuttaa maan biologinen, kemiallinen ja fysikaalinen tila. Biologinen tila käsittelee maan pieneliöstön, maaperäeläimet ja orgaanisen aineksen, kemialliseen tilaan vaikuttavat muun muassa maan happamuus ja haitta-aineet. Maan fysikaalinen tila perustuu maan huokoisuuteen: ilmavuuteen, vedenläpäisyyteen ja -pidätyvyyteen sekä mekaaniseen vastukseen. Jotta peltokasvit menestyisivät maaperän tulisi olla ravinteikas. Peltokasvit tarvitsevat noin 16:sta eri ravinnetta, joiden suhteellinen määrä hehtaaria kohden on viljeltävästä kasvilajista riippuvainen. (Pietola 2011.) Pelloilla viljeltävien kasvien pääravinteisiin kuuluvat hiili, happi, vety, typpi, fosfori ja kalium. Kasvien ns. sivuravinteita ovat rikki, kalsium ja magnesium. Muita kasveille hyödyllisiä alkuaineita ovat esim. natrium ja pii sekä hivenravinteet mangaani ja sinkki. (Rajala, Leinonen & Schepel 2006.)

Suomessa maat voidaan luokitella maaperän sisältämän orgaanisen aineksen määrän mukaan kivennäis-, multa- ja turvemaihin. Kivennäismaissa orgaanisen aineksen pitoisuus on alle 20 %, multa- ja turvemaisissa pitoisuudet ovat 20-40 % ja yli 40 %, olettaen orgaanisen aineksen hiilipitoisuudeksi 58 %. Poikkeuksena ovat liejut, jotka luetaan eloperäisiin maihin orgaanisen aineksen pitoisuuden noustessa yli 6 %:n. (Esala, Turtola & Ylivainio 2002.)

Fosfori on helposti hapettava epäorgaaninen alkuaine, jota tuotetaan apatiittista. Apatiitti on yleinen nimitys fosfaattimineraaleille, Suomessa fosforia tuottavat apatiittikaivokset sijaitsevat Siilinjärvellä ja Soklissa. Jätevesissä fosforia esiintyy yleisimmin orto- ja polyfosfaattimuodoissa sekä orgaanisesti sitoutuneina fosfaatteina. Fosfaatti-ioni reagoi veden kanssa muodostaen vetyfosfaatti-ioneja, joita kasvit hyödyntävät divetyfosfaatin ohella. (Hirvelä 2015.) Kasvit käyttävät fosforia muun muassa aineenvaihdunnassa ja energiataloudessa. Riittävä fosforin saanti on tärkeää siementen itämiselle ja normaalille juuriston kehitykselle. (Yara Suomi n.d.)

Suomalaisissa kivennäismaissa kokonaisfosforipitoisuus on 390–1 830 mg/kg, turvemaissa pitoisuus vaihtelee 220–1 990 mg/kg. Fosforista vain murto-osa on maanesteessä, jonka fosforikonsentraatio vaihtelee 0,1–1 mg/litra. Kokonaisfosforista orgaanisessa muodossa olevan fosforin määrä vaihtelee huomattavasti 20–80 %:in, tosin turvemaissa on tavattu näitäkin korkeampia pitoisuuksia. (Esala ym. 2002.) Fosforin kierto peltomaassa on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Fosforin kierto maassa. Kuva muokattu lähteestä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met12.pdf>.

Peltomaassa oleva typpi on pääosin kolmessa eri muodossa: orgaanisena typpinä sekä ammonium- (NH_4^+) ja nitraattityppinä (NO_3^-). Suurin osa (yli 90 %) peltomaiden typestä on orgaanisessa muodossa olevaa typpiä, jota kasvit eivät sellaisenaan pysty hyödyntämään. Ammonium- ja nitraattityppi ovat kasvien hyödynnettävissä, mutta mineralisaation ja/tai nitrifikaation avulla voidaan myös orgaaninen typpi muuttaa kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Orgaaninen typpi mineralisoituu ammoniumtyypeksi, joka pidättyy maan kationinvaihtopaikoille vähentäen sen huuhtoutumisherkkyttä. Mineralisaationopeuteen vaikuttaa mm. orgaanisen aineksen hiili-typpi-suhde. Ammoniumtyppi muuntuu edelleen nitrifikaation kautta nitraattitypeksi, jonka pidättyvyys maahan on heikompaa kuin ammoniumtyypellä ja

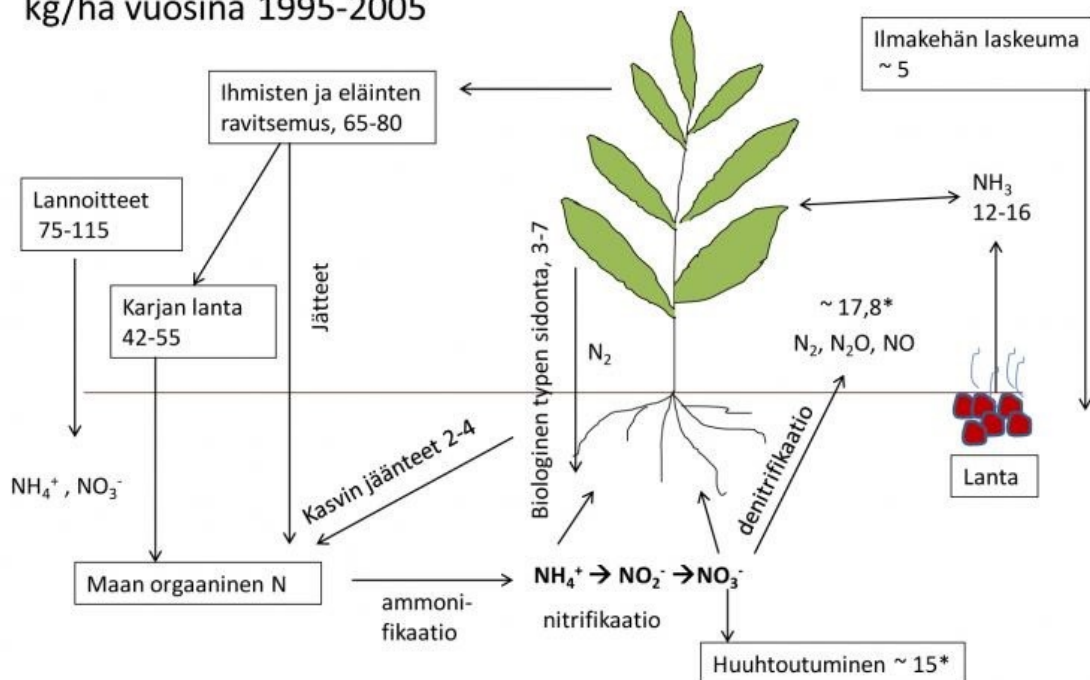
siksi huuhtoutuu helpommin maassa valuvan veden mukana esimerkiksi salaojavesiin. (Laurila & Saarinen 2014; Esala ym. 2002.)

Maahan palautuvilla kasvijätteillä on suora vaikutus maan orgaanisessa aineksessa tapahtuviin muutoksiin, ilman lannoitusta maan orgaanisen aineksen määrä laskee suhteellisen nopeasti. Peltomaan riittävä typen saanti maan eroosion torjumisen ohella ylläpitää orgaanisen aineksen määrää. Palautuvilla kasvijätteillä eli ns. viherlannoituksella kompensoidaan satokasvien ottamaa typpimäärää. On huomattu, että viherlannoitukseen perustuvassa viljelyssä orgaaninen aines on stabiilimpaa verrattuna karjanlantaan perustuvaan viljelyyn. Viherlannoituksella on myös positiivinen vaikutus maan orgaanisen hiilen määrään. (Esala ym. 2002.)

Typen määrä muokkauskerroksessa on viljellyissä mineraalimaissa yleensä 5 000–6 000 kg/ha, eloperäisillä mailla määrä on huomattavasti enemmän. Pelloille levitettävissä väkilannoitteissa typpi on liukoisessa muodossa joko ammonium- tai nitraattityppenä. Orgaaniset lannoitteet sisältävät orgaanisessa muodossa olevaa typpeä. Väkilannoitteiden käytön seurauksena myös orgaanisen typen määrä maassa kasvaa, joskin hitaasti. (Esala ym. 2002.) Typen kierto maatalousmaassa on esitetty kuvassa 2.

Typen kierto maatalousmaassa

kg/ha vuosina 1995-2005



Luvut perustuvat laskelmiin *

Kuva 2. Typen kierto maatalousmaassa. Kuva lähteestä: <http://nutrient.fi/fi/content/typen-kiertokulku-maataloudessa>.

2.2 Kerääjä- ja aluskasvit ravinteiden hallinnassa

Ravinteiden huuhtoutumisriski peltomaasta esim. sadeveden mukana jokiin kasvaa satokasvin korjuun jälkeen, koska maaperän orgaaninen aine vähe-
nee korjuun seurauksena. Osa maaperän ravinteista kuten tyypestä jää ilman
kerääntymispaikkaa, orgaanista ainesta. Suomessa viljellyiltä mailta huuhtoutuu
tyypeä pinta- ja salaojavalunnassa noin 10–20 kg/ha vuodessa (Esala ym. 2002).
Yksi keino saada ravinteet pysymään maaperässä on ”kerätä” ne johonkin
orgaaniseen ainekseen esimerkiksi juuristoon. Mikäli peltomaassa on satokasvin
ohella muutakin kasvustoa, joka jää maahan tai joka kylvetään maahan satokasvin
korjuun jälkeen, on pellon ravinteilla orgaanista ainesta, johon sitoutua. Näitä
ravinteita sitovia/kerääviä kasveja kutsutaan kerääjä- ja/tai aluskasveiksi. (Känkäinen 2012.)

Yhä useammat viljelijät ovat aloittaneet kerääjäkasvien käytön ravinteiden
huuhtoutumisen torjunnassa. Yksi syy kerääjäkasvien käytön suosioon on tuki,
jota kerääjäkasvien viljelijät saavat. Vuonna 2015 muuttunut ympäristötuki,
nykyisin ympäristökorvaus, pyrkii ravinteiden tasapainoiseen käyttöön tilakohtaisin
toimenpitein. Ympäristökorvaukseen sitoudutaan viideksi vuodeksi, jonka yhteydessä
valitaan toteutettavat, lohkokohtaiset toimenpiteet. Näistä toimenpiteistä käytetään
nimitystä ympäristösitoumus. Peltoluonnon monimuotoisuus, valumavesien hallinta ja
ympäristönhoitourmet ovat esimerkkejä tuen alaisista toimenpiteistä, joilla pyritään
parantamaan ympäristön tilaa. Peltoluonnon monimuotoisuuden toimenpiteet sisältävät
muun muassa kerääjäkasvien käytön, josta viljelijä saa korvausta. Tuen saamiseksi
kerääjäkasvi tai -kasvit kylvetään pääkasvin kylvön yhteydessä, orasvaiheessa tai
korjuun jälkeen ja pelto pidetään kasvipeitteisenä syyskuun loppuun saakka. Vuonna
2015 ympäristösitoumuksen vähimmäispinta-ala oli 5 hehtaaria ja tukea maksettiin 100
euroa hehtaarilta. Alkuvuodesta 2016 hyväksyttiin ohjelmamuutos, joka toi rajoituksia ja
muutoksia ympäristösitoumuksen muun muassa käytettävien kerääjäkasvilajien osalta.
Tuen määrä muuttui siltä osin, että ympäristökorvausta (100 €/ha) maksetaan 25 prosentille
vuoden 2016 sitoumusalasta. Uusia ympäristösitoumuksia ei enää oteta vastaan,
mutta vuoden 2015 ympäristösitoumukseseen on mahdollista liittää enintään 5 hehtaaria
korvausehdot täyttävää peltoalaa. (Katajamäki 2014; Maaseutuvirasto 2014; Kuoppa-aho
2016.)

2.2.1 Kerääjäkasvit

Nimensä mukaisesti kerääjäkasveilla tarkoitetaan kasveja, joiden tarkoitus on kerätä tai
sitoa itseensä peltomaan ravinteita kuten tyypeä. Kerääjäkasvit kylvetään maahan
heti korjattavan satokasvin jälkeen, vaihtoehtoisesti kerääjäkasveja voidaan myös
kylvää aluskasveiksi, jolloin ne kasvavat pellon satokasvin rinnalla. Kerääjäkasvit
suojaavat myös pellon pintaa eroosiolta satokasvin korjaamisen jälkeen. Kasvilajeilla
on erilaiset ominaisuutensa muun muassa typen sidonnan suhteen, mutta kerääjäkasvin
valintaan vaikuttaa myös kasvin ominaisuudet kokonaisuudessaan esimerkiksi juuriston
määrän ja kasvun painottumisen osalta. Italianraiheinällä on erinomainen typen
keräämiskyky maasta, mutta valkoapila suoriutuu parhaiten biologi-

sesta typensidonnasta. (Känkäinen 2012.) Taulukossa 1 on esitetty muutamien kerääjäkasveiksi sopivien kasvilajien ominaisuuksia muun muassa typensidonnasta ja -keräämisen osalta.

Taulukko 1. Kerääjäkasveiksi sopivien kasvilajien ominaisuuksia. Merkitykset: - Ei vaikutusta, o Heikko vaikutus, oo Kohtalainen, ooo Hyvä, oooo Erinomainen. Taulukko muokattu lähteestä: <http://www.ymparisto.fi/download/none/%7B34693AE2-9E91-47DF-B8A5-4633E7412627%7D/70417>

Kasvilaji	Typen kerääminen maasta	Biologinen typensidonta	Typen tuotto seuraaville satokasveille
Valkoapila	o	o o o o	o o o o
Puna-apila	o	o o o	o o o o
Persianapila	o	o o o	o o o
Italianraiheinä	o o o o	-	o
Timotei	o o o	-	o
Nurminata	o o	-	o
Nurmimailanen	o	o o o	o o o

2.2.2 Aluskasvit

Yleisesti aluskasveilla tarkoitetaan kasveja, jotka kasvavat yhdessä satokasvin kanssa, kuten edellisessä luvussa 2.2.1 mainittiin myös kerääjäkasvit voivat olla aluskasveja. Satokasvin korjuun jälkeen aluskasvit jätetään pelolle kasvamaan ja muun muassa suojaamaan maata eroosiolta. Aluskasvien juuret lisäävät maanalaisten kasvimassan määrää merkittävästi ja näin myös maan eloperäisen aineksen määrää. Muita hyötyjä aluskasvien käytöstä ja käytön vaikutuksista ovat mm. maan multavuuden ja talviaikaisen kasvi-peatteisuuden lisääntyminen, typen sitominen ilmasta ja maasta (liukoinen tyyppi) sekä kasvitautien- ja tuholaishäiriön pienentyminen. (Känkäinen 2012.)

Aluskasvien käyttöön vaikuttaa kasvilajien valinta, eri kasvilajeilla on eri ominaisuutensa, joten tavoitellut hyödyt vaikuttavat suoraan siihen mitä aluskasviksi kannattaa viljellä. Esimerkiksi italianraiheinää viljelemällä voidaan lisätä maan multavuutta, mutta typen tuotto seuraaville satokasveille jää pieneksi. Toisaalta viljelemällä puna-apilaa voidaan lisätä merkittävästi typen tuottoa satokasveille ja silti saada kohtalaisesti lisättyä maan multavuutta. Aluskasveja voidaan viljellä myös seoksina, jolloin päästään parempaan yhteisvaikutukseen. Hyvä aluskasvi ei kilpaile satokasvin kanssa liikaa, mutta satokasvin korjuun jälkeen on tavoitteena aluskasvin voimakas kasvu. Aluskasvin tulisi tehokkaasti sitoa typpeä ilmasta ja kerätä sitä maasta. (Känkäinen 2012.) Taulukossa 2 (s. 7) on esitetty muutamien aluskasvilajien vaikutuksia peltomaahan.

Taulukko 2. Aluskasvilajien vaikutukset peltomaahan. Merkitykset: - Ei vaikutusta, o Heikko vaikutus, oo Kohtalainen, ooo Hyvä, oooo Erinomainen. Taulukko muokattu lähteestä: <http://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7B34693AE2-9E91-47DF-B8A5-4633E7412627%7D/70417>

Kasvilaji	Juuriston määrä	Maan multa- vuuden lisäys	Kasvun painot- tuminen syksyyn	Kasvu seuraa- vana keväänä
Valkoapila	o o	o	o o o o	o o
Puna-apila	o o	o o	o o o o	o o
Persianapila	o	o	o o	-
Italianraiheinä	o o o o	o o o	o o	o
Timotei	o o o	o o	o o o	o o o
Nurminata	o o	o	o o	o o
Nurmimailanen	o o	o	o o o o	-

2.2.3 Kerääjä- ja aluskasvien hyödyntäminen

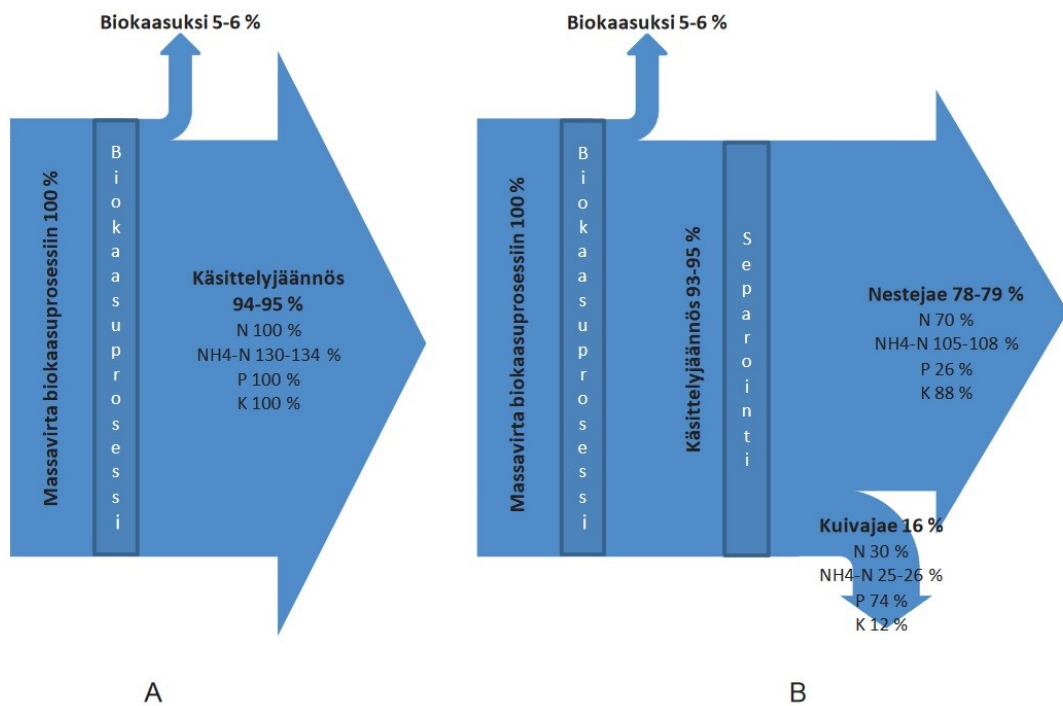
Satokasvin ohella tai sen jälkeen kasvaneita kerääjä- ja aluskasveja voidaan hyödyntää monilla tavoin kuten raaka-aineena biokaasuprosessissa, eläinten rehuna tai viherlannoitteena maatilalla. Ravinteita sitoneet kerääjäkasvit voidaan esimerkiksi sekoittaa bioreaktorin syötteeseen lietelannan kanssa, jolloin mädätysprosessin seurauksena syntyvää mädätysjäännöstä voidaan hyödyntää lannoitteena. Mikäli lopputuotetta ei saateta markkinoille vaan käytetään maatilalla ei syöteseos vaadi erityisiä käsittelyjä. Kasvien yhteiskäyttö lannan kanssa parantaa biokaasuntuottopotentiaalia verrattuna pelkkään lietelantasyötteeseen. Mädätysprosessilla on myöskin hygienisoiva vaikutus, sillä prosessi tuhoaa muun muassa rikkakasvien siemenet. (Luostarinen 2013a.)

Aluskasvien käytöllä ei ainoastaan saada pienennettyä ravinteiden huuhtoutumisriskiä, niillä voidaan myös vaikuttaa maaperään ja niitä voidaan käyttää ns. viherlannoitteena. Viherlannoitteen periaatteena on, että satokasvin kylvön aikoihin kylvetyt aluskasvit keräävät liukoista typpeä maasta ja sitovat sitä ilmasta. Riippuen siitä ovatko kasvilajit yksi- vai monivuotisia ne kuolevat talvella tai ne lopetetaan syksyllä tai keväällä maata muokkaamalla. Ajan mittaan kasveissa oleva typpi vapautuu pääkasvin hyödynnettäväksi. Aluskasvien käytöllä voidaan korvata seuraavan vuoden typpilannoitusta riippuen käytettävästä kasvilajista. Esimerkiksi apiloiden käyttö viherlannoitteena korvaa typpilannoitusta noin 10–30 kg/ha. Mikäli kasvu-aika on riittävä ja maassa on paljon typpeä kerättäväksi voi kerääjäkasvi kerätä typpeä jopa yli 100 kg/ha. (Känkäinen 2012.)

2.3 Biokaasun tuotanto ja mädätysjäännös maatilalla ravinnekierrossa

Huttusen ja Kuittisen (2015) mukaan vuoden 2014 lopussa, Suomessa oli toiminnassa 13 maatilakohtaista biokaasulaitosta. Samana vuonna yhdyskuntien jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitoksia oli 16 ja kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsitteleviä biokaasulaitoksia 14. Mukaan lukien kolme teollisuuden jätevesiä käsittelevää laitosta, vuonna 2014 Suomen biokaasulaitoksissa tuotettiin tehtyjen kyselyjen perusteella noin 61,5 milj. m³ biokaasua.

Sen ohella, että biokaasulaitoksien biokaasulla saadaan tuotettua lämpöä, sähköä ja biopolttoainetta muun muassa maatilan tarpeisiin, kaasuprosessista jää jäljelle mädätysjäännöstä. Biokaasuprosessissa syntyvä mädätysjäännös on ravinteikasta ja sisältää muun muassa typpeä ja fosforia vaihtelevia määriä raaka-aineesta riippuen. Mädätysprosessin läpikäynyt mädätysjäännös eli poiste on ravinnesisällöltään lähes samankaltainen kuin syöteseos, sillä bioreaktorissa vain orgaaninen aines (hiili, vety) muuntuu biokaasuksi. Vaikka typen määrä bioreaktorissa pysyykin samana, sen olemuoto muuttuu prosessin aikana. Osa kokonaistypestä muuttuu ammoniakityppi-muotoon (NH_4^+) syötteen tyyppiyhdistekoostumuksesta riippuen. Esimerkiksi lantapohjaisen poisteen NH_4 -typen määrä on noin 30–34 %:a suurempi alkuperäiseen syötteeseen verrattuna. Poisteen separoinnilla voidaan jäännös jakaa neste- ja kuivajakeeseen. Separoitu nestejake käsittää noin 78-79 % jäännöksen massasta ja sisältää noin 70 % syötteen tyypestä ja 26 % fosforista. Kuivajakeeseen jää noin 30 % tyypestä, 74 % fosforista ja 16 % alkuperäisen jäännöksen massasta. (Grönroos, Luostarinen, Manninen, Marttinen, Tampio, Timonen & Sinkko 2015.) Kuvassa 3 on esitetty prosessin aikana tapahtuva ravinteiden jakautuminen.



Kuva 3. Ravinteiden jakautuminen biokaasuprosessissa. Kohdassa A on esitetty ravinteiden sitoutuminen biokaasuprosessin lopputuotteeseen, mädätysjäännökseen (käsittelyjäännös). Kohdassa B, mädätysjäännös on separoitu neste- ja kuivajakeeseen, jolloin liukoiset ravinteet konsentroituvat nestejakeeseen ja kiinteät kuivajakeeseen.

3 BIOKAASUPROSESSI – JA RAVINNETARKASTELU

Biokaasua syntyy yhtenäen luonnossa hapettomissa olosuhteissa mätänemisen eli biologisen hajoamisprosessin seurauksena. Tällaisia hapettomia ympäristöjä ovat mm. järvien pohjasedimentit, joissa eloperäinen aines hajoaa ja muodostuu biokaasua. Hajoamista tapahtuu myös kaatopaikoilla, joissa jätteistä ja muusta orgaanisesta aineksesta muodostuu biokaasua. Tällaista kaatopaikoilla muodostunutta ja kerättyä biokaasua kutsutaan kaatopaikka-kaasuksi, jota voidaan hyödyntää kuten muutakin biokaasua lämmön- ja sähköntuotannossa sekä biopolttoaineiden jalostuksessa esimerkiksi kaasukäyttöisille ajoneuvoille. (Motiva Oy 2015; Luostarinen 2013a.)

Järvissä ja kaatopaikoilla tapahtuva biologinen hajoaminen on luonnollista hajoamista ts. hajoamisprosessiin ei pyritä vaikuttamaan millään tavalla. Tarkoituksenmukaista biologista hajoamista tapahtuu biokaasureaktoreissa, joissa mädätysprosessia pyritään hallitsemaan ja edesauttamaan luomalla reaktoriin suotuisat olosuhteet anaerobisille mikrobeille. Bioreaktoreissa tuotetaan kaasua tarkoituksen mukaan valituista raaka-aineista, biomassoista, joita ovat muun muassa lieteteet, peltobiomassat ja biojätteet.

Biologisen hajoamisprosessin aikana bioreaktorissa olevan raaka-aineen massa vähenee mikrobitoiminnan vaikutuksesta, mutta raaka-aineessa olevat ravinteet pysyvät mädätysjäännöksessä (Grönroos ym. 2015). Tämä mahdollistaa muun muassa pelloista ravinteita sitoneiden kerääjäkasvien käytön biokaasuprosessin raaka-aineena ja reaktorin poisteen käytön lannoitteena ilman ketjussa tapahtuvia ravinnehäviöitä.

Tässä työssä biokaasuprosessin syötteenä käytettiin pelkkää lietelantaa Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilán navetalta. Tarkoituksena oli kunnostetun bioreaktorin koekäyttö ja reaktorin toteaminen käyttökuntoiseksi tulevaisuuden käyttöä varten. Lisäksi työssä tarkasteltiin lanta-viherbiomassa–syöteseoksen käyttöä biokaasutuotannossa. Tässä luvussa selvitetään Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilán hyödynnettävissä oleva lanta ja kerääjäkasvibiomassa, tilakohtainen metaanintuottopotentiali ja ravinteiden pitoisuus biokaasuprosessin lopputuotteessa eli mädätysjäännöksessä.

3.1 Syöteseoksen valinta

Biokaasun tuotannossa käytettävän raaka-aineen valikoima on laaja, koska kaasua voidaan tuottaa miltei mistä tahansa orgaanisesta aineesta.

3.1.1 Yleistä

Biokaasutuotantoon raaka-aine tai -aineet valitaan pääasiassa saatavuuden ja sopivuuden mukaan, joihin vaikuttavat useat tekijät. Raaka-aineen tai -aineiden saatavuus tulee olla ympärivuotisesti mahdollista, häiriötöntä ja kannattavaa. Sopivuuden kannalta voidaan arvioida raaka-ainetta sen metaanintuottopotentialin, kuiva-ainepitoisuuden (TS), orgaanisen kuiva-aineen määrän (VS), hiili/typpi-suhteen (C/N) sekä ravinne- ja hivenainekoostumuksen avulla. Mikäli prosessin mädätysjäännöstä on tarkoitus

hyödyntää voi raaka-aineen valintaa rajoittaa esimerkiksi raaka-aineessa olevat haitta-aineet kuten raskasmetallit, jotka konsentroituvat jäännökseen. (Kymäläinen & Pakarinen 2015.)

Agrobiomassoilla tarkoitetaan maataloustuotannosta peräisin olevia biomassoja. Tällaisia biokaasutuotantoon soveltuvia peltobiomassoja ovat oljet ja varret vilja- ja öljykasveista, energiakasvit, juurikasvien naatit ja nurmet sekä erilaisista peltolähteistä saatava muu vihersato. (Laurila & Saarinen 2014.) Maatilakäytössä toimivan biokaasureaktorin raaka-aineena voidaan käyttää myös pellon alus- ja kerääjäkasveja. Kerääjäkasvien määrä ja kasvilajit ovat tilakohtaisia, joten syöteseoksen raaka-ainekoostumus on myös tilakohtainen, eri kasvilajien ja raaka-aineiden seossuhteiden suhteen. RaRe-hankkeessa HAMK:ssa suoritettiin metaanintuottopotentialin määrittäminen, jossa tutkittiin eräiden säilöttyjen kerääjäkasvien metaanintuottoa. Tulokset on esitetty taulukossa 3. Kerääjäkasvien joukossa oli vaihtelevat määrät pääsatokasvina käytetyn ohran olkea kasvilajista riippuen.

Taulukko 3. Säilöttyjen kerääjäkasvien metaanintuottopotentiali (37°C, 30 vrk). Kerääjäkasvit: A2 - italianraiheinä (siemenmäärä 7 kg/ha), A3 – italianraiheinä (20 kg/ha), A4 – monivuotinen heinäseos, A6 – puna-apila + italianraiheinä, A7 – puna-apila, A8 – puna-apila + italianraiheinä (olki korjattu pois), B8 – valkoapila. Lietelanta (8,5 %TS) on peräisin Mustialan opetusmaatilalta.

Säilörehu	Metaanintuotto litraa/kg		Metaanintuotto litraa/kg VS		Metaanintuotto litraa/kg TS	
	metaanintuotto	keskihajonta	metaanintuotto	keskihajonta	metaanintuotto	keskihajonta
A2	78	4,5	291	16,7	267	15,4
A3	73	1,0	296	4,3	272	3,9
A4	102	5,5	295	15,7	398	21,2
A6	79	2,1	316	8,3	290	7,6
A7	155	8,5	389	21,4	364	20,0
A8	73	2,7	440	16,1	395	14,5
B8	106	9,3	243	21,4	227	20,0
Lietelanta	19	1,3	230	15,4	223	14,9

3.1.2 Mustiala – tarkastelu

Tähän tarkasteluun valittiin biokaasutuotannon syötteeksi lietelanta-kerääjäkasviseos. Kerääjäkasvi valittiin Mustialan pelloilla kenttäkokeissa kesällä 2015 viljellyistä kerääjäkasveista. Mustialan kenttäkokeissa ”peltoruutuihin” kylvettiin kerääjäkasvit joko pääkasvin kylvön aikaan tai pääkasvin korjuun jälkeen. Kerääjäkasviksi syöteseokseen valittiin italianraiheinä sen saatavuuden, yleisyyden ja hyvän metaanintuottopotentiaalın perusteella. Kerääjäkasvien puinnista johtuen viherbiomassa sisältää kerääjäkasvin ohella vaihtelevan määrän olkea. Syöteseoksen raaka-aineiden sekoitussuhdetta valittaessa tulee ottaa huomioon märkäprosessille sopiva kuiva-ainepitoisuus (TS). Tässä valittiin aiempien kokemusten pohjalta maksimi TS-pitoisuudeksi 12 %.

Tässä tarkastelussa käytettiin italianraiheinän tuloksia suurella kylvösiemenmäärällä. Taulukon 3 (s. 10) mukaisesti tähän viitataan termillä ”A3” (suuri kylvösiemenmäärä, 20 kg/ha). Tarkastelussa laskettiin biokaasuntuotantoon sopiva syöteseossuhde kahdella eri tavalla. Tarkastelussa A kirjallisiin lähteisiin nojaten valittiin seossuhteeksi 70 % lietelantaa ja 30 % viherbiomassaa syöteseoksen kuiva-aineesta (Airaksinen 2012). Tarkastelussa B syöteseoksessa käytettiin Mustialan koko vuotuinen lantamäärä ja italianraiheinäsato. Syöteseoksen laskennallinen tarkastelu on eritelty yksityiskohtaisesti liitteessä 1, jossa esitetään myös kuiva-aineiden ja metaanituoton jakautuminen italianraiheinän ja oljen suhteen.

Vuonna 2015 Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilalla viljeltiin kerääjäkasveja yhteensä noin 18,5 hehtaarin peltoalalla, josta italianraiheinän osuus oli 14 hehtaaria. Teoreettisessa laskennassa käytettiin lähtöarvoja, jotka perustuivat koeruutuviljelytuloksiin italianraiheinän A3-tapauksessa. Mustialan maatila tuotti lietelantaa noin 2 845 tonnia vuodessa. Kuiva-aineeksi laskettuna italianraiheinäsatoa oli käytettävissä noin 28 798 kg ka/v, saannon ollessa 2 057 kg ka/ha. Lietelantaa oli saatavissa noin 247 tonnia ka/v. Tarkastelussa A seossuhde oli 70-30 syöteseoksen kuiva-aineesta, lietelantaa oli suhteessa enemmän kuin hyödynnettävää viherbiomassaa. Tämän vuoksi vuoden aikana hyödynnettävissä olevan koko syöteseoksen määrä laskettiin italianraiheinän avulla. Tarkastelussa B käytettiin kaikki lantamäärä ja italianraiheinäsato, jolloin syötteen kuiva-aineesta noin 90 % oli lietelantaa ja 10 % viherbiomassaa.

Tarkastelussa A syöteseosta saatiin kokonaisuudessaan 884 tonnia/v, joka tarkoittaa 2,4 tonnia tuoretta syöteseosta päivässä. Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus (TS) oli 10,9 %, joka jäi alle märkäprosessin maksimiarvon. Tarkastelussa B syöteseosta saatiin 2 954 tonnia/v, joka vastasi 8,1 tonnia tuoretta syöteseosta päivässä. Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus jäi 9,3 %:in johtuen lietelannan suuremmasta määrästä tarkasteluun A verraten. Raaka-ainetarkastelujen tulokset on esitetty taulukossa 4 (s. 12).

Taulukko 4. Biokaasutuotannon raaka-ainetarkastelua, esimerkkinä Mustialan tila (kesä 2015).

Lähtötietoja: 90 lypsylehmää ja 70 nuorkarjaa (lietelantaa yht. n. 2850 t/v) ja kerääjäkasvia 14 ha:n alalla (italianraiheinä, n. 2060 kg ka/ha).

Tarkasteluvaihtoehdot:

A) Käytetään koko italianraiheinäsato, ja lasketaan tarvittava lantamäärä, kun lantaa on seoksen kuiva-aineesta 70 %, italianraiheinää 30 %. Tällöin seoksen kuiva-ainepitoisuus on n. 11 %, mikä vastaa märkäprosessin maksimitasoa.

B) Käytetään koko lantamäärä ja italianraiheinäsato. Tällöin seoksen kuiva-ainepitoisuus on n. 9 %.

Tarkastelu A	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä
Kuivapaino/v	67 195 kg ka	28 798 kg ka	95 993 kg ka
Kuivapaino/vrk	184 kg ka	79 kg ka	263 kg ka
Tuorepaino/v	774 139 kg	109 916 kg	884 055 kg
Tuorepaino/vrk	2 121 kg	301 kg	2 422 kg
Tarkastelu B	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä
Kuivapaino/v	246 946 kg ka	28 798 kg ka	275 744 kg ka
Kuivapaino/vrk	676 kg ka	79 kg ka	755 kg ka
Tuorepaino/v	2 845 000 kg	109 916 kg	2 954 916 kg
Tuorepaino/vrk	7 795 kg	301 kg	8 096 kg

Raaka-ainemääriä verratessa tarkastelussa A huomattiin, että syöteseoksen tuorepainosta suurin osa noin 88 % on lietelantaa, jolloin viherbiomassan osuus jää noin 12 %:in. Tarkastelussa B lietelannan osuus tuorepainosta on 96 % ja italianraiheinän osuus n. 4 %. Biokaasureaktorin kokonaiskapasiteetit näissä tapauksissa ovat n. 880 tonnia/v (A) ja 2 950 tonnia/v (B).

3.2 Prosessityypit

Biokaasun tuotantoon ei ole yhtä oikeaa tuotantotapaa, vaan prosessi ja sen olosuhteet valitaan esimerkiksi käytettävän raaka-aineen perusteella. Biokaasuprosessit voidaan jakaa muun muassa käytettävän prosessilämpötilan, syötteen kuiva-ainepitoisuuden, panos- tai jatkuvatoimisuuden ja yksi- tai monivaiheisuuden mukaan.

3.2.1 Mesofiilinen ja termofiilinen prosessi

Biokaasuprosessin mikrobeilla on kaksi yleisesti käytettyä optimilämpötila-alueita, joiden mukaan prosessi voidaan jakaa mesofiiliseen ja termofiiliseen prosessiin. Mesofiilinen prosessi tapahtuu 35–38 °C lämpötilassa ja termofiilinen prosessi 50–55 °C lämpötilassa. Reaktori tarvitsee lähes aina jonkunlaisen lämmityselementin tai lämmittimen, koska mikrobit eivät itse tuota juuri ollenkaan lämpöä. Mesofiilinen prosessi on tässä tapauksessa kustannustehokkaampi, koska tarvittava ja ylläpidettävä lämpötila on alhaisempi. Etu termofiilisessä prosessissa on kuitenkin se, että korkeamman lämpötilan vuoksi raaka-ainemateriaali hajoaa nopeammin ja on hygienialtaan parempaa kuin mesofiilisessä prosessissa. Muita etuja termofiilisessä prosessissa on muun muassa lyhyempi viipymä, mahdollisesti pienempi prosessin vaatima reaktoritilavuus ja korkeampi biokaasun tuotto. Prosessi on kuitenkin herkkä inhibitiolle juuri korkeamman lämpötilan takia, sillä

lämpötilan noustessa nousee muun muassa ammoniakkin inhiboivan muodon määrä. Mesofiilinen prosessi on varmatoimisempi, koska se ei ole yhtä herkkä lämpötilan ja pH:n muutosten eikä inhibitioiden osalta. (Airaksinen 2012.)

3.2.2 Märkä- ja kuivaprosessi

Syötteestä riippuen prosessi voidaan jakaa märkä- ja kuivaprosesseihin. Syötteen kuiva-ainepitoisuus märkäprosesseissa on sananmukaisesti matala, kuiva-ainetta on yleensä korkeintaan noin 10–13 %. Matalan pitoisuuden ansiosta reaktorimassan sekoittaminen ja massavirtojen pumppaaminen on helppoa. Märkäprosessireaktorit ovat yleensä jatkuvasekoitteisia, joissa sekoittaminen tapahtuu esimerkiksi laippojen avulla, lapasekoittimilla. Kuivaprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on noin 20–40 %. Monille kuivaprosessivaihtoehdoille on yleistä, että reaktorista saatua käsittelyjäänöstä kierrätetään takaisin reaktoriin mikrobikannan säilymisen vuoksi. Korkeamman kuiva-ainepitoisuutensa vuoksi kuivaprosessin kaasuntuotto on reaktorilavuutta kohden suurempi kuin märkäprosessilaitoksella. Märkäprosessin kaasuntuottoa voidaan lisätä sekoittamalla esimerkiksi heikommien kaasua tuottavan lietelannan sekaan kuivia syötteitä. Kiinteiden ja kuivien aineiden sekoitus syötteeseen voidaan toteuttaa esimerkiksi ruuvikuljettimen avulla. Automatisoinnin osalta märkäprosessi on parempi vaihtoehto, koska märkäprosessin pH:n puskurointikyky on parempi ja siksi valvonnan tarve vähäisempi. (Airaksinen 2012.)

Luonnonvarakeskuksella (Luke) on Maaningalla biokaasulaitos, joka on suunniteltu tavanomaisen suomalaisen maitotilan biokaasulaitokseksi. Laitos käsittelee vuosittain noin 3 500 m³ naudun lietelantaa sekä pieniä määriä kasvibiomassaa. Käytössä oleva mesofiilinen märkäprosessi tapahtuu säiliöelementeistä valmistetussa reaktorissa, jonka lietetilavuus on 260 m³. Biokaasu hyödynnetään sähköinä ja lämpönä 80 kW:n lämpökattilan ja 63 kW:n kaasumoottorin (CHP) avulla. CHP-yksikön tuottamalla energialla korvataan hakelämpöä, ajoittain käytettävää öljylämmitystä ja ostosähköä. Biokaasulaitos on pitkälle automatisoitu, automatiikka hoitaa mm. sekoitusta, lantasyöttöä, reaktorin lämpötilaa ja jäännöksen poistoa. Laitos otettiin käyttöön kesällä 2009 ja sen on suunnitellut ja rakentanut Metener Oy. (Luostarinen 2013b.) Maaningan biokaasulaitos on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Luke:n Maaningan biokaasulaitos ja pihatto. Kuva: Sari Luostarinen. Viitattu 8.12.2016. Saatavissa <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esitely/Infrastruktuuri/maaningantutkimusalusta>

Sotkamossa sijaitsevalla Luken tutkimusasemalla on esimerkki jatkuvatoimisesta kuivaprosessista (kuvassa 5). Luken laitos on Suomen ensimmäinen ns. BioGTS-biokaasulaitos, jonka reaktori hyödyntää maatalouden eloperäisiä jätejakeita ja biomassoja kuivamädätyksen raaka-aineena. BioGTS-laitos käyttää raaka-aineena eläinten lantaa, nurmea, biojätteitä, teollisia elintarvikejätteitä sekä ylijäämärehua ja tuottaa sähköä ja lämpöä (CHP) sekä liikennekaasua. Prosessin etuja ovat muun muassa lopputuotteen korkea metaanipitoisuus ja alhainen energiankulutus. Sotkamon BioGTS-laitoksen vuotuinen käsittelykapasiteetti on 800–1 000 tonnia raaka-ainetta, joka koostuu lannasta, nurmesta ja kalanperkuujätteistä. (BioGTS Oy n.d.)



Kuva 5. BioGTS Oy. Luke:n BioGTS-laitos Sotkamossa. Viitattu 17.10.2016. Saatavissa <http://biogts.fi/referenssit/biogts-biokaasulaitos-luonnonvarakeskussa/>

Panosprosessin periaatteena on reaktorin täyttäminen ja tyhjennys, joka tapahtuu kerta-annoksena ”panoksena” säännöllisin väliajoin esim. muutamana kuukauden jaksoissa. Panosprosessin etuna ovat helppokäyttöisyys prosessin aikana, pitkä viipymä ja pieni sähkönkulutus. Haittana tässä tyyppissä on kaasuntuoton hidaskäynnistäminen, joka täytön jälkeen joudutaan aloittamaan aina alusta ja saattaa viedä useita päiviä. Tämän vuoksi tasaisemman kaasuntuoton saamiseksi käytetään useita prosessin eri vaiheissa olevia reaktoreita rinnakkain. (Hyvönen & Rönkkö 2011; Kalmari-Harju, esitelmä 25.2.2016.)

Metener Oy:n eräessä reaktorissa käytetään vihermassaa kuten nurmea, olkea ja järviruokoa raaka-aineena. Reaktorin tyhjennys ja täyttö eli panoksen vaihto tehdään 6-25 viikon välein, tästä syystä kaasuntuotossa on noin kahden viikon tauko, ellei käytössä ei ole kahta tai useampaa kuivareaktoria. Metenerin kuivareaktorin etuihin kuuluu vihermassassa olevien rikkakasvin siemenien tuhoutuminen, lopputuotteen matala *E.coli*-määrä (< 10 pmy / g),

kotimaisen raaka-aineen hyödyntäminen ja helppo ”lataus”. Yksi panosreaktori (750 m^3) voi tuottaa nurmella noin 400 MWh:a energiaa yhdestä panoksesta, joka vastaa noin kymmenen omakotitalon vuotuista energiamäärää. Reaktorilla saadaan aikaan noin 50–200 kW:n kaasuteho panosten vaihtovälistä ja käytetyistä massoista riippuen. Yhteen panokseen tarvitaan biomassaa noin 500–600 tonnia. (Kalmari-Harju, esitelmä 25.2.2016.) Metener Oy:n Kalmarin maatilalla oleva panostoiminen kuivareaktori on esitetty kuvassa 6.

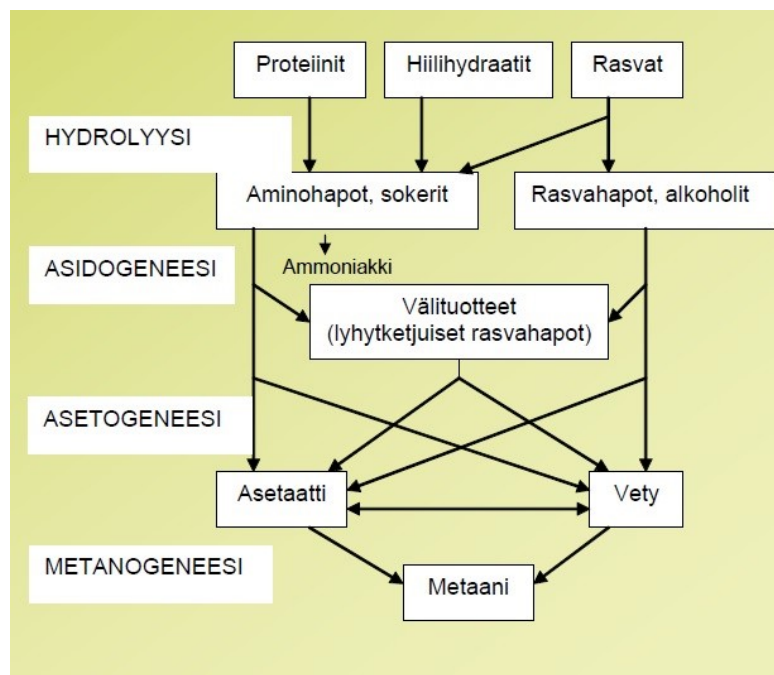


Kuva 6. Kalmarin maatilalla oleva panostoiminen kuivareaktori. Viitattu 8.12.2016. Saatavissa <http://www.metener.fi/10066>

3.3 Anaerobinen hajoaminen

Anaerobinen hajoaminen eli hajoaminen, joka tapahtuu hapettomassa tilassa, on monivaiheinen prosessi. Sen vaiheissa vaikuttavat erilaiset mikrobit, jotka tarvitsevat omat optimiolosuhteensa. Kaksivaiheisen prosessin olosuhteet on pyritty saamaan otollisiksi mikrobeille, ensimmäisen vaiheen kannalta hydrolyysille ja happokäymiselle, toisen vaiheen kannalta metaanin muodostumiselle edellisen vaiheen mädätystuotteista. Monivaiheinen prosessi suoritetaan yleisesti yhdessä reaktorissa. (Hyvönen & Rönkkö 2011.)

Reaktorisyötteen sisältämät hiilihydraatit, proteiinit ja muut typpiyhdisteet sekä rasvat ja muut lipidit toimivat biokaasuprosessin raaka-aineena. Syöttestä pyritään erottamaan prosessin kannalta hankalat yhdisteet, jotka eivät hajoa kuten muovit ja hitaasti hajoavat orgaaniset yhdisteet kuten ligniini, joka käytännössä ei hajoa lainkaan. Biokaasuprosessin ensimmäisen vaiheen hydrolyysissä lähtöaineet pilkkoutuvat veden avulla sokereiksi, aminohapoiksi ja rasvahapoiksi. Edellytyksenä hydrolyysissä on syötteen yli 50 %:n vesipitoisuus. Prosessin aikana syötessä oleva typpi muuttuu ammonium-muotoon (NH_4^+). Prosessin lopputuotetta ajatellen tämä myös parantaa lannoitusvaikutusta verrattuna käsittelemättömään ainekseen. Hydrolyysin jälkeistä happokäymistä kutsutaan myös happofermentaatioksi. Happokäymisessä hydrolyysituotteet hajoavat lyhytketjuisiksi karboksyylihapoiksi kuten etikka-, propioni- ja voihihapoiksi. Biokaasuprosessin seuraavassa vaiheessa asetaattia tuottavat bakteerit hajottavat karboksyylihapot asetaatti-ioneiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi, vaihetta kutsutaan asetogeneesiksi. Metanogeeniset arkit tuottavat edelleen asetaatti-ioneista tai vedystä ja hiilidioksidista metaania, jota muodostuu asetaatti-ioneista noin 70 % ja vedystä noin 30 %. Lopputuotteena muodostuu myös rikkivetyä, mikäli syötessä on sulfaatteja. (Karunen 2006; Bioste Oy 2014.) Hajoamisprosessi on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Anaerobinen hajoaminen. Muokattu lähteestä: (Luostarinen 2009).

3.4 Mädätysjäännös

Biokaasun tuotantoprosessin seurauksena syntyy mädätysjäännöstä eli mädätettyä biomassaa. Vaikka mädätysjäännös on lähes syötemateriaalin kaltaista massaltaan ja ravinnekoostumukseltaan, on sen kuiva-ainepitoisuus joitakin prosentteja pienempi ja pH lähempänä neutraalia. Mädätysjäännös eroaa syötteestä myös siltä osin, että se on syötettä tasalaatuisempaa, hygieenisempää ja hajuttomampaa. Myös jäännöksessä olevat ravinteet ovat nopeammin liukenevassa ja haihtuvassa muodossa kuin alkuperäisessä syötemateriaalissa. Näin ollen mädätysprosessi parantaa esimerkiksi lietelannan lannoitusominaisuuksia. Jätteiden hyödyntämisen näkökulmasta biokaasutuotannon selviä etuja on kompostointia parempi ravinteiden säilyvyys biomassassa. (Motiva Oy 2015.)

3.4.1 Mustiala – tarkastelu

Syöteseoksen typpi- ja fosforipitoisuuksien laskentaan italianraiheinästä käytettiin HAMK:n ja Valion Artturi-analyysipalvelun tekemien kerääjäkasvianalyysien tuloksia. Analyysituloksista laskettiin keskiarvot. Laskennassa käytettyjen analyysien tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kerääjäkasvi-analyysien tulokset, italianraiheinä. Typpi- ja fosforipitoisuus italianraiheinässä (A3-tapaus). Ravinnetarkastelussa käytettiin analyysien keskiarvoja.

Ravinneanalyysien tulokset, italianraiheinä			
Näyte, ravinne	Artturi (g/kgTS)	HAMK (g/kgTS)	Keskiarvo (g/kgTS)
A3, N _{-kok}	14	16	15
A3, P	3	-	3

Lietelannalle käytettiin kirjallisuudesta saatuja arvoja 0,5 kg/m³ fosforia ja 2,9 kg/m³ typpeä. Koska lietelannan tiheys on suurin piirtein 1 000 kg/m³, käytettiin laskennassa arvoja 0,5 gP/kg ja 2,9 gN/kg. (Kymäläinen & Pakarinen 2015.) Syöteseoksen ravinnepitoisuudet on laskettu tarkemmin liitteessä 2.

Tässä työssä laskettiin raaka-ainetarkastelujen (A ja B) syöteseoksille typpi- ja fosforipitoisuudet. Tarkastelun A syöteseoksen ravinnemääräksi saatiin noin 2 677 kg typpeä ja 473 kg fosforia, 884 tonnissa tuoresyötettä. Typpeä seoksessa oli noin 28 gN/kgTS ja fosforia noin 5 gP/kgTS. Syöteseoksessa olevan lannan osuus tyypestä oli noin 84 % ja fosforista noin 82 %. Tarkastelun B osalta ravinnemääräksi laskettiin 8 683 kg typpeä ja 1 509 kg fosforia, 2 955 tonnissa tuoretta syötettä. Typpeä syöteseos sisälsi noin 32 gN/kgTS ja fosforia noin 6 gP/kgTS. Lanta osuus sisälsi 95 % seoksen kaikesta tyypestä ja noin 94 % fosforista. Syöteseosten sisältämät ravinnemäärät ja –pitoisuudet on esitetty taulukossa 6 (s. 18).

Taulukko 6. Ravinteet syöteseoksissa. Typen ja fosforin määrät seoksissa sekä lannan ja italianraiheinän osuudet ravinteista, tarkastelujen A ja B pohjalta.

Tarkastelu	Raaka-aineen osuus ravinteista		Ravinnemäärät yht.
A	Lietelanta	83,9 % N	2677 kg typpeä
	Italianraiheinä	16,1 % N	27,9 gN/kgTS
	Lietelanta	81,8 % P	473 kg fosforia
	Italianraiheinä	18,2 % P	4,9 gP/kgTS
B	Lietelanta	95,0 % N	8683 kg typpeä
	Italianraiheinä	5,0 % N	31,5 gN/kgTS
	Lietelanta	94,3 % P	1509 kg fosforia
	Italianraiheinä	5,7 % P	5,5 gP/kgTS

Vertailtaessa syöteseoksia tarkastelujen A ja B välillä, typen ja fosforin välinen suhde seoksissa ei juuri muuttunut. Tarkastelun A syöteseoksessa typpi-fosfori-suhde oli 1:5,66 ja tarkastelussa B N-P-suhde oli 1:5,75. Tarkastelussa B syöteseos sisälsi noin 2 071 tonnia enemmän liettelantaa, jonka vaikutuksesta lannan osuus ravinteista nousi noin 11–12 prosenttia. Syöteseosten välillä typen määrä kuiva-aineessa nousi 3,6 g/kgTS ja fosforin määrä 0,6 g/kgTS.

Mikäli biokaasuprosessin jälkeen mädätysjäännös separoidaan siinä olevat ravinteet jakautuvat kuten luvun 2.3 kuvassa 3 (s. 8). Prosessin seurauksena pitoisuudet nousevat suhteessa kuiva-aineeseen n. 30 %. Nestejakeeseen jää noin 70 % typpeä ja 26 % fosforista. Tarkastelu A:n jäännöksen kohdalla tämä vastaa noin 2 677 kilogrammaa typpeä ja noin 176 kilogrammaa fosforia separoidussa nestejakeessa vuoden aikana. Separoitujen mädätysjäännösten ravinnesisällöt neste- ja kuivajakeissa on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Mädätysjäännös separoituina. Typpi- ja fosforipitoisuudet A ja B tarkastelujen jäännösten jakeissa, vuoden aikana.

Biokaasuprosessin separoitu mädätysjäännös					
Mädätysjäännös	Jae	Typpi, kgN/v		Fosfori, kgP/v	
Tarkastelu A	Nestejae	2677	70 %	176	26 %
	Kuivajae	1147	30 %	500	74 %
Tarkastelu B	Nestejae	8683	70 %	560	26 %
	Kuivajae	3721	30 %	1 595	74 %

3.5 Biokaasu

Anaerobisen hajoamisprosessin metanogeneesi-vaiheen tuloksena syntyy kaasuseosta, biokaasua. Biokaasu koostuu enimmäkseen metaanista (50–70 %) ja hiilidioksidista (30–50 %), mutta sisältää myös pieniä pitoisuuksia vesihöyryä, typpeä, vetyä, rikkivetyä ja ammoniakkia. Kaasun koostumus riippuu mädätysprosessista ja mädätettävästä biomassasta. Tuotetun biokaasun olennaisin aine on metaani, jolla voidaan korvata uusiutumaton maakaasua. Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen tuottama biokaasu hyödynnetään tyypillisesti tilalla, jolloin metaanin energialla tuotetaan lämpöä ja sähköä. Puhtaan metaanin energiasisältö on noin 10 kWh/m³ ja yhden

metaanikuution lämpöarvo vastaa noin yhtä litraa polttoöljyä. Metaania voidaan hyödyntää myös biopolttoaineena biokaasun puhdistuksen sekä veden ja rikin poiston jälkeen. Lisäpuhdistuksella kaasunsyöttö maakaasuverkkoon on myös mahdollista. Biokaasun sisältämää hiilidioksidia voidaan hyödyntää muun muassa kasvihuoneissa kasvien kasvun kiihdyttäjänä. (Motiva Oy 2015; Bioste Oy 2014.)

3.5.1 Mustiala – tarkastelu

Tässä työssä tehtyjen syöteseos-tarkastelujen perusteella laskettiin metaanintuottopotentialit italianraiheinälle (A3). Tarkasteluvaihtoehdossa A tuottopotentiali laskettiin 70 % lietelantaa ja 30 % viherbiomassaa sisältävälle syöteseokselle. Tarkastelussa B tuottopotentiali laskettiin syöteseokselle, joka sisälsi Mustialan kaiken vuotuisen lietelannan ja italianraiheinäsadon. Syöteseosten metaanintuottopotentiali ja tarkempi laskenta on esitetty liitteessä 1, jossa esitetään myös laskettu tuottopotentiali heinä-olki erotustarkastelussa.

Biokaasutuotannon tarkastelussa A syöteseoksen vuotuinen tuorepaino on 884 tonnia tuoretta syötettä ja tarkastelussa B 2 955 tonnia tuoretta syötettä. RaRe-hankkeessa tehtyjen metaanintuottopanoskokeiden mukaan italianraiheinän tuotto A3-tapauksessa oli noin 309 litraa CH₄/kgTS. Panoskokeissa oli mukana myös lietelanta, jonka tuottopotentiali oli noin 223 litraa CH₄/kgTS. Syöteseoksen metaanintuottopotentialiksi tarkastelussa A, jossa syöteseoksen vuotuinen kuivapaino on 96 tonnia, saadaan noin 23 851 m³ metaania vuodessa, joka vastaa noin 65 m³ metaania päivässä. Tarkastelun A päivittäinen syöttömäärä on 2,4 tonnia tuoretta syötettä päivässä eli 263 kgTS/vrk. Metaanituotto on 248 litraa CH₄/kgTS ja 262 litraa CH₄/kgVS. Tarkastelussa B syöteseoksen metaanintuottopotentialiksi saadaan 63 863 m³ metaania vuodessa, joka vastaa noin 175 m³ metaania päivässä syötteen kuivapainon ollessa 276 tonnia. Tarkastelun B päivittäinen syöttömäärä on noin 8 tonnia tuoretta syötettä päivässä eli noin 760 kgTS/vrk. Metaanituotto on 232 litraa CH₄/kgTS ja 240 litraa CH₄/kgVS. Oletuksena laskennassa on päivittäinen reaktorin syöttö vuoden aikana. Tarkastelujen metaanituotot mm. kuiva-ainetta kohti on esitetty taulukossa 8. Biokaasutuotannon maatilamittakaavan tarkastelut on esitetty taulukossa 9 (s. 20).

Taulukko 8. Biokaasutuotannon tarkastelu maatilamittakaavassa. Tarkastelu A:n syöteseoksessa 70 % lietelantaa ja 30 % italianraiheinää kuiva-aineesta. Tarkastelussa B, syöteseosuhde n. 90 % lietelantaa ja n. 10 % italianraiheinää.

	Tarkastelu A	Tarkastelu B
Tuotto, m ³ CH ₄ /v	23851	63863
Tuotto, m ³ CH ₄ /vrk	65	175
Tuotto, l CH ₄ /kgTS	248	232
Tuotto, l CH ₄ /kgVS	262	240

Taulukko 9. Metaanintuottopotentiaalin tarkastelua, esimerkkinä Mustialan tila (kesä 2015).

Lähtötietoja: 90 lypsylehmää ja 70 nuorkarjaa (lietelantaa yht. n. 2850 t/v) ja kerääjäkasvia 14 ha:n alalla (italianraiheinä, n. 2060 kg ka/ha).

Tarkasteluvaihtoehdot:

A) Käytetään koko italianraiheinäsato, ja lasketaan tarvittava lantamäärä, kun lantaa on seoksen kuiva-aineesta 70 %, italianraiheinää 30 %. Tällöin seoksen kuiva-ainepitoisuus on n. 11 %, mikä vastaa märkäprosessin maksimitasoa.

B) Käytetään koko lantamäärä ja italianraiheinäsato. Tällöin seoksen kuiva-ainepitoisuus on n. 9%.

Metaanintuottopotentiaalin tarkastelu				
Tarkastelu	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä	
A	14 958 m ³ CH ₄ /v	8 893 m ³ CH ₄ /v	23 851 m ³ CH ₄ /v	239 MWh/v
	41 m ³ CH ₄ /d	24 m ³ CH ₄ /d	65 m ³ CH ₄ /d	0,65 MWh/d
B	54 970 m ³ CH ₄ /v	8 893 m ³ CH ₄ /v	63 863 m ³ CH ₄ /v	639 MWh/v
	151 m ³ CH ₄ /d	24 m ³ CH ₄ /d	175 m ³ CH ₄ /d	1,75 MWh/d

Lanta-viherbiomassa-syöteseoksen teoreettisen metaanintuottopotentiaalin laskentaa varten tehtiin Excel-taulukko, jota voi käyttää erilaisten syöteseosten tuottopotentiaalin laskennassa. Energiatuotoksi peltohehtaarilta tämän työn tarkastelussa saatiin 6,4 MWh/ha.

4 BIOKAASUREAKTORIN KUNNOSTUS

Tämän opinnäytetyön keskeisessä osassa oli 200 litran biokaasureaktori, jossa kunnostuksen jälkeen suoritettiin biokaasuprosessin ylösajo ja koeajo käyttämällä lietelantaa reaktorisyötteenä. Kyseistä reaktoria oli käytetty yhtäjaksoisesti n. 12 vuotta erilaisissa projekteissa, opinnäytetöissä ja tutkimushankkeissa HAMK:n Visamäen yksikössä Hämeenlinnassa. Reaktori siirrettiin Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilalle. Siirron yhteydessä reaktorin kunto kartoitettiin ja tarvittavin osin kunnostettiin. Bioreaktorin osissa/laitteissa oli muun muassa vuotavia venttiileitä sekä päivitystä tarvitsevia ja epäkuntoisia osalaitteita.

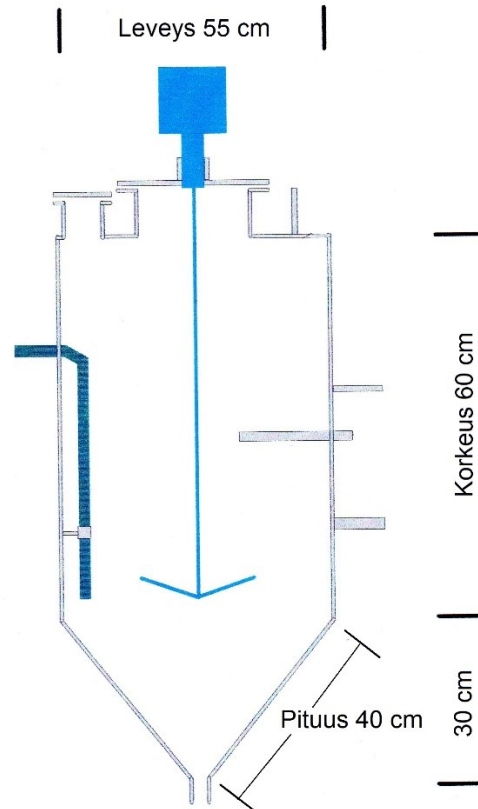
Bioreaktorin kunnostus aloitettiin kartoittamalla jo olemassa olevat laitteet, komponentit ja tarvikkeet yms. sekä selvittämällä niiden toimivuus ja kunto. Lisäksi kartoitettiin tarvittavat laitteet ja koneet, joita tarvitaan tulevassa viherbiomassa-lanta-syöteseoksen ajossa. Osin näitä laitteita käytettiin myös kesän aikana lietelannan koeajossa.

4.1 Bioreaktori

Tässä työssä käytetty bioreaktori oli alun perin ollut tutkimuskäytössä HAMK:n Visamäen kampuksella vuodesta 2003 lähtien. Käytöstä poiston jälkeen v. 2014 reaktoria oli säilytetty ulkona olevassa kontissa. Päällisin puolin reaktori oli varsin hyvässä kunnossa, itse reaktorin kuoressa ei ollut havaittavia vuotokohtia, kulumia tai lommoja yms. Reaktori siirrettiin Visamäen kampukselta Mustialaan kunnostettavaksi RaRe-projektia varten, jossa se sijoitettiin vanhan navetan maituhuoneeseen. Käytetty bioreaktori oli alun perin rakennettu ns. märkäreaktoriksi, johon syöte pumpattiin. Myöhemmin reaktori on modifioitu syötön osalta niin, että siinä voitiin käyttää myös kiinteämpiä syötteitä. Tässä työssä bioreaktoria käytettiin jatkuvatomimisessa märkäprosessissa eli reaktoriin lisättiin syöttösuppilo.

4.1.1 Rakenne ja keskeiset osat

Kunnostettu biokaasureaktori on ruostumattomasta teräksestä valmistettu, tilavuudeltaan 200 litrainen sylinterimäinen reaktori, jonka käyttötilavuus on 150 litraa. Reaktorin ulkomitat on esitetty kuvassa 8 (s. 22). Bioreaktoria kannattelee kolme teräksistä ”jalkaa”, jotka on hitsattu reaktorin sylinteriosaan kiinni. Reaktorin pohjassa on 1,5 tuuman palloventtiili reaktoripois-tetta varten. Päältä päin katsottuna reaktorissa on kaksi näkölasia, manuaalisesti avattava syöttöaukko ja liitoskohta biokaasun keruuta varten sekä kiinnitysalusta sekoitinmoottorille. Reaktorissa olevista yhteistä tarkemmin liitteessä 3.



Kuva 8. Biokaasureaktorin ulkomitat.

Yksi tärkeä asia prosessin kannalta on prosessin olosuhteiden vakaus muun muassa lämpötilan osalta. Tähän vaikuttaa ennen kaikkea reaktorin eristys, jonka tehtävä on pitää lämpötila tasaisena ja vakaana reaktorin sisällä. Eristys toteutettiin tässä työssä alumiinipäällysteisellä lasivillalla, jonka päällä on rautalankaverkkoa, silmäkoko noin 2 cm. Tätä eristysvillaa (käytetään myös nimitystä ”mattovilla”) laitettiin kauttaaltaan reaktorin ulkokuoren ympärille lukuun ottamatta reaktorin yhteitä, syöttöaukkoa, sekoitinmoottorin kiinnityskohtaa ja lasisia näköaukkoja. Eristevilla pysyi kuoren ympärillä osin ”maton” rautaverkon ja muutoin lisättyjen rautakiinnikkeiden avulla. Liitoskohdat ja paljaat eristevillapinnat peitettiin käyttäen alumiiniteippiä lämpövuotojen ehkäisemiseksi. Ennen reaktorin päällisen osan eristystä sekoitinmoottorin laitteistopaneeli ja sen kiinnitysketju asetettiin paikoilleen, jolloin välttyttiin eristeeseen kohdistuvasta turhasta painosta.

Reaktorin päälle kiinnitettävä sekoitinmoottori on yhteydessä reaktorin sisällä olevaan sekoitintankoon, jossa sekoituslavat ovat kiinni. Alkuperäisestä reaktorin kokoonpanosta poiketen tasapintaiset sekoituslavat on tässä korvattu propellimaisilla lavoilla. Liitteessä 3 on esitetty reaktorin sisällä olevat sekoitukseen ja sekoituslapoihin liittyvät komponentit.

4.1.2 Prosessiseuranta, online mittaukset ja näytteenottovalmiudet

Bioreaktorin prosessisuureista seurattiin tässä työssä lämpötilaa ja muodostuneen biokaasun määrää. Muodostuneen biokaasun metaani- (CH_4), hiilidioksidi- (CO_2) ja happipitoisuuksia (O_2) seurattiin kaasuanalysaattorilla, joka analysoi myös vedyn (H_2) ja rikkivedyn (H_2S) pitoisuuksia biokaasussa. Ennen biokaasukoostumuksen analysointia muodostunut kaasu johdettiin bioreaktorin venttiilistä kaasujohtoa pitkin määrämittarille (kaasukellolle), joka antoi tulokseksi kumulatiivisen kaasutuoton. Kaasumäärämittarin jälkeen biokaasu ohjattiin analysaattorille ja siitä edelleen maito- huoneesta pois ulkoilmaan.

Prosessin lämpötilaa seurattiin aluksi lämpötilanäytön avulla, joka oli yhteydessä reaktorissa kiinni olevaan PT100-anturiin. Myöhemmin lämpötilanäyttö korvattiin laitteella, joka näytti sekä prosessilämpötilan että kumulatiivisen kaasutuoton (kaasukellosta) ja välitti tiedot tietokoneelle.

Bioreaktoria syötettiin koejakson aikana säännöllisesti kerran päivässä, jolloin tarvittava syöte otettiin syöteastiasta, johon oli kerätty viikon tarpeen verran lietelantaa. Poiste kaadettiin maito- huoneessa sijaitsevaan IBC-konttiin, joka toimi poisteastiana. Poistetta analysoitiin kerran viikossa, jota varten näytettä kerättiin reaktorin syötön yhteydessä. Poistenäytettä otettiin reaktorin pohjassa olevan palloventtiilin kautta.

4.2 Komponentit ja laitteet

Valittaessa komponentteja oli huomioitava mahdollisuus reaktorin ja prosessimittauksen automatisointiin. Reaktorin alkuperäisestä kokoonpanosta ei kuntoarviointien jälkeen ollut jäljellä mittauslaitteistoa vaan uudet laitteet hankittiin lämpötilan ja kaasumäärän mittaukseen sekä kaasun analysointiin. Prosessin kannalta tärkeimpiin osiin kuuluivat bioreaktorin sekoitin ja sen moottori, PT100-lämpötila-anturi sekä reaktorin tiivisteet ja venttiilit.

Reaktorin sisällä olevaa laippasekoitinta pyörittää reaktorin päälle kiinnitetty sekoitinmoottori. Sekoituksen laitteistokokonaisuus koostuu edellä mainittujen lisäksi ohjauspaneelistä, joka sisältää turvakytkimen sekä sähkökotelon sisäiset osat, joihin kuuluvat ohjausrele, aikakytkin ja moottorinsuojakytkin. Ohjauspaneelina käytetään vanerilevyä, joka on mitoiltaan noin 400x600 mm, myös termostaatti on kiinnitettynä levyyn. Sekoittimen ohjauspaneeli lepää reaktorin kyljellä eristevillan päällä avainketjun avulla, joka kiertää reaktorin päällä olevan sekoitinmoottorin kiinnityskohdan. Tällä koejaksolla sekoitinmoottori oli ajastettu toimimaan 2 minuutin ajan puolen tunnin välein. Sekoitus voidaan käynnistää myös manuaalisesti. Sekoitinmoottorin ohjauskotelo on esitetty kuvassa 9 (s. 24).



Kuva 9. Sekoitinmoottorin ohjauskotelo. Kotelon päällä on manuaalinen pois-kytkentä, sisällä kotelossa aikakytin, ohjausrele ja moottorinsuojakytin.

Lämpötilan seurantaan käytettiin bioreaktorin kyljessä kiinni olevaa PT100-anturia, joka oli yhteydessä reaktorin päällä olevaan lämpötilanäyttöön. Myöhemmin näyttö korvattiin laitteella, joka esittää lämpötilan ja kaasumäärämittarin tuloksen sekä lähettää tiedot tietokone ohjelmalle. PT100-anturi oli kiinnitettynä yhteen reaktorin yhteistä, jossa anturin mittapää oli noin 10 cm reaktorin sisällä. Reaktorin lämpötilasäätöön käytettiin termostaattia, joka ei ollut kontaktissa PT100-anturin tai lämpötilanäytön kanssa. Termostaatin oma lämpötila-anturi oli sijoitettu reaktorin vaippaan kiinni eristevillan alle, jolloin anturi mittasi reaktorin sisälämpötilan sijasta vaipan lämpötilaa. Lämpötilan säädössä tuli siis huomioida reaktorin sisäinen ja reaktorivaipan lämpötilaero. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska termostaatin anturi ei sopinut reaktoriyhteisiin ja jottei reaktorin vaippaa olisi tarvinnut murtaa. Lämpötilanäyttö ja termostaatti saivat virtansa sekoitinmoottorin sähkökotelolta.

Prosessissa muodostunutta biokaasua analysoitiin sen määrän ja koostumuksen osalta määrämittarilla ja kaasuanalysoitsattorilla. Kaasuanalysoitsattoria varten rakennettiin liikuteltava teline alumiiniprofiilista, johon myös määrämittari sijoitettiin. Bioreaktorissa muodostunut kaasu kulki kaasuletkuja pitkin määrämittarille, jonka jälkeen se ohjattiin letkuja pitkin analysoitsattorin liittimelle. Itse analysoitsattori oli sijoitettuna suljettavan teräslaatikon sisälle kuten kaikki muut mittaukseen ja analysointiin liittyvät komponentit. Kaasuanalysoitsattorin toimintaa ja kaasun koostumusta pystyi seuraamaan analysoitsattorin ovesa olevan näkölasin avulla. Maitohuoneen katon läheisyyteen kiinnitettiin varoitoimenpiteenä kaasuhälytin, jonka tarkoituksena oli reagoida huoneilman liian suureen metaanipitoisuuteen esimerkiksi kaasuletkuvuodon takia. Kuvassa 10 (s. 25) on esitetty kaasun analysointilaitteisto.



Kuva 10. Biokaasun analysointilaitteisto. Harmaata kaasujohtoa (vasemmalla) pitkin tuleva biokaasu johdetaan kaasumäärämittarille, josta kaasu kulkee ”letkukiepin” kautta analysaattorille.

Bioreaktorin syöttöä varten maituhuoneessa oli vanha letkupumppu, jolla oli mahdollista syöttää reaktoriin lietelannan lisäksi myös hieman kiinteämpää syötettä. Pumpun siirtämisen/siirtelyn helpottamiseksi pumppu oli asetettu FIN-lavan päälle. Letkupumppu on kokonaisuus, joka koostuu itse pumpun lisäksi oikosulkumoottorista. Pumppua käytettiin käyttökytkimellä, joka toimi myös laitteen turvakytkimenä. Tässä työssä letkupumppu oli käytössä vain bioreaktorin ylösajossa, jossa reaktoriin syötettiin noin 150 litraa lietelantaa.

Syötesekoksen viherbiomassan pienentämistä varten suunniteltiin murskaajalaitteisto, joka koostuu itse murskaimen lisäksi ohjauspaneelistä, telineestä (murskainpöydästä) ja murskaimen päällä olevasta suppilosta. Murskaimen ohjauspaneeli koostuu sähkölaitteista, jotka ovat kiinnitettynä noin 350x600 mm mitoiltaan olevaan vanerilevyyn. Ohjauspaneeli on asennettu pystyasentoon murskaimen moottorin puolelle mahdollisten roiskeiden estämiseksi, paneelin kiinnitykseen käytettiin alumiiniprofiilikiskoa. Ohjauspaneelissa on turvakytkin ja moottorinsuojakytkin (koteloituna), suunnanvaihtokytkin on vapaasti liikuteltavissa ja voidaan (kiinnityskoukkujen avulla) asettaa esimerkiksi suppilon reunaan. Hätätapauksia varten alumiiniprofiilikiskossa on kiinnitettynä ”häätä-seis”-painike, joka sammuttaa moottorin painettaessa.

Tämän työn aikana käytetyt ja tulevaa käyttöä varten hankitut laitteet on koottu komponenttiluetteloon liitteeseen 4. Komponenttiluettelo pitää sisällään tiedot laitteista ja niiden valmistajista sekä toimittajista. Biokaasun kulku mittalaitteiden välillä ja maituhuoneessa olevien laitteiden sijainti on esitetty PI-kaaviossa ja mittapiirroksessa liitteessä 10.

4.3 Kunnostus

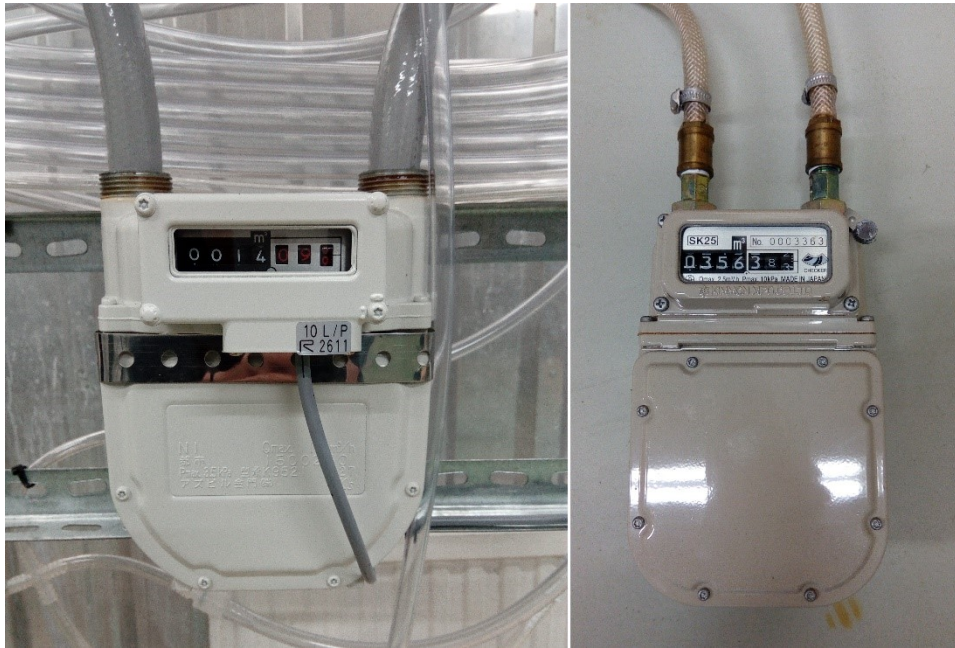
Bioreaktorin osalta kunnostuksen ensimmäinen vaihe sisälsi ulkokuoren eli reaktorin vaipan eheyden tutkimisen silmämääräisesti, vaippaa tarkasteltiin lohkeamien ja murtumien osalta. Myöhemmin tiiveyttä kokeiltiin täyttämällä reaktori käyttötilavuuteensa asti vedellä. Ulkokuoren tarkastelun jälkeen käytiin lävitse muun muassa reaktorin liitoskohdat, komponentti- ja venttiiliyhteet sekä yhteissä olevien kierteiden kunto. Bioreaktorin päältä poistetun sekoitinmoottorin yhteydessä olevien osien ja sekoituslapojen kunto tarkistettiin silmämääräisesti reaktorivaipan sisäpuolen kunnan tarkastuksen ohella. Rakenteen ja eheyden puolesta reaktorissa ei havaittu puutteita ulko- eikä sisäpuolella, sekoituslavat ja reaktorin jalkojen kunto ei vaatinut kunnostustoimia.

Bioreaktorin ulkokuoren yhteissä olevat ja yhteistä poistetut, käytetyn näköiset sekä varapalat kuten venttiilit, jatkopalat ja letku-yhteet arvioitiin kunnan ja tiiveyden osalta. Venttiilien toimivuutta ja tiiveyttä tarkasteltiin niin silmämääräisesti kuin käytännössä esimerkiksi reaktorin vedellä täytön aikana. Muutama venttiili korvattiin ruostumisen ja sakkautumisen takia hyväkuntoisilla varaosilla, lisäksi reaktorin pohjassa oleva poistoventtiili korvattiin täysin uudella osalla venttiilin vuotamisen takia.

Raaka-aineen syöttöön ja poistoon tarkoitettu letkupumppu alkoi pitää muutamana minuutina testikäytön jälkeen ääntä, jonka arveltiin johtuvan metalli-metalli-kontaktista. Tutkimisen jälkeen huomattiin pumpun moottorin kulunut laakeri, joka vaihdettiin uuteen. Koekäytössä ei huomattu vesi-imun aikana mitään huomioitavaa laakerista johtuvan äänen ohella. Letkupumpun moottorin kytkentärasiaan lisättiin kosteustiivisläpivienti.

Mittauksien jälkeen vanha kaasuanalysointilaite todettiin epäkuntoiseksi, jonka tilalle hankittiin uusi laite, joka mahdollistaa mittausarvojen luvun visuaalisesti laitteelta sekä mahdollisuuden tietojen siirtoon tietokoneelle. Kaasuanalysointilaitekojeiston sisälle oli asennettu tarvittavat mittauslaitteet ja kennot sekä luettava näyttö, jonka näki kotelo oven ollessa kiinni. Analysointilaitekojeistolle rakennettiin teline alumiinisesta kulmaprofiilista, joka kiinnitettiin pyörillä kulkevaan alustaan. Tämä helpotti tulosten lukua laitteelta ja mahdollisti kaapelien ja letkujen vedon. Kaasuanalysointilaitekojeistoon lisättiin kiinnityspaikka, johon sijoitettiin kaasumäärämittari. Telineä käytettiin myös kaasun- ja virtajohtojen kiinnityksessä.

Alkuperäinen kaasumäärämittari vaihdettiin uuteen laitteeseen, jossa oli mukana myös jänniteviesti-ominaisuus (pulssi). Määrämittari lähetti pulssin, kun kaasua oli kulkenut litran verran laitteen läpi. Työn koejakson aikana kaasun määrää seurattiin tarkastelemalla lukemaa laitteesta ja myöhemmin hyödynnettiin määrämittarin pulssi-ominaisuutta, jolloin tietokoneohjelman avulla saatiin selville sen ajan hetken keskimääräinen kaasun tuotto. Korvattu ja työssä käytetty kaasumäärämittari on esitetty kuvassa 11 (s. 27).



Kuva 11. Kaasumäärämittarit. Kuvassa vasemmalla näkyy työn aikana käytetty kaasumäärämittari telineessään, jolla korvattiin kuvan oikeanpuoleinen laite.

5 BIOKAASUREAKTORIN YLÖSAJO

Tässä työssä suoritettiin bioreaktorin kunnostamisen jälkeen biokaasureaktorin ylösajo käyttäen syötteenä Mustialan navetan lietelantaa. Prosessityyppinä käytettiin jatkuvatoimista märkämädätysprosessia ja reaktorin syöttöä sekä poisteen poistoa tehtiin päivittäin. Reaktorissa ylläpidettiin mesofiilisiä olosuhteita eli prosessilämpötila pyrittiin pitämään vakaana noin 37 °C:ssa. Bioreaktorin päivittäinen syöttömäärä laskettiin reaktorin kuormituksen avulla, myös viipymäaika huomioitiin. Biokaasun määrää alettiin seurata ensimmäisestä ylösajopäivästä lähtien, jolloin reaktori täytettiin käyttötilavuuteensa asti lietelannalla. Tässä työssä ylösajon jälkeen bioreaktorin toimintaa seurattiin kuukauden koeajojakson ajan kesäkuussa 2016, jolloin reaktoria syötettiin päivittäin (arkisin) ja prosessidataa kerättiin tietokoneella. Koeajojakson aikana syötteestä ja poisteesta tehtiin analyysyjä, joilla seurattiin prosessin tilaa ja tuottoarvoja.

5.1 Reaktorin täyttö

Prosessin ylösajo aloitettiin bioreaktorin täyttämällä käyttötilavuuteensa asti huhtikuun lopulla. Reaktori täytettiin 150 litralla lietelantaa IBC-kontista käyttäen letkupumppua ja vaa'allista haarukkavaunua ("pumppukärriä"). Oikea raaka-ainemäärä reaktoriin saatiin kärriä vaa'alla mittaamalla kontin painon vähenemä. Letkupumpun imu- ja syöttöpään annettiin täytyä lannalla ennen reaktorin venttiiliin liittämistä. Lietelannan omien mikrobien odotettiin aloittavan mädätysprosessi, jota seurattiin mittaamalla tuotetun kaasun määrää ja metaanipitoisuutta. Prosessissa syntyvän kaasun määrää ja laatua päästiin seuraamaan/tallentamaan tietokoneen avulla vajaa kaksi viikkoa syötön jälkeen.

Vaikka bioreaktori tuotti tasaisesti kaasua, biokaasun määrä ja laatu jäi odotetusta ja tämän vuoksi reaktoriin tehtiin 50 litran ympillisäys noin kuukausi reaktorin täytön jälkeen. Tällä oli huomattava vaikutus biokaasuntuotantoon, joka parani sekä määrällisesti että laadullisesti. Tuotetun biokaasun koostumus oli 48 tuntia lisäyksen jälkeen keskimäärin noin 70-prosenttisesti metaania ja noin 28-prosenttisesti hiilidioksidia, tähän tosin vaikutti myös ympin tuotto. Kaasun metaani- ja hiilidioksidipitoisuus laski neljän päivän jälkeen syötöstä, joka todennäköisesti johtui mikrobien ravinnon loppumisesta. Reaktorin säännöllinen raaka-aineen syöttö aloitettiin toukuun lopussa viikko ympin lisäyksen jälkeen.

5.2 Biokaasuprosessin hallinta ja prosessiajo

Raaka-aineen syöttöä ja syöttömäärää varten määritettiin bioreaktorin kuormitus ja syötteen viipymä reaktorissa. Vaikuttavia seikkoja syötemäärään olivat muun muassa käytettävän raaka-aineen tuorepaino ja kuiva-ainepitoisuus. Biokaasuprosessin aikana reaktorin sisälämpötila vaikuttaa oleellisesti kaasutuotantoon, sillä biokaasua muodostavilla mikrobeilla on omat optimilämpötila-alueensa. Koska reaktorin sisälämpötila on usein korkeampi kuin huoneen vallitseva lämpötila on reaktorin lämmittäminen tarpeel-

lista. Prosessin päivittäinen syöttö hoidettiin reaktorin päällä olevan manuaalisesti toimivan levyventtiilin kautta. Poisteen oton yhteydessä korvausilmaventtiili oli auki biokaasua sisältävään kaasupussiin, jottei reaktori imenyt biokaasua takaisin mittalaitteiden puolelta.

5.2.1 Kuormitus

Lantaa käsittelevissä laitoksissa kuormitus (OLR) eli orgaanisen kuiva-aineen määrä reaktorin nestetilavuutta kohti päivässä on yleensä 2,5–3,5 (kgVS m⁻³ d⁻¹) (Airaksinen 2012). Ylösajo aloitettiin matalalla kuormituksella. Valitun 1,4 kgVS m⁻³ d⁻¹ kuormituksen avulla saatiin laskettua päivittäin syötettävän raaka-aineen määrä, joka ylösajon alussa oli noin 2,5 kg lietelantaa (KAAVA 1). Lietelanta-analyysien pohjalta saatiin orgaanisen aineen (VS) pitoisuudeksi lietelannassa 8,39 %.

KAAVA 1. Syöttömäärä päivässä.

$$FM = OLR * V_r / VS$$

jossa FM on syötteen määrä päivässä, kg / d
 OLR on kuormitus, kgVS / m³ d
 V_r on reaktorin toimintatilavuus, m³
 VS on syötteen orgaanisen aineen pitoisuus, %

Reaktoria syötettiin noin 2,5 kg:n syötemäärällä viikon ajan, jonka jälkeen kuormitusta nostettiin. Lopulliseen kuormitukseen 2,8 kgVS / m³ d eli noin 5 kg:n syöttömäärään siirryttiin kahden vuorokauden siirtymäajalla, jotta prosessi ei häiriintyisi.

5.2.2 Viipymä

Suomessa biokaasulaitoksilla käytetään yleensä noin 20–30 vuorokauden viipymäaika, jolla tarkoitetaan sitä keskimääräistä aikaa, jonka syöte viipyy reaktorissa. Viipymäajaksi (HRT, hydraulic retention time) valittiin tässä työssä noin kuukausi (30 vrk). Pitkällä viipymäajalla saadaan paremmin hajonnutta syötettä, käsittelyjäännöksen hygienia parantuu ja kaasuntuotto paranee orgaanista ainesta kohti. (Airaksinen 2012.) Bioreaktorin 150 litran hyötytilavuuden ja noin 5 kg:n syötemäärän avulla laskettuna saatiin viipymäajaksi noin 30 vrk (KAAVA 2).

KAAVA 2. Viipymäaika.

$$HRT = V_r / V$$

jossa HRT on viipymä, d
 V_r on reaktorin toimintatilavuus, m³
 V on syötteen märkämäärä päivässä, m³ / d

Ylösajon alussa viipymäaika oli pidempi pienemmän kuormituksen takia, jolloin viipymä oli kaksinkertainen noin 60 vrk.

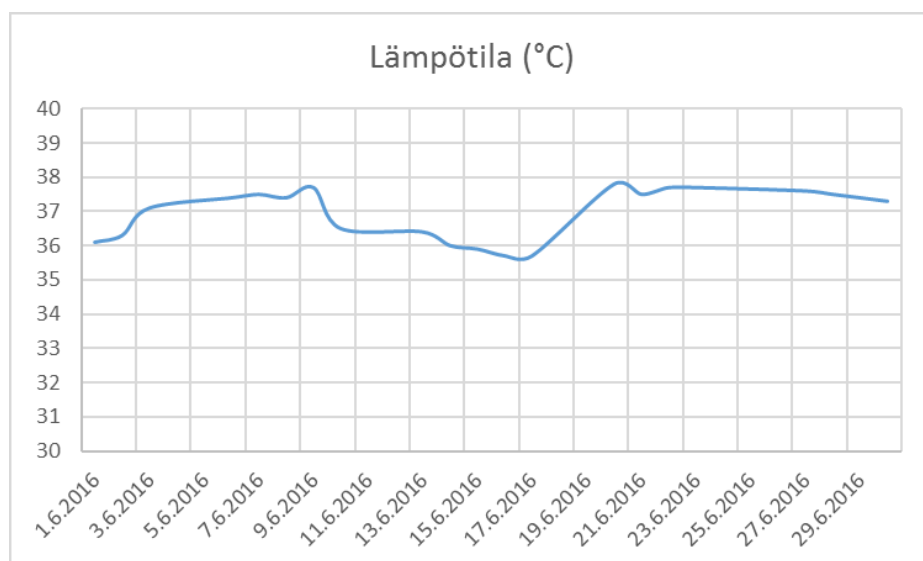
5.2.3 Syöttö ja sekoitus

Koeajojakson eli kesäkuun aikana bioreaktoria syötettiin arkipäivisin (lukuun ottamatta 24.6.) kerran päivässä. Syöttöaika pyrittiin pitämään samana tasalaatuisuuden ja metaanintuottotarkastelun takia. Syöttäminen ajoittui pääosin aamuun klo 8 - 9, jolloin reaktorista poistettiin mädätysjäännöstä ja syötettiin syötettä noin 5 kilogrammaa. Syöttöprosessi tapahtui manuaalisesti reaktorin päällä olevan levyventtiilin kautta. Ennen mädätysjäännöksen poistoa palloventtiili mittalaitteille suljettiin ja korvausilmaventtiili kaasupussille avattiin, jottei poistoprosessi vaikuta kaasuletkulinjoihin. Syötön jälkeen reaktoria sekoitettiin manuaalisesti noin muutaman minuutin ajan. Reaktorin poistoa ja syöttöä varten tehty ohjeistus on esitetty liitteessä 5.

Lukuun ottamatta manuaalista käyttöä reaktorin sekoitin ajastettiin käynnistettäväksi joka 30. minuutti, jolloin reaktorin päällä oleva sekoitinmoottori oli käynnissä kahden minuutin ajan. Mikäli sekoitinmoottori suystä tai toisesta käynnistettiin manuaalisesti, palautui moottorin ajastin automaattisesti lähtötilaan manuaalisen sekoituksen pysäytyksen jälkeen.

5.2.4 Lämpötila

Tässä työssä reaktorin sisälämpötilaa ylläpidettiin lämmittämällä reaktorin vaippaa lämpövastuksella. Lämpötilan säädölle ei ollut käytössä automatisoitua ratkaisua vaan vastuksen lämpötehoon vaikutettiin termostaatin säädön avulla. Termostaatti mittasi vaipan lämpötilaa anturilla, joka oli kiinnitetty reaktorivaipan ja lämpöeristeen väliin. Reaktorissa vallitsevaa lämpötilaa mitattiin sen sijaan reaktorissa kiinni olevan PT100-anturin avulla, joka oli yhteydessä lämpötilanäyttöön. Näytön antaman lämpötilan perusteella tehtiin korjaavia säätöjä termostaattiin ja sitä kautta lämpövastuksen tehoon. Bioreaktorin lämpötila pyrittiin pitämään prosessille optimaalisessa 37 °C:ssa. Ylösajon ja koeajojakson aikana lämpötila saatiin pidettyä halutulla tasolla, koeajon keskimääräinen lämpötila oli 37 °C. Lämpötilakäyrä koeajojakson ajalta on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Bioreaktorin lämpötilakäyrä koeajojakson ajalta.

5.3 Biokaasuprosessin tuottoarvot

Biokaasuprosessin aikana kaasun muodostuminen ei ollut tasaista vaan kaasun tuottonopeus vaihteli. Kiihvainta kaasun muodostuminen oli heti päivittäisen syötön jälkeen, jolloin mitattiin myös korkeita metaanipitoisuuksia. Metaanin osuus biokaasussa pysyi korkeana aina noin kuudenteen tuntiin saakka reaktorin syötöstä, jonka jälkeen kaasun määrä ja metaanin osuus kaasussa alkoivat hiljalleen laskea. Tämä johtui paineen laskusta kaasuletkuissa ja ilmamäärän lisääntymisestä. Metaanipitoisuuden keskiarvo laski kuuden tunnin jälkeen syötöstä, koska kaasuanalysoijan datan hajonta kasvoi. Keskiarvon laskusta huolimatta tämän jälkeen mitattiin suhteellisen korkeita yksittäisiä CH₄-pitoisuuksia. Suurelta osin koeajojakson aikana biokaasun metaanipitoisuus pysyi noin 50 prosentissa.

Hiilidioksidin osalta keskimääräinen pitoisuus vaihteli 30 %:n ja 35 %:n välillä. Biokaasusta mitattiin myös suhteellisen korkeita happipitoisuuksia, joiden arveltiin johtuvan ilman pääsystä kaasujärjestelmään. Ilmavuotoja järjestelmässä minimoitiin koeajojakson aikana vähentämällä ja parantamalla liitoksia sekä korvaamalla vuotoherkkiä komponentteja ilmatiiviimmillä ratkaisuilla. Toimenpiteistä huolimatta happipitoisuus koeajojakson aikana vaihteli 3,3–5,3 %. Tästä syystä koeajojakson datalle laskettiin sekundääriset ”korjaavat” tuottoarvot, jotka poissulkivat ilman määrän biokaasussa ja antoivat tuottoarvot ns. ihanteellisissa olosuhteissa. Viikoittaiset tuottokäyrät korjatuilla arvoilla on esitetty liitteessä 7. Mitatut alkuperäiset ja lasketut sekundääriset arvot, joista ilmenee myös kaasutuoton lisääntyminen syöttömäärän noustessa noin kahdesta kilogrammasta viiteen kilogrammaan, on esitetty liitteessä 8.

Korkeimmat mitatut kaasutuottonopeudet olivat noin 7 l/h. Keskimäärin biokaasua muodostui tunnin aikana noin 4,5 litraa eli noin 109 litraa päivässä. Koeajojakson tuottonopeusdatan mediaani oli noin 4 litraa biokaasua/h. Kaasua muodostui yhtä kuiva-ainekiloa kohti keskimäärin noin 300 litraa, joka vastasi noin 180 litraa metaania yhtä kuiva-ainekiloa kohti (oletuksella, että kaasukoostumus olisi 60 % CH₄ / 40 % CO₂). Liitteeseen 9 on koottu koeajojakson kaasuntuottokäyrät. Mitatut viikkokohtaiset biokaasun tuottoarvot on koottu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Koeajojakson mitatut viikkokohtaiset keskiarvot biokaasun tuottoarvoista.

Tuotto	1.vko	2.vko	3.vko	4.vko	Keskiarvo
l/vrk	111	129	104	90	109
l/h	4,6	5,4	4,3	3,8	4,5
l/kgTS	560	354	240	209	295
l CH ₄ /kgTS	284	180	122	108	150

Kaasuanalysoijalla mitattiin tuotetusta biokaasusta keskimäärin noin 48,2 %:n metaani- ja 33,5 %:n hiilidioksidipitoisuuksia. Tosin näissä laskuissa käytettiin kaikkea dataa koeajojaksolta, jolloin mukana oli myös dataa virhetilanteista, jolloin kaasu ei kulkenut mittalaitteille. Laskettaessa keskiarvoa toissijaisilla, virhetilanteet poissulkevillä arvoilla metaanipitoisuus

deksi saatiin noin 50,7 % ja hiilidioksidipitoisuudeksi noin 35,6 %. Liitteessä 8 on esitetty koeajojakson arvokäyrä, jossa kaasuanalysaattorin datan lisäksi on mukana myös metaani- ja hiilidioksidikäyrät, jotka kuvaavat pitoisuuksia ns. ihanteellisissa olosuhteissa ilman hapen läsnäoloa kaasussa. Taulukkoon 11 on koottu koeajojakson viikkokohtaiset keskiarvot sekä viikon maksimi- ja minimiarvot.

Taulukko 11. Koeajojakson viikkokohtaiset kaasupitoisuudet. Mitattujen kaasujen keskiarvopitoisuuksien (KA) lisäksi, metaanille ja hiilidioksidille on mainittu viikkokohtaiset maksimi- ja minimipitoisuudet sekä vastaavat ihanteellisten olosuhteiden pitoisuudet ilman happea kaasuseoksessa (-O₂).

Biokaasuseoksen osakaasut		1.vko (%)	2.vko (%)	3.vko (%)	4.vko (%)
CH ₄	KA	46,5	51,3	45,1	49,3
	Max	61,6	62,9	63,1	62,9
	Min	-	-	-	37,9
-O ₂	KA	60,4	61,8	54,5	59,0
	Max	64,5	66,1	64,7	64,4
	Min	50,0	44,4	-	53,2
CO ₂	KA	32,0	33,6	31,4	36,4
	Max	50	43,2	45,8	49,3
	Min	-	-	-	25
-O ₂	KA	41,4	40,5	37,3	43,7
	Max	50,0	45,3	46,0	50,5
	Min	33,6	32,3	-	38,6
O ₂	KA	4,83	3,6	5,3	3,5
H ₂ , ppm	KA	20,7	23,4	22,7	26,5
H ₂ S, ppm	KA	545	728	882	1146

Biokaasusta mitattavien vedyn ja rikkivedyn määrät olivat keskimäärin noin 23 ppm vetyä ja 844 ppm rikkivetyä. Tuloksia vertailtaessa huomattiin, että kaikki pitoisuudet laskivat vuotoilman lisääntyessä. Biokaasun suuri rikkivedyn määrä johtui lietelannassa olevasta kysteiniinistä, aminohaposta, josta muodostuu rikkivetyä anaerobisissa olosuhteissa. Rikkivety on yksi inhibiittori aiheuttavista aineista, joita syntyy syötteen hajoamisen seurauksena. Koeajojakson loppupuolella rikkivedyn pitoisuus biokaasussa oli niin suuri, että se ylitti kaasuanalysaattorin mitta-asteikon (1200 ppm). Vedyn ja rikkivedyn pitoisuuskäyrät on esitetty liitteessä 7.

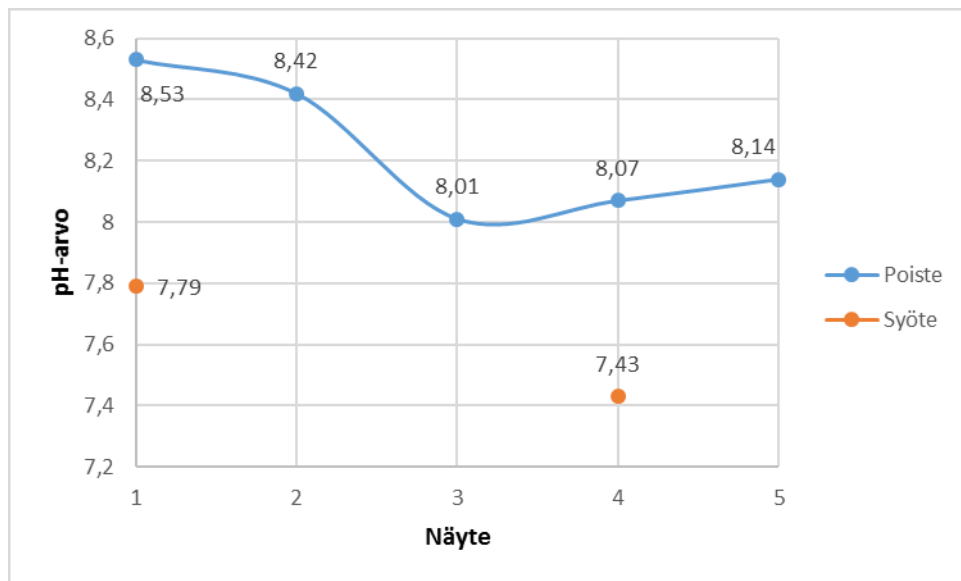
5.4 Poiste

Biokaasuprosessin aikana syötteen olomuoto muuttuu. Esimerkiksi mädätysjäätännöksenä saatava poiste on syötteen kaltaista, mutta eroaa muun muassa pH:n ja ammoniumtyypipitoisuuksien osalta. Koeajojakson eli vuoden 2016 kesäkuun aikana otetuista poistenäytteistä analysoitiin muun muassa kuiva-aine, pH, liukoinen ammoniumtyppi, COD_{sol} (liukoinen kemiallinen hapenkulutus) sekä alkaliteetti ja VFA (haihtuvat rasvahapot). Muutamia analyysejä tehtiin myös syötenäytteelle koeajojakson alussa ja sen loppu-

puolella. Syöte- ja poistenäytteet analysoitiin HAMK:n Visamäen toimipisteessä. Poistenäytteet kerättiin 30.5., 9.6., 15.6., 22.6. ja 29.6. Analyysien tulostuloksissa näihin näytteisiin viitataan numeroilla 1-5.

5.4.1 pH

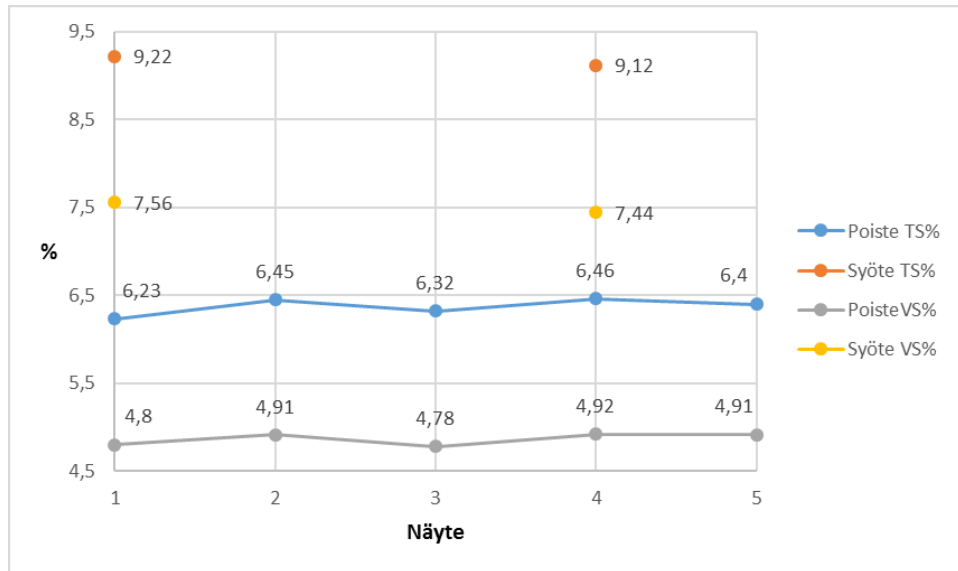
Näytteiden pH-tulokset mitattiin pH-mittarilla. Reaktorisyötteen eli lannan pH-arvo oli ennen koeajojakson alkua 7,79, saman päivän poistenäytteestä mitattiin pH-arvo 8,53. Keskimääräinen poisteen pH oli koeajojaksolla 8,2. Koeajojakson loppupuolella syötteen pH-arvo oli 7,43, eroa poisteeseen oli noin 10 prosenttia kuten koeajon alussa. Kuviossa 2 on esitetty työssä mitatut pH-arvot.



Kuvio 2. Reaktoripoisteen pH-käyrä ja kaksi syötteen pH-arvoa.

5.4.2 Kuiva-aine ja orgaaninen kuiva-aine

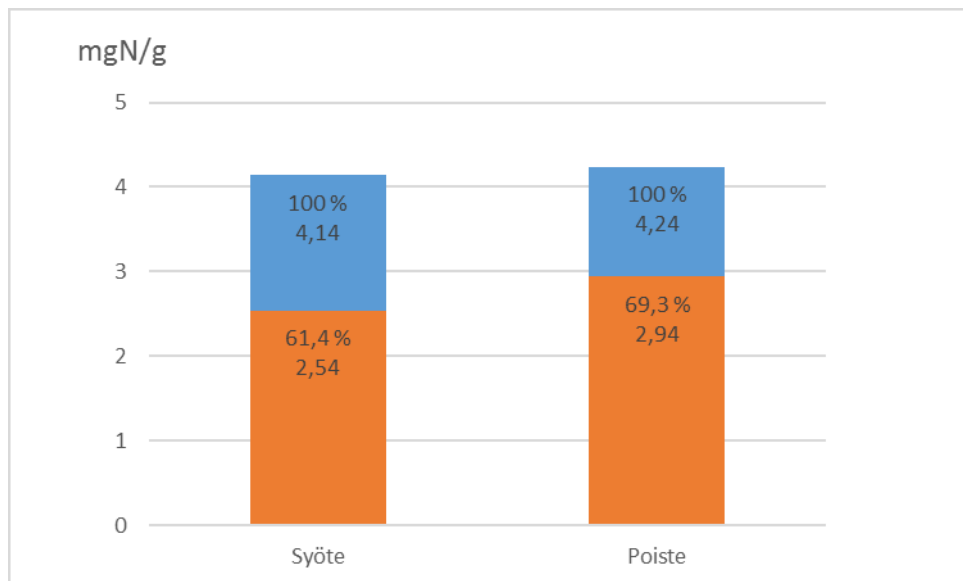
Reaktorisyötteen ja –poisteen kuiva-ainepitoisuudet (TS ja VS) määritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti. Kuiva-ainepitoisuudeksi (TS) poisteelle saatiin keskimäärin noin 6,37 %, syötteen kuiva-ainetulos oli noin 30 % korkeampi 9,17 %. Poisteen orgaaninen kuiva-ainepitoisuus (VS) oli keskimäärin 4,86 % ja syötteen 7,5 %. Syötteen ja poisteen välinen kuiva-aineen vähenemä oli n. 30 % ja vastaavasti orgaanisen kuiva-aineen vähenemä oli n. 35 %. TS- ja VS-analyysien tulostulokset on esitetty kuviossa 3 (s. 34).



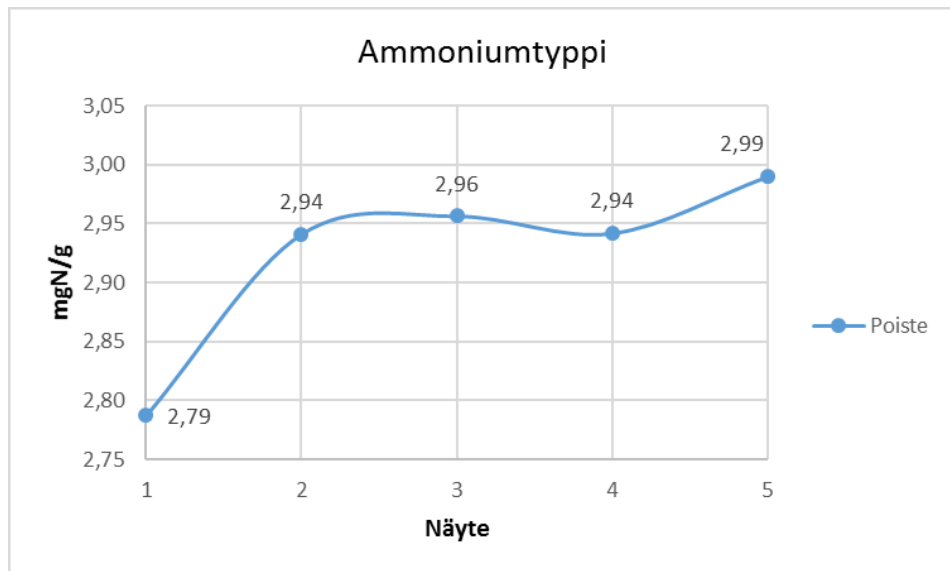
Kuvio 3. Kuiva-aineanalyysien tulokset.

5.4.3 Ammonium- ja kokonaistyyppi

Näytteiden tyyppianalyysit tehtiin käyttäen Kjeldahl-menetelmää. Koeajojakson aikana otetuista näytteistä tutkittiin pääasiassa poisteen ammoniumtyppipitoisuutta. Lisäksi poisteelle ja syötteelle tehtiin kokonaistyyppimääritys jakson viimeisistä näytteistä. Keskimääräinen ammoniumtyppipitoisuus poisteessa oli 2,92 mgN/g ja syötteessä 2,54 mgN/g. Kokonaistyyppien määrä syötteessä oli 4,14 mgN/g ja poisteessa 4,24 mgN/g. Poistenäytteessä olevan ammoniumtyypin osuus kokonaistyyppistä oli noin 69 %, osuuden ollessa noin 61 % syötenäytteen kokonaistyyppistä. Ammoniumtyypin osuudet on esitetty kuviossa 4. Ammoniumtyypin tuloskäyrä on esitetty kuviossa 5 (s. 35).



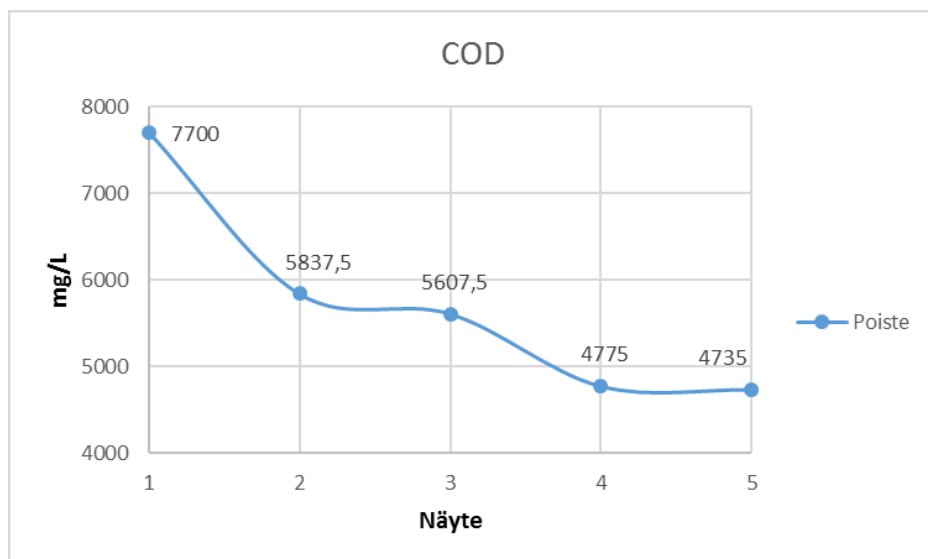
Kuvio 4. Kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuudet syötteessä ja poisteessa.



Kuvio 5. Ammoniumtyypen tulostkäyrä.

5.4.4 Liukoinen COD

Liukoinen COD eli kemiallinen hapenkulutus analysoitiin COD-pikamäärityksellä standardin ISO15705 mukaan käyttäen LCK517-reagenssiputkia. Analysoiduissa näytteissä COD laski koeajojakson edessä. Pääteltiin, että käytetty ympillisäys ei vielä ollut mukautunut lietelannan orgaanisen aineksen hajottamiseen, joka vaikutti viipymällä COD:n laskuun ensimmäisissä näytteissä. Laskua tapahtui myös prosessin normaalin tasaantumisen seurauksena. Koeajojakson loppupuolella (22.6) analysoitiin myös syöte, jonka COD-tulokseksi saatiin 20 650 mg. Liukoisen COD:n tulostkäyrä on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Liukoisen COD:n tulostkäyrä.

5.4.5 Alkaliteetti ja VFA

Näytteiden alkaliteetti ja rasvahapot määritettiin titraamalla käyttäen titraattoria. Reaktoripoisteen alkaliteettia ja rasvahappoja (VFA) analysoitiin viikoittain, syötettä tutkittiin kerran koeajojakson loppupuolella. Syötenäytteen (22.6.) alkaliteetti oli keskimäärin 236 mmol/l (11,8 g CaCO₃/l) ja VFA n. 106 mmol/l (5,3 g CaCO₃/l, 7,9 g/l). Alkaliteetti ja VFA-analyysien tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Alkaliteetti ja VFA –tulokset.

Näyte	Alk. mmol/L	mg CaCO ₃ /L	VFA, mmol/L	mg CaCO ₃ /L	mg/L
30.5. Poiste	237	11847	16,6	828	1242
9.6. Poiste	249	12465	11,2	558	836
15.6. Poiste	257	12838	11,0	550	825
22.6. Poiste	260	13019	10,2	510	765
29.6. Poiste	266	13307	13,7	682	1024

5.5 Muut huomiot

Biokaasureaktorin täytön jälkeen mädätysprosessi ja kaasun tuotanto saatiin käyntiin lietelannalla. Aluksi kaasutuotto oli kuitenkin alhainen. Mahdollisia syitä matalaan tuottoon saattoi olla lietelantamikrobien riittämätön määrä sekä mikrobien liian pieni käyttökelpoinen ravinto. Ympäristöolosuhteilla päästiin haluttuun lopputulokseen kaasutuotannon noustessa huomattavasti. Bioreaktorin säännöllinen syöttö aloitettiin toukokuun lopulla noin viikko ennen koeajojakson alkua. Reaktorin kuormitus oli tällöin noin puolet koeajojakson kuormitusarvosta (2,8 kgVS m⁻³ d⁻¹), lukuun ottamatta koeajojakson alkua. Biokaasun pitoisuustarkastelut jäivät viitteellisiksi johtuen mahdollisista ilmavuodoista biokaasulinjaan. Toimenpiteistä huolimatta kaasuletken tiiviyyttä ei saatu täysin pitäväksi, jolloin huoneilmaa mahdollisesti pääsi kaasuletkuihin, kun vallitseva kaasulinjapaine oli matalimmillaan eli kaasutuotto reaktorista laski ja toisaalta kaasumittarin pumppu aiheutti linjastoon imua.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä työssä kunnostettiin HAMK:n RavinneResurssi-hanketta varten biokaasureaktori, joka ylös- ja koeajettiin onnistuneesti vuoden 2016 kesän aikana. Bioreaktorin tilaa ja sen tuottaman biokaasun analysointia varten suunniteltiin toimiva laitteistokokonaisuus sisältäen biokaasun analysointiyksikön, raaka-aineen murskaimen ja syöttöpumpun.

Lietelantaa raaka-aineena käyttänyt jatkuva märkämädätysprosessi tuotti koeajojaksolla 2,8 kgVS m⁻³ d⁻¹ kuormituksella biokaasua keskimäärin n. 26 litraa/kg syötettä eli 295 l/kgTS ja 305 l/kgVS. Keskimääräinen metaanituotto koeajaksolla oli n. 13 l CH₄/kg syötettä eli 150 l CH₄/kgTS ja 155 l CH₄/kgVS.

Reaktorin prosessianalyysien perusteella muun muassa ammoniumtyypen määrässä havaittiin kasvua koeajojakson aikana. Muutokset olivat odotettuja, sillä ammoniumtyypen pitoisuuden oletettiin nousevan syötteeseen verrattuna biokaasuprosessin seurauksesta. Kokonaistypen osalta ei odotettu merkittävää muutosta syöte- ja poistenäytteiden välillä, sillä prosessissa ravinteet jäävät poisteseen eli mädätysjäännökseen. Kokonaistypen pitoisuus hivenen nousee, kun kuiva-ainetta muuttuu biokaasuksi, mutta pitoisuusarvo suhteutettuna tuorepainoon on hyvin vastaava. Sen sijaan pitoisuusmuutos suhteutettuna kuivapainoon on merkittävämpi.

Syöteen ja poisteen kuiva-ainepitoisuuksissa (TS ja VS) odotettiin tapahtuvan muutoksia johtuen prosessissa tapahtuvasta VS-osuuden muuntumisesta biokaasuksi. Kuiva-aineen ja orgaanisen kuiva-aineen eli TS- ja VS-analyysien mukaan syöteen TS-pitoisuus laski keskimäärin noin 30 % ja orgaanisen kuiva-aineen määrä väheni noin 35 % prosessin aikana.

Liukoisen COD:n pitoisuus laski merkittävästi koeajojakson alussa, lähes 25 %. Tämän arveltiin johtuvan ympin alkuvaiheen heikosta orgaanisen aineksen hajottamiskyvystä, jonka vuoksi poisteen mukana pääsi tavallista enemmän hajoamatonta orgaanista ainesta. Liukoisen COD-tuloksen perusteella prosessin toiminta parani ja tasoittuikin jo tämän yhden kuukauden koejakson aikana.

Syöte- ja poistenäytteiden pH-arvot vähän vaihtelivat koeajojaksolla, mutta näytteiden välinen ero pH-arvoissa pysyi suhteellisen samana, esim. kun syöte-pH oli 7,8, poiste-pH oli 8,5 ja kun syöte oli 7,4, poiste oli 8,1. Näytteiden alkaliteetissa ei myöskään havaittu suurta muutosta, analyysien perusteella näytteiden puskurointikyky pysyi hyvänä ja suhteellisen muuttumattomana. Rasvahapoissa (VFA) havaittiin vajaan 40 % laskua koeajon loppuvaihetta kohti, joka korreloi edellä todetun liukoisen COD-vähentymisen ja tasaantumisen kanssa. Molemmat osoittavat prosessitoiminnan hyvin tasaantuneen jo tämän yhden kuukauden koejakson aikana.

Työssä laskettiin maatilatason teoreettiset metaanintuottopotentiaalilaskelmat käyttäen esimerkkitilana Mustialan opetus- ja tutkimusmaatilaa. Tuottopotentiaalia tarkasteltiin käyttämällä laskettuja, kahdenlaisia syöteseoksia, jotka sisälsivät lietelantaa ja italianraiheinää: A) Kuiva-ainejakaumana syöteseoksessa 70 % lietelantaa ja 30 % italianraiheinää, jolloin käytössä koko italianraiheinäsato (14 ha). Syöteseosta yhteensä 884 tonnia/v. B) Syöteseoksen kuiva-aineesta 90 % lietelantaa ja 10 % italianraiheinää, käytössä Mustialan kaikki lanta ja koko italianraiheinäsato. Syöteseosta yhteensä 2 955 tonnia/v.

Tarkastelussa A syöteseoksella päästiin noin 23 900 m³ vuosittaiseen metaanintuottoon, eli energiatuottona n. 240 MWh/v. Syöteen ominaistuotoksi saatiin noin 248 litraa CH₄/kgTS ja 262 litraa CH₄/kgVS. Oletuksena, että tuotetun biokaasun kaasukoostumus olisi 60 % CH₄ ja 40 % CO₂, määrä vastaisi noin 413 litraa biokaasua/kgTS ja 45 litraa biokaasua/kg tuoretta syötettä. Prosessin seurauksena muodostuneessa mädätysjäännöksessä eli poisteessa olisi typpeä noin 40 gN/kgTS ja fosforia noin 7 gP/kgTS.

Tarkastelussa B syöteseokselle laskettiin noin 63 900 m³ vuosittainen metaanituotto eli n. 640 MWh/vuosi. Syötteen ominaistuotoksi saatiin 232 litraa CH₄/kgTS ja 240 litraa CH₄/kgVS. Määrä vastaa noin 387 litraa biokaasua/kgTS ja 36 litraa biokaasua/kg tuoretta syötettä, oletuksena, että kaasussa on 60 % metaania. Prosessissa syntyneen poisteen typpipitoisuus olisi 45 gN/kgTS ja fosforipitoisuus noin 8 gP/kgTS.

Maatilatason metaanintuottopotentialilaskelmissa päästiin vastaaviin julkaistuihin tuottoarvoihin lantapohjaiselle reaktorille. Muun muassa maatilamittakaavan lietelannan ja ruokohelven yhteiskäsittelykokeissa metaanituotto on vaihdellut n. 150-200 litraa CH₄/kgVS. (Airaksinen 2012.) Myös poisteen ravinnepitoisuuksien suhteen päästiin vastaaviin julkaistuihin arvoihin (Erjava 2009). Koejakson ja metaanintuottotarkastelun arvoja vertailemalla, lietelannan ja viherbiomassan yhteiskäytöllä voidaan parantaa metaanintuottoa noin 30 % pelkkään lietelantasyötteeseen verrattuna.

LÄHTEET

Airaksinen, J. 2012. Biokaasun tuotanto ruokohelvestä ja lehmän lietelannasta maatilamittakaavan biokaasulaitoksella. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

BioGTS Oy. n.d. Maatalouden biokaasulaitos. Viitattu 1.9.2016. <http://biogts.fi/wp-content/uploads/BioGTS-Maatalouden-biokaasulaitos-esite.pdf>

Bioste Oy. 2014. Biokaasu. Viitattu: 5.10.2016. <http://bioste.fi/bioenergia/biokaasu/>

Erjava, A. 2009. Biokaasulaitoksen perustaminen kasvihuonetilalla. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Esala, M., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. MTT Maa- ja elintarviketalous 12. Viitattu 14.9.2016. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met12.pdf>

Grönroos, J., Luostarinen, S., Manninen, K., Marttinen, S., Tampio, E., Timonen, K. & Sinkko, T. 2015. Biokaasulaitokset – syötteistä lopputuotteisiin. Luonnonvarakeskuksen (Luke) julkaisuja 14/2015. Helsinki: Luke. Viitattu 15.6.2016. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485744/luke-luobio_14_2015.pdf?sequence=4

Hirvelä, M. 2015. Fosforin talteenotto eri saostus- ja kiteytysmenetelmillä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö.

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2015. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 18. Viitattu 8.8.2016. <http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2014.pdf>

Hyvönen, T & Rönkkö, T. 2011. Pienimuotoisen biokaasureaktorin valmistaminen ja sen hyödyntäminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Kalmari-Harju, J. 2016. Biokaasulaitosratkaisut ja laitosten käyttö. Seminaari. Hämeen ammattikorkeakoulu. 25.2.2016. HAMK. Metener Oy.

Karunen, L. 2006. Biokaasun tuotantomahdollisuudet eläinten lannasta pohjoisen Keski-Suomen alueella. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Katajamäki, T. 2014. Tukihakumateriaali 2015. Mavi – Maaseutuvirasto. Viitattu 6.9.2016.

<http://www.mavi.fi/fi/Documents/Viljelij%C3%A4tukihakukoulutuksen%20materiaalit.pdf>

Kuoppa-aho, M. 2016. Ympäristökorvaus 2016. Maaseutuvirasto. Viitattu 6.9.2016.

<http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/Documents/Ymp%C3%A4rist%C3%B6korvaus.pdf>

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Forssa: Forssa Print Oy.

Känkäinen, H. 2012. Pelto vihreämmäksi kerääjä- ja peitekasvien avulla. Ravinnehuhtomien hallinta (RaHa) – Fakta 2. Viitattu 6.9.2016.

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B34693AE2-9E91-47DF-B8A5-4633E7412627%7D/70417>

Laurila, J. & Saarinen, J. 2014. Peltobiomassojen korjuu ja sen ympäristövaikutukset – kohdealueena Varsinais-Suomi ja Satakunta. Satafood Kehittämisyhdistys ry. Viitattu 13.5.2016.

http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Raportti_Peltobiomassojen_hyodyntaminen_29102014.pdf

Luostarinen, S. 2009. Biokaasun tuotantoprosessi ja –teknologiat. MTT. Viitattu 13.10.2016.

<http://docplayer.fi/20339595-Biokaasun-tuotantoprosessi-ja-teknologiat.html>

Luostarinen, J. 2013a. Biokaasun tuotanto maatilalla. Metener Oy. Motiva Oy. Viitattu 14.6.2016.

http://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Luostarinen, S. 2013b. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja ope-
rinti – käytännön kokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta. Bio-
kaasuteknologiaa maatiloilla I. MTT Raportti 113. Viitattu 30.9.2016.

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti113.pdf>

Maaseutuvirasto. 2014. Maataloustuet uudistuvat vuonna 2015 – mikä
muuttuu? Viitattu 6.9.2016.

http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/vipu/Documents/Maataloustuet-muuttuvat-2015_web.pdf

Motiva Oy. 2015. Biokaasu. Viitattu 14.6.2016.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energia_pelloilta/biokaasu

Pietola, L. 2011. Maataloustuotannon ympäristötekijät – faktat pöytään. MTK. Viitattu 14.6.2016.

http://www.jarki.fi/sites/default/files/liisa_pietola_maataloustuotannon_ymparistotekijat.pdf

Rajala, J., Leinonen, P. & Schepel, I. 2006. Luonnonmukainen maatalous. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskuksen julkaisuja 80. Viitattu 14.6.2016.

http://www.luomu.fi/materiaalit/Luonnonmukainen%20maatalous%20-kirja/4_Ravinnekierrot_ja_ravinnehuolto_126_s.pdf

Ravinneresurssi. n.d. Hankkeen kuvaus ja tavoitteet. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.9.2016.

<http://www.hamk.fi/tyoelamalle/hankkeet/ravinneresurssi/Sivut/hankkeen-kuvaus-ja-tavoitteet.aspx>

WWF. 2014. Ainutlaatuinen Itämeri. Viitattu 7.9.2016.

<http://wwf.fi/alueet/itameri/ainutlaatuinen-itameri/>

Yara Suomi. n.d. Ravinteet ja niiden merkitys. Viitattu 15.9.2016.

<http://www.yara.fi/lannoitus/kasvit/metsa/lannoitus/ravinteet.aspx>

Ympäristöministeriö. 2014. Ravinteet kiertoon 4/2014. Viitattu 7.9.2016.

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B60F6E803-5A93-4B69-BE9B-78F1BC763A9C%7D/98602>

Lanta-viherbiomassa-syöteseos

Mustialassa on 90 lypsylehmää ja 70 nuorkarjaa (yli puolivuotias poikimaton nauta¹). Lypsylehmä tuottaa n. 25,5 m³ lietelantaa vuodessa ja nuorkarja n. 7,85 m³ lietelantaa/v (hiehon ja 6-12 kk lehmävasikan keskiarvo)². (1 m³ lantaa vastaa n. 1 tonnia lantaa).

Lietelannan tuotto vuodessa, 90 lypsylehmää

$$\rightarrow 25,5 \text{ t} * 90 = 2295 \text{ t/v}$$

Lietelannan tuotto vuodessa, 70 nuorkarjaa

$$\rightarrow 7,85 \text{ t} * 70 = 549,5 \text{ t/v}$$

Lietelannan tuotto yhteensä

$$\rightarrow 2295 \text{ t/v} + 549,5 \text{ t/v} = 2844,5 \text{ t/v}$$

$$\rightarrow 2844,5 \text{ t/v} / 365 \text{ vrk} = 7,8 \text{ t/vrk} = 7793 \text{ kg/vrk}$$

Mustialassa tuotetaan n. 2845 tonnia lietelantaa vuodessa

Mustialan pelloilla viljeltiin v. 2015, 14 hehtaaria kerääjäkasveja. Tähän tarkasteluun valitun italianraiheinän saannot koeruuduilla olivat 1762 kg ka/ha (A2) ja 2057 kg ka/ha (A3), joista A3-tapaus valittiin tarkasteluun.

Käytettävissä olevan italianraiheinän (A3) kuiva-aine määrä vuodessa

$$\rightarrow 2057 \text{ kg ka/ha} * 14 \text{ ha} = \underline{28798 \text{ kg ka/v}}$$

HAMK:n kuiva-aine analyysien perusteella raaka-aineiden TS- ja VS-pitoisuudet on koottu alla olevaan taulukkoon, puinnista johtuen kerääjäkasvit sisältävät olkea.

Raaka-aine	%TS	%VS	Oljen osuus ka:sta
Lietelanta	8,7	8,4	
Italianraiheinä, A2 7 kg/ha	29,3	26,9	52 %
Italianraiheinä, A3 20 kg/ha	26,2	23,6	47 %

Käytettävissä olevan lietelannan kuiva-aine määrä vuodessa

$$\rightarrow 2844,5 \text{ t} * 8,7 \% \text{TS} / 100 = 247,47... \approx \underline{247 \text{ tonnia ka/v}}$$

Syöteseoksen koostumus

Tässä tarkastelussa on laskettu biokaasutuotantoon sopiva syöteseossuhde kahdella eri tavalla: A) Käytetään koko italianraiheinäsato ja lasketaan tarvittava lantamäärä, kun lantaa on seoksen kuiva-aineesta 70 %, italianraiheinää 30 %. Tällöin seoksen kuiva-ainepitoisuus on n. 11 %. B) Käytetään koko lantamäärä ja italianraiheinäsato.

Tarkastelu A:

Lantaa kuiva-aineesta 70 %
Italianraiheinää ka:sta 30 %

Syöteseoksen kokonaismäärä, kuivapainona

$$\rightarrow 28798 \text{ kg ka/v} / 0,30 = 95993,3... \approx \underline{95993 \text{ kg ka/v}}$$

Lannan määrä syöteseoksessa, kuivapainona

$$\rightarrow 95993,3 \text{ kg ka} * 0,70 = 67195,3 \approx \underline{67195 \text{ kg ka}}$$

Italianraiheinän määrä syöteseoksessa, kuivapainona

$$\rightarrow \underline{28798 \text{ kg ka}}$$

Lannan määrä syöteseoksessa, tuorepainona

$$\rightarrow 67195,3 \text{ kg ka} / 0,0868 = 774139,4 \text{ kg/v} \approx 774 \text{ tonnia/v}$$

Italianraiheinän määrä syöteseoksessa, tuorepainona

$$\rightarrow 28798 \text{ kg ka} / 0,262 = 109916 \text{ kg/v} \approx 110 \text{ tonnia/v}$$

Syöteseos yhteensä

$$\underline{884055 \text{ kg}} \text{ tuoretta syötettä vuodessa (TS\% 10,9, VS\% 10,3)}$$

$$\text{Josta lantaa } 87,6 \% \text{ ja italianraiheinää } 12,4 \%$$

Tällä valitulla syöteseossuhteella Mustialassa tuotetusta lannasta käytettäisiin biokaasu-tuotannossa n. 31 %.

Syöteseoksen kuiva- ja tuorepainot

Tarkastelu A	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä
Kuivapaino/v	67195 kg ka	28798 kg ka	95993 kg ka
Kuivapaino/vrk	184,1 kg ka	78,9 kg ka	263 kg ka
Tuorepaino/v	774139 kg	109916 kg	884055 kg
Tuorepaino/vrk	2121 kg	301 kg	2422 kg

Tarkastelu B:

Lannan kokonaismäärä, kuivapainona

$$\rightarrow 2845000 \text{ kg} * 0,0868 = 246946 \text{ kg ka} \approx 247 \text{ tonnia ka/v}$$

Italianraiheinäsato, kuivapainona

$$\rightarrow 28798 \text{ kg ka} \approx 29 \text{ tonnia ka/v}$$

Syöteseoksen kokonaismäärä, kuivapainona

$$\rightarrow 246946 \text{ kg ka} + 28798 \text{ kg ka} = 275924 \text{ kg ka} \approx \underline{276 \text{ tonnia ka/v}}$$

Lantaa syöteseoksen kuiva-aineesta

$$\rightarrow 246946 \text{ kg ka} / 275924 \text{ kg ka} * 100 \% = 89,49... \approx \underline{89,5 \%}$$

Italianraiheinää syöteseoksen kuiva-aineesta

$$\rightarrow 100 \% - 89,5 \% = \underline{10,5 \%}$$

Lannan kokonaismäärä, tuorepainona

$$\rightarrow 2845 \text{ tonnia/v}$$

Italianraiheinäsato, tuorepainona

$$\rightarrow 28798 \text{ kg ka} / 0,262 = 109916 \text{ kg} \approx 110 \text{ tonnia/v}$$

Syöteseos yhteensä

$$\underline{2954916 \text{ kg}} \text{ tuoretta syötettä vuodessa (TS\% 9,3, VS\% 9,0)}$$

$$\text{Josta lantaa } 96,3 \% \text{ ja italianraiheinää } 3,7 \%$$

Syöteseoksen kuiva- ja tuorepainot

Tarkastelu B	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä
Kuivapaino/v	246946 kg ka	28798 kg ka	275744 kg ka
Kuivapaino/vrk	676,6 kg ka	78,9 kg ka	755,5 kg ka
Tuorepaino/v	2845000 kg	109916 kg	2954916 kg
Tuorepaino/vrk	7795 kg	301 kg	8096 kg

Metaanintuottopotentiaali

Alla olevaan taulukkoon on koottu lietelannan, italianraiheinän ja oljen laskennalliset metaanintuottoarvot HAMK:n panoskokeisiin ja ”Biokaasun tuotanto 2015” –kirjaan perustuen.

Raaka-aine	Litraa CH ₄ /kgTS	Litraa CH ₄ /kg	Huom.
Lietelanta	222,6	19,3	
Italianraiheinä, A2	368,3	78	Sisältää oljen
Italianraiheinä, A3	308,8	72,7	Sisältää oljen
Olki ^c (* oletus 86 %TS)	270*	229,5	Laskettu lähteen tuottoarvojen keskiarvo

Tarkastelu A:

Lannan metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 222,6 \text{ L/kgTS} * 67195 \text{ kgTS} = 14957607 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 14958 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Italianraiheinän metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 308,8 \text{ L/kgTS} * 28798 \text{ kgTS} = 8892822 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 8893 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Syöteseoksen metaanintuottopotentiaali yhteensä

$$\rightarrow 14958 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 + 8893 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 23851 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Tarkastelu B:

Lannan metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 222,6 \text{ L/kgTS} * 246946 \text{ kgTS} = 54970179,6 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 54970 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Italianraiheinän metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 308,8 \text{ L/kgTS} * 28798 \text{ kgTS} = 8892822,4 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 8893 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Syöteseoksen metaanintuottopotentiaali yhteensä

$$\rightarrow 54970 \text{ m}^3 + 8893 \text{ m}^3 = 63863 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Tarkastelujen A ja B syöteseosten metaanintuottopotentiaalit

	Lietelanta	Italianraiheinä	Yhteensä
Tarkastelu A	14958 m ³ /v	8893 m ³ /v	23851 m ³ /v
	41 m ³ /vrk	24 m ³ /vrk	65 m ³ /vrk
Tarkastelu B	54970 m ³ /v	8893 m ³ /v	63863 m ³ /v
	151 m ³ /vrk	24 m ³ /vrk	175 m ³ /vrk

Tarkastelu A	23851 m ³ CH ₄ /v 1704 m ³ CH ₄ /ha v 248 litraa CH ₄ /kgTS 262 litraa CH ₄ /kgVS 27 litraa CH ₄ /kg tuoretta syötettä 238,5 MWh/v 6,4 MWh/ha
Tarkastelu B	63863 m ³ CH ₄ /v 4562 m ³ CH ₄ /ha v 232 litraa CH ₄ /kgTS 240 litraa CH ₄ /kgVS 21,6 litraa CH ₄ /kg tuoretta syötettä 638,6 MWh/v 6,4 MWh/ha

(1 m³ CH₄ = 10 kWh = 1 litra kevyttä polttoöljyä³)

Heinä-olki erotustarkastelu

Tässä tarkastelussa on laskettu syöteseoksen kuiva-aineiden jakautuminen italianraiheinän ja oljen suhteen sekä näiden osuuksien metaanintuottopotentiaalit.

Oljen vaikutuksen tarkastelu

Oljen suuri osuus kesän 2015 kerääjäkasvisadossa vaikutti kaikkiin analyysi- ja koetuloksiin, hankaloittaen varsinaiseen kerääjäkasviin liittyvää tarkastelua. Tässä on laskennallisesti arvioitu kerääjäkasvin mukana olleen olki-osuuden kuiva-ainepitoisuutta. A8-näytteen (olki korjattu pois näytteestä) kuiva-aine analyysin pohjalta pelkän italianraiheinä-osuuden TS-pitoisuus on n. 19 % (17 %VS).

Olki-osuuden laskennallinen kuiva-ainepitoisuus laskettiin seuraavalla kaavalla:

Oljen osuus * TS-pitoisuus (%) + Heinän osuus * TS-pitoisuus (%) = Heinä-olki –seoksen TS-pitoisuus (%)

Pelkän olki-osuuden kuiva-ainepitoisuus

$$\rightarrow 0,47 * X + 0,53 * 19 \% = 26,25 \%$$

$$\rightarrow X = (26,25 \% - 0,53 * 19 \%) / 0,47$$

$$\rightarrow X = 34,425... \approx 34,43 \%TS (30,9 \%VS)$$

Toisaalta, vastaavasti huomioiden kaikki kerääjäkasvit (taulukko 3, s. 10), olki-osuuden kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin n. 50 % (45,6 %VS). Tähän vaihteluun on syynä paitsi oljen määrän karkea arviointi myös edustavan näytteenoton haastavuus kerääjäkasvi-olkiseoksesta.

Syöteseoksen koostumus

Lantaa kuiva-aineesta	70 %
Vihherbiomassaa ka:sta	30 %

Syöteseoksen kokonaismäärä kuivapainona

$$\rightarrow 28798 \text{ kg ka/v} / 0,30 = 95993,3\dots \approx \underline{95993 \text{ kg ka/v}}$$

Italianraiheinä ja olki syöteseoksessa, kuivapainoina

$$\begin{aligned} \rightarrow 28798 \text{ kg ka} * 0,53 &= 15262,9 \approx 15263 \text{ kg ka (A3)} \\ \circ 28798 \text{ kg ka} - (A3) &= 13535,1 \approx 13535 \text{ kg ka (olki)} \end{aligned}$$

Lannan määrä syöteseoksessa, kuivapainona

$$\rightarrow 95993,3 \text{ kg ka} * 0,70 = 67195,3 \approx 67195 \text{ kg ka}$$

Raaka-aineiden osuudet syötteen kuivapainosta:

Lanta	70 %
Heinä	$15263 / 95993 * 100 = 15,9 \%$
Olki	$13535 / 95993 * 100 = 14,1 \%$

Syöteseoksen raaka-ainemäärät, tuorepainoina

Lanta	$67195,3 \text{ kg ka} / 0,0868 = 774139,4 \text{ kg/v} \approx 774 \text{ tonnia/v}$
Heinä	$15262,9 \text{ kg ka} / 0,19 = 80331 \text{ kg/v} \approx 80 \text{ tonnia/v}$
Olki	$13535,1 \text{ kg ka} / 0,344 = 39346,2 \text{ kg/v} \approx 39 \text{ tonnia/v}$

Syöteseos yhteensä

$$\begin{aligned} &\underline{893816,6 \text{ kg}} \text{ tuoretta syötettä vuodessa (TS\% 10,7, VS\% 10,2)} \\ &\text{Josta lantaa } 86,6 \%, \text{ italianraiheinää } 9,0 \% \text{ ja olkea } 4,4 \% \end{aligned}$$

Metaanintuottopotentiaali

Metaanituoton jakautuminen italianraiheinän ja oljen osalta, selvitetiin laskemalla metaanintuottopotentiaali heinä-olki -seoksessa olevalle italianraiheinä-osuudelle ilman olki-osuutta. Edustavamman tuottopotentiaalin saamiseksi laskuissa käytettiin italianraiheinän molempia tapauksia (A2 ja A3). Italianraiheinän tuottopotentiaali laskettiin seuraavalla kaavalla:

Oljen pit. (%) * tuotto (L CH₄/kgTS) + italianraiheinän pit. (%) * tuotto (L CH₄/kgTS) =
Heinä-olki -seoksen metaanintuottopotentiaali (L CH₄/kgTS)

Italianraiheinä-osuuden (A2) metaanintuottopotentiaali

$$\begin{aligned} \rightarrow (368,3 \text{ L/kgTS} - 0,52 * 270 \text{ L/kgTS}) / 0,48 &= A2 \\ \rightarrow A2 = 474,8\dots \text{ L/kgTS} \end{aligned}$$

Italianraiheinä-osuuden (A3) metaanintuottopotentiaali

$$\begin{aligned} \rightarrow (308,8 \text{ L/kgTS} - 0,47 * 270 \text{ L/kgTS}) / 0,53 &= A3 \\ \rightarrow A3 = 343,2\dots \text{ L/kgTS} \end{aligned}$$

Italianraiheinä-osuuden keskimääräinen metaanintuottopotentiaali ilman olki-osuutta:

$$\rightarrow (A2 + A3) / 2 = 408,9\dots \approx 410 \text{ litraa CH}_4 / \text{kgTS}$$

Syöteseoksen lanta, heinä ja olki osuuksien metaanituotto eroteltuna

Lannan metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 222,6 \text{ L/kgTS} * 67195 \text{ kgTS} = 14957607 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 14956 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Italianraiheinä-osuuden metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 410 \text{ L/kgTS} * 15263 \text{ kgTS} = 6257830 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 6258 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Olki-osuuden metaanintuottopotentiaali

$$\rightarrow 270 \text{ L/kgTS} * 13535 \text{ kgTS} = 3654450 \text{ litraa CH}_4/\text{v} \approx 3654 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Syöteseoksen metaanintuottopotentiaali yhteensä

$$\rightarrow 24870 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{v}$$

Syöteseos (A3)

24870 m³ CH₄/v
1776 m³ CH₄/ha v
260 litraa CH₄/kgTS
273 litraa CH₄/kgVS
27,8 litraa CH₄/kg tuoretta syötettä
248,7 MWh/v
17,8 MWh/ha

¹<http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/86888/opinnaytetyo%20meri%20lahtinen.pdf?sequence=1>

²<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>

³https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja

Ravinteet syöteseoksessa

Tässä tarkastellaan edellisessä liitteessä (liite 1) laskettujen syöteseosten ravinnepitoisuutta typen ja fosforin osalta. Laskennassa käytetään keskiarvoja alla olevasta taulukosta.

Typpi- ja fosforipitoisuus raaka-aineissa

Raaka-aine	N _{kok}	P	Laskettujen keskiarvojen lähteet
Viherbiomassa A3 (kgTS ⁻¹)	15 g	3 g	Hamk & Valio, reuianalyysit
Lietelanta (kg ⁻¹)	2,9 g	0,5 g	Kymäläinen & Pakarinen 2015

Tarkastelu A:

Syöteseoksen tuorepaino 884055 kg, kuivapaino 95993 kg

- lietelantaa 774139 kg tuorepainosta ja 67195 kg kuivapainosta
- italianraiheinää 109916 kg tuorepainosta ja 28798 kg kuivapainosta

Lietelannan typpimäärä syöteseoksessa

- 2,9 g/kg * 774139 kg = 2245003 g / 1000 ≈ 2245 kg
-

Italianraiheinän typpimäärä syöteseoksessa

- 15 g/kgTS * 28798 kgTS = 431970 g / 1000 ≈ 432 kg

Lietelannan fosforimäärä syöteseoksessa

- 0,5 g/kg * 774139 kg = 387070 g / 1000 ≈ 387 kg
-

Italianraiheinän fosforimäärä syöteseoksessa

- 3 g/kgTS * 28798 kgTS = 86394 g / 1000 ≈ 86 kg

Syöteseos yhteensä

Typpeä: 2245 kg + 432 kg = 2677 kg
 Lannan osuus 83,9 %, italianraiheinän osuus 16,1 %
 Fosforia: 387 kg + 86 kg = 473 kg
 Lannan osuus 81,8 %, italianraiheinän osuus 18,2 %

Syöteseos sisältää 27,9 gN/kgTS ja 4,9 gP/kgTS
 29,4 gN/kgVS ja 5,2 gP/kgVS

Tarkastellessa ravinnepitoisuutta poisteessa tulee huomioida biokaasuprosessissa tapahtuva n. 30 %:n vähenemä kuiva-aineen (TS) osalta.

Syöteseoksen typpipitoisuus on 0,3 % tuorepainosta ja 2,8 % kuivapainosta
 Syöteseoksen fosforipitoisuus on 0,05 % tuorepainosta ja 0,49 % kuivapainosta

Tarkastelu B:

- Syöteseoksen tuorepaino 2954916 kg, kuivapaino 275744 kg
- Lietelantaa 2845000 kg tuorepainosta ja 246946 kg kuivapainosta
 - Italianraiheinää 109916 kg tuorepainosta ja 28798 kg kuivapainosta

Lietelannan typpimäärä syöteseoksessa

- $2,9 \text{ g/kg} * 2845000 \text{ kg} = 8250500 \text{ g} / 1000 \approx 8251 \text{ kg}$

Italianraiheinän typpimäärä syöteseoksessa

- $15 \text{ g/kgTS} * 28798 \text{ kgTS} = 431970 \text{ g} / 1000 \approx 432 \text{ kg}$

Lietelannan fosforimäärä syöteseoksessa

- $0,5 \text{ g/kg} * 2845000 \text{ kg} = 1422500 \text{ g} / 1000 \approx 1423 \text{ kg}$

Italianraiheinän fosforimäärä syöteseoksessa

- $3 \text{ g/kgTS} * 28798 \text{ kgTS} = 86394 \text{ g} / 1000 \approx 86 \text{ kg}$

Syöteseos yhteensä

Typpeä: $8251 \text{ kg} + 432 \text{ kg} = \underline{8683 \text{ kg}}$
Lannan osuus 95,0 %, italianraiheinän osuus 5,0 %

Fosforia: $1423 \text{ kg} + 86 \text{ kg} = \underline{1509 \text{ kg}}$
Lannan osuus 94,3 %, italianraiheinän osuus 5,7 %

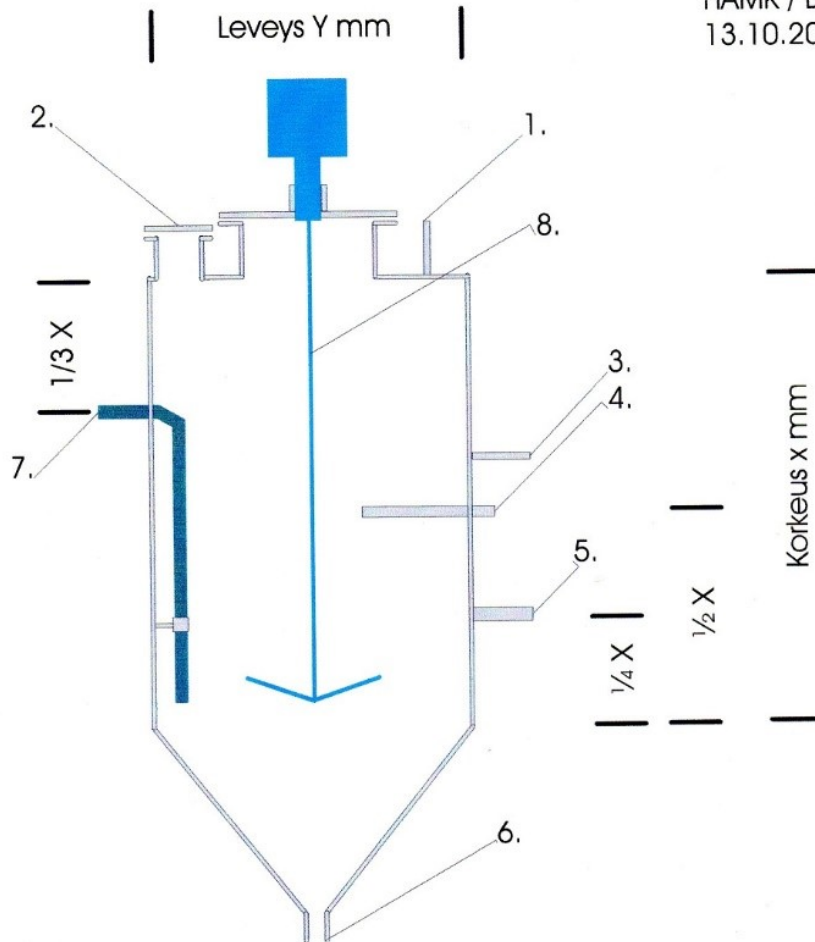
Syöteseos sisältää $31,5 \text{ gN/kgTS}$ ja $5,5 \text{ gP/kgTS}$
 $32,6 \text{ gN/kgVS}$ ja $5,6 \text{ gP/kgVS}$

Tarkastellessa ravinnepitoisuutta poisteessa tulee huomioida biokaasuprosessissa tapahtuva n. 30 %:n vähenemä kuiva-aineen (TS) osalta.

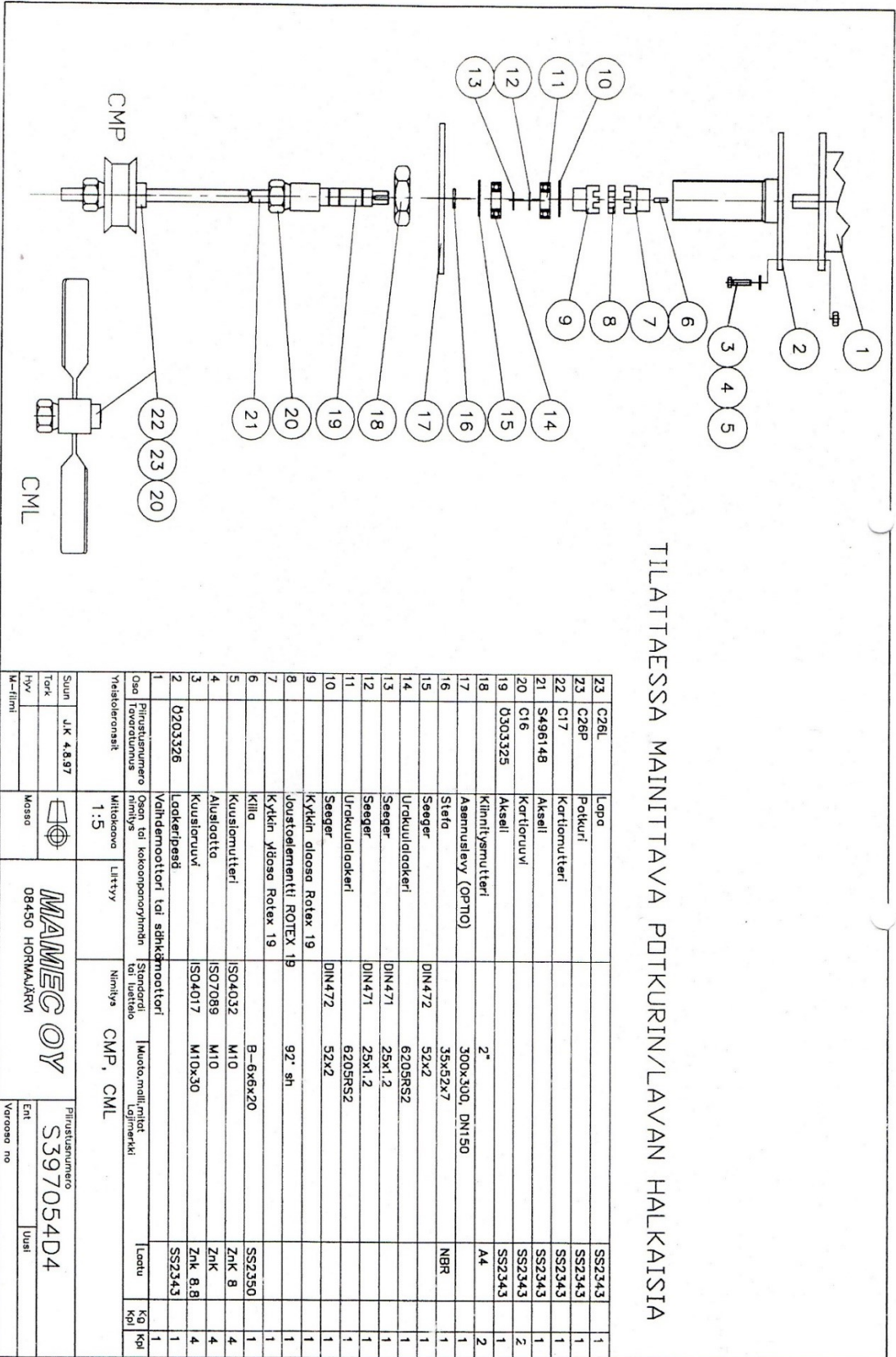
Syöteseoksen typpipitoisuus on 0,3 % tuorepainosta ja 3,1 % kuivapainosta
Syöteseoksen fosforipitoisuus on 0,05 % tuorepainosta ja 0,55 % kuivapainosta

Biokaasureaktori

Juha Karjalainen
HAMK / Bioana
13.10.2002



1. Biokaasuyhde, R 1/2", L 100 mm, ulkokierteellä
2. Näkölasi 2 kpl, rakenne selviää erillisestä kuvasta.
3. Näyteyhde, R 1/2", L 100 mm, ulkokierteellä. Sijoitus 100 mm poistolieteputken alapuolelle.
4. Lämpömittarin tunneli, R 20 mm, L 250 mm josta 200 mm reaktorin sisällä. Sokeoitu reaktorin sisäpästä, 1/2" sisäkierre ulkopäähän.
5. Syöteputkiyhde, R 1", L 100 mm, ulkokierteellä
6. Rejektiputkiyhde, R 1 1/2", L 100 mm, ulkokierteellä
7. Pöistolieteputki, R 1 1/2", ulkokierteellä
8. Sekoitin. Kiinnityslaippa 250 mm, S 10 mm, laipassa 50 mm korotuskaulus jossa 2" sisäkierre



TILATTAESSA MAINITTAVA POTKURIN/LAVAN HALKAISIA

23	C26L	Lapa		SS2343	1	
23	C26P	Polturi		SS2343	1	
22	C17	Kortiomutteri		SS2343	1	
21	S496148	Akseli		SS2343	1	
20	C16	Kortiruuvi		SS2343	2	
19	D303325	Akseli		SS2343	1	
18		Kinnitysmutteri	2"	A4	2	
17		Aasennuslevy (OP10)	300x300, DN150		1	
16		Stefa	35x52x7	NBR	1	
15		Seeger	DIN472 52x2		1	
14		Urakuulalankeri	DIN471 620SR52		1	
13		Seeger	DIN471 25x1,2		1	
12		Seeger	DIN471 25x1,2		1	
11		Urakuulalankeri	620SR52		1	
10		Seeger	DIN472 52x2		1	
9		Kytkin aliosa Rotax 19			1	
8		Joustoelämentti ROTEX 19	92° s1		1	
7		Kytkin ydosa Rotax 19			1	
6		Killo	B-6x6x20	SS2350	1	
5		Kuusiomutteri	ISO4032 M10	Znk 8	4	
4		Aluslaatto	ISO7089 M10	Znk	4	
3		Kuusiaruuvi	ISO4017 M10x30	Znk 8,8	4	
2	D203326	Laakeripästä		SS2343	1	
1		Vaihdevoimansiirtolaite			1	
Osa		Pitkustusnumero	Standardi	Muoto, mallit, mitat	Laatu	Kg
Yleistiedot		Mittakaava	Nimiyys	Logonmerkki		Kg
Suun		J.K. 4.8.97				
Tork						
Hyvä						
M-tilini						
Mossa						
Littyvä						
MAMECOY						
08450 HORMAJÄRVI						
Pitkustusnumero		S397054D4				
Ent						
Uusi						
Väroasa no						

Komponenttiluettelo

Reaktoriin ja biokaasun sekä raaka-aineen käsittelyyn kuuluvat laitteistot on koottu omiin luetteloihinsa. Koska laitteistojen kokoonpanon yhteydessä hyödynnettiin myös osia/laitteita/komponentteja reaktorin alkuperäisestä käytöstä, mukana on osia joiden tuotenimeä/valmistajaa ei välttämättä tunneta. Näihin osiin viitataan ”Muu tieto” –otsikossa alkuperäinen osa (”Alkup.”).

Reaktorin laitteisto					
N:o	Tyyppi	Tuotenimi	Valmistaja	Toimittaja	Muu tieto
1.1	Turvakytkin	Turva 16	Sontheimer	Finnparttia Oy	-
1.2	Sähkökotelo	KK 12 RM	Schneider	Finnparttia Oy	-
1.2.1	Viikkokello	DATA 1	Orbis	Finnparttia Oy	-
1.2.2	Kontaktori	A9-30-10	ABB	-	Alkup.
1.2.3	Moottorinsuojakytkin	SMS 1,6	GE	Finnparttia Oy	-
1.2.4	Käyttökytkin	KK 10-125	-	Finnparttia Oy	-
1.3	Sekoitinmoottori	-	ABB	-	Alkup.
1.3.1	Sekoitinlavat	-	-	-	Alkup.
1.4	Termostaatti	TC1-1-120	Thermon	Pistesarjat Oy	-
1.4.1	Lämmityskaapeli	Loval DC3	Loval Oy	-	Alkup.
1.5	Lämpötilanäyttö	LTS12PTE	Ako	Wexon	-
1.5.1	Lämpötila-anturi	PT100-anturi	-	Kybler Suomi	Alkup.
1.6.1-2	Palloventtiili	1 1/2"	-	Onninen Oy	Alkup.
1.6.3	Palloventtiili	1"	-	Onninen Oy	Alkup.
1.6.4	Levyventtiili	EK	Orbinox	KSB Finland Oy	Alkup.
1.7	Eriste	Paloverkkomatto	Paroc	K-maatalous	Alucoat 60mm

Kaasulaitteisto					
N:o	Tyyppi	Tuotenimi	Valmistaja	Toimittaja	Muu tieto
2	Kaasumäärämittari	GA-TH70A	Azbil Kimmon Co., Ltd.	Sintrol Oy	Malli NDS-N1
2.1	Palloventtiili	1/2"	-	Onninen Oy	Alkup.
2.2	Kolmitieventtiili	-	Kartell	-	-
3	Kaasuanalysointilaite	GA3000 Plus	Geotech	-	-
3.1-3	Takaiskuventtiili	-	Kartell	-	-
4	Kaasuhälytin	S/200-P	AMS GmbH	-	-

Murskaimen ja letkupumpun laitteisto					
N:o	Tyyppi	Tuotenimi	Valmistaja	Toimittaja	Muu tieto
5	Murskain	TASKMASTER	Franklin Miller	FlowExperts Oy	Malli TM8512
5.1	Moottori	-	ABB	FlowExperts Oy	-
5.2	Suppilo	-	Norsa Oy	Norsa Oy	-
5.3	Pöytä	-	Norsa Oy	Norsa Oy	-
5.4	Turvakytkin	Turva 16	Sontheimer	Finnparttia Oy	-
5.5	Kojekotelo	-	-	-	Alkup.
5.5.1	Kontaktori	GE KON 4 SU	GE	Finnparttia Oy	-
5.6	"Hätä-seis" -painike	Hätäpysäytys	-	Biltema	-
5.7	Suunnanvaihtokytkin	Suunta 20	Sontheimer	Finnparttia Oy	-
5.8	Kojekotelo	SMS KOT	GE	Finnparttia Oy	-
5.8.1	Moottorinsuojakytkin	SMS 6,3	GE	Finnparttia Oy	-
6	Letkupumppu	SP 25	Bredel	Christian Berner Oy	Alkup.
6.1	Käyttökytkin	Turva 16	Sontheimer	Finnparttia Oy	-

Ohjeet bioreaktorin päivittäiseen syöttöön

Ennen syöttöä

- Tarkista lukema kaasumäärämittarilta
 - o Kirjoita tulos vihkoon mahdollisimman tarkasti
 - ➔ Mittari näyttää lukeman 0,2 tarkkuudella
- Tarkista reaktorin lämpötila reaktorin päällä olevasta näytöstä
 - o Kirjaa lukema vihkoon
- Sekoita reaktoria manuaalisesti
 - o Reaktorin kyljessä oleva sekoitinmoottorin ohjauskotelo
 - ➔ Ajastin (vasemman puoleisin laite kotelossa)
 - ➔ Paina "V" (alas) – painiketta ja annan sekoittimen toimia n. minuutin
 - ➔ Sekoituksen lopettamiseksi, paina uudelleen "V" – painiketta

Poisteenotto

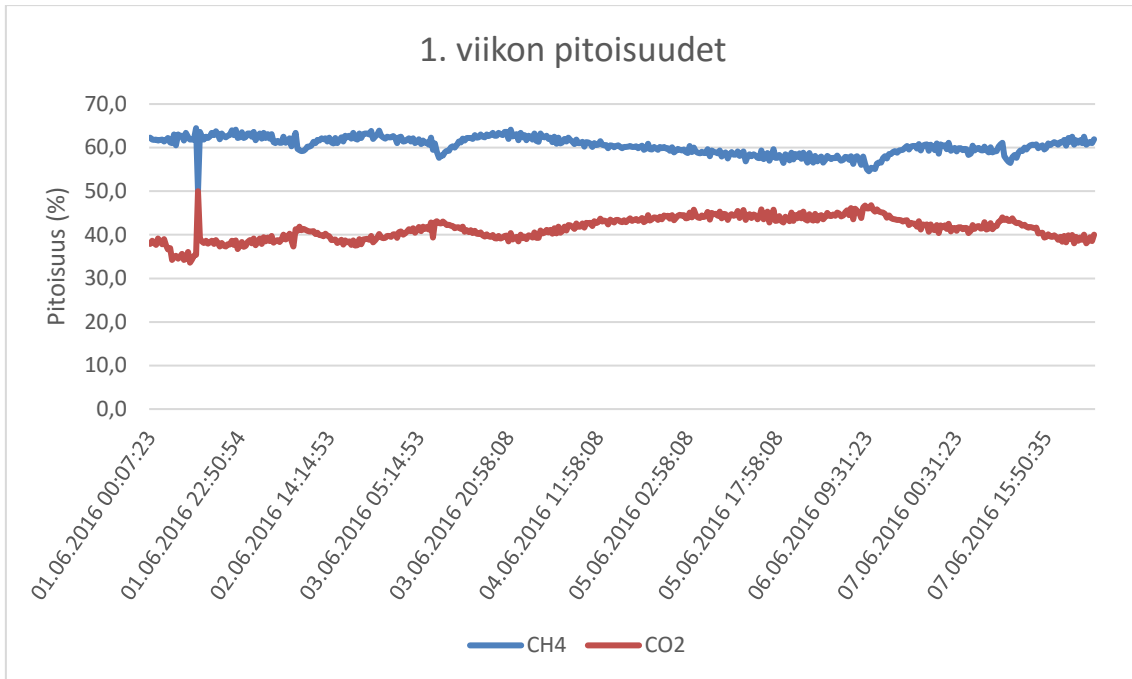
- Sulje reaktorin päällä oleva venttiili mittauslaitteille (päällimmäinen venttiili)
- Avaa venttiili korvausilmaa varten
- Aseta poisteenottoon tarkoitettu astia reaktorin pohjaventtiilin alle
 - o Avaa pohjaventtiiliä varovasti
 - o Ota poistetta astiaan noin _____ verran ja sulje venttiili
 - o Tarpeen vaatiessa kaada osa poisteesta sille tarkoitettuun näyteastiaan ja kaada loppuosa poisteesta poistekonttiin

Syöttö

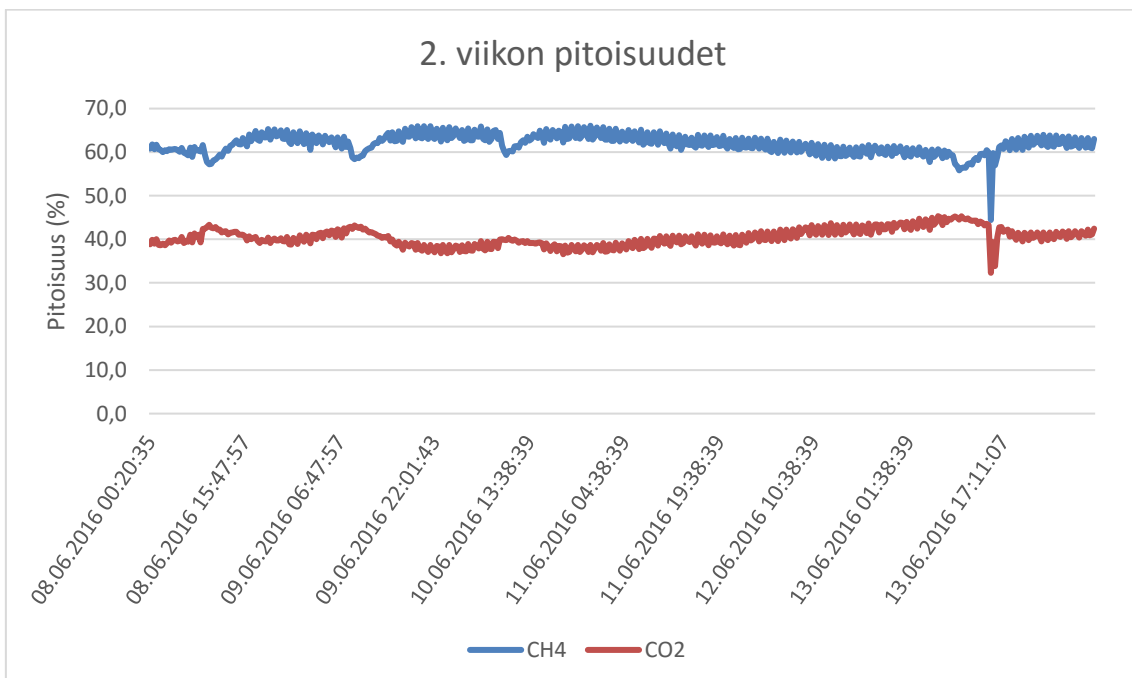
- Sekoita syötettä hieman ennen reaktoriin syöttämistä
- Avaa reaktorin päällä oleva veivattava-venttiili
- Kaada _____ syötettä reaktoriin ja sulje venttiili
- Sulje korvausilmaventtiili ja avaa päällimmäinen venttiili mittalaitteille
- Kaada mahdollinen ylimääräinen syöte takaisin syöteastiaan

Reaktorin syötemäärä ja lämpötila ennen syöttöä

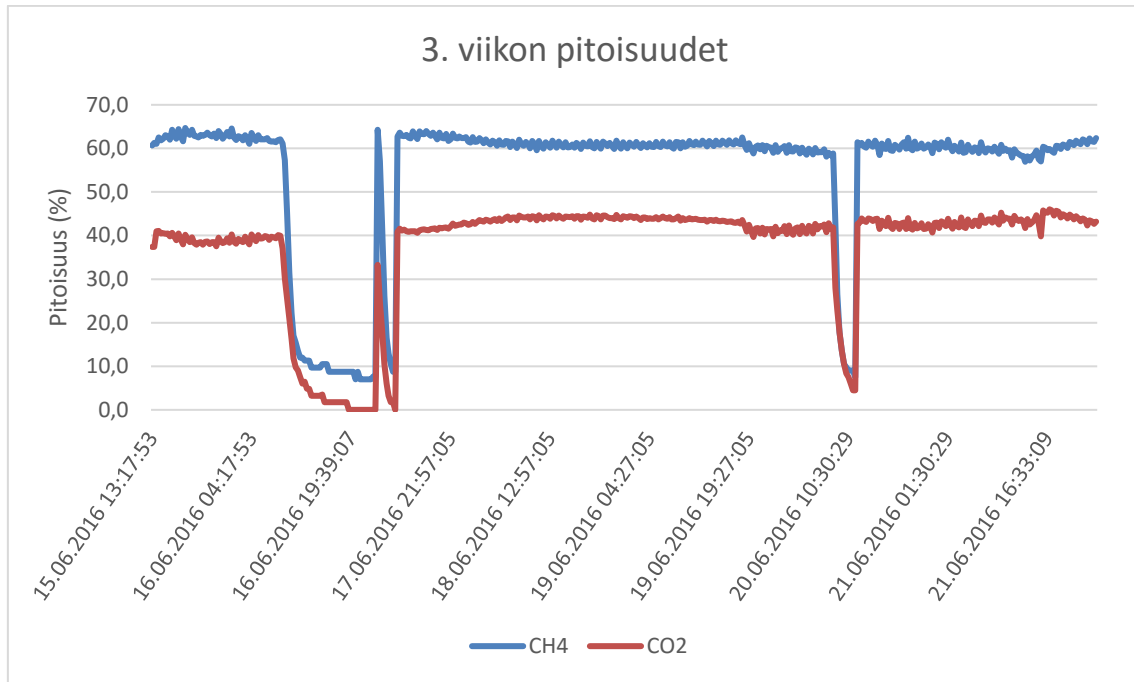
Pvm.	Syötemäärä (kg)	kgTS	kgVS	T (°C)
1.6.2016	2,18	0,189	0,183	36,1
2.6.2016	2,28	0,198	0,191	36,3
3.6.2016	2,38	0,207	0,200	37,1
4.6.2016	-	-	-	-
5.6.2016	-	-	-	-
6.6.2016	2,63	0,228	0,221	37,4
7.6.2016	2,73	0,237	0,229	37,5
8.6.2016	2,82	0,245	0,237	37,4
9.6.2016	4	0,347	0,336	37,7
10.6.2016	5	0,434	0,420	36,5
11.6.2016	-	-	-	-
12.6.2016	-	-	-	-
13.6.2016	5	0,43	0,42	36,4
14.6.2016	5	0,43	0,42	36
15.6.2016	5	0,43	0,42	35,9
16.6.2016	5	0,43	0,42	35,7
17.6.2016	5	0,43	0,42	35,7
18.6.2016	-	-	-	-
19.6.2016	-	-	-	-
20.6.2016	5	0,43	0,42	37,8
21.6.2016	5	0,43	0,42	37,5
22.6.2016	5	0,43	0,42	37,7
23.6.2016	5	0,43	0,42	37,7
24.6.2016	-	-	-	-
25.6.2016	-	-	-	-
26.6.2016	-	-	-	-
27.6.2016	5	0,43	0,42	37,6
28.6.2016	5	0,43	0,42	37,5
29.6.2016	5	0,43	0,42	37,4
30.6.2016	5	0,43	0,42	37,3

Biokaasun viikkokohtaiset pitoisuuskäyrät*Koeajo-jakson viikoittaiset metaanin ja hiilidioksidin pitoisuuskäyrät*

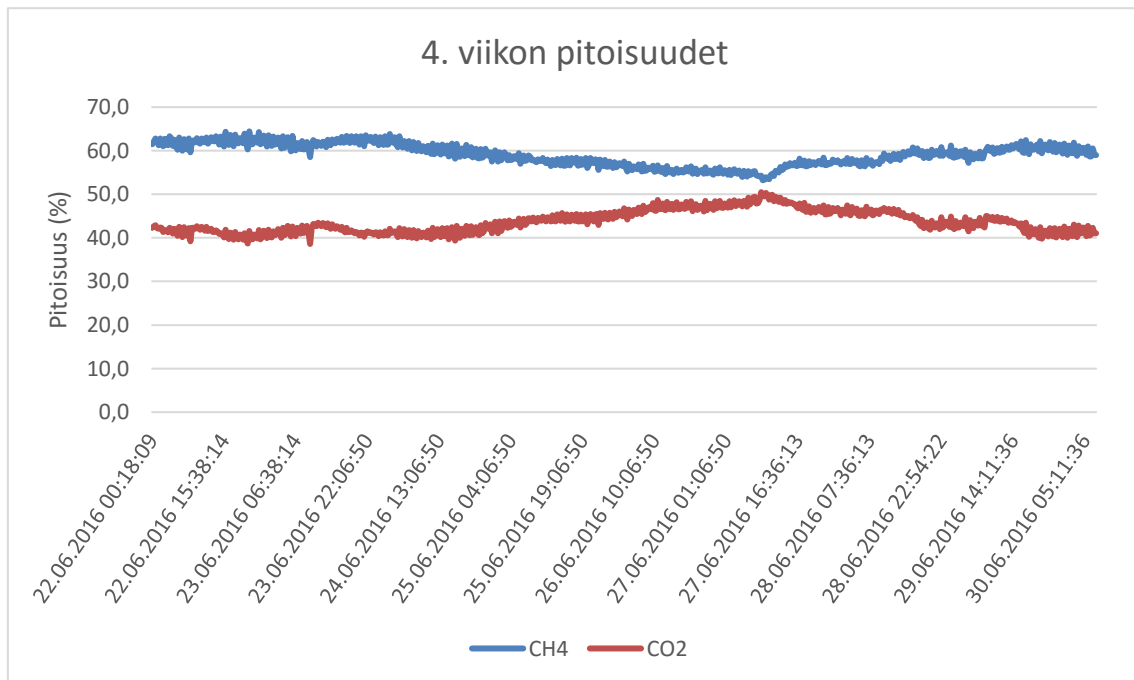
Koeajo-jakson ensimmäisen viikon kaasukoostumus metaanin ja hiilidioksidin osalta. Keskiarvot viikolta: CH₄ 60,4 %, CO₂ 41,4 %.



Toisen koejakso-viikon kaasukäyrät. Keskiarvot viikolta: CH₄ 61,8 %, CO₂ 40,5 %.

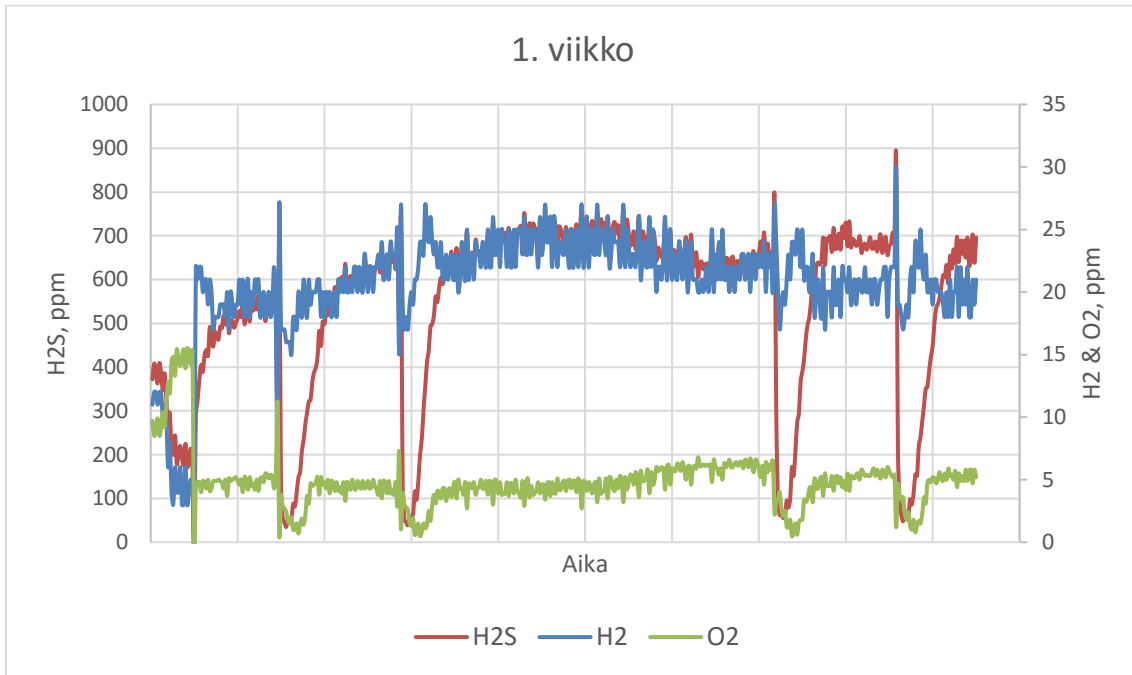


Kolmannen viikon biokaasukoostumus. Matalat arvot päivän 16 kohdalla eivät johtuneet kaasun muodostumisen loppumisesta vaan kaasun kulun estymisestä mittalaitteille. Keskiarvot viikolta: CH₄ 54,5 %, CO₂ 37,3 %.

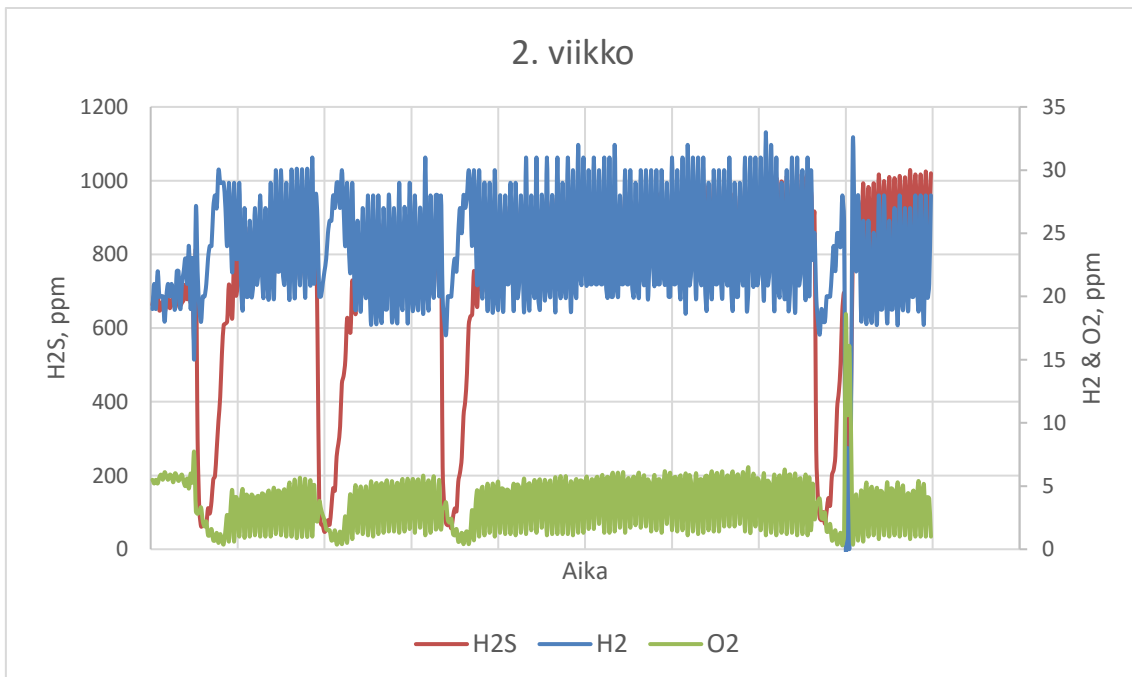


Koeajo-jakson 4. viikon kaasukäyrät. Keskiarvot viikolta: CH₄ 59,0 %, CO₂ 43,7 %.

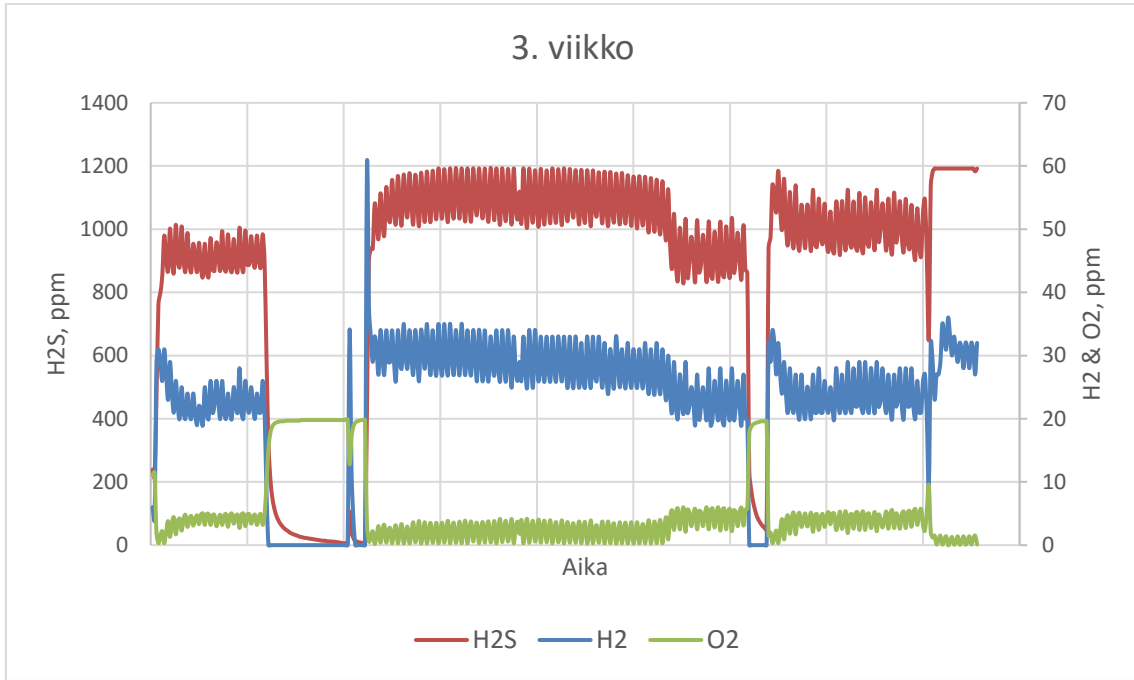
Koeajo-jakson viikoittaiset vedyn ja hiilivedyn pitoisuuskäyrät



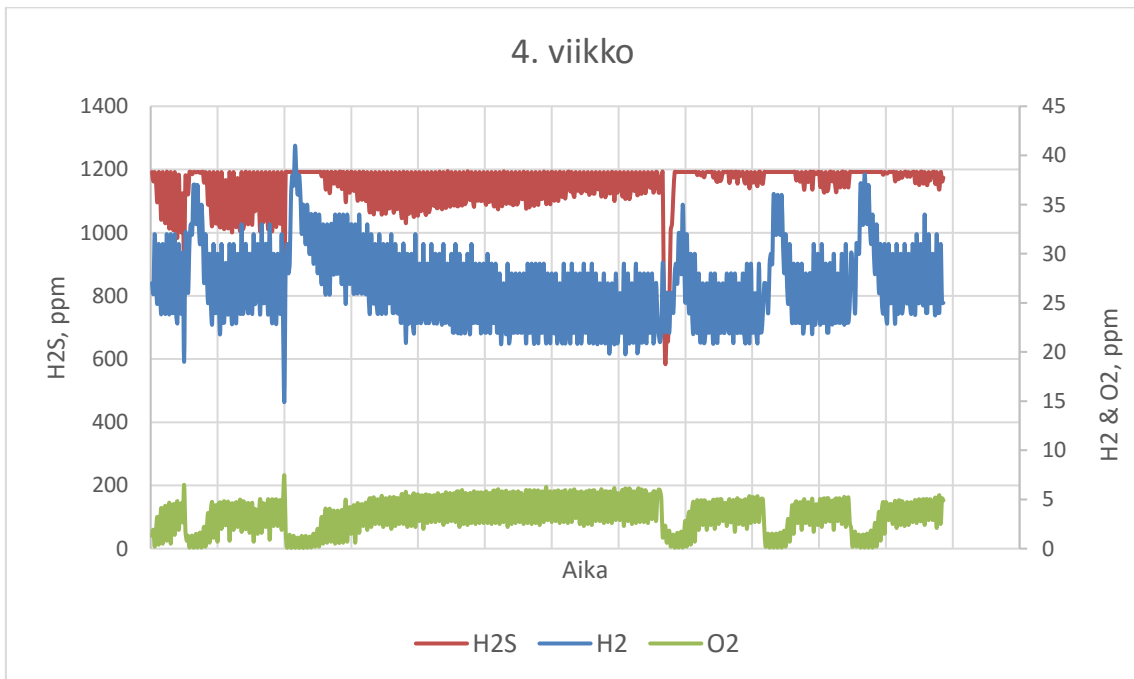
Keskiarvot koeajo-jakson 1. viikolta: H₂S 544,9 %, H₂ 20,7 %, O₂ 4,8 %.



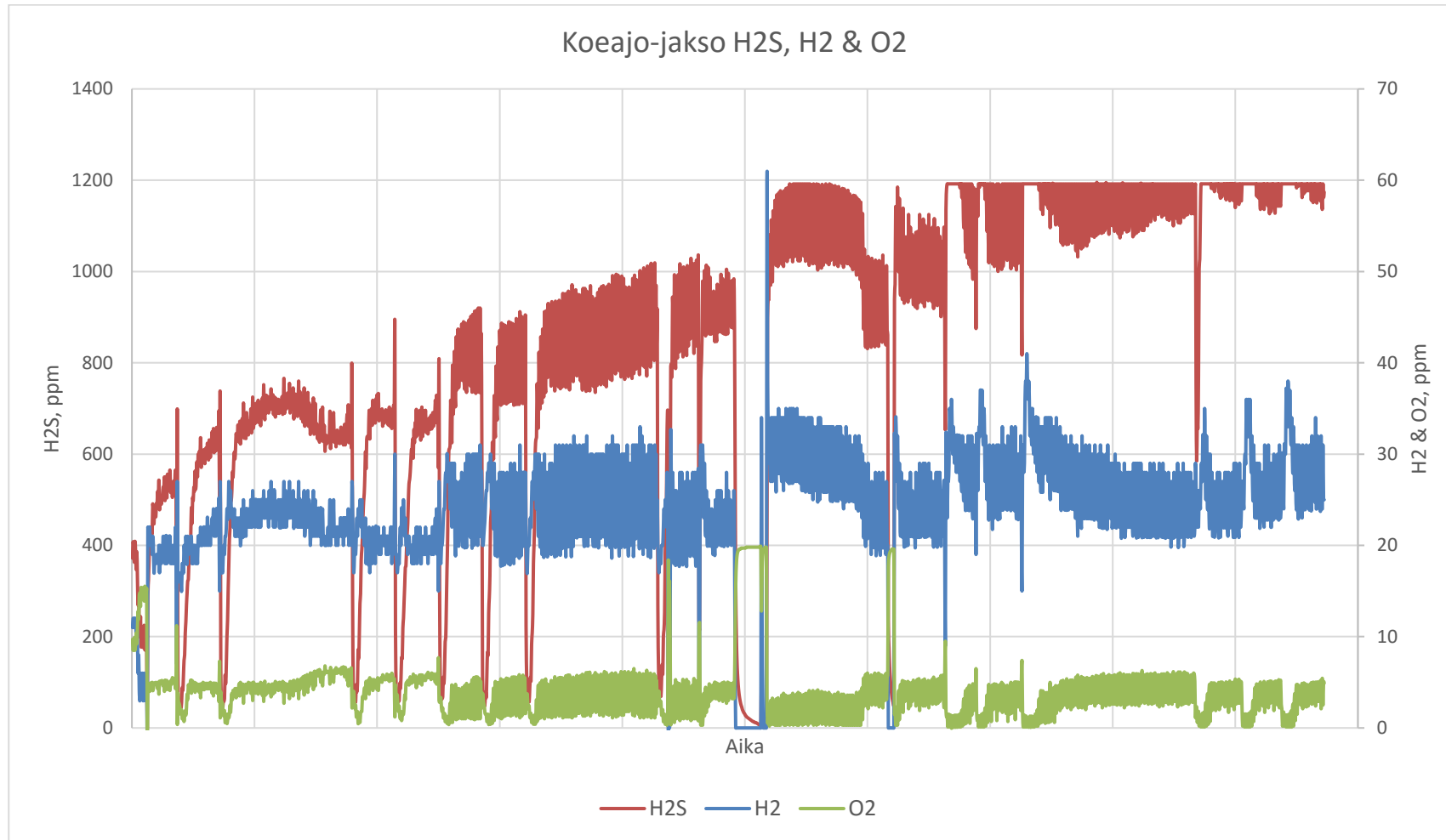
Keskiarvot 2. viikolta: H₂S 727,8 %, H₂ 23,4 %, O₂ 3,6 %.



Keskiarvot 3. viikolta: H₂S 882 %, H₂ 22,7 %, O₂ 5,3 %.



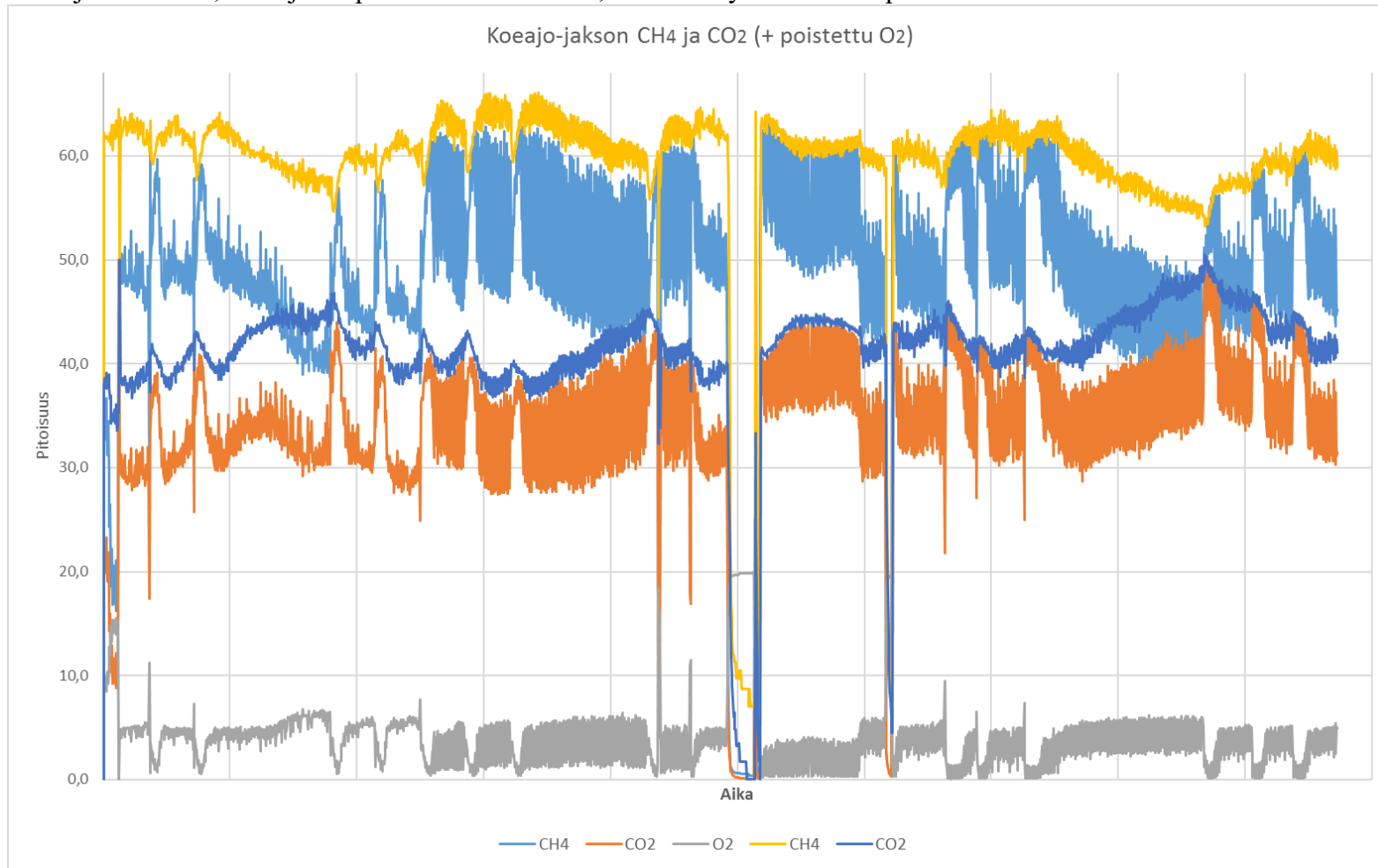
Keskiarvot koeajo-jakson viikolta 4: H₂S 1145,7 %, H₂ 26,5 %, O₂ 3,5 %.



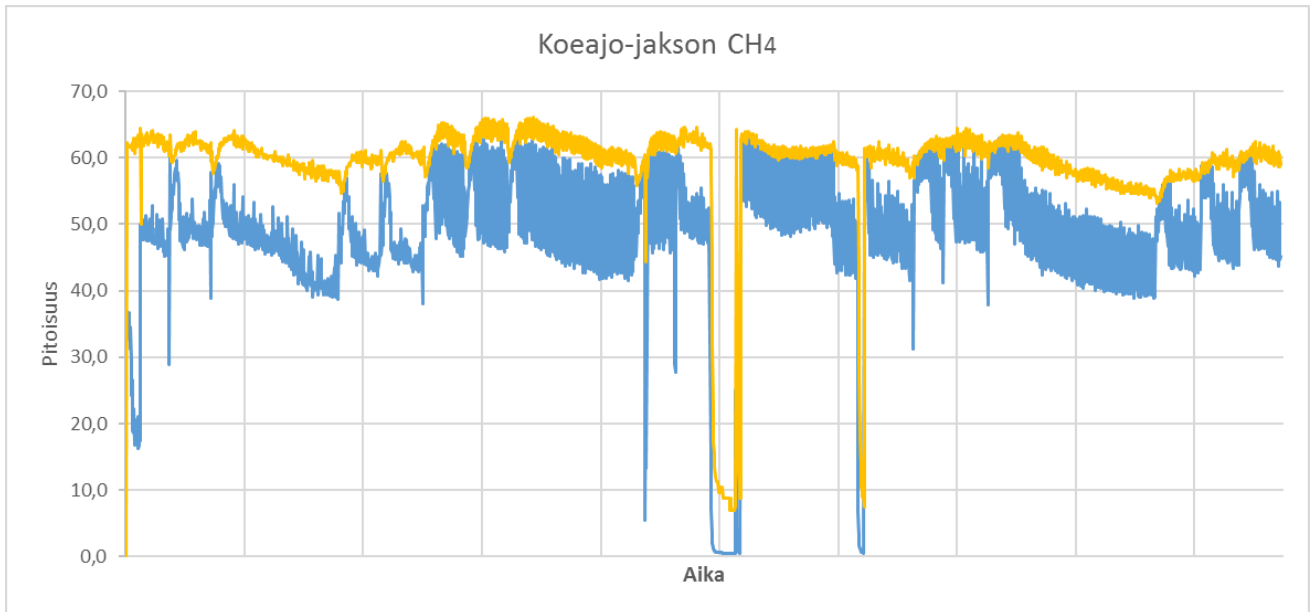
Koko koeajojakson pitoisuuskäyrät vedyn, hiilivedyn ja hapen osalta.

Koeajojakson pitoisuuskäyrät

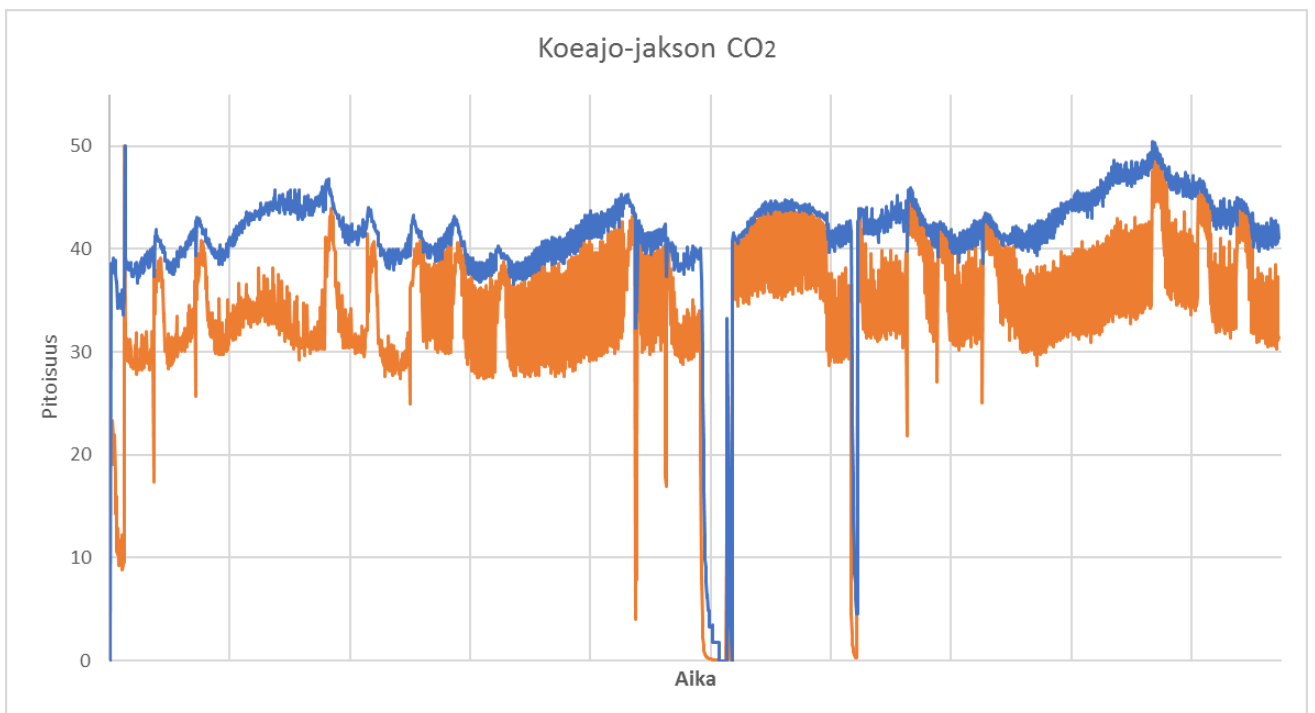
Koko jakson CH₄-, CO₂- ja O₂-pitoisuus biokaasussa, mukana myös muokatut pitoisuusarvot ihanteellisissa olosuhteissa ilman hapen läsnäoloa kaasussa.



Metaani- ja hiilidioksidipitoisuudet jakson aikana sekä poislasketun hapen kaasukäyrät.



Keltainen käyrä edustaa metaanipitoisuutta biokaasussa ilman hapen ja huoneilman läsnäoloa, sininen käyrä edustaa analysaattorilta saattua pitoisuusdataa.

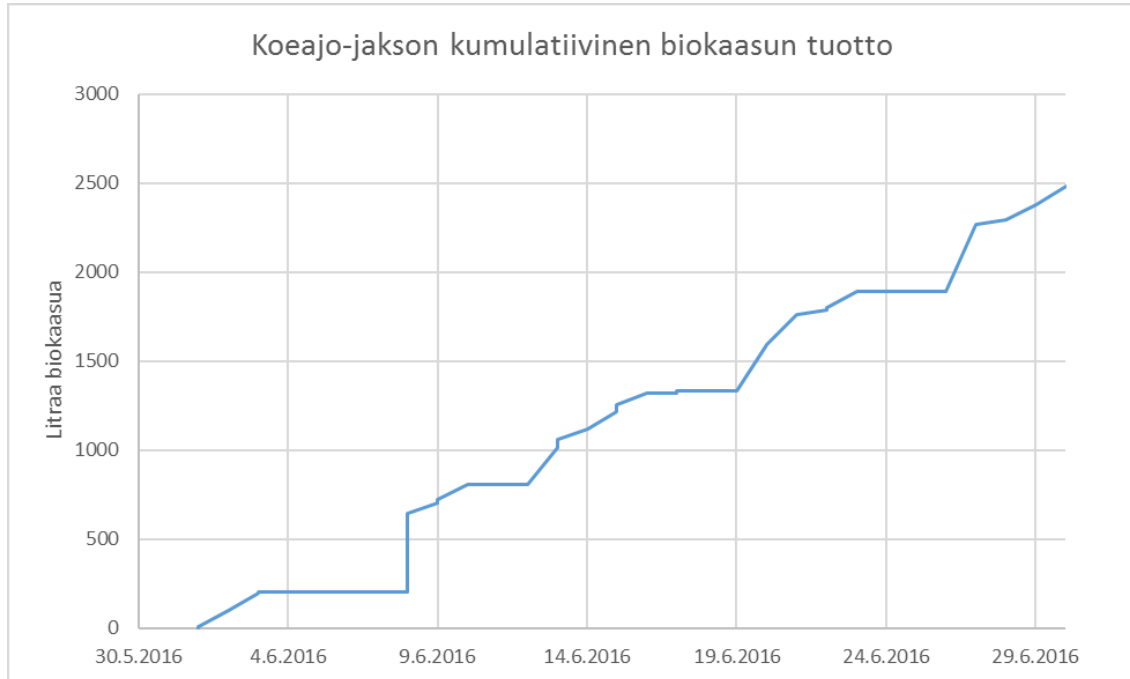


Sininen käyrä edustaa hiilidioksidin osuutta biokaasussa ilman hapen ja huoneilman läsnäoloa, oranssi käyrä edustaa analysaattorilta saattua mittausdataa.

Datakäyriä tarkastellessa voidaan huomata varsin hyvin metaanin ja hiilidioksidin suhdetasapaino kaasussa. Verrattuna mitattua ja laskettua dataa huomataan, että ”puhtainta” biokaasua saadaan vähän ennen koeajo-jakson puolta väliä, jolloin mitatun hapen määrä on minimissään.

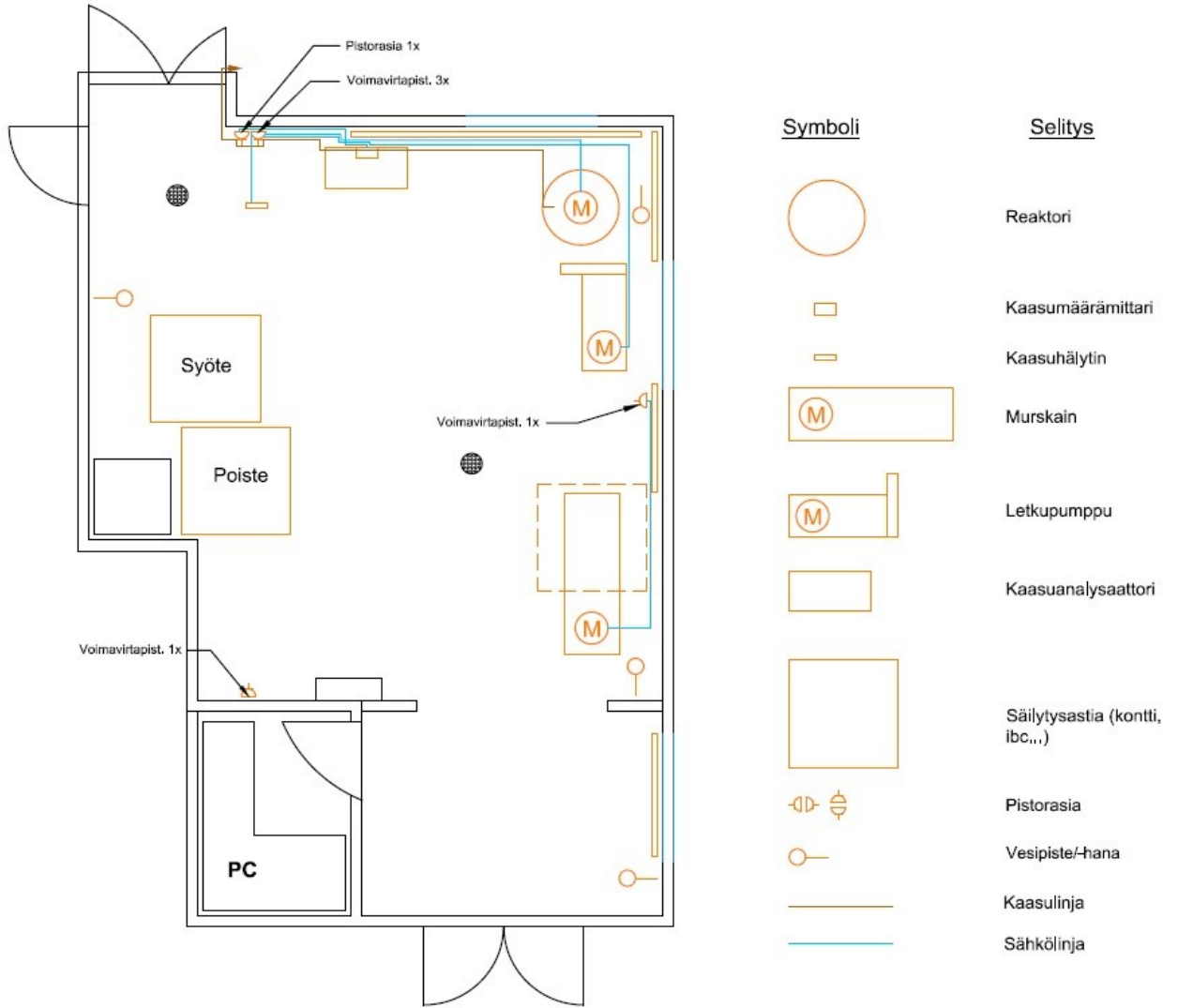
Biokaasun tuotto

Koeajojaksolla kaasumäärämittaria luettiin manuaalisesti lähinnä päivittäisen syötön aikana, viikonloppuisin syöttöä ei tehty kuten ei myöskään tulosten lukua. Alla oleva kumulatiivinen tuottokäyrä on muodostettu em. datan avulla.



Maituhuone ja kaasujärjestelmä

Maituhuoneen pohjapiirros. Bioreaktorin ja muiden laitteiden sijainti maituhuoneessa koeajo-jakson aikana. Pohjapiirros on suuntaa-antava, ei mittakaavassa.



Kaasujärjestelmä kesäkuun koeajo-jakson aikana (tummalla). Järjestelmään tehdyt muokkaukset koeajo-jakson jälkeen on merkitty vihreällä värillä, lukuun ottamatta lämpötila mittausta (TIQ). Järjestelmää muokattiin niin, että lämpötila-anturin (TE) ja kaasumäärämittarin (FIQ) data saatiin siirrettyä tietokoneelle. Koeajo-jakson aikana lämpötila-arvo luettiin lämpötila-näytöstä. Seurantaohjelmisto ja etäkäyttö sovellus mahdollistivat bioreaktorin tilan tarkkailun Visamäen toimipisteeltä. Lisäksi, kaasumäärämittarin ja kolmitieventtiilin välistä poistettiin koeajo-jakson aikana paikallaan ollut takaiskuventtiili.

