

C11

Kari Laasasenaho

Biokaasureaktorin rakentaminen opetuskäyttöön

Esimerkki tekemällä oppimisen
hyödyntämisestä kiertotalouden opetuksessa

A home-scale biogas reactor for circular economy education

A handbook for low-tech biogas
technology applications

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
C. Oppimateriaaleja 11

Kari Laasasenaho

BIOKAASUREAKTORIN RAKENTAMINEN OPETUSKÄYTTÖÖN

Esimerkki tekemällä oppimisen
hyödyntämisestä kiertotalouden opetuksessa

A HOME-SCALE BIOGAS REACTOR FOR CIRCULAR ECONOMY EDUCATION

A handbook for low-tech biogas
technology applications

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoki 2018

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

A

Tutkimuksia
Research reports

B

Raportteja ja selvityksiä
Reports

C

Oppimateriaaleja
Teaching materials

SeAMK julkaisut:

Seinäjoen ammattikorkeakoulun kirjasto
Kalevankatu 35
60100 Seinäjoki
p. 020 124 5040
kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-7109-89-2 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5581 (verkkojulkaisu)

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SISÄLTÖ

Alkusanat	6
Preface	8
Johdanto biokaasun ominaisuuksiin	10
Biokaasuntuotannon kemiallinen tausta	13
Biokaasureaktorin syötteet ja niiden ominaisuudet	14
Biokaasureaktorin käyttäminen ja yleiset parametrit	17
Pienen mittakaavan reaktorityypit sekä toiminta ja hoito	19
Biokaasun ja mädätejäännöksen kotikäyttö	24
Lopuksi	27
Lähteet	28
Luentomateriaali/lecture slides.....	29
Työohjeet	30
Construction instructions.....	37
Paloturvallisuusohjeet.....	44

ALKUSANAT

Tämän kirjan tarkoitus on antaa yleiskuva biokaasuntuotannosta sekä sen soveltamisesta pienessä mittakaavassa opetuskäyttöön. Biokaasu on uusiutuvan energian lähde, joka tukee monin tavoin kestävästä kehitystä ja kiertotaloutta. Biokaasu on anaerobisen hajoamisen tuote, jota voidaan käyttää polttoaineena. Biokaasu voidaan tuottaa monista orgaanisista biomassoista, kuten lannasta tai biojätteistä, ja siksi sillä on suuri potentiaali korvata fossiilisia polttoaineita erityisesti kehittyvissä maissa. Jokainen meistä tuottaa jätteitä ja niistä ei yleensä tarvitse maksaa. Erilaisia orgaanisia jättejakeita syntyy suhteellisen tasaisesti, mikä mahdollistaa tasaisen energian saannon. Myös mädätejäännös voidaan hyödyntää kierrätyslannoitteena. Pienen mittakaavan biokaasuntuotanto on energia- ja ympäristötehokasta trooppisissa maissa, kuten Afrikassa, eteläisessä Aasiassa tai Väli- ja Etelä-Amerikassa, jossa se tukee lannoite- ja energiaomavaraisuutta sekä tehostaa jätehuoltoa. Biokaasu palaa puhtaasti, millä on vaikutuksia myös sisäilman terveyteen esimerkiksi korvattaessa polttopuita.

Biokaasuntuotanto on biologinen prosessi. Lämpö on biokaasuntuotannossa tärkeä tekijä, koska mikrobit tarvitsevat toimiakseen suotuisat olosuhteet. Prosessi ei kompostoinnista poiketen itsessään tuota lämpöä. Suomessa on liian kylmä ilmasto, jotta reaktori voisi toimia ilman lisälämmitystä. Suomessa tämän teoksen ohjeita voidaan kuitenkin hyödyntää harrastemielessä sekä osana koulutusta. Tämä kirja onkin tehty oppimateriaaliksi kaikille, jotka ovat kiinnostuneet pienen mittakaavan biokaasuntuotannosta. Oppimateriaalia voi käyttää erityisesti ammatti- ja korkeakouluasteella opetuksen tukena. Kirja on syntynyt pääasiassa kirjoittajan oman ympäristötekniillisen koulutuksen ja kokemusten tuloksena. Myös erilaisia taustalähteitä on hyödynnetty paljon.

Aiheeseen liittyviä oppaita on tehty aiemminkin (esim. englanniksi Lam & ter Heedge 2011), mutta suomenkielinen opetusmateriaali aiheesta on puuttunut. Tämä kirja syntyi alun perin tarpeesta tehdä opetusmateriaalia Seinäjoen koulutus kuntayhtymä Sedulle. Sedu järjesti ghanalaisille koulutusasiakkaille bioenergiaan liittyvän opintojakson Ilmajoen maatalousoppilaitoksella vuonna 2018. Opintojakson aikana järjestettiin myös intensiivinen biokaasukurssi, jonka materiaaleista syntyi tämä kirja. Tässä teoksessa käydäänkin läpi biokaasuntuotannon perusteet lyhyesti läpi ja tarjotaan ohjeita biokaasureaktorin rakentamiseen. Tarkoituksena on antaa lyhyesti tietoa tärkeimmistä biokaasuun liittyvistä seikoista, joten varsinainen tutkimuksellinen teoria käsitelläänkin muissa teoksissa. Kirja viimeisteltiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun (SeAMK) Kiertotalousosaamista

ammattikorkeakouluihin-hankkeessa (OKM), missä oli tarkoitus kerätä kiertotalousopetukseen liittyviä hyviä opetusmenetelmiä. Teksti on suomeksi, mutta ohjeistus rakennusvaiheista sekä liitteenä olevan linkin takana löytyvä power point-esitysmateriaali englanniksi. Englanninkieliset dokumentit palvelevat koulutusvientiä, kansainvälisiä lukijoita ja vaihto-opiskelijoita. Materiaalien käyttö opetuksessa on vapaata tekijänoikeudet huomioiden.

Haluan kiittää kaikkia Sedun biokaasukurssille osallistuneita sekä kurssin järjestylihin osallistuneita, Jyrki Ilvestä, Anja Uhlgrenia, Virpi Norjaa sekä Jaana Petäistä. Erityiskiitos vielä Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitoksen tarkastajalle, Santtu Lahmalle joka ohjeisti turvallisen opetusympäristön rakentamisessa. Kiitos SeAMKin erityisasiantuntija, bioenergia-alan dosentti, Risto Lauhaselle, kannustuksesta tehdä tämä kirja.

Lopuksi varoituksen sana: Biokaasu on palava kaasu, jota pitää käsitellä varoen. Kirjan tekijänä en ota vastuuta mahdollisista tapaturmista ja/tai sairastumisista, joita voi syntyä rakennusvaiheessa tai kaasun ja mädätejäännöksen käsittelyn yhteydessä. Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitoksen paloturvallisuusohje on liitetty osaksi tätä teosta, mistä näkyy rakentamiseen liittyviä turvallisuusriskejä. Pienen mittakaavan reaktorit eivät tällä hetkellä vaadi viranomaislupaa Suomessa, mutta rakentamisesta on hyvä ilmoittaa aina oman kunnan pelastusviranomaisille.

*Pandojen naapurissa Ähtärin Tuomarniemellä 1.8.2018,
Kari Laasasenaho*

PREFACE

The purpose of this book is to give an overview of biogas production and its application on a small scale for education. Biogas is a product of anaerobic degradation that can be used as a fuel. Biogas is a source of renewable energy that supports many ways of sustainable development and circular economy. Biogas can be produced from many organic biomasses, such as manure or biowaste, and therefore it has great potential to replace fossil fuels, especially in developing countries. Everyone produces waste and normally you don't have to pay for it, unlike fossil fuels and firewood. Usually, organic waste are produced evenly, which also allows for a steady energy yield and the digestate can be utilized as a fertilizer. Small-scale biogas production is energy and eco-efficient in tropical countries such as Africa, South Asia or Central and South America, where it supports fertilizer and energy self-sufficiency and improves waste management. Biogas burns cleanly, which also has an impact on indoor air health.

Biogas production is a biological process and heat is an important factor in biogas production because the process requires heat and it does not produce heat itself. In Finland, the climate is too cold for the reactor to operate without extra heating. In Finland, however, these guidelines can be used in recreational activities and as part of education. This book has been made as a learning material for anyone interested in small-scale biogas production. Learning materials can also be used in vocational or higher education to support teaching. The book was born mainly as a result of the author's own academic environmental education and experience. Various background sources have also been referred.

Related guide books have been made in English earlier (eg. Lam & ter Heedge 2011) but the Finnish language teaching material has been missing. This book originated from the need to make teaching materials for Seinäjoki Joint Municipal Authority for Education, Sedu. Sedu organized an intensive biogas course in 2018 for the Ghanaian educational customers. The biogas course was part of bioenergy study mode held for the Ghanaian. The book was finished in the project called "Circular economy Excellence for Finnish University of Applied Sciences" (Seinäjoki University of Applied Sciences, funded by Ministry of Education and Culture). This book will briefly review the basics of biogas production and provide guidelines for the construction of a biogas reactor. The text is in Finnish, but the supplementary power point presentation material and instructions for the construction phase are in English. English-language documents serve especially international readers and exchange students. The materials can be used freely in education when the author is mentioned.

I would like to thank all those who participated in the Sedu biogas course, Jyrki Ilves, Anja Uhlgren, Virpi Norja and Jaana Petäinen. Special thanks to the inspector of the South Ostrobothnia rescue department, Santtu Lahma, who instructed the building of a safe teaching environment. Thanks to the Seinäjoki University of Applied Sciences (SeAMK) research and development manager, adjunct professor of bioenergy, Risto Lauhanen, for encouraging to make this book.

Finally, the word of warning: Biogas is a flammable gas that needs to be treated with caution. As a bookmaker, I will not take any responsibility for any accidents that may arise during gas or digestate handling. The safety instructions of the South Ostrobothnia rescue department have been attached into this book, which shows the security risks associated with the construction. Small scale reactors currently do not require a government permit (at least in Finland), but it is good to always report the construction to the local rescue authorities.

Author: Kari Laasasenaho

Kirjoittaja/Author

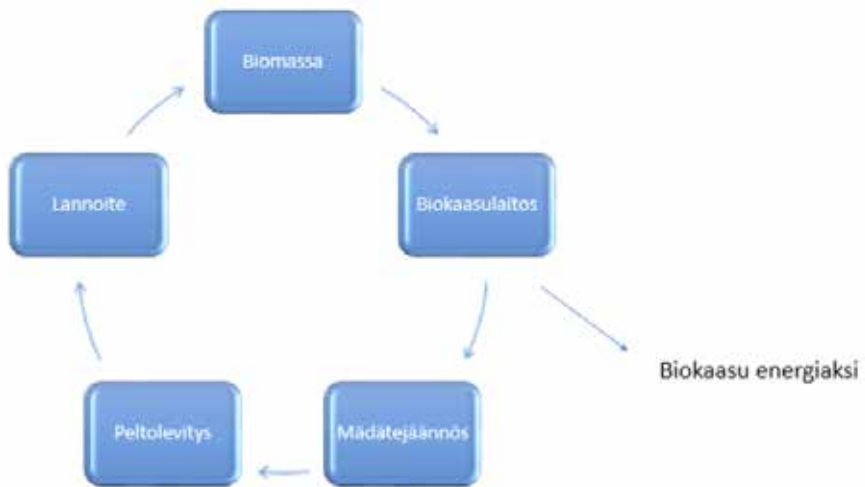
Kari Laasasenaho

*Asiantuntija, TKI, FM, tutkijakoulutettava (TTY), pätevä biologian ja maantieteen aineenopettaja / MSc., PhD student, qualified biology and earth science teacher
Seinäjoen ammattikorkeakoulu / Seinäjoki University of Applied Sciences*

JOHDANTO BIOKAASUN OMINAISUUKSIIN

Biokaasua eli hapettomissa oloissa hajoamistuotteena syntyvää kaasu voidaan tuottaa lähes mistä tahansa orgaaniseksi materiaaliksi luokiteltavasta aineesta. Biokaasua on hyödynnetty suuressa mittakaavassa lähes 200 vuotta ja varsinkin Euroopassa on paljon teollisen mittakaavan biokaasulaitoksia. Biokaasuntuotanto on yksi tärkeimmistä tavoista käsitellä orgaanisia jätteitä ja tukea orgaanisten kierrätyslannoitteiden käyttöä. Biokaasulla voidaan tuottaa kestävää uusiutuvaa energiaa, jolla on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen vastaisessa kamppailussa. Vaikka biokaasua tuotetaan paljon teollisessa mittakaavassa Euroopassa, on yksinkertaisilla laitoksilla tärkeä rooli. Varsinkin Aasiassa on miljoonia pienen kokoluokan biokaasulaitoksia. Alun perin biokaasua onkin tuotettu yksinkertaisella tekniikalla lämpimän ilmaston maissa, joissa reaktorin tarvitsema ulkopuolinen n. 20-30 °C lämpö voidaan turvata. Kotiluokan laitokset ovat karkeasti kannattavia alueilla, joissa kylmimmänkään kuukauden keskilämpötila ei laske alle 15° C:seen. Karkeasti tämä tarkoittaa kravun ja kauriin kääntopiirien välistä aluetta. Tällainen hyötykäyttö ei siis ole mahdollista sellaisenaan Suomessa.

Biokaasulla voidaan tuottaa koteihin mm. keitinkaasua, ylläpitää kaasukäyttöisiä valoja sekä parantaa lannoitekiertoa (kaavio 1). Alhaisen ja yksinkertaisen tekniikan käyttö alentaa kustannuksia ja mahdollistaa useiden sovellettujen materiaalien ja ratkaisujen käytön. Yksinkertaisen tekniikan hyödyntämisessä on se hyvä puoli, että se tarjoaa oivan mahdollisuuden tutustua siihen "learning by doing" – eli tekemällä oppimisen kautta. Tämä oppimateriaali on lähtenyt siitä olettamuksesta, että myös biokaasuntuotannon voi oppia tehokkaasti pitämällä "kädet tiukasti savessa". Yksinkertaisen tekniikan hyödyntäminen on mahdollista Euroopassa pääsääntöisesti vain kesäaikaan, joten sillä on sovellus mahdollisuuksia lähinnä laboratoriomittakaavan oppimisympäristöissä.



Kuvio 1. Materiaalikierto biokaasuntuotannossa.

Biokaasu on usein yhdisteen muodostama kaasu, joka syntyy anaerobisen hajoamisen yhteydessä. Yleisesti ottaen metaani on biokaasun näkökulmasta tärkein aine, sillä juuri se palaa poltettaessa ja tuottaa energiaa. Metaania on biokaasussa yleensä n. 50-70 %. Toinen pääasiallinen yhdiste on hiilidioksidi, jota on vastaavasti metaanipitoisuudesta riippuen n. 30-40 %. Teollisessa mittakaavassa biokaasu yleensä puhdistetaan, jolloin metaanipitoisuutta voidaan nostaa. Pienen mittakaavan reaktoreissa tätä ei yleensä tehdä. Puhdistamatonkin biokaasu palaa itsessään erittäin hyvin, mutta sen energiasisältö on luonnollisesti alempi verrattuna puhdistettuun kaasuun. Biokaasun lopulliseen koostumukseen vaikuttaa se, mitä materiaalia käytetään syötteenä ja kuinka mikrobit toimivat reaktorissa. Esimerkiksi paljon rikkiyhdisteitä sisältävät syötteet nostavat biokaasun rikkivetytitoisuutta. Rikkivety tuottaa palaessaan ja veden kanssa reagoidessaan rikkihappoa, mikä aiheuttaa polttolaitteiston korroosiota. Tästä syystä vähän rikkiä sisältävien yhdisteiden käyttöä tulisi suosia. Taulukossa 1 on lueteltu biokaasun sisältämiä pääyhdisteitä.

Taulukko 1. Biokaasun sisältämiä yhdisteitä ja niiden osuuksia kaasussa (Lam & ter Heegde 2011).

Yhdiste	symboli	%
Metaani	CH ₄	50-70
Hiilidioksidi	CO ₂	30-40
Vety	H ₂	5-10
Typpi	N ₂	1-2
Vesihöyry	H ₂ O	0.3
Rikkivety	H ₂ S	Pieniä määriä

Biokaasu on väritön kaasu ja ilmaa kevyempää ja kohoaa siten vapautuessaan ylöspäin. Puhdistamaton biokaasu haisee rikkivedyn ansiosta voimakkaasti lietteeltä, mikä on omiaan paljastamaan mahdolliset kaasuvuodot haistamalla. Biokaasun syttymislämpötila on varsin korkea (n. 650-750 ° C), ja siksi kaasun sytyttäminen sähköisellä piezo-sytyttimellä voi olla haasteellista. Parhaimmin kaasu syttyykin perinteisillä tulitikuilla esimerkiksi kaasukeittimessä. Kaasu palaa päivänvalossa värittömästi, mutta hämärässä liekin väri on sininen (kuva 1). Puhtaan metaanin lämpöarvo on n. 10 kWh/m³, mikä vastaa energialtaan n. 1 L bensaa. Koska metaani on biokaasussa n. 60 %, alentaa tämä raakakaasun lämpöarvon n. 6 kWh/m³. Lisäksi kaasun sisältämä vesihöyry vähentää lämpöarvoa jonkin verran, kun osa lämpöenergiasta kuluu veden hyörystymiseen.



Kuva 1. Biokaasu palaa sinisellä liekillä (kuva: Kari Laasasenaho).

BIOKAASUNTUOTANNON KEMIALLINEN TAUSTA

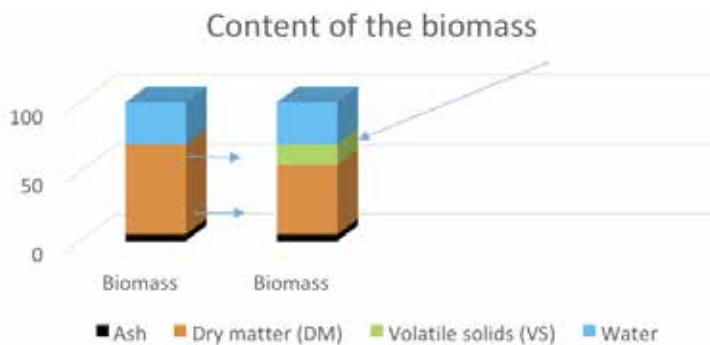
Biokaasu syntyy biologisen prosessin tuloksena. Biokaasua syntyy runsaasti luonnossa ja esimerkiksi eläinten ja ihmisten suolistossa syntyvä kaasu on biokaasua. Biokaasua syntyy erilaisissa hajoamisreaktioissa mm. järvien sedimenteissä ja soilla sekä ympäristöissä, joissa on vähähappiset olosuhteet. Myös kaatopaikalla syntyy biokaasua, ja sitä kutsutaan kaatopaikkakaasuksi. Biokaasua muodostuu, kun orgaaninen materiaali käy läpi neljä hapettomassa ympäristössä tapahtuvaa biokemiallista vaihetta: hydrolyysin, asidogeneesin, asetogeneesin ja metanogeneesin. Hydrolyysissä syötteen sisältämät yhdisteet alkavat pilkkoutua lyhyemmiksi ketjuiksi. Orgaanisen aineen sisältämät hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit muuntuvat hiiliketjuiksi. Hydrolyysi on yleensä varsin nopea vaihe ja kestää tunneista päiviin. Toisessa vaiheessa eli asidogeneesissä nämä väliyhdisteet muuntuvat haihtuviksi rasvahapoiksi ja edelleen asetogeneesissä etikkahapoksi (CH_3COOH), vedyksi (H_2) ja hiilidioksidiksi (CO_2). Viimeisessä vaiheessa edellisen vaiheen tuotteet muuntuvat biokaasuksi, jolloin tuotetusta metaanista n. 70 % on peräisin etikkahaposta ja n. 30 % hiilidioksidista ja vedystä. Metanogeneesistä vastaa *Methanosarcina*- ja *Methanothrix*-sukujen mikrobit. Metanogeneesi on varsin hidas vaihe ja juuri se rajoittaa kaasutuotantotehoa.

Näistä vaiheista on keskeistä ymmärtää se, että prosessi materiaali muuntuu ja pilkkoutuu erilaisiksi kemiallisiksi yhdisteiksi. Prosessin aikana yhdisteet muokautuvat aina seuraavan vaiheen mikrobeille käyttökelpoisempaan muotoon. Erilaiset välivaiheet ovat välttämättömiä metanogeneesistä eli metaania tuottavasta vaiheesta huolehtiville mikrobeille. Jos prosessiin tulee ongelmia, kaasuntuotanto lakkaa. Kaasun tuotannon loppuminen on yleensä näkyvin todiste epävakasta kemiallisesta prosessista. Yksi keskeisistä asioista on esimerkiksi happamuus. Prosessin kannalta on tärkeää, että mädätteen pH:n tulisi olla lähellä neutraalia eli 7. Jos reaktoria syötetään liikaa, voi prosessi mennä ns. hapoille eli prosessissa välituotteina syntyvät rasvahapot laskevat pH:n liian alas. Tällöin prosessista tulee käymisreaktio, kaasun tulo lakkaa ja mädätteen haju muuttuu käymisreaktoriota muistuttavaksi.

BIOKAASUREAKTORIN SYÖTTEET JA NIIDEN OMINAISUUDET

Lähes kaikki orgaaninen materiaali käy biokaasun raaka-aineeksi. Yleisimmät materiaalit ovat mm. jätevedet, lietalannat, erilaiset biojätteet ja energiakasvit. Tästä poikkeuksen muodostaa kuitenkin lignoselluloosa-pitoiset biomassat, kuten puu. Tällaisten lujuusominaisuuksiltaan kestävien raaka-aineiden hajoaminen vie pitkän ajan, eikä niistä siksi ole taloudellisesta tuottaa biokaasua. Puun mikrobihajoamista voidaan kuitenkin edistää erilaisilla esikäsittelymenetelmillä. Toisaalta esimerkiksi lahonnut puu aines, kuten pilaantunut metsähake, voidaan tietyissä oloissa syöttää biokaasuprosessiin.

Orgaaninen materiaali koostuu yleensä vedestä ja kiintoaineesta (eng. TS eli total solids tai DM eli dry matter). Vettä on merkittäviä määriä, jopa yli 70 %, painosta varsinkin tuoreissa materiaaleissa. Kiintoaine koostuu orgaanisesta (eng. VS eli volatile solids) ja epäorgaanisesta materiaalista. Epäorgaaninen aine luokitellaan yleensä tuhkaaksi (eng. ash). Biokaasuprosessissa mikrobit hyödyntävät syötteen orgaanista osaa (kuva 2).



Kuvio 2. Biomassan jakautuminen tuhkaan, kuiva-aineeseen, orgaaniseen osaan ja veteen. Viro nuoli osoittaa orgaanista osaa, josta mikrobit tuottavat biokaasua.

Parhain syöte biokaasuprosessiin on nestepitoiset biojätteet, kuten sokeri- ja rasvapitoiset ruoan- ja juomantähteet. Tällaiset materiaalit sisältävät paljon helposti hajoavaa kemiallista energiaa, mikä näkyy nopeana ja runsaana kaasun-tuotantona. Lisäksi korkea nestepitoisuus vähentää tarvetta sekoittaa materiaalia veden kanssa. Biokaasuprosessissa korkeasta nestepitoisuudesta on hyötyä, sillä pienen mittakaavan reaktorin kuiva-ainepitoisuus tulisi olla lähellä lietalannan

10 % kuiva-ainepitoisuutta. Vesi on mikrobeille elintärkeää, sillä ne liikkuvat nesteessä. Tämä helpottaa myös pienen mittakaavan reaktorin lataamista. Parhaimmillaan biojätteestä saadaan metaania jopa yli 100 litraa tuorekiloa kohti (esim. Laasasenaho 2012).

Hyviä syötemateriaaleja ovat myös lietalannat ja erilaiset lietteet. Ulosteperäisistä syötteistä saadaan metaania yleensä n. 10-60 litraa tuorekiloa kohti (taulukot 2 ja 3). Niistä ei saada tuotettua metaani niin suuria määriä kuin ruoantähteistä, mutta niiden etuna on korkea nestepitoisuus. Toisaalta lietteiden käsittely biokaasuprosessissa on jätteenkäsittelymenetelmä, sillä erilaiset taudinaiheuttajat eli patogeenit vähentyvät prosessin aikana. Lisäksi on kestävämpää ajatella, että energiaa tehdään ulosteperäisistä syötteistä ja kiinnitetään huomiota enemmän esimerkiksi ruokahävikin vähentämiseen.

Biokaasun tuotanto on mahdollista myös energiakasveista. Pienen mittakaavan biokaasureaktoreissa niiden käyttö on kuitenkin taloudellisesti kyseenalaista. Energiakasvien kasvattaminen vaatii tuotantopanoksia, kun taas erilaisten orgaanisten jätteiden, kuten lietteiden ja ruoantähteiden, käyttäminen vaatii yleensä vain vähän työpanosta ja aikaa. Erilaisten kasvosien käyttö on suositeltavaa, jos viljelykasvien tuotannosta jää yli erilaisia sivuvirtoja.

Taulukko 2. Kuivalantojen biokaasusaantoja tuorepainoa kohden (Lam & ter Heegde 2011).

Lanta	Biokaasua L/kg tuorepaino
Naudat	23-40
Siat	40-59
Kanat	65-116
Ihminen	30-50

Taulukko 3. Jäteperäisten materiaalien kuiva-ainepitoisuuksia ja metaanipotentialaaleja eri yksiköissä (Laasasenaho 2012).

Jätejäte	Kuiva-ainepitoisuus (%)	L-CH ₄ /kg- orgaanista ainetta	L-CH ₄ /kg- kuiva-aine	L-CH ₄ /kg- tuoremateriaali
Biojäte	19,7	568	542	107
Naudan lietelanta	10,6	207	178	19
Jäteveden puhdistamon kuivattu liete	15	238	162	25

Yksi oleellinen syöteominaisuus on hiilen ja typen välinen suhde. Mikrobin kannalta ihanteellista on syöttää materiaalia, jonka hiili-typin suhde on 20-30:1. Sopiva suhde voidaan saavuttaa syöttämällä reaktoriin mahdollisimman monipuolisia materiaaleja. Mikäli typpeä on suhteessa hiileen liian vähän, metanogeneesin mikrobit pyrkivät tyydyttämään proteiinin tarpeensa nopeasti ja eivät reagoi jäljelle jäävän hiileen. Päinvastaisessa tilanteessa typpeä jää ylimäärin ja se muodostaa ammoniumia (NH₄), mikä nostaa pH:n yli 8,5. Emäksisyys pysäyttää kaasuntuotannon, koska liian korkea pH on metaania tuottaville mikrobeille haitallista.

On loogista, että monipuolinen ruokavalio on terveellistä mille tahansa elolliselle olenolle – niin ihmisille kuin mikrobeillekin. Yleensä tasapainoinen prosessi voidaan saavuttaa esimerkiksi syöttämällä prosessiin sekä biojätteitä että ulosteperäisiä materiaaleja. Tällainen ns. yhteismädätys saattaa jopa parantaa kokonaiskaasun saantoa verrattuna yksittäisten materiaalien erillismädätykseen. Esimerkiksi naudan lietelannan hiili-typin suhde on lähellä optimia eli n. 25:1. Toisaalta esimerkiksi lihapitoisissa ruontähteissä on typpeä korkeita määriä ja siinä tilanteessa ruontähteet olisi hyvä sekoittaa lietelantaan.

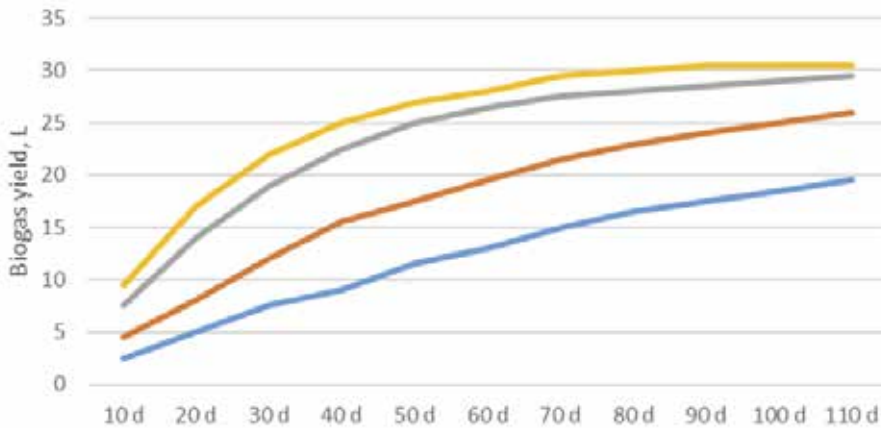
BIOKAASUREAKTORIN KÄYTTÄMINEN JA YLEISET PARAMETRIT

Biokaasuntuotannon haasteena pienessä mittakaavassa on biologisten prosessien herkkyys sekä hygienia. Biologiset prosessit voivat olla epävakaita ja arvaamattomia, sillä esimerkiksi vaihteleva syötemäärä ja vaihteleva ulkolämpötila tekevät prosessin hallittavuudesta haastavaa. Lisäksi erilaiset haitalliset aineet saattavat olla myrkyllisiä mikrobeille. Kaasuntuotannossa voi lisäksi olla huomattavaa päivävaihtelua. Niinpä reaktoria ei saa syöttää liikaa, ja sinne ei saa missään tapauksessa laittaa ympäristölle haitallisia yhdisteitä tai kemikaaleja, sillä myrkyt voivat inhiboida eli haitata kaasun muodostumista. Mikäli mikrobit kuolevat, joudutaan reaktori tyhjäämään ja puhdistamaan huolellisesti ja käynnistämään se uudelleen puhtaalla materiaalilla. Käynnistämisvaiheeseen menee helposti viikkoja. Toisaalta esimerkiksi reaktorin täyttäminen käsin aiheuttaa terveystorjintaa, mikäli siinä käytetään jätemateriaaleja. Tästä syystä reaktorin oikeanlaiseen käyttämiseen ja hygieniaan tulee kiinnittää erityistä huomiota oppilaitoskäytössä. Suojahansikkaiden käyttö tulisikin olla pakollista.

Pienen mittakaavan biokaasulaitoksissa on tärkeä ottaa huomioon samat prosessitekniset ratkaisut kuin teollisen kokoluokan laitoksissakin. Tällaisia ovat mm. viipymäaika (eng. HRT eli hydraulic retention time), lämpötila ja orgaanisen kuorman määrä (eng. OLR eli organic loading rate). Viipymäajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka syöte keskimäärin viipyy reaktorin sisällä eli ts. aikaa, joka mikrobeilla on käytettäväksi syötteen hajottamiseen. Yleensä viipymä on n. 30 päivää, mutta siihen vaikuttaa reaktorin lämpötila ja syötteen ominaisuudet. Viipymä voidaan laskea seuraavasti: $HRT = \text{reaktorin tilavuus} / \text{syöttömäärän tilavuus päivässä}$.

Lämpötila luonnollisesti nopeuttaa biologisia reaktiota. Esimerkiksi 33 °C prosessilämpötilassa maksimaalinen biokaasusaanto on saavutettu n. 70 päivässä, mutta hieman yli 20 °C lämpötilassa hidasta kaasuntuotantoa tapahtuu vielä 4 kuukaudenkin jälkeen latauksesta. Kuvassa 3 on kuvattu viipymäaikojen suhdetta lämpötilaan. Teollisessa mittakaavassa prosessia ja lämpötilaa voidaan ohjata tehokkaasti, mutta pienen mittakaavan laitoksissa tavoitelämpötila voidaan pyrkiä pitämään yllä esim. auringonvalon ja termostaattien avulla. Pienen mittakaavan reaktorit toimivat yleensä n. 25-35 °C lämpötila-alueella viipymän ollessa n. 30-100 päivää.

Biogas yield in 20 (blue), 25 (red), 30 (purple) and 33 (yellow) Celsius degrees vs. HRT



Kuvio 3. Prosessilämpötilan vaikutus biokaasun saantoon eri viipymillä (muokattuna Lam & ter Heegde 2011).

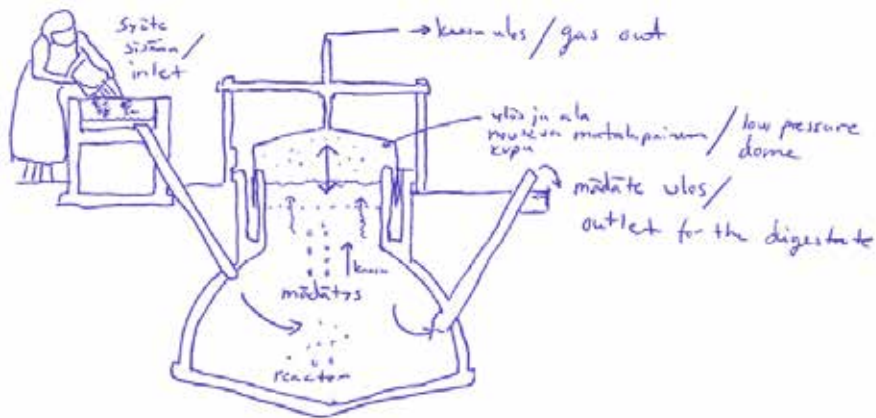
Orgaanisen aineen kuormalla tarkoitetaan mikrobeille käyttökelpoisen osan saatavuutta reaktorissa. Pienen mittakaavan laitoksissa kuorma on yleensä 1-2 kg VS/reaktori-m³/d. Toisin sanoen reaktorin käyttäjällä tulee olla tiedossa se, paljonko syötteessä on keskimäärin orgaanista ainetta. Esimerkiksi naudan lietelannassa orgaanista ainetta voi olla n. 7 % tuorepainosta. Tällöin yhdelle reaktorikuutiolle voidaan syöttää tuoretta lietelantaa n. 14-30 kg, jos sen paino on n. 1 kg/litra. Hyvin nestepitoisten syötteiden osalta suositeltua viipymäaikaa ei saa kuitenkaan ylittää.

PIENEN MITTAKAAVAN REAKTORITYYPIT SEKÄ TOIMINTA JA HOITO

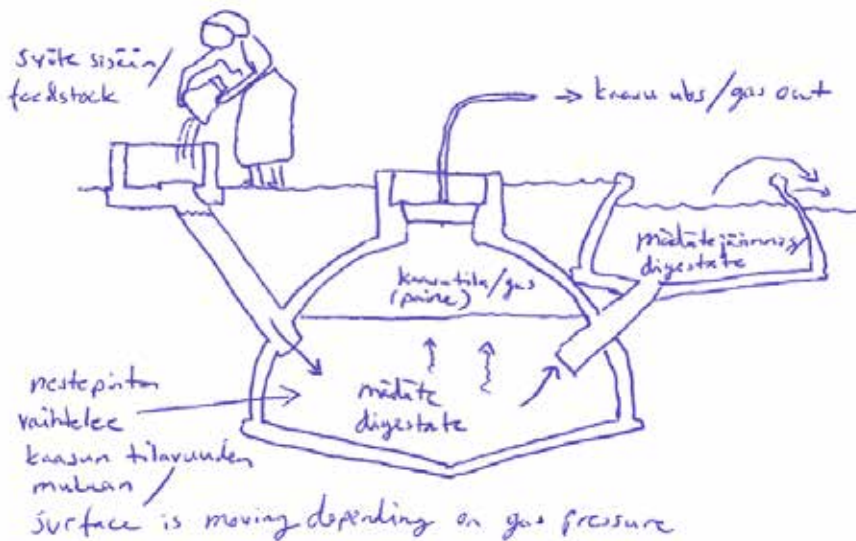
Trooppisia pienen mittakaavan reaktoreita on olemassa useita malleja. Ne on kuitenkin perinteisesti jaettu kelluvaan rumpureaktoriin (floating drum reactor), kiinteään kupureaktoriin (fixed dome reactor), palloreaktoriin (balloon reactor) ja muovisiin reaktoreihin (plastic reactors) (Kuvat 2-4). Kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa ovat yleisiä Aasiassa. Siellä reaktorit on yleensä rakennettu tiilistä ja sementistä maan alle, jolloin laitteistojen näkyvimvät osat ovat syötteen lataus- ja poistoaltaat. Myös kaasukeräysputkisto tulee maanpinnalle. Merkittävin toiminnallinen ero näiden kahden tekniikan välillä on kaasunkeräyksessä. Kelluvassa rumpureaktorissa kaasu kerätään mädätteen päällä kelluvaan kupoliin, jonka korkeussuhde vaihtelee kaasun tilavuuden mukaan. Kupu tai rumpu kelluu vapaasti reaktoriin rakennetussa urassa. Sen sijaan kiinteässä kupureaktorissa tällaista liikkuvaa rumpua ei ole, vaan kaasu paineistuu reaktorin yläosaan. Kaasu syrjäyttää tilavuutensa verran mädätettä ja pusertaa sitä reaktorista ulos. Syntyvä paine tekee kaasun käytöstä ja säädettävyydestä hieman helpompaa.

Palloreaktorit ovat yleensä elastisesta kumista valmistettuja säkkejä, joissa on toisessa päässä syöteputki ja mädätteen poistoputki. Ne ovat varsin uusi keksintö. Rakenne on asennettu yleensä puoliksi maan alle niin, että musta pinta kerää auringon lämpösäteilyä. Tämä pitää lämpötilan korkealla. Reaktorin sisällä kaasu kertyy pallon yläosaan. Kaasun paine tulee sitä suuremmaksi, mitä enemmän kumipinta pingottuu.

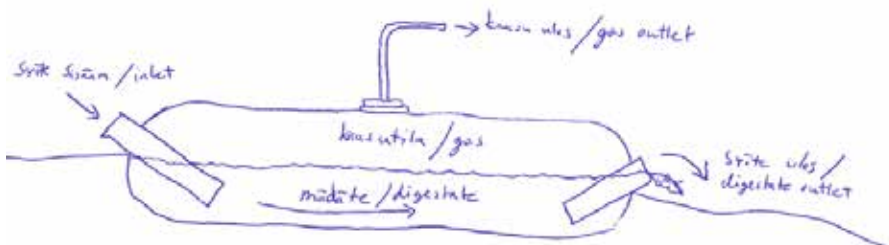
Vastaavasti toinen uudempi tapa tuottaa biokaasua on erilaiset muoviset reaktorit, joita on alettu hyödyntämään erityisesti kaupunkiympäristössä. Muovireaktorit käsittelevät yleensä varsin pieniä määriä jätteitä ja siksi ne soveltuvat kohteisiin, joissa syntyy vähäisiä määriä lähinnä ruoantähteitä ja lantaa. Erilaisten valmiiden kierrätettyjen muovivalmisteiden, kuten tynnyreiden ja ibc-konttien, käyttö on varsin helppoa ja ne ovat rakenteeltaan keveitä. Monet valmiit isokokoiset muovitynnyrit ovatkin hyviä alhaisen hankintahintansa takia. Lisäksi muovia on helppo leikata ja eristää. Muovireaktoreissa käytetty tekniikka vaihtelee suuresti ja siksi niissä voi olla käytössä varsin ainutlaatuisiakin ratkaisuja. Niissä voi olla piirteitä sekä rumpureaktoreista, kupureaktoreista että palloreaktoreista. Esimerkiksi erillisen, vedellä täytetyn, kaasunkeräysastian käyttäminen on yleistä, sillä silloin saadaan varsinainen mädäte eristettyä ilmasta, mikä pienentää hajuhaittoja.



Kuva 2. Kelluva rumpureaktori (Floating drum reactor).



Kuva 3. Kiinteä kupureaktori (fixed dome reactor).



Kuva 4. Palloreaktori (balloon reactor).



Kuva 5. Muovireaktori, jossa kaasunkeräys on rakennettu toiseen tynnyriin (rakennettavissa tämän kirjan ohjeilla, kuva: Kari Laasasenaho).

Yleisesti ottaen kaikissa reaktoryytypeissä on yhteistä painovoimainen materiaalin syöttö ja mädätteen poisto. Erillisiä pumppuja ei tarvita. Toisaalta myös selkeä koneellistettu sekoituslaitteisto puuttuu useimmissa versioissa (tosin yhdessä israelilaisessa kaupallisessa palloreaktoryypissä on myös käsikäyttöinen sekoituskampi). Kaikissa reaktoreissa on tavoitteena pitää mädäte reaktorin sisällä useamman kymmenen päivää riittävän korkeassa lämpötilassa. Lisäksi kaasua voidaan kerätä matalassa paineessa joko keräyspusseihin tai säiliöön. Reaktorin tulee olla mahdollisimman hyvin eritetty ilmasta, jotta biokaasua syntyy ja jotta kaasuväestö ei pääse vuotamaan. Biokaasun sisältämä metaani on voimakas kasvihuonekaasu ja sen vapautumista ilmakehään tulisi välttää.

Erilaisten tekniikoiden käyttö perustuu lähinnä siihen, mitä resursseja ja rakennusmateriaaleja on paikallisesti saatavilla. Periaatteessa vain mielikuvitus on rajana, kunhan perusasiat ovat kunnossa. Materiaalien pitää olla ilma- ja nestetiiviitä sekä ruostumatonta ja happamia oloja kestävä. Toisaalta reaktorin tilavuuteen vaikut-

tava suurin yksittäinen tekijä on käsiteltävä orgaanisen materiaalin tyyppi ja määrä. Reaktorin tulee olla suurikokoinen, mikäli reaktorissa käsitellään sekä kotieläinten että ihmisten jätteitä. Perheen koko vaikuttaa luonnollisesti orgaanisten jätteiden määriin. Myös nestemäisyys on tärkeää ja riittävän korkeasti vesipitoisuudesta pitää huolehtia. Esimerkiksi kiinteää biojätettä ei voi syöttää reaktoriin, mikäli sitä ei sekoita ensin veteen, sillä liian kokkareinen ja kiinteä mädäteneste liikkuu huonosti ja aiheuttaa tukoksia sekä painovoimaiselle syöte- että poistopuolelle. Yhteneväisistä ominaisuuksista johtuen, pienreaktoreiden käyttö on periaatteiltaan varsin samankaltaista. Reaktoreiden käynnistämiseen voidaan käyttää toisesta toimivasta reaktorista tuotua mädätejäännöstä, jossa on oikeanlainen mikrobisto valmiina tai käynnistämällä reaktori esimerkiksi tuoreella naudon lietelannalla. Näiden kahden tavan ero on siinä, että tuoreella lannalla käynnistykseen menee monta viikkoa, sillä oikean mikrobiston kasvuun menee aikaa. Kuivunutta lantaa ei saa käyttää, sillä lanta voi tällöin olla mikrobien osalta ”kuollutta” nesteeseenpuutteen takia. Mädätejäännöstä käytettäessä kaasuntuotanto alkaa ensimmäisestä täytöstä lukien.

Reaktorin sisältö on syytä pitää pimeässä, sillä valo voi aiheuttaa levän kasvamista. Levä syrjäyttää elintilaa hyödyllisiltä mikrobeilta ja tuottaa reaktoriin happea ja tällöin tarvittavaa hapetonta ympäristöä ei synny. Ibc-kontin läpinäkyvä seinä voidaan peittää esimerkiksi auringolta styrox-eristeellä, mikä tasaa myös lämpötiloja. Reaktori voidaan käynnistää oppilaitos- ja kotikäytössä seuraavasti:

1. Otetaan tuoretta naudon lietelantaa ja sekoitetaan se veteen suhteella 1:1. Jos lanta on kuivalantaa, voidaan vettä lisätä enemmänkin aina 1:2 asti (tarkoitus on, että seoksen kuiva-ainepitoisuus olisi n. 7-10 %). Seoksen tilavuus voi olla esimerkiksi kolmasosa reaktorin tilavuudesta (esim. 100 litraa kun reaktori on 300 litraa).
2. Lanta-vesiseos tulee tämän jälkeen kaataa reaktoriin sisälle.
3. Tämän jälkeen reaktori täytetään vedellä ripipintaan niin, että poistoputkesta tulee hieman nestettä pihalle.
4. Tämän jälkeen reaktori suljetaan ja sen ilmatiiviys tarkastetaan. Reaktoria on säilytettävä vähintään 25-30 °C:ssa. Käytännössä reaktori voi olla oppilaitoksissa lämpöhuoneessa tai esim. pienessä mittakaavassa vesikiertoisen lattialämmityksen tai patterin vieressä. Tuuletus ja ns. huuva tulisi suojella paloilta ja haitallisilta kaasuilta (ks. Liite: Paloturvallisuusohje).

5. Ensimmäisten kaasujen muodostuminen kestää muutamasta viikosta jopa 8 viikkoon. Ensimmäiset kaasut eivät pala, sillä ns. ylätilaan (headspace) jäänyt ilma sekoittuu biokaasuun ja laimentaa metaanipitoisuutta.
6. Reaktoria voi syöttää vasta ensimmäisten kaasujen muodostumisen jälkeen ja tällöinkin kohtuudella.
7. Päivittäinen syöttötilavuus voi olla enintään 6 litraa 200 litran reaktoreissa ja 30 litraa 1000 litran reaktoreissa, jotta tarvittava vähintään 30 päivän viipymä saavutetaan. Lisäksi varsinainen orgaanisen aineen määrä ei saa ylittää 2 kg VS/päivä/reaktori-m³ eli toisin sanoen maksimaalinen orgaanisen aineen määrä tulee olla enintään 400 grammaa 200 litran reaktoreissa ja enintään 2 kg 1000 litran reaktoreissa. Yleensä suositukset eivät ylity, jos esim. biojäte on sekoitettu veteen 7-10 % kuiva-ainepitoisuuteen.

Reaktoria voidaan syöttää myös harvemmin kuin kerran päivässä tai se voidaan esim. oppilaitoskokeilussa tehdä panostoimiseksi eli ladata vain kerran. Mikrobit ovat varsin sopeutuvaisia ja ne voivat säilyä lepotilassa pitkäänkin. Oman kokemukseni perusteella ne voivat selviytyä myös Suomen talvesta. Tämän kirjan ohjeilla on mahdollista rakentaa jatkuvatoiminen reaktori, jota voi syöttää kerran päivässä.

BIOKAASUN JA MÄDÄTEJÄÄNNÖKSEN KOTIKÄYTTÖ

Mitä biokaasulla voi sitten tehdä kotitalouskäytössä? Yksinkertaistettuna biokaasua voi käyttää kaikissa laitteissa, jotka on tehty kaasukäyttöisiksi. Biokaasun ominaisuudet eroavat kuitenkin nestekaasusta, mikä vaatii kaasupolttimoilta hieinan erilaista tekniikka. Biokaasu on ilmaa kevyempää, jolloin kaasu on ohjattava suoraan palopesään. Lisäksi biokaasun sisältämät epäpuhtaudet on otettava huomioon. Raa'an biokaasun polttaminen kaasukeittimessä aiheuttaa pitkällä aikavälillä korroosiota mm. rikkihapon muodostumisen takia.

Yleisin tapa hyödyntää biokaasua on ruoanlaitto kaasukeittimellä (kuva 6). Tällöin voidaan vähentää ostoenergiaa ja parantaa orgaanisten jätteiden käsittelyä. Esimerkiksi Intiassa on miljoonia pienen kokoluokan reaktoreita ja siellä biokaasukeittimiä voi ostaa suoraan Internetistä. Biokaasukeittimien käyttötapa ei eroa nestekaasukeittimistä. Puhtaasti palaessaan biokaasu ei tuota näkyvää savua, mikä on hyödyllinen ominaisuus esimerkiksi polttopuihin verrattuna. Karkeasti sanottuna yksi kuutio normaalipaineista biokaasua riittää noin kolmen lämpimän aterian valmistamiseen päivässä.



Kuva 6. Biokaasukeittimeksi muunnettu nestekaasukeitin. Punainen putki on tarkoitettu biokaasun syötölle (kuva: Kari Laasasaho).

Biokaasu hyödyntäminen valaistukseen on toinen yleinen käyttötapa sähköttömissä olosuhteissa. Markkinoilla on tarjolla ns. kaasulamppuja, jotka perustuvat metallien luminenssiin. Kuuma kaasuliekki saa ns. hehkusukan hehkumaan kirkasta valoa. Kaasuvalaistus oli yleistä esimerkiksi kaupunkien valaistuksessa vielä 1800-luvulla. Nykyään niillä on kysyntää retkivalaisimissa ja sähköverkon ulkopuolisilla maaseutualueilla., joissa biokaasu on yksi vaihtoehto kaasunlähteeksi. Hieman suuremmissa laitoksissa biokaasua voidaan käyttää myös sähköturbiineissa tai aggregaateissa. Esimerkiksi Euroopassa biokaasua käytetään yleisesti sähkön ja lämmön tuotantoon. Tämä käyttökohde on kuitenkin harvinaista pienen mittakaavan reaktoreissa, sillä tuotetun kaasun määrä on vähäistä, ja pientenkin kaasuturbiinien käyttö vaatii huomattavan suuria kaasumääriä.

Yleisten käyttötarkoitusten rinnalla on pienempiä ja marginaalisia tapoja hyödyntää biokaasua. Muistan nähneeni Youtube-videon, jossa pienen mittakaavan biokaasureaktorin kaasua oli testattu mm. mopon polttoaineena. Lisäksi olen nähnyt videoita, joissa kaasua on testattu onnistuneesti kaasujääkaapeissa. Tällaisia marginaalisia käyttökohteita löytyy varmasti kymmeniä, mutta ne eivät ehkä ole yleistyneet taloudellisen kannattamattomuutensa takia. Suomalaisille vieraampi, mutta tutkimisen arvoinen, biokaasusovellus on kaasukäyttöiset infrapuna- säteilylämmittimet. Niitä käytetään esimerkiksi lämmittämään eläinsuojia ja taloja kylminä vuodenaikoina Kiinassa. Aihetta pitäisi tutkia Suomessakin, sillä inrapuna-säteilylämmittimien käyttö voisi säästää polttokattilan ja lämmönsiirtoon liittyvien laitteiden investointikustannuksissa ja mahdollisesti parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta.

Kaasun ohella mädätejäännös on toinen biokaasulaitoksesta hyödynnettävä tuote. Mädätejäännös on jo reaktorissa hajonnutta nestettä, joka tulee ulos reaktorista (kuva 7). Mädätejäännöksen laatu riippuu syötteen ominaisuuksista, kuten kuiva-ainepitoisuudesta ja kemiallisesta koostumuksesta. Mädätejäännös käytetään yleensä hyödyksi lannoitteena sen sisältämien ravinteiden ansiosta. Jatkuvatoimisista reaktoreista mädätejäännöstä saadaan kerättyä talteen sitä mukaan, kun laitetta ladataan, sillä mädätejäännöstä poistuu tilavuudeltaan painovoimaisesti saman verran kuin on syötetyn määrän tilavuus. Biokaasuprosessissa on se hyvä puoli, että esimerkiksi typpi hajoaa orgaanisesta muodosta kasveille käyttökelpoiseen muotoon eli epäorgaaniseen muotoon. Näin biokaasuprosessin läpikäynyt lietelanta on jopa parempi lannoite kuin tuore lietelanta. Mädätejäännöksen ravinneominaisuuksia voikin testata aidoilla kasvikoikkeilla oppilaitoksissa. Demonstraatioissa voidaan istuttaa esimerkiksi 3 kontrollikasvia ja 3 mädätejäännöksellä lannoitettua kasvia ja seurata itämisaikaa, vointia ja biomassan kertymistä.

Pienen mittakaavan biokaasureaktoreista tulevan mädätejäännöksen määrä on joistakin sadoista litroista muutamaan tuhanteen litraan vuodessa aktiivisessa käytössä. Tämä määrä soveltuukin lähinnä puutarhan lannoittamiseen. Mädätejäännöstä voidaan kuitenkin sekoittaa veteen ja säätää lannoitemääriä tällä tavalla. Voidaan yleisesti sanoa, että ravinteista typpi on usein nestemäisessä osassa ja fosfori kiintoaineessa. Mädätejäännöksen suhteellista fosforipitoisuutta voidaankin nostaa esimerkiksi kuivattamalla tai separoimalla kiintoaine ja neste erilleen. Näin tehdään nykyisin esimerkiksi maatilakohtaisilla laitoksilla Suomessa.



Kuva 7. Hyvin nestepitoista mädätejäännöstä pienbiokaasureaktorista (kuva: Kari Laasaseno).

LOPUKSI

Kirjan liitteissä on linkki Power point -luentosarjaan ja tarkempi kuvaus opetuskäyttöön suunnitellusta laitteesta. Ohjeita voidaan muunnella sopivalla tavalla ja tästä johtuen tarkkoja venttiili- tai laitemalleja ei ole kerrottu. Tärkeintä on, että oppilaitokseen on mahdollista löytää ilmatiivis tynnyri, kaasuputket ja venttiilit ja sopiva turvallinen tila. Kaasuntuotannon odottaminen on usein haasteellisin vaihe, sillä tarkan ajankohdan määrittäminen kaasuntuotannolle on tapauskohtaista. Kaasun muodostumista odotellessa laitteistoa on hyvä käydä tarkastamassa säännöllisesti, sillä vuotavat osat voivat aiheuttaa omat haasteensa. Paloturvallisuusvalvojen kanssa on ehdottoman tärkeää keskustella. Biokaasuntuotanto on skaalautuva prosessi, joten oppilaistokäytössä reaktorin koko voi olla kuvattua laitteistoa kymmenkertaisesti pienempikin, jolloin laitoksen sijoittaminen oppilaitokseen on huomattavasti helpompaa. Alla lueteltuna muutama vinkki biokaasulaitoksen rakentamiseen:

- Muista oikea reaktorikoko.
- Kuinka paljon syötteitä on saatavilla?
- Paljonko tarvitset kaasua? (HRT, lämpötila ja OLR).
- Palavaa kaasua muodostuu vasta useiden viikkojen päästä, jos käytät käynnistykseen lietelantaa!
- Aloita reaktorin syöttäminen vasta, kun tulee kaasua ja silloinkin kohtuudella ilman täysiä syötemääriä.
- Huolehdi, että reaktori ja kaasunkeräyssäiliö ovat ilmatiiviitä. Nenä on paras sensori haistamaan vuodot!
- Ole varovainen kaasuliekin kanssa ja muista pestä kätesi käsiteltyäsi jäteperäisiä syötteitä.
- Joskus kondensoitunut vesi tekee kaasuputkeen tukoksen, jolloin kaasua ei kerry kaasusäiliöön tai polttimelle. Nosta putkea ylös, niin vesi valuu jompaankumpaan suuntaan ja kaasua virtaa jälleen vapaasti.

Biokaasuntuotanto on hauskaa ja siitä saa paljon enemmän irti itse tekemällä. On paljon helpompi tehdä uusia avauksia sen käytöstä, kun tutustuu siihen käytännöllisesti.

Antoisia hetkiä biokaasun parissa!

LÄHTEET

Lam, J. & ter Heedge, F. 2011. Domestic biogas compact course: Technology and mass-dissemination experiences from Asia: Postgraduate programme renewable energy: Hand-out for students: Version 2010. [Verkojulkaisu]. University of Oldenburg. [Viitattu 27.8.2018]. Saatavana: http://www.build-a-biogas-plant.com/PDF/Biogas_Course_Oldenburg_ReaderVers_2010.pdf

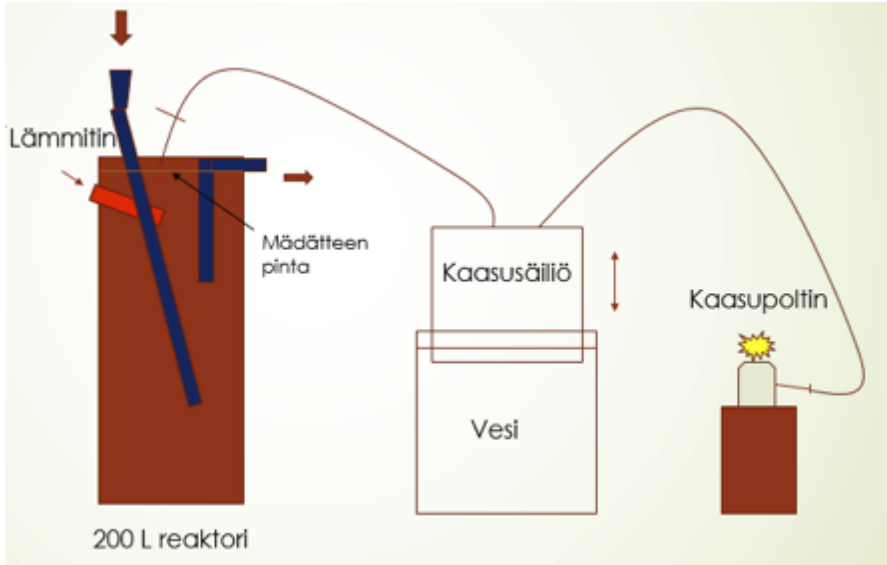
Laasasenaho, K., 2012. Pienten maaseutukuntien mahdollisuudet biokaasun hyödyntämiseen: esimerkkinä Soinin kunta. Jyväskylän yliopisto. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, ympäristötiede ja -teknologia. Pro gradu -tutkielma.

LUENTOMATERIAALI / LECTURE SLIDES

<https://www.yumpu.com/kiosk/seamkpro/home-scale-biogas-production-course-kari-laasasen-aho-2018/62060674>

TYÖOHJEET

Ohjeet 200 litran pienbiokaasureaktorin rakentamiseksi opetustarkoituksiin



Laitteistot:

200 l muovisäiliö (reaktorit)

Putkea (esim. puutarhaletku)

Muoviset sangot kaasunkeräimeksi (40 l) + suuremman vesisäiliön vesi

Kaasunkeitin

Venttiilejä (kaasutiiviit ja helppo huoltaa)

Silikonia

Kiinnikkeet (kiristin)

kumiseristeet

Extra: lämmitin (125 W), jota ei välttämättä tarvita trooppisissa olosuhteissa!

Lehmän lantaa biokaasun tuotannon aloittamiseen

Koko ryhmä tekee yhteistyötä!

Reaktori:

1. Valitse reaktoriksi 200 l muovitynnyri.
2. Tarkista tynnyrit. Onko reikiä tai muita tekijöitä, jotka vaikuttavat negatiivisesti biokaasun tuotantoon?
3. Poraa 40 mm:n reikä tynnyrin yläosaan (syötteen latausta varten, kuva 8)
4. Poraa 40 mm:n reikä tynnyrin puolelta (jätä noin 3 cm tynnyrin yläosasta)
5. Poraa 40 mm:n reikä tynnyrin yläosassa (lämmittimelle).

6. Käytä kumisovittimia tiivistämään reiät.
7. Käytä 32 mm:n vesijohtoa tulo- ja lähtöreikiin. Tuloputken on oltava noin 80 - 100 cm pitkä. Lähtöputken tulee olla L-kirjaimen muotoinen ja sen tulisi mennä vain puoliväliin tynnyriin.
8. Lisää akvaarion lämmitin reikään, joka sijaitsee tynnyrin yläosassa.
9. Eristetään kaikki kolme reikää ja mahdolliset reiät silikonilla (kuva 9).

Poraa 20 mm:n reikä reaktorin päähän ja asenna sovitin ja venttiili. Käytä kiristintä ja eristä reikä silikonilla. Tämä reikä on biokaasun poistumisreitti reaktorista.



Kuva 8. (kuva: Kari Laasasenaho).



Kuva 9. (kuva: Kari Laasasenaho).

Kaasusäiliö:

1. Valitse toinen tynnyri esim. (200 l) ja pienempi muoviämpäri (50 l). Varmista, ettei niissä ole reikiä, ja ne ovat vesitiiviitä.
2. Leikkaa tynnyrin yläosaa tarvittaessa (50 l muoviämpäriin pitäisi mennä 200 l tynnyrin sisään).
3. Täytä tynnyri vedellä (vähintään sama taso kuin 50 l tynnyrin korkeus).
4. Poraa kaksi reikää (20 mm) 50 l muoviämpäriin pohjalle (kuva 10 ja 11).
5. Lisää molempiin reikiin sovitin ja venttiili. Käytä kiristimiä.
6. Asenna puutarhaletku biokaasureaktorin ja toisen 50 l muoviämpäriin venttiiliin väliin. Käytä kiristimiä (kuva 12).
7. Asenna toinen puutarhaletku toiseen venttiiliin.
8. Jätä venttiilit auki. Nosta ämpäri veden pinnalle (ylösalaisin). Anna sen mennä alaspäin, kunnes se on puoliksi upponnut (kuva 13).
9. Käännä venttiilit kiinni.
10. Merkitse veden pinnan taso esim. tussilla tynnyrin kylkeen.
11. Odota 2 tuntia ja tarkista, onko muoviämpäri upponnut alemmaksi vedessä. Jos ei ole, kaikki on valmista (rakenne on kaasutiivis). Jos muoviämpäri on vajonnut, tarkista mahdolliset reiät!
12. Avaa venttiilit uudelleen ja ota kaikki ilma ulos muoviämpäristä! Lopulta laita venttiilit kiinni, ja ota puutarhaletku pois reaktorista ennen reaktorin lataamista.



Kuvat 10. ja 11. (kuvat: Kari Laasasenaho).



Kuva 12. (kuva: Kari Laasasenaho).



Kuva 13. Jos muoviämpäri menee vinoon, ylimääräinen tuki voidaan asentaa isomman tynnyrin sivuille (kuva: Kari Laasasenaho).

Reaktorin lastaus:

1. Ota noin 10 kg tuoretta lantaa (kuva 14).
2. Sekoita lanta veteen ja kaada se reaktoriin.
3. Kaada puhdasta vettä reaktoriin, kunnes vesi-lantaseos tulee ulos poistoputkesta. Reaktori on tällöin täynnä.
4. Sulje reaktorin kansi ja eristä se silikonilla.
5. Aseta akvaarionlämmitin päälle ja aseta se 32 ° C: een.
6. Asenna kaasun keräysputki (eli puutarhaletku, joka menee kaasukeräimelle eli muovikämpäriin).
7. Avaa kaasun ulosmenoventtiili, ja sulje kaasusäiliön ulosmenoventtiili.
8. Reaktorin pitäisi olla anaerobinen nyt (kuva 15). Voit lisätä lämpötilamittarin reaktorin sisälle syöttöputken kautta.
9. Odota noin 2-8 viikkoa, kunnes kaasusäiliö eli muovikämpäri alkaa kohota (kaasun muodostus alkaa).



Kuva 14. (kuva: Kari Laasasenaho).



Kuva 15. Täyteen ladattu ja eristetty reaktori, johon on yhdistetty lämpötilamittari (kuva: Kari Laasasenaho).

Kun ensimmäiset kaasut muodostuvat ...

1. Kaasun muodostumisen jälkeen kaasu ei ole vielä helposti syttyvää.
2. Sinun täytyy tyhjentää ensimmäinen kaasu ulos. Tyhjennä se, kun sinulla on noin 20 l kaasua. Sinun tarvitsee vain avata venttiili (kaasusäiliöstä). Muista sulkea reaktorin kaasuventtiili ensin. Älä hengitä kaasua!
3. Sinulla on palavaa kaasua vasta 1-2 tyhjennyksen jälkeen (Kuva 16). Voit tarkistaa palavuuden tulitikuilla, mutta ole varovainen! (vesiblokkia eli kaasuputken johtamista ensin veden kautta kaasupolttimelle voidaan käyttää takatulen välttämiseksi!).



Kuva 16. Biokaasuliekki (kuva: Kari Laasasenahto).

Reaktorin syöttö:

1. Aloita syöttö pienellä määrällä orgaanista jätettä. Ennen laitteiston syöttämistä sinun täytyy homogenisoida/hienontaa syötettävä raaka-aine (jotta putket eivät pääse tukkeutumaan ja anaerobinen hajoaminen paraneel!).
2. Sulje reaktorikaasuventtiili ensin.
3. Kaada veden ja ruoan jäteseos reaktoriin käyttämällä reaktorin syöttöputkea (esim. 0,5 - 1 kg elintarvikejätettä sekoitettuna 5 l vettä). Suurin syöttötilavuus on 5-10 l (mukaan lukien enintään 1,5 kg orgaanista jätettä).
4. Ota mädäte ämpäriin (sama määrä mädätettä tulee ulos reaktorista, mitä sinne on syötetty) ja käytä sitä orgaanisena lannoitteena. Kouluissa voit tehdä tiedeprojektin testaamalla kasvien kasvatusta mädätteellä!
5. Voit käyttää reaktorin syöttöputkea varovasti reaktorin sekoittamiseen.
6. Lopuksi AUKAISE REAKTORIN KAASUVENTTIILI!!!! Muussa tapauksessa se tekee suuren paineen ja sotkua!
7. Suurin osa muodostuvasta uudesta kaasusta on käytössä n. 24 h päästä.

Huomautus! pH on välttämätön pitää 6-8:ssa. Happamat olosuhteet haittaavat metaanintuotantoa. Tämä voi tapahtua, jos olet ylisyöttänyt reaktoria!

-> Jos kaasun muodostuminen pysähtyy, mittaa pH, jos mahdollista. Älä yritä syöttää reaktoria enempää!

Kaasun tuotanto alkaa yleensä itsestään muutaman viikon kuluttua! Joskus kalkin lisäyksellä voidaan tasapainottaa pH:ta.

Kaasun käyttö polttimessa:

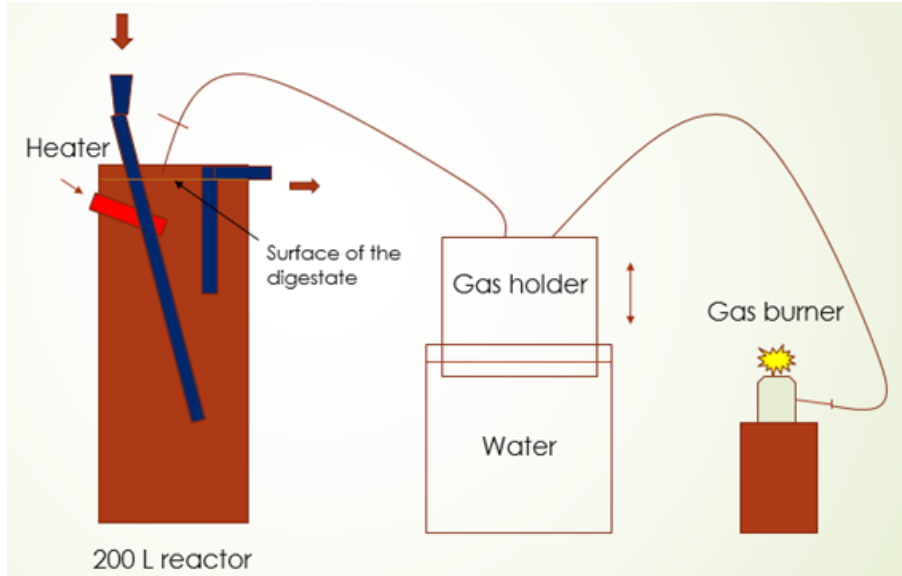
1. Käytä kaasupoltinta (kuva 17).
2. Kytke poltin puutarhaletkuun.
3. Avaa kaasusäiliön ulosottoventtiili ja sytytä kaasua.
4. Säädä oikea kaasunvirtaus.
5. Muista sulkea kaasusäiliön venttiili, kun lopetat.
6. Voit käyttää ylimääräistä painoa kaasusäiliön päällä saadaksesi suuremman paineen.



Kuva 17. Kaasupoltin (kuva: Kari Laasasenaho).

CONSTRUCTION INSTRUCTIONS

Instructions to build up a 200 L home scale biogas reactor for educational purposes



Equipments:

- 200 L plastic bucket (reactors)
- Pipe line (e.g. garden pipe)
- Plastic buckets as a gas collector (40 L) + larger barrel for the water
- Gas Burner
- Velves (gas tight and easy to maintaince)
- Silicon
- Clips (tensioner) and rubber insulators
- Extra: heater (125 W), not necessarily needed in tropical conditions!

We use cow manure to start the biogas production.
The whole group will make cooperation!

Reactor:

1. Choose 200 L plastic barrel for a reactor.
2. Check the barrels. Is there holes or any other factors affecting negatively on biogas production?
3. Drill 40 mm hole on the top of the barrel (for the feedstock input, picture 8).
4. Drill 40 mm hole on the side of the barrel (leave ca. 3 cm from the top of the barrel).

5. Drill 40 mm hole in the top of the barrel (for the heater).
6. Use rubber adapters to block the holes.
7. Use 32 mm water pipe for input and output holes. Input pipe should be approximately 80-100 cm long. Output pipe should be in the shape of L-letter and should go no further than half way of the barrel.
8. Add aquarium heater on the hole located in the top of the barrel.
9. Insulate all the three holes and possible holes with silicon (picture 9).
10. Drill 20 mm hole on the top of the reactor and install adapter and valve. Use tightener and insulate the hole with silicon. This hole is for the biogas output.



Picture 8. (picture: Kari Laasasena).



Picture 9. (picture: Kari Laasasena).

Gas holder:

1. Choose another barrel e.g. (200 L) and smaller 50 L plastic bucket. Make sure that there is no holes and they are water tight.
2. Cut the top of the barrel off (the bucket should go inside the barrel).
3. Fill the barrel full of water (at least the same high as the bucket).
4. Drill two holes (20 mm) on the bottom of the bucket (50 L, picture 10 and 11).
5. Add adapter and valve for both of the holes. Use tighteners.
6. Install garden pipe between the biogas reactor and another valve. Use tighteners (picture 12).
7. Install another garden pipe on the second valve.
8. Leave the valves open. Lift the bucket on the water (upside down position). Let it go down until it is half sunk (picture 13).
9. Put the valves off.
10. Mark the level of the water on the side of the barrel
11. Wait 2 h and check if the bucket is sunked more. If not, everything is ready for the starting (it is gas tight). Check possible holes!
12. Open the valves again and take all the air out from the holder! Eventually put the valves off again, put take the garden pipe off from the reactor.



Picture 10. and 11. (pictures: Kari Laasasenaho).



Picture 12. (picture: Kari Laasasenaho).



Picture 13. If the gas collector is going to skewed position, extra frame can be installed (picture: Kari Laasasenaho).

Reactor loading:

1. Take about 10 kg of fresh manure (picture 14).
2. Mix the manure with water and pour it into the reactor.
3. Pour pure water into the reactor until water-manure mixture is coming out for the output pipe. The reactor is now full.
4. Put the reactor gap on and use silicon to make it gas tight.
5. Put the aquarium heater on and set it in 32 °C.
6. Install the gas output pipe on the reactor.
7. Open the gas output valve but remember to close the gas holder output valve.

8. The reactor should be anaerobic now (picture 15). You can add temperature analyzer inside of the reactor via feeding pipe.
9. Wait about 2-8 weeks until the gas holder is coming up (gas formation starts).



Picture 14. (picture: Kari Laasasenaho).



Picture 15. Fully loaded and sealed reactor, with temperature analyzer (picture: Kari Laasasenaho).

When the first gas is forming...

1. After the gas is formed, the gas is not straightly flammable.
2. You have to empty the first gas out. Empty it after you have about 20 L of gas. You just have to open the valve (gas holder output). Remember to shut the reactor gas output first. Don't breathe the gas!
3. You will have flammable gas after 1-2- emptying. You can check it with matchsticks, but be careful! (Water block could be used to avoid explosion risk!!), (picture 16).



Picture 16. Biogas flame (picture: Kari Laasasenaho).

Feeding the reactor:

1. Start the feeding with low amounts of organic waste. Before feeding, you have to homogenize the feedstock (to avoid pipe stuck and improve the digestability!).
2. Shut the reactor gas output valve first.
3. Pour water-food waste mixture into the reactor by using reactor feeding pipe (e.g. 0.5-1kg of food waste with 5 L of water). The maximum feeding volume is 5-10 L (including max. 1.5 kg of organic waste).
4. Collect the digestate into a bucket (Same amount of digestate should come out as the volume of feedstock) and use it as an organic fertilizer. At schools you can make science project by testing the plant growing with real plants!
5. You can use reactor feeding pipe for mixing slightly the reactor.
6. OPEN THE REACTOR GAS OUTPUT VALVE!!! Otherwise it will make high pressure and mess!
7. The most of gas is in use after 24 h.

Note! pH is essential to keep between 6-8. Acid conditions will kill methane production. This can happen if you over-feed the reactor!

-> If the gas formation stops, measure pH if possible. Do not try to feed the reactor more!

Gas production usually starts by itself after a couple of weeks! Sometimes lime additions is used to balance the pH.

Burning the gas:

1. Use gas burner (picture 17).
2. Connect the burner by garden pipe.
3. Open the gas holder gas output valve and ignite the gas.
4. Adjust the proper gas flow.
5. Remember to shut the gas off when ending.
6. You can use extra weight and place it on the gas holder to have higher pressure gas flow (e.g. 5 kg).



Picture 17. Gas burner (picture: Kari Laasaseno).

PALOTURVALLISUUSOHJEET

Huom! Pelastuslaitos arvioi aina tapauskohtaisesti voiko tietyssä tilassa koetta järjestää ja tarvittaessa määrittelee tapauskohtaisia lisävaatimuksia toteutukselle. Lisäksi ATEX velvoitteet koskevat aina räjähdysvaarallisten ilmaseosten käsittelyä, kun sisätilaan on mahdollista päätyä syttymiskelpoista kaasua. Kaasut pitää ensisijaisesti saada tuuletettua ulos tai varmistaa, ettei tilan laitteet tai muu tekijä voi sytyttää sinne kertyvää kaasua (Santtu Lahma, henkilökohtainen tiedoksianto sähköpostilla)



**Etelä-Pohjanmaan
Pelastuslaitos-läikelaitos**

**PÖYTÄKIRJA
Lausunto**

sivu 1 / 1

10.10.2017 Pöytäkirjanro 150 037

Vastaanottaja	Kohde
Seinäjoen koulutuskuntayhtymä	Seda Ilmajentie 525, oppilaitos
PL 52 60101 Seinäjoki	Ilmajentie 525 60800 ILMAJOKI

Lausunto

Biokaasun tuotannon koettu laboratoriokoossa 18.10 - 18.12.2017

Suoritettiin kohteessa pyynnöstä tarkastus 19.9.2017. Tarkastukselle osallistuvat projektiin **_____** Tarkastus koski pienimuotoista biokaasun laboratoriotuotantoa opetuksen tueksi. Biokaasun suunniteltiin tuottaa tyynyryssä ja muodostuvan biokaasun määrä on kerrottu olevan pieni ja kertyminen hidasta. Kiinteistön rakennusohje ei suoraan mahdollista kyseistä toimintaa pysyvästi, mutta koska esitetyt määrät ovat pienet, voidaan alustavat suunnitelmat hyväksyä seuraavilla ehdolla:

Samassa rakennuksessa biokaasun tuotantopaikan lisäksi toimii myös huokkatiloja, mikä on otettava huomioon erikseen laadittavissa turvallisuusohjeistuksissa. Kaikilla tiloissa olleskevilla tulee olla tieto biokaasusta sekä toimintaohjeet poikkeavan tilanteen varalle.

Laitteisto on toteuttava niin, että mahdollisimman paljon kaasua saadaan kerättyä talteen ja varmistettava teknisesti, että talteenottamisen ei ole mahdollista vapauttaa kerralla kaikkea kaasua huoneeseen. Tuotantoastioiden päälle on sijoitettava palamatonta tai heikosti palavasta materiaalista tehty huuva/huippu, jonka yläosasta mahdollinen laitteistosta vuotava ilma kevyempi biokaasu saadaan pehallettua kanavapuhallimella tai muulla vastaavalla jatkuvatoimisesti ulos. Ulospuhallusnormi vieään vesikatkon yläpuolelle. Ilmanvaihdon on oltava päällä jatkuvasti.

Toiminta on suunniteltu aloittaa 18.10.2017 ja kokeen on suunniteltu kestäväin 18.12.2017 saakka. Laitteisto on varustettava asianmukaisilla varoitusmerkinnoilla. Laitteiston yhteyteen on sijoitettava ylimääräinen 43A 183 B C -teholuokan käsisammutin.

Kokeen aikana kiinteistöissä ei ole sallittua tehdä tulitöitä tai säilyttää ajoneuvoja.

Summitellun toteutuksen osalta pelastuslaitos suorittaa erillisen käyttösuositustarkastuksen ja määrittää tarvittaessa lisäehtoja toteutukselle.

Koesta varten on järjestettävä erillinen tarkkailuohjelma niin, että aluksi toimintaa tarkastetaan tiheemmin ja lopulta kohtien laitteisto tarkastetaan vähintään kerran päivässä.

Kun biokaasun tuotanto on saatu käynnistettyä, on Ilmajoen palosemalta tilattava syttymisvaarantamitus ympäröivästä huoneilasta ja laitteiston välittömästä läheisyydestä.

Toteutuksesta vastaavien on ilmoitettava allekirjoittaneelle ajankohta, jolloin järjestelyt on tarkastettavissa.

Palo- ja kemikaalitarkastaja,DI
Santtu Lahma

Etelä-Pohjanmaan
Pelastuslaitos-läikelaitos
Puh: 03-3100 SEDNÄROKI
Puh: 044 4381200

Pelastusyksikkö 1
Seinäjoen palosema
Puh: 044 3
00100 SEDNÄROKI

Palo- ja kemikaalitarkastaja,DI
Santtu Lahma
Puh: 0447541000
santtu.lahma@seinajoki.fi

**Älä koske
laitteeseen ilman
lupaa!**

**Do not touch the
reactor without
permission!**

Laitteistoon saa tehdä muutoksia tai avata
venttiilejä ainoastaan opettajan -
_____ luvalla

Any changes can be made only asking
permission from the teacher, _____

TURVALLISUUSOHJEISTUS

Koskee vaaratilanteen aikaista toimintaa

Jos tilassa on **epämiellyttävä haju**, avaa välittömästi hallin ovi tuuletusta varten ja poistu tilasta. Ilmoita tilanteesta alla oleviin yhteistietoihin.

Mikäli **laitteistossa on palo**, käytä välittömästi käsisammutinta paloin sammuttamiseksi. Laitteiston yhteyteen on sijoitettu ylimääräinen 43A 183 B C -teholuokan käsisammutin. Palotilanteen sattuessa ilmoita tilanteesta välittömästi yleiseen hätänumeroon 112

Varoita muita ja ennaltaehkäise tapaturmia!

Mikäli tilassa esiintyy muuta epätavallista tai vaaratilanteen aiheuttavaa toimintaa ottakaa yhteys välittömästi pelastusviranomaisiin.

Lievemmissä tapauksissa:

Koetoimintaa valvoo _____ pelastuslaitos

Safety guidelines

- ▶ If you smell bad odor when the reactor is working, something is wrong.
 - ▶ Warn other people in the same room!
 - ▶ Open doors to ventilate the room!
 - ▶ If there will be flame for some reason, there will be one fire extinguisher near of the reactor.

The reactor will be covered to make sure of proper ventilation!

In serious danger, please call to _____ emergency number _____

Tarkastajat:

**Jos kaasua on kertynyt yli 30 L,
kaasua pitää tyhjätä pois säiliöstä!**

**Ilmoita tilanteesta tai jos olet saanut luvat,
toimi seuraavasti:**

- 1. Sulje reaktorin kaasuventtiili. Kaasu ei saa päästää sisätilaan**
- 2. Vie puutarhaletku (pitkä kaasusäiliöstä lähtevä pää) ulos.**
- 3. Avaa kaasusäiliön venttiili**
- 4. Anna säiliön tyhjentyä vapaasti n. 10 L tilavuuteen.**
- 5. Sulje kaasusäiliön venttiili**
- 6. Avaa reaktorin venttiili (Jos reaktorin venttiili jää kiinni, tulee sotku!)**

**Jos olet vähäänkään epävarma,
soita: _____**

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA – PUBLICATIONS OF SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

A. TUTKIMUKSIA - RESEARCH REPORTS

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ - REPORTS

C. OPPIMATERIAALEJA - TEACHING MATERIALS

Seinäjoen ammattikorkeakoulun aiemmin ilmestyneet julkaisut löytyvät SeAMKin Julkaisut-verkkosivuilta <https://www.seamk.fi/yrityksille/julkaisut/> ja Theseus-verkkokirjastosta <http://theseus.fi>

SeAMK Julkaisut:
Seinäjoen ammattikorkeakoulun kirjasto
Kalevankatu 35, 60100 Seinäjoki
puh. 020 124 5040
kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-7109-89-2 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5581 (verkkojulkaisu)

SeAMK 
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES