

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikka

Jarkko Turpeinen

Selvitys mädätetyn biojätteen kompostoinnista

Insinööriyö 26.5.2010

Ohjaaja: projektipäällikkö Cristoph Gareis
Ohjaava opettaja: FT Ismo Halonen

Tekijä	Jarkko Turpeinen
Otsikko	Selvitys mädätetyn kotitalousbiojätteen kompostoinnista
Sivumäärä	39 sivua
Koulutusohjelma	kemiantekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	projektipäällikkö Cristoph Gareis
Ohjaava opettaja	FT Ismo Halonen
<p>Tässä insinööriössä tutkittiin mädätetyn kotitalousbiojätteen stabilointia kompostoimalla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mädätteen fysikaalisia ominaisuuksia sekä kompostoituvuutta. Tutkimuksessa selvitettiin myös optimaalinen tukiainesuhde, jolla mädätteen kompostointi onnistuu nopeasti ja taloudellisesti. Kokeet suoritettiin Ämmässuon kompostointilaitoksella Helsingin Seudun Ympäristöpalvelun tiloissa.</p> <p>Kokeet aloitettiin mukautetulla Rottegrad-testillä, jossa 1,5 l:n astioihin pantiin eri tukiainesuhteilla seostettuja mädätepäpanoksia. Koeastioihin pantiin lämpötila-anturit ja niiden lämpötiloja seurattiin 10 vuorokauden ajan. Saaduista lämpötiloista piirrettiin lämpötilakäyrät, joiden perusteella eri tukiainesuhteilla seostettuja mädätepäpanoksia vertailtiin keskenään.</p> <p>Kokeiden alussa mitattiin mädätteen kosteuspitoisuus ja tulokseksi saatiin 73,3 %. C/N-suhteeksi mitattiin 8 ja pH:ksi 7,9. Mädätteen tuhkapitoisuudeksi mitattiin 10,4 %.</p> <p>Mittaukset osoittivat, että 10 % ja 20 % tukiainesuhteella kompostoituminen on hidasta. 30 % tukiainesuhteella kompostoituminen oli selvästi nopeampaa. Suurimmilla eli 40 % ja 50 % seossuhteilla kompostoituminen oli nopeinta, mutta näillä tukiainesuhteilla ei ollut huomattavaa eroa keskenään.</p> <p>Rottegrad-kokeiden perusteella valittiin tukiainesuhteet seuraaviin pilot-kokeisiin. Tukiainesuhteiksi valittiin 20 % ja 30 %. Pilot-kokeita varten hankittiin kaksi 550 l:n Biolan Oy:n lämpökompastoria. Kompostoreiden alaosaan rakennettiin ritiläpohja sekä ilmastusputki, jonka kautta kompostiin puhallettiin ilmaa. Komposteja ilmastettiin jaksoittaisesti kerran päivässä. Lämpötilojen seuraamiseksi kompostoreihin asennettiin lämpötila-anturit.</p> <p>Tukiaineseoksilla ei ollut oleellista eroa kompostien lämpötilakehityksiin. Lämpötilat pysyivät molemmissa kompostoreissa yli 50 °C:ssä yli 8 vuorokautta. Kokeiden tuloksista pääteltiin mädätteen sisältävän vielä paljon hajoamatonta orgaanista ainetta. Kokeiden perusteella todettiin, että mädätteen stabiloimiseksi sekä hajun ja kosteuden vähentämiseksi sitä on kompostoitava vähintään kahden viikon ajan kompostointitunnelissa ennen siirtämistä ulko-omauihin.</p>	
Hakusanat	kompostointi, mädätys, mädäte, biojäte

Author	Jarkko Turpeinen
Title	Composting of digested municipal organic waste
Number of Pages	39
Date	26 May 2010
Degree Programme	Chemical Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Cristoph Gareis, Project Manager
Supervisor	Dr. Ismo Halonen, Ph.D.
<p>The purpose of this thesis was to find out how well the digested sludge from municipal organic waste would compost. The physical composition of the sludge was also studied. Studies were made in Ämmässuo composting plant in Espoo Finland for HSY.</p> <p>The studies were made in two phases. In the first phase the sludge was composted in small 1.5 l cans. The cans were filled with five different composition of bulking material. The bulking material used was crushed brushwood from garden waste. The sludge was from Stormossen digesting plant from Vaasa. The compositions were from 10 % to 50 % of the sludge weight in 10 % intervals. Three parallel samples were made from each composition. Temperatures of the composts were measured to see how well the material composts. To find out the effect of the bulking material another set of studies were made with wood chips that would not compost during the studies. The effect of crushed brushwood in small scale was significant as with 10 % composition the temperatures were 5 °C lower than 40 % and 50 % compositions.</p> <p>Physical properties of the sludge were studied in Novalab Oy. Moisture in the sludge was 73.3 %. The sludge pH was 7.9 and the C/N-ratio was 8.0. The ash content was 10.4 % of the wet weight.</p> <p>The second phase of the studies was made in two Biolan 550 l thermo composters. Aeration was installed in both composters and the air amount was set to correspond the composting tunnels in the existing composting plant. The studies were made with 20 % and 30 % bulking material compositions. The bulking material was crushed brushwood. Aeration was set so that composts were aerated periodically once per day.</p> <p>Temperatures stayed above 50 °C for more than 8 days. The results indicated that the sludge holds lots of readily degradable organic matter. It seems that it may be possible to hygienize the sludge during composting.</p>	
Keywords	composting, anaerobic sludge, municipal, organic waste

Sisältö

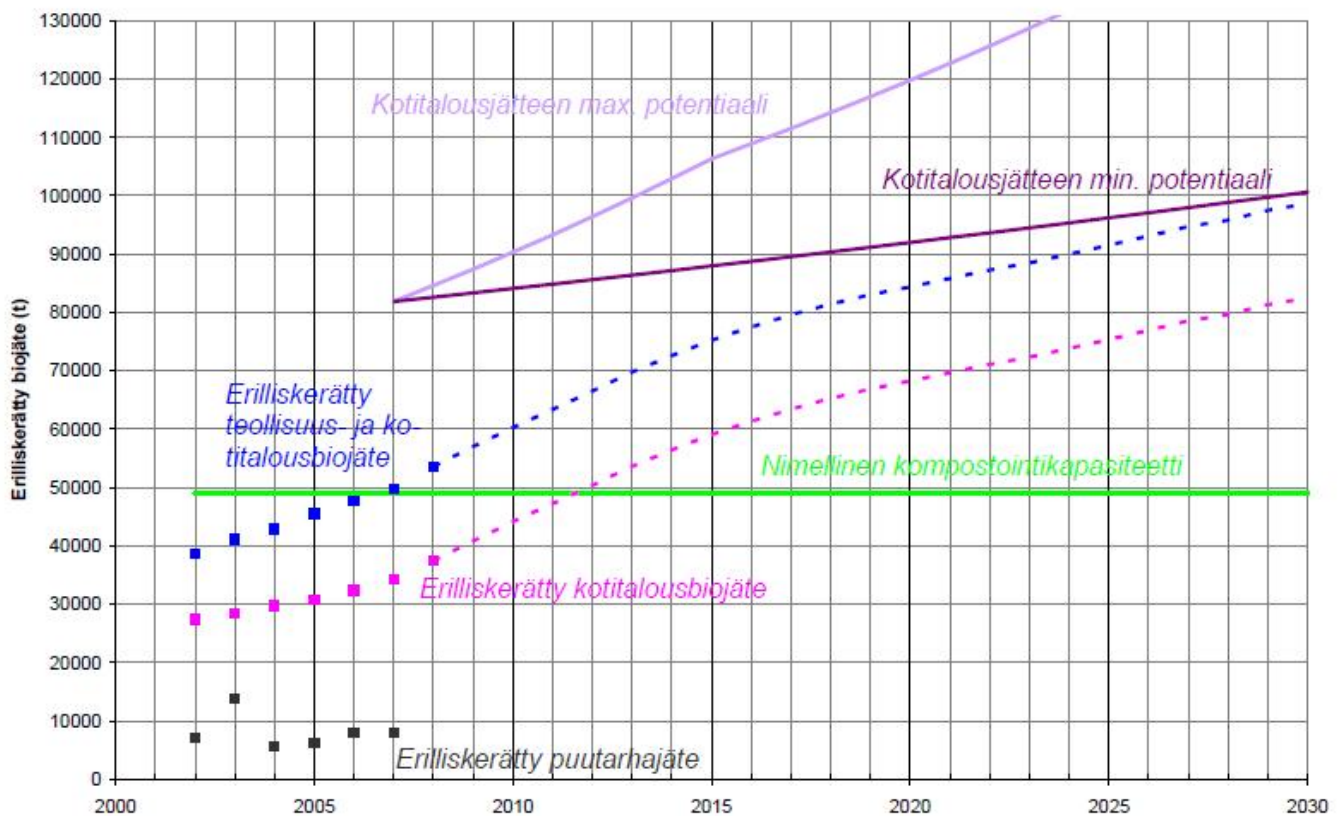
Sisältö	4
1 Johdanto	6
2 Biojäte.....	7
3 Biojätteen käsittely	8
4 Mädätys.....	8
4.1 Yleistä mädätyksestä	8
4.2 Mädätystekniikka Suomessa.....	9
4.3 Mädätyksen kemia	10
4.4 Mädätyksen biologia	11
4.5 Mädätysprosessit	14
4.5.1 Kuivamädätys	15
4.5.2 Panostoiminen kuivamädätys	15
4.5.3 Jatkuvatoiminen kuivamädätys.....	17
4.5.4 Kuivamädäte.....	18
4.5.5 Märkämädätys.....	21
5 Kompostointi	22
5.1 Yleistä.....	22
5.2 Mikrobiologia	23
5.3 Kompostointiin vaikuttavia tekijöitä	25
5.3.1 Kosteus.....	25
5.3.2 Happamuus	25
5.3.3 Hiili-typpisuhde.....	25
5.3.4 Hiili-fosforisuhde	25
5.4 Kompostointitekniikat	26
5.4.1 Tunnelikompostointi.....	26
5.4.2 Aumakompostointi	26
6 Kompostointikokeet.....	26
6.1 Laboratoriomittakaavan kokeet.....	26
6.2 Toteutus.....	27
6.3 Tulokset.....	28
6.4 Pilot-kokeet.....	30
6.5 Tulokset.....	32

7 Yhteenveto.....	34
Lähdeluettelo.....	35

1 Johdanto

Pääkaupunkiseudulla Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa käsitellään noin 50 000 t biojätettä vuodessa, mistä noin 68 % koostuu kotitalousbiojätteestä ja 32 % teollisuusbiojätteestä. Biojätettä kuitenkin syntyy huomattavasti enemmän ja se kulkeutuu kaato-paikalle sekajätteen mukana.

Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen määrä on kasvanut lähivuosina tasaisesti erilliskeräyksen tehostuessa sekä ihmisten tietoisuuden kasvaessa. Kasvusta johtuen Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen uuden kompostointilaitoksen jätteenkäsittelyka-pasiteetti on jäämässä pieneksi. Kapasiteettivajeen vuoksi Helsingin Seudun Ympäris-töpalvelu (HSY) on joutunut ostamaan lisäkäsittelykapasiteettia mm. Envor Biotech Oy:ltä, joka ylläpitää mädätyslaitosta Forssassa. Kapasiteettivaje on johtanut myös pää-kaupunkiseudulla uuden mädätyslaitoshankkeen aloittamiseen, mihin myös tämä insi-nööriö liittyy. [2]



Kuva 1. Biojätteen määrän kasvun ennuste [2]

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää mädätetyn biojätteen kompostoitavuutta ja siihen liittyviä tekijöitä. Insinööriyö tehtiin HSY:n jätteenkäsittelypalvelun yksiköön. Työn kokeellinen osuus suoritettiin Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen kompostointilaitoksella.

Insinööriyön kokeellisessa osassa selvitettiin mädätetyn biojätteen kompostoitumista laboratoriomittakaavassa sekä suuremmassa 0,5 m³ mittakaavassa. Lisäksi selvitettiin mädätteen muita ominaisuuksia, kuten pH-, kuiva-aine-, tuhka- ja C/N-pitoisuudet.

Kompostointikokeissa käytetty mädäte saatiin Vaasan Stormossenin jätteenkäsittelykeskuksesta, jossa on Suomen ensimmäinen puhtaasti biojätteen biokaasutuslaitos. Suomessa yleisempiä ovat biokaasulaitokset, joissa käsiteltävä aines on lantaa, lietettä tai biojätteen ja lietteen seosta.

2 Biojäte

Biojätteellä tarkoitetaan biologisesti hajoavaa kiinteää jätettä, jotka voidaan käsitellä kompostoimalla. European Waste Cataloguessa (EWC) biohajoaviin jätteisiin luetaan myös puutarhajätteet eli lehdet, ruohot ja risut, puu, paperi ja kartonki sekä vaatteet ja tekstiilit. Suomessa nämä jätelajit kerätään ja käsitellään erikseen. [1; 3]

Pääkaupunkiseudulla HSY luokittelee seuraavat jätteet biojätteiksi: [4]

- ruoantähteet, pilaantuneet elintarvikkeet
- kuoret ja perkeet
- kiinteät rasvat
- kahvin ja teen porot, teepussit ja suodatinpaperit
- talouspaperit, lautasliinat ja nenäliinat
- kasvinosat ja kuihtuneet kukat
- lemmikkieläinten pupohjaiset kuivikkeet (purut, pelletit yms.)

3 Biojätteen käsittely

Biojätettä voidaan käsitellä joko aerobisesti eli hapen läsnä ollessa kompostoimalla tai anaerobisesti eli hapettomissa olosuhteissa, mädättämällä tai alkoholikäymisellä. Suomessa kompostointi on ollut johtavassa asemassa helppoutensa vuoksi, mutta anaerobisella tekniikalla saatavat hyödyt ovat alkaneet kiinnostaa entistä enemmän ilmasto- ja energiapolitiikan myötä.

Kompostoinnissa biojäte hajotetaan bakteerien avulla humuspitoiseksi kompostiksi, jota voidaan käyttää mullan valmistukseen, maanparannusaineena tai lannoitteena. Kompostoinnissa muodostuu myös lämpöenergiaa, mutta sen hyötykäyttö on hankalaa.

Mädätyksessä biojäte hajoaa anaerobisissa olosuhteissa humuspitoiseksi kompostimaiseksi mädätteeksi sekä biokaasuksi, jonka hyödyntäminen energiana on huomattavasti tehokkaampaa kuin kompostoinnin lämpöenergian hyödyntäminen.

Alkoholikäymisessä orgaaninen aines hajoaa mikrobitoiminnan avulla hiilidioksidiksi ja etanoliksi, joka voidaan konsentroida ja käyttää liikennepolttoaineena. ST1 on Suomessa tämänkaltaisen ekoteknologian edelläkävijä.

4 Mädätys

4.1 Yleistä mädätyksestä

Mätänemistä tapahtuu aina, kun orgaaninen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Tyypillisiä esimerkkejä ovat kaatopaikat, riisipellot, järvien sedimentit ja suot. Ympäristössä muodostuvat metaanipäästöt vapautuvat ilmakehään ja edesauttavat kasvihuoneilmiötä. Hallituissa olosuhteissa mätänemisprosessista muodostuvat kaasut saadaan kerättyä talteen ja käytettyä hyödyksi.

Mädätysprosessissa orgaaninen aines muuttuu mikrobien toimesta vähemmän aktiiviseen stabiilimpaan muotoon anaerobisissa olosuhteissa. Prosessista muodostuu biokaasua, joka koostuu pääosin hiilidioksidista ja metaanista. Metaani on hiilidioksidin jälkeinen merkittävin kasvihuonekaasu, jota esiintyy ilmakehässä. Metaanin vaikutuksen kasvihuoneilmiöön on arveltu olevan 4-9 %.

Taulukko 2. Biokaasun koostumus [5]

Aine	%
Metaani, CH ₄	55-75
Hiilidioksidi, CO ₂	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N ₂	1-5
Vety, H ₂	0-3
Rikkivety, H ₂ S	0,1-0,5
Happi, O ₂	< 0,1

Mädätyksestä saatavaa biokaasua voidaan käyttää joko energian tuottamiseen tai vaihtoehtoisesti liikennepolttoaineena. Energiakäytössä biokaasusta voidaan tuottaa joko sähköä, lämpöä tai molempia. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa biokaasun hyötysuhde on noin 85 %, josta 35 % sähköntuotannosta ja 50 % lämmöntuotannosta. [6]

Liikennepolttoainekäyttöön tarkoitettu biokaasu on puhdistettava lähes puhtaaksi metaaniksi. Puhdistusprosessi kuluttaa runsaasti energiaa, mikä puolestaan laskee biokaasusta saatavan energian hyötysuhdetta jopa alle 50 %:iin.

4.2 Mädätystekniikka Suomessa

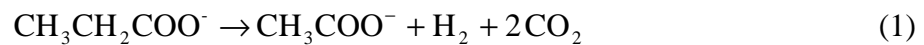
Suomessa on käynnissä 32 biokaasulaitosta, joista 14 kaupunkien jätevesilietteiden kaasutukseen, 8 maatiloilla lannan ja olkien kaasutuksessa, 6 teollisuuden jätevesien puhdistuksessa sekä 6 yhteiskäsittelylaitosta käsittelyssä. Suomessa on myös yksi kuivämädätystekniikkaan perustuva laitos koeajovaiheessa. Vuonna 2008 biokaasua tuotettiin

Suomessa noin 29,9 milj. m³, minkä lisäksi kaatopaikoilta kerättiin 112,2 milj. m³ biokaasua. Biokaasun tuotanto kasvoi vuoteen 2007 nähden 4 %, mihin suurimmin vaikutti Ämmässuon kaatopaikan kaasunkeräyksen tehostuminen. [5; 7]

4.3 Mädätyksen kemia

Mädätysprosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen. Mädätysprosessin ensimmäisessä vaiheessa eli hydrolyysissa ja happokäymisessä hydrolyyttiset ja asidogeeniset mikrobit hajottavat suuria makromolekyylejä, kuten rasvahappoja, hiilihydraatteja ja proteiineja orgaanisiksi hapoiksi, alkoholeiksi ja muiksi pienmolekyyleiksi.

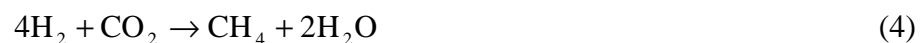
Toisessa vaiheessa eli etikkahappokäymisessä heteroasetogeeniset mikrobit pelkistävät orgaanisia pienmolekyylejä monimutkaisen metaboliensa avulla, jolloin syntyy asetaatteja, vetyä ja hiilidioksidia.[8; 17]



Homoasetogeenit käyttävät metaboliassaan heteroasetogeenien muodostamaa vetykaasua tuottaen asetaatteja ja vettä.

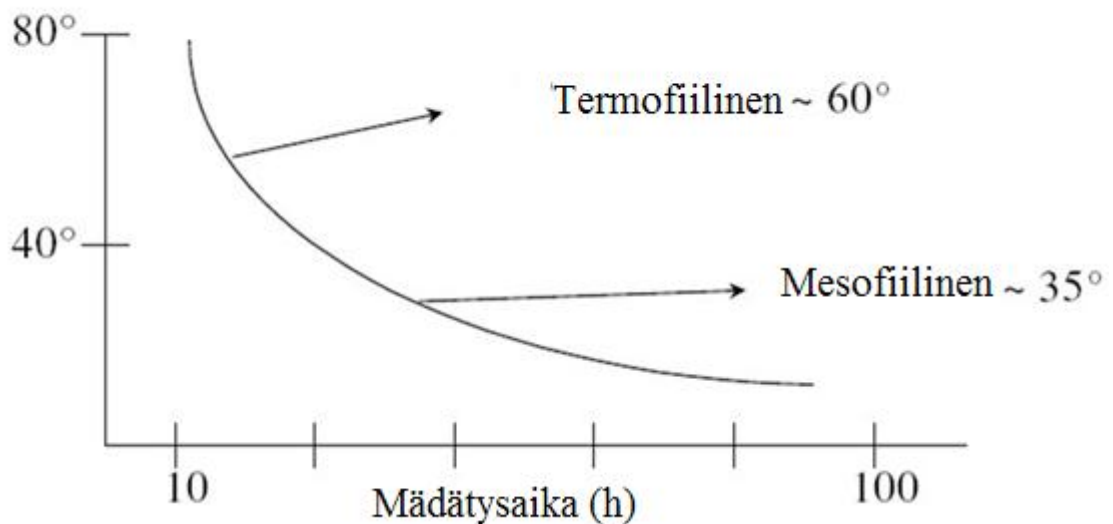


Viimeisessä vaiheessa metanogeeniset bakteerit tuottavat metaanikaasua asetaateista tai vedystä ja hiilidioksidista.



4.4 Mädätyksen biologia

Mädätysprosessi voi olla joko psyofiilinen (15 °C), mesofiilinen (35 °C) tai termofiilinen (55 °C). Teollisessa mittakaavassa mesofiiliset sekä termofiiliset prosessit ovat eniten käytettyjä, koska korkeammassa lämpötilassa tapahtuva prosessi etenee nopeammin ja siten vähentää prosessin viipymäaika. Lyhyempi viipymäaika tarkoittaa myös käsittelykapasiteetin lisäystä. [9]

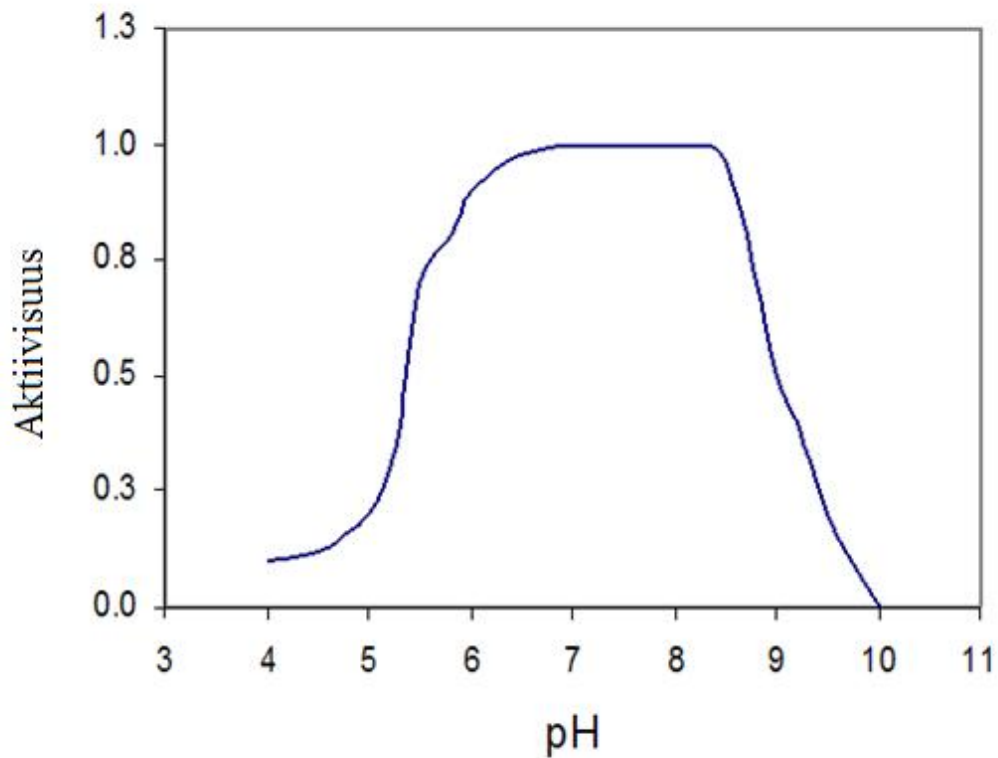


Kuva 2. Lämpötilan vaikutus mädätysprosessin viipymä- aikaan [8]

Lämpötila-alueella 40-50 °C biokaasun tuotanto on kuitenkin merkittävästi heikentynyt, sillä mesofiiliset tai termofiiliset mikrobit eivät kykene toimimaan kunnolla kyseisellä lämpötila-alueella.[8]

Mädätysprosessin haasteellisuus johtuu mikrobeille järjestettävistä anaerobisista olosuhteista ja prosessin kolmivaiheisuudesta, kun kompostoinnissa vaihteita on vain yksi. Mitä pidemmälle prosessi etenee, sitä spesifisempiä eli erikoistuneempia mikrobit ovat ja siten myös herkempiä olosuhteiden muutoksille verrattuna kompostoinnin sekapopulaatioihin.

Mädätysprosessin kannalta pH:n optimialue on hieman neutraalin yläpuolella, noin 6,5-8,5. Etenkin metanogeenisille mikrobeille pH:n pysyminen optimialueella on tärkeää, muutoin mikrobikanta saattaa kärsiä.



Kuva 3. pH:n vaikutus metanogeenisten mikrobien aktiivisuuteen [8]

Prosessin ensimmäisessä vaiheessa hydrolyyttiset ja asidogeeniset mikrobit hajoittavat biomassan orgaanista ainesta orgaanisiksi hapoiksi ja muiksi pienmolekyyleiksi. Tämän vaiheen mikrobit ovat joko anaerobeja tai fakultatiivisia. Anaerobit kasvavat vain hapettomissa olosuhteissa, mutta fakultatiiviset voivat kasvaa sekä aerobisissa ja anaerobisissa olosuhteissa.

Ensimmäisen vaiheen mikrobeja ovat esimerkiksi *Clostridium*, *Eubacterium*, *Lactobacillus* ja *Bifidobacterium*.

Toisessa vaiheessa mm. propionaatteja, alkoholeja ja bentsoaatteja hajottavat mikrobit tuottavat asetaatteja ja vetykaasua. Syntyvä vetykaasu on tarpeellinen homoasetogeeni

sille ja metanogeenisille mikrobeille, mutta liian suurina pitoisuuksina vetykaasu hidastaa toisen asetogeenisten mikrobien toimintaa. Etenkin prosessin käynnistyessä, kun metanogeenisten bakteereiden määrä on pieni, liiallinen vetykaasu saattaa hidastaa asetogeenien toimintaa.[8; 18]

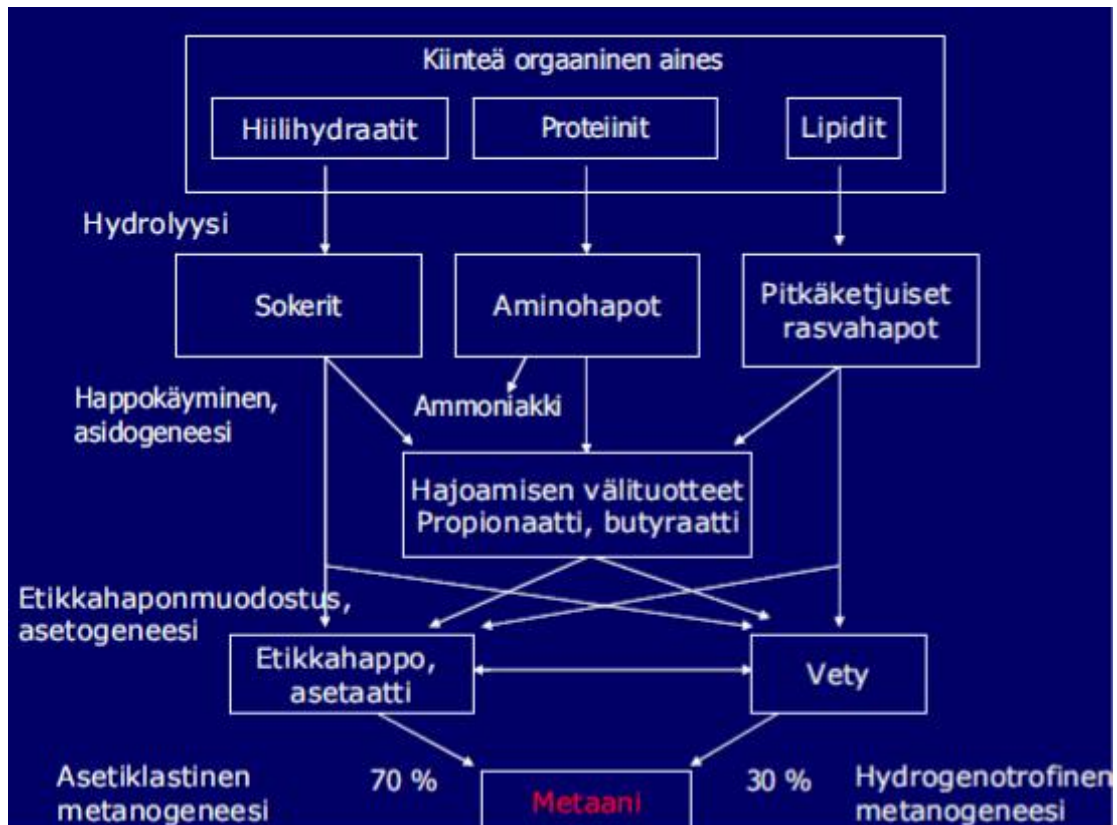
Homoasetogeenit kuluttavat asetogeenien tuottamaa vetyä ja hiilidioksidia tuottaen asetaattia, joka on tärkeä aine metaanin muodostumisen kannalta. Yleisiä asetogeeniä on esimerkiksi *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas* sekä *Clostridium aceticum* ja *Acetobacterium wodii*, jotka ovat homoasetogeeniä.

Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa metanogeeniset mikrobit tuottavat metaania ja hiilidioksidia asetaateista tai vedystä ja hiilidioksidista. Metanogeeniset mikrobit eroavat aiempien vaiheiden mikrobeista huomattavasti. Prosessin ensimmäisen ja toisen vaiheen mikrobit koostuvat bakteereista, kun metanogeeniset mikrobit kuuluvat arkkeihin (*Archea*).

Metanogeenit ovat hidaskasvuisia, ja ne jakaantuvat kerran 1-10 vuorokaudessa, kun esimerkiksi tavallinen *E. coli* jakaantuu noin kerran 20 minuutissa. Hitaan kasvunopeuden lisäksi on todettu, että sulfaattipitoisessa biomassassa sulfaattia pelkistävät mikrobit kilpailevat metanogeenien kanssa. [8; 10]

Tunnettuja metanogeeniä on noin 50 esimerkiksi *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanospirillum* ja *Methanosarcina*.

Biokaasutusprosessissa metanogeenit ovatkin prosessin rajoittavia tekijöitä, johtuen niiden hitaasta kasvunopeudesta, herkkydestä happea kohtaan sekä kilpailusta sulfaatteja pelkistäviä mikrobeja kohtaan vedyn ja asetaatin läsnä ollessa. [8; 10]



Kuva 4. Orgaanisen aineen hajoaminen anaerobisesti biokaasuksi [11]

4.5 Mädätysprosessit

Mädätysprosessiin kuuluu mädätettävän materiaalin vastaanotto, varastointi, esikäsitteily, esimerkiksi murskaus, varsinainen biokaasutus eli reaktorivaihe, mädätteen jälkikäsitteily esimerkiksi kuivaamalla tai kompostoimalla sekä biokaasun puhdistus ja paineistaminen.

Prosessit voivat olla joko termofiilisiä ($T \sim 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$) tai mesofiilisiä ($T \sim 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Termofiilisessä prosessissa käsiteltävä materiaali hajoaa nopeammin mikä tarkoittaa korkeampaa kuormitusta ja pienempää reaktorikokoa. Termofiilisessä prosessissa käsiteltävä materiaali myös hygienisoituu prosessin aikana, jolloin mädätettä ei tarvitse erikseen hygienisoida. Termofiilisen prosessin haittana on sen herkkyys lämpötilan ja pH:n muutoksille sekä inhibitiolle eli mikrobikasvun hidastumiselle, kun puolestaan mesofiilinen prosessi on vakaampi. [11]

4.5.1 Kuivamädätys

Kuivamädätys soveltuu parhaiten kiinteiden biomassojen käsittelyyn. Kuivamädätykseen käytettävän massan kiintoainepitoisuus on 25 – 50 m-%. Korkean kiintoainepitoisuuden takia biomassaa on helpompaa käsitellä kuin märkämädätyksen lietteitä, eikä jäljelle jäävää mädätettä tarvitse kuivata niin paljon kuin märkämenetelmässä. Korkeampi kiintoainepitoisuus tarkoittaa myös sitä, että käsiteltävää materiaalia on vähemmän. Suurin osa kuivamädätyslaitoksista toimii termofiilisellä lämpötila-alueella, jolloin mädätteen hygienisointi tapahtuu prosessin aikana. [11]

Biojätettä mädätettäessä kuivamädätysprosessissa kuluu huomattavasti vähemmän vettä kuin märkämädätysmenetelmässä, koska biomassaa ei tarvitse liettää ennen prosessiin syöttöä. Tämä vähentää mädätteen kuivauskustannuksia sekä syntyvän jäteveden määrää. [9]

Kuivamädätystekniikalla saadaan koko massalle tasainen viipymä-aika, joka auttaa tasalaatuisen lopputuotteen saamista, kun taas märkämenetelmässä viipymäaika voi vaihdella suuresti. Kuivamädätyksen raaka-aineeksi kelpaavat esimerkiksi erilliskerätty biojäte, peltoenergiakasvit, kuivattu lanta, puutarhajätteet, rehupaalit, ruokajäte ja glyseriini.

Kuivamädätyksessä metaanintuotto on korkeampi reaktoritilavuutta kohden kuin märkämenetelmässä, eli reaktorit voivat olla pienempiä. [11]

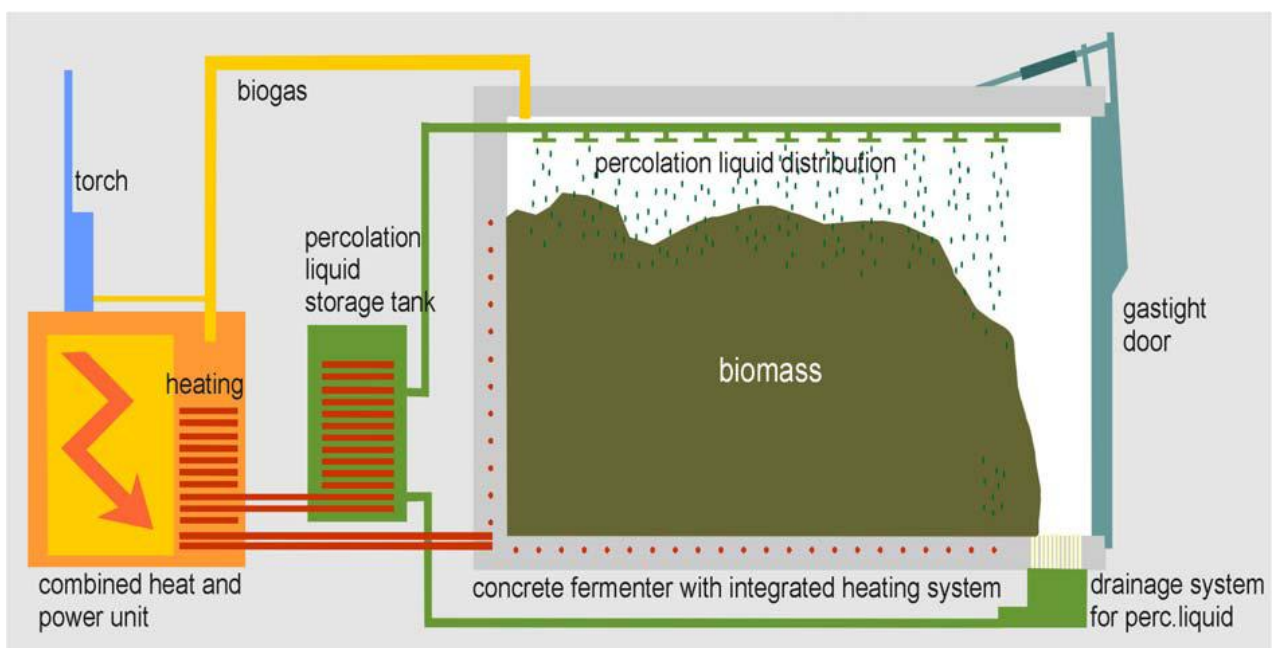
Kuivamädätys voidaan toteuttaa joko panos- tai jatkuvatoimisena. Molemmissa prosesseissa viipymä-aika on noin 30 päivää. [11]

4.5.2 Panostoiminen kuivamädätys

Panostoimisena toimiva laitos sisältää useita reaktoreita, joihin mädätettävä jäte vaihdetaan aina kerralla. Vaihto voidaan tehdä esimerkiksi pyöräkoneella tai erillisellä täyttölaitteella. Koko massan vaihdosta huolimatta kaasuntuotto pysyy kuitenkin melko tasaisena useiden reaktoreiden johdosta. Panostoimisessa reaktorissa voidaan käyttää korke-

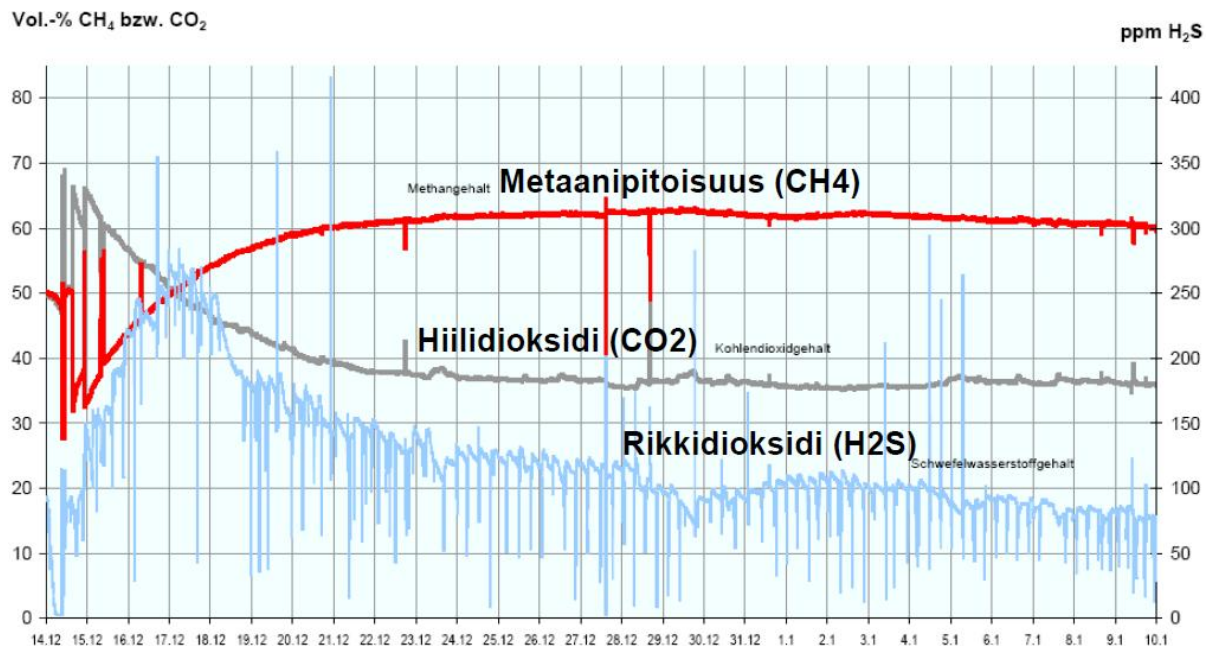
aa kuiva-ainepitoisuutta, sillä massa ei vaadi sekoittamista tai pumppaamista. Samalla energian tarve vähenee. [9]

Panostoimisessa laitoksessa kaasuntuotto käynnistetään prosessista saatavan, mikrobeja sisältävän ympyviveden avulla, jolla massaa kastellaan mädätyksen aikana. Ympyvettä kierrätetään reaktoreiden alaosasta ympyvesisäiliöön, josta sitä voidaan taas käyttää kasteluun. [9]



Kuva 5. Panostoimisen kuivamädätysreaktorin periaate, jossa biomassaa kastellaan ympyvivedellä. Ympyvettä saadaan kerättyä reaktorin pohjalla olevan viemäroinnin kautta, josta se johdetaan lämmitettävään säiliöön ja sieltä edelleen takaisin prosessiin. [12]

Bekonin kuivamädätystekniikalla luvataan yhtä suurta metaanintuottoa kuin märkämädätyslaitoksilla. Rikkivedyn määrän kerrotaan olevan keskimäärin 20 ppm, joka ei edellyttäisi erillistä rikinpoistoyksikköä kaasulaitokselle. Kuvasta 6 voidaan kuitenkin nähdä, ettei rikkivedyn tuotto ole tasaista prosessin aikana.

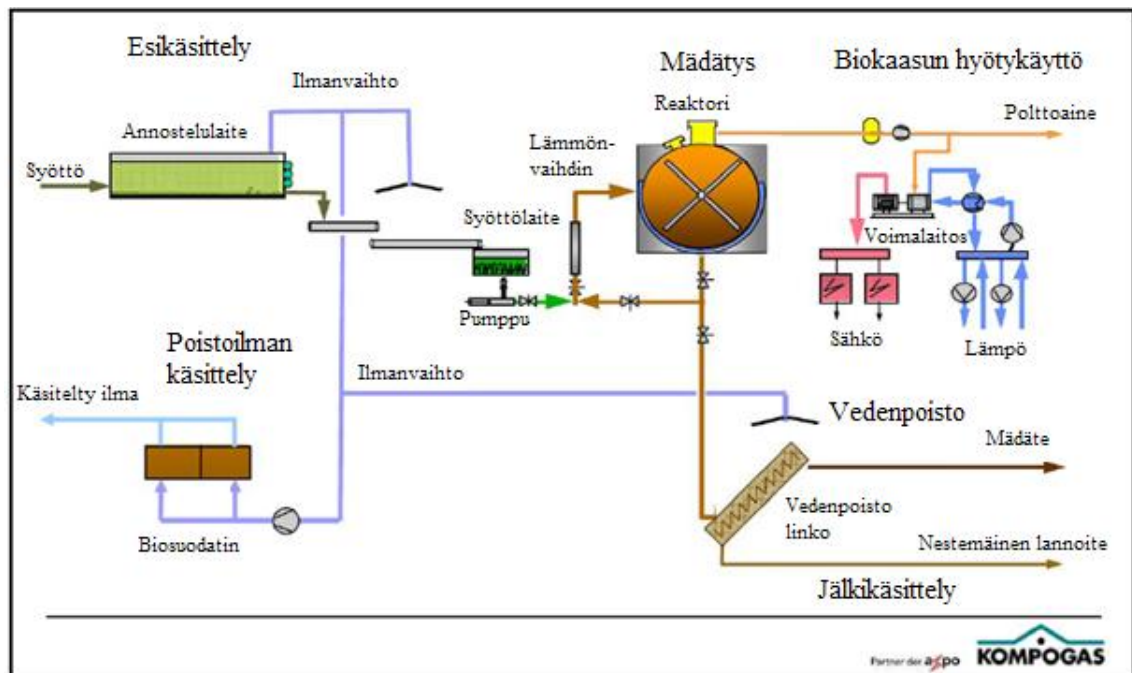


Kuva 6. Esimerkki kaasuntuotto panostoimisella kuivamädätysreaktorilla [12]

4.5.3 Jatkuvatoiminen kuivamädätys

Jatkuvatoimisessa kuivamädätyslaitoksessa on yleensä suuri reaktori, jonka sisällä pyörivät siivekkeet kuljettavat mädätettävää massaa hitaasti kohti reaktorin loppupäätä. Massan viipymäaika reaktorissa on noin 30 päivää.

Myös jatkuvatoimisessa kuivamädätysreaktorissa massaan lisätään ympäristöä prosessin alkuvaiheessa käynnistämään biologisen hajotuksen. Prosessin optimikosteus on noin 30 %. [9]



Kuva 7. Kompogas AG:n jatkuvatoimisen kuivämädätyslaitoksen virtauskaavio[9]

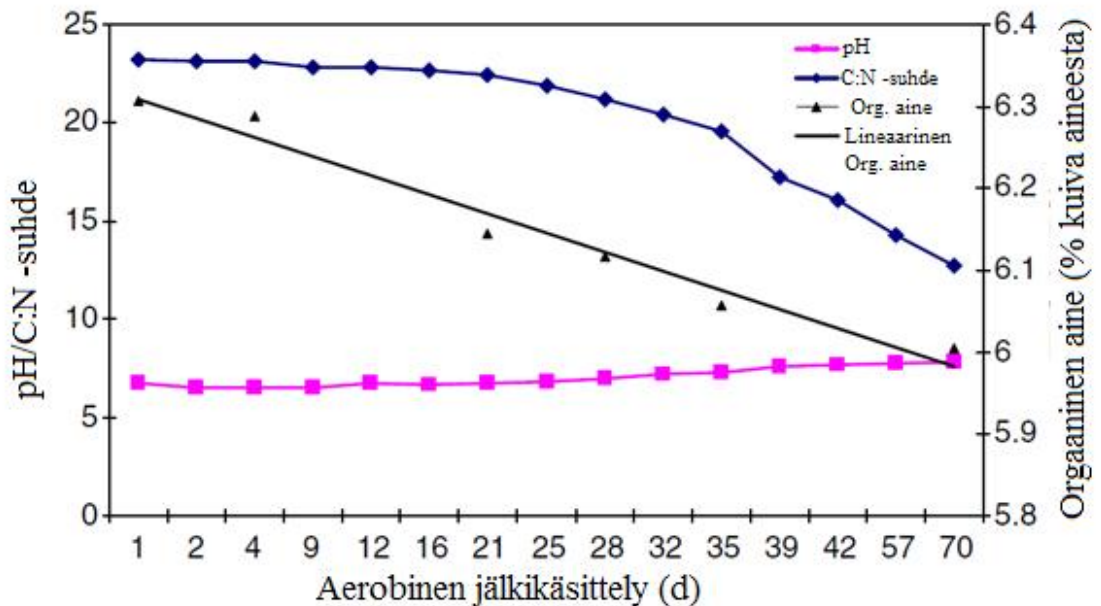
4.5.4 Kuivämädäte

Kuivämädätteen koostumusta ja kompostointia on tutkittu ainakin Skotlannissa, missä tutkijaryhmä määrittä raa'an ja kompostoidun mädätteen eroja kasvitestien avulla. Tutkimuksessa määritettiin myös pH:n, C/N-suhteen ja orgaanisen aineen määrän muuttumista kompostoinnin eri vaiheissa.

Tutkimuksen lähtöaineena käytettiin ruoka- ja puutarhajätettä, jotka murskattiin ja sekoitettiin. Lähtöaineseosta mädätettiin 15 päivän ajan panosreaktorissa 55 °C:n lämpötilassa. Saatu mädäte suljettiin purkkeihin, joita ilmastettiin 5 h päivässä optimaalisen aerobisen hajoamisen saavuttamiseksi. Purkkien lämpötila pidettiin ensimmäisten 5 viikon aikana 55 °C:ssa, seuraavaksi kolmeksi viikoksi lämpötila laskettiin 35 °C:seen, ja viimeiset 2 viikkoa lämpötila pidettiin 25 °C:ssa. Lämpötilan vaihteluilla pyrittiin pitämään optimaaliset olosuhteet mikrobikasvulle kussakin kompostointivaiheessa.

Mädätyksen jälkeen massan pH oli 6,7 ja C:N-suhde noin 23. Orgaanisen aineen määrä on ilmoitettu prosentteina kuiva-aineesta. Orgaanista ainetta oli mädätyksen jälkeen

noin 6,3 %, josta se laskee kompostoinnin aikana noin 6 %:iin. Tämä on selkeä merkki orgaanisen aineen hajoamisesta kompostoinnissa. C:N-suhde laskee noin 23:sta 12,7:ään, joka myös kertoo kompostointiprosessin käymisestä. Mädätteen pH kasvoi kompostoinnin aikana 6,7:stä 7,8:aan.



Kuva 8. Mädätteen fysikaalisten ominaisuuksien muuttuminen kompostoinnin edetessä [13]

Tutkimuksen mukaan mädätteen käyttäminen suoraan lannoitteena ei ole paras vaihtoehto, mädätteen viskositeetin, hajun ja fytotoksisuuden eli kasvimyrkyllisyyden takia. Tutkimuksen mukaan helposti hajoavan orgaanisen aineen määrä ja fytotoksisuus korreloivat keskeään. Näitä ominaisuuksia voidaan parantaa yksinkertaisesti pidentämällä mädätysaikaa ja kompostoimalla jäljelle jäänyt mädäte.

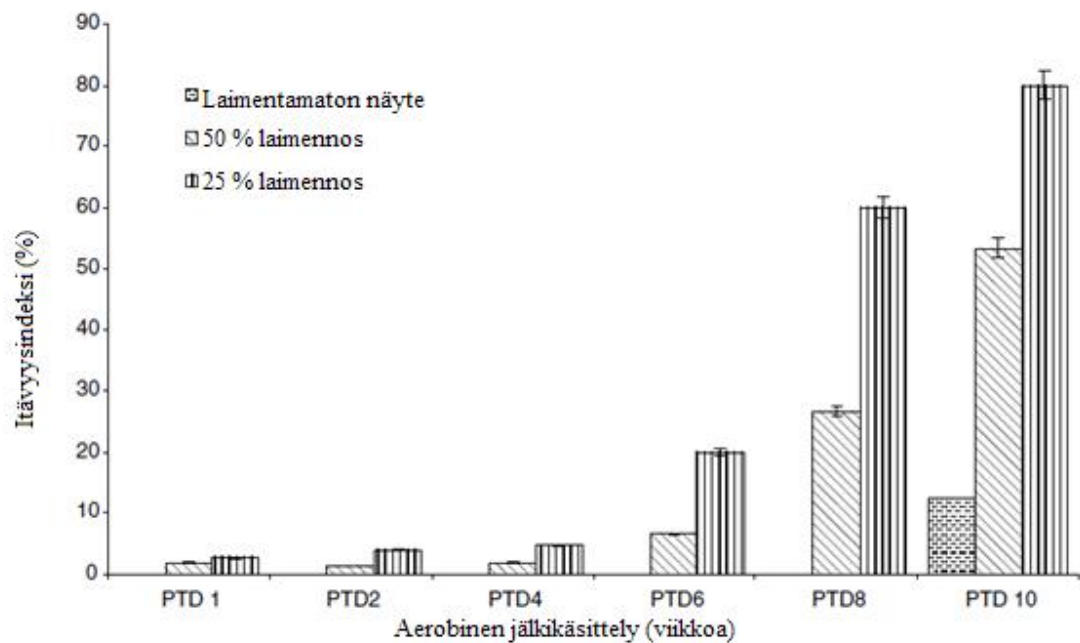
Tutkimuksessa itävyyskokeet suoritettiin liuottamalla 50 g tutkittavaa materiaalia 100 ml:aan tislattua vettä. Seosta sekoitettiin 6 h, jonka jälkeen se sentrifugoitiin. Saadusta nesteestä tehtiin 25- ja 50-prosenttiset laimennokset. Näytteistä injektoitiin 5 ml suodatinpaperilla päällystetyille petrimaljoille, nollanäytteeseen injektoitiin 5 ml ultrapuhdasta vettä. Kullekin maljalle kylvettiin 10 retiisin (*Raphanus sativus* L.) siementä. Näytteet laitettiin pimeään kaappiin 25 °C lämpötilaan 72 tunniksi. Lopuksi itäneet siemenet

ja niiden juurien pituudet laskettiin ja määritettiin itävyyssindeksi. Indeksien ollessa alle 70 voidaan maan todeta olevan fytotoksista.[13]

$$\text{Suhteellinen itävyys} = \frac{\text{Itäneet siemenet näytteessä}}{\text{Itäneet siemenet vertailunäytteessä}}$$

$$\text{Suhteellinen juurikasvu} = \frac{\text{Juurien keskipituus näytteessä}}{\text{Juurien keskipituus vertailunäytteessä}}$$

$$\text{Itävyyssindeksi (GI)} = \text{Suht.itävyys} \times \text{Suht.juurikasvu}$$



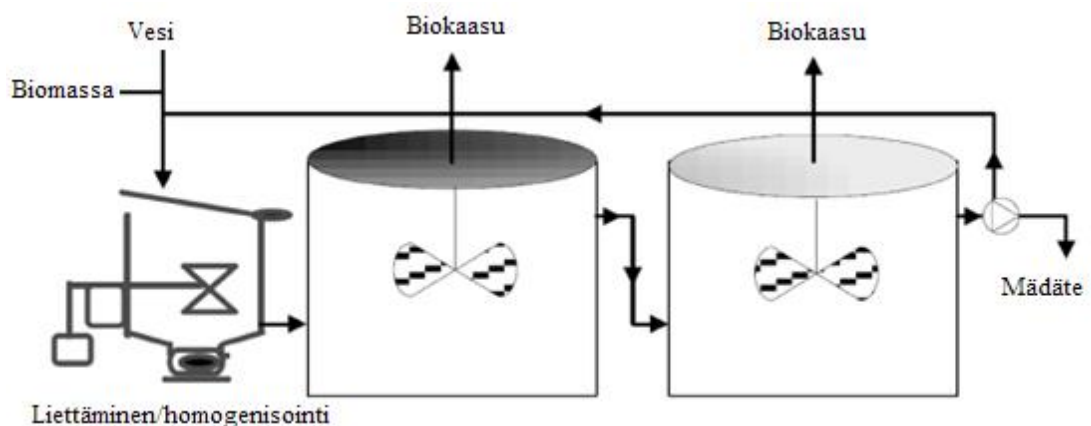
Kuva 9. Fytotoksisuuden muutos kompostoinnin edetessä

4.5.5 Märkämädätys

Märkämädätys on yleisimmin käytössä oleva biokaasutusteknologia, ja se on suunniteltu erityisesti lietteille ja muille alhaisen kiintoainepitoisuuden omaaville materiaaleille. Märkämädätyksessä mädätettävä massa lietetään veteen, jolloin saadaan alle 15 %:n kuiva-ainepitoisuus. Lietetty biomassa syötetään pumpuilla reaktoriin. Biomassan lisäksi raaka-aineena voidaan käyttää myös jätevedenkäsittelylaitosten lietteitä ja maatalouksien lietelantaa.

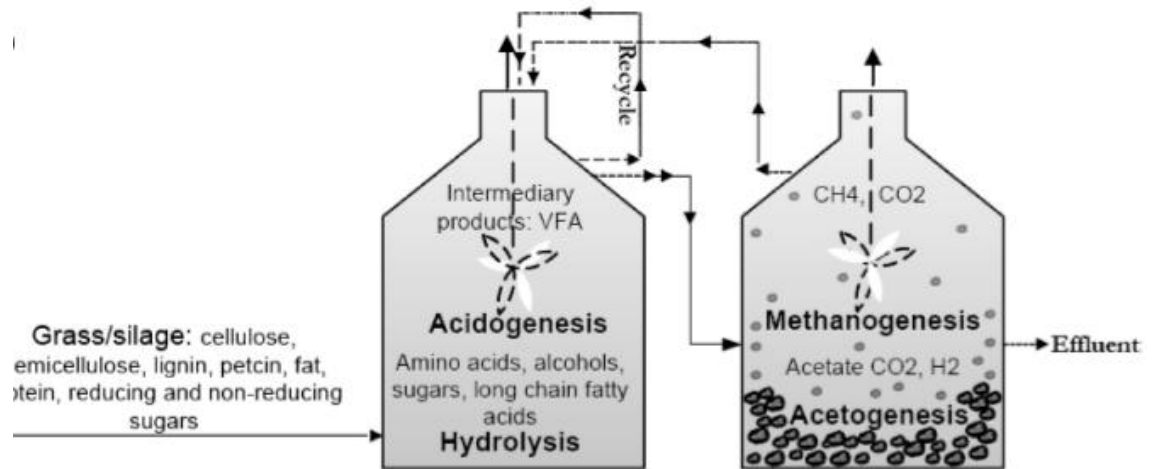
Märkämädätyksessä reaktorit ovat täyssekoitteisia (CSTR= completely stirred tank reactor) ja materiaalin syöttö tapahtuu pumppaamalla liete reaktoriin. Täyssekoitteisessa reaktorissa käsiteltävästä materiaalista saattaa kuitenkin osa massasta kulkea reaktorin läpi hyvinkin nopeasti, jolloin viipymäaika ei ole tasainen koko massalle. [11]

Märkämädätys voidaan tehdä joko yksi- tai kaksivaiheisena. Yksivaiheisessa prosessissa koko prosessi tapahtuu yhdessä reaktorissa, kun taas kaksivaiheisessa prosessissa reaktiot tapahtuvat kahdessa eri reaktorissa.



Kuva 10. Kaksiosainen märkämädätysreaktori [14]

Kaksivaiheinen reaktori voidaan vielä jakaa siten, että hydrolyysi ja asidogeneesi tapahtuvat ensimmäisessä reaktorissa ja jälkimmäisessä reaktorissa tapahtuu sekä aseto- ja metanogeneesi.



Kuva 11. Kaksivaiheinen kaksiosainen mädätysreaktori, jossa ensimmäisessä reaktorissa tapahtuu hydrolyysi ja asidogeneesi ja jälkimmäisessä asetogeneesi ja metanogeneesi. [14]

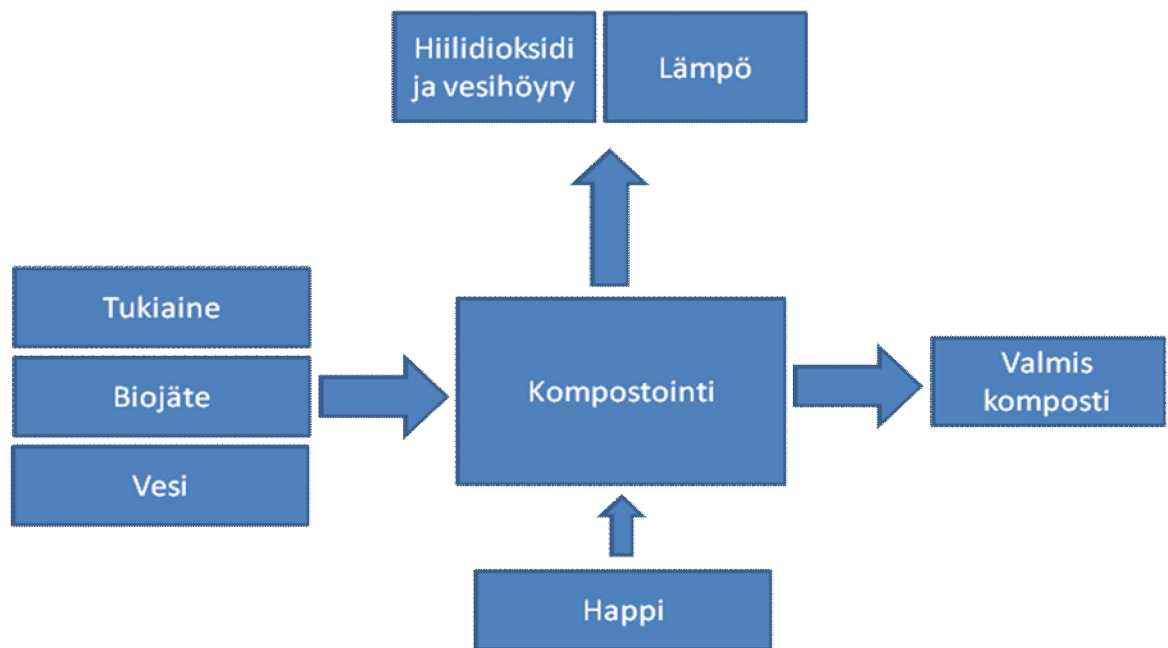
Mädätyksen jälkeen liete kuivataan esimerkiksi lingolla, minkä jälkeen massan kosteus on noin 70 %. Viikinmäen sekä Suomenojan jätevedenpuhdistamoilta tuleva mädäte kompostoidaan ja myydään multatuotteena kuluttajille puutarhakäyttöön. [4; 15]

5 Kompostointi

5.1 Yleistä

Kompostoinnissa orgaaninen aines muuttuu mikrobien toimesta hapellisissa olosuhteissa humuspitoiseksi ja stabiiliksi kompostiksi. Valmis komposti on neutraalin hajuista, ja sitä voidaan käyttää maanparannusaineena.

Kompostoinnilla massan stabilointi kestää kuitenkin kauemmin kuin mädättämällä eikä massasta saada energiaa hyötykäyttöön yhtä tehokkaasti.



Kuva 12. Kompostoinnin periaate

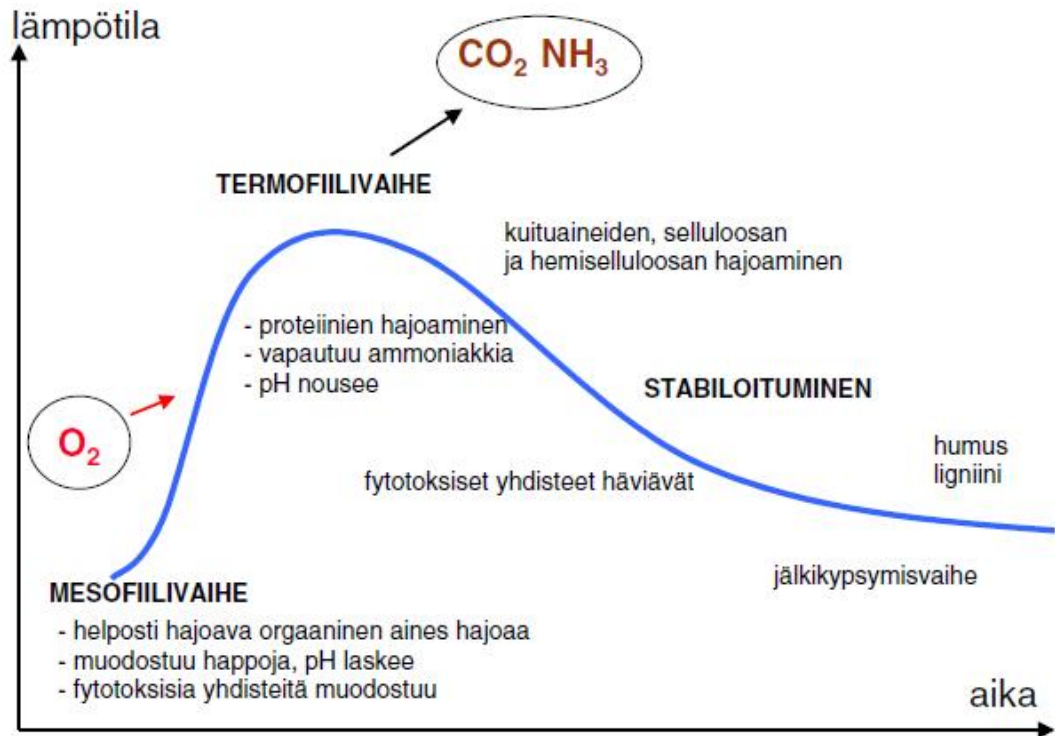
5.2 Mikrobiologia

Kompostoinnissa mikrobien ja sienien sekapopulaatiot käyttävät biomassan sisältämiä orgaanisia yhdisteitä ravinnokseen ja tuottavat hiilidioksidia. Prosessissa lämpötila nousee noin 50-60 °C:seen.

Kompostoinnin alkuvaiheessa mikrobit hajottavat hiilihydraatteja ja rasvoja, jolloin muodostuu orgaanisia happoja. Happojen muodostuminen aiheuttaa pH:n laskun prosessin alkuvaiheessa.

Prosessin keskivaiheessa mikrobit alkavat hajottaa proteiineja, jolloin vapautuu ammoniakkia. Ammoniakkipitoisuuden kasvu johtaa myös pH:n kasvuun ja samalla mikrobikannan muuttumiseen.

Prosessin loppupuolella ns. kypsymisvaiheessa mikrobit alkavat hajottaa pitkämolekyylisiä hiilihydraatteja, kuten selluloosaa ja ligniiniä. Ligniiniä hajottavia mikrobeja on kuitenkin melko vähän, joten suuri osa ligniinistä muodostaa kompostin humuksen.



Kuva 13. Kompostointiprosessin eteneminen [16]

Typpi tulee kompostiin suurelta osaltaan orgaanisessa muodossa proteiinien mukana. Kompostointiprosessissa osa typestä muuttuu ammoniakkikaasuksi ja olosuhteiden sallissa myös anaerobisesti typpikaasuksi. Typen väheneminen kompostista ei ole toivottavaa, sillä kompostin lannoitusarvo laskee typen vähentyessä.

Kompostointiprosessin mesofiilivaiheessa tärkeimpiä hajottajia ovat bakteerit ja sienet. Kypsymisvaiheessa hajottajat ovat monimutkaisempia organismeja kuten matoja, alkueläimiä ja niveljalkaisia.

Kompostoinnin alkuvaiheessa mesofiiliset bakteerit ovat enemmistönä. Lämpötilan kasvaessa, termofiiliset bakteerit ja sienet syrjäyttävät mesofiiliset mikrobit. Prosessin loppuvaiheessa sädesienten ja muiden hitaammin kasvavien mikrobien osuus alkaa kasvaa.[8]

5.3 Kompostointiin vaikuttavia tekijöitä

5.3.1 Kosteus

Kompostoinnissa massan optimikosteus on 50 - 60 %. Liian kuivassa kompostissa hajottajabakteerien määrä laskee ja samalla laskee myös hajoamisnopeus ja lämpötila. Liian märässä kompostissa massa tiivistyy ja hapen pääsy massaansa heikkenee. Liiallinen kosteus myös laskee prosessin lämpötilaa. Optimikosteuteen vaikuttaa myös massan koostumus. Hienojakoisempi aine tiivistyy helpommin, jolloin kosteuden tulisi olla alhaisempi. Karkeampijakoisessa massassa voidaan käyttää korkeampaa kosteuspitoisuutta.

5.3.2 Happamuus

Kompostointiprosessin alkuvaiheessa pH laskee happokäymisen johdosta. Prosessin nopeuden ja toimivuuden kannalta tämä vaihe on prosessia hidastava. Optimaalisessa prosessissa pH:n tulisi nousta mahdollisimman nopeasti yli 7, jolloin termofiiliset hajottajamikrobit pääsevät yleistymään massassa. Tarvittaessa pH:n kasvua voidaan nopeuttaa lisäämällä prosessoitavaan massaansa emäksistä ainetta, esimerkiksi kalkkia tai tuhkaa.

5.3.3 Hiili-typpisuhde

Hiili-typpisuhteella tarkoitetaan kompostoitavassa massassa olevan hiilen ja kokonaisympäristön suhdetta. Optimaalinen hiili-typpisuhde on noin 40:1. Jos typen määrä massassa on pieni, mikrobit eivät kasva kunnolla. Jos typpeä on puolestaan ylimäärin, se vapautuu ammoniakkikaasuna prosessista. [8]

5.3.4 Hiili-fosforisuhde

Kompostoinnissa fosforin määrä pysyy vakiona koko prosessin ajan, mutta liukoisen fosforin osuus vaihtelee prosessin eri vaiheissa. Hyvä hiili-fosforisuhde on 70-100:1. Korkeampi fosforin määrä edistää typpensitojamikrobien toimintaa ja siten hidasta ammoniakkin muodostumista.[8]

5.4 Kompostointitekniikat

5.4.1 Tunnelikompostointi

Tunnelikompostoinnissa biomassa ja tukiaineseos täytetään tunneliin, jonka pohjalla on ilmastusputket. Putkien läpi puhalletaan koneellisesti ilmaa kompostoitavaan massaan, jolloin kompostoituminen nopeutuu.

5.4.2 Aumakompostointi

Aumakompostoinnissa biomassa sekoitetaan tukiaineeseen ja kartionmallisiksi pitkiksi aumoiksi ulkoilmakentille. Aumoja käännetään ja kastellaan tarpeen mukaan, jottei mädänemistä tai massan kuivumista pääsisi tapahtumaan.

Aumakompostointi sopii parhaiten puutarhajätteen ja muun hajuttoman biojätteen sekä lievästi pilaantuneiden maamassojen käsittelyyn.

6 Kompostointikokeet

6.1 Laboratoriomittakaavan kokeet

Kokeiden tarkoituksena oli löytää sopiva tukiaineen ja mädätteen seossuhde kompostointia varten. Kokeet aloitettiin pienessä mittakaavassa Rottegrad-testillä, joissa reaktorin koko on 1,5 l. Lisäksi mitattiin mädätteen hiili-typpisuhde, kuiva-ainepitoisuus, pH sekä orgaanisen aineen määrä.

Rottegrad-testiä käytetään kompostin kypsyyden määrittämiseen. Testissä seurataan kompostoituvan massan lämpötilakehitystä 10 päivän ajan, jonka jälkeen massa luokitellaan eri kypsyyssasteisiin maksimilämpötilojen mukaan. [16]

Rottegrad-testin luokitukset:

Luokka I: yli 60 °C; raaka jäte

Luokka II: 50 - 60 °C; tuore komposti

Luokka III: 40 - 50 °C; tuore komposti

Luokka IV: 30 - 40 °C; kypsä komposti

Luokka V: 20 - 30 °C; kypsä komposti

[16]

6.2 Toteutus

Kokeet suoritettiin kolmena rinnakkaisena sarjana, joissa tukiaineen seossuhteet olivat 0, 10, 20, 30, 40 ja 50 % mädätteen painosta. Jokainen seos valmistettiin yhdellä kertaa, jonka jälkeen seos jaettiin kolmeen rinnakkaiseen mittausastiaan. Astiat siirrettiin veto-kaappiin ja niihin pantiin lämpötila-anturit. Kuvia koejärjestelystä liitteessä 2.

Lämpötilan kehitystä seurattiin päivittäin 10 päivän ajan, jonka jälkeen voitiin piirtää kuvaaja lämpötilojen kehityksistä ajan funktiona. Kuvaajasta voidaan päätellä, kuinka paljon kompostoituvassa materiaalissa on vielä voimaa eli kuinka stabiilia komposti on.

Ensimmäisessä koesarjassa tukiaineena käytettiin risuhaketta, jonka todettiin myöhemmin vaikuttavan jo itsessään lämpötilakehitykseen. Tämän takia suoritettiin vielä toinen koesarja, jossa tukiaineena käytettiin rakennuspuuhaketta.

Toinen koesarja tehtiin kolmella eri seossuhteella kahtena rinnakkaisena kokeena. Seossuhteet kokeessa olivat 10 %, 30 % ja 50 %. Samalla tehtiin vielä uusi koesarja ensimmäisten kokeiden massoista.

Ensimmäisten kokeiden rinnakkaisnäytteiden massat sekoitettiin ja pantiin uudelleen kompostoitumaan vain kahtena rinnakkaisena näytteenä, koska kokeiden ensimmäisessä vaiheessa massojen tilavuudet olivat laskeneet noin 75 %:iin alkuperäisestä. Tämän kokeen tarkoituksena oli simuloida tunnelikompostoinnissa tehtävää kääntöä, jossa massa pöyhitään ja kastellaan tehokkaamman kompostoimisen saavuttamiseksi.

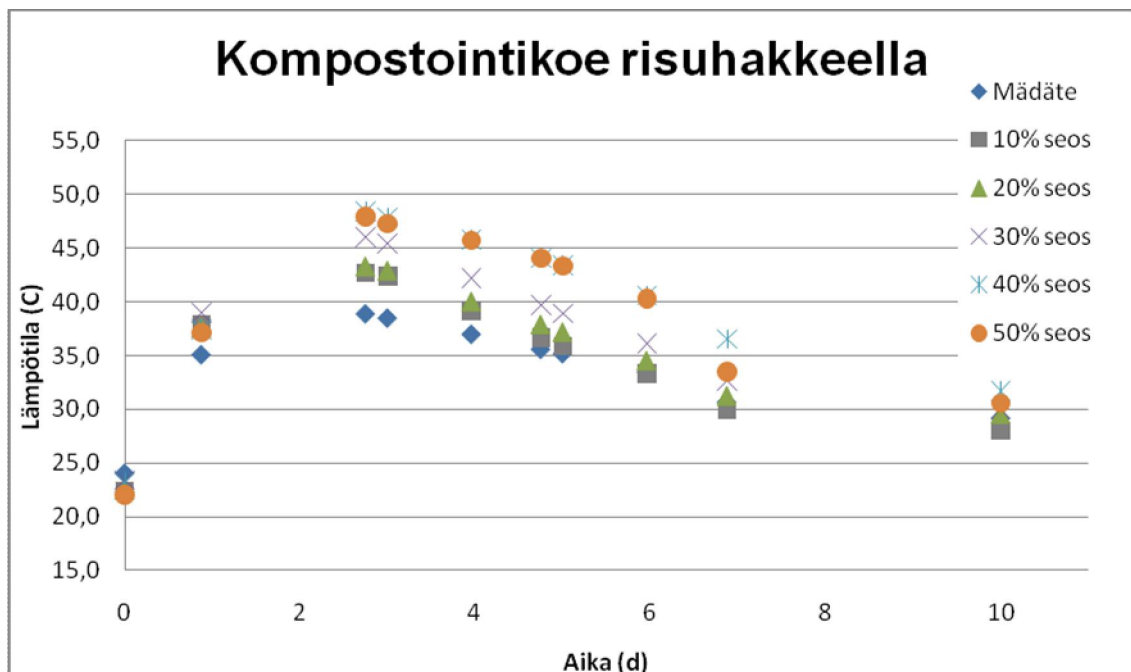
Kolmas koesarja tehtiin vain kahtena rinnakkaisena kokeena mädätteen rajallisen määrän vuoksi. Seossuhteet olivat 10 %, 20 % ja 30 % ja tukiaineena käytettiin rakennuspuuhaketta. Kolmannen koesarjan tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon tukiaineena käytetty risuhake vaikutti aikaisempien kokeiden lämpötiloihin.

Mädätteen ammonium- ja kokonaistypen, C:N-suhteen, tilavuuspainon ja tuhkapitoisuuden määrittäminen tehtiin Novalab Oy:ssä (liite 1).

6.3 Tulokset

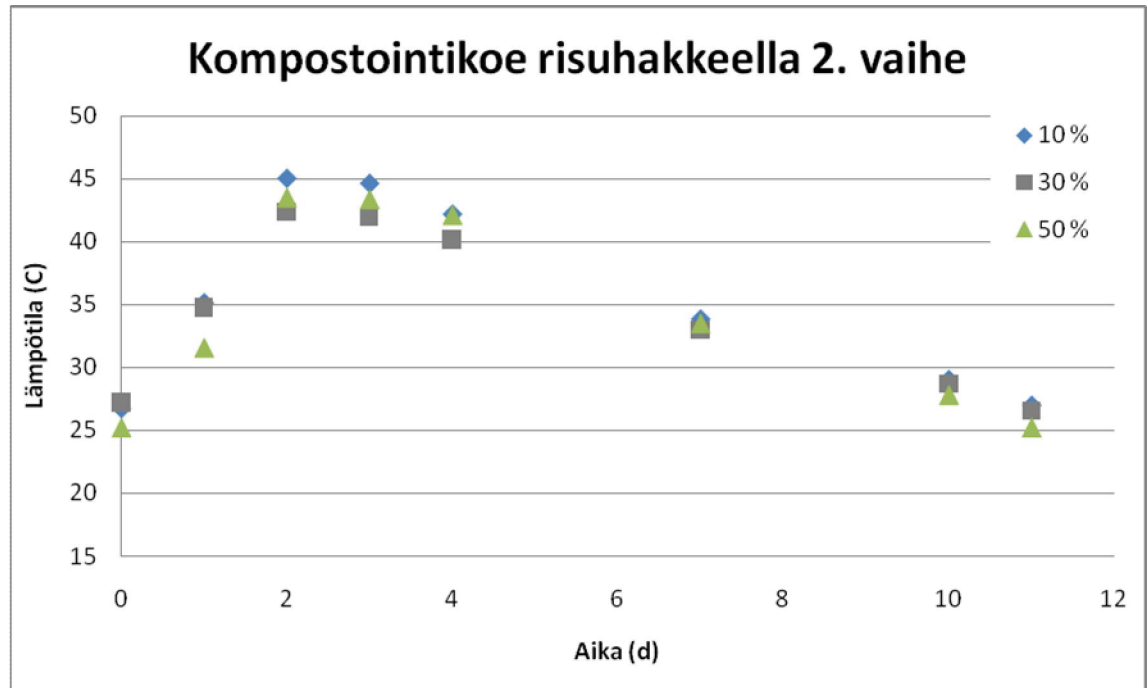
Mädätteen kosteuspitoisuus kompostointikokeiden alussa oli 73,3 %. Tukiaineena käytetyn risuhakkeen kosteus oli 57,4 %. Kosteuspitoisuudet olivat korkeita, joten kompostin kosteus kokeiden alussa oli hieman liian suuri. Mädätteen C:N-suhteeksi mitattiin 8.0. Typeä mädätteessä oli 9,2 g/l, josta 6,1 % oli ammoniumtypeä. Mädätteen pH:ksi mitattiin 7,9. Tuhkapitoisuus mädätteessä oli 10,4 % mäkäpainosta.

Kuten kuvasta 14 nähdään, suuremmilla seossuhteilla saavutettiin korkeampia lämpötiloja, mutta suuremmalla kuin 40 %:n seossuhteella ei näyttäisi olevan enää vaikutusta lämpötilakehitykseen. Seostamattoman mädätteen lämpötilakehitys oli odotetusti alhaisin.



Kuva 14. Risuhakkeella seostetun mädätteen kompostoinnin lämpötilakehitys.

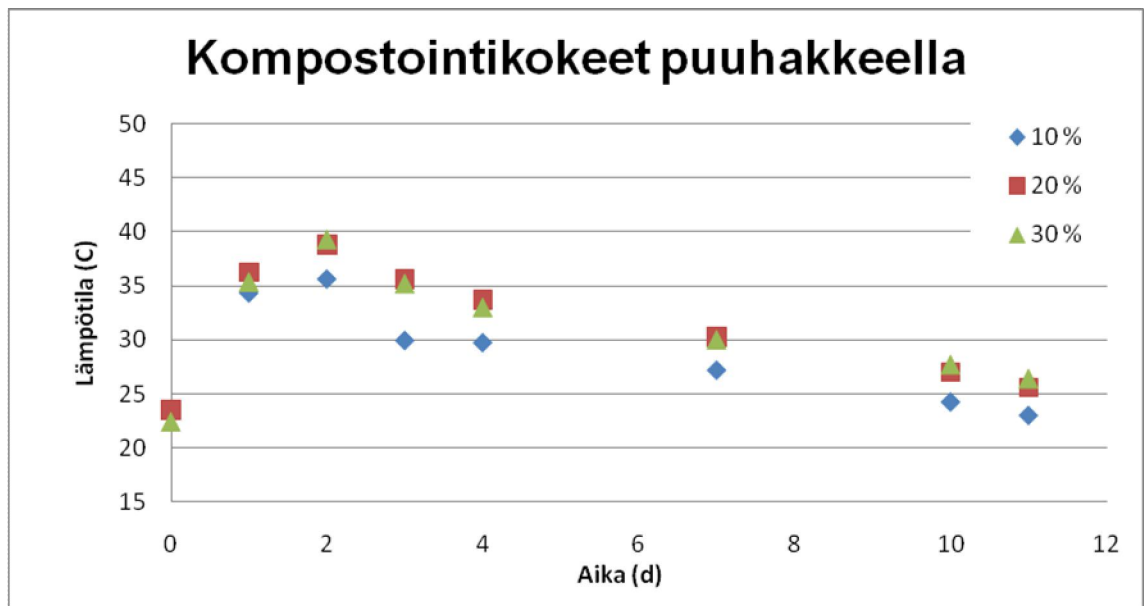
Kolmesta ensimmäisen vaiheen kokeesta sekoitettiin uusi koesarja, jossa kompostointia jatkettiin sekoituksen jälkeen. Sekoituksessa massaan saatiin lisää ilma, jonka jälkeen kompostoitumisen oletettiin nopeutuvan.



Kuva 15. Ensimmäisen koesarjan jatkokokeiden lämpötilakehitys

Sekoitetujen massojen lämpötilat lähtivät uudelleen kasvuun odotetusti kokeiden toisessa vaiheessa. Sekoitetuissa massoissa lämpötilakehitys eteni yhtäläisenä seossuhteista riippumatta. Tämä saattoi johtua massojen kosteuspitoisuuksien laskusta, jolloin kompostoituminen toimii paremmin kuin ensimmäisten kokeiden kosteilla massoilla.

Kokeiden kolmannessa vaiheessa seostettiin komposti rakennuspuuhakkeella, joka on hyvin hitaasti hajoavaa inerttiä tukiainetta. Kokeista saataisiin selville pelkän mädätteen aikaansaama lämpötilan nousu sekä risuhakkeen vaikutus kokeiden lämpötiloihin.



Kuva 16. Puuhakkeella seostetun kompostin lämpötilakehitys

Puuhakkeella seostetun kompostin lämpötilat jäivät noin 5 °C viileämmiksi kuin risuhakkeella seostetut kompostit. Tämä on selvä merkki siitä, että myös risuhake on kompostoitunut ja samalla nostanut lämpötilaa kokeiden aikana.

Suuremmalla aktiivisuudella toimiva komposti kypsyy nopeammin ja saattaa mahdollistaa myös kompostin hygieniasoinnin. Risuhaketta on myös huomattavasti enemmän käytettävissä Ämmäsuon kompostointialueella kuin rakennuspuuhaketta.

Mädätteen alhainen C/N-suhde tarkoittaa, että massaansa pitäisi lisätä runsaasti hiiltä sisältävää materiaalia, kuten risuhaketta. Kompostoitaessa massaa, jonka C/N-suhde on alhainen, ammoniakin tuotto kasvaa. Ammoniakin poistoon poistoilmasta käytetään rikkihappoa, jolloin ammoniakin tuoton lisääntyessä rikkihapon kulutus kasvaa, mikä kasvattaa suoraan käyttökustannuksia.

6.4 Pilot-kokeet

Ensimmäisistä kokeista saatujen tietojen perusteella ryhdyttiin suunnittelemaan kokeita suuremmassa mittakaavassa. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia mädätteen kompostoi-

tumista tunnelikompostointitekniikalla mahdollisimman samankaltaisissa olosuhteissa kuin uuden kompostointilaitoksen tunnelit toimivat.

Tukiaineeksi valittiin risuhake ja seossuhteiksi 20 % ja 30 %, joilla kompostoiminen olisi taloudellista, mutta kuitenkin tehokasta.

Kokeita varten hankittiin kaksi Biolan Oy:n valmistamaa 550 l:n lämpökompostoria. Kompostoreiden lisäksi ilmastusta varten hankittiin puhallin, virtausmittari ja putkea.

Kompostoreiden pohjalle rakennettiin kuormalavoista ja seulaverkosta ritiläpohja, jonka läpi puhallettiin ilmaa kompostoitavaan massaan. Puhaltimena käytettiin paikalliseen ilmanvaihtoon tarkoitettua liikuteltavaa 0,5 kW:n puhallinta. Puhaltimeen liitettiin 100 mm kierresaumakanava, johon virtausmittaus asennettiin. Mittayhteen jälkeen putki haaroitettiin T-liittimellä, joista putket vedettiin kompostoreille. Kompostoreiden takaosaan porattiin 65 mm reiät läpivientä varten ja putket liitettiin ilmastointiputkiin supistusliittimillä. Lopuksi kompostoreihin porattiin vielä kaksi 8 mm reikää lämpötilamittareiden läpivientä varten.

Kokeita varten saatiin 800 kg mädätettä Vaasan Stormossenin biokaasulaitokselta. Määdäte jaettiin kahteen yhtä suureen kasaan pyöräkuormaajalla, jossa oli vaaka punnitusta varten. Kasat levitettiin lattialle tukiaineen levitystä varten.

Tukiaine punnittiin käsin 15 kg pöytäva'alla 50 l:n sangoissa. Punnittu tukiaine levitettiin mädätekasojen päälle, jonka jälkeen seos sekoitettiin pyöräkoneen avulla. Sekoitettut massat täytettiin kompostoreihin ja lämpömittarit asetettiin paikoilleen.

Puhallin käynnistettiin ja virtausnopeus säädettiin 24 m³:iin/h, jolloin kummankin kompostorin ilmavirtaus oli 12 m³/h. Tällä puhallusnopeudella ilman määrä vastaa kompostointilaitoksen tunnelien ilmavirtaa. Kompostoitavan massan lämpötila oli kuitenkin liian pieni ilmavirralle, jolloin lämpötilat eivät lähteneet nousemaan. Liian suuren virtausnopeuden lisäksi sähkökatkos sotki kokeiden aloitusta, kun puhallin sammui ja sa-

malla kuristusläppä putosi, jolloin sähköjen palauduttua puhallin ilmasti komposteja maksimi-ilmavirralla.

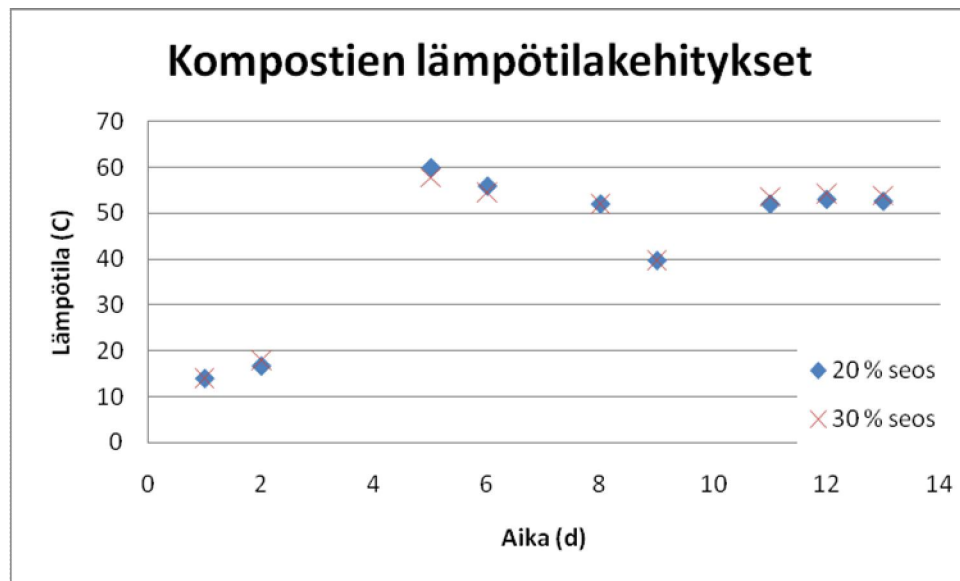
Puhaltimen virtausnopeutta laskettiin $4 \text{ m}^3/\text{h}$, jolloin kummankin kompostorin ilmavirtaus oli $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Lisäksi kompostoreita päätettiin ilmastaa jaksoittaisesti, siten että puhallin ei ollut päällä aikoina, jolloin koepaikalla ei ollut henkilökuntaa. Näillä asetuksilla kompostien lämpötilat lähtivät nopeaan kasvuun ja kokeet saatiin suoritettua.

6.5 Tulokset

Kompostointiprosessin aikana poistoilma oli selvästi ammoniakkin ja hieman makeahkon, mädäntyneen hajuinen. Haju oli 7 päivän kompostoinnin jälkeen vielä hyvin voimakas, mikä tarkoittaa, että massaa on kompostoitava pidempään. Massa haisi vielä 14 päivän kompostoitumisen jälkeen. Kokonaishajussa ammoniakkin haju oli vallitseva ja mädätteen haju alkoi laimentua. Kompostointilaitoksen kontrolloitavissa olosuhteissa ammoniakkin haihtumista voidaan pienentää ja hajut voidaan poistaa poistoilman käsittelyssä.

Lämpötilat nousivat molemmissa komposteissa yhtä nopeasti ja yhtä korkealle. Seosuhteiden välillä ei siis näyttänyt olevan eroa lämpötilakehitykseen suuremmassa mitta-kaavassa. Tämä saattoi johtua kompostoreiden kokoon nähden liian tehokkaasta ilmastuksesta, jolloin tukiainesuhteiden vaikutus pieneni. Yhtäläisistä lämpötilakehityksistä voidaan päätellä, että lämpötilan nousuun tarvittava voima eli hajoamaton orgaaninen aines tuli mädätteestä eikä tukiaineesta.

Ämmässuon kompostointilaitoksen tunneleissa massa putoaa kompostointitunnelin täyttöhihnalta noin 2-4 m, jolloin massa tiivistyy ja siksi tukiaineen määrän on todennäköisesti oltava vähintään 30 %. Mädätteen korkea kosteuspitoisuus tukee suuremman tukiaineseossuhteen käyttämistä. Tukiaineessa olevat aerobiset bakteerit toimivat myös ympinä muutoin anaerobiselle mädättemassalle, ja siten nopeuttavat kompostoitumisprosessin käynnistymistä.



Kuva 17. Pilot-kokeiden lämpötilakehitykset 20 % ja 30 % seossuhteilla

Maksimilämpötilat kompostoreissa olivat hieman alle 60 °C, joka on raja hygienisoinnille. Hygienisoinnissa massan lämpötilan on pysyttävä yli 60 °C:ssä vähintään kahden vuorokauden ajan. Kokeissa kompostien lämpötilat pysyivät yli 50 °C:ssä yli 8 vuorokautta korkeimman mitatun lämpötilan ollessa 59,9 °C. Seitsemännen päivän kohdalla lämpötilat laskivat noin 40 °C:seen pidennetyn ilmastusajan johdosta. Lämpötilan pysyminen korkeana kertoo mädätteen sisältävän vielä runsaasti hajoamatonta orgaanista ainetta.

Täyden mittaluokan kompostointitunneleissa on mahdollista, että lämpötilat saataisiin pysymään kahden vuorokauden ajan yli 60 °C:ssä, mutta tämä vaatisi lisää kokeita suuremmissa mittasuhteissa. Suuremmissa mittakaavassa massa pystyy pidättämään lämpöä paremmin eikä ole niin herkkä ulkoisille muutoksille, kuten ilmastusilman lämpötilalle.

Täyden mittaluokan kompostointitunneleissa kosteus poistuisi myös todennäköisesti nopeammin kompostoinnin kannalta optimaaliselle tasolle tunneleissa olevan poistoilman imun johdosta. Kokeissa käytetyistä kompostoreista ilma poistui kannassa olevan venttiilin kautta passiivisesti.

Kokeiden aikana komposteja ei sekoitettu ja ilma saattoi kanavoitua massassa. Kompostointilaitoksessa on mahdollista kääntää ja samalla pöyhiä massa, jolloin ilma pääsee paremmin kulkemaan massassa ja kompostoituminen nopeutuu. Käännössä massa mahdollisesti muodostuneet hapettomat taskut poistuvat, ja hapettomissa olosuhteissa hajoavasta orgaanisesta aineesta johtuva hajun muodostuminen vähenee.

7 Yhteenveto

Mädätystekniikka on Suomessa ollut jo pitkään käytössä vedenpuhdistuslaitosten lietteiden käsittelyssä. Mädätyksestä saatavan biokaasun johdosta tekniikka on kuitenkin houkutteleva vaihtoehto myös biojätteen käsittelyyn, minkä käsittelymuotona kompostointi on ollut vallitseva. Biokaasutustekniikat ovat tulossa myös keskitetysti maatilojen lietteenkäsittelyyn.

Biokaasu on tulevaisuuden energiantuotannossa vahvasti mukana, mutta sen osuus kokonaisenergiantuotannossa on rajallinen taloudellisesti hyödynnettävän biomassan rajallisen potentiaalin johdosta.

Tutkimuksen perusteella mädätystekniikan ja kompostoinnin yhdistäminen biojätteen käsittelyketjuksi on toteutettavissa. Kompostoitavan massan hygienisointi on mahdollista kompostointivaiheessa, joka muuten vaatisi termistä käsittelyä ja siten lisäisi käyttökustannuksia.

Mädätyksestä saatava mädäte on haisevaa, märkää ja sisältää vielä hajoamatonta orgaanista ainetta. Kompostointi on hyvä keino stabiloida mädätettä, laskea kosteuspitoisuutta ja poistaa hajua. Mädätteen kompostointi ulkoaumoissa ilman esikompostointia aiheuttaa hajuhaittoja, jotka Ämmäsuon kaltaisella lähellä asutusta sijaitsevalla alueella on minimoitava.

Kompostoinnin avulla mädätteestä saadaan käyttökelpoista kompostia maanparannus- ja viherrakentamiskäyttöön. Käyttökelpoinen komposti voidaan myydä, ja saatavilla tuloilla voidaan vähentää kokonaiskustannuksia.

Lähdeluettelo

1. Tuovinen, Heriikka. *Biohajoavan jätteen hallintastategian lähtökohdat*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 2002.
2. Iivonen, Suvi Maaria. *Ämmässuon kompostointilaitokselle tulevan biojätteen anaerobiset esikäsittelemenetelät*. Helsinki: YTV, 2008.
3. Environment Agency. Biowastes. Toukokuu 5, 2010. <http://www.environment-agency.gov.uk/business/topics/waste/105375.aspx> (accessed Toukokuu 5, 2010)
4. HSY. HSY. Tammikuu 1, 2010. <http://www.hsy.fi/jatehuolto/ohjeet/lajittelu/biojate/Sivut/default.aspx> (accessed Helmikuu 24, 2010).
5. Biokaasuyhdistys. *Biokaasu*. http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=6&Itemid=53 (accessed Maaliskuu 23, 2010).
6. Motiva. *Biokaasun hyödyntäminen*. Tammikuu 1, 2010a. http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu/biokaasun_hyodyntaminen (accessed Maaliskuu 17, 2010).
7. Motiva Oy. *Biokaasun tuotanto*. Tammikuu 1, 2010b. http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu/biokaasun_tuotanto (accessed Maaliskuu 22, 2010).
8. Vaheri, Marja. *Ympäristöbiotekniikka*. "Luentomateriaali". Metropolia AMK. Maaliskuu 2010.
9. Rautanen, Juha. "Biokaasun tuotanto: Motiva." *Biokaasun tuotanto*. SYKE, 2009. 1-16
10. Oremland, Ronald S., and Sandra Polcin. "Methanogenesis and Sulfate Reduction: Competitive and Noncompetitive Substrates in Estuarine Sediments." *Applied and Environmental Microbiology*, 1982: 1270-1276.
11. Paavola, Teija FM. *Biokaasuprosessi; Maakunnallinen biokaasuseminaari*. Seinäjoki, Marraskuu 27, 2007.
12. BeKon GmbH. *Processdescription*. Tammikuu 1, 2010. <http://www.bekon-energy.de/english/BEKON-Processdescription.pdf> (accessed Maaliskuu 17, 2010)
13. Abdullahi, Y.A., J.C. Akunna, White N.A., P.D. Hallet, and R. Wheatley. "Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment." *Bioresource Technology*, 2008: 1-5.
14. Sattarnizami, Abdul, Korres Nicholase, and Jerry D. Murphy. "Review of the Integrated Process for the Production of Grass Biomethane." *Environ. Sci. Technol.*, 2009: 8499.
15. *Metsäpirtin multa*. Maaliskuu 23, 2010. <http://www.metsapirtinmulta.fi/Tietoa.html> (accessed Maaliskuu 23, 2010).
16. VTT. *Kompostin kypsyystetit*. Menetelmäohjeet, Espoo: VTT, 2006.
17. Jördening Hans-Joachim, Winet Josef. *Environmental Biotechnology*. Weinhamn: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.
18. Latvala, Markus. *Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä*: Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 2009

(1/1) K 71/10/1

TUTKIMUSRAPORTTI N:o K 71/10/1

Tilaaaja HSY Jätehuolto
Biojätteen käsittely / Kompostilaitos
Ämmässuontie 8
02820 Espoo

Laskutus HSY / Helsingin seudun
ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
Ostolaskut
PL 203
00066 HSY
viite: 31007 / Oksanen

Tilaus Tilaus 20.1.2010 / Annika Viljakainen, annika.viljakainen@hsy.fi

Tulopäivä 20.1.2010 Analysoinnin aloituspäivä 21.1.2010

Tehtävä Näytteen kuiva-aineen, tilavuuspainon, tuhkan, hiili/typpi –suhteen, N-kok- ja NH₄-N -pitoisuuden analysointi sekä hiilidioksidin tuotto.

Näyte Yksi mädätetty biojätenäyte

Tulokset Tulokset on ilmoitettu pitoisuuksina tulokosteassa näytteessä.

Määrittäminen	Analyysimenetelmä	Tulos
kuiva-aine %	SFS-EN 13040	26.7
kosteus %		73.3
tuhka %	SFS-EN 13039	10.4
C/N –suhte	Novalab 001.A ja SFS-EN 13039	8.0
		g/l
tilavuuspaino	SFS-EN 13040	895
kokonaistyyppi, N _{tot}	Novalab 001.A	9.2
ammoniumtyppi, NH ₄ -N	SFS-EN 13652 ja Kjeldahl	0.56

Karkkila 27.1.2010

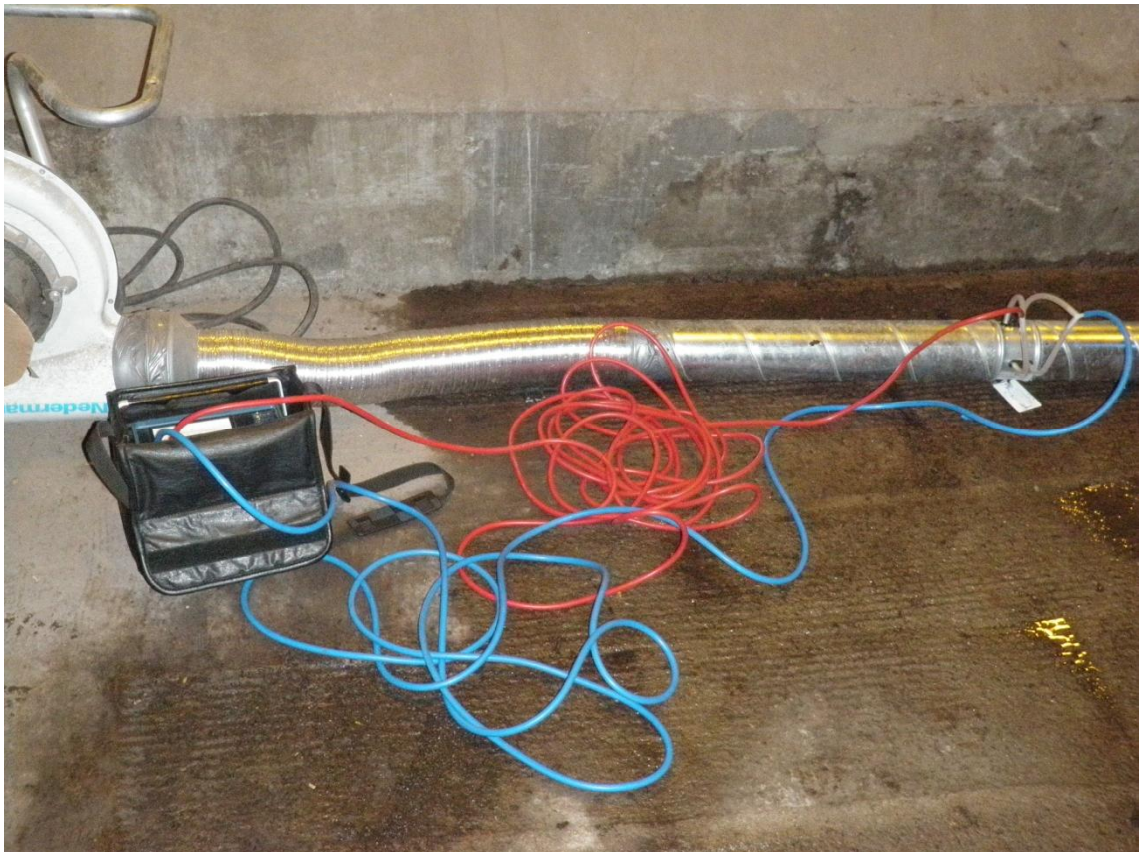
Novalab Oy

 Matti Mäkelä
laboratorionjohtaja

Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raportin saa kopioida vain kokonaan ilman testauslaboratorion lupaa.



Rottegrad-testin koejärjestely



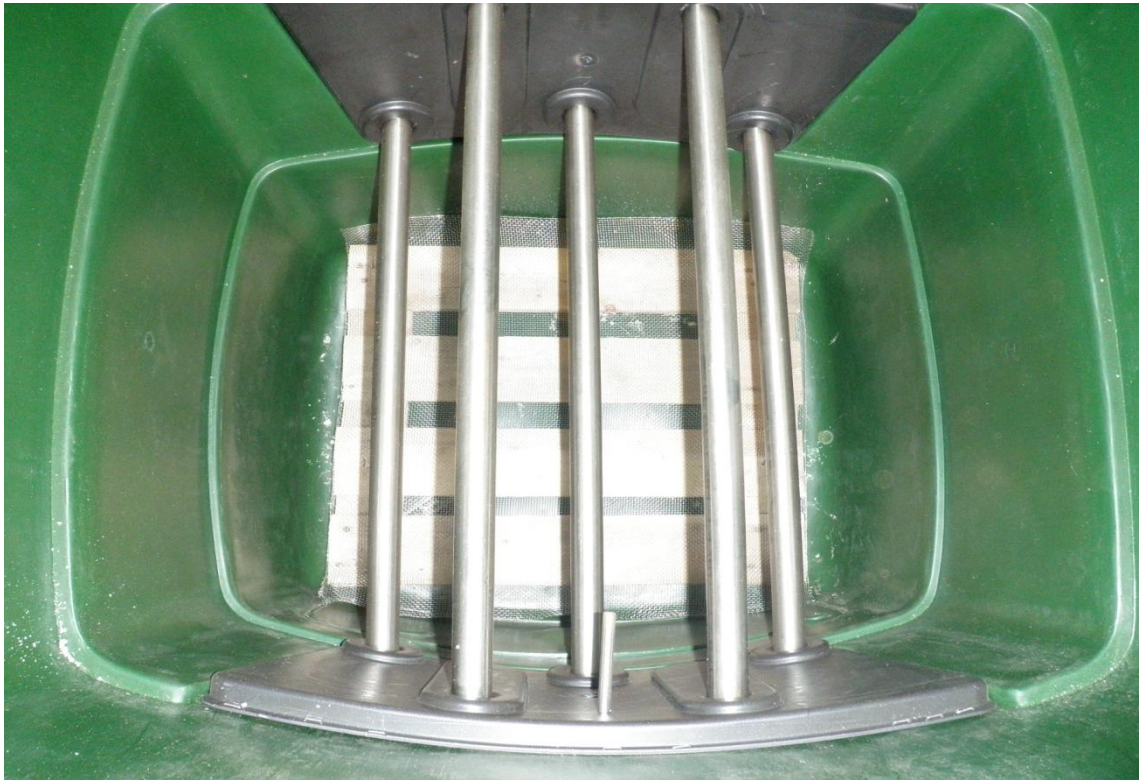
Pilot-kokeissa käytetty puhallin ja paine-eromittari tilavuusvirran määrittämiseen



Mädätteen ja tukiaineen sekoitus tapahtui pyöräkoneella



Kompostoreiden ilmastusputkien läpivientiä varten jouduttiin poraamaan kompostoreihin suuremmat reiät.



Kompostorin pohjalle asennettu ritiläpohja valmistettiin kuormalavasta ja seulaverkosta. Ilmastusputki tulee ritiläpohjan alle.