

OXITOP[®] MENETELMÄN KÄYTTÖ HAPELLISEN JA HAPETTOMAN
BIOHAJOAMISEN MÄÄRITTÄMISESSÄ

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ympäristöbiotekniikan sv.
Opinnäytetyö
Kevät 2006
Kirsi Timonen

KIITOKSET

Kiitän Jukka Kurolaa Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitokselta opinnäytetyön ohjauksesta, neuvoista kompostin kypsyiden määrityksessä ja kompostinäytteistä, Essi Kuikkaa Greenenvironment Oy:stä avusta mädätyskokeen suunnittelussa ja substraatista, Paula Kankaalaa Helsingin yliopiston Lammin biologiselta asemalta anaerobipullojen lainaamisesta ja Hannu Veijalaista Lahti Vesi Oy:stä mikrobiympäristöistä. Kiitän myös Silja Kostiaa Lahden ammattikorkeakoulusta opinnäytetyön ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää Eero Kinnusta tietokoneen lainasta.

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

TIMONEN, KIRSI: OxiTop[®] menetelmän käyttö hapellisen ja hapettoman biohajoamisen määrittämisessä

Ympäristöbiotekniikan opinnäytetyö, 33 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2006

Ohjaajat:
Silja Kostia, Lahden ammattikorkeakoulu
Jukka Kurola, Helsingin yliopiston Ympäristöekologianlaitos

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli hapellisen ja hapettoman biohajoamisen määrittäminen OxiTop[®]-menetelmällä. Kompostinäytteiden kypsyyttä tutkittiin mittaamalla mikrobihengitystä. Metaanintuottoa analysoitiin käyttämällä oliivijätettä mikrobien substraattina. Tarkoituksena oli arvioida OxiTop[®]-menetelmän soveltuvuutta kyseisiin määrittämyksiin. Opinnäytetyön tutkimusosa tehtiin Helsingin yliopiston Ympäristöekologianlaitoksen laboratoriotiloissa.

Kompostin kypsyyden määrittämiseen tarvittavat näytteet saatiin Päijät-Hämeen jätehuolto Oy:n kompostiaumoista sekä Hyvinkään Kiertokapula Oy:n kompostointilaitoksen aumasta. Erilaisia kompostinäytteitä oli yhteensä kuusi. Maahengitystä tutkittiin kahdessa eri koejärjestelyssä, joissa testattiin kahta eri koeastiatyyppiä, sekä kahta eri hiilidioksidin sitomiseen käytettävää emästä.

Metaanintuottoon tarvittava liete eli metanogeeniä sisältävä siirros eli ymppi saatiin Lahti Vesi Oy:n Kariniemen jätevedenpuhdistamolta. Oliiviöljyn valmistuksessa syntyvä puristusjäte oli kotoisin Espanjasta. Metaanintuoton mittaamiseen käytettiin neljää erilaista jätepitoisuutta.

Koejärjestelyiden saatujen tulosten perusteella OxiTop[®]-menetelmä osoittautui toimivaksi kompostin kypsyyden määrittämiseen. Menetelmä on helppokäyttöinen ja tarkka. Metaanin tuoton mittaamiseen menetelmä vaatii vielä lisäkehittelyä. Haasteita ovat muun muassa hapettomien olosuhteiden aikaansaaminen.

Asiasanat: OxiTop[®], biohajoaminen, mädätys, kompostin kypsyys, metaani

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology
Degree Programme in Environmental Technology

TIMONEN, KIRSI: Using the OxiTop[®] Control measuring system in
determination of biological decomposition under aerobic and anaerobic Conditions

Bachelor`s Thesis in Environmental Biotechnology, 33 pages, 3 appendices

Spring 2006

Instructors:

Silja Kostia, Lahti University of Applied Sciences

Jukka Kurola, Department of ecological and environmental sciences University of Helsinki

ABSTRACT

The aim of this Bachelor`s thesis was to determine aerobic and anaerobic biological decomposition by using the OxiTop[®] Control measuring system. The maturity of compost samples were studied by measuring the respiration activity of microbes. Methane production was analyzed by using olive waste as a substrate for microbes. The aim was to evaluate the suitability of OxiTop[®] Control measuring system in these applications. The research part of this Bachelor thesis was done in the laboratory of the department of ecological and environmental sciences in the University of Helsinki.

Compost samples were received from the compost ricks of Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy in Lahti and from a composting plant of Kiertokapula Oy in Hyvinkää. There were six different kinds of compost samples. Respiration activity of soils was studied with two different examination arrangements. Two different kinds of testvessel types and two different kinds of bases for adsorbing carbon dioxide were tested.

Sewage sludge containing methanogenic microbes was received from Lahti Vesi Oy sewage refinery in Kariniemi. Olive waste was from Spain. Four different olive waste contents were used.

The OxiTop[®] Control measuring system proved to be easy to operate and a precise way to determine the maturity of compost. Measuring methane production with the OxiTop[®] Control measuring system needs further development. The biggest challenges are for example obtaining anaerobic conditions in the measuring vessel.

Key words: OxiTop[®] Control measuring system, biological decomposition, maturity of compost, methane

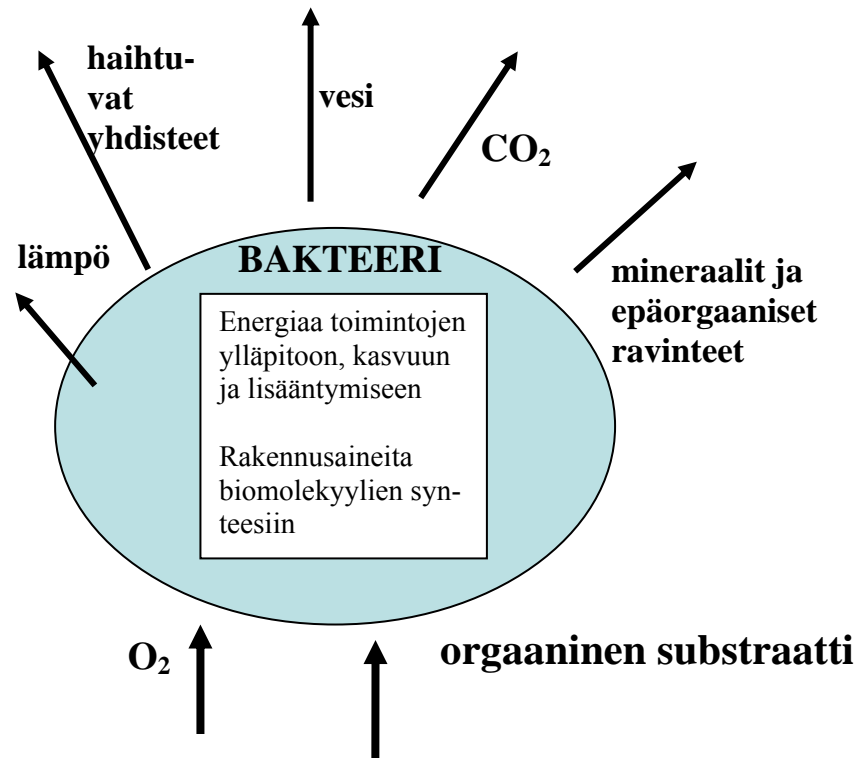
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	3
3 OXITOP [®] -MENETELMÄ	4
3.1 Toimintaperiaate ja mittausolosuhteet	4
3.2 OxiTop [®] -laitteisto	5
4 HAPELLINEN BIOHAJOAMINEN: KOMPOSTIN KYPSYS	7
4.1 Kompostointi	7
4.2 Kompostin kypsyyden arviointimenetelmiä	9
5 KOEJÄRJESTELY: KOMPOSTIN KYPSYYDEN MÄÄRITTÄMINEN	11
5.1 Ensimmäinen vaihe	11
5.2 Toinen vaihe	13
6 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA	14
6.1 Ensimmäinen vaihe	14
6.2 Toinen vaihe	19
7 HAPETON BIOHAJOAMINEN: METAANIN TUOTON MITTAAMINEN	23
7.1 Metaanin tuoton mittaaminen oliivijätteestä	23
7.2 Metaanin muodostuminen	23
7.3 Oliivijätteen mädätystutkimukset	24
8 KOEJÄRJESTELY: METAANINTUOTON MITTAUS	25
8.1 Kokeiden pystytys	25
8.2 Typetytys ja kokeiden lopetus	27
9 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA	29
10 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	34
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Biohajoaminen on ilmiö, jossa mikrobit pilkkovat orgaanisia yhdisteitä yksinkertaisimmiksi yhdisteiksi solulle käyttökelpoisempaan muotoon. Hajotettavien yhdisteiden sidoksiin varastoitunut kemiallinen energia otetaan talteen ja käytetään solun toimintojen ylläpitoon, kasvuun ja lisääntymiseen. Sivutuotteena syntyy muun muassa kaasuja, happoja ja vettä (kuvio 1). Eri yhdisteet hajoavat mikrobin aineenvaihdunnassa eri tavalla, sokerit ja hiilihydraatit hajoavat nopeimmin, ja proteiinit ja rasvat hitaammin.

Biohajoamista voi tapahtua joko hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa käymisen tai soluhengityksen kautta. Soluhengityksessä yhdisteistä saadaan energia tehokkaammin talteen kuin käymisessä. Käymistä tapahtuu vain hapettomissa olosuhteissa, ja prosessin lopputuotteissa (mm. metaani, alkoholi) on vielä runsaasti energiaa jäljellä. (Campbell, Reece & Mitchell 1999, 147–166.)



KUVIO 1. Bakterisolun ”bioreaktorina”. Hapellinen biohajoaminen heterotrofisessa eli toisenvaraisessa bakterisolussa.

Hapellisessa hengityksessä mikrobit käyttävät ympäristön happea hengitysketjun (elektroninsiirtoketjun) lopussa elektronien vastaanottajana. Ottaessaan elektroneja vastaan happi yhtyy samalla vetyyn ja syntyy vettä. Mikrobin solukalvolle muodostuu protonigradientti, jonka avulla ATPaasi niminen proteiinikompleksi lataa energiaa ATP (adenosiinitrifosfaatti)-akkuihin. Aineenvaihdunnan ja soluhengityksen tuloksena syntyneen ja ATP-akkuihin varastoituneen energian solu voi ottaa käyttöön tarvittaessa. Soluhengityksessä ympäristöön vapautuu hiilidioksidia. Jos happea on läsnä, mikrobit käyttävät sitä soluhengityksessään, koska se tuottaa suurimman määrän ATP:tä. Jos happea ei ole saatavilla voivat jotkut mikrobit hengittää hapen sijasta esimerkiksi nitraatilla, rikkiyhdisteillä tai fumaaraatilla. (Campbell ym. 1999, 147–166.) Joillekin mikrobeille happi on suorastaan myrkyä, ja nämä mikrobit hyödyntävät hapen sijasta muita elektronin vastaanottajia hengitysketjussaan.

Hapettomassa käymisessä substraatin eli ravintona käytettävään orgaaniseen yhdisteeseen varastoitunut kemiallinen energia otetaan talteen eli muutetaan ATP:ksi yksinkertaisemmin kuin hengityksessä. Hapettomassa käymisessä syntyy aineenvaihdunnan sivutuotteena esimerkiksi metaania, etanolia tai laktaattia. Metaania tuottavat vain arkit. Metaaninmuodostus on monivaiheisen anaerobin hajotusketjun viimeinen tapahtuma, jossa arkit muuttavat vedyn ja asetaatin metaaniksi. (Salkinoja-Salonen 2002, 489–493.)

Jätteenkäsittelyn bioprosesseissa, ympäristön monitoroinnissa ja haitta-aineiden puhdistamisessa hyödynnetään hapellista ja hapetonta biohajotusta. Mikrobihengityksessä syntyvän hiilidioksidin tai kuluneen hapen määrän mittaamista voidaan käyttää esimerkiksi arvioitaessa jätevesien tai luonnonvesien biologisesti hajoavan aineen määrää ja kuormitusvaikutusta. Mitä suurempi BOD – arvo näytteellä on, sitä suurempi määrä siinä on biologisesti hajoavaa materiaalia, joka kuluttaa happea hajotessaan mikrobien aineenvaihdunnassa. Mikrobihengitystä voidaan käyttää myös arvioitaessa eri yhdisteiden hajoamisnopeutta ja hajoamisen täydellisyyttä sekä toksisten yhdisteiden vaikutusta mikrobitoimintaan. Käymiskokeiden avulla voidaan määrittää eri aineiden mädätyksestä saatavan biokaasun määrää, yhdisteiden biohajoavuutta tai toksisten yhdisteiden vaikutusta anaerobiprosessiin.

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tässä opinnäytetyössä hapetonta ja hapellista biohajoamista mitattiin OxiTop[®] -menetelmän avulla. OxiTop[®] kehitettiin alun perin Saksassa jätevesien BOD -mittausta varten. Sillä voidaan korvata esimerkiksi myrkyllistä elohopeaa sisältävät BOD – mittarit tai työläs maahengityksen mittaaminen titraamalla. (Operating Manual: System OxiTop[®] Control 28.3.2006.). Menetelmää on käytetty onnistuneesta mm. pohjavedessä olevien öljy-yhdisteiden biohajoavuuden tutkimiseen (Vähäoja, Kuokkanen, Välimäki, Vuoti & Perämäki 2004). OxiTop[®] -menetelmän avulla saadut tulokset yhdisteiden biohajoavuudesta ovat osoittautuneet sopiviksi biohajotusstandardeiden kanssa (Reuschenbach, Pagga & Strotmann 2003).

Aerobisen koejärjestelyn avulla haluttiin testata OxiTop[®] -menetelmän soveltuvuutta kompostin maahengityksen määrittämiseen ja etsiä oikeat mittausolosuhteet (näytteen määrä ja inkubointiaika) sekä verrata eri kompostinkäsittelytapojen vaikutusta maahengitykseen. Koejärjestelyn avulla vertailtiin myös kahden eri hiilidioksiditrapin, KOH -liuoksen ja NaOH -pellettien, eroja hiilidioksidin sitojina sekä tutkittiin, vaikuttaako koeastian valinta tuloksiin.

Anaerobisen koejärjestelyn avulla haluttiin tutkia OxiTop[®] -menetelmän soveltuvuutta metaanin tuoton mittaamiseen ja määrittää sopivimmat mittausolosuhteet (näytteen määrä, inkubointiaika ja paras tapa saada anaerobit olosuhteet koepuloihin). Koejärjestelyllä haluttiin mitata oliivijätteen mädätyksestä syntyvän metaanin määrää, eli kuinka nopeasti ja täydellisesti hajoavaa oliiviöljyjäte on. Tarkoituksena oli tutkia mahdollisuutta hyödyntää oliivijätettä biokaasuenergianlähteenä.

Saatuja tuloksia on mahdollista hyödyntää Lahden ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetuksessa ja projektitoiminnassa sekä Helsingin yliopiston Ympäristöekologian laitoksen tutkimuksessa ja opetuksessa

3 OXITOP[®] -MENETELMÄ

3.1 Toimintaperiaate ja mittausolosuhteet

OxiTop[®] -menetelmä perustuu paineen muutoksen mittaamiseen. Paineenmuutoksen perusteella voidaan laskea tutkittu suure, esimerkiksi mikrobien kuluttama happimäärä tunnissa tai BOD₇. OxiTop[®] -mittapää on manometri, joka mittaa ja tallentaa paineenmuutokset koeastiassa. Paineenmuutoksen koeastiassa aiheuttaaastian kaasukoostumuksen muutos. Aerobisissa oloissa kaasukoostumus muuttuu, kun mikrobit käyttävät ilmatilan happea elektronin vastaanottajana soluhengityksessä ja vapauttavat hiilidioksidia aineenvaihdunnan sivutuotteena. Tuotettu hiilidioksidi sidotaan koeastiassa olevaan emäkseen, esimerkiksi natriumhydroksidiin

(NaOH) tai kaliumhydroksidiin (KOH). Kaasumäärä pienenee astian ilmatilassa, ja astiaan syntyy alipaine, jonka mittapää rekisteröi. (Platen & Wirtz 1999, 3.) Anaerobisissa oloissa kaasukoostumuksen muutoksen aiheuttavat mikrobien aineenvaihdunnan sivutuotteina hapettomissa oloissa syntyvät metaani, hiilidioksidi sekä pienet ammoniakki- ja rikkivetymäärät (Salkinoja-Salonen 2002, 218). Mikrobien tuottamat kaasut aiheuttavat mitta-astian ylipaineen, jonka mittapää rekisteröi. (Süßmuth, Doser & Lueders 1999, 2-3.) Ohjeet OxiTop[®]-menetelmän käyttöön löytyvät liitteestä 1.

OxiTop[®]-menetelmä vaatii toimiakseen tasaisen koelämpötilan, sillä lämpötilan muutokset kokeen aikana saavat aikaan paineenvaihteluita koeastiassa, jotka aiheuttavat virhettä saatuihin tuloksiin. Paine nousee astiassa lämpötilan noustessa ja vastaavasti lämpötilan laskiessa myös paine laskee. Koeastioita on siis säilytettävä tasaisessa lämpötilassa ja pimeässä, jottei auringon valo pääse lämmittämään näytteitä. Koeastioiden on myös oltava ehdottoman ilmatiiviitä, jotta varmistutaan siitä, että kaasukoostumuksen vaihtelut johtuvat pelkästään biologisesta aktiivisuudesta astiassa. Astiaan täytyy jättää riittävän suuri vapaa ilmatila, jotta aerobikokeissa happea riittää koeajan loppuun ja anaerobikokeissa muodostunut metaani ei aiheuta astiaan liian suurta ylipainetta. Liian suuri yli- tai alipaine astiassa voi johtaa mittapään rikkoutumiseen. Aerobikokeiden onnistumisen kannalta on tärkeää, ettei hiilidioksidin sidontaan käytettävä emäs ole suorassa kosketuksessa näytteen kanssa. (Platen & Wirtz 1999, 3 ja 7.)

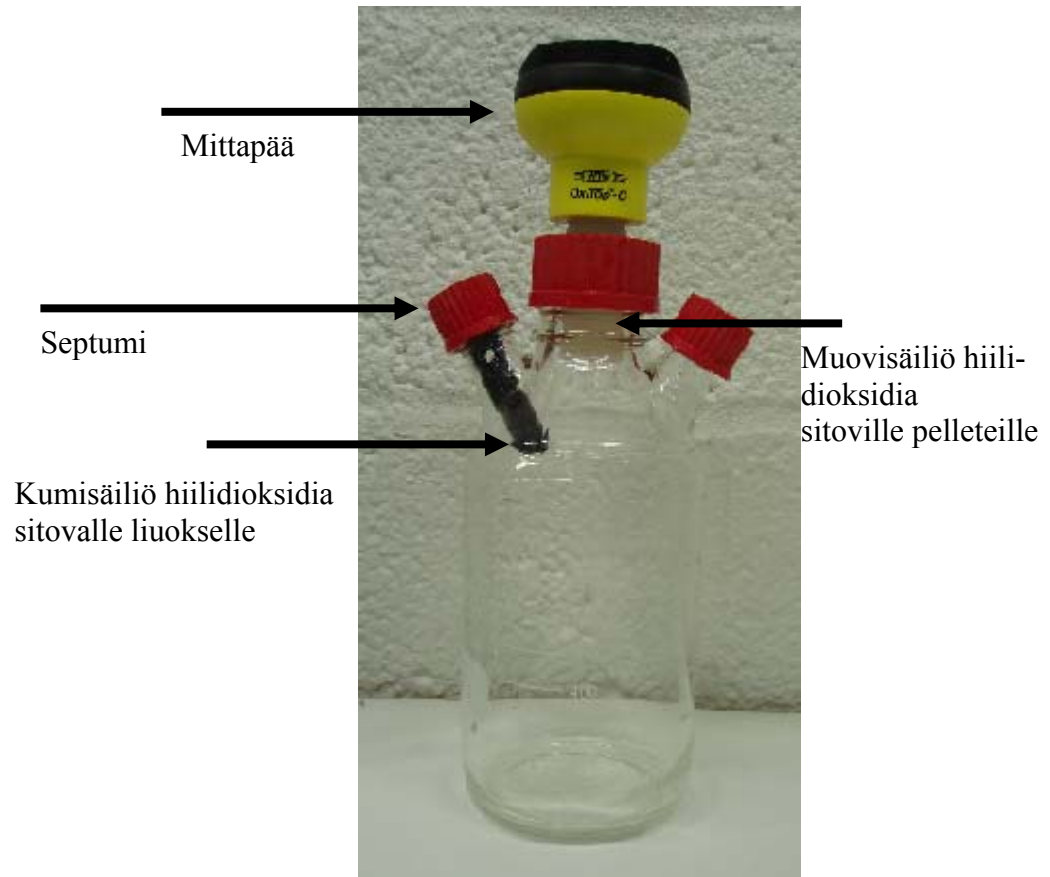
3.2 OxiTop[®]-laitteisto

OxiTop[®]-laitteisto koostuu mittapäästä, kontrolliohjaimesta, erilaisista koeastioista sekä nestemäisille näytteille tarkoitettuun magneettisekoittajaan. OxiTop[®]-laitteistoon kuuluu myös Achat OC – ohjelma, jonka avulla kontrolliohjaimen tiedot voi siirtää tietokoneelle. Mittapään rekisteröi koeastian paineenmuutokset ja tallentaa ne muistiinsa. Kontrolliohjaimen avulla valitaan haluttu mittaohjelma, käynnistetään, lopetetaan mittaus ja siirretään valmis data tietokoneelle. Kontrolliohjaimen avulla kokeen edistymistä voi tarkkailla myös reaaliajassa. Koeastioita

on kolmenlaisia, ja kaikkia astioita on saatavissa erikokoisina. BOD -mittaukseen tarkoitettut astiat ovat ruskeita, kapeakaulaisia ja astioihin kuuluu magneettisekoittinalusta. Hiilidioksidia sitovat emäsrakeet tulevat pullon suuhun asetettavaan kumisäiliöön. Maahengityksenmittaukseen tarkoitettut astiat ovat läpinäkyvää lasia ja suurisuisia, jotta maanäytteen laittaminen astiaan olisi helpompaa. Maahengityksastioissa on myös mukana teline, johon saa hiilidioksidia sitovan emäksen omaan astiaansa niin, ettei se joudu kosketuksiin näytteen kanssa. Kuviossa 2 on maahengityksastia telineineen sekä BOD – pullo ja kumisäiliö. Anaerobikokeisiin tarkoitetuissa pulloissa on kolme suuaukkoa, joista kahdessa on septumit. Septumeiden kautta on mahdollista injektoida ruiskulla pulloon hiilidioksidia sitovat emäkset kokeen lopussa. Kuviossa 3 on anaerobipullo ja mittapää.



KUVIO 2. BOD -pullo ja maahengityksastia



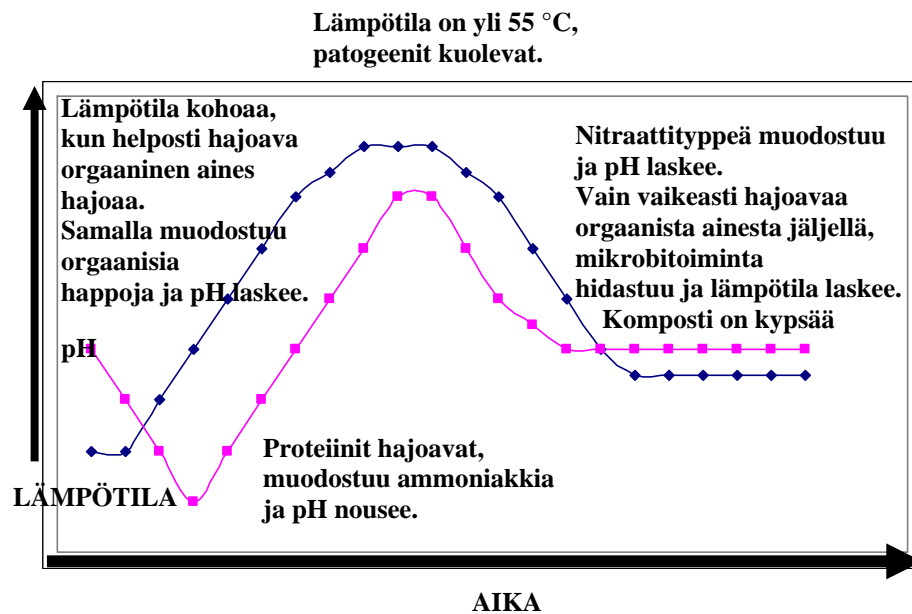
KUVIO 3. Anaerobipullo ja mittapää

4 HAPELLINEN BIOHAJOAMINEN: KOMPOSTIN KYPSYYS

4.1 Kompostointi

Kompostoinnilla tarkoitetaan kiinteän orgaanisen jätteen biologista ja aerobista hajottamista. Kompostissa jätteen hajotuksesta vastaavat useat eri mikrobilajit. Mikrobien lisäksi kompostissa on muun muassa alkueläimiä, sieniä ja erilaisia matoja. Komposti vaatii toimiakseen riittävästi kosteutta, hapelliset olosuhteet ja sopivat pH-olot. Kaikki biohajoava jäte kelpaa kompostoitavaksi. Kompostoinnin lopputuotteena syntyy humusta, jota voidaan käyttää esimerkiksi maanparannusaineena tai viherrakentamisessa. (Salkinoja-Salonen 2002, 489–493.) Kuviossa 4 on ku-

vattu kompostointiprosessi, ja esitetty kompostissa kypsymisen aikana tapahtuvat lämpötilan ja pH:n vaihtelut.



KUVIO 4. Lämpötila ja pH kompostointiprosessin aikana

Kompostituotteet kuten kompostihumus ovat lannoitevalmisteita (LannoiteL 232/1993) ja niiden valmistusta, markkinointia ja maahantuontia valvoo Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Sekä kompostien valmistajat, että viherrakentamisessa ja maataloudessa käytettävät kompostituotteet on lannoitelain mukaan rekisteröitävä Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen maatalouskemian osastolla. Lannoitelainsäädäntö asettaa kompostituotteille tietyt laatuvaatimukset ja tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot. Lannoitelain 8 § sanotaan, että kompostituote ei saa sisältää haitallisia tai vaarallisia aineita tai eliöitä sellaisia määriä, että ne voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa ihmisille, eläimille tai ympäristölle. Kypsästä kompostista taudinaiheuttajat ovat kuolleet ja kompostin haju on miellyttävän multainen. Kompostin on oltava riittävän kypsää, jotta se kelpaa kompostituotteeksi. Kasvualustaksi ja maanparannusaineeksi käytettävän kompostin on oltava täysin kypsää, kun taas katteeksi kelpaa epästabiilimpikin komposti. (TEHOKOMP 2002–2004 2005, 65.) Kypsä komposti on hyvää maanparannusainetta, mutta sen lannoitusvaikutus on vähäinen. Puolikypsäksi kompostiksi sanotaan kompostia jonka kuu-

min vaihe on jo ohi, mutta jossa seosaine vielä erottuu hyvin. Puolikypsä komposti on voimakas lannoite. (Kompostilla kukkimaan: kompostoijan opas. 28.3.2006)

4.2 Kompostin kypsyyden arviointimenetelmiä

Kompostin kypsyyden määrittämiseksi voidaan käyttää useita eri menetelmiä. Yleensä tarvitaan enemmän kuin yksi menetelmä, jotta voitaisiin varmuudella todeta komposti kypsäksi. (TEHOKOMP 2002–2004 2005, 34.) Taulukkoon 1 on koottu joitakin kompostin kypsyyttä määrittäessä käytettäviä parametreja ja testejä.

Hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto ovat kompostin kypsyyden arviointiin käytettäviä parametreja. Hiilidioksidintuotto ja hapenkulutus ovat kiivaimmillaan tuoreessa kompostissa, jossa mikrobeilla on paljon helposti hajotettavaa ravintoa jäljellä. Kypsässä kompostissa helposti hajoavat aineet on jo hajotettu, ja jäljellä on enää vaikeasti hajoavia aineita. Kypsän kompostin mikrobitoiminta on hidastunut: hiilidioksidintuotto on alle 2 mg CO₂/g TS/vrk, ja hapenkulutus alle 7 mg O₂/g TS/vrk (TEHOKOMP 2002–2004 2005, 34). TS (total solids) tarkoittaa näytteen kuiva-aineen määrää, eli hiilidioksidintuotto ja hapenkulutus ilmoitetaan näytteen kuiva-ainegrammaa kohden. Pelkästään mikrobihengityksen mittaaminen ei ole luotettava tapa määrittää kompostin kypsyyttä, sillä mikrobihengitys voi olla vähäistä esimerkiksi kompostin toksisuuden tai hapettomuuden takia. Hiilidioksidintuoton ja hapenkulutuksen lisäksi olisi kompostin kypsyyttä hyvä määrittää myös jollain toisella menetelmällä, esimerkiksi taimettumiskokeella.

TAULUKKO 1. Kompostin kypsyiden arvioinnissa käytettäviä parametreja ja testejä (taulukko mukailtu taulukosta TEHOKOMP 2002–2004 2005, 34)

PARAMETRI /TESTI	Miten kuvaa kompostin kypsyyttä
CO ₂ - tuotto tai O ₂ -kulutus (24 tai 48 tunnissa)	CO ₂ - tuotto vähenee kompostin kypsyessä O ₂ -kulutus vähenee kompostin kypsyessä
Solvita (CO ₂ ja NH ₄) 4h	asteikko 1-8, 1 ja 2 = raaka; 3 ja 4 = aktiivinen; 5 ja 6 = kypsä komposti
Rottegrad (lämpötila)	lämpötila laskee kompostin kypsyessä luokka I yli 60 °C = raaka luokat IV ja V 40–20 °C = valmis komposti
Flash-valobakteeritesti (luminenssin inhibitio)	Toksisuus pienenee kompostin kypsyessä, kypsässä kompostissa ei toksisuutta 100 g/l pitoisuudessa
NO ₃ -N / NH ₄ -N	Ammoniumin määrä pienenee ja nitraatin määrä kasvaa kompostin kypsyessä, suhde > 1 = kypsä komposti
ASTM (hapen kulutus)	Hapen kulutus vähenee kompostin kypsyessä Alle n. 30 mg O ₂ /g VS 4d = kypsä komposti
C/N _{loppu} / C/N _{alku}	C/N suhde pienenee kompostin kypsyessä C/N _{loppu} / C/N _{alku} ≈ 0,60 kypsä komposti
Humusaineet	Humusaineiden määrän nousu suhteessa syötöseoksen humusaineisiin viittaa kypsään kompostiin
Taimettumistesti (Itävyys, kasvunesto 14 d)	Itävyys 90 % kontrollista → ei kasvunestovai- kutusta, kypsässä kompostissa ei kasvua estäviä yhdisteitä
Kasvatuskokeet (jyväsato, olkisato, biomass, satoindeksi)	Verrataan tuloksia eri näytteiden kesken, sekä täyslannoitettuun ja starttilannoitettuun verrokkiin, kypsässä kompostissa kasvu on hyvää

5 KOEJÄRJESTELY: KOMPOSTIN KYPSYYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Kokeissa käytetty vuoden vanha kompostimassa saatiin Kujalan jäteaseman sekä Hyvinkään Kiertokapulan kompostointilaitoksen aumakomposteista. Komposteihin oli aumauksen yhteydessä sekoitettu erimäärät tuhkaa, tuhkaa oli aumoissa 0 %, 2 %, 4 %, 8 % ja 16 %. Tuhka toimii kompostissa ravinteena ja pH:n tasajana. Emäksinen tuhka estää kompostin happamoitumista ja luo näin mikrobeille suotuisimmat elinolosuhteet. Bioteho II tutkimuksessa puunkuori- ja turvetuhkan pienien määrien (2-5 %) havaittiin nopeuttavan kompostin kypsymistä ja vähentävän hajuhaittoja. Tuhkaa ei saa kuitenkaan laittaa kompostiin liikaa, koska silloin kompostista tulee liian emäksistä ja mikrobien toiminta hankaloituu tai estyy kokonaan. Jätetuhka saadaan hyötykäyttöön käyttämällä sitä kompostoinnin apuaineena. (Romantschuk, Arnold, Kontro, Kurola & Vasara 2005).

5.1 Ensimmäinen vaihe

Kokeen ensimmäisessä vaiheessa haluttiin selvittää, vaikuttaako koeastian valinta tuloksiin, ja ovatko KOH -liuos ja NaOH – pelletit yhtä tehokkaita hiilidioksiditrappeja. Koeastioiksi valittiin ruskeat kapeakaulaiset BOD -pullot, ja läpinäkyvät, laajasuiset maahengitysastiat. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin myös miten kompostin tuhkamäärä vaikuttaa maahengityksen kiivauteen.

Sekä BOD – pulloihin että maahengitysastioihin punnittiin kompostimassaa noin 50 grammaa. Taulukossa 2 on esitetty eri näytteiden tuhkapitoisuudet ja astiatyyppi. Näytteistä määritettiin myös 50 gramman tilavuus. Kompostimassojen kuivapainot oli määritetty osana aiempaa tutkimusta. Näytteiden painot, kuivapainot sekä tilavuudet löytyvät liitteestä 2.

TAULUKKO 2. Näytteiden tuhkapitoisuudet ja astiatyyppi

kompostin tuhkapitoisuus	astiatyyppi	kompostin tuhkapitoisuus	astiatyyppi
n. 4 %	maahengityspullo	n. 4 %	BOD - pullo
0 %	maahengityspullo	0 %	BOD - pullo
2 %	maahengityspullo	2 %	BOD - pullo
4 %	maahengityspullo	4 %	BOD - pullo
8 %	maahengityspullo	8 %	BOD - pullo
16 %	maahengityspullo	16 %	BOD - pullo

Seuraavaksi astioihin laitettiin hiilidioksidia sitovat emäkset. Maahengitystastioiden telineisiin laitettiin muovinen dekantterilasi, jossa oli 50 ml 1 M KOH liuosta. BOD – pullojen kumisäiliöihin punnittiin 3 grammaa NaOH -pellettejä. Laitteen valmistajan teettämän kokeen perusteella (Platen & Wirtz 1999, 8) NaOH – pellettejä tarvitaan vähintään nelinkertaisesti stökiometriseen määrään nähden, jotta hiilidioksidin sitoutuminen emäkseen olisi tarpeeksi tehokasta. Stökiometrinen NaOH:n tarve 0,55 litran koeastiassa on 0,191 g (Platen & Wirtz 1999, 5). NaOH pellettejä päätettiin laittaa reilusti yli stökiometrisen tarpeen, jotta hiilidioksidin imeytyminen olisi mahdollisimman tehokasta.

Kun hiilidioksiditrapit oli laitettu paikoilleen, astiat suljettiin tiiviisti. Maahengitysrunkujen reunat rasvattiin vaseliinilla, jotta reuna olisi mahdollisimman tiivis. Kontrollisäätimellä mittausohjelmaksi säädettiin paineenmittaus, ja mittausajaksi säädettiin 4 vuorokautta. Mittaus käynnistettiin kontrollisäätimellä. Koeastioita

inkuboitiin tämän neljän vuorokauden ajan pimeässä lämpökaapissa + 23 °C:ssa. Koeajan loputtua mittaus lopetettiin ja saatu data siirrettiin Achat OC – ohjelman avulla Excell – tiedostoon. Saaduista tuloksista piirrettiin kuvaajat ja hapenkulutus- ja hiilidioksidintuottoarvot laskettiin liitteessä 3 olevan kaavan avulla.

5.2 Toinen vaihe

Kokeen toisessa vaiheessa mitattiin kolmen rinnakkaisen näytteen hapenkulutusta maahengitysstioissa. Rinnakkaisten näytteiden avulla oli tarkoitus laskea Oxi-Top® menetelmälle keskihajonta ja keskivirhe. Toisessa vaiheessa vertailtiin edelleen hiilidioksiditrappien eroja käyttämällä NaOH -pellettejä maahengitysstiassa. Astioita, joissa NaOH – pelletit olivat hiilidioksidia sitovana emäksenä, oli kolme, yksi kutakin näytettä kohden. Näytteiden tuhkapitoisuudet ja hiilidioksidin sidontaan käytetty emäs on esitetty taulukossa 3.

Kompostinäytteitä punnittiin maahengitysstioihin noin 50 grammaa. Näytteistä oli aiemmin määritetty tilavuudet ja kuivapainot, jotka löytyvät liitteestä 2, josta löytyvät myös näytteiden tarkat painot. Seuraavaksi laitettiin hiilidioksidia sitovat emäkset astioihin. Yhdeksään astiaan laitettiin muovisessa dekantteriasiassa 50 ml 1 M KOH-liuosta ja kolmeen astiaan kumisäiliöihin 3 g NaOH – pellettejä. Astioiden reunat voideltiin vaseliinilla, ja astiat suljettiin tiiviisti. Mittapää ruuvattiin paikoilleen. Kokeet käynnistettiin kontrollisäätimellä. Astioita inkuboitiin +23 °C lämpökaapissa noin 10 vuorokautta. Koeajan loputtua tiedot siirrettiin tietokoneelle Achat OC – ohjelman avulla, ja saaduista tuloksista piirrettiin hapenkulutus - kuvaajat. Hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutusarvot laskettiin liitteessä 3 olevan kaavan avulla.

TAULUKKO 3. Näytteiden tuhkapitoisuudet ja hiilidioksiditrappi

kompostin tuhkapitoisuus (näytteitä)	CO₂-trappi
0 % (3)	KOH -liuos
4 % (3)	KOH -liuos
16 % (3)	KOH -liuos
0 % (1)	NaOH -pelletit
4 % (1)	NaOH -pelletit
16 % (1)	NaOH -pelletit

6 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

6.1 Ensimmäinen vaihe

Tulokset on esitetty hapenkulutus- ja hiilidioksidintuottoarvoina (taulukko 4), ja joistakin tuloksista on piirretty myös hapenkulutuskäyrät, joissa hapenkulutus on ajan funktiona (kuviot 5-8). Maahengitysastioiden ja BOD – pullojen tulokset on esitetty samassa kuvaajassa. Kuvaajasta voidaan katsoa, kuinka pitkä viive - eli lag-vaihe maahengityksen alkamisessa on ja ehtiikö käyrä saavuttaa tasaantumis - eli stationäärivaiheen koeajan puitteissa. Käyrän tasaantuminen voi olla merkki siitä, että koeastiasta on loppunut happi, ja mikrobihengitys on siksi loppunut. Käyrä voi saavuttaa stationäärivaiheen myös siksi, että mikrobihengitys on loppunut hajotettavien yhdisteiden loputtua. Mitä jyrkempi kuvaaja on, sitä kiivaampaa on maahengitys. Kuvaajat näytteistä ”tuhkaa noin 4 %”, ”tuhkaa 0 %”, ”tuhkaa 4 %” ja ”tuhkaa 8 %” on esitetty kuvioissa 5-8. Näytteen ”tuhkaa 8 % maahengityksistä” osalta hapenkulutus- ja hiilidioksidintuottoarvoja ei ole laskettu, koska astia on vuotanut. Astian voidaan päätellä vuotaneen, koska hapenkulutuskäyrä on epätasainen. Hapenkulutus- ja hiilidioksidintuottoarvoihin vaikuttaa koeastiassa tapahtuneen alipaineen synnyn lisäksi näytteen tilavuus ja kuiva-aineen paino, nämä asiat on huomioitu kaavassa, jonka avulla tulokset on laskettu. Kaava löytyy liitteestä 3.

Taulukon 4 hapenkulutus- ja hiilidioksidintuottoarvoista voidaan päätellä, että hiilidioksiditrappina KOH-liuos ja NaOH-pelletit ovat yhtä tehokkaita. Maahengitysastioissa suositellaan käytettävän KOH-liuosta, koska NaOH-pelletit voivat kuivattaa näytettä (Platen ym. 1999,11). Myöskään astian valinnalla ei näyttäisi olevan vaikutusta saatuihin tuloksiin. Maahengitysastiat on suunniteltu maanäytteitä varten ja sopivat tähän tarkoitukseen paremmin. BOD -pullojen kapea kaula hankaloittaa maanäytteen laittamista pulloon ja näytteen saamista pois pullosta.

TAULUKKO 4. Ensimmäisen vaiheen hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutusarvot

näyte	hapenkulutus (mg O ₂ /h/kg TS)	hiilidioksidintuotto (mg CO ₂ /h/kg TS)
1. tuhka n. 4 % maahengitysastia	0,017	0,024
2. tuhka 0 % maahengitysastia	0,037	0,052
3. tuhka 2 % maahengitysastia	0,033	0,047
4. tuhka 4 % maahengitysastia	0,101	0,141
5. tuhka 8 % maahengitysastia	-	-
6. tuhka 16 % maahengitysastia	0,035	0,049
7. tuhka n. 4 % BOD-pullo	0,017	0,023
8. tuhka 0 % BOD-pullo	0,031	0,042
9. tuhka 2 % BOD-pullo	0,043	0,061
10. tuhka 4 % BOD-pullo	0,055	0,077
11. tuhka 8 % BOD-pullo	0,036	0,051
12. tuhka 16 % BOD-pullo	0,041	0,057

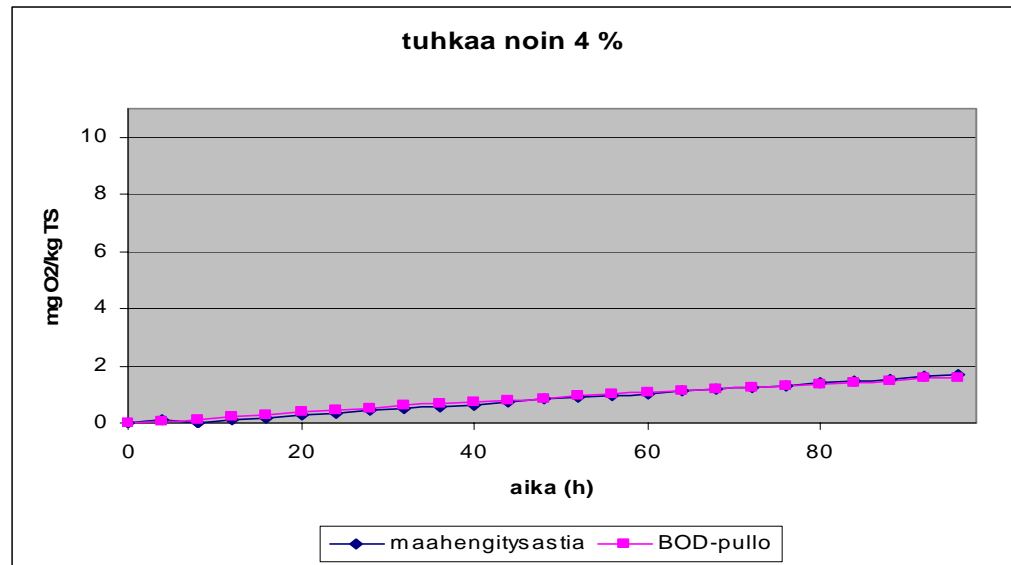
Maahengitys näyttäisi olevan kiivainta PHJ:n kompostissa, johon tuhkaa on lisätty 4 % ja hiljaisinta Kiertokapulän kompostointilaitoksen kompostissa, jossa tuhkaa

on noin 4 %. Erot maahengityksissä ovat todella pieniä, joten tärkeintä on verrata arvoja samoista näytteistä aiemmin mitattuihin arvoihin.

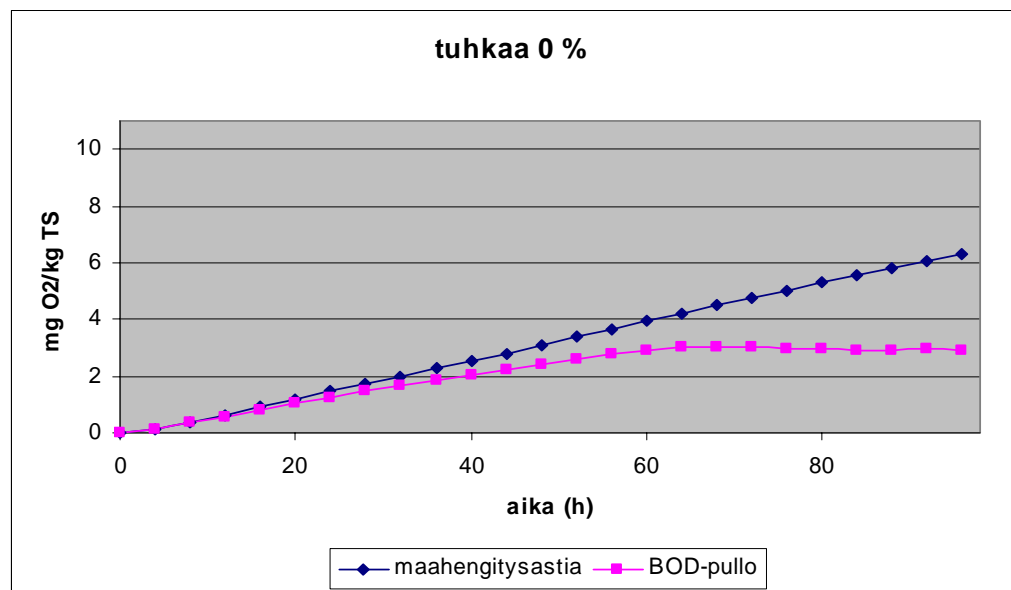
Osasta näytteistä hiilidioksidintuotto mitattiin kompostin ollessa kolme kuukautta vanhaa. Maahengityksen pitäisi olla vähentynyt niiden yhdeksän kuukauden aikana minkä ajan komposti on saanut kypsyä lisää. Taulukossa 5 on hiilidioksidintuottoarvot kolme kuukautta vanhalle ja vuoden vanhalle kompostille. Vuoden vanhan kompostin tulokset on saatu laskemalla maahengityksastian ja BOD -pullon hiilidioksidintuoton keskiarvo ja muuttamalla arvot niin että ne vastaavat kirjallisuusarvoja. Kirjallisuusarvoihin vertaamalla (kypsässä kompostissa hiilidioksidintuotto alle 2 mg CO₂/g TS/vrk) komposti luokiteltiin hiilidioksidintuoton perusteella kypsäksi jo kolme kuukautta vanhana. OxiTop® menetelmällä saatujen tulosten perusteella vuoden vanhassa kompostissa hiilidioksidintuotto on vähäisempää kuin kolme kuukautta vanhassa kompostissa.

TAULUKKO 5. Hiilidioksidintuotto 3 kk vanhassa aumassa ja vuoden vanhassa aumassa

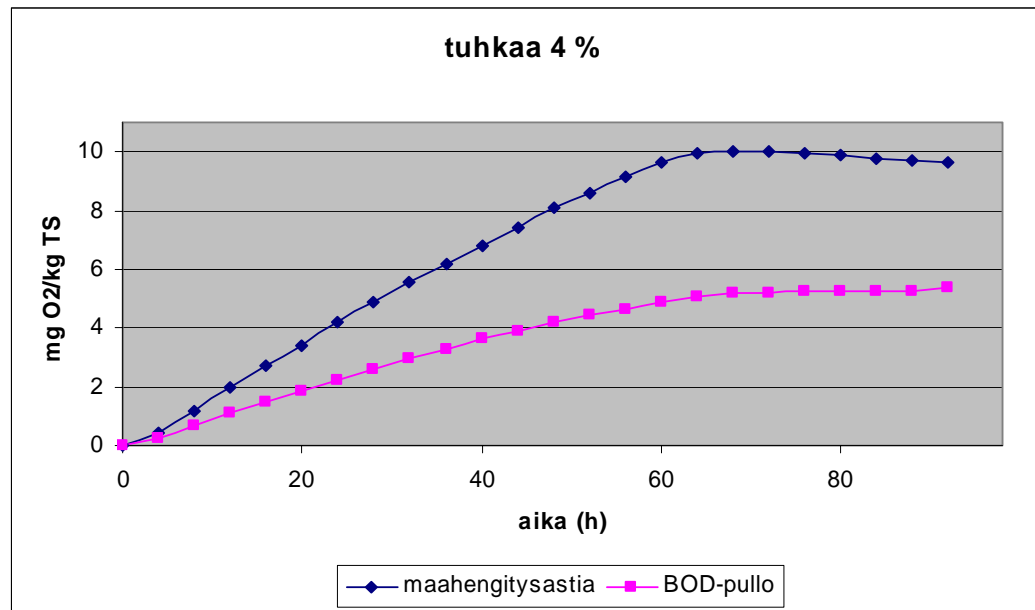
TUHKA %	CO ₂ -tuotto (mg CO ₂ /g TS/vrk) 3 kk vanha auma	CO ₂ -tuotto (mg CO ₂ /g TS/vrk) vuoden vanha auma
0	0,25	0,0011
2	0,35	0,0013
8	0,2	0,0012
16	0,25	0,0013



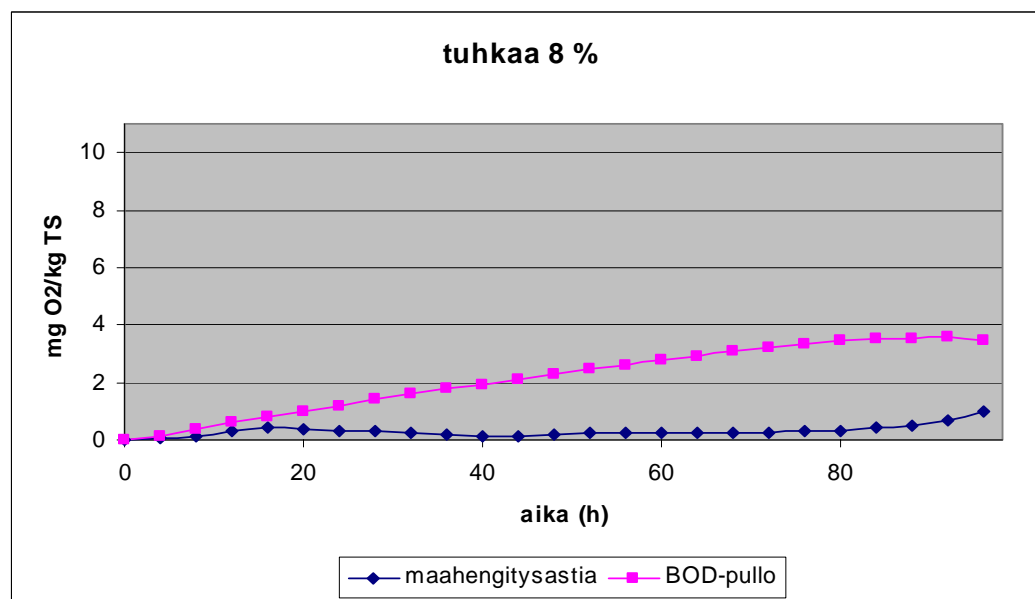
KUVIO 5. Hapenkulutus kompostissa johon tuhkaa on lisätty noin 4 % (näytteet Hyvinkään Kiertokapulan kompostointilaitokselta)



KUVIO 6. Hapenkulutus kompostissa johon tuhkaa on lisätty 0 %



KUVIO7. Hapenkulutus kompostissa johon tuhkaa on lisätty 4 %

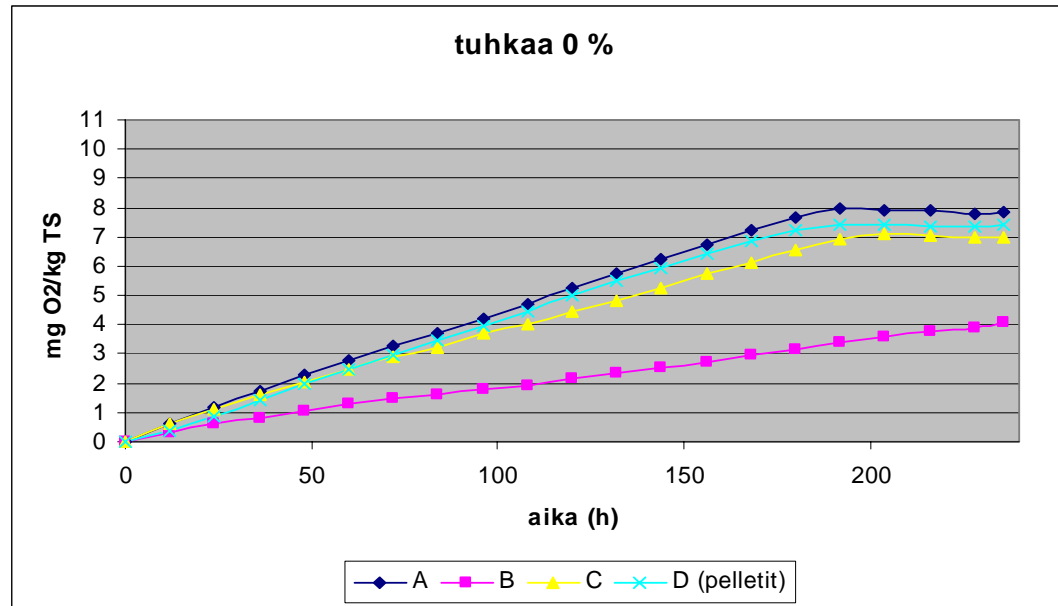


KUVIO 8. Hapenkulutus komposteissa joissa on tuhkaa 8 %

6.2 Toinen vaihe

Myös toisen vaiheen tuloksista on piirretty sekä kuvaajat että laskettu hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutusarvot. Kuvaajat on esitetty kuvioissa 9-11. Hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutusarvot ovat taulukoissa 6-8. Taulukoihin on myös laskettu rinnakkaisien näytteiden arvoista keskiarvot, keskihajonnat ja keskivirheet.

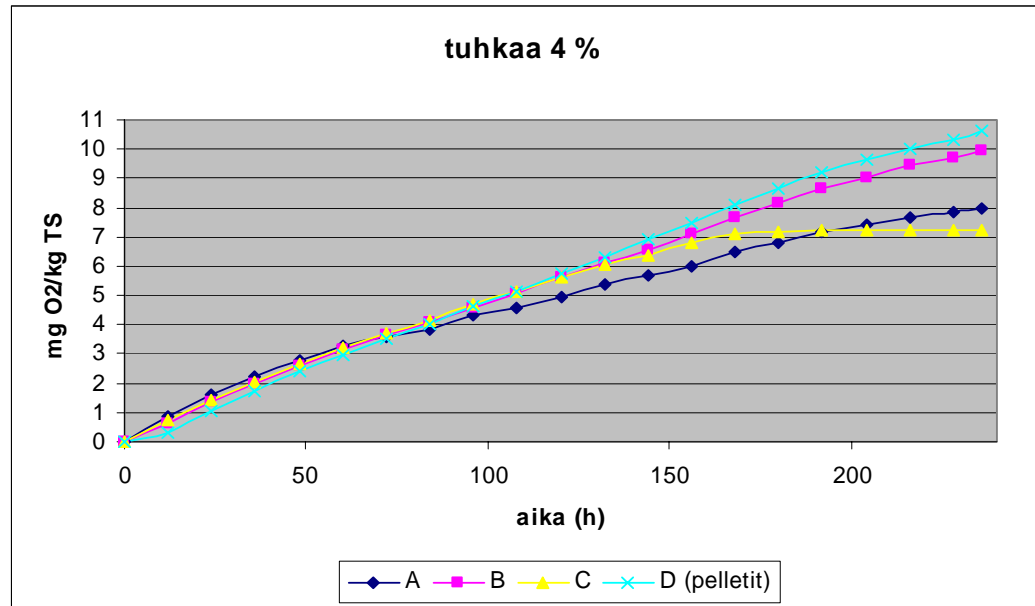
Myös tämän kokeen perusteella voidaan sanoa, etteivät NaOH -pelletit ja KOH -liuos eroa hiilidioksiditrappeina toisistaan. Mittauksen keskivirheet jäivät melko pieniksi, joten OxiTop® -menetelmä vaikuttaa luotettavalta menetelmältä maahengityksen mittaukseen toistettavuuden perusteella. Maahengitys on myös tässä kokeessa kiivainta kompostimassassa, jossa tuhkaa on 4 %. Toisessa osassa saatiin hieman pienempiä tuloksia kuin ensimmäisessä osassa. Tämä voi johtua mittausajan pituudesta, maahengitys on ehtinyt hiipua pidemmän koejakson aikana, jolloin vuorokautta kohden laskettu tulos jää pienemmäksi.



KUVIO9. Hapenkulutus kompostissa johon on lisätty tuhkaa 0 %

TAULUKKO 7. Näytteen ”tuhkaa 0 % ” hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutussarvot

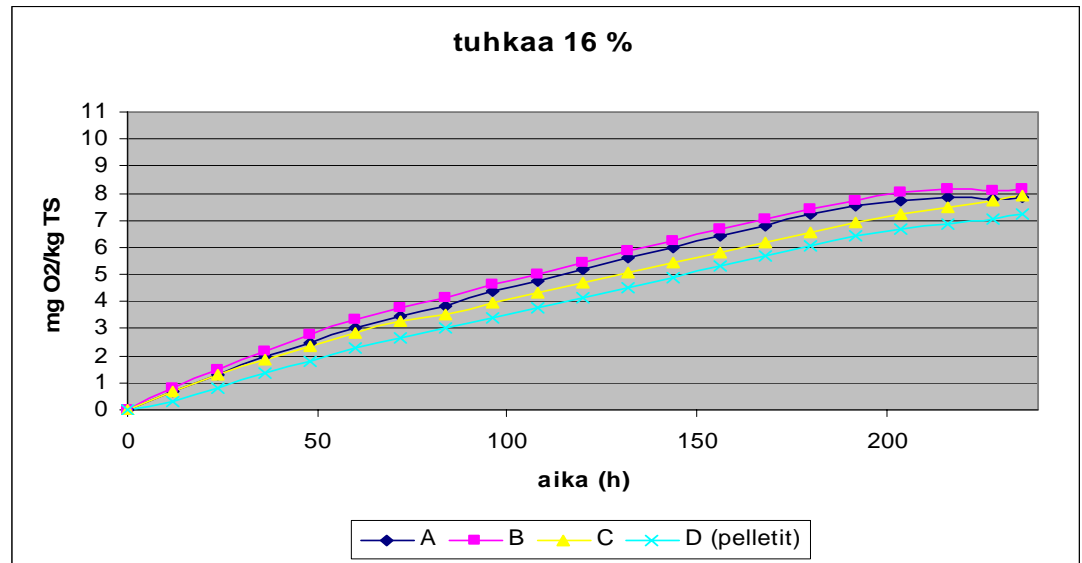
NÄYTE	hiilidioksidin tuotto (mg CO ₂ /h/kg TS)	hapen kulutus (mg O ₂ /h/kg TS)
tuhka 0 % A	0.047	0.033
tuhka 0 % B	0.024	0.017
tuhka 0 % C	0.042	0.030
tuhka 0 % A (NaOH-pelletit)	0.047	0.033
Keskiarvo (A,B ja C)	0.038	0.027
keskihajonta (A,B ja C)	0.012	0.008
keskivirhe (A,B ja C)	0.007	0.005



KUVIO 10. Hapenkulutus kompostissa johon on lisätty tuhkaa 4 %

TAULUKKO 8. Näytteen ”tuhkaa 4 % ” hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutussarvot

NÄYTE	hiilidioksidin tuotto (mg CO ₂ /h/kg TS)	hapen kulutus (mg O ₂ /h/kg TS)
tuhka 4 % A	0.048	0.034
tuhka 4 % B	0.059	0.042
tuhka 4 % C	0.069	0.049
tuhka 4 % A (NaOH-pelletit)	0.067	0.048
keskiarvo (A,B ja C)	0.059	0.042
keskihajonta (A,B ja C)	0.011	0.008
keskivirhe (A,B ja C)	0.006	0.005



KUVIO 11. Hapenkulutus kompostissa johon on lisätty tuhkaa 16 %

TAULUKKO 9. Näytteen ”tuhkaa 16 % ” hiilidioksidintuotto- ja hapenkulutusarvot

NÄYTE	hiilidioksidin tuotto (mg CO ₂ /h/kg TS)	hapen kulutus (mg O ₂ /h/kg TS)
tuhka 16 % A	0.047	0.033
tuhka 16 % B	0.048	0.034
tuhka 16 % C	0.047	0.033
tuhka 16 % A (NaOH-pelletit)	0.046	0.033
keskiarvo (A,B ja C)	0.047	0.034
keskihajonta (A,B ja C)	0.001	0.001
keskivirhe (A,B ja C)	0.001	0.001

7 HAPETON BIOHAJOAMINEN: METAANIN TUOTON MITTAAMINEN

7.1 Metaanin tuoton mittaaminen oliivijätteestä

Toisessa sovelluksessa testattiin OxiTop[®]-menetelmän soveltuvuutta metaanin tuoton mittaamiseen orgaanisesta substraatista. Substraattina käytettiin oliiviöljyn valmistuksessa syntyvää jätettä. Suurin osa nykyaikaisista oliiviöljytehtaista valmistaa oliiviöljyä kaksivaiheisen oliiviöljymyllyn avulla. Ensimmäisessä vaiheessa oliivit pestään, toisessa vaiheessa ne murskataan ja sentrifugoidaan, ja kolmannessa vaiheessa vielä primaariöljy sentrifugoidaan pesuveden kanssa. Ensimmäisessä ja viimeisessä vaiheessa syntyy pesujätevesiä ja toisessa vaiheessa kiinteää oliivijätettä, joka sisältää paljon orgaanista ainesta. Toisen vaiheen kiinteää oliivijätettä syntyy oliiviöljyä valmistavissa välimerenmaissa paljon, esimerkiksi Espanjassa noin 2 miljoonaa tonnia vuodessa. Orgaaninen jäte aiheuttaa suuren ympäristöongelman, ja siksi jätteen mädättämistä on alettu tutkia. Mädättämällä oliiviöljyjäte saadaan stabiilimmaksi ja tuotetaan lisäksi melko puhdasta energiaa, biokaasua. (Borja, Rinco'n, Raposo, Alba & Martín 2002, 733–734.)

7.2 Metaanin muodostuminen

Metaania syntyy anaerobisissa oloissa metaaniarkkien toiminnan seurauksena. Mädätyksessä syntyvässä biokaasussa on metaania noin 70 % ja lisäksi hiilidioksidia, ammoniakkia ja rikkivetyä (Salkinoja-Salonen 2002, 217–218).

Metaanin muodostuminen tapahtuu vasta monivaiheisen hajotusketjun viimeisessä vaiheessa. Ensin tapahtuu hydrolyysi, jossa kompleksiset orgaaniset yhdisteet hajotetaan liukoiksi yhdisteiksi. Liukoiset yhdisteet fermentoidaan orgaanisiksi hapoiksi ja alkoholeiksi. Seuraavaksi tapahtuu etikkahappokäyminen, ja vasta sen jälkeen metanogeeniset arkit tuottavat biokaasua. Mädätykseen osallistuu useita eri mikrobilajeja, jotka vastaavat hajotusketjun eri osista.

Mädätys vaatii toimiakseen anaerobin ympäristön, tasaisen lämpötilan (joko termofiilisen 55 °C tai mesofiilisen 35 °C) sekä pH-alueen 6-8. Mädätyksen alkuvaiheessa syntyy happoja, joiden liallinen määrä voi häiritä metaanintuottajien toimintaa. Metanogeeniset mikrobit ovat myös hyvin herkkiä lämpötilan vaihteluille, joten lämpötilan tasaisuus on tärkeä tekijä mädätyksen onnistumisen kannalta. (Salkinoja-Salonen 2002, 475–479).

7.3 Oliivijätteen mädätystutkimukset

Metaanin tuottoa oliiviöljyn valmistuksessa syntyvästä jätteestä on tutkittu jatkuvatoimisissa, puolijatkuvatoimisissa ja panosreaktoreissa. Jatkuvatoimiseen reaktoriin lisätään prosessin kuluessa syötettä sekä otetaan ylimääräistä jo hajonnutta ainesta pois. Panosprosessiin ei lisätä eikä sieltä poisteta mitään prosessin aikana. Puolijatkuvatoimiseen prosessiin voidaan joko lisätä syötettä, tai poistaa hajonnutta ainetta prosessin aikana.

Jatkuvatoimisella reaktorilla on päästy tuloksiin, jossa reaktoriin lisätyn oliivijätteen orgaaninen aines vähenee keskimäärin 83 % mesofiilisessä 35 °C lämpötilassa, ja metaania syntyy syötteen COD-arvosta (chemical oxygen demand = kemiallinen hapentarve) riippuen 0,2–0,3 l poistettua COD-grammaa kohden (Borja, Martín, Rinco'n & Raposo 2003, 3392). Toisessa tutkimuksessa mädätys suoritettiin 37 °C:ssa, sekä panos- että puolijatkuvatoimisena prosessina. Panosprosessissa suuri substraattipitoisuus esti biokaasun syntymisen, mutta puolijatkuvatoimisessa prosessissa metaania oli biokaasusta jopa 80 % ja metaania syntyi vuorokaudessa 0,692 l (Ali, Tekin & Coşkun Dalgiç 2000.308 ja 311). Panosprosessikokeessa (Ergüder, Güven & Demirer 2000) havaittiin, että pelkän kiinteän oliivijätteen mädätys tuottaa vähän biokaasua, mutta kun sen sekoittaa oliiviöljyn tuotossa syntyvään jäteveteen, paranevat tulokset huomattavasti. Tämä johtuu siitä että pelkässä kiinteässä jätteessä on hyvin vähän ravinteita mikrobeille.

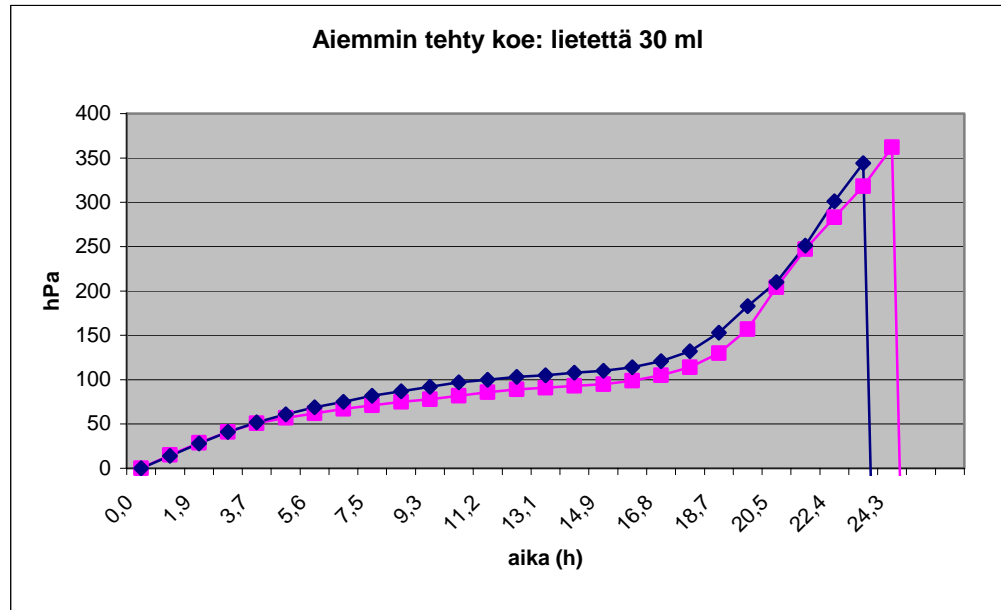
8 KOEJÄRJESTELY: METAANINTUOTON MITTAUS

8.1 Kokeiden pystytys

Kokeessa käytetty oliivijäte on peräisin Espanjasta oliiviöljytehtaalta. Kyseisen oliiviöljyjätteen tarkkaa koostumusta ei tunneta, mutta kaksivaiheisesta myllystä peräisin olevan kiinteän oliivijätteen koostumus on 60–70 % vettä, 13–15 % ligniiniä, 18–20 % selluloosaa ja hemiselluloosaa, 2,5–3 % oliiviöljyä ja 2, 5 % mineraaleja (Borja ym. 2002, 262).

Ensin määritettiin oliivijätteen kuiva-ainepitoisuus punnitsemalla 1 g näytettä foliovuokaan ja laitamalla vuoka 104 °C uuniin yön. Kosteus haihtui kuumassa uunissa ja jäljelle jääneen kuiva-aineen prosenttiosuus punnitusta gramman näytteestä laskettiin. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin viidestä rinnakkaisesta näytteestä. Viiden näytteen kuiva-ainepitoisuuksista laskettiin keskiarvo ja näin saatiin oliivijätteelle kuiva-aine pitoisuudeksi 27,5 %.

Anaerobipulloihin päätettiin laittaa oliivijäte kuiva-ainetta 1 %, 2 %, 10 % ja 15 %. Yleensä mädätysreaktorit toimivat noin 10–15 % substraatti (kuiva-ainetta) pitoisuudella. Pienemmät pitoisuudet (1 ja 2 %) valittiin mukaan kokeeseen, koska ei tiedetty, mikä olisi ihanteellinen substraattipitoisuus OxiTop[®] -menetelmälle. Anaerobimikrobit saatiin Lahti veden jätevedenpuhdistamon mädättämölietteestä. Kokeessa käytettiin esikuivattua mädättämölietettä. Lietettä päätettiin laittaa pulloihin 15 ml, koska aiemmissa kokeissa suuremmilla lietemäärillä paine ylitti turvallisuusrajan (350 hPa) alle vuorokaudessa. Kuviossa 12 näkyy paineen nopea nousu aiemmassa koejärjestelyssä, jossa lietettä käytettiin 30ml. Anaerobikokeissa on tärkeä käyttää tuoretta lietettä ympinä, koska tuoreessa lietteessä mikrobit ovat elinkykyisempiä kuin vanhassa lietteessä (Süßmuth, Doser & Lueders 1999,19).



KUVIO 12. Paineen nousu aiemmin tehdyssä kokeessa joissa lietettä käytettiin 30 ml. Paine ylitti turvallisuusrajan alle vuorokaudessa

Taulukossa 9 on esitetty näytteiden numerot, Anaerobipulloihin punnittu oliivijättemäärä, lietteen määrä ja veden määrä. Koepullojen korkin säiliöihin laitettiin 4 g NaOH-pellettejä sitomaan biokaasun hiilidioksidia. Kokeissa käytettiin kraanavettä, koska laitteen valmistajan teettämän tutkimuksen mukaan kraanavesi toimii liuottimena yhtä hyvin kuin erilaiset suolaliuoksetkin, sillä se sisältää kaikki mikrobien tarvitsemat mineraalit ja hivenaineet (Süßmuth, Doser & Lueders 1999, 19).

TAULUKKO 9. Näyte, veden määrä, lietteen määrä ja oliivijätteen määrä koepulloissa

näyte	kontrollit 1 ja 2	substraatti 3 ja 4	5 ja 6	7 ja 8	9 ja 10	11 ja 12
vesi	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
liete	15 ml	-	15 ml	15 ml	15 ml	15 ml
oliivi- jäte	-	18,2 g (kuiva- ainetta 1 %)	18,2 g (kuiva- ainetta 1 %)	36,4 g (kuiva- ainetta 2 %)	181,8 g (kuiva- ainetta 10 %)	272,7 g (kuiva- ainetta 15 %)

8.2 Typetys ja kokeiden lopetus

Mädättämisen onnistumisen kannalta on tärkeää, että olosuhteet koepulloissa ovat hapettomat. Kokeissa käytetty vesi typetettiin, jotta vedessä oleva happi poistuisi. Vettä typetettiin 0,5 h/ 2 l. Koepullot saatiin hapettomiksi syöttämällä niihin typpeä septumin läpi työnnetyn neulan kautta. Happi ja ylimääräinen typpi pääsivät poistumaan pulloista toiseen septumiin työnnetyn avoimen neulan kautta. Typetysjärjestelmä näkyy kuviossa 13. Typen syöttäminen aloitettiin jo kun pulloihin mitattiin oliivijäte, vesi ja liete. Heti lietteen lisäämisen jälkeen pullo suljettiin nopeasti ja typetystä jatkettiin puoli tuntia.

Kun koepullot oli typetetty, ne siirrettiin + 35 °C: en pimeään lämpökaappiin. Lämpökaapissa pitää olla pimeää, koska muuten fotosynteesissä voi syntyä happea koepulloihin. Kuviossa 14 näkyvät koepullot lämpökaapissa. Mittauksessa käytettiin paineenmittausohjelmaa. Koe käynnistettiin kontrollisäätimellä. Pulloja inkuboitiin kaapissa 30 vuorokautta. 29 vuorokauden jälkeen pullojen kumisäiliöön ruiskutettiin septumin kautta 1 ml 30 % v/v KOH-liuosta sitomaan lopun ilmatilassa olevan hiilidioksidin. Kokeen päätyttyä tulokset siirrettiin tietokoneelle Achat OC – ohjelman avulla.



KUVIO 13. Typetysjärjestelmä



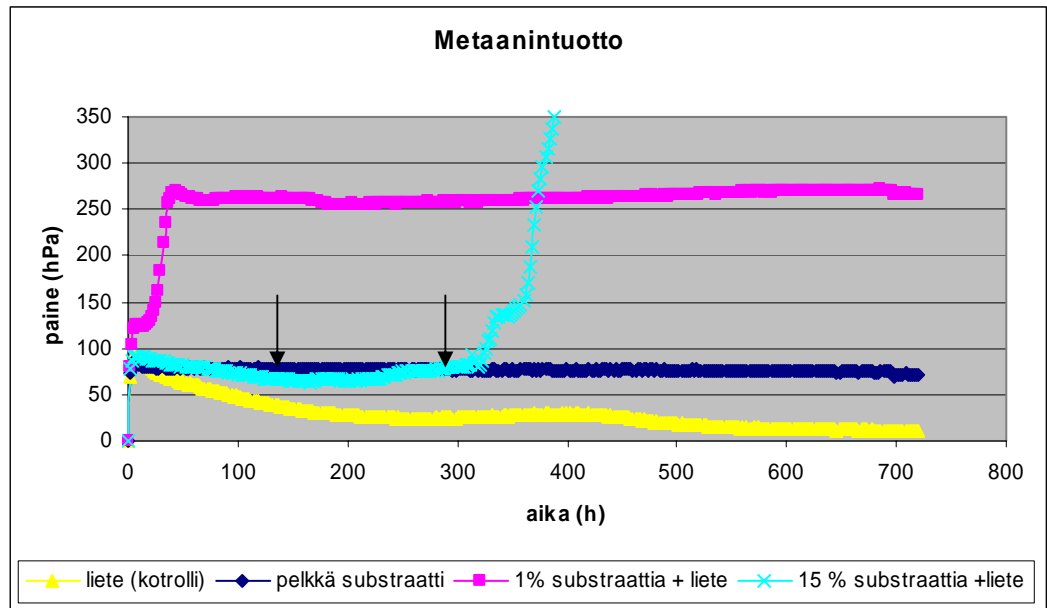
KUVIO 14. Koepullot lämpökaapissa magneettisekoituslaitosten päällä

9 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Metaania syntyi neljässä koeastiassa. Molemmissa astioissa ”oliiviöljyjätettä 1 % ja lieteymppi”, paine nousi alussa nopeasti, mutta pysyi alun nousun jälkeen samana koko koejakson ajan (kuvio 15). Kuvioon 15 on laskettu kahden rinnakkaisen näytteen keskiarvo. Metaanin aiheuttama paineenmuutos oli noin 130 hPa. Osa metaanista syntyi substraatin hajotuksesta ja osa lietteessä jäljellä olevan orgaanisen aineen hajottamisesta. Jotta saatiin selville, mikä osa paineen noususta johtuu substraatin biohajoamisesta, lietekontrollin tulos vähennettiin 130 hPa:sta. Tämän perusteella substraatista syntyvän biokaasun aiheuttama paineen nousu oli 120 hPa. Metaania syntyi näissä koeastioissa vain noin kahden ensimmäisen vuorokauden aikana, joten koeaika olisi voinut lyhentää huomattavasti. Toisessa kokeista, jossa oliivijätettä oli 15 %, paine nousi yllättäen yli turvallisuusrajan 350 hPa, joten mittaus jouduttiin lopettamaan 16 päivän kohdalla (kuvio 15). Paineen yllättävä nousu voi johtua pullon sekoittamisesta. Sekoittamisajankohdat on merkitty kuvioon nuolilla.

Pelkkää oliiviöljyjätettä sisältävän pullon paineen nousu johtuu pullojen siirtämisestä huonelämpötilasta (+20 °C) inkubointilämpötilaan (+35 °C) (Kuvio 15). Pelkästä substraatista ei synny metaania, koska tarvittavat mikrobit puuttuvat. Paine nousee lämpötilan noustessa kun kaasu laajenee koeastiassa. Koepullojen lämmön olisi pitänyt antaa ensin tasaantua lämpökaapissa, jotta alun rajulta paineen nousulta olisi välttytty. Kokeita ei siis saisi käynnistää ennen lämmön tasaantumista. Näytteistä ”pelkkä substraatti” on laskettu kahden rinnakkaisen näytteen tulosten keskiarvo.

Kontrollista eli pelkästä lietteestä metaania syntyi hyvin vähän, sillä paineenmuutos oli vain 10 hPa. Vain toinen näytteistä antoi loogisen tuloksen. Kontrollikäyrän lasku johtuu luultavasti hiilidioksidin sitoutumisesta NaOH -pelletteihin. Kontrollinäytteen metaani syntyy mikrobien hajottaessa lietteessä jäljellä olevaa orgaanista ainesta. Tuloksen perusteella käytetyssä lietteessä oli hyvin vähän hajoavaa orgaanista ainesta jäljellä, joten metaaniakin syntyy hyvin vähän.

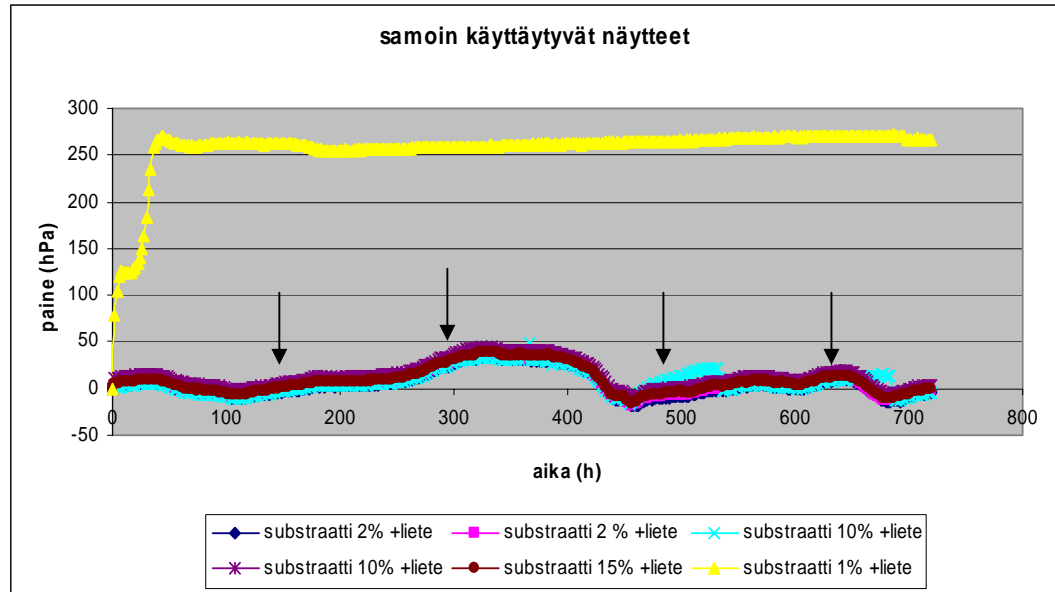


KUVIO 15. Paineen kehitys koeastioissa. Nuolet osoittavat näytteen ”substraattia 15 % ” sekoitusajankohdat

Näytteiden ”kontrolli 1 (liete)”, ”substraattia 2 %”, ”substraattia 10 % ” ja ”substraattia 15 % ” painekäyrät muistuttavat kovasti toisiaan (Kuvio 16). Yhteistä näille näytteille oli inkubointilämpötila, vesimäärä ja lietemäärä Magneettisekoittajan sekoitusvoima ei riittänyt kokeissa, joissa oliiviöljyjätettä oli 10 % ja 15 %. Nämä näytteet inkuboitiin muuten ilman sekoitusta, mutta pulloja sekoitettiin käsin kokeen alussa, sekä noin kerran viikossa (Kuvio 16). Pullojen sekoitus käsin ei aiheuttanut mitään selviä vaihteluita paineeseen. Pulloissa, joissa substraattia oli 2 % sekoitus toimi, samoin toisessa lietekontrollissa, joten sekoituksen puute ei voi olla syynä odottamattomaan tulokseen.

Syynä paineen suureen heittelyyn voisi olla se, etteivät pullo ole täysin hapettomia. Tätä kuvastaisi se, ettei painekäyrä lähde alussakaan nousuun. Yhdessä pullossa kasvoi hometta nesteen pinnalla kokeen lopussa. Loogista oli, että se oli koeastia, jossa substraattia oli eniten eli 15 %. Nesteen pH oli kokeen lopussa 5.15 ja kokeen alussa 6.7.

Koeastioiden hapellisuus voi johtua epäonnistuneesta typetyksestä tai niiden vuotamisesta kokeen aikana. Typetysaikana käytettiin samaa kuin edeltävissä tutkimuksissa, jossa mukana oli lietteen lisäksi substraattina sokeria. Oliiviöljyjäte olisi ehkä vaatinut pidemmän typetysajan. Jos koeastiat vuotivat, tarkoittaisi se, että puolet (6 / 12) koepulloista vuotaisi. Koska pullot suljettiin ohjeiden mukaan ja huolellisesti, vuotaminen kertoisi epäluotettavasta menetelmästä



KUVIO 16. Näytteet joiden painekäyrät ovat samanlaiset. Kuviossa on esitetty myös näytteen ”substraattia 1 % ” paineenousu. Nuolet osoittavat näytteiden ”substraattia 10 % ” ja ”substraattia 15 % ”sekoitusajankohdat

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitata hapellista ja hapetonta biohajoamista käyttämällä OxiTop® -menetelmää. OxiTop® -menetelmä soveltuu erilaisten maa- ja vesinäytteiden tutkimiseen (Operating Manual: System OxiTop® Control 28.3.2006.). Menetelmän käytöstä on olemassa vähän tutkimustuloksia. Esimerkiksi menetelmän käytöstä anaerobiosuhteissa ei löydy juurikaan kirjallisuus-

viitteitä. OxiTop[®]-menetelmää on käytetty aiemmin lähinnä erilaisten yhdisteiden aerobisen biohajoavuuden määrittämiseen.

Menetelmällä pyrittiin määrittämään kompostin kypsyyttä ja mittaamaan metaanintuottoa oliivijätteestä. Suoritettujen koejärjestelyiden avulla voidaan sanoa OxiTop[®]-menetelmän soveltuvan hyvin kompostin kypsyuden määrittämiseen. Menetelmä on helppokäyttöinen ja rinnakkaisten kokeiden keskivirhe jää melko pieneksi. Parhaaksi koeastiaksi osoittautui maahengitysastia ja hiilidioksidia adsorboivaksi emäkseksi KOH-liuos. OxiTop[®] menetelmän avulla on mahdollista havaita hyvinkin pienet erot eri näytteiden mikrobihengityksien välillä. OxiTop[®]-menetelmää voidaan ehkä tulevaisuudessa käyttää kompostin kypsyuden määrittämisessä tai kompostiprosessin monitoroinnissa, sillä tuloksia on mahdollista saada muutamassa tunnissa.

Metaanin tuoton mittaus OxiTop[®]-menetelmällä osoittautui haastavaksi. Metaanintuoton mittaamisen haasteita ovat hapettomien koeolosuhteiden aikaansääminen, sekoituksen varmistaminen sekä tarvittavan lietemäärän arviointi. Koeastiat täytyy saada täysin hapettomiksi, jotta koe voi onnistua. Yksinkertaisella typetyjärjestelmällä astioiden hapettomuudesta on vaikea saada varmuutta. Koepullojen hapettomuudesta voi yrittää varmistua seuraamalla paineen kehitystä koeastioissa kokeen alussa, ja jos paine lähtee heti alussa laskuun, eivät astiat ole hapettomia ja kokeen voi pysäyttää heti. Typetyksen tehoa voisi parantaa myös käyttämällä typetyksessä typpitelttä eli tilaa, jossa on ehdottoman hapettomat olosuhteet. Liiallinen substraattipitoisuus koepullossa taas estää magneettisekoittajan toiminnan. Astioiden sekoittaminen käsin ei välttämättä ole tarpeeksi tehokasta ja se vie aikaa.

Ehkä suurimman haasteen metaanintuoton mittaamiseen tuo käytettävän ympin vaihteleva koostumus. Koskaan ei voi tietään varmasti, paljonko metanogenejä lietteessä on, ja koska käytettävän lietteen on oltava ehdottoman tuoretta, ei lietteen koostumusta ehditä määrittää. Yksi vaihtoehto olisi lietteen ylläpitäminen laboratoriossa, jolloin lietteen koostumus olisi helppo määrittää ja liete pysyisi tuoreena. Laboratoriossa kasvatettavan ympin mikrobit voitaisiin myös etukäteen to-

tuttaa tutkittavaan substraattiin, jolloin metaanintuottoa saataisiin nopeutettua. Jos lietteen metanogeenimäärä tunnettaisiin, olisi kokeisiin helpompi valita sopiva määrä lieteymppeä.

Suoritetulla koejärjestelyllä ei saatu mitattua oliivijätteestä syntyvän metaanin määrää. Koejärjestely vaatii lisäkehittelyä, jotta metaanintuoton mittaus voisi onnistua. Jos parempaa typetysjärjestelmää ei ole käytössä, pitäisi typetysaikaa nostaa ”varmuuden vuoksi”. Pulloja pitää seurata tarkasti ensimmäisen vuorokauden ajan ja jos kaasua ei ala muodostua, katkaista koe välittömästi. Kokeen kesto kannattaa säätää 2-4 päiväksi, jolloin mittapää rekisteröi paineen muutoksen tiheästi. Ensimmäinen mittaus saadaan jo muutaman tunnin kuluttua kokeen aloittamisesta ja uusi koe voidaan aloittaa uudestaan vielä tuoreella lietteellä. Vaihtoehtona on usean eri rinnakkaisen kokeen käyttö. Vaikka tässä kokeessa ”unohdettiin” tassaannuttaa koeastiat lämpökaapissa ennen kokeen aloittamista, nopea paineennousu lämpökaappiin siirtämisen jälkeen voisi toimia myös indikaattorina siitä kannattaako koetta jatkaa. Tässä koejärjestelyssä se olisi toiminut indikaattorina, sillä kokeissa, jotka eivät onnistuneet, siirto lämpökaappiin ei näkynyt painekäyrissä toisin kuin niissä, joista saatiin looginen painekäyrä.

LÄHTEET

- Ali, R. Tekin, A. & Coşkun Dalgiç 2000. Biogas production from olive pomace. *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 301–313
- Borja, R. Martín, A. Rinco'n, B. & Raposo, F. 2003. Kinetics for Substrate Utilization and Methane Production during the Mesophilic Anaerobic Digestion of Two Phases Olive Pomace (TPOP). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (2003) 3390-3395.
- Borja, R. Rinco'n, B. Raposo, F. Alba, J. & Martín, A. 2002. A Study of anaerobic digestibility of two-phases olive mill solid waste (OMSW) at mesophilic temperature. *Process Biochemistry*, 38 (2002) 733-742.
- Campbell, N. Reece, B. & Mitchell, L. 1999. *Biology*. 5. uudistettu painos. Benjamin/Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.
- Ergüder, T. H. Güven, E. & Demirer, G. N. 2000. Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors. *Process Biochemistry* 36 (2000) 243–248
- Kompostilla kukkimaan: kompostoijan opas. Turun seudun jätehuolto.
<http://www.turunseudunjatehuolto.fi/file/cd588570c788e1feec9b50bc55014c19>. 28.3.2006
- Lannoitelaki 232/1993
- Operating Manual: System OxiTop® Control http://www.wtw.com/downloads/manuals/ba31114e04_OC100.pdf. 28.3.2006
- Platen, H & Wirtz, A. 1999. Applications of analysis no. 1. Measurement of the respiration activity of soils using the OxiTop® Control measuring system. Application report 1299401e.
- Reuschenbach, P. Pagga, U. & Strotmann, U. 2003. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-47RB0X16&_coverDate=04%2F30%2F2003&_alid=389567928&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_qd=1&_cdi=5831&_sort=d&view=c&_acct=C000049116&_version=1&_urlVersion=0&_userid=949111&md5=73a07eddbbef673fb306206e2142fded. 28.3.2006

- Romantschuk, M. Arnold, M. Kontro, M. Kurola, J. & Vasara, T. 2005. Bioteho II: Älykäs kompostointi – prosessinohjaus ja hajunmuodostuksen hallinta. Loppuraportti 21.10.2005.
- Salkinoja-Salonen, M. (toim.) 2002. Mikrobiologian perusteet. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä
- Süßmuth, R. Doser, C. & Lueders, T. 1999. Applications of analysis no. 3. Determination of the biological biodegradability of organic substances under anaerobic conditions using the OxiTop® Control measuring system. Application report 0600412e.
- TEHOKOMP 2002–2004 loppuraportti 31.5.2005. Bioteho, Keittiöbiojätteet, Monikomp.
- Vähäoja, P. Kuokkanen, T. Välimäki, I. Vuoti, S. & Perämäki, P. 2004. Biodegradabilities of some chain oils in groundwater as determined by the respirometric BOD OxiTop method. *Anal Bioanal Chem* (2005) 381: 445–450.

LIITTE 1

OXITOP® – KÄYTTÖOHJE: MAAHENGITYKSEN JA METAANINTUOTON MITTAUS

Maahengitysnäytteen valmistelu

- Punnitse sopiva näytemäärä maahengitysasastiaan (esim. vanha komposti 50 g, tuore komposti 30 g, pilaantunut maa 100-150g)
- MUISTA määrittää näytteestä myös kuivapaino ja tilavuus, tarvitset niitä myöhemmin laskiessasi hapenkulutusta ja hiilidioksidintuottoa!
- Mittaa 50 ml 1 M KOH – liuosta muoviseen dekantterilasiin.
- Rasvaa kannen kumireuna kevyesti. Aseta KOH – astia telineeseen ja laita kansi kiinni.
- Ruuvaa mittapää tiukasti paikoilleen ja sulje kansi tiiviiksi neljällä klipsillä.
- Laita astiat lämpökaappiin (+ 23 °C) ja anna lämmön astioissa tasaantua hetki

Metaanintuottonäytteen valmistelu

- Laita pulloon sopivat määrät mikrobiymppiä(sisältää metanogeenit), substraattia mikrobeille sekä tyytettyä kraanavettä.
- Laita pulloon magneettisekoittaja
- Tyytetä pulloja 0.5-1 h tai kokoa koe tyypikaapissa
- Siirrä pullot lämpökaappiin(+ 35–37 °C) ja anna lämmön astioissa tasaantua hetki

Oikean mittausohjelman valinta ja mittausolosuhteiden säätäminen

- Paina GLP painiketta ja valitse Settings painamalla RUN/ENTER. Valitse operating mode painamalla RUN/ENTER ja sieltä Pressure p paina RUN/ENTER.
- Säädä mittausaika valitsemalla Measurin time nuolipainikkeilla saat vaihdettua mittausaikaa. Vahvista haluttu mittausaika painamalla RUN/ENTER.
- Varmista Date/Time valikosta että päivä ja aika ovat oikein (paina RUN/ENTER ja vahvista aika ja päivä painamalla RUN/ENTER)
- GLP: n ollessa päällä kalibroinnit tallentuvat laitteen muistiin. Vahvista joko on tai off painamalla RUN/ENTER.

Mittauksen käynnistys

TAPA 1) Jos mittapäävät ovat vapaita, eli mittapäissä ei ole dataa edellisistä mittauksista, voi mittauksen aloittaa suoraan painamalla painiketta jossa on säätimen ja mittapään kuva

- Valitse Start sample painamalla RUN/ENTER painiketta

LIITE 1 jatkuu

- Varmista näytöltä että näytteen tiedot ovat oikein
- Näytteen ID -numeroa voi muuttaa menemällä nuolinäppäimillä numeron kohdalle painamalla RUN/ENTER ja muuttamalla numeroa nuolinäppäimiä painelemalla. Uusi numero vahvistetaan painamalla RUN/ENTER
- Osoita säätimellä mittapäätä jonka haluat käynnistää ja valitse Start painamalla RUN/ENTER painiketta. Jos käynnistys onnistuu, näytöllä lukee ;started!
- HUOM! Jos käynnistys EI onnistu:
- jos näytöllä lukee Start stopped vähennä kontrollisäätimen ja mittapään välimatkaa ja valitse Continue start painamalla RUN/ENTER
- Jos näytöllä lukee Already used, joudut tyhjentämään ko. mittapään kohdan TAPA 2 mukaan

TAPA 2) MITTAPÄÄN MUISTIN TYJENNYS: Jos mittapäissä on tietoa edellisestä mittauksesta eli mittapää ei ole vapaa täytyy mittapää tyhjentää ennen mittauksen käynnistämistä. Jos olet varma että tyhjentämällä et tuhoa kenenkään tärkeitä tiedostoja, kannattaa kaikki käytettävät mittapäät tyhjentää ennen mittauksen aloittamista, koska mittauksen käynnistys on silloin paljon helpompaa.

- Aloita mittapään tyhjentäminen painamalla GLP painiketta
- Valitse Maintenance painamalla RUN/ENTER ja valitse edelleen Reset/Release painamalla RUN/ENTER
- Osoita säätimellä sitä mittapäätä jonka haluat tyhjentää, mittapään tiedot ilmestyvät ruutuun. Valitse edelleen Reset/Release ja paina RUN/ENTER
- Kun mittapää on tyhjä, näyttöön ilmestyy teksti Reset performed!
- Kun mittapäät ovat tyhjiä voit aloittaa mittauksen kohdan TAPA 1 mukaan

Mittauksen lopetus

-Mittausajan loputtua siirrä tiedot säätimeltä tietokoneelle mahdollisimman pian, jottei mittausdatasi vie tilaa säätimen muistissa. Voit siirtää tiedot koneelle vaikka mittaus olisi kesken!

OXITOP® – KÄYTTÖOHJE: BOD:N MITTAUSMITTAUS (routine BOD ja standard BOD)

Näytteen valmistelu

- Näytemäärä kannattaa valita niin, että ”vahvoja” näytteitä (paljon orgaanista hajoavaa ainetta) laitetaan vähän ja ”laimeita” (vähän orgaanista hajoavaa ainetta) näytteitä paljon. Valitse sopiva näytemäärä TAULUKOSTA 1.

LIITE 1 jatkuu

TAULUKKO 1. Näytemäärät ja BOD-alue (eli esim. - 40mg/l, mittaa BOD -arvoja vain 40 mg/l saakka)

BOD-alue (mg/l)	näytetilavuus (ml)
– 40	432
– 400	164
– 80	365
– 200	250
– 800	97
– 2000	43,5
– 4000	22,7

- Laita magneettisekoittaja pulloon.
- Tarvittaessa voit laittaa pulloon myös ATU(allyylitiourea)-tippoja, jotka estävät nitrifikaation. Tippoja laitetaan 20 näytelitraa kohden.
- Aseta musta kumisäiliö pullon suuaukkoon, ja laita 3 kpl NaOH -pellettejä säiliöön.
- Varmista että pullon suuaukko, kumisäiliön suuaukko ja mittapää ovat puhtaita
- Ruuvaa mittapää tiukasti paikoilleen (älä rasvaa pullon suuta, mittapää voi vahingoittua!)
- Käynnistä kontrollisäädin painamalla ON/OFF painiketta

Oikean mittausohjelman valinta ja mittausolosuhteiden säätäminen

- Paina GLP painiketta ja valitse Settings painamalla RUN/ENTER. Valitse operating mode painamalla RUN/ENTER ja sieltä BOD standart tai BOD routine paina RUN/ENTER.
- Säädä mittausaika valitsemalla Measurin time nuolipainikkeilla saat vaihdettua mittausaikaa. Vahvasta haluttu mittausaika painamalla RUN/ENTER.
- Varmista Date/Time valikosta että päivä ja aika ovat oikein (paina RUN/ENTER ja vahvasta aika ja päivä painamalla RUN/ENTER)
- GLP: n ollessa päällä kalibroinnit tallentuvat laitteen muistiin. Vahvasta joko on tai off painamalla RUN/ENTER.

Mittauksen käynnistys

TAPA 1) Jos mittapää ovat vapaita, eli mittapäissä ei ole dataa edellisistä mittauksista, voi mittauksen aloittaa suoraan painamalla painiketta jossa on säätimen ja mittapään kuva

- Valitse Start sample painamalla RUN/ENTER painiketta
- Valitse kyseisen näytteen tilavuus: mene nuolinäppäimillä halutun tilavuuden kohdalle ja paina RUN/ENTER
- Varmista näytöltä että näytteen tiedot (tilavuus ja mittausohjelma) ovat oikein

LIITE 1 jatkuu

- Näytteen ID -numeroa voi muuttaa menemällä nuolinäppäimillä numeron kohdalle painamalla RUN/ENTER ja muuttamalla numeroa nuolinäppäimiä painelemalla. Uusi numero vahvistetaan painamalla RUN/ENTER
- Osoita säätimellä mittapäätä jonka haluat käynnistää ja valitse Start painamalla RUN/ENTER painiketta. Jos käynnistys onnistuu, näytöllä lukee ¡started!
- HUOM! Jos käynnistys EI onnistu:
- jos näytöllä lukee Start stopped vähennä kontrollisäätimen ja mittapään välimatkaa ja valitse Continue start painamalla RUN/ENTER
- Jos näytöllä lukee Already used, joudut tyhjentämään ko. mittapään kohdan TAPA 2 mukaan

→ Standard BOD: voit käynnistää loput SAMANLAISET näytteet osoittamalla niitä kontrollisäätimellä 5 cm:n päästä. Kun kaikki näytteet on käynnistetty, valitse Stop start painamalla RUN/ENTER painiketta

→ Jos näytteet ovat erilaisia (eli eri laimennokset) tai käytät Routine BOD ohjelmaa, täytyy jokainen näyte käynnistää erikseen, toimi samoin kun sarjan ensimmäisen näytteen kanssa

TAPA 2) MITTAPÄÄN MUISTIN TYJENNYS: Jos mittapäässä on tietoa edellisestä mittauksesta eli mittapää ei ole vapaa täytyy mittapää tyhjentää ennen mittauksen käynnistämistä. Jos olet varma että tyhjentämällä et tuhoa kenenkään tärkeitä tiedostoja, kannattaa kaikki käytettävät mittapäät tyhjentää ennen mittauksen aloittamista, koska mittauksen käynnistys on silloin paljon helpompaa.

- Aloita mittapään tyhjentäminen painamalla GLP painiketta
- Valitse Maintenance painamalla RUN/ENTER ja valitse edelleen Reset/Release painamalla RUN/ENTER
- Osoita säätimellä sitä mittapäätä jonka haluat tyhjentää, mittapään tiedot ilmestyvät ruutuun. Valitse edelleen Reset/Release ja paina RUN/ENTER
- Kun mittapää on tyhjä, näyttöön ilmestyy teksti Reset performed!
- Kun mittapäät ovat tyhjiä voit aloittaa mittauksen kohdan TAPA 1 mukaan

LIITE 1 jatkuu

DATAN SIIRTO:

- Yhdistä kontrollisäädin piuhalla tietokoneeseen (piuha löytyy OxiTop[®] kaapista). Kurssilaboratorion koneella on tarvittava AChat OC-ohjelma.
 - Käynnistä ohjelma ja säädin.
 - Valitse ikkunasta file ja alavetovalikosta fetch sample list. Ohjelma hakee kaikki kontrollisäätimen muistissa olevat näytteet näytölle.
 - Valitse haluttu näyte kaksoisklikkaamalla sitä. Nyt yksittäisen näytteen tiedot ilmestyvät ikkunaan.
 - Siirrä tiedot Excel:iin klikkaamalla file alavetovalikosta copy to clipboard avaa Excell ja klikkaa paste. Voit siirtää kaikki näytteet samaan tiedostoon, näytteen ID numero ja tiedot näkyvät Excel-tiedostossa ylimpänä.
-
- Kun näytteen tiedot on siirretty Excelliin sulje pienempi ikkuna AChat OC-ohjelmasta ja valitse seuraava siirrettävä näyte.

Mittapäiden tyhjennys

- Paina GPL painiketta, valitse Maintenance painamalla RUN/ENTER. Valitse Reset/release painamalla RUN/ENTER. Osoita tyhjennettävää mittapäätä ja paina RUN/ENTER.

LIITE 2

KOMPOSTINÄYTTEIDEN TILAVUUDET, KUIVA-AINEPITOISUUDET JA PAINOT

TAULUKKO A. Kuiva-ainepitoisuudet ja tilavuudet

kompostinäyte	kuiva-ainetta (ka)	tilavuus/ 50 g näytettä (ka)
tuhkaa 0 %	56 %	120 ml
tuhkaa 2 %	45 %	145 ml
tuhkaa 4 %	38,3 %	108 ml
tuhkaa 8 %	56,3 %	100 ml
tuhkaa 16 %	52 %	105 ml
tuhkaa noin 4 % Hyvinkää	43 %	120 ml

TAULUKKO B. Näytteiden painot, ensimmäinen koejärjestely

tuhkaa lisätty (maahengityspullot)	näytteen paino (g)	tuhkaa lisätty (BOD-pullot)	näytteen paino (g)
n. 4 % Hyvinkää	49,99	n. 4 % Hyvinkää	50,08
0 %	49,95	0 %	50,41
2 %	50,78	2 %	50,86
4 %	50,10	4 %	50,51
8 %	50,18	8 %	50,75
16 %	50,15	16 %	50,33

TAULUKKO C. Näytteiden painot toinen koejärjestely

tuhkaa lisätty	paino (g)	tuhkaa lisätty	paino (g)
0 %	49,82	16 %	52,05
0 %	50,67	16 %	50,35
0 %	50,56	16 %	50,14
4 %	49,61	0 % (NaOH -pelletit)	50,94
4 %	50,45	4 % (NaOH -pelletit)	49,51
4 %	50,59	16 % (NaOH -pelletit)	50,08

LIITE 3

KAAVA HAPENKULUTUKSEN JA HIILIDIOKSIDINTUOTON LASKEMISEEN

$$\text{mg O}_2/\text{kg TS} = (\text{Mr}(\text{O}_2) * \text{Vfr} * \text{deltap}) / (\text{R} * \text{T} * \text{mbt}, \text{g} * \text{duration}, \text{h})$$

$$\text{mg CO}_2/\text{h/g dw.} = \text{mg O}_2/\text{kg TS} * 45/32$$

$$\text{Vfr} = \text{Vges} - \text{Vag} - \text{Vam} - \text{Vbf}$$

Selitykset:

Mr (O₂) = hapen moolimassa 32000 mg/mol

Vfr = vapaa kaasutilavuus (l)

Vges = astian tilavuus

Vag = KOH -astia telineen tilavuus + mustan kumisäiliön tilavuus

Vam = KOH -liuoksen tilavuus

Vbf = näytteen tilavuus

R = kaasuvakio (83,14 L mbar/mol/K)

T = inkubointilämpötila (Kelvineinä!)

mbt = näytteen kuivapaino (g)

deltap = paineenmuutos

duration = kokeen kesto (h)