



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PIKAKOMPOSTIN PROSES- SIMITTAUKSET

TEKIJÄ:

Mikko Auriola

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Mikko Auriola	
Työn nimi Pikakompostin prosessimittaukset	
Päiväys 22.3.2021	Sivumäärä/Liitteet 27/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Biopallo Systems Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kompostoinnissa orgaanisesta jätteestä valmistetaan lannoitetta hyötykäyttöön ja siitä tuhotaan haitalliset mikrobit. Biopallo Systems Oy kehittää uudenlaista kompostoinnin prosessointitapaa. Kompostin prosessointiin tarvitaan erilaisia mittauksia prosessin hallitsemiseksi ja laadun turvaamiseksi. Tavoitteena opinnäytetyössä oli tarkastella pikakompostointiin tarvittavia mittauksia ja löytää mittarit näihin haluttuihin mittauksiin. Tärkeimmät mittaukset prosessissa ovat lämpötilan-, happamuuden-, kosteuden- ja kaasunmittaukset.</p> <p>Opinnäytetyössä tehtiin mittauksia kompostoinnista vapautuville kaasuille. Mitattavia kaasuja olivat ammoniakki, happi, hiilidioksidi ja rikkivety. Kaasunmittauksista saatiin viitepohja tuleviin kaasunmittaustarpeisiin. Toisena osana opinnäytetyössä etsittiin tilaajalle kompostointiprosessiin tarvittavat mittaukset. Tilaajalle koottiin raportti, jossa mittauksista saaduista tuloksista arvioitiin prosessin tilannetta ja mitä kaasunmittaukset kertoivat prosessin tilasta. Raporttiin myös koottiin prosessille soveltuvat anturit ja mittalaitteet, jotka löytyivät mittalaitteita etsittäessä.</p> <p>Kun Biopalloreaktori toimi oikein, kaasunmittauksissa huomattiin Biopalloreaktorin prosessin käyttäytyvän normaalin kompostointiprosessin lailla. Kaasunmittauksissa tehtyjen virheiden takia tilaajalle laadittuun raporttiin jäi vielä selvittämättä todelliset määrät virtaavista kaasuista prosessissa. Jos kaasuista halutaan tehdä tarkempi mittaus, tulee mittausasetelma suunnitella uudestaan. Kaikkia prosessiin soveltuvia mittauksia ei myöskään löydetty. Prosessissa happamuuden mittaamiselle tulee suunnitella jonkinlainen reaktorista erillinen systeemi mittauksen toteuttamiseksi.</p>	
Avainsanat kompostointi, kompostoinnin kaasut, prosessimittaus,	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Mikko Auriola	
Title of Thesis Compost Process Monitoring	
Date 22 March 2021	Pages/Appendices 27/1
Client Organisation /Partners Biopallo Systems Oy	
<p>Abstract</p> <p>In aerobic composting a usable fertilizer can be made from organic waste. A new kind of composting procedure is developed by Biopallo Systems Oy. To process compost, multiple kinds of meters are needed to control the composting process and ensure the safety of the compost. The aim of the thesis was to review what the necessary measuring parameters needed for a composting process are and find process compatible solutions for the process. The most important measurements were temperature, acidity, moisture and gas measurements.</p> <p>In the thesis the measurements were made for the gases that are formed by the composting process. The measured gases were ammonia, oxygen, carbon dioxide, and hydrogen sulfide. From the gas measurements a reference base was made for the needed gas measurements for the future. As the second part of the thesis was to find meters for Biopallo Systems Oy. A report was made for Biopallo Systems Oy. In the report on-line gas measurements were used to estimate the composting process. The last part of the report consisted of evaluation of the sensors and meters, that are available on the market for monitoring the composting process.</p> <p>It was found out that when the Biopallo reactor is working correctly it follows the basic principles of normal aerobic composting. Because of the mistakes made in the gas measuring phase, the exact amount of the gases flowing in the process was unresolved in the report for Biopallo Systems Oy. If a more accurate measurement would be needed, the measuring setup needed to be designed again. Not all the process compatible meters were found in the market search. For measuring the acidity of the mass, a measuring setup separated from the reactor needs to be made.</p>	
<p>Keywords composting, compost gases, process measuring</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
1.1	Työn tausta	5
1.2	Työn tavoitteet	5
1.3	Biopallo Systems Oy	5
2	KOMPOSTOINTI	7
2.1	Kompostointiprosessi	7
2.2	Prosessoidun kompostin edut	9
2.3	Automatisoinnin hyödyt prosessissa	11
2.3.1	Happamuuden seuranta	12
2.3.2	Lämpötilan seuranta	12
2.3.3	Kaasujen seuranta	13
2.3.4	Kosteuden seuranta	14
3	KAASUANALYYSI KOMPOSTOINTIPROSESSISTA	16
3.1	Kaasuanalyysin tausta	16
3.2	Kaasuanalyysin suoritus	17
3.2.1	Ensimmäisen analyysin suoritus	17
3.2.2	Toisen analyysin suoritus	18
4	KAASUANALYYSIN TULOSTEN TARKASTELU	19
4.1	Tulokset	19
4.2	Virhelähteet	19
5	MITTALAITTEIDEN HANKINNAN ETENEMINEN	21
6	PROSESSIN MITTAUKSET	23
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	24
	LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Biopallo Systems Oy:n reaktorin prosessinhoitoon ja prosessin etenemisen dokumentaatioon tarvittiin parannuksia, koska nykyisessä koereaktorissa on puutteita mittauksissa ja mittalaitteissa. Osa nykyisistä mittalaitteista on otettu pois käytöstä tai ne ovat hajonneet kokonaan. Hajonneet mittalaitteet ovat mitanneet koereaktorissa muodostuvista kaasuista hapen ja hiilidioksidin tasoja. Kaasun syövyttävät komponentit ovat mahdollisesti hajottaneet anturit. Biopallolle tulisi löytää kaasuantureita, jotka kestävät kaasujen aiheuttamaa korroosiota. Reaktorin massasta tehdään happamuuden mittausta mittaamalla massasta höyrystyvän nesteen kondenssiveden pH:ta. Tästä näytteenkeräysmenetelmästä aiheutuu ongelma, jossa pH mittaukseen tulee isoa viivettä. Kaasun kondenssivesi ei välttämättä kuvaa todellista massan tilaa, sillä massasta haihtuvilla nestejakeilla voi olla eri höyrystymislämpötiloja.

1.2 Työn tavoitteet

Tavoitteena työssä on selvittää, millaisia Biopallon prosessiin soveltuvia pH-, lämpötila-, kosteus- ja kaasuantureita sekä mittareita on saatavilla. Työssä listataan mahdolliset anturit, mittarit ja niille saadut tarjoukset erillisenä liitteenä työn tilaajalle. Opinnäytetyössä tehtävässä kaasumittauksesta odotetaan saatavan lisätietoja Biopallon reaktorin kaasuista. Työssä tehdään kaasumittaukset Biopallo Systems Oy:n reaktorille ja niistä kaasuanalyysi. Työssä ei oteta lopullista kantaa, kuinka mittarit ja anturit tulee asentaa reaktorille. Pilot-prosessissa ei ole automaattisia prosessimittaukseen liittyviä säätöjä ja toimintoja, joten työ pohjustaa laitoksen automaatioon siirtymistä.

1.3 Biopallo Systems Oy

Biopallo Systems Oy on suomalainen pienyritys, joka kehittää pikakompostointireaktoria (kuva 1) Kuopion Kelloniemen teollisuusalueella. Biopallo Systems Oy:n ensimmäinen kompostointireaktorin prototyyppi valmistettiin vuonna 2002 ja myöhemmin prosessin toimivuutta todennettiin Bioso-hankkeessa vuonna 2004. Vielä vuonna 2006 Biopallon tyyppisille reaktoreille ei ollut kysyntää Suomessa. Vuonna 2016 uudistui jätelaki, joka kielsi orgaanisten jätteiden viennin kaatopaikalle. Tämä herätti Biopallon hankkeen uudelleen. (Biopallo julkaisuaika tuntematon)



KUVA 1. Biopallo (Perämäki 2019)

2 KOMPOSTOINTI

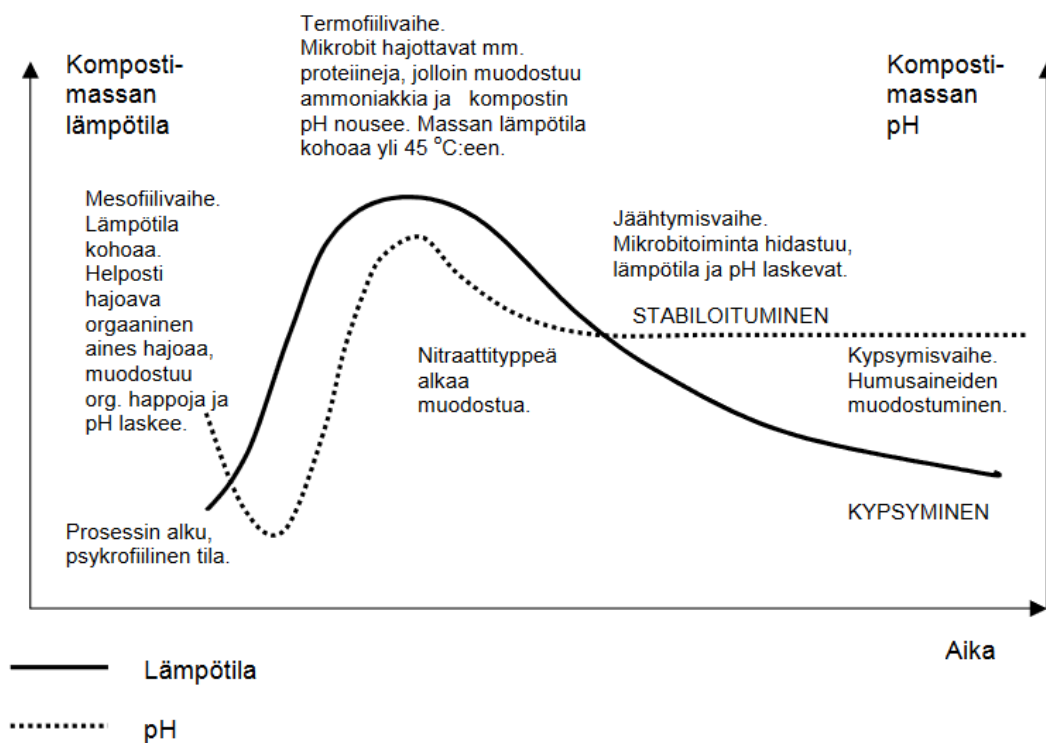
2.1 Kompostointiprosessi

Kompostointi prosessina on orgaanisen aineksen hajottamista aerobisten mikrobin avulla. Raaka-aineena kompostiin voidaan käyttää erilaisia orgaanisia jätteitä esimerkiksi elintarvikkejätteitä. Kompostointi sisältää neljä keskeistä vaihetta, joita ovat mesofiilivaihe, termofiilivaihe, stabiloituminen ja jälkikypsytyys. (Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi & Vuorinen 2006.)

Mesofiilivaiheella tarkoitetaan vaihetta, missä mesofiiliset mikrobit alkavat toimimaan noin 15 °C:n lämpötilassa ja lopettavat toimintansa noin 55 °C:n lämpötilassa (Lumen Learning). Prosessissa mesofiiliset mikrobit alkavat hajottamaan helposti hajoavia yhdisteitä kompostoitavasta materiaalista. Mesofiiliset bakteerit toiminta tuottaa lämpöä ja termofiiliset bakteerit pääsevät käyntiin lämmenneessä massassa. (Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi & Vuorinen 2006.)

Termofiilivaiheen mikrobit toimivat yli 45 °C:n lämpötiloissa ja alkavat käyttämään kompostoitavan massan vaikeammin hajoavia yhdisteitä (Lumen Learning 2020). Kun termofiilimikrobin toiminta hidastuu, lämpötila kompostoitavassa materiaalissa laskee ja alkaa kompostin stabiloituminen (Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi & Vuorinen 2006).

Stabiloitumisessa mikrobitoiminta hidastuu ja komposti voidaan jälkikypsyttää. Jälkikypsytyksessä komposti kypsyy mullaksi eli humukseksi ja happamuus tasoittuu lähelle neutraalia (Halinen & Tontti 2004). Kuvassa 2 on esitetty kompostiprosessi kuvana.



KUVA 2. Kompostoinnin eri vaiheet (Halinen & Tontti 2004)

TAULUKKO 1. Anaerobisia termofiilibakteereja (Canganella & Wiegel 2014, 85)

Life 2014, 4

85

Table 1. Cont.

Species	O ₂ -relationship and metabolism	Temperature range (optimum)	pH range (optimum)	Originally isolated from
Bacteria; Firmicutes; Clostridia; Thermoanaerobacteriales; Thermoanaerobacteriaceae; Syntrophomonadaceae;				
Genera: Coprothermobacter, Gelria, Moorella, Thermacetogenium, Mahella, Thermoanaerobacterium, Thermoanaerobacter, Thermosediminibacter, Caldanaerobacter, Thermovenabulum, Tepidanaerobacter, Ammonifex, Thermanaeromonas, Thermhydrogenium, Caldanaerovirga, Fervidicola, Caldanaerobius				
<i>Coprothermobacter proteolyticus</i>	AN COH	35–70 (63)	5–8.5 (7.5)	Thermophilic digester fermenting tannery wastes and cattle manure
<i>Moorella thermoacetica</i>	AN COH	45–65 (55–60)	NR	Horse manure
<i>Thermoanaerobacter ethanolicus</i>	AN COH	37–78 (69)]	4.4–9.9 (5.8–8.5)	Hot springs, Yellowstone National Park, USA
<i>Thermoanaerobacter pseudoethanolicus</i>	AN COH	(65)	NR	Hot Spring, Yellowstone National Park, USA
<i>Caldanaerobacter subterraneus</i> subsp. <i>tengcongensis</i>	AN COH	50–80 (75)	5.5–9.9 (7–7.5)	Hot spring, Tengcong, China
<i>Ammonifex degensii</i>	AN F-CLA	57–77 (70)	5–8 (7.5)	Kawah Candradimuka crater, Dieng Plateau, Java, Indonesia
Bacteria; Firmicutes; Clostridia; Clostridiales; Acidaminococcaceae;				
Genus: Thermosinus				
<i>Thermosinus carboxydivorans</i>	AN CLA	40–68 (60)	6.5–7.6 (6.8–7)	Norris Basin hot spring, Yellowstone National Park, USA
Bacteria; Firmicutes; Clostridia; Clostridiales; Peptococcaceae;				
Genera: Desulfotomaculum, Pelotomaculum, Carboxydotherrmus, Thermincola				
<i>Pelotomaculum thermopropionicum</i>	AN COH	45–65 (55)	6.7–7.5 (7)	Thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactor
<i>Carboxydotherrmus hydrogenoformans</i>	AN CLA	40–78 (70–72)	6.4–7.7 (6.8–7)	Freshwater hydrothermal springs, Kunashir Island, Kamchatka, Russia

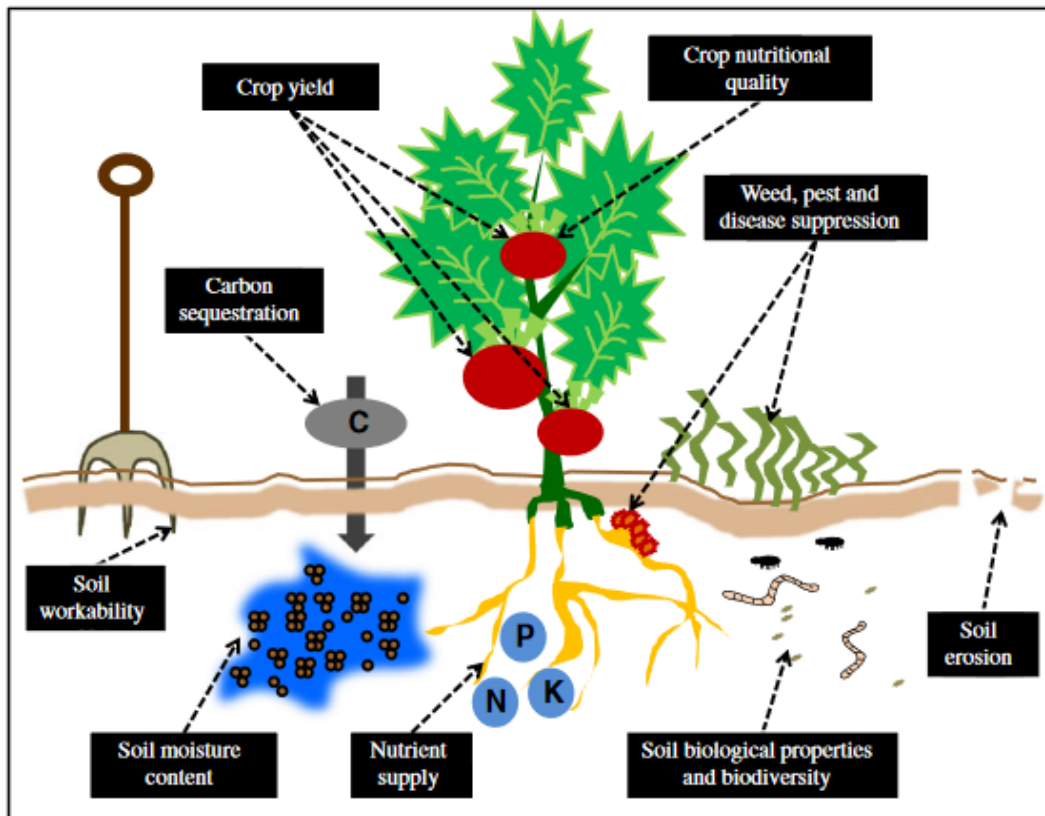
Prosessissa, jossa massan ilmastus ei toimi, kompostointitapahtuma voi alkaa myös anaerobisena. Tällöin lämpötila nousee oletetusti noin 50 °C:seen samassa ajassa kuin aerobisella toiminnalla. Anaerobisessa prosessissa lämpötilan nousu pysähtyy noin 55–60 °C:n vaiheella eikä nouse aerobiselle kompostointiprosessille tarvittavaan 70 °C lämpötilaan. Taulukossa 1 näkyy yksi termofiilinen bakteerilaji *Moorella thermoacetica*, jonka optimaalinen elämlämpötila on 55–60 °C. Tämä bakteeri voi olla yksi termofiilisistä anaerobeista, joka voi toiminnallaan viedä elintilaa halutuilta bakteereilta tilanteissa, missä hevosenlantaa käytetään antamaan hiiltä kompostimassaan.

Ongelmallista tässä lämpötilan samankaltaisessa nousussa on prosessintilasta erehtyminen. Koska molemmat lämpötilojen nousut ovat samankaltaisia, täytyy prosessista ottaa muitakin mittauksia

kuin lämpötila. Näitä mittauksia ovat ainakin kosteus ja happamuus. Toissijaisena on kaasun komponenttien seuranta, sillä aerobisessa hajoamisessa ei tulisi muodostua rikkivetyä.

2.2 Prosessoidun kompostin edut

Kuvassa 3 on otettu esille erilaisia hyötyjä käyttökohteessa. Prosessoidulla kompostilla ja normaalilla kompostilla on etuja normaaleihin keinolannoitteisiin verrattuna.



KUVA 3. Yhdeksän hyötyä kompostista maaperälle (Martínez-Blanco ym. 2013)

Kompostin prosessoinnilla on myös etuja biokaasuntuotantoon verrattuna. Taulukkoon 2 on listattu millaisia eroja on kompostilla ja biokaasujäännöksellä. Taulukkoon 2 on otettu mukaan jätevedestä

tehdyt biokaasut ja kompostit, joista vertailussa olevat suuret raskasmetalliarvot sekä suuret erot typen ja fosforin määrissä kompostin ja biokaasujäännöksen välillä johtuvat.

TAULUKKO 2. Biokaasujäännöksen (Digestate) ja kompostin kemikaalisia eroavaisuuksia. (Lin, Xu, Ge & Li 2018)

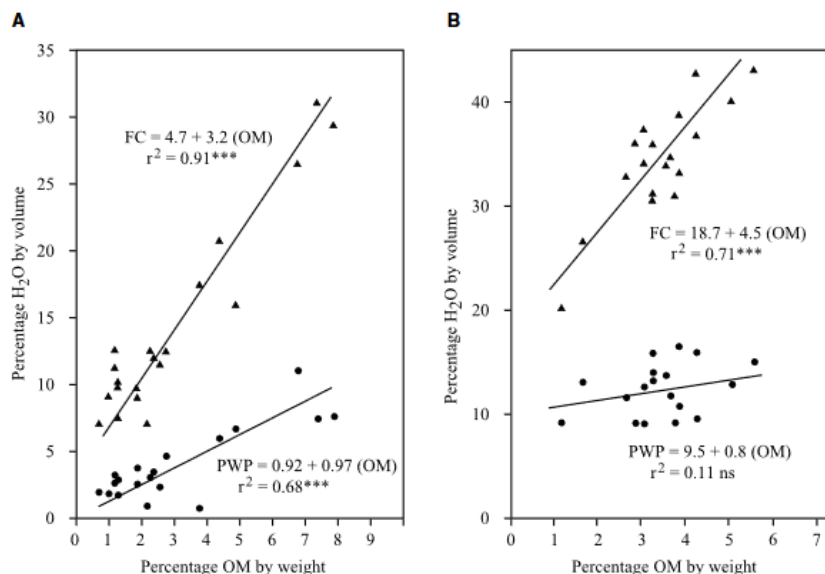
Summaries of physical and chemical properties of digestate and compost.

Parameters	Digestate [6,10,74,132]	Compost [10,133,187-189]
pH	7.5-8.4	7.1-8.5
Fertilizer value (% dry weight basis)		
TS	1-24	31-85
VS	38-78	33-72
TC	31-45	28-38
TN	2.2-15.7	1.7-3.4
TAN	0.6-10.8	0.6-0.9
P	0.2-6.6	0.6-1.9
K	0.9-10.0	0.6-2.1
Na	0.1-2.5	0.2-0.6
Mg	0.3-1.0	0.3-1.0
Ca	1.0-5.5	3.3-5.0
Heavy metal (ppm, dry weight basis)		
Ni	25-92	2-89
Mn	0-1361	354-1227
Cu	1-1373	183-862
Cr	2-55	11-14
Zn	43-3884	793-1338
As	3.9-29	4-59
Se	Not detected	Not detected
Cd	0-10	0.4-1.4
Hg	< 0.1	< 0.1
Pb	0.1-46	1.0-3.3
Pathogen		
Fecal coliforms	Not detected	Not detected
Maturity		
Germination index	70%	90-125%

Kompostilla on yleensä biokaasun jäännökseen nähden suurempi kiintoainesprosentti (TS), joka lisää kompostin ilmavuutta maaperässä, kun komposti ajetaan pellolle. Kompostoinnin termofiilinen prosessi tuhoaa helpommin antibiootteja, antibioottivastustuskykyisiä bakteereja ja geenejä, jotka eivät tuhoudu biokaasuntuotannossa olevissa mesofiilisisä lämpötiloissa. Kompostin on myöskin havaittu vähentävän kasvitaudinaiheuttajia, koska valmiissa kompostissa esiintyy hyödyllisiä mikrobeja kuten *Bacillusta*. Samoja mikrobeja ei ole havaittu biokaasun jäännöksessä. Taulukossa 2 huomataan kuitenkin kompostin sisältävän vähemmän nitraattityppeä (TN) kuin biokaasujäännöksessä. Kuitenkin tyyppiä on sitoutunut kompostissa enemmän orgaanisessa muodossa, joka voi olla typen pitkäaikaisena lähteenä kasveille. (Lin, Xu, Ge & Li 2018.)

Prosesoitu komposti on hyvin hiilipitoista ja käyttämällä kompostia lannoitteena voidaan sitoa pelto- maahan hiiltä. Runsashiilinen ja oikein optimoitu hiilityypisuhteellinen maaperä edistää hyödyllisten mikrobien toimintaa maaperässä. Kun hyödyllisten mikrobien, sienten ja pieneliöiden määrä kasvaa maaperässä, ne vievät elintilaa kasvitauteja aiheuttavilta sieniltä ja mikrobeilta. Maan rakenne elpyy kompostia käyttämällä, sillä komposti tuo takaisin maahan humusta. Komposti on pieneliöstölle, esimerkiksi kastemadoille, oivaa ravinnetta ja pieneliöstö kuohkeuttaa maata omalla toiminnallaan. Humuksen ja pieneliöstön tuoma kuohkeus peltomaahan lisää maan vedenpitävyyttä. Maan paremman veden pidättyvyyskyvyn seurauksena maan ravinteet eivät valu pintavaluntana pois peltomaasta, joten viljelyn ongelmat vesistöille vähenevät. (Maritínez-Blanco, Lazcano, Boldrin, Muñoz, Rieradevall, Møller, Antón & Christensen 2013)

Orgaaninen aine myös itsessään lisää maan vedensitomista (kuva 4). Maaperän vedenpidättyvyys lisääntyy orgaanisen aineksen luonnollisen hydrofiilisen ominaisuuden takia ja maan koostumus on huokoisempaa.



KUVA 4. Orgaanisen materiaalin (OM) määrän vaikutus maaperän veden prosentuaaliseen määrään. Veden määrä kenttäkapasiteetissa (FC) ja lopullinen kuivumispiste (PWP) hiekkaisessa (A) ja siltyssä savessa (B) maassa (Huntington 2003).

Prosessoidulla kompostilla on etuja normaaliin kompostiin verrattuna. Normaali kompostoitumisen alkaminen ja kompostoituminen kestävät yleensä pitkiäkin aikoja. Prosessoidulla kompostoinnilla voidaan nopeuttaa massan bakteeritoimintaa. Pyrkimyksenä prosessoidulla kompostilla on saada lyhyemmässä ajassa kompostista tuhottua siemeniä ja taudinaiheuttajia kompostoituvasta massasta. Normaali kompostoitumisen alkaminen voi kestää useita viikkoja, mutta prosessoidulla kompostilla saadaan kompostoituminen alkamaan muutamissa päivissä. Prosessoidulla kompostilla voidaan myös varmistaa kompostin olevan taudinaiheuttajavapaata, sillä komposti käy yli 70 °C:n lämpötilassa vähintään yhden tunnin ajan. Lämpötila tappaa taudinaiheuttajat ja samalla lämpötila varmistaa rikkakasvien siemenien tuhoutumisen kompostista. Vanhoilla aumakompostointitavoilla kompostiin voi jäädä taudinaiheuttajia. Aumakompostoinnissa voi massassa lämpötila ylittää 70 °C:n joissakin pisteissä, mutta kompostiin voi jäädä kuolleita alueita, jotka eivät ylitä 70 °C:n lämpötilaa. Kompostin prosessoinnissa sekoitus on tärkeää ja reaktorikompostoinnissa pystytään varmistamaan massan tasalaatuinen hygienisointi.

2.3 Automatisoinnin hyödyt prosessissa

Automaatio on mahdollistanut massatuotannon, joka takaa sen, että kaikkea saadaan tuotettua halvalla ja energiaa sekä raaka-aineita säästämällä. Valmiit tuotteet ovat myös luotettavia, tasalaatuisia ja kestäviä. Nykyaikaisten tuotteiden tuottaminen pelkällä ihmistyöllä

olisi yksinkertaisesti mahdotonta. (Heinonkoski, Asp ja Hyppönen, 2008, 19.)

Biopallon pilot-prosessissa ei ole automaattisia säätöjä, mutta tavoitteena on, että parhaillaan suunniteltava tuotantoversio olisi pääosin automatisoitu. Tällä hetkellä panosprosessin monet vaiheet tarvitsevat jonkinlaista valvontaa, jonka operaattori tekee manuaalisesti. Monet vaiheet ovat vain valvontatehtäviä, joissa odotetaan reaktorin massan muutosta. Muutos tapahtuu hitaasti, joten ei ole järkevää kahlita ihmistä prosessiin vain muutoksien havainnoimiseksi. Prosessiin etsitään mittalaitteita ja toimilaitteita, joilla pystyttäisiin hallitsemaan koko prosessi automaation avulla. Automatisoimalla laitosta pyritään tilanteeseen, missä vain yllättävissä tilanteissa tai vikatilanteissa tarvitaan prosessinohitajan toimenpiteitä. Monet toiminnot voivat olla helppoja automaation suoritettavaksi esimerkiksi hetkellinen sekoituksen suunnan vaihto tai automaattinen kastelu. Hyvin automatisoidussa prosessissa säästetään henkilöstökustannuksissa.

Tyypillisessä käymisprosessin monitorointijärjestelmässä, jossa prosessin seuraamisen tarkkuus on äärimmäisen tarkkaa esimerkiksi antibioottien valmistuksessa, seurataan reaktorin painoa, ilman virtausta, sekoitus nopeutta, virran syötön suuruutta, lämpötilaa, pH:ta, liukoista happea ja vapautuvia kaasuja. Näistä mittauksista sitten saadaan peruspalautesilmukka, millä voidaan automaattisesti hallita käymisprosesseja. Kompostoituminen ei ole yhtään sen vaikeampi kuin käymisprosessi, mutta käytännön kannalta on helpompi seurata liukoisen hapen sijaan massan kosteutta, koska käymisprosessi on yleensä täysin nestemäinen prosessi. (Simon ym. 2015)

Tuotteen laadun takaus saadaan hyvin toistettavalla prosessilla. Toistettavuuteen tarvitaan erilaisia säätöjä ja mittauksia tukemaan prosessin toimintaa. Mittauksille on tärkeää mittalaitteiden kalibrointi ja sijainti. Hyvin kalibroidulla ja sijainniltaan oikeassa paikassa olevalla mittalaitteella saadaan prosessoitavasta tuotteesta tarkka jäljitettävyyys. Lopullisesta tuotteesta pystytään kertomaan tuotteen käymät muutokset. Erityisesti Biopallolla on tärkeää tuotteen laadun takaus, koska tuotteessa käytettävissä lähtöaineissa voi olla erilaisia taudinaiheuttajia, siemeniä tai mikrobeja, jotka kaikki tulee hygienisoida nostamalla massan lämpötila +70 °C:seen tunnin ajaksi valmiiseen tuotteeseen.

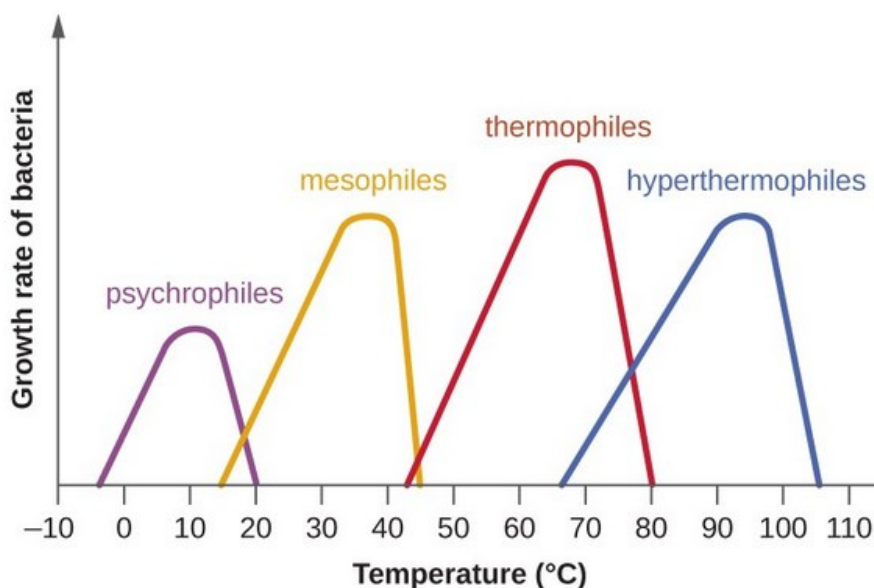
2.3.1 Happamuuden seuranta.

Kompostiprosessille on ominaista, että massan pH muuttuu prosessin edetessä. Mesofiilivaiheen normaalitilanteessa pH laskee happamaksi ja mesofiilisten mikrobien muodostamien orgaanisten happojen johdosta. Termofiilisessä vaiheessa mikrobit alkavat tuottamaan orgaanisia emäksiä kuten ammoniakkia, jolloin massan pH muuttuu emäksiseksi. Jos pH:lle tapahtuu arvaamattomia muutoksia tai pH ei muutu oikein lämpötilojen kanssa, on kompostointiprosessissa tapahtunut virhe tai ongelmatilanne.

2.3.2 Lämpötilan seuranta

Lämpötilan seuranta on tärkeää prosessissa, koska lämpötilasta saadaan selville missä vaiheessa kompostointiprosessia edetään (kuva 2). Tehdashallin 15–20 °C:n lämpötiloissa psykoofiilisten mikrobien toiminnan merkitykset ovat vähäiset kompostointiprosessissa, koska halliolosuhteissa massa ehtii lämmitä mesofiiliselle alueelle. Talvella psykoofiiliset bakteerit voivat toimia kosteissa lähtöaineissa, joita varastoidaan ulkona, mutta psykoofiilisten kasvu on hidasta eivätkä ne aiheuta ongelmia

kompostoinnin edetessä. Kompostointiprosessi alkaa mesofiilillä vaiheella noin 15 °C:ssa ja mesofiilisten mikrobien toiminta loppuu noin 45 °C:seen. Termofiilisten bakteerien toiminta on alkaa noin 45 °C:sta ja loppuu 80 °C:seen. Kuvasta 5 näkee millä lämpötiloilla eri mikrobit toimivat.



KUVA 5. Mikrobien toimintälämpötilat (Lumen Learning 2020)

Prosessissa pidetään 70 °C:n lämpötila vähintään yhden tunnin ajan. Asetus lannoitevalmisteista vaatii tämän lämpötilan lannoitevalmisteen turvallisuuden varmistamiseksi (Lannoitevalmisteasetus 24/11, 26). Lämpötilalla varmistetaan, että komposti on hygienisoitunut kompostoinnin aikana.

2.3.3 Kaasujen seuranta

Mikrobitoiminnan seurauksena kompostoinnista vapautuu erilaisia kaasuja. Kaasuja täytyy seurata myrkyllisten kaasujen tai ei haluttujen kaasujen varalta. Aerobisessa kompostoinnissa vapautuu hiilidioksidia, ammoniakkaa, dityppioksidia, metaania, rikkivetyä ja muita orgaanisia haihtuvia yhdisteitä. Pääosin näistä kaasuista ideaalilanteessa toimivassa kompostointisysteemissä tulisi muodostua hiilidioksidia koko prosessin ajan ja termofiilivaiheessa ammoniakkaa. (Artola, Barrena, Font, Gabriel, Gea, Mudhoo & Sánchez 2009, 7–8.)

Virheellisessä kompostoinnissa voi alkaa syntyämään enemmän metaania, rikkivetyä ja muita orgaanisia haihtuvia yhdisteitä. Tämä on ongelmallista, koska monet haihtuvat orgaaniset yhdisteet voivat haista erittäin voimakkailta. Esimerkiksi anaerobisen toiminnan johdosta voi kompostoinnissa muodostua trimetyyliamiinia, joka on erittäin pistävän hajuisen kaasu. Sillä on tunnusomainen mädän kalan haju (Kemikaalikortti ICSC 2020). Näiden orgaanisten yhdisteiden vaikutuksesta voi aiheutua hajuhaittoja laitokselle ympäröiville kiinteistöille. (Artola, Barrena, Font, Gabriel, Gea, Mudhoo & Sánchez 2009, 7–8.)

Terveydelle vaarallisilla kaasuilla on eri Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen alaiset haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot). Kun HTP-arvot otetaan huomioon, työntekijöiden terveydelle ei tulisi aiheutua haittaa tai vaaraa. Taulukossa nähdään HTP-arvot kompostista lähteille kaasuille.

TAULUKKO 3. HTP-arvot kompostikaasuille (Muokattu lähteestä Sosiaali- ja terveysministeriö. 2018)

Aine tai aineryhmä	HTP- arvot	
	8 h	15 min
	ppm	ppm
Ammoniakki	20	50
Hiilidioksidi	5000	
Metaani	1000	25
Rikkivety	5	10
Dityppioksidi	100	

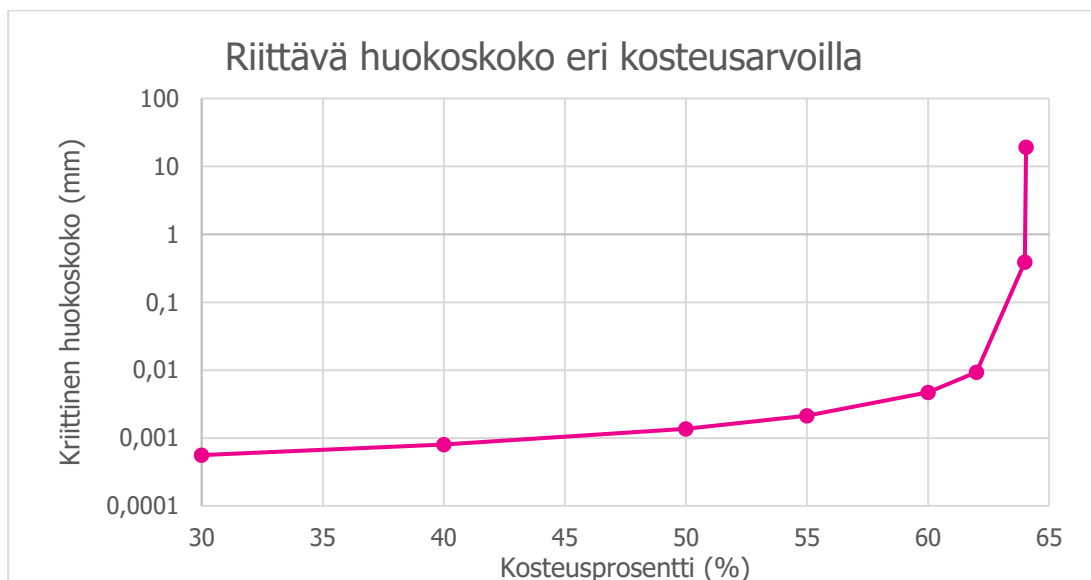
HTP-arvot ovat keskimääräisiä arvoja annetuille ajoille. Pitoisuus saa hetkellisesti olla ylempi kuin annettu HTP-arvo. Jos aineella on vaikutuksia jo lyhytaikaisen altistumisen aikana, käytetään aineen 15 minuutin HTP-arvoja. Näitä arvoja ei saa olla, kuin kerran tunnissa. HTP 15 minuutin arvoja saa esiintyä enintään neljä kertaa kahdeksan tuntisessa työvuorossa. (Sosiaali- ja terveysministeriö. 2018)

2.3.4 Kosteuden seuranta

Kosteuden säätely on tärkeää mikrobien toiminnalle. Liian kuivassa massassa mikrobien toiminta heikentyy. Liian suurissa kosteuspitoisuuksissa ilman pääsy massan huokosiin estyy, jolloin aerobisten bakteerien toiminta heikkenee. Mitä isompi kosteusprosentti massassa, sitä isompi huokoskoon täytyy olla. Taulukosta 4 näkee, kuinka suuri huokoisten koko täytyy olla tietyssä kosteusprosentissa, jotta ilma pääsee vaikuttamaan massassa. Taulukkoa 4 tehdessä on käytetty kompostiseosta, jonka suurin partikkelikoko on suositetulla 1,3–7,6 cm välillä. Taulukossa vedenpidätyskyky (Matric Potential(kPa)) kuvaa kuinka vesi siirtyy massaan tai poistuu massasta. Vedenpidättyvyys riippuu hyvin paljon massan huokosjakautumasta. (Heiskanen & Tamminen 1992) Pienilisäys kosteuden määrässä lähellä kyllästymispistettä aiheuttaa nopeasti huokosten täyttymisen vedellä. Tämän näkee hyvin kuvasta 6.(Richard)

TAULUKKO 4. Kosteuspitoisuuden, matriisipotentialiaali ja kriittisen huokoskoon taulukko (Richard julkaisu aika tuntematon)

Moisture Content (%)	Matric Potential (kPa)	Critical pore radius (mm)
30	-239.8	0.00056
40	-169.4	0.00080
50	-98.9	0.00136
55	-63.7	0.00212
60	-28.5	0.00473
62	-14.4	0.00935
64	-0.3	0.391
64.048	-0.00007	19.2



KUVA 6. Kosteuden vaikutus huokoskokoan, jossa ilma vielä kulkee

Kuviosta 3 nähdään huomattava kriittisen huokoskoon nousu kosteuden ollessa enemmän kuin 60 %. Tämä tarkoittaisi, että suuremmilla kuin 60 % kosteuspitoisuuksilla tulisi jotenkin saada luotua massaan ilmavuutta, ettei massa joudu anaerobiseen tilaan. Kompostoitavaa massaa voidaan löyhentää erilaisilla sekoitusmenetelmillä, mutta kosteuden säätely takaisin noin 60 % kosteuspitoisuu-teen on helpompi energian käytön ja sekoituksen suunnittelun kannalta.

3 KAASUANALYYSI KOMPOSTOINTIPROSESSISTA

3.1 Kaasuanalyysin tausta

Kaasuanalyysin tarkoituksena oli kartoittaa Biopallo-reaktorissa muodostuvien kaasujen koostumusta. Mittauksista saatavilla tuloksilla voidaan arvioida paremmin kaasukomponenttien talteenottoa tai suodatusta. Samalla pystytään arviomaan vapautuvien kaasujen turvallisuutta ympäristössä.

Mittaukset suoritettiin biokaasun jatkuvatoimiseen mittaamiseen valmistetulla GA2000 plus mittalaitteella (kuva 7). Vaikka mittalaite on alun perin suunniteltu biokaasun mittaukseen, ovat sen mitattavat kaasunkomponentit mielenkiintoisia aerobisen materiaalin hajotuksen kannalta. Mitattavia kaasuja olivat metaani, hiilidioksidi, happi, ammoniakki ja rikkivety.



KUVA 7. GA 2000 PLUS mittauslaite (Auriola 2020)

Ennen mittausta laite tarkistettiin mittaamalla puhdasta ulkoilmaa. Mittarissa huomattiin olevan hie-
man kohinaa. Kompostointiprosessista tehtyjen mittausten jälkeen tehtiin vielä erillinen mittaus ul-
koilmasta, missä selvitettiin kuinka paljon mittarin arvot antavat väärää tulosta ulkoilmalle. Kompos-
tointiprosessista tehtiin kaksi erillistä kaasumittausta. Saadut tulokset olivat epäilyttäviä ja mittalait-
teen tarkastus tehtiin prosessista tehtyjen mittausten jälkeen rikkivety- ja ammoniakikennon kalib-
roituiin tarkoitettujen kalibrintikaasujen avulla (kuva 8). Käytetyt kaasut olivat HNU Nordion kalib-

rintikaasuja. Ammoniakkikalibrointikaasun ammoniakkipitoisuus oli 500 ppm ja rikkivetykalibrointi-
kaasun rikkivetypitoisuus oli 500 ppm. Tarkastuksessa todettiin, että laitteen ammoniakkikenno oli
voittunut ja rikkivetykenno näytti jokseenkin oikeita tuloksia.



KUVA 8. HNU Nordion kalibrointikaasut NH₃ ja H₂S, sekä GA2000plus mittalaite. (Auriola 2020)

3.2 Kaasuanalyysin suoritus

3.2.1 Ensimmäisen analyysin suoritus

Kaasuanalyysi suoritettiin tekemällä pieni reikä reaktorin ilmastuskanaviin ja panemalla kaasuanalyysilaitteen mittausletku näihin reikiin. Mittaukset otettiin ilman tuloputkesta ja ilman poistoputkesta. Mittauspaikat valittiin sijainnin mukaan niin, että niihin ylettää helposti ja mittaukset olivat helposti toistettavissa. Ilman tuloputken ja poistoputken välillä mittauksien tuloksien erot olivat pienet, sillä ilmasta suurin osa poistoilmasta kiertää takaisin tuloilmaksi.

Alkuperäinen suunnitelma mittauksen ajoitukseksi oli ottaa kahden tunnin välein yksi mittaus. Mittauksen aikana huomattiin tulosten vaihtelevan hyvin paljon pienellä aikavälillä, joten mittauksia tehtiin kahden tunnin välein ja mittauksia kirjattiin ylös neljästä kuuteen mittausta ja jokaisen mittausväli oli 10–20 sekuntia. Näiden mittauksen aikana keskityttiin arvoihin, jotka vaihtelivat hyvin nopeasti. Näitä mittauskohteita olivat ammoniakki ja rikkivety. Muut arvot eivät juurikaan vaihdelleet näiden neljästä kuuteen mittauksen välillä. Jokaisen mittauksen jälkeen kaasunmittauslaitteen kennoja puhdistettiin mittaamalla puhdasta halli-ilmaa noin 60 sekunnin ajan, jonka jälkeen laite sammutettiin. Sammuessaan laite vielä kävi läpi omat puhdistustoimintonsa.

Mittauksen aikana arvioitiin myös ilman tuloputken mittauspisteen olevan liian turbulენტinen, koska mittauspiste oli valittu paikasta, joka oli suoraan puhaltimen vieressä. Mittauspaikkaa ei vaihdettu,

koska alkuperäisesti valittu paikka oli tarpeeksi kaukana ilman ottoaukosta, jotta kiertävä ilma ehtisi sekoittumaan korvaavan ilman kanssa. Mittauspistettä ei voinut laittaa kauemmaksi, koska mittauksen tekemisen turvallisuus olisi kärsinyt ja kaasu olisi voinut sekoittua jo reaktorin kammion kaasuksi.

Koska tuloilman mittauksessa oli ongelmia ja kaasun kierron takia tulokset olivat hyvin lähellä toisinaan, mittauksissa keskityttiin enemmän poistoilman mittauksiin. Poistoilma oli myös mielenkiintoisempaa tilaajan puolesta.

3.2.2 Toisen analyysin suoritus

Kaasuanalyysi toistettiin tällä kertaa ajosta, jossa käytettiin helpommin kompostoituvia lähtöaineita. Helposti kompostoituvien materiaalien vuoksi mittauksen pituudeksi arvioitiin noin yksi päivä. Mittauksen aikana anturin arvot eivät tällä kertaa vaihdelleet kovin paljoa, joten mittauksia otettiin yksi noin kahden tunnin välein. Mittauspaikaksi valittiin ainoastaan poistoilmaputki, koska ensimmäisellä kerralla mittauseroja putkissa ei käytännössä näkynyt. Mittaukseen yritettiin käyttää laitteen tietojen muistiinkirjausfunktiota, mutta se ei toiminut mittalaitteessa. Ennen jokaista mittausta kaasumittauslaite testattiin mittaamalla hetken halli-ilmaa.

Kaasuanalyysin edetessä massan huomattiin olevan liian märkää. Mitattavaa ajoa edeltävät päivät olivat olleet sateisia, joten ulkona säilytetyissä massoissa oli liikaa vettä edellisiin samanlaisten massojen ajokertoihin verrattuna. Ajossa massan kuivumista jouduttiin odottamaan, joten mittauksen kokonaiskesto muuttui päivästä kahteen päivään.

Ajon loppupuolella alkoi mittarin ammoniakanturin kunto epäilyttää. Mittari ei näyttänyt reagoivan yhtään ammoniakkiin, vaikka massan lämpötila viittasi ammoniakkin muodostumiseen ja ilmassa oli havaittavissa ammoniakkin hajua. Mittarista kokeiltiin ottaa rikkivetylisäkappale pois, koska epäiltiin, että se häiritse ammoniakkin mittausta. Kuitenkaan ammoniakki ei näkynyt mittarissa. Ammoniakanturin kunto tarkistettiin laboratorioissa ammoniakanturin kalibroitukaasuilla, ja huomattiin ammoniakanturin olevan rikki.

4 KAASUANALYYSIN TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Tulokset

Tarkemmat kaasuanalyysin tulokset ovat tilaajalle toimitetussa liitteessä. Liitteessä on kerrottu reaktorissa mitatut arvot ja arvoista tehdyt kuvaajat.

Ensimmäisestä kaasuanalyysistä huomasi, ettei reaktorissa ollut toimintaa tai toiminta oli vähäistä. Kaikki kaasusta mitatut arvot olivat alhaiset. Mahdollisesti rikkivetyä vapautui ja hiilidioksidia ei ollenkaan. Näin ollen kaikki toiminta reaktorissa saattoi olla anaerobisella mädätyksellä.

Toisessa kaasuanalyysissä huomasi selvästi aerobisen mikrobitoiminnan vaikutuksen. Ajon alussa reaktorissa virtaava kaasu oli vain ilmaa. Ajon lopussa kaasut muuttuivat oletetusti, vaikka ajo kesti oletettua pidempään. Mikrobien toiminta näkyi lisääntyneenä hiilidioksidi- ja rikkivetypitoisuuksina ja alentuneena happipitoisuutena.

4.2 Virhelähteet

Tässä kaasuanalyysissä on useita virhelähteitä. Biopallossa on käytössä kiertoilmajärjestelmä veden haihtumisen vähentämiseksi, jolloin kaikki höyrystyvät komponentit alkavat kerääntymään kaasuun. Vaihtuvaa kaasun määrää ei pystytä kunnolla mittaamaan, sillä kaasu vuotaa hallitilaan ja korvausilmaa tuodaan kompressorilla massan pohjalle ja puhaltimilla hallitilasta mittaamattomia määriä. Päällimakerrossa on aukko, josta oletetaan ilman vaihtuvan osittain. Ilmanvaihtoaukko ottaa hallitilasta ilman.

Virhelähteenä on myös kaasun mittalaite itse. GA2000 plus mittaria ei saatu lainattua ennen mittauksia, jolloin mittariin olisi voinut perehtyä tutkimalla mittarin ominaisuuksia tarkemmin. Mittariin perehdyttiin lukemalla mittarin ohjeita, jotka löytyivät valmistajan sivuilta. Tiedossa oli aikaisemmin, että anturit olivat kuluneet ja näyttivät jatkuvaa taustakohinaa. Mittalaitteesta oli myös hajonnut ammoniakianturi kokonaan toiseen mittaukseen. Tämän takia on mahdollista, ettei ensimmäisessäkin mittauksessa ammoniakianturi toiminut oikein. Mittaamiseen olisi haluttu käyttää laitteen ohjeista löytyvää automaattista mittauksien otto- ja tallennusfunktiota, mutta GA2000 plus laitteesta funktio oli hajonnut tai poistettu käytöstä. Funktion hajoamisen vuoksi tulokset tuli mitata manuaalisesti ja mittauksia tehtiin vain, kun pystyttiin olemaan paikan päällä. Tämän takia mittaukset keskeytyivät vain päiväsaikaan ja koko mittausajalta ei ole mittauksia. Lopullisissa kuvaajissa tämä näkyy tyhjinä ajanjaksoina mittauksien välillä.

Mittari tarkistettiin ennen mittauksia, mittaamalla puhdasta ulkoilmaa ennen mittauksien suorittamista. Ulkoilmasta tehdyistä mittauksista laskettiin pohja-arvot mittauksien tulosten laskentaa. Samalla huomattiin happianturin olevan laitteessa hieman vioittunut. On myös mahdollista, että muiden kaasukomponenttien haamuarvot antoivat vääristyneen kokonaiskuvan ja laitteen sisäinen las-kuri kompensoi lukuja vähentämällä hapen prosentuaalista määrää. Laite näytti hapelle 16 % ulkoilmassa, kun oikea happipitoisuus tulisi olla noin 21 %. H₂S kalibrointia kaasua käyttäessä mitattu happipitoisuus oli odotettu 0 %, joten mittari näytti lähempänä 0 % oikeampia tuloksia ja mittari näytti hapen lisääntyessä aina hieman alempia arvoja.

Mittari olisi ehkä pitänyt tarkistaa mittauksia ennen kalibroitikaasuilla. Kalibroitikaasuilla oltaisiin varmistettu aluksi laitteen toiminta ja mahdollisia kalibrointeja olisi voinut tehdä laitteelle, jotta laite olisi ottanut mahdollisimman tarkkoja tuloksia.

Mittausten aikataulujen ja muiden töiden takia kalibroitikaasujen käytölle ei ollut aikaa. Toisaalta, koska alkuperäisessä suunnitelmassa haluttiin vain tarkastella ammoniakin määrää Biopallon reaktorissa, ei ehkä laitetta oltaisi otettu mittauksiin toiseen ajoon. Silti toisessa ajossa tuli muita tuloksia, jotka olivat mielenkiintoisia reaktorin toiminnan kannalta.

5 MITTALAITTEIDEN HANKINNAN ETENEMINEN

Biopallon Systems Oy uuden prosessilaitoksen automaatioon haettiin parannuksia prosessin hallintaan. Biopallolla oli toivomuksena löytää massan kosteudelle, massan lämpötilalle, massan pH:lle ja kaasun komponenteille tarvittavia mittauksia. Näillä mittauksilla prosessi tulisi mahdollisimman helpposti hallittavaksi, turvallisiksi käsitellä ja lopputuotteen laatu varmistettua.

Laitteita etsittiin pääasiassa netistä. Tarkoituksena oli löytää laitteita, jotka soveltuvat Biopallon prosessiautomaatioon. Lisäksi laitteita etsittiin kysymällä Savonian henkilökunnalta mahdollisia kontakteja mittauslaitteidenmyyjiin. Vaikka mittalaitteiden myyjillä ei ollut mallistossa varmasti toimivaa laitetta, heiltä silti kysyttiin mahdollisia laitteita. Myyjille annettiin käyttökohde, mittausparametrit ja ympäröivät olosuhteet. Myyjät myös kysyivät lisäkysymyksiä mittauksiin liittyen, jotta he pystyivät omasta mielestään tarjoamaan parasta vaihtoehtoa. Koska kirjallinen dokumentti haluttiin tallentaa tapahtumasta, viestimiseen käytettiin pelkästään sähköpostia.

Kaasunmittauslaitteiden saatavuutta kysyttiin viideltä eri laitetoimittajalta, joilla oli myynnissä erilaisia kaasuanalysaattoreita. Näistä viidestä laitetoimittajasta kahdella oli kompostointikaasuihin soveltuvia kaasunmittauslaitteita. Tilaaja halusi vielä kolmannen vaihtoehdon, joka löydettiin sitten Savonian henkilökunnan suosituksesta. Laitteiden tarjousten mukana tuli laitteille tarvittavien lisälaitteiden tarjoukset. Eli jokaisella myyjällä oli tarjolla kokonainen ratkaisu kaasujen mittaukseen. Tarjoukset sisälsivät laitteita kaasunmittausominaisuuksien parantamiseen ja laitteet automaatiikkaan kytkentään.

Massankosteuden mittaukseen löydettiin kaksi myyjää. Laitteet olivat hyvin samantapaisia. Laitteiden tietolomakkeissa oli listattu laitteiden kestävästä mineraalipitoisesta ainesta erilaisissa sekoitus- ja kuljetustilanteissa. Laitteiden keraamisten anturien tulisi kestää orgaanisen materiaalin mekaanista kulutusta. Samoin kuin kaasuanalysilaitteiden tarjouksissa, tuli massankosteudenmittauksen laitteilla mukana tarjoukset kokonaisuun mittausratkaisuihin. Tarjouksissa tuli ratkaisuja anturien asennuksiin mittauspaikoille, mittautiedon muuntamiseen ja kytkemiseen laitosautomaatiikkaan.

Happamuuden mittauksiin ei löydetty kiinteän massan pH-antureita, jotka kestäisivät mekaanista kulutusta. Mittareita valmistavalta Hanna instrumentsilta kysyttiin mahdollisia mittareita Biopallon prosessiin, mutta minkäänlaista vastausta ei tullut. Näin ollen pH-mittaukseen tulee tehdä jonkinlainen mittausratkaisu, johon ei tässä opinnäytetyössä otettu kantaa.

Lämpötila-antureiksi pohdittiin erilaisia ratkaisuja kaukomittauksien ja upotettavien lämpötila-anturien vaihtoehdoista. Kaukomittauksissa oli esillä erilaiset IR-kamerat ja lämpömittarit. Ongelmana näissä mittauksissa on IR-linssin helppo likaantuminen sekoituksessa syntyvistä roiskeista. Myöskään IR-lämpömittarit eivät mittaa massan pintaa syvemmälle, joten todellisesta massan sisälämpötilasta on vaikea olla täysin varma. Massan lämpötilan mittaamiseen tulisi siis valita, jokin upotettava lämpömittari, joka on koteloitu kestävästi massan olosuhteita. Kuitenkaan opinnäytetyössä lopulta ei haettu antureita, koska anturin malli voi tulla muuttumaan mittauspaikan takia. Prosessiteollisuudessa käytettäviä PT-100 antureita on eripituuksilla, eri suojakuorilla ja eri kiinnitysmahdollisuuksilla. Koska valittava lämpömittari on riippuvainen asennuspaikasta, vielä ei kysytty lämpötila-antureiden

tarjouksia toimittajilta. Tilaajalle toimitetussa raportissa on tehty ehdotus lämpötila-anturin asennuspaikasta.

6 PROSESSIN MITTAUKSET

Prosessin mittauksiin toimivista mittareista ja antureista, on tehty listaus tilaajalle toimitetussa liitteessä. Listauksesta löytyy valmistaja, laitteen toimittajan yhteystiedot ja laitteen hinta.

Liitteessä on listattu erilaisia mittalaitteita ja antureita, jotka tulisi hyvin toimia Biopallo reaktorissa. Laitteita ei valittu tarkkaan, koska mittalaitteiden sijainti ja tarvittavat ominaisuudet voivat vielä vaihtua suunnittelussa. Laitteita valittiin jokaista mittaussparametria kohden kaksi vaihtoehtoa. Lämpötilanmittaukseen ei vielä haettu toimittajaa. Vaikka lämpötilan mittaukseen ehdotettiin perinteistä pt-100 lämpötila-anturia, lämpötila-anturin malli voi muuttua asennuspaikan mukaan. Asennuspaikka ei ole vielä tiedossa sillä uuden Biopallotuotantolaitoksen suunnitelmia ei vielä ole saatavilla. Myöskään massan pH-mittaukselle ei löydetty hyvää anturia, sillä hyvät kiintoainetta mittaavat prosessilaitteet ovat hankalasti löydettävissä. Monet prosessi pH-anturit ovat tarkoitettu nesteille. Tämä johdattaa pH-mittareiden mittaustavasta, jossa yleensä käytetään lasista elementtiä mittaamaan nesteen jännitettä.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavoitteena opinnäytetyössä oli ottaa selvää Biopallon reaktorissa syntyvistä kaasuista, sekä löytää mittalaitteet, jotka toimivat Biopallon vaatimissa olosuhteissa. Kaasuanalysistä saatiin joitakin tuloksia Biopallon kaasuista ja ajojen tilasta. Tulos oli hieman vajaa, koska ihan tarkkaa kuvaa ei saatu reaktorin toiminnasta opinnäytetyössä käytetyillä menetelmillä. Kaasuanalysointia olisi pitänyt tarkistaa kunnolla ennen käyttöönottoa ja mittaamista olisi pitänyt suunnitella tarkemmin ennen mittauksen aloittamista. Mittausasetelman takia ei pystynyt laskemaan tarkkoja määriä reaktorista poistuvista kaasuista. Kiertoilmasysteemin takia on vaikea arvioida todellista määrää kompostoinnista aiheutuvista kaasuista. Jos Biopalloreaktorin tutkimuksissa haluttaisiin painottaa kaasujen komponenttien tutkimista, tulee massan ilmastus toteuttaa niin, että poistuva ilma poistuu kokonaan systeemistä. Tällöin poistuvasta ilmasta voitaisiin tarkasti laskea kaasunkomponenttien määrät. Biopallo Systems Oy:n päätutkimuskohde ei ole prosessissa syntyvät kaasut, joten prosessin muuttaminen yhden mittauksen vuoksi ei ole kannattavaa.

Kaikkiin mitattaviin parametreihin ei työn aikana löytynyt soveltuvaa mittalaitetta. Työn aikana kävi ilmi, että happamuuden mittaukseen ei löydy hyvää anturistoa, joka olisi suoraan yhteensopiva Biopallon reaktoriin. Lämpötilamittauksiin tulee vielä miettiä mittaustaikaa, joten antureista ei haettu tarjouksia. Tilaajalle tehtyyn erilliseen raporttiin tehtiin lyhyt ehdotus lämmönmittauspaikalle, anturityypille ja mittaustavalle.

Työn aihe oli haastavampi kuin alkuperäisesti olin ajatellut. Laitteiden etsimisessä ja niiden tarjouskyselyissä kesti kauemmin kuin olin kuvitellut. Myöskään kaikkia mittalaitteita ei löydetty prosessiin. Prosessin haastavuuden takia tulee lämpötilan mittaukseen ja pH:n mittaukseen miettiä parempia järjestelmiä, että mittaukset toimivat varmasti oikein. Mittauksissa tuli tehtyä paljon virheitä ja mitausten luotettavuus on vähäinen, eikä tuloksia pysty oikein vertaamaan kuin viitteellisesti ulkoisiin mittauksiin, mutta tuloksia pystyy arvioimaan vertailusarjan sisällä.

Opinnäytetyössä tehtiin kaasuanalyysi. Löydettyjen arvojen perusteella, sekä tilaajan tarpeiden mukaisesti, etsittiin mittauslaitteistoja, jotka kestävät prosessia. Työssä ei ihan kaikki onnistunut suunnitelmien mukaan. Kaasuanalysissä saatiin joitain tuloksia, mutta ne ovat lähinnä viitteellisiä. Mittauksista saaduilla arvoilla kuitenkin pystyttiin arvioimaan, millaisia kaasumittareita prosessissa voitaisiin hyödyntää.

Joitakin prosessiin yhteensopivia mittauslaitteita löydettiin. Lähinnä saatiin tarjouksia kaasunmittauslaitteista ja massankosteuden mittauslaitteista. Massan happamuuden mittaukseen sopivaa mittaria ei löytynyt. Lämpötilan mittaukseen ei myöskään haettu lopulta mittalaitteita, koska tulevan reaktorin rakenne voi vielä muuttua ja mittalaitteen anturin malli on riippuvainen mittaustaikasta.

Tilaajalle toimitetussa raportissa on erikseen mainittu mahdollisia vaaroja nykyisestä reaktorista ja kuinka näitä voidaan välttää. Raportissa on myös otettu esille, kuinka automaatiota parantamalla voidaan parantaa pikakompostointimassan ilmastusta.

LÄHTEET

- Artola, Adrianna, Barrena, Raquel, Font, Xavier, Gabriel, David, Gea, Teresa, Mudhoo, Ackmez ja Sánchez, Antoni 2009. Composting from a Sustainable Point of View: Respirometric Indices as Key Parameter. *Dynamic Soil, Dynamic Plant 2009 Global Science Books*. [http://www.globalscience-books.info/Online/GSBOline/images/0906/DSDP_3\(SI1\)/DSDP_3\(SI1\)1-16o.pdf](http://www.globalscience-books.info/Online/GSBOline/images/0906/DSDP_3(SI1)/DSDP_3(SI1)1-16o.pdf)
- Asp, Risto, Heinonkoski, Risto ja Hyppönen, Heikki 2008. *Automaatio – helppoa elämää? Opetushallitus*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy 2008
- Auriola, Mikko 2020. GA 2000 PLUS mittaus laite. Valokuva 2020. Kuopio.
- Auriola, Mikko 2020. HNU Nordion kalibrointikaasut NH₃ ja H₂S, sekä GA2000plus mittalaite. Valokuva 2020. Kuopio.
- Biopallo julkaisu aika tuntematon. Biopallon tarina. Verkojulkaisu. <https://biopallo.com/biopallon-tarina/> Viitattu 16.10.2020
- Canganella, Francesco ja Wiegel, Juergen 2014. Anaerobic Thermophiles. *Life* 4, 77-104. National Center for Biotechnology Information <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4187147/pdf/life-04-00077.pdf> Viitattu 15.10.2020.
- Halinen, Arja ja Tontti, Tiina 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT. MTT:n selvityksiä 70. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441159/mmts70.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Heiskanen, Juha ja Tamminen Pekka. Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424. Helsinki 1992
- Hungtington, Tom 2003. Available Water Capacity and Soil Organic Matter. *Encyclopedia of Soil Science, Second Edition*. Taylor and Francis: New York. Verkoaineisto 12.12.2007, 139-143. https://www.researchgate.net/publication/258046417_Available_Water_Capacity_and_Soil_Organic_Matter#read
- Itävaara, Merja, Vikman, Minna, Kapanen, Abu, Venelampi, Olli ja Vuorinen, Arja 2006. Kompostin kypsyystestit. VTT Espoo 2006. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf> Viitattu 2.10.2020
- Lin, Long, Xu, Fuqing, Ge, Xumeng ja Li, Yebo 2018 Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89, 151-167.
- Maa- ja Metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. 24/11. <http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024fi.pdf> Viitattu 3.12.2020
- Maritínez-Blanco, Julia, Lazcano, Cristina, Boldrin, Alessio, Muñoz, Rieradevall, Joan, Møller, Jacob, Antón Assumpció ja Christensen, Thomas H. 2013. Assessing the Environmental Benefits of Compost Use-on-Land through an LCA Perspective. E. Lichtfouse(ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* 12. Springer Science+Business Media Dordrecht 2013
- Perämäki, Nina 2019. Biopallo. Valokuva 29.4.2019. Kuopio
- Richards, Tom. Capillary Theory and Matric Potential. Cornell Waste Management Institute. Cornell University. Verkoaineisto <http://compost.css.cornell.edu/oxygen/capillary.html> Viitattu 4.11.2020
- Simon, Levente, Pataki, Hajnalka, Marosi, György, Meemken, Fabian, Hungerbühler, Konrad, Baiker, Alfons, Tummala, Srinivas, Glennon, Brian, Kuentz, Martin, Steele, Gerry, Kramer, Herman J. M., Ryzak, James W., Chen, Zengping, Morris, Julian, Kjell, Francois, Singh, Ravendra, Gani, Rafiqul,

Gerney, Krist V., Louhi-Kultanen, Marjatta, O'Reilly, John, Sandler, Niklas, Antikainen, Osmo, Yli-ruusi, Jouko, Froberg, Patrick, Ulrich, Joachim, Braatz, Richard D., Leyssens, Tom, von Stosch, Moritz, Oliveira, Rui, Tan, Reginald B. H., Wu, Huiquan, Khan, Mansoor, O'Grady, Des, Pandey, Anja, Westra, Remko, Delle-Case, Emmanuel, Pape, Detlef, Angelosante, Daniele, Maret

Sosiaali- ja Terveysministeriö 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja Terveysministeriön julkaisuja 9/2018. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2018 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160967/STM_09_2018_HTParvot_2018_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 13.10.2020

Terveyslaitos 2020. Kansainväliset kemikaalikortit (ICSCs) Trimetyyliamiini. Verkkoaineisto http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=fi&p_card_id=0206&p_version=2 Viitattu 13.10.2020

Yannick, Steiger, Olivier, Lenner, Miklós, Abbou-Oucherif, Kaourat, Nagy, Zoltan K., Litster, James D., Kamaraju, Vamsi Krishna & Chiuq, Min-sen 2015. Assessment of Recent Process Analytical Technology (PAT) Trends: A Multiauthor Review. Process Analytical Technologies (PAT) 14, 3-62. American Chemical Society [dx.doi.org/10.1021/op500261y](https://doi.org/10.1021/op500261y)

Temperature and Microbial growth. Lumen Learning. Verkkojulkaisu <https://courses.lumenlearning.com/microbiology/chapter/temperature-and-microbial-growth/> Viitattu 12.11.2020

LIITE 1: KAASUANALYYSIRAPORTTI

(Vain tilaajan käyttöön)