



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jenni Koistinen

Kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksen tehostaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

3.5.2021

Tekijä Otsikko	Jenni Koistinen Kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksen tehostaminen
Sivumäärä Aika	41 sivua 3.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	ympäristötekniikka
Ohjaajat	lehtori Juha Kotamies toimintovastaava Christoph Gareis
<p>Insinööriyön toimeksiantajana oli Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. Työssä selvitettiin Ämmässuon kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksen tehostuskeinoja, kompostointikokeen avulla sekä kartoittamalla poistoilman sisältämiä yhdisteitä ja niiden pitoisuuksia. Poistoilman päästöt liittyvät uuteen BAT:iin ja ympäristölupaan.</p> <p>Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen kompostointilaitos kuuluu IE-direktiivin piiriin ja sen poistoilmaa koskevat päästöjen raja-arvot. Poistoilmasta mitataan säännöllisesti ammoniakki- ja hajupäästöjä. Poistoilman puhdistusprosessi käsittää biopesurit ja biosuodattimet. HSY:llä tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti parannuskeinoja päästöjen vähentämiseksi erilaisten hankkeiden avulla.</p> <p>Insinööriyössä tehtiin kompostointikoe lisäämällä pyrolyysin koelaitoksesta saatavaa lietehiiltä kompostoinnin raaka-aineeksi. Lietehiiltä lisättiin 3 % tunnelipanoksen kokonaispainosta. Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi tehtiin kaksi lietehiilipanosta ja kaksi kontrollipanosta ilman lietehiiltä. Kompostointikokeessa tutkittiin lietehiilen vaikutuksia poistoilman ammoniakki- ja hajupäästöihin. Poistoilmasta kartoitettiin myös sen sisältämiä yhdisteitä ja niiden pitoisuuksia kaasukromatografi-massaspektrometri (GC-MS)- ja termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometria (TD-GC-MS)-mittauksien avulla. Mittauksien avulla saatiin kartoitettua yhdisteitä, jotka aiheuttavat mahdollista hajuhaittaa poistoilmassa.</p> <p>Tulosten perusteella lietehiilen lisäyksellä kompostoinnin raaka-aineeksi ei ollut vaikutuksia poistoilman ammoniakki- ja hajupäästöihin. Lietehiilen lisäyksellä havaittiin kuitenkin suotuisia vaikutuksia kompostoinnin kypsyyteen, pienentyneen hiilidioksidi tuoton ja kasvaneen pH-arvon myötä. Työn merkittävimpänä hyötynä voidaan pitää laajempaa kartoitusta poistoilman sisältämisestä yhdisteistä ja pitoisuuksista. Yhdisteiden tehokkaampi suodatus vaatii kuitenkin laajempia selvityksiä.</p>	
Avainsanat	kompostointilaitos, poistoilma, ammoniakkipäästö, hajupäästö, HSY

Author Title	Jenni Koistinen Improving composting plant exhaust air filtration
Number of Pages Date	41 pages 3 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Environmental Engineering
Instructors	Juha Kotamies, Lecturer Christoph Gareis, Operational Manager
<p>The engineering work was commissioned by the Helsinki Region Environmental Services HSY. In this work, the efficiency of the exhaust air filtration of the Ämmässuo composting plant was investigated by means of a composting experiment and by mapping the compounds and concentrations contained in the exhaust air. Exhaust air emissions are related to the new BAT and the environmental permit.</p> <p>The composting plant of the Ämmässuo eco-industrial center is covered by the IE directive and the emission limit values for exhaust air. Ammonia and odor emissions from the exhaust air are measured regularly. The exhaust air cleaning process includes bio-scrubbers and biofilters. HSY is constantly researching and developing techniques to reduce emissions through various projects.</p> <p>In the engineering work, a composting experiment was performed by adding sludge carbon from a pyrolysis pilot plant as raw material for composting. Sludge carbon was added to 3% of the total weight of the tunnel charge. To obtain comparable results, two sludge charcoal charges and two control charges without sludge carbon were made. The composting experiment investigated the effect of sludge carbon on ammonia and odor emissions in the exhaust air. The compounds contained in the exhaust air and their concentrations were determined using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and thermodesorption gas chromatography-mass spectrometry (TD-GC-MS) measurements. The measurements were used to map compounds that cause possible odor nuisance in the exhaust air.</p> <p>Based on the results, the addition of sludge carbon as a raw material for composting had no effect on the ammonia and odor emissions of the exhaust air. However, the addition of sludge carbon had beneficial effects on composting maturity, with reduced carbon dioxide yield and increased pH. The most significant benefit of the work can be considered the broader mapping of the compounds and concentrations contained in the exhaust air. However, more efficient filtration of compounds requires more extensive elucidation.</p>	
Keywords	composting plant, exhaust air, ammonia emissions, odor emissions, HSY

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kompostointi	2
2.1	Kompostointilaitos	4
2.2	Kompostointilaitoksen poistoilman päästöjen syntyminen	5
2.2.1	Hajupäästöt	5
2.2.2	Ammoniakkipäästöt	8
2.2.3	Poistoilman päästöjen seuranta	8
2.3	Biosuodatus	8
2.4	Kompostointilaitoksen poistoilman suodatus	10
3	Päästöjen lainsäädäntö	12
3.1	IE-direktiivi	12
3.2	BAT	13
3.3	Ympäristölupa	13
4	Kaasukromatografi-massaspektrometri (GC-MS)-mittaukset	14
4.1	Tulokset	15
4.2	Yhdisteiden tarkastelu	17
5	Termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometri (TD-GC-MS)-mittaukset	19
5.1	Tulokset	20
5.2	Tulosten tarkastelu	23
5.3	Yhdisteiden tarkastelu	24
6	Kompostointikoe	25
6.1	Ammoniakkimittaukset ja tulokset	27
6.2	Hajumittaukset ja tulokset	31
6.2.1	Hajupitoisuus	32
6.2.2	Hajutasot	33

6.2.3	Hajun laatu	35
6.3	Maanäytteet	37
7	Kehitysehdotukset	38
8	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

Lyhenteet

BAT	Paras käyttökelpoinen tekniikka (Best Available Techniques)
c_{od} [GE _E /m ³]	Hajupitoisuus (Odour concentration)
EBRT	Teoreettinen viipymäaika (Empty bed residence time)
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
m ³	Kuutiometri
µg	Mikrogramma
ouE	eurooppalainen hajuyksikkö (European Odour Units)
Pa	Pascal
P _G [dB _G]	Hajutaso (Odour level)
ppb	Miljardiosa (parts per billion)
ppm	Miljoonasosa (parts per million)
TBRT	Todellinen viipymäaika (True bed residence time)
TVOC	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (Total Volatile Organic Compounds)
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds)
VVOC	Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (very volatile organic compounds)

1 Johdanto

Insinöörityön toimeksiantaja oli Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. Toimeksiannon tarkoituksena on tutkia Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksen tehostamiskeinoja. Työ käsittää vain uuden kompostointilaitoksen. Vanhan kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksen tehostamiseen ei ole tarvetta. Tehostaminen sisältyy uuteen BAT:iin ja ympäristölupaan.

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa on toiminnassa puhdistamolietteen pyrolyysin koelaitos. Työssä tutkittiin pyrolyysilaitoksesta saatavan lietehiilen koekäyttöä kompostointilaitoksen raaka-aineena ja sen vaikutuksia poistoilman ammoniakki- ja hajupäästöihin. Lisäksi kartoitettiin poistoilman sisältämiä yhdisteitä ja niiden pitoisuuksia. Aikaisempaa kartoitusta ei ole tehty.

Euroopan parlamentti ja neuvosto on antanut 19. marraskuuta 2008 direktiivin jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta (2008/98/EY). Direktiivi pitää sisällään jätehierarkian, jossa tulisi pyrkiä ensisijaisuusjärjestyksen mukaisesti jätteiden synnyn ehkäisyyn, uudelleenkäyttöön, kierrätykseen, muuhun hyödyntämiseen ja loppukäsittelyyn. Orgaanisen aineksen kompostointi on jätehierarkian ensisijajärjestyksen mukaista kierrätystä. Viimeisimpinä vaihtoehtona orgaaninen aines tulisi sijoittaa kaatopaikalle tai hyödyntää energiana. [1.]

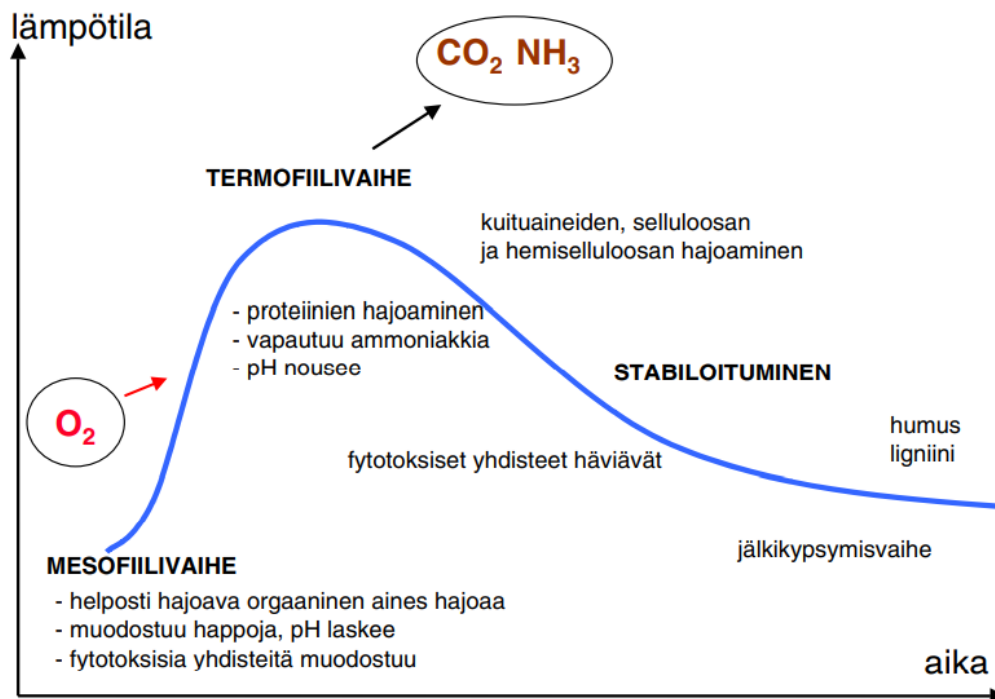
Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY vastaa pääkaupunkiseudun vesihuollon, jätehuollon sekä seutu- ja ympäristötiedon palveluiden tuottamisesta. Kuntayhtymä on perustettu vuonna 2010 entisen yhteistyövaltuuskunnan YTV:n tilalle, ja siihen kuuluvat Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen. [2.]

Nykyaikainen jätehuolto keskittyy kiertotalouteen vanhan lineaarisen jätehuollon sijasta. Jätehuollossa pyritään jatkojalostamaan raaka-aineita aina uusiksi korkeamman luokan tuotteiksi. Ämmässuon ekoteollisuuskeskus Ekomo sijaitsee Espoossa, ja sen keskittymässä oli vuonna 2019 kolmetoista yhteistyöyritystä. Ämmässuon ekoteollisuuskeskus tarjoaa palveluita jatkojalostuksen saralta erilaisille jätelajeille, kuten mm. orgaanisen jätteen kompostoinnille. [3.]

2 Kompostointi

Kompostointi on orgaanisen jätteen biologista hajoamista aerobisessa, eli hapellisessa tilassa. Kompostoinnissa mikro-organismit hajottavat monimutkaisia molekyyliä yksinkertaisempaan muotoon, ja prosessin aikana vapautuu hiilidioksidia, vettä ja lämpöä. Orgaanisen aineen hajoamisprosessiin osallistuu lukuisia mikro-organismeja, alkueläimiä sekä muita eläinkunnan eliöitä. Kompostointiprosessin edetessä hiilen ja typen suhde orgaanisessa aineessa pienenee sillä mikro-organismit käyttävät hiiltä ja typpeä solurakenteiden rakentamiseen. Hiilen ja typen tasapainon lisäksi tärkeitä parametreja kompostoinnissa ovat lämpötila, kosteuspitoisuus, pH sekä ilmastus. [4, s. 53–54.]

Kompostointiprosessin toiminnan edellytyksenä on optimaaliset olosuhteet lämpötilan ja happipitoisuuden osalta. Lämpötilan osalta olosuhteet jakaantuvat kahteen mesofiliin, jossa toimivat keskilämpötilan mikrobit, ja termofiliin, jossa toimivat korkean lämpötilan mikrobit (kuva 1). Mesofiilissä olosuhteissa hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat hajoavat nopeasti ja tehokkaasti. Termofiilissä olosuhteissa taudinaiheuttajat ja siemenet tuhoutuvat. Kompostointi on erinomainen tapa hygienisoida orgaanista jätettä. [5, s. 1.]



Kuva 1. Kompostointiprosessin eri vaiheiden eteneminen [6].

Kompostoimalla pystytään käsittelemään orgaanista jätettä, kuten kotitalouksien ja teollisuuden elintarvikejätettä, viherjätettä, jätevedenpuhdistus lietettä ja maatalousjätettä. Kompostoinnin avulla vähennetään kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää. Kaatopaikalla orgaanisen aineen hajoaminen anaerobisissa, eli hapettomassa tilassa, synnyttää metaania mikä, on merkittävä kasvihuonekaasu. Biojätteen erilliskeräyksellä vähennetään ympäristöhaittoja, hyödynnetään resursseja, saavutetaan lainsäädännön vaatimukset sekä saadaan lopputuotteena käyttökelpoista multaa, joka sitoo hiiltä. [7, s. 1.]

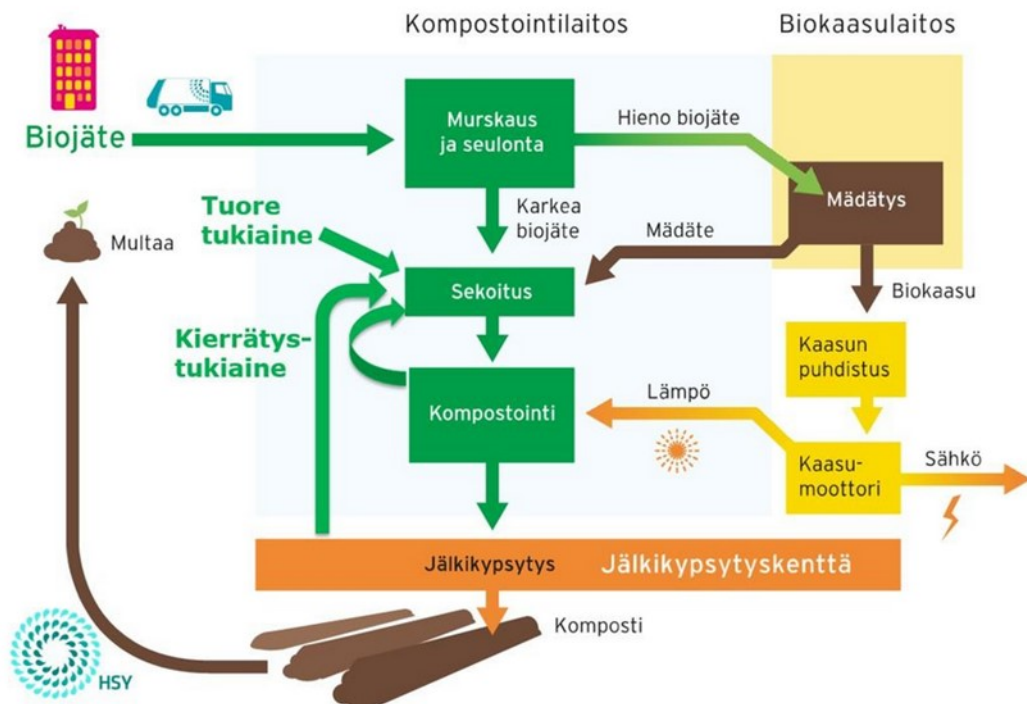
Multa on ravinnerikasta ja sisältää ravinteita kuten, typpeä, joka parantaa maaperän hedelmällisyyttä. Lopputuotteen käytöllä saadaan parannettua maaperän koostumusta, rakennetta, ilmastusta, vedenpitokykyä sekä voidaan korvata teollisten lannoitteiden käyttöä. [8, s. 285.] Kompostointi tulisi nähdä merkittävänä resurssina, jolla on myös taloudellisia hyötyjä. Kompostointiprosessien aikana syntyy kuitenkin haju- ja muita päästöjä, jotka voivat aiheuttaa haittaa. Näitä voidaan kuitenkin hallita hyvällä tekniikalla ja suunnittelulla. [7, s. 1.]

Onnistuneen kompostoinnin osana on tietoisuuden lisääminen väestön keskuudessa. Biojätteen erilliskeräyksen tärkeydestä tulisi tiedottaa ja edistää erilaisilla keinoilla. Tiedottamisen lisäksi tulisi lisätä paikallista valvontaa sekä lisätä kannustinjärjestelmiä erilliskeräyksen edistämiseksi. Biojätteen keräyksessä on väestön keskuudessa paljon parannettavaa, jotta saavutetaan asetetut tavoitteet erilliskeräyksen tiimoilta. Asenteisiin ja käytäntöön tarvitaan suurta muutosta ja kehitystä. Kompostointia tulisi myös kehittää sertifiointijärjestelmien avulla, jolla saataisiin edistettyä kompostointituotteiden markkinoita. [9, s. 145–146.]

Tekniikka kompostoinnin ympärillä on kehittynyt viime vuosien aikana, ja nykyään keskitytään entistä enemmän ympäristön ja kansanterveyden edistämiseen. Ympäristön tilan edistämiseksi pyritään vähentämään hajupäästöjä, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja bioaerosoleja. Kansanterveyden edistämiseksi on keskitytty taudinaiheuttajiin, kuten bakteereihin, viruksiin ja loisiin. [5, s. xvi.]

2.1 Kompostointilaitos

Ämmässuon kompostointilaitoksella käsitellään pääkaupunkiseudun orgaaninen jäte. Vuonna 2019 orgaanista jätettä vastaanotettiin melkein 94 000 tonnia. Orgaaninen jäte koostuu pääosin biojätteestä ja muista jakeista, kuten viherjätteestä, risuista, puusta, jätevesilietteestä, kannoista ja eläinten kuivikkeista. Viherjätettä käytetään myös kompostoinnin tukiaineena. Ämmässuolla on käytössä osavirtamädätysprosessi, jossa kompostointilaitoksen rinnalla toimii biokaasulaitos (kuva 2). [10.]



Kuva 2. Ämmässuon kompostointilaitoksen prosessikaavio [10].

Kuntayhtymän toiminta-alueelta erilliskerätty biojäte toimitetaan Espoon Ämmässuon kompostointilaitokselle. Kompostointilaitoksella biojäte murskataan ja seulotaan, jonka jälkeen jakeesta poistetaan vierasaineita, kuten metallia. Murskauksen ja seulonnan jälkeen optimaalisin jae koko ohjataan prosessin eri vaiheisiin. Hienompi jae ohjataan biokaasulaitoksen mädätysprosessiin, josta saadaan aikaiseksi mädätettä. Karkea biojäte, mädäte sekä tukiaineet ohjataan kompostointitunneliin, josta saadaan jälkikypsytyksen jälkeen lopputuotteena multaa. Biokaasulaitoksen mädätysprosessissa syntyvä biokaasu puhdistetaan ja jatkojalostetaan sähköksi ja lämmöksi. Näin saadaan talteen

biojätteen sisältämä energia. Lämpöenergiaa käytetään kompostointilaitoksen prosesseissa ja sähköenergiaa myydään verkkoon. [10.]

2.2 Kompostointilaitoksen poistoilman päästöjen syntyminen

Kompostointi on orgaanisen aineen hajoamista, josta syntyy sivutuotteena mm. haihtuvia päästöjä. Haihtuvien päästöjen hallinta on osa toimivaa kompostointilaitosta. Kompostointilaitoksen tekniikalla ja suunnitelulla voidaan vaikuttaa haihtuvien päästöjen syntymiseen ja leviämiseen. Haihtuvia päästöjä syntyy kompostoinnissa kemiallisessa ja biologisessa hajoamisessa. Orgaaninen aines pitää sisällään rikkiä ja typpeä ja hajotesaan se muodostaa rikkiyhdisteitä ja typpiyhdisteitä. Rikkivety ja ammoniakki ovat keskeisiä hajupäästöjä, sillä molemmilla on pistävä hajua. Haihtuvien päästöjen syntyyn vaikuttaa myös biojätteen sisältämä jae. Kompostointiprosessissa tulee kiinnittää erityistä huomiota ilmanvaihtoon ja virtausnopeuteen. Hajoamisprosessin aikana prosessiin syötetään ilmaa, sillä aerobisessa tilassa syntyy vähemmän pistävän hajuisia haihtuvia päästöjä kuin anaerobisessa tilassa. Kompostointiprosessissa syntyy lukuisia erilaisia yhdisteitä sekä niiden yhdistelmiä. Osa yhdisteistä voi aiheuttaa korkeaa hajuhaittaa jo pieninäkin määrinä kuin toiset yhdisteet eivät aiheuta juuri lainkaan hajuhaittaa suurina määrinä. Kompostoinnissa syntyvistä korkean hajuhaitan päästöistä vastaa suureksi osaksi rikkivety, dimetyylisulfidi, dimetyylidisulfidi, ammoniakki, limoneeni sekä pieneeni. Hajuhaittaa aiheuttaa myös rasvahapot, merkaptaanit ja ketonit. [5, s. 141–142, 146.]

2.2.1 Hajupäästöt

Hajupäästöjen ympäristöongelman ratkaisemisessa keskeinen asia on määrittää kriittiset hajuyhdisteet. Kaasumaiset päästöt vaikuttavat moniin osa-alueisiin, kuten ilmakehään, hajuhaittaan, työterveyteen ja turvallisuuteen. Hajupäästöt voivat heikentää elämänlaatua sekä suorituskykyä. Ilman hajujen määrittäminen ja mittaaminen auttavat ymmärtämään ympäristöongelmaa. Yleisin menetelmä mitata hajupäästöjä on olfaktometri. Hajupäästöjä voidaan mitata myös muilla laitteilla, kuten kaasukromatografilla, massaspektrometrilla tai kaasunilmaisimilla. Näiden menetelmien välinen suhde ei ole täysin lineaarinen kaikkien yhdisteiden osalta. Yhdisteet, joiden osalta voidaan löytää jonkin tasoista lineaarista korrelaatiota ovat etyylibentseeni, dimetyylisulfidi, trimetyyliamiini

sekä p-ksyleeni. Kompostoinnissa syntyvistä yhdisteistä, joiden osalta hajukynnys saattaa ylittyä ovat mm. ammoniakki, amiinit, dimetyylisulfidi, etikkahappo sekä p-ksyleeni. Erityisesti trimetyyliamiini on heikosti biohajoava, sillä mikrobin on vaikea hajottaa molekyyliä. Matalan hajukynnysarvon hajupäästöjä ovat mm. etyylibentseeni, dimetyylisulfidi, trimetyyliamiini ja p-ksyleeni (taulukko 1). [11.]

Taulukko 1. Ruokajätteiden kompostoinnissa syntyviä haihtuvia hajupäästöjä sekä niiden hajukynnys mitattuna olfaktometrilla [11].

Hajupäästö	Hajukynnys ppb
Hiilivedyt	
Penteeni	–
Hekseeni	–
Bentseeni	3630,8
Tolueeni	1548,8
Etyylibentseeni	2,9
p, m-ksyleeni	489,8
Styreeni	144,5
o-ksyleeni	851,1
Ketonit	
Asetoni	14454,4
Butanoni	7762,47
Esterit	
Metyyliasettaatti	6166,0
Etyyliasettaatti	2630,3
Terpeenit	
α -pineeni	691,8
β -pineeni	–
Limoneeni	436,5
p-symeeni	2,1
Ammoniakki	5754,4
Aminit	2,4
Dimetyylisulfidi	2,2
Etikkahappo	144,5

Ihminen aistii hajuja hengittämällä ilmassa olevia molekyyliä nenäänsä, jossa ne kiinnittyvät reseptoreihin. Sähköisen tiedon siirtyessä aivoihin tapahtuu aivoissa tuoksujen tunnistaminen. Tuoksut vaikuttavat eri puolilla aivoja riippuen, koetaanko tuoksu

miellyttäväksi vai ei. Tuoksuilla on myös suuri merkitys tunteisiin: erilaisilla tuoksuilla voidaan vaikuttaa asioiden kokemiseen. Miellyttävällä tuoksulla kokemuksesta voidaan saada positiivisempi. Ihminen pystyy muistamaan ja tunnistamaan tuhansia eri tuoksuja. Tuoksumuisti on vahvempi kuin näkömuisti. Hajujen aistimiseen vaikuttaa sekä geneettiset että ympäristötekijät. Geneettisissä tekijöissä vaikuttavat reseptorigeenien määrä sekä toimivuus. Ympäristötekijöissä vaikuttavat hajuille altistuminen. Hajujen aistimiseen vaikuttaa myös geneettisten sekä ympäristötekijöiden yhteisvaikutus, tietyille hajulle altistuminen vaikuttaa reseptorigeenien toiminnallisuuteen. [12, s. 12–13, 42.]

Hajupäästöjä mitataan hajupanelistien avulla. Hajupanelisteiksi valitaan henkilöitä, joilla on hyvä terveydellinen tilanne ja normaali hajuaisti, sillä jotkin sairaudet voivat hetkellisesti tai pysyvästi heikentää hajuaistia. Hajupanelisteja valittaessa on keskityttävä myös paneelin kokoon, jotta paneeli edustaa mahdollisimman hyvin väestön hajujakaumaa. Hajupanelistit arvioivat hajunäytteitä aistinvaraisesti, kunnes saadaan määritettyä hajun kynnysarvo, eli piste missä puolet panelisteista havaitsevat hajun juuri ja juuri. Hajunäytteiden arvioinnissa tulee varoa hajuihin sopeutumista. Sopeutumista voidaan pyrkiä välttämään erilaisilla metodeilla kuten ylös-alas-metodilla, jossa hajunäytteiden arvioinnissa annetaan seuraava näyte vastakkaiseen suuntaan sen mukaan, oliko edellinen alempi vai ylempi. [13, s. 55–60.]

Hajun kynnysarvo kertoo hajunäytteen laimennuskertojen määrän, eli hajuyksikön, joka ilmoitetaan HY/m^3 , OU/m^3 . Havaittavana hajuyksikkönä pidetään $1 \text{ OU}/\text{m}^3$ ja epämiellyttävänä hajuyksikkönä $5 \text{ OU}/\text{m}^3$. [14, s. 61.]

Kompostointilaitoksissa käytössä olevat hajupäästöjen puhdistusmenetelmät, biopeurit, biosuodattimet sekä muut hallintakeinot, suodattavat hajupäästöjä tehokkaasti. Ulkona tapahtuva orgaanisen aineksen varastointi ja jälkikypsytytys synnyttää myös hajupäästöjä. Ulkona tapahtuva kompostoinnin jälkikypsytytys aumoissa edellyttää aumojen säännöllistä kääntämistä, josta vapautuu ilmaan hajupäästöjä. Kompostointilaitosten hajupäästöihin voidaan vaikuttaa laitoksen sijoituksella, jotta hajupäästöt olisivat mahdollisimman vähäiset. [15, s. 53–54.]

Hajupäästöjä voidaan myös vähentää sijoittamalla hajuhaittaa aiheuttavat prosessit sisätiloihin, katettuun tilaan tai poistamalla poistoilma tarpeeksi korkealle, jotta hajupäästöt laimentuvat riittävään määrään ilmaa [16, s. 64].

2.2.2 Ammoniakkipäästöt

Hajupäästöjen lisäksi ammoniakki NH_3 on toinen merkittävä päästö, johon tulee kiinnittää huomiota kompostoinnissa. Ammoniakki on luonnollinen typpiyhdiste, joka on pienissä määrin vaaratonta, mutta suurissa määrissä myrkyllistä. Ammoniakkialtistuksen lievät oireet ovat ärsytystä muun muassa silmissä, ihossa tai hengityselimissä. Altistus voi suurissa määrissä johtaa jopa kuolemaan. Ammoniakkia syntyy lukuisten erilaisten reaktioiden kautta mutta tämänhetkiset suurimmat ammoniakkipäästöt ovat lähtöisin ihmisen toiminnasta. Ihminen pystyy haistamaan suuria pitoisuuksia ammoniakkia, sillä sen luontainen haju on hyvin pistävä. Alhaisissa pitoisuuksissa ihminen ei kuitenkaan pysty havaitsemaan ammoniakkia vaan avuksi tarvitaan mittalaitteita. Ammoniakkia voidaan mitata erilaisilla mittalaitteilla, kuten metallioksidianturilla, katalysaattorianturilla, johtavalla polymeerianturilla, kuitupitoisella anturilla tai optisella anturilla. [17, s. 2, 33–37.]

2.2.3 Poistoilman päästöjen seuranta

Ämmässuon kompostointilaitos on direktiivilaitos, ja sitä koskevat päästöjen raja-arvot. Kompostointilaitoksen poistoilmaa koskee ympäristöluvan lupamääräys A.14. Poistoilma tulee käsitellä puhdistusprosessilla, jolla päästään annettuihin päästö raja-arvoihin. [18.] Kompostointilaitoksella tarkkaillaan säännöllisesti haju- ja ammoniakkipäästöjä, ottamalla näytteitä biopesurilta ja biosuodattimelta. Päästöjen raja-arvot lasketaan vuotuisen mittauksen keskiarvoista. Ammoniakkipäästöjen osalta raja-arvon on oltava alle 5 ppm ja hajupäästöjen osalta alle 2 500 ouE/m^3 tai yli 90 %:n reduktio. Ympäristöluvan mukaisten päästöjen raja-arvot saavutetaan nykyisellä tekniikalla. [10.]

2.3 Biosuodatus

Poistoilman suodatuksessa biosuodatus on melko uutta tekniikkaa. Biosuodatuksessa poistoilma ajetaan biomassan läpi, jolloin mikro-organismit hajottavat ilmapäästöjä vaarattomampaan muotoon. Mikro-organismit kasvavat ravintoalustan pinnalla ja prosessissa tapahtuu adsorptio, absorptio, hajoaminen, transformaatio sekä desorptio. Biosuodatuksen etuina muihin tekniikoihin ovat vähäiset käyttökustannukset,

energiatehokkuus eikä prosessi vaadi kemikaaleja. Mikro-organismien ravintoalustoina voidaan käyttää materiaaleja, joilla on hyvä vedenpidätyskyky, suuri pinta-ala sekä huokoisuus. Sopivia materiaaleja ovat muun muassa turve, kivihiili, komposti, polyuretaanivaahdo, polypropyleenirenkaat sekä muut huokoiset materiaalit. Jokaisella materiaalilla on kuitenkin omat rajoittavat tekijänsä. Rajoittavien tekijöiden takia uusien materiaalien kehittäminen on tärkeää. Mikro-organismien ylläpidosta tulee huolehtia ja tarvittaessa lisätä ravinteita, jotta suodatusteho pysyy halutulla tasolla. Biosuodatuksessa tulee huolehtia prosessin kosteuspitoisuudesta, pH:sta ja lämpötilasta. Kosteutta tarvitaan mikro-organismien kasvua varten. Lisäksi päästöt liukenevat ensin nesteeseen, mistä seuraa absorptio ja hajoaminen. Prosessin pH-arvo valitaan ravintoalustan perusteella kuitenkin mikro-organismeille sopivaksi. Tyypillisin pH-arvo on noin 5–8, sillä mikro-organismit eivät perusta liian happamasta tai emäksisestä. Lämpötila valitaan myös mikro-organismien kasvun edistämiseksi, joka tapahtuu parhaiten lämpötiloissa alueella 20–40 °C. [19, s. 291–297.]

Biosuodattimen rajoittavat tekijät tulevat esiin tilanteissa, joissa on mm. suuria virtauksia, suuria määriä epäpuhtauksia, lyhyellä viipymäajalla, sekä vaikeasti hajoavissa yhdisteissä. Biosuodatus toimii parhaiten pienemmillä virtauksilla ja alhaisella määrällä epäpuhtauksia, jotka ovat helposti liukenevia. Biosuodatustekniikoita kehitetään jatkuvasti rajoittavien tekijöiden poistamiseksi. Liukoisuutta voidaan lisätä käyttämällä pinta-aktiivisia aineita. Virtauksia voidaan muuttaa ennen biosuodatustaprosessia, suodatukselle suotuisammaksi. Pidempi kosketusaika mikro-organismien kanssa takaa paremman hajoamisen ilman epäpuhtauksille. Biosuodatukseseen liittyy erilaisia parametreja, joiden avulla voidaan ymmärtää suorituskykyä paremmin. EBRT (empty bed residence time) tarkoittaa vapaasti suomennettuna teoreettista viipymäaikaa. Teoreettisella viipymäajalla tarkoitetaan tuloilman ajan yksikköä kohden, joka on käytettävä viipymänä biosuodattimen materiaalin kanssa. Tämä voidaan ilmaista kaavalla:

$$EBRT = (V_b / A_f) \quad (1)$$

jossa

V=biosuodattimen kerroksen tilavuus m³

A=ilmavirta m³/h.

EBRT ei ole todellinen viipymäaika, sillä se ei huomioi laisinkaan biosuodattimen materiaalin aiheuttamaa viipymää. Erilaiset biosuodattimien materiaalit aiheuttavat suuria muutoksia viipymässä. Todellista viipymäaika voidaan ilmaista termillä TBRT (true bed residence time).

$$TBRT = (V_b * M_p / A_f) \quad (2)$$

M_p = keskimääräinen huokoisuus

TBRT huomioi biosuodattimen materiaalin keskimääräisen huokoisuuden, joka vaikuttaa viipymään. Huokoisuus voi vaihdella välillä 20–80 % riippuen materiaalin hiukkasten välisestä sekä sisäisestä tilasta. Huonosti hajoavat yhdisteet vaativat pidemmän viipymäajan biosuodattimessa. Mitä pidempi on EBRT tai TBRT, sitä parempi on biosuodatuksen teho. EBRT- tai TBRT-arvojen jäädessä liian alhaisiksi ainoa tapa tehostaa biosuodatusprosessia on manipuloida biosuodattimen kokoa. Biosuodattimen koon kasvattaminen ei kuitenkaan ole välttämättä helppoa, sillä se vaatii tilaa ja kustannuksia. Paras tapa arvioida biosuodattimen toiminnan tehokkuutta on poistamiskapasiteetti. Biosuodatin toimii parhaiten vesiliukoisille sekä helposti hajoaville yhdisteille kuten, asetoni ja metanoli, ja heikoiten huonosti vesiliukoisille ja heikosti hajoaville yhdisteille, kuten alfa-piineeni. [20, s. 424–428.]

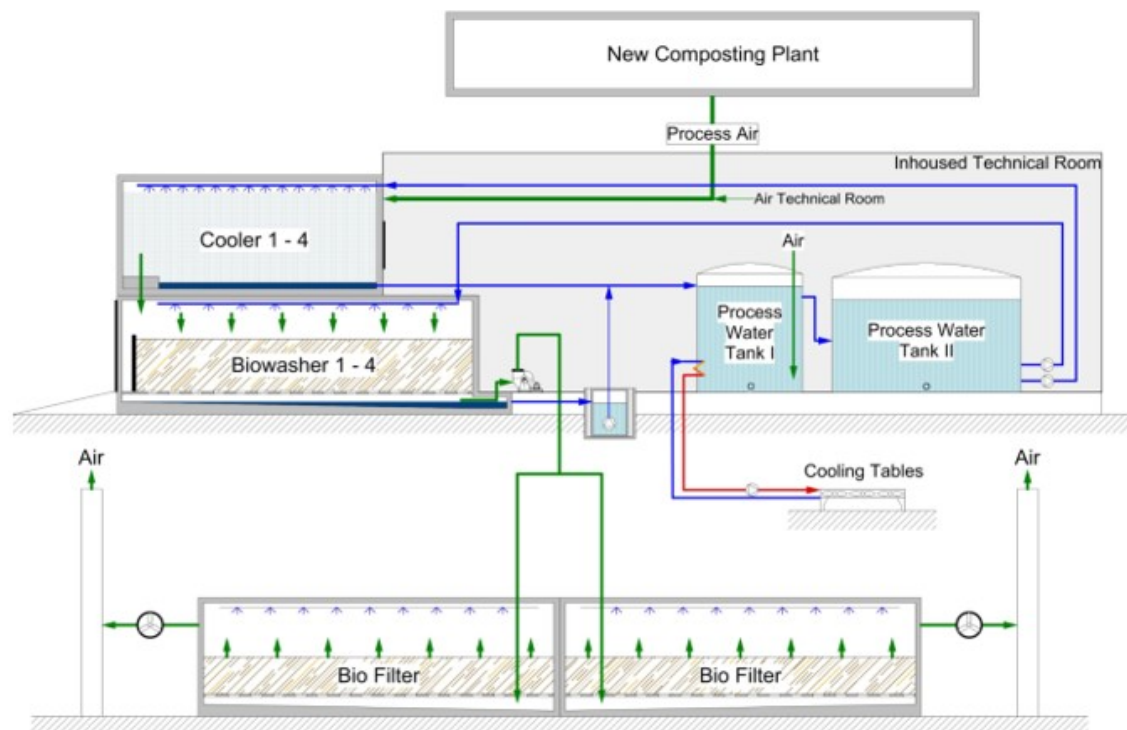
2.4 Kompostointilaitoksen poistoilman suodatus

Ämmässuon kompostointilaitoksen poistoilman suodatuksessa käytetään biologisia prosesseja, kuten biopesuria ja biosuodatinta. Prosessien etuina ovat, etteivät ne vaadi ylimääräisten kemikaalien käyttöä ja ylijäämänä syntyy vain vähän jätevettä, jota voidaan hyödyntää laitoksen kompostointiprosessissa. [21.]

Prosessi-ilmaa syötetään kolmelta linjalta neljälle jäähdyttimelle, jonka jälkeen prosessi-ilma etenee neljälle biopesurille sekä viimeiseksi kahdelle biosuodattimelle. Poistoilman ensimmäinen puhdistusvaihe on biopesuri, jonka avulla saadaan alennettua prosessi-ilman lämpötilaa sekä alennettua ammoniakkipitoisuutta biosuodattimelle sopivammaksi. Prosessi-ilman lämpötila voi olla jopa 46 °C ennen jäähdytintä, ja prosessiveden avulla prosessi-ilma saadaan jäähdytettyä lämpötilaan 40–42 °C. Prosessivesi kiertää

jäähdyttimien kautta takaisin ensimmäiseen aerobiseen vesisäiliöön, jossa ammoniumista muodostuu nitraattia. Toisessa anaerobisessa vesisäiliössä nitraatista muodostuu typpeä. [21.]

Biopesurilla voidaan käsitellä parhaimmillaan 220 000 m³/h prosessi-ilmaa. Biopesurit sijaitsevat neljässä eri lohossa, mikä helpottaa mahdollisia huolto- sekä vikatilanteita. Prosessia voidaan ajaa perusteellisesti myös kolmella biopesurilla. Jäähdyttimien sekä biopesurien alipaine on noin -2 000 Pa kuitenkin saavuttaen kompostointitunneleissa minimissään -300 Pa. Biopesureiden jälkeen poistoilma ohjataan viimeiseen puhdistusvaiheeseen biosuodattimille, jonka jälkeen poistoilma johdetaan kahden piipun avulla ilmaan (kuva 3). [21.]

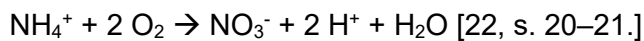
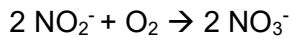
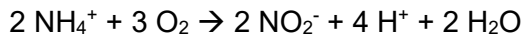


Kuva 3. Biopesurin ja biosuodattimen prosessikaavio [21].

Ammoniakin poisto poistoilmasta tapahtuu biokemiallisesti nitrifikaation ja denitrifikaation avulla. Aerobisessa nitrifikaatioprosessissa nitrifikaatiobakteerit muokkaavat vesiliukoista ammoniakkia nitriitiksi NO₂- ja nitraatiksi NO₃-. Anaerobisessa denitrifikaatioprosessissa denitrifikaatiobakteerit muokkaavat nitriittiä ja nitraattia typpioksidiksi. Denitrifikaatioprosessin aikana ilmaan vapautuu typpeä. [22, s. 20–21.] Typpikaasun

vapautuminen ilmaan heikentää orgaanisen aineksen typpipitoisuutta. Typpi on kasveille olennainen ravinne ja sitä käytetään lannoitteena. Typen vapautuminen ilmaan heikentää orgaanisen aineksen hyötykäyttöä lannoitteena. [23, s. 12–13.]

Kemiallinen kaava:



Ämmässuon kompostointilaitoksella on havaittu kesäisin häiriötä ammoniakkin poiston nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessissa. Häiriötä esiintyy erityisesti kuumina kesäpäivinä, ja sen oletetaan johtuvan liiallisen korkeasta prosessiveden lämpötilasta. Prosessiveden lämpötilan ylittäessä 40 °C haittaa se optimaalista ammoniakkin nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessia. Liiallisen korkean prosessiveden lämpötilan arvellaan johtuvan prosessivesiputkien vähäisestä eristyksestä sekä kompostointiprosessin aikaisesta kypsyydestä, joka tuottaa prosessiin lämpöä. Prosessivesiputket kulkevat lisäksi osittaisia matkoja laitoksen ulkopuolella altistuen ilmanlämpötilan vaikutuksille. [24.]

3 Päästöjen lainsäädäntö

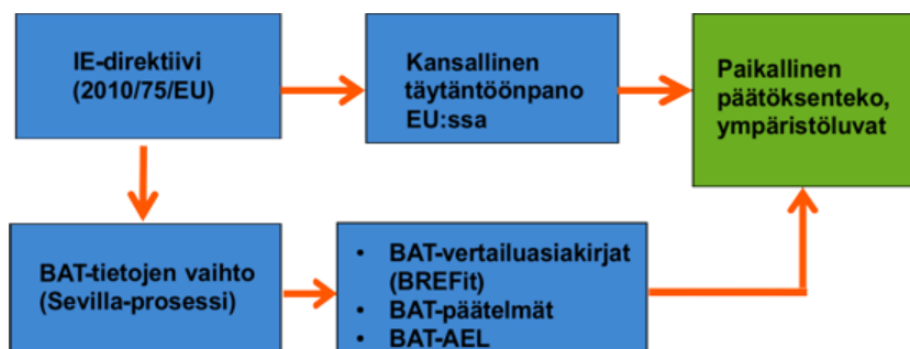
3.1 IE-direktiivi

Euroopan unionin teollisuuden päästöjä koskee direktiivi Industrial Emissions Directive, IED, 2010/75/EU, jolla pyritään yhtenäistämään päästöjen vähentämistä ja ennaltaehkäisyä. Direktiivi perustuu aikaisempaan IPPC-direktiiviin 96/61/EY, joka on tehty vuonna 1996. Direktiivien peruspohjana pidetään Ruotsin ympäristönsuojelulakia, joka on ollut ensimmäisiä yhtenäistäviä ympäristönsuojelulakeja jo vuonna 1969. [25, s. 368–369.] Direktiivi 2010/75/EU hyväksyttiin 24.11.2010 ja se on merkittävä keino hallita EU maiden päästöjä. Direktiivin tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä, ennaltaehkäistä ja vähentää ympäristön pilaantumista. [26.] Teollinen toiminta aiheuttaa suuren osan päästöistä ilmaan, veteen ja tuottaa merkittävästi jätettä. Teollista toimintaa harjoittavien

laitoksien, jotka kuuluvat direktiivin piiriin edellytetään viranomaisten myöntämä lupa. Direktiivi perustuu viiteen peruspilariin, jotka ovat integroitu lähestymistapa, BAT, joustavuus, tarkastukset ja yleisön osallistuttaminen. [27.]

3.2 BAT

BAT (Best Available Techniques) tarkoittaa parasta käyttökelpoista tekniikkaa. BAT on tarkennettu ympäristönsuojelulaissa 527/2014 (YSL 5 §) ja se pohjautuu IE-direktiiviin 2010/75/EU (kuva 4). [28.]



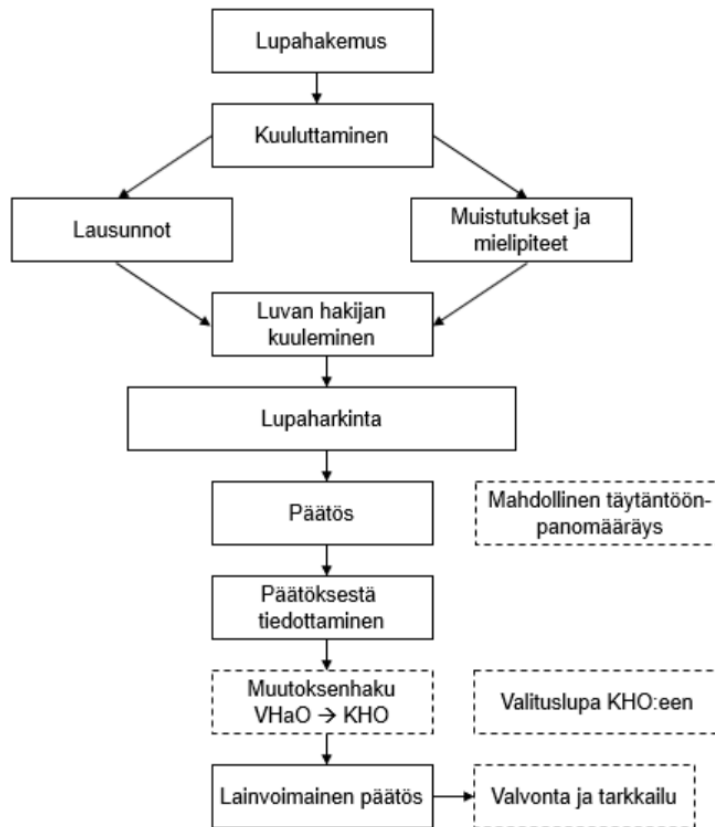
Kuva 4. Soveltamisketju [28].

BAT pitää sisällään tehokkaita ja edistyskellisiä ratkaisuja, joilla saavutetaan huomattavaa vähennystä ympäristön pilaantumisessa tai ennaltaehkäisyssä. Parhaan käyttökelpoisen tekniikan avulla pyritään saavuttamaan energiatehokkuutta, päästöjen vähennyksiä ja tehostamaan materiaali virtojen käyttöä. Direktiivin 2010/75/EU piiriin kuuluvien laitosten tulee toteuttaa BAT-päätelmien päästö raja-arvoja. Euroopan komissio toteuttaa BAT-tietojen vaihtoa ja vertailu eli BREFittien (BAT Reference Document). [28.]

3.3 Ympäristölupa

Ympäristölupa on paikallista päätöksentekoa, jonka edellytyksenä on suojella ympäristö pilaantumiselta ja terveyshaitoilta. Toiminnoille, joista saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista tai sen uhkaa, vaaditaan ympäristölupa. Lupaa edellytetään mm. monilla teollisuuden aloilla, kuten metalli-, metsä- ja kemianteollisuudessa sekä

energiantuotannossa ja kompostointilaitoksissa. Luvassa voidaan asettaa rajoituksia mm. päästöihin tai toiminnan laajuuteen. Ympäristölupaa haetaan aluehallintovirastosta tai ympäristösuojeluviranomaiselta. Lupahakemukset käsitellään eri vaiheiden kautta (kuva 5). [29.]



Kuva 5. Ympäristöluvan käsittelyn eri vaiheet [29.]

Viranomaisen tekee lupahakemuksesta kuulutuksen ja lausunnon. Minkä jälkeen asianosaiset voivat tehdä muistutuksia ja lupahakemuksen piiriin kuuluvat asukkaat ilmaista mielipiteensä. Luvan hakijan kuulemisen ja muistutuksien jälkeen viranomaisen tekee lupahakemuksesta päätöksen. Tyydyttämättömästä päätöksestä voi valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen tai valitusluvan myötä korkeimpaan hallinto-oikeuteen. [29.]

4 Kaasukromatografi-massaspektrometri (GC-MS)-mittaukset

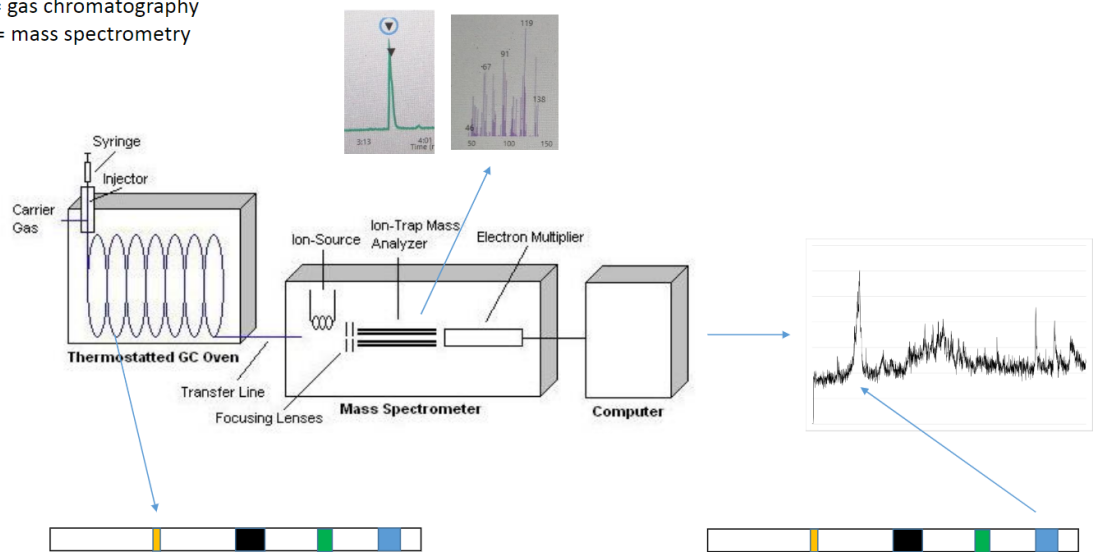
Ämmässuolla otettiin 9.11.2020 mittauksia, kaasukromatografi-massaspektrometri (Gas chromatography-mass spectrometry) GC-MS-laitteella. Mittauksia otettiin useasta

paikasta kompostointilaitokselta ja sen ympäristöstä. Mittauksia otettiin yhteensä kuusi kappaletta kahta eri insinööriyötä varten. Tässä työssä käsitellään kuitenkin vain kahta mittaustulosta, jotka on otettu eteläisestä ja pohjoisesta piipuista. Mittaukset toteutti BioUpdate Oy yhdessä HSY:n edustajien kanssa. Mittalaitteena toimi FLIR Griffin G510 GC-MS, jolla voidaan mitata helposti maasto-olosuhteissa.

GC-MS-mittalaitteessa yhdistyvät kaksi melko yksinkertaista laitetta, kaasukromatografi ja massaspektrometri. Näiden laitteiden yhdistämisellä ei saada vain molempien laitteiden edut, vaan myös lisää potentiaalia yhdisteiden analysointiin (kuva 6). [30, s. 79–80.]

GC-MS periaate

GC = gas chromatography
MS = mass spectrometry



Kuva 6. Kaasukromatografi-massaspektrometri GC-MS-laitteen toimintaperiaate [31].

GC-MS-mittalaitteen avulla saadaan valtavasti tietoa ja tämän tiedon käsittelyä varten vaaditaan tietokone. Tietokoneen asetuksia säätämällä voidaan parantaa tietynlaisten yhdisteiden havaitsemista. Järjestelmän perusperiaatteet on tiedostettava ja ymmärrettävä, jotta saadaan maksimoitua järjestelmän tarjoamat hyödyt. [30, s.79–80.]

4.1 Tulokset

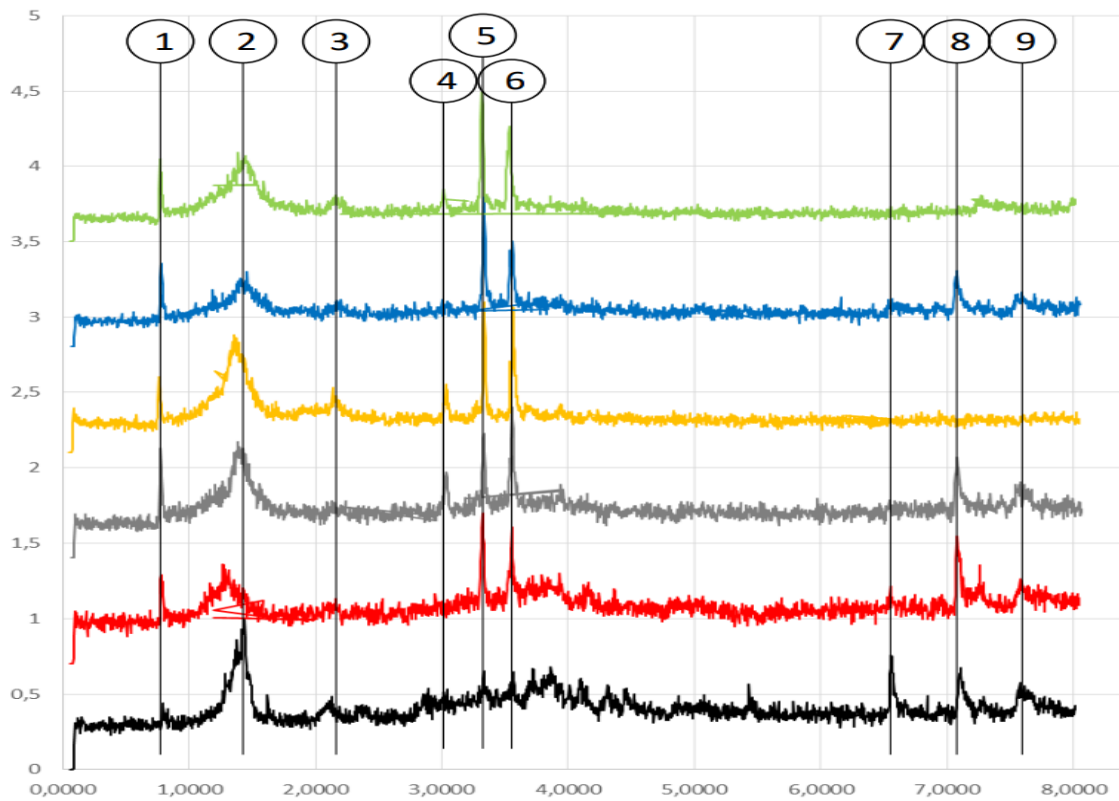
Mittauksia otettiin yhteensä kuusi kappaletta, mutta tässä insinööriyössä käsitellään niistä vain kahta. Harmaalla ja punaisella värillä merkityt mittaustulokset ovat peräisin

kompostointilaitoksen piipuista, harmaa eteläisestä ja punainen pohjoisesta piipusta. Mittattujen spektrien piikit viittaavat suurempiin pitoisuuksiin, ja näiden tarkempi katsaus voi antaa viitteitä hajupäästöjä aiheuttaviin yhdisteisiin poistoilmassa.

Saatujen tietojen perusteella spektrien piikit ovat suurilta todennäköisyyksiltä

- ensimmäinen 2-nonanone tai karboksyylihappo
- toinen hiilidioksidi
- kolmas ei näy piippujen kohdalla (ei vaadi tarkempaa analyysiä)
- neljäs alfa-pineeni
- viides oktanoli tai silaani esim. siloksaani
- kuudes symeeni tai limoneeni
- seitsemäs ei näy piippujen kohdalla (ei vaadi tarkempaa analyysiä)
- kahdeksas mahdollisesti eetteripohjainen yhdiste
- yhdeksäs piikki (ei tarpeeksi luotettavaa tulosta). [31.]

Suurimmat piikit on numeroitu ykkösestä yhdeksään, ja näiden tarkastelu vaatii tarkempaa analyysiä (kuva 7). GC-MS-mittalaite vertaa saamiensa tietoja tietokoneessa olevaan kirjastoon ja näiden todennäköisyyteen.



Kuva 7. Mitattua dataa Ämmässuon kompostointilaitokselta ja sen ympäristöstä [31].

Vertaamalla eteläisen (harmaa) ja pohjoisen (punainen) piipun mittaustuloksia voidaan havaita eroavaisuutta. Eroavaisuudet voivat johtua mm. mittausepävarmuudesta tai kompostointiprosessien muutoksista. Todennäköisimpänä tekijänä pidetään kuitenkin toisen linjan puhaltimen rikkoutumista. Puhaltimen rikkoutumisen vuoksi toisen linjan poistoilman viipymäaika on pidempi biosuodattimella. Viipymäaika vaikuttaa ilman epäpuhtauksien hajoamiseen biosuodattimessa.

Spektrien piikkien tarkemmalla analyysillä voidaan tarkastella mahdollista hajuhaittaa aiheuttavia yhdisteitä.

4.2 Yhdisteiden tarkastelu

Ketoneihin kuuluva 2-nonanone $C_9H_{18}O$ on hiukan kellertävä neste, jolla on ruusun kaltainen haju, ja ruusun sekä teen kaltainen maku. 2-nonanonea esiintyy eteerisissä öljyissä, ja sitä on havaittu hedelmissä, maitotuotteissa, kalassa, lihassa, pähkinöissä ja

monissa muissa. 2-nonanonea on helposti syttyvää, veteen liukenematon ja sen hajukynnysarvo vaihtelee välillä 5–200 ppb. [32.]

Karboksyylihapot -COOH ovat orgaanisia yhdisteitä, ja ne luovat karboksyyliryhmän, joka muodostuu karbonyylistä ja hydroksyyli ryhmästä, jotka ovat kiinnittyneet hiiliatomiin. Karboksyylihappoja esiintyy luonnossa ja niitä valmistetaan synteettisesti. Niitä käytetään hyvin laajasti yhteiskunnassa esimerkiksi lääketieteessä, maataloudessa, elintarvikkeissa sekä muussa teollisuudessa. Elintarviketeollisuudessa luonnollisesti esiintyviä karboksyylihappoja ovat esimerkiksi sitruunahappo, omenahappo, oksaalihappo ja synteettisesti lisättyinä mm. maitohappo, viinihappo, askorbiinihappo tai propionihappo. Karboksyylihapot ovat myös välituotteita aminohappojen, rasvojen ja hiilihydraattien hajomisreiteille. [33.] Etikkahapon haju on pisteliäs, epämiellyttävä ja se muistuttaa liuotimen, liiman, hien ja auringonkukansiementen hajua [34]. Sen hajukynnysarvo on 144,5 ppb [11].

Terpeeneihin kuuluvaa alfa-pineeniä $C_{10}H_{16}$ tavataan metsissä ja sitä erittyy puiden haavoista muodostuvasta pihkasta. Erityisesti alfa-pineeniä erittyy männyissä. [35, s. 237–238.] Alfa-pineeni on myös tärpätin valmistuksen keskeinen ainesosa ja sitä saadaan erityisesti männyistä ja kuusista [35, s. 250]. Teollisesti alfa-pineeniä käytetään tuhansia tonneja synteettisen kamfeenin valmistukseen, joka on hajusteiden yksi raaka-aine. Muita teollisia käyttökohteita ovat pehmittimet, säilöntäaineet, desinfiointiaineet sekä ensihoito. Alfa-pineeniä käytetään myös huomattavia määriä Aasiassa uskonnollisissa tilaisuuksissa. [35, s. 260–261.] Alfa-pineenin hajukynnys arvo on 691,8 ppb [11].

Oktanoli $C_8H_{18}O$ on väritön neste, jolla on pistävä sitrushedelmäisen ja ruusun haju. Se kuuluu rasvaisiin alkoholeihin ja sillä on rasvainen, makea ja yrttimäinen maku. Oktanolia valmistetaan sekä luonnontuotteista että synteettisesti. Oktanoli liukenee huonosti veteen ja voi aiheuttaa ärsytystä silmissä, nenässä ja hengitysteissä. Oktanolia käytetään kosmetiikassa, hajusteissa, liuottimissa, vaahdonestoaineessa sekä elintarvikearomina. Oktanolin hajukynnys arvo on 24 ppm. [36.]

Symeeni $C_{10}H_{14}$ on luonnossa esiintyvä yhdiste, joka kuuluu monoterpeeneihin [37]. Symeeni on väritön tai hiukan kellertävä neste, jolla on sitruunaa muistuttava haju [38]. Sen haju on lievä, miellyttävä, aromaattinen ja liuotintyyppinen. Sitä löytyy mm. appelsiininkuoriöljystä, mandariinikuoren öljystä, satsuma-mandariinikuoren öljystä ja

kanelinlehdestä. Symeeniä käytetään elintarviketeollisuudessa makuaineena, torjunta-aineiden tuotannossa ja lääketeollisuudessa liman poistoon sekä yskän ehkäisyyn. Symeenin on liukenematon veteen ja sen hajukynnysarvo on 57 ppb. [37.]

Limoneeni $C_{10}H_{16}$ on väritön neste, joka kuuluu monoterpeeneihin. Limoneelillä on miellyttävä sitruunamainen haju ja se on peräisin p-mentaanin hybridistä. [39.] Limoneenin hajukynnys arvo on 436,5 ppb [11].

5 Termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometri (TD-GC-MS)-mittaukset

Kompostointilaitoksen poistoilmasta tehtiin lisäksi termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometria (Thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry) TD-GC-MS-mittaukset, jotta saataisiin yhdisteiden lisäksi tarkempaa tietoa yhdisteiden pitoisuuksista. Näytteenotto tehtiin kompostointilaitoksen pohjoisesta piipusta 3.3.2021. Optimaalisen näytteenoton saamiseksi kerättiin useita näytettä, jotta saatiin määritettyä edustavin näytteenottoaika. Näytteet kerättiin näytteenottoputkiin SKC 222 -pumpun avulla. Näytteitä kerättiin kuusi kappaletta aikajärjestyksessä, ensin kuivauskapselin kanssa ajoilla 2 min, 10 min ja 20 min, jonka jälkeen ilman kuivauskapselia ajoilla 2 min, 10 ja 20 min.

Mittausten avulla saatiin määriteltyä poistoilman sisältämät erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Yhdisteistä käytetään lyhenteitä VVOC (very volatile organic compounds) ja VOC (volatile organic compounds). Yhdisteiden pitoisuuksien avulla saadaan parempia viitteitä poistoilman sisältämistä suurta hajuhaittaa aiheuttavista yhdisteistä. Näytteet vietiin analysoitavaksi Ositum Oy:lle, joka tekee ISO 16000-6 ja SFS-EN 16017-1-sertifikaattien mukaisia laboratorioanalyysyjä. [40.]

VVOC- ja VOC-yhdisteiden analysoinnissa Ositum Oy on käyttänyt menetelmää, joka eroa hieman ISO 16000-6 standardista, jossa adsorbenttiputkena käytetään Tenax TA:ta. Ositum Oy on käyttänyt laboratorioanalyysissä kolmea adsorbenttiputkea, mutta vain yhdessä putkessa on ollut adsorbenttina Tenax TA. [41.]

TD-GC-MS-analyysissä, kaasukromatografian lämpötila on 10 °C ja näytteen sisältämät yhdisteet erotellaan hyödyntämällä 60-metrillä kolonna. Näytteestä saadaan metodin avulla havaittua erittäin haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on välillä > 0–260 °C. Näytteiden sisältämät yhdisteiden pitoisuudet on saatu laskettua vertaamalla yhdisteiden vastetta kalibrintisuoraan, joka on saatu toluenin vasteesta, mikä kulkee nollan kautta. Näytteiden sisältämät yhdisteet saadaan tunnistettua vertaamalla yhdisteen massaspektriä olemassa oleviin kirjastospektreihin. [41.]

Kompostointilaitoksen poistoilman näytteiden parametrit (nimi, näytteenottoaika, kuivauskapselin käyttö/ei käyttö ja tilavuus)

- VO1, 2min, kuivauskapseli, 0,30 dm³
- VO2, 2min, 0,29 dm³
- VO3, 10 min, kuivauskapseli, 1,43 dm³
- VO4, 10 min, 1,40 dm³
- VO5, 20 min, kuivauskapseli, 2,85 dm³
- VO6, 20 min, 2,78 dm³. [41].

Erilaisista näytteenottoajoista saatiin luotettavin tulos ajalla 10 min. Näytteen kohdalla piikit olivat lähellä normaalijakaumaa. Näytteenottoajan 20 min kohdalla oli havaittavissa piikkien leventymää. Kuivauskapselien käytöllä ei ollut merkittävää vaikutusta näytteenottoon. Mahdollisten jatkonäytteiden kohdalla olisi hyvä käyttää näytteenottoaikana 10 min. Edustavan näytteenoton saamiseksi olisi hyvä ottaa kolme näytettä peräkkäin ja laskea näistä keskiarvo. [42.]

5.1 Tulokset

Taulukossa 2 on esitetty TD-GC-MS-mittauksista saatuja tuloksia. Tulokset on jaettu yhdisteiden mukaan omiin ryhmiin ja näytteistä VO1–VO6 on laskettu keskiarvo.

Taulukko 2. Kompostointilaitoksen poistoilman sisältämiä VVOC- ja VOC-yhdisteitä. Yhdisteiden pitoisuudet on ilmoitettu tolueniekvivalentteina (µg/m³) [41].

Ryhmä/Yhdiste	VO1	VO2	VO3	VO4	VO5	VO6	Keskiarvo
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----------

Aldehydit

nonanaali							7	7
Yhteensä							7	7

Alkaanit

1,2-dimetyylisyklopentaani	120	17	28	5	8	2		30
1,3-dimetyylisyklopentaani	84	16	20		8			32
1,4-dimetyylisykloheksaani	10							10
2,2,3-trimetyyllibutaani	15							15
2,2-dimetyylipentaani	65	7	10					27
2,3-dimetyyliheksaani	24		6		3			11
2,3-dimetyylipentaani	596	71	125	19	37	9		143
2,4-dimetyyliheksaani	79	13	22	2	11	2		22
2,5-dimetyyliheksaani	43	7	12		6			17
2-metyyllibutaani	6							6
2-metyyliheksaani	959	119	214	36	102	26		243
2-metyyliheptaani	31	5	11		6			13
2-metyylipentaani	7							7
3,3-dimetyylipentaani	167	18	30	4	5			45
3-etyyli-2-metyylipentaani							6	6
3-etyylipentaani			69					69
3-metyyliheksaani	1550	192	354	59	161	42		393
3-metyyliheptaani	67	9	19	2	11	2		18
3-metyylipentaani	8							8
etyylisyklopentaani	50	8	15		8			20
heksaani	9							9
heptaani	507	73	149	28	86	17		143
metyylisykloheksaani	277	41	76	12	27	8		74
metyylisyklopentaani	118							118
oktaani	6		5		4			5
pentaani	25	7	19	6	13			14
sykloheksaani	79	13	21	5				30
Yhteensä	4902	616	1205	178	496	114		1527

Alkeenit

isopreeni	14	15		2				10
Yhteensä	14	15		2				10

Alkoholit

1,8-sineoli				8		5		7
1-butanoli		13			6			10
1-metoksi-2-propanoli		6						6
1-oktanoli		4						4
2-etylibutanoli	308	42			24			125
Yhteensä	308	65		8	30	5		151

Aromaattiset

1-isopropenyli-4-metyyllibentseeni				15	18	23		19
bentseeni					9			9
butyyllibentseeni	5	12	23	9	35	8		15

o-symeeni		107	17	206	65	267	132
styreeni			7				7
tolueeni	894	269	563	124	369	77	383
Yhteensä	899	388	610	354	496	375	565
Eetterit							
2-metyylifuraani		6	7	3	9		6
Yhteensä		6	7	3	9		6
Ketonit							
2-metyyli-5-(1-metyylietenyyli)- 2-sykloheksen-1-on						7	7
Yhteensä						7	7
Orgaaniset hapot							
bentsoehappo					56		56
etikkahappo				6		4	5
Yhteensä				6	56	4	61
Rikkiyhdisteet							
dimetyylidisulfidi	7	15	19	15	22	11	15
dimetyylisulfidi	14	10	13		5		11
rikkidioksidi	57	56	43				52
Yhteensä	78	81	75	15	27	11	77
Siloksaanit							
dekametyylisyklopentasiloksaani		5		5		4	5
heksametyylisyklotrisiloksaani	39	10		4			18
oktametyylisyklotetrasiloksaani	12						12
Yhteensä	51	15		9		4	34
Terpeenit							
alfa-pineeni	81	522	286	272	383	221	294
alfa-thujeeni		6		6	4	5	5
beta-pineeni	6	135	46	85	67	68	68
delta-3-kareeni		42	6	38	15	39	28
dl-limoneeni		461	51	677	198	833	444
gamma-terpineeni				4		3	4
kamfeeni	8	53	32	30	48	25	33
l-verbenoni			8		10		9
sabineeni		19	7	13	13	16	14
trisykleeni		9	6	4	8	3	6
Yhteensä	95	1247	442	1129	746	1213	904
Tunnistamattomat							
Yhteensä	98	102	53	76	173	90	99
Yhteensä	98	102	53	76	173	90	99
TVOC	6300	2400	2300	1800	2000	1800	2800

Yhdisteiden pitoisuudet on ilmoitettu mikrogrammoina kohti yhtä kuutiometriä ilmaa $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja yhteenlasketut pitoisuudet TVOC (Total Volatile Organic Compounds). TVOC käsittää haihtuvat orgaaniset yhdisteet väillä n-heksaani – n-heksadekaani. [41.]

5.2 Tulosten tarkastelu

Näytteiden TVOC-tuloksista voidaan havaita, että näytteet VO2–VO6 ovat melko samankaltaisia alueella 1800–2400. Suurin eroavaisuus on näytteessä VO1, jonka TVOC-tulos on huomattavasti korkeampi 6300. TVOC-tulosten eroavaisuudet voivat johtua kompostointiprosessien muutoksista, näytteenotto tilanteen muutoksista tai käynnissä olevasta lietehiilikokeesta kompostoinnissa. VO1-näytteen suurempi eroavaisuus johtuneet todennäköisimmin ensimmäisen näytteenoton aiheuttamista muutoksista. Näytteiden VO2–VO6 otto tapahtui sujuvammin.

VVOC- ja VOC-yhdisteiden näytteenottoon vaikuttaa mm. käsiteltävät materiaalit. Näytteenotossa käytettiin elintarvikekelmua erottamaan ulkoilman aiheuttamat yhdisteet pois näytteenottotilanteesta. Elintarvikekelmu kiinnitettiin tiiviisti poistoilman näytteenotoputkeen nippusiteiden avulla (kuva 8). Näytteissä VO1, VO3 ja VO5, joissa käytettiin kuivauskapselia, voidaan havaita suurempia alkaanipitoisuuksia kuin näytteissä, joissa ei käytetty kuivauskapselia. Puolestaan näytteissä VO2, VO4 ja VO6, joissa ei käytetty kuivauskapselia, voidaan huomata suurempia terpeenipitoisuuksia kuin näytteissä, joissa käytettiin kuivauskapselia. Eroavaisuuksien tarkastelu vaatisi tarkempia tutkimuksia. Vaikuttaako kuivauskapselin käyttö tuloksiin vai seuraavatko eroavaisuudet mahdollisesti jostakin muusta tekijästä.



Kuva 8. VVOC- ja VOC-yhdisteiden näytteenottoa kompostointilaitoksen poistoilmasta.

Näytteidenotossa tulee kiinnittää huomiota avonaisiin näytteenottoputkiin, jotka keräävät herkästi liuotinhöyryjä esimerkiksi liuottimista tai alkoholeista. Ennen näytteenottoa ei tulisi käsitellä desinfiointiaineita, huopakyniä tai esimerkiksi käsidesiä. Näytteenotto-putkien päihin ei tule koskea suojatulppien irrotuksen jälkeen, jotta saadaan aikaseksi luotettavia näytteitä. Yhdisteiden analysointiin liittyy epävarmuustekijöitä kuten mittausepävarmuutta. VVOC- ja COV-yhdisteiden mittausepävarmuus on 35 %. Yhdisteet on ilmoitettu tolueeniekvivalentteina ja määrittämissä arvo on $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. [43.]

5.3 Yhdisteiden tarkastelu

Näytteiden tuloksista suurimmat pitoisuudet tulivat alkaaneista, aromaattisista yhdisteistä, rikkiyhdisteistä ja terpeeneistä. Yhdisteistä, joiden keskiarvo ylitti pitoisuuden 200 olivat 2-metyyliheksaani, 3-metyyliheksaani, tolueeni, alfa-pineeni ja dl-limoneeni.

Yhdisteiden pitoisuuksien keskiarvot ja hajukynnysarvot

- 2-metyyliheksaani, $243 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 420 ppb
- 3-metyyliheksaani, $393 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 840 ppb [44].
- tolueeni, $383 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1549 ppb

- alfa-pineeni, 294 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 692 ppb
- dl-limoneeni, 444 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 437 ppb [11].

Alkaaneihin kuuluva heptaanin isomeerimuoto 2-metyyliheksaani C_7H_{16} on väritön neste, jolla on tunnusomainen haju. Se on veteen liukenematon, herkästi syttyvää, ärsyttävää, terveydelle vaarallista ja haitallista ympäristölle. [45.]

Heptaanin isomeerimuoto 3-metyyliheksaani C_7H_{16} kuuluu alkaaneihin. Sillä on rooli ihmisen metaboliittina. Se on herkästi syttyvää, ärsyttävää, terveydelle vaarallista ja haitallista ympäristölle. [46.]

Aromaattisiin yhdisteihin kuuluva tolueeni C_7H_8 on kirkas neste, jolla on aromaattinen haju. Se on veteen liukenematon. Tolueenia esiintyy luonnossa raakaöljyssä ja toluuissa. Sen teolliset käytöt ovat liuottimet ja muut kemialliset välituotteet. Se on herkästi syttyvää, ärsyttävää ja terveydelle vaarallista. [47.]

Alfa-pineeni $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ja dl-limoneeni $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ yhdisteiden tarkastelu löytyy GC-MS-mittaukset osiosta.

Yksittäisten yhdisteiden lisäksi on huomioitava erilaisten yhdisteiden mittasuhteet toisiinsa. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin saada viitteitä poistoilman sisältämistä yhdisteistä, jotka aiheuttavat hajuhaittaa.

6 Kompostointikoe

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY:llä on käynnissä pyrolyysin koelaitos -projekti. Pyrolyysin koelaitos sijaitsee Espoossa Ämmäsuon ekoteollisuuskeskuksessa lähellä kompostointilaitoksia. Pyrolyysin koelaitoksen tarkoituksena on tutkia mahdollista kestäväen kehityksen mukaista uusiokäyttökohdetta jätevesilietteelle, säilyttämällä kuitenkin lietteen sisältämät ravinteet ja hiilen. Koelaitos polttaa orgaanista ainesta 450–650 °C lämpötilassa ja lopputuotteena saadaan lietehiiltä. Lietehiiltä voidaan käyttää mm. maanparannusaineena tai kompostointilaitoksen yhtenä raaka-aineena. Pyrolyysin koelaitos on toteutettu pienemmässä koossa ja sen kapasiteetti on n. 10 % mahdollisen täyden mittakaavan laitoksesta. Uuden Blominmäen jätevedenpuhdistamon

valmistumisen myötä jätevesilietteen käsittelykapasiteetti tulee kasvamaan merkittävästi, ja pyrolyysilaitoksesta toivotaan helpotusta asiaan. [48, s. 4–8.] Pyrolyysin koelaitoksesta syntyvän lietehiilen käyttöä tutkittiin yhtenä kompostoinnin raaka-aineena, ja sen vaikutuksia kompostointilaitoksen poistoilman ammoniakki- ja hajupäästöihin.

Kompostointikoe toteutettiin Ämmässuon kompostointilaitoksella helmi-maaliskuun aikana. Lietehiiltä lisättiin kompostoinnin raaka-aineeksi noin 3 % kokonaispainosta (taulukko 3). Lietehiilikoe toteutettiin tunnelipanosmenetelmällä. Tunnelipanoksia tehtiin neljä kappaletta kaksi lietehiilellä ja kaksi kontrollipanosta ilman lietehiiltä. Näin saadaan vertailukelpoisia tuloksia. Tunnelleita täytetään tavallisesti kaksi päivässä, joten lietehiilipanokset täytettiin saman päivän aikana ja seuraavana päivänä täytettiin kaksi kontrollipanosta. Lietehiili lisättiin seosvaiheessa mukaan. Tunnelikompostointi kesti yhdeksän päivää ja näytteenotto aloitettiin seuraavana päivänä täytöstä. Tunnelikompostointivaiheen aikana poistoilman ohjearvo oli asetettu ensimmäisenä päivänä 45 °C ja muina päivinä 52 °C. Lämpötila pysyi lähellä ohjearvoa koko tunnelikompostointiprosessin aikana. Kompostointitunnelivaiheen jälkeen kaikki kompostit siirrettiin samaan hygienisointitunneliin.

Taulukko 3. Kompostointikokeen massojen koostumukset ennen tunnelikompostointia.

Kompostointikokeen massa koostumukset (t)					
	Tunneli 11 Lietehiili 1	Tunneli 2 Lietehiili 2	Tunneli 4 Kontrolli 1	Tunneli 6 Kontrolli 2	Hyg. Tun. 13 Kaikki panokset
Hiili	7	7	-	-	14
Mädäte	50,2	49,9	49,6	50,1	199,8
Bio ylite	10	10	10	10	40
Ton. Yht tunnelissa	189	184	188	187	748
Raaka bio	14	14	14	14	56

Hygienisointitunnelin näytteidenotto aloitettiin seuraavana päivänä täytöstä. Hygienisointitunnelivaiheessa ei voitu enää seurata yksittäisten panosten ammoniakki- ja hajupitoisuuksia, sillä kaikki neljä tunnelipanosta siirrettiin samaan hygienisointitunneliin. Hygienisointitunnelissa kompostoinnin poistoilman lämpötila nostetaan ohjearvojen mukaisesti 60 °C, jotta kompostin sisältämät taudinaiheuttajat ja siemen tuhoutuvat [5, s. 1]. Lietehiili- ja kontrollipanokset sijoitettiin eri kohtiin hygienisointitunnelia, jotta niistä saatiin otettua maanäytteet. Maanäytteistä analysointiin hiilidioksidin tuotto, pH, kuiva-aine, orgaaninen aines, ammoniumtyyppi ja kokonaistyyppi. Hygienisointitunnelivaiheen jälkeen

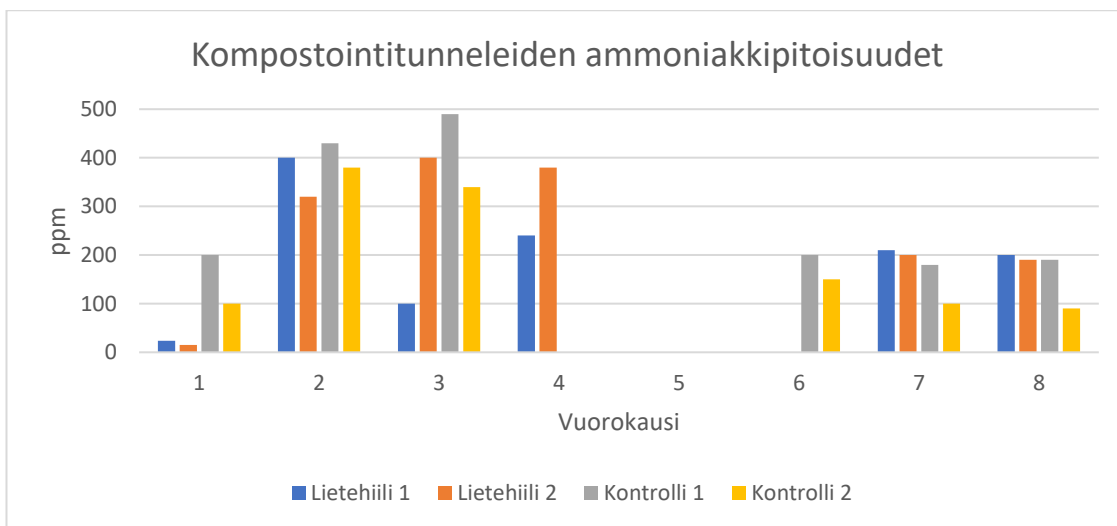
komposti siirrettiin ulkoamaan jälkikypsytykseen. Jälkikypsytysvaiheessa panoksia ei enää seurattu.

6.1 Ammoniakkimittaukset ja tulokset

Ammoniakkimittaukset aloitettiin heti seuraavana päivänä tunneleiden täytöstä. Ammoniakkipitoisuudet mitattiin konehuoneessa sijaitsevasta poistoilman huoltoluukusta. Mittaukset tehtiin Dräger-kaasuilmaisinpumpun ja putkien avulla. Putkien sisältämä pH-indikaattori reagoi ilmassa olevan ammoniakkin kanssa ja aiheuttaa sinisen reaktiotuotteen. [49.]

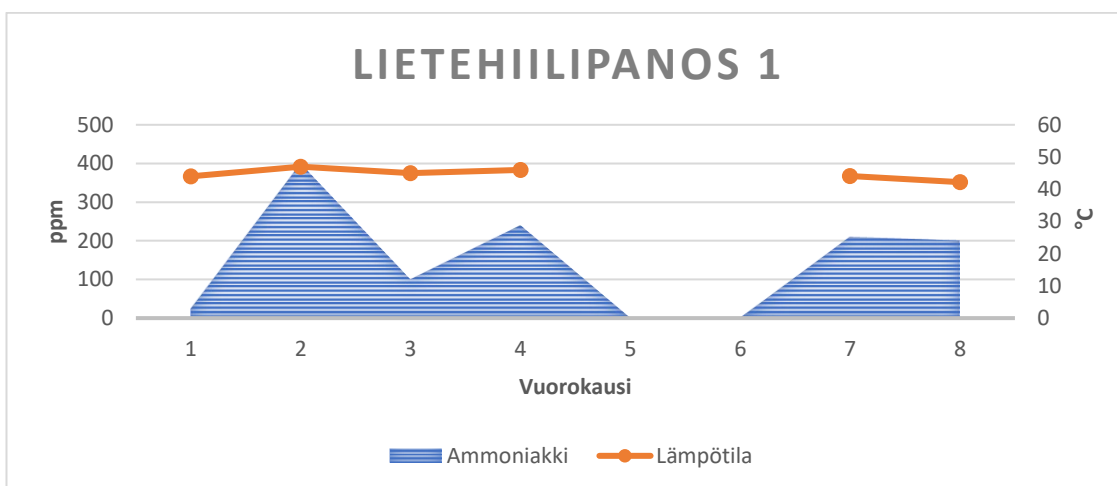
Tunnelikomposteja täytetään normaalisti kahden tunnelin päivävauhdilla, joten lietehiiltä sisältävät panokset täytettiin edellisenä päivänä kuin ei lietehiiltä sisältävät panokset. Tämä on huomioitu panosten vertailuissa sillä ammoniakkipitoisuudet muuttuvat tunnelikompostointi prosessin erivaiheissa. Viikonlopunaikana ei otettu mittauksia, joten näiden osalta pitoisuudet puuttuvat kokonaan.

Tunnelikompostoinnin ensimmäisen prosessipäivän kohdalla on havaittavissa selkeää eroa lietehiilipanosten ja kontrollipanosten välillä (kuva 9). Suurin ammoniakkipitoisuus mitattiin kompostointikokeen kolmantena päivänä kontrollipanos 1:stä 490 ppm. Neljäs päivän kohdalla ammoniakkipitoisuudet lähtevät laskuun. Ammoniakkipitoisuudet olivat korkeimmillaan tunnelikompostoinnin alkupäivien aikana ja laskevat prosessipäivien loppuvaiheessa. Lietehiilen lisäyksellä panoksiin ei voida sanoa olleen merkittävää vaikutusta poistoilman ammoniakkipitoisuuksiin tässä kokeessa.



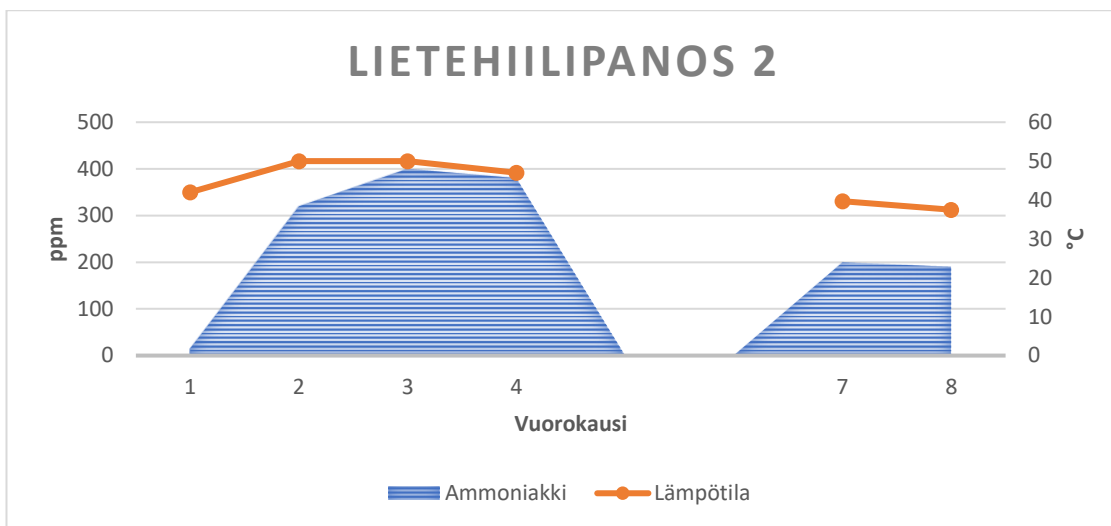
Kuva 9. Kompostointitunneleiden ammoniakkipitoisuudet prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

Ensimmäisen lietehiilipanoksen poistoilman lämpötila pysyi kaikista vakaimpana tunnelikompostoinnin aikana (kuva 10).



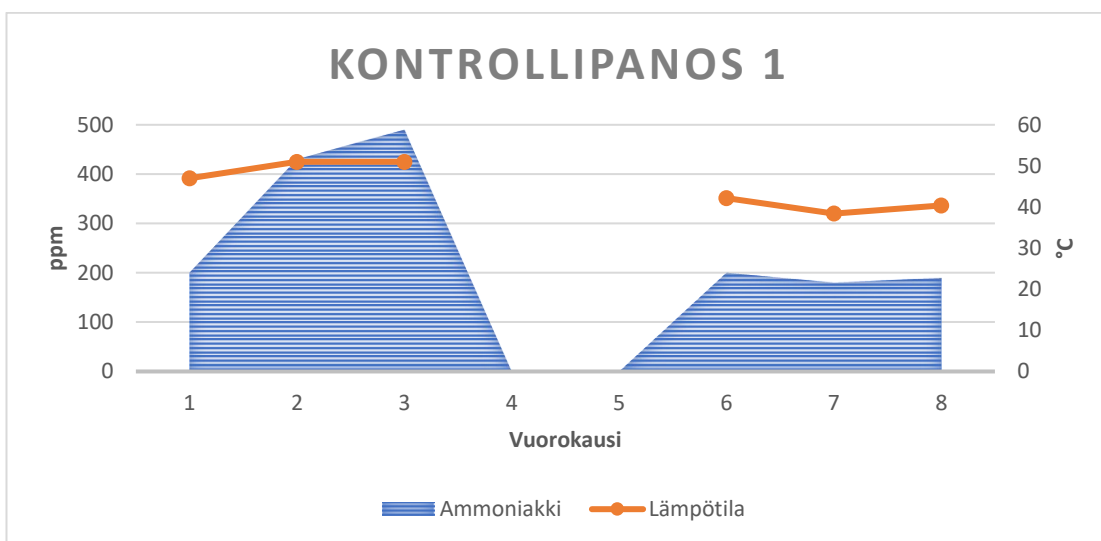
Kuva 10. Ensimmäisen lietehiilipanoksen ammoniakkipitoisuudet ja poistoilman lämpötila prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

Toisesta lietehiilipanoksesta mitattiin ensimmäisen päivän aikana pienin ammoniakkipitoisuus 15 ppm (kuva 11).



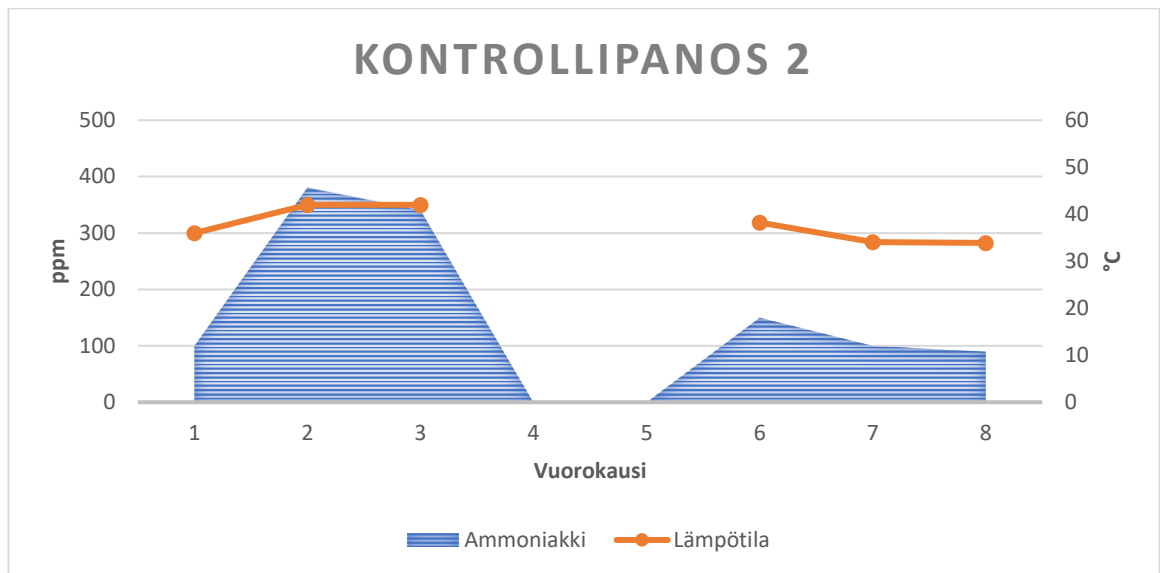
Kuva 11. Toisen lietehiilipanoksen ammoniakkipitoisuudet ja poistoilman lämpötila prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

Ensimmäisestä kontrollipanoksesta mitattiin kolmannen päivän kohdalla suurin ammoniakkipitoisuus 490 ppm (kuva 12).



Kuva 12. Ensimmäisen kontrollipanoksen ammoniakkipitoisuudet ja poistoilman lämpötila prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

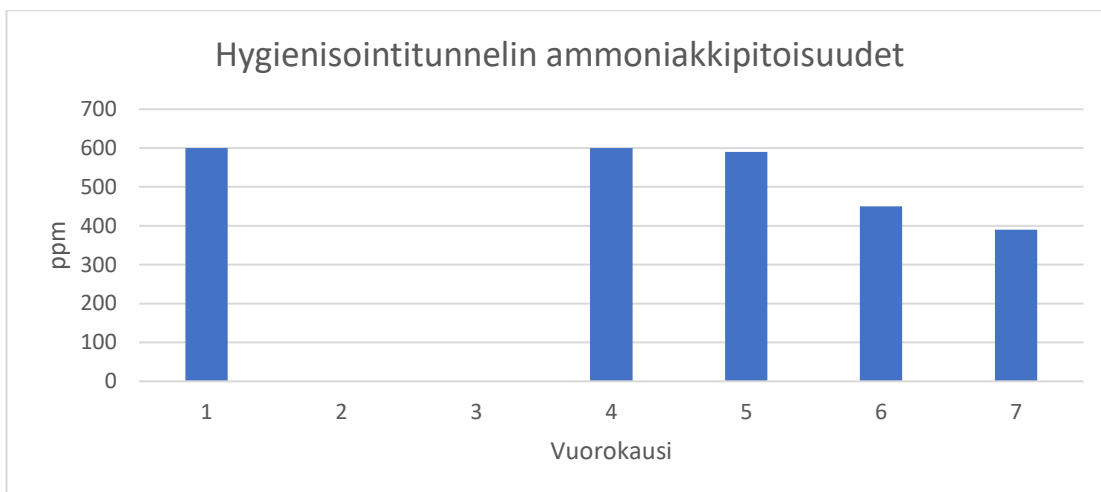
Toisen kontrollipanoksen ammoniakkipitoisuudet olivat prosessin loppuvaiheessa kaikista matalimmat (kuva 13).



Kuva 13. Toisen kontrollipanoksen ammoniakkipitoisuudet ja poistoilman lämpötila prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

Tunnelikompostointikokeen suurin ammoniakkipitoisuuden keskiarvo mitattiin ensimmäisestä kontrollipanoksesta ja pienin toisesta kontrollipanoksesta.

Hygienisointitunnelin ensimmäisenä päivänä ammoniakkipitoisuus oli mitattuna 600 ppm. Seuraava mittaus tehtiin viikonlopun jälkeen ja pitoisuus oli pysynyt samana. Ammoniakkipitoisuudet lähtivät laskuun prosessin loppupäivinä ja laskivat viimeisen päivän aikana alle 400 ppm. Hygienisointitunnelin ammoniakkipitoisuudet olivat suurimmillaan kompostoinnin ensimmäisinä päivinä ja laskivat prosessin loppua kohden (kuva 14).



Kuva 14. Hygienisointitunnelin ammoniakkipitoisuudet prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloppu).

Ammoniakkimittausten tekemiseen liittyy epävarmuutta, joka voi aiheutua mm. näytteenoton muutoksista tai kompostointiprosessien muutoksista. Ammoniakkipitoisuuksien mittausepävarmuus Dräger-kaasuilmainsinpumpulla tehtynä on $\pm 10\text{--}15\%$.

Lietehiilen lisäyksellä kompostoinnin raaka-aineeksi ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta ammoniakkipäästöihin tässä kokeessa. Hiilen lisäyksellä kompostointiin on kuitenkin saatu hyviä tuloksia erilaisissa tutkimuksissa.

Biohiilen lisäyksellä on saatu hyviä tuloksia kotikompostointikokeissa. Kokeessa tutkittiin biohiilen vaikutuksia kasvihuonekaasujen kehittymiseen. Tutkimuksen tulokset osoittivat biohiilen lisäyksen vähentäneen kasvihuonekaasuja. Ammoniakin kokonaispäästöt 146 päivän ajalta olivat biohiilen osalta noin 2,2 g/Mg ja ilman biohiiltä noin 4,2 g/Mg. Tulosten oletetaan johtuvan syöttömateriaalin paremmasta löystymisestä ja sen tuomasta optimaalisemmasta ilmastuksesta. [50.]

6.2 Hajumittaukset ja tulokset

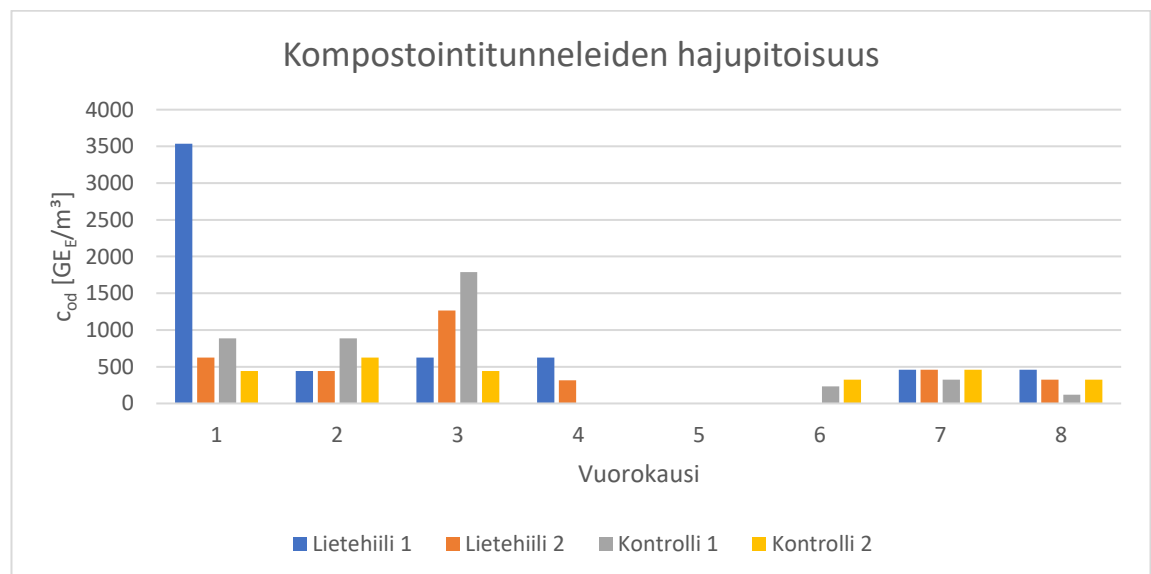
Hajunäytteet kerättiin konehuoneessa sijaitsevasta poistoilman huoltoluukusta. Näytteet kerättiin heti ammoniakkimittausten jälkeen. Hajunäytteet kerättiin näytepusseihin alipainetta luovan laitteiston avulla. Tällä tavalla saatiin kerättyä ilmanäyte halutusta kohdasta letkun avulla. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi itävaltalaiseen laboratorioon viikoittain,

jottei ilmanäytteiden hajupitoisuus laimenisi ajan saatossa. Olfaktometriset analyysit suoritti Intergeo Environmental Technology Ltd standardin EN 13725 mukaisesti. Hajunäytteistä analysoitiin hajupitoisuus, hajutaso ja hajun laatu. [51.]

6.2.1 Hajupitoisuus

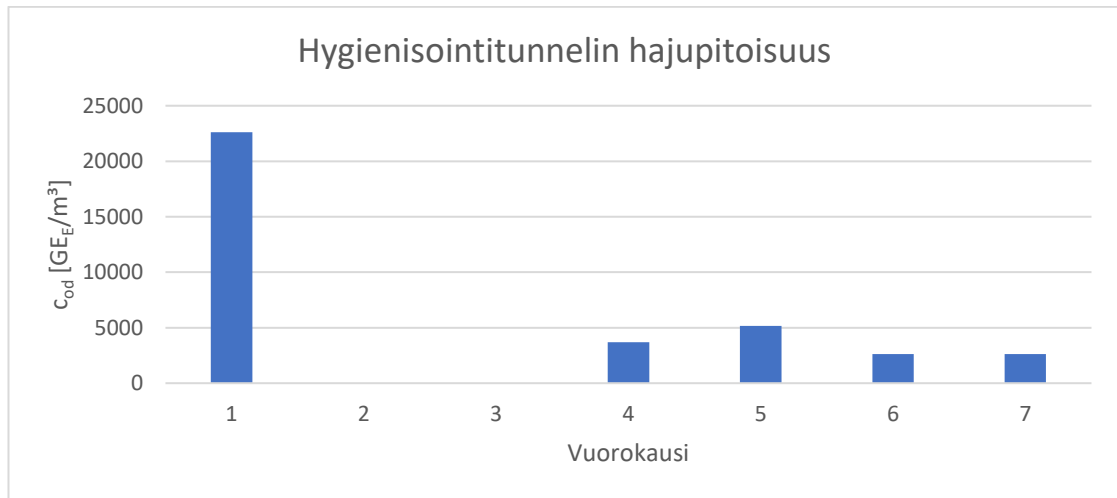
Tunnelikomposteja täytetään normaalisti kahden tunnelin päivätahdilla, joten lietehiiltä sisältävät panokset täytettiin lietehiiltä sisältämättömien panosten täyttämistä edeltävänä päivänä. Tämä on huomioitu panosten vertailuissa, sillä hajupitoisuudet muuttuvat kompostointiprosessin eri vaiheissa. Viikonlopun aikana ei otettu näytteitä, joten näiden osalta pitoisuudet puuttuvat kokonaan.

Taulukon arvoissa ensimmäisen päivän kohdalla on huomattavaa eroa, ensimmäisessä lietehiilipanoksessa n. 3500 cod [GEE/m³] hajupitoisuudessa muihin panoksiin verrattuna. Tämän tarkkaa syytä ei saatu selville. Muiden päivien kohdalla hajupitoisuuksien keskiarvoissa ei ole merkittävää eroa lietehiili- ja kontrollipanosten välillä. Hajupitoisuudet ovat korkeimmillaan tunnelikompostoinnin ensimmäisinä päivinä ja laskevat prosessin loppuvaiheessa alle 500 cod [GEE/m³] (kuva 15).



Kuva 15. Kompostointitunneleiden hajupitoisuus c_{cod} [GEE/m³] prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloput) [52; 53; 54].

Hygienisointitunnelin ensimmäisen päivän hajupitoisuus on merkittävästi korkeampi n. 22500 cod [GEE/m³] verrattuna prosessin muihin päiviin. Hygienisointitunnelin muiden mittauspäivien jäädessä alle 500 cod [GEE/m³] (kuva 16).

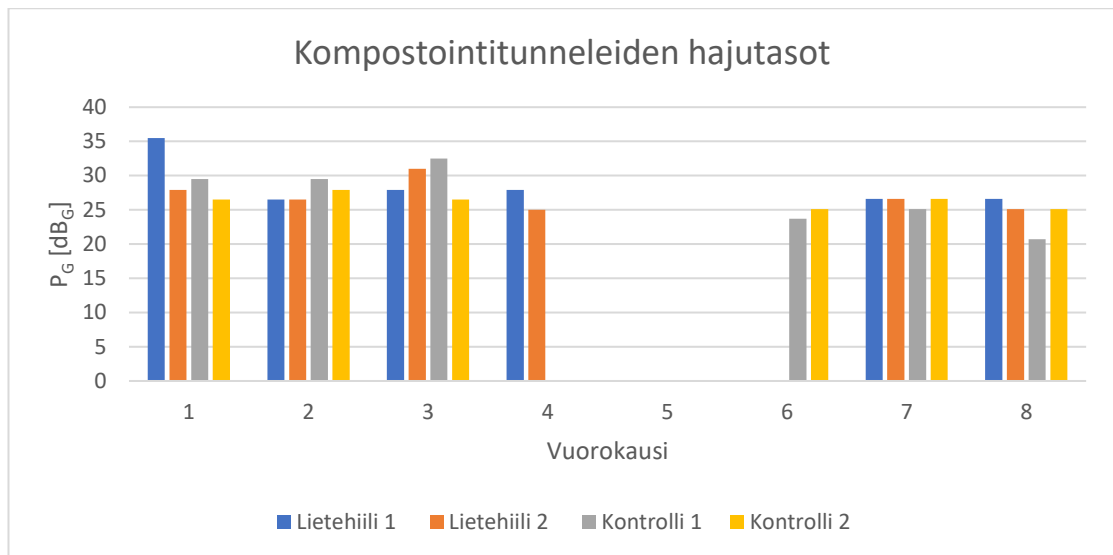


Kuva 16. Hygienisointitunnelin hajupitoisuus cod [GEE/m³] prosessivuorokautta kohden (pois lukienviikonloput) [52; 53; 54].

Lietehiilen lisäyksellä ei ollut vaikutusta tunnelikompostointi- tai hygienisointitunnelivaiheen hajupitoisuuksiin.

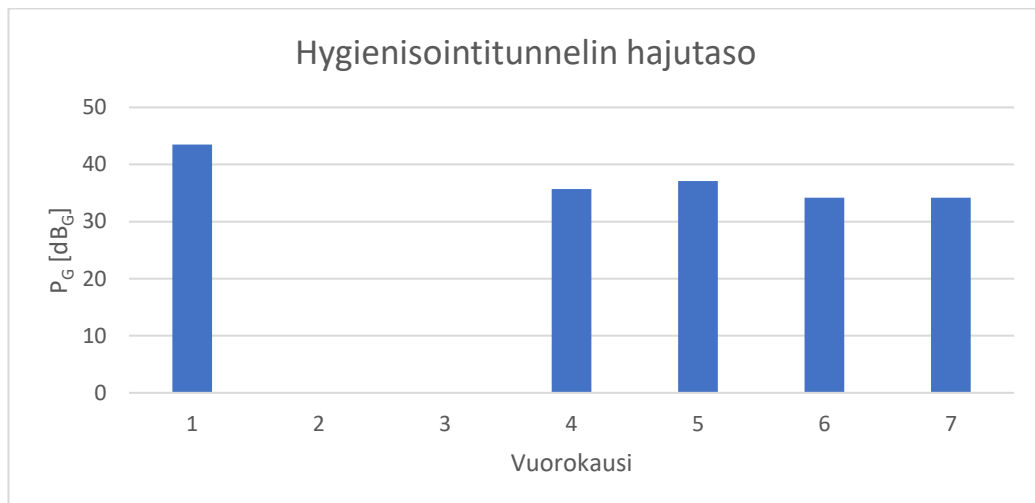
6.2.2 Hajutasot

Tunnelikompostoinnin ensimmäisen päivän kohdalla voidaan huomata ensimmäisen lietehiilipanoksen hieman korkeampaa hajutasoa 35,5 P_G [dB_G], muiden panosten arvojen ollessa alle 30 P_G [dB_G]. Tunnelikompostoinnin muiden prosessipäivien keskiarvoissa ei ole huomattavaa eroavaisuutta. Hajutasot laskevat hieman tunnelikompostoinnin loppuvaiheessa. Lietehiilen lisäyksellä panoksiin ei voida sanoa olleen merkittävää vaikutusta poistoilman hajutasoihin (kuva 17).



Kuva 17. Kompostointitunnelien hajutaso P_G [dB_G] prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloput) [52; 53; 54].

Hygienisointitunnelin hajutaso mitattuna ensimmäisen päivän aikana oli 43,5 PG [dB_G]. Hajutasot pysyvät melko vakaina hygienisoinnin loppuvaiheessa n. 35 PG [dB_G] (kuva 18).



Kuva 18. Hygienisointitunnelin hajutaso P_G [dB_G] prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloput) [52; 53; 54].

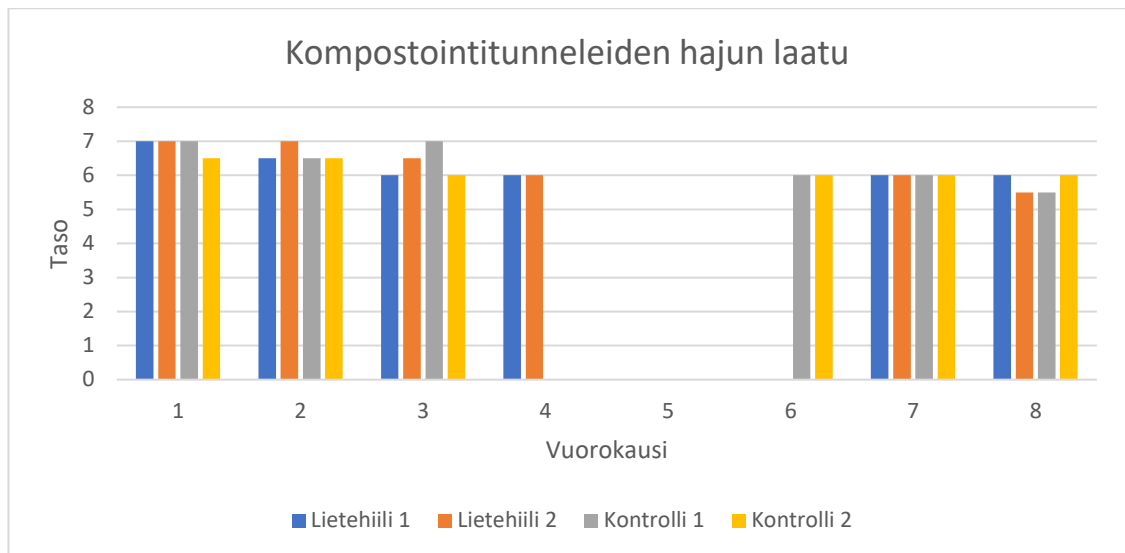
Lietehiilen lisäyksellä ei ollut vaikutusta tunnelikompostointi- tai hygienisointitunnelivaiheen hajutasoihin.

6.2.3 Hajun laatu

Tunnelikompostointivaiheessa hajun laatuojen ollessa kahden arvon välillä on arvo merkitty keskiarvon mukaisesti. Tunnelikompostoinnin hajun laatua luonnehdittiin mm. seuraavanlaisesti:

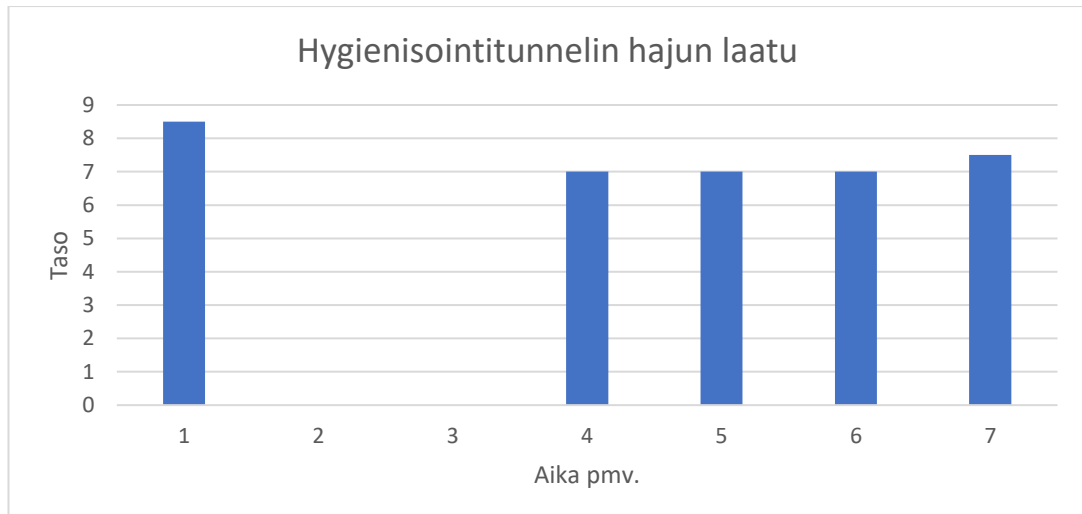
- pistävä
- terävä
- retiisin kaltainen
- mätä
- retiisi/kaali
- ammoniakki
- jätteet
- homeinen
- hieman terävä
- hieman hapan
- hieman ammoniakkimainen
- hieman pistävä
- hieman retiisimäinen.

Tunnelikompostoinnin hajun laatu on ensimmäisten päivien aikana hieman korkeampi. Seitsemännen päivän kohdalla kaikkien panosten arvo on sama ja tasot laskevat prosessipäivien loppuvaiheessa. Lietehiilipanosten ja kontrollipanosten hajun laadussa ei ole suurta poikkeamaa toisistaan (kuva 19).



Kuva 19. Kompostointitunneleiden hajun laatu prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloput) [52; 53; 54].

Hygienisointitunnelin hajun laatu oli ensimmäisenä päivänä tasoa 8–9, joka on merkitty kaavioon keskiarvon mukaisesti 8,5. Hajun laatu on lähtenyt pieneen laskuun ja pysynyt useamman päivän tasolla 7 kunnes noussut viimeisenä seurantapäivänä arvoon 7–8 (kuva 20).



Kuva 20. Hygienisointitunnelin hajun laatu prosessivuorokautta kohden (pois lukien viikonloput) [52; 53; 54].

Hajunäytteiden tuloksia ei voida pitää täysin vertailukelpoisina laboratorioissa havaittujen ongelmien myötä. Osa näytteistä ei sisältänyt riittävää määrää näytettä luotettavan

tuloksen saamiseksi. Liian vähäinen ilmamäärä saattoi aiheutua alunalkaen liian vähäisestä ilmanäytteestä, näytteenottolaitteen vikaantumisesta tai näytteiden kuljetuksesta johtuvista muutoksista (lentokoneen ilmanpaine). Laboratoriossa käytössä ollut olfaktometri oli kalibroitu ennen hajunäytteiden analysointia. Laboratorioanalyysissä tapahtuva mahdollinen virhe kuitenkin poissuljettiin seuraavien hajunäytteiden ollessa normaaleja. Todennäköisempänä syynä liian vähäiselle ilmamäärälle pidettiin alunalkaen liian vähäistä näytemäärää tai kuljetuksessa tapahtuneen paineen vaihtelun aiheuttamasta ilmamäärän kadosta näytteissä.

6.3 Maanäytteet

Kompostointikokeen maanäytteet otettiin hygienisointitunnelivaiheen jälkeen (taulukko 4). Maanäytteiden analysoinnin toteutti Metropolilab Oy. Maanäytteistä analysointiin hiilidioksidin tuotto, VTT:n laatiman kompostin kypsyystestit 2351/2006 mukaisesti, pH (SFS-EN 13037:2011), kuiva-aine (SFS-EN 13040:2008), orgaaninen aines (SFS-EN 13039:2011), ammoniumtyppi (SFS-EN 13652) ja kokonaistyyppi, Seilab Oy:n toimesta (T106/FINAS/SFS-EN ISO/IEC 17025). [55; 56.]

Näytteiden tuloksista voidaan havaita lietehiiltä sisältävien panosten hiilidioksidin tuoton olevan selkeästi pienempi 13 mg CO₂-C/g VS/vrk kuin kontrollipanosten 18 mg CO₂-C/g VS/vrk. Mitattujen pH-arvojen kohdalla lietehiilipanosten arvo on korkeampi 8,9 kuin kontrollipanosten 7,9. Kuiva-aineen pitoisuuksissa ei ole tilastollisesti merkittävää eroa panosten välillä. Orgaanisen aineksen mittauksissa kontrollipanosten tulos on vähän suurempi kuin lietehiiltä sisältävien panosten. Ammoniumtypen ja kokonaistypen osalta kontrollipanosten tulokset ovat suurempia.

Taulukko 4. Kompostointikokeen maanäytteiden tulokset [55; 56].

Kompostointikokeen maanäytteet		
	Kontrolli	Lietehiili
Hiilidioksidin tuotto	18	13 mg CO ₂ -C/g VS/vrk
pH-mittaus	7,9	8,9
Kuiva-aine	39,9	41,3 %
Orgaaninen aines	74,7	66,6 % ka
Ammoniumtyppi	6500	1600 mg/kg ka
Kokonaistyyppi	31600	26500 mg/kg ka

Tulosten perusteella voidaan saada suuntaa antavia tuloksia lietehiilen lisäyksellä kompostointiin. Hiilidioksidin tuottoa ja pH-arvoa voidaan tulkita kompostin kypsyysparametreina. Hiilidioksidin tuoton vähentymisellä ja pH-arvon kasvulla voidaan lietehiiltä sisältäneen kompostin tuloksia pitää kypsempinä kuin ei lietehiiltä sisältäneen. Laboratorioanalyysien tulosten epävarmuustekijät ovat hiilidioksidin tuotto 30 %, pH-mittaus 5 %, kuiva-aine 10 %, orgaaninen aines 10 %, ammoniumtyppi 20 % ja kokonaistyyppi 7 % [55, 56].

7 Kehitysehdotukset

Kompostointilaitoksen päästöjä voidaan saada parannettua muuttamalla jo olemassa olevia kompostointiprosesseja. Biosuodatuksen viipymäajan pidentämisellä saadaan parannettua ilman epäpuhtauksien hajoamista. Tämä havaittiin GC-MS-mittauksissa, joissa toisen piipun puhallin oli rikkoutunut ja viipymäaika kasvanut biosuodattimella.

Biosuodatuksen materiaalin valinnalla on myös keskeinen vaikutus suodatukseseen. Materiaalien kehitystä tulisi seurata ja mahdollisuuksien mukaan valita optimaalisin materiaali kompostointilaitokseen. Biosuodattimen koon kasvattamisella tai käyttämällä pintaaktiivisia aineita voidaan myös parantaa suodatuksen tehoa. Biosuodatin tehoa parhaiten vesiliukoisille yhdisteille ja heikosti veteen liukenemattomille yhdisteille. Biosuodatuksen rinnalle olisi hyvä ottaa muita suodatusmenetelmiä.

Ammoniakin poiston nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessissa kesäisin esiintyvää liian korkeaa prosessiveden lämpötilaa, voisi hallita paremmalla putkien eristämällä. Eristyksen avulla saadaan lämmin ulkoilma pysymään paremmin poissa putkistoista ja

prosessivedestä tai käyttämällä lämmönvaihdinta, jonka avulla liiallinen lämpö voitaisiin hyödyntää omaprosesseissa. Poistoilman ammoniakkipitoisuuksien seuranta voisi kehittää automatisoimalla mittaukset. Näin saataisiin reaaliajassa seurattua pitoisuuksia ja tarpeen mukaan tehtyä muutoksia prosessiin.

GC-MS- ja TD-GC-MS-mittaustulosten perusteella tulisi tutkia tarkemmin tehokkaampia suodatusmenetelmiä seuraavien yhdisteiden kohdalla 2-nonanone, karboksyylihappo, alfa-pineeni, limoneeni, 2-metyyliheksaani, 3-metyyliheksaani ja tolueeni. Tehokkaampia suodatusmenetelmiä voisi olla mm. aktiivihiilisuodatus, otsonointi, fotokatalyyysi tai säteily.

Lietehiilellä ei havaittu olevan vaikutusta kompostointilaitoksen ammoniakki- tai hajupitoisuuksiin. Lietehiilipanoksiin lisättiin noin 3 % lietehiiltä kokonaispainosta. Lisätutkimusten avulla voisi selvittää, olisiko optimaalisemmalla prosenttiosuudella vaikutusta pitoisuuksiin.

8 Yhteenveto

Työn keskeiset alueet olivat kompostointilaitoksen poistoilman sisältämien yhdisteiden määrittäminen ja kompostointikoe. Työn avulla saatiin tietoa lietehiilen vaikutuksista kompostoinnin poistoilman ammoniakki- ja hajupäästöihin sekä kompostin kypsyyteen. Poistoilman sisältämien yhdisteiden määrittämisen avulla saatiin kartoitettua mahdollisia korkean hajuhaitan aiheuttavia yhdisteitä.

Kompostointilaitoksen poistoilman sisältämiä hajuhaittaa aiheuttavia yhdisteitä ja pitoisuuksia ei ole aikaisemmin kartoitettu. Poistoilman mittausten avulla saatiin tarkempi kuvaus sen sisältämiä hajuhaittaa aiheuttavista yhdisteistä ja niiden pitoisuuksista. Yhdisteiden tietojen avulla voidaan tutkia tarkemmin tehokkaampia suodatusmenetelmiä poistoilmalle ja saada hajuhaittaa aiheuttavat yhdisteet suodatettua tehokkaammin.

TD-GC-MS-mittauksissa määritettiin optimaalisin näytteenottoaika. Tämä helpottaa tulevaisuudessa mittausten tekemistä. Mittausten avulla voidaan tehdä mahdollisia jatko tutkimuksia poistoilman päästöjen suodatuksen tiimoilta.

GC-MS-mittauksissa saatiin suurempia pitoisuuksia yhdisteistä 2-nonanone, karboksyylihapo, alfa-pineeni ja limoneeni. Näiden hajukynnysarvot jäivät välille 144,5–691,8 ppb. TD-GC-MS-mittauksissa ilmeni keskiarvoltaan isompia pitoisuuksia yhdisteitä 2-metyyliheksaania, 3-metyyliheksaania, tolueenia, alfa-pineenia ja dl-limoneenia. Yhdisteiden hajukynnysarvot olivat välillä 420–1549 ppb. Yhdisteiden pitoisuuksien keskiarvojen välisestä suhteesta hajukynnysarvoon suurin arvo oli tolueenillä. Seuraavat olivat 3-metyyliheksaani, alfa-pineeni, dl-limoneeni ja 2-metyyliheksaani. Näiden yhdisteiden kohdalla olisi hyvä tehdä lisätutkimuksia ja kartoittaa tehokkaampia suodatusmenetelmiä.

Kompostointikokeen avulla tutkittiin pyrolyysin koelaitoksesta saatavan lietehiilen vaikutuksia kompostointilaitoksen poistoilman ammoniakkipitoisuuksiin ja hajuhaittaan. Lietehiiltä lisättiin kahteen tunnelipanokseen ja vertailupanoksina tehtiin kaksi kontrollipanosta ilman lietehiiltä. Lietehiilen lisäyksellä kompostoinnin raaka-aineeksi ei havaittu olevan vaikutusta poistoilman ammoniakki- tai hajupitoisuuksiin. Lisäyksellä havaittiin kuitenkin olevan suotuisia vaikutuksia kompostoinnin kypsyyteen. Maanäytteessä hiilidioksidin tuotto oli pienempi ja pH-arvo korkeampi. Lietehiilen käytöllä kompostoinnin raaka-aineena saadaan hyötykäytettyä jätevesilietteen sisältämiä ravinteita ja hiili. Tämä tukee kestävästä kehityksen uusiokäyttöä sekä edistää ympäristön ja kansanterveyttä.

Tulokset eivät ole tilastollisesti päteviä, vaan niitä voidaan tulkita suuntaa antavina. Kompostointikokeeseen liittyy epävarmuustekijöitä kuten orgaanisen jakeen epätasaisuus. Orgaanisen jakeen sisältö vaikuttaa poistoilman päästöihin. Toinen merkittävä epävarmuustekijä on kokeiden toistojen vähyys. Suuremmalla toistojen määrällä saataisiin aikaiseksi luotettavampia tuloksia.

Lähteet

- 1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2008. 2008/98/EY. 19.11.2008.
- 2 Aschan, Rolf. 2010. Selvityksistä saavutuksiin : YTV - 40 vuotta yhteistyötä pääkaupunkiseudulla. Helsinki: Tuokinprint Oy.
- 3 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2019. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. <https://julkaisu.hsy.fi/ammassuon-jatteenkasittelykeskuksen-toiminta-vuonna-2019-1.html#tiivistelma_fi>. Luettu 15.11.2020.
- 4 Hans Y, Tammemagi. 1999. The Waste Crisis : Landfills, Incinerators, and the Search for a Sustainable Future. E-kirja. Oxford University Press, Incorporated.
- 5 Eliot, Epstein. 2011. Industrial Composting : Environmental Engineering and Facilities Management. E-kirja. Taylor & Francis Group.
- 6 Kompostin kypsyytestit, menetelmäohjeet. 2006. 2351/2006. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.
- 7 Chongrak, Polprasert & Thammarat, Koottatep. 2017. Organic Waste Recycling: Technology, Management and Sustainability. E-kirja. IWA Publishing.
- 8 M. H, Fulekar. 2010. Environmental Biotechnology. E-kirja. Taylor & Francis Group.
- 9 Ademir S. F, Araújo. 2012. Waste Management: New Research. E-kirja. IWA Publishing.
- 10 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2019. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. <<https://julkaisu.hsy.fi/ammassuon-jatteenkasittelykeskuksen-toiminta-vuonna-2019-1.html#CH1owu33e8>>. Luettu 15.11.2020.
- 11 Chung-Jung, Tsai; Mei-Lien, Chen; An-Di, Ye; Ming-Shean, Chou; Shu-Hung, Shen; I-Fang, Mao. 2008. The relationship of odor concentration and the critical components. Elsevier Ltd, s. 4246–4251.
- 12 Tuominen, Jari. 2012. Tuoksujen ihmeellinen maailma. Helsinki: Kureeri.
- 13 V. C, Nielsen, J. H, Voorburg & P, L'Hermite. 2011. Odour Prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming. E-kirja. Taylor & Francis Group.

- 14 Latvala, Markus. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- 15 Lyytimäki, Jari. 2006. Unohdetut ympäristöongelmat. Helsinki: Gaudeamus.
- 16 Laitinen, Jyrki; Nieminen, Jenni; Saarinen, Risto & Toivikko, Saijariina. 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 17 Victoria A, Fekete & Réka L, Molnár. 2012. Ammonia: Structure, Biosynthesis and Functions. E-kirja. Nova Science Publishers, Incorporated.
- 18 Ämmässuon BAT päätös. 2019. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 25.9.2019.
- 19 Romeela, Mohee & Ackmez, Mudhoo. 2012. Bioremediation and Sustainability : Research and Applications. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 20 Lawrence K, Wang. Norman C, Pereira. Yung-Tse, Hung. Norman C, Pereira. Yung-Tse, Hung & Yung-Tse, Hung. 2004. Air Pollution Control Engineering. E-kirja. Springer.
- 21 Biopesurin toiminnan käsikirja. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY.
- 22 Christian, Kennes & Maria C, Veiga. 2013. Air Pollution Prevention and Control : Bioreactors and Bioenergy. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 23 Alasuutari, Sakari; Harmoinen, Taina & Palva, Reetta. 2009. Lannan käsittely ja käyttö. Keuruu: Otavan kirjapaino.
- 24 Christoph, Gareis. 2021. Toimintovastaava, HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, Helsinki. Keskustelu 2.2.2021.
- 25 Karen, Makuch & Ricardo, Pereira. 2012. Environmental and Energy Law. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 26 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2010. 2010/75/EU. 17.12.2010.
- 27 Industrial Emissions Directive. 2020. Verkkoaineisto. European Commission. <<https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>>. Päivitetty 28.5.2020. Luettu 20.1.2021.

- 28 Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. Verkkoaineisto. Ymparisto.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/paras_tekniikka_bat>. Luettu 22.3.2021.
- 29 Ympäristölupa. Verkkoaineisto. Ymparisto.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa>. Luettu 25.3.2021.
- 30 F.W, Karasek & R.E, Clement. 2003. Basic Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Principles and Techniques. E-kirja. Eisevier Science B.V.
- 31 Salminen, Jyri. 2020. BioUpdate Oy, Mynämäki. Sähköposti 11.12.2020.
- 32 2-Nonanone. 2017. Verkkoaineisto. ChemicalBook. <https://www.chemical-book.com/ChemicalProductProperty_EN_CB2231785.htm>. Luettu 1.2.2021.
- 33 Georgiana Ileana, Badea & Gabriel Lucian, Radu. 2018. Introductory Chapter: Carboxylic Acids - Key Role in Life Sciences. Verkkoaineisto. Intechopen. <<https://www.intechopen.com/books/carboxylic-acid-key-role-in-life-sciences/introductory-chapter-carboxylic-acids-key-role-in-life-sciences>>. 13.6.2018. Luettu 1.2.2021.
- 34 Magda, Brattoli; Ezia, Cisternino; Paolo Rosario, Dambruoso & Gianluigi, de Gennaro. 2013. Gas Chromatography Analysis with Olfactometric Detection (GC-O) as a Useful Methodology for Chemical Characterization of Odorous Compounds. Vol. 13, s. 16784.
- 35 Charles, S. Sell. 2014. Chemistry and the Sense of Smell. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 36 Compound Summary 1-Octanol. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Octanol#section=General-Manufacturing-Information>>. Luettu 1.2.2021.
- 37 p-Cymene. Verkkoaineisto. ChemicalBook. <https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiescb9262508_EN.htm>. Luettu 1.2.2021.
- 38 p-cymene. Verkkoaineisto. ChemSpider. <<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7183.html>>. Luettu 1.2.2021.
- 39 Compound Summary Limonene. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Limonene>>. Luettu 1.2.2021.

- 40 Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VVOC) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Verkkoaineisto. Ositum Oy. <<https://www.ositum.fi/Haihtuvatorgaanisethii-livedytV>>. Luettu 20.3.2021.
- 41 Analyysivastaus 3269521 VVOC- ja VOC-yhdisteet, ilma. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ositum Oy.
- 42 Kronholm, Juhani. 2021. Kemisti, Ositum Oy, Vantaa. Sähköposti 5.3.2021.
- 43 Näytteenotto-ohje VVOC- ja VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet). 2021. Kemiälliset analyysit. Vantaa: ositum Oy.
- 44 Nagata, Yoshio & Takeuchi, N. 2003. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. Odor measurement review. Vol. 118, s. 118–127.
- 45 Compound Summary 2-Methylhexane. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-methylhexane#section=Safety-and-Hazards>>. Luettu 31.3.2021.
- 46 Compound Summary 3-Methylhexane. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3-methylhexane#section=Safety-and-Hazards>>. Luettu 31.3.2021.
- 47 Compound Summary Toluene. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Toluene#section=GHS-Classification>>. Luettu 31.3.2021.
- 48 Jätevesilietteen pyrolyysin koetoimintalaitos. 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Hankesuunnitelma s. 4–6.
- 49 Ammoniakki, vedetön NH₃. 2021. Verkkoaineisto. Dräger. <https://www.draeger.com/fi_fi/Substances/19>. Luettu 22.3.2021.
- 50 Wagner, Robert & Geiges-Erzgräber, Lina. 2021. Wirkung von pflanzenkohle auf die freisetzung von treibhausgasen bei der eigenkompostierung. Müll und Abfall Jg.53, Nr. 1, 2021, s. 31–37.
- 51 Odor Measurement. 2021. Verkkoaineisto. INTERGEO Environmental Technology Ltd. <<https://www.intergeo.com/en/service/environment-health-safety/odor-measurement/>>. Luettu 24.3.2021.
- 52 Test report of indicative olfactometrical measurements 2021–02–22. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. INTERGEO Environmental Technology Ltd.

- 53 Test report of indicative olfactometrical measurements 2021-03-01. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. INTERGEO Environmental Technology Ltd.
- 54 Test report of indicative olfactometrical measurements 2021-03-05. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. INTERGEO Environmental Technology Ltd.
- 55 Testausseloste 2021-5010 maanäyte. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metropolilab Oy.
- 56 Testausseloste 2021-5011 maanäyte. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Metropolilab Oy.