



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Veera Ollila

Biojätteen käsittelyn vuotuiset kasvi- huonekaasupäästöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

17.01.2021

Tekijä Otsikko	Veera Ollila Biojätteen käsittelyn vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt
Sivumäärä Aika	50 sivua 17.01.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	ympäristötekniikka
Ohjaajat	lehtori Esa Toukoniitty toimintovastaava Christoph Gareis
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY:n biojätteen käsittelyn vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, mistä prosessin vaiheesta päästöjä syntyy kaikkein eniten.</p> <p>Tätä tutkimusta varten tehtiin mittauksia FTIR-analysaattorilla. Mittaukset suoritettiin kahdesta biojätekompostiaumasta, kahdesta ylitakasasta, kompostointilaitoksen hygienisointitunnelista sekä kahdesta kompostointilaitoksen piipusta, joista puhdistettu ilma johdetaan ulos. Lisäksi tutkimusta varten kerättiin dataa biojätteen käsittelyn sähkön, lämmön ja polttoaineen kulutuksesta. Tutkimuksen data oli vuodelta 2018, joten tutkimuksessa pyrittiin mukailemaan kyseisen vuoden prosesseja.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi, että eniten hiilidioksidi- ja metaanipäästöjä muodostui biojätteen käsittelyn piipuista, joista puhdistettu ilma johdetaan ulos. Molemmista piipuista laskelmien mukaan pääsi ilmaan yhteensä noin 41 000 kiloa metaania. Eniten dityppioksidipäästöjä ilmaan päästää biojätekompostiaumat.</p> <p>Biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasupäästöt vuoden 2018 aikana olivat noin 5 150 tonnia CO₂-ekv. Tähän tulokseen on laskettu mukaan mitatuista arvoista saadut tulokset sekä polttoaineen kulutuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt.</p> <p>Tutkimusta tehdessä huomattiin, että kattava kasvihuonekaasuselvitys edellyttää laajempia tutkimuksia. Tutkimuksen pohjalta HSY sai käyttöönsä kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan tarkoitetun Excelin lisäselvityksiä ja tarkennuksia varten.</p>	
Avainsanat	biojätteen käsittely, kompostointi, kasvihuonekaasut, HSY

Author Title	Veera Ollila Annual Greenhouse Gas Emissions from Biowaste Treatment
Number of Pages Date	50 pages 17 th of January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental engineering
Professional Major	Environmental Engineering
Instructors	Esa Toukoniitty, Principal Lecturer Christoph Gareis, Operational Manager
<p>The purpose of this thesis was to determine how much greenhouse gas emissions Helsinki region environmental services -authority's biowaste treatment is forming. Another purpose was to determine which stage of the processes is the major source of greenhouse gases.</p> <p>Measurements for this research were made with an FTIR-analyzer. The measurements were made of two different biowaste compost windrows, two piles of surplus from sieving, compost plant's sanitation tunnel and two pipes which discharge filtered air. In addition, more data was collected for the study including biowaste treatment's consumption of electricity, heat and fuel. The data of this study was from year 2018 and therefore the new measurements were conducted to simulate the correct processes from that particular year.</p> <p>The major methane and carbon oxide emission source was the pipes of the composting plant. The pipes emit in total around 41 000 kg of methane per year. The research came to conclusion that the biowaste compost windrows were the major source of nitrous oxide emissions.</p> <p>Biowaste treatment's greenhouse gas emissions were 5 150 tons of CO₂-eq. This result is formed by calculating together the measured values and carbon dioxide emissions created by the fuel consumption.</p> <p>During this study it came clear that to get a more detailed greenhouse gas survey requires further study and more measurements. However, as a result of this thesis study, HSY gained an Excel sheet to calculate and report greenhouse gas emissions for adjustments, further studies and implementations.</p>	
Keywords	biowaste treatment, composting, greenhouse gases, HSY

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Biojätteen käsittely Helsingin seudun ympäristöpalveluissa	2
2.1	Erilliskeräys	2
2.2	Prosessit	3
2.2.1	Esikäsittely	3
2.2.2	Biokaasulaitos	4
2.2.3	Kompostointi	6
2.2.4	Biokaasuvoimala	7
2.2.5	Kenttätoiminta	7
2.2.6	Ilmanpuhdistus	9
2.2.7	Tukiainehalli	10
2.3	Vastaanotto ja tilastot	11
3	Kasvihuonekaasujen tarkastelu	13
3.1	Yleisesti	13
3.2	Kasvihuonekaasut	13
3.2.1	Hiilidioksidi	14
3.2.2	Metaani	15
3.2.3	Dityppioksidi	16
4	Inventaarioanalyysi biojätteen käsittelylle	18
4.1	Päästömittausten toteutus	18
4.2	Päästömittausten tulokset	22
4.2.1	Kenttätoiminta	22
4.2.2	Kompostointilaitos	25
4.3	Energian ja polttoaineiden kulutus	27
4.3.1	Sähkönkulutus	27
4.3.2	Lämmönkulutus	28
4.3.3	Polttoaineenkulutus	29

5	Laskenta ja tulokset	30
5.1	Mitattujen tietojen päästölaskenta	30
5.1.1	Kenttätoiminnot	30
5.1.2	Kompostointilaitos	35
5.2	Energian ja polttoaineiden kulutuksen päästölaskenta	36
5.2.1	Sähkö	36
5.2.2	Lämpö	36
5.2.3	Polttoaine	37
5.3	Kokonaispäästöt	38
6	Tulosten tulkinta	41
6.1	Kenttätoiminta	41
6.1.1	Karkea ylite ja väliylite	41
6.1.2	Aumat	41
6.2	Kompostointilaitos	42
6.2.1	Piiput	42
6.2.2	Energian kulutus	43
6.2.3	Polttoaineen kulutus	43
7	Kehitysmahdollisuudet	44
7.1	Lisäaineet	44
7.2	Mekaaninen työ	47
7.3	Tekniikka	48
7.4	Lisäselvitykset	48
8	Yhteenveto	49
	Lähteet	51

Lyhenteet

B146 ja B147 Auman tunnus. B kuvastaa biojätettä ja numero on auman järjestysluku.

CHP-laitos	Combined heat and power. Laitos, joka tuottaa yhteistuotantona lämpöä ja sähköä.
CH ₄	Metaani. Kasviuonekaasu.
CO ₂	Hiilidioksidi. Kasviuonekaasu.
CO ₂ -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti. Kuvaa kasviuonekaasujen yhteenlaskettua lämmitysvaikutusta.
Covid-19	Koronavirus.
FTIR	Fourier Transform Infrared.
GWP	Global Warming Potential. Arvo, joka kertoo missä suhteessa kasviuonekaasu vangitsee lämpöenergiaa ilmakehään hiilidioksidiin nähden.
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY.
N ₂ O	Dityppioksidi. Kasviuonekaasu.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardoimisjärjestö.
ORC	Organic Rankine Cycle. Prosessi, jossa veden sijaan käytetään höyrystyvää ja lauhtuvaa orgaanista ainetta.
ouE/m ³	Hajupitoisuus. Kuvastaa montako hajuyksikköä on kuutiossa.

1 Johdanto

Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos ovat puhuttaneet ihmisiä jo vuosia. Nykyään voidaan puhua jo ilmastoahdistuksesta, jota pelko tulevaisuuden kauhuskenaarioista aiheuttaa. Niin yksittäiset ihmiset kuin yrityksetkin ovat entistä tietoisempia aiheuttamistaan päästöistä. Tämän kasvihuonekaasupäästöjen tutkimuksen on tilannut Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY. Kuntayhtymä on halunnut selvittää biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasupäästöjen määrän ja suurimmat päästölähteet prosesseissa sekä sen, kuinka kuntayhtymä voisi kehittää omaa biojätteen käsittelyprosessiaan vähäpäästöisemmäksi.

HSY:n jätehuollon piiriin kuuluu Helsinki, Vantaa, Espoo, Kauniainen sekä Kirkkonummi. Jätehuollon lisäksi HSY hoitaa pääkaupunkiseudun vesihuollon sekä tuottaa kattavasti asukkaille tietoa ilmastosta sekä pääkaupunkiseudusta. HSY:n jätehuollon alueen biojätteet käsitellään Espoon Ämmäsuolla olevassa kompostointi- ja biokaasulaitoksessa.

Ämmäsuolla biojätteestä tehdään kompostia ja biokaasua. Kompostia voidaan käyttää niin multatuotannossa kuin maanparannusaineenakin. Siispä biojätteen elinkaari ei pääty Ämmäsuolle. Biojätteen erilliskeräyksellä on lukuisia hyviä puolia, ja aiemmin mainitut ovat vain hyviä esimerkkejä näistä eduista. Luvussa kaksi perehdytään tarkemmin biojätteen erilliskeräykseen ja kierrätyksen edistämiseen.

Biojätteen erilliskeräys jo itsessään on ilmastoteko, mutta kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä siitä syntyy? Tässä työssä pyritään vastaamaan tähän kysymykseen. Mittausten ja kerättyjen tietojen pohjalta pyritään löytämään vastaus vuosittaisiin päästölukemiin, joita biojätteen käsittely aiheuttaa. Lisäksi työssä pyritään löytämään ratkaisuja ja keinoja, kuinka kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin HSY:n biojätteen käsittelyn toiminnassa vähentää.

Työ ei ole varsinainen hiilijalanjälkiselvitys. Työssä ei ole noudatettu suoranaisesti standardeja, joita hiilijalanjälkiselvityksessä tyypillisesti noudatetaan. Yksi syy tähän on se, että suurin osa tuloksista on tullut omien mittausten pohjalta. Tutkimusta on myös rajattu kolmeen suurimpaan ja näissä prosesseissa todennäköisimpään kasvihuonekaasuun,

joita ovat hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. Mittaustutkimukset sijoittuivat marras-joulukuulle 2020 ja kerättyjen tietojen data on vuodelta 2018. Tutkimuksessa on mukailtu vuotta 2018 ja laskettu päästöjä kyseisen vuoden mukaisesti. Tämä rajausta perustuu siihen, että vuosi 2019 sekä 2020 ovat olleet normaaliin toimintaan nähden poikkeukselliset.

2 Biojätteen käsittely Helsingin seudun ympäristöpalveluissa

2.1 Erilliskeräys

Helsingin seudun ympäristöpalveluiden toiminta-alueella biojätettä on erilliskerätty vuodesta 1993 lähtien [1]. Tällä hetkellä erilliskeräys toteutuu taloyhtiöissä, joissa on vähintään kymmenen asuntoa. Tähän on kuitenkin tulossa muutos ja erilliskeräystä tehostetaan vuodesta 2021 alkaen. Tällöin erilliskeräys suoritetaan myös taloyhtiöissä, joissa on viisi tai useampi huoneisto. [2.]

Ilman erilliskeräystä biojäte päätyisi sekajätteen joukossa polttolaitoksille. Ennen polttolaitosten aikakautta sekajäte kuljetettiin kaatopaikalle. Vielä nykyäänkin Ämmässuolla kerätään kaatopaikalta kaasua, jota muodostuu orgaanisen aineksen hajoamisen seurauksena. Kaasun määrä kuitenkin vähenee vuosi vuodelta [3].

Polttolaitoksissa biojäte on epätoivottu materiaali. Biojäte sisältää runsaasti nestettä, ja näin ollen palamisesta muodostuva energia on hyvin minimaalinen. Valtioneuvoston mukaan muodostuvasta biojätteestä peräti 60 % päätyy sekajätteen joukkoon ja niin ikään polttoon. [4.]

Sen lisäksi, että biojäte on polttolaitoksissa epätoivottu materiaali, on kierrätysasteen nostaminen tärkeä syy ja kannustin biojätteen erilliskeräykseen. Euroopan unionin jäte-direktiivi 2008/98/EY määrää, että EU:n jäsenmailla on velvollisuus järjestää erilliskeräystä jätteille [5]. Direktiiviä on päivitetty vuonna 2018 (2018/851) ja erilliskeräyksen tärkeyttä on korostettu enemmän [6].

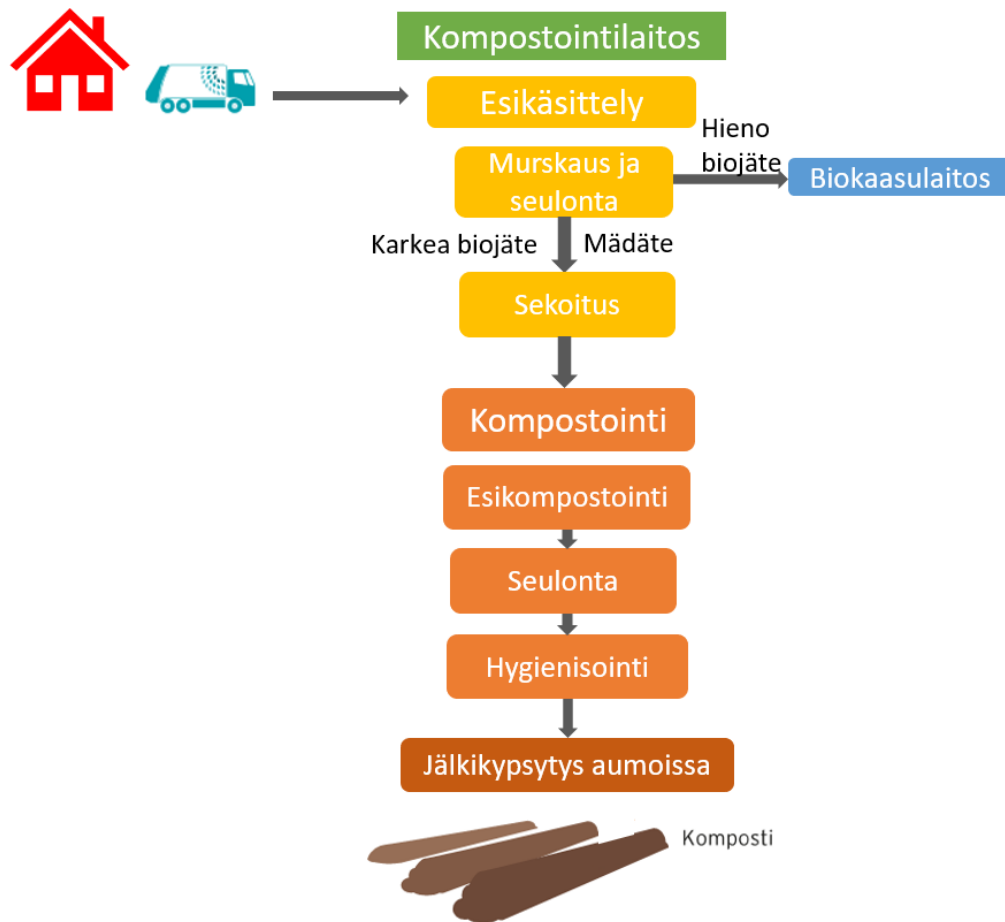
Biojätteen erilliskeräys lisää Suomen kierrätysastetta. Tällä hetkellä Suomi on EU:n asettamista tavoitteista jäljessä. Kierrätystavoite vuoteen 2020 mennessä oli 50 %, mutta vielä vuonna 2018 Suomen kierrätysaste oli 42 %. [7.] Suomen tämän hetkinen tavoite on, että vuonna 2025 yhdyskuntajätteestä 55 % tulee kierrätetyksi. Vuonna 2035 tavoite on jo 65 %. Kierrätysasteen parantamisen saralla on siis vielä runsaasti töitä. Ympäristöministeriön sekä maa- ja metsätalousministeriön selvityksen mukaan ihmiset eivät pidä biojätteen kierrättämistä niin tärkeänä kuin muiden jätteiden kierrättämistä. [4.]

2.2 Prosessit

HSY:n biojätteen käsittelyyn kuuluu useita eri prosessinvaiheita. Seuraavissa luvuissa käsitellään niitä prosesseja, joihin tässä insinööriyössä perehdytään kasvihuonekaasujen tarkastelun näkökulmasta.

2.2.1 Esikäsittely

Biojätteen esikäsittely alkaa heti, kun jäteauto on tuonut materiaalin Ämmäsuon kompostointilaitokselle. Esikäsittelyhallissa, johon materiaali tuodaan, on jatkuvasti urakoitsijayrityksen työntekijä pyöräkuormaajalla työskentelemässä. Pyöräkuormaaja syöttää biojätettä murskaimeen, jonka tehtävänä on repiä mahdollisia muovipusseja auki, jotta itse biojäte pääsee pussista ulos. Murskauksen jälkeen tapahtuu ensimmäinen seulonta. Seulonnasta muodostuu ylitettä, joka on karkea materiaali, ja alitetta, joka on hienompi jakeista eli palakoko on alle 80 mm [8]. Karkea ylite kulkeutuu esikompostointitunneliin sekoittimen kautta ja hieno jae päätyy mädätykseen. Kuvassa 1 on havainnollistettu koko kompostointiprosessi.



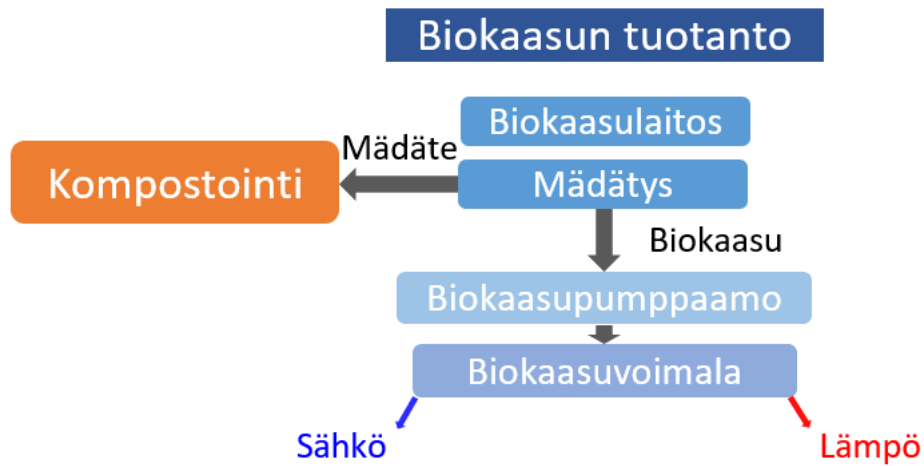
Kuva 1. Kompostoinnin prosessi [1].

Karkean biojätteen joukkoon on sekoitettu esikäsittelyn sekoittimessa tukiaineet sekä mädätettä mädätysprosessista. Kompostin tukiaineina käytetään seulonnan ylitteitä, risu-, puu- ja kantomursketta. Sekoituksen jälkeen seos kulkeutuu hihnoja pitkin esikompostointitunneliin.

2.2.2 Biokaasulaitos

Mädätykseen ohjautuu biojätteen alite, joka syntyy esikäsittelyn seulonnasta. Mädätys tapahtuu biokaasulaitoksessa kuvan 2 mukaisesti. Laitoksessa hieno biojäte kulkeutuu ensin hihnoja pitkin 450 m³:n kokoiseen bunkkeriin välivarastoon [8]. Ennen bunkkeriin päätymistä biojätteestä erotellaan metallit magneetin avulla. Bunkkerissa on automaati-

olla toimiva kauha, jonka tehtävänä on sekoittaa hienoa biojätettä. Kauha syöttää biojätettä mädätysreaktoreihin tasaisin väliajoin. Biojätteen määrä vaikuttaa siihen, kuinka tiuhaan mädätettä voidaan syöttää reaktoreihin.



Kuva 2. Biokaasun tuotannon prosessi.

Kuvassa 3 on esitetty Ämmäsuolla käytössä olevan kuivamädätyslaitoksen toimintaa. Ensimmäisessä vaiheessa reaktoriin syötetään hienoa biojätettä ja syöttöruuvi työntää massan eteenpäin. Tämän jälkeen massa päätyy reaktoriin, jossa kuvan mukaiset sekoittimet sekoittavat massaa niin, että massan ilmakuplat nousevat pintaan. Kuvan keltainen putki kuvastaa biokaasun kerääjää. Lopuksi alipainepoistojärjestelmän avulla mädätysjäännös eli mädäte ohjataan esikompostointiin. Kyseessä on osavirtamädätys, kun biokaasuntuotannossa syntynyttä mädätysjäännöstä hyödynnetään edelleen kompostoinnissa. Mädätysprosessi kestää noin kolmen viikon ajan.



Kuva 3. Kuivamädätys [1].

2.2.3 Kompostointi

Kompostointi tapahtuu vuonna 2006 rakennetussa kompostointilaitoksessa [8]. Biojätteen kompostointiprosessiin kuuluu kaksi eri tunnelityyppiä. Tunneleita ovat esikompostointi- ja hygienisointitunnelit.

Ensimmäinen kompostoinnin vaihe on esikompostointi, kuten kuvasta 1 voidaan huomata. Esikompostointitunneli täytetään hihnalla, joka kulkee tunnelia edestakaisin pudottamalla tasaisiksi kerroksiksi biojätettä. Esikompostointivaihe kestää 5–11 vuorokautta [9]. Tämän ajanjakson jälkeen tunnelin ovet avataan ja prosessi etenee seuraavaan vaiheeseen.

Esikompostoinnin jälkeen pyöräkuormaaja tyhjentää tunnelin kompostista ja syöttää sen seulaan. Tässä seulonnan vaiheessa on tarkoituksena poistaa mahdollisimman paljon vierasaineita materiaalista. Komposti kulkee kahden tuuliseulan lävitse. Molemmista seuloista syntyy oma ylitkasansa – karkea ylite ja väliylite, joita käytetään uudelleen kompostin tukiaineena. Toisessa tuuliseulassa on myös magneetti, jonka tarkoituksena on poistaa magneettiset metalliesineet, kuten esimerkiksi ruokailuvälineet ja tölkit.

Kun komposti on seulottu, pyöräkuormaaja siirtää sen hygienisointitunneliin. Hygienisointitunnelin tarkoitus on kuumentaa komposti sille tasolle, että haitallisten bakteerien eliminoituminen mahdollistuu. Komposti voidaan todeta saavuttaneen riittävän hygieenisyytason, kun komposti on ollut tunnelissa kolme vuorokautta 55 °C:ssa. Lämpötilaa mitataan tunnelin poistoilmasta. Kompostista otetaan lisäksi myös kuukausittain näytteitä, joista tutkitaan *Salmonella*- ja *Escherichia coli* -bakteerit. Hygieeniseksi toteamisen jälkeen komposti kuljetetaan jälkikypsytykseen kompostiaumoihin.

2.2.4 Biokaasuvoimala

Luvussa 2.2.2 esitelty mädätys biokaasulaitoksessa on biokaasuvoimalan keskeisimpiä prosessin vaiheita. Mädätyksessä biojätteestä saadaan kerättyä biokaasua jatkokäsittelyjä varten. Ämmässuon biokaasuvoimalassa vuonna 2019 syntyi 5 100 363 Nm³ eli normaalikuutiota biokaasua. Ämmässuon vuosiraportissa 2019 on arvioitu, että 200 m³ kaasua syntyy tuhannesta kilosta biojätettä. [3.]

Kuten aiemmin mainittu, biokaasua saadaan kerättyä mädätyksen avulla. Biokaasu kerätään alipaineen avulla ja varastoidaan 1 500 m³:n kokoiseen säiliöön [8]. Varastoinnin jälkeen biokaasu ohjataan biokaasupumppamolle, jossa kaasu jäähdytetään ja pumpataan edelleen biokaasuvoimalaan, jossa on kaksi 1,56 MW:n tehoista moottoria [3].

Ämmässuon biojätteen käsittelyn kaasuvoimala on CHP-laitos, eli prosessissa syntyy niin sähköä kuin myös lämpöä. Vuonna 2019 tuotettiin 11 919 MWh sähköä ja 10 151 MWh lämpöä. Lämpö käytettiin alueen prosessien lämmittämiseen. [3.]

Ämmässuon biokaasuvoimalassa on käytössä oma ORC-yksikkö eli organic rankine cycle, jolla lämpöä muutetaan sähköksi. ORC-yksikkö kerää kuumaa pakokaasua prosessista ja hyödyntää sen energiaksi. ORC tuottaa sähköä noin 414 MWh. [10, s. 54, 56.] Sen lämmönsiirtimenä toimii vesi tai glykoliseos ja kylmäaineena tolueeni. ORC käyttää turbogeneraattoria muuntaakseen mekaanista työtä sähköksi. [11.]

2.2.5 Kenttätoiminta

Kenttätoimintaan kuuluu kompostin jälkikypsytyks aumoissa, aumojen kääntäminen, materiaalien siirtäminen, kompostin seulonta, risujen, puiden ja kantojen murskaaminen sekä multatuotanto.

Komposti tuodaan viimeisestä tunnelivaiheesta jälkikypsytykskentälle kompostoitumaan aumoihin. Kentällä on 37 aumapaikkaa, mutta aumojen määrä vaihtelee esimerkiksi vuodenaikojen mukaan. Aumat kypsyvät olosuhteiden mukaan 4–12 kuukautta [9].

Kompostiaumoja käännetään 2–3 viikon välein. Kääntöjen tarkoituksena on möyhentää sekä ilmastaa kompostia ja näin nopeuttaa kompostoitumisprosessia ja parantaa kompostin laatua.

Kun komposti on todettu joko silmämääräisesti tai laboratorioanalyysin riittävän kypsäksi, se kerätään varastokasaan tai seulotaan suoraan aumasta. Seulonta tapahtuu urakoitsijan toimesta rumpuseulalla. Seulonnan tarkoituksena on erotella kompostin seasta vierasaineita sekä puutikkuja, joista muodostuu kompostin ylite. Alite on hieno aines, josta lopulta muodostuu lopputuote, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi multatuotannossa tai maanparannustuotteena maanviljelyssä.

Ämmässuolla valmistetaan vuosittain multaa myytäväksi noin 1 500 tonnia sekä kaatopaikan pintarakenteisiin 5 000–8 000 tonnia. Multatuotannossa materiaalit syötetään pyöräkuormaajalla seulaan, joka sekoittaa materiaalit keskenään. Mullan materiaaleina käytetään kompostia, hiekkaa ja turvetta.

Näiden edellä mainittujen kenttätoimintojen lisäksi Ämmässuon biojätteen käsittelyn kentillä käsitellään puumateriaaleja. Materiaaleihin kuuluu risut, kannot sekä puhdas puu. Käsittely tapahtuu murskaimella. Urakoitsija syöttää pyöräkuormaajalla puumateriaalia murskaimeen, jossa on magneetti metallin erottamiseksi. Tämän jälkeen murskattu puu välivarastoidaan ja hyödynnetään myöhemmin joko kompostointilaitoksen tukiainemateriaalina tai viedään energiahyödynnettäväksi eri polttolaitoksille.

Ämmässuon kenttäalueilla liikkuu paljon raskaita ajoneuvoja. Liikenteessä on päivittäin niin pyöräkuormaajia kuin myös rekkoja.

2.2.6 Ilmanpuhdistus

Biojätteen käsittelyn ympäristölupa edellyttää, että biojätteen käsittelylaitoksesta ympäristöön johdettava ilma puhdistetaan. Ilmanpuhdistuksen toimivuus varmistetaan vuosittaisilla näytteenotoilla. Näytteenottopisteinä toimivat biopesuri, happopesuri sekä biosuotimet. Näytteistä tutkitaan hajupitoisuus sekä ammoniakki. Biojätteen käsittelyn ympäristöluvan mukaan ilmanpuhdistuksen poistokaasun tulee saavuttaa 90 %:n reduktio ammoniakin ja hajupitoisuuksien vuosikeskiarvoista laskettuna. Toinen vaihtoehto luvan määräysten täyttämiseen on, että ammoniakin vuosikeskiarvo on alle 5 ppm ja hajupitoisuuden tulee olla alle 2500 ouE/m³. [3.] Yksikkö ouE/m³ kuvaa kuinka paljon hajuyksiköitä on yhdessä kuutiossa [12, s. 3].

Biopesuri

Biopesurin päätarkoitus on esipuhdistaa ilmaa ja minimoida ilman ammoniakkipitoisuus. Biopesurissa ei käytetä kemikaaleja, vaan prosessi on täysin biologinen. Puhdistus perustuu mikrobitoimintaan. Ämmäsuolla toimivan biopesurin kapasiteetti on parhaimmillaan 220 000 m³/h. [13, s. 7.]

Biopesuriin ohjataan prosessissa syntynyttä ilmaa. Ensin ilmaa jäähdytetään, koska tullessaan ilman lämpötila on 46 °C. Jäähdytys tapahtuu ruiskuttamalla suotovesisäiliöstä vettä ilman päälle. [13, s. 9.]

Jäähdytyksen jälkeen ilma ohjataan biopesurikammioihin. Kammioissa on hakepatja ja ruiskutusjärjestelmä. Kiertävä vesi, johon on liuennut ammoniakki, johdetaan vedenpuhdistusjärjestelmän kautta ruiskutusjärjestelmään. Aerobisesti käsitelty vesi aiheuttaa nitrifikaation ja lopulta ammoniakki muuttuu typpikaasuksi, joka johdetaan ympäristöön. [13, s. 9.]

Seuraavaksi puhaltimet ohjaavat ilman biosuotimiin [13, s. 10]. Biosuotimien toiminnasta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

Biopesurin vesi kiertää systeemissä eikä välttämättä vaadi veden lisäystä. Toisinaan pesun tehostamiseksi vesi on hyvä vaihtaa vähintäänkin osittain. Vuonna 2019 biopesuriin tehtiin parannuksia, kun ammoniakkipitoisuuksien todettiin olleen liian korkeat. Yksi keino laadun parantamiseen oli veden vaihto. Lisäksi myös jäähdytyksen vesisuuttimet puhdistettiin sekä paineilmajärjestelmälle tehtiin parannuksia. [3.]

Biosuotimet

Biosuotimiin ilma ohjautuu biopesurin jälkeen. Biosuotimissa on noin 2 m korkea hakekerros, jonka läpi ilma ohjataan. Tarvittaessa hakekerros voidaan kastella kastelujärjestelmällä. [8.]

Biosuotimien toiminta perustuu myöskin mikrobitoimintaan. Pääasiallinen tarkoitus on vähentää hajupäästöjä. [8.]

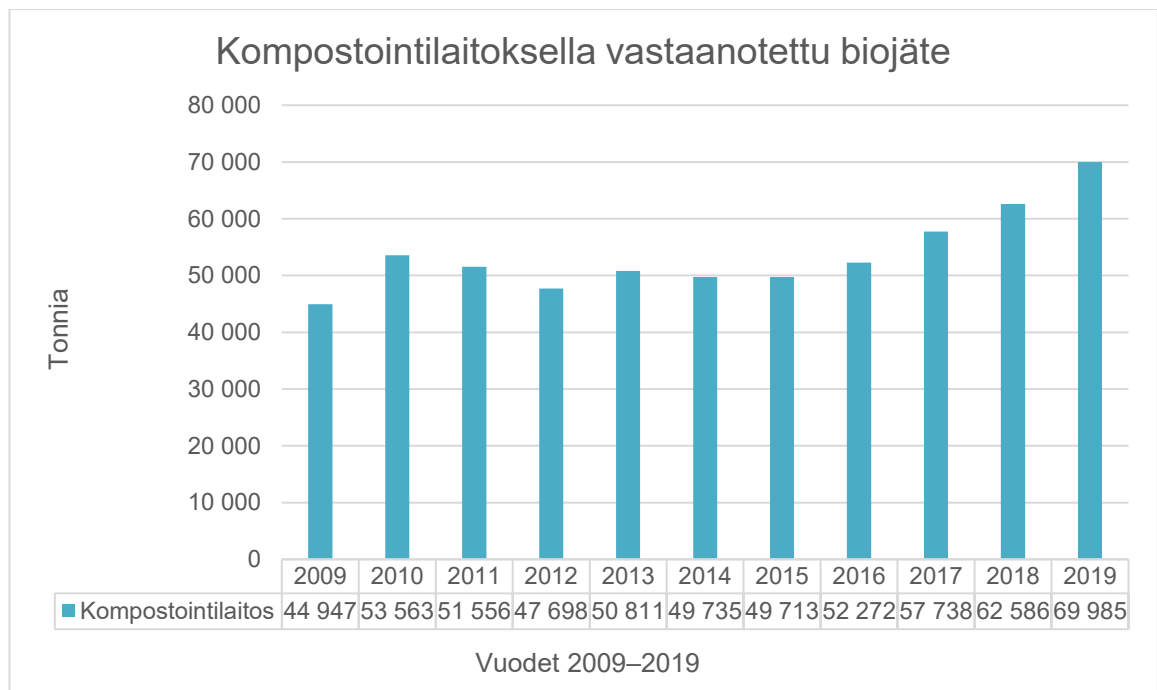
2.2.7 Tukiainehalli

Tukiainehallissa kuivataan ja varastoidaan kompostoinnissa käytettäviä tukiaineita. Tukiaineita ovat risu-, kanto- ja puuhake sekä ylitteet kenttätoiminnoista ja kompostointilaitokselta.

Tukiainehallin pohjassa on ilmankiertojärjestelmä, jonka avulla tukiaine saadaan kuiva-tettua. Lisäksi tukiainehallin tuloilmaa lämmitetään paremman lopputuloksen takaa-miseksi. Hallin sisältä imetään ilmaa ja johdetaan käsittelyyn vanhan kompostointilaitok-sen happopesuriin ja biosuodattimeen. [8.]

2.3 Vastaanotto ja tilastot

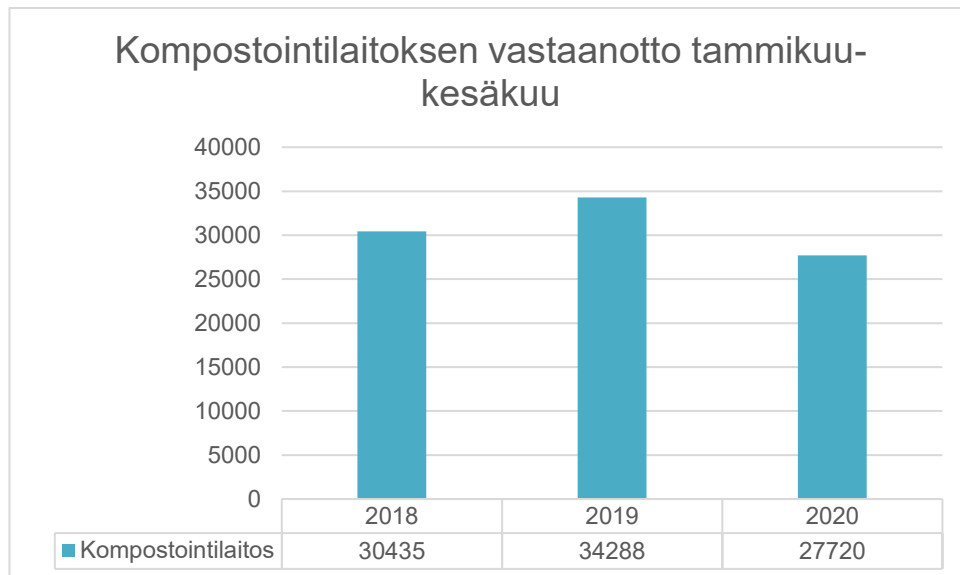
Vuosi 2019 oli viime vuosiin nähden poikkeuksellinen, sillä jätteen vastaanottomäärät olivat huomattavasti korkeammat edellisvuosiin verrattuna. Vuonna 2019 biojätettä käsiteltiin Ämmässuon kompostointilaitoksella 69 984,98 tonnia (kuva 2). Näihin käsiteltyihin jätteisiin kuuluu kotitalousbiojäte, yritysbiojäte, sekajäte sekä eläintenkuivikkeet. Sekajätteen osuus on hyvin pieni, ja niiden vastaanotto on yleensä erehdyksen seurausta. Mainitussa tonnimäärässä on laskettu mukaan vain kotitalous- ja yritysbiojätteen osuudet.



Kuva 4. Kompostointilaitokselle vastaanotetut biojätetonnit vuosilta 2009–2019 [14].

Kuvan 2 pylväsdiagrammista voidaan huomata, että käsitellyn biojätteen määrä on noussut joka vuosi tasaisesti. HSY:n vaakajärjestelmän kautta kerätystä datasta on nähtävissä, että yritysbiojätteen määrä on kasvanut enemmän kuin kotitalousbiojätteen vuosien 2017–2019 aikana. Yritysbiojäte kattaa kauppojen, koulujen sekä ravintoloiden biojätteet.

Vuosi 2020 kuitenkin alkoi poikkeavammin kuin aiemmat vuodet. Kuvassa 3 esitetään pylväsdiagrammissa dataa tammi-kesäkuulta vuosilta 2018–2020. Kuvaajasta voi huomata, että vuoden 2020 ensimmäisellä puolikkaalla jätteen vastaanottomäärät ovat vähentyneet huomattavasti.



Kuva 5. Kompostointilaitokselle vastaanotetut biojätetonnit tammi-kesäkuulta vuosilta 2018–2020 [14].

Vuoden 2020 laskun syynä saattaa olla Covid-19-pandemian vuoksi tulleet rajoitukset (koulut sekä ravintolat suljettuina) sekä yritysbiojätteen johtaminen toiseen käsittelylaitokseen. Laskua ei myöskään välttämättä tarvitse pitää poikkeavana, vaan vuoden 2019 nousu on ollut tilastoissa poikkeus. Vuonna 2020 määrät ovat alkaneet tasoittua aiempien vuosien vastaanottomäärien tasolle (kuva 2).

Vuoden 2018 tilastot ovat olleen melko tyypillisiä aiempiin vuosiin verrattuna. Kuten aiemmin mainitti, biojätteen määrä on kasvanut tasaisesti, mutta vuoden 2019 kaltaista harppausta ei ole tapahtunut.

3 Kasvihuonekaasujen tarkastelu

3.1 Yleisesti

Hiilijalanjäljen määrittämisen avulla organisaatio tai yksityishenkilö saa hyödyllistä informaatiota omien valintojen vaikutuksista ilmastonmuutokseen. Määrittämisen avulla voidaan löytää suurimmat kasvihuonekaasupäästöjen lähteet ja samalla luodaan mahdollisuus niiden pienentämiseen tai kokonaan poistamiseen [15, s. 8].

Ihmisten tietoisuus ja ymmärrys ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmästä on lisääntynyt. Jotta tuloksista saadaan totuudenmukaisia ja luotettavia, on tätä varten laadittu standardeja. Standardien tarkoitus on yhdenmukaistaa laskentamenetelmät, jotta tulokset ovat läpinäkyviä ja vertailukelpoisia [15, s. 5]. Hiilijalanjäljen määrittämisessä hyödynnettäviä standardeja ovat esimerkiksi ISO 14040, ISO 14044 ja ISO 14067.

Tässä työssä ei noudateta tarkasti edellä mainittuja standardeja, joten kyseessä ei ole virallinen hiilijalanjäljen laskenta. Työ on rajattu valikoituihin prosesseihin sekä kolmeen merkittävimpään kasvihuonekaasuun.

3.2 Kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasut ovat kaasuja, jotka vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen kasvihuoneilmiön myötä. Kasvihuonekaasuja ovat

- hiilidioksidi CO₂
- metaani CH₄
- dityppioksidi N₂O
- HFC-yhdisteet
- PFC-yhdisteet
- SF₆
- CFC-yhdisteet
- HCFC-yhdisteet
- halonit. [16.]

Tässä insinööriyössä tarkasteltaviksi kasvihuonekaasuiksi on valittu hiilidioksidi, metaani sekä dityppioksidi. Nämä kolme kasvihuonekaasua ovat biojätteen käsittelyn sekä ylipäättään kasvihuoneilmion merkittävimmät päästöt. Seuraavissa kappaleissa tullaan perehtymään valittuihin kasvihuonekaasuihin tarkemmin.

3.2.1 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on yksi puhutuimmista kasvihuonekaasuista. Hiilidioksidia syntyy poikkeuksetta kompostoinnissa, niin aerobisessa kuin myös anaerobisessa prosessissa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n tutkimuksen mukaan kompostoinnin hiilidioksidipäästöjä ei tarvitse huomioida kasvihuonekaasuja mitattaessa, sillä päästölähteenä on uusiutuva materiaali [17].

Kompostoinnista ja hiilidioksidista puhutaan varsin vähän, vaikka aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että hiilidioksidilla ja metaanilla on kompostoinnissa yhteyksiä. Nguyen Thanh Phongin tutkimuksen ”Greenhouse Gas Emissions from Composting and Anaerobic Digestion Plants” mukaan CO_2/CH_4 -suhteella voidaan tarkastella, onko kompostiauman tila anaerobinen vai aerobinen. Mikäli hiilidioksidipitoisuus on suurempi kuin metaanipitoisuus, auman prosessi on aerobinen. Tähän yleensä viittaa myös se, että aumassa on O_2 :ta eli happea. [18, s. 18, 22.]

Hapen määrä vähenee mitä syvemmälle aumaan mennään. Phongin tutkimuksen mukaan hapen väheneminen taas kasvattaa metaanin ja hiilidioksidin pitoisuuksia, ja näitä yhdisteitä löytyikin Phongin tutkimuksessa eniten auman keskiosista. Hiilidioksidia siis ilmenee niin aerobisissa kuin myös anaerobisissa olosuhteissa. Anaerobisissa olosuhteissa hiilidioksidin lisäksi syntyy metaania, kun taas aerobisissa olosuhteissa syntyy H_2O :ta eli vettä. [18, s. 17–18.]

Mädätyksen yhteydessä hiilidioksidia syntyy eri mädätysprosessin vaiheissa. Vaiheet, joissa hiilidioksidia syntyy ovat

- asidogeneesi
- asetogeneesi
- metanogeneesi. [22, s. 47–48.]

Lisäksi hiilidioksidia muodostuu biojätteen käsittelyssä eri työkoneiden polttoainekulutuksesta. VTT:n tietokannasta (2016) käy ilmi, että pyöräkuormaaja tuottaa hiilidioksidipäästöjä 2 655 g/polttoainelitra [19]. Ämmäsuolla pyöräkuormaajat käyttävät kevyttä polttoöljyä [10, s. 42].

3.2.2 Metaani

Metaani on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista ja näin ollen myös merkittävä tekijä ilmaston lämpenemisessä [20]. Metaani lämmittää ilmaa 25 kertaa enemmän kuin hiilidioksidi [21]. Lisäksi näiden kahden kasvihuonekaasun ero ilmaston lämmittäjinä on se, että hiilidioksidi on pitkäkestoinen kaasu ja metaani on lyhytkestoinen [20].

Metaanin määrä on viime vuosien aikana kasvanut ilmakehässä. Syitä kasvuun on useita, ja osa syistä perustuu ihmisen toimintaan. Metaania vapautuu myös luonnollisesti. Suurimpia luonnollisia metaanilähteitä ovat esimerkiksi kosteikot, meret, eläimet sekä ikirouta. Ihmisen toiminnan seurauksena metaania vapautuu ilmakehään esimerkiksi hiilikaivoksista, kaasu- ja öljyteollisuudesta, kaatopaikoilta, riisin viljelystä sekä biomassojen palamisesta. Biomassojen palaminen voi olla joko ihmisen tai luonnon aiheuttamaa. [22, s. 5.]

Metaania syntyy orgaanisen aineen hajotessa anaerobisesti metanogeenien avulla. Hajoaminen on monimutkainen syntrofinen prosessi, eli se vaatii anaerobisten bakteerien sekä metanogeenisten arkeonien yhteistyön. Metanogeenit ovat anaerobisia mikro-organismeja, jotka tuottavat metaania. [22, s. 14.]

Prosessissa muodostuu substraatteja, joita metanogeenit hyödyntävät. Aluksi polysakkarideista muodostuu sokereita, proteiinit taas muuntautuvat aminohapposeoksiksi ja pieniksi peptideiksi. Lipidit hajoavat glyseroliksi ja pitkiksi rasvahapoiksi. Käymistä edistävät bakteerit hajoavat helposti hajoaviksi yhdisteiksi, kuten esimerkiksi sokereiksi ja hiilidioksidiksi. [22, s. 14.] Tätä vaihetta kutsutaan hydrolyysiksi [18, s. 48]. Seuraavassa vaiheessa asetogeeniset bakteerit hajottavat rasvahappoja asetoniksi, hiilidioksidiksi,

vedyksi ja formiaatiksi. Näitä aiemmin mainittuja yhdisteitä metanogeenit lopulta hyödyn-tävät metaanin tuottamisessa. [22, s. 14.] Nämä vaiheet ovat asidogeneesi ja metano-geneesi [18, s. 48].

Ämmäsuolla anaerobinen reaktio tapahtuu biojätteen mädätyksessä. Mädätyksessä syntynyt kaasu kerätään ja hyödynnetään sähkön ja lämmön tuotannossa. Vuonna 2019 Ämmäsuon biojätteen käsittelyn tuottaman biokaasun keskiarvoinen metaanin osuus oli 59 %. [3.]

Phongin tutkimuksessa todettiin, että metaanipäästöt ovat korkeimmillaan isoissa aumoissa niiden keskiosissa [18, s. 4, 23.]. Kuten aiemmin todettu, metaania muodostuu anaerobisessa prosessissa. Phongin tutkimuksen mukaan kompostin hyvä ilmastaminen ja tiheä kääntöväli vähentävät metaanin muodostumista. [18, s. 29.]

Kompostoinnissa voi aerobisesti syntyä metaania esimerkiksi metylootrofi-bakteerien avulla [23, s. 15]. Yleisempää kuitenkin on, että metaanipäästöt muodostuvat anaerobi-esti. Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksen kompostoinnin metaanipitoisuuksiin voi vaikuttaa mädäte, joka lisätään prosessissa kompostin sekaan. Mädäte on märkää, ja siinä voi olla yhä käynnissä anaerobinen prosessi. Kosteudella on suuri merkitys metaa-nipäästöihin. Jos komposti on liian kostea, sen rakenteissa ei kierrä riittävästi ilma ja tällöin luodaan mätänemiselle suotuisat olosuhteet.

3.2.3 Dityppioksidi

Dityppioksidia syntyy denitrifikaatiossa ja nitrifikaatiossa. Dityppioksidia voi siis syntyä niin anaerobisissa kuin myös aerobisissa prosesseissa. [18, s. 4.]

Denitrifikaatiossa N_2O eli dityppioksidi syntyy biokemiallisen prosessin seurauksena an-aerobisissa olosuhteissa. Prosessissa ammoniakki muuttuu nitraatiksi ja sitten pelkistyy nitriitiksi. Tämän jälkeen nitriitti taas pelkistyy typpioksidiksi (NO). Seuraavaksi typpiok-

sidista muodostuu dityppioksidi (N_2O). Dityppioksidi on kuitenkin vain niin sanotusti väli-vaihe ja on mahdollista, että denitrifikaatio jatkuu pidemmälle siten, että lopulta syntyy typpikaasua (N_2). [24, s. 2.]

Vaikka denitrifikaatio on anaerobinen prosessi, kompostoinnissa on silti havaittu seuraavanlaisia denitrifikaatiota edistäviä bakteereja: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Sphingomonas*, *Flavobacterium*. Denitrifikaatiota muodostavia bakteereja ei juuri ole tavattu kuumissa olosuhteissa, mikä rajaa dityppioksidin syntymisen mahdollisuuksia kompostoinnin kuumassa vaiheessa. Mingzi Shin ym. tutkimuksessa on todettu, että denitrifikaatiota esiintyy, kun komposti alkaa olemaan melko kypsää. Denitrifikaatiota esiintyy myös melko raaissa materiaaleissa, joissa kuumentuminen ei ole vielä alkanut. Heidän tutkimuksessaan käy ilmi, että mikrobeille ihanteellisin lämpötila on 25–35 °C. Tärkeää denitrifikaatiossa on typpi- ja nestepitoisuus, sillä korkea nestepitoisuus tukee denitrifikaatiota luomalla hapettomat olosuhteet sulkemalla ilma-aukot. [24, s. 2, 4–5.]

Sen lisäksi, että denitrifikaatiossa vapautuu ilmaan kasvihuoneilmiötä aiheuttavaa kaasua – dityppioksidia, on se myös haitallista kompostoinnille. Kompostoinnissa avainasemassa on typen määrä. Denitrifikaatiossa typpeä vapautuu joko typpidioksidina tai typpikaasuna. Tämä vapautuminen aiheuttaa typpihäviötä, jota kompostoinnissa pyritään välttämään. [24, s. 2–3.] Typpihäviön syynä on joko nitraatti tai nitriitti, sillä näiden yhdisteiden määrä vaikuttaa dityppioksidin määrään [18, s. 20].

Denitrifikaatioon kompostoinnissa voi vaikuttaa liiallinen kosteus. Kosteus aiheuttaa anaerobisia olosuhteita estämällä ilman kiertämisen kompostissa. Kuten aiemmin todettu, denitrifikaatiota voi kuitenkin myös esiintyä aerobisessa ympäristössä, jollainen kompostin kuuluisi ideaalitalanteessa olla. [24, s. 2, 5.] Denitrifikaation lisäksi aerobisissa olosuhteissa dityppioksidia syntyy nitrifikaation seurauksena [25, s. 120].

Nitrifikaatiossa dityppioksidi syntyy sivutuotteena. Cáceresin ym. tutkimuksessa on todettu, että nitrifikaatio toteutuu pääosin kompostoinnin loppuvaiheilla, kun komposti alkaa jäähtymään ja saavuttamaan kypsyyden. Dityppioksidi syntyy nitrifikaatiossa silloin, kun nitrifikaatio on epätäydellinen. Dityppioksidi ei siis ole suora tuote nitrifikaation seurauksena. [25, s. 133.]

Nitrifikaatioon vaikuttavat monet eri tekijät, kuten esimerkiksi ammoniakkin ja ammoniumionien määrä. Näiden lisäksi myös kosteus on tärkeässä roolissa. Liiallinen märkyys voi estää nitrifikaatiota, koska märkä massa voi tiivistyessä pienentää ilma-aukkoja ja näin ollen luoda anaerobisia olosuhteita. [25, s. 127.]

Kompostoinnin lisäksi dityppioksidia muodostuu biojätteen käsittelyn konetöistä. VTT:n tietokannan (2016) mukaan pyöräkuormaaja tuottaa 0,046 g/polttoainelitra dityppioksidipäästöjä [19].

4 Inventaarioanalyysi biojätteen käsittelylle

4.1 Päästömittausten toteutus

Kasvihuonekaasujen mittaus toteutettiin FTIR-tekniikkaan pohjautuvalla mittalaitteella. FTIR on lyhenne sanoista Fourier Transform Infrared. Sen avulla voidaan mitata useiden kaasujen pitoisuuksia ja spektrejä. Laitteen tekniikka perustuu siihen, että kaasujen yhdisteet altistetaan infrapunasäteille. Jokainen yhdiste tuottaa omanlaisensa spektrin, ja näin voidaan tunnistaa ja havaita eri yhdisteiden pitoisuuksia. [26.]

Näissä mittauksissa tutkimus suoritettiin Gasmel DX4000 -analysaattorilla sekä näytteenottoyksiköllä. Lisäksi käytössä oli tietokone mittaustenohjausta varten sekä 3000 W aggregaatti, joka mahdollisti kenttätyöskentelyn tuottamalla mittaussyksikköön käyttösähkön. Kuvassa 6 näkyy mittauksissa käytetyt laitteet auton lavalla. Kuvassa keltainen laite vasemmassa laidassa on itse analysaattori, keskellä on letkua ja päässä sininen sondi, oikeassa laidassa on näytteenottoyksikkö ja lavan perällä on aggregaatti.



Kuva 6. Mittalaitteet ja aggregaatti auton lavalla

Mittaukset aloitettiin laitteen lämmittämällä ja kalibroinnilla. Mittalaitteen tulee lämmetä 180 °C:seen ennen käytön aloittamista. Lämpenemisen jälkeen aloitettiin kalibrointi, joka tapahtui typpikaasua käyttämällä. Näytteenottoyksikköön liitettiin letku, joka syötti mitausyksikköön typpikaasua. Tietokoneelta analysaattori asetettiin tekemään taustahuuhtelun sekä taustamittaukset. Taustojen huuhtelun sekä mittauksen avulla tehdään kalibrointi ja varmistetaan laitteen toimivuus. Kalibroinnin jälkeen itse laite on valmis mittauksiin.

Mittauksia varten laadittiin mittaus suunnitelma, mutta eri tekijöiden takia suunnitelmaa ei voitu noudattaa. Eniten suunnitelman muutoksia aiheutti hygienisointitunnelin päästömittaukset. Tämä johtuu siitä, että hygienisointitunnelin avaamista ei voida ennustaa useampaa päivää aiemmin. Ongelmia tuli siis aikataulujen ja yllättävien muuttujien takia. Mittauksia oli tarkoitus tehdä 19.11.2020–3.12.2020, mutta suunnitelmamuutoksien myötä mittauksia lopulta tehtiin 27.11.2020–14.12.2020 Taulukossa 1 on kuvattu toteutuneet mittaukset päivämäärien ja mittauspisteiden mukaisesti.

Taulukko 1. Toteutuneet mittaukset päivämäärittäin

Mittauspiste	27.11.	30.11.	2.12.	3.12.	4.12.	7.12.	8.12.	10.12.	11.12.	14.12.
Aumat	X		X	X		X		X		X
Ylitteet	X		X	X		X		X		X
Hygienisointi					X			X		X
Piiput		X		X			X		X	

Aumojen ja ylitteiden päästöjen mittaus

Aumojen ja ylitteiden päästöjen mittauksissa käytettiin apuvälineenä huuva, jotta muiden ilmapäästöjen päätyminen sondiin saataisiin minimoitua. Huuva on metallinen kammiot, jonka pohjan pinta-ala on 0,89 m². Huuva kapenee huippua kohti mentäessä kokoon 0,009 m². Kuvassa 5 mittaus suoritetaan kompostiaumasta huuvan avulla. Huuvan suu peitettiin muovipussilla. Myös huuvan helmat pyrittiin peittämään kompostilla, jotta ulkoilmaa ei päätyisi huuvan sisäpuolelle ja, jotta mitattava ilma ei kontaminoituisi. Niin aumoista kuin ylitteistäkin, kustakin mitattiin jokaisella mittauskerralla 6 minuutin ajan.



Kuva 7. Mittausta kompostiaumasta huuvan avulla

Hygienisoidun kompostin päästöjen mittaus

Hygienisointitunnelista tulevasta kompostista mitattiin päästöt, sillä vuonna 2018 komposti meni suoraan jälkikypsytyksentälle aumaan hygienisointitunnelista. Mittaushetkellä tällaista aumaa ei ollut saatavilla. Mittaus siis suoritettiin puolillaan olleesta hygienisointitunnelista (kuva 6). Kahdella viimeisellä mittauskerralla mittaus suoritettiin koskemattomasta tunnelista. Jokaisella mittauskerralla mitattiin 10 minuutin ajan.



Kuva 8. Hygienesointitunnelin mittaus

Hygienesointitunnelin päästöjen mittauksissa hyödynnettiin myöskin aiemmin mainittua huuva. Huuva asetettiin kompostikasaan kuvan 8 mukaisesti. Hygienesointitunnelin mittauksissa piti huomioida aikataulut. Hygienesointitunneli avataan arviolta kaksi kertaa viikossa. Tunnelin avaamiselle ei ole määritetty tarkkoja ajankohtia, vaan avaamiseen vaikuttaa esimerkiksi, kuinka nopeasti aiempi tunneli on täytetty uudella tavaralla.

Piippujen päästöjen mittaus

Poistoilman piipun varressa on putki, josta ilmaa johdetaan piippuun. Tässä vaakatasossa olevassa putkessa on näytteenottoon soveltuva aukko (kuva 9). Mittauksessa piti huomioida, että liiallinen kosteus ei vaikuta mittaustuloksiin. Piippujen mittauksia varten myös sondi kytkettiin verkkovirtaan, jotta myös sondi saatiin lämmitettyä. Sondi on kuvassa 9 näkyvä sininen objekti, joka toimii näytteen kerääjänä. Lämmittämisellä ehkäistään vesihöyryn kondensoitumista.



Kuva 9. Mittausta piipusta

Piipuista mitattiin jokaisella mittaus kerralla 10 minuutin ajan. Piipuista ja hygienisointi-tunnelista mitattiin pidemmät ajan jaksot, sillä toistoa tuli huomattavasti vähemmän kuin aumoista ja ylitteistä mitattaessa.

4.2 Päästömittausten tulokset

4.2.1 Kenttätoiminta

Väliylite ja karkea ylite

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty ylitteiden päiväkohtaiset kasvihuonekaasujen keskiarvotulokset. Tuloksien yksikkö on ppm. Keskiarvo on laskettu jokaisen mittauspäivän tuloksista.

Taulukko 2. Karkean ylitteen päiväkohtaiset kasvihuonekaasujen keskiarvotulokset

Karkea ylite (ppm)			
Päivämäärä	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
ke 2.12.	1 078	0,3	8,3
to 3.12.	686	0,3	9,0
pe 7.12.	658	0,1	7,1
to 10.12.	615	0,04	9,0
ma 14.12.	756	2,2	1,8

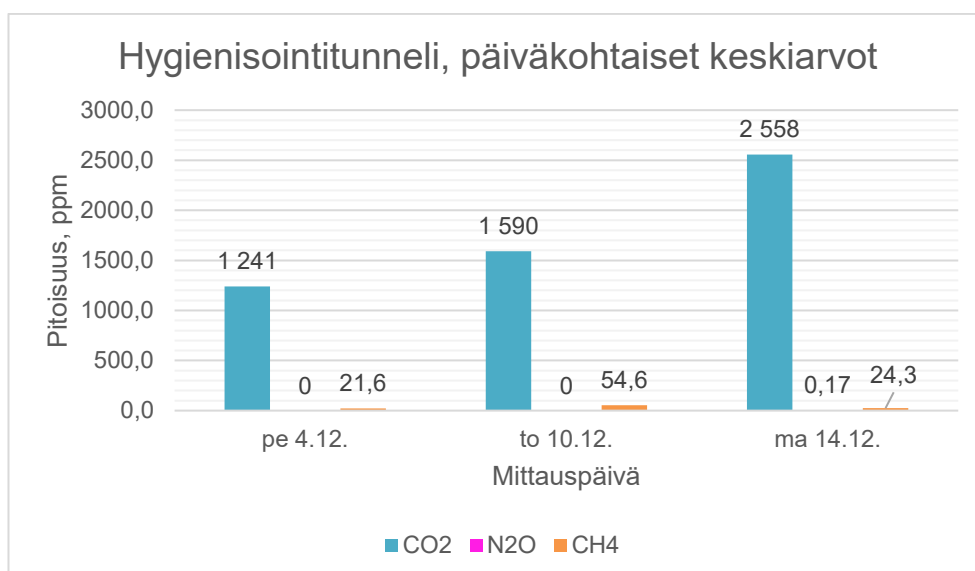
Taulukko 3. Väliylitteen päiväkohtaiset kasvihuonekaasujen keskiarvotulokset

Väliylite (ppm)			
Päivämäärä	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
ke 2.12.	756	0,1	8,2
to 3.12.	498	0,3	2,6
pe 7.12.	476	0,1	2,9
to 10.12.	448	0,1	2,2
ma 14.12.	684	0,2	2,4

Hygienisointitunneli

Hygienisointitunneli kuvastaa näissä tuloksissa tuoretta kompostiaumaa, joka on juuri valmistunut kentälle. Kuten aiemmin mainittu, tällä hetkellä tällaisia aumoja ei valmistu, joten mittauksia sovellettiin tältä erää.

Kuvassa 10 on esitetty hygienisointitunnelin mittaustulokset. Tulokset on ilmoitettu päivän mittaustulosten keskiarvona. Perjantaina 4.12. näyte otettiin puolillaan olevasta tunnelista ja torstaina 10.12. sekä maanantaina 14.12. näyte otettiin koskemattomasta tunnelista.



Kuva 10. Hygienisointitunnelin mittaustulosten mediaani

Aumat B146 ja B147

Mittaukset tehtiin kahdelle eri-ikäiselle biojätekompostiaumalle. Molemmat aumat on käsitelty sekä uudella kompostointilaitoksella, että vanhalla kompostointilaitoksella jälkikypsytystunnelissa. Vuoden 2018 kompostointiprosessi eroaa merkittävästi vuoden 2020 kompostoinnista jälkikypsytystunnelin käytön myötä. Tämä on huomioitu aumojen iässä lisäämällä kentällä kypsyäisaikaan 30 vuorokautta.

Kompostiaumat olivat tunnuksiltaan B146 ja B147. B146 on valmistunut jälkikypsytykentälle 28.9.2020 ja B147 on valmistunut 23.10.2020. Kentällä olleeseen aikaan lisätään aiemmin mainittu 30 vuorokautta edellä mainittujen prosessien eroavaisuuksien takia. Tämä tarkoittaa sitä, että mittausten aikaan auma B146 oli 90–107 vuorokauden ikäinen ja auma B147 oli 65–82 vuorokauden ikäinen.

Kuten taulukoista 4 ja 5 voidaan huomata, hiilidioksidipäästöt ovat tuhansia kertoja suuremmat kuin dityppioksidi- ja metaanipäästöt.

Taulukko 4. Auman B146 mittauspäivien keskiarvot

B146 (ppm)			
Päivämäärä	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
pe 27.11.	5 678	0,1	56,6
to 3.12.	5 870	0,8	148,7
pe 7.12.	4 829	0,4	129,6
to 10.12.	5 668	0,1	173,3
ma 14.12.	18 567	5,3	112,4

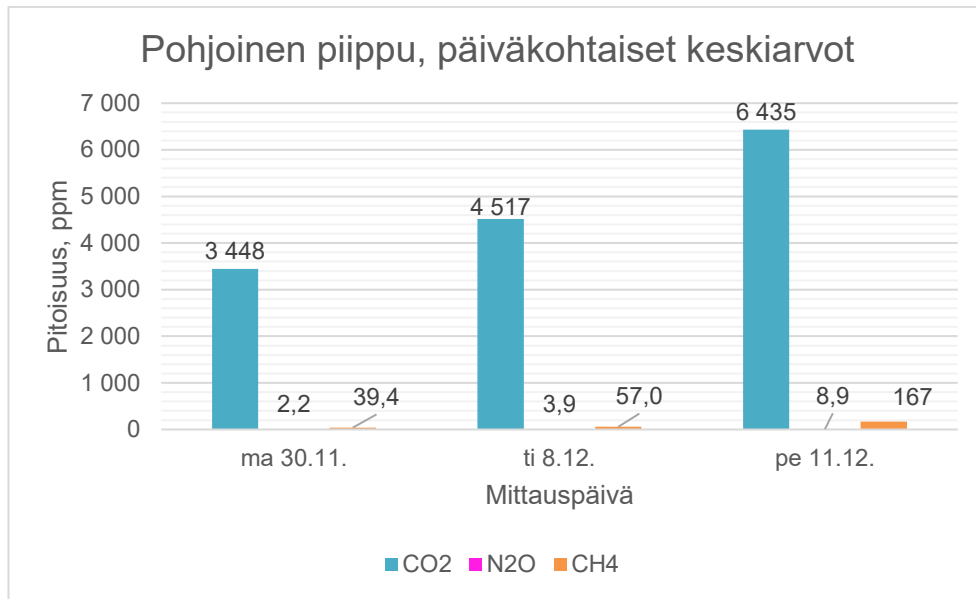
Taulukko 5. Auman B147 mittauspäivien keskiarvot

B147 (ppm)			
Päivämäärä	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
pe 27.11.	1 886	0,4	2,4
to 3.12.	3 601	1,0	21,0
pe 7.12.	3 285	0,5	21,6
to 10.12.	3 310	1,8	16,9
ma 14.12.	9 833	56,6	22,9

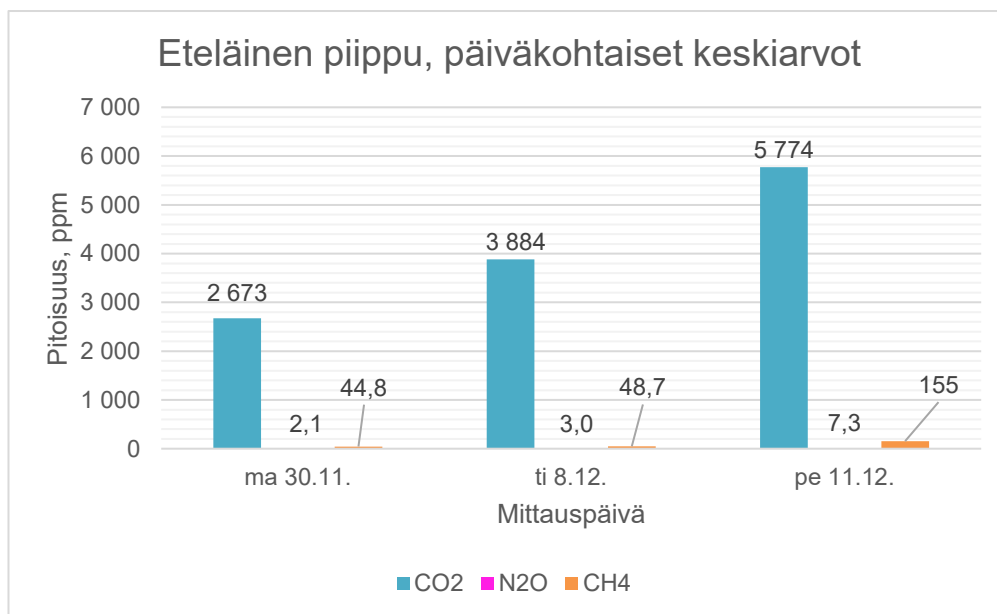
4.2.2 Kompostointilaitos

Kompostointilaitoksen piiput

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty mittaustulokset, jotka saatiin päiviltä maanantai 30.11., tiistai 8.12. ja perjantai 11.12. Tuloksista jätettiin pois 3.12. mitatut tulokset, sillä eteläisen piipun tuloksissa oli suuri poikkeama, joka olisi vääristänyt tulosta. 3.12. tulokset olivat kuvaajassa 10 esitettyjä tuloksia huomattavasti pienempiä. Kuvissa 9 ja 10 olevat tulokset on saatu laskemalla päivän mittaustulosten keskiarvo.



Kuva 11. Pohjoisen piipun mittaustulosten keskiarvot mittauspäiviltä



Kuva 12. Eteläisen piipun mittaustulosten keskiarvot mittauspäiviltä

4.3 Energian ja polttoaineiden kulutus

4.3.1 Sähkönkulutus

Sähkönkulutuksen tiedot perustuvat Nea Kantoluodon insinööriyön selvityksiin. Sähkönkulutuksen tiedot on kerätty Kantoluodon opinnäytetyöstä energiataseen osuudesta. Osa sähkönkulutuksen tiedoista on laskettu mitattujen tietojen pohjalta. Taulukossa 6 on ilmoitettu biojätteen käsittelyn kompostointilaitoksen vuosittainen kulutus mittausten ja laskelmien pohjalta. [10, s. 35.]

Taulukko 6. Biojätteen käsittelyn vuosittainen sähkönkulutus [10, s. 36].

	Vuosittainen kulutus (MWh)
Esikäsittely	
Murskain-sekoitin	120,58
Tunnelintäyttölaite	41,97
Esikäsittelylinjasto	131,40
Yhteensä	293,95
Kompostointi	
Kompressori	62,20
Konehuone	2 657,78
Yhteensä	2 782,18
Jälkikäsittely	
Tuuliseula	39,04
Murskain	110,76
Seulontalinjasto	131,40
Yhteensä	281,20
Ilman puhdistus	
Biopesuri	876,00
Yhteensä	876,00
Biojätteen käsittelyn sähkön kulutus yhteensä	4 233,32

Kuten taulukosta 6 voidaan huomata, kompostointi käyttää sähköä kaikista osaprosesseista eniten. Kantoluoto pohtii työssään, että kompostoinnin suuri sähkönkulutus voi johtua kompostointitunnelien suurista puhaltimista, joilla ilmastetaan tunneleita. Kokonaisuuudessaan biojätteen käsittelyn vuoden 2018 käsittelyprosesseilla sähkönkulutus oli noin 4 233 MWh. [10, s. 36.]

Taulukossa 6 osoitettujen sähkön kuluttajien lisäksi Kantoluodon insinööriyöstä saadaan tieto tukiainehallin sekä biokaasuvoimalan sähkönkulutuksille. Tukiainehalli otettiin käyttöön vasta vuoden 2018 lopulla, joten Kantoluoto on laskenut arvioidun tehon tarpeen mukaan vuotuisen sähkönkulutuksen tukiainehallille. Tulokseksi Kantoluoto sai 87,6 MWh, kun tehon tarve on 10 kW. [10, s. 30.]

Biokaasuvoimalan sähkönkulutus on 519,87 MWh vuodessa. Tieto on saatu syöttötariffimittauksista. Biokaasuvoimalassa sähköä kuluttaa ORC-laitteet, sähkötila, muuntajat sekä öljyhuone. [10, s. 52.]

4.3.2 Lämmönkulutus

HSY:n biojätteen käsittelyssä tuotetaan sähköä ja lämpöä biokaasun avulla. Ämmäsuolla on oma aluelämpöverkko. Alueella tuotettua lämpöä hyödyntävät niin rakennukset peruslämmitystarpeeseen kuin myös laitosten prosessit. [10, s. 29.]

Taulukossa 7 on ilmoitettu vuoden 2018 lämmönkulutus prosesseittain. Kompostointilaitos kuluttaa biojätteen käsittelyssä eniten niin sähköä kuin myös lämpöä. Tunneleiden ilman lämmittäminen vaatii huomattavan määrän energiaa.

Taulukko 7. Biojätteen käsittelyn lämmönkulutus 2018 [10, s. 31, 39, 49].

	Lämmönkulutus MWh
Kompostointilaitos	12 871
Tukiainehalli	698
Biokaasulaitos	835
Yhteensä	14 404

Kantoluoto on työssään selvittänyt, että 74 % kompostointilaitoksen lämmönkulutuksesta on mennyt prosessien lämmittämiseen. Loput 26 % on hyödynnetty kompostointilaitoksen yhteydessä olevien sosiaali- ja hallitilojen lämmittämiseen. [10, s. 41.]

Kuten sähkönkulutuksen osuudessa kerrottiin, tukiainehalli ei ollut käytössä koko vuotta 2018. Myös siis lämmönkulutuksen arvo on laskennallinen. Laskennassa käytettiin vuoden 2019 arvoja. [10, s. 31.]

4.3.3 Polttoaineenkulutus

Biojätteen käsittelyssä polttoainetta käyttää lähinnä pyöräkuormaajat. Taulukossa 8 on eritelty, miten polttoaineenkulutus jakautuu toiminnoittain.

Taulukko 8. Biojätteen käsittelyssä käytetyt polttoainelitrat eri toiminnoissa [10, s. 32, 42, 48].

	Polttoainelitra
Tukiainehalli	10 089
Kompostointilaitos	55 215
Kenttätoiminta	11 478
Yhteensä	76 782

Tukiainehallin polttoainekulutus tulee täysin pyöräkuormaajan töistä. Tukiainehallissa pyöräkuormaaja valmistaa tukiainesekoja raaka-aineista sekä tyhjentää hallia kompostointilaitoksen käyttöön.

Kompostointilaitoksessa polttoainetta kuluttaa pyöräkuormaajien lisäksi seulat. Kompostointilaitos vaatii selkeästi eniten biojätteen käsittelyn prosesseista polttoainetta.

Kenttätoimintoihin kuuluu pyöräkuormaajatoiden lisäksi myös kompostien seulonnat, multien sekoittaminen, aumojen kääntäminen sekä tukiaineiden murskaaminen. Kanto-luoto on kerännyt insinööriyöhönsä HSY:n urakoitsijoilta polttoainetiedot ja osittain laskennallisesti jakanut ne toiminnoittain. [10, s. 48.]

Kaikki biojätteen käsittelyyn kuuluvat konetyöt on suoritettu kevyellä polttoöljyllä. Kevyt polttoöljyn päästökerroin on 261,72 g CO₂/kWh ja lämpöarvo on 11,85 kWh/l [26]. Laskemalla kaikki käytetyt polttoainelitrat yhteen ja kertomalla summan tuloksen lämpöarvolla, saadaan muutettua tuloksen päästökertoimen kannalta laskettavaan muotoon. Tulokseksi tulee 909 866,7 kWh. Päästöjenlaskentaan syvennyttään luvussa viisi.

5 Laskenta ja tulokset

5.1 Mitattujen tietojen päästölaskenta

5.1.1 Kenttätoiminnot

Karkea ylite ja väliylite

Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty kompostointilaitoksen toiminnassa syntyvien ylitteiden päästöt. Ensimmäisellä rivillä ovat mittaustulokset, ilmoitettuna yksikössä ppm. Tulos on kaikkien mittauspäivien keskiarvo. Taulukon toisella rivillä on tehty yksikkömuunnos, jossa ppm on muutettu yksikköön mg/m³. Muunnoslaskussa käytettiin kaavaa 1, jossa M_i on kaasun (esim. CO₂) moolimassa.

$$C_i \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0,0409 \left(\frac{\text{mol} \times \text{mg}}{\text{g} \times \text{m}^3 \times \text{ppm}} \right) \cdot M_i \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \cdot \text{pitoisuus (ppm)} \quad [28]. \quad (1)$$

Yhtälössä 2 on laskettu esimerkkinä karkean ylitteen hiilidioksidin yksikkömuunnos.

$$C_{\text{CO}_2} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0,0409 \frac{\text{mol} \times \text{mg}}{\text{g} \times \text{m}^3 \times \text{ppm}} \cdot 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1207 \text{ ppm} = 2\,173 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

Taulukko 9. Karkean ylitteen päästöt

Karkea ylite			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Keskiarvo, ppm	1 207	0,5	8,3
Keskiarvo, mg/m ³	2 170	0,9	5,4
Laskenta, kg/vrk	120	0,1	0,3
Laskenta, kg/a	44 950	18	110

Taulukko 10. Väliylitteen päästöt

Väliylite			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Keskiarvo, ppm	630	0,2	3,6
Keskiarvo, mg/m ³	1 130	0,3	2,4
Laskenta, kg/vrk	34	0,01	0,1
Laskenta, kg/a	12 540	3,0	27

Taulukon 10 kolmannella rivillä on suoritettu laskutoimitus, jonka avulla on selvitetty, kuinka monta kilogrammaa päästöä syntyy vuorokaudessa. Tämän laskentaan tarvitaan tieto, kuinka monta kuutiota vuorokaudessa ilmaa virtaa pois ylittekasasta. Jotta päästöjen virtauksen määrä saatiin laskettua, tarvittiin tieto ilmannonpeudesta sekä kasan pinta-alasta, josta ilma virtaa pois.

Ilmannonpeudeksi arvioitiin 0,7 m/s. Tätä ei valitettavasti voitu tarkistaa tämän tutkimuksen mittauksissa, sillä mittaria ei ollut sillä hetkellä saatavilla. Käytetty arvo perustuu vuonna 2019 tehtyyn epäviralliseen mittaukseen. Kasan päästöjä tuottava pinta-ala karkealle ylitteelle on 106,75 m² ja väliylitteelle 57,5 m². Todellisuudessa karkean ylitteen kasan koko on noin 427 m² ja väliylitteen 230 m², mutta laskuissa tulee huomioida kasan ilman kierto. Sama tilanne pätee myös kompostiaumoissa. Molemmissa tilanteissa kasan tai auman sisään pääsee ilmaa. Kasa itsessään ei ole pelkkä päästölähde, vaan on myös kohtia, joista ilma kulkeutuu kasaan sisään. Aiempien havaintojen perusteella on arvioitu, että suurin osa auman kaasuista poistuu melko pieneltä alueelta auman pinta-alaan nähden. Työssä päädyttiin käyttämään kokonaispinta-alasta 25 %:n osuutta [29].

Jotta oli mahdollista selvittää kuinka monta kuutiota ilmaa virtaa sekunnissa kasasta ulos, suoritettiin yhtälön 3 mukainen laskutoimitus.

$$0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 106,75 \text{ m}^2 = 74,725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (3)$$

Laskussa kerrottiin ilmannonpeus ja päästöä aiheuttava pinta-ala. Näin saatiin selville, paljonko kyseinen kasa päästää ilmaa kuutiometreinä per sekunti. Seuraavaksi m³/s muunnettiin muotoon m³/vrk. Tämä tapahtui kertomalla m³/s arvolla 3 600 ja 24, sillä

3 600 toimii kertoimena muuttamaan yksikön sekunnista tunniksi ja 24 on kerroin muuttamaan tunnint vuorokaudeksi.

$$74,725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 24 \text{ h} \div 114 = 56\,633,68 \frac{\text{m}^3}{\text{vrk}} \quad (4)$$

Arvoa 114 on käytetty siksi, että ilmannonpeuden mittaamiseen käytettiin huuva, joka kapenee ylöspäin tultaessa (kuva 5). Huuvan suuaukolle oli sijoitettu putki, jonka sisäpuolen halkaisija on 10 cm. Huuvan pohjan pinta-ala leveimmästä kohdasta mitattuna on 0,89 m². Eli laskutoimitus tehtiin yhtälön 5 mukaisesti.

$$0,89 \text{ m}^2 \div 0,0078 \text{ m}^2 = 114 \quad (5)$$

Laskussa käytetty arvo 0,0078 m² kuvastaa putken suun pinta-alaa. Putken suun koko on syytä huomioida laskennassa, sillä on syytä olettaa, että huuvan sisälle muodostuu painetta. Ilmannonpeus huuvasta mitattuna on suurempi kuin mitä se ilman huuva olisi. Lopulta näiden työvaiheiden jälkeen saatiin tulokseksi virtauksen arvo, jonka yksikkö on m³/vrk. Kolmannella rivillä on kerrottu virtaus ja kasasta tullut päästö, jonka yksikkö on mg/m³. Lopuksi kertolaskulla selvitettiin vuotuinen taso eri päästöille. Tämä saatiin kertomalla kolmannen rivin tulokset arvolla 365,25, joka kuvaa vuoden vuorokausien määrää.

Aumat B147 ja B146

Aumojen päästöjen laskennassa on käytetty hyvin samanlaista menetelmää kuin ylitteiden päästöjen laskennassa. Isoimpana erona laskennassa on se, että aumojen päästöt on jaettu kategorioihin, jotka ovat ”Ei käännetty”, ”Käännetty” ja ”Yhteensä”.

”Ei käännetty” -kategoria kuvaa lepotilassa olevaa aumaa. Sitä ei ole juuri käännetty, vaan kompostoitumisprosessi on stabiili. Käännetty taas kuvaa sitä vaihetta, kun kääntö on juuri suoritettu. Tässä tutkimuksessa mittaukset tehtiin noin tunti aumojen kääntöjen

jälkeen. Lopuksi kunkin kategorian päästöjen osuudet on summattu yhteen, kuten taulukosta 11 voidaan huomata.

Taulukko 11. Aumoista syntyvät päästöt

Aumat (t)			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Ei käännetty	2 910	0,5	17
Käännetty	1 660	5,3	2,9
Yhteensä	4 580	5,8	19

”Ei käännetty” -kategoriassa on huomioitu myös hygienisointitunnelista tulleet päästöt. Hygienisointitunnelin mittaustulosten on tarkoitus kuvastaa tilannetta tuoreesta biojätekompostiaumasta. ”Käännetty” -kategoriassa hygienisointitunnelin tuloksia ei huomioitu, sillä hygienisointitunnelista ei ole tuloksia käynnön jälkeen.

Kuten aiemmin mainittu, laskenta oli hyvin samankaltainen ylitteiden päästöjen laskennan kanssa. On kuitenkin syytä huomata, että aumojen laskenta oli monivaiheisempaa. Tämä johtuu muun muassa siitä, että aumoja on useita kappaleita kentällä ja niiden kierto on erilainen verrattuna ylitteiden kiertoon. Kutakin ylitelaatua on vain yksi kasa ja kasan toiminta on melko stabiili ja laatu tasainen. Materiaali vaihtuu tuoreempaan, mutta prosessi pysyy tasaisena.

Laskennassa huomioitiin aumojen lukumäärä, päästöä aiheuttava pinta-ala, mittausputken pinta-ala, ilmannonopeus, virtaus per auma sekä käyntöjen vaikutus. Laskentaa lähdettiin aluksi työstämään samalla tavalla kuin ylitteillä eli selvitettiin pinta-ala. HSY:n karttapalvelun pohjalta selvitettiin, että auman B147 pinta-ala oli 762 m². Tätä alaa käytettiin laskennassa, koska aumat ovat melko saman kokoisia. Laskennassa oletettiin päästöjä vapauttavaksi pinta-alaksi 190,5 m², mikä on auman kokonaispinta-alasta 25 % [29].

Pinta-alan selvittämisen jälkeen laskettiin, paljonko auman virtaus on yksikössä m³/s. Virtauksen selvittämiseksi tarvittiin ilmannonopeus. Näissä laskelmissa ilmannonopeutena käytettiin arvoa 0,5 m/s. Tämä tulos on ylitteiden tapaan vuoden 2019 tehdyistä epävirallisista mittauksista. Ilmannonopeus vaihtelee auman ympärillä. Etenkin auman kyljissä

virtaus voi olla 0 m/s. Vuoden 2019 mittauksissa tulokset vaihtelivat 0–1 m/s. Laskelmissa siis päädyttiin käyttämään ilmannopeusmittaustulosten mediaania. Seuraavaksi ylitteiden tavoin ilmannopeus kerrottiin päästöä aiheuttavalla pinta-alalla yhtälön 6 mukaisesti.

$$0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 190,5 \text{ m}^2 = 95,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (6)$$

Kertolaskusta saatiin tulokseksi m³/s eli virtaus per auma. Tämän jälkeen tehtiin yhtälön 4 kaltaisesti yksikkömuunnos, jossa m³/s muutettiin yksikköön m³/vrk. Yksikkömuunnoksen jälkeen selvitettiin, millainen virtaama oli kaikissa aumoissa vuoden ajalta. Vuonna 2018 valmistui 45 biojätekompostiaumaa. Aumat olivat kentällä noin viiden kuukauden ajan [28]. Tästä viidestä kuukaudesta kuitenkin vähennetään 20 vuorokautta, sillä aumoja käännettiin tänä viiden kuukauden ajanjaksolla noin viisi kertaa. Taulukoiden 4 ja 5 tuloksista voidaan vetää johtopäätös, että kääntöjen aiheuttama päästöpiikki on kadonnut ainakin neljän vuorokauden kuluessa. Eli suoritettiin seuraavanlainen laskutoimitus:

$$5 \text{ vrk} \cdot 4 = 20 \text{ vrk} \quad (7)$$

Näin eroteltiin ”Ei käännetty”- ja ”Käännetty” -kategorioiden viipymät. ”Ei käännetty” -kategoriasa viipymä oli 130 vuorokautta ja ”Käännetty”-kategoriasa 20 vuorokautta.

Tämän selvityksen jälkeen selvitettiin luvussa 5.1.1 mainittu kokonaisvirtaus aumoille. Tulos saatiin kertolaskulla kaavan 8 mukaisesti.

$$\text{viipymä (vrk)} \cdot \text{virtaus per auma} \cdot \text{aumojen lukumäärä} \quad (8)$$

Lopulta päästiin käsiksi vuotuisiin päästöihin kertomalla mitattujen tulosten arvot, joiden yksikkö oli mg/m³, tällä kokonaisvirtauksella. Laskutoimituksen tuloksen yksiköksi saatiin milligramma. Lopullinen tulos saatiin muuttamalla milligrammat tonneiksi. Taulukossa 11 kaikki tulokset on esitetty tonneina.

5.1.2 Kompostointilaitos

Taulukossa 12 on esitetty pohjoisen ja eteläisen piipun kasvihuonekaasupäästöt sekä niiden yhteenlaskettu summa. Mittaustulokset ilmoitettiin yksikössä ppm. Ensin ppm muutettiin yksikköön mg/m³. Muunnokselle käytettiin kaavaa numero 1.

Taulukko 12. Kompostointilaitoksen kasvihuonekaasupäästöt

Kompostointilaitos (kg/a)			
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Eteläinen piippu	2 900 000	2 880	20 690
Pohjoinen piippu	2 650 000	2 730	20 110
Yhteensä	5 550 000	5 610	40 800

Muunnoksen jälkeen mg/m³ kerrottiin tilavuusvirralla. Molempien piippujen tilavuusvirta on Ramboll Oy:n tekemästä selvityksestä. Ramboll Oy on suorittanut tilavuusvirran mitaukset 17.9.2020. Ramboll Oy:n mittaamaa tulosta päädyttiin käyttämään, koska yhtiön raportissaan kävi ilmi, että kompostointilaitoksen automaatiassa oleva arvo on virheellinen. [29.] Lisäksi tämän työn mittausten yhteydessä ei ollut mahdollista mitata uutta arvoa mittalaitteen puuttumisen takia.

Tilavuusvirran ja mg/m³:n kertomisesta saadaan tulokseksi mg/s yhtälön 9 mukaisesti, jossa on laskettu esimerkkinä eteläisen piipun dityppioksidin päästöt.

$$5,699 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 91,19 \frac{\text{mg}}{\text{s}} \quad (9)$$

Seuraavaksi mg/s muunnettiin kg/h kertomalla mg/s arvolla 0,0036. Siitä saatu tulos kerrottiin 24 tunnilla ja vuosittaisen tuloksen saamiseksi lopullinen laskutoimitus tehtiin kg/h -arvo kertomalla 365,25 vuorokaudella.

5.2 Energian ja polttoaineiden kulutuksen päästölaskenta

5.2.1 Sähkö

Ämmässuolla sähkö lasketaan päästöttömäksi, sillä alueella käytetty sähkö on tuotettu uusiutuvista materiaaleista eli biokaasusta ja kaatopaikkakaasusta. Tässä työssä kuitenkin haluttiin tarkastella myös sitä, millainen tilanne olisi, jos HSY:lla ei olisi käytössä omia energiantuotantomenetelmiä.

Taulukossa 13 on esitetty skenaario HSY:n biojätteen käsittelyn sähkönkulutuksen päästöistä, mikäli HSY ei käyttäisi itse tuottamaansa sähköä vaan ostaisi sähkönsä muualta. Taulukosta voidaan huomata, että ostosähkön käyttö lisäisi HSY:n hiilidioksidipäästöjä huomattavasti. Laskuissa päästökertoimena on käytetty arvoa 141 kg CO₂/MWh [31].

Taulukko 13. Sähkönkulutuksen päästöt vuonna 2018

	Sähkönkulutus MWh	Päästöt kg CO₂
Esikäsittely	294,0	41 447,0
Kompostointi	2 782,2	392 287,4
Jälkikäsittely	281,2	39 649,2
Ilmanpuhdistus	876,0	123 516,0
Tukiainehalli	87,6	12 351,6
Biokaasuvoimala	519,9	73 301,7
Yhteensä	4 840,8	682 552,8

5.2.2 Lämpö

Niin sähkö kuin lämpökin ovat HSY:n biojätteen käsittelyssä päästöttömiä. Sähkö ja lämpö tuotetaan joko biokaasusta biojätteen käsittelyssä tai kaatopaikasta kerättävästä kaasusta. Lämmönkulutuksen päästölaskennan kanssa päätettiin toimia samoin kuin sähkönkulutuksen laskennassa. Taulukossa 14 ja 15 on laskettu lämmönkulutukselle päästöt kahdella eri skenaariolla.

Taulukko 14. Biojätteen käsittelyn lämmönkulutuksen päästöt kaukolämmön päästökertoimella vuonna 2018

	Lämmönkulutus MWh	Päästöt kg CO₂
Kompostointilaitos	12 871	1 982 134
Tukiainehalli	698	107 492
Biokaasulaitos	835	128 593
Yhteensä	14 404	2 218 219

Taulukon 14 laskennassa on käytetty kaukolämmön päästökerrointa. Päästökerroin on Motivan ilmoittama ja se on 154 kg CO₂/MWh. Päästökerroin koskee yhteistuotannolla tuotettua kaukolämpöä. [31.] Tällä laskennalla on biojätteen käsittelyn lämpö aiheuttaisi vuodessa CO₂-päästöjä 2 218 tonnia.

Taulukko 15. Biojätteen käsittelyn lämmönkulutuksen päästöt sähkölämmityksen päästökertoimella vuonna 2018

	Lämmönkulutus MWh	Päästöt kg CO₂
Kompostointilaitos	12 871	1 814 811
Tukiainehalli	698	98 418
Biokaasulaitos	835	117 738
Yhteensä	14 404	2 030 967

Taulukossa 15 on laskettu biojätteen käsittelyn vuotuiset päästöt lämmön osalta sähkölämmityksen päästökertoimella. Päästökerroin on Motivan ilmoittama 141 kg CO₂/MWh [30]. Sähkölämmitystä käyttäen, biojätteen käsittelyn vuotuiset CO₂-päästöt olisivat noin 2 031 tonnia.

5.2.3 Polttoaine

Biojätteen käsittelyssä olevissa työkoneissa käytetään lähinnä kevyttä polttoöljyä [10, s. 42]. Kuten aiemmin todettu, kokonaisuudessaan biojätteen käsittelyn polttoainekulutus on 909 866,7 kWh. Kevyen polttoöljyn päästökerroin on 261,72 g CO₂/kWh [27]. Taulukossa 16 on laskettu tarkastelukohde kerrallaan polttoaineen hiilidioksidipäästöt.

Taulukko 16. Kevyt polttoöljyn päästöt vuonna 2018

	Polttoainelitra	Lämpöarvo MWh	Päästöt kg CO₂
Tukiainehalli	10 089	119,6	31 289,8
Kompostointilaitos	55 215	654,3	171 242,8
Kenttätoiminta	11 478	136,0	35 597,7
Yhteensä	76 782	909,9	238 130,3

Yhteensä siis hiilidioksidipäästöjä polttoaineista biojätteen käsittelyssä tulee noin 238 tonnia. Laskuissa käytettiin vuoden 2019 päästökertoimia ilmastolaskurista [27]. Vuonna 2018 oli kuitenkin samat arvot käytössä [27].

5.3 Kokonaispäästöt

Tyypillisesti kasvihuonekaasujen laskennassa ei huomioida kompostoinnista aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Tämä on perusteltu sillä, että kompostoinnista tulevat hiilidioksidipäästöt tulevat uusiutuvista materiaaleista – biologisesta hajoamisesta. Taulukossa 17 on kuvattu tutkimuksen kokonaispäästöt ja osa-alueet, joista kokonaispäästöt muodostuvat. Aumojen laskennassa on huomioitu hygienisointitunnelin tulokset, kompostointilaitoksen tuloksissa on laskettu yhteen pohjoinen sekä eteläinen piippu ja ylitteissä on laskettu yhteen karkea ylite sekä väliylite.

Hiilidioksidiekvivalentin laskentaan on käytetty GWP-kertoimia eli Global Warming Potential -kertoimia. Dityppioksidin GWP-kerroin on 298 ja metaanin 25. Hiilidioksidin kerroin on yksi. [21.]

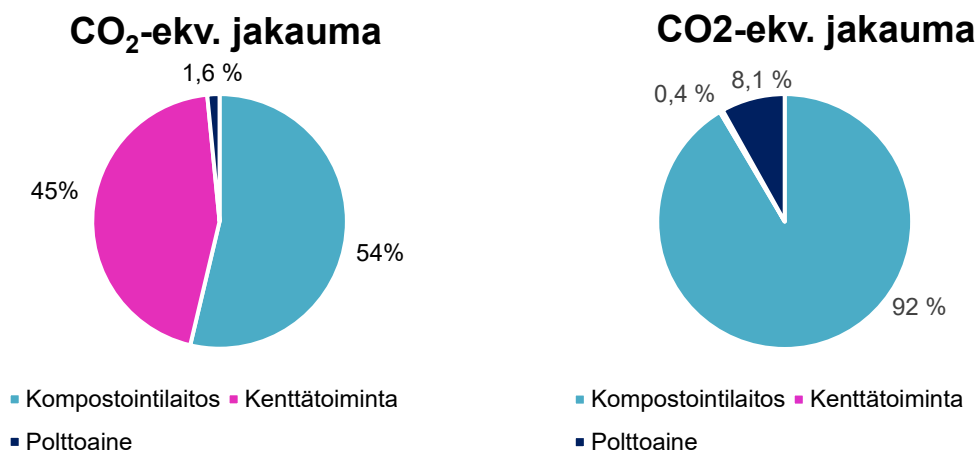
Taulukko 17. Biojätteen käsittelyn kokonaispäästöt

Kokonaispäästöt (kg)				
	CO₂	N₂O	CH₄	CO₂-ekv.
Aumat	4 575 000	5 800	19 300	2 211 000
Ylitteet	880	21,4	140	9 860
Kompostointilaitos	5 550 000	5 610	40 800	2 691 000
Polttoaine	238 000	-	-	238 000
Yhteensä	10 364 000	11 430	60 240	5 150 000

Taulukon yhteenlaskettujen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen tulokseksi tuli noin 5 150 tonnia. Kun tämän arvon jakaa vuonna 2018 vastaanotetuille biojätetonneille, saadaan tulokseksi 82 kg CO₂-ekv. /biojätetonnei.

Jos myös biologisesta hajoamisesta muodostuneet hiilidioksidipäästöt huomioitaisiin kokonaispäästöjen tuloksessa, tulos muuttuisi radikaalisti. Vastaus saadaan yksinkertaisesti laskemalla hiilidioksidipäästöt aumojen, ylitteiden sekä kompostointilaitoksen osalta hiilidioksidiekvivalenttiin mukaan. Tällöin kokonaispäästöjen tulokseksi saadaan noin 15 300 t CO₂-ekv. Tämän skenaarion myötä myös päästöjen määrä per biojätetonnei kasvaa huomattavasti ja tulokseksi tulee 244 kg CO₂-ekv.

Kuvassa 13 on esitetty vasemman puoleisen ympyrädiagrammin avulla, miten kasvihuonekaasupäästöt jakautuvat, kun biologisesta hajoamisesta muodostuneet hiilidioksidipäästöt huomioidaan mukaan. Kuvassa 13 oikealla puolella on esitetty jakautuminen, kun biologisesta hajoamisesta muodostuneita hiilidioksidipäästöjä ei huomioida.



Kuva 13. Hiilidioksidiekvivalentin jakautuminen päästölähteittäin. Vasemmalla biologisesta hajoamisesta muodostuneet hiilidioksidipäästöt on huomioitu ja oikean puolisessa taas ei ole.

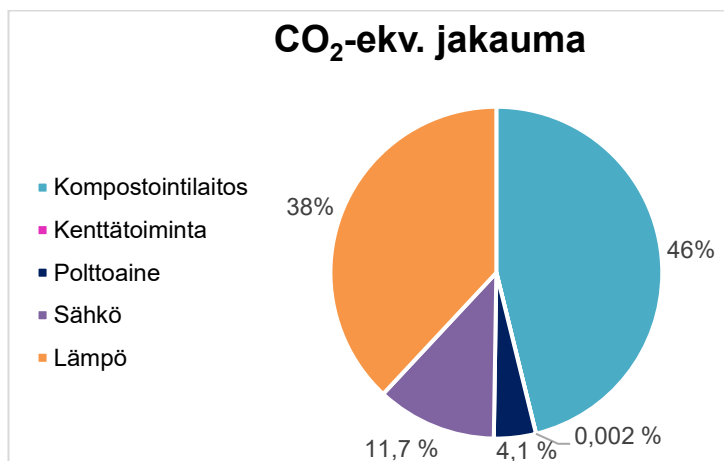
Seuraavaksi tarkastellaan skenaariota, jossa HSY joutuisi käyttämään ostettua sähköä ja lämpöä toimintaansa. Taulukossa 18 on laskettu taulukon 17 kokonaispäästöihin mukaan sähkön sekä lämmön hiilidioksidipäästöt. Etenkin kaukolämmön käyttö kasvattaisi biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasupäästöjä huomattavasti.

Taulukko 18. Biojätteen käsittelyn kokonaispäästöt, kun sähkön ja lämmön kulutus on huomioitu mukaan

	kg CO ₂ -ekv.
Kokonaispäästöt	5 150 000
Sähkö	683 000
Lämpö	2 218 000
Yhteensä	8 050 000

Kuten taulukon 18 tuloksista voidaan huomata, hiilidioksidiekvivalentti kasvoi noin kolmella miljoonalla kilolla. Ero tämän hetkisiin päästöihin on merkittävä.

Kuvan 14 ympyrädiagrammista voi nähdä, miten kasvihuonekaasupäästöjen osuudet jakautuvat päästölähteittäin, kun laskennassa on huomioitu myös sähkön ja lämmön kulutus, mutta ei biologisesta prosessista vapautuneita hiilidioksidipäästöjä.



Kuva 14. Hiilidioksidiekvivalentin jakautuminen, kun sähkön ja lämmön kulutus on huomioitu

6 Tulosten tulkinta

6.1 Kenttätoiminta

6.1.1 Karkea ylite ja väliylite

Kummankaan ylitteen päästöt eivät olleet merkittävän suuria. Karkeasta ylitteestä aiheutui huomattavasti enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin väliylitteestä. Karkea ylite on nimensä mukaisesta karkeaa jaeetta: se sisältää karkeaa puumurskettä, hieman hienoa ainesta sekä erilaista muuta jätettä, kuten esimerkiksi muovia. Koska kyseessä on karkea jae, siinä ilma kiertää huomattavasti paremmin kuin väliylitteen joukossa. Väliylite on paljon hienompi jakoista verrattuna karkeaan ylitteeseen.

Kuten aiemmin mainittu, näiden kahden kasan päästöt eivät ole biojätteen käsittelyn merkittävimpiä päästölähteitä. On kuitenkin syytä huomioida, että pienistä puroista kasvaa suuria jokia. Jos taloudellisesti on mahdollista, ylitteiden suojaamista voitaisiin harjita ja tehostaa ylitteiden kiertoa, jotta ylittekasat olisivat kentällä mahdollisimman pieniä kokoisia ja vähän aikaa.

6.1.2 Aumat

Aumojen päiväkohtaisissa tuloksissa oli selkeää vaihtelua. Etenkin ensimmäisen ja viimeisen mittauspäivän välinen ero on hyvin mielenkiintoinen. Ensimmäisenä mittauspäivänä aumojen käännöstä oli kulunut neljä vuorokautta. Kasvihuonekaasupäästöt olivat hyvin alhaiset verrattuna muihin mittauspäiviin. Viimeisenä mittauspäivänä mitattiin vain noin tunti auman käännön jälkeen, ja se näkyi tuloksissa isona piikkinä.

Käännöistä aiheutunut piikki johtuu todennäköisesti siitä, että käänntö on vapauttanut auman sisällä olevia päästöjä ilmaan ja kompostointiaktiivisuus on kasvanut käännön vaikutuksesta. Mittauksia olisi pitänyt suorittaa useampana päivänä, jotta olisi voitu varmuudella huomata, kuinka nopeasti tämä piikki tasoittuu normaalille tasolle. Tämän hetkisten tietojen pohjalta voidaan vetää johtopäätös, että päästöpiikki on alentunut viimeistään neljäntenä päivänä käänntöjen jälkeen.

Ensimmäinen mittaustulos eli neljä päivää käynnön jälkeen kuvastaa hyvin sitä, miten hyviä vaikutuksia ilmastamisella on. Metaanipäästöt ovat laskeneet auman B147 kohdalla noin kymmenen ja B146 kohdalla noin 2,5 kertaa pienemmiksi. Myös dityppioksiidi- ja hiilidioksidipäästöjen kohdalla voidaan huomata päästöjen alenemista.

Vain noin viikossa aumojen päästöt ovat kuitenkin nousseet huomattavasti. Käynnön vaikutus ei siis ainakaan syksyiseen vuodenaikaan ole kovinkaan pitkä. Mitä pidempi aika kuluu, sen pidempään auma kerkeää keräämään kosteutta ja ilma-aukkoja sulkeutuu. Tämän myötä myös syntyy pisteitä, joihin syntyy anaerobisia olosuhteita. Kun auma jälleen käännetään, suuri määrä päästöjä pääsee ilmaan. Jos aumaa käännettäisiin useammin kuin kolmen viikon välein, päästöjä ei kerkeäisi syntyämään kompostin seassa niin paljon.

Tuloksia tarkasteltaessa voidaan myös huomata, että auman ikä ei välttämättä korreloi päästöjen kanssa. Aumassa B147 on noin kuukauden tuoreempi kuin auma B146, ja siinä on huomattavasti pienemmät päästöt kuin aumassa B146. Päästöjen määrä ei myöskään juuri vaihdellut mitattavan ajanjakson aikana. Voidaan siis olettaa, että kompostiaumat ovat hyvin yksilöllisiä. Tarkempia johtopäätöksiä varten olisi ollut syytä mitata useammasta ja eri-ikäisestä aumasta.

6.2 Kompostointilaitos

6.2.1 Piiput

Eteläisen ja pohjoisen piipun välillä on jossain määrin eroja päästöjen näkökulmasta. Molempia piippuja edeltää samankaltainen prosessi, joten erot eivät saisi olla kovin suuria. Pohjoispuolen piipun päästöt ovat kuitenkin jonkin verran suuremmat kuin eteläpuolen piipun päästöt.

Myös päivien välillä on päästöissä eroja. Syynä voi olla päiväkohtaiset erot kompostointiprosessissa ja materiaalin laadun vaihtelu. Loppuviikosta tunnelit täytetään, ja ne ovat

täynnä raakaa ja kosteaa materiaalia. Tällöin myös päästöt ovat korkeat. Alkuviikosta tunneleita tyhjennetään, ja materiaali on kerennyt kompostoitua koko viikonlopun ajan.

Kokonaispäästöjä tarkasteltaessa taulukosta 17, voidaan huomata, että kompostointilaitos aiheuttaa suurimmat päästöt hiilidioksidiekvivalenttina. Kompostointilaitoksen poisto- kaasun laatuun on siis syytä kiinnittää huomiota, sillä se on merkittävä päästölähde biojätteen käsittelyssä.

6.2.2 Energian kulutus

Sähkön ja lämmön kulutuksesta aiheutuvia päästöjä ei nykyisen prosessin toimiessa ole lainkaan. Biojätteen käsittely toimii omavaraisesti, ja uusiutuvilla energiantuotantomenetelmillä päästökerroin on nolla.

Jos kuitenkin olisi tilanne, että biojätteen käsittelyn energiankulutusta varten jouduttaisiin ostamaan ulkopuolelta niin lämpöä kuin sähköäkin, hiilidioksidipäästöt nousisivat huomasti. Kaatopaikkakaasun määrä vähenee vuosi vuodelta, ja kaasuvoimalalla on käytössä enää puolet alkuperäisistä moottoreista, sillä kaasun määrä ei enää riitä kaikille neljälle alkuperäiselle moottorille [3]. HSY on siis muutoksen edessä, ja on syytä kartoittaa uusia energiantuotantomenetelmiä kattamaan Ämmässuon sähkön ja lämmön tarpeet.

6.2.3 Polttoaineen kulutus

Eniten polttoainetta kuluu kompostointilaitoksen konetöissä. Konetöistä ja niiden polttoaineen kulutuksesta aiheutuu huomattava määrä hiilidioksidipäästöä. Nykyisessä prosessissa ei ole montaa asiaa, joita voisi tämän päästön vähentämiseksi tehdä. Töiden huolellinen suunnittelu on luonnollisesti tärkeää. Koneiden tulisi välttää turhia siirtymisiä, ja materiaalien tarpeeton siirtäminen tulisi pitää minimissään. Toinen vaihtoehto on myös siirtyä uusiutuvien polttoaineiden käyttöön. Tällä hetkellä niitä on markkinoilla melko vähän. Bioetanoli ja jätteistä tuotettu diesel edustavat ympäristöystävällisempiä polttoaineita. Kehitysmahdollisuuksissa paneudutaan tähän aiheeseen tarkemmin.

7 Kehitysmahdollisuudet

7.1 Lisäaineet

Biohiili

Biohiili on materiaali, jota valmistetaan puuhakkeesta. Biohiilen valmistus tapahtuu kuumentamalla materiaali yli 420 °C:n lämpötilaan. Kuumennus tapahtuu täysin ilman happea, josta seuraa hiiltyminen palamisen sijaan. [32.] Yubo Caon ym. tutkimuksessa osoitettiin, että biohiili alentaa dityppioksidipäästöjä jopa 59,8 %. Tutkimuksessa myös todettiin, että biohiili vaikuttaa myös tehokkaasti metaanipäästöihin. Vertailuaineista biohiili oli molempien päästöjen vähentämisessä kaikkein tehokkain. [33, s. 630.]

Cao ym. tutkivat myös, miksi biohiili toimi niin tehokkaasti edellä mainittujen päästöjen pienentämisessä. He huomasivat, että dityppioksidia tuottavien bakteerien määrä oli pienempi silloin, kun biohiiltä lisättiin kompostin joukkoon. Kompostissa, jossa ei ole biohiiltä, on siis enemmän dityppioksidia muodostavia bakteereja, ja näin ollen dityppioksidia myös muodostuu enemmän. Lisäksi he saivat selville, että biohiili absorboi nitraattia, nitriittiä sekä liuennutta hiiltä. Tämä johtaa siihen, että nämä aineet eivät ole käytettävissä dityppioksidin tuottamiseen. [33, s. 630.]

Biohiilen rakenne on myös hyvin huokoinen. Huokoinen rakenne parantaa kompostin ilmavuutta ja näin ollen vähentää metaanin muodostumista. Biohiilen rakenteen ansiosta myös kompostin rakenne muuttuu huokoisemmaksi. Lisäksi vesi imeytyy biohiileen tehokkaasti lisäten kompostin ilmavuutta. [33, s. 630.]

Annakaisa Elon ym. työssä on todettu, että biohiili edesauttaa kompostin kypsymistä. Biohiili esimerkiksi nostaa kompostin lämpötilaa ja näin edistää kompostin kypsymistä. Lisäksi biohiili edesauttaa orgaanisen aineksen hajoamista. [34, s. 4]. Myös Caon ym. työssä havaittiin, että biohiili voi epäsuorasti vaikuttaa myös kompostin pH-arvoihin ja kosteuteen. Kaikki nämä ominaisuudet vaikuttavat kypsymiseen. Mitä lyhyempi kypsymisaika, sitä vähemmän päästöjä. [33, s. 630.]

HSY:lla on valmistumassa pilottipyrolyysilaitos vuosien 2020–2021 vaihteessa. Pyrolyysilaitoksessa tullaan pyrolysoimaan niin jätevesilietettä kuin myös puumateriaaleja. Laitoksessa tulee siis syntymään lietehiiltä ja osittain myös biohiiltä. Hiilen käyttöä testataan kompostoinnissa. Aino Kainulainen on tehnyt jo tutkimuksia lietehiilestä, ja hän on havainnut, että sen rakenne poikkeaa biohiilestä [35]. Lietehiili ei ole yhtä huokoinen kuin biohiili [35]. Tuotetta kehitetään ja tutkitaan lisää pyrolyysilaitoksen valmistuttua. Puumateriaali voisi lisätä hiilen huokoisuutta ja tuoda siihen enemmän biohiilen ominaisuuksia.

Zeoliitti

Caon ym. tutkimuksessa toinen merkittävä lisäaine kompostoinnissa oli zeoliitti. Zeoliitti toimi hyvin samankaltaisesti kuin biohiili. Zeoliitti ja biohiili alentavat molemmat kasvihuonekaasupäästöjä ja GWP-arvoa tehokkaasti. [33, s. 630.] Zeoliitti on mineraalijauhetta, jonka rakenne on onkalomainen [36].

Kuten biohiilen, myös zeoliitin huokoinen rakenne auttaa parantamaan kompostin laatua. Mineraalin rakenne auttaa kompostia pysymään ilmastettuna sekä vähentämään metaanogeenien määrää ja näin ollen vähentämään metaanipäästöjä. Caon ym. tutkimuksen mukaan zeoliitti auttoi vähentämään metaanipäästöjä noin 75 %. [33, s. 630.]

Kuten aiemmin mainittu zeoliitti toimii biohiilen kaltaisesti. Tutkimuksessa todettiin, että myös zeoliitti absorboi nitriittiä, nitraattia ja liuennutta hiiltä. Dityppioksidin muodostumista zeoliitti vähensi noin 70 % eli jopa hieman tehokkaammin kuin biohiili, joka vähensi keskimääräisesti dityppioksidia noin 60 %. [32, s. 630.]

Madot

Matojen lisäämistä kompostointiin kutsutaan vermikompostoinniksi. J. Barthod ym. tutkivat, miten vermikompostointi sekä siihen yhdistettynä lentotuhkan ja punaliejun lisääminen vaikuttavat kompostoinnin laatuun. Heidän tutkimuksessaan todettiin, että vermikompostointi itsessään jopa lisää hiilidioksidipäästöjä. Tutkimuksessa siis osoitettiin, että

madot itsessään eivät päästöjen vähentämisessä auta, mutta kun kompostiin lisättiin matojen lisäksi punaliejua, päästöt alenivat suurin piirtein tavallisen kompostoinnin tasolle. [37, s. 211.] Punalieju on materiaali, jota syntyy alumiinioksidin valmistuksessa sivutuotteena [38].

Näiden tutkimuksessa tutkittujen materiaalien käyttö ei suoranaisesti auta päästöjen vähentämiseen. Joissain tapauksissa ne voivat myös nostaa niitä. Tutkimuksessa todettiin, että lentotuhka voi jopa lisätä hetkittäin metaanipitoisuutta kompostoinnissa. Sen käyttöä on siis syytä harkita. Sen ja muiden tässä tutkimuksessa tutkittujen materiaalien hyöty pohjautuu enemmänkin ravinteisiin ja kompostin laatuun ylipäätään. Ravinteet ovat helpommin kasvien käytettävissä. Lisäksi tutkimuksessa huomattiin, että kompostointiaika lyhenee. Tämä ominaisuus on sellainen, joka vaikuttaa päästöjen määriin positiivisesti. [37, s. 211, 213.] Kuten aiemmin todettu, mitä lyhyempi kompostointiaika, sitä vähemmän päästöjä [18].

Tukiaineet

Ämmäsuolla kompostoinnin tukiaineena käytetään risu-, puu- ja kantomursketta. Tukiaineen tehtävänä on lisätä kompostin ilmavuutta. Murske on kuitenkin melko hienoa ja kompostoinnin myötä hajoaa yhä pienemmäksi materiaaliksi.

Ilmastusta parantaakseen tukiaineen olisi hyvä olla karkeampaa, jotta karkeus säilyisi vielä jälkikypsytysvaiheessa kentillä. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin laitoksen rajallisuus. Liian isot kappaleet voivat tukkia laitoksen hihnoja ja näin aiheuttaa ongelmia prosessin normaalissa kulussa.

Karkeamman tukiaineen käyttöä voisi kokeilla kentällä jälkikypsytyksessä. Kun pyöräkuormaajan kuljettaja kuljettaa laitoksesta kompostia kentälle aumaan, hän voisi aina välillä lisätä muutaman kauhallisen tuoretta ja karkeaa tukiainetta kompostin joukkoon. Näin kompostiin ei tulisi ilma-aukkojen vajoamia, eikä mätänemispisteitä, joissa metaania syntyy huomattavia määriä. Tämän menetelmän etuna on myös se, että valmista kompostia seulottaessa ylite on karkeampaa kuin tavallisesti. Kenttäylitettä pyritään käyttämään laitoksessa tukiaineena, mutta yksi sen ongelmista on sen koko. Kenttäylite

on jo kulkenut läpi prosessin ja tukiaine on kutistunut hajoamisen myötä. Kun ylitteen joukossa on kappaleita, jotka ovat melko tuoreita, myös ylitteen laatu paranee ja sitä voitaisiin käyttää isommissa määrin laitoksen tukiaineena. Näin voitaisiin myös säästää puun käyttöä tukiainemateriaalina.

7.2 Mekaaninen työ

Ämmässuolla kompostiaumoja käännetään 2–3 viikon välein maaliskuusta joulukuuhun. Kolmen viikon väli kääntöjen välillä voi olla hyvinkin pitkä aika ja vaikuttaa kompostin kasvihuonekaasujen muodostumiseen. Kompostin kosteuspitoisuus voi nousta korkeaksi ja ilma-aukot pienentyä merkittävästi, jos säätekijät ovat haasteelliset. Kovat sateet ja pitkään jatkunut kosteus voivat aiheuttaa kompostiin kohtia, joissa mätänemisprosessi käynnistyy ja metaania alkaa muodostua.

Phongin tutkimuksessa on todettu, että ideaalitulanteessa kompostiauma on kooltaan pieni ja sen kääntötahti on tiuha. Pieni auma, jota käännetään usein, kypsyy nopeammin, mikä tarkoittaa suoraan pienempiä päästöjä. Kääntäminen voi aiheuttaa dityppioksidipii-kin, mutta vähentää kuitenkin metaanipäästöjä. [18.]

Phong vertaili tutkimuksessaan erilaisten biojätteen käsittelylaitosten eroavaisuuksia kasvihuonekaasujen näkökulmasta. Hän havaitsi työssään, että suurimmat päästöt tulevat Ämmässuon kaltaisesta laitoksesta, jossa on yhdistetty biokaasutuotanto ja kompostointilaitos. Tällaisissa yhdistelmälaitoksissa mädäte tyypillisesti lisätään kompostin joukkoon. Phong huomautti työssään, että tällaisessa laitoksessa on kuitenkin etuna biokaasutuotanto ja näin ollen myös uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö ja lämpö. Mädäte kuitenkin voi kompostin joukossa aiheuttaa lisää päästöjä verrattuna siihen, että mädätettä ei lisättäisi lainkaan. [18, s. 87.] Tällaisessa tapauksessa on pidettävä huolta siitä, että mädäte ei kastele kompostia liikaa, vaan se on kuivattu riittävälle tasolle. Mädäte voi olla yhä aktiivinen ja tuottaa metaania. Tämän mahdollisuus olisi tärkeää minimoida. Täähän on myös ratkaisuna hyvä ilmasto [18, s. 87]. Ilmastusta on syytä tehostaa niin lai-

toksen sisällä kuin myös jälkikypsytyksessä kentillä aumoja kääntäen. Toinen hyvä ratkaisu, jota HSY:lla tutkitaan, on mädätteen hyödyntäminen esimerkiksi maanviljelyssä lannoitteena.

7.3 Tekniikka

Uudempi tekniikka on yleisesti ottaen vähäpäästöisempää. Koneisiin ja laitteisiin kehitetään jatkuvasti energiatehokkaampia versioita ja vähäpäästöisempiä ratkaisuja. HSY huomioi jo nyt kilpailutuksissa työkoneiden iän ja käytettävän polttoaineen.

Biojätteen käsittelyssä on paljon tekniikkaa ja koneita, joita ei kilpailuteta, vaan ne ovat kiinteä osa kompostointilaitosta. Laitteiden huoltamista, ylläpitoa ja ehkä jopa kokonaan uusimista on hyvä toisinaan tarkastella ympäristöystävällisyyden näkökulmasta. Toki on myös hyvä huomioida, että uusien koneiden ja laitteiden hankkiminen ei aina ole ekologisin vaihtoehto. Uuden valmistaminen sekä logistiikka kuormittavat ympäristöä huomattavasti. Tarpeiden punnitseminen on siis investointeja tehtäessä syytä tehdä huolella.

Tulevaisuudessa valinnanvaraa tulee varmasti olemaan enemmän. Tällä hetkellä raskaiden työkoneiden polttoainevaihtoehdot ovat melko suppeat. Case Construction Equipment on esitellyt biokaasulla toimivan pyöräkuormaajan, mutta sen sarjatuotantoa ei ole vielä käynnistetty [39]. Tulevaisuudessa voidaan siis odottaa, että myös työkoneisiin saadaan laajemmin käyttöön uusiutuvia polttoaineita.

7.4 Lisäselvitykset

Tämä insinööri työ on alku biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasupäästöjen tutkimiselle. Lisäselvitysten ja tutkimusten avulla on mahdollista saada tarkempia ja kattavampia tuloksia. Kompostoinnin aiheuttamiin kasvihuonekaasuihin vaikuttaa monet eri tekijät, kuten esimerkiksi olosuhteet. Tässä työssä käytetyt mittaustulokset on saatu talvikaudella mitatuista olosuhteista. Mahdollisimman luotettavan lopputuloksen takaamiseksi, mittauskertoja olisi pitänyt olla enemmän. Rajallisten resurssien vuoksi mittauskertojen määrä oli suunniteltua pienempi.

Lisäselvityksissä olisi siis syytä perehtyä kompostoinnin olosuhteisiin syvemmin sekä tehdä mittauksia pidemmällä ajanjaksolla. Yksityiskohtiin on myös syytä paneutua tarkemmin. Tässä työssä useassa laskussa on käytetty arvioituja lukuarvoja, joten luotettavan tuloksen saamiseksi olisi tärkeää tehdä laajemmat selvitykset esimerkiksi siitä miltä alueelta auma todella päästää ilmaa ulos. Auman kuuluisi olla aerobinen, joten aumaan menee myös ilmaa sisään. Ei voida olettaa, että auma päästäisi ilmaan kasvihuonekaasupäästöjä auman kokonaisalasta. Tällä prosenttimäärällä on iso vaikutus todellisiin päästöihin. Myös ilmannopeus vaikuttaa päästöjen määrään.

Lisäselvityksessä olisi myös hyvä ottaa useampi mittauskohde. Tässä työssä mittaukset suoritettiin vain kahteen eri aumaan, joiden ikäero oli noin kuukausi. Jotta voitaisiin saada kokonaisvaltaisempi tulos, olisi syytä valita useampi auma ja laajemmalla ikävariatiolla.

8 Yhteenveto

Insinöörityössä selvitettiin biojätteen käsittelyn vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt. Työtä varten tehtiin päästömittauksia FTIR-mittalaitteella aumoista, ylitteistä, kompostointilaitoksen piipuista sekä hygienisointitunnelista. Lisäksi työssä hyödynnettiin Nea Kantoluodon tekemää insinöörityötä biojätteen käsittelyn energiataseesta.

Tässä insinöörityössä on luotu välineet Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymälle biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasujen seuraamisen tukemiseen. Tämän insinöörityön myötä selvisi, että kompostointilaitos ja biojätekompostiaumat ovat suurimmat biojätteen käsittelyn päästölähteet. Lisäksi työssä tutkittiin skenaariota, miten kasvihuonekaasupäästöt kasvaisivat, jos biojätteen käsittelyssä ei käytettäisi biokaasusta saatua sähköä ja lämpöä. Tutkimuksessa todettiin, että energian kulutus lisäisi biojätteen käsittelyn kasvihuonekaasupäästöjä noin 2 900 tonnia vuodessa.

Työssä lasketut arvot voivat muuttua, ja laskentaan käytetty Excel onkin HSY:n käytävissä. Excelissä on tarvittavat kaavat ja mittausdata, mutta HSY voi halutessaan muuttaa tässä työssä arvioksi jääneitä arvoja, kuten esimerkiksi päästöä aiheuttavaa pintalaa sekä ilmannopeutta.

Tutkimustyötä olisi syytä jatkaa, kuten myös kehitysmahdollisuusluvussa on pohdittu. Aihe on todella laaja ja vaatii ehdottomasti lisätutkimuksia, jotta saadaan tarkempia arvoja. Kompostoinnin kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa moni eri tekijä, kuten esimerkiksi kosteus ja pH. Näitä muuttujia ei tässä työssä huomioitu.

Myös mittauksia olisi syytä jatkaa ja laajentaa. Jos mahdollista niin mittauksiin olisi hyvä saada useampi biojätekompostiauma mukaan. Mittauksiin olisi myös syytä käyttää enemmän aikaa ja niitä tulisi toistaa useampaan kertaan, jotta tuloksista saataisiin luotettavia.

Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen, mutta kokopäiväisen työn ohella insinööriyön tekeminen oli varsin työlästä. Työssä käynti myös aiheutti ongelmia aikataulussa pysymisessä, ja näin ollen insinööriyö ei valmistunut siinä ajassa kuin alun perin oli tavoite. Tämä työ kuitenkin tarjosi mahdollisuuden tehdä itsenäistä tutkimusta, saada teoriaopit käytäntöön sekä oppia lisää projektisuunnittelusta. Suunnitelma olisi voinut olla tarkempi, ja siihen olisi ollut syytä perehtyä asiantuntijoiden kanssa syvällisemmin ja useammin. Insinööriyöstä kuitenkin seurasi HSY:lle mahdollisuus tutkia oman biojätteen käsittelynsä kasvihuonekaasupäästöjä sekä viitoittaa tietä lisätutkimuksia varten.

Vaikka kattavampi tulos vaatii lisäselvityksiä, niin tämä insinööriyö kuitenkin antoi HSY:lle mahdollisuuden perehtyä aiheeseen sekä tiedon siitä, mikä osa-alue biojätteen käsittelyssä aiheuttaa eniten päästöä.

Lähteet

- 1 Biojätteen käsittelyn yleisesittely 2019. Powerpoint-esitys. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 2 Jätepalvelut kiinteistöille. Verkkoaineisto. HSY. <https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kier-ratys/jatepalvelut-kiinteistoille/> Luettu 11.6.2020.
- 3 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2019. Verkkojulkaisu. HSY. <https://julkaisu.hsy.fi/sv/index/ammassuon-jatteenkasittelykeskuksen-toiminta-vuonna-2019-1.html> >
- 4 Suomalaiset laiskoja lajittelemaan biojätettä – erilliskeräyksen ympäristöhyötyjä ei tunnisteta. Maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö. Valtioneuvosto. 21.10.2020. Tiedote. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/suomalaiset-laiskoja-lajittelemaan-biojatetta-erilliskerayksen-ymparistohyotyja-ei-tunnisteta-1> > Luettu 30.12.2020.
- 5 Jätedirektiivi. 2008. 2008/98/EY.
- 6 Jätedirektiivi. 2018. 2018/851.
- 7 Pirhonen, Heidi. 17.1.2020. Yhdyskuntajättemäärän kasvu ei vie kohti kiertotaloutta – kierrätys jättää toivomisen varaa. Tieto & Trendit. <http://www.stat.fi/tietotrendit/blogit/2020/yhdyskuntajatemaaran-kasvu-ei-vie-kohti-kiertotaloutta-kier-ratys-jattaa-toivomisen-varaa/> Luettu 30.12.2020
- 8 Gareis, Christoph. 2020. Toimintovastaava, biokierrätys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY, Espoo. Keskustelu. 20.11.2020.
- 9 Biojätteen, viherjätteen ja jätevesilietteen käsittelyn omavalvontasuunnitelma ja prosessiohje. 1.4.2020. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Yrityksen sisäinen aineisto.
- 10 Kantoluoto, Nea. Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen biojätteen käsittelyn massatase ja energiatase. 2020. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus.
- 11 Käyttöopas Triogen ORC -asennus. 2013. Yrityksen sisäinen aineisto. Triogen.
- 12 Kajolinna, Tuula. 2017. Mistä hajuja tulee ja miten niitä mitataan? Ilmansuojelupäivät, Lappeenranta. 22.-23.8.2017. Verkkoaineisto. VTT. https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2017/08/2308_a1_t_kajolinna_hajuesitys_isp_2017.pdf Luettu 20.1.2020.

- 13 Biopesurin toiminnan käsikirja. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. RAB.
- 14 Business Objects. SAP. Vaakajärjestelmä.
- 15 SFS-EN ISO 14067:2018. 2018. Greenhouse gases. Carbon footprint products. Requirements and guidelines for quantification. 9.10.2018. Suomen standardoimisliitto.
- 16 Silvonen, Ville. Kasvihuonekaasut ja niiden haitallisuus. Genano. Verkkoaineisto. <<https://www.genano.com/fi/tietopankki/kasvihuonekaasut-ja-niiden-haitallisuus>> Luettu 18.8.2020.
- 17 Pipatti, Riitta; Hänninen, Kari; Vesterinen, Raili; Wihersaari, Margareta; Savolainen, Ilkka. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Verkkoaineisto. VTT Energia. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/julkaisut/1996/J811.pdf>> Luettu 5.10.2020
- 18 Phong, Nguyen Thanh. 2012. Greenhouse Gas Emissions from Composting and Anaerobic Digestion Plants. Tohtoritutkielma. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität. <<https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/bitstream/handle/20.500.11811/5130/3002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Luettu 19.10.2020.
- 19 LIPASTO yksikköpäästöt -tietokanta. 2016. Työkoneiden keskimääräinen päästö ja energia polttoainelitraa kohden Suomessa vuonna 2016. Verkkoaineisto. VTT. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet_litra.htm> Luettu 29.10.2020.
- 20 Tutkijat hämmentyneitä: Hiilidioksidiakin voimakkaamman kasvihuonekaasutaanin pitoisuus ilmakehässä kasvaa nopeasti, eikä kukaan tiedä miksi. 27.5.2019. Verkkoaineisto. Tekniikan maailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/tutkijat-hammentyneita-hiilidioksidiakin-voimakkaamman-kasvihuonekaasutaanin-pitoisuus-ilmakehassa-kasvaa-nopeasti-eika-kukaan-tieda-miksi/>> Luettu 10.11.2020.
- 21 Kasvihuonekaasut. 2015. Verkkoaineisto. Suomen virallinen tilasto SVT. <https://www.stat.fi/til/khki/2015/khki_2015_2016-05-25_laa_001_fi.html> Luettu 10.1.2020.
- 22 Reay, Dave; Smith, Pete; van Amstel, André. 2010. Methane and climate change. E-kirja. Ebook Central.
- 23 Yli-Puntari, Jenni. 2013. Biokaasuprosessin metanogeenisten bakteerien määrittäminen. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu. Theseus.

- 24 Shi, Mingzi; Zhao, Yue; Zhu, Longji; Song, Xinuy; Tang, Yu; Qi, Haishi; Cao, Hongjie; Wei, Zimin. 2020. Denitrification during composting: Biochemistry, implication and perspective. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www-science-direct-com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S0964830519316543>> Luettu 13.10.2020
- 25 Cáceres, Rafaela; Malińska Krystyna; Marfá, Oriol. 2017. Nitrification within composting: A review. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S0956053X1730795X>> Luettu 20.10.2020.
- 26 FTIR – Fourier Transform Infrared. Verkkoaineisto. Gasmeter. <<https://www.gasmet.com/products/ftir-fourier-transform-infrared/>> Luettu 11.12.2020.
- 27 Laskentaperusteet. Verkkoaineisto. WWF. <<http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>> Luettu 30.11.2020.
- 28 Understanding Units of Measurement. 2006. Verkkoaineisto. CHSR. <https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display/files/fileid/14285> Luettu 16.12.2020.
- 29 Gareis, Christoph. 2020. Toimintovastaava, biokierrätys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY, Espoo. Keskustelu. 7.1.2021.
- 30 Mustikkamäki, Harri. 25.9.2020. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY, typpioksiduulimittaukset, Ämmässuo 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ramboll Oy.
- 31 CO₂-päästökertoimet. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet> Luettu 10.12.2020
- 32 Biohiilen hieman lyhyempi oppimäärä. Verkkoaineisto. Carbons. <<https://carbons.fi/wp-content/uploads/2020/08/Lyhyempi-oppim%C3%A4%C3%A4r%C3%A4-biohiilen-k%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4.pdf>> Luettu 16.1.2020.
- 33 Cao, Yubo; Wang, Xuan; Bai, Zhaohai; Chadwick, David; Misselbrook, Tom; Sommer, Sven G.; Qin, Wei; Ma, Lin. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions during solid waste composting with different additives; A meta-analysis. 2019. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www-sciencedirect-com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S095965261932253X>> Luettu 29.10.2020.
- 34 Elo, Annakaisa; Lahti, Ilona; Kymäläinen, Maritta. 2020. Biohiili kompostointiprosessin tukiaineena. Verkkoaineisto. Hämeen Ammattikorkeakoulu.

- <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2020/09/TP4-osaraportti-komposti.pdf>> Luettu 7.11.2020.
- 35 Kainulainen, Aino. Lietehiilihanke – tuloksia ja tulevaa. 23.10.2020. Powerpointesitys. Yrityksen sisäinen materiaali. HSY.
- 36 Laiho, Taina; Rajala, Jukka. 28.3.2019. Kivijauheiden hyödyntäminen lannan ravinteiden kierrätyksessä. Verkkoaineisto. Luomu.fi Tietopankki. <https://luomutietopankki.fi/kivijauheiden-hyodyntaminen-lannan-ravinteiden-kierratyksessa/>> Luettu 20.12.2020.
- 37 J.Barthod, C.Rumpel, M. Calabi-Floody, M.-L. Mora, N.S. Bolan, M.-F. Dignac. 2018. Adding worms during composting of organic waste with red mud and fly ash reduces CO₂ emissions and increases plant available nutrient contents. Verkkoartikkeli. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.metropolia.fi/science/article/pii/S0301479718306170>> Luettu 18.12.2020.
- 38 Jäte- ja ongelmajäteluettelo 2004 (standardi). 2004. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/meta/luokitukset/jate/001-2004-04-16/index.html>> Luettu 18.12.2020.
- 39 Päiviö, Olli. 2.1.2020. Case palkittu – Project Tetra on biokaasukäyttöinen pyöräkuormaaja. Verkkoaineisto. Koneporssi. <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/case-palkittu-project-tetra-on-biokaasukayttoinen-pyorakuormaaja/>> Luettu 20.12.2020.